

ISSN 0039-4963

SKEGA2 50(1) 1~158 (2009)

VOL.50  
2009

SUMITOMO LIGHT METAL  
TECHNICAL REPORTS

# 住友輕金屬技報



# 住友軽金属技報

第50巻 第1号 平成21年

## 目次

### 論文

P736	給湯用銅管の潰食現象に及ぼすマイクロバブルの影響 .....	鈴山 木田 忍 河野 浩 豊三	1
P737	循環式給湯配管システムにおける溶存気体の挙動と銅管の潰食防止に関する研究 .....	山大久保 利博 表河野 泰和 山田 幸三 三豊	6
P738	水平内面溝付管内の圧力損失および凝縮熱伝達係数の予測と検証 .....	井上 順 広 青野 亜 良 五島 正 秋 佐藤 全 弘 佐々木 明 栄	12
P739	アルミニウム合金板の伸びに及ぼすn値と転位組織の影響 .....	内田 秀 俊 吉田 英 雄	18
P740	Al-Mg-Si合金のバークハード性に及ぼす 高温予備時効とその前後の自然時効の影響 .....	八松 太 秀 周 田中 眞 一 吉田 英 樹	25
P741	Dissimilar Metals Joining of Aluminum Alloy and Steel sheets by Friction Stir Spot Welding .....	Koji Tanaka Masaki Kumagai Hideo Yoshida	31
P742	ブレージングシートの耐食性に及ぼすろう材厚さの影響 .....	山下 尚 希 正路 美 房	38

### 技術資料

R542	空調機用伝熱管の高性能化の動向 .....	佐々木 直 栄	45
R543	アルミニウム合金の恒温圧延による集合組織制御 .....	田中 宏 樹	49
R544	自動車足回り用高強度アルミニウム鍛造合金の開発 .....	松田 眞 一	56
R545	当社における計測技術研究の歩み .....	高橋 伸 幸	60
R546	摩擦面への導入油膜厚に及ぼす潤滑油分子構造の影響 .....	渡邊 貴 道 細見 和 弘	69
R547	DLC 皮膜の摩擦特性に及ぼす油性剤の影響 .....	初野 圭一郎 細見 和 弘	73

### 新製品紹介

R548	極小セルハニカムコア ーファインハニカムー .....	大滝 信 行	78
------	-----------------------------	--------	----

### 随想

R549	鉄に学ぶー「アルミも熱いうちに打て！」 .....	吉田 英 雄	80
------	---------------------------	--------	----

## イベント報告

R550	「見て、触れて、感じて」もの作りの楽しさを子供たちに .....	日比野 淳	81
------	----------------------------------	-------	----

## 発明と考案

I 111	平成 20 年登録の当社主要特許 .....		82
-------	------------------------	--	----

## 公表資料

	論文・講演・資料 .....		85
--	----------------	--	----

## 総目次

	総目次 .....		89
--	-----------	--	----

# SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS

Vol. 50 No. 1, 2009

## CONTENTS

### Technical Paper

P736	Effects of Micro-Bubble on Erosion Corrosion of Copper Tubes in Hot-Water Supply System .....	Shinobu Suzuki Yutaka Yamada Kozo Kawano	1
P737	Study on the Behavior of Dissolved Gas and Prevention of Erosion Corrosion in Copper Pipes in the Circulation Type Hot Water Supply Piping Systems of Building Equipment .....	Toshihiro Yamate Yasukazu Okubo Yukio Omote Kozo Kawano Yutaka Yamada	6
P738	Evaluation of Prediction Method for Pressure Drop and Condensation Heat Transfer Coefficient Inside Internally Helical-Grooved Horizontal Tubes .....	Norihiro Inoue Aryo Aono Masao Goto Masaaki Sato Akihiro Kiyotani Naoe Sasaki	12
P739	Effect of $n$ value and dislocation structures on the elongation of aluminum alloy sheets .....	Hidetoshi Uchida Hideo Yoshida	18
P740	Effects of Pre-aging at Elevated Temperature and Natural Aging on the Bake Hardenability of Al-Mg-Si Alloy .....	Hidenori Hatta Shinichi Matsuda Hiroki Tanaka Hideo Yoshida	25
P741	Dissimilar Metals Joining of Aluminum Alloy and Steel Sheets by Friction Stir Spot Welding .....	Koji Tanaka Masaki Kumagai Hideo Yoshida	31
P742	Effect of Thickness of Filler on Corrosion Resistance of Brazing Sheet .....	Naoki Yamashita Yoshifusa Shoji	38

### Technical Review

R542	Technological Trend of High Efficiency Heat Transfer Tube for a Room Air Conditioner .....	Naoe Sasaki	45
R543	Texture Control of Aluminum Alloy Sheets by Isothermal Rolling .....	Hiroki Tanaka	49
R544	Development of High-Strength Aluminum for Forging Stocks Applied for Automotive Suspension .....	Shinichi Matsuda	56
R545	Review of Research & Development of Measuring & Instrument in SLM .....	Nobuyuki Takahashi	60
R546	Effect of Molecular Structure of Oil on the Film Thickness during Rolling .....	Takamichi Watanabe Yasuhiro Hosomi	69
R547	Effect of Oiliness Agent on Friction Property of DLC coating .....	Keiichiro Hatsuno Yasuhiro Hosomi	73

### New Products

R548	Extremely small cell Honeycomb Core - Fine Honeycomb - .....	Nobuhiko Ohtaki	78
------	--	-----------------	----

### Essay

R549	Learn a lot from iron. "Strike while the aluminum is also hot" .....	Hideo Yoshida	80
------	--	---------------	----

**Event Report**

R550 Message of the Technological Pleasure for Children ..... Jyun Hibino 81

**Invention and Device**

I 111 Main Patents Registered in 2008 ..... 82

**Distributed Data**

Published Papers and Presentations ..... 85

**General Contents**

General Contents ..... 89

# 給湯用銅管の潰食現象に及ぼす マイクロバブルの影響\*

鈴木 忍\*\* 山田 豊\*\*\*  
河野 浩三\*\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 1-5

## Effects of Micro-Bubble on Erosion Corrosion of Copper Tubes in Hot-Water Supply System

Shinobu Suzuki, Yutaka Yamada and Kozo Kawano

The results of Computational fluid dynamics (CFD) simulations and the observation of the flow pattern in the model plumbing equipment showed that the locus of the micro-bubbles affected the erosion corrosion of copper tube. Tap water containing the micro-bubble attacked copper tube and caused erosion corrosion for 3 months. Consequently, it could be considered that erosion corrosion of copper tube occurred and propagated when the protective film formed on the tubes surfaces were continuously broken by micro-bubbles attack.

### 1. 緒 言

強制循環式給湯システムの銅配管に発生する潰食現象に関してこれまでに多くの研究<sup>1~6)</sup>がなされている。著者らは、銅管の潰食は給湯水中の溶存酸素濃度が給水中のそれより高い場合に発生しやすいことを報告し<sup>7,8)</sup>、潰食は過飽和溶存空気の影響が大きいことを示した。すなわち、過飽和溶存空気が管内の圧力変化によって気泡化し、発生した気泡による皮膜破壊が潰食の主要因と推定された。このことから、十分な脱気は銅管の潰食抑制に有効と考えられ、実機強制循環式給湯システムへの気水分離機設置によって溶存空気を除去することで潰食の発生あるいは進行が抑制できることを示した<sup>7)</sup>。しかしながら、潰食の主因とみなされる気泡の挙動について、これまで詳細に検討された報告は見当たらない。

本研究では、CFD (Computational fluid dynamics) 解析および通湯試験を実施して気泡径の違いと潰食発生の関係を調査した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 CFD解析

CFD解析には市販ソフトのFLUENT ver. 6.3を用いた。外径22.22mm、肉厚0.81mmの銅管とこれに適合するエルボ継手を配管した内部を計算領域とし、これを約15万メッシュに分割した。計算では液流れ方向に沿った配管中心面について対称とし、液流れを連続相、気泡を分散相として取り扱った。液速度分布の計算は、非圧縮性粘性流体の基礎方程式として質量保存の式<sup>9)</sup>および運動量保存の式<sup>9)</sup>を用いた。本計算条件(後述)による配管内のレイノルズ数は64,640であり、液流れは乱流と見込まれたので、乱流モデルとして標準k-εモデル<sup>10)</sup>を適用した。

気泡の軌跡の計算は次のように行った。まず、気泡の位置および速度を設定し、気泡が存在する位置での液速度を用いて流体抵抗力を求める。次いで、圧力勾配力、重力、浮力、付加質量力を考慮した気泡の運動方程式を、気泡径をパラメーターとしてEuler-Lagrange法<sup>10)</sup>によって計算した。ただし、気泡の存在比(ボイド率)は極めて低いので、気泡の存在は液速度場に影響を与えないとした。液に対する気泡の追従性が高いことや、微細気泡の内圧は高いので、気泡の合一や分裂は起こりにくく、気泡同士の相互作用は無視できるとした。以上の仮

\* 銅と銅合金, 48 (2009), 165 に主要部を掲載

\*\* 研究開発センター 第四部

\*\*\* 元住友軽金属工業(株) 研究開発センター 第四部, 工学博士

定の下に、配管壁に衝突するまでの気泡の軌跡を計算した。計算条件は以下の通りである。

液：水 (333K)，液粘度： $0.47 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ ，液密度： $983.2 \text{kg/m}^3$ ，入口における平均液速度： $1.5 \text{m/s}$ ，出口圧力： $0 \text{Pa-gauge}$ ，気体：空気，気体密度： $1.204 \text{kg/m}^3$ ，気泡径： $20 \mu\text{m} \sim 2 \text{mm}$ ，導入気泡数：1,000 個，気泡導入箇所：配管の入口

## 2.2 通湯試験

Fig. 1 に通湯試験装置の概略図を示す。通湯試験装置は高架水槽，加熱式密閉型貯湯槽，給水管，往管，還管，膨張管，供試配管部および管内確認用のポリカーボネート製透明配管から構成されている。高架水槽および加熱式密閉型貯湯槽はいずれも  $0.5 \text{m}^3$  の容積を有し，高架水槽は貯湯槽よりも  $15 \text{m}$  高所に設置した。供試材には外径  $22.22 \text{mm}$ ，肉厚  $0.81 \text{mm}$  のリン脱酸銅管硬質材を用い，試験水として名古屋市水道水を使用した。Table 1 に試験水の水質分析結果の一例を示す。

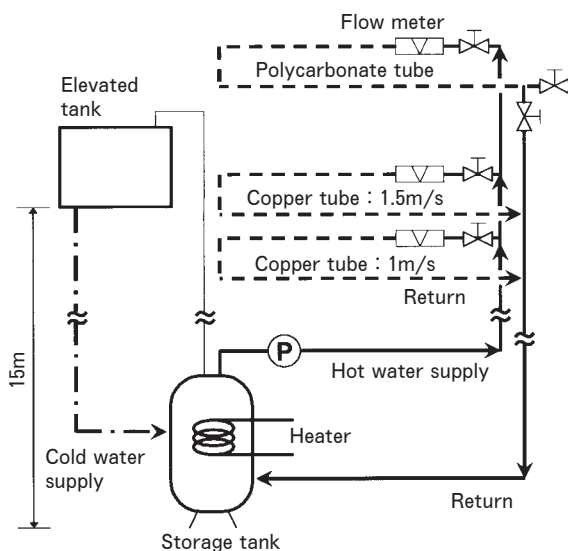


Fig. 1 Schematic diagram of model plumbing system of hot water forced circulating.

試験では，試験水を貯湯槽内で  $333 \text{K}$  に加温し，これを往管，供試配管部，還管の順にポンプにて循環させた。供試配管部では試験水が 2 系統に分配され，各供試管入側のバルブによって流速を  $1 \text{m/s}$  および  $1.5 \text{m/s}$  に調整した。また，管内圧力はポンプの揚程が  $40 \text{m}$  であることから  $0.4 \text{MPa}$  程度であった。一方，溶存空気の指標となる溶存酸素濃度は，試験期間を通して高架水槽内では  $7.5 \sim 8.4 \text{ppm}$ ，供試管出側給湯水では  $7.4 \sim 9.4 \text{ppm}$  であり，給湯水の方が高い傾向であった。これは，潰食が発生する強制循環式給湯システムでの傾向<sup>7)</sup>と同一であった。なお，溶存酸素の分析は JIS K 0101.24.2 に従ったウインクラージ化ナトリウム変法によって実施した。ポリカーボネート製透明配管にて管内の流動状態を確認するとともに，試験開始 6 ヶ月後の供試管の腐食状況を調査した。

## 3. 結 果

### 3.1 CFD 解析結果

Fig. 2 に下向きの液流れに対する配管中心面の液速度ベクトルを示す。計算の結果，エルボ継手の内 R 部の液速度は  $2.4 \text{m/s}$  と算出されたのに対して外 R 部のそれは  $0.2 \text{m/s}$  と低くなった。また，内 R 部の高液速度部分

Table 1 Typical analysis of test water.

pH	6.8
Conductivity ( $\mu\text{S/cm}$ )	81
Total hardness ( $\text{CaCO}_3 \text{mg/L}$ )	20
Ca hardness ( $\text{CaCO}_3 \text{mg/L}$ )	16.1
M alkalinity ( $\text{CaCO}_3 \text{mg/L}$ )	17.3
$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	8
$\text{Cl}^-$ (mg/L)	7
$\text{SiO}_2$ (mg/L)	9.8

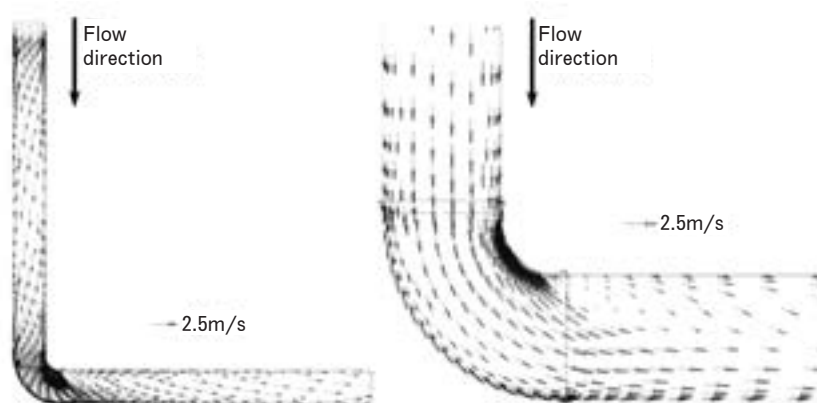


Fig. 2 Velocity vector of liquid for 20A downward pipe system, temp. :  $333 \text{K}$ , flow rate :  $1.5 \text{m/s}$ , pressure of outlet :  $0 \text{Pa-gauge}$ .

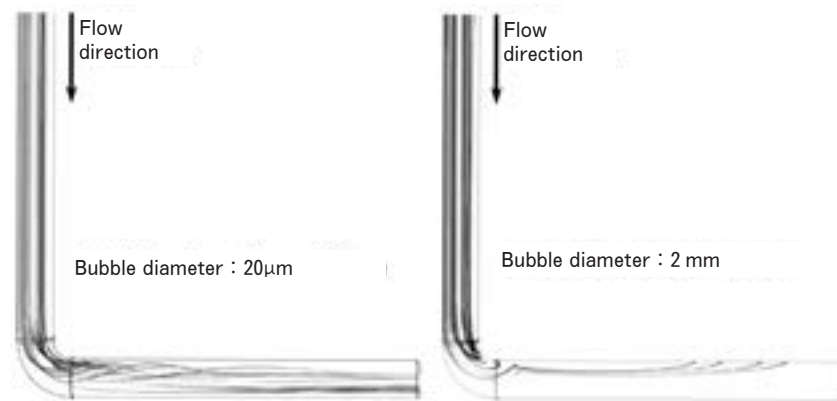


Fig. 3 Bubble trajectories for 20A downward pipe system, temp. : 333K, flow rate : 1.5m/s, pressure of outlet : 0 Pa-gauge.

の先では急激に液速度が低下した。次に、Fig. 3に、この液速度場に径の異なる気泡を導入した場合の気泡軌跡を示す。なお、気泡径は $20\mu\text{m}$ ～ $2\text{mm}$ まで変えて計算したが、ここでは微細気泡（以後、本報ではマイクロバブルと称す）、粗大気泡（以後、本報ではミリバブルと称す）の代表として、それぞれ $20\mu\text{m}$ と $2\text{mm}$ の気泡径による軌跡を示した。マイクロバブルは、管内を垂直に降下し、その多くがエルボ継手内R側へ流れた。そして、エルボ継手下流側近傍の配管に接近した後、下流側直管にて配管全体に広がって流れた。一方、ミリバブルではエルボ継手まではマイクロバブルと同様の流れを示したが、エルボ継手下流側の直管部では配管の上部に気泡が集積して流れる挙動が示された。なお、マイクロバブルの軌跡は $200\mu\text{m}$ の気泡径まで同様であった。

### 3.2 通湯試験結果

Fig. 4に試験開始6ヵ月後の各供試材の内面状況を示す。いずれの供試材もエルボ継手下流側を境界として内面変色の差異が観察された。すなわち、同位置より上流側の配管およびエルボ継手ではほぼ全面で黄土色のスケールが見受けられ、下流側の配管では黒色のスケールが観察された。この様相の差異の調査としてスケール厚さを確認した。Fig. 5に流速 $1.5\text{m/s}$ 供試材の各位置におけるスケール厚さを示す。エルボ継手上流側配管、エルボ継手ならびにエルボ継手下流側配管の一部に見られる黄土色部のスケール厚さは $15\mu\text{m}$ 以上であった。一方、エルボ継手下流側配管の黒色部のスケール厚さは $6\mu\text{m}$ 以下と黄土色部より薄かった。なお、スケールの成分は、X線回折分析ならびに赤外分光分析によって、黄土色部がオルトケイ酸銅、黒茶色部が酸化銅、亜酸化銅と同定された。

透明配管による管内流動状態の観察では、透明配管出側のバルブを循環から放流に切り替えると、管内の圧力が低下してミクロンサイズのマイクロバブルが発生し、管内が白濁した。また、白濁水には若干のミリサイズのミリバブルも混在していた。なお、管内で観察されたマ

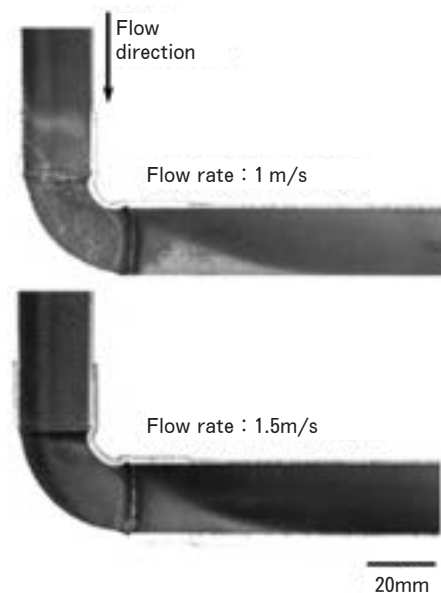


Fig. 4 Inner surface of test tubes.

イクロバブルは気泡の上昇速度から $60\sim 100\mu\text{m}$ と推定された。Fig. 6に流速 $1.5\text{m/s}$ における $90^\circ$ エルボ継手近傍での異なる気泡径による特徴的な気泡軌跡の目視確認結果の概略図を示す。流れ方向は下向きである。マイクロバブルは、管内を下向きに流れ、その一部はエルボ継手内R部に漸近した。そして、 $50\sim 100\text{mm}$ 程度の範囲で渦を巻くような乱れた流動を示し、その後は乱れが治まって管内に広がって流れた。一方、ミリバブルは、マイクロバブルと同様に管内を下向きに流れ、その後のエルボ継手下流では合一して管中央部から上部を線上に流れた。これらの気泡軌跡はCFD解析結果と概ね一致するものであった。

## 4. 考 察

### 4.1 潰食発生の要因

通湯試験における流速 $1\text{m/s}$ および $1.5\text{m/s}$ 供試材で



は潰食の発生は認められなかったが、供試材各部でのスケール厚さが異なった。Fig. 7 に漏洩事故の多かったエルボ継手近傍での内面状況の一例を示す。通湯試験供試材では、潰食発生事例の潰食発生部位と同位置にてスケール厚さが3～6 $\mu\text{m}$ と薄く、これは、潰食の兆候を示唆するものと推定された。一方、通湯試験での管内の流動状態の観察において、エルボ継手下流側では特異的な状況が観察され、マイクロバブルは同位置にて乱れた流動状態を示した。CFD解析における液速度分布によれば、エルボ下流側では液速度に急激な低下が確認されており、この部分では液流れに乱れが発生していることを示唆していた。すなわち、マイクロバブルでは浮力より流体抵抗力が支配的となり、その軌跡は液流れの影響を強く受けるため、エルボ継手下流側にて乱れた流動状態が示されたものと考えられる。

以上のことから、マイクロバブルではエルボ継手下流側での液の乱れに従って同位置での配管管壁への衝突頻度も多いものと推測され、潰食発生に対して大きな要因

であることが伺われた。さらに、潰食発生事例では縦管、横引管の配管設置方向とは無関係に、Fig. 7 に示した腐食発生状況と同形態での腐食がエルボ継手下流側配管で観察されている。潰食の発生頻度の高い20Aや25A等の細径の銅管<sup>11,12)</sup>では、CFD解析による液速度分布は配管設置方向とは無関係に同一であるため、マイクロバブルの軌跡も配管の設置方向に寄らず同様の傾向を示すものと考えられる。このこともマイクロバブルが潰食発生に関与している裏付けと考えられた。

#### 4.2 潰食発生に及ぼすマイクロバブルの影響

潰食発生に及ぼすマイクロバブルの影響を検証するため、孔径2mmのノズルから噴出させたマイクロバブルを含有するあるいは含有しないジェット流を銅管表面に衝突させる試験（以後、ジェット試験）を、名古屋市水道水を使用し、液温328K、流速10m/sで3ヵ月間行った。Fig. 8 に試験後の供試材の内面および断面状況を示す。マイクロバブルを含有するジェット流では黒色の内表面の中に銅色の部位が観察され、同部位の断面では潰

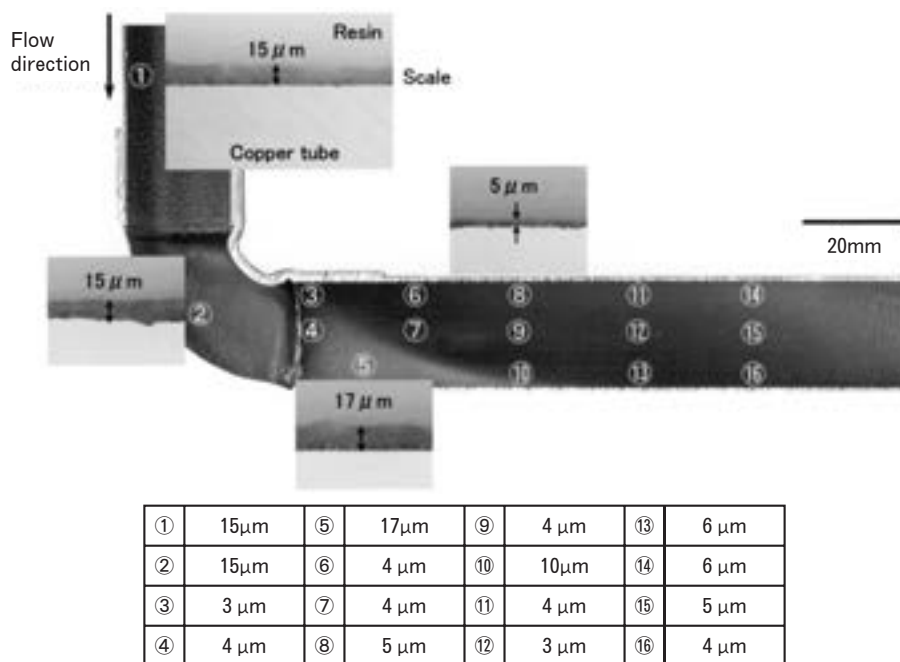


Fig. 5 Thickness of scale on inner surface of test tube at flow rate of 1.5m/s.



Fig. 6 Typical illustration of bubbles flow nearby elbow in the transparent tube at flow rate of 1.5m/s.

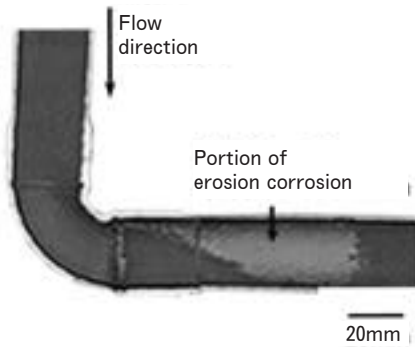


Fig. 7 Typical erosion corrosion of copper tube nearby elbow.

食が確認された。一方、マイクロバブルを含有しない場合には若干表面が変色している程度であり、断面観察からも潰食の兆候は認められなかった。これらの結果から、潰食発生に対してはマイクロバブルの影響が強いものと考えられた。なお、ジェット試験においてマイクロバブルを含有しない場合の流体せん断応力は 271Pa であり、潰食が頻発する細径銅管のその 15 倍以上である<sup>12)</sup>。このことも、潰食の主要因が、流体せん断応力、すなわち、流速でないことを示している。

#### 4.3 潰食発生メカニズム

強制循環式給湯システムにおいて、給湯水の溶存空気が給水のそれより多い場合、使用環境により配管内に圧力変化が生じてマイクロバブルが発生する。気泡の内外圧差は気泡径に反比例し<sup>12)</sup>、マイクロバブルでは内圧は高くして気泡同士の合一や破泡も少ないため、気泡の状態で維持される。潰食は、このマイクロバブルが管内の流動状態に従って管壁へ衝突し、酸化皮膜やスケールを継続的に破壊して発生、進行するものと考えられた。なお、流体力学的解析や通湯試験（管内圧力 0.4MPa）の管内流動状態の観察<sup>12)</sup>からは、マイクロバブルの発生はエルボ継手での圧力差に起因する可能性は低いものとみなされた。さらに、マイクロバブルによる酸化皮膜およびスケールの破壊メカニズムが、気泡そのものによるものか、あるいは気泡破壊時の圧力伝播<sup>13,14)</sup>に起因するものであるかは今後の検証が必要である。

## 5. 結 言

給湯用銅管の潰食発生に関して、CFD 解析によって気泡軌跡を計算し、通湯試験による管内流動状態の観察ならびに腐食状況を調査して潰食現象に及ぼす気泡の影響を調べ、以下の結論を得た。

- (1) ミクロンサイズの微細気泡（マイクロバブル）はエルボ継手下流側にて特異的な流動を示すため、管壁への衝突頻度が高い。
- (2) マイクロバブルを含む水流にて潰食が再現された。
- (3) 給湯用銅管の潰食は、マイクロバブルが管内流動

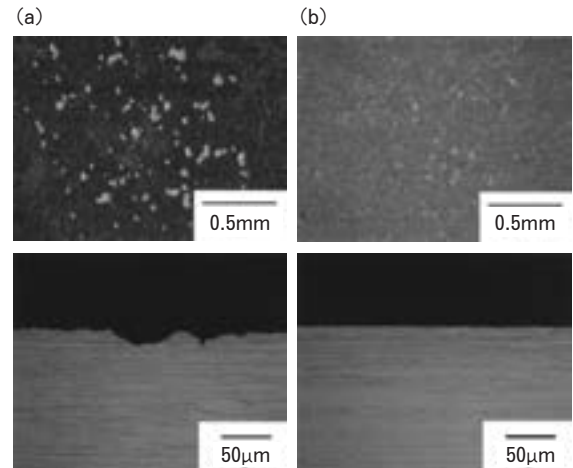


Fig. 8 Inner surface and cross section of test tubes after 3 months Jet test in velocity of 10m/s, (a) with micro-bubbles, (b) without micro-bubbles.

状態によって管壁へ衝突し、酸化皮膜、スケールが継続的に破壊されて発生、進行するものと推定された。

## 6. 謝 辞

流体力学的解析の実施にあたり、名古屋大学大学院工学研究科・坂東芳行元准教授、安田啓司准教授ならびに同研究室の学生の方々のご協力に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) M. F. Obrecht : Corrosion, **18** (1962), 189.
- 2) 佐藤史郎, 匂坂喜代治 : 住友軽金属技報, **12** (1971), 231.
- 3) L. Knutsson, E. Mattsson and B. E. Ramberg : Br. Corros. J., **7** (1972), 208.
- 4) 佐藤史郎, 永田公二, 下野三樹雄 : 伸銅技術研究会誌, **19** (1980), 50.
- 5) H. Yamamoto and H. Kunieda : Proceeding of the International Symposium on Corrosion of Copper and Copper Alloy in Building, Tokyo (1982), 146.
- 6) (社)日本銅センター建築用銅管腐食対策委員会 : 建築配管用銅管腐食対策指針 (1987), 14.
- 7) 河野浩三, 山田 豊, 中野 稔 : 銅と銅合金, **46** (2007), 212.
- 8) 山手利博, 大久保泰和, 表 幸雄, 山田 豊, 河野浩三, 木村隆則 : 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (2008), 753.
- 9) R. B. Bird, W. E. Stewart and E. N. Lightfoot : "Transport Phenomena", John Wiley & Sons (1960), 83.
- 10) FLUENT 6.3 User's guide, Fluent Inc (2006).
- 11) 山田 豊, 河野浩三, 渥美哲郎 : 伸銅技術研究会誌, **36** (1997), 154.
- 12) 鈴木 忍, 山田 豊, 河野浩三 : 材料と環境, **58** (2009), 99.
- 13) 矢部 彰, 後藤瑞希 : 特開 2004-121962A.
- 14) 矢部 彰, 森松達昌 : 伝熱, **43** (2004), 16.

# 循環式給湯配管システムにおける 溶存気体の挙動と銅管の潰食防止に関する研究\*

山 手 利 博\*\*      大久保 泰 和\*\*\*  
表     幸 雄\*\*\*      河 野 浩 三\*\*\*\*  
山 田     豊\*\*\*\*\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 6-11

## Study on the Behavior of Dissolved Gas and Prevention of Erosion Corrosion in Copper Pipes in the Circulation Type Hot Water Supply Piping Systems of Building Equipment

Toshihiro Yamate, Yasukazu Okubo, Yukio Omote,  
Kozo Kawano and Yutaka Yamada

It has been envisaged that the action of the micro bubbles in the hot water could cause the erosion corrosion in copper pipes in the circulation type of hot water supply system. Keeping this in view, we investigated several buildings about the detail of the circulation systems in each building, the history of occurrence of erosion corrosion in copper pipes, the dissolved oxygen concentration and cloudiness in hot water in the piping system. In addition, we made a loop circulation working using experimental equipment in order to clarify and simulate the process and condition of micro bubbles generation in the closed type hot water piping system.

From the result of the building investigation, it was shown that the erosion corrosion in copper pipes occurred only in the closed type hot water supply piping system, and also was suggested that the head of circulation pump could be strongly involved in the occurrence of erosion corrosion in copper pipes. According to the outcome of the loop circulation working, it was suggested that the existence of pressure difference in the pipe under flowing hot water could generate the micro bubbles on the downstream side of valve and around pipe connections such as elbows.

### 1. 緒 言

銅管は給湯配管の主要材料として使用されて来たが、稀に Fig. 1 に示すような腐食問題を発生することがある<sup>1~3)</sup>。その中で、潰食 (erosion corrosion) は循環

式給湯銅管に発生する代表的な腐食現象で、Fig. 2 に示すように配管の曲がりやバルブなどの下流側で発生し、局部的に馬蹄形あるいは波状で、酸化皮膜がないかあるいは非常に薄い侵食面を呈する。潰食は孔食に比べて水質との関連が少なく、これまでは流速が高い場合に曲がりや継手の下流側で発生するキャビテーションや乱流の増長が原因と考えられて来た。潰食防止のため一般的に管内流速を 1.2 m/s 以下にするように設計されているが、設計条件以下の流速でも潰食が発生している。この理由として、給湯配管システムの構造が指摘され、配管内で発生する微細な気泡の機械的作用が影響する可能性が示

\* 平成 20 年度 空気調和・衛生工学会 発表, 「銅と銅合金」第 48 巻に主要部を掲載

\*\* ㈱竹中工務店 技術研究所

\*\*\* ㈱竹中工務店 設備部

\*\*\*\* 住友軽金属工業(株) 研究開発センター

\*\*\*\*\* 元住友軽金属工業(株) 研究開発センター

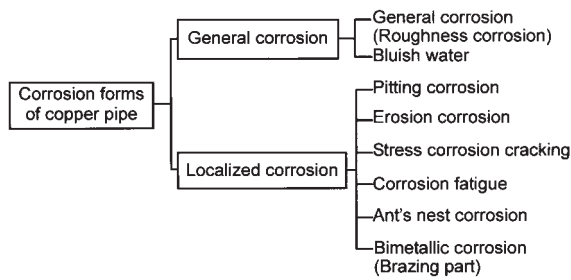


Fig. 1 Typical corrosion forms of copper.<sup>3)</sup>

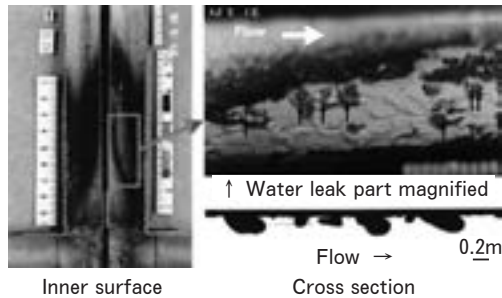


Fig. 2 Inner surface and cross section of hot water copper pipe in which erosion corrosion has occurred after 13.3 years service.

された<sup>4)</sup>。しかし、その気泡がどのような状況で発生するのかについては必ずしも明確でなかった。そこで改めて建物の給湯配管システムや水質について調査を行い、過去の潰食発生事例と合わせて微細気泡発生に関する要因について検討した。また、循環式給湯配管システムを模擬したループ装置を組み立て、微細気泡の発生に関する実験を行った。その結果、銅管の潰食発生は貯湯槽が密閉となっている密閉型循環式給湯配管システム（以下密閉型システム）に集中し、貯湯槽が大気に開放されている開放型循環式給湯配管システム（以下開放型システム）ではほとんどみられないこと、気泡の発生は給湯栓の開放により管内に圧力差が生じたときにバルブの下流側で発生することなどが明らかになった。以下に建物の循環式給湯配管システムの実態調査と微細気泡の発生に関する実験の概要および結果について報告する。

## 2. 循環式給湯配管システムの実態調査

### 2.1 調査方法

これまでに調べた潰食の事例および新たに銅管を使用した循環式給湯配管システムの建物における潰食の発生経歴と循環ポンプの揚程、流量および給水と給湯水の溶存酸素濃度などについて調査を行った。また、現地では、配管システム、気水分離器の取り付け位置、給湯水の白濁状態の観察および給水と給湯水の採水などを行った。溶存酸素濃度の分析については現地で試薬（アルカリ性ヨウ化カリウム KI、硫酸マンガン  $MnSO_4$ ）を加え溶存酸素を固定したうえで持ち帰り、JIS K0101 24.2 ウィ

ンクラーアジ化ナトリウム変法によって分析した。

### 2.2 調査結果と考察

銅管の潰食発生経歴と循環ポンプの揚程、流量および給湯水と給水との溶存酸素濃度差などを Table 1 に示す。事例 No. 1～No.20 は密閉型システムで No.20 には給湯用スプレー式脱気器が設置されている。No.21 のみ開放型システムである。Table 1 によれば、潰食は全て密閉型システムにおいて発生しており、密閉型システムではほとんどの給湯水において白濁がみられその状況は低層階ほど顕著であった。なお、No.1～No.5、No.7～No.9 については白濁状態の確認を行わなかった。一方、開放型システムの工場で 40 年使用された銅管 (No.21) ならびに密閉型システムでも給湯用スプレー式脱気器が組み込まれたホテルで 19 年使用された銅管 (No.20) では、循環ポンプ 2 台が同時運転されていたが潰食は発生していなかった。また、密閉型システムで給湯水の溶存酸素濃度が給水に比べて高い場合 (No.1～No.9) に潰食が発生していた。密閉型システムにおける銅管の潰食発生と給水・給湯水の溶存酸素濃度の相関を Fig. 3 に示す。Fig. 3 によれば、潰食は給湯水の溶存酸素濃度が給水に比べて高い場合に発生する傾向がみられる。このことから、潰食発生の要因として以下のようなことがいえる。溶存酸素濃度が高いことは溶存空気濃度が高いことを示唆しており、減圧部において気泡が発生しやすいと考えられる。なお、溶存空気の指標として溶存酸素を採用したが、空気成分において窒素/酸素=約 4 で Table 2 に示すように窒素の溶解度は酸素の約 1/2 を考慮すれば、発生する微細気泡成分は酸素よりも窒素が多く、溶存空気濃度は指標とした溶存酸素濃度よりも高いこととなる。給湯水の白濁は微細な気泡による懸濁現象であり、Fig. 4 に示すように微細気泡は時間とともに上昇し水面から大気中に放出されるため、容器内の給湯水は下部から透明になる。低層階で給湯水の白濁が上層階に比べて顕在化するの、低層階では位置水頭が大きいため管内圧が高く給湯栓で開放された場合、高い過飽和状態の溶存空気が気泡化するためと考えられる。管内で発生した気泡は、銅管表面の酸化皮膜を機械的に剥離させ、潰食発生部においてみられる特異な侵食面の形成に関与していると考えられる。

循環式給湯配管システムにおける銅管の潰食発生とポンプ揚程とポンプ流量の相関を Fig. 5 に示す。Fig. 5 によれば、同じ流量においてもポンプ揚程が高い場合に潰食が発生している。これは、ポンプ揚程が高い場合、管内圧が高くなるため過飽和溶存空気濃度が高く、気泡が発生しやすいためと考えられる。ポンプ揚程が高くて、開放型システムや給湯用脱気器が装備されている場合には、給湯水の溶存酸素濃度が給水に比べて低く銅管に潰食は発生していない。これは開放型の貯湯槽や給湯用脱気器により給湯水中の溶存空気が大気中に放出されるためと考えられる。

**Table 1** Investigation results concerning to the occurrences of erosion corrosion in copper pipes and the details of equipment in the hot water supply piping systems.

Erosion corrosion occurred								No erosion corrosion							
No.	Kind of building	Completion year and floor height	Service period until leaking (Years)	Head of circulating pump (m)	Rated flow quantity of circulating pump (ℓ/min)	Defference of dissolved oxygen concentration between tap water and hot water (mg/ℓ)	State of cloudiness of hot water	No.	Kind of building	Completion year and floor height	Service period until leaking (Years)	Head of circulating pump (m)	Rated flow quantity of circulating pump (ℓ/min)	Defference of dissolved oxygen concentration between tap water and hot water (mg/ℓ)	State of cloudiness of hot water
1	Hotel	1999	7.6	5	52	1.1	—	10	Hotel	1998 B1F10P1	8.4	5	20	-1.1	cloudiness
2	Hotel	2001	6	6.5	20	2.6	—	11	Hotel	1998 B1F10P1	8.4	4	20	-0.6	cloudiness
3	Hotel	2005	1.5	18.2	150	1.8	—	12	Hotel	1998 B1F10P1	8.4	5	25	-1.5	cloudiness
4	Hotel	—	—	11 (2units)	40	0.2	—	13	Hotel	1972 B4F24P2	35	6	200	-1.4	cloudiness or transparent
5	Hotel	1999	4.3	10 (2units)	30	1.9	—	14	Hotel	1972 B4F24P2	35	6	200	-0.7	cloudiness or cloudiness a little
6	Hotel	1997	10	9.1 (2units)	20	0.1	cloudiness	15	Hotel	1972 B4F24P2	35	6	200	-2.2	cloudiness
7	Hotel	1996	11	22	310	1.5	—	16	Hospital	2006 B1F4P1	1	5	50	-1.2	cloudiness
8	Hospital	— F3	—	14.5	90	0.6	—	17	Hospital	2006 B1F4P1	1	5	50	1.2	cloudiness
9	Factory	1988	7	19	120	0.2	—	18	Hospital	2002 B1F8P1	5	5	100	0.9	cloudiness
								19	Hospital	2002 B1F4P1	5	4	60	-0.4	cloudiness or cloudiness a little
								20	Hotel	1988	19	15	50	-1.5	transparent
								21	Factory	1967	40	19	120	-2.2	transparent

No.1~No.20 have hot water storage tanks of closed type and No.21 have a hot water storage tank of open type.

No.20 have a deaerator of spray system.

Difference of dissolved oxygen concentration (DO) was calculated by DO in hot water - DO in tap water.

— : non-confirmation

循環式給湯配管システムにおける銅管の潰食発生とポンプ揚程および給湯水と給水との溶存酸素濃度差（給湯水－給水）の相関を Fig. 6 に示す。Fig. 6 によれば、ポンプ揚程が高い場合、給湯水の溶存酸素濃度が給水に比べて高くなる傾向が示され、多くの事例において銅管に潰食が発生している。しかし、密閉型システムで給湯水の溶存酸素濃度が給水に比べて高い場合（Table 1 の No.17, No.18）においても、ポンプ揚程が5 m の場合には3件中2件で銅管に潰食は発生していない。ポンプ

揚程が高い場合、例えば低負荷時等には、使用条件によっては管内流速が過大になり、潰食発生の要因になる可能性が考えられる。今回の調査結果において、ポンプ揚程5 m は潰食防止上の一つの指標になるが、この点についてはさらに検討を要する。

既述のように、潰食部の内面は酸化物が極めて薄くて裸面に近く、馬蹄形状のピットが形成される特徴を有することから、機械的な作用が大きく関与していると考えられる。そしてその機械的作用の主因が微細気泡と考え

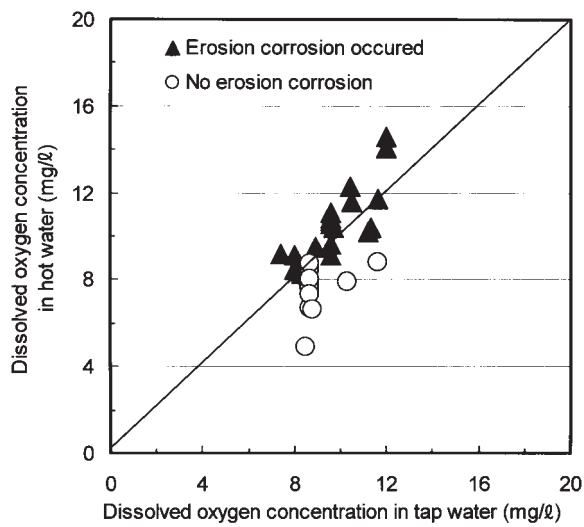


Fig. 3 Occurrence of erosion corrosion in copper pipes in correlation with dissolved oxygen concentration in both hot and tap water in closed type hot water supply piping system.

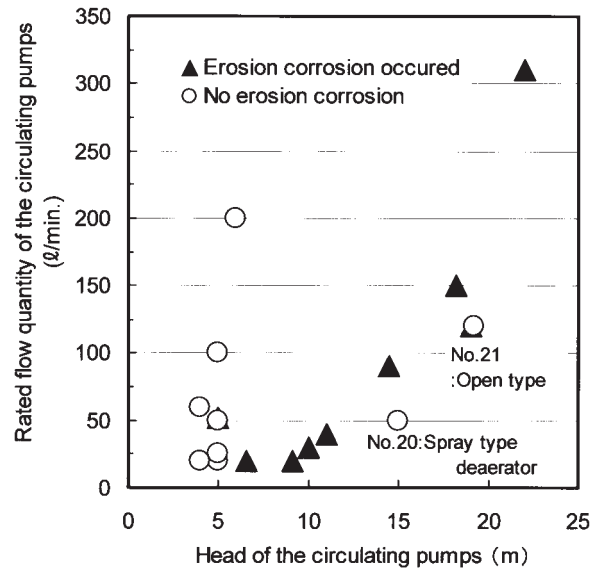
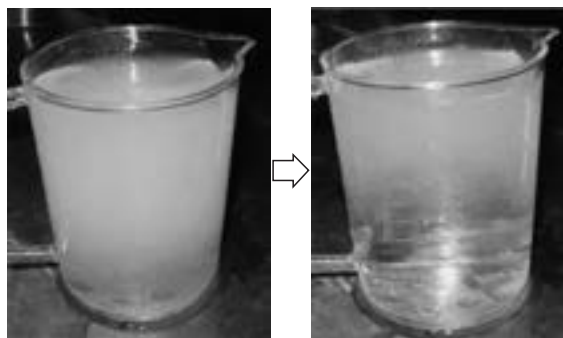


Fig. 5 Occurrence of erosion corrosion in copper pipes in correlation with the head and rated flow quantity of the circulating pumps in hot water supply piping system.



(a) Just after sampling (b) After a few seconds settles

Fig. 4 State of cloudiness in hot water. Hot water has immediately become transparent from below of the cup after sampling.

Table 2 Solubility of gases to water (ml/ml, 20°C)

Air	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>
0.02	0.016	0.031	0.88	2.3

られてきた。しかしながら、その微細気泡がどのような条件で発生しどのように作用するかについては必ずしも明確ではなかった。

### 3. 微細気泡の発生条件に関する実験

上述の調査結果から、給湯配管内における微細気泡が潰食の発生に関与していると考えられた。そこで、実際の密閉型循環式給湯配管システムを模擬したループ実験装置を組み立て、微細気泡の発生に関する実験を行った。

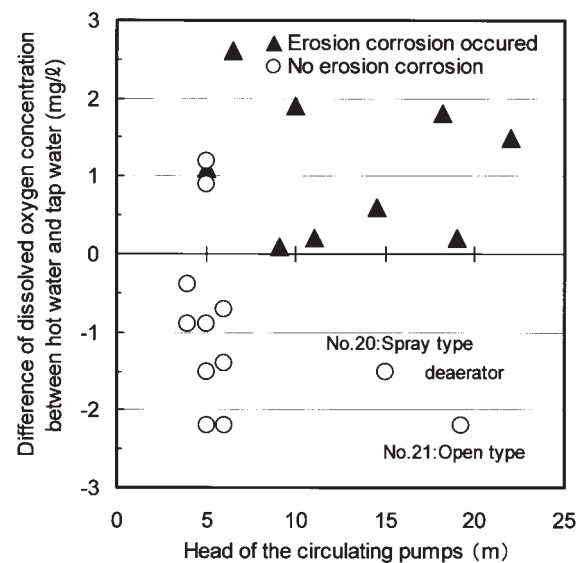


Fig. 6 Occurrence of erosion corrosion in copper pipes in correlation with the head of circulating pumps and difference of dissolved oxygen concentration between the hot water and tap water.

### 3.1 実験装置と実験方法

ループ実験装置の概略を Fig. 7 に示す。主配管は 40A とし、これに 20A の枝配管を設け、流速や管内圧力などの条件を変えて気泡の発生条件について検討した。実際の循環式給湯配管システムにおいてバルブの下流側に潰食の発生がみられることから、バルブの直下を透明のポリカーボネート管 (20A×0.5 m) として微細気泡の発生状態を観察した。観察部以外の配管材料は銅管 (保温)、バルブはステンレス鋼鋳鋼、循環ポンプは揚程

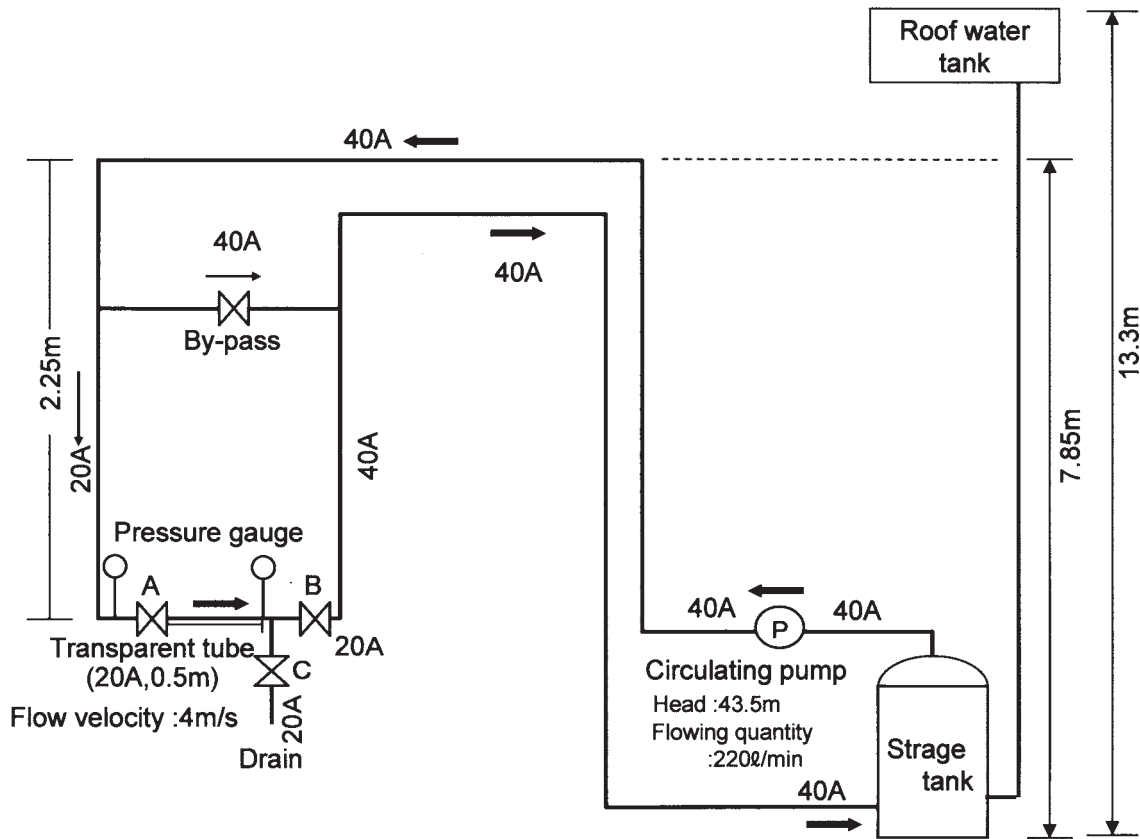


Fig. 7 Schematic illustration of the experimental equipment that simulates closed type of hot water supply piping system.

43.5m で最大流量 220  $\ell$ /min のステンレス製とし、名古屋市の水道水を 50~60°C で加熱循環した。管内圧の測定は Fig. 7 に示すようにバルブの上流側隣接部とバルブ下流側透明管の直下で行った。

### 3.2 実験結果と考察

配管内面での微細気泡の発生状況を Fig. 8 に示す。バルブ A の上流側と下流側の圧力が等しいときには流速が最大約 4 m/s であり、バルブ A を絞ってもバルブ下流側の透明管部分において Fig. 8 (A) に示すように白濁すなわち微細気泡の発生はみられなかった。しかし、流速約 4 m/s としたままバルブ A に続く透明管の下流側に取り付けられた排水管のバルブ C を開放し、バルブ B を閉じて排水すると、バルブ A の上流側では 0.2MPa が維持されるものの、同下流側の管内圧が 0 MPa に下がり、バルブ A の上流側と 0.2MPa の圧力差が生じた。その状態で、バルブ A を徐々に絞って流量を減じると、バルブの下流側の透明管部分で Fig. 8 (B) のような白濁がみられるようになった。バルブ A を起点とした微細な気泡の発生による白濁と考えられる。しかし、バルブ A をそのままの状態にして再び排水管のバルブ C を閉め、バルブ B を開けて循環通湯すると、透明管の下流側の圧力計も 0.2MPa になり、バルブ A 前後の圧力差はなくなって給湯水の白濁は消えた。



(a) The micro bubble has been generated.



(b) The micro bubble has been generated.

Fig. 8 State of micro bubbles in hot water supply pipe in the experimental equipment.

以上の実験結果から、実際の密閉型循環式給湯配管システムにおいても配管系の給湯栓が開放された場合には、吐出口付近の管内圧が下がって循環配管内部で圧力差が生じ、エルボやバルブなどの下流側で局所的な減圧部ができ、過飽和の溶存空気が微細な気泡に相変化するものと考えられた。

#### 4. ま と め

銅管を使用した循環式給湯配管システムにおける潰食発生や水質などの実態調査と、密閉型循環式給湯配管システムを模擬したループ実験装置により微細気泡の発生条件に関する実験を行った。調査結果および実験結果から得られた主な知見を以下に示す。

1) 銅管を使用した循環式給湯配管システムにおいて、潰食は密閉型システムで発生し、開放型システムではほとんど発生事例がみられない。

2) 密閉型循環式給湯配管システムでは給湯水の溶存酸素濃度が給水より高く、開放型では逆の傾向がみられる。このことは、密閉型の給湯水では開放型以上に過飽和の溶存空気が含まれることを示唆しており、配管系の減圧部において微細気泡が発生する原因になるものと考えられる。

3) 密閉型循環式給湯配管システムで給湯水の溶存酸素濃度が給水より高い場合に潰食が発生しているが、ポンプ揚程が5 m では潰食を発生していない事例がみられる。

4) 密閉型循環式給湯配管システム模擬装置による枝配管部を想定した実験において、流速約4 m/s でバルブ下流側を大気開放し、バルブ前後の圧力差を0.2MPa 生じさせて流量を制限した場合にバルブ下流側に微細気泡の発生（白濁）がみられた。枝配管系を密閉としバルブ前後に圧力差をほとんど生じさせない状態では、流量を制限しても白濁はみられなかった。

今後はさらに実態調査と調査結果の解析を進め、また、給湯配管内で発生する気泡の挙動について、シミュレーション<sup>5)</sup>などによる見地からも検討を進めて行く所存である。

#### 参 考 文 献

- 1) 山手利博：設備と管理, 42-12 (2006), 64.
- 2) 山手利博：設備と管理, 41-1 (2007), 58.
- 3) 山手利博：「第25回 HAT 建築設備セミナー」建築設備配管材料：腐食問題入門 (2004), 1.
- 4) 河野浩三, 山田 豊, 中野 稔：本誌, 48 (2007), 8.
- 5) 鈴木 忍, 山田 豊, 河野浩三, 坂東芳行, 安田啓司, 松岡 亮：腐食防食協会第54回材料と環境討論会講演集 (2007), 407.



# 水平内面溝付管内の圧力損失および 凝縮熱伝達係数の予測と検証\*

井上 順 広\*\*      青野 亜 良\*\*\*  
五島 正 雄\*\*\*\*      佐藤 全 秋\*\*\*\*\*  
清谷 明 弘\*\*\*\*\*      佐々木 直 栄\*\*\*\*\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 12-17

## Evaluation of Prediction Method for Pressure Drop and Condensation Heat Transfer Coefficient Inside Internally Helical-Grooved Horizontal Tubes

Norihiro Inoue, Aryo Aono, Masao Goto,  
Masaaki Sato, Akihiro Kiyotani and Naoe Sasaki

In this paper, the prediction methods of pressure drop of two-phase flow and condensation heat transfer coefficients, which were derived from the measured friction factor data in the single-phase flow experiments of fourteen kinds of internally helical-grooved tubes with 6.35mm o.d., were shown and the evaluation were made by the comparisons of the predicted values with experimental data measured by Haraguchi et al. for an internally helical-grooved tube and Miyara et al. for an internally herringbone-grooved tube. The results indicate that predicted values of pressure drop and condensation heat transfer coefficients agree with their measured data within 30% and proposed methods may be able to predict accurately for many kinds of internally grooved tubes.

### 1. 緒 言

家庭用空調機の熱交換器に使用されている内面溝付管は、製作技術の進展により多種多様な仕様が試作可能となっており、熱交換器で伝熱・圧力損失特性に優れ、冷暖房サイクル性能の向上に最適な溝付管を現在もなお様々な観点から模索中である。また、それにともない熱的設計において、多種多様な溝形状に対応可能な汎用性のある溝付管の圧力損失・熱伝達係数の予測式が求められている。

これまでに溝付管の凝縮熱伝達係数の予測については、

小山ら<sup>1)</sup>、鹿園ら<sup>2)</sup>、本田ら<sup>3)</sup>および李ら<sup>4)</sup>が詳細な研究を行っており、著者らもまた溝付管の摩擦係数を測定することによりそれらを予測できる方法<sup>5,6)</sup>を提案している。

本報では、外径 6.35mm の 14 種類の内面溝付管について単相圧力損失実験で得られた摩擦係数の予測式<sup>7)</sup>をもとに凝縮における気液二相流の圧力損失の予測値を示すと同時に、その予測値の妥当性を原口ら<sup>8)</sup>の螺旋溝付管で得られた凝縮実験データとの比較を行って検証した。

また、単相圧力損失実験で得られた摩擦係数の予測値をもとに凝縮熱伝達係数の予測値を示すと同時に、その予測値の妥当性を原口ら<sup>8)</sup>の螺旋溝付管、宮良ら<sup>9)</sup>の V3 溝付管で得られた凝縮実験データとの比較を行って検証した。

### 2. 予 測 方 法

#### 2.1 圧力損失の予測方法

水平管内気液二相流の全圧力損失  $\Delta P_T$  は次式で表さ

\* 銅と銅合金, 47-1 (2008), 232 に主要部掲載.  
\*\* 東京海洋大学 海洋工学部, 准教授, 工学博士  
\*\*\* 東京海洋大学 大学院  
\*\*\*\* 東京海洋大学 海洋工学部, 教授, 工学博士  
\*\*\*\*\* 東芝キャリア(株)  
\*\*\*\*\* 研究開発センター 第三部  
\*\*\*\*\* 研究開発センター 第三部, 工学博士

れる。

$$\Delta P_T = \Delta P_F + \Delta P_M \quad (1)$$

ここで、 $\Delta P_F$  は摩擦による圧力損失および  $\Delta P_M$  は運動量変化による圧力損失を表す。また、 $\Delta P_M$  は次式により求めることができる。

$$\Delta P_M = \Delta \left\{ \frac{G^2 x^2}{\xi \rho_V} + \frac{G^2 (1-x)^2}{(1-\xi) \rho_L} \right\} \quad (2)$$

ここで、 $G$  は質量速度、 $x$  は蒸気クオリティ、 $\rho$  は密度および添え字  $V, L$  は蒸気、液を表しており、 $\xi$  はボイド率で以下の Smith の式で求めることができる。

$$\xi = \left\{ 1 + \frac{\rho_V}{\rho_L} \left( \frac{1-x}{x} \right) \right. \\ \left. \times \left[ 0.4 \times 0.6 \sqrt{\left( \frac{\rho_L}{\rho_V} + 0.4 \frac{1-x}{x} \right) / \left( 1 + 0.4 \frac{1-x}{x} \right)} \right] \right\}^{-1} \quad (3)$$

摩擦による圧力損失  $\Delta P_F$  は次式の Lockhart-Martinelli のパラメータ  $x_u$  および  $\Phi_V, \Phi_L$ <sup>10)</sup> で相関することができる。

$$x_u = \{(1-x)/x\}^{0.9} (\rho_V/\rho_L)^{0.5} (\mu_L/\mu_V)^{0.1} \quad (4)$$

$$\Phi_V = \sqrt{\left( \frac{dP_F}{dz} \right) / \left( \frac{dP_V}{dz} \right)} \quad (5)$$

$$\Phi_L = \sqrt{\left( \frac{dP_F}{dz} \right) / \left( \frac{dP_L}{dz} \right)} \quad (6)$$

上式で、 $(dP_F/dz)$  が気液二相流における圧力損失であり、 $(dP_V/dz)$ 、 $(dP_L/dz)$  はそれぞれ気液二相流中の気相、液相成分のみが管内を満たして流れたと仮定したときの摩擦による圧力損失で、次式より求める。

$$(dP_V/dz) = 2f_V G^2 x^2 / (\rho_V d_i) \quad (7)$$

$$(dP_L/dz) = 2f_L G^2 (1-x)^2 / (\rho_L d_i) \quad (8)$$

ここで、 $f_V, f_L$  は気相、単相での管壁面との摩擦係数、 $d_i$  は管の最大内径を表している。

また、 $\Phi_V$  についての相関式<sup>5)</sup> は次式で表される。

$$\Phi_V = 1 + 1.64 x_u^{0.79} \quad (9)$$

$\Phi_L$  は、式 (9) を用いて  $x_u$  と  $\Phi_V$  の次の関係<sup>10)</sup> から求

めることができる。

$$\Phi_L = \Phi_V / x_u = x_u^{-1} + 1.64 x_u^{-0.21} \quad (10)$$

式 (8) 中の水平螺旋溝付管の摩擦係数  $f_L$ <sup>7)</sup> は次式より求める。

$$f_L = f_{fa} \eta^{0.8} (\cos \theta)^{-1.3} \{1 + (10.8 \cdot p/d_i)^{3.3}\} \\ (0.045 \leq p/d_i < 0.07) \quad (11)$$

ここで、 $f_{fa}$  は平滑管に対する Fanning の摩擦係数を表し、次式で表される。

$$f_{fa} = 0.046 Re^{-0.2} = 0.046 \{G(1-x)d_i/\mu_L\}^{-0.2} \quad (12)$$

また、式中の  $\eta$  は面積拡大率、 $\theta$  はリード角、 $p$  は次式で定義される溝ピッチをそれぞれ表している。

$$p = (d_i \pi / n) \cdot \cos \theta \quad (13)$$

ここで、 $n$  は溝の条数を表す。

以上により、液単相での水平螺旋溝付管の摩擦係数を予測式 (11) から求めることにより、凝縮における熱交換器内での気液二相流圧力損失を式 (6)、(8) および (10) を用いて予測することができる。

## 2.2 凝縮熱伝達係数の予測方法

著者らは、これまでに小山ら<sup>1)</sup> の溝付管内凝縮熱伝達の整理式を修正した螺旋溝付管と V3 溝付管に対する以下の実験式<sup>6)</sup> を提案している。

$$Nu = (Nu_F^2 + Nu_B^2)^{0.5} \quad (14)$$

ここで、 $Nu_F$  は強制対流凝縮項、 $Nu_B$  は自由対流凝縮項であり、それぞれ次式で表される。

螺旋溝付管に対して：

$$Nu_F = 0.743 \sqrt{f_L} \left( \frac{\Phi_V}{x_u} \right) \left( \frac{\mu_L}{\mu_V} \right)^{0.1} \left( \frac{x}{x-1} \right)^{0.1} Re_L^{0.7} \quad (15)$$

V3 溝付管に対して：

$$Nu_F = 2.34 \sqrt{f_L} \left( \frac{\Phi_V}{x_u} \right) \left( \frac{\mu_L}{\mu_V} \right)^{0.1} \left( \frac{x}{x-1} \right)^{0.1} Re_L^{0.62} \quad (16)$$

$$Nu_B = \frac{0.725}{\eta^{0.25}} H(\xi) \left( \frac{Ga Pr_L}{Ph_L} \right)^{0.25} \quad (17)$$

ここで、 $\mu$  は粘性係数、 $\eta$  は面積拡大率であり、 $Re_L$  および  $H(\xi)$  は以下の式で求める。

$$Re_L = \{G(1-x)d_i\} / \mu_L \quad (18)$$

$$H(\xi) = \xi + \{10(1-\xi)^{0.1} - 8\} \sqrt{\xi} (1 - \sqrt{\xi}) \quad (19)$$

また、式 (14) で求まるヌセルト数  $Nu$  は、

$$Nu = \alpha_{real} d_i / \lambda_L \quad (20)$$

式中の熱伝達係数  $\alpha_{real}$  は実面積基準の熱伝達係数である。従って、最大内径基準の熱伝達係数  $\alpha$  に変換するには面積拡大率  $\eta$  を用いて次式で求めることができる。

$$\alpha = \alpha_{real} \cdot \eta \quad (21)$$

強制対流凝縮項の式 (15) および (16) 中の水平溝付管の摩擦係数  $f_L$  は式 (11) ~ (13) より求めることができる。

以上により、単相での水平螺旋溝付管の摩擦係数を予測式 (11) から求めることにより、種々の条件における凝縮器内での熱伝達係数の予測ができる。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 圧力損失の予測結果

2.1 に示した予測方法に従って、冷媒質量速度  $200 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$ 、冷媒凝縮飽和温度を  $40^\circ\text{C}$  と条件を仮定し、Table 1 の内面溝付管について計算を行った。なお、計算の対象とした冷媒は R22 と R410A であり、熱物性および輸送的物性は Refprop Ver.7 を用いた。

Fig. 1 (a) および (b) は、それぞれ R22 および R410A の場合の凝縮における単位長さ当りの圧力損失を蒸気クオリティに対して示したものである。

#### 3.2 圧力損失の予測値の検証

圧力損失の予測値の妥当性を確認するため、原口ら<sup>8)</sup>の水平螺旋溝付管の実験で得られた圧力損失の実験値と著者らが提案した予測方法による計算値とを比較した。原口らの溝付管の詳細を Table 1 右欄に示す。Fig. 2 (a), (b) および (c) に、R22 のそれぞれの冷媒質量速度における圧力損失の予測値と実験値の比較結果を測定区間

Table 1 Details of internally grooved tubes.

Tube name	F	G	L	Haraguchi et al. 7)	Miyara et al. 8)
Refrigerants	—	—	—	R22, R123, R134a	R410A
Outside diameter, $d_o$ (mm)	6.35	6.35	6.35	10.0	7.00
Maximum inside diameter, $d_i$ (mm)	5.85	5.85	5.85	8.46	6.40
Wall thickness, $t_w$ (mm)	0.25	0.25	0.25	0.77	0.30
Fin height, $h$ (mm)	0.26	0.15	0.21	0.17	0.22
Helical angle, $\theta$ (degrees)	11	20	20	18	16
Groove number, $n$ (—)	45	65	55	60	55
Surface area enhancement, $\eta$ (—)	1.955	1.831	2.089	1.52	2.15
$p/d_i$ (—)	0.069	0.045	0.054	0.049	0.055

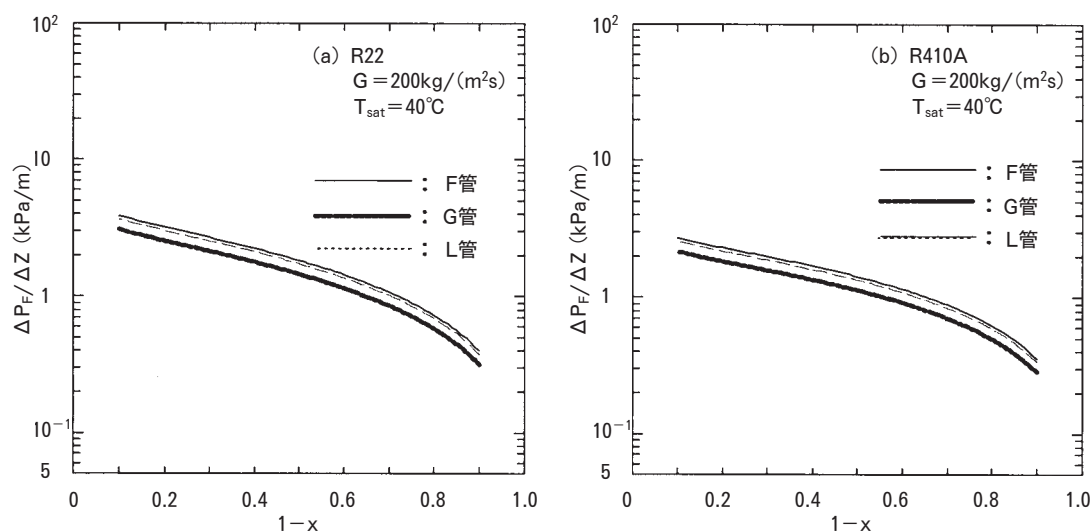


Fig. 1 Predicted values of pressure drop.

に対して示す。○印は原口らの実験値を表し、実線は予測値を表わす。圧力損失の予測値は実験値の傾向をよく表わしており、定量的にもよく一致していた。これにより、各種冷媒および溝仕様の水平螺旋溝付管内における圧力損失の予測値の妥当性が確認できた。

### 3.3 凝縮熱伝達係数の予測結果

2.2 に示した凝縮熱伝達係数の予測方法に従って、冷媒質量速度  $200 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$ 、冷媒凝縮飽和温度を  $40^\circ\text{C}$ 、伝熱管壁面と冷媒飽和温度との温度差を  $2\text{K}$  と仮定し、圧力損失と同様に Table 1 の内面溝付管について計算を行った。なお、計算の対象とした冷媒は R22 と R410A であり、熱物性および輸送的物性は Refprop Ver.7 を用いた。

Fig. 3 (a) および (b) は、それぞれ R22 および R410A の場合の凝縮熱伝達係数を蒸気クオリティに対して示したものである。圧力損失の予測では、F 管の圧力損失が最も大きい、凝縮熱伝達係数では L 管が最も大きいと予測された。また、R22 予測値の傾向と R410A 予測値の傾向では物性値の相違により若干伝熱性能に違いがあり、全体的に R410A は R22 に比べて大きい値を示した。なお、二相域以外の蒸気および液単相域については、文

献<sup>11)</sup>にて予測可能であろう。

### 3.4 凝縮熱伝達係数の予測値の検証

計算の妥当性を確認するため、原口ら<sup>8)</sup>の螺旋溝付管、宮良ら<sup>9)</sup>の V3 溝付管で得られた凝縮熱伝達係数の実験値と著者らが提案した予測方法による計算値を比較した。なお、宮良らの実験値との比較においては、伝熱管の摩擦係数については明確でないため、5 種類の V3 溝付管の中で著者ら<sup>6)</sup>が以前実験に使用した外径  $8 \text{ mm}$  の V3 溝付管の仕様と最も近い伝熱管を選択して比較を行った。その摩擦係数は著者らの実験から得られたレイノルズ数と摩擦係数の関係式を用いた。

Fig. 4 (a), (b) および (c) に、R22 のそれぞれの冷媒質量速度における凝縮熱伝達係数の予測値と実験値の相関を蒸気クオリティに対して示す。○印は原口らの実験値を表し、実線は予測値を表す。凝縮熱伝達係数の予測値は、低質量速度の場合に若干低めの値となったが、いずれの場合も傾向はよく一致していた。また、Fig. 5 (a), (b) および (c) は全ての R22, R123 および R134a における原口らの凝縮熱伝達係数の実験値と予測値の比較を示す。実験値と予測値はほぼ  $\pm 30\%$  以内で相関していた。従って、これにより凝縮熱伝達係数の予

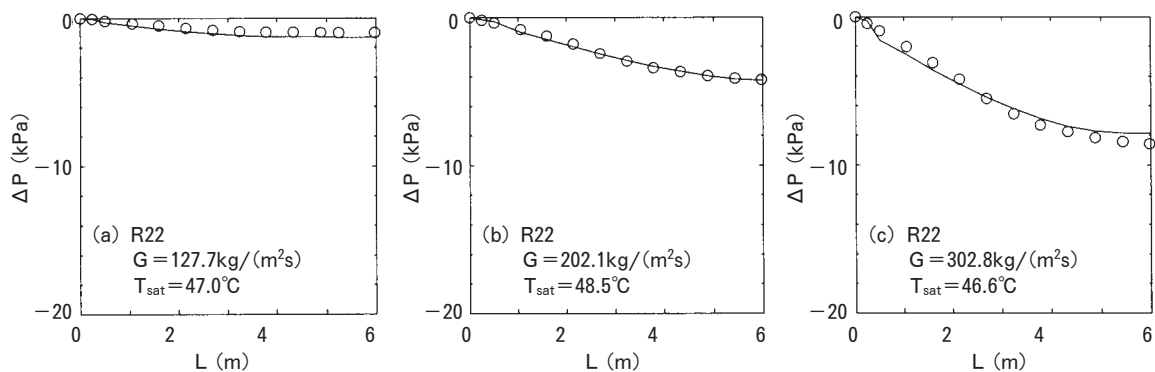


Fig. 2 Comparisons of predicted values of pressure drop with measured data by Haraguchi et al.

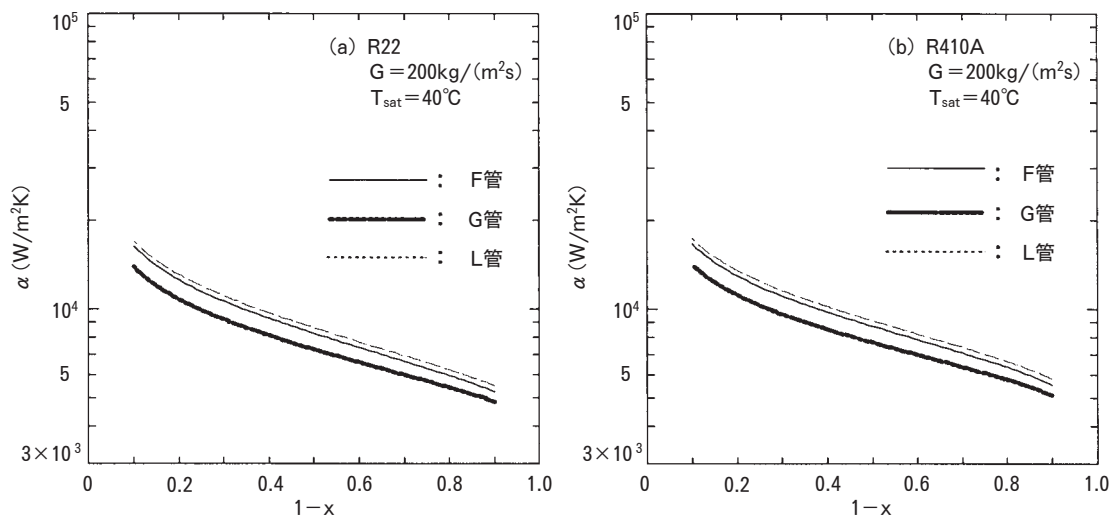


Fig. 3 Predicted values of condensation heat transfer coefficient for R22 and R410A.

測値の妥当性が確認できた。

Fig. 5 (d) は全ての R410A における宮良らの凝縮熱伝達係数の実験値と予測値との比較を示している。図中の記号は、冷媒質量速度の違いを示す。凝縮熱伝達係数

は蒸気クオリティが低い領域を除きほぼ  $\pm 30\%$  以内で相関していた。これにより、同様に V3 溝付管についても摩擦係数がわかれば凝縮熱伝達係数の予測が可能であると推測される。

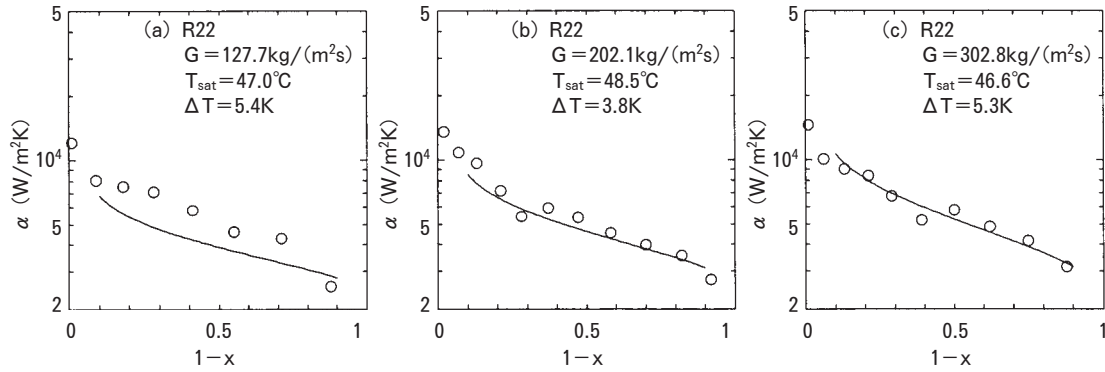


Fig. 4 Comparisons of predicted values of condensation heat transfer coefficient with measured data by Haraguchi et al.

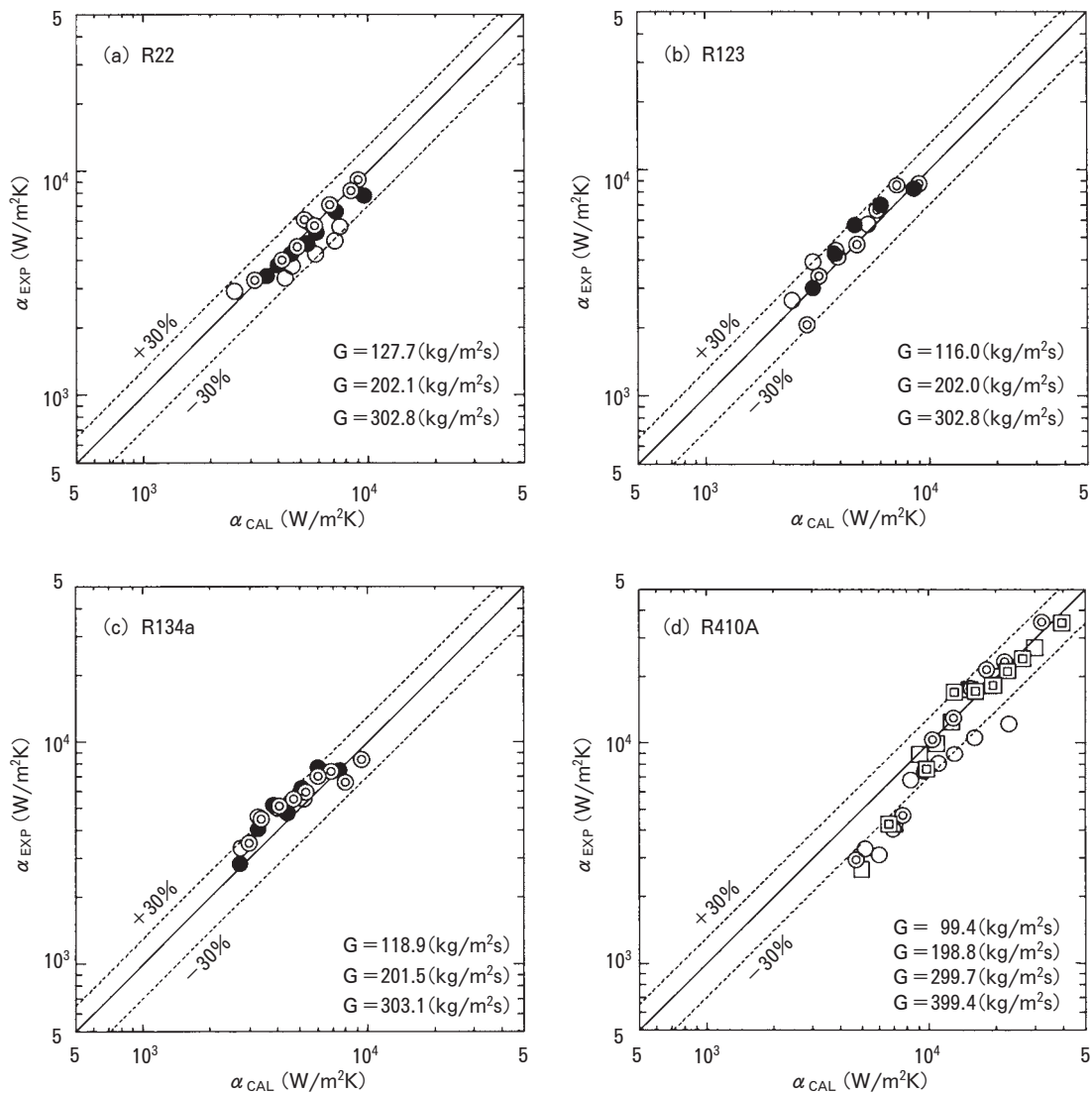


Fig. 5 Relationship between predicted values and measured data by other researchers.

#### 4. ま と め

14 種類の内面溝付管について単相圧力損失実験で得られた摩擦係数の予測式をもとに、凝縮における気液二相流の圧力損失および凝縮熱伝達係数の予測計算を行った。また、それら予測値の妥当性を他の研究者の実験値で検証した。

#### 参 考 文 献

- 1) 小山 繁, 兪 堅:平成 8 年度日本冷凍空調学会学術講演会論文集, (1996), pp173-176.
- 2) 鹿園直毅, 伊藤正昭, 内田麻理, 福島敏彦, 畑田敏夫:日本機械学会論文集 (B 編), **64**-617, (1998), pp196-203.
- 3) 本田博司, 王 華生, 野津 滋:日本機械学会論文集 (B 編), **66**-650, (2000), pp2697-2703.
- 4) 李 相武, 滝田賢二, 北原伸寛, 小川弘晴:平成 13 年度日本冷凍空調学会学術講演会論文集, (2001), pp209-212.
- 5) M. GOTO 他 2 名: Int. J. of Refrigeration, **24**-7, (2001), pp628-638.
- 6) Masao Goto 他 2 名: Int. J. of Refrigeration, **26**-4, (2003), pp410-416.
- 7) 五島正雄他 6 名:日本冷凍空調学会論文集, **22**-2, (2005), pp121-131.
- 8) 原口英剛他 2 名:日本機械学会論文集 (B), **60**-574, (1994), pp239-252.
- 9) A.Miyara 他 2 名: Int. J. Refrigeration, **23**, (2000), pp. 141-152.
- 10) 植田辰洋:気液二相流 (流れと熱伝達), 養賢堂, (1981), pp22-50.
- 11) 五島正雄他 6 名:日本冷凍空調学会論文集, **22**-4, (2005), pp437-447.

# アルミニウム合金板の伸びに及ぼす $n$ 値と転位組織の影響\*

内 田 秀 俊\*\* 吉 田 英 雄\*\*\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 18-24

## Effect of $n$ value and dislocation structures on the elongation of aluminum alloy sheets

Hidetoshi Uchida and Hideo Yoshida

The effects of the  $n$  value and dislocation structures on the elongation of aluminum alloy sheets were investigated. The  $n$  value of the aluminum alloy was not constant. It increased to the maximum  $n$  value and decreased with strain. When the  $n$  value was constant, dislocation cell structures were observed. When the  $n$  value decreased, microbands were observed. It was considered that an increasing  $n$  value denoted an increasing dislocation density and a decreasing  $n$  value denoted a dynamic recovery occurring such as the formation of microbands. The decreasing rate after the maximum  $n$  value was a more important parameter than the average or the maximum  $n$  value for the relationship with the elongation. The Al-Mg-Si alloys and the Al-low Mg alloys had highly decreasing  $n$  value rates. The pure aluminum and Al-high Mg alloys had low decreasing  $n$  value rates. It was considered that the highly decreasing rate after the maximum  $n$  value suggested a dynamic recovery and easily occurring local necking.

### 1. 緒 言

アルミニウム合金板は、強度および成形性に優れるため缶材を始めとして多くの用途がある。特に Al-Mg 系合金および Al-Mg-Si 系合金においては自動車ボディシート用合金として、軽量化を目的としたプレス成形材料として盛んに利用されている。Al-Mg 系合金は、マグネシウム添加量が多いほど強度は増加し、伸びは 2~3% マグネシウムで最小値を示し、その後は増加することがよく知られている<sup>1,2)</sup>。また Al-Mg-Si 系合金は、Al-Mg 系合金より成形性は劣るものの、ベークハード性を有すること、リサイクル性に優れることなど、自動車ボディシート用合金としては、総合的には優れると考えら

れ、世界的には、Al-Mg-Si 系合金が多く実用化されている。

これらの材料選定においては、成形加工性の評価が重要となるが、必ずしもカップテストと実プレス加工が一致するとは限らず、本質的な成形性評価方法が望まれている。著者らは、引張試験結果から  $n$  値（加工硬化指数）を算出し、その変化量と転位組織を関連付け、その延性を評価してきた<sup>3,4)</sup>。本研究では、Al-Mg 系合金および Al-Mg-Si 系合金の歪量に伴う  $n$  値の変化から引張試験の伸びについての考察を行った。

### 2. 実 験 方 法

#### 2.1 供試材

供試材は、(1) Al-Mg 系合金板、(2) Al-Mg-Si 系合金板を用いた。使用した材料の化学成分実績を Table 1 に示す。

(1) Al-Mg 系合金<sup>3)</sup>

純度 99.9mass% (以下“%”) のアルミニウム地金を用いて 1.5% 刻みに 9.0% までマグネシウムを添加し

\* 軽金属学会第 83 回秋期大会 (平成 4 年 11 月), 第 84 回春期大会 (平成 5 年 5 月), 第 87 回秋期大会 (平成 6 年 11 月), 第 95 回秋期大会 (平成 10 年 11 月), にて一部発表, 軽金属, 45 (1995), 193-197, 軽金属, 58 (2008), 290-294 に一部掲載

\*\* 研究開発センター 第五部

\*\*\* 研究開発センター 工学博士

た合金をDC (Direct Chill) 鋳造により作製し、均質化処理、熱間圧延、冷間圧延により1 mm厚の板とし、最終焼鈍をソルトバスにて行った。また比較材として同一地金を用いた純アルミニウムを使用した。

## (2) Al-Mg-Si 系合金

Al-Mg-Si 系合金は、ケイ素量を変化させた合金<sup>4)</sup>と、添加元素としてのマンガン量を変化させた合金<sup>5)</sup>を使用した。

ケイ素量を変化させた合金は、純度99.9%のアルミニウム地金を用いてマグネシウムを0.5%、ケイ素を0.5~1.6%添加した合金を用いた。不純物として含有される鉄は0.15%、結晶粒微細化剤としてのマンガン添加は0.1%ねらいとした。DC 鋳造法の鋳塊を均質化処理、熱間圧延、中間焼鈍、冷間圧延により1 mm厚さとし、ソルトバスにて溶体化処理を行い、焼入れ後2週間の室温時効の後に試験を行った。

マンガン量を変化させた合金は、Al-0.5%Mg-0.8%Si合金に0~0.45%のマンガンを添加した。不純物として含有される鉄は0.15%とした。DC 鋳造法の鋳塊を均質化処理、熱間圧延、冷間圧延により1 mm厚さとし、ソルトバスにて溶体化処理を行い、焼入れ後2週間の室温時効の後に試験を行った。

## 2.2 評価方法

各供試材より圧延方向に平行に引張試験片 (JIS-5号) を採取し、引張試験を行った。全伸びの測定は、突き合わせ法により、求めた。n値の計算は、引張試験機より連続的にデータを採取し、各歪量に対する値を2点法により求めた<sup>3)</sup>。

TEM 観察用試験片は引張試験機により所定の歪量まで引張変形を施し、平行部より採取した。

Table 1 Chemical composition of specimens. (mass%)

Marking	Si	Fe	Mn	Mg	Ti
Pure Al	0.03	0.05	<0.01	<0.01	0.03
Al-1.5Mg	0.02	0.04	<0.01	1.47	0.03
Al-3.0Mg	0.03	0.04	<0.01	2.91	0.03
Al-4.5Mg	0.03	0.04	<0.01	4.45	0.03
Al-6.0Mg	0.04	0.05	<0.01	5.99	0.03
Al-7.5Mg	0.04	0.05	<0.01	7.46	0.03
Al-9.0Mg	0.05	0.06	<0.01	9.23	0.02
Al-0.5Si-0.5Mg	0.48	0.13	0.11	0.49	0.01
Al-0.7Si-0.5Mg	0.72	0.13	0.11	0.46	0.01
Al-1.1Si-0.5Mg	1.05	0.13	0.10	0.50	0.01
Al-1.3Si-0.5Mg	1.32	0.13	0.10	0.48	0.01
Al-1.6Si-0.5Mg	1.57	0.15	0.11	0.49	0.01
Al-0.8Si-0.5Mg	0.80	0.09	<0.01	0.54	0.02
Al-0.8Si-0.5Mg -0.15Mn	0.81	0.09	0.15	0.50	0.03
Al-0.8Si-0.5Mg -0.3Mn	0.80	0.09	0.30	0.49	0.03
Al-0.8Si-0.5Mg -0.45Mn	0.78	0.09	0.45	0.47	0.03

## 3. 結果および考察

### 3.1 Al-Mg 系合金

#### (1) マグネシウム量の影響

純アルミニウムおよび Al-1.5~9Mg 合金の引張試験 (初期歪速度:  $3.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ) における応力-歪曲線を Fig. 1 にその試験結果を Table 2 に示す。Al-Mg 系合金の伸びは、マグネシウム量3.0%で最小値を示し、その後添加量に伴い増加した。各供試材の歪量に伴う n 値の変化を Fig. 2 に示す。

純アルミニウムは、引張変形初期でやや高い n 値を示し、真歪0.10以降はほぼ一定の値を示したのに対して、Al-Mg 系合金は引張変形に伴い、n 値が増加し、

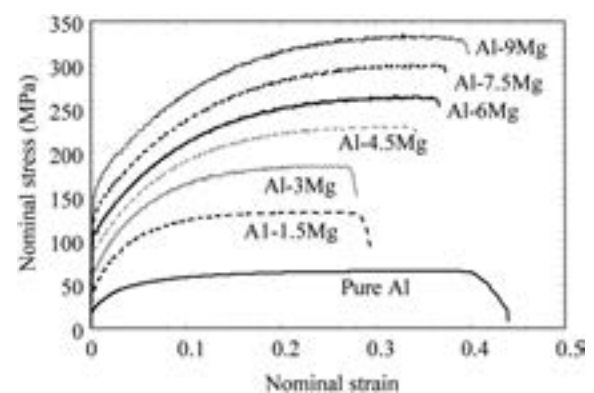


Fig. 1 Stress-strain curves of Al-Mg alloy sheets.

Table 2 Mechanical properties of Al-Mg alloys

Marking	TS (MPa)	YS (MPa)	EL (%)
Pure Al	64	23	46
Al-1.5Mg	132	41	30
Al-3.0Mg	185	66	28
Al-4.5Mg	230	91	36
Al-6.0Mg	265	109	37
Al-7.5Mg	301	132	39
Al-9.0Mg	340	157	40

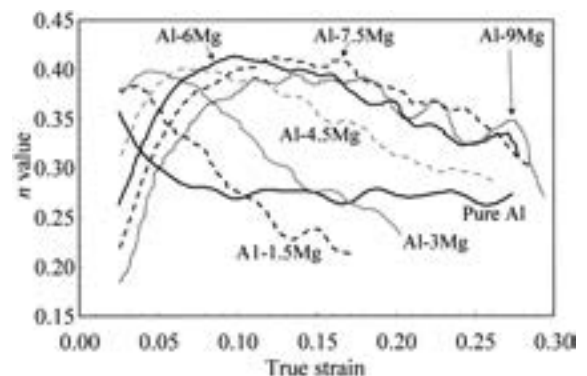
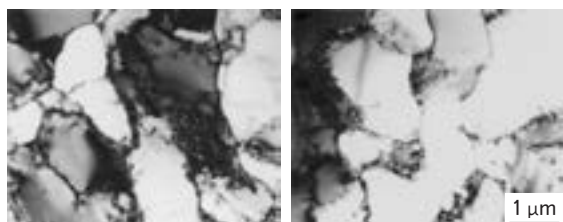


Fig. 2 Effect of Mg content on change in n value with strain of Al-Mg alloy sheets.



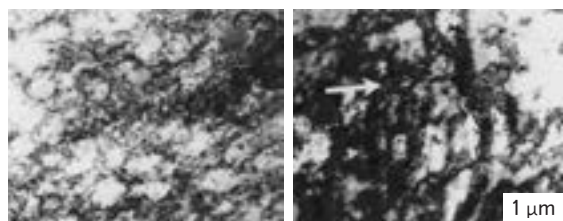
最大値をとった後減少した。Al-Mg系合金ではマグネシウム量が多いほど最大の $n$ 値を示す真歪が大きな値となったが最大の $n$ 値は0.38~0.41と大きな違いは見られなかった。Al-Mg-Si系合金の最大 $n$ 値は、0.28~0.34とAl-Mg系合金より低い値を示した。Daniel<sup>6)</sup>らは、Al-Mg合金において $n$ 値の変化からマグネシウム量に伴い加工効果能が増大すると報告しており、本結果はそれらの結果と一致している。

このような $n$ 値の変化に対して代表的なTEM組織をFigs. 3~5に示す。( )内は真歪の値を示す。Fig. 3は純アルミニウムの15%と35%引張変形後のTEM組織でセル組織を形成しており、 $n$ 値と同様に歪量に対してほとんど変化が見られない。Fig. 4は、Al-3Mg合金の引張変形後のTEM組織であり、15%引張変形では微細なセル組織を形成しているが、25%引張変形では、マイクロバンド(図中に矢印で示す)が形成されていた。Fig. 5は、Al-9Mg合金の引張変形後のTEM組織であり、25%引張変形までは微細なセル組織を形成してい



(1) 15% strained (0.14) (2) 35% strained (0.30)

Fig. 3 TEM structures of tensile strained pure aluminum sheet.



(1) 15% strained (0.14) (2) 25% strained (0.22)

Fig. 4 TEM structures of tensile strained Al-3Mg alloy sheet.



(1) 25% strained (0.22) (2) 35% strained (0.30)

Fig. 5 TEM structures of tensile strained Al-9Mg alloy sheet.

るが、ネッキング直前の35%引張変形では、マイクロバンドが形成され、動的回復促進の様子が観察された。

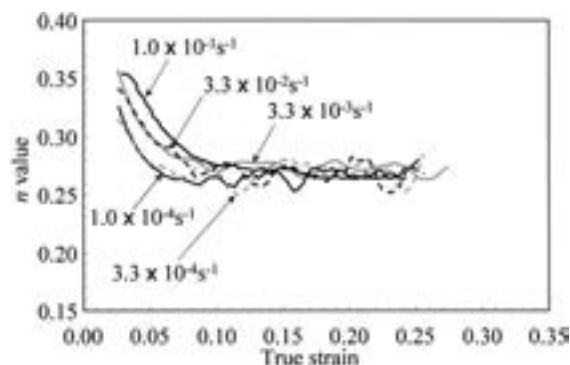
## (2) 歪速度の影響

純アルミニウムおよびAl-7.5Mg合金を初期歪速度 $1.0 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1} \sim 1.0 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ で引張試験を行った時の結果をTable 3に示す。それぞれの歪速度での $n$ 値の変化をFig. 6に示す。純アルミニウムは歪速度による $n$ 値の変化はあまり大きくないが、Al-7.5Mg合金は、高歪域(真歪 $\geq 0.15$ )において、高歪速度の方が $n$ 値は低下しやすかった。これらの変化をTEM組織により確認した

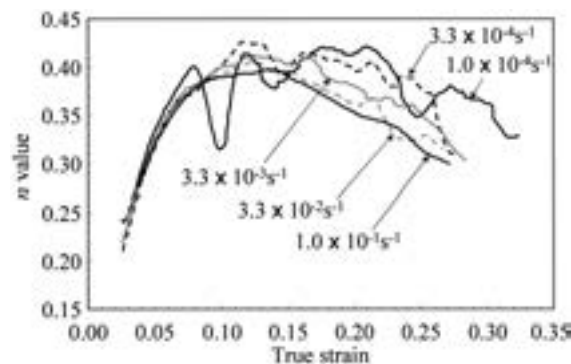
Table 3 Mechanical properties of pure aluminum and Al-7.5Mg alloy sheets

Marking	SR ( $\text{s}^{-1}$ )	TS (MPa)	YS (MPa)	EL (%)
Pure Al	$1.0 \times 10^{-4}$	58	23	44
	$3.3 \times 10^{-4}$	62	24	45
	$3.3 \times 10^{-3}$	64	23	46
	$3.3 \times 10^{-2}$	67	24	47
	$1.0 \times 10^{-1}$	69	(21)	46
Al-7.5Mg	$1.0 \times 10^{-4}$	313	128	43
	$3.3 \times 10^{-4}$	306	127	40
	$3.3 \times 10^{-3}$	301	131	37
	$3.3 \times 10^{-2}$	291	126	36
	$1.0 \times 10^{-1}$	289	(110)	37

"( )" means invalid value for high strain rate

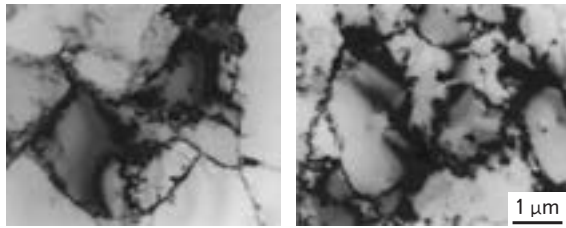


(1) Effect of strain rate on pure aluminum sheet.



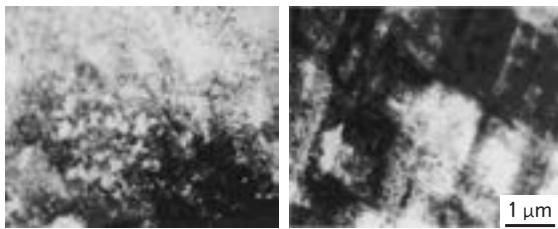
(2) Effect of strain rate on Al-7.5Mg alloy sheet.

Fig. 6 Change in  $n$  value with various strain rates.



(1) Strain rate :  $10^{-4} \text{ s}^{-1}$  (2) Strain rate :  $10^{-1} \text{ s}^{-1}$

Fig. 7 TEM structures of 25% strained pure aluminum (true strain : 0.22).



(1) Strain rate :  $10^{-4} \text{ s}^{-1}$  (2) Strain rate :  $10^{-1} \text{ s}^{-1}$

Fig. 8 TEM structures of 25% strained Al-7.5Mg alloy sheet (true strain : 0.22).

結果を Figs. 7, 8 に示す。純アルミニウムは歪速度によらず同様のセル組織を有するのに対して Al-7.5Mg 合金は、高歪速度ではマイクロバンドが形成されていた。

これらの転位組織と  $n$  値の変化を模式的に示すと Fig. 9 の様に考えられる。Al-Mg 系合金では、引張初期に  $n$  値が増加し、最大値を取った後に減少する。 $n$  値が増加する歪域では、転位密度が増加し、セル組織形成することで動的回復が起り、ネッキング前ではマイクロバンドが観察され、動的回復が促進していると考えられた。

### 3.2 Al-Mg-Si 系合金

#### (1) けい素量の影響

けい素量の異なる Al-Mg-Si 系合金の引張試験（初期歪速度： $3.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ）における応力-歪曲線を Fig. 10 にその試験結果を Table 4 に示す。伸びは、けい素量にともない 1.1% けい素まで増加し、1.1~1.6% けい素ではほぼ同じ値を示した。各供試材の歪量に伴う  $n$  値の変化を Fig. 11 に示す。Al-Mg 系合金と同様に Al-Mg-Si 系合金でも  $n$  値は引張変形に伴い増加し、最大値をとった後減少した。8% 引張変形後の TEM 組織を Fig. 12 に示す。0.5Si 合金ではマイクロバンドが観察されたが、1.6Si 合金では微細なセル組織のままであった。Al-Mg-Si 系合金でも  $n$  値が減少する歪量ではマイクロバンドが形成されていることが確認できた。

#### (2) マンガン量の影響

Al-0.8Si-0.5Mg 合金にマンガンを添加した材料の引張試験（初期歪速度： $3.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ）を行った結果を Table 5 に、 $n$  値の変化を Fig. 13 に示す。マンガン量が多いほど  $n$  値の減少が低歪から始まっていた。15%

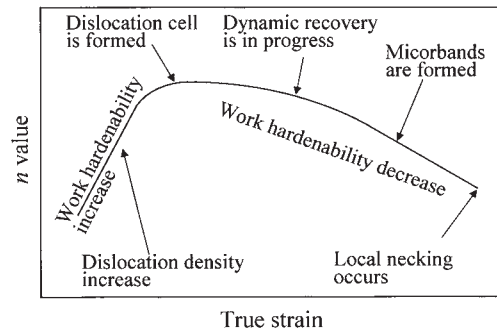


Fig. 9 Schematic diagram of microstructure variation on  $n$  value changes with strain.

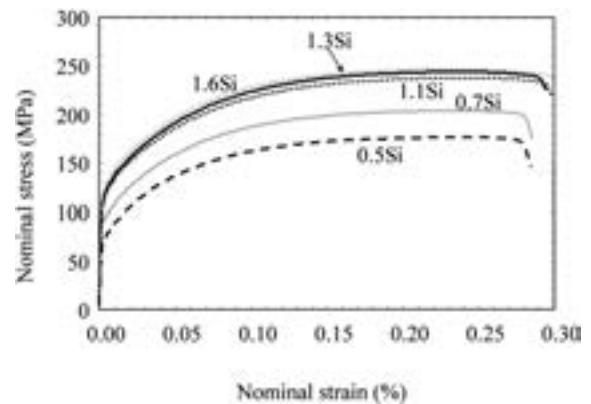


Fig. 10 Stress-strain curves of Al-Mg-Si alloy sheets.

Table 4 Mechanical properties of Al-Mg-Si alloy sheets

Marking	TS (MPa)	YS (MPa)	EL (%)
Al-0.5Si-0.5Mg	178	74	29
Al-0.7Si-0.5Mg	206	94	29
Al-1.1Si-0.5Mg	240	119	30
Al-1.3Si-0.5Mg	246	122	30
Al-1.6Si-0.5Mg	249	127	31

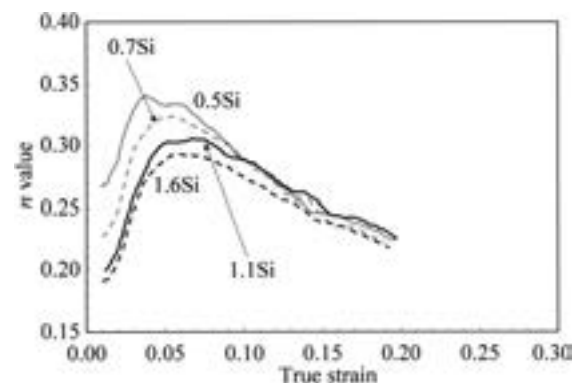
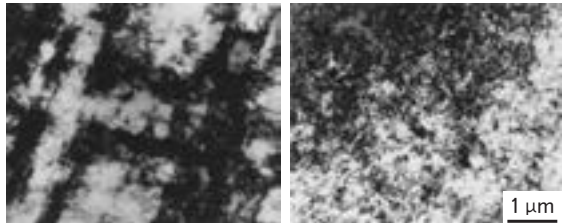


Fig. 11 Effect of Si content on change in  $n$  value with strain of Al-Mg-Si alloy sheets.

引張変形後の TEM 組織を Fig. 14 に示す。マンガンを追加した Al-0.8Si-0.5Mg-0.45Mn 合金では多くのマイクロバンドが観察されたが、マンガン無添加の Al-0.8Si-0.5Mg 合金では、マイクロバンドが形成されておらず、マンガン添加によりマイクロバンドが形成されや



(1) Al-0.5Si-0.5Mg (2) Al-1.6Si-0.5Mg

Fig. 12 TEM structures of 8% tensile strained Al-Mg-Si alloy sheets (true strain : 0.08).

Table 5 Mechanical properties of Al-Mg-Si-Mn alloy sheets

Marking	TS (MPa)	YS (MPa)	EL (%)
Al-0.8Si-0.5Mg	228	113	32
Al-0.8Si-0.5Mg-0.15Mn	238	121	31
Al-0.8Si-0.5Mg-0.3Mn	237	119	29
Al-0.8Si-0.5Mg-0.45Mn	241	119	29

\* Homogenization : 500°C - 8 h

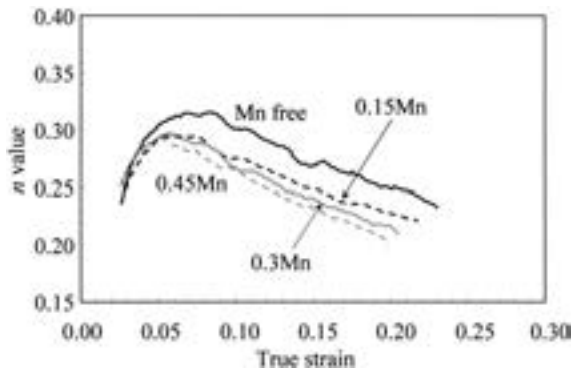
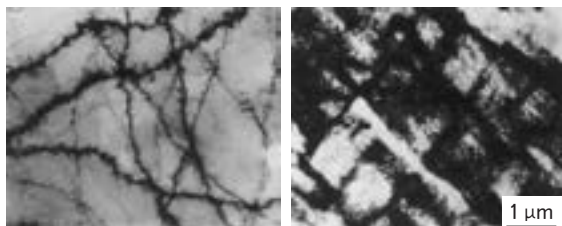


Fig. 13 Effect of Mn content on change in  $n$  value with strain of Al-Mg-Si alloy sheets.



(1) Al-0.8Si-0.5Mg (2) Al-0.8Si-0.5Mg-0.45Mn

Fig. 14 TEM structures of 15% tensile strained Al-Mg-Si alloy sheets (true strain : 0.14).

すくなっていることが確認できた。

### (3) 均質化処理条件の影響

Al-0.8Si-0.5Mg-0.45Mn 合金を均質化処理 500, 540, 580°C で実施した材料の引張試験 (初期歪速度 :  $3.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ) を行った結果を Table 6 に、 $n$  値の変化を Fig. 15 に示す。均質化処理温度が高いほど伸びが増加しており、 $n$  値の変化も少なかった。Fig. 16 に 15% 引張変形後の TEM 組織を示す。 $\alpha$ -AlMnSi 粒子を起点にマイクロバンドが形成されていることが観察される。 $\alpha$ -AlMnSi は、均質化処理温度に伴い粗大化するので 500°C の均質化処理の場合、 $\alpha$ -AlMnSi 粒子数が多く、マイクロバンドの起点が多かったため動的回復が促進され伸びが低下したと考えられた。

### 3.4 Al-Mg 系合金と Al-Mg-Si 系合金の比較

ここで Al-Mg 系合金と Al-Mg-Si 系合金の伸びの違いを  $n$  値の挙動から考えてみる。代表的な材料の  $n$  値

Table 6 Mechanical properties of Al-0.8Si-0.5Mg-0.45Mn alloy sheets

Marking	Homo.	TS (MPa)	YS (MPa)	EL (%)
Al-0.8Si-0.5Mg-0.45Mn	500°C	218	105	27
	540°C	237	115	28
	580°C	241	119	29

Homo. : Homogenization for 8 h

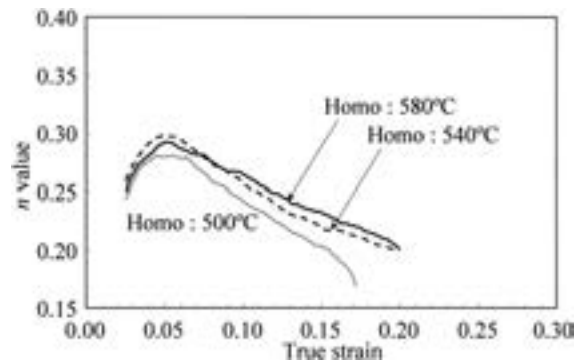
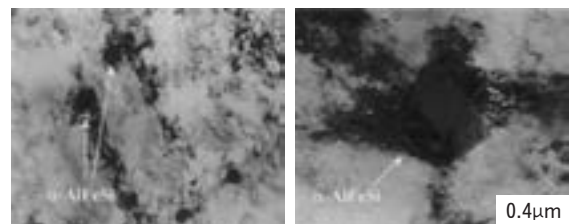


Fig. 15 Effect of homogenization temperature on change in  $n$  value of Al-0.8Si-0.5Mg-0.45Mn alloy sheets.



(1) Homo : 500°C (2) Homo : 580°C

Fig. 16 TEM structures of 15% strained Al-0.8Si-0.5Mg-0.45Mn alloy sheets (true strain : 0.14).

の変化を比較した結果を Fig. 17 に示す。A5182 アルミニウム合金の Mg 量に相当する Al-4.5Mg 合金と A6016 アルミニウム合金の Mg-Si 量に相当する 1.1Si 合金で比較すると Al-4.5Mg 合金の方が全体的に大きな  $n$  値を示し最大の  $n$  値を取る歪量も大きい。総じて Al-Mg 系合金に比べ Al-Mg-Si 系合金の  $n$  値は小さく、最大の  $n$  値を取る歪量も小さい。この結果が引張試験の伸びだけでなく成形性に必要歪伝播特性に影響し、加工硬化により歪が伝播しやすい Al-Mg 系合金の方が一般的に成形性に優れていると考えられる。

3.5  $n$  値変化による伸びの考察

これまででは、 $n$  値変化の大小という定性的な評価を行ってきたが、より定量的な評価のため、最大  $n$  値、最大  $n$  値の時の真歪、真歪 0.10~0.15 の時の平均  $n$  値および  $n$  値の変化率（1次近似による傾き）を計算し、伸びと比較を行った。真歪 0.10~0.15 は、ほとんどの供試材で、 $n$  値が最大値を示した後減少している歪領域に相当し、動的回復の程度が比較できる。これらの結果を Figs. 18~21 に示す。全ての図にデータを1次回帰した近似式を示している。

Fig. 18 に示す真歪 0.10~0.15 における  $n$  値の変化率は、伸びと比較的よい一致を示している。変化率が小さ

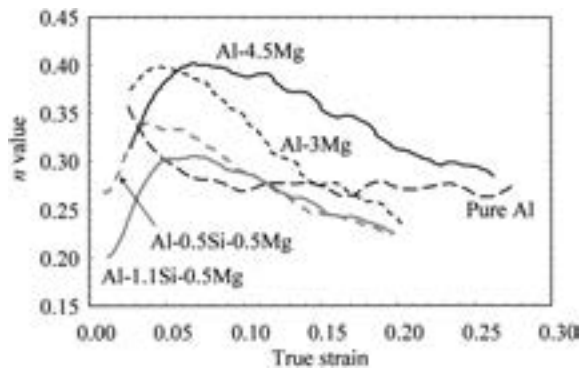


Fig. 17 Comparison of  $n$  value curves of Al-Mg series alloy and Al-Mg-Si series alloy sheets.

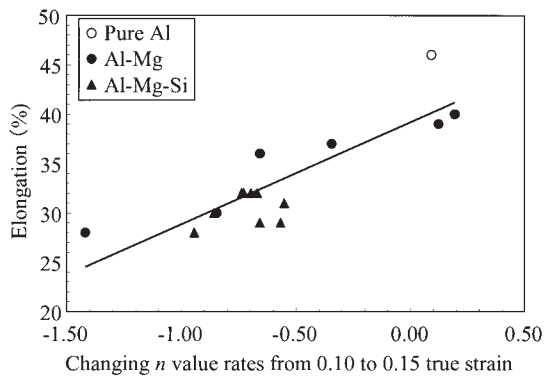


Fig. 18 Relationship between elongation and changing  $n$  value rates.

い（減少量が大きい）材料ほどマイクロバンド形成によるネッキングが生じやすく伸びが低下すると考えられた。

Fig. 19 に示す真歪 0.10~0.15 の平均  $n$  値と伸びの関係は純アルミニウムが大きく回帰式から外れており、Al-Mg 合金もほぼ同じ平均  $n$  値を示すことから伸びとの相関があるとは認められない。一般にアルミニウム合金の  $n$  値は、この値を示すことが多い。

Fig. 20 に示す最大  $n$  値と伸びの関係も純アルミニウ

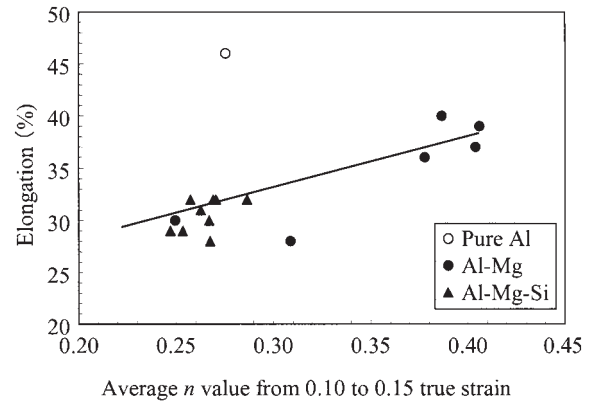


Fig. 19 Relationship between elongation and average  $n$  value.

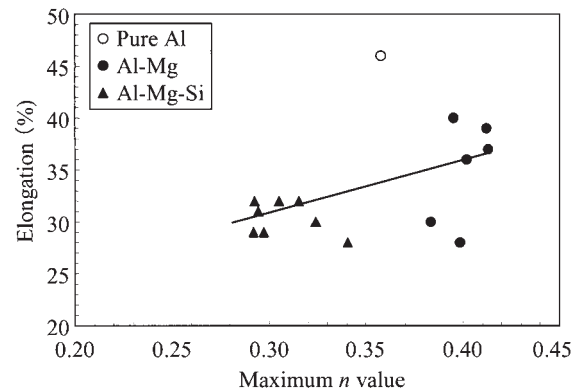


Fig. 20 Relationship between elongation and maximum  $n$  value.

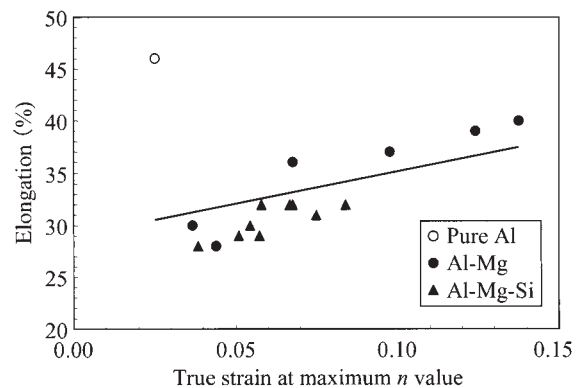


Fig. 21 Relationship between elongation and true strain at maximum  $n$  value.

ムが回帰式から大きく外れており、Al-Mg系合金は、Al-Mg-Si系合金に比べ大きな最大 $n$ 値を取るため伸びの指標としては不適切である。

Fig. 21に最大 $n$ 値を取る真歪と伸びの関係を示す。純アルミニウムは、回帰式から外れるが、その他の結果は、伸びと相関が認められた。これは、純アルミニウムはマイクロバンドが形成されにくく、その他の材料はマイクロバンド形成がネッキング発生に大きく関係しネッキングの発生メカニズムに影響していると考えられた。

## 5. 結 言

アルミニウム合金の伸びを $n$ 値の変化から考察した結果以下の知見が得られた。

(1) Al-Mg系合金およびAl-Mg-Si系合金は、変形初期に $n$ 値が増加し、最大値をとった後減少する。これらの変化は、転位密度の増加による加工硬化能の増大( $n$ 値の増加)、マイクロバンドの形成等の動的回復による加工硬化能の減少( $n$ 値の減少)に相当する。それに対して純アルミニウム変形初期に $n$ 値の最大値を取り、やや減少した後にほぼ一定の値を取った。

(2)  $n$ 値が最大値を示し動的回復が始まっている真歪0.10~0.15における $n$ 値の減少率は、伸びとよい一致を示した。平均 $n$ 値や最大 $n$ 値に伸びとの相関は見られなかった。純アルミニウムを除けば、最大 $n$ 値を示す真歪も伸びとの相関が認められた。これはネッキング発生メカニズムが異なるためと考えられた。

(3) Al-Mg系合金およびAl-Mg-Si系合金の成形性を $n$ 値の変化から考察すると加工硬化は歪の伝播特性に影響することから、同じ歪量で加工硬化能に優れるAl-Mg系合金の方が成形性に優れると考えられた。

## 参 考 文 献

- 1) E. H. Dix, Jr., W. A. Anderson and M. B. Shumaker : Development of Wrought Aluminum-Magnesium alloys, (1958), Alcoa Laboratories.
- 2) H. C. Stump : Progress reports, (1966), Alcoa Laboratories.
- 3) 内田秀俊, 吉田英雄 : 軽金属, **45** (1995), 193-197.
- 4) 内田秀俊, 吉田英雄 : 軽金属, **58** (2008), 285-289.
- 5) 内田秀俊, 吉田英雄 : 本誌, **38** (1997), 1-6.
- 6) Dominique Daniel, Gilles Guiglionda, Pierre Litalien and Ravi Shahani, Materials Science Forum, Vols. 519-521 (2006) pp 795-802.

# Al-Mg-Si 合金のベークハード性に及ぼす 高温予備時効とその前後の自然時効の影響\*

八 太 秀 周\*\* 松 田 真 一\*\*  
田 中 宏 樹\*\*\* 吉 田 英 雄\*\*\*\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 25-30

## Effects of Pre-aging at Elevated Temperature and Natural Aging on the Bake Hardenability of Al-Mg-Si Alloy

Hidenori Hatta, Shinichi Matsuda,  
Hiroki Tanaka and Hideo Yoshida

Effects of 1st natural aging, pre-aging and 2nd natural aging on the bake hardenability of the Al-0.62mass%Mg-0.96mass%Si alloy have been studied by tension test, hardness measurement, electrical resistance measurement and differential scanning calorimetric analysis (DSC). The bake hardenability after 2nd natural aging at 20°C for 86.4ks was improved by pre-aging between 100°C and 170°C. In the case of short pre-aging at 100°C, the bake hardenability started to decrease after 2nd natural aging more than 86.4ks, because the amount of clusters of solute atoms increased. The 1st natural aging before pre-aging causes decreasing the bake hardenability because the clusters formed during natural aging before pre-aging.

### 1. 緒 言

自動車の燃費向上を目的として車両の軽量化が進められており、アルミニウム合金板の自動車ボディへの適用が増加しつつある<sup>1)</sup>。6000系アルミニウム合金の自動車ボディ材にはプレス成形時には耐力が低く成形性が良好なこと、塗装焼付け工程の加熱を利用して硬化し(Bake hardening, 以下BH処理と称す)、最終製品では高い耐力であることが求められている。しかし6000系アルミニウム合金では溶体化処理後からBH処理されるまでの自然時効により、ベークハード性が低下することが知られていること<sup>2~5)</sup>から、その対策として高温予備時効処理<sup>6~9)</sup>と復元処理<sup>10)</sup>を行う方法が開発された。特に高温予備時効処理に関しては研究が盛んであり、溶

体化処理後に直接高温予備時効処理温度に焼入れしその温度で保持する方法が詳細に検討されてきた<sup>6~9)</sup>。一方、溶体化処理後に一旦室温付近に焼入れし、その後再加熱して高温予備時効処理する方法<sup>7)</sup>もあるが、溶体化処理後に室温付近の温度へ焼入れするため、焼入れ直後から高温予備時効の開始までが自然時効となる。さらに6000系自動車ボディパネル材では、アルミニウムメーカーよりT4調質で出荷され、その後BH処理されるまでに、運搬やプレス工程などがあることから、溶体化処理後塗装焼付けを開始するまでが自然時効状態となる。すなわち熱履歴としては、焼入れ直後から高温予備時効を開始するまでの自然時効、高温予備時効、その後BH処理を開始するまでの保管による自然時効、最後にBH処理の合計四段階の時効処理になる。そのため時効挙動の制御が一層複雑になると思われる。それらの時効の相互関係を明確にすることはベークハードを利用する上で不可欠である。

そこで本研究ではベークハード性に及ぼす高温予備時効前の自然時効、高温予備時効、その後の自然時効の影

\* 第106回春期大会(平成16年5月)で一部発表。軽金属, 59(2009)248に主要部分掲載

\*\* 研究開発センター 第六部

\*\*\* 研究開発センター 第一部, 工学博士

\*\*\*\* 研究開発センター, 工学博士

響について、三段および四段時効での挙動を調査した。

## 2. 実験方法

半連続铸造により Table 1 に示す化学組成の鋳塊を作製し、560°C で 36ks の均質化処理をした後、500°C の温度にて厚さ 30mm から 4 mm まで熱間圧延した。その後、厚さ 4 mm から 1 mm まで冷間圧延を行い供試材とした。Fig. 1 に熱処理条件を示す。ソルトバスを用いて、冷間圧延板を 550°C で 0.06ks 保持の条件で溶体化処理を行った後、氷水中に焼入れした。本系合金は焼入れ後のわずかな室温保持でもベークハード性の低下が報告<sup>4)</sup>されているため、焼入れた氷水中での保持を 0.01ks とした。続けて自然時効なしにオイルバスを用いて 80°C から 170°C の温度で 0.24ks から 7.2ks 保持の高温予備時効処理を行った。比較として高温予備時効処理なし材も作製した。その後、直ちに 20°C の恒温槽(大気)で自然時効を最大 604.8ks まで行い、最後にオイルバスを用いて 170°C で 1.2ks の BH 処理の合計三段の時効処理を行った。さらに焼入れ後から高温予備時効を開始するまでの自然時効を想定し、恒温水槽を用いて 20°C で最大 3.6ks の自然時効を高温予備時効前に追加して合計四段の時効処理を行った試料も作製した。

引張性質の調査は、圧延方向に対して平行方向に採取した JIS 5 号引張試験片を用いて BH 処理前(20°C 自然時効後)および BH 処理後に実施した。ピッカース

Table 1 Chemical composition of the alloy (mass%)

Mg	Si	Fe	Al
0.62	0.96	0.03	Bal.

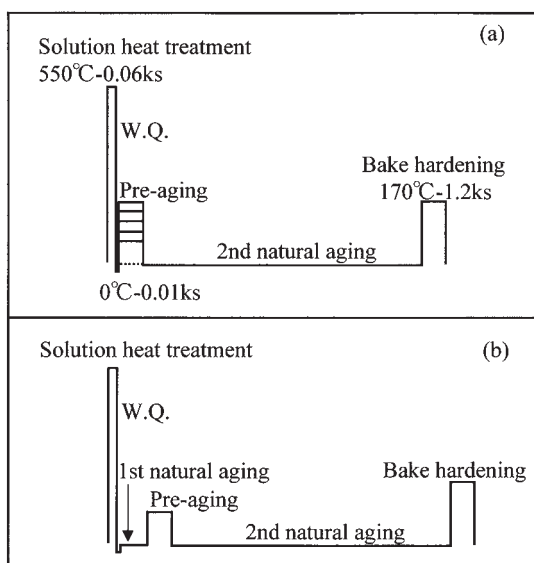


Fig. 1 Schematic diagram of heat treatment, (a) three step aging, (b) four step aging.

硬さ測定は負荷荷重 49N の条件で、BH 処理前および BH 処理後に測定した。時効挙動の解析には電気抵抗測定と熱分析を用いた。電気抵抗測定では  $1 \times 2 \times 200$ mm の試験片を用いて、恒温水槽中で 20°C の自然時効を行っている際の電気抵抗変化を四端子法によりその場測定した。熱分析は入力補償型 DSC を用いて、BH 処理前の試料について測定した。従来、昇温速度は 5~20°C/min にて測定した報告<sup>9,12)</sup>が多いが、室温付近での測定中の時間経過に伴う自然時効の影響をさけるために、昇温速度の大きい 40°C/min にて測定した。

## 3. 結果および考察

焼入れした後、直ちに高温予備時効、続いて 20°C で 86.4ks の自然時効を行い、最後に 170°C で 1.2ks の BH 処理の三段時効を行った。その BH 処理前後の耐力に及ぼす高温予備時効の影響を Fig. 2 に示す。BH 処理前の耐力は高温予備時効温度が高いほど、保持時間の増加に伴い急激に上昇した。高温予備時効の温度が 80°C の場合には高温予備時効時間を増加しても BH 処理後の耐力に大きな変化がみられなかったのに対し、100°C 以上の温度で高温予備時効を行った場合には、高温予備時効時間の増加に伴い、緩やかに BH 後の耐力が上昇した。これらのことから、BH 処理前後の耐力ともに高温予備時効の温度と保持時間に大きく影響されることが確認できた。

BH 処理前の耐力と BH 処理後の耐力の差で表わされるベークハード量と高温予備時効の関係を Fig. 3 に示す。高温予備時効の温度が高いほど短時間で大きなベークハード量に達した。しかし 170°C のような高温での予

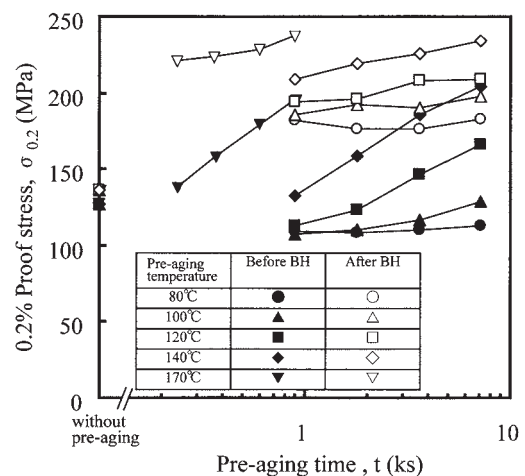


Fig. 2 Effect of pre-aging condition on the 0.2% proof stress of the alloy before BH treatment and after BH treatment. The samples were pre-aged after water quenching followed by 2nd natural aging at 20°C for 86.4ks, then baked at 170°C for 1.2ks.

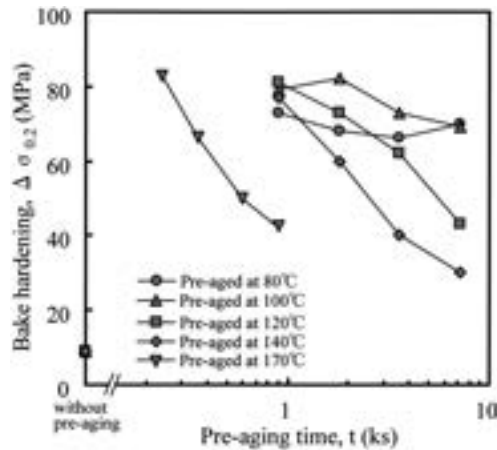


Fig. 3 Effect of pre-aging condition on the bake hardenability for 0.2% proof stress.

備時効は、保持時間の増加に伴うバークハード量の低下は顕著であった。今回の試験条件の範囲において、各高温予備時効温度の最も大きいバークハード量を比較すると、80°Cより100°C以上の高温予備時効の方が、大きいバークハード量に達していた。高温予備時効温度100°C、120°C、140°C、170°Cの比較では大きな差はみられなかった。以上の結果より100°Cから170°Cのいずれの高温予備時効処理温度でも高いバークハード性が得られるものの、温度が高い場合には高温予備時効中の保持時間が短時間になることから、工業的に一定のバークハード性を安定して得るためには、高温予備時効の温度と時間の管理が重要であることが明らかになった。そこで以降の実験においては、高温予備時効処理の保持時間の影響が小さく、大きなバークハード量が得られる100°Cの高温予備時効にてさらに評価を行った。

100°Cの高温予備時効後に20°Cで86.4ksあるいは604.8ksの自然時効を行った場合の高温予備時効時間とBH処理前後の硬さ、さらにBH処理前後の硬さの差で表されるバークハード量をFig. 4に示す。自然時効時間が86.4ksの場合、BH処理前およびBH処理後の硬さは高温予備時効時間の増加に伴い上昇した。3.6ksまでの100°Cの高温予備時効において、自然時効時間が86.4ksと604.8ksの場合を比較すると、604.8ksの方がBH処理前の硬さは高くなり、BH処理後の硬さは低くなった。高温予備時効が3.6ksまでのバークハード量は、自然時効86.4ksの場合は高温予備時効時間に伴い緩やかに上昇、604.8ksの場合は大きく上昇した。一方、高温予備時効時間が7.2ksを越える長時間の場合は、自然時効時間が86.4ksと604.8ksともほぼ同等の硬さになり、いずれも高温予備時効時間の増加に伴いバークハード量が低下した。したがって、604.8ksの自然時効の場合には、高温予備時効が100°Cで7.2ksの条件において最大のバークハード量となった。これらのことから、バークハード量は100°Cでの高温予備時効時間とその後

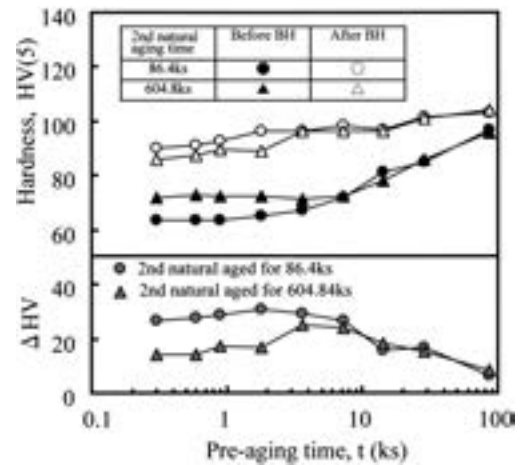


Fig. 4 Changes in hardness with pre-aging time at 100°C before BH treatment and after BH treatment at 170°C for 1.2ks. The samples were pre-aged at 100°C for various times after water quenching followed by 2nd natural aging at 20°C for 86.4ks or 604.8ks, then baked at 170°C for 1.2ks.

の自然時効時間の両方に影響されていることが明らかになった。

さらにバークハード性におよぼす高温予備時効時間とその後の自然時効時間の影響を明確にするために、100°Cで0.3ksおよび7.2ksの高温予備時効を行った試料および比較として高温予備時効なしの試料について、その後の自然時効時間のバークハード性への影響を調査した。Fig. 5にBH処理前後の耐力を示す。BH処理前において、高温予備時効なし材の耐力は自然時効開始直後から自然時効時間の経過に伴い急激に上昇した。100°Cで0.3ksの高温予備時効した試料では86.4ksまでほぼ耐力が一定でその後上昇したのに対し、100°Cで7.2ksの高温予備時効を施した試料は自然時効が604.8ksまでほぼ一定の耐力であった。BH処理後の耐力は、高温予備時効なしの試料は自然時効時間の経過に伴い耐力が低下し、100°Cで0.3ksの高温予備時効した試料では86.4ksまで、100°Cで7.2ksの高温予備時効を施した試料では自然時効が604.8ksまで高い耐力が得られた。Fig. 6に自然時効時間とバークハード量の関係を示す。BH処理前後の耐力の差で表されるバークハード量は、高温予備時効なしでは自然時効時間の増加に伴い低下したのに対し、100°Cで0.3ksの高温予備時効した試料では86.4ksまで、100°Cで7.2ksの高温予備時効を施した試料は自然時効が604.8ksまで大きなバークハード量が得られた。

このバークハード性の変化を解析するために、電気抵抗測定を行った。Fig. 7に高温予備時効後の自然時効中の電気抵抗についてその場測定した結果を示す。比較として高温予備時効を施さなかった試料も併せて示す。20°Cでの自然時効において、高温予備時効なし材の場



合には、自然時効開始直後より電気抵抗の大きな上昇がみられた。電気抵抗はアルミニウムマトリックスの固溶量の変化や母相に整合な組織の形成などを総合して変化が生じる。本合金の焼入れ後の自然時効においては、従来の報告<sup>4)</sup>を参考にしてクラスタ(1)の生成の影響が大きいと仮定する。なお、ここでは山田らや芹澤らの報告<sup>7,11)</sup>を参考に、自然時効中に生成され析出強化相の $\beta''$ 相に遷移しにくい原子の集合体をクラスタ(1)、 $\beta''$ 相の前駆段階をクラスタ(2)と定義する。高温予備時効なし材では自然時効時間の増加に伴い、電気抵抗が急激に上昇することからクラスタ(1)の生成が促進していると推測される。一方、100°Cで0.3ksの高温予備時効を行った場合には、自然時効の初期には変化はみられず、100ks

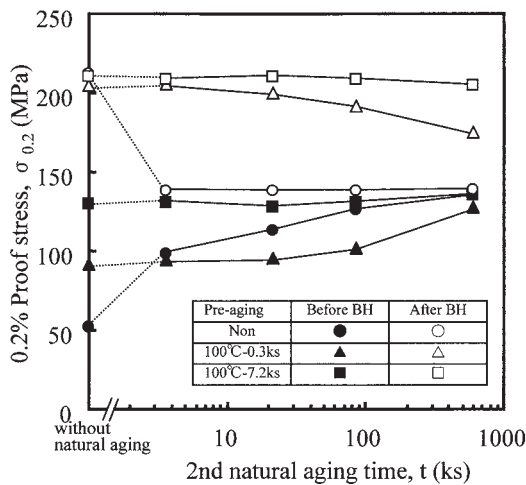


Fig. 5 Effect of 2nd natural aging condition on the 0.2% proof stress of the alloy before BH treatment and after BH treatment. The samples were pre-aged at 100°C for 0.3ks or 7.2ks or not pre-aged after water quenching followed by 2nd natural aging at 20°C for various times, then baked at 170°C for 1.2ks.

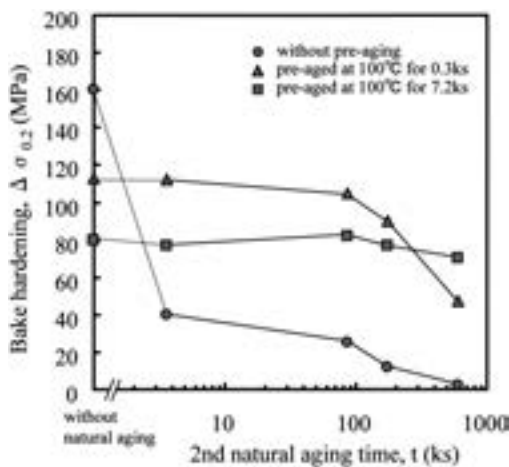


Fig. 6 Effect of 2nd natural aging condition on the bake hardenability for 0.2% proof stress.

付近を越えると電気抵抗の急激な上昇がみられた。これは100ks程度まではクラスタ(1)の生成が抑制され、それ以上自然時効するとクラスタ(1)が生成されることを示唆している。この結果は100°Cで0.3ksの高温予備時効を行った試料では、20°Cでの自然時効が86.4ksを越えるとバークハード性が低下した結果と一致した。100°Cで7.2ksの高温予備時効を施した試料では、20°Cで1000ksまで大きな電気抵抗の変化はみられなかったことから、自然時効中でもクラスタ(1)の生成が少ないと推測された。

これらの結果より、高温予備時効が十分でない場合には、バークハード量の自然時効に伴う低下が電気抵抗の上昇と対応することから、自然時効は電気抵抗の上昇から推測されるクラスタ(1)の生成を促進させていると考えられる。本来、強化相である $\beta''$ 相を形成するためのアルミニウムマトリックス中に固溶しているマグネシウム、シリコンおよび凍結空孔が、室温で安定なクラスタ(1)を生成するため、見かけ上それらの溶質原子および凍結空孔が減少し、バークハード性が低くなるものと考えられる。

高温予備時効なしあるいは100°Cで0.3ksおよび7.2ksの高温予備時効を行った後、604.8ksの自然時効を施したBH処理前試料のDSC分析結果をFig. 8に示す。矢印Aの温度は、焼入れ直後材においてクラスタ(本報でクラスタ(1)と称している)の生成が発熱ピークとして観察される温度である。本調査の高温予備時効なし材は、自然時効されてクラスタ(1)が既に生成しているため、発熱ピークはほとんど観察されなかった。吸熱ピークBはクラスタの溶解、発熱ピークCとDはそれぞれ $\beta''$ 相と $\beta'$ 相の析出と言われている<sup>12)</sup>。高温予備時効なし材ではクラスタ(1)の溶解による吸熱ピークがみられ、 $\beta''$ 相の析出に相当する発熱ピークが明瞭にみられた。このことは高温予備時効なしの場合には自然時

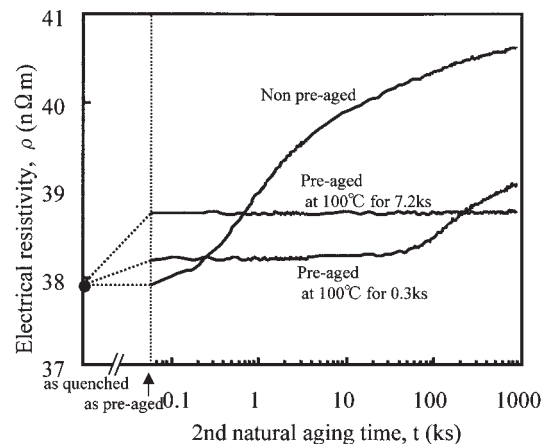


Fig. 7 In-situ measurement of the electrical resistivity during 2nd natural aging at 20°C after water quenching or pre-aging at 100°C for 0.3ks and 7.2ks.

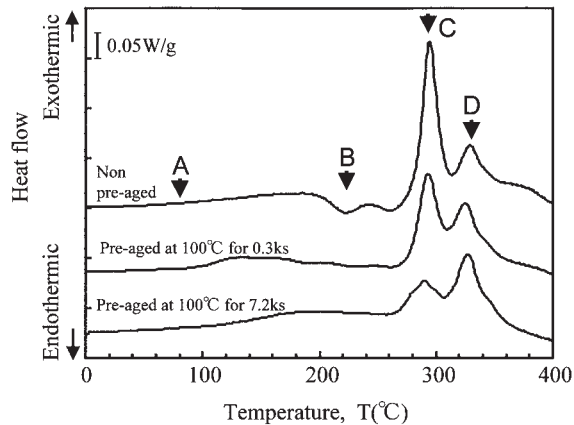


Fig. 8 DSC curves of the naturally aged samples before BH treatment.

効中にクラスタ (1) が生成したことおよびクラスタ (1) が溶解した後に  $\beta''$  相が析出することを示唆している。100°C で 0.3ks の高温予備時効を施した試料ではわずかにクラスタ (1) の溶解による吸熱がみられたのに対し、100°C で 7.2ks の高温予備時効を施した試料では吸熱ピークはみられなかった。このことから、100°C で 7.2ks の高温予備時効により、20°C での自然時効中のクラスタ (1) の生成が抑制されたものと推測できる。

上述の電気抵抗測定において、高温予備時効なしの試料では自然時効の開始直後より電気抵抗の上昇がみられることから、自然時効初期よりクラスタ (1) の生成が始まっていることを推測した。そこで、焼入れ後 100°C の高温予備時効を開始する前に自然時効を施した四段時効を行い、高温予備時効前の自然時効の影響を調査した。高温予備時効開始前の 20°C での自然時効時間と BH 処理前後の耐力およびバークハード量を Fig. 9 に示す。焼入れ直後に 100°C で高温予備時効した場合には、BH 処理前の耐力が低く BH 処理後の耐力は高かった。しかし、高温予備時効開始前の 20°C での自然時効時間の増加に伴い BH 処理前の耐力は上昇し、BH 処理後の耐力は小さくなった。BH 前後の耐力の差で表されるバークハード量は高温予備時効開始前の 20°C での自然時効時間の増加に伴い、短時間で減少した。この結果は、従来報告されている二段時効におけるバークハード性におよぼす自然時効の影響<sup>4,9)</sup>と一致した。

焼入れ直後に 100°C で 7.2ks の高温予備時効を行った試料と、焼入れ後に 20°C で 1.8ks の自然時効を行った後に同様の高温予備時効を行った試料について、高温予備時効後の自然時効中の電気抵抗を Fig. 10 に示す。いずれの試料でも、自然時効中に大きな電気抵抗変化はみられなかったが、焼入れ後に 20°C で 1.8ks の自然時効を行った後に高温予備時効を行った場合は、初期から高い電気抵抗を示した。これは高温予備時効前の 20°C で 1.8ks の自然時効中に、安定なクラスタ (1) が生成したため電気抵抗が高くなり、その後の高温予備時効でも溶

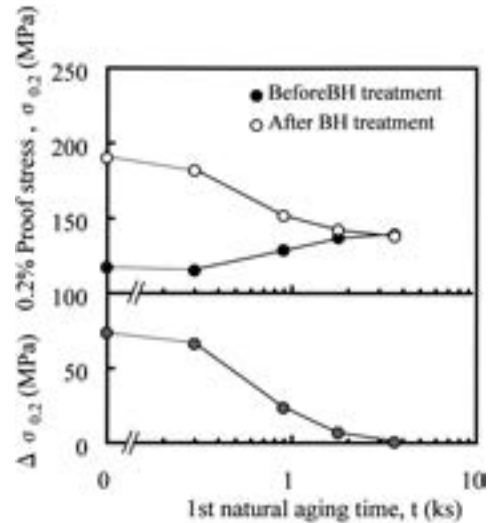


Fig. 9 Effect of 1st natural aging condition on the 0.2% proof stress of the alloy before BH treatment and after BH treatment. The samples were pre-aged at 100°C for 3.6ks after water quenching and 1st natural aging followed by 2nd natural aging at 20°C for 86.4ks, then baked at 170°C for 1.2ks.

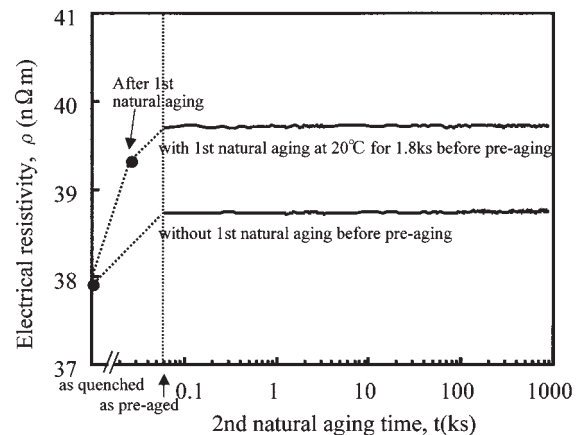


Fig. 10 In-situ measurement of the electrical resistivity during 2nd natural aging at 20°C after pre-aging at 100°C for 7.2ks for the samples with 1st natural aging before pre-aging or without 1st natural aging before pre-aging.

解されず残存したためと考えられる。そのため、焼入れ後に 20°C で 1.8ks の自然時効を行った後に 100°C で 7.2ks の高温予備時効を行った試料は、バークハード性が低かったと考えられた。

クラスタ (1) および (2) の生成におよぼす高温予備時効時間と高温予備時効前後の自然時効の影響を模式図として Fig. 11 に示す。焼入れ後、直ちに十分な時間の高温予備時効が施されると、クラスタ (2) が多く生成され、クラスタを生成していない溶質原子および凍結空孔濃度が減少する。そのため、後に続く自然時効においてクラ

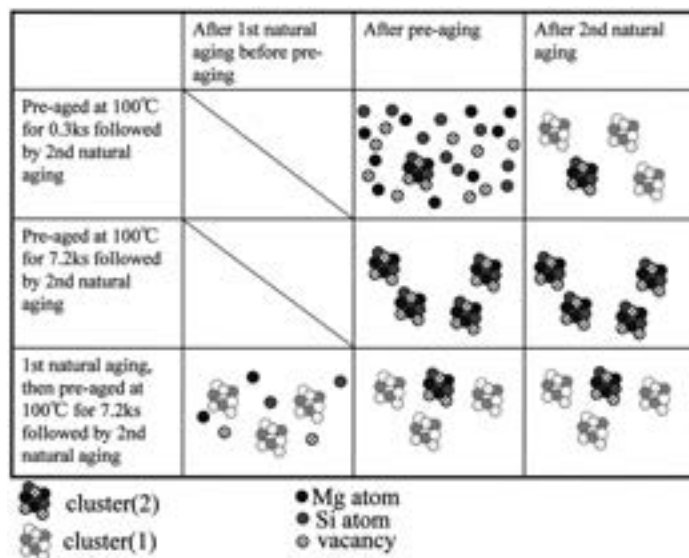


Fig. 11 The proposed mechanism for the formation of cluster (1) and cluster(2)<sup>7,11)</sup> during various aging treatments.

スタ(1)の生成を抑制できると考えられる。一方、高温予備時効時間が短い場合にはクラスタ(2)の生成が少なく、クラスタを生成していない溶質原子および凍結空孔が母相中に多く残存するために、潜伏期間の後にクラスタ(1)の生成が開始する。その結果、長時間の自然時効の後にベークハード性が低下する。また、高温予備時効前に自然時効が存在する場合には、自然時効においてクラスタ(1)が優先して生成し、高温予備時効およびその後の自然時効、さらにBH処理中でもクラスタ(1)が安定して存在する。そのために高いベークハード性が得られないと考えられる。これらことから、焼入れ後にクラスタ(1)が生成する前に適切な条件で十分な高温予備時効処理を行うことが高いベークハード性を得るためには重要であると考えられる。

#### 4. 結 言

Al-0.62%Mg-0.96%Si合金について、ベークハード性におよぼす高温予備時効とその前後の自然時効の影響について調査した。得られた結果を以下にまとめる。

(1) 焼入れ直後に100°Cから170°Cの高温予備時効処理を行うことにより、86.4ksの自然時効後も高いベークハード性が得られる。

(2) 100°Cの高温予備時効処理において、高温予備時効時間が短い場合には高ベークハード性を得るための自然時効時間が限定される。これは自然時効が一定時間を越えるとβ相に遷移しないクラスタの生成が生じるためと考えられる。

(3) 焼入れ後から高温予備時効処理を開始するまでに自然時効が存在すると、高温予備時効を施しても高いベークハード性が得られない。これは高温予備時効前の自然

時効において優先してβ相に遷移しないクラスタが生成され、高温予備時効しても残存しているためと推測される。

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から(財)金属系材料研究開発センター(JRCM)への委託研究「実用金属材料分野ナノメタル技術開発(アルミニウム系サブグループ)」の一環として行ったものである。

#### 参 考 文 献

- 1) 宇都秀之：住友軽金属技報，47 (2006)，128.
- 2) J. Langerweger：Proc. Aluminium Technology'86, (ed. T. Sheppard), The Institute of Metals, (1986), 216.
- 3) 馬場義雄，高島 章：軽金属，19 (1969)，90.
- 4) 八太秀周，田中宏樹，松田眞一，吉田英雄：軽金属，54 (2004)，412.
- 5) 八太秀周，松田眞一，吉田英雄：軽金属，56 (2006)，667.
- 6) 櫻井健夫，高木康夫，増田哲也：軽金属学会第98回講演概要集，(2000)，187.
- 7) 山田健太郎，里 達雄，神尾彰彦：軽金属，51 (2001)，215.
- 8) 里 達雄，山田健太郎，神尾彰彦：軽金属，49 (1999)，450.
- 9) 佐賀 誠，佐々木行雄，菊地正夫，日比野旭，松尾 守：軽金属，53 (2003)，516.
- 10) 内田秀俊，吉田英雄：軽金属，46 (1996)，427.
- 11) A. Serizawa, S. Hirose and T. Sato：Materials Science Forum，519-521 (2006)，245.
- 12) A. K. Gupta and D. J. Lloyd：Proceedings of the 3rd International Conference on Aluminum Alloys，2 (1994)，21.

# Dissimilar Metals Joining of Aluminum Alloy and Steel Sheets by Friction Stir Spot Welding\*

Koji Tanaka\*\*, Masaki Kumagai\*\*\* and Hideo Yoshida\*\*\*\*

Friction stir spot welding (FSSW) has been applied to dissimilar metals lap joint between aluminum alloy sheet and mild steel sheet. Sufficient strength of the dissimilar metals joints was obtained by FSSW without forming any brittle intermetallic compound at the weld interface. Technical point of the FSSW is to stir aluminum alloy by using a rotating tool without contacting it to the steel surface. Consequently, the strength of FSSW joints was higher than that of resistance spot welds, and all of the FSSW joints showed a plug fracture through the aluminum alloy parent sheet. Moreover, it was suggested that the joint strength was related to area of stir zone at the weld interface. An oxide film was observed partially in the stir zone by sweeping up from the interface. Amorphous layer of aluminum and iron including oxide of 2-4nm in thickness (10-20 layer of atoms) was formed in the weld interface without intermetallic compound.

## 1. Introduction

Environmental protection and energy saving has been strongly focused, from the view of the global warming prevention in recent years and in a point of emission control and fuel efficiency improvement in particular for the car field, the car body is required to be weight saving. Therefore putting suitable materials in the suitable components of a light-weight car body tends to expand, and various metals joining of aluminum alloy and steel is the problem which can't be evaded in particular.

In the case of the dissimilar metals joining of aluminum alloy and steel has been tried using the various methods such as fusion welding process<sup>1~9)</sup> and solid-state welding process<sup>10~13)</sup> so far. For example, arc welding, laser welding and resistance spot welding are typical as fusion welding process and friction welding, ultrasonic welding, explosive welding and electromagnetic welding are typical as solid-state welding proc-

ess. However, it is difficult to obtain a reliable weld joint for the moment because the brittle intermetallic compound tends to be generally formed at weld interface in fusion welding process. Recently, the trial that is to join dissimilar metals by controlling the heat input at the time of arc welding<sup>14,15)</sup> has reported. On the other hand, joining dissimilar metals in solid-state welding is limited because there are restrictions in equipments and the joint shapes. There are also other welding methods using a transition piece, but the problem is its high production cost. Neither studies and analyses about a mechanism of weld interface, nor methods of welding are not enough for practical usage.

The friction stir welding<sup>16)</sup> was developed by the United Kingdom TWI (The Welding Institute) in 1991. It is the solid-state welding for which frictional heat by rotating tool and the plastic flow, which occurs inside the joint material, are used. After developing, FSW has been applied to fields such as the rolling stocks and automotive parts. When it is applied to the dissimilar metals joining, intermetallic compound in the weld interface will be restrained to form. Therefore FSW seems to have highly reliable weld joint. The FSW joint shape was butt joint<sup>17~19)</sup> and lap joint<sup>20,21)</sup> by the dissimilar metals joining in the past. In this study, we

\* This paper was re-wrote the report presented at the 7th International Friction Stir Welding Symposium, Awaji Island, Japan, May 20-22, (2008)

\*\* No.5 Department, Research & Development Center.

\*\*\* No.5 Department, Research & Development Center, Dr. of Eng.

\*\*\*\* Research & Development Center, Dr. of Eng.

investigated the strength of the weld joint of the dissimilar metals joining and analyzed the weld interface of aluminum alloy and steel using the friction stir spot welding (FSSW in the following)<sup>22~24)</sup> that can be expected to be the joint for weight saving car body.

## 2. Experimental procedures

As parent sheets, T4 conditioned 6000 series of aluminum alloy sheet (Al-1.0mass% Si-0.5mass% Mg) with 1mm thickness and a mild steel sheet (SPCC, Fe-0.05mass% C-0.01mass% Si-0.14 mass% Mn-0.02mass% P-0.01mass% S) with 0.7mm thickness, as shown in Fig. 1, were used. Both of parent sheets were degreased and cut in the shape of width 40mm and length 120mm. The lap length for FSSW test specimens was 40mm. Rotating tool<sup>23)</sup> of shoulder diameter 13mm, as shown in Fig. 1, having probe tip diameter 4.5mm and probe length 0.8mm was used. The joining time<sup>22)</sup>, that was defined as the time during the probe contacted with aluminum alloys, was fixed to 2.0 seconds. In FSSW test, the rotating speed was controlled at 3 levels such as 1000, 1500 and 2000rpm (16.7, 25.0 and 33.3s<sup>-1</sup>) respectively. In this study, rotating tool<sup>23)</sup> was plunged from the aluminum alloy side without inserting to steel surface in order to prevent the formation of brittle intermetallic layer. The insertion depth of rotating tool was adjusted by micrometer in order to control the remainder thickness of aluminum alloy sheet at the probe point part would be 4 levels such as 0.21, 0.26, 0.31 and 0.36mm respectively. 4 chromel-almel thermocouples of diameter 0.08mm were embedded in the steel sheet surface having 2mm pitch

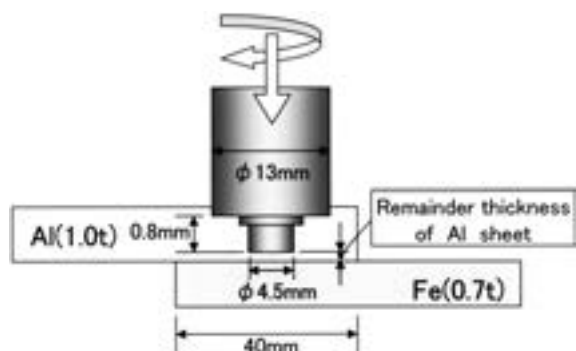


Fig. 1 Schematic illustration of friction stir spot welding.

around the joining center, as shown in Fig. 2. The interface temperature was measured for every FSSW conditions with 0.2 seconds interval. For FSSW jointed specimens the tensile shear strength of joint was measured. Microstructure of the weld interface after the test was observed by optical microscope.

In order to discuss the joint mechanism, element of the weld interface for a typical sample prepared by cross section polisher (JEOL SM-09010) was analyzed by using FE-EPMA (JEOL JXA-8500F, accelerating voltage 10kV). Also the weld interface of a typical sample prepared by focused ion beam arrangement (Hitachi FB-2000A, accelerating voltage 30kV) was observed by high-resolution TEM (Hitachi H-9000NAR, accelerating voltage 300kV). Also, element analysis of the weld interface was carried out by EDS (Topcon EM-002BF/P-20 mounted in the TEM).

## 3. Results and discussion

### 3.1. Relation between joint strength and FSSW condition

Fig. 3 shows the relation between the remainder thickness of aluminum sheet defined in Fig. 1 and the tensile shear strength (calling "the joint strength" in later part) of the FSSW dissimilar metals joints. When the rotating speed was at 1500rpm and 2000rpm, the joint strength was lower than that at 1000rpm and decreased corresponding to the remainder thickness of aluminum sheet. When the rotating

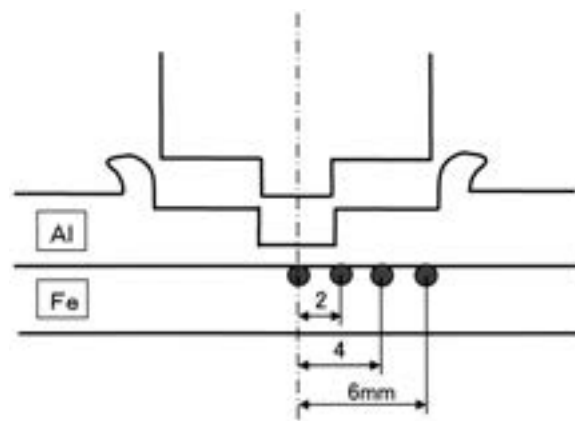


Fig. 2 Schematic illustration of temperature measurement at weld interface by thermocouples.

speed was at 1000rpm and the remainder thickness of aluminum sheet was in the range of 0.21-0.31mm, the joint strength was the highest marking constantly 3.6kN/weld. The joint strength of the FSSW and the resistance spot welding for the same parent aluminum alloy sheets were also indicated in Fig. 3. The highest joint strength of the FSSW dissimilar metals joining was a little lower than that of FSSW joining for the same parent aluminum alloy sheets 3.9kN/weld. But it was higher than that of the resistance spot welding for the same parent aluminum alloy sheets 2.15kN/weld, that was represented the A class referring WES-7302.

In this study, the reason of the significant difference in the joint strength caused by the joint condition was discussed focusing especially to the influence of tool rotating speed.

Fig. 4 shows the typical fracture surfaces af-

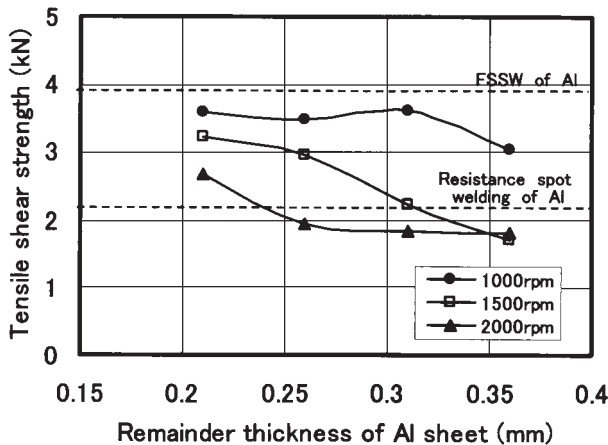


Fig. 3 Relationship between FSSW conditions and tensile shear strength of the joints.

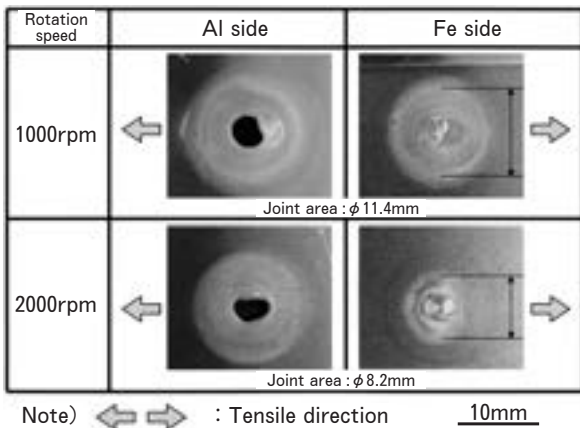


Fig. 4 Appearance of the fracture surface after tensile shear test of the FSSW dissimilar metals joints. (remainder thickness of Al sheet : 0.26mm)

ter the tensile shear test of the FSSW dissimilar metals joints at 1000rpm and 2000rpm stirring in the case of 0.26mm in remainder thickness. All of the FSSW dissimilar metals joints showed a plug fracture through all or part of aluminum alloy sheet, and fractured tip of aluminum alloy sheet was remained on a steel sheet. The white zone, in which the trace of aluminum adhesive was formed by the stirring of aluminum sheet, was observed around the fractured tip on the steel sheet. The diameter of the white zone on the specimens stirred at 1000rpm was 11.4mm and it was wider than that obtained by the specimen stirred at 2000rpm.

Fig. 5 shows the cross section microstructures of the FSSW dissimilar metals joints stirred at 1000rpm and 2000rpm in the case of the 0.26mm remainder thickness of aluminum sheet. In neither rotating speed, the probe tip did not reach the steel surface and the stirring part of aluminum was overflowed to outside. The stir zone in the interface between aluminum sheet and steel sheet was indicated in Fig. 5. The diameter of the stir zone for each specimen was mostly equal to the white zone indicated in Fig. 4. It seemed to be confirmed that the joint area was corresponded to the stir zone of the weld interface in Fig. 5. Then it was suggested that the joint area was narrowed at the condition with high rotat-

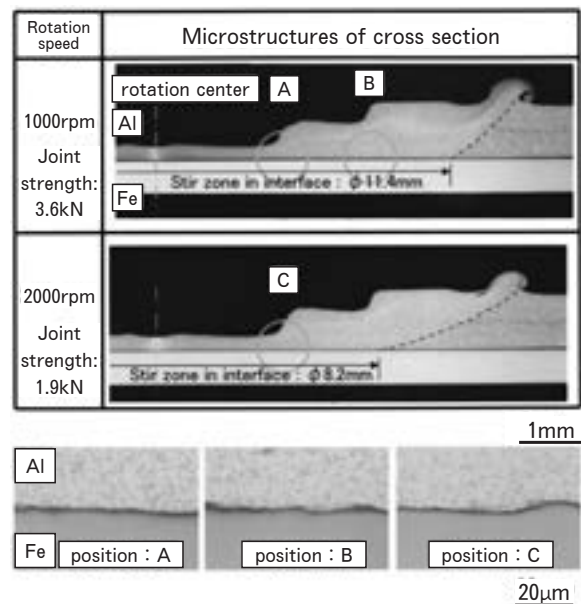


Fig. 5 Optical microstructures of the cross sections of the FSSW dissimilar metals joints. (remainder thickness of Al sheet : 0.26mm)

ing speed. When the joint strength was converted per unit joint area, the value was almost equal for every FSSW condition and was represented about 35-36MPa. It was confirmed that the joint strength seemed to be related to joint area. The significant difference in the microstructures of cross section at the interface was not observed as shown in A, B and C in Fig. 5. It was suggested that the weld interface might have the same metallurgical structure in the range of every condition in this study.

The temperature of the weld interface was measured in order to discuss the reason of the difference in the stir zone width at 1000rpm and 2000rpm stirring shown in Fig. 5.

Fig. 6 shows the thermal cycles in the weld interface of the FSSW dissimilar metals joints. The temperature rose gradually until reaching to peak temperature, at when the stirring tool was pulled out, and then descended. At 2000rpm stirring, the initial heat rising was faster, and moreover, the peak temperature was also higher as 50-80K than those for the same position at 1000rpm stirring.

In general speaking, the wide plastic flow area formed by stirring in the metal into which the rotating toll is inserted must be required to obtain the wide joint area by FSW process. Therefore, probably there is the adequate range of the resistance to deformation for the metal which is to be stirred. The material having very high resistance of deformation is insufficient to FSW process. Also it is supposed that the plastic flow of the metal is limited in the narrow area, when the resistance of deformation of the metal is locally low at near the rotating tool. The resistance of deformation of the metal is changed

with the temperature and is decreased significantly at the temperature just below the melting point. The temperature is changed by the frictional heat generation around the rotating tool. Fig. 6 indicated that the temperature of aluminum sheet at the portion nearest to rotating tool at 2000rpm stirring was reached to approximately 840K, and the value was only 80K lower than the melting point. Under such condition, the plastic flow of aluminum seemed to be vigorous at the interface area just below the rotating tool but slow in the surrounding interface area where the temperature was lower and the resistance to deformation might be higher.

### 3.2. Observation and analysis on weld interface

The weld interface of the FSSW dissimilar metals joining was observed and analyzed for further study.

Fig. 7 shows the EPMA area analyses results of the weld interface of a typical FSSW dissimilar metals joint. As shown in Fig. 7, the concentration of oxygen and magnesium was detected in the layer having about  $1\mu\text{m}$  width in the stirred zone of aluminum alloy adjacent to the weld interface. It is well known that there is surface oxide film on rolled sheet of both aluminum alloy and steel, and joining strength is influenced by the film. The measured thickness of the surface oxide film was about 16nm on 6000 series aluminum alloy sheet, and was about 20nm on mild steel sheet, respectively. It was supposed that the broken peaces of the surface oxide film of the parent aluminum alloy sheet containing magnesium<sup>25)</sup> were taken into the stir zone of aluminum alloy by hard plastic flow during

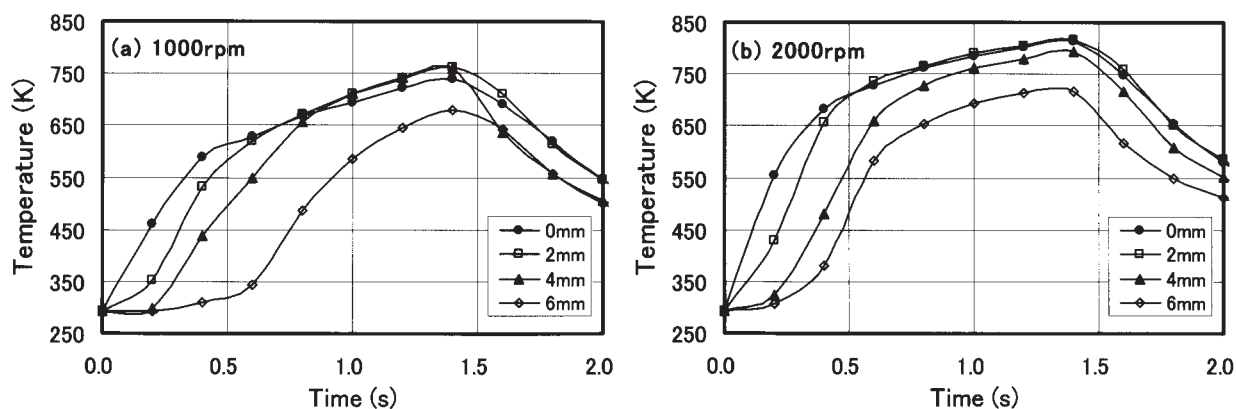


Fig. 6 Thermal cycles in the weld interface of the FSSW dissimilar metals joints.

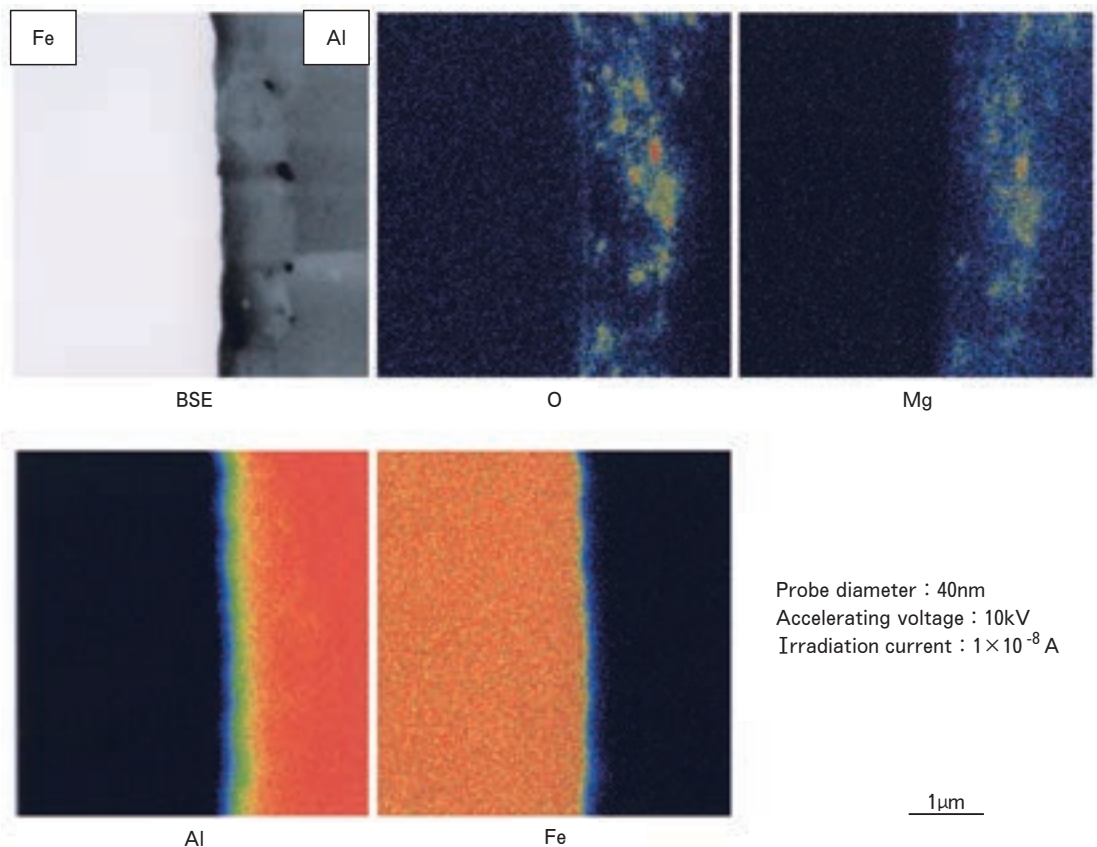


Fig. 7 EPMA area analysis results of weld interface of the FSSW dissimilar metals joint.

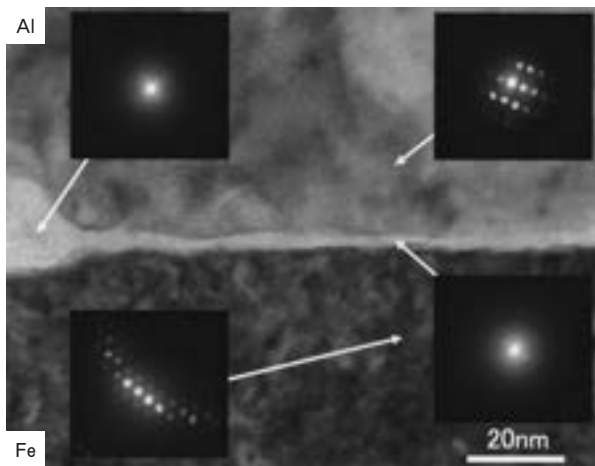


Fig. 8 TEM micrograph of weld interface of the FSSW dissimilar metals joint and selected area diffraction patterns.

FSSW process.

Fig. 8 shows the TEM image and the selected area diffraction pattern of the weld interface of the FSSW dissimilar metals joint. As shown in Fig. 8, the uniform zone having width of a few nm and the area like nodule at where the thickness was increased to approximately 20 nm were observed in the weld interface. Also the

intermetallic particles larger than the uniform zone were not observed. In the areas corresponding to the stirred aluminum alloy and steel sheet, clear diffraction fleck was observed by the electronic diffraction pattern analysis. On the other hand, a diffraction fleck was not observed both in the uniform zone and in the nodule area.

Fig. 9 shows the EDS images of the same weld interface. As shown in Fig. 9, oxygen, magnesium and silicon were detected in both the uniform zone and the nodule area. Lower intensity of aluminum than that in the area corresponding to metal was also detected in these areas, and lower intensity of iron than that in the area corresponding to metal was detected in only the uniform zone. The concentrations of these elements except iron were not uniform in these areas. Oxygen, aluminum and magnesium in these areas seemed to indicate the trace of broken piece of surface oxide film formed on parent aluminum alloy sheet. Oxygen and silicon in these areas seemed to be supposed the trace of broken piece of surface oxide formed in the chemical process of parent steel sheet. Oxygen



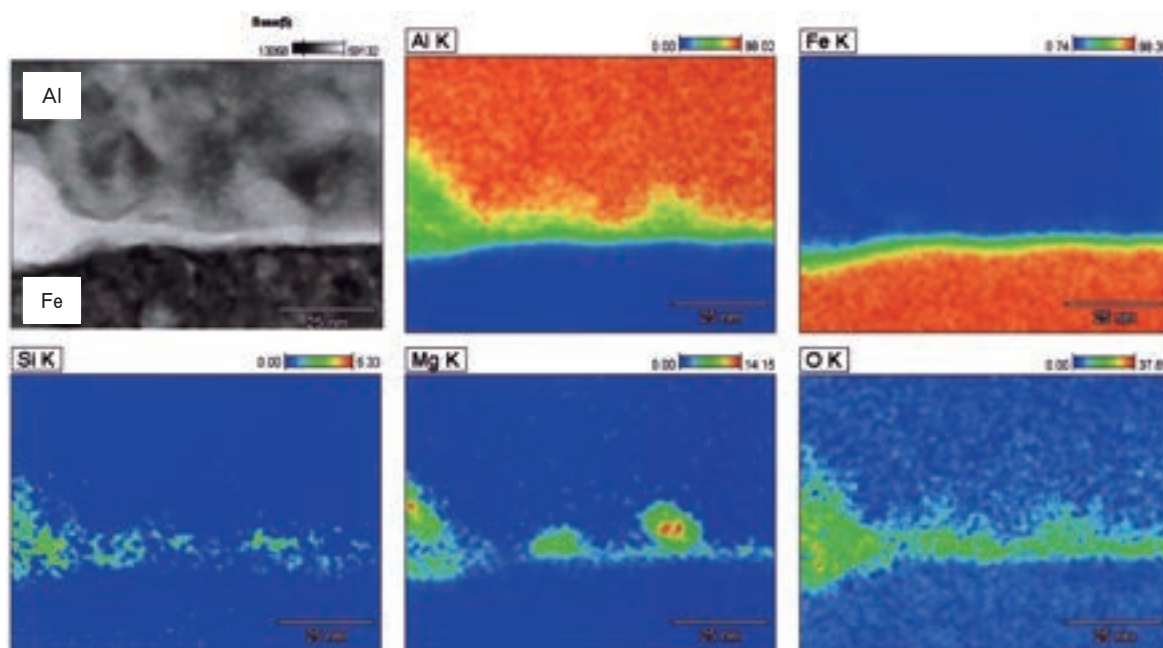


Fig. 9 EDS images of weld interface of the FSSW dissimilar metals joint.

and iron in the uniform zone seemed to be supposed the trace of surface oxide film of parent steel sheet.

Fig. 10 shows the high-resolution TEM image of the uniform zone. Clear crystal lattices were observed in the areas corresponding to stirred aluminum alloy and steel sheet. The crystal lattice was understood as {200} plane for the aluminum alloy and {110} plane for the steel, respectively. However a clear crystal lattice wasn't observed in the sandwiched zone with 2-4nm (10-20 layers of atoms) width between the crystal lattice areas. The sandwiched zone showed the mixture of the dispersion of extremely fine white and dark clusters. Any trace of the film which suggested the surface oxide on parent metals was not observed between the crystal lattice area and the sandwiched zone.

By these results, it was summarized that the fresh surfaces of parent metals were joined with the weld interface zone which was a few nm in width and amorphous consisted of extremely fine different clusters containing various oxides. The surface film on parent steel sheet seemed to be removed and crunched into very fine clusters by the hard plastic flow during FSSW process. Then, the fresh surface without oxide film seemed to be produced on both parent metals, and the crunched fine clusters of surface oxides seemed to be brought into the sandwiched zone.

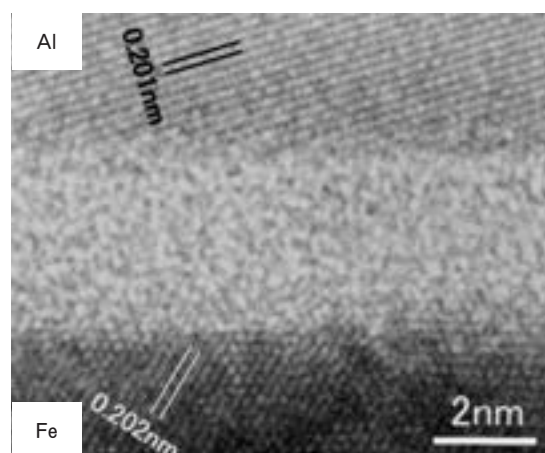


Fig. 10 High-resolution electron microscope image of weld interface of the FSSW dissimilar metals joint.

After that, the thin composite layer, consisted of fine clusters of aluminum alloy and various oxides, was seemed to be formed. Regardless high temperature condition during FSSW processing, the sandwiched zone seemed to be maintained amorphous by such composite structure. It is well known that the formation of brittle Al-Fe intermetallic compounds have to be prevented and the surface oxide film on parent materials have to be completely removed, in order to obtain sufficient joining of aluminum alloy and steel. As written above, these conditions of the weld interface for the sufficient joining seemed to be completely satisfied by the FSSW dissimilar metals joining in this study.

#### 4. Conclusions

By the study of Friction Stirring Spot Welding for dissimilar metals using 6000 series aluminum alloy sheet and steel sheet, following results were obtained.

(1) Without any special pretreatments to the parent metals, the FSSW dissimilar metals joining was successfully achieved by inserting the rotating tool from the aluminum alloy sheet to near the interface of the both parent metals. The strength of the joint was over 3.6kN/weld and joint could be produced which constantly has plug fracture through aluminum alloy by the tensile share test. The strength of the joint was depended on the width of the joint area corresponding to the stir zone of the weld interface, and the joint area was depended on rotating tool design, rotating speed of tool and the remainder thickness of aluminum sheet.

(2) At the sufficient joint, the fresh surfaces of parent metals were joined with the weld interface zone which was a few nm in width and amorphous structure. The amorphous layer seemed to be consisted of extremely fine different fine clusters containing various oxides such as the surface film on parent sheets. The removal of the surface oxide film on parent metals, that was very important to obtain sufficient joint, seemed to be achieved by the hard plastic flow during FSSW process.

#### References

- 1) T. Murakami, K. Nakata, M. Ushio and H. Tong : Preprints of The National Meeting of J. W. S, **71** (2002), 258.
- 2) M. Rathod and M.Kutsuna : Quarterly Journal of the Japan Welding Society, **21** (2003), 282.
- 3) K. Nishimoto, Y. Fujii and S. Katayama : Quarterly Journal of the Japan Welding Society, **22** (2004), 572.
- 4) Y. Miyashita, M. Muto and M. Okumura : Proc. The 105th Conference of Japan Institute of Light Metals, (2003), 81.
- 5) K. Lee, T. Arai, S. Kumai, S. Sato, F. Matsuda, S. Saito, Y. Yokomori and Y. Kiyomiya : Proc. The 105th Conference of Japan Institute of Light Metals, (2003), 83.
- 6) T. Fukui and Y. Sugiyama : Sumitomo Light Metal technical reports, **18** (1977), 137.
- 7) S. Imaizumi and M. Okuto : journal of Light Metal Welding & Construction, **17** (1979), 10.
- 8) H. Oikawa, T. Saito, T. Yoshimura, T. Nagase and T. Kiriyaama : Quarterly Journal of the Japan Welding Society, **14** (1996), 69.
- 9) M. Yasuyama, K. Ogawa and T. Taka : Quarterly Journal of the Japan Welding Society, **14** (1996), 314.
- 10) T. Shinoda, M. Ogawa, S. Endo and K. Miyahara : Quarterly Journal of the Japan Welding Society, **18** (2000), 365.
- 11) Y. Sugiyama : journal of Light Metal Welding & Construction, **18** (1980), 233.
- 12) T. Fukui, K. Namba and Y. Sugiyama : Journal of the Japan Welding Society, **39** (1970), 1315.
- 13) M. Matsuda, Y. Yonenaga, T. Kosaki and T. Aizawa : Preprints of The National Meeting of J. W. S, **69** (2001), 370.
- 14) K. Maeda, K. Tanaka and M. Yasuyama : Preprints of The National Meeting of J. W. S, **77** (2005), 112.
- 15) T. Fukuda, M. Kumagai and K. Namba : Proc. The 112th Conference of Japan Institute of Light Metals, (2007), 117.
- 16) C. J. Dawes : Welding & Metal Fabrication, **63** (1995), 13.
- 17) H. Okamura, K. Aota and Y. Aono : Preprints of The National Meeting of J. W. S, **71** (2002), 442.
- 18) T. Watanabe, A. Yanagisawa and H. Takayama : Quarterly Journal of the Japan Welding Society, **22** (2004), 141.
- 19) M. Fukumoto, M. Tsubaki, Y. Shimoda and T. Yasui, Quarterly Journal of the Japan Welding Society, **22** (2004), 309.
- 20) K. Yoshikawa and T. Harano : 3rd International FSW Symposium, Kobe, (2001), CD.
- 21) A. Elrefaey, M. Takahashi and K. Ikeuchi : Preprints of The National Meeting of J. W. S, **73** (2003), 66.
- 22) R. Sakano, K. Murakami, K. Yamashita, T. Hyoe, M. Fujimoto, M. Inuzuka, Y. Nagao and H. Kashiki : Proc. 3rd International FSW Symposium, Kobe, (2001), CD.
- 23) M. Kumagai and K. Tanaka : Proc. The 102th Conference of Japan Institute of Light Metals, (2002), 247.
- 24) T.Gendo, K. Nishiguchi and M. Asakawa : Society of Automotive Engineers of Japan, Annual Congress Proceedings, (2006), No. 18-06.
- 25) D. J. Field, G. M. Scamans and E. P. Butler : Metallurgical Transaction, **18A** (1987), 463.

## ブレイジングシートの耐食性に及ぼすろう材厚さの影響\*

山下 尚希\*\* 正路 美房\*\*\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 38-44

## Effect of Thickness of Filler on Corrosion Resistance of Brazing Sheet

Naoki Yamashita and Yoshifusa Shoji

The effects of Zn addition to the filler, Cu addition to the core and the filler thickness on the corrosion resistance of the brazing sheet were investigated with SWAAT. In case of the brazing sheets containing Zn in the filler or Cu in the core, the corrosion depth decreased and the perforation period increased with increasing the filler thickness. In case of those brazing sheets, the corrosion potential of the surface layer was less noble than that of the core, and the corrosion potential difference between the surface and the core increased with increasing the filler thickness. According to the galvanic coupling immersion test, the corrosion potential difference between the surface and the core was required more than 10mV in order to have the sacrificial anode effect of the surface. The thickness of the sacrificial anode layer, defined as the layer whose corrosion potential was less noble than that of the core for 10mV or more, increased with increasing the filler thickness. The perforation period in SWAAT increased with increasing the corrosion potential difference and the thickness of the sacrificial anode layer.

## 1. 緒 言

自動車用のアルミニウム合金製熱交換器には、ろう付けおよび耐食性を考慮した各種ブレイジングシートが広く用いられている。熱交換器の軽量化に伴いブレイジングシートの薄肉化が要求されているが、そのためには耐食性の確保が重要な課題となる。

ブレイジングシートの耐食性については、これまでにもろう材への Zn 添加あるいは芯材への Cu 添加等のろう材あるいは芯材成分の影響に関する研究<sup>1~3)</sup>、ろう材合金そのものの腐食挙動に関する研究<sup>4~6)</sup>等が報告されている。一方、ブレイジングシートの薄肉化に伴い、ろう材厚さも変化するため、耐食性に関しては合金成分のみならずろう材厚さの影響についても考慮する必要がある。しかしながら、ブレイジングシートの耐食性に及ぼすろう材厚さの影響に関してはこれまでにほとんど報告されていない。本報では、芯材中の Cu 量およびろう材中の Zn 量とろう材厚さを変えたブレイジングシートについて

促進腐食試験を行い、ろう材厚さが耐食性に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験方法

ろう材として Al-10mass%Si (以後、mass% を % と略記) 合金 A およびこれに 2% の Zn を添加した合金 B を溶解鑄造し、773K で均質化処理を施した後、所定の厚さまで熱間圧延を行った。また、芯材として Al-1.2%Mn-0.16%Ti 合金 C およびこれに 0.6% の Cu を添加した合金 D を溶解鑄造し、868K で均質化処理を施した後、片面にクラッド率が 3%、6% および 12% となるようにろう材を熱間クラッド圧延した。その後、0.5mm の板厚まで冷間圧延し、633K で 3 h の焼鈍を行い、ろう材厚さが 15 $\mu$ m、30 $\mu$ m および 60 $\mu$ m となる合計 12 種類のブレイジングシートを作製した。ろう材合金および芯材合金の化学成分を Table 1 に、作製したブレイジングシートの構成を Table 2 に示す。

これらのブレイジングシートを 120mm $\times$ 300mm<sup>1</sup> に切断し、フッ化物系フラックスの懸濁液をそのろう材面に吹き付けて乾燥させた後、窒素ガス雰囲気中でろう付

\* 軽金属, 59 (2009), 344-349. に主要部を掲載

\*\* 研究開発センター 第四部

\*\*\* 社団法人 日本アルミニウム協会, 工学博士

**Table 1** Chemical compositions of filler and core alloys.  
(mass %)

Alloy		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
Filler	A	10.10	0.21	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	Bal.
	B	10.04	0.19	0.01	0.01	0.01	2.07	0.03	Bal.
Core	C	0.20	0.20	<0.01	1.17	<0.01	<0.01	0.16	Bal.
	D	0.19	0.19	0.60	1.18	<0.01	<0.01	0.17	Bal.

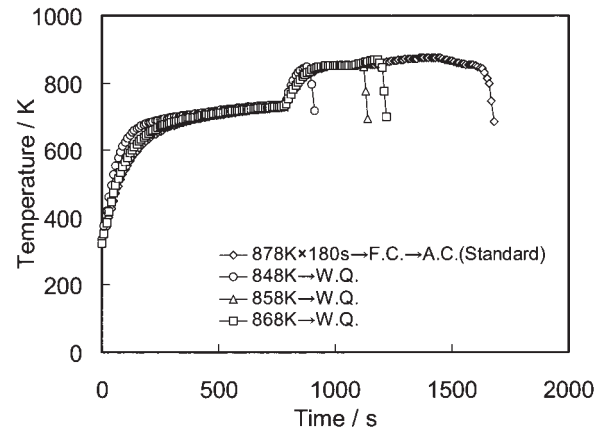
**Table 2** Compositions of brazing sheets.

Specimen No.	Filler			Core	
	Mark	Alloy	Thickness ( $\mu\text{m}$ )	Mark	Alloy
1	A	Al-10Si	15	C	Al-1.2Mn-0.16Ti
2			30		
3			60		
4	B	Al-10Si-2Zn	15		
5			30		
6			60		
7	A	Al-10Si	15	D	Al-1.2Mn-0.6Cu-0.16Ti
8			30		
9			60		
10	B	Al-10Si-2Zn	15		
11			30		
12			60		

を模擬した加熱を施した。ろう付を模した加熱として、約 13min で 723K まで昇温した後、約 10min で 878K まで昇温し、878K で 3 min の保持を行った後、炉内で 773K まで冷却し、その後炉外に搬出する工程を標準とした。Fig. 1 に標準ろう付け条件における実体温度変化と、後述する残存ろう材厚さ測定のためのろう付け条件におけるそれをあわせて示す。ろう付炉内は、ブレイジングシートの温度が 878K に達した時に、酸素濃度が 100ppm 未満、露点が 233K 未満になるように  $\text{N}_2$  ガス流量を調節した。なお、ブレイジングシートは炉内に垂直に設置して加熱し、下部のろう溜まり部は除去して以降の試験に供した。

促進腐食試験として SWAAT 試験<sup>7)</sup>を用いた。ろう付加熱後のブレイジングシートから 45mm<sup>w</sup>×110mm<sup>l</sup> の試験片を切り出し、その芯材面を絶縁塗料でマスクングし、ろう材面を試験面として供試した。試験期間は 2~12 週間とした。試験後の各試験片は、無水クロム酸・リン酸混合水溶液中で煮沸して腐食生成物を除去した後、光学顕微鏡を用いた焦点深度法による腐食深さ測定に供した。そのうち最も深い部分については、断面研磨~ミクロ組織観察により腐食深さを再測定した。

あわせて、以下の要領でブレイジングシートの板厚方向についての自然電位分布を測定した。ろう付加熱後のブレイジングシートから切り出した 20mm<sup>w</sup>×80mm<sup>l</sup> の試験片をろう材表面から 30 $\mu\text{m}$  間隔で面削し、面削面

**Fig. 1** Brazing heat cycles of specimen.

に 10mm×10mm の露出面を残して絶縁塗料でマスクングした。それらの試料を酢酸で pH 3 に調製した 5%NaCl 水溶液中に浸漬し、24h の間自然電位を連続的に測定した。測定中は水溶液の攪拌を行ったが通気は行わなかった。参照電極として飽和カロメル電極を用いた。浸漬開始から 5h 以降の測定値の平均を代表値とした。以後記述の電位はこの代表値を意味する。

また、犠牲陽極効果に必要な表層部と芯材部の電位差を検討するため、ブレイジングシート No.12 の芯材である合金 D 単独の浸漬促進腐食試験と、合金 D とブレイジングシート No.12 の表層部を模した Table 3 に示す成分の合金 E~H を用いて 2 種の合金を電気的に接合した浸漬促進腐食試験（カップリング浸漬腐食試験）を実施した。合金 E~H は、ブレイジングシート No.12 のろう付加熱後断面のろう材表面から芯材深さ方向への各元素の分布を EPMA 線分析により測定した結果をもとに、Fig. 2 に示すように表層側の所定の深さに相当する部位の合金組成を模して作製した。各合金は板厚 0.5mm の O 材に仕上げ、878K で 3 min のろう付加熱を施した後に 25mm<sup>w</sup>×65mm<sup>l</sup> の試験片に切り出し、25mm<sup>w</sup>×30mm<sup>l</sup> の暴露面を残して絶縁塗料でマスクングした。カップリング浸漬腐食試験の模式を Fig. 3 に示す。浸漬は SWAAT 試験液中で行い、電気的に接合した試験片間の距離は 2, 5, 10 および 20mm とし、試験期間は 700h とした。

さらに、ろう付加熱によるろう材厚さの変化を調べるために、ブレイジングシート No.10~12 について、Fig. 1 に示すように 878K で 3 min 保持の標準条件でろう付加熱を行った。それらブレイジングシートについて、断面研磨~ミクロ組織観察を行い、残存ろう材厚さを測定した。あわせて、ろう付加熱開始後 848K, 858K および 868K に到達した後ただちに炉外に取り出して水冷したこれらブレイジングシートについても断面のミクロ組織観察を行い、各温度における残存ろう材厚さを測定した。また、ろう付加熱後の Zn 分布を調べるために、

878K で 3 min 保持したろう付加熱後のブレージングシート No.10~12 の断面について、ろう材表面から芯材深さ方向への Zn の元素分布を EPMA 線分析により測定した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 促進腐食試験

ブレージングシート No. 1~3 および No.10~12 について、SWAAT 試験を 2~12 週間行った後の最大腐食深さを Fig. 4 に示す。また、各ブレージングシート

Table 3 Chemical compositions of alloys for galvanic coupling immersion test. (mass %)

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
E	0.31	0.20	0.56	1.25	<0.01	0.29	0.16	Bal.
F	0.44	0.21	0.45	1.21	<0.01	0.33	0.18	Bal.
G	0.65	0.20	0.24	1.07	<0.01	0.45	0.16	Bal.
H	0.77	0.21	0.12	0.33	<0.01	0.52	0.13	Bal.

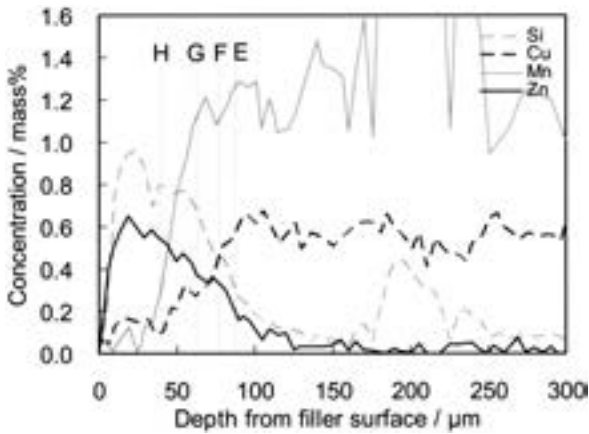


Fig. 2 Elemental distribution by EPMA line scan analysis across the thickness of specimen No.12. E, F, G and H in figure indicate the positions to make alloys listed in Table 3.

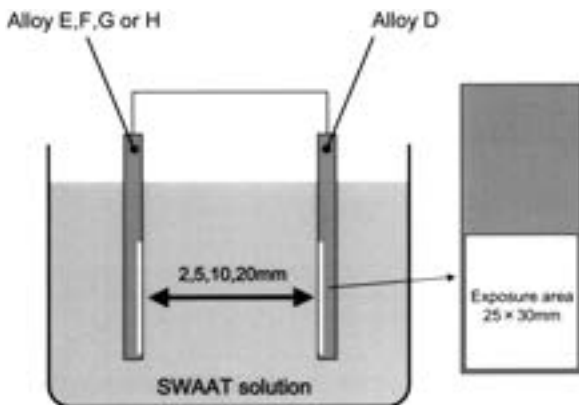
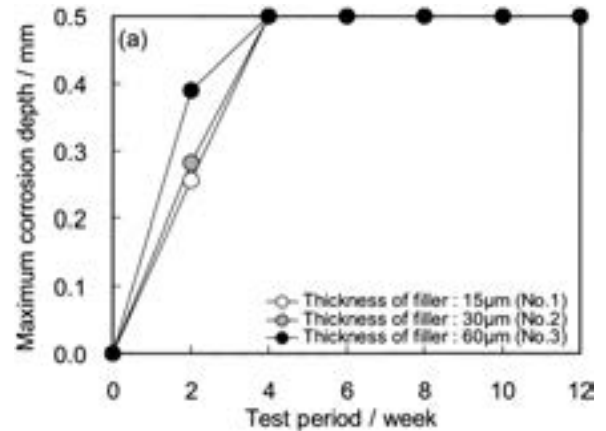
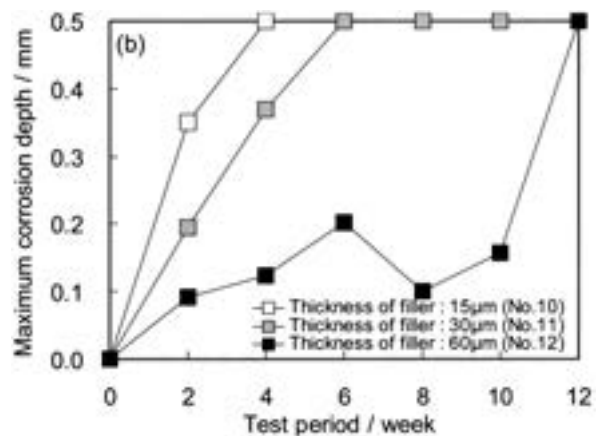


Fig. 3 Schematic diagram of galvanic coupling immersion test.

の代表的な試験期間後における最大腐食部の断面マイクロ組織を Fig. 5 に示す。ろう材に Zn を添加せず芯材にも Cu を添加しないブレージングシート (No. 1~3) では、Fig. 4(a) に示すように、いずれのろう材厚さのものも 4 週間後に貫通した。Fig. 5 に示すように、それらブレージングシートの 2 週間後の最大腐食部の断面形状はいずれも孔食状で、表層のろう材部分が残存しており、ろう材が厚いほど芯材の腐食は深くなる傾向が見られた。一方、ろう材に Zn を添加し芯材にも Cu を添加したブレージングシート (No.10~12) では Fig. 4(b) のように、ろう材が厚いほど腐食深さは浅くなる傾向を示した。ろう材に Zn 添加のみ、あるいは芯材に Cu 添加のみのブレージングシート (No. 4~9) についても No.10~12 と同様の傾向を示した。Fig. 5 によれば、ろう材に Zn を添加し芯材に Cu を添加しないブレージングシート (No. 4~6) および Cu を添加した芯材で Zn を添加した厚いろう材のブレージングシート (No.11, 12) では、ろう材部が優先腐食し芯材を防食した形態を示し、芯材に Ti を添加した場合に見られる層状の腐食形態<sup>8)</sup>は顕著ではなかった。他方、芯材に Cu を添加し、ろう材に Zn を添加しないブレージングシート (No. 7



(a) Specimens No. 1, 2 and 3.



(b) Specimens No.10, 11 and 12.

Fig. 4 Maximum corrosion depth after SWAAT.

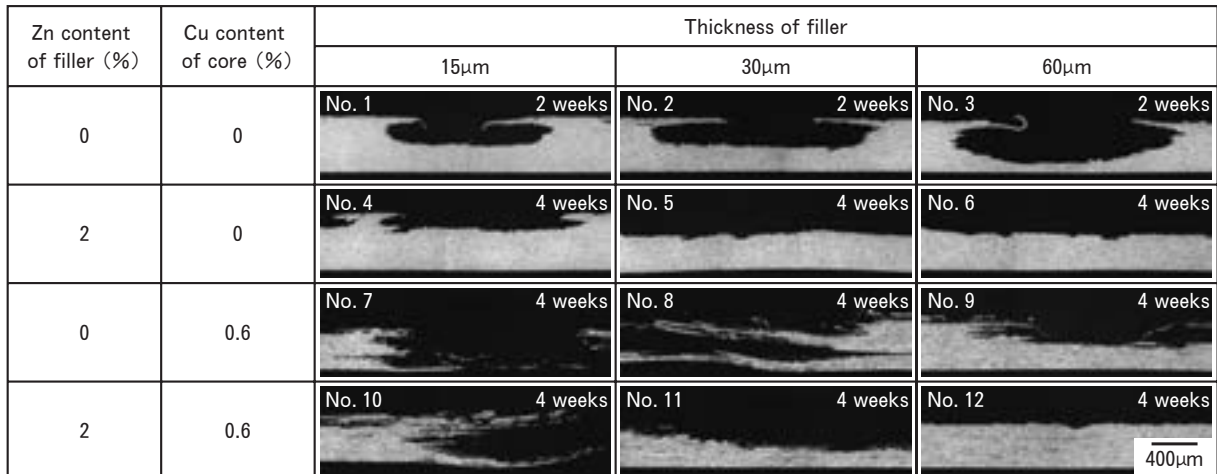


Fig. 5 Cross sections of specimens at the portion of maximum corrosion depth after SWAAT for typical durations.

～9) および同様の芯材で Zn を添加したろう材の厚さが 15 $\mu$ m のブレイジングシート (No.10) では層状の腐食形態となった。

Fig. 6 にろう材厚さと SWAAT 試験における貫通寿命の関係を示す。ろう材に Zn を添加しない場合、芯材に Cu を添加し厚いろう材を有するブレイジングシート (No. 9) で貫通寿命は多少延長されたが、ろう材の厚さが薄いブレイジングシート (No. 7, 8) や芯材に Cu を添加しないブレイジングシート (No. 1～3) では貫通寿命は短かった。ろう材に Zn を添加したブレイジングシート (No. 4～6 および 10～12) の場合には貫通寿命は明らかに長くなり、ろう材が厚いほどその傾向が強くなり、芯材に Cu を添加しないブレイジングシート (No. 6) の耐食性が最も良好であった。芯材への Ti 添加による層状腐食は犠牲陽極作用が消失した後に現れ、わずかに貫通寿命を延長する効果を生じるとみられた。

### 3.2 電位分布

代表例として、ブレイジングシート No. 1～3 および No.10～12 について、ろう材表面から芯材深さ方向への電位分布を測定した結果を Fig. 7 に示す。Fig. 7(a) に示すように、貫通寿命が短かったブレイジングシート、すなわちろう材に Zn を添加せず芯材にも Cu を添加しないブレイジングシート (No. 1～3) では、ろう材表面から約 30～90 $\mu$ m の深さの部位で、芯材部よりも電位が貴になっていた。この電位が貴になっている範囲は、ろう材が厚いほど広がる傾向を示した。他方、Fig. 7(b) に示すように、耐食性が良好であったブレイジングシート、すなわちろう材に Zn を添加し芯材にも Cu を添加したブレイジングシート (No.10～12) では、いずれも表層部の電位が芯材部の電位より卑になっており、表層部から芯材部にかけて電位勾配が形成されていた。また、表層部と芯材部の電位差は、ろう材が厚いほど大きくなる傾向を示した。ろう材に Zn を添加した、ある

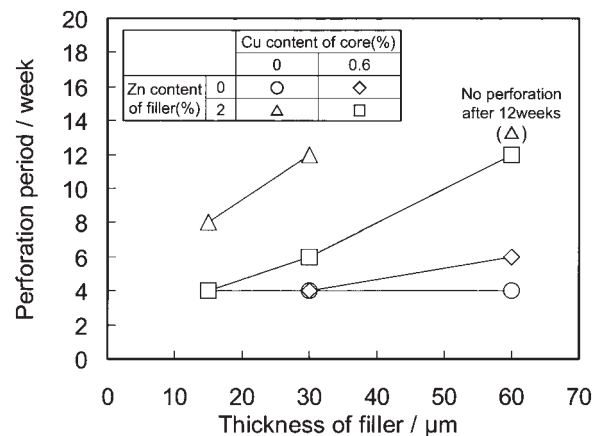


Fig. 6 Relationship between the thickness of filler and perforation period in SWAAT.

いは芯材に Cu を添加したブレイジングシート (No. 4～9) についても No.10～12 と同様の傾向を示した。貫通寿命が長くなったそれらブレイジングシートは、ろう材部が犠牲陽極として作用して芯材部を防食していたと考えられる。

### 3.3 カップリング浸漬腐食試験

合金 D～H について測定した電位、およびこれらの差として求めたカップリング浸漬腐食試験における芯材部合金 D と表層部に相当する合金 E～H との電位差を Table 4 に示す。次に、芯材部合金 D の単独での腐食減量に対する合金 E～H とのカップリング浸漬腐食試験での腐食減量の比  $R_{core}$  を式 (1) によって求め、これと Table 4 に示したカップリング浸漬腐食試験における合金 D と合金 E～H との電位差との関係を Fig. 8 に示した。但し、Fig. 8 において電位差が 0 でのプロットは、芯材部合金 D の単独浸漬を示すものであり、 $R_{core}$  の値は腐食減量をそれ自身で除して 1 とした。

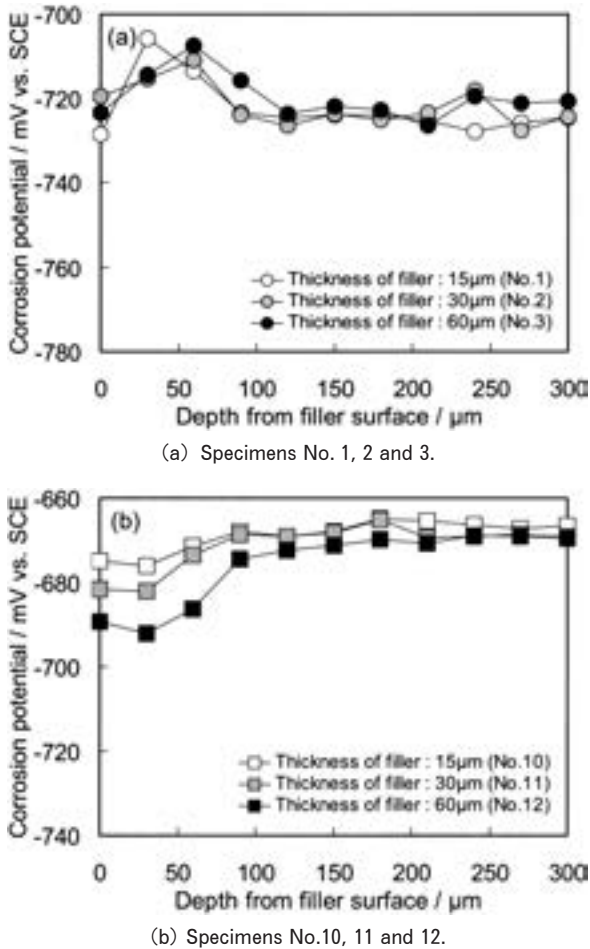


Fig. 7 Distribution of corrosion potential across the thickness of specimen.

$$R_{core} = W_{core}^{couple} / W_{core}^{single} \quad (1)$$

$R_{core}$  : 芯材部合金 D の単体とカップリングとの浸漬腐食試験における腐食減量比

$W_{core}^{couple}$  : 芯材部合金 D のカップリング浸漬腐食試験時の腐食減量 ( $\text{g}/\text{m}^2$ )

$W_{core}^{single}$  : 芯材部合金 D の単体浸漬腐食試験時の腐食減量 ( $\text{g}/\text{m}^2$ )

式(1)に示す  $R_{core}$  は、値が小さいほど芯材部合金 D が陰極防食されていることを示すものである。Fig. 8 によれば、芯材部合金 D と電気的に接合された試験片の電位が約 10mV 以上卑であれば、本試験条件において試験片間距離に依らず  $R_{core}$  は 0.1 以下となり芯材部合金 D は良好に陰極防食されることがわかる。

### 3.4 ろう付加熱によるろう材厚さ変化と加熱後の Zn 分布

ブレイジングシート No.10~12 について、ろう付加熱前および Fig. 1 に示す各種のろう付加熱を行った後の断面マイクロ組織から測定した残存ろう材厚さを Fig. 9 に示す。またろう付加熱前および Fig. 1 のうち 878K で

Table 4 Corrosion potential and corrosion potential difference from alloy D in galvanic coupling immersion test.

Alloy	Corrosion potential (mV vs. SCE)	Corrosion potential difference from alloy D (mV)
D (No.12 core)	-666	—
E	-672	6
F	-679	13
G	-692	26
H	-702	36

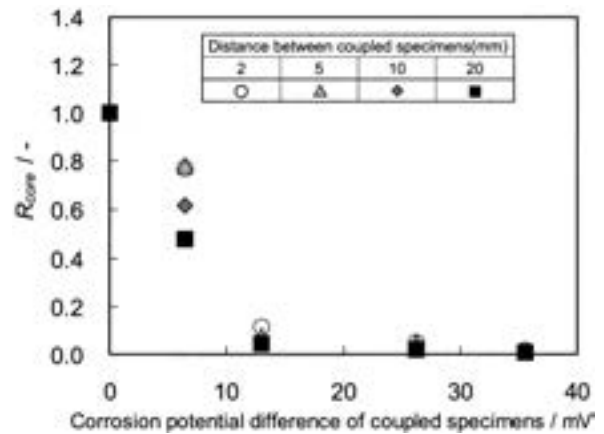


Fig. 8 Relationship between the corrosion potential difference of coupled specimens and  $R_{core}$ ; ratio of corrosion weight loss of core alloy D in galvanic coupling immersion test.

3 min 保持したそれらブレイジングシートのろう材部の断面マイクロ組織を Fig. 10 に示す。ろう付加熱過程の 858K 以上の温度で取り出した場合はろう材が熔融流動し、加熱前およびろう材が熔融しない 848K で取り出した場合と比べて残存ろう材厚さは概ね 1/2 に減少した。ろう材厚さが 15 $\mu\text{m}$  と最も薄いブレイジングシート (No.10) では残存ろう材厚さが 1/2 よりも厚くなった。これは、ブレイジングシートの製造過程における熱間圧延や焼鈍工程の熱履歴によってろう材中の Si が芯材方向へ拡散して<sup>9,10)</sup>、ろう材の平均 Si 濃度が低下したために、ろう付時に液相ろう量が減少したことによると考えられる。

878K で 3 min 保持した後のブレイジングシート No.10~12 の断面について、ろう材表面から芯材深さ方向への Zn の元素分布を EPMA 線分析により測定した結果を Fig. 11 に示す。いずれのブレイジングシートでも Zn はろう材から芯材方向へ拡散し、ろう材表面から約 130 $\mu\text{m}$  の深さまでの範囲で濃度勾配を形成し、表層部の Zn 濃度はろう材が厚いブレイジングシートほど高くなっていった。Fig. 9 に示すように、ろう材が厚いほどろう付加熱中においても常に残存ろう材が厚く、ろう材中により多くの総量としての Zn を含有しており、芯材

方向への拡散によって生じる表層部の Zn 濃度の低下が生じ難かったと考えられる。

### 4. 考 察

アルミニウム合金製熱交換器部材の防食は、外面に Zn 溶射を施したり、Zn 含有合金をクラッドすることで表面部に電位的に卑な層を形成し、犠牲陽極効果を得て芯材部の貫通寿命を延長させる方法<sup>11,12)</sup>が採られている。また、芯材に Ti を添加することで層状腐食にして防食することもあるが、犠牲陽極効果に比べるとその効果は小さい。

本報では、ブレイジングシートのろう材への Zn 添加や芯材への Cu 添加により、表層部の犠牲陽極効果が得られ、その効果はろう材厚さの違いにより変化し貫通寿命に影響を及ぼす結果が得られた。そこで、3.2項で得られた電位分布および3.3項で得られた犠牲陽極効果が得られるための表層部と芯材部との限界電位差を用いて、ろう材厚さが貫通寿命に及ぼす影響を考察した。

まず、ろう材に Zn を添加した、あるいは芯材に Cu を添加したことで、表層部から芯材部にかけて電位勾配

が形成されていたブレイジングシート (No. 4~12) について、3.2項の電位分布測定結果から表層部と芯材部の電位差を求めた。次に、3.3項のカップリング浸漬腐食試験では、芯材部の電位より 10mV 以上卑な電位の部分の材料で犠牲陽極効果が得られたが、ここでは SWAAT 試験においても同様とみなし、このような電位部分を犠牲陽極層と規定してその厚さを電位分布測定結果から求めた。これらと SWAAT 試験における貫通寿命の関係を Fig. 12 に示した。これによると、表層部と芯材部の電位差および犠牲陽極作用を有する表層厚さが大きくなるほど貫通寿命は長くなることが明確になった。

また、図中の数字はろう材厚さを示すが、いずれのブレイジングシートにおいても、ろう材が厚いほど表層部と芯材部の電位差は大きくなり、犠牲陽極層は厚くなる傾向を示した。この傾向はろう材に Zn を添加し芯材に Cu を添加しないブレイジングシート (No. 4~6) に

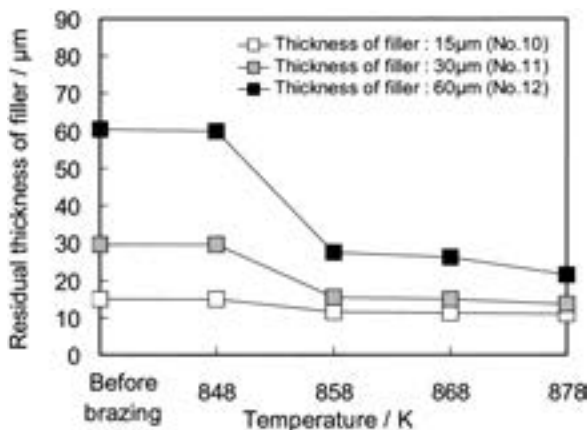


Fig. 9 Residual thickness of filler of specimens No.10, 11 and 12 at various brazing temperature in Fig. 1.

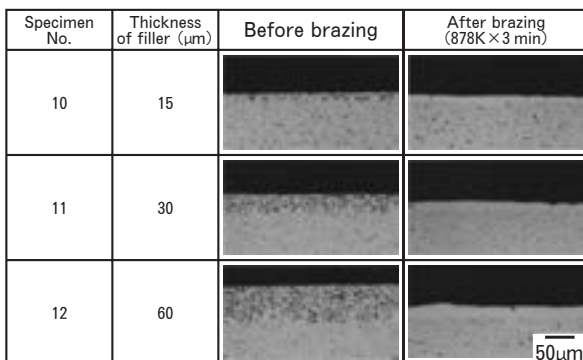


Fig. 10 Cross sections of specimens No.10, 11 and 12 before and after brazing.

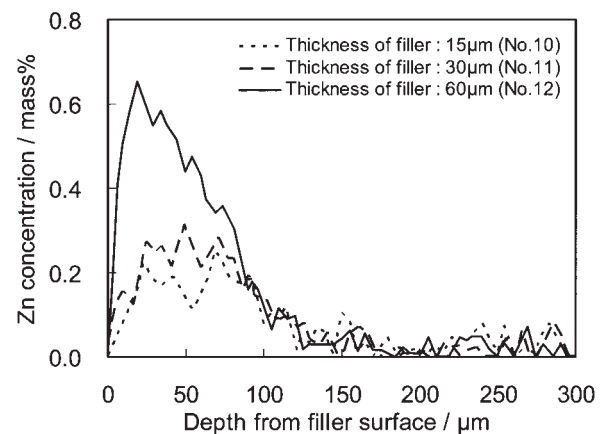


Fig. 11 Zn distribution by EPMA line scans analysis across the thickness of specimens No.10, 11 and 12.

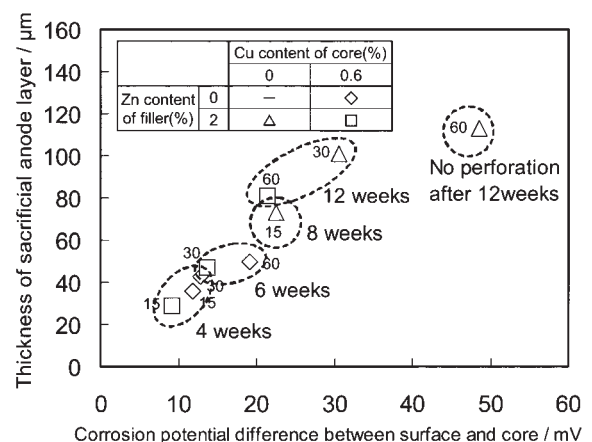


Fig. 12 Effect of the corrosion potential difference and the thickness of sacrificial anode layer on perforation period in SWAAT. Number in figure indicates the thickness of filler.



において最も顕著であった。これは3.4項での結果から、ろう材が厚いほど表層部の Zn 濃度が高くなり、大きな電位卑化効果が得られたためであると考えられる。しかしながら、ブレージングシート No.10~12 のように芯材に Cu が添加されると、No.4~6 と比べて表層部と芯材部の電位差および犠牲陽極層厚さは小さくなった。これは芯材に添加された Cu がろう材方向へ拡散したことにより、Zn の電位卑化効果を相殺したためであると考えられる。

## 5. 結 言

ブレージングシートの耐食性に及ぼすろう材への Zn 添加、芯材への Cu 添加およびろう材厚さの影響について SWAAT 試験を用いて調査した結果、以下のことが明らかになった。

(1) ろう材に Zn を添加せず芯材にも Cu を添加しないブレージングシートでは、ろう材厚さに依らず早期に貫通した。一方、ろう材に Zn を添加した、あるいは芯材に Cu を添加したブレージングシートでは、ろう材が厚いほど腐食深さは浅くなる傾向を示した。なかでもろう材に Zn を添加し芯材に Cu を添加しないブレージングシートが最も貫通寿命が長くなった。

(2) ろう材に Zn を添加した、あるいは芯材に Cu を添加したブレージングシートでは、いずれも表層部の電位が芯材部の電位より卑になり、表層部の犠牲陽極効果により貫通寿命が長くなったと判断された。

(3) SWAAT 試験液を用いたカップリング浸漬腐食試験では、表層部の電位が芯材部より約 10mV 以上卑であれば犠牲陽極効果が得られ、芯材部は良好に陰極防食されることがわかった。

(4) ろう付加熱後の残存ろう材厚さは加熱前のブレージングシートのろう材厚さの概ね 1/2 になった。また、ろう材に Zn を添加したブレージングシートでは、ろう付加熱により Zn がろう材から芯材方向へ拡散して濃度勾配を形成し、表層部の Zn 濃度はろう材が厚いほど高くなった。

(5) ろう材に Zn を添加した、あるいは芯材に Cu を添加したブレージングシートでは、ろう材が厚いほど表層部と芯材部の電位差および犠牲陽極層厚さが増大して、SWAAT 試験では貫通寿命が長くなることがわかった。特にろう材に Zn を添加し芯材に Cu を添加しないブレージングシートにおいてこの傾向は最も顕著であった。

## 参 考 文 献

- 1) 正路美房, 田部善一: 住友軽金属技報, **30** (1989), 8-12.
- 2) 黒田 周, 当摩 建: 軽金属, **48** (1998), 2-7.
- 3) 正路美房, 加藤健志: 軽金属学会第 99 回秋期大会講演概要, (2000), 273-274.
- 4) 黒田 周, 板垣武志, 当摩 建: 軽金属, **46** (1996), 113-118.
- 5) 黒田 周, 板垣武志, 当摩 建: 軽金属, **46** (1996), 286-291.
- 6) 黒田 周, 当摩 建: 軽金属, **48** (1998), 465-470.
- 7) Annual book of ASTM standards: ASTM, vol. **03.02** (1997), 360.
- 8) S. Yamauchi et al: SAE Technical Paper, 930148.
- 9) 久富裕二, 正路美房: 軽金属, **52** (2002), 256-261.
- 10) J. R. Terrill: Welding Journal, **45** (1966), 202s-209s.
- 11) 池田 洋: 住友軽金属技報, **21** (1980), 101-108.
- 12) 福井利安, 入江 宏, 池田 洋, 田部善一: 住友軽金属技報, **21** (1980), 114-122.

## 空調機用伝熱管の高性能化の動向\*

佐々木 直栄\*\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 45-48

## Technological Trend of High Efficiency Heat Transfer Tube for a Room Air Conditioner

Naoe Sasaki

Technological trend of high efficiency heat transfer tube for a room air conditioner is reviewed in this paper. Inner grooved tube widely used for room air conditioner is supported on the high level manufacture and groove shape optimization technology, and is made highly efficient every year. It is thought that the development of inner grooved tube really effective for the improvement in a heat exchanger performance is required from now on. A conventional evolution of the form rolling process is important for development of the high efficiency heat transfer tube.

## 1. はじめに

近年、わが国における空調機の普及率は著しく上昇し、出荷台数の大半を占めるルームエアコンにおいては90%近い普及率を示し、一家庭当たりの保有台数も2台を超え、“一家に一台”の時代から“一部屋に一台”の時代に突入しようとしている。また、機器構成を見ると、全体の80%近くがヒートポンプ式（冷暖兼用）機種であり、夏季限定的な空調機からオールシーズン向け空調機へと変貌を遂げている<sup>1)</sup>。

空調機の普及率向上の背景には、年々着実に進められて来た空調機の小型化、高性能化、および高機能化などに資する技術開発の進展があり、特に、小型化および高性能化に関しては、その主要構成要素の一つである熱交換器の高性能化の貢献度は大きいといえる。そうした中で、熱交換器を構成する内面溝付管の高性能化要求は未だに止まることを知らない。

空調機の普及拡大とともに注目を集めたのは“環境問題”である。はじめに、「オゾン層破壊防止」の観点から、モントリオール議定書（1987年）によりCFC（Chloro Fluoro Carbon；クロロフルオロカーボン）およびHCFC（Hydro Chloro Fluoro Carbon；ハイドロクロロフルオロカーボン）系冷媒の全廃目標が定められ、空調機においてはHCFC系冷媒であるR22からHFC（Hydro Fluoro Carbon；ハイドロフルオロカーボン）

系混合冷媒であるR410A [R32/R125 (50/50mass%)] やR407C [R32/R125/R134a (23/25/52mass%)] への移行が進められた。擬似共沸混合冷媒であるR410Aについては、R22とほぼ同等の管内熱伝達特性を有することがわかっていたが、空調機として若干性能不足が認められる凝縮性能の向上が訴求され、内面溝付管の管内凝縮熱伝達率向上に注力した開発が進められてきた。非共沸混合冷媒であるR407Cについては、R22に比べて明らかな性能低下が認められることから、空調機として全般的な性能向上が訴求され、凝縮・蒸発共に高性能な内面溝付管の開発が進められた。

続いて、「地球温暖化防止」の観点から、改正省エネルギー法（1999年）が施行され、特定機器のエネルギー消費効率向上が義務付けられた。空調機においてはトップランナー方式によりCOP（Coefficient Of Performance；エネルギー消費効率）の基準値をクリアする必要に迫られた（規制開始年：家庭用に関しては2004年、業務用に関しては2007年）。空調機のエネルギー消費効率を向上するために、主要構成要素の一つである熱交換器においても高性能化が訴求され、更に優れた管内熱伝達特性を有する内面溝付管の開発が必要となった。さらに2006年4月の省エネルギー法改正に伴って、家庭用のルームエアコンを対象としてAPF（Annual Performance Factor；通年エネルギー消費効率）規制が施行され、トップランナー方式によりAPF基準値（Table 1<sup>2)</sup>参照）をクリアする必要に迫られている（2010年規制開始）。この規制の特徴は、定格能力だけ

\* 冷凍, 81-950 (2006), 29に主要部掲載

\*\* 研究開発センター 第三部, 工学博士

でなく、中間能力におけるエネルギー消費効率も考慮されていることであり、低冷媒質量流量域における内面溝付管の高性能化というよりハードルの高い新たな課題が出現している。

本報では、空調機を取り巻くこれら一連の環境変化に追従した空調機用内面溝付管の高性能化の動向をまとめるとともに、今後の開発方針についてもその概要を示す。

## 2. 内面溝付管の需要の動向

現在空調機に採用されている内面溝付管は銅を素材としている。銅は、アルミニウムやステンレスなどの他の素材に比べて、熱伝導性、加工性、接合性、および耐食性に優れることから、古くから熱交換器用伝熱管の素材として広く用いられてきた。

ルームエアコン (RAC; Room Air Conditioner) の生産台数と銅管 (CT; Copper Tube) の生産量および銅管に占める内面溝付管 (IGT; Inner Grooved Tube) の比率の推移を Fig. 1<sup>3)</sup> に示す。家庭用エアコンの生産台数と銅管の生産量との間に強い相関が認められ、銅管需要が主に空調機用途で支えられていることがわかる。また、内面溝付管が開発された 1970 年代後半から銅管全体に占める内面溝付管の比率が急激に増加し、

近年では銅管生産量の大部分が内面溝付管で占められていることがわかる。

## 3. 内面溝付管の高性能化の動向

当社で開発した内面螺旋溝付管の溝形状および管内熱伝達特性の変遷を Fig. 2<sup>3,4)</sup> に示す。管内熱伝達特性は平滑管を 100 とした場合の比率として示しており、管内凝縮性能については単純に管内凝縮熱伝達率  $\alpha_c$  の比で、管内蒸発性能については管内蒸発熱伝達率  $\alpha_e$  を圧力損失  $\Delta P$  で除した値  $\alpha_e/\Delta P$  の比で定義したものである。

熱伝達特性に影響を及ぼす溝形状は、以下に示す 5 種類に大別できる。

- (1) 三角溝：溝断面形状が三角形のもの（以下、I 型溝と呼ぶ）。
- (2) 台形溝：溝断面形状が台形のもの（以下、II 型溝と呼ぶ）。
- (3) スリムフィン台形溝：台形溝間に形成されるフィンの頂角を低減したもの（以下、III 型溝と呼ぶ）。
- (4) ハイ&スリムフィン台形溝：台形溝間に形成されるフィンの頂角を低減するとともに高さを増加したもの（以下、IV 型溝と呼ぶ）。
- (5) ロー&マルチフィン台形溝：台形溝間に形成される

Table 1 Target values of APF in 2006.

Division	Unit form	Cooling capacity $Q$ [kW]	Size of indoor unit*	Top runner value**	Improvement rate [%]	Target value
A	Direct blow and wall hanging type	$Q \leq 3.2$	Regulated	5.65	3.0	5.8
B			Free	6.40	4.0	6.6
C		$3.2 < Q \leq 4.0$	Regulated	4.80	3.0	4.9
D			Free	5.80	4.0	6.0

\* Regulated width :  $\leq 800$ mm, Regulated height :  $\leq 295$ mm.

\*\*Maximum value of APF in 2005.

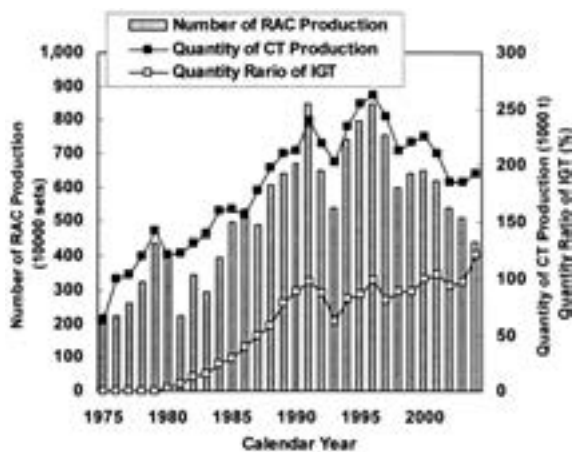


Fig. 1 Trend of amount of the copper tube (CT) and the room air conditioner (RAC).

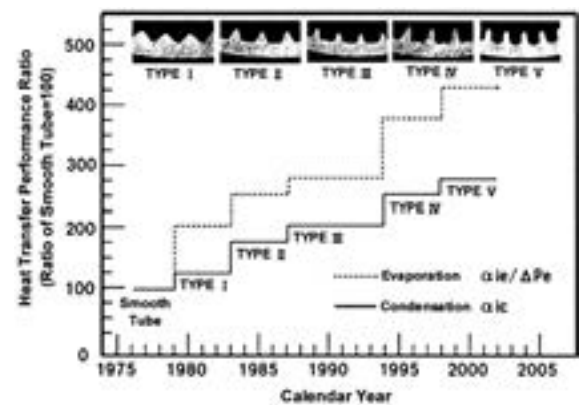


Fig. 2 Progress of the inner groove shape and the heat transfer performance in tube.

フィンの高さおよび頂角を低減するとともに、その数を増加したもの（以下、V型溝と呼ぶ）。

平滑管に対するそれぞれの内面溝付管の性能向上率を見ると、1970年代後半から80年代前半に実用化されたI型溝は25~100%、80年代中盤に実用化されたII型溝は75~150%、80年代後半から90年代に実用化されたIII型溝は100~175%、90年代中盤から後半に掛けて実用化されたIV型溝は150~275%、90年代後半から現状まで実用されているV型溝は175~325%であり、内面溝付管の管内熱伝達特性が年々着実に向上していることがわかる。特に、現状において広く採用されているV型溝においては、溝ねじれ角の増大効果も相まって、十分な高性能化を達成している。

#### 4. 内面溝加工技術の進展

内面溝付管の高性能化に欠かせない技術として、内面溝形状の最適設計技術が挙げられるが、高性能化に適した溝形状の発想があっても、それを実現する高度な内面溝加工技術がなければ、高性能化開発は進展しなかったと言える。

国内の伝熱管メーカーにおいて内面溝加工に一般的に採用されている転造加工のイメージをFig. 3<sup>15)</sup>に示す。管内に溝プラグを保持し、転造ボールが管を溝プラグに押し付けながら自転および遊星回転をする。管の送りは出側に設けられた引取り装置により与えられる。

従来の転造法は、工具の違いから"ロール転造法"と"ボール転造法"に、これら工具を組み込んだ転造ヘッドの回転方式の違いから"間接回転方式"と"直接回転方式"に、さらに直接回転方式におけるロータシャフトの支持方法の違いにより"スチールベアリング方式"と"磁気ベアリング方式"に分類できる。

内面溝付管の加工技術において最も重要とされる「いかに高速回転で転造加工を行うか」という課題を克服す

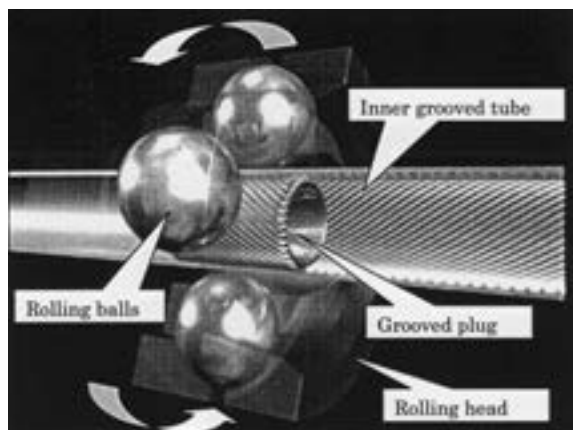


Fig. 3 Schematic image of the rolling process of an inner grooved tube.

るために、転造方法としては"ボール転造法"へ、転造ヘッド回転方式としては"直接回転方式"の"磁気ベアリング方式"へと移行して来ている<sup>6)</sup>。

#### 5. 現状における開発課題

内面溝付管をその構成要素の一つとするクロスフィンチューブ型熱交換器における伝熱管内の冷媒側、伝熱管とフィンカラーの間の接触部、およびフィン表面の空気側の熱抵抗バランスを試算し、20年前と比較した結果をFig. 4に示す。

上述したような内面溝付管の着実な高性能化により、冷媒側の熱抵抗は低減し、接触部の熱抵抗に近接し、空気側とのアンバランスが益々助長される傾向にあることがわかる。このままでは、内面溝付管の高性能化を進めるほど、熱抵抗のアンバランスが助長され、熱交換器性能向上への寄与率が低下してしまうジレンマを抱えながら高性能化開発を進めなければならない。

そこで、いたずらに内面溝付管の高性能化を進めるのではなく、内面溝付管が有する性能を熱交換器において十分に発揮できる技術<sup>7~11)</sup>を開発する必要性が出てきた。また、従来は無視し得た接触部の熱抵抗が冷媒側とほぼ同等レベルに達したことから、熱交換器における接触熱抵抗も無視できないパラメータとなっている。さらに、熱交換器製造工程において空気側の熱抵抗を増大するような不具合が起きれば、冷媒側の伝熱促進を相殺して余りある伝熱阻害が生じる危険性があることを十分に認識して開発を進めなければならない。

#### 6. 今後の開発方針

約10年前の伝熱管メーカーにおける内面溝付管の性能評価には主に伝熱管内の冷媒側のみに着目した単管性能評価が用いられていた。その後、徐々に熱交換器全体を対象とする熱交換器単体性能評価が普及し、現状ではほぼ主流になっている。当社においては、エアコン用の

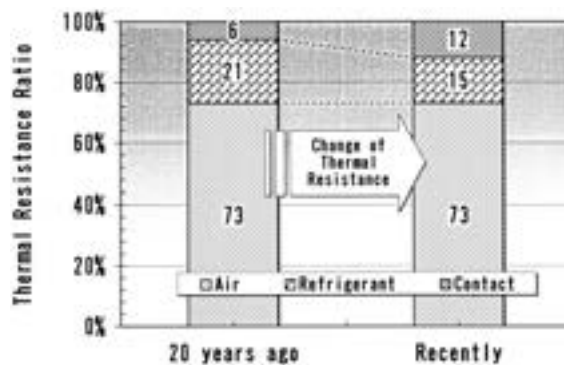


Fig. 4 Change of the thermal resistance of heat exchanger for a room air conditioner.

ほか、エコキュート用の熱交換器単体性能評価設備 (Fig. 5) も導入し、熱交換器性能向上に十分寄与できる各種内面溝付管の開発に取り組んでいく方針である。

家庭用のルームエアコンを対象に考えた場合、APF規制対応が足元の課題であり、内面溝付管に関しては細径化に伴う溝形状の最適化が当面の課題と考えられる。中長期的には低冷媒質量流領域で高性能な新溝形状開発が課題と考えられる。何れにしても、内面溝加工技術の更なる進展をベースに、コストメリットで攻勢を仕掛けてきている海外材が追従できないような高いレベルでの技術開発を推進しなければならないと考えている。

また、多様化する顧客要求にきめ細かく対応するには、伝熱管メーカー単独では困難な状況も現れ始めている。従来から注力してきた大学をはじめとする外部研究機関との共同研究<sup>12~14)</sup>の推進にも益々注力したいと考えている。

## 7. おわりに

本報では、ルームエアコン向け内面溝付管を例に挙げて、需要の動向、高性能化の動向、内面溝加工技術の進展、現状における開発課題、および今後の開発方針について概要を紹介した。

今後は、顧客の熱交換器製造プロセスを視野に入れた内面溝付管開発が必要になると考えられるため、顧客との強固な開発協力体制を構築して、顧客満足度向上に努めたいと考える。

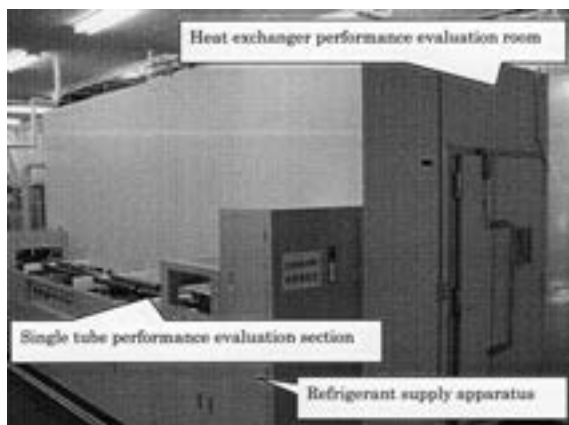


Fig. 5 Performance evaluation facility both of the heat exchanger and the single tube for the "ECO CUTE".

## 参考文献

- 1) 佐々木直栄：九州大学学位論文 (2003)。
- 2) 総合資源エネルギー調査会省エネルギー基準部会エアコンディショナー判断基準委員会中間取りまとめ (2006)。
- 3) 佐々木直栄, 渥美哲郎, 石橋明彦, 高橋宏行, 国枝 博, 山本孝司, 法福 守：銅と銅合金, **45-1** (2006), 11。
- 4) 佐藤好生, 春日 司, 佐々木直栄：住友軽金属技報, **44-1** (2003), 80。
- 5) 住友軽金属工業株式会社社会案内 DVD。
- 6) 飯島茂男, 森田浩之, 石黒則充, 鬼頭幸秀, 目時 寛, 清谷明弘, 佐藤好生：住友軽金属技報, **35-1&2** (1994), 17。
- 7) 柿山史郎, 佐々木直栄, 森田浩之：住友軽金属技報, **41-1** (2000), 84。
- 8) Naoe Sasaki, Shiro Kakiyama and Hiroyuki Morita : SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS, **43-1** (2002), 110。
- 9) 柿山史郎, 佐々木直栄, 清谷明弘, 讃岐則義：住友軽金属技報, **44-1** (2003), 56。
- 10) 佐々木直栄, 柿山史郎, 讃岐則義：日本冷凍空調学会論文集, **21-2** (2004), 45。
- 11) 柿山史郎, 佐々木直栄, 讃岐則義：2004年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集 (2004), A205。
- 12) 五島正雄, 井上順広, 城本恵子, 江本幸泰, 李 宇, 佐藤全秋, 清谷明弘：日本冷凍空調学会論文集, **22-2** (2005), 27。
- 13) 五島正雄, 井上順広, 城本恵子, 江本幸泰, 李 宇, 佐藤全秋, 清谷明弘：日本冷凍空調学会論文集, **22-4** (2005), 69。
- 14) 橋本克巳, 清谷明弘, 讃岐則義, 佐々木直栄：第45回銅及び銅合金技術研究会講演大会講演概要集, (2005), 77。

## アルミニウム合金の恒温圧延による集合組織制御\*

田中宏樹\*\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 49-55

Texture Control of Aluminum Alloy Sheets  
by Isothermal Rolling

Hiroki Tanaka

The microstructure and mechanical properties of A5083 aluminum alloy sheets consisting of well developed  $\beta$ -fiber texture were investigated. In order to maintain rolling textures after final annealing, the materials were rolled isothermally at 350°C by making use of heated rolls and reheating process every pass up to final thickness of 1 mm. The isothermal rolled sheets consisted of fine subgrain structures through the thickness with a high proportion of low angle boundary less than 15°. Tensile properties showed anisotropy clearly regarding elongation and Lankford value. In the isothermal rolled sheets, the elongation of 0° to rolling direction was below 20% and Lankford value of 45° to rolling direction was over 1.5. Therefore, the average Lankford value showed 1.0. The yield strength of the isothermal rolled sheets was about 40% higher than that of the cold rolled sheets because of subgrain structures. The low ductility of 0° to rolling direction on the isothermal rolled sheets seemed to reduce drawability at room temperature. The warm drawability of the isothermal rolled sheets was superior to the cold rolled sheets because of increasing ductility and keeping higher strength than the cold rolled sheets.

## 1. はじめに

アルミニウムは軽くて適度な強度を有し、耐食性が良好なことからメンテナンスの手間が省けるといったメリットなどもあり、包装用や輸送機構造部材、建材といった分野に広く用いられている。近年、環境問題の観点から自動車軽量化が不可避の課題となっており、車体へのアルミパネルの適用が見られるようになってきた。

しかしながら、他素材との性能比較という点でアルミニウムが必ずしも上回っているわけではなく、さらなる性能向上が望まれている。例えば前述の自動車ボディパネルにおいて、プレス成形性は鋼板の優位性が明らかであり、アルミパネル化が進みにくい一因となっている。強度や耐食性といった特性の向上も、アルミニウムの適用範囲を広げるために必要な検討課題である。

素材の特性に大きく影響を及ぼすプロセスは熱間加工工程である。鋼板では強度と低温靱性を同時に改善するため、微細フェライト組織に変態するようにオーステナ

イト状態を人為的に調整する技術が検討されてきた。具体的にはオーステナイト域での圧延温度や Nb 添加、最終熱延パス後の強制冷却などを調整することで、フェライト核生成サイトを増やして大幅な再結晶粒微細化が図られた。このような鋼板の熱間加工工程における材質制御は、制御圧延・制御冷却という概念で量産ラインに組み込まれている<sup>1,2)</sup>。

アルミニウムでは鋼のような変態は存在しないが、各種元素を添加して強度や成形性を調整している。通常、凝固の過程では添加元素を強制的に固溶させ、ソーキングや熱間圧延時には一部が析出し、一部が固溶したままの状態加工される。析出する化合物種によって析出物の形成が促進する温度域(析出ノーズ)が異なる。Mn や Zr といった遷移元素を含む化合物は比較的高温域に析出ノーズがあり、Mg や Cu などを含む化合物の析出ノーズは遷移元素よりも低温域になる傾向がある。

筆者はこれまで、Al-Li 合金の析出ノーズと熱間加工温度の関係を調べ、析出ノーズ温度域で加工することで超塑性特性が向上することを見出した<sup>3)</sup>。この超塑性はその下部組織の状態と関連し、析出ノーズ温度域で加工

\* 塑性と加工, 50 (2009), 216 に主要部掲載

\*\* 研究開発センター 第一部, 工学博士

したサンプルは熱的安定な組織を有し、超塑性変形中の粗粒化が抑制された。このように、熱間加工中の析出挙動は組織形成に大きな影響を及ぼすことがわかった。この考えを進展させ、結晶粒微細化による高強度化や集合組織制御による成形性向上を検討した結果を報告する。

## 2. 成形性とランクフォード値

成形性の一つの判断基準としてランクフォード ( $r$ ) 値が用いられる。 $r$  値は絞り成形性と相関<sup>4)</sup>があり、集合組織に強く依存することが知られている<sup>5)</sup>。鋼板などの体心立方晶金属を冷間圧延すると  $\langle 110 \rangle // RD$  方位を特徴とする  $\alpha$  方位群が発達し、これを再結晶させると  $\{111\} \langle 011 \rangle \sim \{111\} \langle 112 \rangle$  方位の  $\gamma$  方位群が形成する<sup>6)</sup>。集合組織と  $r$  値の面内異方性の相関は Taylor 理論で計算でき<sup>5)</sup>、 $\{111\}$  面が板面に平行に形成すると  $r$  値が向上し、比較的  $r$  値の面内異方性が小さくなることだが、鋼板の実験データおよび理論予測から示されている。一方、アルミニウムを冷間圧延すると Brass  $\{011\} \langle 211 \rangle - S \{123\} \langle 634 \rangle - Cu \{112\} \langle 111 \rangle$  方位の  $\beta$  方位群が発達し、これを再結晶させると Cube  $\{001\} \langle 100 \rangle$  方位が主方位となる。Cube 方位は、特に  $45^\circ$  方向の  $r$  値を下げ、深絞りには好ましくない。一方、Taylor 理論から予想される  $\beta$  方位群の  $r$  値は、Fig. 1 に示す通り、特に  $45^\circ$  方向の  $r$  値が向上する<sup>5)</sup>。しかし、冷間圧延した状態では延性が低く、プレス成形性が低下する。仮に熱的に安定な  $\beta$  方位群を形成できれば、所定の熱処理後、適度な延性と高い  $r$  値を持つ板が得られる。本稿では A5083 合金 (Al-4.5%Mg-0.6%Mn-0.15%Cr) に恒温圧延を施す過程と、その材料特性について調査した結果を示す。

## 3. 恒温圧延の手法

熱間圧延を析出ノーズ温度域で実施する場合、圧延の

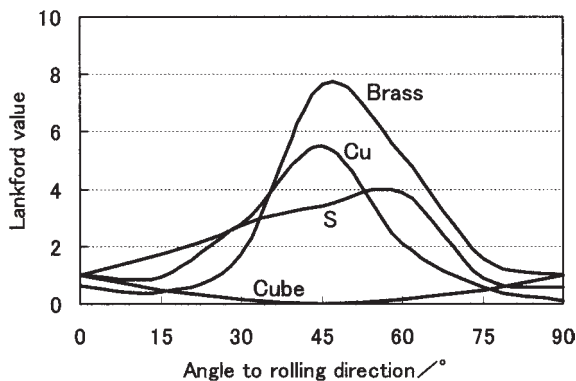


Fig. 1 Anisotropy of calculated Lankford values by Taylor model : Brass  $\{011\} \langle 211 \rangle$ , S  $\{123\} \langle 634 \rangle$ , Cu  $\{112\} \langle 111 \rangle$ , Cube  $\{001\} \langle 100 \rangle$ .

開始から終了までの温度差をできる限り小さくする工夫が必要である。実験室レベルの試作サイズは小さいために、ロールへの抜熱によって圧延時の温度低下が大きい。そこで、加熱できる特殊ロールを開発し、ロールへの抜熱を抑えて、小型サンプルでも一定の温度域で圧延できるようにした。次に、熱間圧延条件を決めるに当たって、平面ひずみ圧縮試験で加工条件をスクリーニングした。平面ひずみ圧縮試験で求めた適切な加工温度とひずみ速度を基に、前述の圧延機で試作した。

### 3.1 恒温圧延機の特徴

開発した恒温圧延機はロール表面を加熱できる特殊ロールと、その温度制御装置から構成される<sup>7)</sup>。その外観を Fig. 2 に示す。加熱ロールは  $\phi 260\text{mm}$  ワークロールの 2 段式で、ロール材質は SKD11 である。圧延可能な板幅は 200mm 以内で、圧延速度は最大 3.3m/s である。ロールに埋め込んだ 8 本のカートリッジ式ヒーターで、ロール表面を最高  $400^\circ\text{C}$  まで加熱することができる。チョック部も  $150^\circ\text{C}$  以内に加熱できるようにして、ロール表面の軸方向の温度差を抑えることで熱クラウンの発生を小さくするように考慮した。ロール温度が高温になると、材料のロールへの焼き付きが問題となる。材料試作ではエステル系油をニート状で使用した。このような工夫により、試作材の圧延温度がロール表面温度よりも低くなることはなく、1mm 厚さ程度の薄板状態まで高温で熱間圧延できるようになった。

### 3.2 平面ひずみ圧縮試験

熱間加工時の変形抵抗や組織変化を評価するために、平面ひずみ圧縮試験<sup>8)</sup>が利用される。本試験法は高温での再現性に優れ、比較的大きな試験片を用いることができるため、組織変化を調査する目的で利用されることが多い。しかし、試験片内部のひずみ分布は一様でないため、組織解析の際には注意が必要である。A5083 合金の 10mm 厚試験片を  $500^\circ\text{C}$  で 50% 圧縮 (5mm 厚) した場合のひずみ分布を Fig. 3 に示す<sup>9)</sup>。ジグに接した表面近傍ではひずみが小さく、中心部に向かって急激にひずみが大きくなっている。試験片内部のひずみ分布は、圧縮量や加工硬化指数 ( $n$  値) によって変化するため、目的に適したひずみ状態を把握しておくことが必要である。

A5083 合金に熱的安定性を付与するための加工条件は、平面ひずみ圧縮試験での加工温度を  $200 \sim 500^\circ\text{C}$ 、

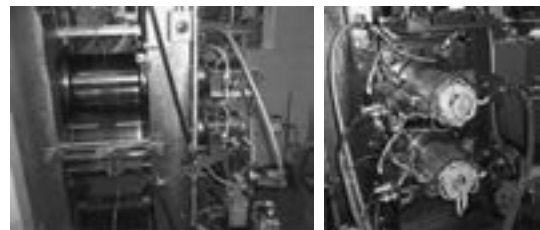


Fig. 2 Appearance of isothermal rolling facilities.

初期ひずみ速度を 0.1~10/s に変化させて 50% 圧縮し、その後 350°C - 1 h の熱処理を行って再結晶状態から判断した。観察の一例を Fig. 4 に示す。観察位置は Fig. 3 の中心部に相当する。250°C 加工材と 500°C 加工材は等軸再結晶組織となっているが、350°C 加工材には繊維状組織が残存し、他の条件より再結晶が遅れる、つまり熱的安定な組織であることがわかる。この試験から加工温度 350~400°C、ひずみ速度 0.1~5/s の範囲で圧延すれば、熱的安定な組織が得られると予測された。

3.3 恒温圧延

圧延試作はロール温度を 370±15°C に制御し、ロール周速を 5 m/min とした。圧延時の平均ひずみ速度は (1) 式を用いて算出した<sup>10)</sup>。

$$\dot{\epsilon} = \frac{U_R}{\sqrt{Rh_0}} \cdot \frac{2\sqrt{r}}{2-r} \quad (1)$$

ここで  $U_R$  : ロール周速 (m/s),  $R$  : ロール半径 (m),  $h_0$  : 圧延前板厚 (m),  $r$  : 圧下率である。平面ひずみ圧縮試験の知見を基に、各パスのひずみ速度が 5/s 以下となるように制御した。また圧延サンプルは 350°C に加熱し、1 パス毎に再加熱を行いながら 30mm から 1 mm まで圧延した (IR 材)。Fig. 5 に恒温圧延実績を示す。圧延温度は最終板の状態まで、ほぼ 340-350°C の範囲となった。各パスでのひずみ速度も 5/s 以下となり、ほぼ狙い通りの条件で圧延を実施した。比較材とし

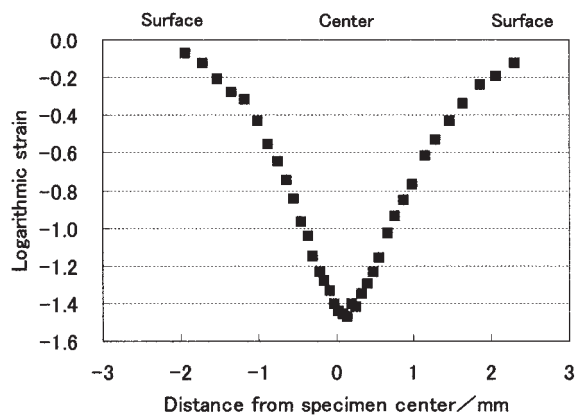


Fig. 3 Strain distribution of specimen after plain strain compression : A5083, 500°C-50% compression.

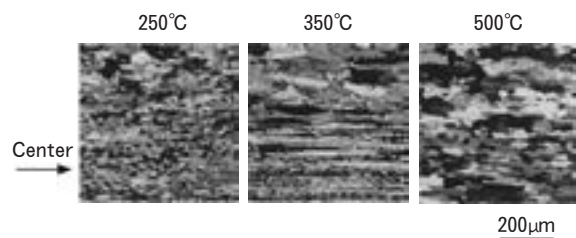


Fig. 4 Optical micrographs of A5083 specimens compressed at 250-500°C and annealed at 350°C for 3.6ks subsequently.

て従来工程で作成した A5083 合金冷間圧延板 (CR 材) を用いた。これらに 350°C - 1 h (炉冷) の熱処理を施し、組織調査と引張り試験および絞り試験を行った。

4. 恒温圧延材の特性

4.1 ミクロ組織

Fig. 6 に 350°C - 1 h 処理後の板表面偏光組織と透過型電子顕微鏡 (TEM) 組織を示す。CR 材は等軸再結晶粒組織となっており、その平均粒径は約 30µm である。IR 材の偏光組織には明瞭な再結晶粒は認められず、圧

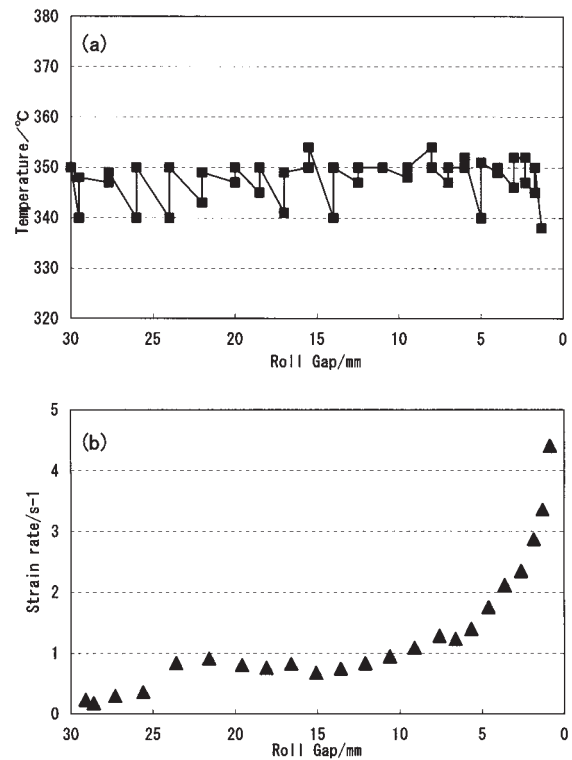


Fig. 5 The results of the isothermal rolling, (a) sample temperature, (b) strain rate per pass.

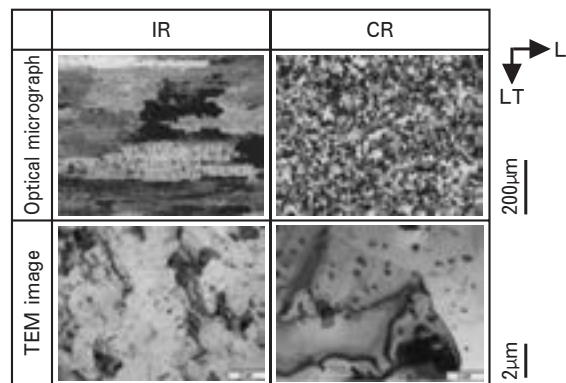


Fig. 6 Optical and TEM micrographs after annealing at 350°C for 3.6ks. IR : isothermal rolled sheets, CR : cold rolled sheets.



延方向に伸びたパンケーキ状組織を呈している。平行断面で観察すると、IR材は繊維状組織となっている。TEMで観察すると、IR材は350°C処理を行った後も約3 $\mu$ m程度のセル組織を呈している。これらのセル内部には、転位がかなり残存しているように見受けられる。IR材とCR材の板表面でEBSD (Electron Backscatter Diffraction Pattern) 解析を行い、そこから求めた結晶方位差分布をFig. 7に示す。IR材は15°以下の小角粒界の比率が高く、いわゆるサブグレイン組織となっている。一方、CR材は15°以上の大角粒界比率が高く、一般的に見られる再結晶粒組織である。

#### 4.2 集合組織

Fig. 8に{111}, {110}, {100}面の不完全極点図から級数展開法<sup>11)</sup>で求めた結晶方位分布関数(ODF; orientation distribution functions)を示す。IR材は表層から板厚中心部にかけて、恒温圧延で形成した圧延集合組織が350°C処理後も優先方位として残存し、特にBrass{011}<211>方位の方位密度が高い。これは狙い通りの集合組織状態である。CR材はCube{001}<100>方位に若干の集積が認められるが、ほぼランダムな方位分散をしている。

#### 4.3 機械的性質

前述の通り、恒温圧延(IR)材は従来工程(CR)材と比べてかなり異なった組織を有している。この特徴は引張り特性にも反映されている。350°C処理後の引張り特

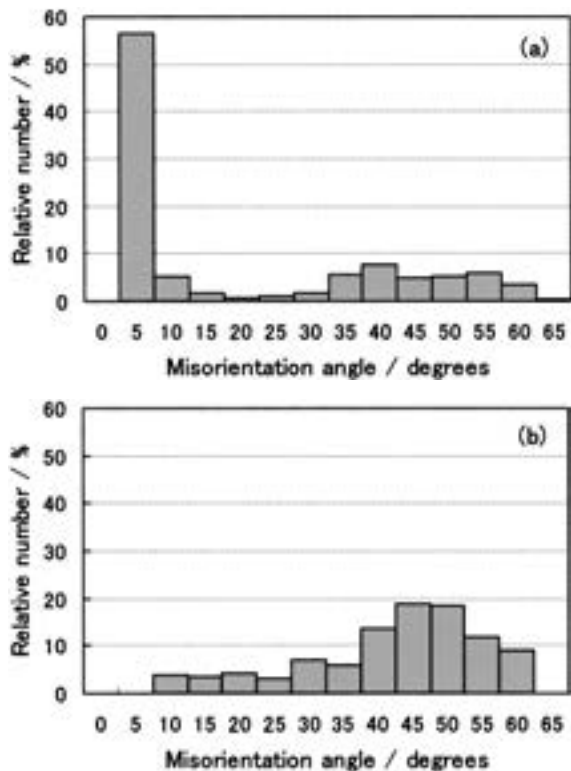


Fig. 7 Misorientation angle histograms after annealing at 350°C for 3.6ks of isothermal rolled sheets (a) and cold rolled sheets (b).

性を、圧延方向に対して0°, 45°, 90°の3方向で調査した結果をTable 1に示す。IR材の耐力はCR材よりも30~40%程度高くなっている。これはEBSDやTEM観察で確認されたように、IR材は微細サブグレイン組織を有しているため、Hall-Petchの経験則に起因する特徴と考えられる。延性はIR材の方がやや低くなる傾向が認められ、特に0°方向の伸びが低い。IR材は45°方向の $r$ 値が極めて高く、90°方向もアルミニウム合金板材としては高い値を示す。0°方向はCR材よりも低い $r$ 値となる。平均 $r$ 値はIR材が1.09, CR材が0.67となった。これら $r$ 値の特徴はそれぞれの集合組織状態を反映している。IR材に見られる先鋭な圧延集合組織は45°方向の $r$ 値を高め、テイラー理論から予想される特徴が再現されている。0°方向の $r$ 値が低くなるのは、Brass方位の集積が高いためと考えられる。CR材はCube方位に集積が認められ、これが45°方向の $r$ 値を低下させる原因である。しかし、CR材は総体的にランダム方位化し、それが $r$ 値の面内異方性の軽減に現れている。

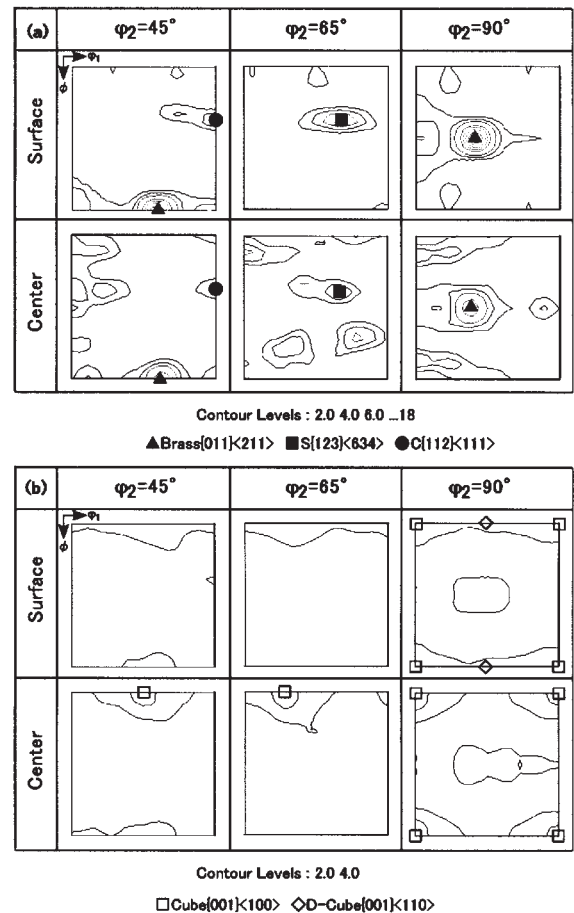


Fig. 8 ODFs after annealing at 350°C for 3.6ks of isothermal rolled sheets (a) and cold rolled sheets (b).

Table 1 Mechanical properties after 350°C annealing.

Condition	Angle to RD	T.S./MPa	Y.S./MPa	El./%	r-value	ave.r
5083 IR	0°	351	207	16	0.41	1.09
	45°	328	192	26	1.54	
	90°	348	204	21	0.85	
5083 CR	0°	315	149	24	0.76	0.67
	45°	302	145	28	0.60	
	90°	300	145	25	0.70	

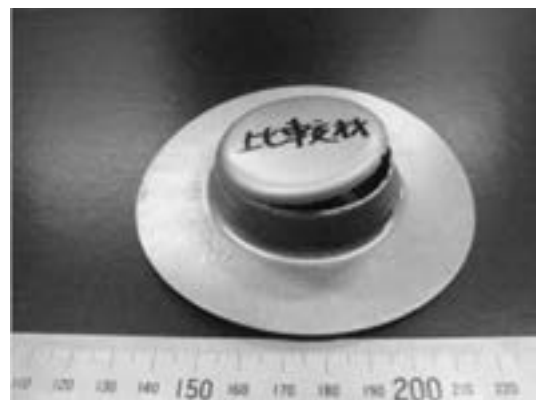
#### 4.4 絞り成形性

Fig. 9 に室温での絞り成形品の例を示す。IR 材は CR 材よりも 1 mm 以上高い絞り成形高さが得られた。IR 材と CR 材では破断位置が異なっている。CR 材はポンチ肩 R 部で破断しており、一般的なアルミニウム板材で破断しやすい部位である。一方、IR 材は 0° 方向の縦壁部で破断が発生している。これは IR 材の 0° 方向の伸びが小さいことと関係していると考えられ、0° 方向の伸び改善によりさらなる絞り成形性向上が期待される。また、IR 材の 0° 方向 r 値は CR 材よりも低い値を示したが、平均 r 値の高い IR 材の方が良好な絞り成形性を示した。

Table 1 で示したように、IR 材は CR 材よりも高い強度が得られる。これは IR 材が微細なサブグレイン組織を有しているためである。IR 材で形成したサブグレインは熱的に安定であるため、この特徴は温間域でも維持されると考えられる。また、温度を上げることで延性の向上も予測されることから、IR 材の絞り成形性がさらに改善することが期待される。そこで素材を 200~300 °C に加熱して、IR 材と CR 材の絞り成形性を比較した。Fig. 10 に温間絞り試験方法を示す。上下のダイに加熱コイルを組み込み、試験片を挟んで所定の温度に加熱した。素材の有意差が明確となるよう、ポンチは積極的に冷却せずに加熱されるようにした（試験温度より 50°C 程度低め）。ポンチ、ダイ形状は室温絞り試験（Fig. 9）と同じで、BHF=6 kN とした。この方法で得られた IR 材と CR 材の LDR を Fig. 11 に示す。250°C までは IR 材の方が高い絞り成形性を示し、300°C では IR 材の絞り成形性が低下して CR 材と同等のレベルとなった。室温での絞り成形において IR 材は 0° 方向の縦壁部で破断が発生した（Fig. 9）が、温間絞りでは破断位置がポンチ肩 R 部に変化した。これらの温度域での絞り成形性挙動を考察するため、同温度域での引張り試験（0° 方向）を行った。その結果を Fig. 12 に示す。温度の上昇と共に引張り強さは低下するが、250°C までは IR 材の方が CR 材よりも高い引張り強さを示す。これが絞り成形時の破断抑制に寄与したと考えられる。温度の上昇とともに伸びは増加するが、300°C では両者の引張り強さが同じになるため、絞り成形性に有意差が認め



(a) IR (Height=16.9mm)



(b) CR (Height=15.7mm)

Fig. 9 Appearance of specimens drawn at room temperature. Cup height : IR=16.9mm, CR=15.7mm.

られなくなったものと思われる。

250°C での絞り成形性を、しわ抑え力 (BHF) を変化させて調査した結果を Fig. 13 に示す。一般的に低い BHF ではしわが発生しやすくなり、BHF を高くしていくと破断しやすくなる<sup>12)</sup>。CR 材は良好に成形できる BHF の範囲が狭い。IR 材は CR 材よりも高い絞り性を有し、かつ良好に成形できる BHF の範囲が CR 材よりも広い。これらの結果から IR 材は CR 材よりも温間成形性に優れることがわかる。

次に難加工部材であるオイルパンに近い模擬金型で、

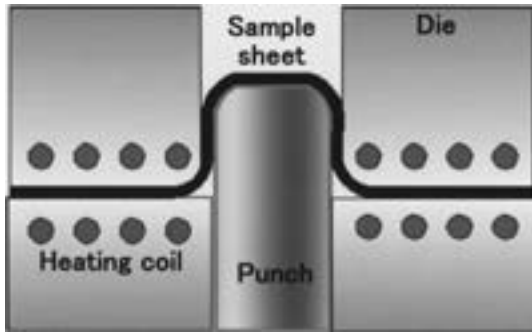


Fig. 10 Method for measuring of warm drawability.

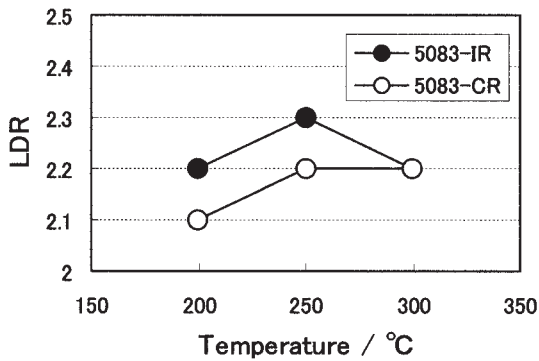


Fig. 11 Limiting draw ratio at warm temperature. IR : isothermal rolled sheets, CR : cold rolled sheets.

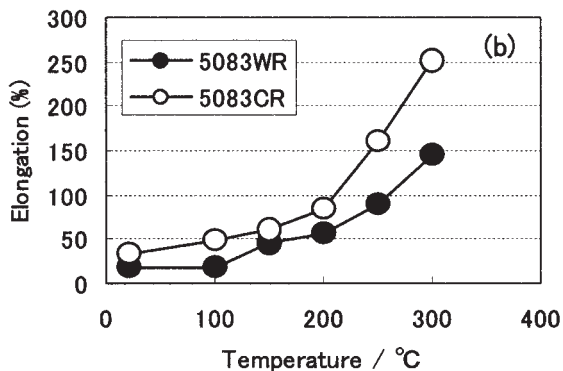
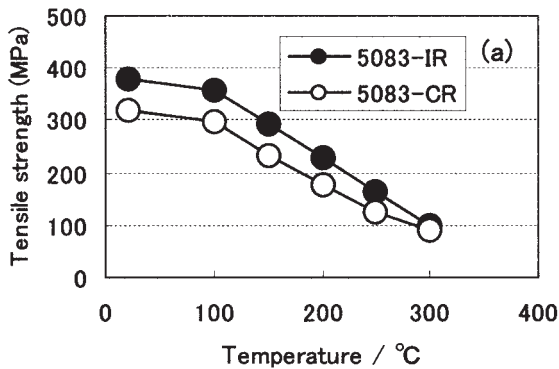


Fig. 12 Tensile strength (a) and elongation (b) versus tensile temperature. IR : isothermal rolled sheets, CR : cold rolled sheets.

IR 材の温間成形を試みた<sup>13)</sup>。2工程で成形することを目指し、一段目を250°C、二段目を300°Cで成形した。ブランクサイズはW450mm×L575mm(コーナークット無し)とし、圧延方向が金型の長手方向になるようにした。この条件で成形したIR材の、各工程でのサンプル外観をFig. 14に示す。最終形状としてW180×L400×H140mmサイズの成形が可能であった。

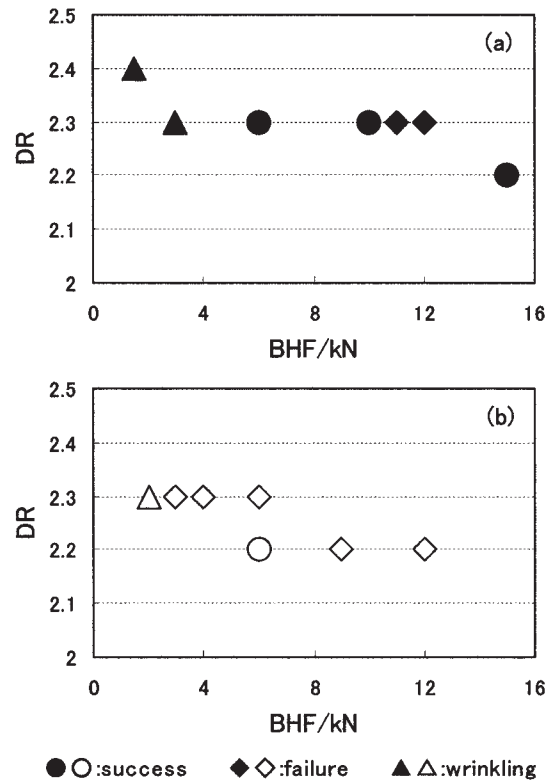


Fig. 13 Warm drawability at 250°C of isothermal rolled sheets (a) and cold rolled sheets (b).

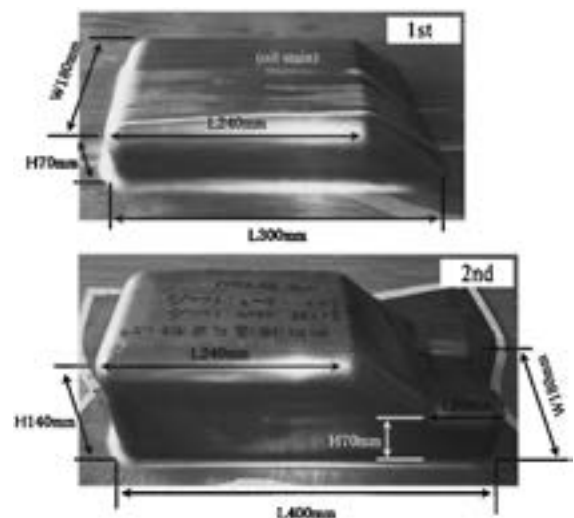


Fig. 14 Appearance of molded articles at the 1st and 2nd stage by isothermal rolled sheets.

**Table 2** Mechanical properties after the warm forming.

Condition	area	T.S./MPa	Y.S./MPa	El./%
5083 IR	bottom	312	195	17
	side wall	316	203	13
5083 CR	bottom	316	154	22
	side wall	319	169	20

CR 材でも同様な形状に成形し、底部と側壁部から JIS 5 号片を採取して引張り特性を調査した。その結果を **Table 2** に示す。IR 材の耐力値は CR 材と比較して 30~40MPa 高くなっており、温間成形後も高い耐力値を維持していることが分かる。従って、IR 材を用いると CR 材よりも成形品を薄肉化（軽量化）できる。

## 5. おわりに

A5083 合金を加工温度 350~400°C、ひずみ速度 0.1~5/s に制御して圧延すれば、熱的安定な圧延集合組織が形成する。350°C 熱処理後の耐力は従来工程材よりも 30~40% 程度高く、平均  $r$  値は 1.0 を越える。テイラー理論で予想されるとおり、圧延集合組織を優先方位にすることで、45°方向の  $r$  値が向上する。室温および 250°C 付近での絞り成形性は恒温圧延材の方が従来工程材よりも良好である。難加工部材のオイルパン模擬形状を、2 工程の温間加工で成形が可能である。温間成形後も恒温圧延材は従来工程材よりも高い耐力値を有する。

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の「高成形性自動車用板材料の開発」プロジェクトの成果の一部である。

## 参考文献

- 1) 矢田 浩：塑性と加工, **25**-286 (1984), 970-980.
- 2) 小指軍夫：制御圧延・制御冷却, (1997), 11-31, 地人書館.
- 3) 吉田英雄, 田中宏樹, 土田 信：軽金属, **39** (1989), 817-823.
- 4) 中川威雄：プレス成形難易ハンドブック, (1997), 449, 日刊工業新聞.
- 5) 井上博史, 稲数直次：軽金属, **44** (1994), 97-103.
- 6) Inoue, H. & Takasugi, T. : Z. Metallkde., **92** (2001), 82-88.
- 7) 江崎宏樹, 田中宏樹, 澁江和久, 神鳥基哉, 吉田英雄：住友軽金属技報, **42** (2001), 175-180.
- 8) ASM Handbook, Metalworking Bulk Forming, **Vol.14A**, (2003), 587, ASM.
- 9) 田中宏樹, 長井康礼, 大久保喜正, 吉田英雄：軽金属学会第 106 回春期大会講演概要, (2004), 87.
- 10) 日本鉄鋼協会編：圧延理論とその応用, (1969), 317, 誠文堂新光社.
- 11) Bunge, H. J. : *Texture analysis in materials science*, (1982), Butterworths.
- 12) 竹島義雄, 疋田達也, 宇都秀之：住友軽金属技報, **32** (1991), 39-55.
- 13) 田中宏樹, 長井康礼, 小栗良史, 浅野峰生, 吉田英雄：住友軽金属技報, **48** (2007), 73-80.

## 自動車足回り用高強度アルミニウム鍛造合金の開発

松田 真一\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 56-59

Development of High-Strength Aluminum  
for Forging Stocks Applied for  
Automotive Suspension

Shinichi Matsuda

Aluminum suspension parts are widely used for improvement of driving performance of motor vehicle without increasing mass and less fuel consumption. Strengthening of aluminum alloy is effective for mass reduction. But, increasing the strength of material brings the reduction of the toughness and corrosion resistance in general. A new Al-Mg-Si alloy was developed for forging stocks of suspension arm. This new alloy, SG210 exhibits higher strength without reduction of Charpy impact value and corrosion resistance compared with 6061 alloy by controlling not only chemical composition but also microstructure.

## 1. はじめに

近年、地球環境保護の重要性が増す中、温暖化対策として、CO<sub>2</sub>ガス排出量低減の要求が高まっている。

自動車の生産から廃棄に至るまでの生涯で排出されるCO<sub>2</sub>ガスのうち、大半は走行中のものであるため、燃費向上の技術開発は大変重要である。

燃費向上技術には、効率向上および走行抵抗の低減がある。前者はエンジンの燃焼改善や伝達効率の向上があり、後者には空気抵抗や転がり抵抗の低減の他、軽量化が含まれる。自動車の軽量化は、近年積極的に取り組まれており、アルミニウム合金はボディパネルやバンパービームなどに採用される例が多く見られるようになってきた。その中でも、サスペンション関係では、アームやリンク類にアルミニウム合金鍛造品の採用例が増加してきている。アーム類はいわゆるバネ下部品といわれるが、この軽量化は燃費の向上以外に乗り心地や操縦安定性の向上など副次的な効果をもたらす。

そのため、鉄からのアルミ鍛造品への材料置換は早くから検討されているが、上記の乗り心地などへの影響はバネ上/バネ下の質量比で効果があるとされ、バネ下質量の低減効果は大きい。また、自動車の高出力化や安全装備などによる質量増によってアーム類への高負荷対応

\* 研究開発センター 第六部

が要求されるケースがあるが、サスペンションが複雑な動きをするため、断面形状に制約が生じて断面積の増加に制限が生じる場合がある。このような背景から、サスペンション用高強度アルミニウム鍛造合金が必要とされる場合がある。

サスペンションアームは、耐食性もまた要求される部材であり、こういった要件から6000系アルミニウム合金が適している。JIS規格では6000系アルミニウム合金として、6061合金や6151合金が規格化されているが、こういった合金よりもさらに高強度を示す合金の開発は重要である。こういった背景の中、当社においても高強度鍛造合金の開発・実用化に取り組んだ。今回、実際の材料開発の事例について紹介する。

## 2. 開発材の設計

自動車用サスペンションアームは、機能上、強度と耐食性が要求されることから、Al-Mg-Si系の6000系アルミニウム合金が最も適している。開発材の基本的な考え方をFig. 1に示す。これは、6000系合金における強度と靱性および耐食性の関係を表した模式図である。

通常、引張強さと強度および靱性はトレードオフの関係にあると考えられている。引張強さを向上させるためには、主要な添加元素であるMg、SiやCuを増量すれ

ば達成することできるが、Si や Mg の添加量や割合によっては靱性を低下させたり、Cu 添加量によっては耐食性を低下させる傾向がある。成分を調整することで必要強度を満たすことができても、耐食性と靱性が低下しては、足回り部品用の材料としては好ましくない。

そこで、今回は製造工程全体を通じての材料組織制御を取り入れて、従来材並みの靱性や耐食性を確保しつつ、強度を向上させることを開発の狙いとした。

すなわち、鍛造素材の組織を微細なファイバー状とし、これを鍛造後も維持することで、従来の再結晶組織を示す材料と比べて、高い強度・靱性を得ることを狙いとした。そのためにコントロールするべき点について以下に述べる。

## 2.1 成分設計

6000 系アルミニウム合金は、焼入焼戻によって  $Mg_2Si$  を微細析出させることで強度を高める合金である。したがって、まず基本成分である Mg と Si の添加量の決定が重要な要素となる。Fig. 2 は縦軸および横軸をそれぞれ Mg および Si の添加量とした時、その組成における T6 調質での引張強さの関係を示している<sup>1)</sup>。図中にある右肩上がりの直線は、析出強化相である  $Mg_2Si$  の化学量論的な組成のラインである。この組成比で Mg および Si 添加するほど析出物量が多くなるため強度は上がる。実際には、化学量論組成よりも Si をやや過剰に添加した方が、強度がさらに高くなる<sup>2)</sup>。但し、過剰添加は靱性を低下させる要因となるので、その点を考慮の上、添加量を決定する必要がある。

6000 系合金を設計する上で、強度を向上させるために 1% 程度までの Cu を添加することがある。但し、Cu は耐食性を低下させる元素でもあり、粒界腐食が顕著になる場合がある<sup>3)</sup>。その点も考慮の上、添加量を決定する必要がある。

今回は、図示したような領域の過剰 Si 組成とし、Cu 添加量は耐食性を考慮して 6000 系の一般的な合金で使

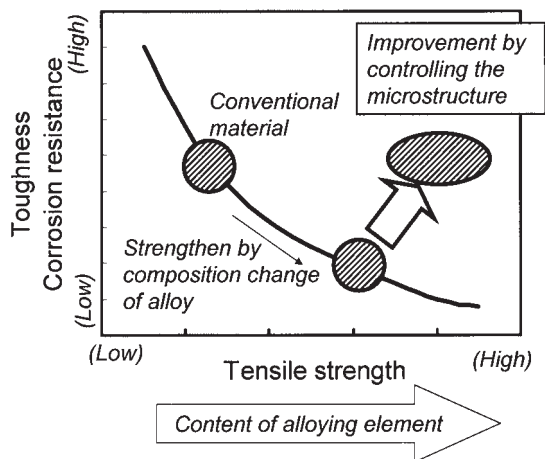


Fig. 1 Schematic diagram of the relationship strength, toughness and corrosion resistance.

用実績のある 6061 合金並とした。

そのほか、Mn, Cr, Zr 等の遷移元素は再結晶を抑制する作用があるため、組織制御のために添加した。

## 2.2 組織の制御

成分を適切に調整された材料は、その組織によってさらに強度を高めることができる。そのポイントは、再結晶を抑制してファイバー組織化することである。素材が再結晶すると延性は回復するが強度は低下する。また、通常の熱処理型合金と同様に、焼入時に十分固溶溶質元素を固溶させて、その後の人工時効で強化相である  $Mg_2Si$  を高密度に微細に析出させることが同時に必要である。

Fig. 3 に、造塊からの全体の工程を示す。鍛造用の素棒は、铸造棒を用いる場合と押出棒を用いる場合がある。今回の開発品については、押出材を用いた。押出材で微細均一なファイバー組織として、以後の工程でもその特性を維持することを狙いとしている。

まず、押出材にて均一微細なファイバー状の組織を作る必要がある。添加元素の固溶を促進させるために溶体化処理温度を高くすると、再結晶が発生しやすくなる。Mn, Cr および Zr 等の転位をピンニングする粒子を微細分散させることで、熱間押出後のみならず、熱間鍛造および溶体化処理中のすべての工程で再結晶を抑制することが重要である。従って、製造工程の全体を考慮したソーキング条件および押出条件の調整が必要である。

また、この組織を鍛造工程後まで維持するためには鍛造条件も限定される。再結晶温度を溶体化処理温度以上に調整するためには、鍛造後の残留ひずみを小さくする

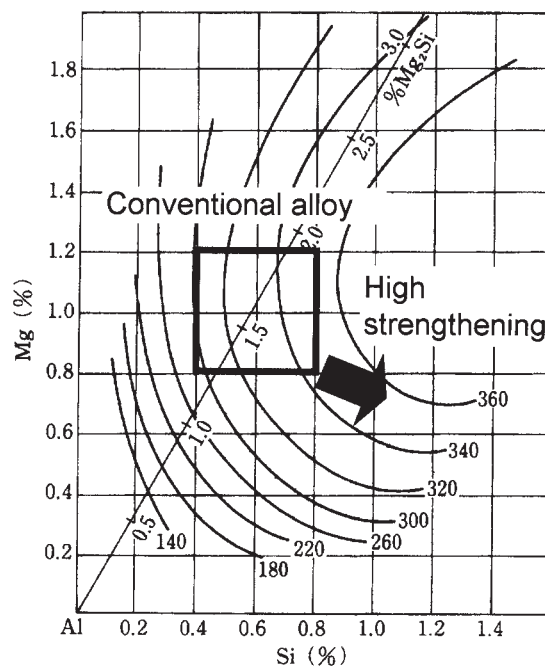


Fig. 2 Relationship between strength and content of Si and Mg.

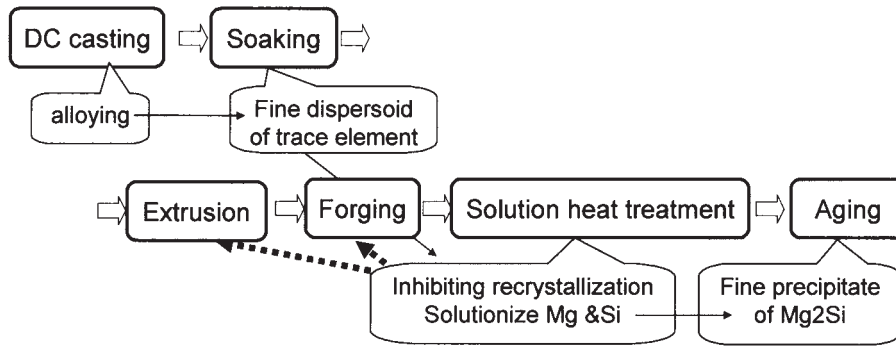


Fig. 3 Manufacturing process.

必要がある。その方法としては、加工度を小さくしたり鍛造温度を高温にしたり、ひずみ速度を小さくする事などがあげられ、状況に応じて使い分けるもしくはこれらを組み合わせて適用する。

このように、造塊ソーキングから最終の熱処理までの条件を総合的に見直すことで、組織を微細なファイバー状に制御し、靱性を確保しながら強度を向上させ、耐食性に有利な材料を得ることが可能となる。Fig. 4に、従来材と組織を考慮して条件を最適化した鍛造材の組織を示す。通常のプロセスでは、このように再結晶することが一般的で、鍛造比などによっては粗大粒となり、時には強度や靱性の低下をまねく事がある。開発材の例では、Mn, Cr等の微量元素を添加して、ソーキング中に微細析出させた後に押し出し、素棒の鍛造温度を高温に変更して溶体化処理中の組織を安定させて、ファイバー組織にする事ができた。

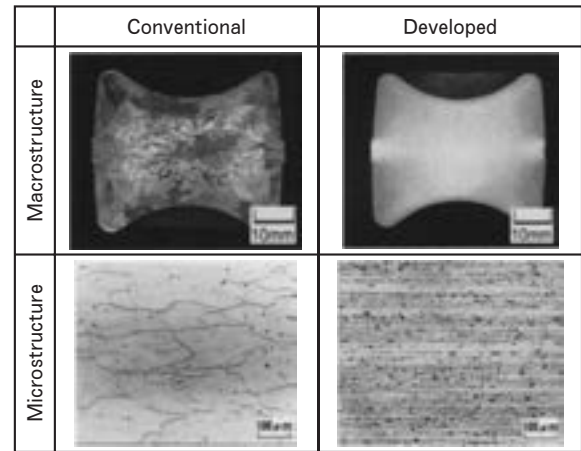


Fig. 4 Structure derived from conventional and developed process.

### 3. 当社での開発例 SG210 について

上記の点を考慮し、自動車足回り用高強度アルミニウム鍛造合金として、SG210 合金を開発した。以下、その特性について述べる。

#### 3.1 機械的性質

開発材 SG210 の熱間鍛造品の T6 強度を Fig. 5 に示す。試験片はいずれも、サスペンションアームの長手方向から採取した。引張強さは、足回り用鍛造合金として一般的な従来材の 6061 合金と比較して、引張強さおよび耐力は約 40% 向上した。また、シャルピー衝撃値についても、従来材と比較して同等以上であった。一般に、強度が向上するとシャルピー衝撃値などに代表される靱性は低下する傾向を示す。靱性が向上した理由は、組織の改善によるものと見られる。

Fig. 6 に疲労強度特性を評価した結果を示す。回転曲げ疲労試験による評価で、平滑である  $\alpha=1$  および切り欠きをつけた 1.8, 3.0 について調査した。サンプルはアームの鍛造品の長手方向から切り出し、 $10^7$  回における疲労強度で評価した。

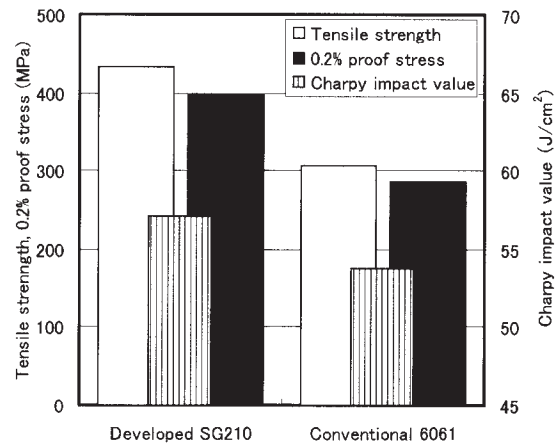


Fig. 5 Comparison of tensile and impact property.

平滑試験片において、開発材は 6061 と比較して疲労強度が約 25% 向上した。 $\alpha=1.8$  程度までは疲労強度は平滑と同様の傾向を示すが、形状係数が 3 程度になった場合、依然として高いもののその差はやや小さくなる傾向があった。

#### 3.2 耐食性

粒界腐食性を評価した結果を Fig. 7 に示した。評価方

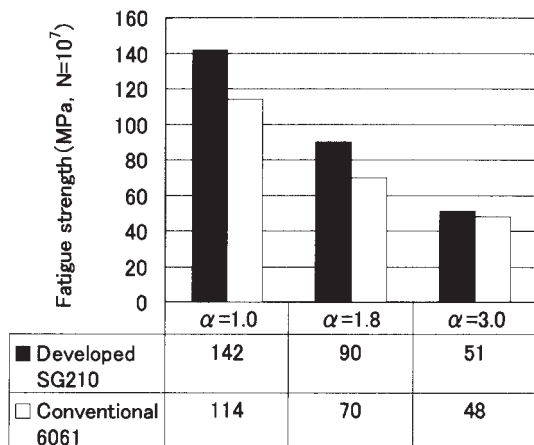


Fig. 6 Comparison of fatigue property.

法は、旧 JIS W 1103「航空機用アルミニウム合金の熱処理」で規定されていた粒界腐食試験法による。

6061 合金は大傾角粒界に沿って腐食が進行しているのに対し、開発材 SG210 はサブグレインの粒界に沿って腐食が進行していた。腐食深さは双方ともほぼ同じで、いずれも比較的軽微であった。

また、応力腐食割れ性を評価した結果を Fig. 8 に示した。評価は JIS H 8711 に準じ、 $\phi 19$  mm の Cリング試験片を鍛造品より機械加工で成形し、各負荷応力で 3.5% NaCl 溶液に 1 ヶ月間交互浸漬して割れ発生の有無で評価を実施した。

6061-T6 は、試験室的にも実用上も応力腐食割れは発生しないとされている<sup>4)</sup>。今回の評価においても、最大で耐力規格にほぼ相当する負荷における評価においても応力腐食割れは発生しなかった。

他方で、AA6066 や AA6070 合金の応力腐食割れは実用上はほぼ問題ないものの、実験室的には発生するとされている。これらの合金の代表的な機械的性質は、6061 合金と比較して高い<sup>5)</sup>が、それぞれ Cu 添加量や過剰 Si 量を増やすことで高強度を得ており、それらの影響によって応力腐食割れ性に変化が生じたものと見られる。開発材 SG210 の応力腐食割れ性については、6061 の耐力規格を超える負荷においても割れは発生しなかった。高強度を示しながら応力腐食割れ性に変化がないのは、組織制御による高強度化を併用したため、成分の変更は耐食性に重大な影響を及ぼさない範囲にとどめることができたためと考えられる。

#### 4. ま と め

(1) 足回り部品用アルミニウム鍛造用合金の高強度化に際しては、靱性や耐食性を同時に確保することが必要である。そのためには、成分の調整以外に組織の制御による高強度化、すなわちファイバー状の組織に制御することが好ましい。

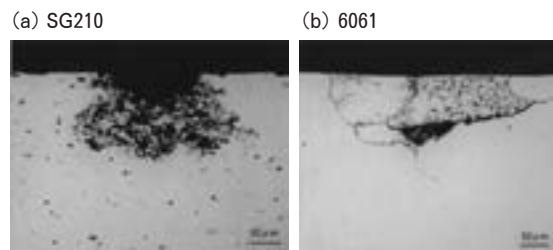


Fig. 7 Comparison of intergranular corrosion.

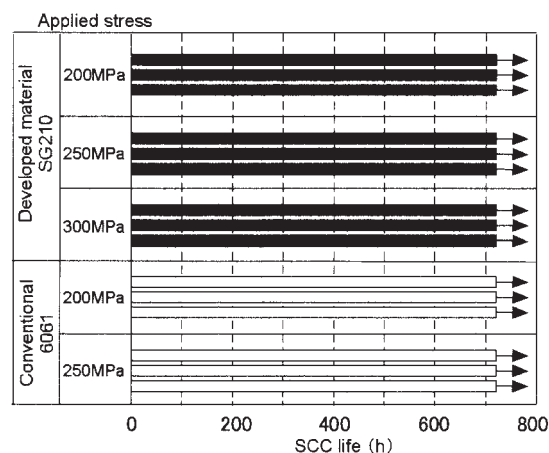


Fig. 8 Comparison of SCC resistance.

(2) 最終製品においてファイバー状の組織にするためには、ソーキングから押出、熱間鍛造の全体の製造工程を通じての条件適正化が望まれる。

(3) これらを織り込むことにより、従来の 6061 合金と比較して靱性を低下させずに引張性質で 40%、疲労特性で約 25% 向上させた SG210 合金を開発することができた。

(4) また、この開発材 SG210 による鍛造品は従来材と同等の耐食性を示した。

なお、SG210 合金鍛造品はトヨタ自動車株式会社殿のレクサス LS460 に搭載され、平成 19 年度日本アルミニウム協会賞開発賞を受賞した。開発・実用化にご協力いただいたトヨタ自動車株式会社、株式会社ソミック石川、埼玉プレス鍛造株式会社の関係者の皆様に謝意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) J. Iangerwegener : Proc. Aluminium Technology '86, Paper No.49.
- 2) D. Marchive : Rev. de L'Aluminium, No.499 (1980), 437.
- 3) 当麻 建 : 軽金属, 34 (1984), 351.
- 4) W. W. Binger, E. H. Hollingsworth and D. O. Sprowls : Aluminum ASM, (1967), 209.
- 5) 軽金属学会 : アルミニウムの組織と性質, (1991), 483.



## 当社における計測技術研究の歩み

高橋伸幸\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 60-68

# Review of Research & Development of Measuring & Instrument in SLM

Nobuyuki Takahashi

Research & development of measuring & instrument have succeeded since start of SLM. This paper describes the subject and outline of research and the transition of the field of research with the change of times. Main four items SLM studied and developed are (1) Shape measurement of aluminum hot strip by parallel light method, (2) On-line oil film thickness measurement of prelubes on can-body strip by fluorescence intensity method, (3) Temperature measurement of aluminum coated strip in low temperature by single beam pyrometer, (4) Non-contact measurement on temperature and thickness of aluminum alloy sheet. Research & development of measuring & instrument from now on should be needed both applied study product field ask and basic study of long term.

### 1. はじめに

昨年9月の米国サブプライムローン問題でリーマンブラザーズが経営破たんして以降、金融不安の影響が世界経済に大きなマイナス要因として働き、自動車を代表とする日本の輸出産業に深刻な影響を与えている。自動車生産台数の落ち込みは、自動車の構成部材であるアルミ圧延品、押出品の需要減、生産減にも結びつき、それらを生産している軽圧各社は大幅な生産調整を強いられた。今年に入り4月以降、各社の生産は戻りつつあるが、以前の水準に戻るにはまだ時間が必要と思われる。このように需要・生産が低迷している状況下、企業として生き残るためには、厳しさを増す客先からの品質要求に答える技術力、生産性向上によるコストダウン及び迅速な顧客対応（含む技術サービス）が求められる。特に、品質問題に絡んだ歩留まり低下及び起業イメージの低下はこれまで以上に企業業績にダメージを与える。

計測技術は、品質に絡んだ物理量あるいは表面状態を数値的確に把握する技術である。従って、計測技術は、高品位製品の品質問題だけでなく、生産技術向上、コスト低減はもとより環境問題などのさらに広い視点におい

てもその適用が期待されており、競合各社との差別化した技術を開発する研究開発の一分野を構成している。

最近のIT技術の進展は目を見張るものがあり、センサの高性能化、データ処理の高速化・高度化及び大容量化が進み、従来技術では実現できなかった計測が可能になるなど著しい進展が見られる。しかし、高品質・高付加価値製品の製造のためには、その品質特性をオンラインで高速かつ信頼性高く計測するセンシング技術が必須であるが、大半の場合、商用のセンサを単純に適用できるものではなく、独自のノウハウを付け加えて実用化している。

### 2. 当社における計測技術研究

当社における計測技術の研究開発は、住友金属工業㈱から分離した1961年からスタートし、50年に及ぶ歴史がある。当初は渦流探傷及び超音波探傷等の非破壊検査技術の生産現場への導入と教育に貢献し、特に、銅管の品質保証には渦流探傷技術は必須の技術となった。その後も渦流探傷を中心とした非破壊検査技術の研究開発<sup>1~3)</sup>を継続した。

1980年代の計測技術研究は、それまでの非破壊検査技術を主体とした研究開発から徐々に光学応用計測、電

\* 研究開発センター 第二部

磁気応用計測へと移行していった。主要な成果としては、非破壊検査技術では、復水器等の熱交換器に用いられる伝熱管の検査への多重周波数を用いる渦流探傷法の適用<sup>4~5)</sup>、サークルアレイ超音波探触子の設計<sup>6)</sup>、アルミニウム薄板の欠陥検査へのタイヤ探触子を用いた超音波板波探傷の適用<sup>7)</sup>がある。光学応用計測では、コヒーレントなレーザー光による板面反射光の回折パターンによる板表面欠陥の計測、二次元 CCD カメラによる箔表面のシワ検査がある。電磁気応用計測では渦流センサを用いた板形状計測<sup>8)</sup>、電磁場鑄造における磁場解析<sup>9~10)</sup>がある。また、X線板厚計の成分変動による誤差が問題となり、その補正方法についても検討を行った。

1990年代は最も計測技術研究が社内的に発展した時期である。主要な成果としては、非破壊検査技術では、超音波 C スキャン走査によるろう付けハニカム材接合部検査技術の開発、管円周方向3箇所配置した超音波センサによる管肉厚及び偏肉測定法の開発<sup>11)</sup>、渦流センサによる渦流探傷あるいはタイヤ探触子による超音波板波探傷のアルミニウム薄板介在物検査への適用検討<sup>12~13)</sup>がある。光学応用計測では、蛍光輝度法によるリオイル油量ライン計測法の開発<sup>14)</sup>、圧延方向と垂直に配置した平行光源の板面に映る像の乱れから板形状をライン計測する方式の開発、国内光学メーカーとの表面検査装置の共同開発<sup>15~16)</sup>がある。電磁気応用計測では、低温度領域測定用の温度計として有望視されたエアベアリング式非接触温度計の基本特性の調査<sup>17)</sup>と放射温度計による熱延板及び押出型材の温度計測の検討等を実施した。

2000年代にはいと、諸般の事情により1990年代より計測技術研究に携わる計測技術者の数が大幅に減り、計測技術開発の勢いは鈍くなった。主要な成果としては、非破壊検査技術では、有限要素法(FEM)による渦電流解析を利用した検出能向上<sup>18)</sup>、レーザー超音波を利用したアルミニウム合金板の非接触温度板厚計測の検討<sup>19)</sup>がある。電磁気応用計測では、塗装板の低温度領域での温度計測システムの開発を行った。

以下に当社が開発もしくは検討した主要な計測技術研究の概要を説明する。

### 3. 平行光源方式による板形状計測

#### 3.1 概要

熱延仕上タンデム圧延機のスタンド間の歪み又は張力分布を計測することはシートクラウン制御精度向上を達成する上で重要である。しかし、スタンド間での歪み計測は①クーラントミストの浮遊による測定環境が厳しい、②スタンド間ルーパロールの圧延時上下動によるパライン変動がある、③測定空間が狭い、などの理由によりTVカメラ又はオペレータによる目視に頼らざるをえず、大まかな観察しかできず定量的把握に到っていない。

ない。鉄鋼メーカーでは幅方向に5台配置したレーザ変位計により高速度で板弧長を計測する方式<sup>20)</sup>、鋼板走行方向に3本の走査レーザ光束を鋼板表面に照射し、幅方向の高さ分布を計測する方式<sup>21)</sup>及び圧延ラインの片側に棒状光源、反対側にテレビカメラを配置し、熱延鋼板に映った棒状光源の変位量を計測する棒状光源方式等が実用化されている。しかし、いずれも、熱延走行テーブル上での計測であり、また、ヒュームの浮遊のない比較的良好な作業環境での計測である。従って、ヒュームの浮遊した劣悪な環境下でのルーパ制御により傾斜した板に存在する顕在化した板歪みを非接触で計測する事例はなく、新規の開発が必要となった。傾斜した板面に発生した顕在化した歪みの計測には平行光源方式<sup>22)</sup>を用い、浮遊したヒュームの除去と板面上のクーラント除去は噴流エアを用いたエアカーテン方式<sup>23)</sup>を考案した。

#### 3.2 歪み計測システム

Fig. 1に平行光源方式の測定原理図を示す。歪みがないときの蛍光灯の像位置(準像位置)は、CCDカメラ高さ、蛍光灯高さ、CCDカメラと蛍光灯間距離及びルーパ角により決まる。蛍光灯の像位置の基準位置からのずれ量が歪み角度に起因した値であり、この値を一定時間計測することにより伸び率を算出する。つまり、平行光源方式は、被測定板上に圧延方向と垂直に配置した平行光源(蛍光灯)の板面に映る像が、板の傾きあるいは板歪みと相関関係を持って移動することを利用したものである。

Fig. 2に示した板形状計測の概念図をもとに、下記に形状計測手順を示す。

手順(1) 圧延板上に蛍光灯と2台のCCDカメラを配置し、板面上の蛍光灯の像を撮像する。

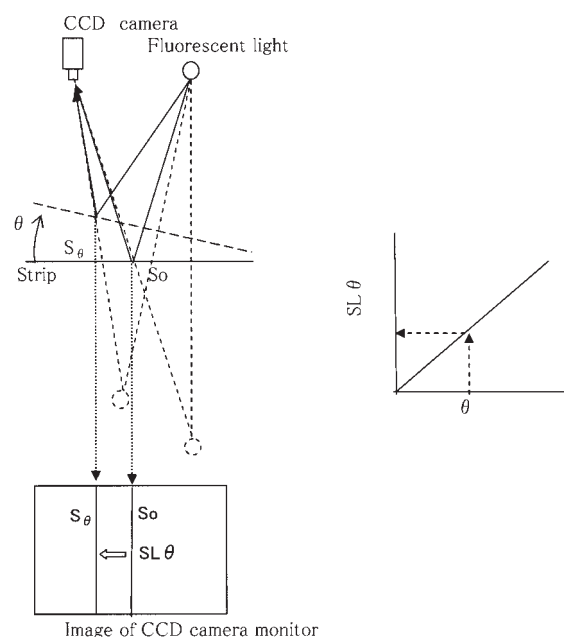


Fig. 1 Principle of shape measuring by parallel light method.

- 手順(2) 撮像した画像データから5点の計測位置（以後、chと称する）において光源の像の中心位置（DK）をサンプリング周期にて計測する。
- 手順(3) 同時にルーパ駆動軸角度（ $R\theta$ ）を計測し、予め入力してあるルーパ駆動軸角度と基準線位置のテーブルにより、基準線位置（ $SL\theta$ ）の補正を実施する。
- 手順(4) 補正した基準線（ $SL\theta$ ）と板歪みにより移動した像の位置（ $Dk$ ）との距離の絶対値（ $SDk$ ）を算出する。
- 手順(5) 移動距離の最も小さいchの値（ $SDmin$ ）を基準として各ch毎の相対移動距離（ $\Delta Lk$ ）を求める。
- 手順(6) 求めた相対移動距離を予め入力してある相対移動距離と相対板伸長さの変換テーブル（ $\Delta Lk \rightarrow \Delta Lk \times 1/\cos\theta = Lk'$ ）により相対板伸び長さ（ $Lk'$ ）に変換する。
- 手順(7) 計測時の板速度（ $V_i$ ）を用いて相対板伸び長さ（ $Lk'$ ）を板伸び長さ（ $Lk$ ）に変換する。
- 手順(8) 指定した単位長さ（板速度とサンプリング時間から自動計測）のデータとなるまで手順(1)～(7)を繰り返し積算する。（ $\Sigma Lk \rightarrow Lk$ ）
- 上記のデータに基づき、伸び率分布を演算する。
- ただし、伸び率は単位長さにおける最小板長さの計測ch（基準ch）と他のchの伸びの差の基準chの板長さ

（ $Lmin$ ）に対する比率として、(1)式により表される。

$$\text{伸び率} = (Lk - Lmin) / Lmin \quad (1)$$

### 3.3 実験結果

計測システムのオフラインでの性能調査結果を Table 1 に示す。測定値に対するルーパ角度の影響は少なく、また、腹歪み及び耳歪みの弁別は良好である。

スタンド間に浮遊したヒュームの除去と板面上のクーラント除去を目的に開発したオイルミスト・クーラント除去装置を熱延仕上圧延機スタンド間に設置し動作確認後、平行光源方式形状計システムを併せて設置した。オンラインでの実験の結果、以下のことが判った。

- (1) 目視並びにベンダ圧力変化、ルーパ張力変化等の傾向と本形状計出力がよく一致し、形状計側能力は良好
- (2) 本形状計に対するルーパ角度の影響は微小
- (3) オイルミスト・クーラント除去装置の動作は良好
- (4) ただし、板面上のクーラントを除去することにより、品質上の問題が発生

品質上の問題発生のため、熱延仕上圧延機スタンド間への適用には、その対策が必要であるが、本形状計の計測システムとしての有効性は確認された。

## 4. 蛍光輝度方式による油膜厚計測

### 4.1 概要

製缶メーカーにおけるDI缶成形プレス時の潤滑補助材としてリオイル油を最終工程ラインで板面に塗布している。

リオイル油はリオイルの複数のスプレーノズルの回転により全板幅に塗布されているが、その均一性と膜厚は重要な管理項目であり、不均一性と膜厚異常は黒筋等の品質異常の原因となる。リオイル油の測定は、リオイル油の除去前後の重量差から求める重量法によりオフラインにて実施されている。しかし、コイルの全幅、全長保証の面からはオンライン測定が望ましく、紫外線照射によるリオイル油の蛍光輝度をラインにて高感度TVカメラで計測する方式を考案した<sup>24)</sup>。

### 4.2 油膜計測システム

本計測システムは、紫外線照射装置、高感度TVカメラ、画像処理装置及び演算装置等から構成され（Fig.

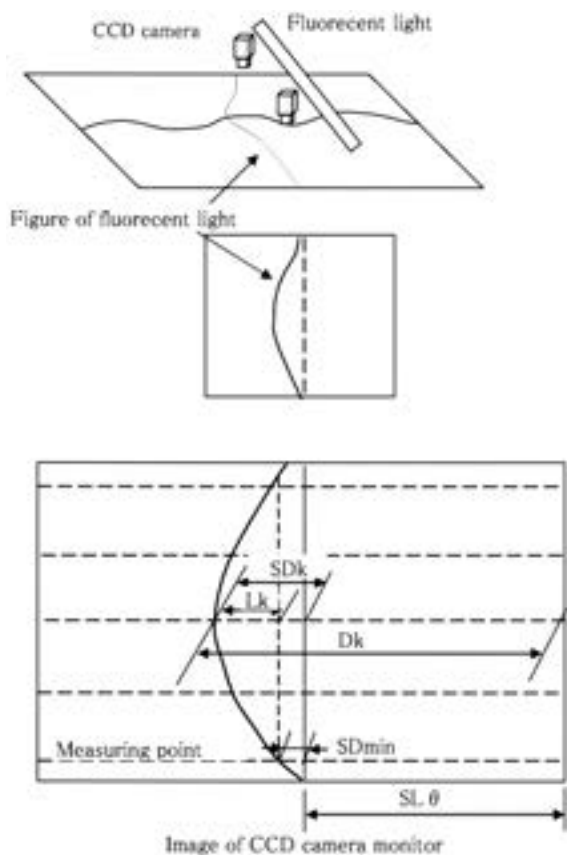


Fig. 2 Strip shape and image of CCD camera monitor.

Table 1 Accuracy of shape monitor in off-line.

Measuring width	2200mm
Detectable minimum angle in shape	0.02°
Accuracy of elongation	$\pm 0.6 \times 10^{-5}$ or $\pm 4\%$ of measuring value

3), 装置仕様は **Table 2** に示す。励起光源に用いる紫外線照射装置は、高圧水銀ランプを光源とし、330nm 以下の目に有害な短波長紫外線と 390nm 以上の可視光線を干渉フィルターにより除去し、主波長 365nm の長波長紫外線を照射する。また、この照射装置はライン用仕様のため照射範囲は細長い帯状の照射帯となっている。また、蛍光検出器として用いる高感度 TV カメラは、 $3 \times 10^{-4} \text{Lx}$  から  $2 \times 10^{-2} \text{Lx}$  の感度を有し、分光感度は、500nm をピークとしている (**Fig. 4**)。

4.3 実験結果

4.3.1 オフライン実験

オフライン実験での紫外線照射装置と高感度 TV カメラの配置を **Fig. 5**, カメラ視野と計測領域は板幅方向 350mm, 300mm, 走行方向 750mm, 100mm, とし、概念図を **Fig. 6** に示す。計測範囲の走行方向 100mm については、蛍光輝度を加算処理した。

TV カメラにより撮影した画像は、TV モニタに表示し、ウィンドウ内の画像データは蛍光輝度データとしてパソコンに送りデータ処理後、結果を CRT に表示するとともに外部に出力する。

リオイル油の塗付前後の TV モニタ画面と CRT 画面の例を **Fig. 7** に示す。

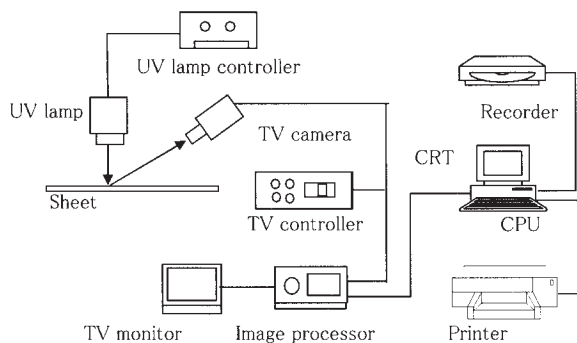


Fig. 3 Organization of the prelude film thickness measuring system.

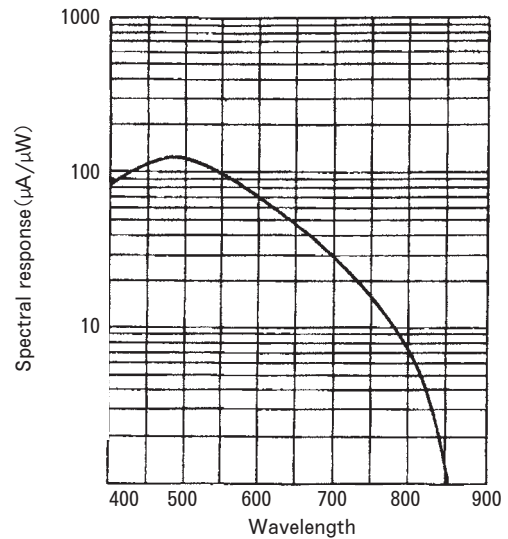
Table 2 Specification of prelude film thickness measuring system.

Ultraviolet light emitting equipment	Exited wavelength	365nm
	Maximum output	1500 $\mu$ W/cm <sup>2</sup> at 650mm dis.
TV camera	Vertical scanning freq.	60Hz
	Horizontal resolving power	500 TV lines
	Image pickup tube	Silicon intensified target
Image processor	Image memory	640 $\times$ 485 $\times$ 16bit

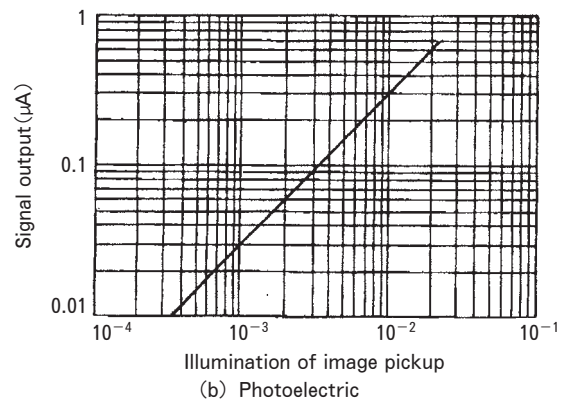
以下にオフライン実験結果を示す。

① リオイル油の製造ロットの影響

製造ロットが相違するリオイル油塗布板について蛍光輝度より算出された塗布量と重量法により求められたリオイル量との関係を **Fig. 8, 9** に示す。Fig. 8 は、1 ロットによる校正, Fig. 9 は各ロットによる校正の結果である。計測精度(=σ) は 1 ロット校正の場合、49 mg/m<sup>2</sup>, 各ロットによる校正の場合、21 mg/m<sup>2</sup> となり、製造ロッ



(a) Spectral



(b) Photoelectric

Fig. 4 Characteristic curve of image pickup tube.

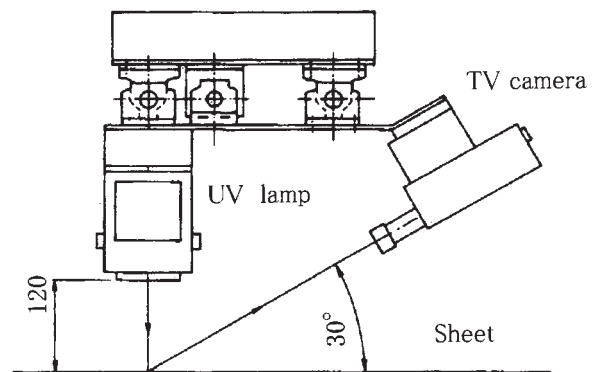


Fig. 5 Layout of detecting unit.

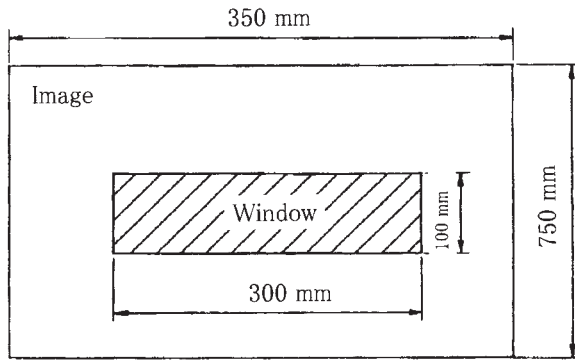


Fig. 6 "Window" in the image.

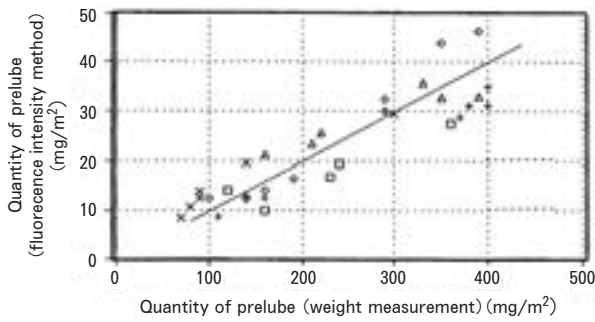


Fig. 8 Calibration by first lot.

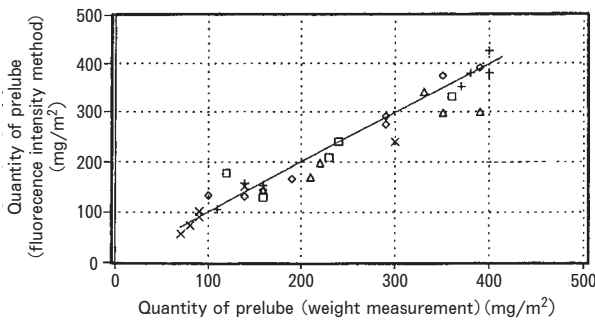


Fig. 9 Calibration by each lot.

ト毎の校正が必要である。

② 板表面粗さの影響

板の表面粗さの影響について、Ra が 0.25 $\mu\text{m}$  と 0.40  $\mu\text{m}$  の板での、リオイル量と蛍光輝度の関係について Fig. 10 に示す。Fig. 10 より、板表面粗さの蛍光輝度への影響は少ないと思われる。

③ 板温度の影響

25 $^{\circ}\text{C}$  と 40 $^{\circ}\text{C}$  に板を加熱してリオイル量と蛍光輝度の関係を調査したが、板温度 25 $^{\circ}\text{C}$  と 40 $^{\circ}\text{C}$  におけるリオイル量と蛍光輝度の関係に変化は見られなかった。

4.3.2 オンライン実験

紫外線照射装置と高感度テレビカメラの配置はオフライン実験時と同じ配置とし、リオイル出側に装置一式を設置した (Fig. 11)。

オンライン実験方法としては、ライン速度及びリオイ

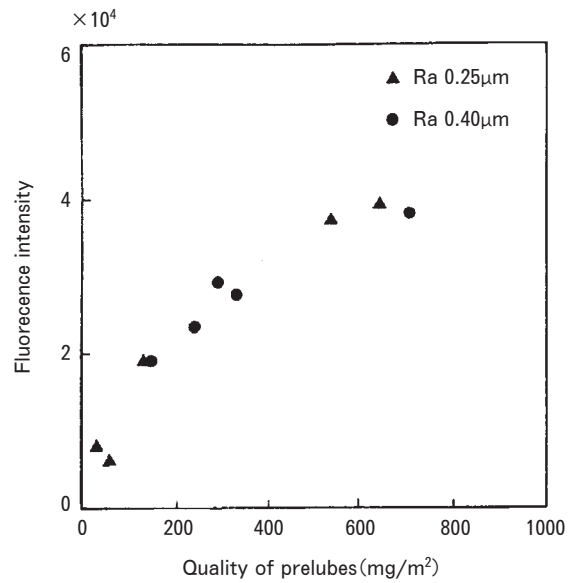


Fig. 10 Effect of surface roughness.

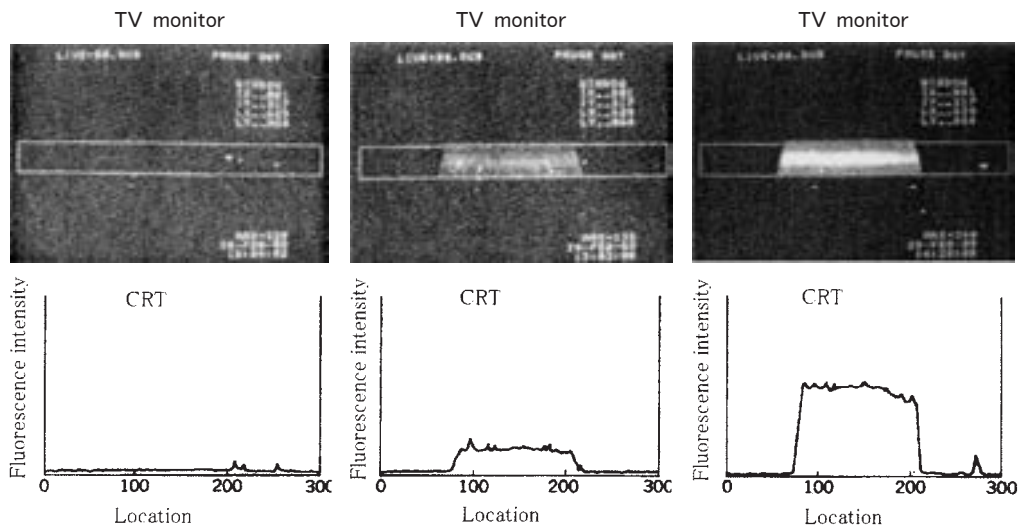


Fig. 7 Example of TV monitor and CRT display.

ル油の塗付量を変更し、蛍光輝度からリオイル油の塗布量を換算出力した。また、サンプルを採取して、重量法にて塗布量を測定した。

以下にオンライン実験結果を示す。

Fig. 12 に板幅方向のリオイル油の塗布量分布とリオイルのノズル位置関係を示す。Fig. 12 より蛍光輝度パターンはスプレーノズルの配置とよく一致しているのがわかる。

Fig. 13 にライン速度及びリオイル塗付量の変更実

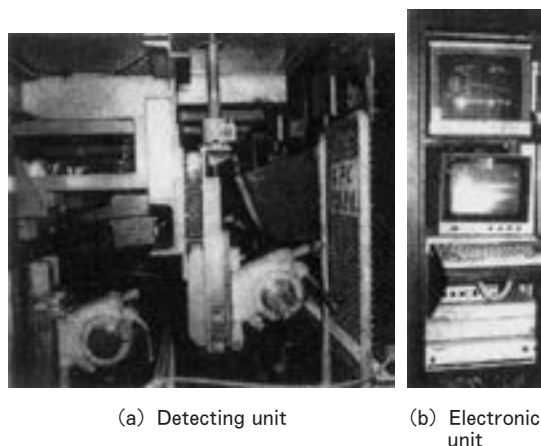


Fig. 11 Prelube film thickness measuring system.

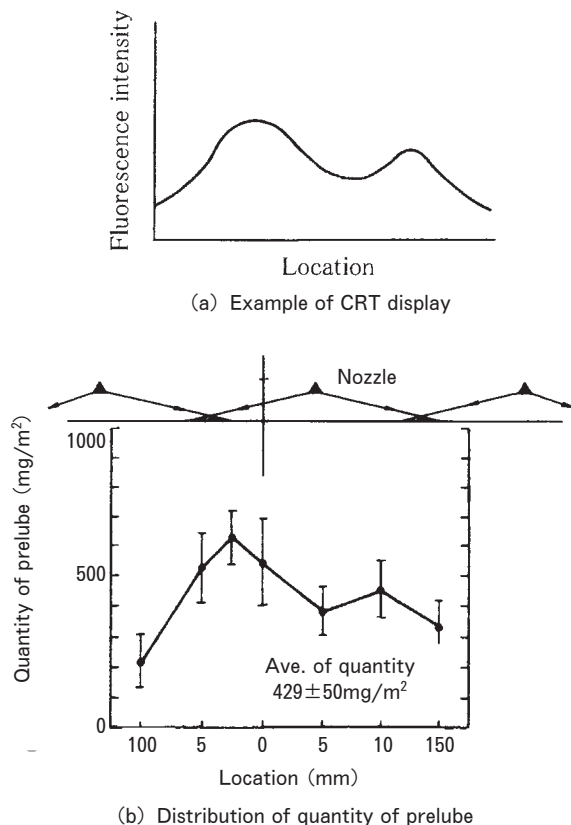


Fig. 12 Distribution of quantity of prelube across the width of strip.

験結果を示す。併せて重量法での測定結果を示す。Fig. 13 より蛍光輝度方式によるリオイル油量はライン速度による影響もなく、設定リオイル油量にも一致し、サンプリングされたサンプルでの重量法による求められたリオイル油量にもよく一致している。

## 5. 低温域用温度計測

### 5.1 概要

アルミニウム飲料缶用蓋は、主に塗装処理をして缶メーカに納入している。向け先により、巻き取り時の板温度は、巻き取ったコイルの端面で接触式温度計にて計測して管理している。塗装後の巻き取り部前でも一部放射温度計をラインに設置して温度計測をしているが、塗装種、塗装膜厚により放射率は相違する上、板温度が低温域の  $80^\circ\text{C}$  以下のため熱輻射の影響もあり十分な精度での計測はできていなかった。

低温域の温度計測装置として、エアークリアリング式 Broner 社製非接触温度計<sup>17)</sup>があるが、エアークリアリング、板振動によるセンサ部の板との接触が危惧され、単色放射温度計による温度計測システムを考案した。

### 5.2 温度計測システム

放射温度計は、物体から放射される熱放射エネルギーを測温に適した波長帯域を選んで計測し、温度に換算している。分光放射輝度が最大となる波長  $\lambda_m$  と、その放射体の温度  $T$  との積はウィーンの変位則により (2) 式となる。

$$\lambda_m \cdot T = 2.8978 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad (2)$$

(2) 式より  $80^\circ\text{C}$  の黒体から放射される熱放射エネルギーが最大となる波長  $\lambda_m$  は  $8.2\mu\text{m}$  となる。また、アルミニウム塗装板の赤外線吸収特性の一例を Fig. 14 に示すが、塗料は波長  $7 \sim 16\mu\text{m}$  に多くの吸収帯を持っている。従って、低温域 ( $80^\circ\text{C}$  以下) を測温する放射温度計として、検知波長帯域が広く、長波長である単色放

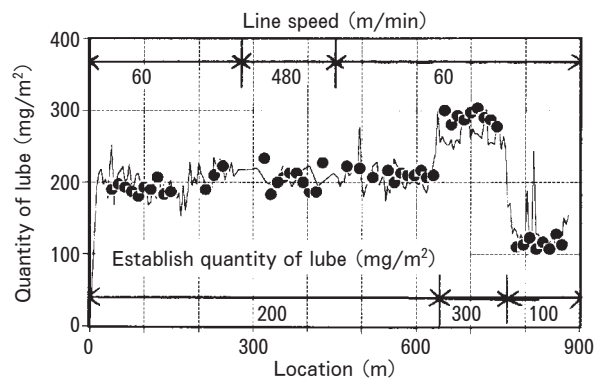


Fig. 13 Comparison with fluorescent intensity method and weight measurement method.

射温度計を選定した。

単色放射温度計において、Fig. 15 に示す塗装板とセンサの授受の関係から塗装板温度と表示温度の関係は(3)式で表される。

$$\alpha T^4 = (W_o + W_a - W_s) / \epsilon_s + \alpha T_s^4$$

$$T^4 = (\epsilon_o T_o^4 + (1 - \epsilon_o) T_a^4 - T_s^4) / \epsilon_s + T_s^4 \quad (3)$$

ここで W : 放射エネルギー T<sub>o</sub> : 板温度  
 T<sub>a</sub> : 雰囲気温度 T<sub>s</sub> : センサ温度  
 T : 表示温度 ε<sub>s</sub> : 設定放射率  
 ε<sub>o</sub> : 塗装板の放射率

単色放射温度計は安価であり、手軽に使用できる利点はあるが、一般的には放射率を外部から自動設定することはできず、測定した温度出力があるのみである。従って、単色放射温度計の放射率設定を固定とした場合の温度換算式は T<sub>a</sub> = T<sub>s</sub> とし、雰囲気温度補正及び校正用表面温度計による校正を加味して(4)式となる。

$$T_o = ((\epsilon_s (T + 273))^4 - (\epsilon_s - \epsilon_o) (T_a + X + 273)^4) / \epsilon_o^{0.25} - 273 + Z \quad (4)$$

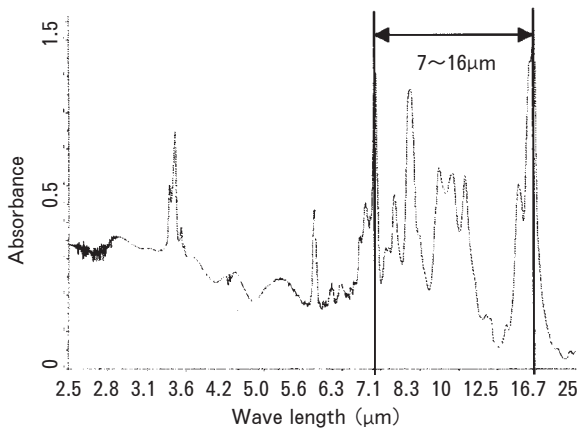


Fig. 14 Infrared absorption data of coated sheet on Aluminum strip.

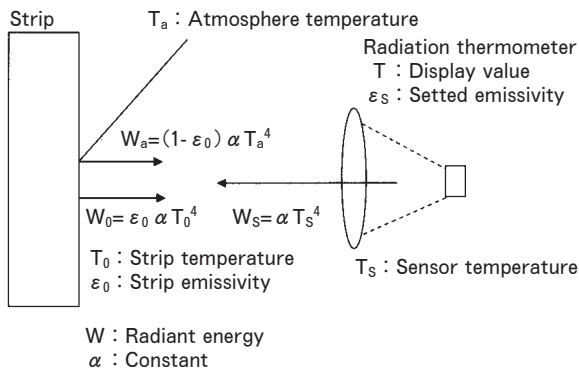


Fig. 15 Relationship of radiant energy in radiation thermometer.

ここで、

- T<sub>o</sub> : 補正後の板温度
- T : 測定値 放射温度計表示値
- T<sub>a</sub> : 測定値 放射温度計雰囲気温度
- X : 固定値 放射温度計雰囲気温度補正值
- Z : 固定値 校正用表面温度計との差 (補正值)
- ε<sub>s</sub> : 固定値 放射温度計放射率設定値
- ε<sub>o</sub> : 固定値 塗装板の放射率

すなわち、塗装板の温度は、(4)式より、単色放射温度計出力(T:表示温度)、雰囲気温度(T<sub>a</sub>)、設定放射率(ε<sub>s</sub>)及び塗装板の放射率(ε<sub>o</sub>)より算出される。なお、雰囲気温度は放射温度計付近に熱電対を設置して計測し、設定放射率(ε<sub>o</sub>)は0.42固定値とし、塗装板の放射率は事前に塗料種毎に膜厚との関係式を求めておき、塗装膜厚から放射率を換算し求める。

なお、(3)式の温度は絶対温度表示であり、(4)式の温度は摂氏温度表示である。

### 5.3 実験結果

放射率設定を0.42固定一定とした単色放射温度計出力、雰囲気温度値及び塗装板の放射率により算出された塗装板の板温度の総合精度は±3.7℃であった。

## 6. レーザ超音波法による板温度、板厚計測

### 6.1 概要

アルミニウム圧延板の板温度及び板厚を非接触でモニタリングするために放射温度計やX線板厚計が用いられている。これらは使用環境に対する補正等を適宜行えば、実用的な技術であるが課題も多い。例えば、放射温度計による板温度計測は、表面性状(反射率)変化や外乱光などの影響を受け、その測定値は変動しやすい。また、200℃以下の温度領域では放射エネルギーが低い上に、放射率が低いことにより、単色放射温度計以外の多色放射温度計による放射温度計による計測が難しい状況である。

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「高成形性自動車用板材料の開発」プロジェクトの一環としてレーザ超音波法による板温度、板厚モニタリング技術について検討を行った。

### 6.2 温度・板厚計測システム

Fig. 16にレーザシステム配置の模式図を示す。試験片はφ80mm、厚さ10mmに調製した5083合金(O材)で、加熱炉中に保持しながらレーザ照射を行った。試験片の実体温度は熱電対で確認した。試験片に超音波を発生させる発振レーザ(Generation Laser)として、パルス発振高出力のNd:YAGレーザを用い、広帯域の超音波を発生させる。試験片に発生した超音波は材料特性の影響を受けながら試験片中を伝播し、連続波の受振レーザ(Reception Laser)と干渉計(CFRI: Confoca

l Fabry Periot Interferometer) により測定面の振動状態をイメージ化する。発振レーザ、受振レーザ及び干渉計の仕様を Table 3 に示す。CFPI は他の干渉計タイプと比較して低周波に鈍感で、試験片の機械的振動に対して影響はうけにくい。

今回の実験では受振レーザの照射位置は固定し、発振レーザの照射位置を変えて、受振レーザの照射位置に到達する縦波、表面波の到達時間を計測することにより、板厚及び板温度を計測する方法を検討した<sup>25)</sup>。Fig. 17 に発振レーザ照射位置を  $\delta$  変化させた場合の超音波伝播概念図を示す。このとき、板厚 ( $p$ )、縦波音速 ( $V_p$ )、表面波の音速 ( $V_R$ ) は (5), (6), (7) 式で表せる。

板厚算出式

$$p = \delta \sqrt{\frac{\frac{1}{4} + 2\frac{t_{R1}}{(t_{R2} - t_{R1})} - \frac{1}{4}\left(\frac{t_{R2}}{t_{R2} - t_{R1}}\right)^2}{1 - \left(\frac{t_{2p1}}{t_{2p2}}\right)^2}} \quad (5)$$

縦波音速算出式

$$V_p = \frac{2 \sqrt{\frac{\delta^2 + \frac{\delta^2 t_{R1}}{2(t_{R2} - t_{R1})}}{1 - \left(\frac{t_{2p1}}{t_{2p2}}\right)^2}}}{t_{2p2}} \quad (6)$$

表面波音速算出式

$$V_R = \frac{d_1}{t_{R1}} = \frac{d_1 + \delta}{t_{R2}} \quad (7)$$

ここで、 $p$  : 板厚、 $d_1$  : 発振-受振レーザの初期間隔、 $t_{2p1}$  : 縦波-A点からの到達時間、 $t_{2p2}$  : 縦波-B点からの到達時間、 $T_{R1}$  : 表面波-A点からの到達時間、 $T_{R2}$  : 表面波-B点からの到達時間を示す。なお、加熱中の板厚を計算する際の線膨張係数は、 $2.3 \times 10^{-5}$  (25~250°C)、 $2.6 \times 10^{-5}$  (>250°C) の値を用いた。

### 6.3 実験結果

Table 4 に超音波の音速測定結果と板厚測定結果を示す。縦波と表面波の音速と試験片実体温度との関係を Fig. 18, 19 に示す。

音速と実体温度には明瞭な相関が見られ、室温と 360°C 付近まで 1 次近似で表せる。また、表面波は試験片表面の影響、縦波は伝播領域の影響を受ける。温度精度として、縦波では  $\sigma = 6.2^\circ\text{C}$ 、表面波では  $\sigma = 3.4^\circ\text{C}$  であり、精度の高い温度測定が高温から室温領域まで可能である。板厚測定結果も、線膨張率から求めた板厚との誤差が測定温度範囲では小さく、X 線板厚計と同程度の測定精度が得られた。試験片板厚が薄くなると  $t_{2p2}$  の信号が弱くなる傾向があり、板厚 3 mm 以下では測定ができなかった。

また、レーザ照射による超音波発振はアブレーション

Table 3 Specification of Laser UT system.

Generation Laser	Big Sky Inc. CFR400 flashlamp-pumped Nd : YAG Laser pulse length : 6ns / repetition : 20Hz Energy : 400mJ / wave length : 1064nm
Reception Laser	Coherent Inc. Verdi V5 diode-pumped cw Nd : YAG Laser power : 5W / wave length : 537nm
Interferometer	CFIP : Confocal Fabry Perot type

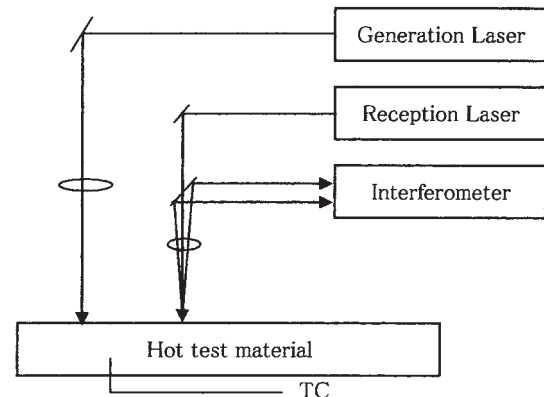


Fig. 16 Organization of the experiment by Laser UT system.

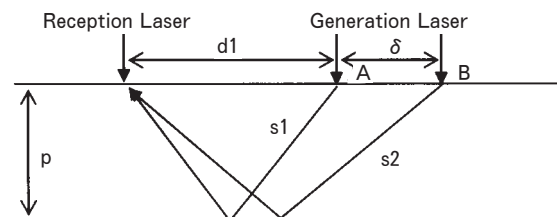


Fig. 17 Arrangement of Laser UT beam.

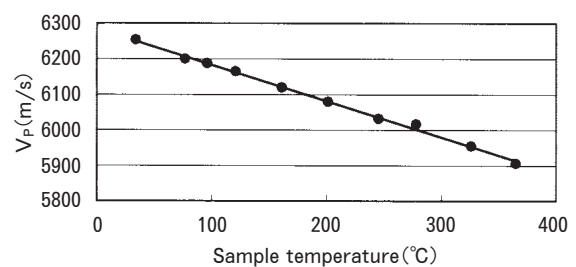


Fig. 18 Variation of compression wave velocity ( $V_p$ ) with temperature.

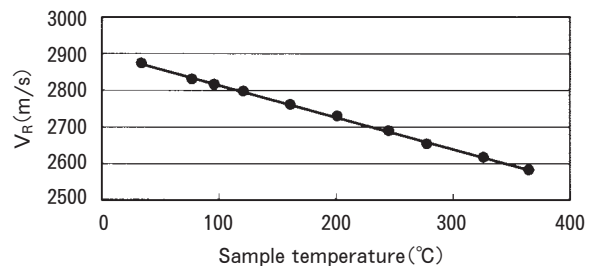


Fig. 19 Variation of Rayleigh wave velocity ( $V_R$ ) with temperature.



Table 4 Variation of velocity and thickness with temperature.

Temperature °C	$V_p$ m/s	$V_R$ m/s	Measured gauge mm	Actual gauge mm	Gauge error μm
34	6254	2874	10.030	10.030	0
77	6200	2830	10.035	10.040	-5
96	6187	2816	10.041	10.044	-3
121	6165	2797	10.048	10.050	-2
161	6119	2761	10.045	10.059	-14
201	6079	2730	10.074	10.069	5
245	6032	2690	10.071	10.085	-14
278	6017	2654	10.155	10.094	61
326	5955	2618	10.112	10.106	6
365	5906	2583	10.107	10.116	-9
RMS gauge error=					22

現象を利用しているため、レーザー照射部分にレーザー痕が残るが、圧下率30~50%の圧延でレーザー痕が消滅した。

## 7. ま と め

当社における計測技術の研究開発は、最新の技術に独自のノウハウをプラスして完成させることが基本である。また、同時に、研究開発成果は生産現場に適用し、生産技術の問題解決、技術開発に役立たせ、品質保証にも貢献することを目標としている。

従って、計測技術の研究開発を進めるにあたり、最新の技術動向に常に目を向けることと独自のノウハウの蓄積が大切である。

今後とも生産技術向上が進む中で、計測技術の研究開発は必要とされるが、単に物理量を計測するだけでなく、制御と一体となった研究開発に移行していくと思われる。また、生産技術の直近のニーズに答える応用研究だけでなく長期的視野にたった基盤研究も必要である。

## 参 考 文 献

- 1) 金森照夫, 野世溪精: 本誌, **19** (1978), 21
- 2) 鷺田理雄, 金森照夫, 野世溪精: 本誌, **19** (1978), 168
- 3) 高橋 彰, 野世溪精, 宮田勝夫: 本誌, **20** (1979), 134
- 4) 高橋 彰, 直江 正, 金森照夫, 鷺田理雄: 本誌, **25** (1984), 99
- 5) 金森照夫, 鷺田理雄, 匂坂喜代治, 鈴木 浩, 中村俊幸: 本誌, **29** (1988), 145
- 6) 高橋伸幸: 本誌, **27** (1986), 142
- 7) 林 典史, 直江正久: 本誌, **27** (1986), 10
- 8) 高橋伸幸, 武藤伸之, 阿部智一, 小池国義: 本誌, **28** (1987), 167
- 9) 長江光司, 林 典史, 河瀬順洋: 本誌, **29** (1988), 167
- 10) 河瀬順洋, 村井由宏, 林 典史: 本誌, **30** (1989), 51
- 11) 大獄 篤, 高橋伸幸, 林 典史: 本誌, **31** (1990), 46
- 12) 武藤伸之, 高橋伸幸: 本誌, **36** (1995), 25
- 13) 武藤伸之, 吉田左千夫: 本誌, **37** (1996), 57
- 14) 高橋伸幸, 大獄 篤, 木村 紘: 本誌, **31** (1990), 261
- 15) 本誌, **31** (1990), 261
- 16) 高橋伸幸, 鶴木 廣: 本誌, **33** (1992), 182
- 17) 鶴木 廣, 高橋伸幸, 平本一男, 真野豊司: 本誌, **36** (1995), 32
- 18) 武藤伸之, 森 憲亮: 本誌, **48** (2007), 135
- 19) 田中宏樹, 高橋伸幸: 軽金属学会第 112 回春期大会講演概要, (2007), 167
- 20) 山根孝夫, 斉藤森生他: 材料とプロセス, **12** (1989), 1540
- 21) 松井健一, 橋 秀文, 山本章生: 住友金属, **41** (1989), 69
- 22) 高橋伸幸, 大獄 篤: 日本国特許 特公平 7-78418, (1995)
- 23) 大獄 篤, 高橋伸幸: 日本国特 第 2539136 号, (1996)
- 24) 大獄 篤, 高橋伸幸: 日本国特許 平 3-252512, (1991)
- 25) C. B. Scruby, B. C. Moss, A. G. Astil: UK Pat. GB 2356931, (1999)

# 摩擦面への導入油膜厚に及ぼす潤滑油分子構造の影響\*

渡邊貴道\*\* 細見和弘\*\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 69-72

## Effect of Molecular Structure of Oil on the Film Thickness during Rolling

Takamichi Watanabe and Yasuhiro Hosomi

In recent years, metal working oil is required to have lower viscosity and higher lubricity than ever. Controlling oil film thickness is one of the most important in metal working. The effect of molecular structure and molecular weight distribution of oil on both lubricity and oil film thickness on friction surface during rolling was investigated in this study. Oils with broad molecular weight distribution (wide-ranged oil) were formulated by mixing a few polyisobutylenes which have different molecular weight distribution. Oil film thickness was measured for three oils with the different molecular structures in spite of the same kinematic viscosity. The thickest film among the three oils was formed by the polyisobutylene with relative rigid structure. A film thickness with wide-ranged oil was eight times as thick as that with a narrow molecular weight distribution (narrow-ranged oil) in spite of the same viscosity. Increase in the difference of molecular weight seemed to increase the film thickness. Reduction of a friction coefficient during rolling even with a low viscosity oil was obtained by using a wide-ranged oil.

### 1. はじめに

近年の地球環境への関心の高まり、生産性の向上などの観点により、金属加工分野においても洗浄工程の簡略化が進んでいる。また、製品の付加価値を高めるために、より難しい加工が要求されてきている。このため、潤滑油には被洗浄性に優れた低粘度、高揮発性、高潤滑性の特性が求められている。摩擦低減のためには、摩擦面に導入される油膜厚を増加させる必要がある。また、油膜厚の増加は、摩擦の低減のみならず、オイルピットの生成に伴う表面形状の変化にも大きく影響する事が知られている<sup>1)</sup>。油膜厚の制御は、金属加工の際の潤滑において非常に重要な因子の一つである。摩擦面での油膜厚は、荷重、すべり速度、噛み込み角度及び潤滑油の粘性等に影響される。但し、粘度等級、平均分子量が同じであったとしても、分子構造の違いや基油を構成する炭化水素の分子量分布の範囲が広域であるか狭域であるかによって、その熱挙動及び物質移動の挙動が異なり、熱伝達係

数、冷却性能、広がり特性及び潤滑性能に大きな差異を生じることが明らかにされている<sup>2)</sup>。また、分子量分布が広域であることが潤滑に有利であるか否かは、摩擦条件の過酷さによって異なることが報告されている<sup>3,4)</sup>。この現象に関しては、従来機械要素を対象にした詳細な研究がなされているが、塑性加工を対象にした研究は少ない<sup>5)</sup>。そこで、圧延加工での潤滑性及び摩擦面での油膜厚みにおよぼす潤滑油分子構造及び分子量分布の影響について調査したので、その結果について報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試油

Table 1 に供試油の動粘度と分子量を示した。平均分子量 140~30000 のポリイソブチレン、40℃での動粘度 96 mm<sup>2</sup>/s のパラフィン鉱油及び動粘度 100 mm<sup>2</sup>/s のポリエーテルを供試油として用いた。また、Fig. 1 に示したように、分子量分布の異なるポリイソブチレンを任意に混合したものを広域分子量の油（以下、混合油と略す）として試験に供した。

\* Tribology Online Vol.4 No.1 (2009) 27.

\*\* 研究開発センター 第三部

## 2.2 動粘度測定

キャノンフェンスケ式毛管粘度計を用いて 40℃ 及び 100℃ での供試油の動粘度を測定した。

## 2.3 圧延条件

実験用圧延機は、ロール粗さ Ra0.4 μm、ロール径 φ 150mm の 2Hi タイプを用いた。圧延材には C1220 リン脱酸銅板を 0.9t×40w×450lmm<sup>2</sup> に切断して供した。圧下率は 6~55%、ロール周速 34m/min、材料温度 40℃ とした。潤滑性は、Bland & Ford の式<sup>6)</sup> より求めた摩擦係数の大小で評価した。

## 2.4 油膜厚の測定

各供試油の摩擦面での油膜厚を比較する為に、圧延における滴下法で導入油膜厚を測定した。実験手順を Fig. 2 に示した。供試油 2mg を滴下した供試材を圧延し、圧延後の供試材表面に形成された油痕の面積を計測した。油膜厚は、油滴の体積と圧延材表面の油痕の面積より算出した。

## 2.5 油膜の分析

圧延後の油膜の組成を同定するために、圧延後の油痕中央部の油膜を赤外分光光度計で分析した。分析には、堀場製作所製フーリエ変換赤外分光分析 (FT-IR) 装置 FT-720 を用いた。

## 3. 実験結果

### 3.1 分子構造の影響

分子構造の異なる 3 油種について油膜厚を測定した結果を Fig. 3 に示した。動粘度はほぼ同じであるが、油膜厚はポリイソブチレンがもっとも厚く、パラフィン鉱油、ポリエーテルは同程度であった。ポリイソブチレンは分子骨格中に側鎖を有し分子が動きにくい構造であるのに対して、パラフィン鉱油は直鎖構造を多く含み、またポリエーテルは柔軟なエーテル結合を含むために分子が動きやすく柔軟な分子構造であると考えられる。このため、パラフィン鉱油及びポリエーテルは、ポリイソブチレンよりも高圧下での粘性が低くなり、油膜厚が薄くなったと考えられた。

### 3.2 分子量分布の影響

分子量分布の範囲が広域になるように異なる分子量のポリイソブチレンを混合した混合油及び単体のポリイソブチレンの油膜厚測定結果を Fig. 4 に示した。単体のポリイソブチレンは、動粘度すなわち平均分子量が大きくなるに従い摩擦面に導入される油膜厚も直線的に厚くなる傾向が認められた。対して、混合油の場合には、同程度の粘度であっても、単体の最大 8 倍の油膜厚を示し

Table 1 Kinematic viscosity and molecular weight of test oils.

molecular weight		kinematic viscosity (mm <sup>2</sup> /s)	
		40 degree Celsius	100 degree Celsius
Single oil			
Paraffin oil	—	100	11
Polyether	—	96	8
Polyisobutylene	430	109	10
Polyisobutylene	500	205	14
Polyisobutylene	980	9500	220
Polyisobutylene	1400	26000	590
Polyisobutylene	3700	320000	5700
Mixed oil			
Polyisobutylene	430(33mass%)+500(33mass%)+1400(34mass%)	303	21
Polyisobutylene	300(50mass%)+30000(50mass%)	178	25
Polyisobutylene	140(30mass%)+30000(70mass%)	661	45
Polyisobutylene	300(70mass%)+3700(30mass%)	901	65

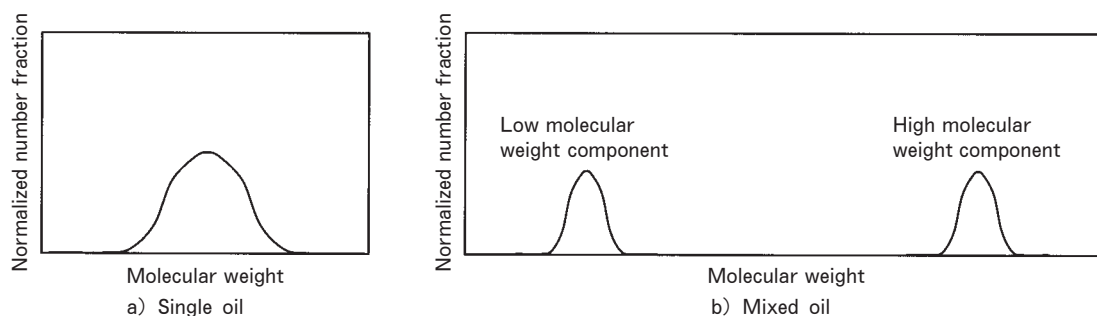


Fig. 1 The images of the typical molecular weight distribution curves.

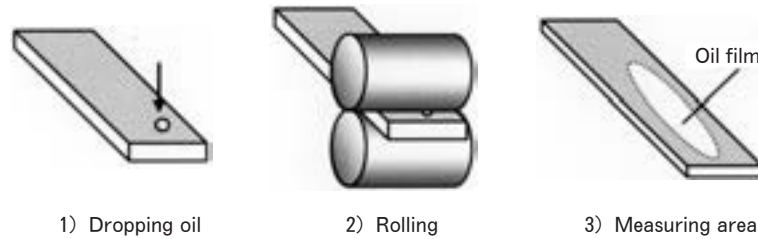


Fig. 2 The schematic diagram of the measure oil film thickness.

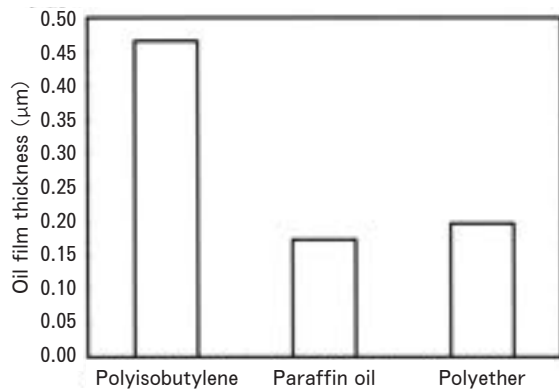
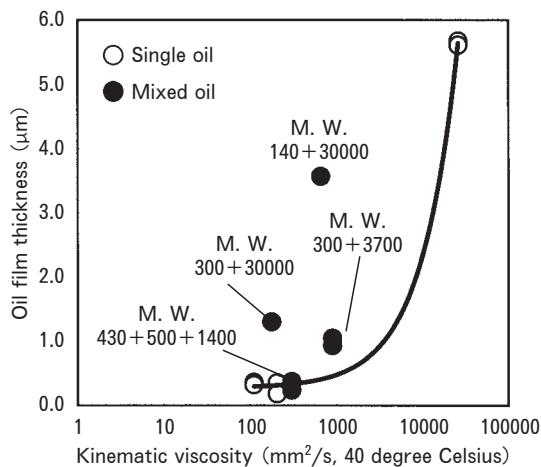
Fig. 3 The film thickness with the single oils with different molecular structure. (Rolling reduction : 8%, kinematic viscosities of oils were 96~109 mm<sup>2</sup>/s)

Fig. 4 Relation between kinematic viscosity and oil film thickness. (Rolling reduction : 30%)

た。また、混合されるポリイソブチレンの分子量の差が大きいほど油膜厚が増加する傾向にあった。本実験結果の様に、分子量分布が油膜厚に影響する機構としてマランゴニ効果あるいは低粘度成分の蒸発がそれぞれ提案されている。潤滑面近傍に油膜の自由表面が存在する条件下の薄膜潤滑状態では、摩擦面付近における温度勾配に伴うマランゴニ効果<sup>7)</sup>により、分子量分布が広域である混合油の高粘度成分が高温側の摩擦面から低温側の接触面外へ移動する。このため、低粘度成分のみが摩擦面へ導入されることとなり、油膜厚が薄くなることが指摘さ

れている<sup>8,9)</sup>。一方、低粘度成分の蒸発が顕著になる温度条件下では、逆に混合油の実効粘度が増加する場合もあることも指摘されている<sup>10)</sup>。本圧延条件においても、材料の加工発熱及び摩擦熱により圧延のロールバイト近傍では相当の発熱が生じているものと推定される。そこで、圧延後の油膜を赤外分光法によって分析した。

### 3.3 油膜成分の同定

Fig. 5, 6 に、圧延後の油痕及び供試油の低粘度成分及び高粘度成分の赤外吸収スペクトルを示した。Fig. 6 に示したように、本供試油に用いている低粘度成分には、吸収波数 890cm<sup>-1</sup> にポリイソブチレンの末端二重結合の面外変角振動に由来する吸収が認められた。本吸収は高粘度成分には認められなかった。圧延後の油痕の赤外吸収スペクトルには 890cm<sup>-1</sup> のピークが認められなかったため、低粘度成分は含まれていないものと考えられた。以上の結果より、本試験の摩擦面では、混合油の低粘度成分が減少する事によって油膜の粘度が上昇し、その結果油膜厚が増加したものと考えられた。但し、摩擦面での微視的塑性流体潤滑での高粘度成分の挙動や分子構造の影響については不明であり今後の課題である。

### 3.4 圧延潤滑性

圧延時の摩擦係数は Fig. 7 に示されるように、単体油の場合動粘度の増加と共に減少する傾向が認められた。また混合油は単体油に比較してより低い摩擦係数が得られた。これは上述の結果で示されたとおり、見かけの粘度が同じであっても、混合油は単体油より油膜厚が増加するためと考えられた。Fig. 7 の右端のプロットは、最も動粘度が高い単体油の測定値である。本単体油は、混合油の高粘度成分と同じ分子量であるにもかかわらず、圧下率 6% 及び 18% の条件において摩擦係数が混合油よりも高かった。本結果は、高粘度油を単体で用いるよりも、低粘度の油を配合し混合油として用いた方がより優れた潤滑性が得られる事を示している。前述した低粘度成分の選択的な減少による粘度増加では本現象を説明できず、その機構の解明が今後の課題である。

## 4. ま と め

圧延加工での潤滑性及び摩擦面での油膜厚みにおよぼす潤滑油の分子構造及び分子量分布の影響について調査し、以下のことを明らかとした。

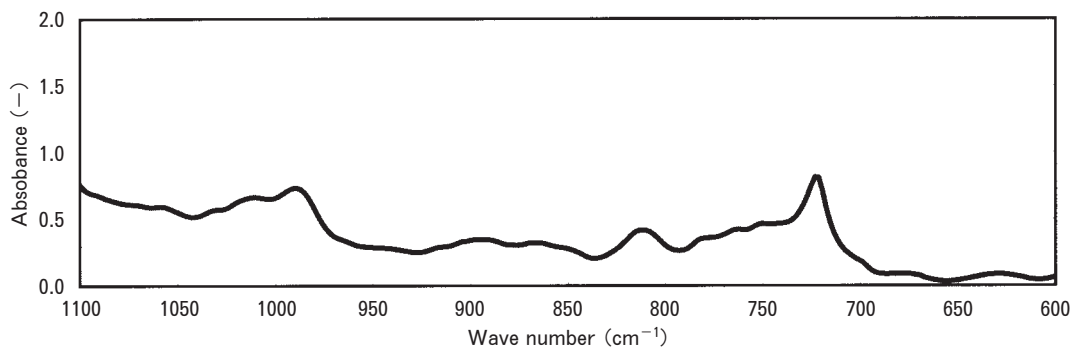


Fig. 5 Infrared spectrum of the oil film on a strip after rolling.  
(Mixed oil : M. W. 300 + M. W. 3700, Rolling reduction : 55%)

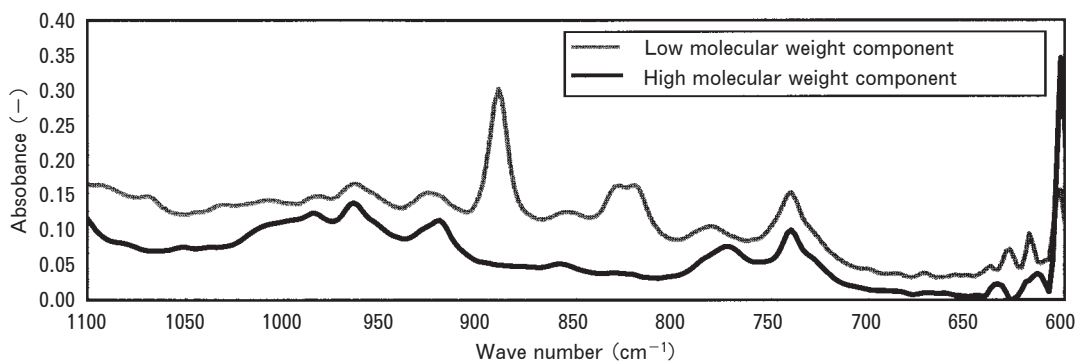
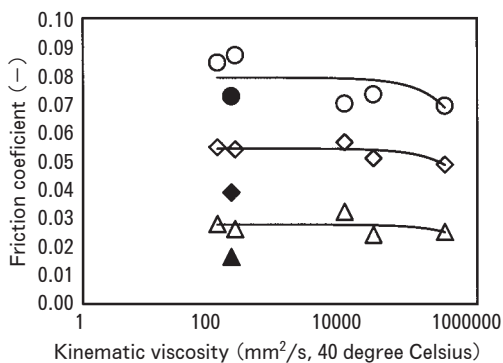


Fig. 6 Infrared spectra for two components in a broad molecular weight distribution oil.  
(Mixed oil : M. W. 300 + M. W. 3700, Rolling reduction : 55%)



△ Single oil, reduction : 6%    ▲ Mixed oil, reduction : 6%  
◇ Single oil, reduction : 18%    ◆ Mixed oil, reduction : 18%  
○ Single oil, reduction : 40%    ● Mixed oil, reduction : 40%

Fig. 7 Effect of viscosity and molecular weight distribution on rolling friction coefficient.  
(Mixed oil : M. W. 300 + M. W. 3700)

- 1) 動粘度はほぼ同じであっても、パラフィン鉱油やポリエーテルに比較し、側鎖構造をもつポリイソブチレンは油膜が厚くなる。
- 2) 分子量分布の範囲が広域になるように異なる分子量のポリイソブチレンを混合した混合油は同程度の粘度の単体油に比較し、油膜が厚くなる。
- 3) 混合されるポリイソブチレンの分子量の差が大きいほど、混合油の油膜厚は増加する。

4) 分子量分布の範囲が広域である混合油は単体油よりも優れた潤滑性を示す。

#### 参考文献

- 1) 大貫 輝, 安富清治郎, 外山晴二, 橋口幸生, 泊 康則, 園田 栄, 広中清一郎: トライボロジスト, **35**, 12 (1990), 845.
- 2) 大野信義, 桑野則行, 平野富士夫: 潤滑, **32**, 7 (1987), 497.
- 3) 村上輝夫, 境 忠男, 山本雄二, 坂本 弘: 潤滑, **32**, 1 (1987), 69.
- 4) 桑野則行, 大野信義, 平野富士夫: 潤滑, **29**, 4 (1984), 287.
- 5) 甲木 昭, 鏡 忠男, 松岡寛憲: トライボロジスト, **37**, 2 (1992), 44.
- 6) D. R. Bland and H. Ford : Proc. Inst. Mech. Eng. **159** (1948), 144.
- 7) 平野富士夫, 境 忠男, 山本雄二: 潤滑, **22**, 11 (1977), 726.
- 8) 小野文慈, 山本雄二: トライボロジスト, **49**, 6 (2004), 501.
- 9) B. Ono, and Y. Yamamoto : Lubrication Science, **14**, 3 (2002), 303.
- 10) 山本雄二, 松井 悟: 潤滑, **29**, 9 (1984), 687.

## DLC 皮膜の摩擦特性に及ぼす油性剤の影響\*

初野 圭一郎\*\* 細見 和弘\*\*

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 73-77

## Effect of Oiliness Agent on Friction Property of DLC coating

Keiichiro Hatsuno and Yasuhiro Hosomi

Diamond-like carbon (DLC) is used as a superior material in various fields because of its several excellent properties, such as high hardness, low friction coefficient and so on. DLC coating has good lubricity without lubricant, but it could show better lubricity by using lubricant. Therefore, The effect of the oiliness agent on the friction properties of the DLC coating by using a reciprocating ball-on-plate wear testing was investigated in this study. Lubricants were composed of 10 mass% various oiliness agents and 90 mass% hydrocarbon oil. The friction coefficient of the DLC coating was decreased by using lubricant. And the oiliness agents were classified into three groups by friction properties. Glycerin monooleate (GMO) showed the lowest friction coefficient of all oiliness agents at all temperatures in this experiment. It was considered that GMO was adsorbed on the DLC surface stronger than the other oiliness agents. Its alcohol part in ester seemed to have the effects on adsorption of these oiliness agents.

## 1. 緒 言

近年、表面改質による摩擦特性の向上が環境負荷軽減や省エネルギーの達成に期待されている。ダイヤモンドライクカーボン (Diamond-Like-Carbon; 以下 DLC と略す) 皮膜は、低摩擦および耐摩耗性などの優れたトライボロジー特性を有することから、近年注目されている表面処理皮膜である。

DLC 皮膜は、プラズマ CVD 法、イオン化蒸着法、スパッタリング法およびイオンプレーティング法などで製膜される。DLC 皮膜は原料に炭化水素ガスを用いる方法と固体の炭素を用いる方法に大別される。一般的に原料に炭化水素ガスを用いた場合は DLC 皮膜中の水素含有量が高くなり、原料に固体の炭素を用いた場合は DLC 皮膜中の水素濃度が低くなる。DLC 皮膜中の水素含有量を変化させることで DLC 皮膜の硬度を変化させることが出来る。また、グラファイト構造が多い DLC 皮膜は優れた摩擦特性を、ダイヤモンド構造が多い DLC 皮膜は高硬度な皮膜特性を有する。このように、

DLC 皮膜の摩擦特性や機械的特性は皮膜構造により、変化させることができる。

DLC 皮膜は、無潤滑で非常に優れた摩擦特性を発揮するが、潤滑油の使用によりさらに優れた摩擦特性が期待できる。金属の摩擦では、その表面に油性剤が吸着し、潤滑膜を形成することで摩擦係数が低下する。しかしながら、DLC 皮膜に対する油性剤の効果とその作用機構には不明な点が多く、報告も少ない<sup>1~8)</sup>。本報告では、いくつかの油性剤が、DLC 皮膜の摩擦特性におよぼす影響を明らかにした。

## 2. 実験方法

## 2.1 供試材

基板には、SKD11 工具鋼を用い、ラップ研磨により鏡面に仕上げた。DLC 皮膜は、原料として固体炭素と CH<sub>4</sub>を用い、アンバランスドマグネトロンスパッタリング (以下 UBMS と略す) 法で製膜した。DLC 皮膜の構成は、Fig. 1 に示すように、Cr の中間層を形成し、その上に DLC 皮膜を形成した。DLC 皮膜の厚みは 1.5 $\mu$ m であり、DLC 皮膜の表面粗さは Ra で 0.1 $\mu$ m であった。Table 1 に供試材の諸元を示した。

\* トライボロジー会議 2008 春 東京で一部発表、Tribology Online, Vol. 3 No. 6 (2008), 333-336. に主要部掲載

\*\* 研究開発センター 第三部

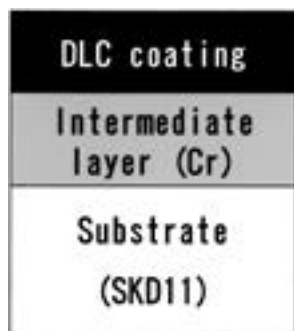


Fig. 1 Schematic cross-section of the specimen

Table 1 Specifications of the specimens

Coating method	UBMS
Raw materials	Solid carbon CH <sub>4</sub>
Substrate	SKD11
Intermediate layer	Cr
Hardness of DLC coating (Hv)	3300
Thickness of DLC coating (μm)	1.5
Surface roughness of DLC coating (Ra, μm)	0.1

## 2.2 供試油

供試油は、基油に 40℃ での動粘度が 1.3mm<sup>2</sup>/s の炭化水素油を使用した。油性剤は Table 2 に示す 9 種類を選定し、10mass% を基油に添加した。選定した油性剤は、アルキル基側にはオレイン酸を、極性基側に水酸基や一価あるいは多価アルコールを付加したエステルを用いた。なお、後述する繰り返し摩擦試験には、オレイン酸 (Oleyl acid 以下 OA と略す)、オレイン酸メチル (Methyl oleate 以下 OM と略す)、グリセリンモノオレート (Glycerin monooleate 以下 GMO と略す) とペンタエリスリトールモノオレート (Pentaerythritol monooleate 以下 PMO と略す) などの油性剤を代表として用いた。

## 2.3 摩擦試験方法

摩擦試験には、ボール・オン・プレート式往復摩擦試験機 (新東科学株式会社製 HHS-2000) を用いた。Fig. 2 に摩擦試験の模式図を示す。試験荷重は 0.98N、摩擦速度は 20mm/s、摩擦距離は 10mm とした。また、試験片の温度は 50、125 および 190℃ の 3 水準に設定した。さらに、固定球には、SUJ 2 製のベアリングボールを使用した。供試油 2 ml を摩擦面に滴下して摩擦試験を実施した。摩擦係数は、100回摺動後の摩擦力から求めた。

また、DLC 皮膜表面での油性剤の着脱を調査するた

Table 2 Molecular weight and viscosity of oiliness agents

Oiliness agent	Abb- reviation	Molecular weight	Kinematic viscosity (mm <sup>2</sup> /s)	
			40℃	100℃
Oleyl amine	OAM	267	6	2
Oleyl alcohol	OAL	268	19	3
Oleyl acid	OA	282	20	5
Methyl oleate	OM	296	5	2
Glycerin monooleate	GMO	356	109	12
Pentaerythritol monooleate	PMO	400	260	19
Sodium sulfonate	NAS	465	—	125
Trimethylpropane trioleate	TMP	926	41	8
Pentaerythritol tetraoleate	PTO	1192	79	14

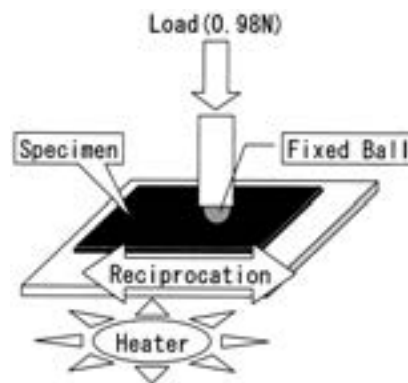


Fig. 2 Schematic illustration of the friction test

め、次のような繰り返し摩擦試験を実施した。まず、200ml の供試油に試験片を 10 分間浸せきした後に摩擦試験を行った。次いで、200ml のヘキサンに試験片を 10 分間浸せき洗浄し、再度摩擦試験を実施した。このように、ヘキサン浸せき洗浄および摩擦試験を 3 回繰り返した。摩擦試験温度は、50℃ の一水準とした。

## 2.4 表面分析方法

200ml の供試油に試験片を 10 分間浸せきし、その後ヘキサンに試験片を 10 分間浸せき洗浄し、表面をグロー放電発光分光分析器 (株式会社リガク製 GDS750 以下 GDOES と略す) で深さ方向に元素分析した。このような操作を OA、OM および PMO を油性剤に用いた場合は 1 回のみ行い、GMO を油性剤に用いた場合は前述の操作を 3 回繰り返した。

## 3. 結果および考察

油性剤の効果を確認する前に、基油のみを用いて摩擦試験をした。結果を Fig. 3 に示した。試験温度を 50℃

から 190°C まで変化させても、DLC 皮膜と SUJ 2 ボールの摩擦係数は 0.08~0.10 の範囲で推移した。供試油を用いた摩擦試験の結果から、試験温度の上昇に伴う摩擦係数の変化によって、油性剤の摩擦特性を 3 つに分類できた。第一のグループは、比較的分子量の小さな油性剤、オレイルアルコール (Oleyl alcohol 以下 OAL と略す)、OA および OM を用いた場合である。結果を Fig. 4 に示した。OAL および OA を用いた場合、試験片温度が 190°C 以下で、OM を用いた場合、試験片温度が 125°C 以下で、それぞれ摩擦係数は、前述の基油のみでの摩擦係数まで増加した。

第二のグループは、オレイルアミン (Oleyl amine 以下 OAM と略す) と比較的分子量の大きな油性剤、ナトリウムスルホネート (Sodium sulfonate 以下 NAS と略す)、PMO、ペンタエリスリトールテトラオレート (Pentaerythritol tetraoleat 以下 PTO と略す) およびトリメチロールプロパントリオレート (Trimethylolpropane trioleate 以下 TMP と略す) を用いた場合である。結果を Fig. 5 に示した。これらの油性剤を用いた場合、試験温度が 125°C までは、基油と同じ摩擦係数

であるが、125°C を超えると摩擦係数が低下する傾向を示した。第三のグループは、GMO を用いた場合である。結果を Fig. 6 に示した。GMO は試験温度が 190°C 以下の温度域で、全ての油性剤の中で最小の摩擦係数を示した。この現象は、加納らの報告と一致した<sup>9,10)</sup>。上記、三グループの現象について、その原因として、

(1) 試験温度の上昇に伴う、供試油の粘度低下による摩擦面への導入油量不足。

(2) 試験温度の上昇に伴う、油性剤の熱分解あるいは副生成物の形成。

(3) 油性剤の化学あるいは物理吸着の脱離。

などが考えられる。そこで、試験温度の上昇に伴う油性剤の動粘度の影響を調査するため、油性剤の動粘度と摩擦係数の関係を Fig. 7 に示した。40°C および 100°C における動粘度と、50°C および 190°C での、摩擦係数の間に相関は見られなかった。

油性剤の着脱を調査するために、繰り返し摩擦試験を行った。結果を Fig. 8 に示した。油性剤に OA, OM および PMO を添加した場合、1 回目のヘキサン洗浄後に摩擦係数は増加し、基油のみを用いた場合と同等の摩

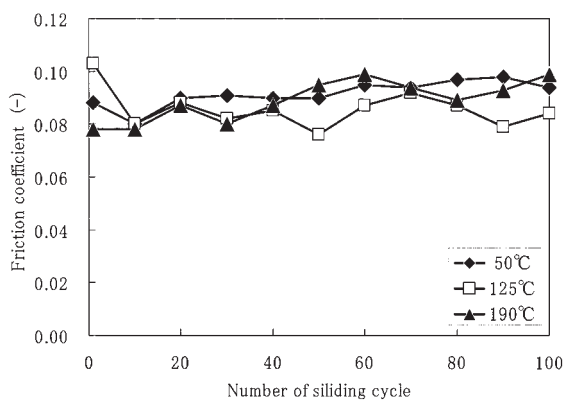


Fig. 3 Influence of temperature on friction coefficient obtained with base oil

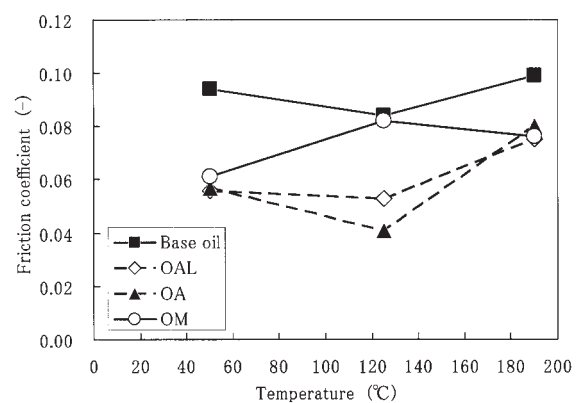


Fig. 4 Influence of oiliness agents on friction coefficients at three different temperatures (1st group)

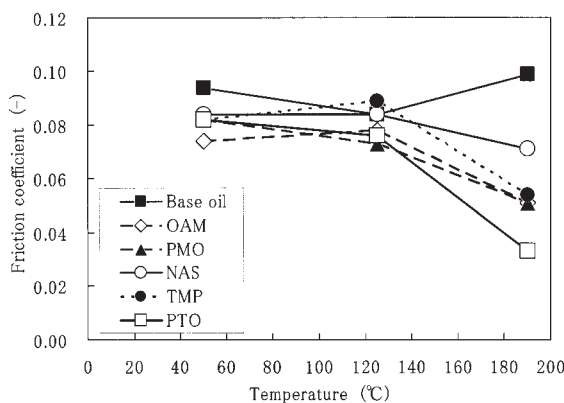


Fig. 5 Influence of oiliness agents on friction coefficients at three different temperatures (2nd group)

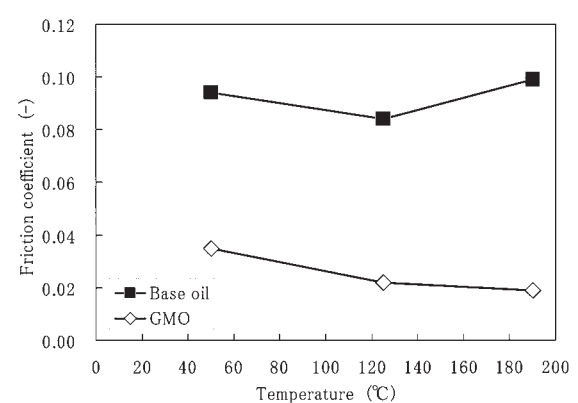


Fig. 6 Influence of oiliness agents on friction coefficients at three different temperatures (3rd group)



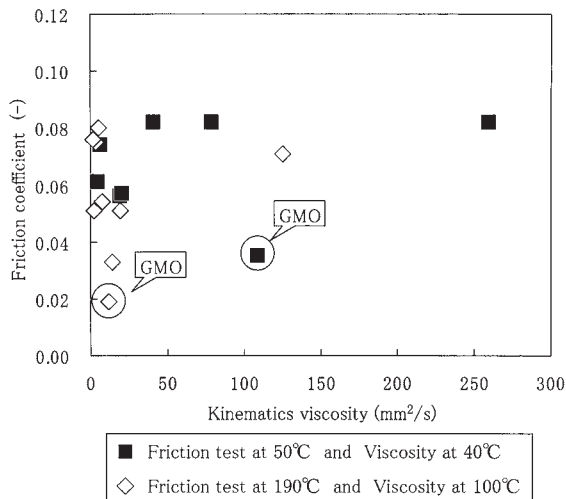


Fig. 7 Relationship between kinematics viscosity and friction coefficient

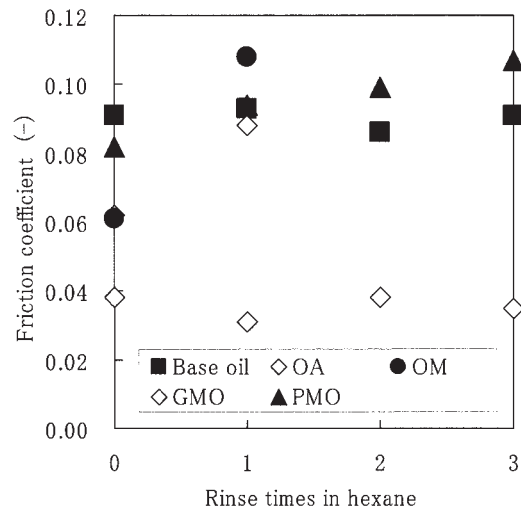


Fig. 8 Influence of rinsing times in hexane on friction coefficients (50°C)

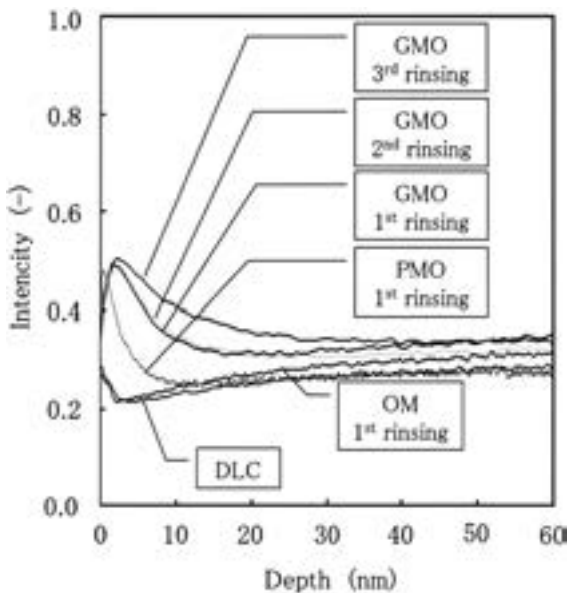
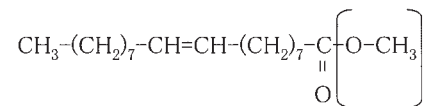


Fig. 9 Depth profiles of carbon by GDOES

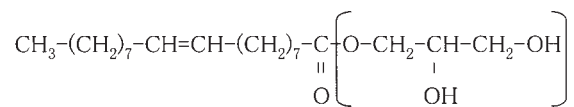
摩擦係数となった。一方、油性剤に GMO を添加した場合、摩擦試験後にヘキサンで洗浄する操作を 3 回繰り返しても摩擦係数は 0.03~0.04 と低い値を示した。この結果から、OA、OM および PMO に比較し GMO は強固な潤滑膜を形成していると考えられた。

供試油に試験片を浸せきし、ヘキサンで浸せき洗浄後に GDOES で深さ方向分析を実施した。結果を Fig. 9 に示した。第一グループの OM を油性剤に用いた場合、供試油に試験片を浸せきし、その後ヘキサンで浸せき洗浄を 1 回行うと、深さ方向の元素分布は供試油に浸せきしていない DLC 皮膜の元素分布と同等であった。このことより、第一グループの油性剤はヘキサンに浸漬する程度で DLC 皮膜表面から容易に離脱すると考えられた。第二グループの PMO を油性剤に用いた場合、ヘキサン

OM



GMO



PMO

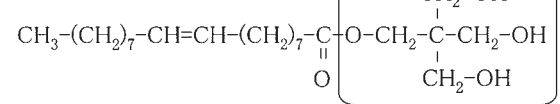


Fig. 10 Molecular structures of OM, GMO and PMO

で試験片を 1 回洗浄した後に薄い炭素濃縮層が DLC 皮膜の表面に観察された。このことより、第二グループの油性剤は、第一グループに比較し、DLC 皮膜表面に強固に吸着すると思われる。しかし、摩擦試験の結果も併せて考えると、DLC 皮膜表面に存在する PMO は DLC 皮膜の摩擦特性に影響するほどの潤滑膜を形成していないと推定される。第三グループの GMO を油性剤に用いた場合、ヘキサン洗浄を 3 回繰り返した後も炭素濃縮層が観察され、深さ方向の元素分布に大きな変化は見られなかった。このことから、GMO はヘキサンで 3 回洗浄後も DLC 皮膜表面に存在し続けると考えられた。さらに、摩擦試験の結果と併せて考えると、GMO はヘキサン洗浄後も DLC 皮膜の摩擦特性に影響するほどの潤滑膜を形成していると考えられた。

OM, GMO および PMO の分子構造を Fig. 10 に示した。全ての分子でアルキル基側の構造は同一であるが、エステル中のアルコールの構造が異なる。GMO は OM や PMO に比較し、DLC 皮膜表面に強固に存在していると考えられた。このことから、GMO のアルコール部分の構造が DLC 表面への吸着に影響していると推定された。

#### 4. 結 言

摩擦試験を行った結果、各種油性剤は、DLC 皮膜に対して、摩擦低減効果があった。また、摩擦特性の低減効果から油性剤は三つのグループに分類された。

(1) 油性剤に OAL および OA を用いた場合摩擦係数は 190°C 以下で増加し、油性剤に OM を用いた場合摩擦係数は 125°C 以下で増加した。また、OM 用いたヘキサン洗浄後の摩擦試験および表面分析結果から、これらの油性剤は DLC 表面から容易に離脱すると推定された。

(2) 油性剤に OAM, NAS, PMO, PTO および TMP を用いた場合摩擦係数は 125°C 以上で低下した。油性剤の動粘度と摩擦係数の関係を調査したが、相関性は見られなかった。今回実施した実験では、摩擦係数が 125°C 以上で低下する理由は良く判らなかつた。

(3) 油性剤に GMO を用いた場合、190°C 以下の温度領域で、試験に用いた全ての油性剤の中で、最も低い摩擦係数を示した。今回実験に用いたその他の油性剤に比較し、GMO は DLC 皮膜表面に強固に吸着していると考えられ、GMO のアルコール部分の構造が DLC 表面への吸着に影響していると推定された。

#### 参 考 文 献

- 1) 吉田健太郎：トライボロジー会議予稿集 東京 2007-5, 179-180.
- 2) 土屋能成：塑性と加工, 46 (2005), 823-827.
- 3) 中森秀樹, 時末 光, 嘉賀健太, 平塚傑工：軽金属, 56 (2006), 77-81.
- 4) 福井治世, 沖田淳也, 森口秀樹, 井寄秀人：トライボロジスト, 49 (2004), 509-517.
- 5) 林田一成, トライボロジスト, 47 (2002), 840-845.
- 6) 角谷 透, 森河和雄, 三尾 淳, 片岡征二：トライボロジスト, 47 (2002), 821-826.
- 7) 土屋文隆, 鈴木秀人：表面技術, 58 (2007), 130-133.
- 8) Rokainen, Helena. *Tribological properties of hydrogenated and hydrogen-free diamond-like carbon coatings*. Espoo 2001, Technical Research Center of Finland, VTT Publications 434.
- 9) 加納 眞, 保田芳輝, 叶 際平：トライボロジスト, 48 (2003), 54-59.
- 10) 加納 眞：表面技術, 58 (2007), 578-581.

新製品紹介

極小セルハニカムコア  
- ファインハニカム -

Sumitomo Light Metal Technical Reports, Vol. 50 No. 1 (2009), pp. 78-79

Extremely small cell Honeycomb Core  
- Fine Honeycomb -

Sumikei Engineering Co.,Ltd. developed the extremely small cell honeycomb core of the name "Fine Honeycomb". This can be small the pressure loss when using it as a filter carrier, and improve the filter performance. Moreover, development is also possible as the electromagnetic radiation shield and the rectifier besides the filter carrier.

1. はじめに

フィルター担体としては、従来、紙又はアルミニウム製のコルゲート状担体が多く使用されています。近年、フィルターの設置箇所の省スペース化・長寿命化が求められており、それに伴ったフィルター浄化性能向上のための触媒の性能向上に加え、フィルター担体の高密度化・低圧力損失の要求が増大しています。

そこで、当社はこの市場要求に応えるため、紙・アルミニウム製フィルター担体に比べ、より高密度（単位面積あたりのセル数が多い）で且つ低圧力損失を可能にしたフィルター担体として、極小セルハニカムコア『ファインハニカム』を開発し、商品化しました。

2. 特長

コルゲート状担体に比べ、

- (1) セル形状を六角形にすることにより、セルが小さくなくても開口率が大きく、圧力損失が少なくできます。
- (2) アルミ製コルゲート状担体と比較し、セルを構成する辺総長さが短くできるため、担体を構成する材料（アルミニウムはく）が少なくなり、軽量化も図れます。
- (3) 担体に触媒などコーティングを施す場合、辺角度が大きいため、セル角部に発生する触媒塗布後の溜り（塗布ロス）が少なくできます。
- (4) アルミニウム箔を材料として用いているため、紙製に比べ、対湿性が高く、使用環境が広がります。
- (5) 成形体のためハンドリングが容易です。また、丸形状など曲面の外形加工（意匠造形）も可能です。
- (6) 従来のハニカムコア同様「電磁波シールド性」「整流性」などの特長も、セル寸法がより小さいことにより、さらに効果は、増大します。

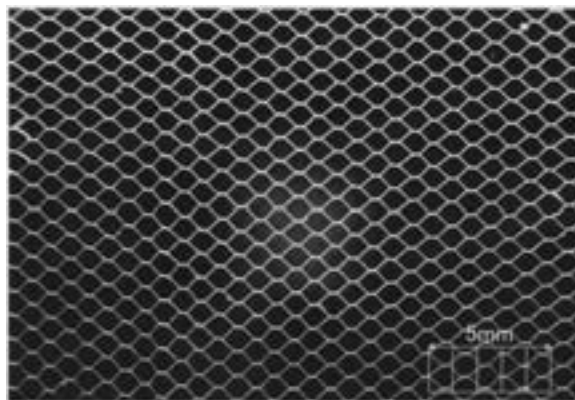


Fig. 1 微小セルハニカムの外観

3. 品 種

表 1 品 種

セル数 (セル/平方インチ)	セルサイズ (mm)	箔厚 (µm)	比重 (g/cm <sup>3</sup> )	開口率	有効表面積 (cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )
600	1	15	0.101	96.4%	35.3
800	0.9	15	0.113	96.0%	41.7
1,000	0.75	15	0.135	95.2%	48.4
1,200	0.7	15	0.145	94.9%	49.8

コア厚さ：5～40mm  
最大寸法：600×1300mm  
はく材：アルミニウムはく A1N30-H18 15µm

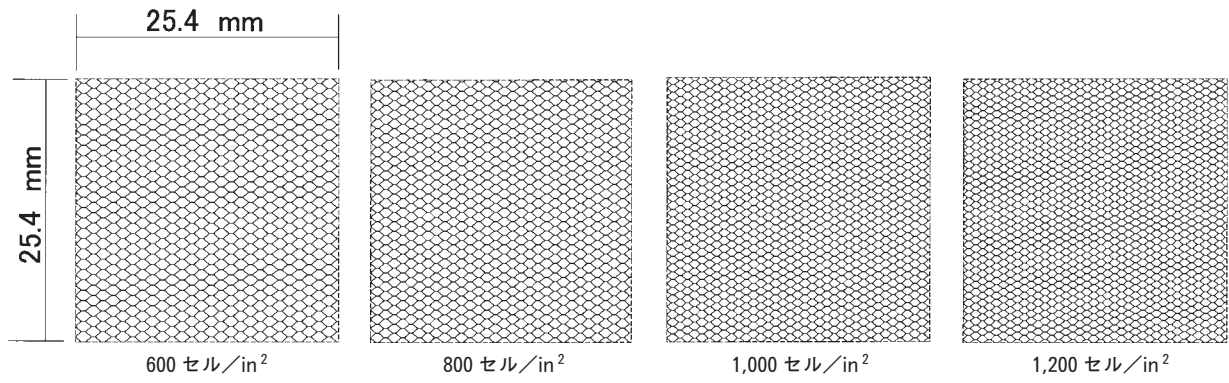


Fig. 2 微小セルハニカムの種類 (模式)

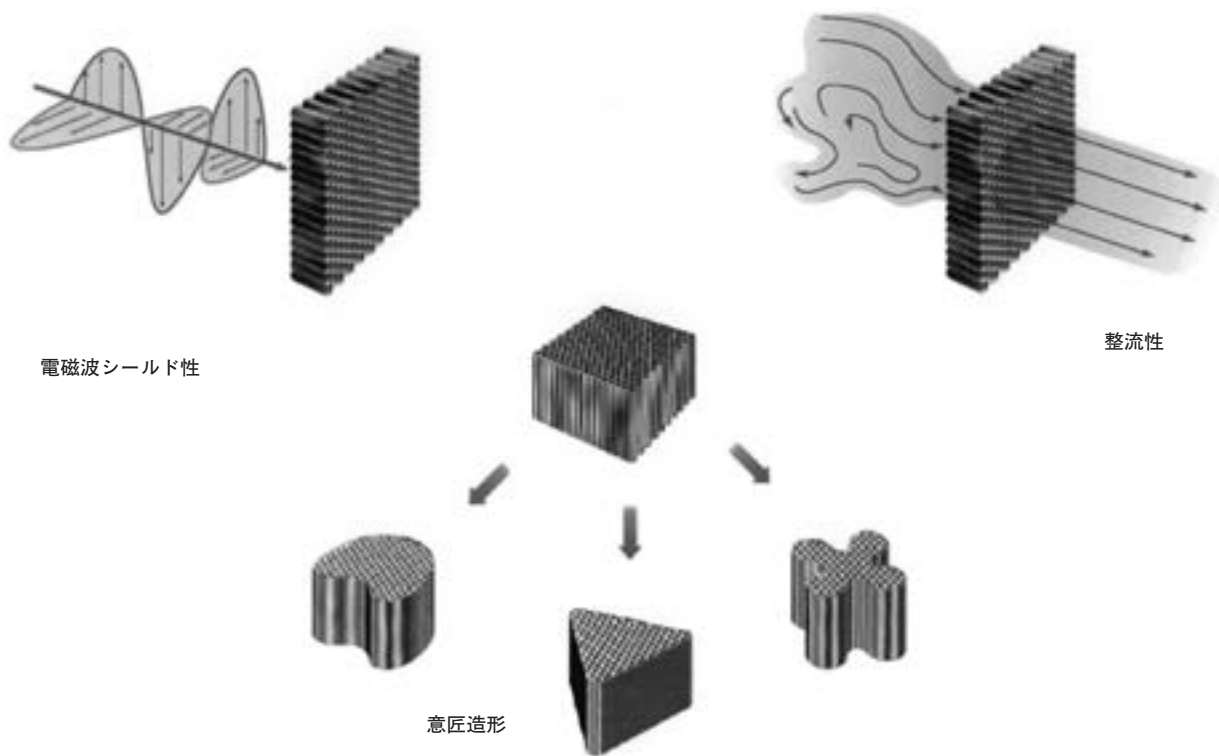


Fig. 2 微小セルハニカムの応用例 (模式)

#### 4. 機械的性質

表 2 機械的性質

セル数 (セル/平方インチ)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	せん断強度(N/mm <sup>2</sup> )		せん断弾性率	
		W 方向	L 方向	W 方向	L 方向
600	5.8	1.2	2.08	390	585
800	7.1	1.33	2.31	433.3	650
1,000	10.3	1.6	2.77	520	780
1,200	11.8	1.71	2.97	557.1	835.7

#### お問い合わせ先

住軽エンジニアリング株式会社  
 技術部 大滝  
 E-mail : ohtaki-n@sumikei-eng.co.jp

〒963-0215  
 福島県郡山市待池台 1-22 (西部第二工業団地内)  
 TEL. (024) 959-3800  
 URL www.sumikei-eng.co.jp

## 随 想

### 鉄に学ぶー「アルミも熱いうちに打て！」

吉 田 英 雄\*

2年前の4月、ゴールデンウィーク前半の休み2日間を利用して、たたら歴史を知るために、島根県安来市、雲南市、奥出雲町の「鉄の道文化圏」をレンタカーで回った。たたら製鉄の跡や「鉄の未来科学館」ではたたら構造がわかる実物大の模型が展示されていて、その下部構造の巧みさに先人の知恵のすごさと歴史の重みをあらためて実感した。製鉄の起源は、従来、BC15~20世紀頃のヒッタイトというのが定説とされているが、最近のトルコのカマン・カレホック遺跡発掘調査からヒッタイト以前のBC40世紀近くまで遡ることが言われ、少なくとも4000年以上の歴史があることが明らかとなってきた。これに対し、アルミニウムはその発見が19世紀初頭で、1825年磁場の単位で有名なエルステッドが世界で初めてアルミニウム単体の分離に成功した。1855年のパリ万博では「粘土から得た銀」として出展され、金や銀よりも高価な金属として注目を浴びた。特にナポレオン三世は、アルミニウムの食器で貴賓をもてなしたことは有名である。彼はアルミニウムの生産を支援したが、これは武具を軽くして戦闘しやすくしたいという軍事面からの要請でもあった。本格的な量産は、1886年、ホール(米)とエルー(仏)が独立に発明した製錬方法からであり、これを可能にしたのはこの頃始まった水力発電であった。今では世界で年間約3000万トンの地金が生産されている。鉄に対し、アルミニウムの歴史は高々200年である。

アルミニウムも強くするために、種々の元素が添加され、さらに、鋼の焼入れと同じ方法で硬くすることはできないかと実験が試みられた。1906年、ドイツにおいて、偶然にも、焼入れ直後は硬くならず、時間おいて硬くなるという時効硬化現象が発見された。この時効硬化を利用してジュラルミンが開発され、これが第一次世界大戦のドイ

ツの飛行船ツェッペリンの骨格に用いられた。英国で撃墜された飛行船の骨格を日本に持ち帰り、この強度を上回る超々ジュラルミンが住友金属で開発されたのが1936年である。この合金は太平洋戦争の零式戦闘機の主翼桁材に用いられ飛行性能を高めたのはよく知られている。これを支えた製造技術も、日本が第一次世界大戦の戦勝国であり、その賠償の一環としてドイツから学んだものが多い。

戦後は、航空機材料開発は米国が中心となり、航空機用アルミニウム合金の強度、靱性向上を目的として様々な加工熱処理法が導入された。これらの研究で明らかになったことは不純物を減らし、熱間加工で鑄造組織を如何に消失させて靱性を高めるかということであった。この考え方は特に新しいものではなく、鉄では古くから長年の経験的知識により鍛錬し熱処理を加えることで強度や靱性を得ているのと同じである。これを芸術の域までに高めたのが日本刀であろう。高強度高靱性のアルミニウム合金の開発では、日本刀製造に隠された各種の技術に学んでいくことも重要であると考える。

戦後の日本のアルミニウム産業は米国を手本に量産製造設備を導入し、生産量を増やしてきたが、今また、中国は日本の最新設備と同じような圧延設備を五ヶ所に導入し生産しようとしている。日本のアルミニウム業界が生き残るには、鉄での高張力鋼板、電磁鋼板などの開発に学び、客先のニーズに応えた高機能で高品質の材料開発を行い、その材料特性を最大限に生かせる生産技術を開発していく必要がある。特に、鍛錬としての熱間圧延は重要で、その基盤技術確立のためには、官の支援と学からの協力が不可欠であると考えている。

\* 研究開発センター 常務研究員  
(財)金属系材料研究開発センター  
JRCM NEWS 2009.6 No.272 から転載

## イベント報告

### 「見て、触れて、感じて」

#### もの作りの楽しさを子供たちに

日比野 淳\*

2009年4月5日、名古屋製造所で従業員家族、従業員OB、近隣住民の方々を招いて「稲荷祭2009」と称する工場祭が開催された。研究開発センターはこの日のみ特別に一般公開されるが、子供たちにアルミニウムに触れ、もの作りの楽しさと素材に（願わくは当社にも）関心を持ってもらうことを目的としてアルミニウムを使った実験コーナー、工作教室、ゲームコーナーなどの催しを行ったが、第4回目\*\*となる今年は総勢291名の参加を得た。今年アルミニウムに並ぶ当社主力製品である「銅」も初めて取り入れ、両素材を身近に感じてもらうこと、最近の社会情勢も踏まえ、少々見てくれは悪くても「手作り品」にこだわり、製品あるいは製造途中の板材、管材等を自分たちで加工し、心のこもったものを提供しようと決め、10名のスタッフと約20名の当日ボランティアの協力を得て取組んだ（写真1）。以下に催し物の一部を紹介するが、実際にものに触れ、形を作る工作コーナーの人气が総じて高かった。また、男の子たちにはゲームコーナーの人气も高く、一時、順番待ちの列ができるほどであった。

#### (1) かざり風鈴作り

銅パイプとカラフルなビーズ、チェーン等を組み合わせ風鈴作りを行った。吊り下げた銅パイプが揺れて触れ合うときれいな音色をたてた（写真2）。

#### (2) アルミニウム缶貯金箱

社内の試作ラインを使用して作製した無地のアルミニウム缶に思い思いのシールを張り、オリジナルの貯金箱が完成。

#### (3) 向陽高校科学部・実験コーナー

垂直に立てたアルミニウムパイプの中でネオジム磁石を落とすと渦電流が発生し、磁界が作る反発力で磁石の落下がゆっくりになる現象を樹脂管の場合と比較して体感した（写真3）。

#### (4) ホールインワンゲーム

長さ2m、幅50cmのうねったアルミニウム板コースでアルミニウム、鉄、樹脂製の玉を使用して挑んだ。使用する玉により転がりの変化し、かなりの難コースであった。

#### (5) 走査型電子顕微鏡（SEM）観察

子供たちが自分たちで装置を操作して小さな虫、花粉、髪の毛などを観察し、気に入った画像を持って帰った。

その他にも、アルミニウム、鉄、銅、マグネシウム等の金属の重さや、熱伝導性を比較するコーナー、アルミニウムの加工しやすさを活かして作製した大型パチンコゲームや的当てゲーム、砂型鑄造で作った「ベージュマ」遊び、子供たちの名前を刻印した手作り銅板製キーホルダーのお土産などすべて手作りによるアルミ

\* 研究開発センター 第一部、工学博士

\*\* 軽金属、56 (2006)、575、同、57 (2007)、487、同、58 (2008)、566、同、59 (2009)、478

ニウム、銅製品で会場を埋め尽くした。

筆者は今回はじめて企画側に参加し、開催までには多くの苦労があったが、子供たちが楽しそうに遊んでいる姿や一生懸命に子供たちに接しているメンバーの様子を見て、充実感と元気をもらうことができた。また、今回はネタ探しに苦労する（4回目となるため）と予想していたが、新たに加わった仲間たちが新しい発想で考えることでこれまでにないたくさんの新しいアイデアが生まれた。今後も新メンバーの参加を募り、組織をどんどん活性化させ、より面白い企画にしていきたいと思う。イベントが終了した現在も、TVを見たり、雑誌を読みながら、アルミあるいは銅の特長を活かして面白い企画に適用できないか？とついつい来年以降のイベントのことを考えたりしてしまう。この企画は、将来を担う子供たちに向けたものであるが、その中で我々スタッフ側も多くのことを学ぶことができる良い機会となった。



写真1 スタッフとボランティア



写真2 かざり風鈴の作製



写真3 静電気を利用したモーター実験

## 平成 20 年登録の当社主要特許

### Main Patents Registered in 2008

お問い合わせやライセンスをご希望の際は、下記へご連絡下さい。

技術部 知的財産室 TEL. 052 (654) 1151 FAX. 052 (654) 3076

なお、これら以外にも多数の登録・出願公開中の特許があります。

1. 発明の名称 成形性および塗装焼付硬化性に優れたアルミニウム合金板およびその製造方法  
登録番号 特許第 4175818 号  
(韓国・中国：登録，米国・欧州[英・独・仏・スイス・ベルギー]・カナダ：出願中)

発明者：内田秀俊，浅野峰生，小関好和，古山 努  
出 願：特願 2002-63118 (平成 14 年 3 月 8 日)

#### 《特徴》

Si : 0.5~1.5%，Mg : 0.2~1.0% を含有し，Ti : 0.1% 以下，B : 50ppm 以下のうちの少なくとも 1 種を含有するアルミニウム合金板であって，溶体化処理，焼入れ後において，Mg-Si 系化合物の最大径が  $10\mu\text{m}$  以下， $2\sim 10\mu\text{m}$  径の化合物の数が  $1000$  個/ $\text{mm}^2$  以下であり，室温時効により耐力が  $140\text{MPa}$  を越えた場合においても，10% 引張変形後の  $180^\circ$  曲げ加工における内側限界曲げ半径が  $0.5\text{mm}$  以下であることを特徴とする成形性および塗装焼付硬化性に優れたアルミニウム合金板。

#### 《効果》

塗装焼付硬化性に優れ，室温時効により耐力が高くなってもフラットヘム加工が可能な優れた成形性を備え，成形後に肌荒れやリジグマークを生じることがなく，形状凍結性と耐デント性とを両立し，さらに耐食性とくに耐糸錆性にも優れたアルミニウム合金板が提供される。

#### 《用途》

輸送機器部材，例えば自動車用フード，フェンダー，トランクリッド，ルーフ，ドアなどに好適に使用される。

2. 発明の名称 延性に優れた熱処理型アルミニウム合金接合材  
登録番号 特許第 4183177 号

発明者：箕田 正，内田秀俊，田中晃二，田中 直，熊谷正樹  
出 願：特願 2003-163367 (平成 15 年 6 月 9 日)

#### 《特徴》

T3 調質または T4 調質した後に互いに摩擦攪拌接合して形成された 2000 系，6000 系または 7000 系の熱処理型アルミニウム合金接合材であって，母材の硬さを 100 としたときに，接合部および熱影響部の硬さが 100 以上 200 以下となる接合部が形成されることを特徴とする延性に優れた熱処理型アルミニウム合金接合材。

#### 《効果》

接合部，熱影響部および母材の強度バランスが最適化されて，接合材の延性が向上し成形加工性が改善される。さらに，成形加工後の熱処理，例えば塗装焼付けにより高強度化も可能となる。

#### 《用途》

自動車ボディ用テールブランクなど，接合後の成形加工性及び成形加工後の高強度が必要な用途に最適な接合材である。

### 3. 発明の名称 耐食性に優れた高強度アルミニウム合金押出材の製造方法 登録番号 特許第 4201434 号

発明者：古山 努，松田眞一，吉田英雄

出 願：特願平 11-183051（平成 11 年 6 月 29 日）

#### 《特徴》

- (1)アルミニウム合金組成；Si：0.5%～1.5%，Mg：0.9%～1.6%，Cu：0.8%～2.5% であつ  $3 \leq \text{Si}\% + \text{Mg}\% + \text{Cu}\% \leq 4$ ， $\text{Mg}\% \leq 1.7 \times \text{Si}\%$ ， $\text{Mg}\% + \text{Si}\% \leq 2.7$ ， $\text{Cu}\% / 2 \leq \text{Mg}\% \leq (\text{Cu}\% / 2) + 0.6$  で，Mn：0.8%～1.2% であつ Cr：0.02%～0.4%，Zr：0.03～0.2%，V：0.03～0.2%，Zn：0.03～2.0% のうちの 1 種以上。
- (2)均質化処理；450℃以上該鋳塊の融点未満の温度で均質化処理した後，少なくとも 250℃ までは平均 25℃/h 以上で冷却。
- (3)押出加工；450℃ 以上該鋳塊の融点未満の温度に加熱して押出加工。
- (4-1)プレス焼入れ；押出直後の押出材の表面温度が 450℃ 以上に保持された状態で 10℃/秒以上の冷却速度で 100℃ 以下の温度まで冷却。
- (4-2)焼入れ処理；押出材を 450℃ 以上押出材の融点未満の温度で溶体化処理した後 10℃/秒以上の冷却速度で 100℃ 以下の温度まで冷却。但し(4-1)と(4-2)はいずれか一方。
- (5)焼戻し処理；150～200℃ で 2～24 時間の熱処理。
- (6)押出材；最小肉厚を  $t$ (mm)，押出比を  $R$  としたとき，押出材の表層部の再結晶層の厚さ  $G$ ( $\mu\text{m}$ )が  $G \leq 0.326t \times R$  を満たす押出材。

を得ることを特徴とする耐食性に優れた高強度アルミニウム合金押出材の製造方法。

#### 《効果》

Al-Mg-Cu 合金に Mn を添加することで表層部の再結晶層が抑制され，耐食性および耐応力腐食割れ性に優れた高強度アルミニウム合金押出材が提供される。

#### 《用途》

自動車，鉄道車両，航空機等の輸送機器の構造材として好適に使用される。

### 4. 発明の名称 耐食性及び耐応力腐食割れ性に優れた高強度アルミニウム合金押出材の製造方法 登録番号 特許第 4101614 号

(欧州 [英・独・仏・伊]：登録，米国：出願中)

発明者：佐野秀男，松田眞一，喜田 靖

出 願：特願 2002-319453（平成 14 年 11 月 1 日）

#### 《特徴》

- (1)アルミニウム合金組成；Si：0.5%～1.5%，Mg：0.9%～1.6%，Cu：0.8%～2.5% で， $3 \leq \text{Si}\% + \text{Mg}\% + \text{Cu}\% \leq 4$ ， $\text{Mg}\% \leq 1.7 \times \text{Si}\%$ ， $\text{Mg}\% + \text{Si}\% \leq 2.7$ ， $\text{Cu}\% / 2 \leq \text{Mg}\% \leq (\text{Cu}\% / 2) + 0.6$  で，Mn：0.8%～1.2%。
- (2)ソリッドダイス；前面にフローガイドを配設して中実材に押出加工。
- (3)ベアリング；ベアリング長さ ( $L$ ) が 0.5mm 以上で，かつ該ベアリング長さ ( $L$ ) と押出加工された中実材の肉厚 ( $T$ ) との関係が  $L \leq 5T$ 。
- (4)フローガイド；ガイド孔の内周面がソリッドダイスのベアリングに連続するオリフィスの外周面から 5 mm 以上 15mm 以下離れており，かつその厚さがピレットの直径の 5～25%。
- (5)押出材；断面組織において面積率で 60% 以上の繊維組織を有する。

を特徴とする耐食性及び耐応力腐食割れ性に優れた高強度アルミニウム合金押出材の製造方法。

#### 《効果》

Al-Mg-Cu 合金に Mn を添加し，押出工具の条件を規定することで，断面組織において 60% 以上が繊維組織となり，耐食性及び耐応力腐食割れ性に優れた高強度アルミニウム合金押出材が提供される。

#### 《用途》

自動車，鉄道車両，航空機等の輸送機器の構造材として好適に使用される。



5. 発明の名称 切削性および耐焼割れ性に優れたアルミニウム合金  
登録番号 特許第 4138151 号

発明者：八太秀周，松田眞一，吉田英雄

出願：特願平 11-141226（平成 11 年 5 月 21 日）

《特徴》

Cu：4.0～6.0% を含有し， $3.0\% > \text{Sn}\% + \text{Bi}\% > 1.0\%$  かつ  $2.35 \geq \text{Sn}\% / \text{Bi}\% \geq 1.5$  を満足する Sn 量および Bi 量を含有し，不純物としての Pb を 0.05% 以下に規制したことを特徴とするアルミニウム合金。

さらに In：0.01～0.5%，さらに Mg：0.1～2.0%，Si：0.1～1.2%，Mn：0.1～2.0%，Cr：0.1～0.3，Fe：0.1～0.8%，Ti：0.01～0.2%，Zr：0.1～0.3%，Ni：0.05～2.3%，V：0.001～0.2% を含有することができる。

《効果》

環境汚染源となる Pb を含有せず，従来の 2011 合金と同等以上の切削性および押出性を有し，かつ優れた耐焼割れ性を備えたアルミニウム合金が提供される。

《用途》

鉛フリー快削アルミニウム合金「エコマシナロイ」シリーズ。

6. 発明の名称 耐応力腐食割れ性に優れた航空機ストリンガー用アルミニウム合金板およびその製造方法  
登録番号 特許第 4229307 号

発明者：箕田 正，吉田英雄，酒井圭一，南 一郎，内田秀俊

出願：特願平 11-329090（平成 11 年 11 月 19 日）

《特徴》

Zn：5.1～8.4%，Mg：1.8～3.0%，さらに Cu：1.2～2.6% を含有し，Cr：0.35% 以下，Mn：0.35% 以下，Zr：0.25% 以下のうちの 1 種以上を含有し，段付冷間圧延前の素材の状態では，平均結晶粒厚さが 25 $\mu\text{m}$  以下，アスペクト比（平均結晶粒長さ/平均結晶粒厚さ）が 4 以上であり，段付冷間圧延，予加熱処理および溶体化処理後の結晶粒において，段付冷間加工度が 30% 未満では結晶粒の平均厚さが 25 $\mu\text{m}$  以下でアスペクト比 4 以上を維持し，前記加工度が 30～90% の範囲では結晶粒の平均厚さが 40 $\mu\text{m}$  以下でアスペクト比 4 以上を維持する。

《効果》

7000 系アルミニウム合金の合金成分とその組合せ，ストリンガー素材の製造工程を見直すことで，段付冷間圧延加工度のアスペクト比を改善し，敷居応力が 250MPa 以上の優れた耐応力腐食割れ性を有し，セクションロール成形性も良好でハット型などの断面に成形が可能。

《用途》

航空機ストリンガー用として最適なアルミニウム合金板である。

# 公表資料

## 論文・講演・資料

### 1. 論文・技術報告書 (学・協会会誌, 国際会議論文集)

No.	題 目	著 者	掲 載 誌・論 文 集	発 行 日
1	熱間圧延の高圧下率パススケジュールが純アルミニウム合金板の再結晶に及ぼす影響	土 田 信	軽金属学会： 軽金属 第59巻第6号	2009.06
2	ブレイジングシートの耐食性に及ぼすろう材厚さの影響	山 下 尚 希 正 路 美 房	軽金属学会： 軽金属 第59巻第7号	2009.07
3	給湯用銅管の潰食現象に及ぼすマイクロバブルの影響と電気化学的考察	鈴 木 忍 山 田 豊 河 野 浩 三	日本伸銅協会： 銅及び銅合金研究会誌 第48巻	2009.08
4	水平内面溝付細管内の单相乱流熱伝達及び圧力損失	佐々木直栄 (東京海洋大) 青野 亜 良 井 上 順 広 五 島 正 雄	日本伸銅協会： 銅及び銅合金研究会誌 第48巻	2009.08
5	銅を添加した Al-Mg-Si 系合金のベークハード性におよぼす自然時効と高温予備時効の影響	八 太 秀 周 松 田 真 一 田 中 宏 樹 吉 田 英 雄	軽金属学会： 軽金属 第59巻第8号	2009.08
6	Influence of Process Conditions on Microstructure of 2024 Aluminum Alloy Extrusion.	箕 田 正	DGM (Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.) : Proc. of ICAA-11	2009.09
7	純アルミニウム冷間圧延板における集合組織の板厚内分布と材料特性	土 田 信	軽金属学会： 軽金属 第59巻第10号	2009.10

### 2. 講演発表 (学会, 協会, 研究会)

No.	題 目	発 表 者	講演大会・研究発表会	発 表 日
1	FSW の実用化と今後の展望	熊 谷 正 樹	摩擦接合技術協会： 第114回春期大会	2009.01
2	FSW の品質保証に関する研究会： アルミ合金の摩擦攪拌接合継手の諸特性に関する研究	難 波 圭 三	日本溶接学会： 第2回アドホック研究会	2009.01
3	内面溝付管の高性能化の進展	佐々木直栄	日本伸銅協会： 第2回伝熱・熱交換器に関する講座	2009.01
4	復水器管の腐食と防食技術ならびに検査方法	渥 美 哲 郎	電気化学会： 海生生物汚損対策懇談会	2009.01
5	空調用内面溝付細管内の单相乱流熱伝達	佐々木直栄 (東京海洋大) 青野 亜 良 井 上 順 広 五 島 正 雄	第42回空調和・冷凍連合講演会： 第43回北海道支部学術講演会	2009.03
6	空調用内面溝付細管内の单相流圧力損失	佐々木直栄 (東京海洋大) 青野 亜 良 井 上 順 広 五 島 正 雄	第42回空調和・冷凍連合講演会： 第43回北海道支部学術講演会	2009.03
7	水平内面溝付細管内の層流・遷移域における单相流圧力損失および熱伝達	佐々木直栄 (東京海洋大) 青野 亜 良 井 上 順 広 五 島 正 雄	日本冷凍空調学会： 第43回空調和・冷凍連合講演会	2009.04
8	アルミニウム押出型材への水性潤滑塗料の付着性に及ぼす諸因子の影響	上 田 薫 細 見 和 弘	軽金属学会： 第116回春期大会	2009.05
9	アルミニウム合金の固液共存或での破断挙動	坂 口 信 人 常 川 雅 功 渡 辺 良 夫	軽金属学会： 第116回春期大会	2009.05
10	アルミニウム合金の固液共存或での破断挙動ポートホール押出における溶着性の検討	永 尾 誠 一 (富山大学) 徳川、高辻、 田 会	日本塑性加工学会： 平成21年度塑性加工春季講演会	2009.05

No.	題 目	発 表 者	講演大会・研究発表会	発 表 日
11	アルミニウム合金板の50年間大気暴露試験結果	尾崎良太 (昭和電工) 南加藤良則 (神戸製鋼) 加藤良則 (古河スカイ) 奥島 (日本軽金属) 長澤 (三菱アルミ) 黒田 (日本アルミ協会) 正路美房	軽金属学会： 第116回春期大会	2009.05
12	アルミニウム合金板の曲げ加工性に及ぼす板厚方向集合組織分布の影響	伊川慎吾	軽金属学会： 第116回春期大会	2009.05
13	Al-Mg-Si系合金単結晶の延性に及ぼす調質の影響	浅野峰生 吉田英雄	軽金属学会： 第116回春期大会	2009.05
14	制御圧延した5083合金板材の成形性	田中宏樹	軽金属学会： 第116回春期大会	2009.05
15	2024合金押出材のマイクロ組織に及ぼす製造条件の影響	箕田正	軽金属学会： 第116回春期大会	2009.05
16	ルームエアコンフィン材成形用揮発性加工油の開発	上田薫 細見和弘 佐藤好生	日本トライボロジー学会： トライボロジー会議 2009 春 東京	2009.05
17	アルミニウム圧延材におけるトライボロジー	上田薫	日本トライボロジー学会： 第84回東海トライボロジー研究会	2009.06
18	機能性表面処理フィン材開発の変遷	磯村紀寿	(社)日本冷凍空調学会： 調査研究プロジェクトセミナー	2009.06
19	熱交換器用フィンプレス油からのエアコンの環境・省エネ対応	上田薫	(社)トライボロジー学会： 第3種研究会「エコマシニングとトライボロジー」	2009.07
20	AA5083合金板材における超塑性バルジ成形中の変形挙動	長井康礼 浅野峰生 内田秀和 渡江和久	(社)日本塑性加工学会中国・四国支部： 第3回西日本若手技術交流会	2009.09
21	機能性表面処理フィン材開発の変遷	磯村紀寿	日本冷凍空調学会： 2009年度 日本冷凍空調学会年次大会	2009.10
22	クロスフィンチューブ型熱交換器の性能に及ぼす表面処理塗膜の影響	柿山史郎 磯村紀寿	日本冷凍空調学会： 2009年度 日本冷凍空調学会年次大会	2009.10
23	新・曲げ破壊判定式によるアルミ破断判定の提案	水越秀雄、自動車技術会アルミWGのメンバー	自動車技術会： 2009年秋季大会	2009.10
24	アルミニウム合金の固液共存域での破断挙動の及ぼすマイクロ組織の影響	坂口信人 常川雅夫 渡辺良夫	軽金属学会： 第117回秋期大会	2009.11
25	Al <sub>3</sub> Sc粒子の成長速度におよぼす整合性の影響	岩村信吾	軽金属学会： 第117回秋期大会	2009.11
26	Al-Mg-Si系合金単結晶の延性に及ぼす調質の影響	浅野峰生 吉田英雄	軽金属学会： 第117回秋期大会	2009.11
27	オージェ電子分光分析による表面処理したアルミニウム表面の分析	高柳麻衣 米光衣誠	軽金属学会： 第117回秋期大会	2009.11
28	Cu-Sn-Zr合金の材料特性に及ぼすZr量の影響	玉川博一	日本伸銅協会： 銅及び銅合金技術研究会第49回講演大会	2009.11
29	弱アルカリ水溶液中でのアルミニウム合金に対する腐食抑制剤の効果アルミと鋼の接合の最近の技術動向	田中宏和 尾崎山良 小米光高 高柳麻衣	軽金属学会： 第117回秋期大会	2009.11
30	水性潤滑塗料の潤滑性に及ぼす油性剤の影響	上田薫 細見和弘 渡辺貴道	軽金属学会： 第117回秋期大会	2009.11

No.	題 目	発 表 者	講演大会・研究発表会	発 表 日
31	水平内面溝付管内の層流・遷移域における单相流圧力損失および熱伝達	佐々木直栄 (東京海洋大) 井上順広 青野亜良 五島正雄	日本伸銅協会： 銅及び銅合金技術研究会第49回講演大会	2009.11

### 3. 講演・解説・寄稿（抜粋）（学術・技術団体などの講演会・委員会，他）

No.	題 目	発 表 者	講演会・委員会・他	実 施 日
1	摩擦攪拌接合（FSW）に関する研究活動について：FSW 及び FSW・ISO 化委員会活動	難波圭三	高岡アルミニウム懇話会： アルミ情報、第355号	2009.01.28
2	FSW の実用化と今後の展望	熊谷正樹	摩擦接合技術協会： 「摩擦接合」	2009.02.20
3	モノ創り “Create materials”	内田秀俊	軽金属学会： 軽金属（LM コラム）	2009.02.27
4	制御圧延によるアルミニウム板材の高機能化	田中宏樹 吉田英雄	日本塑性加工学会： 「塑性と加工」	2009.03.01
5	メタルフロー	永尾誠一	(財) 金属系材料研究開発センター： ケーススタディ集	2009.03.31
6	アルミニウム溶接・接合関連用語	難波圭三 (職業能力開発総合 大学校) 藤井 (太陽日酸株式会社) 佐藤	軽金属溶接構造協会： 軽金属溶接 第47巻第4号	2009.04.30
7	一過式給水・給湯用銅管のマウンドレス型孔食防止技術に関する研究	鈴木忍豊 (小樽市水道局) 尾本猪俣 (元小樽市水道局) 石田 (クレハエンジニアリング) 久保木 蛭田	日本水道協会： 第60回全国水道研究発表会	2009.05.20
8	FSW 委員会成果報告： アルミ合金の摩擦攪拌接合継手の諸特性に関する研究活動概況	難波圭三	軽金属溶接構造協会： 第34回定時総会	2009.05.26
9	FSW の基礎と応用	熊谷正樹	中部溶接振興会： 名古屋工業試験場	2009.05.26
10	アルミニウムの前処理が化成皮膜の耐食性に及ぼす影響	加藤健志	軽金属学会： 表面処理技術研究部会	2009.06.09
11	ブレージングシートの耐食性に及ぼすろう付加熱保持時間と冷却速度の影響	久富裕二	軽金属溶接構造協会： 軽金属溶接構造協会低温接合委員会	2009.06.09
12	鉄に学ぶー「アルミも熱いうちに打て！」	吉田英雄	金属系材料開発センター： JRCM-NEWS	2009.06.10
13	ブレージングシートの耐食性に及ぼすろう付加熱保持時間と冷却速度の影響	山下尚希	日本アルミニウム協会： 耐食性研究発表交流会	2009.06.15
14	冷温水・冷却水系での熱交換器用銅管の腐食と対策	鈴木忍	腐食防食協会： 第3回水処理・淡水腐食小委員会	2009.06.24
15	アルミニウムのイナートガスアーク溶接入門講座	難波圭三 (日本軽金属(OB)) 松本二郎	軽金属溶接構造協会： 軽金属溶接 第47巻8号	2009.06.30
16	高成形合金 2013 板材の開発及び低コスト構造への適用研究	小関好和 岩村信吾 (川崎重工) 上向賢一 山田悦子	日本航空宇宙工業会： 委託研究成果発表会	2009.07.01
17	非鉄金属材料	八太秀周	名古屋市工業技術振興協会： 名古屋市中小企業技術者研修	2009.07.16
18	FSW 委員会成果報告： アルミ合金の摩擦攪拌接合継手の諸特性に関する研究活動概況	難波圭三	軽金属溶接構造協会： 軽金属溶接 第47巻7号	2009.07.25

No.	題 目	発 表 者	講演大会・研究発表会	実 施 日
19	車両構体の衝撃強度に関する共同研究	難 波 圭 三 アルミニウム車両委員会 車体強度小委員会	日本アルミニウム協会： 共同研究報告書	2009.08.20
20	展伸用アルミニウム合金とその熱処理	箕 田 正	軽金属学会： 軽金属基礎技術講座	2009.09.04
21	展伸用アルミニウム合金の連続鋳造	渡 辺 良 夫	軽金属学会： 軽金属基礎技術講座	2009.09.04
22	高純度アルミニウムの電解エッチング挙動に及ぼすイオンビーム照射の影響	大 澤 伸 夫	日本電子機械工業会： 電解蓄電器研究会	2009.09.10
23	水平溝付管内の炭酸ガスの対流沸騰熱伝達係数に関する実験的研究	佐 々 木 直 栄 橋 本 克 巳	(財)ヒートポンプ・蓄熱センター： IEA Annex33 分科会最終報告書	2009.09.25
24	アルミニウムブレージングシートの耐食性に及ぼすCu, Zn添加の影響	久 富 裕 二 山 下 尚 希	軽金属溶接構造協会： 協会主催のブレージングセミナー	2009.09.30
25	アルミニウム合金薄板の疲労特性	尾 崎 良 太 (デンソー) 宮 川 進	軽金属学会東海支部： 若手研究者ポスター講演会	2009.10.09
26	アルミニウム合金固液共存域の機械的性質	坂 口 信 人 常 渡 川 雅 功 渡 辺 良 夫	軽金属学会東海支部： 若手研究者ポスター講演会	2009.10.09
27	アルミニウム合金板の曲げ加工性に及ぼす板厚方向集合組織分布の影響	伊 川 慎 吾 浅 野 峰 生 平 野 清 一	軽金属学会東海支部： 若手研究者ポスター講演会	2009.10.09
28	Influence of texture on the bendability of 6061-t6 alloy sheets	小 関 好 和 箕 田 正 雄 吉 田 英 雄	軽金属学会東海支部： 若手研究者ポスター講演会	2009.10.09
29	家庭用空調機に用いられる内面溝付管の高性能化の進展	佐 々 木 直 栄	東海流体熱工学研究会： 熱流体工学研究第44巻第1号	2009.10.09
30	高純度アルミニウムの電解エッチング挙動に及ぼすイオンビーム照射の影響	大 澤 伸 夫 日 比 野 淳	日本原子力研究開発機構： 第4回高崎量子応用研究シンポジウム	2009.10.09
31	5083 アルミニウム合金板におけるFSW部の再結晶挙動に及ぼす接合条件の影響	松 田 公 一 浅 野 峰 生 熊 谷 正 樹	軽金属学会東海支部： 若手研究者ポスター講演会	2009.10.09
32	ブレージングシートの耐食性に及ぼすろう付加熱保持時間及び冷却速度の影響	山 下 尚 希	軽金属学会東海支部： 若手研究者ポスター講演会	2009.10.09

(おことわり) 発表者名は連名順序に関係なく、当社社員を先頭部に記載しています。

五十年記念別冊

# 住友軽金属技報

## 総目次

自 第1巻（昭和35年1月）  
至 第50巻（平成21年12月）

住友軽金属工業株式会社

## 利用者へのてびき

住友軽金属技報第1巻1号（1960年1月発行）から同第50巻1号（2009年12月発行）までに掲載された論文，技術資料，新製品紹介，発明と考案のすべてを下記要領にしたがって分類，集録した。

1. 要領：内容により，金属及びその合金に大別し，さらに項目別に分類した。文献番号を論文（P）と技術資料（R），新製品紹介（N），特集記事に分けて番号をつけ，題目，著者名及び掲載された巻（年），並びに巻におけるページを記載した。

なお，分類に際し，内容が上記分類項目の2項目以上に該当するときは，該当する2項目以上の各項目に分類し，重複を避けなかった。

2. 別刷の照会：各論文及び技術資料には，それぞれ限定された部数ではあるが別刷が用意されているので，別刷を必要とされる方は文献 No. により下記あてご照会ください。

〒455-8670 名古屋市港区千年三丁目1番12号

住友軽金属工業株式会社

研究開発センター 研究開発業務室

# 目 次

## 巻 頭 記 念 寄 稿

### 第1部 軽 合 金 編

1. 製 錬	.....	( 92 )
2. 鍛 造	.....	( 92 )
3. 加 工	.....	( 95 )
4. 材 料 試 験	.....	( 103 )
5. 分 析	.....	( 109 )
6. 接 合	.....	( 110 )
7. 表 面 処 理	.....	( 115 )
8. 腐 食	.....	( 120 )
9. 物 理 冶 金	.....	( 124 )
10. 応 用	.....	( 131 )
11. アルミニウム粉末合金	.....	( 139 )
12. TiAl 金属間化合物	.....	( 141 )
13. そ の 他	.....	( 142 )

### 第2部 銅合金・チタン・その他金属及び樹脂編

1. 分 析	.....	( 144 )
2. 腐 食	.....	( 145 )
3. 物 理 冶 金	.....	( 150 )
4. 応 用	.....	( 152 )
5. そ の 他	.....	( 157 )



## 1. 製 錬

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 259	The Forms of Electrodeposits from $AlCl_3$ -NaCl Baths at Moderate Temperatures The Electrodeposition of Aluminium from Aluminium Chloride Baths (Part 1)	Katsuhisa Itoh Tatsuo Ishikawa Rinzo Midorikawa	15 (1974), 230
P 274	回帰方程式による980°C-1100°Cの $Na_3AlF_6$ - $CaF_2$ - $Al_2O_3$ 系溶融塩の密度について	田 中 憲 明 福 岡 潔 伊 藤 勝 久	16 (1975), 102
P 431	Quality Evaluation on the Al-Cu-Li Ternary Master Alloy Produced by Molten Salt Electrolysis	Yoshiaki Watanabe Atsushi Hibino Masayasu Toyoshima	30 (1989), 66
P 513	Electrical Conductivity and Density of $Na_3AlF_6$ - $AlF_3$ - $CaF_2$ - $Al_2O_3$ Melts	Katsuhisa Itoh Eiji Nakamura	34 (1993), 147
R 170	塩化アルミニウム浴の電解による溶融アルミニウムの製造について	伊 藤 勝 久	14 (1973), 230
R 194	アルミニウム電解浴の構成種と電極反応について	伊 藤 勝 久 中 村 英 次	17 (1976), 61
R 336	航空機用アルミニウム合金の最近の研究, その4. アルミニウム-リチウム母合金の新しい製造法	渡 辺 吉 章 豊 嶋 雅 康 伊 藤 勝 久	29 (1988), 82
R 345	On the Solubility of Chlorine in Chloride Melts	Katsuhisa Itoh	29 (1988), 226
R 505	精錬用フラックスによるアルミニウム溶湯処理技術	常 川 雅 功	45 (2004), 113
R 533	複動式摩擦攪拌点接合法の開発	熊 谷 正 樹 青 木 健 太	48 (2007), 129

## 2. 鍛 造

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 48	アルミニウムおよびその合金の鑄造組織を支配する因子に関する研究	寺 井 士 郎	3 (1962), 18
P 53	鑄造組織を微細化したアルミニウムおよびその合金鑄塊の品質に関する研究	寺 井 士 郎	3 (1962), 94
P 59	アルミニウムおよびその合金鑄塊の微細化法の工業的応用に関する研究	寺 井 士 郎	3 (1962), 184
P 111	Al-Zn-Mg-Cu 合金における巨大クロム金属間化合物について	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	5 (1964), 284
P 175	工業用純アルミニウムインゴット中の Fe, Si におよぼす熱処理の影響	広 沢 栄 一 直 江 正 久	10 (1969), 14
P 196	3S インゴット中の Mn, Fe, Si の挙動におよぼす熱処理の影響	広 沢 栄 一 直 江 正 久	11 (1970), 61
P 210	63S 鑄塊中における添加元素, 不純物の加熱時の挙動について	広 沢 栄 一 直 江 正 久	11 (1970), 249
P 229	鑄塊加熱の熱解析	広 沢 栄 一 宇 野 照 生	13 (1972), 110
P 239	アルミニウムスラブの加熱時の温度分布の解析	広 沢 栄 一 宇 野 照 生	14 (1973), 21
P 249	連鑄アルミニウムスラブの凝固冷却過程の解析	広 沢 栄 一 宇 野 照 生	15 (1974), 3
P 256	純アルミニウムの鑄造組織の微細化におよぼす $TiB_2$ および $TiAl_3$ 粒子の影響	馬 場 義 雄 浜 田 淳 司	15 (1974), 156
P 265	アルミニウム溶湯の真空脱ガス	広 沢 栄 一	15 (1974), 299
P 309	Al-Mg 実用合金展伸材に介在する塩素化合物について	土 田 信 片 岡 義 典	20 (1979), 116
P 326	アルミニウム合金圧延材に発生するストリンガー欠陥の分布について	吉 田 政 博 犬 丸 晋 晋	21 (1980), 263
P 334	アルミニウムの溶解・鑄造における結晶粒度検査方法	吉 田 政 博 洪 江 久 晋 犬 丸 晋 晋	23 (1982), 2

文献No.	題 目	著 者	卷 (年) 頁
P 345	ホットトップ及びオープンモールド鋳造法による A6063 合金ビレットの鋳塊組織について	吉 田 政 博 浜 江 和 久	24 (1983), 80
P 392	過共晶 Al-Si 合金連続鋳造における初晶 Si の微細化	岡 田 一 嘉 吉 田 政 博	28 (1987), 1
P 409	AC4C 及び 6061 溶湯鍛造材の機械的性質に及ぼす加圧力の影響	齋 藤 莞 爾 竹 内 勝 治	28 (1987), 193
P 414	電磁鋳造時の溶湯保持形状に及ぼす諸因子の影響	長 江 光 司 林 河 瀬 典 史 河 村 順 洋 林 井 由 宏 林 井 典 史	29 (1988), 167
P 429	電磁力及び表面張力を考慮した溶湯金属形状の数値解析	河 村 順 洋 林 井 由 宏 林 井 典 史	30 (1989), 51
P 453	水平式電磁鋳造法によるアルミニウム小径棒及び条の鋳造	長 江 光 司 林 井 井 典 史 浅 井 滋 生 佐 塚 敏 介	31 (1990), 175
P 480	5182 アルミニウム合金溶湯圧延材の鋳造組織及び諸性質	渡 辺 良 夫 森 山 照 勉 宇 野 照 生	33 (1992), 1
P 490	アルミニウム-リチウム合金溶湯に対する耐火物の耐食性	豊 嶋 雅 康 渡 辺 吉 章 岡 吉 一 嘉	33 (1992), 127
P 502	電磁鋳造による 5182 アルミニウム合金鋳塊及び圧延材の品質特性	林 江 典 史 長 都 光 司 宇 山 秀 之 永 克	34 (1993), 8
P 525	アルミニウム連続鋳造用各種冷却法の冷却特性	常 川 雅 功 武 藤 伸 之 林 野 照 史 宇 野 照 生	35 (1994), 97
P 533	Prevention of Surface Defects on EMC Slab	Norifumi Hayashi Koushi Nagae Masaru Nagayama	36 (1995), 18
P 553	Three Dimensional Solidification Analysis of the Initial State of D. C. Casting Process	Yoshio Watanabe Norifumi Hayashi	37 (1996), 44
P 554	Effect of Casting Conditions on the Butt Shape of DC Aluminium Slab	Masanori Tsunekawa Norifumi Hayashi Teruo Uno	37 (1996), 50
P 558	2218 アルミニウム合金鋳造棒の冷間変形能に及ぼす材料因子の影響	渡 辺 良 夫 宇 野 照 勉 生	37 (1996), 107
P 569	鋳型温度監視によるアルミニウム連続鋳造スラブの凝固プロセス解析	常 川 雅 功 長 江 光 司 武 藤 伸 之 林 野 照 史 宇 野 照 生	37 (1996), 180
P 571	AC8C アルミニウム合金溶湯鍛造材の疲労強度	山 田 賢 治 水 越 秀 雄 林 越 寛 岳	38 (1997), 7
P 628	Mechanism of Oxide Generation and Mixing into Aluminum Ingot in Cast Start Phase	Masanori Tsunekawa Shinichi Tani Hajime Okazaki Norifumi Hayashi	42 (2001), 64
P 703	双ロール式鋳造圧延した Al-Mg-Si 合金板のリップルマークに及ぼす鋳造条件の影響	江 崎 宏 樹 渡 辺 田 夫 上 宇 田 薫 宇 洪 之 洪 都 和 久 江 江 和 久	47 (2006), 52
P 704	双ロール式鋳造圧延した 6016 アルミニウム合金板の耐糸錆に及ぼすリップルマークの影響	上 田 薫 江 崎 宏 樹 初 野 圭 一郎 洪 野 圭 一郎 江 和 久	47 (2006), 59
P 721	双ロール式鋳造圧延した Al-Mg-Si 合金板の中心線偏析に及ぼす鋳造条件の影響	江 崎 宏 樹 渡 辺 田 夫 宇 洪 之 洪 都 和 久	48 (2007), 81

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 18	高ケイ素アルミニウム合金	寺馬 井場 士郎 義雄	3 (1962), 164
R 78	アルミニウム溶湯の塩素ガス処理による排気ガスの浄化装置について	中小村 春彦 金沢 龍男	7 (1966), 250
R 128	連続鋳造の熱解析	広 沢 栄 一	11 (1970), 240
R 158	酸素バーナによるアルミニウムの溶解について	犬 丸 晋	14 (1973), 48
R 199	最近のアルミニウムの連続鋳造法	吉 田 政 博	17 (1976), 145
R 217	最近のアルミニウムの溶湯処理	犬 丸 晋 吉城 田 政 正 博人	19 (1978), 112
R 225	純アルミニウム板の表面筋模様におよぼす鋳造条件の影響	犬 丸 晋 吉城 田 政 正 博人	20 (1979), 125
R 242	Hot・Top 鋳造法による鋳造小径棒の製造とその品質	城 谷 正 人 犬丸 春 彦	22 (1981), 53
R 259	最近のアルミニウムの溶解技術について	犬 丸 晋	23 (1982), 177
R 292	アルミニウムの脱ガスと溶湯濾過	吉 田 政 博 犬丸 政 博	26 (1985), 81
R 293	アルミニウム溶解炉における電磁攪拌	林 典 史 犬丸 敏克 晋彦 上正 藤 清 明文 伊	26 (1985), 91
R 310	最近の溶湯鍛造法の研究開発と工業化の現状	鈴 木 鎮 夫 後片 藤 靖 大福 岡 義 康 根 夫	27 (1986), 100
R 314	Modernization of Aluminium Melting Process for Saving Fuel Consumption	Toshihiko Uehara Katsuaki Masaki Norifumi Hayashi	27 (1986), 169
R 317	有限要素法による磁場解析技術の応用	林 典 史 河 瀬 順 洋	27 (1986), 206
R 325	電磁鋳造法の現状と将来	吉 田 政 博	28 (1987), 140
R 347	アルミニウム-リチウム系合金溶湯の水蒸気爆発	渡 辺 吉 章 岡 一 嘉	29 (1988), 294
R 381	アルミニウムスラブ鋳造の自動化	林 典 史	33 (1992), 56
R 403	住軽テクノス株式会社の紹介	古 郡 政 一 犬丸 岡 義 晋 井 上 敏 典 憲	34 (1993), 164
R 406	名古屋製造所の近代化 その1. 新鋳造設備の紹介	高 井 美 樹 足 立 俊 輔 上 原 敏 彦 正 木 克 隆 明 氏 家 隆 之	34 (1993), 253
R 427	真空ダイカスト“VACURAL”法による高品質ダイカスト製品の開発	犬 丸 晋 宇野 照 生 片岡 義 典 林 林 寛 史 岳	36 (1995), 47
R 495	展伸用アルミニウム合金の溶解・鋳造における最近の技術と課題	渡 辺 良 夫	43 (2002), 152
R 537	展伸用アルミニウム合金の連続鋳造	渡 辺 良 夫	49 (2008), 107
N 19	全自動溶湯攪拌装置「ジェット・スターラ」	—	31 (1990), 94
N 30	住軽テクノス(株)の溶湯鍛造製品と Vacural 製品	—	35 (1994), 254

### 3. 加工

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 1	アルミニウム合金に現われる引張加工歪模様の研究 (第1報) アルミニウム-マグネシウム系合金について	畑 栄 一 寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	1 (1960), 4
P 17	Al-Mg-Si 系合金押出材の強度に関する研究	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	1 (1960), 196
P 29	アルミニウム合金に現われる引張加工ヒズミ模様の研究 (第2報) ヒズミ模様の発生におよぼす熱処理の影響	畑 栄 一 寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	2 (1961), 105
P 31	張り出し-深絞り複合成形性について (第1報)	吉 井 康 一	2 (1961), 122
P 41	張り出し-深絞り複合成形性について (第2報)	吉 井 康 一	2 (1961), 243
P 52	軽合金材料の押出加工における押出力の算定について (第1報)	大 柏 英 雄 山 下 藤 美	3 (1962), 105
P 64	アルミニウム板の深絞り性	吉 井 康 一	3 (1962), 270
P 70	Al-Zn-Cu 系の熱間加工性におよぼすカルシウム添加の効果について	寺 井 士 郎 高 島 章	3 (1962), 353
P 73	再絞り性におよぼすアイアニングの効果について	吉 井 康 一	4 (1963), 25
P 83	アルミニウム-リチウム合金に現われる引張加工 ヒズミ模様と降伏点現象について	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	4 (1963), 173
P 84	アルミニウム板材の深絞りにおける潤滑について	吉 井 康 一 今 岡 経 清 吉 田 雄 太	4 (1963), 180
P 106	高ケイ素アルミニウム合金鍛造材に関する研究	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	5 (1964), 223
P 110	アルミニウム板材の成形性予知に関する実験的考察	吉 井 康 一	5 (1964), 278
P 114	各種板材の再絞り性について	吉 井 康 一	6 (1965), 5
P 115	ローラーレベラーの与える曲率について	馬 場 武 明 田 島 稔	6 (1965), 14
P 117	Al-Mg-Si 系合金の研究 (第7報) 押し加工材の押し加工ならびにその後の溶体化処理条件と結晶粒粗大化の関係	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄 高 島 章	6 (1965), 33
P 136	深絞り限界のバラッキについて	吉 井 康 一	7 (1966), 19
P 199	アルミニウム板の成形限界	西 村 嘉 彦	11 (1970), 82
P 205	工業用アルミニウム圧延板の表面筋模様について	馬 場 義 雄 浜 田 淳 司	11 (1970), 169
P 209	ロールフォーミングに関する研究 (第1報) 成形過程における歪径路と付加的歪成分が製品形状に与える影響	木 村 紘	11 (1970), 229
P 214	ロールフォーミングに関する基礎的研究 (第2報) 広幅断面に関する実験的研究	木 村 紘	12 (1971), 17
P 224	アルミニウム板のしごき加工に関する実験的研究	西 村 嘉 彦	12 (1971), 186
P 234	アルミニウム冷間圧延におけるロールベンディングに関する一実験	馬 場 武 明 安 藤 正 男 小 川 真 真	13 (1972), 189
P 239	アルミニウムスラブの加熱時の温度分布の解析	広 沢 栄 一 宇 野 照 生	14 (1973), 21
P 246	アルミニウム板材の円弧曲げにおけるスプリング・バック量に関する一考察	木 村 紘	14 (1973), 201
P 261	薄肉ロール・フォーミング製品のふちなみについて ロール・フォーミングに関する基礎的研究 (第3報)	木 村 紘	15 (1974), 252
P 276	An Improvement of Rolling Stability during Cold Rolling of Aluminum	Shigeru Kondo	16 (1975), 115
P 294	アルミニウムおよびアルミニウム合金の熱間変形抵抗	千 田 憲 雄 木 村 義 紘 馬 場 義 雄	19 (1978), 3
P 301	DI 缶加工機における 3004, 1100 および 5052 アルミニウム合金板のしごき加工限界について	岡 本 正 司 土 田 信	20 (1979), 23

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 309	Al-Mg 実用合金展伸材に介在する塩素化合物について	土 田 信 片 岡 義 典	20 (1979), 116
P 313	アルミニウム熱間圧延におけるヒートクラウン	中 川 静	21 (1980), 45
P 320	有限要素法によるストレッチャー引張矯正現象の解析	吉 永 彰 一	21 (1980), 181
P 321	アルミニウム合金丸棒の矯正設定方法の検討	安 保 満 夫	21 (1980), 227
P 337	静水圧押出 A2024 合金の特性	家 田 詔 夫 佐 野 秀 男	23 (1982), 93
P 341	Measurement and Estimation of Mean Flow Stress and Coefficient of Friction in Tandem Mills	岡 本 豊 彦 木 村 紘 静	24 (1983), 1
P 359	アルミニウム冷間タンデム圧延機の板厚制御のための線形モデルと特性解析	星 野 郁 弥 杉 江 明 士 前 川 行 弘	25 (1984), 160
P 365	Application of Eddy Current Type Shapemeter to Tandem Cold Mill of Aluminium Strip	Nobuyuki Mutoh Tadashi Nosetani Masahisa Naoe Yukiyasu Takeda Masao Ohkubo	26 (1985), 5
P 366	Crown Control of Aluminium Strip in Hot Rolling	Akio Sugie Hiroshi Kimura Takahisa Ymaguchi Toyohiko Okamoto	26 (1985), 11
P 371	アルミニウム箔圧延におけるサーマルクラウン	中 川 静	26 (1985), 123
P 374	アルミ熱延への Orowan 理論の適用 (アルミ熱延の計算機制御のための検討, I)	木 村 紘	26 (1985), 189
P 386	アルミ熱延における材料温度計算 (アルミ熱延の計算機制御のための検討, II)	木 村 紘	27 (1986), 135
P 400	Observer-based Multivariable Control of the Aluminium Cold Tandem Mill	Ikuya Hoshino Yukihiro Maekawa Takayuki Fujimoto Hiroshi Kimura Hidenori Kimura	28 (1987), 111
P 410	ロールバランス力を用いた圧延機の板厚制御	星 野 郁 弥 木 村 俊 紘 国 保 二 阿 部 禎 静 中 川 静	29 (1988), 99
P 420	矩形棒・フィン付き棒の押し出し時の形状予測 (非軸対称押し出し・引抜きに関する数値シミュレーション, 第1報)	飯 島 茂 男 木 内 学 星 野 倫 彦	29 (1988), 266
P 425	フィン付き棒・フィン付き管の押し出し時の形状予測 (非軸対称押し出し・引抜きに関する数値シミュレーション, 第2報)	飯 島 茂 男 木 内 学 星 野 倫 彦	30 (1989), 18
P 433	硬質アルミニウム薄板のしごき加工性	疋 田 達 也 竹 島 義 雄	30 (1989), 78
P 435	内面フィン付き管の押し出し・引抜き時の形状予測 (非軸対称押し出し・引抜きに関する数値シミュレーション, 第3報)	木 内 学 飯 島 茂 男 星 野 倫 彦	30 (1989), 115
P 437	アルミニウム深絞りカップのしごき加工性に及ぼす材料表面条痕の影響	疋 田 達 也 竹 島 義 雄	30 (1989), 129
P 441	アルミ熱延計算機制御用数式モデル	木 村 紘	30 (1989), 186
P 451	内面フィン付き管の引抜き時の形状予測 (非軸対称押し出し・引抜きに関する数値シミュレーション, 第4報)	木 内 学 飯 島 茂 男	31 (1990), 118
P 471	アルミニウム DI 缶の表面性状に及ぼす再絞り加工条件の影響	伊 藤 清 文 土 竹 島 義 雄	32 (1991), 177
P 472	固形潤滑剤 DL1 による自動車ボディ用アルミニウム合金板のプレス成形性向上効果	疋 田 達 也 竹 島 義 雄 宇 都 秀 之	32 (1991), 184
P 479	Strip Crown and Flatness Control in Aluminium Hot Rolling	Akio Sugie Hiroshi Kimura Masaki Hashizume	32 (1991), 250

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 488	自動車ボディパネル用アルミニウム合金板の実プレス成形性	竹 島 義 雄 疋 田 達 也 宇 都 秀 之 広 瀬 洋 三	33 (1992), 83
P 494	アルミニウム軸対称部品に発生する鍛造割れ	安 保 満 夫 佐 藤 文 彦	33 (1992), 159
P 505	自動車ボディ用 Al-Mg 合金板の成形性に及ぼす諸因子の影響	竹 島 義 雄 疋 田 都 秀 之	34 (1993), 59
P 518	Observer-based Multivariable Flatness Control of the Cold Rolling Mill	Ikuya Hoshino Masateru Kawai Misao Kokubo Hiroshi Kimura Hidenori Kimura	34 (1993), 229
P 519	Production of Aluminium Optical Drums by Inside-ironing Process	Masami Saito Kuniaki Dohda Yoshio Takeshima Nozomu Kawai	34 (1993), 238
P 531	アルミニウム冷間圧延機の形状制御モデル	小久保 操 星 野 郁 弥	36 (1995), 1
P 532	オブザーバを用いたロールバランス力による圧延機のロール偏心制御	星 野 郁 弥 阿 部 禎 一	36 (1995), 11
P 556	冷間圧延におけるロール表面温度変化と入熱量	米 山 猛 堀 村 隆 司 木 野 郁 紘 星 野 郁 弥 小久保 操	37 (1996), 63
P 557	ロール表面温度・熱流束測定による冷却性能評価	米 山 猛 堀 村 隆 司 木 野 郁 紘 星 野 郁 弥 小久保 操	37 (1996), 70
P 558	2218 アルミニウム合金鋳造棒の冷間変形能に及ぼす材料因子の影響	渡 辺 良 夫 宇 野 照 生	37 (1996), 107
P 568	状態フィードバックを用いたアルミニウム熱間圧延機の蛇行制御	岡 村 義 英 星 野 郁 弥	37 (1996), 172
P 574	Observer-based Multivariable Tension Control of Aluminium Hot Rolling Mills	Ikuya Hoshino Yoshihide Okamura Hidenori Kimura	38 (1997), 26
P 583	アルミニウム熱間仕上圧延の板流れ現象に及ぼす各種要因の影響	岡 村 義 英 星 野 郁 弥 杉 江 明 士	38 (1997), 141
P 588	A Mechanism of Pick-up Formation on 6063 Aluminium Alloy Extrusions	Tadashi Minoda Hideya Hayakawa Hideo Yoshida	39 (1998), 26
P 590	Heat Scratch in the Hot Rolling of Aluminium Sheets and Its Relation with the Roll Surface Temperature	Takeshi Yoneyama Akihisa Fujita Hiroshi Asaoka Hiroshi Kimura Ikuya Hoshino Misao Kokubo	39 (1998), 38
P 591	State Feedback Control of the Strip Steering for Aluminium Hot Rolling Mills	Yoshihide Okamura Ikuya Hoshino	39 (1998), 45
P 593	Neck Formability of Aluminium D&I Cans during Smooth Die Necking or Spin Flow Necking	Yoshinari Kikuta Shin Tsuchida James E. Prichard	39 (1998), 60
P 594	Flange Formability of the Necked Cans by Smooth Die Necking or Spin Flow Necking	Yoshinari Kikuta Shin Tsuchida James E. Prichard	39 (1998), 65
P 603	6063 アルミニウム合金押出材のピックアップ欠陥発生機構	箕 田 正 哉 早 川 秀 英 吉 田 英 雄	40 (1999), 22
P 604	2自由度制御理論を用いた押し機速度制御	岡 村 義 英 高 野 昌 也 星 野 郁 弥	40 (1999), 28

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 605	Tee Fitting Hydraulic Formability of Aluminium Alloy Tubes	Hideo Mizukoshi Hidetō Okada Hiroyuki Wakabayashi	40 (1999), 37
P 617	アルミニウム DI 缶におけるスムーズダイネック成形又はスピンドローネック成形時の ネック成形性	菊 田 良 成 土 田 信 ジェームス E. プリチャード	41 (2000), 45
P 618	ロバスト制御を用いた熱間仕上げ圧延機の板厚制御	岡 村 義 英 星 野 郁 弥	41 (2000), 51
P 619	Heat Transfer and Roll Surface Temperature in the Hot Rolling of Aluminum Sheet	Takeshi Yoneyama Hiroshi Asaoka Hiroshi Kimura Ikuya Hoshino Misao Kokubo	41 (2000), 59
P 623	温間圧延による 7475 系アルミニウム合金板材の結晶粒微細化	箕 田 正 田 中 宏 樹 洪 吉 江 久 田 英 雄	42 (2001), 31
P 624	微細粒組織を有する 7475 系合金温間圧延板の材料特性	田 中 宏 樹 箕 崎 止 江 崎 宏 樹 洪 吉 江 久 田 英 雄	42 (2001), 37
P 625	アルミニウム合金の機械的性質に及ぼす低温加工の効果	江 崎 宏 樹 洪 吉 江 久 田 英 雄	42 (2001), 43
P 634	Al-Mg-Si 系合金の曲げ加工性に及ぼす第 2 相粒子の影響	浅 野 峰 生 内 田 秀 俊 吉 田 英 雄	43 (2002), 1
P 635	7475 系アルミニウム合金温間圧延材の微細粒組織形成に及ぼすロール温度の影響	田 中 宏 樹 江 崎 田 正 洪 吉 江 久 田 英 雄	43 (2002), 7
P 638	純アルミニウム箔の重合面うねりに及ぼす金属間化合物の影響	本 居 徹 也 福 岡 潔	43 (2002), 29
P 641	The Effect of Lankford's r-value Anisotropy on Deep Drawing and Stretch Formabilities of Aluminum Alloy Sheets	Kenji Yamada Hideo Mizukoshi Koushi Okada	43 (2002), 50
P 646	制約論理プログラミングによる加熱炉へのスラブ装入本数最大化	高 柳 仁 史 岡 村 義 英 星 野 郁 弥 田 地 村 宏 一 田 村 担 之	43 (2002), 82
P 652	The Observer-based Loop Control for a Bullblock Drawing Machine	Hiroki Yamanashi Ikuya Hoshino Yoshihide Okamura Haruo Tanaka	43 (2002), 116
P 657	Grain Refinement of 7475 based Aluminum Alloy Sheets by Warm Rolling with Heated Rolls and Its Effect on Texture and Mechanical Properties	Hiroki Tanaka Tadashi Minoda Hiroki Esaki Kazuhisa Shibue Hideo Yoshida	44 (2003), 28
P 658	サブグレイン組織制御による 7475 系アルミニウム合金温間圧延板材の機械的性質	田 中 宏 樹 江 崎 宏 樹 山 田 賢 治 洪 吉 江 久 田 英 雄	44 (2003), 34
P 659	Mathematical Models and Flatness Control for Aluminum Foil Rolling Mills	Yoshihide Okamura Takashi Ichikawa	44 (2003), 41
P 660	Anisotropic Yield Function of Sheet Forming Simulation for Aluminium Alloy by using Commercial FEM Software "LS-DYNA V950"	Kenji Yamada Hideo Mizukoshi Koushi Okada Ninshu Ma Nobuhiko Sugitomo	44 (2003), 46
P 661	7000 系アルミニウム合金押出型材における 3 点曲げ試験シミュレーション	岡 田 功 史 水 越 秀 雄 山 田 賢 治	44 (2003), 51
P 666	均一加熱ビレットを用いた等温押し	高 橋 昌 也 米 山 猛	45 (2004), 1

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 667	Isothermal Extrusion of Aluminum Alloys	Masaya Takahashi Takeshi Yoneyama	45 (2004), 7
P 668	Study on the Metal Flow in Extruded Billet	Hideo Sano Takashi Ishikawa Yoshinori Yoshida	45 (2004), 17
P 672	Improvement of Mechanical Properties of 7475 Based Aluminum Alloy Sheets by Controlled Warm Rolling	Hiroki Tanaka Hiroki Esaki Kenji Yamada Kazuhisa Shibue Hideo Yoshida	45 (2004), 41
P 673	温間圧延による 5083 系アルミニウム合金板材の結晶粒微細化	田 中 宏 樹 長 井 康 礼 吉 田 英 雄	45 (2004), 49
P 674	Al-Mg 系合金板材のリュウダース帯形成に及ぼす 2 軸引張荷重比の影響	箕 田 正 洪 江 和 久 吉 田 英 雄	45 (2004), 55
P 675	アルミニウム合金パネルの張り剛性に及ぼす曲率半径の影響	宇 都 秀 之 広 瀬 洋 三	45 (2004), 61
P 676	アルミニウム合金板のプレス成形潤滑性に及ぼす油性剤の影響	竹 田 委 千 央 細 見 和 弘	45 (2004), 68
P 686	等温押し出しの FEM 解析	高 橋 昌 也 米 山 猛	46 (2005), 31
P 688	アルミニウムの熱間圧延潤滑性に及ぼす金属せっけんの影響	渡 邊 貴 道 細 見 和 弘	46 (2005), 43
P 692	アルミニウム合金板材のカップ試験シミュレーションにおける成形限界に及ぼす異方性降伏関数の影響	山 田 賢 治 水 越 秀 雄 岡 田 功 史 桑 原 利 彦 梅 村 利 彦	46 (2005), 67
P 701	Effect of Copper Content on the Bendability of Al-Mg-Si Alloy Sheets	Mineo Asano Tadashi Minoda Yoshikazu Ozeki Hideo Yoshida	47 (2006), 41
P 703	双ロール式鋳造圧延した Al-Mg-Si 合金板のリップルマークに及ぼす鋳造条件の影響	江 崎 宏 樹 渡 辺 良 夫 上 田 都 秀 薫 字 都 江 和 之 久 洪 都 江 和 之 久	47 (2006), 52
P 704	双ロール式鋳造圧延した 6016 アルミニウム合金板の耐糸錆に及ぼすリップルマークの影響	上 田 薰 江 崎 宏 樹 初 野 圭 一 洪 野 和 郎 洪 野 和 郎	47 (2006), 59
P 706	Al-Zn-Mg-Cu 系合金 T4 材の拡管加工性に及ぼす還元処理の影響	中 井 康 博 箕 田 真 正 松 田 英 一 吉 田 雄	47 (2006), 73
P 707	アルミニウム合金の等温押し出し	高 橋 昌 也 米 山 猛	47 (2006), 78
P 709	Effect of Anisotropic Yield Function on Sheet Forming Simulation of Miniature Fender Model for Aluminum Alloy	Kenji Yamada Mineo Asano Hideo Mizukoshi Koushi Okada Toshihiko Kuwabara Kengo Yoshida	47 (2006), 93
P 716	アルミニウム熱間押し出しにおけるビレット・コンテナ間の圧力と摩擦応力	米 山 猛 高 橋 昌 也	48 (2007), 43
P 719	Mg 量の異なる 5000 系アルミニウム合金板の成形限界ひずみ	桑 原 利 彦 梅 吉 田 健 史 吉 黒 田 充 吾 平 野 清 紀 菊 田 良 一 成	48 (2007), 65
P 720	Mechanical Properties of 5083 Aluminum Alloy Sheets Produced by Isothermal Rolling	Hiroki Tanaka Yasunori Nagai Yoshifumi Oguri Mineo Asano Hideo Yoshida	48 (2007), 73



文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 723	Metal Flow in Extrusion with Different Orifices	Seiichi Nagao Norio Takatsuji	49 (2008), 6
P 724	アルミニウム押出ビレット表層の変形挙動に及ぼす押出方法およびダイス形状の影響	佐野 秀 男 石川 孝 司 湯川 伸 樹 吉田 佳 典 金 子 貴 俊	49 (2008), 12
P 725	直接押出ビレット表層の変形挙動に及ぼすビレット後端面潤滑条件の影響	佐野 秀 男 石川 伸 樹 湯川 佳 典 吉田 貴 俊 金 本 一 順	49 (2008), 18
P 726	Two-Step Aging Behaviors of Al-Mg-Si Alloy Extrusions	Hidenori Hatta Shinichi Matsuda Hideo Yoshida	49 (2008), 24
P 728	Al-Mg-Si 系合金板の成形性に及ぼすけい素量の影響	内 田 秀 俊 吉 田 英 雄	49 (2008), 35
P 730	Influence of Texture on Roping Development in Al-Mg-Si Alloy Sheet	Yoshikazu Ozeki Tadashi Minoda Hiroki Tanaka Hideo Yoshida	49 (2008), 46
P 731	The Effects of Texture on Formability of Aluminum Alloy Sheets	Kengo Yoshida Takumi Ishizaka Mitsutoshi Kuroda Shingo Ikawa	49 (2008), 51
P 733	A3004 合金冷延板の塑性特性に及ぼす低温熱処理の影響	土 田 信 伊 藤 清 文 高 柳 仁 史 岡 村 義 英 宮 地 和 博	49 (2008), 65
P 734	アルミニウム熱間圧延工程における計画立案支援システム	高 柳 仁 史 岡 村 義 英 宮 地 和 博	49 (2008), 72
R 18	高ケイ素アルミニウム合金	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	3 (1962), 164
R 65	加工性良好な Al-Zn-Mg 系合金管およびその溶接性	寺 井 士 郎 杉 山 禎 彦 馬 場 義 利 安 福 井 雄 安	7 (1966), 57
R 86	アルミニウム合金押出棒の被旋削性	竹 内 勝 治 中 村 授	8 (1967), 115
R 89	アルミニウム合金薄板のせん断特性について	田 中 英 司	8 (1967), 166
R 97	アルミニウム合金の被穴あけ性	中 村 授	9 (1968), 46
R 103	アルミニウム板材の成形法について	寺 井 士 郎 近 藤 宏 嘉 西 村 則 彦 木 村 紘 紘	9 (1968), 176
R 116	最近の加工用アルミニウム合金	寺 井 士 郎	10 (1969), 119
R 127	アルミニウム合金の許容応力について	竹 内 勝 治 田 中 英 司	11 (1970), 175
R 132	広幅冷間 4 段圧延機の紹介	近 藤 正 繁 安 藤 男	12 (1971), 40
R 148	アルミニウム合金展伸材の曲げ加工性	竹 内 勝 治 伴 又 寿	13 (1972), 89
R 150	板形状の測定および制御法について	水 野 静 夫 安 藤 正 幸 武 田 保	13 (1972), 131
R 160	アルミニウム圧延板の成形にともなう表面性状の変化	広 沢 栄 一	14 (1973), 88
R 167	アルキル芳香族油の金属加工分野への応用 第 1 報 油の物性と潤滑特性	榎 本 聡 後 藤 弘 寺 井 芳 士 斎 藤 莞 爾	14 (1973), 171

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 174	テンションレベラーによるアルミニウム薄板の矯正	馬場武 明 田島日出 稔	15 (1974), 31
R 186	アルミニウム合金の間接押出	横林博 文 田洋 正	15 (1974), 306
R 191	DI 缶用アルミニウム合金 3004 板の成形特性	馬場義 雄 木齋藤 紘 河合莞 爾	16 (1975), 124
R 202	アルミニウム製 DR 缶の製造とその特徴について	高谷鉄 郎 吉田左 千	18 (1977), 34
R 203	アルミニウム DI 缶の成形加工について	木村 紘 齋藤本 莞 岡本庄 司	18 (1977), 42
R 214	X線によるアルミニウム帯板の強度連続測定方法について	広沢栄 一 土田 信	19 (1978), 60
R 223	アルミニウム合金の静水圧押出	家田詔 夫	20 (1979), 54
R 225	純アルミニウム板の表面筋模様におよぼす鋳造条件の影響	犬丸晋 吉城谷 博 城谷 正 人	20 (1979), 125
R 234	ボディシート用アルミニウム合金のへム性	齋藤莞 爾	21 (1980), 148
R 247	難加工アルミニウム合金及びその 2, 3 の加工実例	木村 紘 吉田 英 千田 憲 雄	23 (1982), 21
R 273	アルミニウム押出ダイスの寿命	安家保 夫 田中 満 中 昭 康	25 (1984), 39
R 281	アルミニウム・ビール缶の強度に関する技術資料	齋藤莞 爾 福田康 彦 平 勝 彦	25 (1984), 184
R 285	当社における熱間圧延の近代化	大久保正 男 上野順 郎 藤本隆 行 木村 紘	25 (1984), 257
R 298	アルミニウム合金系超塑性材料の成形について	齋藤莞 爾 伊藤清 文	26 (1985), 157
R 319	Quality Control in the Production of Aluminium Sheet and Plate	Shigeru Kondo Shiro Sato Yoshio Baba Yasuhiro Kato	28 (1987), 39
R 321	押出ダイス CAD システムの開発	安保満 夫 菊地昭 雄 家田 詔 夫	28 (1987), 76
R 322	アルミニウムと鋼の熱間圧延板クラウン制御効果の比較	杉江明 土 木村正 紘 小倉居 正 紀 益川 敏 健 滝 敏 二	28 (1987), 84
R 343	国内外におけるアルミニウム DI 缶薄肉化の現状	竹島義 雄 伊藤清 文 木久藤 博 村田 真 夫	29 (1988), 210
R 346	アルミニウム圧延における最近の板クラウン・形状制御	杉江明 土	29 (1988), 284
R 353	アルミニウムの薄板圧延技術	木村 紘 杉江野 明 星 郁 士 野 弥 弥	30 (1989), 156
R 362	アルミニウム合金押出型材における最近の高精度化	安保満 夫 田中 康 之	31 (1990), 210
R 368	自動車ボディ用アルミニウム合金板の製造法	宇野照 生 杉江 明 士	32 (1991), 32
R 369	自動車ボディ用アルミニウム合金板の成形性	竹島義 雄 正田 達 也 宇都 秀 之	32 (1991), 39

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 375	アルミニウム圧延における形状検出器及び温度計測装置	若大 林 広 行 高 嶽 伸 篤 橋 幸	32 (1991), 205
R 392	自動車ボディ用アルミニウム合金板潤滑油 AT91	伊 藤 秀 男 字 見 義 勉 竹 島 達 雄 疋 野 啓 也 佐 野 路 間 瀬 俊 朗	33 (1992), 249
R 393	多目的試作・試験圧延機の紹介	宮 地 和 博 星 野 郁 弥 杉 江 村 士 木 江 村 絃	33 (1992), 257
R 401	アルミニウム熱間押出ダイスの磨耗	佐 藤 文 彦 安 保 満 夫	34 (1993), 112
R 407	アルミニウム缶の軽量化の動向	伊 藤 清 文 土 藤 田 信	34 (1993), 258
R 426	高強度アルミニウム合金の加工熱処理法とその応用	吉 田 英 雄	36 (1995), 37
R 428	名古屋製造所の近代化 その2. 熱間圧延ラインの紹介	上 野 順一郎 藤 本 江 隆 杉 野 明 星 野 郁 橋 爪 雅 今 西 由 岡 村 義 英	36 (1995), 53
R 429	名古屋製造所の近代化 その3. 押出製品の製造設備紹介	疋 田 達 也 佐 野 利 秀 男 毛 保 英 一 安 保 満 夫	36 (1995), 60
R 430	住軽アルミ箔株式会社 高速アルミニウム箔圧延機の紹介	千 田 憲 雄 笛 場 廣 義 吉 田 左 千 雄	36 (1995), 66
R 431	各種アルミニウム合金の冷間鍛造性	佐 野 秀 男 安 保 満 夫 藤 田 文 彦 菊 谷 良 成 水 谷 博 之 横 井 博 之 花 木 和 宏	36 (1995), 99
R 440	オールアルミニウム缶の軽量化動向	佐 野 秀 男 安 保 満 夫 藤 田 文 彦 菊 谷 良 成 水 谷 博 之 横 井 博 之 花 木 和 宏	37 (1996), 77
R 441	D&I缶におけるフランジクラックの形態とその原因	水 谷 博 之 土 田 信	37 (1996), 86
R 455	アルミニウムの熱処理	内 田 秀 俊 吉 田 英 雄	38 (1997), 177
R 458	アルミニウム圧延における高精度化技術をめざして	星 野 郁 弥	39 (1998), 111
R 484	アルミニウム合金管のハイドロフォーミング性評価	水 越 秀 雄	42 (2001), 151
R 485	アルミニウム圧延技術の進歩 —この30年の発展と今後の展望—	岡 村 義 英 小 久 保 操	42 (2001), 155
R 498	アルミニウム合金板の成形性と最近の成形加工技術	竹 島 義 雄	44 (2003), 111
R 499	Al-Mg-Si系合金押出材の量産技術の進歩と今後の注目技術	松 田 眞 一 吉 田 英 雄	44 (2003), 119
R 500	アルミニウム合金管のハイドロ成形解析における破断判定について	山 田 賢 治 水 越 秀 雄 岡 越 英 人	44 (2003), 131
R 515	自動車用アルミニウム合金板材の曲げ加工性に関する研究動向	箕 田 正 生 浅 野 峰 生	46 (2005), 93
R 523	アルミニウム合金の復元現象の工業的利用	箕 田 正 雄 吉 田 英 雄	47 (2006), 110
R 538	展伸用アルミニウム合金とその熱処理	箕 田 正	49 (2008), 121
N 2	強度プレス成形性にすぐれたアルミニウム合金板	—	23 (1982), 203

#### 4. 材料試験

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 6	アルミニウム合金の切欠疲労強度について	深井 誠 吉 竹内 勝 治	1 (1960), 45
P 20	アルミニウム合金の組織の相違が疲労強度におよぼす影響について	深井 誠 吉 竹内 勝 治	1 (1960), 235
P 38	超々ジュラルミン並びにアルミニウム合金 7075 の金属間化合物が疲労強度に及ぼす影響について	深井 誠 吉 竹内 勝 治	2 (1961), 215
P 50	高力アルミニウム合金 7075 の疲労強度におよぼす金属間化合物の影響について (続報)	深井 誠 吉 竹内 勝 治	3 (1962), 63
P 56	耐熱アルミニウム合金 2018 並びに 2218 の高温強度についての 2, 3 の実験	深井 誠 吉 竹内 勝 治	3 (1962), 140
P 89	ピストン用アルミニウム合金鋳物 8 種 A および B の高温強度に関する研究	深井 誠 吉 竹田 内中 勝英 治司	4 (1963), 261
P 116	アルミニウム合金 5052 および 5056 の疲労強度に及ぼす諸因子の影響について	深井 誠 吉 竹内 勝 治	6 (1965), 21
P 130	人工欠陥をもつアルミニウム合金 7075-T6 の疲労強度に関する一実験	深井 誠 吉 竹内 勝 治	6 (1965), 221
P 136	深絞り限界のバラッキについて	吉井 康 一	7 (1966), 19
P 151	アルミニウム板材の限界絞り比 (L. D. R) の一測定法について	寺西 井 士 郎 村 嘉 彦	8 (1967), 94
P 157	アルミニウム合金における応力-ヒズミ関係の関数への近似とその応用例	中 村 授	8 (1967), 208
P 168	アルミニウム合金の疲れ強さに及ぼす表面層効果に関する二, 三の実験	竹内 勝 治	9 (1968), 151
P 171	Al-Mg 系合金突合せ溶接継手の疲れ強さについて	竹内 勝 治 杉山 禎 彦	9 (1968), 240
P 172	Al-Zn-Mg 合金突合せ溶接継手の疲れ強さについて	竹内 勝 治 杉山 禎 彦 福井 利 安	9 (1968), 250
P 176	Al-Zn-Mg 合金の切欠疲れ強さについて	竹内 勝 治 田中 英 利 福井 利 安	10 (1969), 24
P 191	Al-Zn-Mg 系合金厚板の機械的性質と応力腐食剤	馬場 義 雄 高島 章	11 (1970), 15
P 198	アルミニウム合金の疲労強度におよぼす表面処理の影響	竹田 内 勝 治 鈴 中 木 敏 治 平 田 勝 彦	11 (1970), 77
P 201	5083 合金板突合せ溶接継手の残留応力 アルミニウム合金溶接継手の残留応力の研究 (第 1 報)	竹田 内 勝 治 平 田 中 田 勝 彦	11 (1970), 133
P 215	Al-Zn-Mg 合金の破壊特性におよぼす添加元素と熱処理の影響	馬場 義 雄 高島 章	12 (1971), 75
P 219	5083 合金板突合せ溶接継手の局部加熱による残留応力の除去 アルミニウム合金溶接継手の残留応力の研究 (第 2 報)	竹田 内 勝 治 平 田 中 田 勝 彦	12 (1971), 124
P 235	Al-Zn-Mg 合金およびその溶接部の切欠靱性および引裂抵抗におよぼす Fe および Si の影響	福井 利 安	13 (1972), 198
P 243	アルミニウム合金押出型材の偏心座屈強さ	竹中 島 義 雄 竹内 村 勝 授 竹 内 勝 治	14 (1973), 125
P 244	アルミニウム合金の溶接部における羽毛状晶の形成とその機械的性質におよぼす影響	福井 利 安 難 波 圭 三	14 (1973), 132
P 251	アルミニウム合金の P-S-N 線図について	村松 克 己 伊藤 藤 正 竹内 中 英 竹 内 勝 治	15 (1974), 19
P 253	Al-Mg-Mn 合金およびその溶接部の切欠靱性および引裂抵抗におよぼす鉄 および珪素の影響	福井 利 安 難 波 圭 三	15 (1974), 89

文献No.	題 目	著 者	卷 (年) 頁
P 268	アルミニウム合金の疲れ強さに及ぼす大気湿度および大気中前腐食期間の影響	竹内 勝 治 伊藤 正 夫	16 (1975), 17
P 270	Al-Zn-Mg 合金およびその溶接継手の破壊特性	中村 利 授 福竹 井 義 安 竹 島 義 雄 伊藤 藤 正 夫	16 (1975), 75
P 286	破壊韌性にすぐれた新しい Al-Mg-Zn 合金の研究	福竹 井 利 安 中馬 島 義 雄 村 義 雄	18 (1977), 3
P 288	アルミニウム合金構造物における桁材スロット部の疲れ挙動	竹 島 義 雄 伊藤 藤 正 夫	18 (1977), 21
P 299	Al-Zn-Mg 系合金の機械的性質と破壊様式に及ぼす冷間加工と時効の影響	宇野 照 生 馬 場 義 雄	20 (1979), 3
P 302	アルミニウム合金 5083-O およびその溶接部における疲れき裂の進展	竹 島 義 雄	20 (1979), 30
P 306	機械的接合法によるアルミニウム合金およびそれらと軟鋼との継手の機械的性質	杉山 禎 彦 安 永 秀 樹	20 (1979), 90
P 327	Al-Cu 系アルミニウム合金の溶接性 -溶接割れ感受性及び溶接継手の静的強さ-	杉 山 禎 彦	22 (1981), 3
P 344	Al-Mg-Si 溶接金属の機械的性質	杉 山 禎 彦	24 (1983), 21
P 356	2219 合金厚板の溶接 -溶接継手の機械的性質について-	杉山 禎 彦 難波 圭 三路 佐野 啓 路	25 (1984), 88
P 369	アルミニウム合金 6N01-T5 縦溶接継手の疲れ強さ	竹 島 義 雄	26 (1985), 68
P 381	アルミニウム薄板の板波探傷	林 典 史 直 江 正 久	27 (1986), 10
P 388	HIP 成形した Al-Si-Cu-Mg P/M 合金の機械的性質	洪 江 和 久 山 内 重 徳	27 (1986), 148
P 391	肋骨構造体の応力分布に及ぼす肋骨形状の影響 (アルミニウム合金製溶接肋骨構造体の強度に及ぼす肋骨形状の影響, 第 1 報)	難波 圭 三路 佐野 啓 雄 竹 島 義 雄	27 (1986), 184
P 394	肋骨構造体の曲げ応力に及ぼす肋骨形状の影響 (アルミニウム合金製溶接肋骨構造体の強度に及ぼす肋骨形状の影響, 第 2 報)	難波 圭 三路 佐野 啓 雄 竹 島 義 雄	28 (1987), 15
P 405	アルミニウム箔の形状測定	高橋 伸 幸 武藤 智 一 阿部 智 義 小池 国 義	28 (1987), 167
P 409	AC4C 及び 6061 溶湯鍛造材の機械的性質に及ぼす加圧力の影響	斎藤 莞 爾 竹 内 勝 治	28 (1987), 193
P 412	Al/Fe 粉末合金の組織と機械的性質の関係	波江 和 久 山 野 秀 重 内 重 徳	29 (1988), 112
P 413	アルミニウム DI 缶底の耐内圧強度に及ぼす材料強度及び厚さの影響	伊藤 清 文 竹 島 義 雄	29 (1988), 120
P 446	超音波 3 点測定法を用いた管の肉厚測定	大嶽 篤 高橋 幸 史 林 伸 典	31 (1990), 46
P 461	On-line Oil Film Thickness Measurement of Prelubes on Can-Body Strip by Fluorescence Intensity Method	Nobuyuki Takahashi Atsushi Okada Hiroshi Kimura	31 (1990), 261
P 483	自動車ボディ用 Al-Mg 合金板のスポット溶接継手の疲労強度	水越 秀 雄 難波 圭 三路 佐野 啓 路	33 (1992), 22
P 511	アルミニウム箔の平坦度測定方法	武藤 伸 之悟 伊藤 憲 雄 千 田 憲 雄	34 (1993), 135
P 534	アルミニウム薄板の渦流式異物検査法の検討	武藤 伸 之幸 高橋 伸 幸	36 (1995), 25
P 555	Study on Detecting Nonmetallic Inclusions in Aluminium Can Stocks Using Lamb Wave Ultrasonic Testing	Nobuyuki Mutoh Sachio Yoshida	37 (1996), 57

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 566	2024 粉末合金の機械的性質に及ぼす脱ガス条件の影響	大久保 喜 正 江 和 久	37 (1996), 161
P 567	スプレイフォーミング法により作製した Al-Si-Fe 系合金押出材の破壊じん性	水 越 秀 雄 佐野 秀 男 大久保 喜 正	37 (1996), 167
P 571	AC8C アルミニウム合金溶湯鍛造材の疲労強度	山 田 賢 治 水 越 秀 雄 林 寛 岳	38 (1997), 7
P 578	Fatigue Properties of Mechanical Fastening Joints	Hideo Mizukoshi Hideto Okada	38 (1997), 107
P 589	Properties of Hollow Extrusion of High Strength Al-Mg-Si-Cu Alloy for Aircraft	Hideo Sano Shin-ichi Tani Hideo Yoshida Tadashi Minoda Toshio Iwakami Yasuaki Yoshino	39 (1998), 31
P 595	Fatigue Properties of Brazed Aluminium Honeycomb Panels	Hideo Mizukoshi Kenji Yamada Hideto Okada Eiji Imoto	39 (1998), 69
P 606	アルミニウム合金ポールジョイントを用いた単位単層ラチスドームの載荷試験と弾塑性解析	松 山 裕二郎 水 越 秀 雄 高 島 英 幸 飯 島 俊 比 古	40 (1999), 43
P 625	アルミニウム合金の機械的性質に及ぼす低温加工の効果	江 崎 宏 樹 洪 江 和 久 吉 田 英 雄	42 (2001), 43
P 631	Properties of Aluminium Wide Panels Produced by Friction Stir Welding	Masaki Kunagai Sunao Tanaka	42 (2001), 82
P 637	3003 合金押出材のクリープ特性に及ぼすマンガンの固溶・析出およびマイクロ組織の影響	八 太 秀 周 松 田 真 一 吉 田 英 雄	43 (2002), 24
P 641	The Effect of Lankford's r-value Anisotropy on Deep Drawing and Stretch Formabilities of Aluminum Alloy Sheets	Kenji Yamada Hideo Mizukoshi Koushi Okada	43 (2002), 50
P 660	Anisotropic Yield Function of Sheet Forming Simulation for Aluminium Alloy by using Commercial FEM Software "LS-DYNA V950"	Kenji Yamada Hideo Mizukoshi Koushi Okada Ninshu Ma Nobuhiko Sugitomo	44 (2003), 46
P 661	7000 系アルミニウム合金押出形材における 3 点曲げ試験シミュレーション	岡 田 功 史 水 越 秀 雄 山 田 賢 治	44 (2003), 51
P 669	アルミニウム合金押出形材の軸圧縮試験シミュレーション	岡 田 功 史 水 越 秀 雄 山 田 賢 治	45 (2004), 24
P 693	Influence of Stress Ratio of Biaxial Tensile Test on the Lüders Band Formation in Al-Mg Alloy Sheets	Tadashi Minoda Hideo Yoshida	46 (2005), 72
P 702	Influence of Iron Content on the Mechanical Properties of AA6016 Alloy Sheet	Tadashi Minoda Mineo Asano Hideo Yoshida	47 (2006), 47
P 709	Effect of Anisotropic Yield Function on Sheet Forming Simulation of Miniature Fender Model for Aluminum Alloy	Kenji Yamada Mineo Asano Hideo Mizukoshi Koushi Okada Toshihiko Kuwabara Kengo Yoshida	47 (2006), 93
P 720	Mechanical Properties of 5083 Aluminum Alloy Sheets Produced by Isothermal Rolling	Hiroki Tanaka Yasunori Nagai Yoshifumi Oguri Mineo Asano Hideo Yoshida	48 (2007), 73
P 732	Measurement of Solute Concentration in Alpha Solid Solution of Ternary Aluminum Alloys and its Application	Minemitsu Okada	49 (2008), 60
R 10	アルミニウム薄板の引張試験片の形状について	竹 内 勝 治 田 中 英 司	2 (1961), 102

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 13	アルミニウム合金の低温における機械的性質 (データシート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	2 (1961), 268
R 16	耐食アルミニウム合金7種の機械的性質 (第1報) (データシート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	2 (1961), 350
R 19	耐食アルミニウム合金1種および2種の機械的性質 (データシート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	3 (1962), 287
R 21	アルミニウム合金 5083 および 5086 の機械的性質 (データシート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	3 (1962), 369
R 23	アルミニウム合金 5152, 5652, 5356, 5456 および 5556 の機械的性質 (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	4 (1963), 72
R 26	アルミニウム合金 5154, 5254, 5454 および 5554 の機械的性質 (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	4 (1963), 150
R 31	アルミニウム合金 5357 の機械的性質 (1) (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	4 (1963), 252
R 34	アルミニウム合金 5005, 5205 および X5405 の機械的性質 (1) (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	4 (1963), 318
R 38	アルミニウム合金 5457, X5557, 5657, 5757, 5857 および 5957 の機械的性質 (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	5 (1964), 80
R 41	Al-Mg 系合金の低温特性について	田 中 英 司	5 (1964), 150
R 42	アルミニウム合金製継目なし高圧ガス容器に関する二、三の実験とその材料基準 について	深 井 誠 吉 竹 内 村 治 中 村 治 授	5 (1964), 158
R 43	アルミニウム合金 X5002, 5007, 5008, 5009, および 5050 の機械的性質 (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	5 (1964), 170
R 44	アルミニウム合金 X5084, 5155, 5183, X5184, 5252 および 5257 の機械的性質 (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	5 (1964), 254
R 48	Al-Mg 合金展伸材の材質規格および機械的性質について	河 内 利 平 竹 中 英 治 田 中 英 司	5 (1964), 341
R 49	アルミニウム合金 6061, 6062, X6064 および X6161 の機械的性質 (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	5 (1964), 355
R 52	アルミニウム合金展伸材の高温引張性質 (その1) (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	6 (1965), 136
R 57	溶接構造用アルミニウム合金 ZG43 の機械的性質について (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	6 (1965), 209
R 61	アルミニウム合金伸展材の高温疲労強度 (その1) (データ・シート)	竹 内 勝 治	6 (1965), 315
R 64	アルミニウム合金溶接継手の疲労強度について	竹 内 勝 治	7 (1966), 39
R 66	アルミニウムの合金棒の座屈強サ (データ・シート)	竹 内 勝 治 中 村 治 授	7 (1966), 63
R 70	溶接構造用アルミニウム合金 ZQ50 の機械的性質について (データ・シート)	寺 井 士 郎 竹 内 勝 治 田 中 英 司 馬 中 場 義 雄	7 (1966), 114
R 73	アルミニウム合金展伸材の高温引張性質 (その2) データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	7 (1966), 182
R 76	Al-Zn-Mg 系合金の低温特性について	田 中 英 司	7 (1966), 236
R 79	アルミニウム合金 6051, 6151, X6251, 6351 および 6951 の機械的性質 (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	7 (1966), 253
R 83	アルミニウム合金製高圧ガス容器の新法規による製造ならびに検査について	竹 内 勝 治	8 (1967), 63
R 85	アルミニウム合金展伸材の高温疲労強度 (その2) (データ・シート)	竹 内 勝 治	8 (1967), 78
R 88	アルミニウム合金展伸材の高温引張性質 (その3) (データ・シート)	竹 内 勝 治 田 中 英 司	8 (1967), 133
R 92	溶接構造用アルミニウム合金 ZK41 の機械的性質について (データ・シート)	寺 井 士 郎 竹 内 勝 治 田 中 英 司 馬 中 場 義 雄	8 (1967), 194

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 95	構造用 Al-Zn-Mg 合金 ZK41 溶接部の諸性質について (データ・シート)	寺井士郎 竹杉内勝 馬場山禎 福井井義 安	8 (1967), 249
R 98	耐食アルミニウム合金7種の機械的性質 (第2報) (データ・シート)	竹内勝治 杉山中禎 田中村英彦 中福井地利昭 菊授安雄	9 (1968), 58
R 100	溶接構造用 Al-Zn-Mg 合金の疲労強度について	竹内勝治 田中中英司	9 (1968), 118
R 102	アルミニウム合金展伸材のクリープ強度 (データ・シート)	竹内勝治 田中中英司	9 (1968), 136
R 104	アルミニウム合金 5083 溶接部の低温特性について	田中英司 福井利安	9 (1968), 198
R 108	アルミニウム合金展伸材の高温疲れ強さ (その3) (データ・シート)	竹内勝治 田中中英司	9 (1968), 231
R 110	アルミニウム合金展伸材の切欠疲れ強さ (その1) (データ・シート)	竹内勝治 田中中英司	9 (1968), 278
R 114	アルミニウムおよびその合金のはんだ付け性について	杉山禎彦 入江宏	10 (1969), 67
R 118	アルミニウム合金展伸材の切欠疲れ強さ (その2) (データ・シート)	竹内勝治 田中中英司	10 (1969), 131
R 121	陽極酸化処理皮膜の弾性率測定	田中英司 鈴木木敏夫 平勝彦	10 (1969), 197
R 122	アルミニウムおよびその合金溶接継手の機械的性質 (データ・シート)	杉山禎彦 福入江宏	10 (1969), 199
R 123	構造用 Al-Zn-Mg 合金 ZK60 の諸性質 (データ・シート)	軽合金溶接 機械試験研究室	10 (1969), 258
R 124	アルミニウム合金溶接継手の機械的性質 (データ・シート)	杉山禎彦 福入江宏	10 (1969), 273
R 127	アルミニウム合金の許容応力について	竹内勝治 田中中英司	11 (1970), 175
R 135	溶接構造用 Al-Mg 系 283S 合金の諸性能 (データ・シート)	杉山中禎彦 田中場英司 馬場井義雄 福井安	12 (1971), 64
R 136	アルミニウム合金の疲労強度におよぼす塗装の影響	竹内勝治 田中村英和 藤司夫	12 (1971), 108
R 149	構造用 Al-Zn-Mg 合金 ZK47 の熱処理特性と機械的性質	馬場義雄 中高村授 島章	13 (1972), 103
R 153	アルミニウム合金展伸材のクリープ強度 (その2)	中村正 伊藤授夫	13 (1972), 159
R 154	アルミニウム合金 A5083P-O およびその溶接継手の軸方向荷重疲れ強さについて	竹内勝治 田中村英彦 中村和 叢授之	13 (1972), 218
R 197	アルミニウム合金溶接継手の疲れ限度線図 (データ・シート)	伊藤正義 竹島雄	17 (1976), 97
R 201	構造用 Al-Zn-Mg 合金 ZK141 の諸性質 (データ・シート)	軽合金研究室 構造研究 溶接研究室	17 (1976), 165
R 210	アルミニウム合金展伸材のねじり疲れ強さ (データ・シート)	竹島義雄 伊藤正夫	18 (1977), 162
R 216	構造用アルミニウム合金の軸方向疲れ限度線図 (データ・シート)	竹島義雄 伊藤正夫	19 (1978), 74



文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 221	アルミニウム合金部材のボルト継手強度に関する一実験	竹 島 義 雄 中 村 義 雄	19 (1978), 162
R 239	アルミニウム及びアルミニウム合金の熱間変形抵抗 (データ・シート)	千 田 憲 雄	21 (1980), 221
R 241	2024 系アルミニウム合金のクリープ特性	竹 島 義 雄	21 (1980), 284
R 245	Al-Cu, Al-Zn 及び各種実用アルミニウム合金板の加工硬化特性	土 田 信	22 (1981), 108
R 262	PSPC によるアルミニウム合金軟化板の X線硬さ測定について	武 藤 伸 之 野 世 溪 精	24 (1983), 31
R 263	アルミニウム合金溶接継手の疲労に関する最近の趨勢	竹 内 勝 治	24 (1983), 37
R 272	アルミニウム合金製継目なし高圧ガス容器に関する国内法規の改正と ISO 規格案の動向	竹 島 義 雄 浜 田 淳 司	24 (1983), 150
R 278	航空機用 7050 合金押出材の諸特性	吉 田 英 雄 宇 野 照 生 馬 場 義 雄	25 (1984), 118
R 303	熱交換器用押出材の非破壊検査	高 橋 伸 幸 直 江 正 久 昼 河 久 市	26 (1985), 247
R 342	アルミニウム及びアルミニウム合金製丸棒状鋳塊用自動超音波探傷装置の実用化	大 嶽 篤 高 林 伸 幸 龍 後 典 史 二	29 (1988), 202
R 344	ろう付ハニカムパネルの諸性能 - 機械的強度及び溶接性について -	中 西 広 難 波 野 藤 三 佐 伊 藤 圭 啓 泰 永	29 (1988), 218
R 352	高力軽合金材料と靱性	宇 野 照 生 新 家 光 雄	30 (1989), 150
R 367	自動車ボディ用アルミニウム合金板の特性	吉 田 英 雄 平 野 清 一	32 (1991), 20
R 372	自動車ボディ用アルミニウム合金データ・シート	渡 辺 勝 典 斎 藤 莞 爾	32 (1991), 91
R 375	アルミニウム圧延における形状検出器及び温度計測装置	若 林 広 行 大 高 嶽 伸 篤 幸	32 (1991), 205
R 385	自動車用アルミニウム合金データ・シート (その 1. 高強度形管棒鍛造用素材 GS210, GS110)	松 田 眞 一 吉 田 英 雄	33 (1992), 123
R 387	高速表面検査装置及び欠陥部映像化装置の適用例	高 橋 伸 幸 鶴 木 廣	33 (1992), 182
R 390	自動車用アルミニウム合金データ・シート (その 2. 自動車ボディパネル用合金板)	平 野 清 一 内 吉 田 俊 雄 吉 田 英 雄	33 (1992), 207
R 398	自動車用アルミニウム合金データ・シート (その 3. 自動車部材用合金板 (X662))	平 野 清 一 吉 田 英 雄	34 (1993), 55
R 445	アルミニウム合金押出材のエネルギー吸収特性	水 越 秀 雄 岡 田 英 彦 前 原 利 彦	37 (1996), 190
R 447	航空機用高強度 Al-Mg-Si-Cu 合金中空押出材の特性	佐 野 秀 男 谷 吉 眞 一 駒 田 英 雄 岩 上 敏 一 吉 野 明	38 (1997), 44
R 506	衝撃変形シミュレーションの基礎と応用例	水 越 秀 雄	45 (2004), 122
R 507	Al-Mg 合金板材のストレッチャーストレインマークとパネル面のひずみ分布状況	宇 都 秀 之 竹 島 義 雄	45 (2004), 128
R 511	薄肉で複雑形状が押出可能な高強度 Al-Cu-Mg-Si 合金 2013	佐 野 秀 男 松 田 眞 一 吉 田 英 雄 佐 野 秀 男	45 (2004), 168
R 518	2013-T6511 押出材の物理的性質および機械的性質	吉 田 野 秀 佐 藤 勝 也	46 (2005), 126
R 522	AA2013-T6511 押出材の疲労特性及び耐食性	加 藤 勝 也 佐 野 秀 男	47 (2006), 105

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 536	アルミニウム合金の高温変形	吉田 英雄 田中 宏樹	49 (2008), 87
R 544	自動車足回り用高強度アルミニウム鍛造合金の開発	松田 眞一	50 (2009), 56

## 5. 分 析

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 7	カントメーターによる銅合金, アルミニウム合金の分光分析について	沢田 敏男	1 (1960), 55
P 25	銅合金, アルミニウム合金の分光分析銅合金およびアルミニウム合金のカントメーターによる分光分析における他元素の影響について	沢田 敏男	2 (1961), 2
P 34	アルミニウム中の微量成分の分析法について (第1報) マンガン, チタン, ニッケル, バナジウムおよびスズの定量方法	橋本 雄栄 加藤 柳 昭 成	2 (1961), 161
P 39	アルミニウム中の微量成分の分析方法について (第2報) リチウム, ホウ素およびガリウムの定量方法	橋本 雄栄 加藤 柳 昭 成	2 (1961), 226
P 43	アルミニウム中の微量のベリリウムの光電定量	田中 礼次	2 (1961), 288
P 46	アルミニウム合金のカントメーター分析におよぼす熱処理の影響	沢田 敏男	3 (1962), 2
P 148	アルミニウムおよびアルミニウム合金中のバナジウムの定量方法	沢田 敏男 加藤 柳 昭 成	8 (1967), 18
P 152	けい光X線による定量分析の研究 (第6報) 定量精度について	沢田 敏男 加藤 柳 昭 成	8 (1967), 100
P 166	けい光X線分析における有効波長とマトリックスについて けい光X線による定量分析の研究 (第7報)	一柳 昭成	9 (1968), 99
P 195	p-フェノールスルホン酸の解離定数およびp-フェノールスルホン酸-硫酸電解浴中のp-フェノールスルホン酸, 硫酸およびアルミニウムの定量方法について p-フェノール酸-硫酸電解浴の分析方法 (第1報)	沢田 敏男 加藤 柳 昭 成	11 (1970), 49
P 208	p-フェノールスルホン酸-硫酸電解浴中のフェノールの一臭素化反応速度による定量方法について	加藤 栄	11 (1970), 218
P 223	けい光X線によるアルミニウムの化成皮膜の測定について	一柳 昭成	12 (1971), 181
P 230	けい光X線分析によるアルミニウム合金中の亜鉛と銅の定量について けい光X線による定量分析の研究 (第8報)	沢田 敏男 加藤 柳 昭 成	13 (1972), 116
P 241	アルミニウムのアロジ化成皮膜の組成について	一柳 昭成	14 (1973), 69
P 266	けい光X線分析の多元素連続測定におけるマトリックス効果の補正方法について	一柳 昭成 加藤 柳 昭 成	16 (1975), 3
P 383	二元系アルミニウム合金表面のX線光電子分光法による定量分析	花 木 和 宏	27 (1986), 74
P 456	アルミニウム合金塗装板のワックス量のFT-IRによる定量方法	西尾 正浩 今井 正也 神藤 光之	31 (1990), 197
R 169	スポットテストによるアルミニウム合金の簡易判別法	一柳 昭成 高島 成章	14 (1973), 186
R 172	アルミニウムおよびアルミニウム合金中の酸素分析方法 (その1)	加藤 栄	14 (1973), 253
R 175	オージェ電子分光について	西尾 正浩	15 (1974), 41
R 187	アルミニウムおよびアルミニウム合金中の酸素分析方法 (その2)	加藤 正也 今井 正也	15 (1974), 311
R 238	コンピュータ制御されたX線マイクロアナライザ	土田 信宏 花 木 和 宏	21 (1980), 213
R 260	分析電子顕微鏡とその応用	吉田 英雄	23 (1982), 192
R 280	アルミニウム及びアルミニウム合金溶湯の水素含有量の測定について	今井 正也 加藤 柳 昭 成	25 (1984), 134

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 286	フーリエ変換赤外分光光度計とその圧延油分析への応用例	花 木 和 宏	25 (1984), 264
R 294	アルミニウム圧延油中の異物分離について	花 木 和 宏	26 (1985), 98
R 299	高周波誘導結合プラズマ発光分光分析法について	西 尾 正 浩	26 (1985), 164
R 309	The Determination of Hydrogen Content in Molten Aluminium and Aliminium Alloys by SLM Hydrogen Determinator	Sakae Kato Masaya Imai	27 (1986), 91
R 388	Hydrogen in Aluminium and Aluminium Alloys (Part1)	Sakae Kato	33 (1992), 189
R 397	Hydrogen in Aluminium and Aluminium Alloys (Part2)	Sakae Kato	34 (1993), 39
R 405	Hydrogen in Aluminium and Aluminium Alloys (Part3)	Sakae Kato	34 (1993), 179
R 414	ガスクロマトグラフ-質量分析計とその潤滑油分析への応用	丹 羽 道 代 今 井 正 也	35 (1994), 103
R 415	レーザー回折/散乱式粒度分布測定装置とその製造プロセスへの応用	細 見 和 弘	35 (1994), 110
R 479	めっき基板製造における廃水処理技術	三 好 静 夫 豊 島 雅 康	41 (2000), 175

## 6. 接 合

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 119	アルミニウム合金薄板の細径線 MIG 半自動溶接について	杉 山 禎 彦	6 (1965), 53
P 122	構造用 Al-Zn-Mg 系合金の研究	杉 山 禎 彦 馬 場 義 雄	6 (1965), 97
P 144	構造用 Al-Zn-Mg 合金ZQ-50 の溶接性について	寺 井 士 郎 杉 山 禎 彦 馬 場 義 雄 福 井 利 安	7 (1966), 197
P 153	構造用 Al-Zn-Mg 系合金の溶接割れにおよぼす微量添加元素の影響	杉 山 禎 彦 福 井 利 安	8 (1967), 106
P 155	TIG 溶接法によるアルミニウムと軟鋼の接合についての検討	杉 山 禎 彦	8 (1967), 150
P 160	アルミニウムのハンダ付け継手の耐食性について	杉 山 禎 彦 入 江 宏	8 (1967), 230
P 162	構造用 Al-Zn-Mg 系合金の抵抗スポット溶接について	杉 山 禎 彦 福 井 利 安	9 (1968), 14
P 167	構造用 Al-Zn-Mg 系合金の MIG-Spot 溶接について	杉 山 禎 彦 福 井 利 安	9 (1968), 105
P 169	アルミと銅の摩擦溶接	杉 山 禎 彦 安 田 平 藤 崎 幸 男	9 (1968), 158
P 173	アルミニウム合金の高温割れにおよぼす微量添加元素の影響	福 井 利 安	9 (1968), 258
P 181	構造用 Al-Zn-Mg 系合金の溶接性におよぼす溶材の影響	杉 山 禎 彦 福 井 利 安	10 (1969), 111
P 182	On the Weld-Cracking and Micro-Fissuring of Weldable Al-Zn-Mg Alloys	寺 井 士 郎 杉 山 禎 彦 福 井 利 安	10 (1969), 148
P 183	アルミニウム合金の MIG 溶接におけるアルゴンガスへの窒素, 酸素および水素添加の影響	寺 井 士 郎 杉 山 禎 彦 福 井 利 安	10 (1969), 158
P 189	構造用 Al-Zn-Mg 系合金厚板の溶接性について	杉 山 禎 彦 福 井 利 安	10 (1969), 245
P 193	溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金の短時間加熱による時効挙動の変化	杉 山 禎 彦 福 井 利 安	11 (1970), 34
P 201	5083合金板突合せ溶接継手の残留応力 アルミニウム合金溶接継手の残留応力の研究 (第1報)	竹 内 勝 治 田 中 英 司 平 田 勝 彦	11 (1970), 133
P 202	アルミニウム合金溶接部の共晶融解と微小割れに関する研究	福 井 利 安	11 (1970), 139

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 203	アルミニウムの手動 TIG 溶接による片面溶接部の融合不良について	杉 山 禎 彦	11 (1970), 151
P 211	アルミニウム合金の摩擦溶接に関する研究	杉 山 禎 彦	11 (1970), 256
P 213	アルミニウム合金の溶接凝固組織とその機械的性質	福 井 利 安 難 波 圭 三	12 (1971), 3
P 217	アルミニウムと異種金属の爆発圧接の境界部における合金層の挙動	杉 山 禎 彦 福 井 利 安 難 波 圭 三	12 (1971), 101
P 219	5083 合金板突合せ溶接継手の局部加熱による残留応力の除去 アルミニウム合金溶接継手の残留応力の研究 (第 2 報)	竹 内 勝 治 田 中 英 彦 平 田 勝 彦	12 (1971), 124
P 220	"Ghost Defect" in Radiographs of Aluminum Alloy Welds	Eiichi Hiroswawa Masahisa Naoe Toshiyasu Fukui	12 (1971), 131
P 222	Al-Zn-Mg 合金溶接部の切欠靱性におよぼす時効と組織の影響	寺 井 士 郎 杉 山 禎 彦 福 井 利 安	12 (1971), 151
P 227	Solute Bands in Aluminum Alloy Welds	Toshiyasu Fukui Keizo Namba	13 (1972), 57
P 231	アルミニウム合金溶接部の機械的性質におよぼす溶質元素の分布状態の影響	福 井 利 安 難 波 圭 三	13 (1972), 122
P 235	Al-Zn-Mg 合金およびその溶接部の切欠靱性および引裂抵抗におよぼす Fe および Si の影響	福 井 利 安	13 (1972), 198
P 244	アルミニウム合金の溶接部における羽毛状晶の形成とその機械的性質におよぼす影響	福 井 利 安 難 波 圭 三	14 (1973), 132
P 253	Al-Mg-Mn 合金およびその溶接部の切欠靱性および引裂抵抗におよぼす鉄および珪素の影響	福 井 利 安 難 波 圭 三	15 (1974), 89
P 260	工業用純アルミニウムの溶接熱影響部の再結晶挙動について	難 波 圭 三 福 井 利 安 杉 山 禎 彦	15 (1974), 244
P 267	アルミニウム合金 5083 の溶接凝固組織とその機械的挙動	福 井 利 安 難 波 圭 三 杉 山 禎 彦	16 (1975), 9
P 270	Al-Zn-Mg 合金およびその溶接継手の破壊特性	中 村 利 安 福 井 義 和 竹 島 授 養 田 義 之	16 (1975), 75
P 273	Al-Zn-Mg 合金およびその溶接部の切欠靱性におよぼす遷移元素の影響	福 井 利 安	16 (1975), 94
P 278	微量の銅を含む溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金の応力腐食割れと機械的性質	馬 場 義 雄 高 島 章	17 (1976), 28
P 279	Al-Zn-Mg 合金の溶接性におよぼす微量 Cu の影響	福 井 利 安 杉 山 禎 彦 馬 場 義 雄	17 (1976), 38
P 292	実用 Al-Zn-Mg 合金厚板端面の溶接熱影響による組織変化	水 野 政 夫 菊 池 正 義 馬 場 利 安 福 井 義 和	18 (1977), 128
P 293	抵抗スポット溶接によるアルミニウムと軟鋼の接合	福 井 利 安 杉 山 禎 彦	18 (1977), 137
P 297	すみ肉溶接された実用 Al-Zn-Mg 系合金厚板端面の応力腐食割れに関する研究	吉 田 英 雄 福 井 利 安 馬 場 義 和	19 (1978), 95
P 302	アルミニウム合金 5083-O およびその溶接部における疲れき裂の進展	竹 島 義 雄	20 (1979), 30
P 306	機械的接合法によるアルミニウム合金およびそれらと軟鋼との継手の機械的性質	杉 山 禎 彦 安 永 秀 樹	20 (1979), 90
P 310	アルミニウムと異種金属のミグスポット溶接	杉 山 禎 彦	21 (1980), 23
P 318	自動車ボディ用アルミニウム合金の溶融溶接性	杉 山 禎 彦	21 (1980), 165
P 323	エッジの加熱形態と収束角について アルミニウム合金高周波誘導溶接管の製造に関する実験的研究 (第 1 報)	難 波 圭 三	21 (1980), 239
P 327	Al-Cu 系アルミニウム合金の溶接性 -溶接割れ感受性及び溶接継手の静的強さ-	杉 山 禎 彦	22 (1981), 3

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 332	アルミニウム合金溶接部の気孔に及ぼす溶接姿勢の影響	杉 山 禎 彦	22 (1981), 88
P 340	アルミニウム合金のミグスポット溶接部の割れについて	杉 山 禎 彦	23 (1982), 116
P 343	熱交換器用 BA11 合金管の成形条件について	難 波 圭 三	24 (1983), 13
P 344	Al-Mg-Si 溶接金属の機械的性質	杉 山 禎 彦	24 (1983), 21
P 346	熱交換器用 BA11 合金管の溶接条件について (高周波誘導溶接管の製造に関する実験的研究 第3報)	難 波 圭 三	24 (1983), 90
P 352	構造用 5038 合金管の造管条件について (高周波誘導溶接管の製造に関する実験的研究 第4報)	難 波 圭 三	25 (1984), 24
P 356	2219 合金厚板の溶接 - 溶接継手の機械的性質について -	杉 山 禎 彦 難 波 圭 三 佐 野 啓 路	25 (1984), 88
P 369	アルミニウム合金 6N01-T5 縦溶接継手の疲れ強さ	竹 島 義 雄	26 (1985), 68
P 379	核融合用 Al-4.7%Mg-0.3~1.3%Li 合金の溶接	難 波 圭 三 佐 野 啓 路	26 (1985), 230
P 380	真空ろう付用アルミニウム犠牲陽極フィン材の開発	田 部 善 一 馬 場 義 雄 宇 野 照 生 萩 原 理 樹	27 (1986), 1
P 389	Joining of Bi-metal Tube of Aluminium Alloy and Titanium to Titanium Tube Plate by Welding Process	Keizo Namba Yoshihiko Sugiyama	27 (1986), 154
P 465	ドロンカップ型エバポレータなどの中空構造体の真空ろう付性に及ぼすろうの溶融・流動状態の影響	伊 藤 泰 永 難 波 圭 三	32 (1991), 116
P 469	ブレージングシート低加工材のろうの侵食に及ぼす析出物分散状態の影響	山 内 重 徳 加 藤 健 志	32 (1991), 163
P 483	自動車ボディ用 Al-Mg 合金板のスポット溶接継手の疲労強度	水 越 秀 雄 難 波 圭 三 佐 野 啓 路	33 (1992), 22
P 487	アルミニウム合金板のスポット溶接特性に及ぼすアルミナ分散強化銅電極材の影響	熊 谷 正 樹 永 田 公 三 難 波 圭 三 佐 野 啓 路	33 (1992), 74
P 491	アルミニウムの真空ろう付け用機能分離型ろう材の検討	前 田 興 一 伊 藤 泰 永	33 (1992), 135
P 512	Development of Corrosion Resistant Brazing Sheet for Drawn Cup Type Evaporators Part 1. Alloy Development	Shigenori Yamauchi Yoshifusa Shoji Kenji Kato Yuji Suzuki Keizo Takeuchi Yasuaki Isobe	34 (1993), 140
P 520	Development of Corrosion Resistant Brazing Sheet for Drawn Cup Type Evaporators Part 2. Application to Evaporator	Yasuaki Isobe Keizo Takeuchi Minoru Tanaka Masami Mori Shigenori Yamauchi Keizo Namba	34 (1993), 245
P 522	ブレージングシートのろう付け性に及ぼす Al-Si ろう材成分及びろう付け条件の影響	前 田 興 一 伊 藤 泰 永 難 波 圭 三	35 (1994), 57
P 530	アルミニウム合金板抵抗スポット溶接用 STAR 電極の開発	熊 谷 正 樹 佐 野 啓 路 永 田 公 三 難 波 圭 三	35 (1994), 145
P 578	Fatigue Properties of Mechanical Fastening Joints	Hideo Mizukoshi Hideto Okada	38 (1997), 107
P 595	Fatigue Properties of Brazed Aluminium Honeycomb Panels	Hideo Mizukoshi Kenji Yamada Hideto Okada Eiji Imoto	39 (1998), 69
P 626	Development of Quad-layer Clad Brazing Sheet for Drawn Cup Type Evaporators : Part 1	Toshihiko Fukuda Hiroshi Ikeda Yoshiharu Hasegawa Toshiya Nagasawa	42 (2001), 49

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 627	Development of Quad-layer Clad Brazing Sheet for Drawn Cup Type Evaporators : Part 2	Toshiya Nagasawa Yoshiharu Hasegawa Hiroshi Ikeda Toshihiko Fukuda	42 (2001), 57
P 631	Properties of Aluminium Wide Panels Produced by Friction Stir Welding	Masaki Kumagai Sunao Tanaka	42 (2001), 82
P 640	アルミニウムクラッドフィン材のろう付性に及ぼす芯材およびろう材のけい素濃度の影響	久 富 裕 二 正 路 美 房	43 (2002), 43
P 642	半導体レーザのアルミニウム合金溶接への適用性	前 田 興 一 阿 部 信 行 熊 谷 波 正 樹 難 波 圭 三	43 (2002), 56
P 643	Joining Dissimilar Alloys between A5083 and A6N01 by Friction Stir Welding	Sunao Tanaka Masaki Kumagai	43 (2002), 62
P 644	Integral Wing Panel for Airplanes Produced by Friction Stir Welded Extrusion Shapes	Masaki Kumagai Sunao Tanaka Hidenori Hatta Hideo Yoshida Hiroaki Sato	43 (2002), 69
P 645	アルミニウム合金の抵抗スポット溶接に及ぼす諸条件の影響	熊 谷 正 樹	43 (2002), 75
P 671	Al-Cu-Mg-Si 系合金の摩擦攪拌接合部組織に及ぼす工具回転数の影響	田 中 直 熊 谷 正 樹 吉 田 英 雄	45 (2004), 36
P 694	Improvement in the Brazeability of Aluminum Clad Thinner Fin for Automotive Heat Exchanger	Yuji Hisatomi Yoshifusa Shoji Taketoshi Toyama Yoshiharu Hasegawa	46 (2005), 77
P 708	超音波はんだ付によるアルミニウム合金と異種金属との接合に関する研究	井 神 浩	47 (2006), 85
P 713	摩擦攪拌点接合によるアルミニウム合金板と鋼板の異種金属接合	田 中 晃 二 熊 谷 正 樹 吉 田 英 雄	48 (2007), 21
P 714	炭素鋼管と AA5154 アルミニウム管の摩擦圧接における温度解析	大久保 喜 正 岩 村 太 信 吾 八 太 秀 周	48 (2007), 27
P 729	Improvement in Ductility of Friction Stir Welded Al-Mg-Si Alloy T4 Sheet	Tadashi Minoda Mineo Asano Koji Tanaka Masaki Kumagai	49 (2008), 41
P 741	Dissimilar Metals Joining of Aluminum Alloy and Steel sheets by Friction Stir Spot Welding	Koji Tanaka Masaki Kumagai Hideo Yoshida	50 (2009), 31
P 742	ブレージングシートの耐食性に及ぼすろう材厚さの影響	山 下 尚 希 正 路 美 房	50 (2009), 38
R 2	アルミニウムおよびその合金の加工技術： アルミニウムおよびその合金のアルゴン・アーク溶接 (1)	小 林 藤次郎	1 (1960), 129
R 9	アルミニウムおよびその合金の加工技術： アルミニウムおよびその合金のアルゴン・アーク溶接 (2)	小 林 藤次郎	2 (1961), 87
R 15	アルミニウムおよびその合金の加工技術： ガス溶接-酸素・アセチレン溶接	小 林 藤次郎	2 (1961), 334
R 39	ALCAN キングストン研究所における溶接研究室について	杉 山 禎 彦	5 (1964), 136
R 60	溶接構造用アルミニウム合金 ZG43 の溶接強度について	寺 井 士 郎 杉 山 禎 彦 福 井 利 安	6 (1965), 302
R 65	加工性良好な Al-Zn-Mg 系合金管およびその溶接性	寺 井 士 郎 杉 山 禎 彦 馬 場 義 雄 福 井 利 安	7 (1966), 57
R 67	JIS 耐食アルミニウム合金 7 種の MIG 溶接	杉 山 禎 彦	7 (1966), 94
R 74	アルミニウムおよびその合金のスタッド溶接 -特に建材への利用について-	小 林 藤次郎 大 三 辻 久 男 三 木 隆	7 (1966), 212

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 95	構造用 Al-Zn-Mg 合金 ZK41 溶接部の諸性質について (データ・シート)	寺井士郎 竹内勝彦 杉山禎義 馬場井利 福井義郎	8 (1967), 249
R 113	溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金について	寺井士郎 馬場井義雄	10 (1969), 42
R 114	アルミニウムおよびその合金のはんだ付け性について	杉山禎彦 入江宏	10 (1969), 67
R 123	構造用 Al-Zn-Mg 合金 ZK60 の諸性質	軽合金溶接 機械試験研究室	10 (1969), 258
R 135	溶接構造用 Al-Mg 系 283S 合金の諸性能 (データ・シート)	杉山禎彦 田中場井 馬場井義雄 福井利安	12 (1971), 64
R 144	アルミニウム合金薄板の溶接性および溶接部の諸性質	杉山禎彦 福井利安	13 (1972), 18
R 154	アルミニウム合金 A5083P-O およびその溶接継手の軸方向荷重疲れ強さについて	竹内勝彦 田中村和 中村田和 養授之	13 (1972), 218
R 157	熱交換器用アルミニウム材料の最近の状況	竹内勝彦 杉山野 件江 姫入健宏	14 (1973), 35
R 161	ふっ素イオンのふっ化カルシウムとしての沈殿条件	加藤 栄	14 (1973), 101
R 166	家庭用ルーム・クーラーのアルミ化に関する最近の情報と実機試験結果 その3 冷媒管の接合方法および継手腐食	杉山禎彦 入江野宏 姫健	14 (1973), 162
R 171	アルミニウム合金の重ねすみ肉溶接割れ試験	福井利安 杉山禎彦	14 (1973), 246
R 182	アルミニウム用市販接着剤の継手強度とその応用	入江谷宏 関仁司	15 (1974), 194
R 183	アルミニウム合金の永久裏当て付きミグ片面溶接部におけるルート割れと裏当て 面からの割れ防止対策	杉山禎彦	15 (1974), 205
R 197	アルミニウム合金溶接継手の疲れ限度線図 (データ・シート)	伊藤正夫 竹島義雄	17 (1976), 97
R 219	5083 合金溶接部の機械的性質と合金成分との関係	杉山禎彦	19 (1978), 140
R 221	アルミニウム合金部材のボルト継手強度に関する一実験	竹中義雄 村授	19 (1978), 162
R 231	アルミニウムのろう付け技術の進歩 -主として VAW プロセスについて-	福井利安 入種充 杉山禎彦	21 (1980), 76
R 263	アルミニウム合金溶接継手の疲労に関する最近の趨勢	竹内勝彦 治	24 (1983), 37
R 265	静水圧押出法によるアルミニウム-銅トランジション・ピースについて	佐野秀夫 家田男	24 (1983), 66
R 297	最近のアルミニウムろう付技術	難波圭三 杉山禎彦	26 (1985), 145
R 344	ろう付ハニカムパネルの諸性能 -機械的強度及び溶接性について-	中難波圭三 難佐野啓 伊藤藤泰 永	29 (1988), 218
R 350	アルミニウムろう付における侵食について	伊藤藤泰 難波圭三 永	30 (1989), 103
R 370	自動車ボディ用アルミニウム合金板の接合	難波圭三 佐野秀 水越路 長谷川義文	32 (1991), 56

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 386	ろう付アルミニウム・ハニカムパネル製大型キャノピーの設計と施工	山 口 進 吾 奥 横 戸 行 郎 小 堀 英 一 田 田 秀 之 英 雄 俊	33 (1992), 173
R 399	最近の航空機用アルミニウム合金の開発動向	吉 田 英 雄 内 田 秀 俊	34 (1993), 87
R 402	真空ろう付技術による大型高圧熱交換器の開発と実用化	三 井 浩 次 安 孫 子 郎 上 難 田 哲 男 波 文 生 文 圭 三	34 (1993), 156
R 404	自動車用アルミニウム合金の接着接合技術	宇 佐 見 勉 長 谷 川 義 文	34 (1993), 171
R 424	ろう付けアルミ・ハニカムパネルを用いた赤潮調査船の設計・建造	金 子 幸 雄 竹 内 勝 治 青 景 和 成 秋 原 理 樹	35 (1994), 228
R 432	アルミニウム合金製ろう付ハニカムパネル屋根構造の紹介 (アルミニウム合金製複合パネルを用いた構造デザイン)	檜 山 裕 二 田 中 上 幹 郎 村 堀 正 三 堀 正 祐 三	36 (1995), 110
R 443	アルミニウム合金ハニカムサンドイッチパネル	宇 佐 見 勉 望 月 浩 一	37 (1996), 99
R 461	ろう付けハニカムパネルの開発とその応用	伊 藤 泰 永 難 波 圭 三	39 (1998), 130
R 462	アルミニウムブレードパネルの自動車アンダーボディへの適用	伊 藤 泰 永	39 (1998), 136
R 469	最近のアルミニウム合金の接合技術	熊 谷 正 樹	40 (1999), 122
R 470	自動車熱交換器用アルミニウム材料のろう付け技術	正 路 美 房	40 (1999), 132
R 493	アルミニウム合金接合技術の最近の動向	熊 谷 正 樹	43 (2002), 139
R 502	航空宇宙分野への FSW の適用	熊 谷 正 樹	44 (2003), 142
R 508	アルミニウム合金の半導体レーザ溶接の現状と動向	前 田 興 一	45 (2004), 138
R 509	ドイツにおける摩擦攪拌接合及びアーク溶接施工技術の動向 —研究及び会社訪問報告	難 波 圭 三	45 (2004), 144
R 520	Friction Stir Welded Products in the Aluminium Mill Shop	Masaki Kumagai Sunao Tanaka	46 (2005), 141
R 525	アルミニウムリサイクル材使用「SUNTORY マーメイド号」航海後の素材状況調査	尾 崎 良 太 前 田 興 一	47 (2006), 123
R 541	最近のブレージングシートおよびフラックス	久 富 裕 二	49 (2008), 172
N 3	不活性ガス雰囲気ろう付法 (VAW 法) におけるカーエアコン防食システム W38C-MC03 について	—	23 (1982), 205
N 5	アルミニウム合金溶接管 —BF 管と SF 管—	—	24 (1983), 77
N 43	摩擦攪拌接合によるアルミニウム合金広幅素材	—	40 (1999), 172

## 7. 表面処理

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 129	褐色アルマイト用 Al-Cr-Mn 合金の研究	寺 井 士 郎 網 馬 谷 俊 男 場 義 雄	6 (1965), 176
P 197	ショウ酸-硫酸浴によるアルミニウムの陽極酸化処理	寺 井 士 郎 鈴 木 敏 夫	11 (1970), 69
P 198	アルミニウム合金の疲労強度におよぼす表面処理の影響	竹 内 勝 治 田 中 英 司 鈴 木 敏 夫	11 (1970), 77
P 223	けい光 X 線によるアルミニウムの化成皮膜の測定について	一 柳 昭 成	12 (1971), 181
P 241	アルミニウムのアロジン化成皮膜の組成について	一 柳 昭 成	14 (1973), 69



文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 282	Die Erzeugung der anodischen Oxidschichten mit Eigenfärbung auf Aluminium in Schwefelsäure	Yosbikatsu Hayashi	17 (1976), 102
P 300	アルミニウム表面処理材の糸状腐食に関する研究	鈴木 敏 夫 池 田 夫 洋	20 (1979), 12
P 305	Some Investigations on Surface Treatment of Aluminium-Steel Bimetallic Panel for Auto Body	Yosbihumi Hasegawa	20 (1979), 76
P 312	印刷用アルミニウム板のエッチング法	鈴木 敏 夫 林 美 克	21 (1980), 39
P 322	二次電解におけるニッケルの析出に関する 2, 3 の考案	横山 正義 林 正 美 克	21 (1980), 233
P 338	二次電解着色反応機構と陽極酸化皮膜構造に関する研究	林 美 克	23 (1982), 100
P 339	高温酸化法による太陽熱選択吸収面	安 藤 誠	23 (1982), 110
P 353	アルマイト皮膜と塗膜密着性	鈴木 敏 夫 伊 藤 秀 男	25 (1984), 31
P 361	高純度アルミニウム箔の電解エッチング中における交流インピーダンス	林 美 克	25 (1984), 177
P 372	陽極酸化及び二次電解着色における処理槽内の電位分布	長谷川 義 文 西 野 正 男	26 (1985), 130
P 382	アルミニウムの接着下地処理	安 藤 誠	27 (1986), 69
P 393	交流エッチング後の静電容量に及ぼす高純度アルミニウム箔中の微量添加元素の影響	福 岡 潔 倉 橋 正 晴	28 (1987), 7
P 398	アルカリケイ酸塩を含む親水性コーティングに対する有機ガスの吸脱着に関する一実験	長谷川 義 文 今 井 正 也 西 野 正 男	28 (1987), 62
P 411	Paint Durability with High Speed Phosphoric Acid Anodic Oxide Film	Tsutomu Usami Yoshifumi Hasegawa	29 (1988), 106
P 416	磁気ディスク基板用無電解 Ni-P めっき処理における前処理の影響について	米 光 誠 池 田 洋	29 (1988), 235
P 427	空調機用フィン表面樹脂塗膜の親水性の変化	清 谷 明 弘 今 春 井 日 也 春 井 日 也 司	30 (1989), 31
P 428	リン酸陽極酸化皮膜とエポキシポリマーの化学的相互作用	今 井 正 也 西 尾 正 浩 宇 佐 見 勉 長 谷 川 義 文	30 (1989), 36
P 432	リン酸陽極酸化皮膜表面の活性化水酸基数の評価	今 井 正 也 西 尾 正 浩	30 (1989), 72
P 438	アルミニウム合金とポリウレタン塗料の接着性	宇 佐 見 勉 今 井 正 也 長 谷 川 義 文	30 (1989), 134
P 443	陽極酸化皮膜中アニオンの塗膜接着耐久性に及ぼす影響	宇 佐 見 勉 今 井 正 也 長 谷 川 義 文	30 (1989), 206
P 457	磁気ディスク基板用無電解 Ni-P めっき皮膜に及ぼす浴条件と膜厚の影響	米 光 誠 花 木 和 宏 池 田 洋	31 (1990), 229
P 458	電解コンデンサ用アルミニウム箔の交流エッチング後の静電容量に及ぼす析出ケイ素の影響	福 岡 潔 倉 橋 正 晴	31 (1990), 238
P 460	アルミニウム合金表面に生成したリン酸亜鉛皮膜について	清 谷 明 弘 伊 藤 秀 高 小 西 山 尾 正 浩	31 (1990), 255
P 466	電解コンデンサ用アルミニウム箔の直流エッチング初期のピット発生とトンネル成長機構	大 沢 伸 夫 福 田 岡 善 一	32 (1991), 124
P 467	リン酸陽極化皮膜上の水酸基が表面の諸性質に果たす役割	宇 佐 見 勉 今 井 正 也	32 (1991), 132
P 473	クロム酸クロメート皮膜生成に及ぼす pH 及び電位の影響	伊 藤 秀 高 小 清 山 弘 西 尾 正 浩	32 (1991), 192

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 474	磁気ディスク基板用無電解 Ni-P めっき皮膜に及ぼす合金組成の影響	米 光 誠 平 野 清 池 田 一 洋	32 (1991), 198
P 495	電解コンデンサ用アルミニウム箔の直流エッチング時の初期ピット形成機構	大 沢 伸 夫 福 岡 善 一 田 部 善 一	33 (1992), 166
P 500	Effects of Sulfuric Acid on Tunnel Etching of Aluminium in Hydrochloric Acid	Atsushi Hibino Mitsuhiro Tamaki Yoshiaki Watanabe Takeo Oki	33 (1992), 236
P 504	空調用熱交換器の除霜性に及ぼすフィン表面処理の影響	春 日 司 清 谷 弘 佐 藤 明 野 世 溪 好 野 世 溪 精	34 (1993), 20
P 508	Al-Mg 合金の高温酸化について	米 光 誠	34 (1993), 81
P 514	定電位電解における高純度アルミニウム箔のエッチング特性	日 比 野 淳 沖 猛 雄	34 (1993), 199
P 515	高純度アルミニウム箔のエッチング性に及ぼす微量インジウムの影響	福 岡 潔 倉 橋 正 晴	34 (1993), 205
P 516	オーギュ電子分光分析による Al-4.5mass%Mg 合金の高温酸化抑制に関する研究	米 光 誠	34 (1993), 213
P 524	直流エッチング時の初期ピット形成に及ぼす高純度アルミニウムの結晶面方位の影響	福 岡 潔 大 沢 伸 夫	35 (1994), 90
P 535	電解コンデンサ用アルミニウム箔の酸浸漬によるピット発生と界面インピーダンス特性	日 比 野 淳 福 岡 潔	36 (1995), 72
P 539	定電位エッチング下でのアルミニウム箔のエッチング挙動と界面インピーダンス応答	日 比 野 淳 福 岡 潔	36 (1995), 121
P 540	電解コンデンサ用高純度アルミニウム箔の交流エッチング性に及ぼすチタンの影響	福 岡 潔 佐 々 木 茂 正 倉 橋 正 晴	36 (1995), 127
P 541	直流エッチング時のピット形成に及ぼす高純度アルミニウム箔の引張り伸びの影響	福 岡 潔 大 沢 伸 夫	36 (1995), 133
P 542	自動車ボディ用アルミニウム合金板の化成処理性と耐糸錆性に及ぼす研削の影響	蘇 山 建 堂 小 山 高 弘	36 (1995), 139
P 543	自動車ボディパネル用電気メッキ処理アルミニウム合金板の化成処理性及び耐食性	小 山 高 弘 池 相 武 隆 保 母 芳 彦	36 (1995), 147
P 560	Al-Mg 合金の高温酸化におけるホウフッ化ナトリウムの影響	高 砂 志 朗 土 田 信	37 (1996), 120
P 561	アルミニウム陽極酸化皮膜の絶縁破壊挙動に及ぼす不純物元素の影響	福 岡 潔 日 比 野 淳 佐 々 木 茂 明	37 (1996), 126
P 562	Electrochemical Behaviour of Zinc Phosphating on Aluminium Alloys for Autobody Panels	Chian-Tang Su Takahiro Koyama	37 (1996), 133
P 577	高純度アルミニウム箔の交流エッチング特性に及ぼす微量タングステンの影響	福 岡 潔 倉 橋 正 晴 佐 々 木 茂 明 日 比 野 淳	38 (1997), 100
P 602	電解コンデンサ用アルミニウム箔の直流エッチング挙動に及ぼす結晶性酸化物の影響	大 澤 伸 夫 福 岡 善 一	40 (1999), 16
P 613	電解コンデンサ用アルミニウム箔の交流エッチング時の初期ピット形成に及ぼす Ti の影響	大 澤 伸 夫 福 岡 善 一	41 (2000), 23
P 614	電解コンデンサ用高純度アルミニウム箔のピット形成に及ぼす電解液浸漬時間の影響	大 澤 伸 夫 本 居 徹 也 福 岡 善 一	41 (2000), 28
P 615	電気化学的処理と化学吸着によるアルミニウム表面の超はっ水化	成 田 緑 春 谷 明 清 谷 弘 明 司	41 (2000), 33
P 629	電解コンデンサ用高純度アルミニウム箔の直流エッチング挙動に及ぼす表面形態の影響	大 澤 伸 夫 福 岡 善 一	42 (2001), 71

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 630	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> スピネル存在下におけるアルミニウムの陽極酸化挙動	大 澤 伸 夫 福 岡 夫 潔	42 (2001), 77
P 639	The Behavior of Aluminum Foil for Electrolytic Capacitors during Early Stage of DC Etching	Nobuo Osawa Kiyoshi Fukuoka	43 (2002), 35
P 655	電解コンデンサ用アルミニウム箔の直流エッチング特性に及ぼす微量元素の影響	大 澤 伸 夫 日比野 淳 夫	44 (2003), 12
P 656	高圧電解コンデンサ用アルミニウム箔のエッチング特性に及ぼす Mg と Cu の影響	日比野 淳 夫 大 澤 伸 夫 竹 井 邦 夫	44 (2003), 19
P 677	結晶性酸化物と陽極酸化皮膜の形成挙動	大 澤 伸 夫 日比野 淳 夫	45 (2004), 73
P 689	プレコートアルミニウム合金板における皮膜特性に及ぼすインナーワックスの影響	竹 田 委 央 細 見 和 弘	46 (2005), 49
R 17	アルミニウムの表面処理について (第1報) 陽極酸化皮膜の生成機構について	池 田 栄 三 網 谷 俊 男	3 (1962), 82
R 22	アルミニウムの表面処理について (第2報) 陽極酸化皮膜の性質におよぼす生成反応と溶解反応との基本的問題について	鈴 木 敏 夫 西 邑 弘 夫	4 (1963), 64
R 25	アルミニウムの表面処理について (第3報) 工業的陽極酸化法について	西 邑 弘 夫 鈴 木 敏 夫	4 (1963), 141
R 27	アルミニウムの表面処理について (第4報) 工業的陽極酸化 (II)	西 邑 弘 夫 鈴 木 敏 夫	4 (1963), 212
R 32	アルミニウムの表面処理について (第5報) 硬質陽極酸化法	鈴 木 敏 夫 西 邑 弘 夫	4 (1963), 297
R 37	アルミニウムの表面処理について (第6報) 陽極酸化皮膜の仕上げ方法 (着色と封孔)	西 邑 弘 夫 鈴 木 敏 夫	5 (1964), 72
R 47	アルミニウムおよびその合金の発色陽極酸化皮膜処理法について	寺 井 士 郎 鈴 木 敏 夫	5 (1964), 330
R 58	アルミニウムの表面処理について (第7報) 陽極酸化皮膜の性能試験法に関する考察	鈴 木 敏 夫 西 邑 弘 夫	6 (1965), 284
R 101	アルミニウムの着色	寺 井 士 郎 鈴 木 敏 夫	9 (1968), 130
R 121	陽極酸化処理皮膜の弾性率測定	田 中 英 司 鈴 木 敏 夫 平 田 勝 彦	10 (1969), 197
R 131	EDECA 法による新しいアルミニウムおよびその合金の電着塗装法	寺 井 士 郎 木 全 鎮 松 尾 弘 任	12 (1971), 28
R 136	アルミニウム合金の疲労強度におよぼす塗装の影響	竹 内 勝 治 田 中 英 司 藤 村 和 夫	12 (1971), 108
R 155	アルミニウムの陽極酸化皮膜の封孔	鈴 木 敏 夫	13 (1972), 225
R 168	アルミ建材の表面処理 アルミサッシのアルマイト加工法について	一 柳 昭 成 鈴 木 敏 夫 林 美 克	14 (1973), 174
R 173	EDECA Process, Electrodeposition Coating of Aluminum	Shiro Terai Akinari Ichiryu Toshio Suzuki Yoshifumi Hasegawa	15 (1974), 25
R 180	The Process for the Production of Electrolytically Etched and Anodised Strip - For Lithographic Plates	Shiro Terai Toshio Suzuki Yoshikatsu Hayashi	15 (1974), 143
R 184	Sumitone Integral - Color Anodising Process	Shiro Terai Toshio Suzuki Yoshikatsu Hayashi	15 (1974), 215
R 192	アルミニウムの化成皮膜処理の現況	一 柳 昭 成 鈴 木 敏 夫 前 田 利 徳	16 (1975), 131
R 204	陽極酸化皮膜及びその上に施されたクリアー塗膜の吸水性	長谷川 義 文	18 (1977), 49
R 212	限外ろ過法の電着塗装への応用	長谷川 義 文	19 (1978), 35

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 213	最近のアルミニウム表面処理について	鈴木敏夫 長谷川義文	19 (1978), 49
R 218	陽極酸化処理したアルミニウムの屋外耐食性	鈴木敏夫	19 (1978), 129
R 233	塗膜の透水性	関谷仁司	21 (1980), 140
R 243	交流インピーダンス法の金属表面への適用	林美克	22 (1981), 62
R 248	アルミニウムと塗膜の密着性	関谷仁司	23 (1982), 28
R 250	熱交換器用アルミニウムフィン材についての最近の状況	斎藤莞爾 土関前田仁利 藤田谷田	23 (1982), 42
R 253	選択吸収膜と太陽熱集熱器に関する技術資料	竹平内田勝治 竹今島勝彦 安藤井義正 岡江本正 大田中田哲	23 (1982), 127
R 270	コンピュータを利用した電気化学的測定システム	林美克	24 (1983), 134
R 274	陽極酸化皮膜及びエッチング粗面の微細構造とそれに及ぼす微量元素の影響	林美克	25 (1984), 47
R 324	空調用熱交換器アルミニウムフィン材	野世溪利精 前田島義徳 知念武正 西野山勉 森野山	28 (1987), 101
R 326	Al/PVC 複合板電磁波シールド材 (その 1. 電磁波障害とその規制について)	高谷鉄郎 斉藤雄二郎	28 (1987), 149
R 329	Al/PVC 複合板電磁波シールド材 (その 2. 製造方法及び物性)	長谷川義文 西野正男	28 (1987), 214
R 339	Al/PVC 複合板電磁波シールド材 (その 3. シールド効果の測定と評価法)	林典史 田中健二	29 (1988), 154
R 365	当社における缶用広幅塗装ラインの概要	遠藤栄一 田中日出樹 布国篤俊 秋保不二夫	31 (1990), 283
R 371	自動車ボディ用アルミニウム合金板の表面処理	長谷川義文 清伊藤明 宇佐見高弘 小佐山	32 (1991), 74
R 377	空調機熱交換器用表面処理アルミニウムフィン材について	清谷明弘 春日司 野世溪精 佐藤藤好生	32 (1991), 255
R 379	アルミニウム合金接着接合のための表面処理技術	宇佐見勉	32 (1991), 274
R 383	水酸化ナトリウム溶液中におけるアルミニウム合金のエッチング挙動	宇佐見勉	33 (1992), 105
R 389	アルミニウム合金船の塗装 (その 1. 有機スズ化合物規制)	鈴木敏夫	33 (1992), 200
R 394	最近の建築用自然発色アルミニウム合金	森山勉 土田信	33 (1992), 268
R 404	自動車用アルミニウム合金の接着接合技術	宇佐見勉 長谷川義文	34 (1993), 171
R 409	家庭用及び業務用空調機の熱交換器に用いられるアルミニウムフィン材の開発状況	清谷明弘 春日司 佐藤藤好生 玉置宏	35 (1994), 1
R 418	洗浄レス対応のプレコート潤滑処理アルミニウム合金板	伊藤秀男 竹島義雄	35 (1994), 166
R 419	アルミニウム缶エンド・タブ用水性塗料	花木和宏 成田宏緑	35 (1994), 178

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 433	アルミニウムの多色電解着色法について	高 砂 志 朗 渡 辺 吉 章	36 (1995), 155
R 435	各種塗装板の UV インキ印刷性と密着性について	花 木 和 宏 磯 村 紀 寿	36 (1995), 171
R 436	溶射によるアルミニウム合金の表面改質 - 硬質皮膜形成 -	加 藤 周一郎	36 (1995), 176
R 438	次世代のハードディスク基板について - ヘッド低浮上化に対応した基板表面 -	米 光 誠 畑 山 博 史	36 (1995), 203
R 453	自動車ボディ用アルミニウム合金のリン酸亜鉛処理技術	宇 佐 見 勉 蘇 建 堂	38 (1997), 161
R 465	電解コンデンサ陽極用アルミニウム箔のピット生成に及ぼす材料の影響	福 岡 潔	40 (1999), 85
R 476	陽極酸化被膜の抗菌化	宇 佐 美 勉	41 (2000), 130
R 478	Development of Nickel-Phosphorus Plated Aluminium Substrates for High Density Hard Disks	Yasuhiro Hosomi Nobuyuki Muto Junichi Ito Koichiro Takiguchi Katsuhide Kuroki	41 (2000), 147
R 479	めっき基板製造における廃水処理技術	三 好 静 夫 豊 島 雅 康	41 (2000), 175
R 482	アルミニウム箔熱処理時の微量元素の表面偏析	福 岡 潔	42 (2001), 131
R 483	表面処理アルミニウムフィン材の表面摩擦特性について	清 谷 明 弘 春 日 好 司 佐 藤 好 生 成 田 緑 磯 村 紀 孝 城 戸 寿 聡	42 (2001), 143
R 494	新機能プレコートアルミニウム合金板「スミカラー」	宇 佐 見 勉 伊 藤 秀 充 玉 置 秀 宏	43 (2002), 148
R 521	電解コンデンサ用高純度アルミニウム箔のエッチング技術	大 澤 伸 夫	47 (2006), 98
R 524	耐傷つき性に凍れたプレコートアルミニウム板	道 木 隆 徳 細 見 和 弘	47 (2006), 118
R 525	アルミニウムリサイクル材使用「SUNTORY マーメイド号」航海後の素材状況調査	尾 崎 良 太 前 田 興 一	47 (2006), 123
R 530	空調用アルミニウム表面処理フィン材の歩み	清 谷 明 弘	48 (2007), 101
R 540	空調機熱交換器用プレコートアルミニウムフィン材	清 谷 明 弘	49 (2008), 158
N 20	磁気ディスク用アルミニウムサブストレート及び NiP めっき基板	-	31 (1990), 157
N 29	ハード・ディスク用 Ni-P 基板	-	35 (1994), 252
N 44	プレコート潤滑処理アルミ合金板	-	40 (1999), 174
N 45	赤外線反射カラーアルミ	-	40 (1999), 176
N 46	耐汚染性カラーアルミ	-	40 (1999), 177

## 8. 腐食

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 12	アルミニウム波板の海岸地方における耐候試験について	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	1 (1960), 110
P 27	アルミニウムおよびアルミニウム合金の流水による腐食に関する研究	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	2 (1961), 39
P 47	アルミニウムおよびその合金と異種金属の接触腐食におよぼす表面処理の影響	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	3 (1962), 9
P 54	原油の常圧蒸溜装置用の金属材料の腐食に関する研究	佐 藤 史 郎	3 (1962), 123
P 122	構造用 Al-Zn-Mg 系合金の研究	杉 山 禎 彦 馬 場 義 雄	6 (1965), 97

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 123	石油精製プラント水添脱硫装置における各種金属材料の実施腐食試験の結果	佐藤史郎	6 (1965), 111
P 125	酸性水溶液中のアルミニウム合金の分極曲線測定について	田部善一	6 (1965), 124
P 128	Al-Mg-Si 系合金の研究 (第8報) 本系合金の耐食性におよぼす Mg/Si 量比と二, 三の添加元素の影響について	寺井士郎 馬場義雄	6 (1965), 163
P 160	アルミニウムのハンダ付け継手の耐食性について	杉山禎彦 入江彦宏	8 (1967), 230
P 165	河海水中の銅含有量について	田中礼次	9 (1968), 91
P 180	アルミニウム合金の腐食疲れおよび長期間腐食後の疲れ強さについて	竹内勝治 田中井英利 福井司安	10 (1969), 100
P 184	アルミニウム合金溶接部の腐食に関する研究	寺井士郎 杉萩禎彦 福井理樹 安	10 (1969), 166
P 191	Al-Zn-Mg 系合金厚板の機械的性質と応力腐食割れ	馬場義雄 高島章	11 (1970), 15
P 204	アルミニウムとその合金の塗装板に発生する糸状腐食に関する研究	萩原理樹	11 (1970), 162
P 207	アルミニウム合金表面処理材の海水による腐食の研究	萩原理樹	11 (1970), 207
P 221	亜鉛拡散処理被膜によるアルミニウムの孔食防止	馬場義雄 直江久樹 萩原理樹	12 (1971), 139
P 226	Al, Cu, Zn, Sn ならびに Fe の Metal-S-Cl-H <sub>2</sub> O 系電位-pH 図	田部善一	13 (1972), 13
P 238	Al-Mg 合金の応力腐食割れにおよぼす Cu と Zr 添加の影響	馬場義雄	14 (1973), 15
P 240	Al-Mg 合金の応力腐食割れにおよぼす Bi 添加の影響	馬場義雄 萩原淳 田部善一	14 (1973), 63
P 247	実用 Al-Mg 系合金の応力腐食割れとその防止	馬場義雄 萩原淳 田部善一	14 (1973), 212
P 262	アルミニウムの孔食の径と深さにおよぼす水中の各種イオンの影響	萩原理樹	15 (1974), 258
P 264	クロムを含む Al-Zn-Mg および Al-Zn-Mg-Cu 合金の時効特性と応力腐食割れ におよぼす鋳塊均質化熱処理の影響	馬場義雄 高島章	15 (1974), 287
P 268	アルミニウム合金の疲れ強さに及ぼす大気湿度および大気中前腐食期間の影響	竹内勝治 伊藤正夫	16 (1975), 17
P 271	カルボキシル基, アミノ基およびメルカプト基を有する n-アルキル化合物 水溶液中における 1050 アルミニウムの分極挙動について	重田光善 永部善一	16 (1975), 82
P 278	微量の銅を含む溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金の応力腐食割れと機械的性質	馬場義雄 高島章	17 (1976), 28
P 280	酸性食品を詰めた D&R 缶のシェルフライフについて	西尾正浩 田部善一	17 (1976), 46
P 283	アルミニウムの陰極防食と黒変について	重田光善 永部善一	17 (1976), 109
P 297	すみ肉溶接された実用 Al-Zn-Mg 系合金厚板端面の応力腐食割れに関する研究	吉福英利 馬場義雄 安雄	19 (1978), 95
P 300	アルミニウム表面処理材の糸状腐食に関する研究	鈴木敏夫 池田洋	20 (1979), 12
P 315	亜鉛拡散処理による防食	池田洋	21 (1980), 101
P 317	アルミニウム熱交換器への犠牲陽極用 Al-Zn 合金の適用に関する研究	福井利安 入江善洋 池田部善一	21 (1980), 114
P 378	淡水中でのアルミニウムの腐食速度の推定	境田敏郎 池田部善一	26 (1985), 221
P 380	真空ろう付用アルミニウム犠牲陽極フィン材の開発	田部善一 馬場義雄 宇野照理 萩原樹	27 (1986), 1

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 397	健康飲料中における缶用アルミニウムとスチールとのガルバニック・コロージョン	伊藤 秀 男 土田 康 廣 福田 康 善 一	28 (1987), 55
P 423	ブレージングシートの腐食挙動に及ぼす板表層部の銅の濃度分布の影響	正 路 美 房 田 部 善 一	30 (1989), 8
P 448	Al-Mn-Mg-Si-Cu 系合金の耐食性に及ぼす Ti 添加の影響	正 路 美 房 山 内 重 徳	31 (1990), 99
P 460	アルミニウム合金表面に生成したリン酸亜鉛皮膜について	清 谷 明 弘 伊 藤 秀 男 小 西 山 尾 高 正 浩	31 (1990), 255
P 484	自動車用アルミニウム合金と鋼との接触腐食	宇佐見 勉 長谷川 義 文 田 部 善 一	33 (1992), 28
P 489	自動車ボディ用アルミニウム合金板の塗装耐食性	小 山 高 弘 長谷川 義 文	33 (1992), 92
P 493	監督測量船「はすかっぷ丸」に生じたアルミニウム合金 5083 の剥離腐食について	菅 原 英 夫 木 村 公 俊 古 沢 智 実 中 野 善 一 田 部 善 一	33 (1992), 150
P 501	アルミニウム合金の耐食性に及ぼすニッケル添加の影響	鈴 木 祐 治 山 内 重 徳	34 (1993), 1
P 508	Al-Mg 合金の高温酸化について	米 光 誠	34 (1993), 81
P 510	冷間圧延した AA5182 合金の粒界腐食	土 田 信 樹 田 中 宏	34 (1993), 128
P 512	Development of Corrosion Resistant Brazing Sheet for Drawn Cup Type Evaporators Part 1. Alloy Development	Shigenori Yamauchi Yoshifusa Shoji Kenji Kato Yuji Suzuki Keizo Takeuchi Yasuaki Isobe	34 (1993), 140
P 516	オージュ電子分光分析による Al-4.5mass%Mg 合金の高温酸化抑制に関する研究	米 光 誠	34 (1993), 213
P 520	Development of Corrosion Resistant Brazing Sheet for Drawn Cup Type Evaporators Part 2. Application to Evaporator	Yasuaki Isobe Keizo Takeuchi Minoru Tanaka Masami Mori Shigenori Yamauchi Keizo Namba	34 (1993), 245
P 523	アルミニウム犠牲陽極フィン材の防食距離に関する検討	加 藤 健 志 山 内 重 徳	35 (1994), 65
P 542	自動車ボディ用アルミニウム合金板の化成処理性と耐糸錆性に及ぼす研削の影響	蘇 建 堂 小 山 高 弘	36 (1995), 139
P 543	自動車ボディパネル用電気メッキ処理アルミニウム合金板の化成処理性及び耐食性	小 山 高 弘 池 田 隆 洋 相 保 武 母 隆 芳 彦	36 (1995), 147
P 548	A5182 合金硬質板の粒界腐食性に及ぼす銅及び亜鉛の影響	田 中 宏 樹 土 野 清 信 平 野 清 一	37 (1996), 14
P 559	ラジエータ管用アルミニウム合金の強度と耐食性に及ぼす合金組成とクラッド厚さの影響	加 藤 健 志 池 田 志 洋	37 (1996), 112
P 560	Al-Mg 合金の高温酸化におけるホウフッ化ナトリウムの影響	高 砂 志 朗 土 田 信 信	37 (1996), 120
P 592	Improvement in Waterside Corrosion Resistance and Problems in Field Application of Aluminium Radiator Tubes	Hirokazu Tanaka Kenji Katoh Hiroshi Ikeda	39 (1998), 53
P 611	6061 アルミニウム合金押出材の粒界腐食性に及ぼすマイクロ組織の影響	箕 田 正 雄 吉 田 英 雄	41 (2000), 11
P 626	Development of Quad-layer Clad Brazing Sheet for Drawn Cup Type Evaporators : Part 1	Toshihiko Fukuda Hiroshi Ikeda Yoshiharu Hasegawa Toshiya Nagasawa	42 (2001), 49

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 627	Development of Quad-layer Clad Brazing Sheet for Drawn Cup Type Evaporators : Part 2	Toshiya Nagasawa Yoshiharu Hasegawa Hiroshi Ikeda Toshihiko Fukuda	42 (2001), 57
P 636	Effect of Grain Boundary Characteristics on Intergranular Corrosion Resistance of 6061 Aluminium Alloy Extrusion	Tadashi Minoda Hideo Yoshida	43 (2002), 14
P 704	双ロール式鋳造圧延した 6016 アルミニウム合金板の耐糸錆に及ぼすリップルマークの影響	上 田 薫 江 崎 宏 樹 初 野 圭 一 渡 江 和 郎 久	47 (2006), 59
P 715	Continuous Monitoring of Aluminum Corrosion Process in Deaerated Water	Ryota Ozaki Katsuya Ishii Kenji Kaneko Hisashi Fukushima Masataka Masuda	48 (2007), 33
P 742	ブレージングシートの耐食性に及ぼすろう材厚さの影響	山 下 尚 希 正 路 美 房	50 (2009), 38
R 12	Fuji 号に使用したアルミニウム合金部品の耐候性について	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	2 (1961), 251
R 71	アルミニウムおよびその合金と水との腐食について その 1. アルミニウムと水との腐食の原理と水質の問題	寺 井 士 郎 萩 原 善 理 樹	7 (1966), 159
R 77	アルミニウムおよびその合金と水との腐食について その 2. 水温, 流速などの影響	寺 井 士 郎 萩 原 善 理 樹	7 (1966), 242
R 90	アルミニウムおよびその合金と水との腐食について その 3. 腐食試験方法	寺 井 士 郎 萩 原 善 理 樹	8 (1967), 174
R 105	水道水および大気中におけるアルミニウム表面処理材の異種金属との接触腐食に関する研究	馬 場 義 雄 萩 原 善 理 樹	9 (1968), 208
R 123	構造用 Al-Zn-Mg 合金 ZK60 の諸性質	軽合金, 溶接 機械試験研究所	10 (1969), 258
R 125	アルミニウム合金の応力腐食	寺 井 士 郎	11 (1970), 89
R 140	各地区の水道水によるアルミニウム板材の腐食	萩 原 善 理 樹	12 (1971), 197
R 152	Al-Zn-Mg 実用合金の腐食現象	馬 場 義 雄 萩 原 善 理 樹	13 (1972), 147
R 163	アルミニウム合金製バス車体の腐食について	重 永 光 治	14 (1973), 111
R 165	家庭用ルーム・クーラーのアルミ化に関する最近の情報と実機試験結果その 2 エバポレータとコンデンサの腐食状況	萩 原 善 理 樹 入 江 宏 姫 野 健	14 (1973), 151
R 177	各種アルミニウム合金の耐食性 (データ・シート)	萩 原 善 理 樹 重 永 光 治	15 (1974), 61
R 179	空調用アルミニウム細管への亜鉛拡散二重管の応用	萩 原 善 理 樹	15 (1974), 131
R 190	Al-Zn-Mg 系合金の応力腐食割れ	馬 場 義 雄 高 島 章	16 (1975), 60
R 196	ルームクーラーのアルミフィン材の腐食について	鈴 木 敏 夫	17 (1976), 88
R 208	演算増幅器の腐食研究への応用	田 部 善 一 池 田 洋	18 (1977), 143
R 218	陽極酸化処理したアルミニウムの屋外耐食性	鈴 木 敏 夫	19 (1978), 129
R 255	不活性雰囲気ろう付によるアルミニウム製自動車用熱交換器の腐食防止	池 田 善 一 田 部 善 一	23 (1982), 142
R 279	極値統計学の腐食評価への応用	田 部 善 一	25 (1984), 128
R 378	磁気ディスク薄膜の腐食	田 部 善 一	32 (1991), 265
R 412	自動車熱交換器用アルミニウム材料の進歩	池 田 善 一 正 路 美 房	35 (1994), 43
R 449	6000 系合金を船殻に使用したアルミニウム合金船の進水 3.5 年後の腐食調査	永 田 修 身 池 田 内 勝 洋 治	38 (1997), 72



文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 453	自動車ボディ用アルミニウム合金のリン酸亜鉛処理技術	宇佐見 勉 蘇 建 堂	38 (1997), 161
R 454	アルミニウム及びアルミニウム合金の腐食試験方法	正 路 美 房	38 (1997), 169
R 477	アルミニウム合金製自動車熱交換器の防食	池 田 洋	41 (2000), 134
R 522	AA2013-T6511 押出材の疲労特性及び耐食性	加 藤 勝 也 佐 野 秀 男	47 (2006), 105
R 528	アルミニウムブレーシングシートの外面耐食性に及ぼす各種因子の影響	正 路 美 房	48 (2007), 87
R 529	アルミニウム合金の応力腐食割れ	箕 田 正	48 (2007), 95
N 3	不活性ガス雰囲気ろう付法 (VAW 法) におけるカーエアコン防食システム W38C-MC03 について	—	23 (1982), 205

## 9. 物理冶金

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 1	アルミニウム合金に現われる引張加工歪模様の研究 (第1報) アルミニウム-マグネシウム系合金について	畑 栄 一 寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	1 (1960), 4
P 2	Al-Cu-Li 系合金の研究	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	1 (1960), 11
P 13	アルミニウムおよびアルミニウム合金における拡散に関する研究	網 谷 俊 男	1 (1960), 123
P 17	Al-Mg-Si 系合金押出シ材の強度に関する研究	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	1 (1960), 196
P 21	アルミニウム-マグネシウム-ジルコニウム系合金の再結晶温度におよぼすリチウム添加の効果	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	1 (1960), 246
P 29	アルミニウム合金に現われる引張加工ヒズミ模様の研究 (第2報) ヒズミ模様の発生におよぼす熱処理の影響	畑 栄 一 寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	2 (1961), 105
P 30	アルミニウムの再結晶集合組織と異方性について (第1報) 鋳塊予備加熱による不純物の挙動が再結晶集合組織と異方性におよぼす影響	網 谷 俊 男	2 (1961), 116
P 40	アルミニウムの再結晶集合組織と異方性について (第2報) アルミニウム板の焼鈍条件と異方性および集合組織の関係について	網 谷 俊 男	2 (1961), 237
P 44	On the Texture and Anisotropy of Annealed Aluminium Sheet (Rep. 3) Of Annealed Al-Cu and Al-Si Sheets	網 谷 俊 男	2 (1961), 293
P 58	アルミニウム焼ナマシ板の諸性能におよぼす急速加熱の影響	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	3 (1962), 171
P 72	Al-Mg-Si 系合金の研究 (第1報) 機械的性質および電気伝導度におよぼす Mg/Si 量比の影響	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	4 (1963), 13
P 77	アルミニウム合金押出棒の繊維組織について	広 沢 栄 一	4 (1963), 89
P 78	Al-Mg-Si 系合金の研究 (第2報) 鋳塊の均質化熱処理および押出後の製品の機械的性質および電気伝導度におよぼす影響について	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	4 (1963), 94
P 82	建築用 Al-5%Si 合金の改良に関する研究	寺 井 士 郎 高 島 章	4 (1963), 163
P 83	アルミニウム-リチウム合金に現われる引張加工 ヒズミ模様と降伏点現象について	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	4 (1963), 173
P 87	Al-Mg-Si 系合金の研究 (第3報) Al-Mg-Si 系合金の機械的性質および電気伝導度におよぼす微量ホウ素添加の影響	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	4 (1963), 245
P 88	アルミニウムの加工軟化現象について	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	4 (1963), 255
P 96	Al-Mg-Si 系合金の研究 (第4報) Al-Mg-Si 3 元合金の機械的性能と電気伝導度におよぼすジルコニウム, 鉄, 銅およびカドミウムの微量添加の影響	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	5 (1964), 37

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 97	Effect of the Second Phase on the "Work Softening" Phenomenon of Aluminium Alloys	寺馬 井場 士郎 義雄	5 (1964), 48
P 99	Al 合金押出板の集合組織について	広 沢 栄 一	5 (1964), 105
P 100	Al-Mg-Si 系合金の研究 (第5報) 機械的性質および電気伝導度におよぼす微量マンガン, クロム, ニッケル, 亜鉛スズ, アンチモン, 鉛およびコバルト添加の影響について	寺馬 井場 士郎 義雄	5 (1964), 110
P 105	Al-Mg-Si 系合金の研究 (第6報) Mg/Si 量比を異にする Al-Mg-Si 系合金の溶接後の機械的性質と電気伝導度について	寺馬 井場 士郎 義雄	5 (1964), 210
P 117	Al-Mg-Si 系合金の研究 (第7報) 押出シ加工材の押出シ加工ならびにその後の溶体化処理条件と結晶粒粗大化の関係	寺馬 井場 士郎 義雄 高 島 章	6 (1965), 33
P 122	構造用 Al-Zn-Mg 系合金の研究	杉 山 禎 彦 馬 場 義 雄	6 (1965), 97
P 131	アルミニウム合金合せ板の芯材合金成分の皮材への拡散防止に対する二, 三の添加元素の効果	寺 井 士 郎 萩 原 理 樹	6 (1965), 227
P 137	アルミニウム合金の時効現象と格子欠陥に関する研究 (第1報)	馬 場 義 雄	7 (1966), 70
P 143	アルミニウム合金の時効現象と格子欠陥に関する研究 (第2報) Al-Zn 合金の低温時効におよぼす Cr, Mn, Zr の影響	馬 場 義 雄	7 (1966), 153
P 145	アルミニウム合金の時効現象と格子欠陥に関する研究 (第3報) Al-Zn 合金の G, P. Zone の形成におよぼす Ag または Cu 添加の影響	馬 場 義 雄	7 (1966), 206
P 150	アルミニウム合金の時効現象と格子欠陥に関する研究 (第4報) Al-Zn 合金の G, P. Zone 形成におよぼす第3添加元素の影響	馬 場 義 雄	8 (1967), 88
P 156	アルミニウム合金の時効現象と格子欠陥に関する研究 (第5報) Al-Zn-Mg 合金 G, P. Zone 形成におよぼす添加元素の影響	馬 場 義 雄	8 (1967), 158
P 159	アルミニウム合金の時効現象と格子欠陥に関する研究 (第6報) Al-Zn-Mg 合金の析出現象におよぼす添加元素の影響	馬 場 義 雄	8 (1967), 223
P 163	Al-Zn-Mg 合金の焼入感受性および析出物の核形成に対する添加元素の影響	馬 場 義 雄	9 (1968), 24
P 179	Al-Cu および Al-Cu-Mg 合金の時効におよぼす微量添加元素の影響	馬 場 義 雄	10 (1969), 91
P 186	Al-Mg-Si 系合金の二段時効におよぼす合金組成の影響	馬 場 義 雄 高 島 章	10 (1969), 210
P 190	極点写真に現れるゴースト・ラインの解析	広 沢 栄 一	10 (1969), 252
P 191	Al-Zn-Mg 系合金厚板の機械的性質と応力腐食割れ	馬 場 義 雄 高 島 章	11 (1970), 15
P 193	溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金の短時間加熱による時効挙動の変化	杉 山 禎 彦 福 井 利 安	11 (1970), 34
P 196	3S インゴット中の Mn, Fe, Si の挙動におよぼす熱処理の影響	広 沢 栄 一 直 江 正 久	11 (1970), 61
P 210	63S 鋳塊中における添加元素, 不純物の加熱時の挙動について	広 沢 栄 一 直 江 正 久	11 (1970), 249
P 215	Al-Zn-Mg 合金の破壊特性におよぼす添加元素と熱処理の影響	馬 場 義 雄 高 島 章	12 (1971), 75
P 236	Al-9at%Mg 合金の時効特性におよぼす微量添加元素の影響	馬 場 義 雄	13 (1972), 210
P 238	Al-Mg 合金の応力腐食割れにおよぼす Cu と Zr 添加の影響	馬 場 義 雄	14 (1973), 15
P 255	Al-Mg 合金の延性破面の観察	広 沢 栄 一 土 田 信	15 (1974), 106
P 264	クロムを含む Al-Zn-Mg および Al-Zn-Mg-Cu 合金の時効特性と応力腐食割れにおよぼす鋳塊均質化熱処理の影響	馬 場 義 雄 高 島 章	15 (1974), 287
P 272	多結晶 Al-Zn-Mg 合金板の加工硬化特性	土 田 信	16 (1975), 88
P 284	Al-Zn-Mg-Cu 系合金の加工熱処理	宇 野 照 生 馬 場 義 雄	17 (1976), 116
P 286	破壊韧性にすぐれた新しい Al-Mg-Zn 合金の研究	福 井 利 安 竹 中 義 雄 馬 場 義 雄	18 (1977), 3
P 299	Al-Zn-Mg 系合金の機械的性質と破壊様式に及ぼす冷間加工と時効の影響	宇 野 照 生 馬 場 義 雄	20 (1979), 3

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 311	自動車車体用アルミニウム合金の研究	宇馬 野場 照義 生雄	21 (1980), 32
P 325	Al-4.6%Cu 合金の延性と破壊特性に及ぼす加工熱処理の影響	宇馬 野場 照義 生雄	21 (1980), 256
P 330	Al-Zn-Mg 及び Al-Zn-Mg-Cu 合金の強度と応力腐食抵抗の改善に及ぼすジルコニウムの役割	吉馬 田場 英義 雄雄	22 (1981), 42
P 333	Al-Mg-Si 系合金の延性と破壊特性に及ぼす加工熱処理の影響	宇馬 野場 照義 生雄	22 (1981), 95
P 334	アルミニウムの溶解・鋳造における結晶粒度検査方法	吉洪犬 田江丸 政和 博久晋	23 (1982), 2
P 351	航空機用 7075 合金薄板の連続焼入れに関する研究	宇吉馬 野田場 照英義 生雄雄	25 (1984), 16
P 355	Al-4.5%Cu 合金粉末の凝固組織に及ぼす冷却速度の影響	洪山犬 江内丸 和重 久徳晋	25 (1984), 81
P 358	航空機用 2024 合金薄板の連続熱処理に関する研究	宇吉馬 野田場 照英義 生雄雄	25 (1984), 153
P 362	高靱性アルミニウム合金の機械的性質と微量元素の役割	吉字馬 田野場 英照義 雄生雄	25 (1984), 221
P 363	DI 缶用 AA3004 合金板の特性に及ぼす析出状態の影響	土田 信	25 (1984), 238
P 368	核融合用 Al-Mg-Li 合金の研究	正吉宇馬鎌 路田野場田 美英照義耕 房雄生雄治	26 (1985), 61
P 370	Al-Fe 系粉末合金の機械的性質に及ぼす Fe 添加量と製造条件の影響	洪佐山犬 江野内丸 和秀重 久男徳晋	26 (1985), 75
P 375	Al-Mg 合金板の耳割れに及ぼすカルシウム汚染の影響	吉岡飯 田島 政一 博嘉正	26 (1985), 195
P 376	時効硬化型アルミニウム合金の粒界破壊とその防止に関する研究	宇馬 野場 照義 生雄	26 (1985), 203
P 377	Al-Si 系粉末合金の特性に及ぼす Si 量の影響	佐洪山犬 野江内丸 秀和重 男久徳晋	26 (1985), 215
P 385	Grain Refinement of a High Strength Aluminium Alloy Sheet	Hideo Yoshida Teruo Uno Yoshio Baba	27 (1986), 127
P 393	交流エッチング後の静電容量に及ぼす高純度アルミニウム箔中の微量添加元素の影響	福倉 岡橋 正 潔晴	28 (1987), 7
P 401	The Effect of Grain Boundary Precipitation on the Superplasticity	Hideo Yoshida Seiichi Hirano Yoshio Baba Takayuki Tsuzuku Akio Takahashi	28 (1987), 119
P 422	工業用純アルミニウムの延性に及ぼす Si の析出の影響	森吉土 山田 英 勉雄信	30 (1989), 1
P 430	Al-Li (Zr, Cr) 合金の焼入れ感受性	平吉字 野田野 清英照 一雄生	30 (1989), 59
P 439	Al-Li 合金の超塑性に及ぼす熱間加工条件の影響	田吉土 中田 宏英 樹雄信	30 (1989), 169
P 444	Effect of Grain Size on Deformation and Fracture in Recrystallized Ni <sub>3</sub> Al Polycrystals Doped with Boron	Moc-Soon Kim Shuji Hanada Sadao Watanabe Osamu Izumi	31 (1990), 28

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 448	Al-Mn-Mg-Si-Cu 系合金の耐食性に及ぼす Ti 添加の影響	正 路 美 房 山 内 重 徳	31 (1990), 99
P 458	電解コンデンサ用アルミニウム箔の交流エッチング後の静電容量に及ぼす析出ケイ素の影響	福 岡 潔 倉 橋 正 晴	31 (1990), 238
P 468	7475 アルミニウム合金の結晶粒微細化に及ぼす第二相粒子と溶質原子の役割	吉 田 英 雄	32 (1991), 151
P 469	ブレージングシート低加工材のろうの侵食に及ぼす析出物分散状態の影響	山 内 重 徳 加 藤 健 志	32 (1991), 163
P 476	超塑性 7475 合金の工業的加熱処理法と超塑性特性	吉 田 英 雄	32 (1991), 228
P 480	5182 アルミニウム合金溶湯圧延材の鍛造組織及び諸性質	渡 辺 良 夫 森 山 勉 生 宇 野 照 生	33 (1992), 1
P 485	7475 合金の超塑性特性向上に及ぼす高温予備加熱の影響	吉 田 英 雄	33 (1992), 36
P 486	7475 合金の下部組織形成による超塑性特性の向上	吉 田 英 雄	33 (1992), 67
P 497	Al-Mg-Mn 合金硬質板の軟化特性に及ぼす中間熱処理の影響	田 中 宏 樹 土 田 信 信	33 (1990), 217
P 501	アルミニウム合金の耐食性に及ぼすニッケル添加の影響	鈴 木 祐 治 山 内 重 徳	34 (1993), 1
P 502	電磁鍛造による 5182 アルミニウム合金鋳塊及び圧延材の品質特性	林 典 史 長 江 光 司 宇 永 都 秀 之 山 克 克	34 (1993), 8
P 506	Superplasticity of Rapidly Solidified 7xxx Aluminium Alloy	Shinichi Matsuda Hideo Yoshida	34 (1993), 66
P 507	Al-Mn 合金フィン材の再結晶挙動に及ぼす Si, Fe の影響	時 實 直 樹 山 内 重 徳	34 (1993), 72
P 508	Al-Mg 合金の高温酸化について	米 光 誠	34 (1993), 81
P 515	高純度アルミニウム箔のエッチング性に及ぼす微量インジウムの影響	福 岡 潔 倉 橋 正 晴	34 (1993), 205
P 516	オージェ電子分光分析による Al-4.5mass%Mg 合金の高温酸化抑制に関する研究	米 光 誠	34 (1993), 213
P 524	直流エッチング時の初期ピット形成に及ぼす高純度アルミニウムの結晶面方位の影響	福 岡 潔 大 沢 伸 夫	35 (1994), 90
P 536	Anisotropy in Mechanical Properties of Al-4.5%Mg Alloy Sheet	Seiichi Hirano Hidetoshi Uchida Hideo Yoshida	36 (1995), 79
P 540	電解コンデンサ用高純度アルミニウム箔の交流エッチング性に及ぼすチタンの影響	福 岡 潔 佐々木 茂 明 倉 橋 正 晴	36 (1995), 127
P 541	直流エッチング時のピット形成に及ぼす高純度アルミニウム箔の引張り伸びの影響	福 岡 潔 大 沢 伸 夫	36 (1995), 133
P 546	Al-Mg 系合金の延性に及ぼす n 値の影響	内 田 秀 俊 吉 田 英 雄	37 (1996), 1
P 547	Al-Zn-Mg 系合金の冷間加工性に及ぼす第 2 相析出状態の影響	松 田 眞 一 吉 田 英 雄	37 (1996), 7
P 548	A5182 合金硬質板の粒界腐食性に及ぼす銅及び亜鉛の影響	田 中 宏 樹 土 平 野 清 一	37 (1996), 14
P 549	AA3004 アルミニウム合金の伸びフランジ性に及ぼす加工熱処理の影響	土 田 信 洋 横 井 信 洋	37 (1996), 20
P 558	2218 アルミニウム合金鍛造棒の冷間変形能に及ぼす材料因子の影響	渡 辺 良 夫 宇 野 照 生	37 (1996), 107
P 560	Al-Mg 合金の高温酸化におけるホウフッ化ナトリウムの影響	高 砂 志 朗 土 田 信 信	37 (1996), 120
P 570	Al-Mg-Si 系合金の n 値に及ぼすマンガン添加の影響	内 田 秀 俊 平 野 清 一 吉 田 英 雄	38 (1997), 1
P 576	7475 アルミニウム合金板の成形性に及ぼす材料組織の影響	内 田 秀 俊 吉 田 英 雄	38 (1997), 95
P 584	Al-Mg-Si 合金の復元処理による塗装焼付硬化性の向上	内 田 秀 俊 吉 田 英 雄	39 (1998), 1

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 585	The Effects of Magnesium and Copper Contents on the Restoration during Hot Deformation of Al-Mg-Cu Alloys	Kouichirou Takiguchi Hidetoshi Uchida Hideo Yoshida	39 (1998), 7
P 586	Nodularization of $\alpha$ -AlFeSi Compounds in Al-Fe-Si Alloy	Tetsuya Motoi Hideo Yoshida Kiyoshi Fukuoka	39 (1998), 13
P 587	3003 アルミニウム合金押出材のマイクロ組織に及ぼす均質化処理条件の影響	箕 田 正 雄 吉 田 英 雄	39 (1998), 20
P 588	A Mechanism of Pick-up Formation on 6063 Aluminium Alloy Extrusions	Tadashi Minoda Hideya Hayakawa Hideo Yoshida	39 (1998), 26
P 599	7475 アルミニウム合金板の曲げ加工性に及ぼす復元処理の効果	箕 田 正 雄 吉 田 英 隆 都 筑 之	40 (1999), 1
P 600	Al-4. 5%Mg 合金板の再結晶及び集合組織	平 野 清 一	40 (1999), 7
P 601	High Strain Rate Superplastic Forming of a New Al-Mg Alloy	Hidetoshi Uchida Mineo Asano Hideo Yoshida	40 (1999), 12
P 603	6063 アルミニウム合金押出材のピックアップ欠陥発生機構	箕 田 正 哉 早 川 秀 英 吉 田 英 雄	40 (1999), 22
P 610	New Hollow Extrusion of High Strength Al-Mg-Si-Cu Alloy	Hideo Sano Hideyuki Kondo	41 (2000), 1
P 611	6061 アルミニウム合金押出材の粒界腐食性に及ぼすマイクロ組織の影響	箕 田 正 雄 吉 田 英 雄	41 (2000), 11
P 612	6063 アルミニウム合金押出材の表面品質に及ぼす鉄量の影響	箕 田 正 哉 早 川 秀 英 吉 田 英 雄	41 (2000), 17
P 623	温間圧延による 7475 系アルミニウム合金板材の結晶粒微細化	箕 田 正 樹 田 中 宏 和 洪 江 英 雄 吉 田 英 雄	42 (2001), 31
P 624	微細粒組織を有する 7475 系合金温間圧延板の材料特性	田 中 宏 樹 箕 江 正 樹 洪 崎 宏 和 吉 田 英 雄	42 (2001), 37
P 634	Al-Mg-Si 系合金の曲げ加工性に及ぼす第 2 相粒子の影響	浅 野 峰 生 内 田 秀 俊 吉 田 英 雄	43 (2002), 1
P 635	7475 系アルミニウム合金温間圧延材の微細粒組織形成に及ぼすロール温度の影響	田 中 宏 樹 江 崎 宏 和 箕 田 正 久 洪 江 英 雄 吉 田 英 雄	43 (2002), 7
P 636	Effect of Grain Boundary Characteristics on Intergranular Corrosion Resistance of 6061 Aluminium Alloy Extrusion	Tadashi Minoda Hideo Yoshida	43 (2002), 14
P 637	3003 合金押出材のクリープ特性に及ぼすマンガンの固溶・析出およびマイクロ組織の影響	八 太 秀 周 松 田 真 一 吉 田 英 雄	43 (2002), 24
P 638	純アルミニウム箔の重合面うねりに及ぼす金属間化合物の影響	本 居 徹 也 福 岡 也 潔	43 (2002), 29
P 653	Effects of Manganese Contents in Solid Solution and MicroStructures on Creep Behavior of 3003 Aluminum Alloy Extrusions	Hidenori Hatta Shinichi Matsuda Hideo Yoshida	44 (2003), 1
P 654	Al-Mg-Si 系合金板材の機械的性質に及ぼす鉄量の影響	箕 田 正 俊 内 田 秀 和 洪 江 英 雄 吉 田 英 雄	44 (2003), 6
P 657	Grain Refinement of 7475 based Aluminum Alloy sheets by Warm Rolling with Heated Rolls and Its Effect on Texture and Mechanical Properties	Hiroki Tanaka Tadashi Minoda Hiroki Esaki Kazuhisa Shibue Hideo Yoshida	44 (2003), 28

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 658	サブグレイン組織制御による 7475 系アルミニウム合金温間圧延板材の機械的性質	田中宏樹 江山賢治 山洪江和英 吉田英雄	44 (2003), 34
P 670	Al-Mg-Si 合金のバークハード性に及ぼす Mg と Si 添加量および自然時効の影響	八田秀周 松中真樹 吉田英雄	45 (2004), 29
P 672	Improvement of Mechanical Properties of 7475 Based Aluminum Alloy Sheets by Controlled Warm Rolling	Hiroki Tanaka Hiroki Esaki Kenji Yamada Kazuhisa Shibue Hndeo Yoshida	45 (2004), 41
P 673	温間圧延による 5083 系アルミニウム合金板材の結晶粒微細化	田中宏樹 長井康礼 吉田英雄	45 (2004), 49
P 690	Effects of Natural Aging Conditions on the Bake Hardenability of Al-Mg-Si Alloys	Hidenori Hatta Shinichi Matsuda Hiroki Tanaka Hndeo Yoshida	46 (2005), 55
P 691	鉄量の多い Al-Mg-Si 系合金板材の機械的性質に及ぼすけい素およびマンガン量の影響	箕田正生 浅野峰雄 吉田英雄	46 (2005), 61
P 693	Influence of Stress Ratio of Biaxial Tensile Test on the Lüders Band Formation in Al-Mg Alloy Sheets	Tadashi Minoda Hideo Yoshida	46 (2005), 72
P 701	Effect of Copper Content on the Bendability of Al-Mg-Si Alloy Sheets	Mineo Asano Tadashi Minoda Yoshikazu Ozeki Hideo Yoshida	47 (2006), 41
P 702	Influence of Iron Content on the Mechanical Properties of AA6016 Alloy Sheet	Tadashi Minoda Mineo Asano Hideo Yoshida	47 (2006), 47
P 705	Al-Mg-Si 合金押出材の二段時効特性	八田秀周 松田真樹 吉田英雄	47 (2006), 66
P 706	Al-Zn-Mg-Cu 系合金 T4 材の拡管加工性に及ぼす復元処理の影響	中井康博 箕田正一 松田真樹 吉田英雄	47 (2006), 73
P 726	Two-Step Aging Behaviors of Al-Mg-Si Alloy Extrusions	Hidenori Hatta Shinichi Matsuda Hideo Yoshida	49 (2008), 24
P 727	Effect of Reversion Process on Expanding Performance of an Al-Zn-Mg-Cu Alloy Tube in T4 Temper	Yasuhiro Nakai Tadashi Minoda Shinichi Matsuda Hideo Yoshida	49 (2008), 30
P 728	Al-Mg-Si 系合金板の成形性に及ぼすけい素量の影響	内田秀俊 吉田英雄	49 (2008), 35
P 732	Measurement of Solute Concentration in Alpha Solid Solution of Ternary Aluminum Alloys and its Application	Minemitsu Okada	49 (2008), 60
P 739	アルミニウム合金板の伸びに及ぼすn値と転位組織の影響	内田秀俊 吉田英雄	50 (2009), 18
P 740	Al-Mg-Si系合金のバークハード性におよぼす高温予備時効とその前後の自然時効の影響	八田秀周 松田真樹 吉田英雄	50 (2009), 25
R 51	アルミニウムの表面構造 (電子顕微鏡組織)	広 沢 栄 一	6 (1965), 95
R 53	Al-4%Cu 合金の $\theta'$ 析出物	広 沢 栄 一	6 (1965), 151
R 62	極点カメラ法による集合組織の解析	広 沢 栄 一	7 (1966), 25
R 69	純アルミニウムの電子顕微鏡による冷間加工組織の観察	広 沢 栄 一	7 (1966), 109
R 82	アルミニウムの回復および再結晶の電子顕微鏡による観察	広 沢 栄 一	8 (1967), 56
R 94	純アルミニウムの温間加工組織の電子顕微鏡による観察	広 沢 栄 一	8 (1967), 245

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 99	アルミニウムの熱間加工組織の電顕観察	広 沢 栄 一	9 (1968), 114
R 113	溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金について	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	10 (1969), 42
R 123	構造用 Al-Zn-Mg 合金 ZK60 の諸性質	軽合金, 溶接 機械試験研究室	10 (1969), 258
R 130	加工用アルミニウム合金の最近の熱処理	馬 場 義 雄 高 島 義 章	11 (1970), 293
R 176	快削アルミニウム合金	馬 場 義 雄 高 島 義 章	15 (1974), 49
R 178	マグネシウム量の少ない Al-Zn-Mg 系合金の実用化	馬 場 義 雄 福 井 義 利 高 島 義 章	15 (1974), 117
R 206	押出性のすぐれた Al-Zn-Mg 系三元合金	馬 場 義 雄 吉 田 英 雄	18 (1977), 68
R 232	最近の航空機用アルミニウム合金	馬 場 義 雄 宇 野 照 生 吉 田 英 雄	21 (1980), 123
R 239	アルミニウム及びアルミニウム合金の熱間変形抵抗 (データ・シート)	千 田 憲 雄	21 (1980), 221
R 241	2024 系アルミニウム合金のクリープ特性	竹 島 義 雄	21 (1980), 284
R 242	Hot・Top 鋳造法による鋳造小径棒の製造とその品質	城 谷 正 人 犬 丸 春 彦 中 村 春 彦	22 (1981), 53
R 261	急速焼鈍したアルミニウム板の特性	土 田 義 信 馬 場 義 雄	24 (1983), 27
R 271	アルミニウム合金の粒界破壊	吉 田 英 雄	24 (1983), 141
R 278	航空機用 7050 合金押出材の諸特性	吉 田 英 雄 宇 野 照 生 馬 場 義 雄	25 (1984), 118
R 306	アルミニウム系超塑性材料の最近の進歩	吉 田 英 雄 馬 場 義 雄	27 (1986), 44
R 330	アルミニウム合金の時効析出に関する最近の研究	村 上 陽太郎	29 (1988), 3
R 333	航空機用アルミニウム合金の最近の研究, その 1. アルミニウム-リチウム合金	宇 野 照 生 平 野 清 一	29 (1988), 47
R 334	航空機用アルミニウム合金の最近の研究, その 2. 超塑性合金とその成形	吉 田 英 雄 土 中 田 宏 樹 田 英 雄	29 (1988), 58
R 340	Al-Mg 系合金の最近の研究	吉 田 英 雄	29 (1988), 181
R 352	高力軽合金材料と靱性	宇 野 照 生 新 家 光 雄	30 (1989), 150
R 359	アルミニウムの熱処理	土 田 義 信 吉 平 野 英 清 一	31 (1990), 126
R 361	Superplasticity of Aluminium Alloys	Hideo Yoshida Masaki Kumagai Shin-ichi Matsuda	31 (1990), 203
R 364	DI 缶用アルミニウム合金材料 - 技術進歩と今後の課題 -	土 田 中 宏 樹	31 (1990), 268
R 426	高強度アルミニウム合金の加工熱処理法とその応用	吉 田 英 雄	36 (1995), 37
R 431	各種アルミニウム合金の冷間鍛造性	佐 野 秀 夫 安 保 満 彦 佐 藤 文 彦	36 (1995), 99
R 442	アルミニウム合金超塑性材料の組織制御	吉 田 英 雄	37 (1996), 90
R 446	航空機用高強度 Al-Mg-Si-Cu 合金の開発	内 田 秀 俊 吉 平 野 英 博 天 野 巧 仁	38 (1997), 37

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 447	航空機用高強度 Al-Mg-Si-Cu 合金中空押出材の特性	佐野 秀男 吉駒岩 真一 田上野 敏保	38 (1997), 44
R 455	アルミニウムの熱処理	内田 秀俊 吉田 英雄	38 (1997), 177
R 475	押し出し用アルミニウム合金の開発	佐野 秀男	41 (2000), 122
R 482	アルミニウム箔熱処理時の微量元素の表面偏析	福岡 潔	42 (2001), 131
R 486	アルミニウム系スーパーメタルの技術開発 -これまでの成果と課題-	田中 宏樹 吉中 英雄	42 (2001), 164
R 487	アルミニウム系スーパーメタル研究設備の紹介 その 1. 高歪蓄積構造形成装置	渡辺 良夫 洪江田 久雄	42 (2001), 168
R 488	アルミニウム系スーパーメタル研究設備の紹介 その 2. 低温圧延装置及び温間圧延装置	江崎 宏樹 田中江島 久哉 洪神吉 基英	42 (2001), 175
R 489	アルミニウム系スーパーメタル研究設備の紹介 その 3. 急速加熱装置	江崎 宏樹 田中江島 久哉 洪吉 基英	42 (2001), 181
R 511	薄肉で複雑形状が押出可能な高強度 Al-Cu-Mg-Si 合金 2013	佐野 秀男 松田 真一 吉田 英雄	45 (2004), 168
R 543	アルミニウム合金の恒温圧延による集合組織制御	田中 宏樹	50 (2009), 49
N 2	強度プレス成形性にすぐれたアルミニウム合金板	-	23 (1982), 203
N 36	耐クリープ性に優れた合金 CM10	-	40 (1999), 165
N 37	高強度アルミニウム合金 ZC88	-	40 (1999), 166

## 10. 応 用

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 177	銅精鉱輸送用アルミニウム合金製パレットの開発	竹内 勝治 中安村 静雄	10 (1969), 29
P 187	アルミニウム合金製電車線路支持物の開発 (軟弱地盤用軽量電車線路支持物)	斎藤 寛治 竹内村 勝治	10 (1969), 220
P 245	パイナ A 型チューブの性能におよぼす段間隔およびフィン根もと角度の影響 アルミニウム製熱交換器の性能に関する研究 (第 1 報)	平田 勝彦 竹内 勝治	14 (1973), 191
P 298	パイナ B 型チューブの伝熱性能について アルミニウム製熱交換器の性能に関する研究 (第 2 報)	平田 勝彦 若松内 代治 竹内 勝治	19 (1978), 105
P 303	パイナ X 型チューブ冷却器の冷蔵庫における冷却性能について	知念 武廣 中平野 功 竹内 勝治	20 (1979), 38
P 307	パイナ A 型チューブの伝熱性能に及ぼす諸因子の影響 アルミニウム製熱交換器の性能に関する研究 (第 3 報)	平田 勝彦 若松内 代治 竹内 勝治	20 (1979), 99



文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 316	パインX型チューブの伝熱性能について アルミニウム製熱交換器の性能に関する研究 (第4報)	知念 武 廣 平田 野 彦 中竹 内 勝 治	21 (1980), 109
P 319	ハイフィン・チューブSの伝熱性能について アルミニウム製熱交換器の性能に関する研究 (第5報)	若松 千代治 平田 野 彦 中竹 内 勝 治	21 (1980), 175
P 339	高温酸化法による太陽熱選択吸収面	安 藤 誠	23 (1982), 110
P 380	真空ろう付用アルミニウム犠牲陽極フィン材の開発	田部 善 一 馬場 野 照 宇野 義 雄 萩原 理 樹	27 (1986), 1
P 402	Application of Aluminium Honeycomb Sandwiches and Extrusions in a Convertible (Part 1. Design and Performance of a Prototype)	Koji Tobita Toshihiro Hara Kazuki Fujise Yoshiaki Kinoshita Keizo Namba Takeshi Baba Yoshio Takeshima Hiromichi Sano	28 (1987), 126
P 406	Application of Aluminium Honeycomb Sandwiches and Extrusions in a Convertible (Part 2. Production of a Platform)	Keizo Namba Takeaki Baba Yoshio Takeshima Hiromichi Sano Koji Tobita Toshihiro Hara Kazuki Fujise Yoshiaki Kinoshita	28 (1987), 172
P 417	スパッタ型磁気ディスクの記録特性に及ぼす基板表面の影響	相武 隆 男 安 藤 誠	29 (1988), 243
P 477	Analysis and Design of Honeycomb Welded Structures	Koichiro Okuto Keizo Namba Hideo Mizukoshi Yujiro Hiyama	32 (1991), 235
P 482	アルミニウム缶エンド (シェル) の耐圧強度に及ぼす材料強度及び厚さの影響	伊藤 清 文 土 田 信	33 (1992), 18
P 483	自動車ボディ用 Al-Mg 合金板のスポット溶接継手の疲労強度	水越 秀 雄 難波 圭 三 佐野 啓 路	33 (1992), 22
P 538	自動車サイドドアビーム用アルミニウム押出型材の曲げ強度解析	山田 賢 治 水 越 秀 雄	36 (1995), 92
P 571	AC8C アルミニウム合金溶湯鍛造材の疲労強度	山田 賢 治 水 越 秀 雄 林 寛 岳	38 (1997), 7
P 575	アルミニウム製多穴扁平管内における HCFC22 の凝縮熱伝達	佐藤 好 生 清高 橋 明 弘 高 橋 辰 巳	38 (1997), 33
P 616	空調用熱交換器のフィンピッチ乱れに及ぼすフィン材特性の影響	城戸 孝 聡 佐藤 好 生 竹 島 義 雄	41 (2000), 38
P 662	フィンチューブ熱交換器単体性能に及ぼす冷媒および空気側熱伝達特性の影響	柿山 史 郎 佐々木 直 栄 清 谷 明 弘 讀 岐 則 義	44 (2003), 56
P 735	クロスフィンチューブ熱交換器におけるフィンカラー形状が伝熱性能に及ぼす影響	樺宮 耕 太郎 永 良 明 男 佐 井 雄 磨 水 木 直 栄 々々 田 貴 彦	49 (2008), 80
P 740	Al-Mg-Si系合金のベークハード性に及ぼす高温予備時効とその前後の自然時効の影響	八松 秀 周 田 中 真 一 吉 田 宏 樹 英 雄	50 (2009), 25
R 7	船舶とアルミニウム合金	福田 政 雄 寺 井 士 郎	1 (1960), 302

文献No.	題 目	著 者	卷 (年) 頁
R 8	全溶接アルミニウム合金製天井走行起重機製作について	今中 泉 徹 中 田 淳 一 蛭 子 井 士 郎 寺 井 信 男	2 (1961), 61
R 20	アルミニウム合金製バスの試作について	坪落 井合 信男 井合 龍 惶	3 (1962), 359
R 29	全溶接5トンホイールクレーン用アルミニウムブームの製作について	三落 島合 庸生 落 合 龍 惶	4 (1963), 233
R 36	アルミニウム合金製テーパー型照明柱アルポールの強度について	竹中 内村 勝治 中 村 授	5 (1964), 64
R 50	新しいアルミニウム化粧板 主として塗装板とフィルム積層板について	池田 栄 三 荒 内 岑 也 内 田 三	6 (1965), 86
R 55	光輝性アルミニウム合金の自動車への応用について	寺西 井邑 士郎 西 邑 弘	6 (1965), 191
R 56	アルミニウムを面材とする複合板	荒小 内川 岑也 小 川 三 郎	6 (1965), 203
R 63	アルミニウム条・箔導体について	清鳴 水沢 裕 船 渡 収 雄 三	7 (1966), 33
R 75	自転車部品におけるアルミニウム合金の使用について	赤島 地山 利之章 島 山 章	7 (1966), 222
R 80	エルミン窓の構造と性能について	山鈴 本 正 実 小 太 木 重 次 太 田 林 武 誠	8 (1967), 41
R 81	溶接構造用アルミニウム合金 ZG43-T5 製橋梁架設工事用マットについて	竹中 内村 勝治 中 本 間 壮 介	8 (1967), 50
R 106	アルミニウム合金クレーンとその構造基準	竹内 勝治	9 (1968), 218
R 112	新しい住宅外壁材「スミカラーサイディング」の開発 (第1報)	荒小 内川 岑也 小 川 三 郎	10 (1969), 35
R 115	アルミニウム合金のベアリング性質	中村 授	10 (1969), 77
R 117	配管用アルミニウム断熱被覆材「アルジャケット」について	鳴姫 沢野 収 竹 本 文 秀	10 (1969), 136
R 120	アルミニウム合金製高欄について	藤菊 田地 正 本 間 昭 雄 昭 介	10 (1969), 188
R 134	トレーラーハウスの開発	菊小 地山 昭雄 小 山 技	12 (1971), 58
R 139	変電所用アルミニウム合金製断路器架台について	竹洪 内谷 勝治 中 山 陽 康 中 山 授 章	12 (1971), 161
R 142	アルミニウム合金製足場板の開発	竹島 内山 勝治 島 菊 地 昭 章 昭 雄	12 (1971), 222
R 145	車両用アルミニウム合金について 最近の趨勢と新合金 ZK61	馬萩 場原 義雄 福 高 井 島 理 樹 高 島 安 章	13 (1972), 25
R 147	アルミニウム合金製継目なし高圧ガス経年容器に関する二, 三の実験 (再検査基準作成のための調査)	竹田 内中 勝治 田 中 村 英 司 中 伊 藤 正 授 夫	13 (1972), 76
R 156	アルミニウム合金製車両積載車軽量ボディについて	田竹 村内 慎一 竹 中 村 勝 治 中 村 授	14 (1973), 28
R 157	熱交換器用アルミニウム材料の最近の状況	竹杉 内山 勝治 杉 野 山 彦 件 野 江 彦 姫 入 健 宏	14 (1973), 35

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 162	日本ライン下り用アルミニウム合金製観光船	竹内勝治 福西井村嘉安	14 (1973), 107
R 163	アルミニウム合金製バス車体の腐食について	重永光治	14 (1973), 111
R 164	家庭用ルーム・クーラーのアルミ化に関する最近の情報と実機試験結果 その1 最近の情報	竹内勝治 杉伴山禎 野又彦	14 (1973), 141
R 165	家庭用ルーム・クーラーのアルミ化に関する最近の情報と実機試験結果 その2 エバポレータとコンデンサの腐食状況	萩原理樹 入江野樹	14 (1973), 151
R 166	家庭用ルーム・クーラーのアルミ化に関する最近の情報と実機試験結果 その3 冷媒管の接合方法および継手腐食	杉山禎彦 入江野樹	14 (1973), 162
R 179	空調用アルミニウム細管への垂鉛拡散二重管の応用	萩原理樹	15 (1974), 131
R 181	わが国におけるアルミニウム熱交換器の発達について	赤山二郎	15 (1974), 186
R 198	油圧機器用油冷却器	赤山二郎	17 (1976), 132
R 200	建築用アルミニウム合金構造部材の強度に関する一実験	中村義雄 竹島川三郎 小高橋和子	17 (1976), 158
R 209	アルミニウム製熱交換器製造に関する最近の技術について	竹内勝治 中種野田充功	18 (1977), 152
R 220	最近のアルミニウム合金製高欄の設計について	安藤寛	19 (1978), 152
R 224	自動車へのアルミニウム利用の現状	網谷俊男 福西井村嘉安	20 (1979), 62
R 227	アルミニウム缶の現状	網谷俊男 福西井村嘉安	20 (1979), 141
R 229	Sheet Fabricated Aluminium Wheels for Smaller Passenger Cars	Sazuku Nakamura Masao Itoh Yoshio Takeshima	21 (1980), 64
R 235	トラック用アルミニウム合金製軽量後部荷台について	中村 授	21 (1980), 151
R 236	トラック用あおり「SK アオリ S タイプ」	中村昭雄 菊地田行	21 (1980), 195
R 237	乗用車のトリム類のアルミ化についての最近の状況	長谷川義文	21 (1980), 205
R 240	自動車用アルミニウム熱交換器の進歩	福井利安 竹内勝治	21 (1980), 271
R 244	乗用車用バンパーのアルミ化について	馬場義雄 西宇野照彦	22 (1981), 101
R 249	キャップ用アルミニウム薄板	馬場義雄	23 (1982), 36
R 250	熱交換器用アルミニウムフィン材についての最近の状況	齋藤莞爾 土田谷仁信 関前谷利司 前田德利徳	23 (1982), 42
R 251	アルミニウム合金漁船の現況と 2, 3 の技術資料	竹内勝治 杉山中野村 菅横野山次正	23 (1982), 51
R 253	選択吸収膜と太陽熱集熱器に関する技術資料	竹内勝治 平竹内田 今島勝彦 安入藤江 岡大田本 中田隆 大田哲朗	23 (1982), 127

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 256	取替手すり, “パラスタ 1200”	鳴沢 収 小川 三 一郎 畑 山 誠	23 (1982), 150
R 257	鉄道車両用アルミニウム合金の開発動向	福竹 井 利 安 馬 島 義 雄	23 (1982), 157
R 264	自動車へのアルミニウム利用の現状	竹内 勝 治 馬場 義 雄 西 村 嘉 彦	24 (1983), 56
R 269	自動車ホイール用アルミニウム合金展伸材	馬場 義 雄 西 村 嘉 彦 伊 藤 正 夫	24 (1983), 128
R 275	最近のエルミン窓の構造と性能 (第2報)	鈴木 重 次 西 木 海 洋 村 政 義	25 (1984), 58
R 283	鉄道車両用大型押出型材の現状について	佐藤 武 男	25 (1984), 204
R 284	焼津漁港に設置したアルミニウム合金製シェル構造ゲート (防潮扉) について	坪井 重 次 木 全 克 伴 又 次 寿	25 (1984), 249
R 287	プラスチック成形容器用アルミニウム箔キャップ材	関谷 仁 司 横 手 純 介 鈴 木 保 二	25 (1984), 270
R 289	VTR テープ走行シリンダー用アルミニウム合金の開発	宇野 照 生 馬 場 義 雄	26 (1985), 30
R 290	アルミカーテンウォールの構造と性能	赤司 達 夫 大 越 和 行	26 (1985), 38
R 291	市販カークーラー・コンデンサについての2, 3の調査結果	萩原 理 樹 若 松 千 代 治	26 (1985), 45
R 295	磁気ディスクの動向とアルミニウム合金の課題	福井 利 安 池 田 洋 授 中 村	26 (1985), 103
R 307	アルミニウムハニカム及びハニカムサンドイッチパネルの基本強度について	竹島 義 雄 平 田 勝 彦	27 (1986), 50
R 308	テイネン工業の金属製ファン	楯 清 一 小 島 明 洋	27 (1986), 62
R 313	Present and Future of Aluminium Alloys for Transport in Japan	Shiro Sato	27 (1986), 162
R 315	スポーツカー「New RX-7」のフロントフードのアルミ化	宗藤 修 義 西 村 嘉 彦	27 (1986), 191
R 316	自動車ボディシート用アルミニウム合金の最近の動向	宇野 照 生 吉 田 英 雄	27 (1986), 198
R 324	空調用熱交換器アルミニウムフィン材	野世 精 徳 前 田 義 雄 竹 島 武 廣 知 念 正 男 西 野 山 勉 森	28 (1987), 101
R 326	Al/PVC 複合板電磁波シールド材 (その1. 電磁波障害とその規制について)	高谷 鉄 郎 齊 藤 雄 二 郎	28 (1987), 149
R 327	Development of New Aluminium Alloy for Auto Body Sheet	Teruo Uno Yoshio Baba	28 (1987), 200
R 329	Al/PVC 複合板電磁波シールド材 (その2. 製造方法及び物性)	長谷川 義 文 西 野 正 男	28 (1987), 214
R 331	最近の航空機機体材料の展望	井上 稔	29 (1988), 18
R 332	航空機用アルミニウム合金の進歩	馬場 義 雄	29 (1988), 29
R 336	航空機用アルミニウム合金の最近の研究, その4. アルミニウム-リチウム母合金の新しい製造法	渡邊 吉 章 豊 嶋 雅 康 日 比 野 淳 伊 藤 勝 久	29 (1988), 82
R 339	Al/PVC 複合板電磁波シールド材 (その3. シールド効果の測定と評価法)	林 典 史 田 中 健 二	29 (1988), 154

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 343	国内外におけるアルミニウム DI 缶薄肉化の現状	竹伊 島義雄 伊藤 藤清 木久 村貞 久 田 貞夫	29 (1988), 210
R 344	ろう付ハニカムパネルの諸性能—機械的強度及び溶接性について—	中難 西 広 佐伊 波野 三路 伊 藤 啓泰 路永	29 (1988), 218
R 348	$\pi$ (パイ) セクションの設計法	金子 幸雄	30 (1989), 41
R 349	乗用車のアルミ化状況と軽量コンセプト車の開発動向	渡齋 辺勝典 西伊 藤莞爾 伊 藤 嘉秀 彦男	30 (1989), 95
R 357	最近のアルミニウム展伸材の用途と特性	馬場 義雄	31 (1990), 65
R 358	当社名古屋製造所に於ける設備診断技術について	武服 田幸保 有 富 容三 守	31 (1990), 82
R 361	Superplasticity of Aluminium Alloys	Hideo Yoshida Masaki Kumagai Shin-ichi Matsuda	31 (1990), 203
R 363	谷台堰に設置したアルミニウム合金製フラップ付きシェル構造ローラゲートについて	木 全 克 次 奥 戸 行 郎 高 木 茂 郎 高 美	31 (1990), 218
R 364	DI 缶用アルミニウム合金材料 —技術進歩と今後の課題—	土田 田 信 田 中 宏 樹	31 (1990), 268
R 366	自動車のアルミ化の進展と動向	細見 瀬重	32 (1991), 1
R 367	自動車ボディ用アルミニウム合金板の特性	吉田 英雄 平 野 清 一	32 (1991), 20
R 368	自動車ボディ用アルミニウム合金板の製造法	宇野 照生 杉 江 明 士	32 (1991), 32
R 369	自動車ボディ用アルミニウム合金板の成形性	竹足 島義雄 宇 田 達也 宇 都 秀 之	32 (1991), 39
R 372	自動車ボディ用アルミニウム合金データ・シート	渡齋 辺勝典 齋 藤 莞 爾	32 (1991), 91
R 373	磁気浮上式鉄道用アルミニウム製 SCM 支持枠の開発	奥難 戸行一 小波 圭三 阿座 田和裕 加藤 上雅芳 加藤 藤 健 一	32 (1991), 137
R 377	空調機熱交換器用表面処理アルミニウムフィン材について	清谷 明 弘 春日 日 司 野世 溪 精 佐藤 好 生	32 (1991), 255
R 384	アルミニウム合金性システムトラス—アーバンスペースフレームによる構造デザイナー—	檜山 裕二 水越 秀郎 飯島 俊比古	33 (1992), 115
R 385	自動車用アルミニウム合金データ・シート (その 1. 高強度形管棒鍛造用素材 GS210, GS110)	松田 眞一 吉 田 英 雄	33 (1992), 123
R 386	ろう付アルミニウム・ハニカムパネル製大型キャノピーの設計と施工	山口 進吾 奥戸 行一 横谷 英 郎 小堀 英 之 徹	33 (1992), 173
R 390	自動車用アルミニウム合金データ・シート (その 2. 自動車ボディパネル用合金板)	平内 野清一 吉 田 秀 俊 吉 田 英 雄	33 (1992), 207
R 391	乗用車用アルミニウム製バンパーラインフォースメントの現状と当社の開発合金	若久 林 広 松吉 田 貞 吉 田 眞 英 一 夫 雄	33 (1992), 243

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 392	自動車ボディ用アルミニウム合金板潤滑油 AT91	伊藤 秀 男 佐見 義 勉 竹島 達 也 正野 啓 路 佐野 俊 朗	33 (1992), 249
R 394	最近の建築用自然発色アルミニウム合金	森山 勉 土田 信	33 (1992), 268
R 396	アルミニウム合金小型漁船	竹内 勝 治	34 (1993), 30
R 398	自動車用アルミニウム合金データ・シート (その3. 自動車部材用合金板 (X662))	平野 清 一 吉田 英 雄	34 (1993), 55
R 399	最近の航空機用アルミニウム合金の開発動向	吉田 英 雄 内田 秀 俊	34 (1993), 87
R 400	ハニカム溶接構造物の設計・製作	山口 進 吾 奥入 江 一郎 入 宏	34 (1993), 99
R 402	真空ろう付技術による大型高圧熱交換器の開発と実用化	三井 浩次郎 安孫子 次男 上田 文生 難波 圭 三	34 (1993), 156
R 407	アルミニウム缶の軽量化の動向	伊藤 清 文 土田 信	34 (1993), 258
R 408	自動車とアルミニウム ー法的諸規制との係わりー	西村 嘉 彦	34 (1993), 264
R 409	家庭用及び業務用空調機の熱交換器に用いられるアルミニウムフィン材の開発状況	清谷 明 弘 春日 好 司 佐藤 充 生 玉置 宏	35 (1994), 1
R 412	自動車熱交換器用アルミニウム材料の進歩	池田 洋 正路 房 美	35 (1994), 43
R 423	制振形材と制振発泡材	直江 正 久	35 (1994), 221
R 424	ろう付けアルミ・ハニカムパネルを用いた赤潮調査船の設計・建造	金竹 幸 雄 青内 勝 治 萩原 和 成 理 樹	35 (1994), 228
R 432	アルミニウム合金製ろう付ハニカムパネル屋根構造の紹介 (アルミニウム合金製複合パネルを用いた構造デザイン)	檜山 裕 二 田中 幹 雄 村上 正 三 堀 正 祐	36 (1995), 110
R 440	オールアルミニウム缶の軽量化動向	菊水 良 成 横谷 博 之 花井 和 洋 木 宏	37 (1996), 77
R 441	D&I缶におけるフランジクラックの形態とその原因	水谷 博 之 土田 信	37 (1996), 86
R 443	アルミニウム合金ハニカムサンドイッチパネル	宇佐見 勉 望月 浩 一	37 (1996), 99
R 444	オートバイフロントフォーク用高力アルミニウム合金管の開発と実用化	吉田 英 雄 毛野 一 平利 正 箕田 美 日野 三 比野 壮 美 岡野 賢 三 伊藤 日 出 塚 本 鎮 正	37 (1996), 185
R 445	アルミニウム合金押出形材のエネルギー吸収特性	水越 秀 雄 岡原 英 人 前原 利 彦	37 (1996), 190
R 447	航空機用高強度 Al-Mg-Si-Cu 合金中空押出材の特性	佐野 秀 男 谷吉 真 一 駒上 英 一 岩野 敏 明	38 (1997), 44

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 448	自動車用アルミニウム材料の動向	吉田英雄 池田和彦 渋谷西村嘉彦	38 (1997), 53
R 452	The Trend of Wrought Aluminium Alloy and their Applications for Automobiles in Japan	Yoshio Baba	38 (1997), 147
R 456	アルミニウム工業の最近の話題について	佐藤史郎	39 (1998), 90
R 457	アルミニウム産業における最近の技術開発	宇野照生	39 (1998), 103
R 459	高力アルミニウム合金押出材の用途とその技術的課題	松田眞一 吉田英雄	39 (1998), 116
R 461	ろう付けハニカムパネルの開発とその応用	伊藤泰永 藤波圭三	39 (1998), 130
R 462	アルミニウムブレードパネルの自動車アンダーボディへの適用	伊藤泰永	39 (1998), 136
R 463	Duralumin of Zeppelin's Airship	Shiro Sato	40 (1999), 74
R 464	自動車ボディパネル用アルミニウム合金の最近の動向	宇野照生	40 (1999), 76
R 467	アルミニウム DI 缶の軽量化動向	横井洋一 平野清一	40 (1999), 99
R 468	スーパーハニカムパネルの開発	鈴木敏夫 高木邦夫 宇佐見貞夫 久田貞夫	40 (1999), 109
R 474	アルミニウム技術開発の回顧と展望	馬場義雄	41 (2000), 91
R 478	Development of Nickel-Phosphorus Plated Aluminium Substrates for High Density Hard Disks	Yasuhiro Hosomi Nobuyuki Muto Junichi Ito Koichiro Takiguchi Katsuhide Kuroki	41 (2000), 147
R 480	自動車ボディパネル用アルミニウム合金の最近の進歩	宇野照生	42 (2001), 100
R 481	飲料用アルミニウム缶材の最近の動向	平野清一	42 (2001), 124
R 491	薄箔用アルミニウム合金の最近の開発動向	日比野淳潔 福岡	43 (2002), 123
R 492	アルミニウム系スーパーメタル研究開発の成果と展望	田中宏樹 吉田英雄	43 (2002), 133
R 496	ルームエアコン用熱交換器のこの 10 年間の変遷	佐藤好生 春日直司 佐々木直栄	44 (2003), 80
R 497	自動車ボディのアルミニウム化と新しい技術	宇都秀之 渋谷和久	44 (2003), 89
R 503	アルミニウム合金製自由通路の設計・製作・施工	大山隅心平 熊田進正 田林典典 林喜典史 喜田典靖	44 (2003), 147
R 510	アルミニウム産業の成長を支える材料技術 ー現状と課題ー	永田公二	45 (2004), 154
R 512	アルミニウム合金製「ドームトラス」	村上正至 久田貞夫 戸田和憲 松山裕二郎	45 (2004), 174
R 513	住友の銅管ヘッダー工法 ー水・湯・Pー		45 (2004), 179
R 514	自動車車体の軽量化に寄与するアルミニウム材料とその適用技術の現状と将来	宇都秀之	46 (2005), 84
R 516	輸送機器向け展伸用アルミニウム合金の開発の歩み	吉田英雄	46 (2005), 99
R 517	次世代航空機のためのアルミニウム材料技術	佐野秀男	46 (2005), 117
R 519	日・米・欧におけるアルミニウム DI 缶の軽量化動向	横井洋一 伊川慎吾 平野清一	46 (2005), 133
R 525	アルミニウムリサイクル材使用「SUNTORY マーメイド号」航海後の素材状況調査	尾崎良太 前田良一	47 (2006), 123

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 526	Current Trend of Aluminum Applications for Automobile Body and Its New Technologies	Hideyuki Uto	47 (2006), 128
R 532	アルミニウム再生材中の鉄の許容量拡大技術開発	宇 都 秀 之	48 (2007), 119
R 533	複動式摩擦攪拌点接合法の開発	熊 谷 正 樹 青 木 健 太	48 (2007), 129
R 539	我国アルミニウム産業の明るい未来を拓くために… —温故知新—	永 田 公 二	49 (2008), 139
R 544	自転車足回り用高強度アルミニウム鍛造合金の開発	松 田 眞 一	50 (2009), 56
R 545	当社における計測技術研究の歩み	高 橋 伸 幸	50 (2009), 60
R 546	摩擦面への導入油膜厚に及ぼす潤滑油分子構造の影響	渡 邊 貴 道 細 見 和 弘	50 (2009), 69
R 547	DLC 皮膜の摩擦特性に及ぼす油性剤の影響	初 野 圭一郎 細 見 和 弘	50 (2009), 73
R 548	極小セルハニカムコア —ファイナハニカム—	大 滝 信 行	50 (2009), 78
N 1	航空機ストリンガー用微細結晶粒 7075 合金板	—	23 (1982), 201
N 5	アルミニウム合金溶接管 —BF 管と SF 管—	—	24 (1983), 77
N 6	VTR シリンダー用アルミニウム合金	—	24 (1983), 157
N 10	バスストップ・シェルター	—	25 (1984), 216
N 13	快削アルミニウム合金・MC12	—	26 (1985), 120
N 14	アーバンファニチュア	—	26 (1985), 255
N 15	電磁波シールドルーム「SSR システム」	—	28 (1987), 154
N 20	磁気ディスク用アルミニウムサブストレート及び NiP めっき基板	—	31 (1990), 157
N 21	オイルミスト回収装置「ヒュームエナップ」	—	31 (1990), 291
N 25	建築用エキスパンションジョイントカバー	—	35 (1994), 242
N 26	新基準セミトレーラ	—	35 (1994), 244
N 28	冷凍食品の急速解凍器具「とかしっこ」「とかしっこ II」の紹介	—	35 (1994), 250
N 29	ハード・ディスク用 Ni-P 基板	—	35 (1994), 252
N 31	オイルミストコレクター「ミストエナップ」	—	35 (1994), 256
N 33	高性能ヒートシンク	—	35 (1994), 262
N 35	鉛フリー快削合金 CB56, GT209	—	40 (1999), 164
N 38	高強度耐摩耗性アルミニウム合金 SC300	—	40 (1999), 167
N 39	高強度耐熱アルミニウム合金 CG29	—	40 (1999), 168

## 11. アルミニウム粉末合金

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 355	Al-4.5%Cu 合金粉末の凝固組織に及ぼす冷却速度の影響	洪 江 和 久 山 内 丸 重 徳 犬 丸 秀 普	25 (1984), 81
P 370	Al-Fe 系粉末合金の機械的性質に及ぼす Fe 添加量と製造条件の影響	洪 江 和 久 佐 野 秀 普 山 内 丸 重 徳 犬 丸 秀 普	26 (1985), 75
P 377	Al-Si 系粉末合金の特性に及ぼす Si 量の影響	佐 野 秀 普 洪 江 和 久 山 内 丸 重 徳 犬 丸 秀 普	26 (1985), 215
P 388	HIP 成形した Al-Si-Cu-MgP/M 合金の機械的性質	洪 江 和 久 山 内 丸 重 徳	27 (1986), 148



文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 407	噴霧ロール法による超急冷凝固 Al-Fe 合金フレーク	洪 江 和 久 佐 野 秀 男 山 内 重 徳 犬 丸 秀 重 徳	28 (1987), 181
P 408	噴霧ロール法を用いた急冷凝固 Al-Fe 二元合金の機械的性質	佐 野 秀 男 洪 江 内 重 徳 山 犬 丸 秀 重 徳	28 (1987), 187
P 412	Al/Fe 粉末合金の組織と機械的性質の関係	洪 江 和 久 佐 野 内 秀 重 徳 山 犬 丸 秀 重 徳	29 (1988), 112
P 418	Development of Elevated Temperature P/M Aluminium Alloy by Rapid Solidification Processing	Shigenori Yamauchi Kazuhisa Shibue Hideo Sano Kiyofumi Ito Susumu Inumaru	29 (1988), 250
P 426	Al-Si 系粉末合金の押出性に及ぼす押出条件の影響	佐 野 秀 男 安 保 内 重 徳 山 犬 丸 秀 重 徳	30 (1989), 24
P 440	Al-8%Fe-2%V 合金急冷凝固フレークの加熱による組織変化	洪 江 和 久 大 久 保 内 喜 重 徳 山 犬 丸 秀 重 徳	30 (1989), 180
P 449	Development of a Rapidly Solidified Al-Fe-Si-Cu-Mg Alloy	Yoshimasa Ohkubo Kazuhisa Shibue Hideo Mizukoshi Shigenori Yamauchi Susumu Inumaru	31 (1990), 105
P 463	SiC 粒子を添加した耐磨耗性アルミニウム合金の開発	大 久 保 喜 正 佐 野 野 秀 男 山 犬 丸 秀 重 徳	32 (1991), 102
P 464	Al-Si-Fe 系粉末合金の機械的性質に及ぼす脱ガス条件の影響	佐 藤 文 彦 安 保 内 重 徳 山 犬 丸 秀 重 徳	32 (1991), 108
P 526	Al-Si 系合金の組織と機械的性質に及ぼすスプレィフォーム条件の影響	時 實 直 樹 佐 野 野 秀 男 洪 江 内 重 徳 大 久 保 内 喜 重 徳	35 (1994), 117
P 527	Spray Formed Aluminium Alloy Components for Automotive Applications	Hideo Sano Naoki Tokizane Yoshimasa Ohkubo Kazuhisa Shibue	35 (1994), 123
P 550	コンポキャスト法により作製した SiC 粒子分散アルミ合金基複合材の組織と機械的性質	箕 田 正 金 睦 淳	37 (1996), 26
P 551	粉末法による 6N01/SiC <sub>p</sub> 複合材の焼入れ感受性	大 久 保 喜 正 谷 洪 江 内 重 徳 洪 江 内 重 徳	37 (1996), 31
P 566	2024 粉末合金の機械的性質に及ぼす脱ガス条件の影響	大 久 保 喜 正 洪 江 内 重 徳 洪 江 内 重 徳	37 (1996), 161
P 567	スプレィフォーム法により作製した Al-Si-Fe 系合金押出材の破壊じん性	水 越 秀 雄 佐 野 野 秀 男 洪 江 内 重 徳 大 久 保 内 喜 重 徳	37 (1996), 167
R 282	急冷凝固粉末アルミニウム合金の最近の動向	犬 丸 秀 重 徳 山 内 江 野 秀 重 徳 佐 野 内 重 徳	25 (1984), 193
R 335	航空機用アルミニウム合金の最近の研究, その 3. 粉末合金	山 内 重 徳	29 (1988), 69
R 420	粒子分散アルミニウム基複合材料の製造とその利用	大 久 保 喜 正 洪 江 内 重 徳 洪 江 内 重 徳	35 (1994), 184
R 421	急冷凝固アルミニウム合金の実用化	佐 野 秀 男 時 實 直 樹 大 久 保 内 喜 重 徳 洪 江 内 重 徳	35 (1994), 199
R 450	Recent Progress in Spray Forming of Aluminium Alloys	Naoki Tokizane Yoshimasa Ohkubo Kazuhisa Shibue	38 (1997), 79

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 460	アルミニウム合金のスプレイフォーミング	時 實 直 樹 洪 江 和 久	39 (1998), 122
R 466	粒子分散型アルミニウム合金複合材料の開発	洪 江 和 久 大久保 喜 正	40 (1999), 93
N 12	アルミニウム合金 S1~S4 及び F3~F5	—	26 (1985), 57
N 16	P/M アルミニウム合金 PA4 並びに PA1 シリーズ	—	29 (1988), 162
N 17	樹脂射出成形金型アルミニウム粉末合金	—	30 (1989), 164
N 40	ピストン用アルミニウム複合材料 PD423	—	40 (1999), 169
N 41	鉄道車両ブレーキディスク用アルミニウム複合材料 PD424	—	40 (1999), 170
N 42	高剛性低熱膨張アルミ合金 PA/PB430	—	40 (1999), 171

## 12. TiAl 金属間化合物

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 452	TiAl 単結晶の低温変形と転位組織	川 畑 武 鏡 屋 匡 金 井 恒 行 和 泉 修	31 (1990), 163
P 462	反応焼結法 TiAl 金属間化合物のポア発生とその抑制法	洪 江 和 久	32 (1991), 95
P 470	Microstructure and Mechanical Properties of Reactively Sintered TiB <sub>2</sub> /Ti-Al-Mn Composites	Mok-Soon Kim	32 (1991), 170
P 475	Microstructure Study of Ti-47.3at%Al-1.7at%Mn Intermetallic Compound Fabricated by Reactive-sintering	Kazuhisa Shibue Masaki Kumagai	32 (1991), 221
P 492	反応焼結法により作製した TiAlMn 金属間化合物の酸化特性	熊 谷 正 樹 洪 江 和 久	33 (1992), 144
P 496	反応焼結法により作製した TiAl 金属間化合物の破壊じん性	水 越 秀 雄 洪 江 和 久	33 (1992), 211
P 509	TiAl 金属間化合物の耐酸化性に及ぼす微量元素の影響	熊 谷 正 樹 洪 江 和 睦 金 睦 淳	34 (1993), 121
P 517	Effect of Composition on Tensile and Oxidation Properties in TiAl-Mn Intermetallics Produced by Reactive Sintering	Mok-Soon Kim Masaki Kumagai Kazuhisa Shibue Tsutomu Furuyama	34 (1993), 219
P 528	反応焼結 TiAl (Mn) の常温引張特性に及ぼす反応焼結前の押出比の影響	古 山 努 洪 江 和 久 金 熊 睦 正 樹 熊 谷 正 樹	35 (1994), 131
P 544	高温酸化処理による反応焼結 TiAl-Mn 金属間化合物の耐摩耗性の向上	熊 谷 正 樹 洪 古 山 努	36 (1995), 184
P 545	反応焼結法により作製した Ti-43.4at%Al-1.6at%Mn 金属間化合物の被削性	古 山 努 佐々木 直 久 洪 江 和 栄 金 熊 睦 久 古 山 正 樹	36 (1995), 191
P 552	反応焼結 TiAl (Mn) の組織と引張特性に及ぼす原料チタン粉末の影響	洪 江 和 久 金 熊 睦 淳 古 山 正 樹	37 (1996), 37
P 565	チタンアルミ金属間化合物の酸化特性に及ぼすアルミニウム量と温度の影響	熊 谷 正 樹 洪 江 和 久 金 熊 睦 淳	37 (1996), 154
P 572	微細完全ラメラ組織を有する反応焼結 TiAl の機械的性質	古 山 努 洪 江 和 睦 金 睦 淳	38 (1997), 12
P 573	Influence of Chlorine on Oxidation Behaviour of TiAl-Mn Intermetallic Compound	Masaki Kumagai Kazuhisa Shibue Makoto Yonemitsu	38 (1997), 18

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 581	Properties of Gamma Titanium Aluminide Fabricated by the Reactive-sintering Process Combined with Powder-extrusion	Kazuhisa Shibue Tutomu Furuyama	38 (1997), 127
P 582	反応焼結における TiAl (Mn) 金属間化合物の寸法変化	渋谷 和久 山 久努	38 (1997), 136
R 351	TiAl の破壊機構	川 畑 武	30 (1989), 140
R 354	TiAl の延性化	川 畑 武	30 (1989), 211
R 382	反応焼結法による TiAl の製造	渋谷 和久	33 (1992), 98
R 422	当社における $\gamma$ -TiAl の最近の研究開発	渋谷 和久 熊谷 睦正 熊谷 淳樹	35 (1994), 210
N 40	ピストン用アルミニウム複合材料 PD423		40 (1999), 169
N 41	鉄道車両ブレーキディスク用アルミニウム複合材料 PD424		40 (1999), 170
N 42	高剛性低熱膨張アルミ合金 PA/PB430		40 (1999), 171

### 13. その他

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 190	極点写真に現れるゴースト・ラインの解析	広 沢 栄 一	10 (1969), 252
P 254	任意断面型材の断面性能計算プログラム	中 村 義 授 竹 島 義 雄	15 (1974), 98
P 289	電解除濁におけるアルミニウム電極材料について	西 尾 正 浩 田 部 善 一	18 (1977), 28
P 445	半溶融複合加工によるアルミニウム基粒子分散強化複合板材の製造とその加工性	木 内 学 高 杉 山 茂 杉 山 澄 義 杉 山 雄 義	31 (1990), 38
P 530	アルミニウム合金板抵抗スポット溶接用 STAR 電極の開発	熊 谷 正 樹 佐 野 啓 路 永 田 公 三 難 波 圭 三	35 (1994), 145
P 687	摩擦センサの開発とアルミニウム熱間押し出しにおける測定	米 山 昌 猛 高 橋 昌 也	46 (2005), 37
R 109	高圧ガス容器再検査における弾性膨張係数について	竹 内 勝 治 中 村 治 授	9 (1968), 271
R 113	溶接構造用 Al-Zn-Mg 系合金について	寺 井 士 郎 馬 場 義 雄	10 (1969), 42
R 116	最近の加工用アルミニウム合金	寺 井 士 郎	10 (1969), 119
R 127	アルミニウム合金の許容応力について	竹 内 勝 治 田 中 英 司	11 (1970), 175
R 129	アルミニウム合金押出型材の断面形状の設計	竹 内 勝 治 伴 又 寿	11 (1970), 281
R 132	広幅冷間 4 段圧延機の紹介	近 藤 正 繁 安 藤 正 男	12 (1971), 40
R 138	アルミニウム合金の構造物への利用	竹 内 勝 治 小 菊 地 三 郎 菊 地 三 郎 地 三 郎 三 郎 雄	12 (1971), 169
R 141	変位法による骨組構造解析	中 村 授	12 (1971), 213
R 161	ふっ素イオンのふっ化カルシウムとしての沈殿条件	加 藤 栄	14 (1973), 101
R 185	日本トレールモービルの紹介	志 水 宗 中 川 幸 治 貝 谷 正 満 矢 部 利	15 (1974), 222

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 188	最近のアルミニウム合金	畑 栄 一 寺 井 士 馬 場 義 宇 野 照	16 (1975), 38
R 215	住軽アルミニウム工業株式会社の紹介	宗 像 達 雄 西 田 羊 三 大 津 武 通 木 寅 一郎	19 (1978), 68
R 356	The Present Status of the Japanese Aluminium Industry	Hiromu Arimitsu Masaji Takagi	30 (1989), 226
R 375	アルミニウム圧延における形状検出器及び温度計測装置	若 林 広 行 大 嶽 伸 篤 高 橋 伸 幸	32 (1991), 205
R 425	エア-ベアリング式非接触温度計の基本特性	鶴 木 廣 高 橋 伸 幸 平 本 一 真 野 豊 真 野 男 司	36 (1995), 32
R 501	アルミニウム缶用帯板材の内部欠陥オンライン探傷における板波探触子の改良	武 藤 伸 之	44 (2003), 135
R 527	「アルミであそぼう, アルミにふれよう」(子供たち対象のイベント)	平 野 清 一	47 (2006), 145
R 542	子供達に教える“ものづくり”のおもしろさ	田 中 宏 樹	49 (2008), 179
R 545	当社における計測技術研究の歩み	高 橋 伸 幸	50 (2009), 60
R 549	鉄に学ぶー「アルミも熱いうちに打て！」	吉 田 英 雄	50 (2009), 80
R 550	「見て、触れて、感じて」もの作りの楽しさを子供たちに	日比野 淳	50 (2009), 81
N 18	CCD カメラ方式 高速表面検査装置・SD2000	—	31 (1990), 91

# 1. 分 析

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 7	カントメーターによる銅合金、アルミニウム合金の分光分析について	沢 田 敏 男	1 (1960), 55
P 11	ジルコニウムおよびジルコニウム合金の分析法 (第1報) スズ, 鉄, クローム, ニッケル, ケイ素, バナジウムおよび窒素の定量方法について	橋 本 鹿 雄 加 藤 榮 榮	1 (1960), 94
P 16	ウランに関する分析法の研究 (第1報) 廃水中のウランと金属ウラン中のクロム, マンガン, 鉄およびコバルトの定量法について	橋 本 鹿 雄 一 柳 昭 成	1 (1960), 183
P 22	高周波燃焼法によるニッケル-銅合金中の炭素およびイオウの定量法について	橋 本 鹿 雄 田 中 礼 次	1 (1960), 254
P 25	銅合金およびアルミニウム合金のカントメーターによる分光分析における他元素の影響について	沢 田 敏 男	2 (1961), 2
P 57	ジルコニウムおよびジルコニウム合金の分析方法 (第2報) 塩素およびチタンの定量方法について	沢 田 敏 男 加 藤 榮 榮	3 (1962), 150
P 63	蛍光X線による定量分析の研究 (第1報)	沢 田 敏 男 一 柳 昭 成	3 (1962), 260
P 69	カントメーター分析の銅への応用	沢 田 敏 男	3 (1962), 343
P 71	銅・ジエチルジチオカルバミン酸錯塩のベンゼン抽出に関する一実験	沢 田 敏 男 加 藤 榮 榮	4 (1963), 2
P 81	ジチゾン抽出法による銅共存中の水銀の定量について	沢 田 敏 男 一 柳 昭 成	4 (1963), 130
P 86	フッ化ホウ素酸溶液における第一鉄・フェナンスロリニウム錯イオンの生成について ジルコニウムおよびジルコニウム合金中の鉄の吸光光度法	加 藤 榮 榮	4 (1963), 202
P 90	定電位電解法による各種金属の分析法に関する研究 酒石酸塩電解液を用いる銅、ビスマス、鉛、カドミウム、亜鉛およびアンチモンの定電位電解分離定量について	沢 田 敏 男 加 藤 榮 榮	4 (1963), 287
P 94	蛍光X線による定量分析の研究 (第2報) 銅-ニッケル合金の主成分の定量について	沢 田 敏 男 一 柳 昭 成	5 (1964), 22
P 103	蛍光X線による定量分析の研究 (第3報) 銅-ニッケル合金中の亜鉛の定量とマトリックス効果について	沢 田 敏 男 一 柳 昭 成	5 (1964), 181
P 113	ジルコニウムおよびジルコニウム合金の分析方法 (第3報) フッ化水素酸およびフッ化ホウ素酸溶液におけるジルコニウム試料の溶解に関する一実験, および $\alpha$ -ニトロソ- $\beta$ -ナフトールによるコバルトの溶媒抽出 吸光光度定量法について	沢 田 敏 男 加 藤 榮 榮	5 (1964), 302
P 120	蛍光X線による定量分析の研究 (第4報) 溶液法について	沢 田 敏 男 一 柳 昭 成	6 (1965), 62
P 133	ジチオール・ベンゼン, 押出法によるチタニウム, ジルコニウムおよびそれら合金中のモリブデンおよびタングステンの吸光光度定量法	沢 田 敏 男 加 藤 榮 榮	6 (1965), 266
P 138	チタニウム合金中の金の吸光光度定量法 $M^{n+}-Sn^{2+}-Cl$ 機構による呈色を利用する方法について	沢 田 敏 男 加 藤 榮 榮	7 (1966), 77
P 140	蛍光X線による定量分析の研究 (第5報) 黄銅中の主成分定量のためのマトリックス補正について	沢 田 敏 男 一 柳 昭 成 青 柳 徹	7 (1966), 126
P 152	蛍光X線による定量分析の研究 (第6報) 定量精度について	沢 田 敏 男 一 柳 昭 成	8 (1967), 100
P 348	りん脱酸銅中のリンの流れ分析について	加 藤 榮 榮 豊 嶋 雅 康 鷺 田 理 雄 匂 坂 壹 代 治	24 (1983), 108
P 403	酸素気流中燃焼-赤外線吸収法によるNd-Fe合金中の炭素分析	西 尾 正 浩 榊 原 幹 夫 藤 尾 佳 史	28 (1987), 133
P 564	銅管の焼鈍による加工油の熱分解挙動	丹 羽 道 代 今 井 正 也 渥 美 哲 郎	37 (1996), 147
P 608	銅管内水素置換焼鈍による加工油の熱分解挙動	三 好 静 夫 丹 羽 道 代	40 (1999), 61
P 683	Effect of Hydrogen Gas on the Thermal Behavior of Lubricant Oil Remaining in Copper Tubes during Annealing	Tetsuro Atsuni Hiroyuki Morita Shizuo Miyoshi	46 (2005), 6

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 712	給水用銅管による Legionella 殺菌効果に及ぼすバイオフィーム形成の影響	菅原武志 新野奈々子 菊山藤晴	48 (2007), 13
R 195	復水器管用黄銅管の低圧系内に占める水蒸気分圧の測定方法, およびオールアルミニウム製エバポレータ・コンデンサ管内残留水分量の定量方法について	加藤 榮也 今飯 正 泰	17 (1976), 83
R 299	高周波誘導結合プラズマ発光分光分析法について	西尾 正 浩	26 (1985), 164
R 341	海水中の硫化物イオンの自動連続定量について	加藤 榮也 今渥 正 哲	29 (1988), 196

## 2. 腐 食

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 3	銅合金の高温高圧水による腐食に関する研究 (第1報) 2元銅合金 (Cu-Al, Cu-Si, Cu-Ni, Cu-Sn) の腐食について	大津武通 佐藤 史 郎	1 (1960), 22
P 9	只見川水系沼沢発電所変圧器油冷却器用アルブラック管の腐食割れに関する研究	下平三郎 大津 武 通	1 (1960), 79
P 23	関西電力株式会社大阪発電所における モデルコンデンサーによる復水器管の腐食試験 (第1報)	大津武雄 佐藤 史 郎	1 (1960), 260
P 26	東京電力株式会社新東京火力発電所における モデルコンデンサーによる復水器管の腐食試験 (第1報)	大津武通 大川 睦 睦	2 (1961), 11
P 28	純チタニウムと各種金属との汚染河海水中における接触腐食について	鈴木 脩二郎	2 (1961), 51
P 32	関西電力株式会社大阪発電所における モデルコンデンサーによる復水器管の腐食試験 (第2報)	大津武通 佐藤 史 郎	2 (1961), 127
P 36	工業用純ジルコニウムの耐食性	鈴木 脩二郎	2 (1961), 198
P 45	中部電力株式会社名港発電所におけるモデルコンデンサーによる復水器管の腐食試験	大津武通 佐藤 史 郎	2 (1961), 299
P 51	水道用銅管の腐食について	田中礼次	3 (1962), 73
P 54	原油の常圧蒸溜装置用の金属材料の腐食に関する研究	佐藤 史 郎	3 (1962), 123
P 60	東京電力株式会社東京火力発電所における モデルコンデンサーによる復水器管の腐食試験 (第2報)	大津武通 大川 睦 睦	3 (1962), 205
P 61	汚染水による復水器管の腐食について (第1報) 名古屋港近辺河海水の水質	田中礼次	3 (1962), 225
P 62	汚染水による復水器管の腐食について (第2報) 東京近辺河海水の水質	田中礼次	3 (1962), 242
P 65	海水による復水器管の腐食に対する塩素処理の影響について	佐藤 史 郎	3 (1962), 276
P 66	汚染水による復水器管の腐食について (第3報) 腐食因子に関する2~3の実験	田中礼次	3 (1962), 303
P 74	新鋭火力発電所における復水器管の汚水腐食に関する研究 (第1報) 静水中における電気化学的研究	下平三郎 菅原 英 武 佐藤 夫 明	4 (1963), 31
P 75	石油精製プラントにおける熱交換用黄銅管の応力腐食ワレに関する諸因子について	佐藤 史 郎	4 (1963), 48
P 76	アルミニウム青銅の脱アルミニウム腐食と陽極極曲線の関係について	田部 善 一	4 (1963), 59
P 79	中部電力株式会社名港発電所におけるモデルコンデンサーによる 復水器管の腐食試験 (第2報)	大津武通 佐藤 史 郎 渡辺 敏 彦	4 (1963), 109
P 80	共析アルミニウム青銅の脱アルミニウム腐食におよぼす恒温変態の影響	田部 善 一	4 (1963), 125
P 91	銅合金の高温高圧による腐食に関する研究 (第2報) Cu-Zn合金の腐食について	佐藤 史 郎	5 (1964), 2
P 92	三重火力発電所モデルコンサーにおける復水器管の汚損、腐食試験	田中礼次 田部 善 一	5 (1964), 9

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 93	アルミニウム黄銅の汚染水腐食におよぼす亜鉛およびアルミニウムの影響	田 部 善 一	5 (1964), 16
P 101	銅合金の高温高压水による腐食に関する研究 (第3報) αアルミニウム青銅の腐食とそれにおよぼす添加元素の効果について	佐 藤 史 郎	5 (1964), 121
P 104	汚染水による復水器管の腐食について (第4報) 関西地区河海水の水質	田 中 礼 次	5 (1964), 188
P 107	銅合金の高温高压水による腐食に関する研究 (第4報) α黄銅の腐食におよぼす添加元素の効果について	佐 藤 史 郎	5 (1964), 231
P 109	ニッケルメッキによる復水器管蒸気側の腐食防止について	田 中 礼 次	5 (1964), 266
P 112	銅合金の高温高压水による腐食に関する研究 (第5報) 銅-ニッケル基合金の腐食について	佐 藤 史 郎	5 (1964), 290
P 118	汚染海水によるアルミニウム黄銅復水器管の腐食におよぼす諸因子について	佐 藤 史 郎	6 (1965), 42
P 121	汚染水による復水器管の腐食について (第5報) 発電所取水口への浸漬腐食試験ならびに汚染度と腐食度の関係	田 中 礼 次	6 (1965), 71
P 123	石油精製プラントの水源脱硫装置における各種金属材料の実地腐食試験の結果	佐 藤 史 郎	6 (1965), 111
P 124	スズ入り黄銅の汚染水腐食におよぼす亜鉛およびスズの影響	田 部 善 一	6 (1965), 119
P 127	汚染水による復水器管の腐食について (第6報) 硫化物による腐食の機構について	田 中 礼 次	6 (1965), 152
P 132	中部電力株式会社名港発電所における モデルコンデンサーによる復水器管の腐食試験 (第3報)	大 津 武 通 佐 藤 史 郎 福 田 保 夫 渡 辺 敏 彦	6 (1965), 237
P 141	α黄銅の応力腐食ワレに関する電気化学的研究	田 部 善 一	7 (1966), 137
P 147	復水器管用銅合金の流動食塩水中の分極挙動の経時変化について	田 部 善 一	8 (1967), 10
P 149	純チタニウムの耐食性に及ぼす侵入型元素および微量 Fe の添加の影響について	鈴 木 脩二郎	8 (1967), 30
P 164	中部電力株式会社名港発電所における モデルコンデンサーによる復水器管の腐食試験 (第4報)	佐 藤 史 郎	9 (1968), 76
P 165	河海水中の銅含有量について	田 中 礼 次	9 (1968), 91
P 170	流水中の砂による復水器管用銅合金のエロージョンについて	田 部 善 一	9 (1968), 169
P 185	アルミニウム黄銅の淡水による応力腐食割れにおよぼす腐食抑制剤の効果	佐 藤 史 郎 野 世 溪 精	10 (1969), 175
P 194	復水器管用銅合金の腐食におよぼす第一鉄イオンの効果	田 部 善 一	11 (1970), 42
P 200	美浜町丹生湾における復水器管の腐食試験 各種復水器管の耐食性とそれにおよぼす鉄イオンならびにデポジットの影響	佐 藤 史 郎 匂 喜 代 治	11 (1970), 114
P 206	復水器管の腐食におよぼすスポンジボール洗浄の影響 (第1報) 清浄海水による腐食について	佐 藤 史 郎 永 田 公 昭 小 木 曾 夫	11 (1970), 187
P 212	アルミニウム黄銅復水器管の許容流速と清浄度におよぼす第一鉄イオン注入の影響について	佐 藤 史 郎 野 世 溪 精	11 (1970), 271
P 216	復水器管の耐食性および清浄度におよぼす各種要因の効果	野 世 溪 精 佐 藤 史 郎 風 間 公 一 山 口 恒 政 安 井 恒 政	12 (1971), 85
P 225	復水器管の腐食におよぼすスポンジボール洗浄の影響 (第2報) 汚染海水による腐食について	佐 藤 史 郎 永 田 公 昭 小 木 曾 夫	13 (1972), 3
P 232	3%食塩水溶液中における銅合金の保護皮膜について	田 部 善 一	13 (1972), 168
P 242	復水器管の耐食性におよぼす初期皮膜の重要性	佐 藤 史 郎 小 木 曾 昭 夫 安 藤 秀 一 山 藤 口 一 恩 田 勝 弘	14 (1973), 76
P 248	オイルタンカー船槽内における各種金属材料-とくに銅合金-の腐食試験	佐 藤 史 郎 匂 喜 代 治	14 (1973), 219

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 250	復水器管の耐食性における鉄イオンの連続注入と間欠注入の関係	佐藤 史郎 藤野世溪 安藤山恩	15 (1974), 11
P 252	高温高圧水および蒸気中における銅-亜鉛-アルミニウム合金の応力腐食割れについて	佐藤 史郎 永田 公二	15 (1974), 73
P 258	銅および銅合金の応力腐食割れの事例について	佐藤 史郎 永田 公二	15 (1974), 174
P 263	高圧給水加熱器キュプロニッケルおよびモネルメタル管の応力腐食割れについて	佐藤 史郎 永田 公二	15 (1974), 269
P 269	復水器管のサンドエロージョンにおよぼす諸因子の影響	佐藤 史郎 藤野世溪 山恩	16 (1975), 23
P 277	復水器管の問題点としての異常潰食の重要性と要因に関する検討	佐藤 史郎 大川 睦	17 (1976), 17
P 285	Polarization Characteristics of Condenser Tubes by Impressed Cathodic Current	Shiro Sato Shigenori Yamauchi	17 (1976), 125
P 290	復水器管の障害要因とその対策	川辺 允志 生島 保一 飯島 訓司 佐藤 史郎 永田 公二 山内 重徳	18 (1977), 93
P 291	銅管の孔食について	佐藤 史郎 山内 重徳	18 (1977), 117
P 296	Factors Affecting Corrosion and Fouling of Condenser Tubes of Copper Alloys and Titanium	Shiro Sato Koji Nagata	19 (1978), 83
P 308	Influence of Surface Condition on the Corrosion Resistance of Copper Alloy Condenser Tubes in Sea Water	Shiro Sato Koji Nagata Shigenori Yamauchi	20 (1979), 107
P 314	中水による各種伝熱管の腐食と汚れ	佐藤 史郎 永田 公二 下野 三樹雄	21 (1980), 90
P 324	MFS 海水淡水化装置におけるチタン管の隙間腐食	山内 重徳 永田 公二 佐藤 史郎	21 (1980), 249
P 329	Effect of Marine Biofouling on the Heat Transfer Performance of Titanium Condenser Tubes	Tadashi Nosetani Shiro Sato Katsuhiko Onda Jun Kashiwada Kaname Kawaguchi	22 (1981), 30
P 331	Corrosion Survey of Aluminium Brass Heat Exchanger Tubes in Acid Dosed Desalination Plant	Shiro Sato Koji Nagata Teruo Kanamori Yasushi Shiota Nobuhisa Hiraishi Chan Ying Kwong	22 (1981), 76
P 347	りん脱酸銅の応力腐食割れについて	永田 公二 佐藤 史郎	24 (1983), 97
P 349	銅管の異常形態腐食について	山内 重徳 永田 公二 佐藤 史郎 下野 三樹雄	25 (1984), 1
P 354	銅合金復水器管の異物閉塞に起因した局部エロージョン・コロージョンについて	渥美 哲郎 永田 公二 佐藤 史郎	25 (1984), 74
P 364	給水給湯用配管からの銅の溶出とその対策	山内 重徳 永田 公二 佐藤 史郎	25 (1984), 242
P 373	銅合金復水器管の耐食性と表面皮膜	渥美 哲郎 須藤 久治 永田 公二	26 (1985), 135



文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 384	復水器管の海生生物汚損に及ぼす諸因子の影響	永須川勝 田藤辺山 公久允一 二治治郎	27 (1986), 80
P 399	給湯用銅管の孔食に及ぼす水質の影響	浜熊河山 元谷野内 隆正浩重 夫樹三徳	28 (1987), 70
P 404	アルミニウム黄銅復水器管のフジツボ付着下の腐食	永須田川加橋 田藤部辺戸高 公久善允隆二 二治一治介郎	28 (1987), 157
P 415	耐孔食銅合金管の開発	浜熊 元谷 隆正 夫樹	29 (1988), 175
P 421	チタン製復水器管の生物汚損と各種スポンジボール洗浄	野世溪藤田藤 野佐恩加 史勝雄 精郎弘平	29 (1988), 274
P 436	有機カルボン酸を含む湿潤環境における銅管の蟻の巣状腐食	能登谷元野 武隆浩 紀夫三	30 (1989), 123
P 478	塩素系有機溶剤と銅管の蟻の巣状腐食について	浜今 元井 隆正 夫也	32 (1991), 243
P 498	ホスホン酸系インヒビター水溶液中における銅管の孔食について	山永田 田頭 公孝 豊二介	33 (1992), 223
P 499	Effect of Initial Surface Film on the Corrosion Resistance of CN108 Alloy Tube in Sea Water	Koji Nagata Tetsuro Atsumi Makoto Yonemitsu	33 (1992), 230
P 580	強制循環給湯配管における銅管の潰食現象とその対策	山河渥 田野美 浩哲 豊三郎	38 (1997), 121
P 596	北海道における青水問題発生地域での内面 Sn 被覆銅管の性能	山伊琴永 田藤美田 順哲公 豊一郎二	39 (1998), 73
P 597	開放系蓄熱槽冷温水下における空調機用銅管の孔食について	山渥森畑中 田美 中尾 哲明隆信 豊郎久一之	39 (1998), 79
P 607	地下水使用環境下での銅管の孔食	山河鈴渥澤 田野木美 浩 哲聖 豊三忍郎健	40 (1999), 53
P 620	銅管腐食発生地域での内面スズ被覆銅管の性能	鈴山渥河鳥 木田美野山 哲浩 忍豊郎三治	41 (2000), 70
P 621	ヒートパイプの銅イオン濃淡電池腐食事例とその対策	河渥知 野美念 浩哲武 三郎広	41 (2000), 76
P 647	給湯器用熱交換器銅管に発生する孔食とその対策	鈴渥山河 木美田野 哲 浩 忍郎豊三	43 (2002), 90
P 648	電気伝導度を用いた銅管孔食ハザードマップの作成	山境世荒 利川 昌修昌 豊宏美伸	43 (2002), 95
P 664	Ant's Nest Corrosion and Its Prevention of ACR Copper Tubes based on Experience	Tetsuro Atsumi Kozo Kawano Koji Nagata	44 (2003), 69

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 665	マウンドレス型孔食事例と対策の検討	山世 田 豊 荒 利 美 川 修 伸 昌 昌	44 (2003), 76
P 681	フィールド試験用銅配管に発生したマウンドレス型孔食に対する形態学的見地からのアプローチ	山 田 豊 境 利 宏 世 川 昌 美 荒 利 修 伸 昌 昌	45 (2004), 101
P 684	亜硝酸系防錆剤を含む空靖機使用水下での銅管の腐食挙動	山 田 豊 境 利 宏 世 戸 昌 飯 塚 岩 昌 政 修 功	46 (2005), 17
P 695	Development of Tin Coated Copper Tubes for Cold and Hot Water Service	Shinobu Suzuki Tetsuro Atsumi Yutaka Yanada	47 (2006), 1
P 696	給水・給湯用銅管の浄水処理によるマウンドレス型孔食の抑制効果	山 田 豊 久保 木 一 若林 賢 行 伏 見 賢 一	47 (2006), 8
P 697	給湯器用熱交換器銅管に発生する I' 型孔食事例とその対策	鈴 木 忍 山 田 豊 河 野 浩 金 森 三 渥 美 郎 浩 哲	47 (2006), 13
P 710	Promoting the Widespread Use of Copper Pipes for Public Drinking Water	Shiro Sato Haruo Saito	48 (2007), 1
P 711	強制循環給湯配管システムの給湯水中の溶存酸素挙動	河 野 浩 三 山 田 野 豊 中 野 葆	48 (2007), 8
P 722	冷温水使用環境下空常用伝熱管への内面スズ被覆銅管の適用	山 田 豊 鈴 木 忍 金 森 三 叢 島 彦 石 黒 一 康 賢	49 (2008), 1
P 736	給湯用銅管の潰食現象に及ぼすマイクロバブルの影響	鈴 木 忍 山 田 豊 河 野 浩 三	50 (2009), 1
P 737	循環式給湯配管システムにおける溶存気体の挙動と銅管の潰食防止に関する研究	山 手 利 博 大 久 保 泰 表 河 野 幸 山 田 浩 三 豊	50 (2009), 6
R 1	熱交換器用銅合金管材の腐食形態について (その 1)	大 津 武 通	1 (1960), 62
R 5	熱交換器用銅合金管材の腐食形態について (その 2)	大 津 武 通	1 (1960), 167
R 28	火力発電所復水器管の腐食問題に関する諸研究 (第 1 報) (モデル復水器による各種試験)	大 津 武 通 田 中 藤 次 佐 藤 史 郎 田 部 善 一 大 善 睦	4 (1963), 221
R 33	火力発電所復水器管の腐食問題に関する諸研究 (第 2 報) 既知および試作新合金復水器管の実地腐食試験	大 津 武 通 佐 藤 史 郎 大 善 睦	4 (1963), 304
R 35	熱交換器用銅合金管 (特に復水器管) の発達について	大 津 武 通	5 (1964), 56
R 40	アルブラック管の汚染水腐食に対する陰極防食効果の一資料	田 部 善 一	5 (1964), 149
R 45	汚染海水耐食性新合金復水器管 AP ブロンズ管について	深 井 誠 吉 大 津 藤 武 通 佐 藤 史 郎 大 善 睦	5 (1964), 317
R 59	渦流探傷法による復水器管の腐食状況の調査について	佐 藤 史 郎 小 木 曾 代 曾 昭 治 夫	6 (1965), 290
R 84	シドニー市の教会屋上に 230 年使用されていた銅板の調査	田 部 善 一	8 (1967), 76
R 87	名古屋港近辺河海水の水質について	田 中 礼 次	8 (1967), 127

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 93	工業用純チタニウムの腐食試験方法についての二、三の実験	鈴木 木野 脩二郎 下野 三樹雄 浜 淳 司	8 (1967), 240
R 96	蒸気原動機の復水器管に関する腐食防食の問題点について	大 津 武 通	9 (1968), 32
R 107	チタン・パラジウム合金の耐食性	鈴木 木野 脩二郎 下野 三樹雄	9 (1968), 229
R 126	銅合金の応力腐食	佐 藤 史 郎	11 (1970), 104
R 133	銅合金およびアルミニウム合金の伝熱面腐食と流動腐食	田 中 礼 次	12 (1971), 48
R 151	給湯用銅配管の銅溶出とその防止法について	田 中 礼 次 西 尾 正 浩	13 (1972), 141
R 258	淡水中における銅管の腐食と防食	山 内 重 徳 佐 藤 史 郎	23 (1982), 167
R 268	Evaluation of Various Preventive Measures against Corrosion of Copper Alloy Condenser Tubes by Sea Water	Shiro Sato Koji Nagata Shigenori Yamauchi	24 (1983), 118
R 296	耐食防汚型キュプロニッケル-チタン二重管の開発	永 田 公 二 須 藤 久 治 水 野 允 稔 川 野 允 治	26 (1985), 113
R 380	使用実績からみたキュプロニッケル伝熱管の耐食性について	佐 藤 史 郎 永 藤 田 公 二 小 木 曾 昭 夫	33 (1992), 43
R 490	建築材料としての銅管の腐食現象とその対策	山 田 豊	42 (2001), 186

### 3. 物理冶金

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 4	Ti-Al-Mn 系合金の物理冶金学的研究 (第1報) Ti-Al 2元系平衡状態図について	佐 藤 知 雄 黄 近 藤 燕 清 近 藤 豊	1 (1960), 30
P 5	Ti-Al-Mn 系合金の冶金学的研究 (第2報) Ti-Al-Mn 3元系の Ti 側平衡状態図について	佐 藤 知 雄 黄 近 藤 燕 清 近 藤 豊	1 (1960), 36
P 8	ケイ素-アルミニウム青銅の組織と Bending Characteristics との関連性について	水 野 桂 一	1 (1960), 71
P 10	銅合金の疲労強度におよぼす環境の影響についての一実験	深 井 誠 吉 竹 内 勝 治	1 (1960), 88
P 14	The Ms Points of Titanium Binary Alloys	Tomo-o Sato Seikiti Hukai Yen-Chien Huang Shujiro Suzuki	1 (1960), 173
P 15	金属チタニウムおよびチタニウム合金の水素吸収について	大 竹 康 元	1 (1960), 178
P 18	強加工銅板の焼鈍異方性	広 沢 栄 一 大 川 睦	1 (1960), 209
P 19	黄銅の応力腐食性におよぼす焼鈍の影響	佐 藤 史 郎	1 (1960), 217
P 24	Ti-2%Al-2%Mn 合金および工業用純チタニウムの高温強度に関する研究	深 井 誠 吉 竹 田 中 勝 英 田 内 治 司	1 (1960), 284
P 33	チタニウム合金の研究 (第1報)	近 藤 豊	2 (1961), 139
P 37	チタニウム合金の研究 (第2報)	近 藤 豊	2 (1961), 205
P 42	チタニウム合金の研究 (第3報)	近 藤 豊 鈴 木 脩二郎	2 (1961), 273
P 49	時効硬化型 Cu-Zr-Cr 合金に関する研究	水 野 桂 一	3 (1962), 55
P 55	Ti-Al-Mn 合金の物理冶金学的研究 (第3報) 高 Ti-Al-Mn 合金の焼入および焼モドシによる相変化	佐 藤 知 雄 黄 近 藤 燕 清 近 藤 豊	3 (1962), 134

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 67	2 元系チタニウム合金の連続冷却変態図	佐藤 知雄 黄木 燕清 鈴 木 脩二郎	3 (1962), 314
P 68	純チタニウムにおける加工による孔の発生について	鈴 木 脩二郎	3 (1962), 336
P 85	ケイ素青銅について	大津 武通 水野 桂一 渡辺 敏彦	4 (1963), 190
P 95	浅い切欠をつけた工業用純チタニウムの疲労強度について	竹 内 勝 治	5 (1964), 30
P 108	チタニウム合金の研究 (第 4 報)	近藤 藤 豊 鈴 木 脩二郎	5 (1964), 237
P 126	冷間加工による銅および銅合金の構造変化について	広 沢 栄 一	6 (1965), 130
P 134	銅合金の焼鈍脆化現象の研究 (第 1 報) アルミニウム黄銅管の焼鈍脆化現象	佐藤 史 郎	7 (1966), 3
P 135	工業用純チタニウム板の機械的性質の異方性について	鈴 木 脩二郎	7 (1966), 11
P 142	銅合金の焼鈍脆化現象の研究 (第 2 報) $\alpha$ 黄銅の焼鈍脆化現象に影響する因子について	佐藤 史 郎	7 (1966), 143
P 146	銅合金の焼鈍脆化現象の研究 (第 3 報) 黄銅の焼鈍脆化現象の結晶粒度依存性について	佐藤 史 郎	8 (1967), 2
P 154	銅合金の焼鈍脆化現象の研究 (第 4 報) クロム銅の焼戻し脆化現象について	佐藤 史 郎 福 田 保 夫	8 (1967), 143
P 158	ニッケルを含むアルミニウム青銅の組織と性質について	佐藤 史 郎 福 田 保 夫	8 (1967), 213
P 161	$\alpha$ 黄銅の熱間脆性とウランウムの影響	佐藤 史 郎 匂 坂 喜代治	9 (1968), 2
P 178	アルミニウム黄銅の応力腐食感受性に及ぼす添加元素の影響	佐藤 史 郎 野世 溪 精	10 (1969), 85
P 188	Bi による脱酸銅の常温脆化について	佐藤 史 郎 永 田 公 二	10 (1966), 230
P 192	クロム銅の焼入性について	佐藤 史 郎 永 田 公 二	11 (1970), 26
P 228	銅合金の焼鈍脆化現象におよぼす冷間加工度の影響 銅合金の焼鈍脆化現象に関する研究 (第 5 報)	佐藤 史 郎 永 田 公 二	13 (1972), 66
P 233	酸素無銅およびりん脱酸銅の酸化還元加熱による水素ぜい化とそれにおよぼす加熱温度・加熱時間およびりん含有量の影響	大 川 睦	13 (1972), 178
P 328	キュープロニッケル合金における鉄の析出現象	永田 公二 佐藤 史郎	22 (1981), 22
P 335	30%キュープロニッケル鑄塊の熱間加工性	永田 公二 佐藤 史郎	23 (1982), 10
P 350	Cu-30%Ni 合金の鑄塊組織と溶湯流動による結晶粒微細化について	大福根 康夫 吉田丸 政博 犬 丸 晋	25 (1984), 8
P 459	亜鉛メッキ鋼板に対するアルミナ分散強化銅スポット溶接用電極の特性	熊谷 正樹 永 田 公 二	31 (1990), 246
P 563	30%キュープロニッケル鑄塊の脆化現象	安渥 藤美 哲也 永 田 公 二	37 (1996), 141
P 579	アルミニウム黄銅の脆化対策	安渥 藤美 哲也	38 (1997), 114
P 633	Bi 置換型快削黄銅の被削性に及ぼす材料因子	安渥 藤美 哲也 吉 川 善 浩	42 (2001), 95
P 650	Bi 置換型快削黄銅の被削性向上	安渥 藤美 哲也 吉 川 善 浩	43 (2002), 105
P 663	Cu-Zn-Bi 合金における Bi 粒子の微細分散化	安渥 藤美 哲也 吉 川 善 浩	44 (2003), 64

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 682	60mass%Cu-Zn 合金の被削性に及ぼすビスマス及びスズ複合添加の影響	安渥 哲也 藤美川 善浩 吉望中 月村 敏克	46 (2005), 1
R 4	キュープロ・ニッケルの常温並びに高温における機械的性質について	深竹 井内 誠 苦 竹 内 勝 治	1 (1960), 153
R 11	アルブラック管及びキュープロニッケル管の抽伸加工及び焼鈍に依る機械的性質と組織の変化 (データシート)	大 津 武 通 大 川 武 睦	2 (1961), 177
R 30	アルブラック、キュープロニッケルおよび脱酸銅の長時間高温度と許容応力 (データシート)	大 津 武 通 大 川 武 睦 小 木 曾 昭 夫	4 (1963), 245
R 68	ニッケル銅合金の高温強度と腐食疲労強度について	竹 内 勝 治 田 中 英 司	7 (1966), 103
R 91	非鉄金属の腐食疲労	深竹 井内 誠 吉 竹 内 勝 治	8 (1967), 181
R 111	純チタンおよびチタン合金の低温引張性質 (データシート)	鈴 木 脩二郎 下 野 三樹雄	9 (1968), 298
R 252	高伝導度銅合金の高温特性 (データ・シート)	竹 島 義 雄 永 田 公 二	23 (1982), 75
R 328	チタン合金板の超塑性成形	井 上 稔 高 橋 明 男 都 筑 隆 之	28 (1987), 206
R 471	水中押出による押出素管の結晶粒微細化と ACR 用銅管の品質向上	志 賀 義 則 松 下 彰	40 (1999), 142

#### 4. 応 用

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 35	タフピッチ銅の不活性ガスメタルアーク塔接について	水 野 桂 一	2 (1961), 191
P 75	石油精製プラントにおける熱交換用黄銅管の応力腐食ワレに関する諸因子について	佐 藤 史 郎	4 (1963), 48
P 85	ケイ素青銅について	大 津 武 通 水 野 桂 一 渡 辺 敏 彦	4 (1963), 190
P 102	ケイ素青銅の Weld Crack および Hot Tear に関する研究	水 野 桂 一 福 田 保 夫	5 (1964), 129
P 139	給水用配管の耐凍結割れ性について	広 沢 栄 一 直 江 正 久	7 (1966), 87
P 169	アルミと銅の摩擦溶接	杉 山 禎 彦 安 藤 国 輔 田 平 幸 男	9 (1968), 158
P 174	純チタンと軟鋼の熱間圧接に関する研究	鈴 木 脩二郎	10 (1969), 3
P 237	Development of Copper Alloy Condenser Tubes Resistant to Polluted Sea Water "AP BRONZE"	Shiro Sato	14 (1973), 7
P 257	チタン製復水器管の使用に伴う問題の実例と対策	溪 精 樹 下 野 三樹雄 田 部 善 一 佐 藤 史 郎 広 瀬 仁 志 恩 田 勝 弘 山 口 諠 誼	15 (1974), 163
P 275	銅および銅合金の都市ガス配管への適用について	佐 藤 史 郎 匂 坂 喜 代 治	16 (1975), 106
P 287	Evaluation of Various Heat Exchanger Tubes for MSF Plants	Shiro Sato Koji Nagata	18 (1977), 11
P 295	Titanium Condenser Tubes—Problems and Their Solutions for Wider Application to Large Surface Condensers	Shiro Sato Yoshihiko Sugiyama Koji Nagata Keizo Namba Mikio Shimono	19 (1978), 12

文献No.	題 目	著 者	卷 (年) 頁
P 304	On the Materials for Desalination Plants and their Problems-Particularly on the Heat Exchanger Tube Materials	Shiro Sato	20 (1979), 44
P 329	Effect of Marine Biofouling on the Heat Transfer Performance of Titanium Condenser Tubes	Tadashi Nosetani Shiro Sato Katsuhiro Onda Jun Kashiwada Kaname Kawaguchi	22 (1981), 30
P 342	MSF 海水淡水化装置におけるチタン伝熱管の水素吸収	山 内 重 徳 永 田 公 二 佐 藤 史 郎 山 田 勝 弘	24 (1983), 6
P 357	人工防食皮膜付 (APF) アルブラック管の海水耐食性と伝熱性	永 田 公 二 渥 美 哲 郎 佐 藤 史 郎 山 恩 田 勝 弘	25 (1984), 144
P 360	90/10 Cupronickel Two-phase Thermosyphons	Takehiro Chinen Tadashi Nosetani	25 (1984), 170
P 384	復水器管の海生生物汚損に及ぼす諸因子の影響	永 田 公 二 須 藤 久 治 川 辺 允 一 勝 山 一 郎	27 (1986), 80
P 389	Joining of Bi-metal Tube of Aluminium Alloy and Titanium to Titanium Tube Plate by Welding Process	Keizo Namba Yoshihiko Sugiyama	27 (1986), 154
P 390	給湯用被覆銅管の疲れき裂とその対策	野世溪 精 河野木 浩 三 宮森野 英 生 金丹野 照 夫 丹野 弘 弘	27 (1986), 177
P 395	防汚型 APF 復水器管の開発	永 田 公 二 須 藤 久 治	28 (1987), 21
P 396	Improvement of Surface Condenser Performance by In-situ Artificial Protective Film Coating	Tadashi Nosetani Yasushi Hotta Shiro Sato	28 (1987), 29
P 415	耐孔食銅合金管の開発	浜 元 隆 夫 熊 谷 正 樹	29 (1988), 175
P 419	Performance of AP BRONZE Condenser Tube in Polluted Sea Water in Japan	Tetsuro Atsumi Akio Ogiso Koji Nagata Shiro Sato	29 (1988), 257
P 421	チタン製復水器管の生物汚損と各種スポンジボール洗浄	野世溪 精 佐藤史 史 郎 恩田勝 勝 弘 加藤雄 雄 平	29 (1988), 274
P 424	Development of Thin Titanium Linings for Condenser Tubes	Shiro Sato Koji Nagata Tadashi Nosetani Noritaka Umeda Yusuf G. Mussalli Samy R. Mikkail	30 (1989), 13
P 434	Monitoring and Control (MAC) System for Copper-alloy Condenser Tube Performance	Tetsuro Atsumi Koji Nagata Siro Sato Hirohiko Kominami Katsumi Yasui	30 (1989), 83
P 442	既設アルミニウム黄銅復水器管の再活性化	永 田 公 二 須 藤 久 治 加 藤 雄 平 恩 田 勝 弘	30 (1989), 197
P 447	In-situ Evaluation of Enhanced Heat Transfer Tubes for Surface Condenser (SC Tubes)	Tadashi Nosetani Yasushi Hotta Shiro Sato Katsuhiro Onda Tadashi Nakamura Yuhei Kato	31 (1990), 54
P 454	管内面汚れ係数と管内流速の同時測定法の実験的検証	新 里 寛 英 藤 井 山 哲 小 野 繁 精 野世溪 精	31 (1990), 182

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 455	Performance of Modified APF Condenser Tube against Cathodic Delamination	Tetsuro Atsumi Koji Nagata Shiro Sato	31 (1990), 190
P 481	内面溝付き小径銅管の伝熱性能	佐藤 好 生 野世 溪 寛 目時 浩 之 森頭 幸 秀 鬼頭 幸 秀	33 (1992), 9
P 503	吸収冷凍機再生器用高性能伝熱管の研究	佐々木 直 栄 野世 溪 精 田中 治 男	34 (1993), 15
P 521	吸収冷温水機の吸収器用伝熱促進管	佐々木 直 栄 野世 溪 精 古川 子 裕 金川 子 敏	35 (1994), 36
P 537	内面溝付き管の熱伝達に及ぼす溝形態の影響	佐藤 好 生 清野 明 弘 世溪 波 圭 精 難波 圭 三	36 (1995), 84
P 598	核融合炉冷却管用アルミナ分散強化銅三重管の開発	熊谷 正 樹 安仙 藤 也 梶岡 田 撃 後村 浦 次 秋藤 村 宣 真場 孝 人	39 (1998), 85
P 609	空調機用内面溝付銅管の管内熱伝達特性に及ぼす諸因子の影響	佐々木 直 栄 鬼森 頭 幸 秀 田浩 浩 之	40 (1999), 67
P 622	φ 6mm 細径伝熱管を用いたフィンチューブ熱交換器単体性能	柿山 史 郎 佐佐 木 直 栄 森田 浩 之	41 (2000), 84
P 632	フィンチューブ熱交換器単体性能に及ぼす分流器の設置姿勢の影響	柿山 史 郎 佐佐 木 直 栄 讃岐 則 義	42 (2001), 89
P 649	高信頼性内面チタン二重管の性能評価	安藤 藤 哲 也 渥美 美 邊 渡石 黒 俊 充	43 (2002), 100
P 651	Air-Cooled Cross-Fin-Tube-Type Heat Exchanger Performances	Naoe Sasaki Shiro Kakiyama Hiroyuki Morita	43 (2002), 110
P 662	フィンチューブ熱交換器単体性能に及ぼす冷媒および空気側熱伝達特性の影響	柿山 史 郎 佐佐 木 直 栄 清谷 明 弘 讃岐 則 義	44 (2003), 56
P 678	空調機用空冷凝縮器の伝熱性能予測 —第1報：代表的実験データとの比較—	佐々木 直 栄 水田 貴 彦 讃岐 則 義	45 (2004), 79
P 679	空調機用クロスフィンチューブ型熱交換器の単体性能特性 —策1報：機械拡管による伝熱阻害を抑制する高性能内面螺旋溝付管の適用による効果—	佐々木 直 栄 柿山 史 郎 讃岐 則 義	45 (2004), 87
P 680	クロス溝付管の伝熱性能	近藤 隆 司 佐々木 直 栄	45 (2004), 96
P 685	水平内面溝付管内の单相流圧力損失の予測式	清谷 明 弘 五井 正 順 城上 順 恵 江本 幸 泰 李本 幸 子 佐藤 全 秋	46 (2005), 22
P 698	水平内面溝付管内の单相乱流熱伝達の予測式	五井 正 順 城上 順 恵 江本 幸 泰 李佐 全 秋 清谷 全 明 弘	47 (2006), 19

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 699	臭化リチウム水溶液による鉛直管内水蒸気吸収と流下液膜への吸収解析	高松 洋 山城 光 井手 悟 高田 夫 佐々木 信直 々々木 直	47 (2006), 28
P 700	アルコール系界面活性剤を含む臭化リチウム水溶液の表面張力特性	小川 清 佐々木 直 栄	47 (2006), 35
P 717	Experimental Study of Influence of Heat Flux and Mass Velocity on Carbon Dioxide Flow Boiling Heat Transfer Coefficient in Horizontal Smooth Tube	Katsumi Hashimoto Akihiro Kiyotani Naoe Sasaki	48 (2007), 49
P 718	Experimental Study of Pure CO <sub>2</sub> Heat Transfer During Flow Boiling Inside Horizontal Tubes	Katsumi Hashimoto Akihiro Kiyotani	48 (2007), 57
P 738	水平内面溝付管内の圧力損失および凝縮熱伝達係数の予測と検証	井上 順 広 青野 垂 良 五島 正 雄 佐藤 全 秋 清藤 明 弘 佐々木 直 栄	50 (2009), 12
R 1	熱交換器用銅合金管材の腐食形態 (その 1)	大 津 武 通	1 (1960), 62
R 3	チタニウムのアルゴン・アーク溶接について	鈴 木 脩二郎	1 (1960), 143
R 5	熱交換器用銅合金管材の腐食形態 (その 2)	大 津 武 通	1 (1960), 167
R 24	熱交換器管板用のアルミニウム青銅について	水野 桂 一 田部 善 一	4 (1963), 140
R 35	熱交換器用銅合金管 (特に復水器管) の発達について	大 津 武 通	5 (1964), 56
R 45	汚染海水耐食性復水器管 AP ブロンズ管について	深井 誠 吉 大佐 津 武 通 藤 史 郎	5 (1964), 317
R 46	熱交換器用チタニウム薄肉溶接管の仕様, 代表的性質および拡管方法について	深井 誠 吉 竹内 脩 治 鈴木 脩 治 中村 三 樹 下野 三 樹	5 (1964), 324
R 54	チタニウム製プレート式熱交換器について	三 浦 忠 鈴 木 脩二郎	6 (1965), 183
R 59	渦流探傷法による復水器管の腐食状況の調査について	佐藤 史 郎 匂 喜 代 小曾 昭 夫	6 (1965), 290
R 72	ロケット用金属材料としてのチタニウムについて	鈴 木 脩二郎 下野 三 樹 浜 田 淳 司	7 (1966), 175
R 96	蒸気原動機の復水器管に関する腐食防止の問題について	大 津 武 通	9 (1968), 32
R 137	主として復水器エヤークーリングゾーン用アルブラックスステンレス鋼二重管について	佐藤 史 郎 渡 辺 敏 彦	12 (1971), 113
R 143	建築および建築設備用銅管の最近の問題点 その 1. 給水給湯用銅管について	佐藤 史 郎 匂 喜 代 治	12 (1971), 231
R 146	建築および建築設備用銅管の最近の問題点 その 2. 空調および衛生用銅管とその配管施工について	佐藤 史 郎 匂 喜 代 治	13 (1972), 45
R 189	チタン薄肉溶接管の国内復水器における使用状況	鈴 木 脩二郎 下野 三 樹	16 (1975), 55
R 193	チタン薄肉溶接管の拡管について	鈴 木 脩二郎 下野 三 樹	16 (1975), 137
R 205	プリゾールチューブ 住友軽金属の空調用被覆銅管	宮 田 勝 夫 中野 世 溪 邦 精	18 (1977), 58
R 207	内面防食処理銅合金熱交換器管について	佐藤 史 郎 永木 公 昭 小須 藤 昭 夫 藤 久 治	18 (1977), 80
R 226	内面フィン付ロウフィンチューブの伝熱性能 ライフルフィンチューブ	高橋 彰 野世 勝 精 宮 田 勝 夫	20 (1979), 134



文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 228	復水器管材料の選択について	佐藤 史郎 永田 公昭 小木曾 二夫	21 (1980), 52
R 230	ダブルフルーテッドチューブの機械的性質	宮野 勝夫 野世 溪夫 竹島 義雄	21 (1980), 69
R 267	Material Selection of Condenser Tubes Cooled by Sea Water	Shiro Sato	24 (1983), 114
R 288	Experiences of Welded Titanium Condenser Tubes in Japan	Koji Nagata Masaru Nagayama Shiro Sato	26 (1985), 22
R 296	耐食防汚型キューブロニックルーチタン二重管の開発	永田 公二 須藤 久 水川 允 野邊 治	26 (1985), 113
R 302	被覆銅管における最近の開発状況	橋宮 博實 宮本 英生 清木 藤雄 宮水 田夫 野世 溪夫	26 (1985), 237
R 304	Experiences of APF Condenser Tubes	Koji Nagata Shiro Sato	27 (1986), 18
R 305	伝熱管における最近の開発状況	目時 寛 西本 弘 橋本 博 宮田 實 野世 勝 若松 千代 松代 治	27 (1986), 28
R 410	家庭用及び業務用空調機の熱交換器に用いられるリップルフィンチューブ (内面溝付銅管) の開発の推移	飯島 茂男 森田 浩之 石黒 則秀 鬼頭 幸寛 目時 明好 清佐 藤生	35 (1994), 17
R 411	冷凍空調機器熱交換器銅管の損傷事例と対策	永田 公二 河野 浩三	35 (1994), 28
R 413	発電及び造水プラント熱交換器における最近の管材料開発と防食・防汚技術	永田 公二	35 (1994), 74
R 416	STC (スーパーティンコート) 銅管の性能について	山田 豊 渥美 哲 伊藤 順 米光 公 永田 誠二	35 (1994), 151
R 417	復水器用銅合金-チタン二重管の実用化	渥美 哲郎 渡辺 典孝 梅田 公二 永田 公二	35 (1994), 158
R 437	改良型 APF 管の使用実績	渥美 哲郎 永田 公二	36 (1995), 197
R 451	Performance of the Tin Coated Copper Tube for Cold and Hot Water Service System	Tetsuro Atsumi Yutaka Yamada Jun-ichi Ito Koji Nagata	38 (1997), 86
R 472	熱交換器用銅合金材料の使用動向と損傷対策	渥美 哲郎	40 (1999), 148
R 473	復水器用銅合金-チタン二重管の使用実績	渥美 哲郎 山田 豊 安渡 哲也 邊俊 彦	40 (1999), 157
R 496	ルームエアコン用熱交換器のこの 10 年間の変遷	佐藤 好生 春日 直司 佐々木 直栄	44 (2003), 80
R 504	鉛フリー快削黄銅の被削性	安渥 哲也 渥美 哲郎	45 (2004), 108
R 531	アルミニウムおよび銅のリサイクルの現状	宇都 秀之 安藤 哲也	48 (2007), 112
R 542	空調機用伝熱管の高性能化の動向	佐々木 直栄	50 (2009), 45

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
N 4	熱交換器用 APF アルブラック管		23 (1982), 207
N 7	復水器管用アルブラック-チタン二重管		24 (1983), 159
N 8	内面突起付ローフィンチューブ-トレッドフィンチューブ		25 (1984), 70
N 11	高断熱型プリゾールチューブ・ペア		25 (1984), 277

## 5. その他

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
P 218	Formation of Copper Acetylide in the Presense of Sulphide	Tadashi Nosetani Shiro Sato	12 (1971), 119
P 281	ダブルフルーテッド管の熱貫流率の測定	野世溪 精 佐藤 史郎	17 (1976), 54
P 336	復水器用ネーバル黄銅管板の超音波深傷	高橋 彰 野世溪 精 金森 照 夫	23 (1982), 82
P 367	4,4' オキシピス (ベンゼンスルホニルヒドラジッド) を用いたポリエチレンの 押し出し発泡技術	岩 田 多加志	26 (1985), 17
P 387	サークルアレイ超音波探触子についての二, 三の実験	高橋 伸 幸	27 (1986), 142
P 435	内面フィン付き管の押し出し・引抜き時の形状予測 (非軸対称押し出し・引抜きに関する数値シミュレーション, 第3報)	木内 学 飯島 茂男 星野 倫彦	30 (1989), 115
P 450	耐熱・高導電性アルミナ分散強化銅リード線のろう付け性	熊谷 正 樹 永田 公二 渡辺 俊彦	31 (1990), 110
P 451	内面フィン付き管の引抜き時の形状予測 (非軸対称押し出し・引抜きに関する数値シミュレーション, 第4報)	木内 学 飯島 茂男	31 (1990), 118
P 529	ラーベス構造を有するテルビウム-ジスプロシウム-鉄単結晶の高温塑性変形	水中 博 之 中村 英次 坂村 公恭 早川 俊之 中村 昌照	35 (1994), 137
P 652	The Observer-based Loop Control for a Bullblock Drawing Machine	Hiroki Yamanashi Ikuya Hoshino Yoshihide Okamura Haruo Tanaka	43 (2002), 116
R 6	金属ジルコニウムについて	鈴木 脩二郎	1 (1960), 225
R 14	超音波探傷法の概要とその問題点	畑 栄 一 広 沢 栄 一	2 (1961), 323
R 119	銅および銅合金ローフィン管の渦流探傷検査法	広 沢 栄 一 鷲 田 理 雄	10 (1969), 182
R 159	住軽伸銅の紹介	遠藤 吉 彦 塩田 川 績 関 淳 清 夫	14 (1973), 53
R 211	管材料における渦流探傷および超音波探傷の現状	金 森 照 夫 野世溪 精	19 (1978), 21
R 222	熱交換器用チタニウム管の超音波探傷	鷲 田 理 雄 金 森 照 夫 野世溪 精	19 (1978), 168
R 246	軟ろう付銅管継手の高温強度 (データ・シート)	伊藤 正 夫 横 田 博文	22 (1981), 116
R 254	温水式床暖房パネルの開発	若松 千代治 平田 勝彦 岡野 澄太 坂井 輝 茂	23 (1982), 138
R 266	PEX 床暖房システム	荒内 岑 也 鈴 木 敏 夫	24 (1983), 71

文献No.	題 目	著 者	巻 (年) 頁
R 276	多重周波数式渦流探傷法による熱交換器管の検査	高直 橋 彰 金 江 正 鷲 森 照 田 田 理 夫 雄	25 (1984), 99
R 277	PEX フロアヒーティングを併用したソーラーシステムの運転実績	若 松 千代 治 安 藤 田 寛 平 勝 彦 野 世 溪 彦 堤 信 精 土 居 静 義 原 郎	25 (1984), 109
R 300	ダーティガス廃熱回収装置「エナップシステム」の開発	荒 内 岑 也 木 皿 儀 隆 小 栗 正 義	26 (1985), 172
R 301	日東金属工業の快削黄銅棒	大 後 隆 盛	26 (1985), 179
R 311	プリゾール・チューブZのサヤ管工法について	宮 木 英 生 宮 田 勝 夫 野 世 溪 精	27 (1986), 110
R 312	東洋フイツテング (株) のバルジ成形品	横 田 博 文 生 田 長 治	27 (1986), 120
R 318	わが国の金属リチウム市場の現状と将来	渡 辺 吉 章 豊 嶋 雅 康 伊 藤 勝 久	27 (1986), 213
R 320	給湯配管材料としての Wirsbo-PEX®管	長 谷 川 義 文	28 (1987), 46
R 323	最近の希土類の製造と応用について	伊 藤 勝 久 中 村 英 次	28 (1987), 109
R 328	チタン合金板の超塑性成形	井 上 稔 高 橋 明 男 都 筑 隆 之	28 (1987), 206
R 337	希土類金属の製造方法について	伊 藤 勝 久 中 村 英 次 佐々木 茂 明	29 (1988), 127
R 338	熱交換器管の供用中渦流探傷検査におけるデータ処理装置	金 森 照 夫 鷲 田 坂 治 包 坂 喜 代 鈴 木 村 浩 中 村 俊 幸	29 (1988), 145
R 355	スミケイベックスチューブの耐久性	長 谷 川 義 文	30 (1989), 220
R 360	希土類金属の機能材料への応用	中 村 英 次 伊 藤 勝 久	31 (1990), 144
R 374	水道水中の残留塩素に対するスミケイベックスチューブの耐久性について	有 馬 修 長 谷 川 義 文	32 (1991), 143
R 376	超磁歪材料とその応用	中 村 英 次 水 谷 博 之	32 (1991), 212
R 395	超磁歪材を駆動源とした小型ポンプ	直 江 正 久 中 村 正 久 聡	34 (1993), 26
R 434	チタン陽極酸化皮膜の着色	大 中 隆	36 (1995), 163
R 439	架橋ポリエチレンの酸化劣化と酸化防止剤による酸化防止機構	鈴 木 忍 渡 辺 吉 章	36 (1995), 208
R 534	熱交換器用内面溝付き銅管の非破壊検査における渦電流解析の適用	武 藤 伸 之 森 藤 憲 亮	48 (2007), 135
N 9	ヒートパイプ式排熱回収用熱交換器 (90/10 キュプロニッケル製)		25 (1984), 140
N 22	温排水冷却回収装置		32 (1991), 284
N 23	超磁歪ポンプ		33 (1992), 64
N 24	天然石ハニカムパネル「岩井ストーンパネル」		35 (1994), 239
N 27	架橋ポリエチレン管接続用トルクフリー継手等		35 (1994), 246
N 32	冷媒配管集合ダクト「プリゾール SF ダクト SE タイプ」		35 (1994), 258
N 34	車両用ヒートパイプ式冷却器の開発		35 (1994), 266

# 当社製品の主な用途

## ●アルミ圧延品

**板製品** ビール缶、清涼飲料水缶、コーヒー缶、ボトル缶、PPキャップ、各種容器、アルミ箔製品、エアコン放熱器、コンピュータ部品、厨房器具、ビル建築用外装パネル、建築用内外装品(ブラインド、ドア、サイディング)、防音パネル、自動車部品、カーエアコン、ラジエータ、コンテナ、トレーラ、鉄道車両、航空機、船舶、印刷版、ネームプレート、反射板、熱交換器(産業用)、各種機械部品、ほか。

**管、棒、型材製品** 自動車部品、二輪車部品、トラック用アオリ、コンテナ、船舶、航空機、鉄道車両、高欄、手すり、水門、照明用ポール、電話ボックス、アーバンファニチャー、テレビ・ビデオ部品、ステレオ・ラジオ部品、OA機器部品、カメラ部品、制御機器部品、野球バット、ラケット、スキースtock、トロフィー、電子ピアノ部品、エアシリンダー、熱交換器(産業用)、ブスバー、各種配管、ほか。

## ●伸銅品

**銅・銅合金管** 給水・給湯用被覆銅管(プリゾール・チューブ)、STC銅管、建築設備配管、給水・給湯配管、医療ガス配管、空調冷媒用配管、原子力・火力発電所復水器、海水淡水化装置、ほか。

**銅管継手・他** 継手(エルボ、ソケット、ユニオン、T、おす・めすアダプター等)、電子機器冷却用ヒートパイプ、床暖房パネル、復水器用チタン管、ほか。

当社製品に関する情報は、インターネットでもご覧いただけます。

<URL> <http://www.Sumitomo-LM.co.jp>

### 複写される方へ

本誌は下記協会に複写に関する権利を委託していますので、本誌に掲載された著作物を複写したい方は、同協会から許諾を受けて複写して下さい。但し(社)日本複写権センター(同協会が権利を再委託)と包括複写許諾契約を締結している企業の社員による社内利用目的の複写ではその必要はありません。(社外頒布用の複写は許諾が必要です。)

なお、著作物の転載・翻訳のような、複写以外の許諾は、同協会では扱いませんので、発行人へ直接ご連絡ください。

権利委託先：(中法) 学術著作権協会  
〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル  
TEL：03-3475-5618 FAX：03-3475-5619  
E-mail：info@jaacc.jp

また、アメリカ合衆国において本誌を複写したい場合は、次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.  
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA  
Phone +1-978-750-8400 FAX +1-978-646-8600

### Notice for Photocopying

If you wish to photocopy any work of this publication, you have to get permission from the following organization to which licensing of copyright clearance is delegated by the copyright owner.

<All users except those in USA>  
Japan Academic Association for Copyright Clearance, Inc. (JAACC)  
6-41 Akasaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan  
Phone：+81-3-3475-5618 FAX：+81-3-3475-5619  
E-mail：info@jaacc.jp

<Users in USA>  
Copyright Clearance Center, Inc.  
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA  
Phone：+1-978-750-8400 FAX：+1-978-646-8600

### 住友軽金属技報 第50巻 第1号 (非売品)

平成21年12月25日 印刷 (無断転載お断り)

平成21年12月25日 発行 (年1回発行)

発行所 住友軽金属工業株式会社研究開発センター  
編集兼 池田洋  
発行人

名古屋市港区千年3丁目1番12号  
郵便番号 455-8670  
電話(案内) (052) 651-2100  
ファックス (052) 651-8117  
E-mail: RDC\_GYOMU@mail.Sumitomo-LM.co.jp

印刷所 株式会社 昭栄社 印刷所  
名古屋市中川区十番町3丁目1番地

Issued December 25, 2009, (annually)

### SUMITOMO LIGHT METAL TECHNICAL REPORTS VOL. 50 NO.1

SUMITOMO LIGHT METAL INDUSTRIES, Ltd.  
Research & Development Center

3-1-12, Chitose, TEL: +81-52-651-2100  
Minato-ku, Nagoya, FAX: +81-52-651-8117  
455-8670 JAPAN E-mail: RDC\_GYOMU@mail.Sumitomo-LM.co.jp

# 住友軽金属工業株式会社

本 社	〒105-8601 東京都港区新橋5-11-3 (新橋住友ビル)	☎ (03)3436-9700	FAX (03)3434-6464
大 阪 支 店	〒541-0041 大阪市中央区北浜4-5-33 (住友ビル)	☎ (06)6220-8407	FAX (06)6220-8404
名 古 屋 支 店	〒460-0022 名古屋市中区金山1-13-13(金山プレイス8F)	☎ (052)324-4710	FAX (052)324-4730
北 海 道 支 店	〒060-0003 札幌市中央区北三条西3-1-25 (北三条ビル8F)	☎ (011)241-4651	FAX (011)221-3254
静 岡 支 店	〒420-0857 静岡市葵区御幸町5-9 (静岡フコク生命ビル5F)	☎ (054)255-2471	FAX (054)255-6210
九 州 支 店	〒812-0011 福岡市博多区博多駅前1-2-5 (紙与博多ビル10F)	☎ (092)472-6301	FAX (092)472-6257
名古屋製造所	〒455-8670 名古屋市港区千年3-1-12	☎ (052)654-1111	FAX (052)654-0498
千葉製作所	〒277-0804 千葉県柏市新十町余二13	☎ (04)7131-6161	FAX (04)7131-6165
伸 銅 所	〒441-1295 愛知県豊川市大木町新道100	☎ (0533)93-2311	FAX (0533)93-5119
研究開発センター	〒455-8670 名古屋市港区千年3-1-12	☎ (052)651-2100	FAX (052)651-8117

---

<http://www.Sumitomo-LM.co.jp>

---

主な関連会社	株式会社日本アルミ	東洋フイツテング株式会社
	株式会社日本アルミ安城製造所	住軽商事株式会社
	株式会社日本アルミ滋賀製造所	株式会社アルミセンター
	住軽エンジニアリング株式会社	新泉アルミ株式会社
	NALCO(THAILAND)CO., LTD	スミケイ銅管販売株式会社
	住軽アルミ箔株式会社	スミケイ運輸株式会社
	株式会社住軽日軽エンジニアリング	軽金属押出開発株式会社
	岩井金属工業株式会社	SUMIKEI(MALAYSIA)SDN. BHD.
	P. T. YAN JIN(INDONESIA)	住軽(広州)金属製品有限公司
	ティネン工業株式会社	SUMIKEI CZECH S. R. O.
	群馬アルミニウム株式会社	

SUMITOMO LIGHT METAL INDUSTRIES, LTD.  
RESEARCH & DEVELOPMENT CENTER