

ISSN 1880-134X

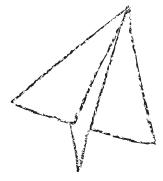
# Furukawa-Sky Review

No.2  
April 2006  
上場記念号



 古河スカイ

この広い空の下、いくつもの夢が舞い上がる。



## 古河スカイが育む、アルミニウムの可能性。

軽量で、リサイクル性に優れたアルミニウム。

アジア最大のアルミ圧延メーカーである古河スカイは

アルミニウムのリーディングカンパニーとして

アルミニウムのもつ無限の可能性を拡大しながら

地球時代にふさわしい循環型社会づくりに貢献しています。

 古河スカイ株式会社  
[www.furukawa-sky.co.jp](http://www.furukawa-sky.co.jp)

第2号  
2006年4月  
目次

巻頭言

社長就任のご挨拶－中期連結経営計画の遂行に向けて－

吉原正照 1

技術解説

廃車から回収されるアルミニウムスクラップリサイクルの現状と今後の課題

大瀧光弘 3

ノンクロム下地処理の動向

加藤 治 11

技術論文

缶胴のボトムしわ発生に及ぼすアルミニウム合金板の材料特性の影響

鈴木 覚, 藤田和子 17

ワックス添加プレコート材の潤滑特性

長谷川真一, 渡辺睦子, 加藤 治 23

車載高压水素タンク用6061合金の疲労特性

一谷幸司, 小山克己 29

ろう付加熱後に熱処理を施した Al-Mn-Cu 合金の粒界腐食感受性

大谷良行, 田中 哲, 二宮淳司, 土公武宜 35

ターボチャージャ用高精度コンプレッサホイール鋳物の製造技術開発

五月女貴之, 迫田正一 41

製品紹介

環境に優しいノンクロムプレコートフィン材

46

防汚性アルミ塗装材「ファスコートクリーン® シリーズ」

48

フルポーラス騒音対策製品

50

両面アルミニウム PTP 「THE MOCCORI」

52

LNGタンク用アルミニウム5083合金厚板

54

磁気ディスク用アルミニウム合金

56

アルミニウム合金クラッド押出材

58

技術紹介

ノートタイプ PC 用薄肉押出形材の精密押出技術

60

技術コラム

アルミニウムの腐食のおはなし

兒島洋一 62

関連会社紹介

古河カラーアルミ株式会社

70

VCW工場 (ベトナム)

72

トピックス

全日本学生フォーミュラ大会とアルミニウム材料

74

光ダクトシステム実証実験住宅

76

古河スカイ上場記念コンサート・本社移転のお知らせ

78

No.2  
April 2006  
Contents

## Opening Remarks

President Assumption Greeting—Aiming at the Accomplishment of the Mid-term,  
connected Management Plan

Masateru Yoshihara ————— 1

## Technical Papers

Present Situation and Problems of Recycling of Aluminum Scrap Material Recovered  
From End of Life Vehicles

Mitsuhiko Ohtaki ————— 3

Trends of Non-chrome Pretreatments for Painting

Osamu Kato ————— 11

Effect of Material Properties of Aluminum Alloy Sheet on Bottom Wrinkling of Can Body

Satoshi Suzuki and Kazuko Fujita ————— 17

Lubrication Properties of Aluminum Sheets Pre-coated with Wax

Shinichi Hasegawa,Mutsuko Watanabe and Osamu Kato ————— 23

Fatigue Properties of 6061 Aluminum Alloy for On-board High Pressure  
Hydrogen-Gas Tanks

Koji Ichitani and Katsumi Koyama ————— 29

Intergranular Corrosion Susceptibility of Al-Mn-Cu Alloy Subjected to Heat Treatment  
after Braze Heating

Yoshiyuki Oya,Satoshi Tanaka,Junji Ninomiya and Takeyoshi Doko ————— 35

Development of the Manufacturing Technology of the Precision Compressor Wheel Casting  
for Turbo Charger

Takayuki Sotome and Shoichi Sakoda ————— 41

## Products

Eco-friendly Chromate-free Pre-coated Aluminum Fin Stocks ————— 46

Stain Resistant Pre-coated Aluminum Sheet “FUSCOAT CLEAN® Series” ————— 48

“FULLPOROUS” Noise Decreasing Product ————— 50

A New Alu/Alu Press-Through-Pack (PTP) “THE MOCCORI” ————— 52

Aluminum 5083 Alloy Plate for LNG Tanks ————— 54

Aluminum Alloy for Magnetic Disc ————— 56

Clad Extruded Products of Aluminum Alloys ————— 58

## Technologies

The Development of the Precision Extrusion Technology for the Note Type PC ————— 60

## Technical Column

The Fundamentals of Corrosion of Aluminum

Yoichi Kojima ————— 62

## Introduction of Factory

Furukawa Color Aluminum Co., Ltd. ————— 70

VCW Plant (Vietnam) ————— 72

## Topics

The Student Formula SAE Competition of Japan and Aluminum Materials ————— 74

Experimental House with Mirror Duct System ————— 76

Commemoration of Tokyo Stock Exchange Listed Concert & Information of Headquarter Shifted ————— 78

## 卷頭言

### 社長就任のご挨拶—中期連結経営計画の遂行に向けて—

**President Assumption Greeting—Aiming at the Accomplishment  
of the Mid-term, connected Management Plan**



代表取締役社長 吉原 正照  
President Masateru Yoshihara

当社は昨年12月2日に東京証券取引所第一部に上場、本年2月20日には本社を移転しました。皆様からはご丁重なるご祝意を賜りましたこと、改めてこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

また、このたび4月1日付けで私が代表取締役社長として就任いたしました。今後とも一層の精進を重ね努力を致す所存でございますので、何卒従来にも増してご愛顧を賜りますようお願い申し上げます。

当社の行動の芯、原点は「ステークホルダーの満足度を高める」ことにあると考えています。そのためには収益改善への取り組みが最優先課題であり、収益改善のために大事なことのひとつは中期連結経営計画の実践です。内容は以下に示しますが、設備投資、集約、海外展開など行動を開始したばかりです。強い収益体制の確立を目指して着実に計画を遂行し、業容拡大につなげたいと思っております。ぜひとも、皆様のご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

#### ■中期連結経営計画概要

- (1) 板事業3工場(福井工場、深谷工場、日光工場)の強みを活かした集約生産体制で、世界に通じる品質・コストの実現
  - ①福井工場……世界最大級の圧延機を活かした大量・大型製品の集中生産
  - ②深谷工場……中規模ロット多品種を生産
  - ③日光工場……少量多品種／高付加価値特殊品を生産
- (2) 海外3工場(インドネシア、中国、ベトナム)の2006年度同時立ち上げによる新設・増強体制の整備
  - ①自動車熱交換器用押出材……アジア中心の需要増に対応
  - ②高品質精密鋳物コンプレッサホイール……世界シェアナンバー1を目指す
- (3) マーケットのセグメント化と成長製品の絞り込みによる、総合圧延メーカーとしてのさらなる戦略的営業展開の徹底
  - ①I T, 印刷板、産業用箔などの産業分野への展開
  - ②自動車、L N G、航空機などの輸送分野への展開
  - ③缶などの生活関連分野への展開

『Furukawa-Sky Review』第2号では中期連結経営計画に大きく関与する福井工場の缶材、LNGタンク材、日光工場の磁気ディスク材や、ベトナムVCW工場で本格的に生産開始した鋳物コンプレッサホイールなどの製品・技術をご紹介します。集約生産体制で世界に通じる品質・コストの実現を図るとともに、高付加価値製品の開発では世界シェアトップレベルを目指して邁進してまいります。この他、新たなマーケットセグメント開拓に特化した加工品事業部門の纖維焼結吸音材フルポーラス応用製品(平成17年度「日本アルミニウム協会賞(技術賞)」受賞)、パソコン筐体に利用可能な精密押出技術をご紹介しますが、これらは順調に開発が進み、業容拡大の大きな戦力に育ってきております。

最後になりましたが、古河スカイは中期連結経営計画の4ヵ年で約500億円の設備投資を行い、お客様の高い品質要求にお応えする競争力のある生産・開発体制を整えてまいります。将来は海外企業との競合にも備えてまいります。関係各位のご支援、ご協力を心よりお願い申し上げます。

# 廃車から回収されるアルミニウムスクラップリサイクルの現状と今後の課題

Present Situation and Problems of Recycling of Aluminum Scrap Material  
Recovered From End of Life Vehicles

大滝 光弘

Mitsuhiro Ohtaki

**概要** 自動車に使用されているアルミニウム部材は主にエンジンやトランスミッション、ホイールといった鋳物・ダイカスト材を中心に増加し、フードやフレームに使用されている展伸材はまだ少ないのが現状である。これらのアルミニウム部材は解体→シュレッダ→材料回収といった工程でほぼ回収され、鋳物・ダイカスト用再生塊としてリサイクルされている。今後スクラップは増加し、早ければ2020年頃にスクラップが余剰になり鋳物・ダイカスト業界での吸收は厳しくなるとされている<sup>1)</sup>。廃車から回収されるアルミニウムスクラップを展伸材にリサイクルする際の技術的課題は、不純物元素の混入防止および塗料除去方法の適正化である。不純物の混入防止には適切な二次解体が必要である。塗料除去処理は作業環境、溶解歩留から不可欠であり、シュレッダ+キルン加熱が有効である。実際の廃車を用いた試験の結果、大型アルミニウム展伸材部材は比較的容易に解体でき、また既存技術を活用して展伸材としてリサイクルすることは技術的に十分可能である。経済的には、アルミニウム展伸材部材の解体・回収（買取り、輸送を含む）工程での処理コスト低減が重要である。

Abstract: Aluminum alloy products used in automobiles are increasing mainly in the engine, transmission, tire wheels and other castings and die-castings. However, there are still few wrought alloy products used for the hood and frame in the current situation. These aluminum alloy products are mostly recovered through the processes of dismantling → shredding → material recovery and are recycled in the form of secondary ingot for castings and die-castings. The amount of scrap will increase, and it is said that there will be a surplus of scrap in 2020 in the earliest case. Scrap absorption in the casting and die-casting industry will be dubious then<sup>1)</sup>. When aluminum scrap is recovered from End of Life Vehicle (ELV) and recycled into a wrought alloy, the technical problem in this process is to prevent incrementation of impurity elements and to optimize the surface coating removal method. To prevent incrementation of impurities appropriate secondary dismantling is needed. The surface coating removal process is indispensable for the work environment and melting yield, and shredding + kiln heating is effective for this process. A test was conducted using actual ELVs, and results showed that large aluminum wrought alloy parts can be dismantled relatively easily, and it is technically feasible to recycle those parts as wrought alloy material using currently available technology. In the economic aspect, cost reduction in the processes of dismantling and recovery (including purchase and transport) is important.

## 1. はじめに

廃車（使用済み自動車）からの材料リサイクルは部品解体→シュレッダ→選別処理→材料回収が一般的な工程であり、この工程でほとんどのアルミニウム材料が回収・リサイクルされている<sup>2)(3)</sup>。

しかし、自動車軽量化を目的として、自動車へのアルミニウム材料の使用量は年々増加している。その内訳を見るとこれまででは鋳物・ダイカスト部材が主体であったが、最近では展伸材（板材や押出材など）の使用量が増加し、今後さらにアルミニウム展伸材使用量の増加が予想されている<sup>5)</sup>。したがって、将来、廃車から回収される

アルミニウム材料に鋳物・ダイカスト材と展伸材とが混在することになり、これまで廃車の解体・シュレッダ工程で回収されるアルミニウム材料とスチール材料との選別分離が重要視されていたが、今後はアルミニウム展伸材と鋳物・ダイカスト材との選別分離も重要ななる<sup>6)~10)</sup>。

ここでは、廃車からのアルミニウム材料の回収・リサイクルの現状および、アルミニウム展伸材スクラップを展伸材にリサイクルするための課題について概説する。

## 2. 廃車からのアルミスクラップリサイクルの現状と将来予測

### 2.1 自動車へのアルミ素材の使用状況推移

図1に示すように、2004年度の国内におけるアルミニウム需要約435万トンのうち、約148万トンが自動車用であり<sup>4)</sup>、表1に示すような各種アルミニウム合金展伸材や鋳物・ダイカスト材が使用されている<sup>11)</sup>。

図2に示すように鋳物・ダイカスト材では総需要の80%以上が自動車用であるが、自動車用の板材や押出材の使用比率は10~14%とまだ低い<sup>4)</sup>。また、表2に示すように、自動車一台当たりに使用されるアルミニウム重量でみても鋳物・ダイカスト・鍛造品が大部分を占めており、エンジンやトランスミッション部品(ADC12, ADC10, AC4B等)、ホイール(AC4CH)などに使用さ

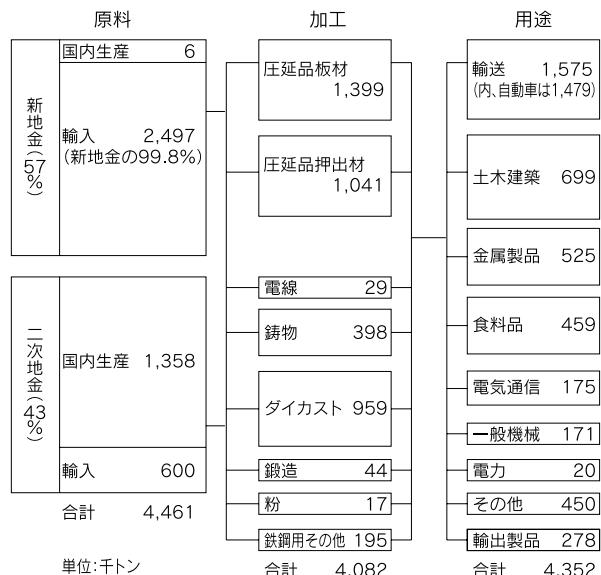


図1 2004年度における国内のアルミニウム需要  
Fig.1 Domestic aluminum demand in 2004.

れている<sup>4)</sup>。

自動車の平均使用年数は約9~10年であり、現在廃棄されているものは1980年代後半から1990年代前半のものが主体である。図3に示すように、自動車1台当たりのアルミニウム使用量は1980年代後半には約60kgであり、1990年代前半で70~80kg、1990年代後半で約

表1 自動車用に使用されている各種アルミニウム材料(成分値は赤字の合金)  
Table 1 Various aluminum materials used for automobiles.

区分	種類	代表的合金	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	使用例
圧延品	1000系 (純アルミニウム)	1100	<1.0		0.05~ 0.20	<0.05		<0.10	トリム
	2000系 (Al-Cu系)	2117,2036	<0.8	<0.7	2.2~ 3.0	<0.20	0.20~ 0.50	<0.25	リベット
	3000系 (Al-Mn系)	3003,3004, 3005	<0.6	<0.7	0.05~ 0.20	1.0~ 1.5		<0.10	バン型車の内外装,ラジエータ,エアコン
	4000系 (Al-Si系)	4004,4104	9.0~ 10.5	<0.8	<0.25	<0.10	1.0~ 2.0	<0.20	ラジエータ,エアコン
	5000系 (Al-Mg系)	5005,5052, 5082,5182	<0.20	<0.40	<0.10	0.20~ 0.50	4.0~ 5.0	<0.25	バン型車,バスなどの内外装・キャブ・ フードパネル・中柱・ガゼット・ホイール
	6000系 (Al-Mg-Si系)	6061,6063	0.2~ 0.6	<0.35	<0.10	<0.10	0.45~ 0.90	<0.10	バン型車,バスなどの構造材・メインビーム・ あおり・パンパン・窓枠・ホイール・クロスメン バー・床・床枠・フードパネル
	7000系 (Al-Zn-Mg系)	7N01,7003, 7016,7046	<0.30	<0.35	<0.20	0.20~ 0.7	1.0~ 2.0	4.0~ 5.0	車両の構造材,バンパ
鋳造品	砂型・金型鋳物 (Al-Si-Mg系など)	AC2A,AC4A, AC4C, AC5A,AC8A, AC8B,AC8C	6.5~ 7.5	<0.55	<0.25	<0.35	0.20~ 0.45	<0.35	マニホールド・クランクケース・クラッチハウ ジング・シリンドヘッド・シリンドブロック・ ピストン・ホイール
	ダイカスト (Al-Si-Cu系)	ADC10,ADC12	9.6~ 12.0	<1.3	1.5~ 3.5	<0.5	<0.3	<1.0	クランクケース・ギヤケース
鍛造品	自由鍛造品	2014,4032, 6061,7075							車両の強度材
	型鍛造品	2014,4032, 6061,7075							ピストン・ホイール・ロアアーム・アッパー アーム・車両強度材

100kgと推移している。今後は、エンジンやトランスマッション部品、ホイール以外の部材、すなわち、フードやドア、構造材等への展伸材の需要増加が予想されている。

## 2.2 アルミスクラップリサイクルの現状

アルミニウム材料は前述の工程(部品解体→シュレッダ→選別処理→材料回収)でほぼ回収・リサイクルされている。2003年度における廃車からのアルミニウム回収およびリサイクルフローと推定量を図4に示す。

ディーラー、中古車販売会社などで回収された廃車は、解体事業者によって主要部品(エンジン、トランスマッション、カーエアコン、ラジエータ、ホイールなど)が取り外された後、シュレッダ処理される。シュレッダラインには非鉄金属回収を目的として手選別ラインや各種選別装置(電流選別装置、磁力選別装置、風力選別装置、比重選別装置等)を設置し、アルミニウム、銅、ステンレスなどの非磁性金属およびこれら非鉄金属の混合物であるミックスメタルを回収している。解体・シュレッダなどにより回収されたアルミニウムスクラップは一般にアルミニウム専門問屋などを経由してアルミニウム二次地金製造業者に納められ、鋳物・ダイカスト用アルミニウム二次合金地金として再生される<sup>[12]~[14]</sup>。

図5に実車における解体・シュレッダ調査結果を示

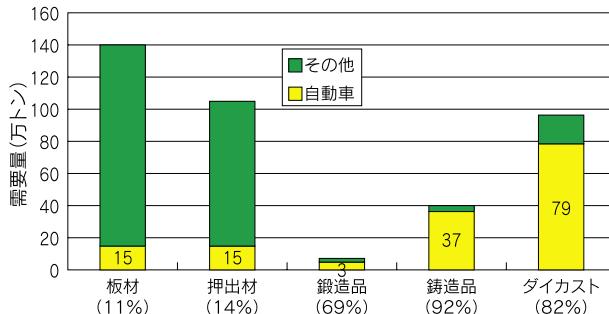


図2 日本のアルミ産業における自動車用途の位置付け  
(自動車比率: 2004年度)

Fig.2 Share of automobile use in aluminum industry of Japan.

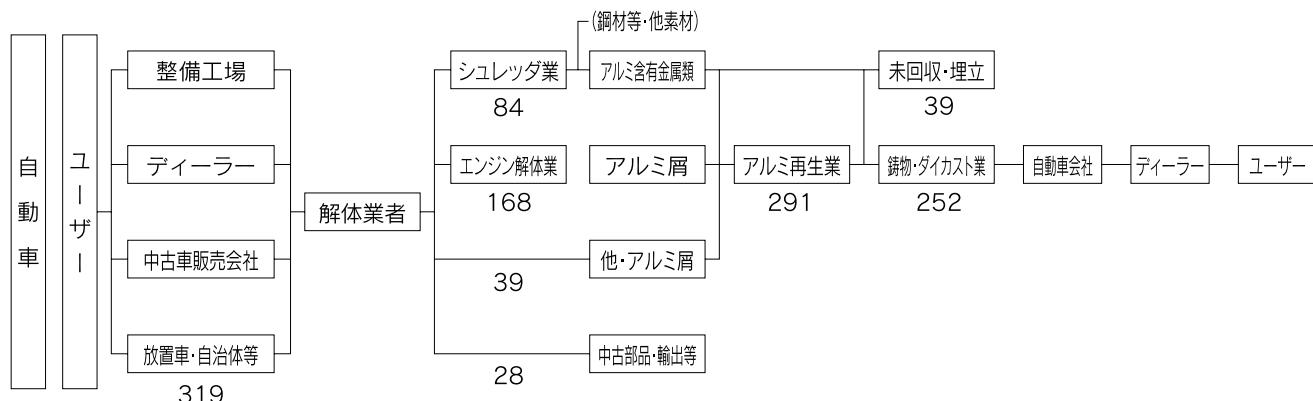


図4 廃車からのアルミニウム回収フロー (単位: 千トン)  
Fig.4 Flow of aluminum recovery from ELVs (units: thousand tons).

す。調査車種はサニー1994年式であり、全車体重量は1,040kg、そのうちアルミニウム使用量は60.9kg(ただしアルミニウムホイールを除く)、アルミニウム使用率は5.86%であった。アルミニウム使用部位別の重量はエンジン、トランスマッション関係で50kgと82%を占め、熱交換器で5kg(8%)、ブレーキ部品で3kg(5%)

表2 車種別アルミニウム使用状況  
Table 2 Use of aluminum by automobile types.

車格	2003年アルミニウム使用量 Kg/台 現状車(JAA資料)			
	板材	押出材	鋳物・ ダイカスト・ 鍛造品	合計
高級・上級・ 大型乗用車	8.8	14.2	186	209.0
中型乗用車	6.4	10.3	137	153.7
小型車・ 大衆車計	6.8	6.1	66.7	79.6
リッターカー・ 軽ベース車	5.6	5.3	60.4	71.3
軽自動車 乗用	4.7	4.3	25.8	34.8

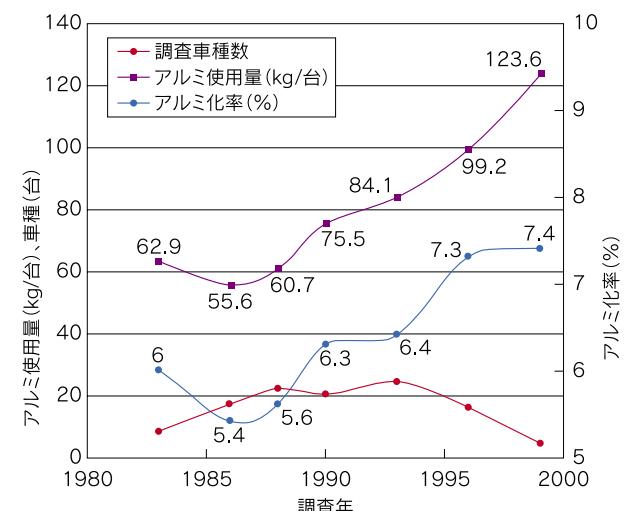


図3 アルミニウム材料の使用状況の推移  
Fig.3 Use of aluminum material by year.

となっている。上記部品を解体工程にて取り外すことで、全アルミニウム重量の内の97%が回収された。解体した後の廃車ガラからシュレッダ工程で手選別回収されたアルミニウム重量は約2kg/台であり、アルミニウム使用量の3%程度しかシュレッダ工程には回らない<sup>15)</sup>。

自動車に使用されているアルミ部材のなかで80%以上の重量を占めるエンジンやトランスマッキン部品(ADC12, ADC10, AC4B等), ホイール(AC4CH)などはその基本成分がAl-7~12%Si系合金であり、また解体・部品取工程でほぼ全てが部品回収されるという極めて回収の容易な大型部品である。これらの部品がまとまってスクラップとして回収・再溶解された場合には基本合金成分が同じである事、またこれらの合金では解体時あるいはシュレッダチップとしての回収時にスチール部品(主にボルト、ナット等の締結部材)が混入するが、不純物としてのFe許容限が鋳物・ダイカスト合金では比較的高い事から、現状の技術でスクラップ材料を再溶解して鋳物・ダイカスト用合金にリサイクルする、いわゆるカスケードリサイクルの際に大きな問題は見当たらない。

### 2.3 廃車から回収されるアルミニウムスクラップ量の将来予測<sup>1)</sup>

現状の車へのアルミニウム使用量を基準として10年後の廃車から回収されるアルミニウムスクラップ量を試算した結果を図6に示す。アルミニウム使用量の増加に伴い、スクラップ回収量も今後増加し、2007年度のアルミニウム回収量は約50万トンと推定される。図1に示すように鋳物・ダイカスト業界の年間生産量が約140万トンであることから、廃車から回収されるアルミニウムスクラップを鋳物・ダイカスト業界で消化することは、当面、量的に十分可能である。

一方、今後のアルミニウムスクラップの需給予測に関しては、(財)金属系材料研究センターでの検討がなされている。自動車メーカーの動向、すなわち国内販売量の動向や自動車一台当たりのアルミニウム材料使用部位の拡大動向、またこれまでの高級車や中・大型車への適用に加えて小型車への使用量増加時期などに大きく影響され、しかも廃車になるまで10年程度経過するため、廃車から回収されるアルミニウムスクラップ量の予測には困難な面があるものの、図7に示す検討結果からみると、年々スクラップ不足量は減少し、早ければ2020年頃にスクラップが余剰になる。

このように、将来、廃車から回収されるアルミニウムスクラップを鋳物・ダイカスト業界だけで吸収することは厳しくなり、product to productを基本としたリサイクルシステムの構築が必要と考えられる。

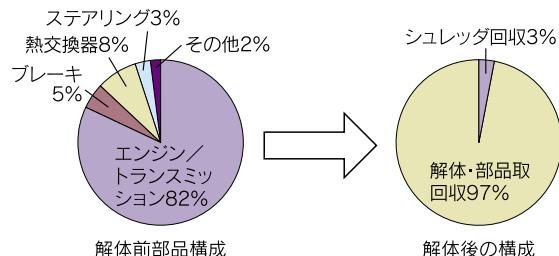


図5 実車解体試験におけるアルミニウム部材回収状況  
Fig.5 Recovery of aluminum products in dismantling test using actual automobiles.

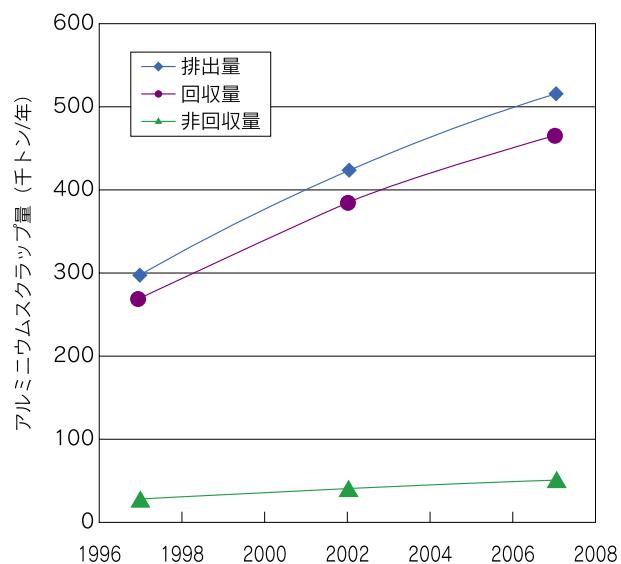


図6 廃車から回収されるアルミニウムスクラップ量の推定値  
Fig.6 Estimate of amount of aluminum scrap recovered from ELVs.

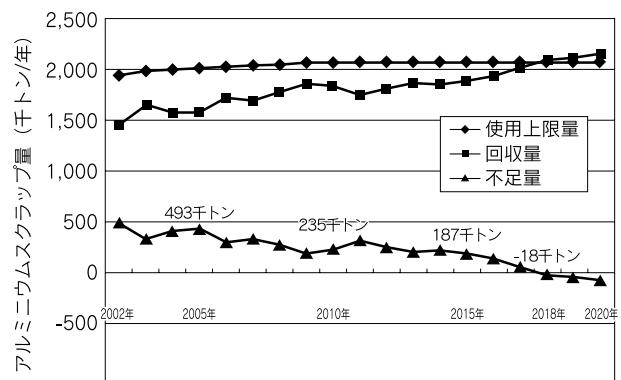


図7 需要停滞時のスクラップ発生シミュレーション結果  
Fig.7 Results of simulation of scrap production in period of stagnant demand.

### 3. アルミニウム展伸材へのリサイクルの課題

廃車に限らず、アルミニウムスクラップを展伸材にリサイクルする際には、締結部品を主としたスチール部品の混入に伴うFe量の増加が問題となる。また、将来、アルミニウム展伸材部材の使用量増加に伴う、異種アルミニウム材料の混入に伴う不純物元素の増加も問題とな

ろう。一方、自動車のフード等の外板部材に施されている塗料は、キャン材に比較してその塗膜厚が厚く、容易には剥離しないことから、フード等の再溶解時における不純物元素の混入や作業環境の悪化が懸念される。

実際に廃車からのシュレッダチップやシュレッダダストからのアルミニウム回収率に関して公表された研究は少ない<sup>(11)~(13)</sup>。将来のアルミニウム多用車を想定したアルミニウム材料のマテリアルリサイクルを考慮するため、実工程を用いたアルミニウム展伸材と鋳物材、またスチール部品との分離選別の可能性評価や、その際の金属不純物混入量の評価など基礎的な検討を行った結果を以下に概説する。

### 3.1 解体工程における不純物元素の混入<sup>15)</sup>

写真1に示すように、廃車から解体されたまま(以下一次解体)のアルミニウムフードにはスチール製ヒンジやスチール製補強部品が付随しており、その重量比率は約4~11%である。これらスチール製部品を分離除去する作業(以下二次解体)が、展伸材にリサイクルする際には不可欠である。通常の一次解体レベルでは、部品にもよるが重量比率で2~48%のスチール部材が混入している。



写真1 解体されたアルミニウムフード  
Photo.1 Dismantled aluminum hood.

廃車からアルミニウム部品を解体して回収する際の作業時間から解体コストを試算した結果を表3および図8に示す。許容解体時間はスクラップの売却価格を50円/kgおよび150円/kgとして見積もった。フードやコンデンサ、ラジエータなどの部材は重量もあり、また容易に一次解体でき、採算性は良好である。しかし図8に示すように、アルミニウム部材の一次解体は容易であるが、二次解体で時間がかかるており、二次解体作業効率の向上が今後の課題である。

### 3.2 シュレッダ工程における不純物元素の混入<sup>15)16)</sup>

将来のアルミニウム多用車のモデルとして、フードやドアなどに板材が、フレームに押出材や高品位ダイカスト材が使用されることが想定される場合には、基本的に解体(切断も含む)工程での回収を主体とするもの、シュレッダした後に回収選別することも想定される。

実車から主要なアルミニウム部品(エンジン、トランスマッision部品、熱交換器、ホイールなど)を解体し

表3 廃車から解体されたアルミニウム部材の採算性評価  
Table 3 Profitability assessment of aluminum parts dismantled from ELVs.

	アルミ重量(kg)			許容解体時間(分)		実機実験における一次解体時間(分)	評価
	1995年式車	2000年式車	平均	売却価格50円/kgの場合	売却価格150円/kgの場合		
フード	7.8	8.3	8.1	8	24	1	○
エバボレータ	1.8	1.3	1.6	2	5	~37	×
コンデンサ	2.0	1.9	2.0	2	6	1	○
ラジエータ	2.3	2.1	2.2	2	7	1	○
ヒータコア	0.9	0.5	0.7	1	2	~37	×
ビーム	3.6	3.7	3.7	1	2	8	△
リアバンパ リインフォース メント			2.1	2	6	2	△

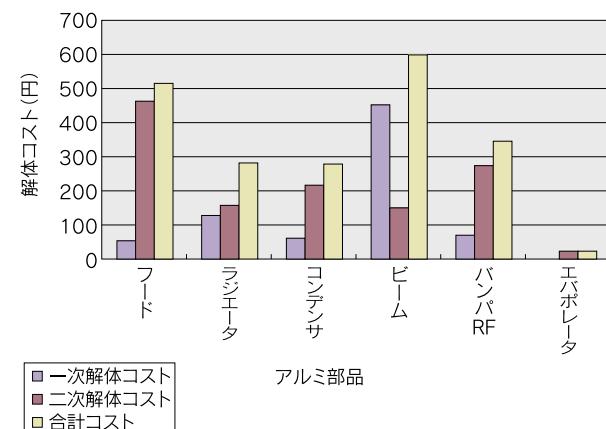


図8 主要アルミニウム展伸材部材の解体コスト  
Fig.8 Dismantling cost of major aluminum wrought alloy parts.

表4 シュレッドライト試験に装入したアルミニウム材料  
Table 4 Aluminum materials entered in shred test.

	合 金	形 状	想 定
板	JIS 6000系 JIS 6063 AC4CH	板厚1mm 幅500mm 長さ500mm	フード、ドア、 フェンダ等
押 出		厚さ 1.3~2mm 70mm角 長さ500mm	バンパー、 フレーム
鋳 物		ホイール	ホイール

て、廃車ガラとした後に、表4に示す各種アルミニウム板材、押出材や鋳物材を表5に示すような配分で強制的に装入してシュレッダを行い、磁力選別、風力選別およびふるい分けをへて回収されたシュレッダチップ(ミックスマタル、メッシュアンダー、シュレッダダスト)を手作業にて選別してアルミニウム材料として回収した。なお試験は実車10台/条件として行っている。

材料としては、ボディパネル等を想定した6000系

表5 シュレッダ試験に装入した材料の重量総量  
Table 5 Total weight of materials entered in shred test.

実験	板	押出	鋳物
A	400kg	200kg	0kg
B	200kg	100kg	0kg
C	350kg	200kg	150kg
D	180kg	100kg	70kg

板材、スペースフレームを想定した6000系押出材、さらに、ホイールを想定した高品位鋳物・ダイカスト材AC4CHを選定した。表5に示す実験条件A～Dを想定して、シュレッダ試験を実施した。すなわち、ケースAではアルミニウム部品が120kg/台(板材80kg、押出材40kg)増加したと想定し、その1/2を解体抜き取りされる。ケースBではケースAのさらに1/2が解体工程で抜き取られる、すなわち120kg/台のアルミニウム部品増加に対しその3/4が解体抜き取りされる。ケースCではアルミニウム部品が140kg/台(板材70kg、押出材40kg、鋳物材30kg)増加したとして、その1/2を解体抜き取られる。ケースDではケースCのさらに1/2が解体工程で抜き取られる、すなわち140kg/台のアルミニウム部品増加に対しその3/4が解体抜き取りされる。

写真2に、シュレッダ後に回収されたサンプル状況を示す。

アルミニウム材料は、そのほとんどがミックスメタルとして回収されており、投入したアルミニウム重量に対するミックスメタルとしての回収率は90～96%であった。通常は手選別されないシュレッダダストについても手選別を行った結果、重質ダストからは投入したアルミニウム重量の3～9%が、軽質ダストからは投入したアルミニウム重量の0.2～0.5%のアルミニウム材料が回

収された。シュレッダ後のミックスメタルおよび重質ダストとしてアルミニウム選別を行えば、投入したアルミニウム重量のほぼ99%以上が回収可能である。

しかし、シュレッダを行った結果として、写真3に示すように鉄粉の混入が認められる。これらのミックスメタルを再溶解した際の溶解歩留は95～97%であり、再溶解後の成分は表6に示すように、Fe、Zn、Cuの増加とMgの減少が認められた。特にFe量については、試験に用いた圧延材のミルシートに記載された0.15%よりも高く、回収アルミニウム材では最大0.45%である。

ZnはZnダイカスト部材から、Cuはワイヤーハーネスからの混入と推測されるが<sup>3</sup>、既存の比重選別技術、あるいはX線やレーザを用いた将来の選別技術の採用等により低減可能と判断される。



写真3 鉄粉の付着状況  
Photo.3 Appearance of iron powder deposition.

表6 板材の再溶解時における成分分析結果  
Table 6 Results of composition analysis of melted plates.  
(mass%)

6000系合金	Fe	Cu	Mg	Zn
ミルシート値	0.15	0.67	0.40	0.01
A	0.34	0.71	0.14	0.30
	0.18	0.73	0.25	0.06
C	0.45	0.65	0.26	0.11
	0.19	0.72	0.24	0.03

### 3.3 再溶解工程における塗料の影響<sup>4)</sup>

塗装付きのアルミニウムフード(総数61枚)を廃車から解体・回収した後に、各種塗料除去前処理を各5～10枚のフードに施して再溶解試験を行い、作業環境、溶解歩留や再溶解後の成分を調査した結果を表7に示す。なお、設備への材料装入の関係で、フードを切断しており、その際にスチール部材は事前に除去してあるため、今回の試験では不純物元素であるFeの混入は見られなかった。塗装除去無しの場合には、塗装の燃焼に伴う煙や悪臭の発生が顕著であり、作業環境の劣化が著しい。シュレッダや圧延では残存した塗料が多く、作業環境の劣化が認められる。溶解歩留も考慮すると、シュレッダ+キルン加熱による塗料除去処理が最も有効と判断される。

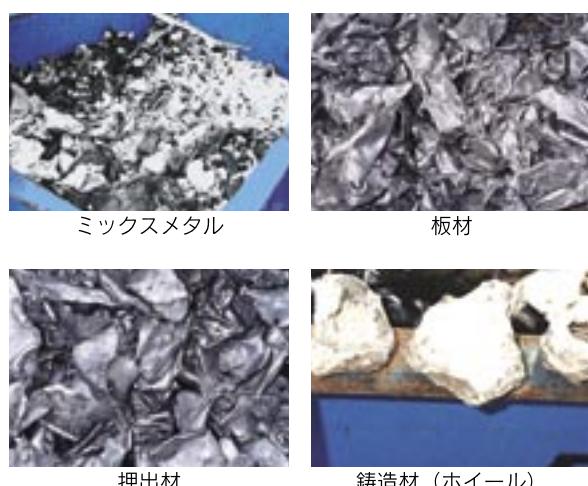


写真2 シュレッダ後に回収されたアルミニウム展伸材スクラップ  
Photo.2 Aluminum wrought alloy scrap recovered after shredding.

表7 再溶解時における塗料除去処理の影響  
Table 7 Effect of coating removal process on melting.

前処理工程	前処理後の塗料残留	溶解時の作業環境		溶解歩留(%)	溶解後不純物(%)		
		発煙	異臭		Fe	Si	Cu
なし	×あり	×	×	87.4	0.12	0.16	0.37
小型シュレッダ	×あり	×	×	87.4	0.18	0.14	0.34
圧延	×あり	×	×	92.2	0.14	0.29	0.50
乾留	○	○	○	91.2	0.16	0.08	0.37
キルン加熱	○	○	○	92.8	0.14	0.29	0.50
シュレッダ+キルン加熱	○	○	○	95.0	0.11	0.08	0.42
比較: 鋳造品スクラップ溶解時	○	○	○	94.8	0.13	0.14	0.37

### 3.4 今後の展望

これまでに述べたように、自動車に使用されている大型のアルミニウム展伸材部材は比較的容易に解体でき、また使用済み缶材(UBC)のリサイクル方法として使用されているロータリーキルンによる加熱やシュレッダといった既存技術を活用して展伸材としてリサイクルすることは技術的に十分に可能と判断される。すなわち、廃車からのアルミニウムスクラップは、大物部材の解体→シュレッダ→(塗料除去処理)→再溶解という既存工程でリサイクルできる。

しかし、自動車に使用されている展伸材部材の使用車種、使用部位や使用台数がまだ限られており、その結果として廃車から回収されるアルミニウム展伸材量はまだ少ないので現状であることから、経済的にアルミニウム展伸材のリサイクルが成立するかどうか、すなわち展伸材再生塊のコスト低減ができるかどうかが最大の課題といえる。

試算した結果では、最も不確定であり、かつ費用が高い工程は解体・回収(買取り、輸送も含む)工程である。したがって、アルミニウム部材の経済的な回収システムの構築が今後重要となる。そのためには、搭載されている各種部材の材質情報を解体業界あるいはシュレッダ業界に開示することが不可欠であり、アルミニウム部材への材質識別マークの付与は有効と考えられる。また回収拠点の拡大策として、解体業界やシュレッダ業界以外にも中古車販売業界や自動車販売ディーラーの活用も検討の余地があると思われる。展伸材スクラップを再溶解するにあたり、当面は4トン炉や15トン炉での単発的な操業になるであろうが、量がまとまってきて連続操業が可能になる場合には、大手の二次合金メーカ等が積極的に参入することも想定できる。

いずれにしても、当面は鋳物・ダイカスト合金向けの

従来の方法でのリサイクルが中心となるものの、現在は廃車からのアルミニウム展伸材リサイクルビジネスの萌芽期に差しかかったといえる。

### 4. おわりに

自動車に搭載されているアルミニウム部材は、これまでエンジンやトランスマッション、ホイールなどの鋳物・ダイカスト部材を中心に増加しており、最近ではアルミニウム展伸材部材の使用比率が増加している。この傾向は地球環境保護やLCAの観点から、さらなる自動車の軽量化という面で今後も進むと考えられる。一方ではアルミニウムよりも軽量な素材として、樹脂やマグネシウム部材の活用も増加している。これら材料との競争に打ち勝つための一つの手段として、アルミニウム展伸材のリサイクルによる低コスト化を意図した検討の一端を紹介した。

自動車に使用されている展伸材部材の使用車種、使用部位や使用台数がまだ限られており、その結果として廃車から回収されるアルミニウム展伸材量はまだ少ないので現状である。しかし自動車に使用されている大型のアルミニウム展伸材部材は比較的容易に解体でき、また既存技術を活用して展伸材としてリサイクルすることは技術的に十分に可能と判断される。

本報告は、新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)の補助金をうけ、(財)金属系材料研究開発センター(JRCM)で実施している「アルミニウムの不純物無害化・マテリアルリサイクル技術開発」の検討の一端を紹介したものである。

### 参考文献

- 1) 大谷他: 軽金属学会第107回大会講演概要(2004), 331
- 2) 多屋貞男: 自動車研究, 23(2001), 626
- 3) 伊勢淳: 素形材, 7(1993), 1056
- 4) 大久保正男: アルミニウム, 12, 61(2005), 91
- 5) 大久保正男: アルミニウム, 9, 46(2002), 19
- 6) Sujit DAS et.al : SAE Technical Paper Series 1999-01-0673, SAE(1999)
- 7) Gerorge K.Nd et.al : SAE Technical Paper Series 1999-01-0674, SAE(1999)
- 8) M. P. Thomas : Proc. Int. Sym. Automotive Technology, Vol30th, Materials for Energy-Efficient Vehicles, SAE(1997), 561
- 9) J.DeGaspari et.al : Mechanical Engineering, Nov(1999), 71
- 10) M.litalien(Alcan) : SAE Technical Paper Series 970017, SAE(1997)
- 11) アルミニウム圧延品ポケットハンドブック1998: アルミニウム協会
- 12) 多屋貞男: 資源と素材, 113, 12(1997), 1027

- 13) L.E.D'Astolfo et.al : Light Metals 1994, TMS(1996), 1121
  - 14) J.W. Sterner et.al : Report of Investigations 8855/  
United States Department of the Interior, Bureau of  
Mines; (1984), 1143
  - 15) 大瀧他：自動車技術会論文集，35,5 (2005), 241
  - 16) 柳川他：軽金属学会第107回大会講演概要(2004)，329
- 



大瀧 光弘 (Mitsuhiro Otaki, Ph.D)  
工学博士 技術研究所

# ノンクロム下地処理の動向

Trends of Non-chrome Pretreatments for Painting

加藤 治

Osamu Kato

**概要** 環境問題の深刻化とともに軽量性、リサイクル性が強く求められるようになり、アルミニウム製品の適用分野が拡大している。ほとんどのアルミニウム製品には、耐食性や意匠性の向上、各種機能付与の目的から、表面処理が行われており、例えば塗装下地処理としては一般的にはクロメート処理が施される場合が多い。一方でさまざまな環境規制に関する法律や指令が定められ、クロムを始めとする重金属が規制の対象となっており、各方面で塗装下地処理のノンクロム化が検討されている。本解説では、主な環境規制とアルミニウム下地処理方法を概観し、代表的なアルミニウム製品についてノンクロム化の動向を解説する。

Abstract: As environmental problems are becoming serious, lightness and ease of recycling have come to be strongly required, and aluminum products are used in a growing number of fields because they satisfy these requirements. Most aluminum products are subjected to surface treatment for improving design flexibility, corrosion resistance and other various functions. As the pretreatment for painting, for example, they are given chromate conversion in most cases. On the other hand, various laws and ordinances have been established concerning environmental regulations, and heavy metals such as chrome are regulated more tightly in order to avoid the environmental problems, so non-chrome treatments are being investigated in various fields. This article outlines the regulations established to reduce environmental loads and describes the trend towards non-chrome pretreatments for representative aluminum products.

## 1. はじめに

アルミニウム製品は軽量性、リサイクル性から、環境負荷低減や省エネルギーに対応できる材料として、適用分野が拡大している。これらは素材のまま無処理で使用される場合もあるが、多くの場合、耐食性、意匠性あるいはその他の機能付与を目的として、表面処理を施して使用される。アルミニウムを塗装する場合の下地処理としては、陽極酸化あるいは化成処理が行われるが、後者としては皮膜にクロム化合物を含むクロメート処理が行われることが多い。

一方で環境問題の深刻化にともない、さまざまな環境規制に関する法律や指令が制定され、人類の持続的発展のための努力が世界的に行われている。これらの法律や指令においても、毒性を有する重金属が規制されており、

6価クロムも含まれることから、アルミニウム塗装下地処理においてもノンクロム化が検討されている。

本解説では、現状の環境規制と塗装下地処理を概観し、代表的なアルミニウム製品についてノンクロム化の動向を説明する。

## 2. 環境規制の動向

ヨーロッパを始めとして、世界各国で毒性のある重金属や有機物質の規制が進められているが、ここでは主なものを概観する。

ヨーロッパでは、家電などの電気電子機器に対して、廃電気電子機器(WEEE)指令および特定有害物質使用禁止(RoHS)指令が制定され、それぞれ2005年8月13日以降、2006年7月1日以降上市する製品に適用される

ことになった。WEEE指令は環境パフォーマンスを改善するために、廃棄物量を低減し、リサイクルなどによって部品等を再生することを目的としている。これを実現するために、製品設計において再利用とリサイクルを考慮することやWEEEの分別回収システムの構築・運営などが規定されている。また、RoHS指令は有害物質の使用制限を目的として、鉛、水銀、カドミウム、6価クロムなどを規制している<sup>1)</sup>。

自動車に対しては廃自動車(ELV)指令が制定され、2003年7月1日以降、鉛、水銀、カドミウム、六価クロムが条件付きで使用禁止になり、解体前に行うべき環境汚染防止処理、リサイクルするために取り外す部品などが決められている<sup>2)</sup>。

一方、日本では廃棄物処理法、水質汚濁防止法等で、廃棄物や廃水中の6価クロムが規制されている。これに加え、数年前より、大手家電メーカを始めとして、積極的に環境負荷の小さい資材を求める、いわゆるグリーン調達を志向する企業が増えており、グリーン購入法も2001年4月に施行された<sup>3)</sup>。また、米国においては、カリフォルニア州法「プロポジション65」に代表される州法や連邦法などによって有害物質の規制が行われている<sup>2)</sup>。

以上のように、世界的に環境負荷低減を目的として、リサイクル性の向上や毒物減少を目的とした規制が進められており、これらに対応できなければ製造業は成り立たない状況になってきている。これらの規制物質の中に6価クロムが含まれることから、各分野でノンクロム下地処理の検討が進められている。

### 3. 下地処理の種類

代表的なアルミニウム用塗装下地処理を表1に示す。大きくは化成処理と陽極酸化処理に分けられる。

#### 3.1 化成処理

化成処理には反応型、塗布型の2種類がある。反応型は薬剤をアルミニウム表面と反応させて化成皮膜を形成する。化成処理方式や処理条件が皮膜形成速度や膜質に影響を及ぼすので、良好な皮膜を形成するためには、その選択が重要である。アルミニウムプレコート材の場合には高速処理が可能なスプレー方式が用いられる。また反応型は余剰薬剤の水洗が必要であり、水洗水の廃水処理設備を必要とする。また化成型処理は広幅アルミ材に対しても均一な皮膜を得やすいために高速処理が可能であるなど大量生産に向いているものの、複数の薬剤処理を混流生産するような場合は化成槽中の浴の入れ替えを必要とするため効率が落ちる等の不具合が懸念される。

一方、塗布型は、化成皮膜成分を含む薬剤を塗布し、オーブンで乾燥または焼付することによって皮膜を形成するもので、プライマ塗料の塗装に類似した方法である。皮膜厚さはウェット膜厚で制御でき、板や条の場合はロールコーティングを用いれば一定膜厚に管理できる。ただし被処理面に凹凸がある場合は凹部に薬剤が溜まるので、均一な皮膜を形成しづらい場合がある。また、塗布型は薬剤塗布後に水洗する必要がないので、廃水処理設備は不要である。一方、コイル処理が基本で切り板への適用は難しく、また薬剤の粘度によっては塗工しにくくことや適正な脱脂処理等の前処理が施されていない場合はハジキ等の欠陥を生じやすく、高速で処理する場合には乾燥・焼付用に大規模なオーブンを必要とするといつ

表1 アルミニウム用塗装下地処理  
Table 1 Aluminum pretreatments for painting.

				特 徴
化成処理	反応型	クロム	リン酸クロメート	皮膜に6価クロムを含まない。プレコート材用として、一般的である。
			クロム酸クロメート	皮膜に6価クロムを含み、無塗装での耐食性にも優れる。現在はポストコート塗装下地、めっき後の防錆処理として用いられる。
		ノンクロム	リン酸亜鉛	基本的に鋼板用の下地処理であるが、自動車ボディのアルミ板・鋼板混合処理用として改良が進められている。
			ジルコニウム系	ノンクロム化成処理として実用化されている。アルミニウム飲料缶ボディ用に用いられる。
			チタン系	ノンクロム化成処理として実用化されている。
	塗布型	クロム	クロメート	廃水処理が不要。アルミフィン、プレコート鋼板に適用例多い。
		ノンクロム	樹脂系	廃水処理が不要。有機樹脂の皮膜であり、耐食性プレコートフィン材に適用例がある。
			樹脂 / 無機複合系	廃水処理が不要。アクリルなどの樹脂とジルコニウム塩の組み合せで製品化され、プレコートフィン材、キャップ材などに適用例がある。
陽極酸化				アルミニウム建材の表面処理として一般的である、着色も可能である。単独で用いられる場合と電着塗装や粉体塗装などの塗装が施される場合がある。

た欠点も存在する。

代表的なアルミニウム用反応型化成処理としてはリン酸クロメートとクロム酸クロメートがある。リン酸クロメートはアルミニウムプレコート材の前処理として広く用いられている。皮膜には3価クロムが含まれるが、6価クロムは含まれず、安全性が高いことから飲料缶用材料にも使用されている。クロム酸クロメートは3価クロムおよび6価クロムを含んでおり、自己修復作用を有し、単独での耐食性にも優れている<sup>4)</sup>。以前はプレコート材の下地処理としても使用されていたが次第に減少しており、現在では、ポストコートの塗装下地処理やめっきの後処理として使用されている。

ノンクロムタイプとしては、ジルコニウム系およびチタン系などが実用化されている。ジルコニウム系処理は飲料缶等に多量に使用されており、リン酸ジルコニウムおよび水和酸化ジルコニウムから成る複合皮膜が広く用いられている。また自動車のボディにはリン酸亜鉛処理が行われており、ボディの成形・組み立て後に浸漬処理することにより皮膜を形成させている。アルミニウム用ノンクロム処理剤については年々改良が加えられており、近年ではクロム処理皮膜と同等の耐食性や塗膜密着性といった表面性能を発揮する皮膜も得られている。

塗布型化成処理にもクロムを含有するものとノンクロムタイプがある。クロム系はクロム化合物を主体とし、樹脂、シリカ粒子、他の金属塩等を含むものもある。主に鋼板に用いられているが、アルミニウムではプレコートフィンに用いられている例がある。アルミニウムの場合には薬液中の6価クロム化合物をアルミニウム表面と反応させ、無害な3価クロム塩の皮膜を形成させる方法が採られている。3価のクロム塩とジルコニウム塩を複合化した皮膜は優れた塗膜密着性や耐食性を発揮する。

ノンクロム処理としては樹脂皮膜、樹脂／無機複合系、シランカップリング剤系等があり<sup>3)</sup>、ボトル缶のキャップ材や内装建材等に適用例がある。炭酸ジルコニウムやフッ化ジルコニウム酸(ジルコンフッ酸)などのジルコニウム塩とアクリル樹脂、アクリルアミド樹脂やウレタン樹脂等の樹脂との複合皮膜タイプが最も多く使われている。

ノンクロムの塗布型化成皮膜を構造解析した例として、炭酸ジルコニウム塩とアクリル樹脂複合タイプ化成皮膜のGDOES深さ方向分析結果を図1に示す。皮膜表面近傍およびアルミニウム素地／皮膜界面近傍にZrが濃化しており、アクリル樹脂は皮膜表面近傍に濃化していることが分かる。また、炭酸ジルコニウム塩とアクリル樹脂に明確な境界はなく、傾斜構造になっていると推定される。

このような複合タイプ皮膜にはクロメート皮膜より優

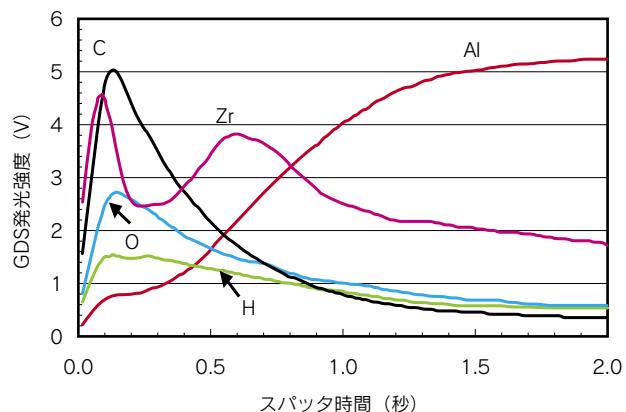


図1 塗布型化成皮膜のGDOES深度プロファイル  
Fig.1 GDOES depth profile of non-rinse type conversion coating.

れた表面特性を示すものも生まれてきた。

### 3.2 陽極酸化処理

陽極酸化処理としては硫酸浴による硫酸アルマイトが日本では一般的であるが、他にはリン酸浴によるリン酸アルマイト、シュウ酸浴によるシュウ酸アルマイト、アルカリ性浴によるアルカリ交流電解処理<sup>5)</sup>なども行われている。

陽極酸化処理皮膜は単独で使用される例も多いが、例えばサッシやスパンドレルといった建材では、硫酸浴による陽極酸化処理後、電着塗装されることが多い。また建材に用いられるような10～15 μm程度の陽極酸化皮膜には可撓性がほとんどないので、成形加工した上でポストコートとして処理される。

陽極酸化処理皮膜は美麗、堅牢なため、建材以外にも様々な製品に使われており、器物、アルミニウム配線プリント基盤や筐体の下地処理あるいは表面処理に用いられている。

## 4. 代表的なアルミニウム製品のノンクロム化動向

アルミニウム製品のノンクロム化動向を図2<sup>6)</sup>に示す。この中で主な製品について、以下に説明する。

### 4.1 飲料容器

飲料容器に用いられるアルミニウム製品としては、アルミニウム飲料缶とボトルキャップが挙げられる。

アルミニウム製飲料缶は、蓋、2ピース缶ボディに分けられ、図3に示すように、それぞれ表面処理される工程が異なる。蓋材は圧延メーカーにて塗装まで行う場合と下地処理のみ行う場合があり、いずれもほとんどの製品において無害な3価のクロム塩からなるリン酸クロメートが用いられてきた。しかし近年はノンクロム系薬剤の開発も進められている。

一方、2ピース缶ボディ材は、初期にはリン酸クロメートが用いられていたものの、1980年台からジルコニウム

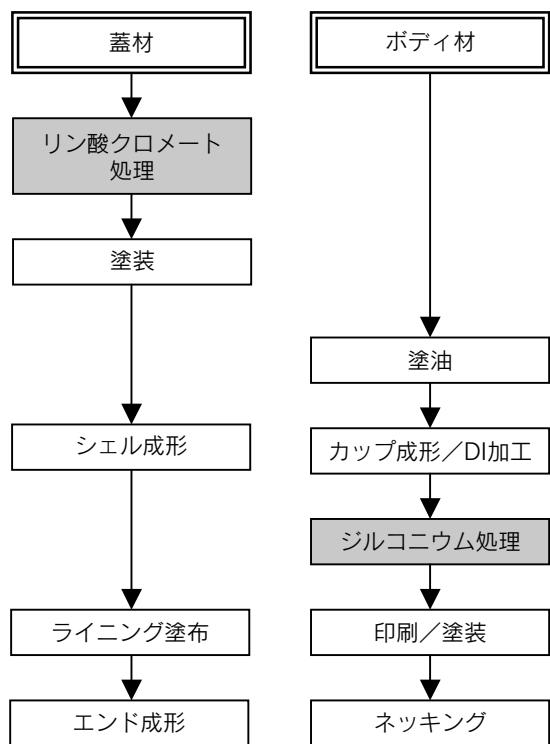


図3 アルミニウム飲料缶部材の製造工程

Fig.3 Manufacturing process of aluminum beverage can parts.

ム系処理への移行が進み、現在ではジルコニウム系処理材が大半を占めている。ジルコニウム系処理としてはリソ酸ジルコニウム皮膜を用いるのが一般的であるが、リソ酸クロメートに比べて、皮膜厚を狭い範囲で管理しないと本来の性能が得られない、あるいは表面処理中に缶同士あるいは缶と搬送装置等が接触すると接触部のみ正常な皮膜が形成されないなどの不具合を生じる場合がある。これらの問題を解決するため、搬送方法や工程などに工夫が行われている<sup>7), 8)</sup>。

ボトルキャップは、圧延メーカにおいて化成処理された板に、キャップメーカにおいて塗装が施されるが、この用途の化成処理にはFDA認可を受けたジルコニウム塩と樹脂との複合皮膜から成る塗布型ノンクロム処理が用いられている例がある。

現在ではノンクロム処理皮膜の性能はクロメート処理皮膜とほぼ同等の性能を発揮するまでになっているものの、処理コストがやや高い傾向にあり、また既に実用化されているクロメート皮膜が無害な3価クロム塩から成っていることもあり、開発開始時点の予測より進展が若干遅いきらいがある。

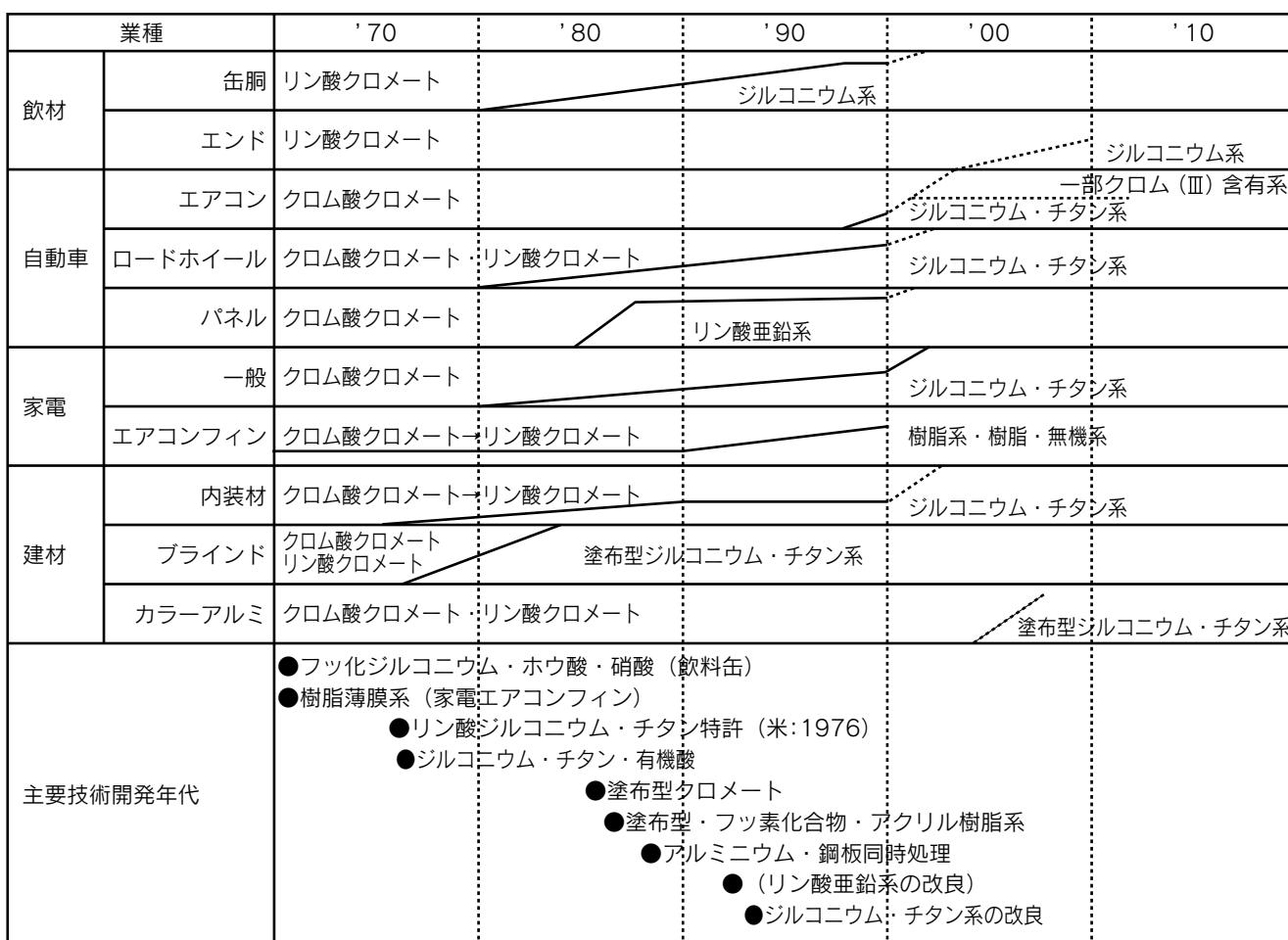


図2 ノンクロメート化への移行状況と主要技術の開発状況

Fig.2 Transition to non-chrome type pretreatments and development of major technologies.

## 4.2 自動車

従来、自動車にはエアコンの熱交換器、エンジンのラジエータやシリンドブロック、あるいはホイールなどにアルミニウムが使用されているが、二酸化炭素排出量削減、省エネルギー等の要求から、軽量化を目的としたボディ材への適用が拡大している。ここでは、塗装して使用される、ボディ、エアコンエバポレータ、ホイールの下地処理について説明する。

### 4.2.1 ボディ

初期はスポーツカーの走行性能向上を目的としてアルミニウムが採用され始めたが、現在では省燃費を目的とした軽量化のためにアルミニウム化が進んでいる。初期には鋼板とは別に、アルミニウムに適した下地処理としてクロム酸クロメートが行われた。しかし、アルミニウム使用量増加にともない、既存ライン活用の点からアルミニウムと鋼板を同時処理する要求が高まり、鋼板に用いられているリン酸亜鉛処理の適用が検討された。しかしながら、従来のリン酸亜鉛処理はアルミニウムへの付着性に問題があるとともに、鋼板と一緒に処理すると鋼板への付着性が低下するといった問題もあった。リン酸亜鉛処理はアルミニウム表面でのアルミイオン溶出が引き金となって、アルミニウム表面上に存在する結晶核にリン酸亜鉛結晶が析出することによって皮膜形成反応が進むが、浴中のアルミニウムイオン濃度が高くなると皮膜形成が阻害される。近年は浴中のフッ化物濃度調整によるアルミニウムイオン制御や表面調整方法(結晶核種付け処理)の改良などによって付着性が改善されている。また反応の進行により浴中にスラッジが形成されるためスラッジ処理費用が発生する。そこでリン酸亜鉛処理浴の低温化等が進められている。さらに環境対応型の新しい化成処理も検討されている<sup>9)</sup>。

### 4.2.2 エアコン熱交換器

コンデンサとエバポレータよりなるが、コンデンサはフィンの犠牲陽極作用によって防食されるのに対し、エバポレータには表面処理が施されている。これは凝結水によって表面が腐食環境になるとともに、室内に直結しているダクト内に配されることから、表面の臭気や腐食生成物がユーザーに大きな影響を及ぼすためである。また、エアコンの高性能化、小型化にともなってフィンピッチが減少しており、凝結水による熱交換効率低下を抑えるため、親水性の付与も行われている。従来、エバポレータには耐食性を向上させるためにクロメート処理が施されていたが、近年、親水性付与、臭気性改善を目的として、クロメート処理を下地処理として、その上に親水性皮膜が形成されるようになってきている。また、ノンクロム化技術として、チタン系化成処理を用いることによる耐食性低下を、親水性皮膜へのインヒビタ添加

によって補う技術が報告されている<sup>10)</sup>。

### 4.2.3 ホイール

アルミホイールは自動車の足回りという過酷な環境において使用されるが、意匠性も重要な商品であり、塗装、めっき、陽極酸化によって、高意匠な重防食処理が施されている。塗装ホイールの場合は、下地処理はクロム酸クロメートが一般的であったが、LEV指令などに対応するため、ジルコニウム系あるいはチタン系の化成処理を行っている例もある<sup>11), 12)</sup>。

## 4.3 電気・電子機器

電気・電子機器用アルミニウム製品としては、筐体、フレームなどの構造部材としての用途の他、アルミニウムの特性を生かしたメモリーディスク、コピードラム、ポリゴンミラー、エアコンフィンなどがある。最近では、潤滑性、導電性、高反射性などの機能を有する、機能性プレコート材がパソコン用記録媒体用ドライブ筐体、記録媒体用シャッタ、液晶反射板などに適用されている<sup>5)</sup>。ここでは、塗装材の代表的な例として、アルミニウム使用量の多いエアコンフィンについて説明する。

エアコンの熱交換器は熱交換効率向上を目的として、フィン形状の複雑化やピッチ狭小化が進んでいるため、凝結水による熱交換効率低下を抑えるために表面に親水性や耐食性を付与することが必要である。そこで、あらかじめアルミニウム板に表面処理を施したプレコートフィンが主流になっている<sup>13)</sup>。図4に示すように、プレコートフィン材表面には親水性、耐食性の他にも無臭性、耐汚染性、金型摩耗性といった性能要求があり、顧客の要求にあわせて製品設計がなされるため、塗膜も無機系、有機系、複合系などが使い分けられている。他のプレコート材同様、下地にはリン酸クロメートが用いられることが多いが、樹脂塗膜や、ペーマイトあるいは陽極酸化といった無機皮膜を下地処理とした例もある。<sup>2)</sup>最近では

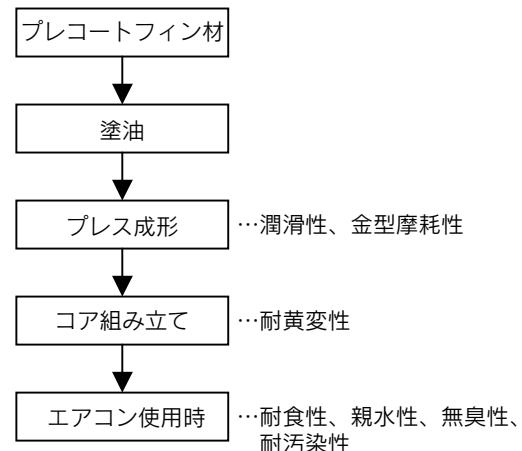


図4 親水性プレコートフィン材表面の要求性能  
Fig.4 Required performance of hydrophilic pre-coated fin surface.

ヨーロッパ指令などへの対応から、反応型および塗布型ノンクロムートが検討されている<sup>14)</sup>。いずれもジルコニウム塩やチタン酸塩を主体とした皮膜が検討の中心となっているが、特に塗布型ノンクロムートの場合は樹脂との複合化を目指した検討が多い。ジルコニウム塩としては炭酸ジルコニウムアソニウムや炭酸ジルコニウムカリウム、フッ化ジルコニウム酸等が検討されており、チタン酸塩としてはフッ化チタン酸等が、樹脂としてはポリアクリル酸、ポリアクリル酸エステル、アクリルアミド、ウレタン等が検討されている。最近はジルコニウム塩とその他の金属塩との複合化皮膜や耐食性の良いエポキシ樹脂との組み合わせ等も検討されている。

プレコートフィン材には1μm以下の非常に薄い塗膜が用いられることが多く、下地処理性状の影響が塗膜性能に出やすいなどの課題がある。金属塩と樹脂との複合皮膜を下地として用いた場合に影響が出やすく、金属塩及び樹脂の種類のみならず、両者の配合比率、乾燥温度等の乾燥・焼付条件の改良等による性能向上等も検討されている。その結果、クロメート皮膜を上回る特性を示す皮膜も得られてきている。

#### 4.4 建材

アルミニウム建材に行われる表面処理の種類を図5に示す。板材の場合は、ロール成形される屋根材やスパンドレルに用いられるカラーアルミのようにプレコートされたものと、カーテンウォールのように成形後に表面処理(ポストコート)されるものがある。一方、形材は成形加工後に表面処理される。

プレコート材であるカラーアルミはリン酸クロメートが用いられる。ポストコートとして行われる表面処理には、陽極酸化と塗装があり、サッシなどに見られるように陽極酸化処理後に電着塗装するものも多い。ポストコートの塗装下地処理ではクロム酸クロメートが一般的であったが、プラインドなどの内装建材においては塗布型チタン系化成処理が実用化されている<sup>15)</sup>。また、外装建材においても、ノンクロム化の動きが始まっており、塗装カーテンウォールの下地に、ジルコニウム系化成処理を用いた例もある<sup>16)</sup>。

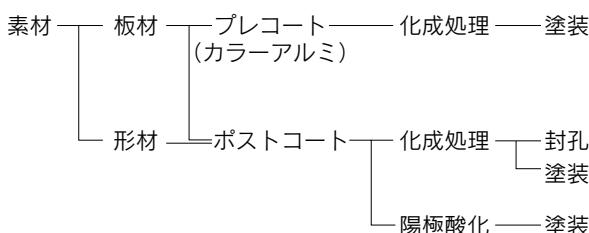


図5 アルミニウム建材表面処理  
Fig.5 Aluminum surface treatments for building materials.

## 5. おわりに

以上、ノンクロム下地処理の動向について説明してきた。従来はクロメート処理に比較して、ノンクロム型のジルコニウム、チタン処理等は塗膜密着性、耐食性が劣るのが通例で、そのためアルミニウム2ピース缶ボディのようにノンクロム化が進んでいる分野は塗装を前提としており、腐食環境が比較的穏やかな場合が多かった。<sup>15)</sup>しかし近年の検討によりクロメート皮膜と同等あるいは同等以上の性能を有する皮膜も得られてきており、性能面での差は大きく縮まってきた。ただし現状では、ノンクロム型処理の方がよりシビアな浴管理条件を要求される場合が多いことや反応型処理の場合はクロメート処理との混流生産が難しい（浴の入れ替えを必要とするため）こと、またクロメート処理に比べコストがややかさむといった問題点が残っている。

しかしながら、ノンクロム化は世界的規模における社会的要望であり、持続的な発展を前提とする以上、必要不可欠な技術である。当社としても、ノンクロム下地処理を用いた塗装材開発やノンクロム化に対応できる素材開発を通じて、アルミニウム製品のノンクロム化に貢献していきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 松浦徹也：表面技術54(2003)585
- 2) 星野重夫ほか編：環境対応型表面処理技術(2005)テクノシステム
- 3) 金子秀昭：アルミニウムの化成処理(2003)カロス出版
- 4) 軽部健志ほか：表面技術53(2002)368
- 5) 古河スカイwebサイト
- 6) アルミニウムプレコート材用塗装下地処理とその性能(2000)軽金属学会
- 7) 川崎 功：表面技術55(2004)704
- 8) 岡 祥治：日本材料学会腐食防食部門委員会資料(2000)52
- 9) 岡田栄作ほか：表面技術55(2004)719
- 10) 小林健吾ほか：表面技術協会第100回講演大会要旨集(1999)6
- 11) 丸豊技研工業webサイト
- 12) 日本パーカライジングwebサイト
- 13) 見原二三男：軽金属学会第69回シンポジウム予稿集(2003)46
- 14) 佐藤隆宏ほか：軽金属学会第108回大会講演概要(2005)275
- 15) 前田重義：腐食センターニュースNo.027(2003)1
- 16) 田村俊輔ほか：DNTコーティング技報No.5(2005)34



加藤 治 (Osamu Kato)  
技術研究所

# 缶胴のボトムしわ発生に及ぼす アルミニウム合金板の材料特性の影響

Effect of Material Properties of Aluminum Alloy Sheet on Bottom Wrinkling of Can Body

鈴木 覚

Satoshi Suzuki

藤田 和子

Kazuko Fujita

**概要** 飲料用缶は製缶技術の進歩とともに軽量化され、缶胴用材の薄肉化もこれに伴って進行してきた。この場合、缶胴の製造工程における再絞り工程においてボトムしわと呼ばれる現象が発生しやすくなる。このボトムしわ発生を抑制するには素材強度の低下が効果的であると従来から考えられてきたが、缶体強度の観点からそのような対応には限界がある。また素材特性と耐ボトムしわ性の関係についての報告は少ないが、加工硬化性の増大によりボトムしわが発生しにくくなるという報告がある。本報告では3004合金板のMnの固溶析出状態を変化させて加工硬化性と耐ボトムしわ性への影響を調査し、さらに両特性間の相関について検討した。特にMn固溶量を増加させた場合の加工硬化性の増大、それに伴うボトムしわ発生の抑制が顕著であった。Mn固溶量の多い材料はしわ発生域での軸方向のひずみが大きくなっている事が確認され、再絞り時の縮径化による余肉が軸方向の変形に吸収されてしわ発生が抑制されているものと考えられた。

Abstract: Weight reduction of aluminum cans has been achieved along with technical progress, and the downgauging of material has continued simultaneously. But in this case, bottom wrinkling tends to occur easily during the redrawing process of the can body. So far, lowering of material strength has been thought to be an effective measure to prevent bottom wrinkling, but there are limits to such an approach, because the can strength is reduced. A few papers have discussed the relationship between material properties and bottom wrinkling. In some reports, it is said that increasing the work-hardening rate prevents bottom wrinkling. In this paper, we investigated the effect of the solid solution and precipitation state of Mn in A3004 alloy on the work-hardening rate and bottom wrinkling, and examined the correlation between the two properties. It was found that an increase of Mn solid solution content causes an increase of the work-hardening rate and a marked improvement of bottom wrinkling. It was verified for a material of high Mn solid solution content that the axial strain is large in the wrinkling-prone area. It was thought that wrinkling is suppressed because the excess thickness caused by diameter reduction when redrawing is absorbed by the axial deformation.

## 1. はじめに

飲料用アルミニウム缶は技術の進歩と共に軽量化が進み、これに使われる缶胴材も薄肉化が行われてきている。この場合缶胴の製造プロセス途中の再絞り工程においてボトムしわと呼ばれる成形不具合が発生しやすくなる。図1に缶胴の一般的な成形プロセスとボトムしわの発生状況を示す。このしわが発生した場合、直接缶体特性を損なうものではないが、美観上好ましくない上、製

造ライン上の検査機によりリジェクトされて生産性に非常に大きな悪影響を与える。この耐ボトムしわ性改善のためには素材の低強度化が効果的であると思われてきたが、この場合、缶体強度特に耐圧強度が低下してしまう事になり、薄肉高強度化が求められる場合には、この対応では限界がある。

缶胴材の耐ボトムしわ性に関しては報告が少なく、Shenによる安定化焼純の影響の解析<sup>1)</sup>、Bettsによる成形条件、材料特性の影響の調査<sup>2)</sup>、水谷らによる成形力

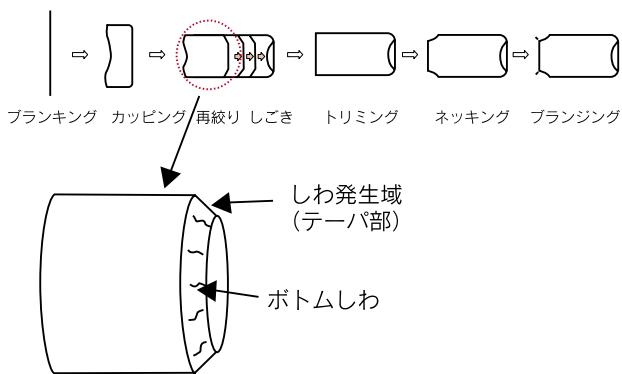


図1 缶胴の成形工程とボトムしわ  
Fig.1 Schematic of forming processes of can body and bottom wrinkling.

の影響についての解析<sup>3)</sup>がある程度である。このうち材料特性に関しては、強度以外のパラメータとしては加工硬化性の影響が報告されている。斎藤らも素材耐力、素材伸びよりも加工硬化性の方が耐ボトムしわ性との相関が高いと報告している<sup>4)</sup>。また、Bettsもn値(加工硬化指数)が高いほど耐ボトムしわ性が良好で、その影響は板厚が薄いほど顕著であると報告している<sup>2)</sup>。Shenは安定化焼純の付与による耐ボトムしわ性の向上現象を、しわ発生部の加工軟化を抑制し結果としてその部分の強度を高め、圧縮応力に対する耐座屈性を向上させたものと解釈している<sup>1)</sup>。

本稿では、3004缶胴用アルミニウム合金板のMnの固溶析出状態を変化させ、加工硬化性と耐ボトムしわ性への影響を調査した結果について報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験材の製造工程

工業的に生産された3004合金の厚さ2.2mmの熱間圧延板を素材として使用した。その合金組成を表1に示す。

表1 実験材の化学成分

Table 1 Chemical composition of the alloy.

合金名	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Al	(mass%)
3004	0.27	0.38	0.21	1.0	1.0	bal.	

実験材の製造工程を図2、図3に示す。熱間圧延板に所定の熱処理を施した後冷間圧延し、最終焼純を施す工程となっている。最終板厚は0.3mmとした。図2の工程はMnの固溶量を変化させること、図3の工程は同一固溶度で析出物の分布が異なる状態とする目的としたものである。

### 2.2 ボトムしわ高さ、n値の測定方法

表2に示す条件でカッピングプレスにより1次絞りを施した後、ボディメーカーにより再絞り缶を作製した。これは通常の350ml用の缶相当のもので再絞り缶の直径



図2 実験材の製造工程(固溶Mn量の影響)  
Fig.2 Manufacturing process of specimens (Effect of Mn solid solution content).

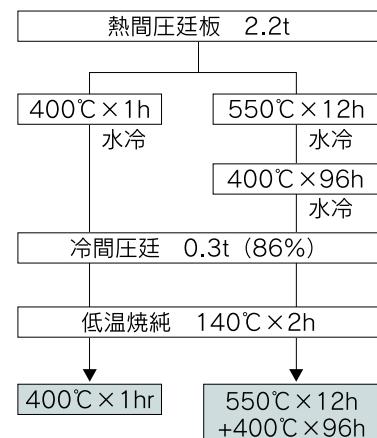


図3 実験材の製造工程(析出物分布の影響)  
Fig.3 Manufacturing process of specimens (Effect of distribution of Mn precipitates).

表2 成形条件  
Table 2 Forming conditions.

カッピング	一次絞り比	1.61
	潤滑油	エマルジョン系合成油
リドロー	再絞り比	1.31
	しわ押さえ力	3,100N
	潤滑油	エマルジョン系合成油

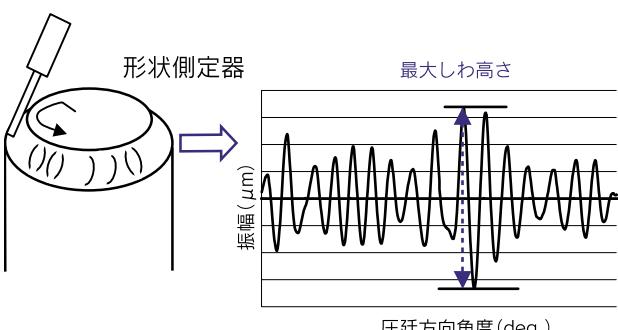


図4 ボトムしわ測定方法の模式図  
Fig.4 Schematic of measuring method of bottom wrinkling.

は66mmである。

ボトムしわは、図4に示すように再絞り缶のテープ部表面の凹凸を形状測定機により測定し、その最大しわ高さとして定義した。各サンプルはn=5の測定とした。

加工硬化性については、実験材からJIS5号引張試験片を圧延方向と平行方向に切り出し、引張試験の結果から最小自乗法により加工硬化指数n値(圧延方向と平行方向)を算出した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 Mn固溶処理の影響

図5に実験材の導電率測定結果を示す。本系合金ではMn固溶量が多いほど導電率が低いことが知られており、Mn固溶量の多少を推定するため代用特性として導電率を測定した。400°C熱処理材は熱処理無し材に比べて若干導電率が高く、Mn固溶量はやや減少(=すなわちMnが析出)しているものと推定される。また550°C、600°Cと熱処理温度が高くなるにつれて導電率は低下しており、Mnの固溶が進んでいることが推定される。

図6には熱間圧延板に熱処理を加えた後の時点での透過電子顕微鏡による析出物観察結果を示す。Mnの析出処理にあたる400°C熱処理材では析出物の数に大きな差は無いが、導電率は高くなっている。Mnの析出は主に既存の析出物の粗大化によって起こっているものと思われる。より高温の550°C、600°C熱処理材は微細な析出物が減少すると共に導電率が低下しており、Mnの固溶が微細な析出物の消失によって起こっている事がわかる。なお、これらの析出物はいずれも $\alpha$ -Al<sub>12</sub>(Fe,Mn)<sub>3</sub>Siであることを電子線回折とEDXS分析により確認した。

図7にこれらの実験材の引張試験結果を示す。Mnの析出処理にあたる400°C熱処理材では強度変化はほとんどないが、Mnの固溶処理に当たる550°C、600°C材では強度(引張強さと耐力)が大きく増加していることがわかる。

図8には再絞り缶の外観を、図9にはボトムしわ高さの評価結果を示すが、Mn固溶量が多い高温熱処理材の

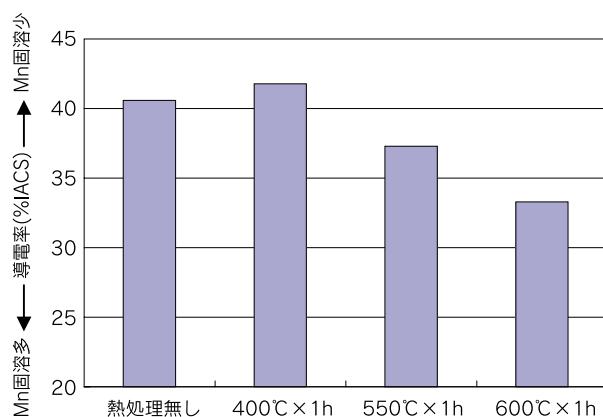


図5 実験材の導電率(固溶Mn量の影響)  
Fig.5 Electrical conductivity of specimens  
(Effect of Mn solid solution content).

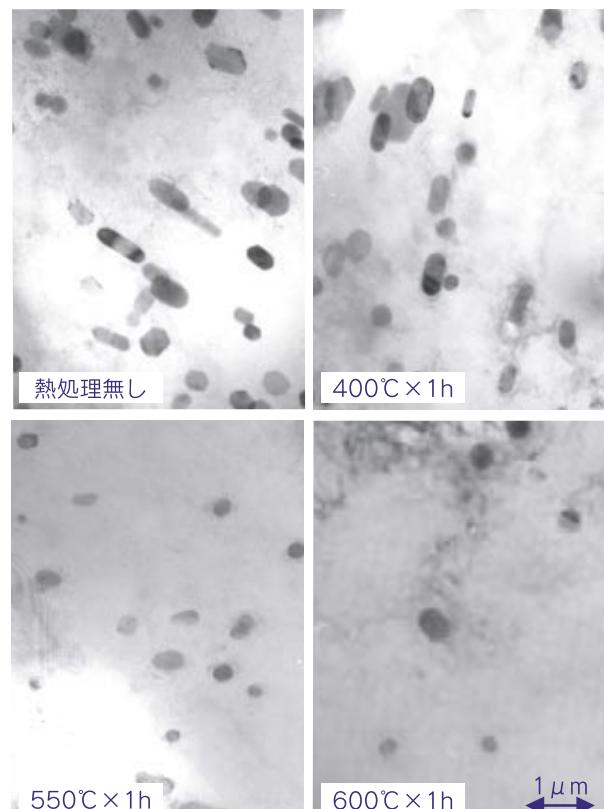


図6 热処理後の熱延板のTEM像(固溶Mn量の影響)

Fig.6 TEM micrographs of hot-rolled sheet specimens after heat treatment (Effect of Mn solid solution content).



図7 実験材の機械的性質(固溶Mn量の影響)

Fig.7 Mechanical properties of specimens  
(Effect of Mn solid solution content).



図8 再絞り缶の外観写真(固溶Mn量の影響)

Fig.8 Appearance of redrawn cup  
(Effect of Mn solid solution content).

耐ボトムしわ性が良好である。図10には各実験材のn値のひずみ量依存性を示すが、熱処理温度が高くMn固溶量が多いものは高いn値を示している。n値自体は冷間

圧延率が非常に高いため、値としては非常に低いところでの変化ではあるが、耐力が20MPaも上昇しているにもかかわらず、耐ボトムしわ性が著しく向上する事は興味深い。

### 3.2 Mn析出物の分布状態の影響

Mn固溶量は一定として析出物の分布状態のみを変えることを目論み、400°C×1hの一段熱処理と、550°C×12h+400°C×1hの二段熱処理の二種類の熱処理をおこなった(図3)。これは、二段目の温度と同じ400°Cとすることで、Mn固溶量を揃えようとしたものである。

その結果、導電率はいずれも41.8%IACSであり、Mn固溶量はほぼ同等の水準にすることことができた。図11には熱処理後の透過電子顕微鏡による析出物観察結果を示す。一段熱処理材と二段熱処理材はほぼ同等のMn固溶量であるが、二段熱処理材の方が析出物の数が少なく比較的大きな析出物が粗に分布する状態となっている。

図12には引張試験結果を示す。強度については二段熱処理材の方がやや低めになっていた。図13にはボトムしわ高さの評価結果を示す。二段熱処理材の方が耐ボトムしわ性は良好であった。図14にはn値のひずみ量依存性を示すが、わずかに二段熱処理材の方がn値は高めになる傾向があった。これについては6000系のO材で



図9 ボトムしわ高さに及ぼすMn固溶量の影響  
Fig.9 Effect of Mn solid solution content on bottom wrinkling.

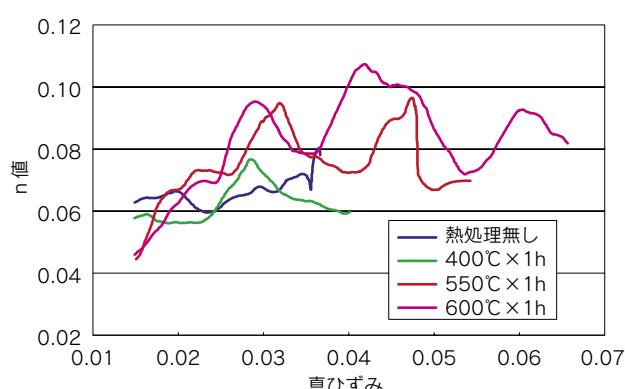


図10 n値のひずみ量依存性に及ぼすMn固溶量の影響  
Fig.10 Effect of Mn solid solution content on n-value.

報告されているような微細析出物が転位の局在化を促進し、加工軟化しやすくなるような現象<sup>5)</sup>が関与している可能性も考えられるが、今回の実験材のような超硬質材ではさほど明確ではなかった。また、耐ボトムしわ性に関しても、二段熱処理材の耐力がやや低くなっているため、必ずしも析出物の分布だけを反映した実験とはなっていない。

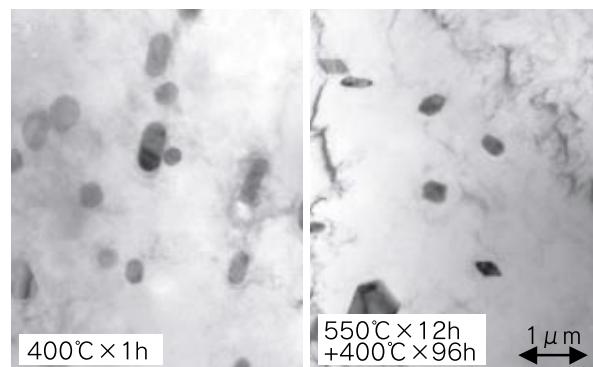


図11 熱処理後の熱延板のTEM像(析出物分布の影響)  
Fig.11 TEM micrographs of hot-rolled sheet specimens after heat treatment (Effect of distribution of Mn precipitates).

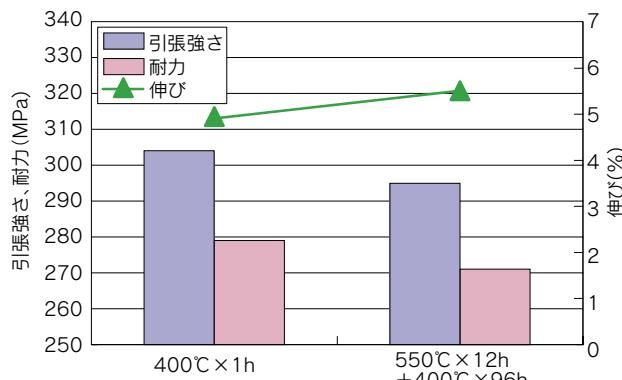


図12 実験材の機械的性質(析出物分布の影響)  
Fig.12 Mechanical properties of specimens (Effect of distribution of Mn precipitates).

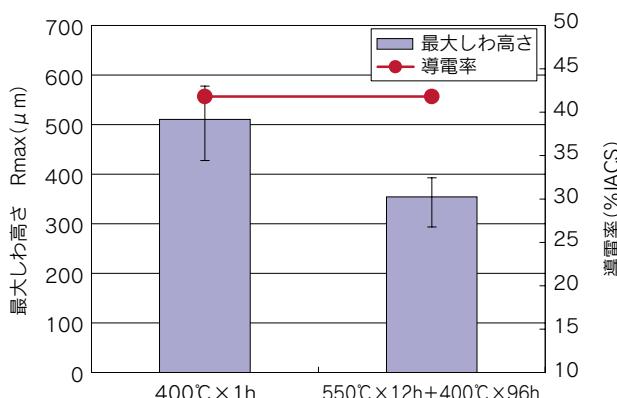


図13 ボトムしわ高さに及ぼす析出物分布の影響  
Fig.13 Effect of distribution of Mn precipitates on bottom wrinkling.

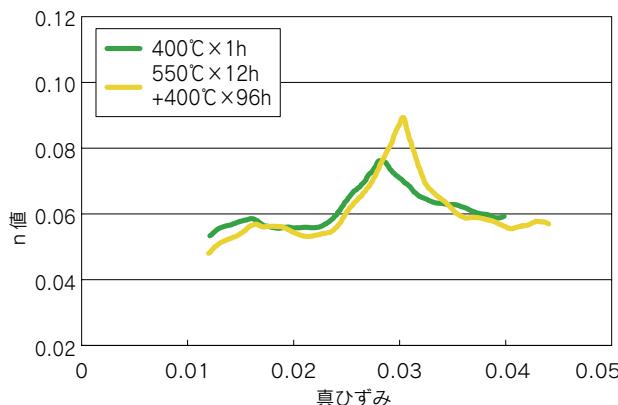


図14 n値のひずみ量依存性に及ぼす析出物分布の影響  
Fig.14 Effect of distribution of Mn precipitates on strain dependence of n-value.

### 3.3 耐ボトムしわ性とn値の関係

上述のようにMnの固溶析出状態を変化させる事で耐ボトムしわ性が変化する事が示唆された。特にMn固溶量の増大により高強度のまま耐ボトムしわ性の改善ができるることは、冒頭に述べた薄肉高強度化への対応としては非常に都合が良い。

一般的にはボトムしわは成形条件との相関が非常に高いことが知られており、ボトムしわを低減する成形条件の方向としては、

- ・カップホルダ圧の上昇
- ・工具と材料間の摩擦係数の増大
- ・再絞りダイスのRを小
- ・再絞り比の増大

が挙げられる。これらはいずれも成形力を増し、再絞り缶成形時のテーパ部の張力を増す方向といえる。実際にカップホルダ圧のボトムしわ高さへの影響については、水谷らは成形力を増加させることで、再絞り缶のテーパ部における円周方向の圧縮ひずみを軸方向のひずみへ転換しボトムしわが低減されるとしている<sup>3)</sup>。

素材の機械的性質の影響としては、一般的に耐力の増加は耐ボトムしわ性を悪化させると言われている。耐力が高い場合は再絞り時にテーパ部への材料の流れ込みが大きくなり、より高い圧縮応力を発生させるものと考えられる。n値に関してはshenによる解釈もあるが<sup>1)</sup>、むしろ水谷らの報告にあるように成形力の増大との相関も考えられる<sup>3)</sup>。例えば一般的に安定化焼鈍により耐ボトムしわ性は向上することが知られているが、この時には耐力の低下と回復に伴う加工硬化性の増大、さらには時効硬化による加工硬化性の増大が伴っているものと考えられる。この様に安定化焼鈍を施した場合はいずれもボトムしわ発生の抑制に有利な状態となっている。これに対し3.1項の実験材ではMn固溶量の増大により耐力の上昇、加工硬化性の増大が同時に起きている。この場合の再絞り缶のテーパ部のひずみがどのようにになっている

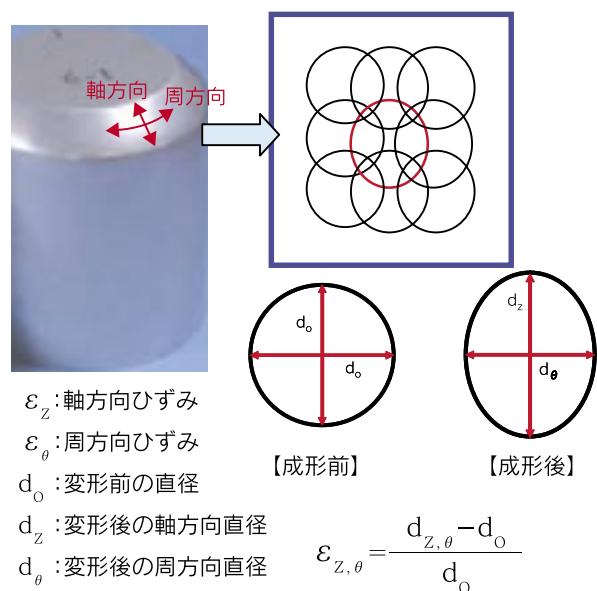


図15 ひずみ量測定の模式図

Fig.15 Schematic of measurement of strain.

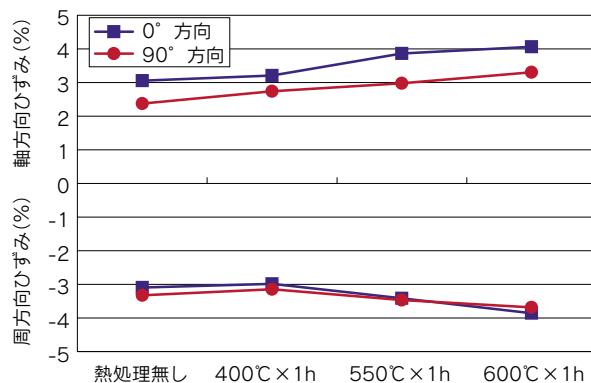


図16 ひずみ量測定結果

Fig.16 Strain measurement at the bottom of redrawn cup.

のか調査した。

図15に測定方法の模式図を示す。スクライブドサークルをエッチングにより描き、3.1項と同一条件下で成形を行い、変形量を投影機にて測定した。測定は圧延方向に対し0°位置と90°位置で行っている。図16に測定結果を示す。軸方向のひずみはn値が高く耐ボトムしわ性が良好であった実験材の方が大きい傾向が見られた。縮径化による肉余りを軸方向に変形する事で吸収できているものと思われる。

従来、強度が高いほど耐ボトムしわ性には不利と考えてきていたが、固溶Mn量の増加のような強度とともに加工硬化性が増大する手段であれば上記のような状態が実現でき、高強度化と耐ボトムしわ性が両立できる事が示唆される。

このボトムしわ現象については円錐絞り時のボディしわと本質的には同様であると考えられ、n値と同様にr値の影響も大きい可能性がある。今回の実験材については集合組織的には大差は無く、よってr値も大きな変化

はしていないものと考えられるが、今後  $r$  値の影響等についても検討していきたい。

以上のことから、加工硬化性の変化とボトムしわの変化について図17を用いて整理すると、下記のように考えられる。すなわち、材料の加工硬化性が増すことにより再絞り工程におけるリドローダイのR部付近での曲げ・曲げ戻し抵抗が増すため、成形力が増加する。この成形力がテーパ部形成時の張力となり、縮径による余肉分が軸方向に変形する事で吸収される事になり、結果としてボトムしわが抑制されるものと考えられる。このような考え方は成形条件を変化させ、テーパ部形成時の張力を増すことでボトムしわが抑制される機構と全く同様であると考えられる。

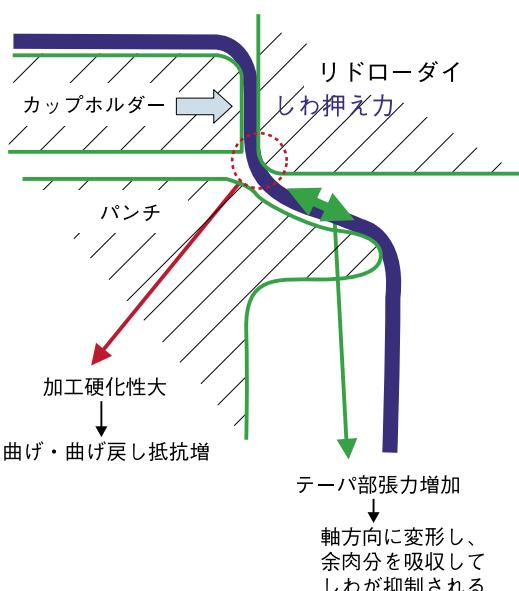


図17 再絞り工程の成形過程の模式図  
Fig.17 Schematic of redrawing process.

当然ながら過度の成形力の増大(=過度の加工硬化性の増大)は、成形条件の変更の場合と同様に再絞り割れを引き起こす事になり、さらにはこの後の多段しごき性にも悪影響を与える事になる。よって成形条件に応じた加工硬化性のコントロールが重要である。

以上の知見に基づき、当社では合金成分、製造プロセスの制御により、適度に加工硬化性を増大させたボトムしわ性の良好な高強度缶胴用材を開発しており、製缶メーカ殿より好評価を頂いている。

#### 4. おわりに

缶胴用3004合金板のMnの固溶析出状態を変化させて素材の加工硬化性、耐ボトムしわ性について評価した。さらに耐ボトムしわ性が変化したサンプルについて、しわ発生部のひずみ量の測定を行った。結果は以下の通り

である。

- (1) 熱処理により固溶Mn量を変化させた場合、固溶Mn量の増加と共に素材の耐力、加工硬化性が増加した。それに伴い耐ボトムしわ性は著しい向上を示した。
- (2) 同一Mn固溶量で析出物分布を変化させた場合、析出物分布を大きくかつ疎に分布させた方がわずかながら高い加工硬化性を示し、耐ボトムしわ性も向上した。
- (3) 固溶Mn量の増加と共に、再絞り缶のテーパ部の軸方向のひずみ量が増加した。これにより円周方向の圧縮ひずみが緩和されているものと考えられる。
- (4) 上記現象は、加工硬化性の増大に伴い、リドローダイR部近傍の曲げ・曲げ戻し抵抗が増大し、成形力が増加したためと考えられる。これは成形条件を変化させて再絞り缶のテーパ部形成時における張力を増加させてボトムしわを低減させた場合と同様な効果が起きているものと思われる。
- (5) 上記の知見に基づき加工硬化性を増大させた耐ボトムしわ性の良好な高強度缶胴用材を開発しており、製缶メーカ殿より好評価を頂いている。

#### 参考文献

- 1) T.H.Shen: Aluminum Alloys for Packaging, edited by J.G.Morris et al: TMS,(1993).
- 2) W.M.Betts: Aluminum Alloys for Packaging 2, edited by J.G.Morris et al: TMS,(1996).
- 3) 水谷博之、土田信、横井洋：軽金属学会第91回秋期大会講演概要、(1996), 325.
- 4) 斎藤洋：軽金属学会第67回シンポジウム、飲料容器の現状と将来、(2002), 38.
- 5) 内田秀俊、平野清一、吉田英雄：住友軽金属技報, 38(1997), 1.



鈴木 覚 (Satoshi Suzuki)

技術研究所



藤田 和子 (Kazuko Fujita)

技術研究所

# ワックス添加プレコート材の潤滑特性

Lubrication Properties of Aluminum Sheets Pre-coated with Wax

長谷川 真一

Shinichi Hasegawa

渡辺 瞳子

Mutsuko Watanabe

加藤 治

Osamu Kato

**概要** プレコートアルミニウム板材の塑性加工を行う場合、表面の潤滑性確保を目的として、塗料へのインナーワックス配合や、塗膜へのアウターワックス塗布が実施されている。ただし、2種以上のワックスを同時に使用する場合において、塗膜焼付等による熱履歴が加わった場合のワックスの相互作用については、ほとんど検討されてこなかった。

本研究では、カルナバワックスとポリエチレンワックス、およびカルナバワックスとパラフィンワックスについて、それぞれ溶融混合させた場合の挙動を調査した。その結果、これらのワックスは溶融混合させることにより新たな物性を示すこと、および溶融混合によって優れた潤滑性能を発揮することが明らかになった。

**Abstract:** When doing plastic working of a pre-coated aluminum sheet, wax is added to the paint as inner wax, or wax is coated on the pre-coated film as outer wax, for the purpose of ensuring surface lubricity. In the case where two or more kinds of wax are used simultaneously and the coated film is subjected to baking or other kind of heat treatment, interactions will take place between these waxes. However, there have been few studies about this.

This study melted and mixed carnauba wax and polyethylene wax, and carnauba wax and paraffin wax, and investigated their behavior. As a result, the study found that these waxes show new physical properties when melted and mixed, that is, these mixtures offer excellent lubricating performance by melting and mixing.

## 1. はじめに

アルミニウム製品には、耐食性の向上、外観品質の向上、キズつき防止および機能性付与を目的として、その表面に何らかの表面処理が施されている場合が多い。代表的な表面処理方法としては、陽極酸化処理(アルマイド)、各種化成処理、フィルムラミネート処理および塗装処理などが挙げられる。中でも塗装処理は、適切な塗料を選択することにより優れた特性を発揮するため、広く用いられている。

塗装処理は、アルミニウム板に塗装を施してから成型加工する「プレコート」と、アルミニウム板を成型加工した後に塗装を施す「ポストコート」の二種類に大別できる。プレコート材は、均一な塗膜を形成しやすく、コイル化による連続塗装が可能、といった特長があり、塗装

建材、飲料缶フタ材やエアコン熱交換器フィン材を始めとして大量に用いられている。一方、プレコート材を成型加工するにあたっては、アルミニウムに対する塗膜密着性や、金型に対するプレコート材の潤滑性が不十分であると、塗膜剥離やキズ付きなどの加工不良が発生しやすい。

プレコート材への潤滑性付与を目的として、ワックスを配合した塗料を塗装・焼付する方法(インナーワックス)および塗装焼付後の塗膜にワックスを塗布する方法(アウターワックス)が用いられることがある。これらのワックスが成形加工性に及ぼす影響については、様々な検討がなされてきた<sup>1)2)</sup>。ただ、2種類以上のワックスが存在する系において、ワックス同士の相互作用に着目した検討は少ない。塗膜はワックスの融点以上の温度で焼付される場合が多い。この時ワックス同士が溶融状態で

接触し、何らかの変化を遂げている可能性がある。

本論文では、インナーワックス同士の作用の例としてカルナバワックスとポリエチレンワックス、インナーワックスとアウターワックスの作用の例としてカルナバワックスとパラフィンワックスの組み合わせにそれぞれ注目し、それらを溶融混合させた場合の物性変化について報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 溶融混合ワックスの調製

実験に用いたカルナバワックス、ポリエチレンワックスおよびパラフィンワックスの性質は、表1に示した通りである。これらのワックス固体を、75:25、50:50および25:75の重量比で混合して容器に入れ、約150°Cのホットプレートにて加熱溶融した。溶融液が110°Cに到達したところで、固体物が残留していないことを目視で確認し、ガラス棒で軽く攪拌した後、ホットプレートから下ろして室温放冷した。

### 2.2 プレコートアルミニウム板材

溶融混合ワックスの潤滑特性評価のため、A5182(板厚0.25mm)-H19材にリン酸クロメート処理(Cr=20±5mg/m<sup>2</sup>)を施したアルミニウム板を作製した。これに、インナーワックス成分を含有しないアクリル変性エポキシ樹脂塗料(水性)を雰囲気温度266°C×24秒(PMT=250°C)にて焼付けた。なお、塗膜量は焼付後にて4.5g/m<sup>2</sup>とした。

### 2.3 評価方法

#### 2.3.1 溶融混合ワックスのDSC測定

各ワックスの熱的挙動を、セイコーインスツルメンツ(株)社製DSC-200により測定した。昇温速度は10°C/min、温度範囲は室温～150°C、サンプル重量は約10mg、サンプル容器はカシメ密閉にて実施した。

#### 2.3.2 溶融混合ワックスの潤滑性評価

塗膜と加工金型の摩擦に対する溶融混合ワックスの効果を、ハウデン式付着滑り試験機により評価した。

表1 ワックス単体の性質

Table 1 Properties of waxes as a single substance.

ワックス種	色	融点	形状
カルナバ	黄色	84.3°C	フレーク状
ポリエチレン	白色	102.5°C	粉末状
パラフィン	白色	66.0°C	ブロック状

表2 アルミニウム合金板の機械的特性

Table 2 Mechanical properties of aluminum alloy sheet.

合金	引張り強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)
A5182-H19	366	301	9.0

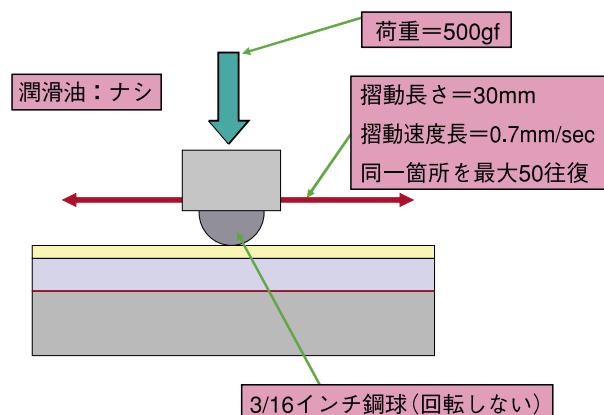


図1 ハウデン式付着すべり試験の模式図  
Fig.1 Schematic of Bowden stick-slip test.

各ワックスを80°Cのキシレンに溶解し、その中に2.2項にて作製したプレコートアルミニウム板材を浸漬、乾燥させることにより、塗膜表面に15mg/m<sup>2</sup>のワックス層を形成させ、サンプルとした。

ハウデン式付着滑り試験は、図1に示すようにサンプル接触部に3/16インチ鋼球を用い、摺動長さは30mm、摺動速度は0.7mm/sec、荷重は500gfにて実施した。摺動回数は塗膜カジリが生じるまで(ただし、上限は50往復に設定)とした。

## 3. 実験結果

### 3.1 各ワックスの溶融混合結果

カルナバワックスとポリエチレンワックス、カルナバワックスとパラフィンワックスをそれぞれ溶融混合させたところ、ワックス同士は完全に混ざり合い、相分離などの不均一化は見られなかった。また、溶融混合物を室温放冷して凝固させた場合でも、一方の成分が析出する等の現象も見られなかった。

各ワックスの溶融混合時の挙動を表3および表4に示す。表3のカルナバワックスとポリエチレンワックスの挙動において、前者が黄色、後者が白色にもかかわらず色が濃化するほか、臭気および溶融時粘度が変化することが明らかになった。このことから、カルナバワックスとポリエチレンワックスを溶融混合させると、単に混ざ

表3 カルナバワックス(C)とポリエチレンワックス(PE)の溶融混合物の特性

Table 3 Properties of molten mixture of carnauba wax (C) and polyethylene wax (PE).

カルナバ(%)	100	75	50	25	0
ポリエチレン(%)	0	25	50	75	100
色	黄色	茶	濃茶	濃茶	白色
臭気	甘い臭い	バニラ臭	カラメル	カラメル	口臭
溶融時粘度	低	高	特高	特高	中

表4 カルナバワックス(C)とパラフィンワックス(P)の溶融混合物の特性  
Table 4 Properties of molten mixture of carnauba wax (C) and paraffin wax (P).

カルナバ(%)	100	75	50	25	0
パラフィン(%)	0	25	50	75	100
色	黄色	黄色	淡黄	淡黄	白色
臭気	甘い臭い	甘い臭い	甘い臭い	甘い臭い	口臭臭
溶融時粘度	低	低	低	低	特低

り合うだけでなく、何らかの相互作用を生じ、新たなワックスとして振舞うものと考えられる。

なお、表4のカルナバワックスとパラフィンワックスにおいては、表3に見られたような特異的な挙動は見られず、両者の混合比率に見合った物性を示した。

### 3.2 溶融混合ワックスの熱的挙動

図2に、カルナバワックスとポリエチレンワックスの溶融混合物のDSC測定結果を示す。各状態の吸熱ピーク位置を比較したところ、溶融混合ワックス中におけるポリエチレンワックスの含有比率が上がるのに伴い、ピークAは低温側に、またピークCは高温側にシフトすることが明らかになった。ピークAは主としてカルナバワックス由来、またピークCはポリエチレンワックス由

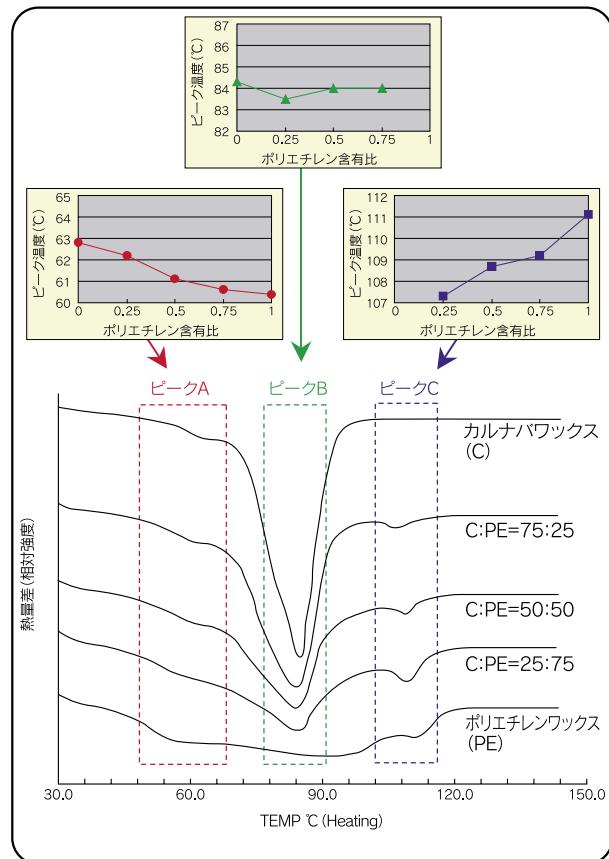


図2 カルナバワックス(C)とポリエチレンワックス(PE)の溶融混合ワックスのDSC測定結果  
Fig.2 Results of DSC measurement of molten mixture of carnauba wax (C) and polyethylene wax (PE).

來の吸熱ピークであり、単に混ざり合っている状態ではピークシフトは発生しないと考えられることから、これらの溶融混合ワックスは、異なる熱的性質を持った新規ワックス組成物と考えられる。

また図3に、カルナバワックスとパラフィンワックスの溶融混合物のDSC測定結果を示す。表4においては特異的な挙動は見られなかったものの、熱的性質において吸熱ピークのシフトが認められることから、この場合にも、溶融混合によるワックス同士の相互作用が生じたものと考えられる。

### 3.3 溶融混合ワックスの潤滑性評価結果

図4に、カルナバワックスとポリエチレンワックスの溶融混合ワックスを塗布したサンプルの付着すべり試験結果を示す。カルナバワックスのみを塗布した場合、29往復でカジリが発生した。またポリエチレンワックスのみの場合、50往復終了時の摩擦係数は約0.26であった。これらに対し溶融混合ワックスは、カルナバワックス：ポリエチレンワックス=75:25において摩擦係数が0.1未満であることを筆頭に、いずれの混合比においてもワックス単体より摩擦係数が低く、良好な潤滑性が得られることが明らかになった。

また図5に、カルナバワックスとパラフィンワックス

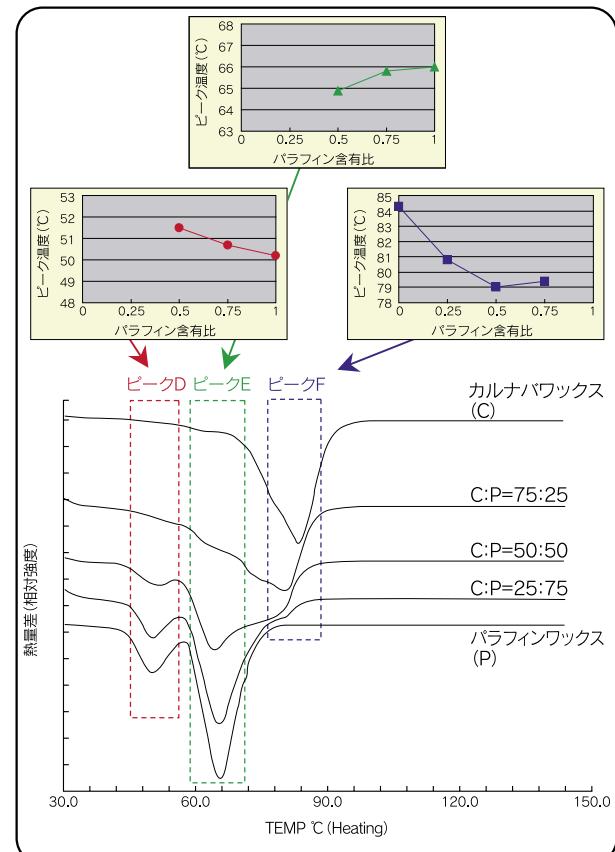


図3 カルナバワックス(C)とパラフィンワックス(P)の溶融混合ワックスのDSC測定結果  
Fig.3 Results of DSC measurement of molten mixture of carnauba wax (C) and paraffin wax (P).

の溶融混合ワックスを塗布したサンプルの付着すべり試験結果を示す。パラフィンワックスは単体で良好な潤滑性を有しているが、パラフィンワックスを25～50%含有する溶融混合ワックスの摩擦係数はさらに低くなっている。さらなる潤滑性向上が見込まれる。

現在、プレコート材の潤滑性向上を図るために、インナーワックスとしてカルナバワックスとポリエチレンワックスを同時に配合することや、カルナバワックスをインナーワックスとし、さらにアウターワックスとしてパラフィンワックスを塗布することが、経験的に広く行われている。これは、これらのワックス同士が、塗膜焼付工程ならびにアウターワックス塗布工程のような熱的履歴を受けることにより溶融混合すると考えると、うまく説明できる。すなわち、プレコート材の製造中に溶融混合ワックスが生成するため、塗膜の摩擦係数が低減し、潤滑性が向上すると考えられる。

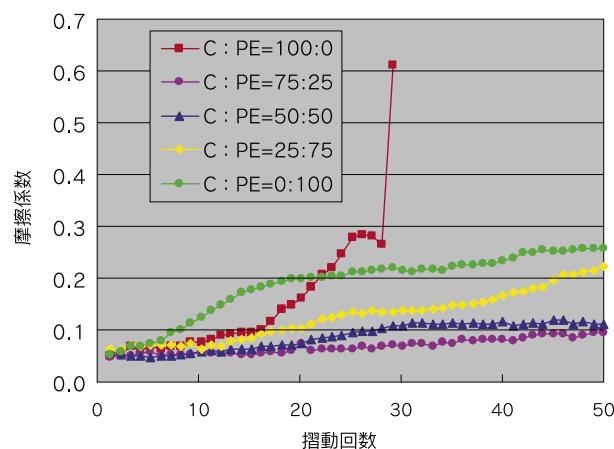


図4 カルナバワックス(C)とポリエチレンワックス(PE)の溶融混合ワックスを塗布した塗装板の潤滑特性

Fig.4 Lubrication properties of specimen coated with molten mixture of carnauba wax (C) and polyethylene wax (PE).

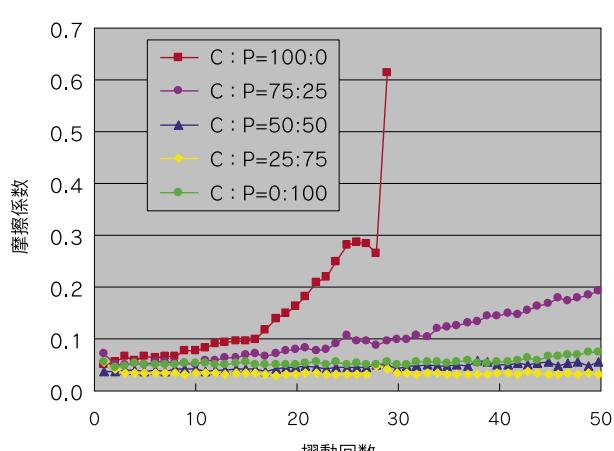


図5 カルナバワックス(C)とパラフィンワックス(P)の溶融混合ワックスを塗布した塗装板の潤滑特性

Fig.5 Lubrication properties of specimen coated with molten mixture of carnauba wax (C) and paraffin wax (P).

## 4. 考察

### 4.1 潤滑性向上のメカニズム

溶融混合ワックスが塗膜の摩擦係数を低減させる機構を明らかにするために、ワックスの物性を調査した。

溶融させたワックスをアルミ板に塗布し、曲げ試験を実施した結果を図6および図7に示す。カルナバワックス単体およびポリエチレンワックス単体は、曲げに追従できず、ワックス層の割れおよび剥離が顕著に発生している。一方、両者の溶融混合ワックスは、曲げ部に細かなヒビ割れを生じているものの、アルミニウム板の曲げによく追従することが明らかになった。

パラフィンワックス単体は、曲げによく追従するものの、凝固時に凝集しやすい傾向を示した。これに対し溶融混合ワックスは、カルナバワックス：パラフィンワックス=25:75において、割れ・凝集とも発生しないことが判明した。

これらのワックスが摺動面に適用された場合の効果については、以下のように考えられる。すなわち、図8に見られるように、付着すべり試験の表面状態は、「良好な潤滑」「塗膜カジリ」「素地カジリ」に分類できる。プレコート材の加工性を確保するためには、良好な潤滑を保ち、塗膜カジリを発生させないことが重要になる。カルナバワックスやポリエチレンワックスの単体は、硬くてもろいため、塗膜カジリが発生し始めても形状の変化に追従

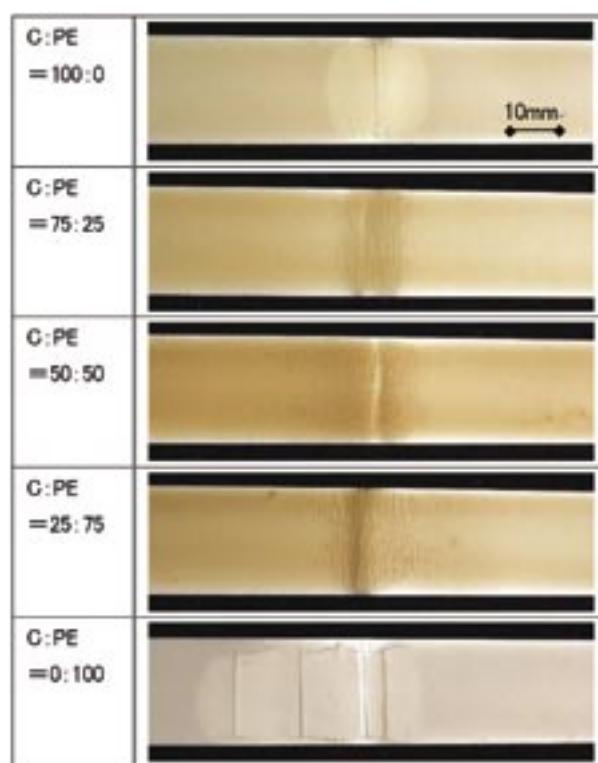


図6 カルナバワックス(C)とポリエチレンワックス(PE)の溶融混合ワックスの曲げ試験結果

Fig.6 Results of bending test of molten mixture of carnauba wax (C) and polyethylene wax (PE).

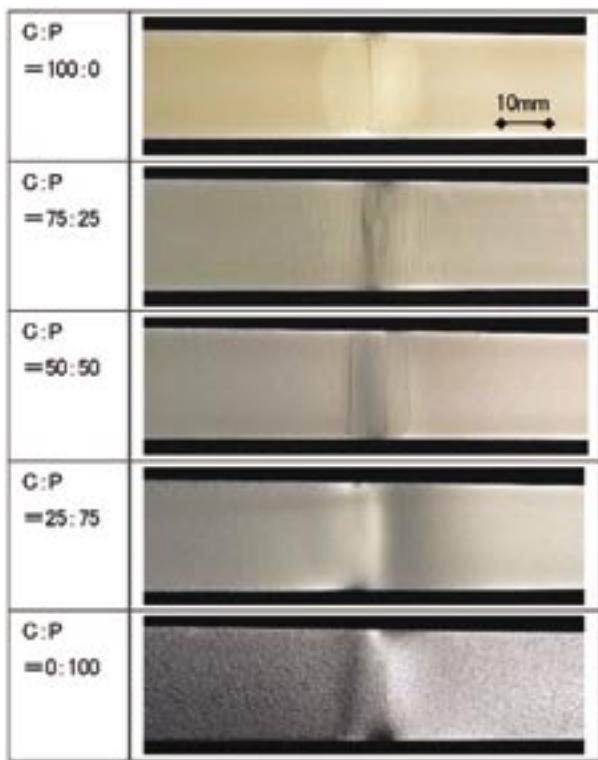


図7 カルナバワックス(C)とパラフィンワックス(P)の溶融混合ワックスの曲げ試験結果

Fig.7 Results of bending test of molten mixture of carnauba wax (C) and paraffin wax (P).

できず、潤滑切れによるカジリ悪化を招くものと考えられる。またパラフィンワックス単体は凝集しやすいため、局所的に潤滑不足の部分が生じるものと考えられる。一方、一連の溶融混合ワックスは適度な柔軟性を備えているため塗膜カジリの初期段階によく追従し、また凝集も生じにくいため、カジリを効果的に抑制するものと考えられる。

#### 4.2 塗膜表面におけるワックス溶融混合現象の検証

プレコート板の表面にてワックスの溶融混合現象が発

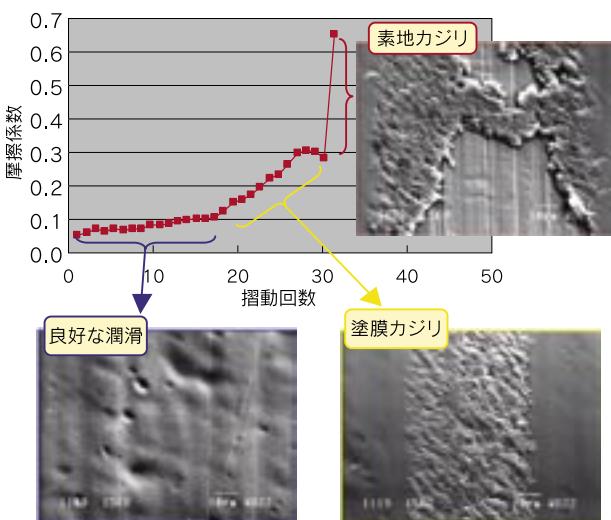


図8 付着すべり試験の摺動面のSEM写真  
Fig.8 SEM image of sliding surface after stick-slip test.

生するか否かを実験により検証した。手順を図9に示す。

2.2項で作製したプレコート板サンプルに、カルナバワックス単体を $15\text{mg}/\text{m}^2$ 塗布した後、パラフィンワックス単体を $5\text{mg}/\text{m}^2$ 塗布した。これに対し、アウターワックス塗布工程等を想定し、 $90^\circ\text{C}$ の乾燥炉にて2分加熱したサンプルを作製した。また比較として、上記手順のうち加熱処理を行わないサンプルも準備した。

さらに、溶融混合ワックス層の形成を確認するため、両者を常温のn-ヘキサンにて洗浄した。これは、カルナバワックス単体および溶融混合ワックスがn-ヘキサンに溶解しないのに対し、パラフィンワックス単体がn-ヘキサンに容易に溶解する性質を用いたものである。

このように作製したサンプルの摩擦係数を測定した結果を図10に示す。カルナバワックスの上にパラフィンワックスを少量塗布することにより、カルナバワックスのみの場合より摩擦係数が低減した。また、加熱の影響は、加熱したサンプルの摩擦係数が若干低い程度で、ほぼ同等であった。これは、カルナバワックスとパラフィンワックスの溶融混合が部分的であり、主としてパラフィンワックスの効果が現れたためと思われる。

一方、ヘキサン洗浄を実施したサンプルにおいては、加熱の影響が顕著に現れた。すなわち、パラフィンワックス塗布後に加熱を行わずヘキサン洗浄したサンプルは、パラフィンワックス層が全て除去され、25往復程度で素地カジリに達するのに対し、加熱を行ったサンプルは、非洗浄水準(ヘキサン洗浄なし)には及ばないものの、素地カジリに至るまでの回数が大幅に延長された。非洗浄水準に及ばなかった原因については、図9の模式図に示したように、ワックスの溶融混合が部分的に発生した後、未反応のパラフィンワックスが洗浄により除去され、ワックスの総量が少なくなったこと、また、溶融混合ワックスの成分がカルナバワックスリッチであったことが想定される。

以上のこととは塗膜上でもワックスの溶融混合が生じる可能性があることを示唆している。また溶融混合ワック

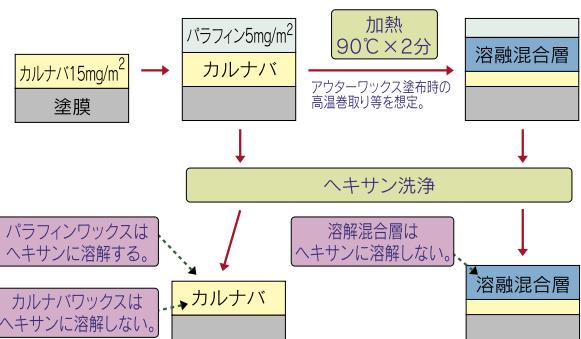


図9 ワックス溶融混合現象の検証実験の模式図

Fig.9 Schematic of verification experiment of wax melting and mixing phenomenon.

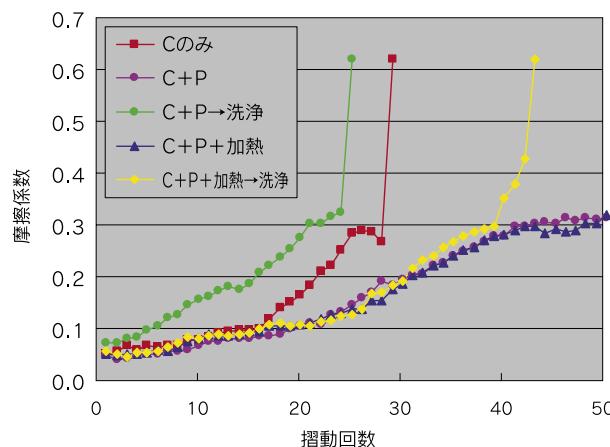


図10 ワックス塗布後に加熱および洗浄処理を行った塗装板の潤滑特性

Fig.10 Lubrication properties of specimen subjected to heating and washing treatments after wax coating.

ス層は塗膜表面で形成されたものであっても潤滑特性に優れており、ポストワックス塗布条件の最適化によりプレコート材の加工性を向上させることができると期待される。

## 5. おわりに

プレコートアルミニウム材に求められる機能は、近年ますます多様化している。特に、加工性・潤滑性に対する要求は、不良率の低減および成型速度の向上の観点から、非常に高度なものになっている。

これまでにも、目的に応じたインナーワックスおよびアウターワックスの種類および配合量が検討されてきた。しかし溶融混合したワックスの物性から検討された

例は少ない。本研究で得られた知見を加味することにより、より優れた潤滑性を持つプレコートアルミ材を設計することができると考えられる。

## 参考文献

- 1) 佐藤・加藤・渡辺・難波江：軽金属学会第105回秋期大会講演集概要(2003), 233
- 2) 渡辺・加藤・佐藤・難波江：軽金属学会第104回春期大会講演集概要(2003), 139



長谷川 真一 (Shinichi Hasegawa)  
技術研究所



渡辺 瞳子 (Mutsuko Watanabe)  
技術研究所



加藤 治 (Osamu Kato)  
技術研究所

# 車載高圧水素タンク用6061合金の疲労特性

Fatigue Properties of 6061 Aluminum Alloy for On-board High Pressure Hydrogen-Gas Tanks

一谷 幸司

Koji Ichitani

小山 克己

Katsumi Koyama

**概要** 高圧水素タンクのライナー材である6061合金の疲労特性に及ぼす水素の影響を調査するため、簡便な評価法として温湿度を制御した環境中で疲労試験を試みた。水素脆化感受性が高いことで知られている7075-T6合金では、試験湿度が高いと疲労強度の低下が確認された。これに対して6061-T6合金は同様の高湿度環境下においても疲労強度の低下は僅かであることから、水素脆化感受性は低いものと考えられる。

**Abstract:** The 6061 alloy is a liner material for high pressure hydrogen tanks. To examine the effect of hydrogen on the fatigue properties of this alloy, a fatigue test was conducted in an environment of controlled temperature and humidity as a simple evaluation method. With the 7075-T6 alloy, which is known to have high sensitivity to hydrogen embrittlement, a decrease in fatigue strength was ascertained at high test humidities. On the other hand, the 6061-T6 alloy showed just a slight decrease in fatigue strength under the same humidity condition, suggesting that it has low sensitivity to hydrogen embrittlement.

## 1. はじめに

地球温暖化防止のためのCO<sub>2</sub>排出量規制を背景として、エネルギー媒体として水素を利用する技術開発が進められている。中でも自動車分野はCO<sub>2</sub>排出量において大きな割合を占めることから、積極的な技術開発が進められ、既に商用の水素燃料自動車が公道を走行している。

現在、この水素燃料自動車においては高圧水素タンクによる水素貯蔵方式が最も有力とされている。図1に一般的な高圧水素タンクの構造の模式図を示す。水素タンクは高圧の水素ガスをライナー材により気密保持し、その周囲を繊維強化プラスチック(FRP)で巻きつけることにより内圧に耐える構造となっている。このライナー材としては高圧水素容器の例示基準において、プラスチック製および金属製の2種類が定められており、金属製のものについてはその材質がアルミニウム合金とステンレス鋼に限定されている。これらのライナー材の候補材料の中で、アルミニウム合金は軽量性および高圧水素ガスの気密性の両方に優れることから、今後の水素燃料

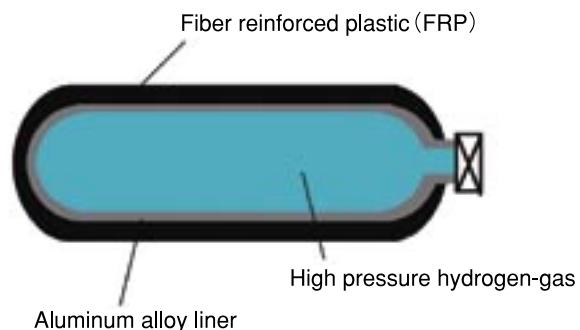


図1 高圧水素タンクの模式図

Fig.1 Schematic of high pressure hydrogen-gas tank.

自動車の普及に伴って、この用途における需要の伸びが予測されている。

金属材料を高圧水素容器のライナー材として使用する上では、その材料が高圧水素ガス環境中で水素脆化しないことを確認する必要がある。これは、高力ボルトや油井管等で水素脆化が実用上問題とされてきた鉄鋼材料に対しては言うまでもないが、比較的水素脆化しにくいとされているアルミニウム合金についても長期間安全に使

用するために重要なことである。

アルミニウム合金における水素脆化については、これまで主に超々ジュラルミン等の高力合金の応力腐食割れ(SCC)の破壊機構の一つとして論じられてきた<sup>1, 2)</sup>。水素タンクのライナー候補材である6000系合金(Al-Mg-Si系合金)についてはSCC性の検討結果<sup>3)</sup>が報告されているが、水素脆化との関連性についてはほとんど研究がなされてこなかった。しかし最近、試験湿度制御雰囲気中における低ひずみ速度引張試験(Slow strain rate testing: SSRT)により6000系合金も水素脆化を生じる可能性があることが指摘されており<sup>4)</sup>、種々の機械的性質に及ぼす水素の影響については不明な点が残されている。なかでも、車載用高压水素タンクとしての使用状態を想定すると、繰り返しの水素ガスの充填と放出に伴う膨張と収縮ならびに走行中の振動等による疲労破壊が懸念されるため、高压水素ガス環境中の6000系合金の疲労特性データの収集は不可欠である。しかし、高压水素ガス環境中の疲労試験は安全上の観点から防爆設備等を有する非常に特殊な試験設備が必要であり、十分なデータは得られていない。

このような事情を背景として、最近、前述のように試験湿度を制御した環境中においてSSRT試験を行うことによって、より簡便にアルミニウム合金の機械的性質に及ぼす水素の影響を評価しようとする試みがなされている。本試験での水素発生の機構を図2に模式的に示す。変形の進行に伴って表面を覆っている酸化皮膜が破壊され、新生表面が露出し、直ちに雰囲気中の水蒸気と反応することにより、アルミニウム表面が酸化すると同時に水素ガスが発生する。この場合の平衡状態における水素ガスの圧力は熱力学的な計算上 $10^{62}$ 気圧に達すると言われる<sup>5)</sup>が、実際上の表面の水素ガス圧は反応が非平衡かつ局所的であるために、この計算値よりも大幅に小さい。それでもなお表面の酸化に伴い発生する水素のガス圧は、高压水素ガス環境を模擬するに十分なガス圧に相当するものと考えられる。疲労破壊の場合にも、この

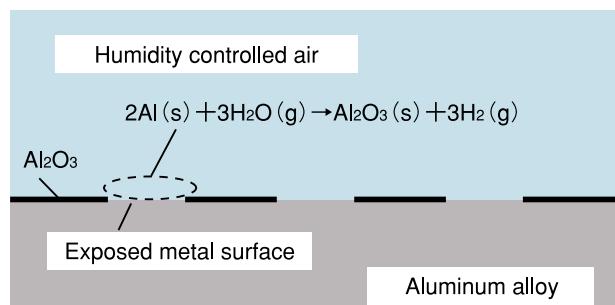


図2 新生アルミニウム表面と水蒸気の反応により模擬される高压水素ガス環境の模式図

Fig.2 Schematic of high pressure hydrogen gas atmosphere produced by reaction between newly exposed aluminum surface and water vapor.

SSRT試験の場合と同様に、疲労き裂の発生、進展に伴い次々と新生面が露出することから、雰囲気試験湿度を適切に制御することにより、高压水素ガス雰囲気を模擬することが可能ではないかと考えた。

本研究は以上の観点に基づき、試験湿度制御環境下でアルミニウム合金の疲労試験を実施し、高压水素環境下における疲労試験の簡便な代替試験方法を確立するとともに、水素タンクライナー候補材の6000系合金について本試験を行い、疲労特性に及ぼす水素の影響を評価し、高压水素ガス環境下でのアルミニウム合金の安全な使用に資するデータを収集することを目的とした。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材

供試材としては、アルミニウム合金製のライナー材として例示基準で使用が定められている6061合金(6000系合金の一種であり中間程度の強度を有し、耐食性、表面処理性に優れ、押出材、板材、鍛造材として広く使用されている)を用いた。さらに、これまでにSCCと関連して水素脆化に関する研究が比較的豊富な、超々ジュラルミンとして知られる7075合金を比較材として用了。化学成分を表1に示す。両合金ともDC鋳造、均熱処理、熱間圧延、冷間圧延を経て厚さ1mmの合金板とし、それについて最高強度を得るT6熱処理を行った。ここで特に6061合金については実際のライナー製造工程に即して、溶体化処理後の冷却を徐冷とし、その後の加工工程に要する時間を想定し約2日間室温で保持した後に時効処理を行った。熱処理後のそれぞれの合金板より圧延直角方向が引張方向となるようにJIS5号試験片を採取し引張試験を行い、機械的性質を調べた結果を表2に示す。強度、伸びとともにそれぞれの合金のT6材の標準的な値となっている。また特に図示はしないが、光学顕微鏡による結晶粒組織観察、走査型電子顕微鏡による

表1 供試材の化学成分

Table 1 Composition of experimental alloys. (mass%)

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
6061	0.65	0.29	0.31	0.05	1.02	0.17	0.01	0.02
7075	0.10	0.21	1.80	0.02	2.40	0.19	5.50	0.02

表2 供試材の熱処理条件と機械的性質

Table 2 Mechanical properties of experimental alloys.

Alloy	Mechanical properties		
	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)
6061-T6	315	265	16.3
7075-T6	541	467	15.5

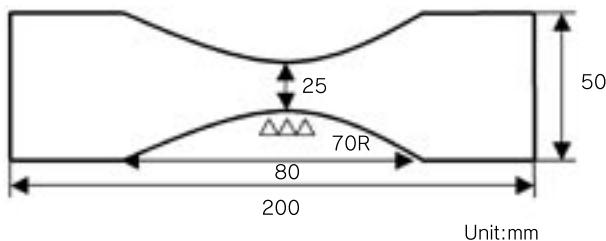


図3 疲労試験片の形状  
Fig.3 Shape of fatigue test sample.

晶出物観察、透過型電子顕微鏡による析出物観察を実施し、供試材に異常な結晶粒組織、粗大晶出物等は認められず正常な組織であることを確認した。

これらの熱処理を施した合金板より図3に示す形状の疲労試験片を引張軸が圧延方向と直角となるよう作製し、雰囲気制御疲労試験に供した。本試験ではアルミニウム合金表面と水蒸気との反応で生じる水素ガスが疲労特性に及ぼす影響を調べることを目的としており、試験前における酸化皮膜の形成状態によって水素の発生・侵入挙動が変化し、結果に影響を及ぼすことが懸念される。このため、試験片を試験機に取り付ける直前に、試験片の板表面及び側面を1,000番の研磨紙により一様に金属光沢が得られるまで乾式研磨を行い、初期の表面状態を統一した。

## 2.2 雰囲気制御疲労試験

雰囲気制御疲労試験機の外観を図4に示す。本試験機は疲労試験機本体と前後にスライドする恒温恒湿槽により構成されている。恒温恒湿槽を後退させた状態で試験片の脱着を行い(図4-(a))、恒温恒湿槽を前進させてサンプルおよびつかみ具を覆った状態で疲労試験を行う(図4-(b))。短期間で多くの疲労データを採取するため、本疲労試験機は3つのサーボ弁を具備した高周波数対応型とした。恒温恒湿槽により制御可能な温度範囲は-35~

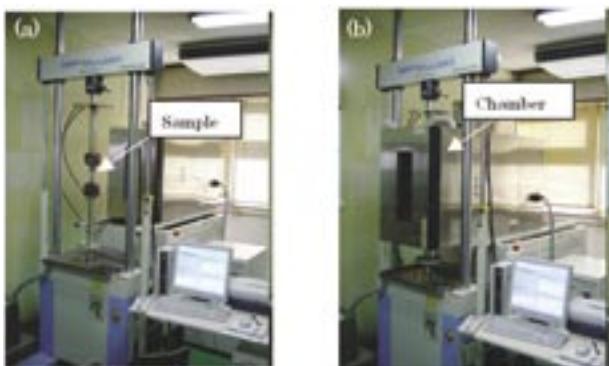


図4 雰囲気制御疲労試験機の外観  
(a)サンプル脱着時、(b)雰囲気制御疲労試験時  
Fig.4 Appearance of humidity-controlled fatigue test machine. A humidity-controlled chamber is moved backward when a sample is mounted on the machine and is moved forward when a fatigue test is done.

300°Cであるが湿度制御が可能な上下限温度の10°C、80°Cでそれぞれ40~90%相対湿度(以下%RHと表記する)、30~90%RH範囲で湿度制御が可能である。なお、湿度制御の精度は±5%RHである。

疲労試験は引張りの部分片振り、最小最大応力比=0.1、周波数70Hzを標準条件として行った。試験温度は20°Cを標準とし、この温度で制御可能な湿度の上限及び下限値の40%RHと90%RHの2条件を標準湿度条件とした。さらに車載用高圧水素タンクとしての使用を想定すると、水素ガスの繰り返しの充填、放出にともなうような低周波数、高振幅応力条件での疲労特性が問題となる。そこで、6061合金については試験周波数の影響を確認するため低周波数条件での雰囲気制御疲労試験も実施した。さらに、水素タンクはガス充填時の発熱や夏季の炎天下においてかなり高温での使用が想定されるため、6061合金については80°Cにおいても雰囲気制御疲労試験を行い、疲労特性に及ぼす温度の影響についても調べた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 7075合金の疲労特性に及ぼす試験湿度の影響

はじめに本試験によりアルミニウム合金の疲労特性に及ぼす水素の影響の評価が可能であることを確かめるために行った7075合金の雰囲気制御疲労試験の結果を図5に示す。試験湿度が40%RHの場合はN=10<sup>7</sup>回の疲労強度は約155MPaであり、これを引張強さにより除して得られる疲労比は0.28であって、一般的な7075-T6材の疲労比の報告値である0.25<sup>6)</sup>に近い値を示す。これに対し90%RHの条件では繰り返し数が10<sup>4</sup>回オーダーの低サイクル数側においては、40%RHの場合に比較して少ない繰り返し数で破断する傾向が見られる。またN=10<sup>7</sup>回の疲労強度は約95MPaであり40%RHの場合に比較して大幅に低下しており、この場合の疲労比は

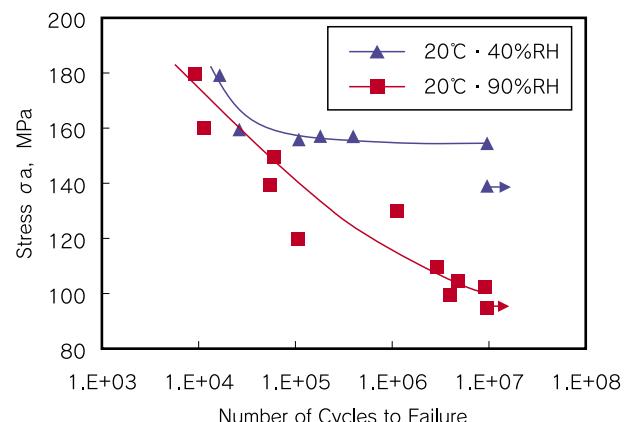


図5 7075合金のS-N曲線に及ぼす雰囲気試験湿度の影響  
Fig.5 Effect of test humidity on S-N curve of 7075-T6 alloy.

0.17程度であった。

図6には各試験湿度において $10^4$ 回オーダーの低サイクル数で破断したサンプル(応力振幅180MPa)の破面のSEM観察結果を示す。いずれの試験湿度の場合でも、疲労き裂はサンプル端部(図中矢印で示す位置)で発生しているが、発生部位及びその近傍を含めて粒界割れ等の脆性的な破壊形態は見出されず、ほぼ同等な破面形態を呈している。また、き裂発生部から0.5mm離れた領域におけるストライエーション模様に着目した場合も、ストライエーションの形態、幅において試験湿度による大きな差異は見出されなかつた。また、高サイクル数での破断の場合も同様の観察を行つたが、やはり大きな差異は見出されなかつた。しかしながら、図7に示すように、90%RH中での疲労破面について疲労き裂から0.5mmの位置で観察されるストライエーション模様を二つの応力振幅レベルで比較すると、応力振幅がわずか100MPaの場合でも、応力振幅180MPaの場合より幾分小さいものの同じオーダーの間隔をもつたストライエーションが観察される。このことから、高湿度条件においては100MPaの低応力振幅条件においても疲労き

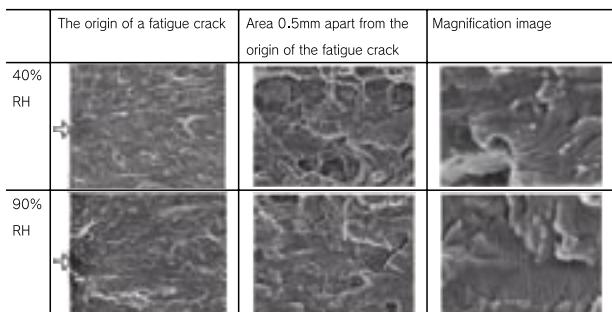


図6 7075合金の応力振幅180MPaにおける低サイクル数での疲労破面に及ぼす試験湿度の影響(図中の矢印で示された疲労き裂はいずれも試験片表面部で発生している)

Fig.6 Effect of test humidity on fatigue fracture of 7075 alloy fractured at stress amplitude of 180MPa. (The fatigue cracks indicated by arrows all originated at the surface of the sample).

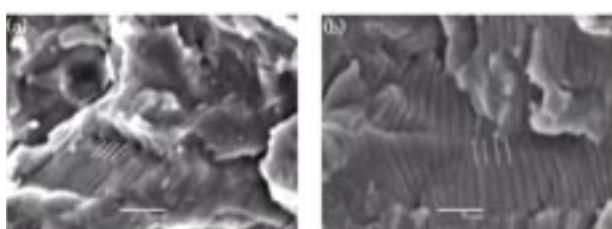


図7 7075合金の90%RH環境中での、(a)応力振幅100MPaと(b)応力振幅180MPaでの疲労破面のき裂発生部位より0.5mmの領域でのストライエーション模様の比較(図中の白線はストライエーション間隔を示す)

Fig.7 Fractographs of areas 0.5 mm apart from fracture origin of 7075 alloy tested under a 90%RH condition and stress amplitudes of 100MPa (a), and 180MPa (b). (White lines in the fractographs indicate the striation spacing).

裂が180MPaの高応力振幅条件の場合と同じオーダーの速さで進展し得たものと考えられる。これは90%RHの高湿度環境中では水素脆化によりき裂進展抵抗が大幅に低下し、低い応力振幅でも容易にき裂が進展したことを見ている。これらの結果は7075合金の疲労特性に及ぼす水蒸気の影響に関する既報<sup>7)</sup>と同様の傾向である。ここで見られる脆化現象はSSRT試験の場合と同様に、き裂の発生・進展に伴い生じる活性な新生面と水蒸気との反応により発生する水素の一部が材料中に侵入して起こる水素脆化現象であると考えられる。

以上の検討結果により、アルミニウム合金では、40%RHと90%RHの2水準の試験湿度で採取したS-N曲線を比較することにより、材料の水素脆化感受性の評価が可能であると判断し、以下の6061合金についても同様の評価を行つた。

### 3.2 6061合金の疲労特性に及ぼす試験湿度の影響

水素タンクのライナーの候補材である6061合金の疲労特性に及ぼす試験湿度の影響を図8に示す。水素の影響をほとんど受けないと考えられる40%RHの試験湿度においては $N=10^7$ 回の疲労強度は約100MPaであり、この場合の疲労比は6061合金の標準的な値に近い0.31である。この40%RH中でのS-N曲線と比較して、90%RHの条件では $10^4$ 回オーダーの低サイクル数での破断に関してはほぼ同等のサイクル数での破断を示しているが、 $N=10^7$ 回の疲労強度が約90MPaであり、40%RHの場合に比較して約10%の疲労強度の低下が見られる。また、試験湿度を変化させることにより、疲労き裂の発生及び進展に水素による脆性的な痕跡が破面に残しているかどうかをSEMによる破面観察により調べ、低サイクル数で破断したサンプル(応力振幅135MPa)についての観察結果を図9に示す。いずれの試験湿度で破断したサンプルも疲労き裂の発生部位およびその周辺、また、き裂の進展領域ともにほぼ同等の破面形態を示しており、試験湿度の違いによる破面形態

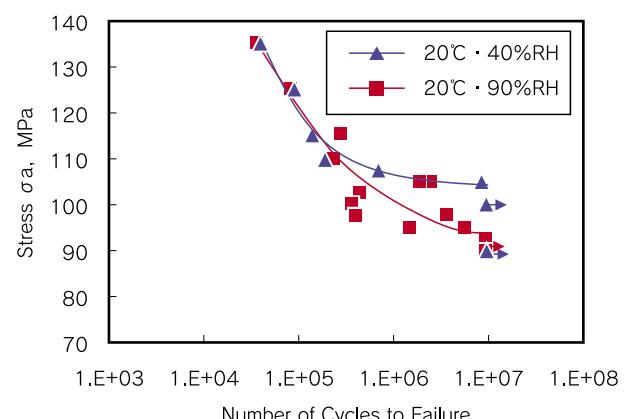


図8 6061合金のS-N曲線に及ぼす雰囲気試験湿度の影響  
Fig.8 Effect of test humidity on S-N curve of 6061 alloy.

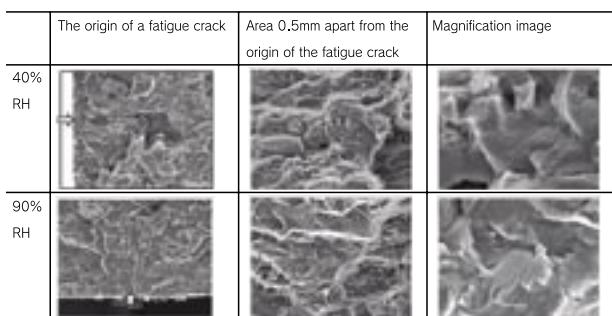


図9 6061合金の応力振幅135MPaにおける低サイクルでの疲労破面に及ぼす試験湿度の影響(図中の矢印で示された疲労き裂は試験片表面部で発生している)

Fig.9 Effect of test humidity on fatigue fracture of 6061 alloy fractured at stress amplitude of 135MPa. (The fatigue cracks indicated by arrows all originated at the surface of the sample).

における決定的な差異は見出されなかった。サイクル数が $10^6$ 回オーダーで破断したサンプルについても同様の観察を行ったが、やはり試験湿度による差異は認められなかつた。このことから6061合金においても7075合金の場合と同様に水素により疲労き裂の進展抵抗が僅かに低下したことが疲労強度の低下として現れたものと考えられる。

以上のように、試験湿度40%RHと90%RH中のS-N曲線を比較することにより水素脆化感受性を評価すると、6061合金の $10^7$ 回の疲労強度の低下率が約10%であり、7075合金の場合の疲労強度の低下率である40%に比較してかなり小さく、水素脆化感受性が低いものと考えられる。

### 3.3 霧囲気制御環境下の6061合金の疲労特性に及ぼす試験周波数の影響

6061合金について、水素タンクのガス放出・充填に伴うような非常に低周波数での疲労特性を推測するため、2Hzの周波数で、20°Cにおいて40%RHと90%RHの2条件で霧囲気制御疲労試験を行った結果を図10に示す。低周波数の90%RH霧囲気において70Hzの場合よりも多少疲労寿命が伸びているようにも見受けられるが、この範囲においておおむね周波数の影響は見られないものと判断した。

### 3.4 霧囲気制御環境下の6061合金の疲労特性に及ぼす温度の影響

図11に80°Cにおいて40%RHおよび90%RHの条件で実施した疲労試験の結果を、20°Cの結果とともに示す。まず、水素の影響が少ないと考えられる40%RH中の温度の影響について着目すると、80°Cの高温において20°Cの場合よりも早期に破断し、また疲れ強さが若干低めの傾向が認められる。JIS5号試験片を用いて本供試材の80°Cでの強度を確認した結果、20°Cの場合と比較して耐力・引張強度ともに約20MPa低下してお

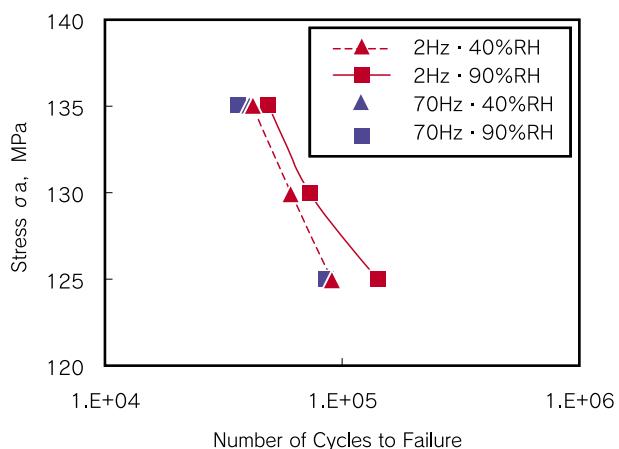


図10 湿度制御環境下における6061合金の疲労特性に及ぼす試験周波数の影響

Fig.10 Effect of frequency on fatigue curve of 6061 alloy in controlled-humidity environment.

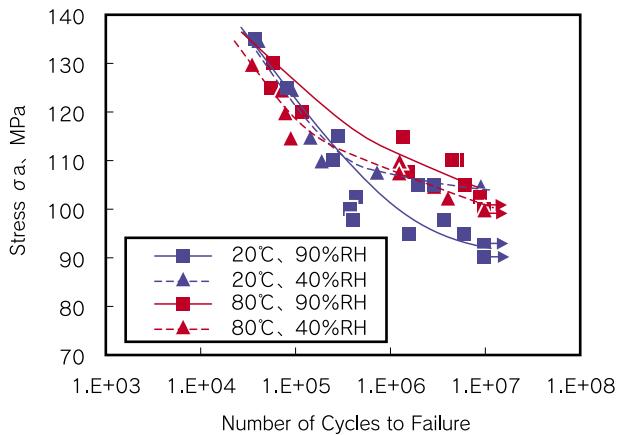


図11 湿度制御環境下における6061合金の疲労特性に及ぼす温度の影響

Fig.11 Effect of temperature on the fatigue curve of 6061 alloy under controlled experimental humidity.

り、この強度低下自体が疲労特性の低下につながつたものと解釈できる。一方、水素の影響を受けると考えられる90%RHのS-N曲線をこれらの結果と比較すると、既述のように20°Cでは湿度の上昇に伴って疲労強度に低下が見られたのに対して、80°Cにおいては湿度の上昇に伴う疲労強度の低下は見られず、むしろ高サイクル側で疲労寿命が伸びる傾向が認められる。この高サイクル側での疲労寿命の増加は20°Cの40%RHでの結果に比較しても認められる。このように高温高湿度条件で、疲労強度に低下が見られなかったのは、6061合金の水素脆化感受性自体が温度上昇とともに低下したためと考えられる。また、高サイクル側での疲労寿命が伸びたことについては、室温と逆の傾向を示していることから材料の使用上の問題はないと考えられるが、水素が疲労特性に及ぼす影響の温度依存性という基礎的な観点から、今後さらに詳細な検討が必要であろう。

#### 4. おわりに

本研究では、高压水素環境下疲労試験の簡便な代替試験方法を確立するとともに、水素タンクライナーの候補材料である6061合金の水素脆化感受性を調べる目的で、試験湿度制御環境中で疲労試験を実施し、以下の知見を得た。

- (1) 7075合金について、20℃において40%RHと90%RHの2条件で疲労試験を実施した結果、湿度の増加に伴って $10^7$ 回の疲労強度に約40%の低下が確認された。このことから、90%RHの高湿度において高压水素環境を模擬することが可能であり、これら2水準の湿度のS-N曲線を比較することによりアルミニウム合金の水素脆化感受性を評価することが可能であるものと判断した。
- (2) 6061合金の場合、試験湿度の増加に伴って $10^7$ 回の疲労強度が約10%低下した。この疲労強度の低下率は7075合金の場合と比較して小さく、6061合金は水素脆化感受性が低いものと考えられる。
- (3) 6061合金の試験湿度制御環境中の疲労特性は試験周波数を70Hzから2Hzまで低下させた場合でも低下を示さなかった。
- (4) 6061合金の試験湿度制御環境中の疲労特性は、試験温度を20℃から80℃に上昇することにより、40%RHの低湿度の場合には低サイクル数側での疲労寿命および $10^7$ 回の疲労強度とともに僅かに低下する傾向が認められたのに対し、90%RHの高湿度の場合は $10^7$ 回の疲労強度に変化は見られなかったが、高サイクル数側の疲労寿命に増加傾向が認められた。このことより6061合金の水素脆化感受性は高温で低下すると考えられる。

以上のように、試験雰囲気の湿度を適切に制御することによって、特殊な試験設備を必要とする高压水素ガス中での疲労試験に比べて、非常に簡便にアルミニウム合金の疲労特性における水素脆化感受性を評価することができる試験方法を提案するとともに、この方法によって、

水素タンクライナー候補材の6061合金の疲労特性における水素脆化感受性が低いことを示すことができた。本試験法については実際の高压水素ガス環境中での疲労試験結果との突合せを行って、高湿度雰囲気が相当する水素ガス圧を明らかにする必要はあるが、今後水素脆化感受性に優れたアルミニウム合金を開発する上で有効なスクリーニング方法としても活用されるものと考えられる。

なお、本研究は(独)新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)「水素安全利用等基盤技術開発」事業の一環である「水素用アルミ材料の基礎研究」として行われたものであり、関係各位にお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) T.D. Burleigh: Corrosion, **47**(1991), 89.
- 2) 大西忠一: 日本金属学会会報, **26**(1987), 389.
- 3) 長沼大介, 大崎修平, 木下勝之: 軽金属学会第100回春期講演大会概要(2001), 345.
- 4) 倉本繁, 謝明君, 菅野幹宏: 軽金属, **52**(2002), 250.
- 5) G. A. Young and J. R. Scully: Metall. Mater. Trans. A, **A33**(2002), 101.
- 6) 戸梶恵郎: 材料試験技術, **45**(2000), 282.
- 7) R.P. Wei: Intern. J. Fract. Mech., **3**(1967), 159.



一谷 幸司 (Koji Ichitani, Ph.D)  
工学博士 技術研究所



小山 克己 (Katsumi Koyama, Ph.D)  
工学博士 技術研究所

# ろう付加熱後に熱処理を施した Al-Mn-Cu 合金の粒界腐食感受性

Intergranular Corrosion Susceptibility of Al-Mn-Cu Alloy  
Subjected to Heat Treatment after Brazing Heating

大谷 良行

Yoshiyuki Oya

田中 哲

Satoshi Tanaka

二宮 淳司

Junji Ninomiya

土公 武宣

Takeyoshi Doko

**概要** 地球温暖化対策の一環としてカーエアコンの冷媒がフロン系冷媒からCO<sub>2</sub>冷媒に切り替わった場合、動作温度が180°Cまで達すると言われている。カーエアコン用アルミニウム材料の使用温度環境での金属組織変化に伴う腐食挙動把握を目的として、600°C、3minのろう付加熱後に180°Cにおいて熱処理を行ったAl-Mn-Cu合金の粒界腐食感受性をアノード溶解試験によって調査した。

Mn, Cu添加量の増加およびろう付加熱後の180°Cでの熱処理時間の増加とともに粒界腐食感受性は増大し、TEM観察により、Al-Cu系金属間化合物の析出量増加、粒界への優先析出が確認された。粒界におけるAl-Cu系金属間化合物の析出によって、粒界に沿ったCu欠乏層が形成されたことが、粒界腐食感受性が増加した理由であると考えられる。

**Abstract:** As one of the measures against global warming, a changeover of the refrigerant of car air conditioners is taking place from freon-based refrigerants to carbon dioxide. In this case, the operating temperature is said to reach 180°C. Aluminum materials for car air conditioners will experience a change of metallic structure in such a service temperature environment. To understand the corrosion behavior accompanying the metallic structure change, an Al-Mn-Cu alloy was subjected to a heat treatment at 180°C after brazing heating at 600°C for 3 minutes, and its intergranular corrosion susceptibility was investigated by an anodic dissolution test.

The intergranular corrosion susceptibility increased with an increase in the amount of Mn and Cu added and an increase in the heating time at 180°C after brazing heating. TEM observation verified an increase in the amount of precipitation of Al-Cu intermetallic compounds and their selective precipitation at the grain boundary. The reason for the increase of intergranular corrosion susceptibility is thought to be the Cu-depleted zone formed along the grain boundary by the precipitation of Al-Cu intermetallic compounds at the grain boundary.

## 1. はじめに

カーエアコンの冷媒には現在R-134a (CH<sub>2</sub>FCF<sub>3</sub>)など代替フロン系冷媒が使用されているが、地球温暖化問題を受けて将来地球温暖化係数の小さいCO<sub>2</sub>冷媒に切り替わる可能性がある。CO<sub>2</sub>冷媒を用いた熱交換器では使用圧力が従来よりも高くなるとともに、180°C程度の高温になると言われている<sup>1)</sup>。

JIS3003合金に代表されるAl-Mn系合金はアルミニウム合金の中で強度および耐食性に優れた材料の1つであることから、ろう付法による熱交換器用の材料として

広く用いられている。一般にAl-Mn系合金は粒界腐食感受性が低いと言われている<sup>2)</sup>が、熱処理条件および合金成分によっては粒界腐食が発生することがある<sup>3)-5)</sup>。Al-Mn系合金の粒界腐食は粒界近傍の固溶Mnの欠乏に起因するため、粒界にAl<sub>6</sub>MnもしくはAl<sub>6</sub>(MnFe)が優先析出するような条件の場合に粒界腐食が発生する。

また、最近Al-Mn系合金にCu, Siを添加した高強度材が熱交換器用に使用されているが、合金成分中のMn, Cuは粒界腐食感受性を増大させ、逆にSiは粒界腐食感受性を抑制するという報告がある<sup>3)</sup>。合金中のMn含有量およびFeなどの不純物の増加によって粒界腐食

感受性が増加するという報告もある<sup>4)</sup>。

特に、Cuに起因する粒界腐食はAl-Cu系合金で詳細に検討されている<sup>6)-9)</sup>。その発生機構は、熱処理によって粒界にAl<sub>2</sub>Cuが優先析出し、それに伴い粒内と粒界のCuの拡散速度の違いから粒界に沿ってCu濃度の低いCu欠乏層が形成されることに起因するとされている。Al-Cu合金中のCuは合金の孔食電位を貴にすることが知られており、形成されたCu欠乏層と合金マトリックスの孔食電位差により、Cu欠乏層が優先溶解し、粒界腐食が発生するというものである<sup>6),7)</sup>。

以上のように、Al-Mn-Cu合金をCO<sub>2</sub>冷媒用の熱交換器に使用する場合には、ろう付け加熱および使用温度環境によって合金中の固溶元素が粒界に優先析出し、粒界腐食発生の危険性があると推定される。そこで、本研究では、ろう付加熱後にCO<sub>2</sub>冷媒の最高使用温度とされる180°Cで熱処理を行った場合のAl-Mn-Cu合金の粒界腐食感受性およびその発生機構について調査した。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材

供試材の化学成分を表1に示す。試料はAl-1.1mass% Mn(以下massを省略)合金にCuを0.01%~0.43%の範囲で添加した合金およびAl-0.4%Cu合金にMnを0.05%~1.1%の範囲で添加した合金である。供試材は溶解、金型鋳造後、600°Cにて3hの均質化処理を施し、面削後520°Cに加熱し、3.5mmまで熱間圧延を行った。さらに冷間圧延により1mmの板とし、最後に400°C、2hの焼鈍処理を行って実験に供した。供試材にろう付加熱に相当する600°C、3minの熱処理を施し、50°C/minの速度で冷却した後、CO<sub>2</sub>冷媒の最高使用温度される180°Cで熱処理を施した。図1に熱処理条件の模式図を示すが、ろう付加熱後の熱処理を行わない試料およびろう付加熱後に180°Cにおいて熱処理を24h、720h行った試料を用い、以下の評価を行った。

### 2.2 評価方法

#### 1) 粒界腐食感受性評価

粒界腐食感受性の評価方法を図2に示す。アノード溶

表1 供試材の化学組成

Table 1 Chemical composition of specimens. (mass%)

Si	Fe	Cu	Mn	Al
0.18	0.38	0.01	1.13	bal.
0.19	0.36	0.14	1.11	bal.
0.19	0.38	0.43	1.07	bal.
0.20	0.43	0.46	0.05	bal.
0.20	0.43	0.44	0.47	bal.
0.19	0.42	0.43	0.64	bal.

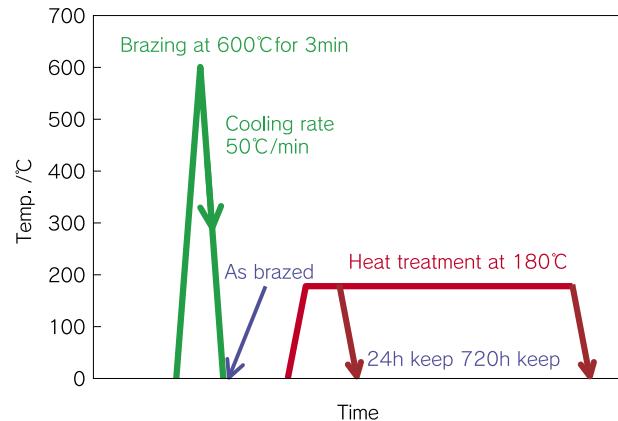


図1 热処理条件の模式図

Fig.1 Schematic of heat treatment conditions.

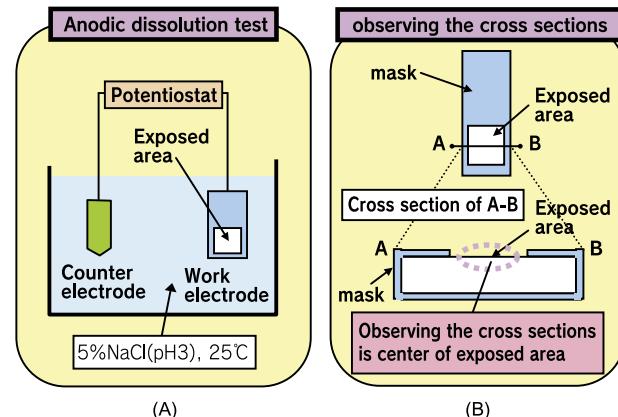


図2 粒界腐食感受性の評価方法

Fig.2 Evaluation method of intergranular corrosion susceptibility.

解試験(図2(A))は、対極にPtを用い、酢酸でpHを3に調整した5%NaCl水溶液中にて行った。試験面は、1cm角を残しマスキングし、60°Cの5%NaOH水溶液中に30s浸漬し、続いて室温の30%HNO<sub>3</sub>水溶液中に60s浸漬したのち水洗処理を施した。印加電流は、10A/m<sup>2</sup>、印加時間は6hとした。試験面の中央部の断面観察により粒界腐食の有無とその程度を観察した(図2(B))。

#### 2) ミクロ観察

粒界およびその近傍の化合物の分布や組成、また粒界のCu濃度分布をTEMおよびSTEM-EDS(日本電子製、JEM-3100fef、加速電圧300kV)を用い調査した。試料は今回作製した合金の中で最もMn、Cu濃度の高いAl-1.1%Mn-0.43%Cu合金およびMn添加量の最も少ないAl-0.05%Mn-0.46%Cu合金とした。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 ろう付加熱後の粒界腐食感受性

ろう付加熱後に熱処理を行わない材料のアノード溶解後の断面光学顕微鏡観察結果を図3に示す。Al-1.1%Mn-Cu合金の腐食形態は合金中のCu添加量に依存しており、Cu添加量が0.01%では孔食であるのに対

し、Cu添加量が0.14%以上では粒界腐食が発生している。さらに0.14%Cu添加材よりも0.43%Cu添加材の方が粒界腐食は平面方向および深さ方向に進行している。

Al-Mn-0.4%Cu合金は、Mn添加量とともに粒界腐食感受性が変化した。Mn添加量0.64%以下では粒内へ腐食が進行している。一方、Mn添加量が1.1%では明瞭な粒界腐食が発生している。

Al-Mn系合金において、ろう付加熱後の冷却速度が40°C/min以上であればAl<sub>6</sub>MnもしくはAl<sub>6</sub>(MnFe)の粒界析出に起因する粒界腐食は発生しないという報告がある<sup>3)</sup>。本研究で行ったろう付加熱後の冷却速度は50°C/minと大きい。さらに、Al-1.1%Mn-0.01%Cu合金において粒界腐食が発生していないことから、本研究で認められた粒界腐食はMnに起因する粒界腐食ではないと考えられる。本研究で認められた粒界腐食はCuに起因しており、Mnは間接的に作用していると推定される。

### 3.2 ろう付加熱後に熱処理を行った場合の粒界腐食感受性

24h熱処理材のアノード溶解後の断面光学顕微鏡観察結果を図4に示す。Al-1.1%Mn-Cu合金ではCu添加量による粒界腐食発生の傾向は熱処理無し材と同様であった。すなわち、Cu添加量が0.01%では孔食が発生し、Cu添加量が0.14%以上では粒界腐食が発生している。Cu添加量が0.01%において粒界腐食が発生していないことから、180°Cの熱処理を行ってもMnに起因する粒界腐食は発生せず、粒界腐食発生の原因は合金中のCuであると推定される。

Al-Mn-0.4%Cu合金では、添加Mn量によらず明瞭な粒界腐食が発生している。粒内への腐食の進行はほとんど起こっておらず、180°Cの熱処理によって粒界腐食感受性が増加すると考えられる。また、Mn添加量が少ないほど結晶粒が大きく、腐食深さは深くなる。熱処理材のMn添加量による粒界腐食感受性への影響は明確には分からない。

720h熱処理材のアノード溶解後の断面光学顕微鏡観察結果を図5に示す。Al-1.1%Mn-Cu合金においてCu添加量が0.14%以下の腐食形態は孔食であり、Al-Mn-0.4%Cu合金はMn添加量によらず粒界腐食が発生している。

長時間の熱処理による腐食形態の変化は、Al-1.1%Mn-0.14%Cu合金のみで観察された。Al-1.1%Mn-0.14%Cu合金において、24h熱処理材では粒界腐食が発生しており、熱処理無し材よりも粒界腐食感受性は増加している。しかし、720h処理材では明確な粒界腐食は認められない。

Thermo-Calc<sup>10)</sup>の計算では、Al-0.2%Si-0.4%Fe-1.1%Mn-Cu合金の180°CにおけるAl-Cu系金属間化合物

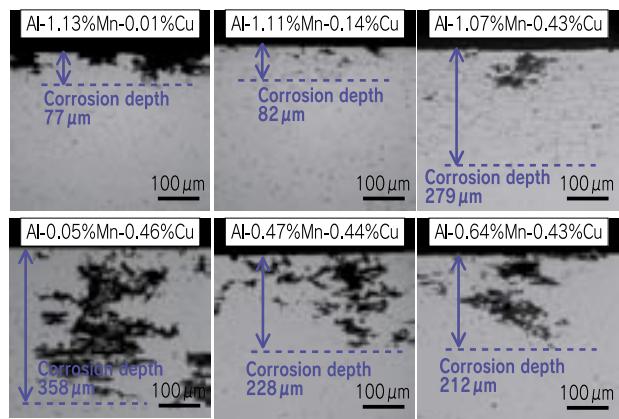


図3 Al-Mn-Cu合金のアノード溶解後の断面光学顕微鏡観察結果 (180°C熱処理無し)

Fig.3 Optical micrographs after anodic dissolution of Al-Mn-Cu alloy without heat treatment at 180°C.

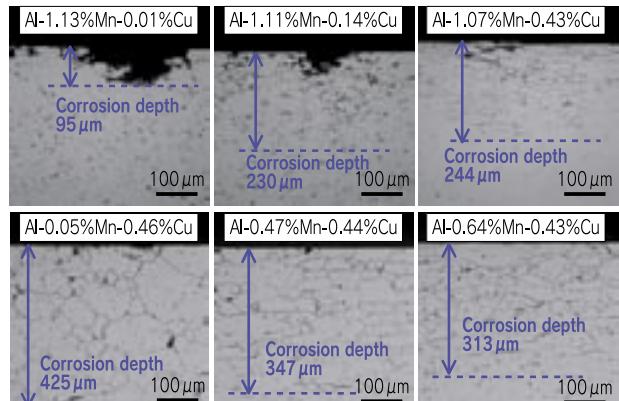


図4 Al-Mn-Cu合金のアノード溶解後の断面光学顕微鏡観察結果 (180°C, 24h)

Fig.4 Optical micrograph after anodic dissolution of Al-Mn-Cu alloy (180°C 24h).

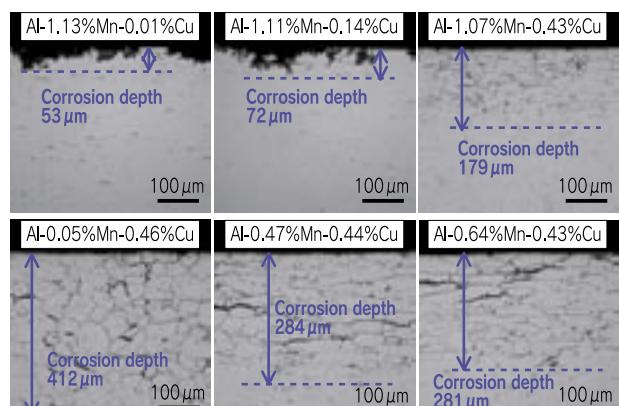


図5 Al-Mn-Cu合金のアノード溶解後の断面光学顕微鏡観察結果 (180°C, 720h)

Fig.5 Optical micrograph after anodic dissolution of Al-Mn-Cu alloy (180°C 720h).

物と $\alpha$ 相の平衡Cu濃度は0.12%であった。これよりCu添加量が多い場合、熱処理によってAl-Cu系金属間化合物の析出が起こり、粒界腐食の発生の可能性があると考えられる。Al-1.1%Mn-0.14%Cu合金のCu添加量は、Al-Cu系金属間化合物と $\alpha$ 相の平衡Cu濃度に近く、長時間の熱処理によりCu欠乏層と粒内のCu濃度が同程度

まで近づいたことで粒界腐食が発生しなかったと推定される。

Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金ではろう付加熱後の180°Cにおける熱処理時間によらず粒界腐食が発生している。しかし、720h熱処理材では、熱処理無し材と比べて粒界腐食の深さは浅い。そこで、SEMにより詳細な観察を行った結果を図6に示す。熱処理無し材は、粒界腐食部の幅は狭く、分断されている。それに対し、720h熱処理材は、粒界腐食部の幅は広く、腐食は粒界に沿って連続している。720h熱処理材で粒界腐食が浅くなるのは、腐食が粒界の幅方向に進行するためであると考えられる。Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金はCu添加量が多いために、720hの熱処理を行っても、粒内とCu欠乏層のCu濃度差は大きいままで、粒界腐食が発生すると考えられる。しかし、さらに長時間もしくは高温で熱処理を行えばCu添加量が0.14%より高い合金でも粒界腐食が発生しなくなると推定される。

### 3.3 TEM観察

これまでの結果から、ろう付加熱およびその後の180°Cの熱処理によって発生する粒界腐食はAl-Cu系金属間化合物の粒界析出に起因すると考えられる。Al-Cu系金属間化合物の析出状態をTEMによって調査した。

熱処理無しのAl-1.1%Mn-0.43%Cu合金の粒界析出物の明視野TEM像およびEDS分析結果の例を図7に示す。図7(1)はAl-Cu系金属間化合物、図7(2)はAl-Mn系金属間化合物、図7(3)はマトリックスをそれぞれ示しており、粒界にAl-Cu系金属間化合物が析出しているのが確認できる。また、熱処理材でも、粒界にAl-Cu系金属間化合物が析出していた。

図8および図9に、熱処理無しおよび720h熱処理のAl-1.1%Mn-0.43%Cu合金の粒界析出物の明視野TEM像を示す。熱処理無し材ではAl-Cu系金属間化合物はAl-Mn系金属間化合物に隣接した位置に析出している(図8)。一方、720h熱処理材ではAl-Mn系金属間化合物はほとんど成長していないが、Al-Cu系金属間化合物は成長している(図9)。

また、Al-Mn系金属間化合物の無い粒界においてもAl-Cu系金属間化合物が単独で析出していることが確認された(図9)。

ろう付加熱後に種々の熱処理を行ったAl-0.05% Mn-0.46%Cu合金の粒界析出物の明視野TEM像を図10に示す。熱処理無しでは、粒界上にAl-Mn系金属間化合物が無いために、Al-Cu系化合物は析出していない。24h熱処理では、粒界にAl-Cu系金属間化合物が単独で析出している。さらに720h熱処理では、Al-Cu系金属間化合物の成長が確認された。

以上、粒界の析出物について示したが、次に、粒内

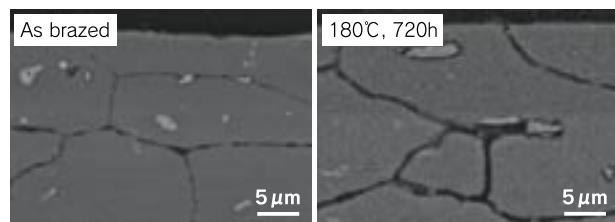


図6 Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金のアノード溶解後のSEM観察結果

Fig.6 SEM image of Al-1.1%Mn-0.43%Cu alloy after anodic dissolution.

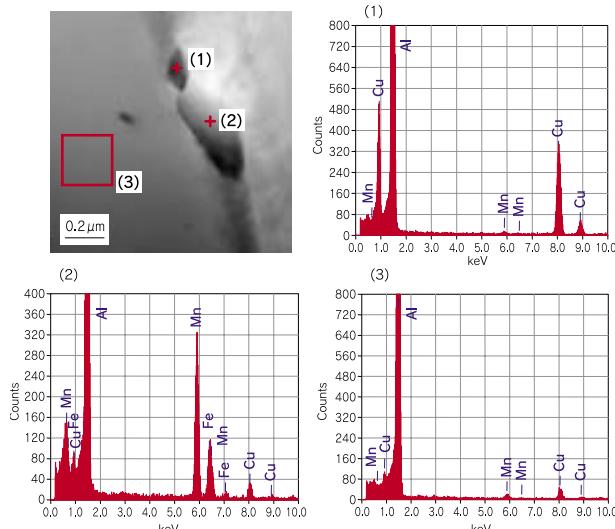


図7 Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金の粒界析出物の明視野TEM像およびEDS分析結果(180°C熱処理無し)

Fig.7 Bright-field TEM image and EDS analysis results of intergranular precipitate of Al-1.1%Mn-0.43% Cu alloy (without heat treatment at 180°C).

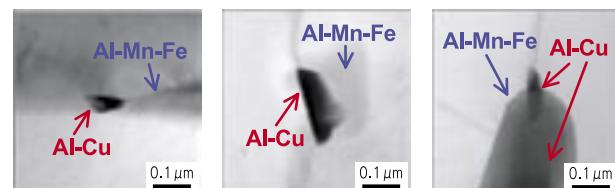


図8 Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金の粒界析出物の明視野TEM像(180°C熱処理無し)

Fig.8 Bright-field TEM image of intergranular precipitate of Al-1.1%Mn-0.43%Cu alloy (without heat treatment at 180°C).

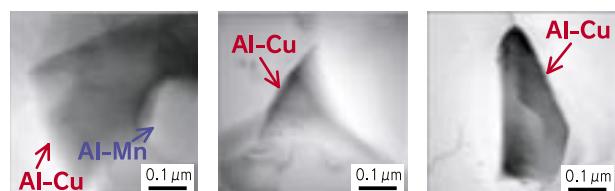


図9 Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金の粒界析出物の明視野TEM像(180°C, 720h)

Fig.9 Bright-field TEM image of intergranular precipitate of Al-1.1%Mn-0.43%Cu alloy (180°C, 720 h).

の析出物に調べた結果を示す。ろう付加熱後に種々の熱処理を行ったAl-1.1%Mn-0.43%Cu合金およびAl-0.05%Mn-0.46%Cu合金の粒内の明視野TEM像を図11に示す。Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金においては、熱

処理無しでは、粒内にAl-Mn系金属間化合物が認められる。熱処理ありでは、Al-Mn系金属間化合物に隣接した位置でAl-Cu系金属間化合物の析出が確認できる。Al-0.05%Mn-0.46%Cu合金においては、熱処理無しでは、粒内に金属間化合物は認められない。熱処理ありでは、Al-Cu系金属間化合物の析出が確認できる。さらに、長時間の熱処理によって、Al-Cu系金属間化合物は成長している。

粒界のCu欠乏層を確認するために、720h熱処理材したAl-1.1%Mn-0.43%Cu合金の粒界付近のCu濃度分布をSTEM-EDSによって分析した(図12)。STEM像中の横線がライン分析を行った位置である。STEM像と分析結果のグラフの横幅を合わせた。縦線は位置合わせのために使用したもので、粒界は縦線のわずかに右側にある。粒界から十分に離れた位置を粒内と考え、その位置のCu強度を0.43%としCu濃度の定量化を行った。Cuの濃度は粒界で0.2~0.3%程度に減少しており、これがCu欠乏層であると考えられる。また、Alの強度はほぼ一定値であるため、分析サンプルの厚さは一定であり、粒界でのCu濃度の減少はサンプルの厚さの減少によるものではないと考えられる。この粒界でのCu欠乏層が粒界腐食の原因になったと考えられる。また、熱処理無しのAl-1.1%Mn-0.43%Cu合金ではCu欠乏層を確認することはできなかったが、この合金においても粒界腐食は発生している。今回使用したSTEM-EDSの分解能よりも幅の小さいCu欠乏層でも粒界腐食は発生すると考えられる。

以上の結果から推定されるろう付加熱とその後の180°Cの熱処理による粒界近傍の組織の模式図を図13に示す。Al-1.1%Mn-Cu合金では、ろう付加熱後の冷却中に粒界に存在しているAl-Mn系金属間化合物に隣接してAl-Cu系金属間化合物が粒界に析出する。この場合、粒内およびAl-Mn系金属間化合物のない粒界は核発生しにくく、Al-Cu系金属間化合物はほとんど析出しない。このため、Cu欠乏層は狭く、断続的であり、粒界腐食の幅は狭く不連続となる(図6参照)。180°Cの熱処理によって、Al-Cu系金属間化合物は成長し、Al-Mn系金属間化合物の無い粒界にもAl-Cu系金属間化合物の析出・成長が起こると考えられる。Al-Cu系金属間化合物の析出量の増加とともにCu欠乏層は連続し、幅が広くなる。このため、幅が広く、連続した粒界腐食が発生すると推定される(図6参照)。180°Cの熱処理を720h行った場合、Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金では、粒内にAl-Cu系金属間化合物が大量に析出し、粒内とCu欠乏層のCu濃度が近づくことにより、粒界腐食が発生しなくなる。Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金は、720hの熱処理では粒界腐食が発生したが、さらに長時間の熱処理を行え

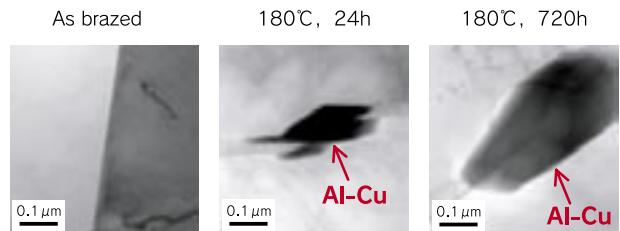


図10 Al-0.05%Mn-0.46%Cu合金の粒界析出物の明視野TEM像

Fig.10 Bright-field TEM image of intergranular precipitate of Al-0.05%Mn-0.46%Cu alloy.

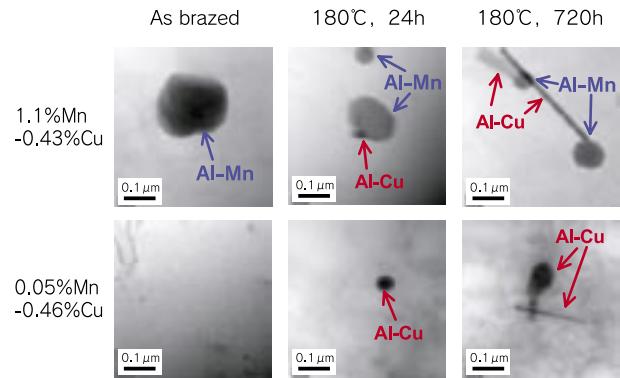


図11 Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金およびAl-0.05%Mn-0.46%Cu合金の粒内析出物の明視野TEM像

Fig.11 Bright-field TEM image of intergranular precipitate of Al-1.1%Mn-0.43%Cu and Al-0.05%Mn-0.46%Cu alloys.

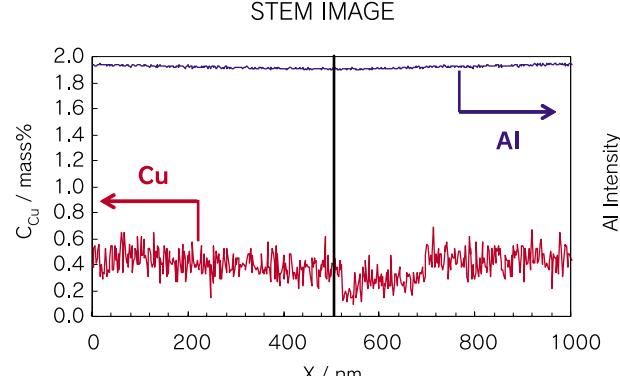
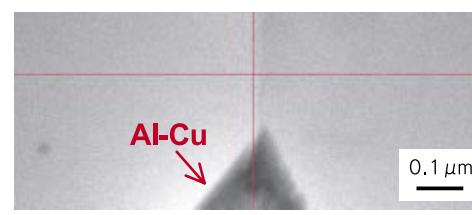


図12 Al-1.1%Mn-0.43%Cu合金のCu欠乏層の分析例  
Fig.12 Analysis example of Cu-depleted zone of Al-1.1%Mn-0.43%Cu alloy.

ば粒界腐食が発生しなくなると推定される。

一方、Al-0.05%Mn-0.46%Cu合金では、ろう付加熱後に熱処理を行っていない場合には、粒界に析出を促進する化合物が存在しないために、Al-Cu系の化合物は析出せず、粒界腐食は発生しなかったと推定される(図3)。ろう付加熱後に熱処理を行った場合には、Al-Cu系

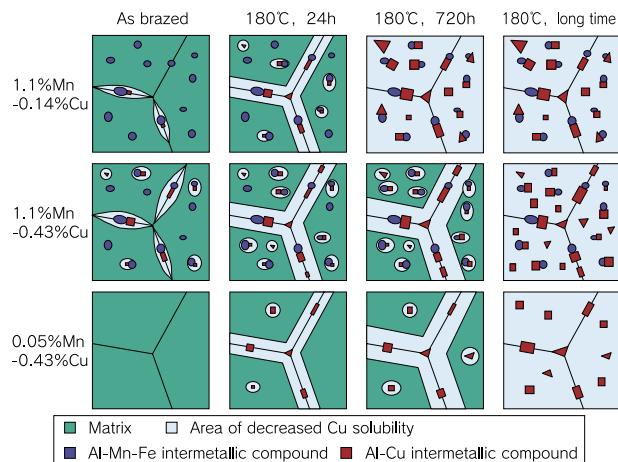


図13 粒界近傍の金属組織の模式図  
Fig.13 Schematic of metallic structure near the grain boundary.

金属間化合物が単独で析出するため、Al-1.1Mn-Cu合金と同様の機構で粒界腐食感受性が変化すると推定される。

#### 4. おわりに

Al-Mn-Cu系合金にろう付加熱後180℃で熱処理を行った場合の粒界腐食感受性とその発生機構について調べた。得られた知見を以下に示す。

- (1) 粒界腐食感受性はMn, Cu添加量に依存した。Al-1.1%Mn-Cu系合金において、ろう付加熱後はCu添加量0.14%以上で粒界腐食が発生した。
- (2) ろう付加熱後の180℃での熱処理を行うことにより粒界腐食感受性は増大した。しかし、Al-1.1%Mn-0.14%Cu合金では、長時間の熱処理である180℃, 720hの熱処理で、粒界腐食は発生しなかった。
- (3) ろう付加熱後に180℃で熱処理を行っていない場合には、粒界腐食の原因と推定されるAl-Cu系金属間化合物は粒界上のAl-Mn系金属間化合物に隣接して析出していた。180℃で熱処理を行った場合には、Al-Mn系金属間化合物の無い粒界においても、Al-Cu系金属間化合物の析出が確認された。
- (4) 本研究で行った熱処理条件における粒界腐食はCuに起因している。Mn量とともに粒界腐食感受性が変化したのはAl-Cu系金属間化合物の析出を促進するAl-Mn系金属間化合物が添加Mn量とともに変化するためと考えられた。

#### 参考文献

- 1) 2<sup>nd</sup> international Congress Aluminum Brazeing", 15<sup>th</sup> to 17<sup>th</sup> May 2002,Dusseldorf.
- 2) H.P.Godard,Corrosion of Light Metals,(1967),71.
- 3) M.Kaihu,H.Huzimoto,M.Takemoto,J.Jpn.Inst.Light Met.,**32**, (1982),135.
- 4) K.Toma,J.Jpn.Inst.Met.,**46**, (1982),973.
- 5) M.Zamin,Corrosion,**37**, (1981),627.
- 6) H.K.Farmery and U.R. Evans,J.Inst.Metals,**84**(1955-56),413.
- 7) J.R.Galvele,S. M.De De Michel,Corros.Sci.,**10**, (1970), 795.
- 8) K.Sugimoto,K.Hoshino,M.Kageyama,Y.Sawada,Corros. Sci.,**15**, (1975),709.
- 9) M.Izu,K.Minakawa,E.Sato,J.Jpn.Inst.Light Met.,**33**, (1983),386.
- 10) B.Sundman,B.Jansson and J.-O.Andersson,CALPHAD, **9**, (1985),153.



大谷 良行 (Yoshiyuki Oya)

技術研究所



田中 哲 (Satoshi Tanaka)

技術研究所



二宮 淳司 (Junji Ninomiya)

技術研究所



土公 武宜 (Takeyoshi Doko, Ph.D)

工学博士

製板事業部 日光工場

# ターボチャージャ用高精度コンプレッサホイール鋳物の 製造技術開発

Development of the Manufacturing Technology of  
the Precision Compressor Wheel Casting for Turbo Charger

五月女 貴之

Takayuki Sotome

迫田 正一

Shoichi Sakoda

**概要** 欧州の排ガス規制およびアジア市場の拡大により世界的な規模で自動車向けターボチャージャの需要が増えている。コンプレッサホイールはターボチャージャの主要部品であり、耐久性だけでなく高い寸法精度を顧客から要求される。コンプレッサホイールに求められる特に重要な特性は製品のインシシャルバランス（同軸度）である。当社鋳工場においてインシシャルバランスを向上させるための新たな製造技術を開発した。

**Abstract:** Recently, the demand for turbo chargers for automobiles is increasing world wide because of the emission regulations in Europe and the expansion of the Asian car market. The compressor wheel is the main unit of a turbo charger, and not only high durability, but also high dimensional accuracy, is required of it by customers. The most important property required is the initial balance (=coaxiality). We have developed new manufacturing technology at our casting plant to improve the initial balance.

## 1. はじめに

アルミ合金鋳物コンプレッサホイール（コンプレッサインペラとも言う。以下C/Wと記す）はターボチャージャの主要部品である。当社鋳工場（栃木県小山市）ではC/Wを1965年から製造し、ユーザーニーズを満足すべく高品質の製品を納入してきた。

図1にターボチャージャの模式図を示す。C/W、タービン、ハウジングから構成され、同一シャフトにC/Wとタービンは連結されている。エンジンの排気ガスを受けてタービンが回転することによりエンジンの吸気側に取り付けられたC/Wも回転し、圧縮空気がエンジンに供給される。

日本ではディーゼル車に対して排気ガスが黒い等の理由から環境に悪影響を与える車とのイメージが強いが、ヨーロッパ等では燃料価格も含めた低燃費、低CO<sub>2</sub>排出量などメリットの多いディーゼル車の需要は図2<sup>1)</sup>に示すように着実に拡大している。加えて環境規制の強化とともにディーゼル車へのターボチャージャ装着は不可避となっているため、ターボチャージャの需要は確実に伸

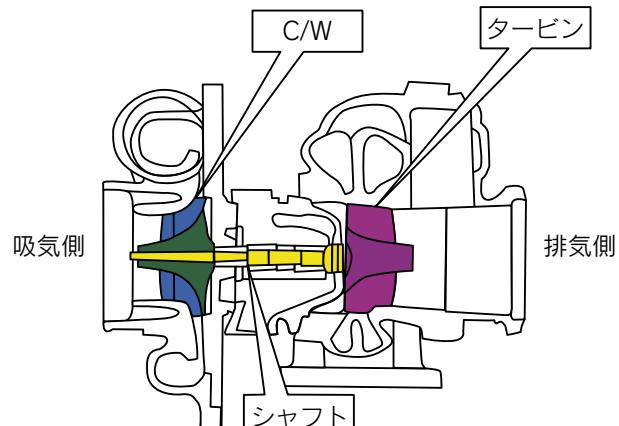


図1 ターボチャージャ模式図  
Fig.1 Section of a typical turbocharger.

びる情勢である。

一方で、ターボチャージャの性能向上に伴い、C/Wに対する顧客からの品質要求レベルは極めて高くなっている。150,000rpm以上の超高速で回転するため、耐久性はもとより高い寸法精度、特にインシシャルバランスと呼ばれる製品の同軸度が要求される。

当社ではユーザーニーズに応えるべく、インシシャルバ

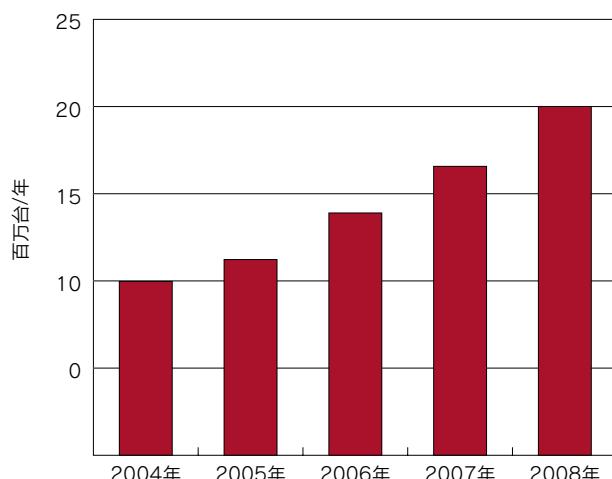


図2 世界のディーゼル車生産予想<sup>1)</sup>  
Fig.2 Forecast of diesel car production.

ランスを顕著に改善するための新たな製造技術を開発した。本報ではその技術について報告する。

## 2. C/Wの製造工程

図3に当社で製造しているC/Wを示す。本製品はらせん状の翼形状および平滑な製品表面に特徴がある。

当社では石膏鋳型と低圧鋳造法を用いてC/W鋳物を製造しており、石膏鋳型を用いた精密低圧鋳造法(Precision low Pressure Casting)の英語の頭文字を取ってPPC法と呼んでいる。

### 2.1 製造工程概要

C/Wの製造工程は以下の通りである。なお当社では一部を除いて完成機械加工前の素材を顧客(ターボチャージャ製造メーカー)に納入している。

<型設計>

- ① 型設計
- ② アルミ合金製マスターモデル製作
- ③ マスターモデル転写



図3 各種C/W製品  
Fig.3 Variety of compressor wheels.

④ ゴム型製作

⑤ 石膏型製作

<製品製造>

⑥ 石膏型乾燥焼成

⑦ 鋳造工程

⑧ 仕上げ工程(口切り、洗浄)

⑨ 熱処理工程(溶体化)

⑩ 翼矯正

⑪ 熱処理工程(人工時効処理)

⑫ 検査工程：素材出荷

⑬ 完成機械加工およびバランスカット工程

### 2.2 マスターモデル転写

製品と同一形状のマスターモデルをもとに、ゴムメス型を作製する。

### 2.3 ゴム型製作

前工程で作製したメス型に常温硬化性シリコンゴムを流し硬化させることによりC/Wと同一形状のゴム型を作製する。

### 2.4 石膏型製作

石膏は水を加えて攪拌し、流し込むだけで水和凝結反応により硬化する無機材料である。ゴム型を枠にセットして、その中に水と石膏を混合したスラリーを流し込み硬化させ、ゴム型を脱型することにより石膏鋳型を製造する。

### 2.5 石膏型乾燥焼成

表1に示すように凝結した石膏を加熱乾燥することにより2水石膏から無水石膏へ結晶水を脱水させて、鋳造時の石膏鋳型として用いる。石膏乾燥炉の最終乾燥温度は無水石膏への脱水反応が確実に終了する220℃～230℃が一般的である<sup>2)</sup>。

### 2.6 鋳造工程

当社の用いている低圧鋳造法模式図を図4に示す。石膏鋳型の下方に密閉した容器に入れて保温した溶湯面に空気圧力を加えて、石膏鋳型と連結し溶湯中に挿入されたストークを介して石膏鋳型内に溶湯を押し上げて注湯する。重力鋳造方法と比べると加圧の効果により収縮巣等の内部欠陥を低減できる効果がある。

なお、C/Wに用いる合金は、強度および鋳造性のバ

表1 混水と加熱による石膏の状態変化

Table 1 Transformation of plaster by water mixing and heating.

温度	石膏の状態	分子式	備考
常温	半水石膏	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	混水前の粉体
常温	余剰水含む2水石膏	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	混水後に凝結
100	余剰水蒸発	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
約120	2水石膏から半水石膏に脱水	$\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$	
約200	半水石膏-無水石膏に脱水	$\text{CaSO}_4$	鋳造鋳型

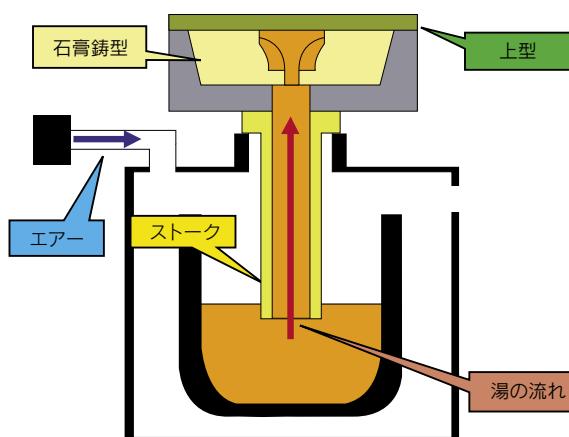


図4 低圧鋳造法模式図  
Fig.4 Apparatus of low pressure casting.

ランスから、主にAl-Si-Cu-Mg合金を用いる。

### 2.7 完成機械加工およびバランスカット工程

当社で製造したC/W素材は客先にて完成機械加工およびバランスカット工程を経てシャフトに組み付けられる。

#### 2.7.1 完成機械加工

非常に厳しい寸法公差を満たすため、C/W素材は機械加工によって最終形状まで加工される。

この工程では図5に示すような軸穴加工と上面、底面および側面の切削加工が行われる。

#### 2.7.2 バランスカット工程

バランスカット工程は高速回転体として使用する本製品には非常に重要な工程であり、C/Wの上部(以下ボスと呼ぶ)および底面部を減肉し回転体としてのバランスを取る。

製品によって減肉する重量、位置とその数、深さ、および長さの上限が決められており、この上限値を超えるとバランスオーバーとなり不良品となる。また、本バランスカット工程は複数回繰り返すことが一般的である。

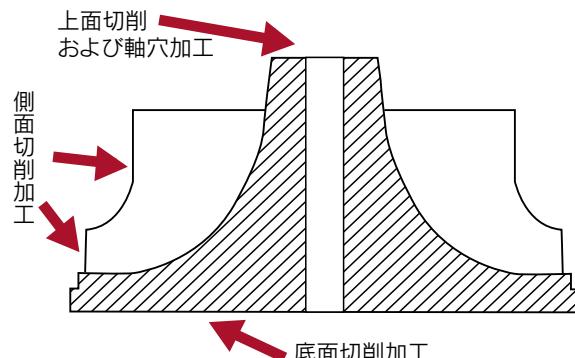


図5 C/W完成機械加工模式図  
Fig.5 Schematic of machining process of compressor wheel.

### 3. C/W素材のイニシャルバランス

上述した完成機械加工品のバランスカット工程において機械加工方法および加工精度だけではなく、C/W素材としてのバランス(=イニシャルバランス)が良好である必要がある。すなわち素材のイニシャルバランスが良好であれば、バランスカット量も小さくでき、さらにバランスカット工程の回数も少なくできるからである。

#### 3.1 イニシャルバランス評価方法

C/Wのイニシャルバランスは3次元測定機を用いて製品の芯ブレ量を測定し同軸度で評価した。芯ブレ量とは(1)式に示すように製品底面中心を基準として製品ボス部中心位置との偏差量を表す。同軸度とは以下の関係がある。

$$A = \sqrt{x^2 + y^2} \cdots \cdots (1)$$

A : 同軸度(mm)

x : 芯ブレ量(x軸方向の偏差mm)

y : 芯ブレ量(y軸方向の偏差mm)

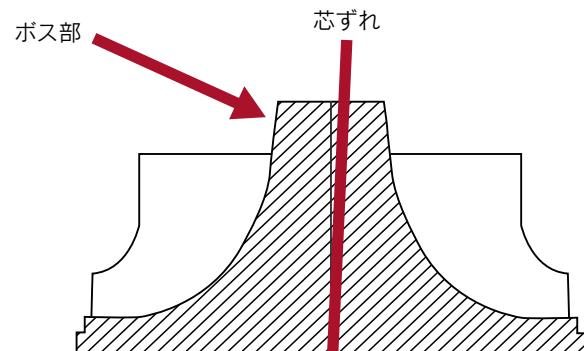


図6 C/W断面図  
Fig.6 Cross section of compressor wheel.

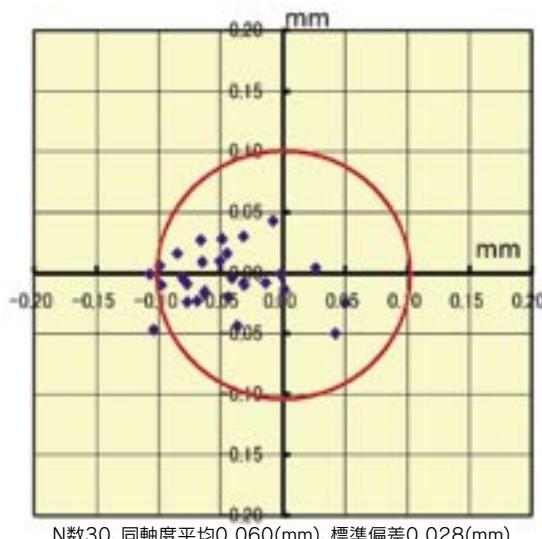


図7 バランス改善前の製品芯ブレ量分布  
Fig.7 Initial runout before improvement.

図6に製品断面の略図を示すが、上記した芯ブレ量は製品底面中心とボス中心(図中の矢印)との“芯ずれ”を評価する指標である。

### 3.2 改善前のイニシャルバランス

図7に改善前のC／W素材の芯ブレ量分布および同軸度を示す。最大で同軸度が0.1mmを超えるものもありバラツキが大きいことがわかる。

## 4. イニシャルバランス改善技術

イニシャルバランス改善のためには型転写精度を向上すること、および型そのものの寸法偏差を小さくすることがポイントである。ここでは最も大きな改善効果の得られたマスターモデルの転写技術の検討結果について説明する。

### 4.1 マスターモデル転写方法の検討

当社の従来転写方法に対して新たな転写方法を開発した。表2に各転写方法の特徴を比較して示す。

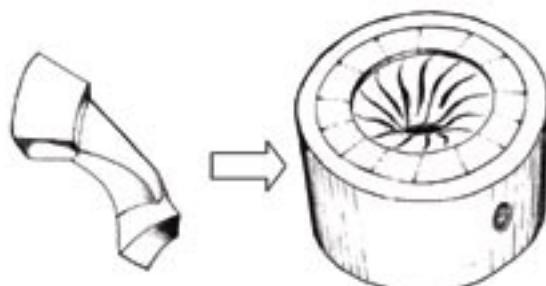
#### 4.1.1 従来転写法：等分型

ゴム型造型のためのメス型を作成する技術として当社では等分型を用いてきた。これは図8に示すように翼1枚に対応する部分を樹脂加工し、これを組み合わせてゴムメス型とする。

本技術は型の加工および組み立てに大変高度な技能を必要とし、また分割型であるためつなぎ目の部分が製品に転写されることから製品表面品質が劣るという問題があった。上記した理由により本方式での寸法精度は作業者の技能に大きく左右され、イニシャルバランスも偏差

表2 マスターモデルの転写方法比較  
Table 2 Two reversing methods of master model.

	等分型 (従来法)	電鋳転写 (改善法)
マスターモデル	残る	溶解消失
転写精度	作業スキルに左右	優れる
技術レベル	高い	高い
製品表面品質	劣る	優れる



(翼一枚ずつを組合せて作製)

図8 等分型転写法(従来法)  
Fig.8 Reversing process by split mold.

が大きかった。本転写方法を用いた製品の芯ブレ量分布は図7に示す通りである。

### 4.1.2 改善転写法検討：電鋳転写型

本方式は図9に示すようにマスターモデルにメッキを施し、その後マスターモデルを溶解することにより、ゴムメス型を作成する方法である。転写精度は最も高い方法であるが、非常に高度の技術が要求される方法である。

特にメッキ技術については、メッキ業者との共同研究を行い、試行錯誤を重ねた。電解メッキ時に先端部分に優先的に電流が流れるため、マスターモデルにメッキできない問題があった。しかし、適切なメッキ条件を見出し、ゴム型造型に耐えうるゴムメス型を作製する技術を確立した。

図10に電鋳転写法で作成した鋳物製品の同軸度および芯ブレ分布を示す。図7と比較して同軸度および標準偏差が大幅に改善されていることがわかる。

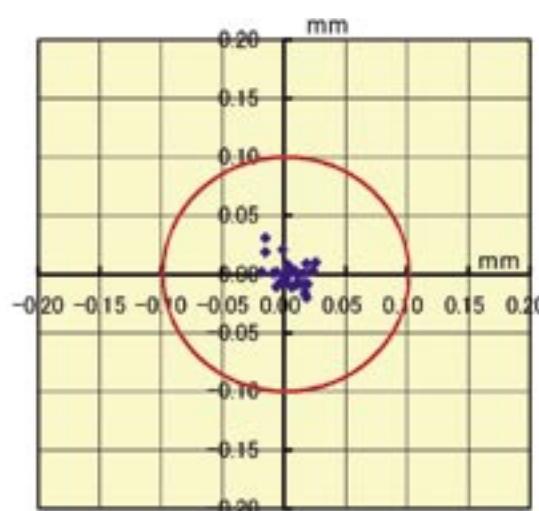
### 4.2 イニシャルバランス改善品の効果

このようにマスターモデルに忠実な転写法を検討した結果、新たな電鋳転写法を開発し、C／Wのイニシャルバランスを改善することができた。



(マスターモデルに電鋳メッキの後、マスターモデルを溶解)

図9 電鋳転写法(改善法)  
Fig.9 Reversing process by plating.



N数30、同軸度平均0.016(mm)、標準偏差0.008(mm)

図10 製品芯ブレ分布(電鋳転写法)  
Fig.10 Initial runout of plated product.

本改善品は、従来品と比較して完成機械加工品バランス不良率は著しく低下し、量産ロット間のイニシャルバランス変動も小さいとの報告を受けており、当社製品は顧客から高い評価をいただくことができた。

## 5. おわりに

乗用車および商用車のターボチャージャは今後さらなる小型化、高出力化が進み、C／Wは現在よりも高回転数および高温度での耐久性が要求される。

品質面では本報で報告したイニシャルバランス以外にも疲労強度向上、高温強度向上が今後の課題である。

一方、供給面では顧客からの強い増産要求に答えるべく当社はベトナム工場を新設し、生産の主力を日本からベトナムへ移しつつある。

今後も品質、量ともに顧客のニーズに答え、C／Wの性能向上に貢献していきたい。

## 参考文献

- 1) 東洋経済新報社：週刊東洋経済2005年8月27日号
- 2) 日本鋳物協会：精密鋳造法(1981)，234



五月女 貴之 (Takayuki Sotome)

押出鋳鍛事業部



迫田 正一 (Shoichi Sakoda)

押出鋳鍛事業部

# Products

## 製品紹介

### 環境に優しいノンクロムプレコートフィン材

Eco-friendly Chromate-Free Pre-coated Aluminum Fin Stocks

#### 1. はじめに

アルミニウム材は軽量で、熱伝導性が良いため、熱交換器用フィン材として広く使われております。その熱交換器用フィン材には、冷房運転時の結露防止機能として、表面に親水性塗膜を設けた、親水性フィン材が一般的に使われております。

一般的に親水性塗膜はアルミニウム材表面との密着性や耐食性が劣るため、クロメート処理などの化成処理を行い、その後に親水性塗膜を形成しているものが広く使われております。しかし、近年、欧州でRoHS指令が制定されたように環境負荷に対する関心が高まり、Crを使用しない化成皮膜の開発が望まれています。

当社は、耐食性及び親水性に優れ、且つ環境に優しい日本で最初のノンクロムプレコートフィン材を開発いたしました。

#### 2. 特長

##### (1) 環境に優しいクロムフリー材料

ノンクロム化成処理剤をロールコーティングにて塗布・焼付した塗布型化成皮膜であるため、表1に示すようにCrを含まず、表面汚染の少ないプレコートフィン材をご提供できます。

##### (2) 豊富な製品群

仕上げ塗膜には有機高親水性塗膜、有機高耐汚染性塗膜、無機／有機複合型高親水性塗膜の3タイプを用意しました。

表1 プレコートフィンにおける特定有害物質  
Table 1 Certain hazardous substances of pre-coated fin stocks.

	ノンクロム プレコートフィン	従来 プレコートフィン
鉛	検出限界以下	検出限界以下
水銀	検出限界以下	検出限界以下
カドミウム	検出限界以下	検出限界以下
6価クロム	Cr : 検出限界以下 (Cr化合物は含有)	6価Cr検出限界以下 (Cr化合物は含有)
P B B	検出限界以下	検出限界以下
P B D E	検出限界以下	検出限界以下

##### (3) 優れた耐食性

親水性被膜の下に緻密な化成皮膜を形成することにより、過酷な条件下でも高い耐食性を発揮します。

##### (4) 高い加工性

金属化合物と有機樹脂との複合型皮膜なので、伸びや密着性に優れ、厳しい加工にても追従します。

また、仕上げ皮膜に優れた潤滑性を有する潤滑層を設けることにより、さらに加工性を向上させています。

##### (5) 長期に亘る親水持続性

ノンクロム皮膜の上に親水性皮膜を被覆しているため、冷房時の結露水は、フィン間のブリッジを形成しやすく、電気効率を低下させません。

#### 3. 製品仕様

本製品の構成を図1に、製品仕様を表2に示します。この範囲を超える処理に関しては、別途ご相談ください。

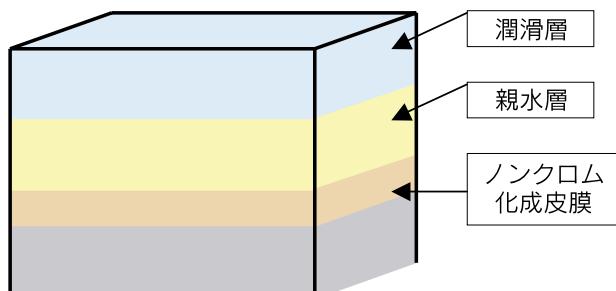


図1 ノンクロムプレコートフィンの構成  
Fig.1 Structure of chromate-free pre-coated fin stock.

表2 ノンクロムプレコートフィンの仕様

Table 2 Specifications of chromate-free pre-coated fin stock.

アルミニウム	1000系 (A1200P-H24 : ドロー用) (A1050P-H18 等) 合金系 (A1050+Mn-H24等 ドローレス用)
化成 皮膜	Zr化合物／有機樹脂複合皮膜 付着量 5–30mg/m <sup>2</sup> (金属換算)
仕上げ 皮膜	親水性皮膜／潤滑性皮膜 ・有機系 ・無機／有機複合系
	膜厚 0.5μm～

## 4. 性能

### (1) 耐食性

図2に耐食性試験結果(SST 500Hでのレイティングナンバー、湿潤試験500H 非腐食面積率)を示します。ノンクロムプレコートフイン材は、従来のリン酸クロメート材や塗布型クロメート材と比較しても耐食性に優れていることが分かります。

### (2) 親水性

図3に、ノンクロムプレコートフインを含む、親水性試験結果(乾湿交互試験での水接触角)を示します。

ノンクロムプレコートフイン材は、従来の化成皮膜よりも接触角が低く、長期に亘り優れた親水性を維持していることが分かります。

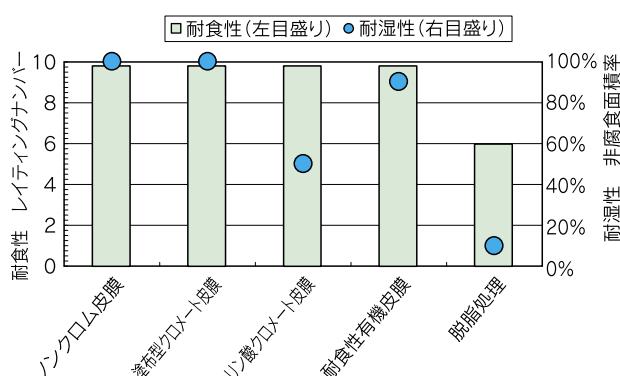


図2 耐食性試験結果(SST, 湿潤試験)

Fig.2 Results of corrosion resistance (Salt spray test and humidity cabinet test).

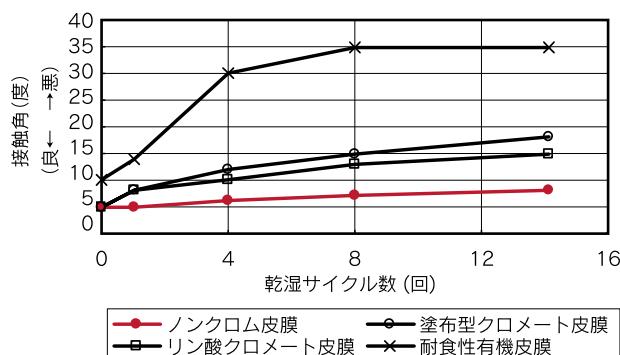


図3 親水性試験結果

Fig.3 Results of hydrophilic test.

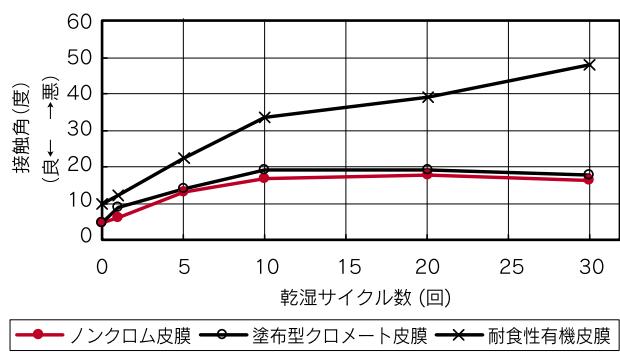


図4 耐汚染性試験結果

Fig.4 Results of antifouling test.

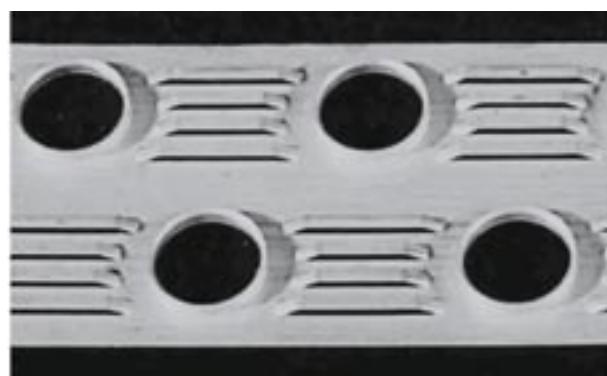


図5 加工したノンクロムプレコートフイン(仕上げ皮膜 SY513Z)  
Fig.5 Machined chromate-free pre-coated fin stock (with finish coat SY513Z).

表3 ノンクロムプレコートフインの特徴

Table 3 Features of chromate-free pre-coated fin stock.

製品名	仕上げ皮膜	用途	性能		
			親水性	耐汚染性	金型磨耗
SY700Z	有機系	室内機用	◎	○	◎
SY513Z	有機系	室内機用	◎	○	○
SZ140Z	無機／有機複合	室外機用	◎	○	○

### (3) 耐汚染性

図4に、耐汚染性試験結果(パルミチン酸+流水交互試験)を示します。

ノンクロムプレコートフイン材は、汚染物が付着しても接触角が低く、耐汚染性に優れていることが分かります。

### (4) 加工性

図5に、フィン成形後 外観観察(SY513Z)を示します。

高い塗膜密着性を有しているノンクロム化成皮膜と、潤滑性に優れた仕上げ皮膜の組み合わせにより、過酷な加工条件でも、優れた加工性を発揮します。

## 5. 用途

ノンクロムプレコートフイン材は、優れた耐食性、且つ環境に優しい熱交換器用プレコートフイン材として高い評価を頂いております。

また、さまざまなご要望に応じるために豊富なバリエーションを揃えております。

### お問い合わせ先

営業本部 第四営業部

〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号

秋葉原UDX12階

TEL: (03) 5295-3800 FAX: (03) 5295-3760

## Products

### 製品紹介

## 防汚性アルミ塗装材「ファスコートクリーン® シリーズ」

Stain Resistant Pre-coated Aluminum Sheet "FUSCOAT CLEAN® Series"

### 1. はじめに

近年、自動車排ガスなどによる都市型の汚染が問題になっています。特に、土木建材や車両においては、汚染の進行により美観だけでなく機能も低下することから、「汚れにくい材料」、「汚れが落ち易い材料」が望まれています。

このようなニーズに対して、当社は防汚性アルミ塗装材「ファスコートクリーンシリーズ」を開発しました。

### 2. 特長

(1) 汚れにくく、また汚れても汚れが落ち易い材料です。塗膜表面を硬く設計することにより、排ガスや土等の汚れ物質の侵入を抑制します。また、表面を親水化することにより、雨を利用した自己洗浄性を付与しています。

※ファスコートクリーンシリーズは(財)土木研究センターが認定する、土木用防汚材料Ⅰ種試験にアルミプレコート材として初めて合格した材料です。

表1 「ファスコートクリーン」の性能  
Table 1 Performance of "FUSCOAT CLEAN".

試験項目	仕様	製品シリーズ	E100	E200	C100	C200
防汚性（耐マジック汚染性）	色タイプ	カラー <sup>1)</sup>	カラー <sup>1)</sup>	クリヤー	クリヤー	
	樹脂タイプ	フッ素系	アクリル系 (非フッ素)	フッ素系	アクリル系 (非フッ素)	
	標準膜厚	20μm	20μm	20μm	15μm	
防汚性（耐マジック汚染性）	(赤・常温) <sup>2)</sup>	跡残りなし	跡残りなし	跡残りなし	跡残りなし	
鉛筆引っかき値 <sup>3)</sup>	鉛筆引っかき試験	3H	4H	3H	4H	
付着性 <sup>3)</sup>	碁盤目テープ剥離	100/100	100/100	100/100	100/100	
耐屈曲性 <sup>3)</sup>	180度曲げ加工後テープ剥離	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	
耐衝撃性 <sup>3)</sup>	デュポン式 (500g,500mm)	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	
耐食性 <sup>3)</sup>	塩水噴霧試験 1000時間	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	
耐湿性 <sup>3)</sup>	49°C,RH95%以上 1000時間	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	
耐候性 <sup>3)</sup>	サンシャインカーボン 促進試験 500時間	光沢保持率 90%以上	光沢保持率 90%以上	光沢保持率 90%以上	光沢保持率 90%以上	
耐酸性 <sup>3)</sup>	2%硫酸,20°C,24時間	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	
耐アルカリ性 <sup>3)</sup>	飽和石炭水,20°C,24時間	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	

1)ほとんどの色に対応できます。ご注文の際はご相談下さい。 2)24時間後にエタノール含有キムワイプでふき取る。 3)JIS H4001に準ずる。

- (2) 屋外使用時の変色など外観品質変化を生じにくい材料です。
- (3) 樹脂タイプ、色タイプにより4種類の製品シリーズをそろえている為、多様なニーズへの対応が可能です。
- (4) アルミプレコート材の為、表面品質の安定性に優れます。加工性に優れ、加工工程での潤滑剤や洗浄剤の使用量を低減可能にし、低コスト化を実現しています。

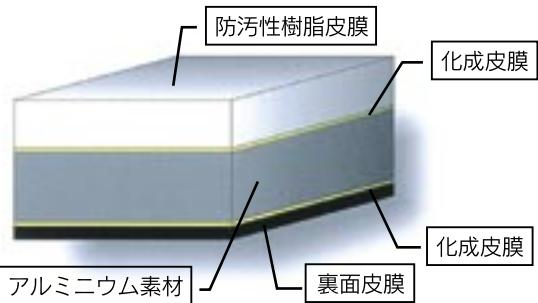


図1 「ファスコートクリーン」の塗膜構造  
Fig.1 Film structure of "FUSCOAT CLEAN".

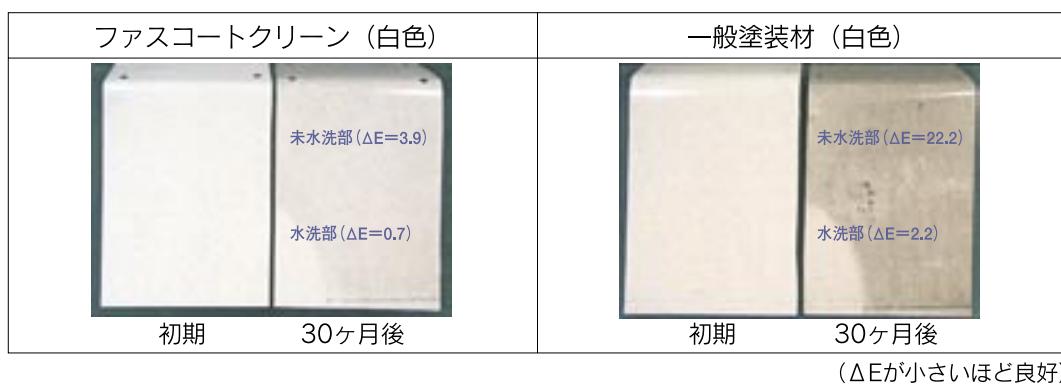
**図2 大気暴露試験後外観**

Fig.2 Appearance after atmospheric exposure test.

### 3. 製品塗膜構造

図1に「ファスコートクリーン」の塗膜構造を示します。塗装下地としてアルミニウム素材に化成処理を行った後、表面に防汚性樹脂皮膜層を設けています。

### 4. 性能

表1に「ファスコートクリーン」の性能を示します。「ファスコートクリーンシリーズ」は防汚性に優れ、基本性能としてJIS H4001(アルミニウム及びアルミニウム合金の塗装板及び条)の基準を十分に満足する材料であることがわかります。

「ファスコートクリーン」の優れた防汚性を示す事例を紹介します。図2に大気暴露試験後の外観を示します。大気暴露試験30ヶ月後でも雨筋汚れは認められないとがわかります。また、暴露サンプル左下部に示すように、水洗により汚れは落ち易い事がわかります。

### 5. 用途

「ファスコートクリーンシリーズ」は優れた防汚性を示すことから、内外装建材パネル、サイディング、道路防音壁、バントラック外板、看板等に使用されています。当社は様々なニーズに対応する為にバリエーションを拡大させています。各シリーズの採用事例は下記の通りです。

- (1) E100シリーズはお客様のご要求に合わせた色で1色を製品化し、道路防音壁に採用されています。
- (2) E200シリーズはお客様のご要求に合わせた色で7色を製品化し、地下通路屋根材、浴室天井材、看板、バントラック外板に採用されています。
- (3) C100シリーズは図3に示すように、道路防音壁に採用されています。

(4) C200シリーズはバントラック外板に採用されています。図4に使用例を示します。

**図3 道路防音壁**

Fig.3 Road noise barrier.

**図4 バントラック外板**

Fig.4 Outer panel of van.

### お問い合わせ先

営業本部 開発営業部 開発営業グループ

〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号  
秋葉原UDX12階

TEL: (03) 5295-3508 FAX: (03) 5295-3765

## Products

### 製品紹介

#### フルポーラス騒音対策製品

"FULLPOROUS" Noise Decreasing Product

=平成17年度「日本アルミニウム協会賞(技術賞)」受賞=

#### 1. はじめに

フルポーラスはアルミコイル材を切削して得た長纖維をウェブ形成・焼結・圧延などの工程により、シート状にした、オールアルミ製吸音材です。このたび、平成17年度「日本アルミニウム協会賞(技術賞)」を受賞致しました。

#### 2. 特徴

##### (1) アルミ纖維をバインダーを使わず連続焼結

スポット溶接で普通の板材と同じように接合できます。また、不燃性シートのため引火の心配がなく、リサイクル時の溶解の際に有害なガスの発生もありません。

##### (2) アルミ展伸材の切削纖維で優れた加工性を実現

曲げ・絞りなどの成形性に優れており、様々な形状に加工できます。また、スポット溶接により各種立体形状の製品を作ることも可能です。

##### (3) 優れた吸音特性

背後空気層100mmでは315~1,250Hzで吸音率0.7以上と、発泡タイプなど従来のアルミ吸音材と同等以上の吸音率です(図1)。吸湿性が無く、水分が付着しても乾燥しやすく、屋外でも吸音特性が変化しません。

##### (4) 優れた耐食性および耐候性

アルミニウム材固有の優れた耐食性、耐候性により長

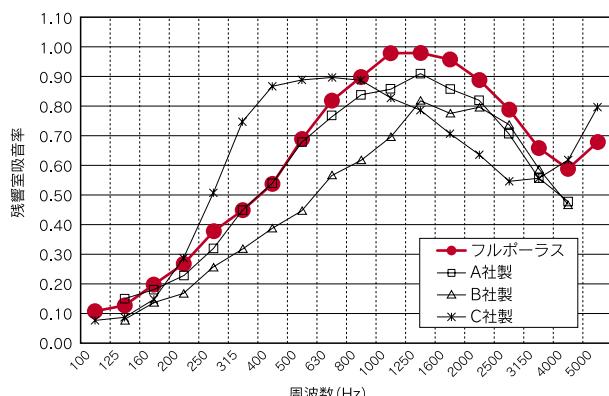


図1 他のアルミ製吸音材との吸音性能比較

Fig.1 Comparison of acoustic absorptivity with other aluminum sound absorbing materials.

期間の使用でも性能が劣化しません。塩水噴霧試験500時間経過後でも変化のないことを確認しています。

##### (5) 軽量

焼結タイプや発泡タイプなど他のアルミ製吸音材と比べ75%程度の質量なので、軽量化が図れます。

##### (6) その他

熱伝導率は58.2W/(m·K), 電気伝導率では14.13% IACSと良好な伝熱性, 導電性を持っています。

#### 3. 製品例

##### 3.1 天井吸音パネル

図2のようにビスやリベットで直接壁や天井に取付けができます。また、取付け部のスポット溶接や、板の周囲の曲げ加工も可能です。吸音性能を発揮するために、施工の際、十分な背後空気層を確保する必要があります。

##### 3.2 工作機械用吸音パネル

図3は工作機械を囲うように配置した例です。切削油のかかる環境でも問題なく使用できます。

##### 3.3 吸音筒による大型ファン騒音対策

図4は大型ファンの騒音対策事例です。



図2 天井に取付けた例  
Fig.2 Installed on ceiling.



図3 機械の周囲に配置した例  
Fig.3 Placed around machine.

“騒音は低減したいが中の機械が見えないと困る”場合、この円筒吸音材が最適です。加工性を活かして円筒状に成形した筒を並べており、筒と筒の間から内部を視認できます。耐食性に優れ、屋外使用も問題ありません。

### 3.4 オフィス用吸音パーテーション

設置の自由度がある衝立状で、図5のように平面型と円筒型があり、円筒型なら視認性を確保しつつ、騒音低減できます。オフィス用では空間を仕切ることで、静かな会議スペースを簡単に作り出せます。オールアルミのシンプルなデザインは美観的にも優れています。

### 3.5 工場用吸音パーテーション

図6では、騒音源である機械を囲うことで効果的な騒音対策を可能としました。

### 3.6 壁取付吸音パネル

広い範囲の騒音対策として壁に取付けて使います。図7のように、W500×L1,000の標準パネルを適正な



図4 大型ファンに適用した例  
Fig.4 Applied to large fan.

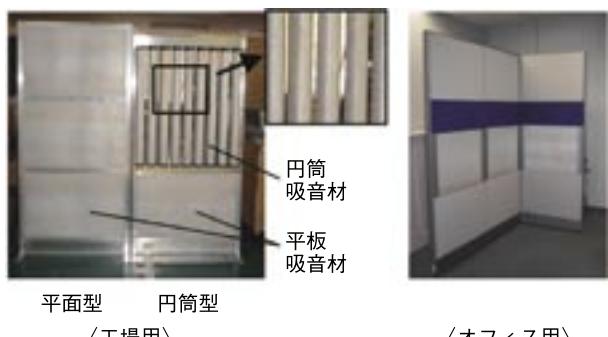


図5 吸音パーテーション  
Fig.5 Sound absorbing partition.



図6 工場内コンプレッサに平面型を適用した例  
Fig.6 Application of flat type to factory compressor.



図7 吸音パネル  
Fig.7 Sound absorbing panel.

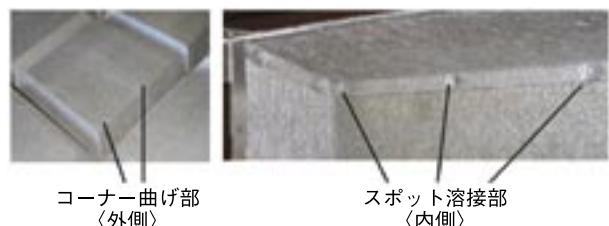


図8 箱型に加工した例  
Fig.8 Worked into box.

背後空気層を確保して取付けるだけで、優れた吸音特性の、美観的にも優れた吸音パネルとなります。フレームがアルミ製なのでリサイクルも容易です。

### 3.7 立体吸音体

図8のように立体形状の作製が可能です。曲げ加工性やスポット溶接性などを活かし、従来では製作が不可能であった形状の騒音対策製品を提供することができます。

## 4. おわりに

フルポーラスの吸音材としての用途には、建築分野(室内プール・音楽室・劇場・体育館・美術室・ビルのエントランスホール・図書室・スタジオ・宴会場等)での残響音制御、土木分野(裏面吸音材・道路防音壁・鉄道防音壁・トンネル吸音板・工事現場等)での騒音対策、工場内の機械設備(屋上クーリングタワー・コンプレッサ・ゼネレータ・モータ・設備ライン・鍛造機・プレス・送風機等)の特定騒音対策等があります。

その他には、伝熱性、導電性、電磁波シールド性、ろ過性等を活用した用途にもご使用いただけます。

## お問い合わせ先

加工品事業部 電子製品部

〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号  
秋葉原UDX12階

TEL: (03) 5295-3544 FAX: (03) 5295-3766

## Products

### 製品紹介

#### 両面アルミニウムPTP「THE MOCCORI」

A New Alu/Alu Press-Through-Pack (PTP) "THE MOCCORI"

##### 1. はじめに

THE MOCCORI(ザ モッコリ)は、日本製箔がこれまで培ってきましたアルミニウム箔を使った包装材料の技術を基にして開発した医薬品や食品などの固形物を対象とした容器側、ふた側が共にアルミニウム箔構成の新しいPTP(Press-Through-Pack)スタイルの包装形態です。

通常のPTPは、容器側が透明な樹脂シート(PVC, PP等)を使用しているため中味が見えることから、包装時において内容物の有無は目視または光学的なカメラ等で確認することができます。しかし、この構成では防湿性、ガスバリア性および遮光性が劣るため、これらが必要な医薬品等の錠剤状の内容物を包装するにはアルミニウム箔構成のストリップ包装(SP)や、同様にアルミニウム箔構成の両面アルミニウムPTP(Alu/Alu PTP図1)で包装せざるを得ません。この場合、中味が見えないことから内容物の有無を確認する方法としてX線を使う以外に方法は無く、品質保証上や包装作業時における安全性の問題があります。

この問題を解決するために容器側の成形深さを内容物の厚さより浅くし、その状態でふた材をシールすることによりふた材が内容物の形状に沿って膨らんだ形状に包装することを可能にしました(図2)。この形態であれば容器材のポケットに内容物が入っていないければふた材は膨らむことは無いため、目視でもその有無を確認することが可能になりました(図3)。実生産では、CCDカメラによる画像処理や各種の変位センサを用いることによって、容易に包装ライン上において有無検査の自動化を可能にしました。

##### 2. 特長

THE MOCCORIは、従来のAlu/Alu PTPの長所は保持しています。

##### Alu/Alu PTPの長所

- (1) バリア性に優れる(樹脂シート比較)
- (2) 1錠(個)ごとの品質保証が可能
- (3) 容器側にも印刷可能

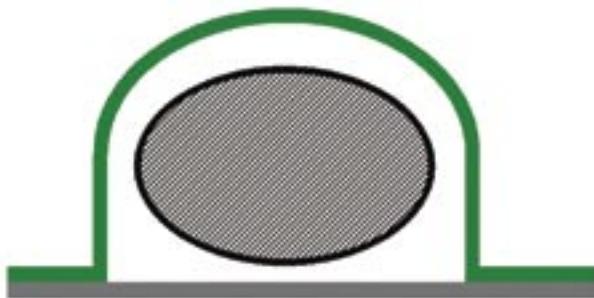


図1 両面アルミニウムPTP(模式図)  
Fig.1 Schematic of conventional Alu/Alu PTP.



図2 "THE MOCCORI" (模式図)  
Fig.2 Schematic of THE MOCCORI containing a tablet.



図3 "THE MOCCORI" 錠剤が入っていない場合(模式図)  
Fig.3 Schematic of THE MOCCORI containing no tablet.

##### Alu/Alu PTPの短所

- (1) 1度シールすると錠剤の有無が視認できない
- (2) ポケットが凹みやすい
- (3) シートサイズが大きい

これらの短所をTHE MOCCORIが解決します。

- (1) シール後に錠剤の有無を視認できる(図1~3)
- (2) ポケットを錠剤に沿わせることによりポケットが凹みにくい
- (3) 従来のPTPと同じシートサイズが可能(図5)

##### 3. 構成

構成は、次のとおりです。

容器側：PETまたはNY/アルミニウム/  
シーラントフィルム  
シーラントフィルムは、PVC, PP系等を使用することができます。

ふた側：耐熱コーティング/アルミニウム/  
シーラントコーティング  
なお、シーラントコーティングは容器側のシーラントフィルムに合せてPVC用、PP用等、使い分ける必要があります。

#### 4. 実施例

図4は、実際に錠剤を充てんしたもの(右)と充てんしていないもの(左)でふた材の膨らみから目視でも錠剤の充てん、非充てんが視認できます。また、従来のPTPと同様にプレススルーが可能です。

#### 5. おわりに

THE MOCCORIは、従前、前述事柄から踏み切れなかったAlu/Alu PTPへの切替えを容易にするものであり、かつ、シートサイズも大きくならず経済的な構成です。また、従来のSP包装からの切替えも可能です。更に両面に印刷が可能となり意匠効果の向上も期待できる



図4 “THE MOCCORI”  
Fig.4 Appearance of THE MOCCORI.

ところから、医薬品以外のサプリメント等の健康食品の包装材料にも適用できるものと考えています。

なお、本開発は、医薬品メーカーのエーザイ(株)、包装機メーカーのマルホ発條工業(株)および興和(株)と共同開発したものです。

#### お問い合わせ先

日本製箔株式会社 第一営業部

TEL: (03) 5212-1752 FAX: (03) 5212-1846

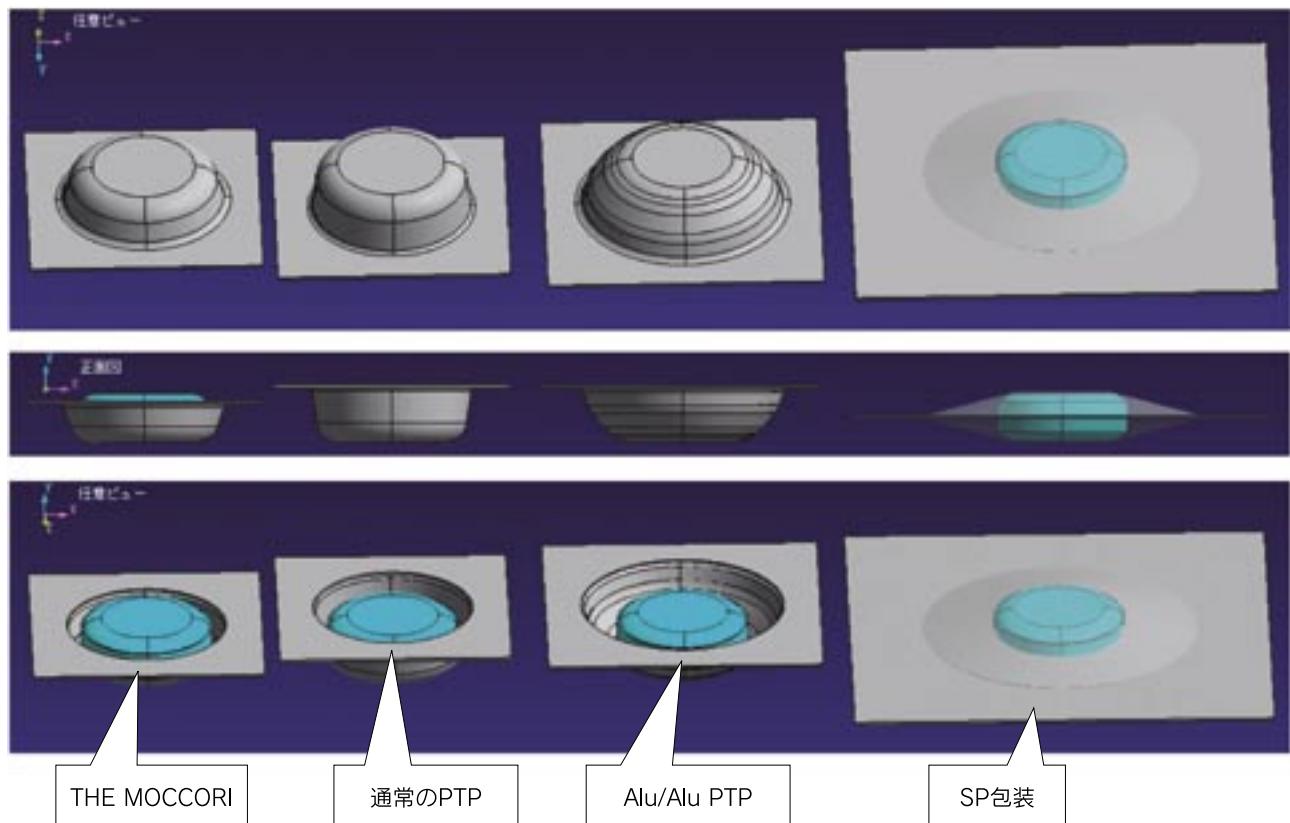


図5 “THE MOCCORI”的形状比較(上段:底面、中段:側面、下段:上面)  
Fig.5 Comparison of THE MOCCORI with other PTPs. Top row: bottom face. Middle row: side view. Bottom row: top face.

## Products

### 製品紹介

#### LNGタンク用アルミニウム5083合金厚板

Aluminum 5083 Alloy Plate for LNG Tanks

#### 1. はじめに

当社は幅広い産業分野へアルミニウム圧延品を提供している軽圧メーカーであります。世界屈指の大型圧延機を保有する福井工場の主要製品にLNG(液化天然ガス)輸送タンク用のアルミニウム5083(Al-Mg系)合金厚板があり、現在当社は国内シェアを独占しています。以下にその製品特徴、仕様について紹介します。

#### 2. LNG船へのアルミニウム適用

LNGは埋蔵量が豊富で、環境に優しいクリーンエネルギーとして需要が拡大しております。特に日本は世界最大の輸入国です。**図1**にLNGの需要予測を示します。

輸送には、大型タンクに-162℃の液化天然ガスを積載した輸送船が用いられます。モス方式LNG船の場合、直径40mものアルミニウム製球形タンクを4~5基搭載しており3,000トン/船の5083合金板が使用されます。当社は国内最大のアルミニウム合金厚板(**図2**)を製造しております、唯一の供給メーカーとしてLNG船建造ラッシュへの材料供給に力を注いでいます。

#### 3. 特徴

##### (1) 低温特性

LNGを-162℃で輸送するタンクに使用される材料には、極低温での十分な韌性を保持でき、溶接性、加工性にすぐれていることが求められます。

5083-O合金板は加工性、溶接性に優れており、**図3**に示すように極低温でも脆性が無く逆に強度が大きくなる特性から、タンク用材料に採用されています。

##### (2) 板厚精度

**図4**に示すロール面長4,250mmの熱間粗圧延機は板厚、プロフィールのハイレベルな制御技術により、全長全幅の板厚公差をJIS規格の約1/2にすることが可能です。

##### (3) 平坦度

フラットネス制御により、平坦度の良好な圧延板を製造し、さらに**図5**に示す業界最大パワーのストレッチャ設備で、大型厚板のフラット矯正、残留応力除去を実施しています。例えば、赤道材においては、全長全幅の平

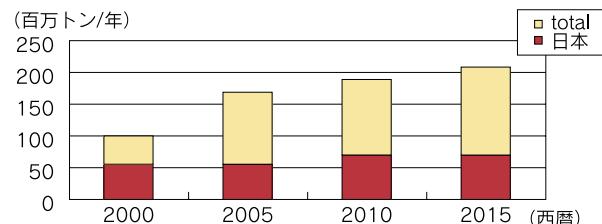


図1 LNGの需要量予測  
Fig.1 Demand forecast of LNG.



写真の板サイズ:板厚60×幅4,000×長さ16,000(mm)

図2 国内最大のアルミニウム合金板  
Fig.2 Largest aluminum alloy plate of Japan.

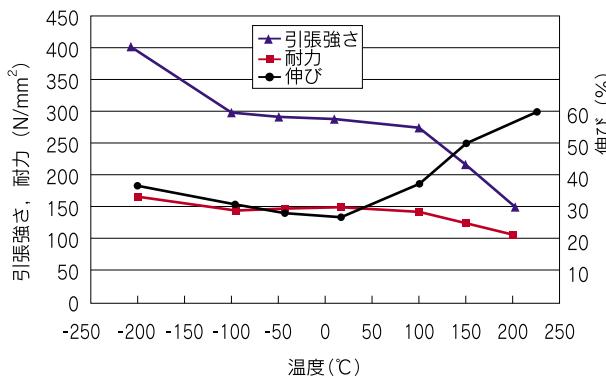


図3 5083-Oの低高温引張特性  
Fig.3 High and low temperature tensile characteristics of 5083-O.

坦度を5mm以下で保証しています。

##### (4) 内部品質

一般的に板厚の厚い板(赤道材など)は、熱間圧延圧下率が少ないため、鋳造組織に起因するポロシティが残存する場合がありますが長年に渡る研究開発を通じ、ポロシティを抑制する製造技術を確立しました。その結果として、航空機等の材料規格であるφ3/64インチ以上の内部欠陥がないことを本材料は保証しています。

#### 4. 製品サイズと仕様

##### (1) サイズ

LNGタンクは図6に示すように、大きく3種類の部位で構成されます。代表サイズは表1の通りです。

なお、製造可能な最大幅は4,040mm、最大長さは16,350mmです。

表1 LNG材の代表サイズ

Table 1 Size of representative of LNG material.

部位	材質	代表サイズ(mm)
球殻材	5083-O	60×4,030×16,350
赤道材	5083-O	190×1,530×16,350
スカート材	5083-H321	70×2,100×16,350

##### (2) 各部位の仕様

球殻材：大板から花弁状に加工され、地球儀を貼り付けるように、百数十枚のピースが溶接により組み立てられます。造船メーカ殿の加工枚数削減、溶接施工距離短縮の観点から、当社の国内最大の大型厚板が採用され、ユーザーの工数削減に大きく貢献しています。また厚板工場のNCプレートソーで直線的な異形に切断しています。この異形材は造船メーカ殿で球形タンクにする際、歩留向上に大きく寄与しています。

赤道材：タンク強度保持、タンク支持する重要な部材であり内部品質、信頼性が高い当社材が使用されています。



図4 热間粗圧延機  
Fig.4 Hot roughing mill.



図5 ストレッチャ  
Fig.5 Stretcher.

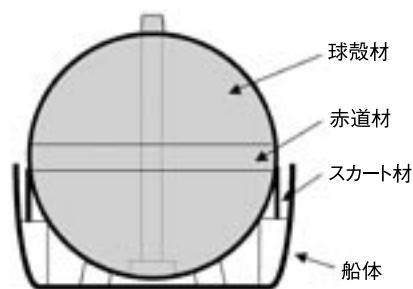


図6 LNGタンク船の断面図  
Fig.6 Section of LNG tank.

スカート材：赤道材とつながってタンクを船体と支持する部材であることから、強度と耐剥離腐食性に優れたH321調質が用いられています。ここでも当社の大型製造設備は充分な信頼性のある材料特性を生み出しています。

##### (3) 輸送

幅3,500mmを超える大型板は法令上陸上輸送が規制されますが、工場に隣接する福井港から大型厚板を一度に数百トン単位で海上輸送(図7)しています。



図7 福井港での積込み光景  
Fig.7 Loading scene at Fukui Port.

#### 5. おわりに

当社は全事業所でISO14001認証を取得し、継続的な環境保全活動を推進しています。今後もクリーンな環境を築くために、省エネルギー、リサイクル、環境調和型製品の開発に取り組んでいきます。

#### お問い合わせ先

技術部

〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号

秋葉原UDX12階

TEL: (03) 5295-3781 FAX: (03) 5295-3761

## 製品紹介

### 磁気ディスク用アルミニウム合金

Aluminum Alloy for Magnetic Disc

#### 1. はじめに

1990年代にパーソナルコンピュータの普及と共に、大幅に生産台数が増加したハードディスク装置(以下HDD)は、図1に示す様な構造になっており、基幹部品である磁気ディスクの基板には、アルミニウム合金もしくはガラス製のものが使用されています。ガラス製は硬度・剛性が高いので耐衝撃性が必要とされるノートパソコンやカーナビゲーションシステムに主に使用されています。それに対してアルミニウム合金基板は、低コストと供給能力の点で優位であり、主にデスクトップパソコンに使われてきましたが、近年ではハードディスクレコーダなどの家電にも使用されるようになりました、その用途が広がっております。

図2に磁気ディスクの製造工程の概略を示します。当社では、日光工場で磁気ディスク基板用のアルミニウム合金素条(FP-3)を製造し、古河電気工業(株)メモリーディスク部でプランク(ドーナツ状の円板)に加工しております、その量は全世界のアルミニウムプランクの40%を占めています。

#### 2. 要求特性と製造技術

磁気ディスク基板の要求特性としては、次のような特徴があり、それらを得るためにアルミニウム合金素条の製造技術の一部を紹介します。

##### (1) 非磁性であること

アルミニウム合金の特長であります。

##### (2) 高速回転に耐える剛性を有すること

読み書き時間の短縮で、HDDの回転速度は年々高速化されており、以前5,000r.p.m.程度でしたが最近では15,000r.p.m.のものもあります。高速化に従って、以前に比べると基板厚さは厚くなり、小径化されてきております。

##### (3) 平坦度が良好であること

データを読み書きする磁気ヘッドは、高速で回転する磁気ディスクとの間に出来る空気の流れで僅かに浮上し隙間を作るように工夫されています。磁気ヘッドが安定



図1 HDDの構成  
Fig.1 Configuration of HDD.

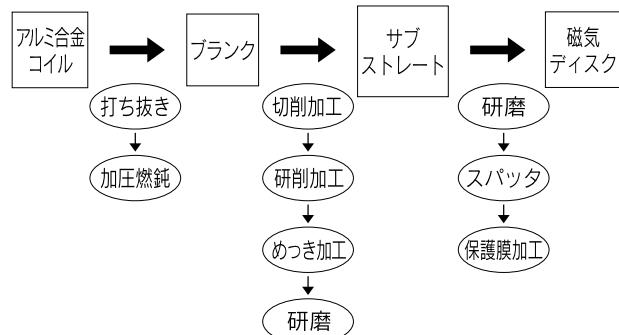


図2 磁気ディスクの製造工程の概略  
Fig.2 Schematic of manufacturing process of magnetic disc.

して浮上するには、磁気ディスクの平坦度が重要になります。高精度の平坦度を得るため、プランクに加工した後に高精度に仕上げたスペーサでプランクを上下から挟み、加圧焼鈍します。この時に僅かな板厚偏差やうねりが有ると加圧焼鈍後の平坦度に影響を及ぼすことから、圧延工程の管理も重要となります。

##### (4) スパッタ後の表面に影響する欠陥が無いこと

磁気ディスク表面にマイクロブリスタ、メカニカルバング(微小凸状欠陥)やマイクロピット(微小凹み状欠陥)が存在すると、磁気ヘッドの衝突や読み書きエラーの原因になります。磁気ヘッドの浮上量は、高密度が進むに従って低くなってきており、最近では0.01 μmというも

のも出てきております。それに伴って、更に小さな欠陥がエラーの原因になってしまいます。

アルミニウム合金中の金属間化合物や非金属介在物が上記欠陥の原因となることから、その防止のために金属間化合物の抑制や非金属介在物の除去に細心の注意を払います。金属間化合物の抑制には、高純度地金を使用することでAl-Fe系晶出物を規制し、均質化処理・熱間圧延温度の制御によりMg-Si系析出物を抑制しております。非金属介在物は鋳造時の溶湯処理により溶湯から分離した後に、セラミックチューブフィルターによる濾過を行うことで除去しており、世界トップレベルの品質を達成しています。

#### (5) 軽量であること

これもアルミニウム合金の特徴ですが、高速回転させるため、軽量である方が省エネルギー、発熱の抑制の点で有利となります。

#### (6) 耐熱性を有すること

磁性膜がスパッタされる時、300°C以上になる場合があるため、これに耐え得るものでなければいけません。

#### (7) 耐食性を有すること

長期間のデータ保存に必要な特性です。

#### (8) 表面研磨加工性が良いこと

プランクの次の加工段階で表面研磨が施されますが、研磨加工性が良いと加工時間の削減に繋がります。

### 3. 製品仕様

Ni-Pメッキ用アルミニウム合金：FP-3の化学成分を表1に示し、諸特性を表2に示します。

表1 FP-3の化学組成

Table 1 Chemical composition of FP-3. (mass%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
≤0.05	≤0.1	≤0.05	≤0.1	3.5～5.0	≤0.1	≤0.5	≤0.1	bal.

### 4. おわりに

近年、映像データのデジタル化が進み、更にハイビジョンに代表される様に、その精緻化によってデータの高容量化が進んでいます。高容量のデータの取り扱いは、今のところHDDが最も適した装置と思われ、今後更にHDDの高容量化・高速化など、高性能になっていく事が予想されます。また、図3にプランク材の需要予測を示しますが、携帯音楽プレーヤの普及で小径のプランクが増加しています。今後は音楽のみならず映像データを扱う携帯プレーヤが普及すると、将来的には小型HDD

表2 FP-3の諸性質  
Table 2 Properties of FP-3.

引張強さ	(N/mm <sup>2</sup> )	250
耐力	(N/mm <sup>2</sup> )	120
伸び	(%)	23
硬度	(Hv)	60
比重		2.65
ヤング率	(KN/mm <sup>2</sup> )	72
熱膨張係数	(10 <sup>-5</sup> /°C)	24.2

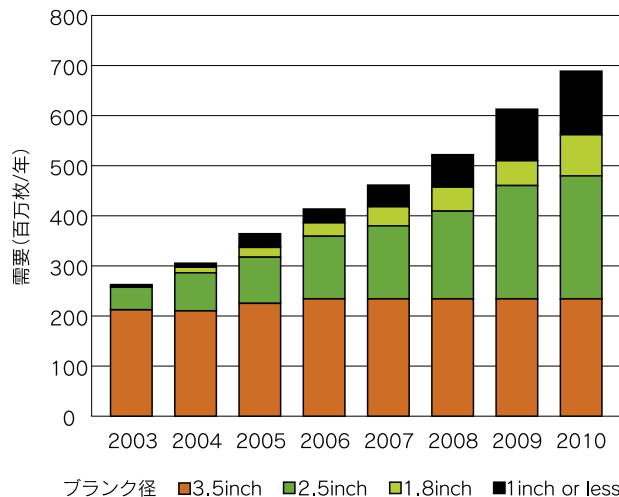


図3 プランク材の需要予測  
Fig.3 Demand forecast of disc blanks.

の小径プランクの伸びが予想されます。

現状は小型HDD用の基板は、ガラス基板が使用されておりますが、今後の技術動向によっては、アルミニウム合金基板が使用される可能性は十分あるため、当社においても、HDDの高性能化や小型化に対応するべく、アルミニウム合金基板の特性のさらなる向上に努めてまいります。

最後に、本稿をまとめにあたり、データや資料の提供などご協力頂いた古河電気工業(株)メモリーディスク部殿に感謝の意を表します。

### お問い合わせ先

#### 技術部

〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号

秋葉原UDX12階

TEL: (03) 5295-3782 FAX: (03) 5295-3761

## Products

### 製品紹介

#### アルミニウム合金クラッド押出材

Clad Extruded Products of Aluminum Alloys

#### 1. はじめに

近年、自動車の軽量化ニーズが高まり、コンデンサ等の熱交換器に使用される配管のアルミ化が進んでいます。熱交換器に使用される配管には高い耐食性が要求されるため、犠牲材をクラッドした配管が多く用いられています。また、部品の組立ての際のろう付けを考慮して、ろう材をクラッドした配管が用いられることがあります。当社は、大型間接押出機による熱間押出加工にて、クラッドされた押出素管を製造し、引き継ぎ抽伸加工することにより様々なクラッド管を製造しております。クラッド管に関しては、品種、生産量ともに世界トップのシェアを誇っています。

#### 2. 特徴

耐食性向上を目的とした犠牲材クラッド管、及びろう付けを目的としたろう材クラッド管のいずれも製造が可能であり、特に下記のような特徴があります。

##### (1) 多種多様なクラッド管の製造が可能です

図1に示すように、外面クラッド、内面クラッドのような二層クラッド管はもとより、両面クラッドといった三層クラッド管の製造も可能です。三層クラッド管の場合、外面に犠牲材をクラッドして内面にろう材をクラッドするもの、或いは外面にろう材をクラッドして内面に犠牲材をクラッドするという組み合わせも可能です。

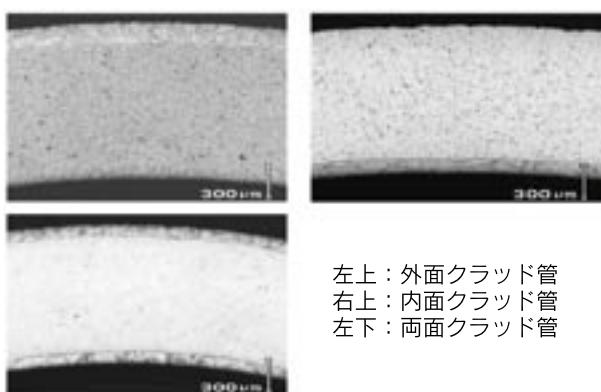


図1 クラッド管の断面ミクロ組織  
Fig.1 Microstructures of clad tube.



図2 各種クラッド管の例  
Fig.2 Variation of clad tubes.



図3 クラッド管のコイル材  
Fig.3 Coil of clad tube.

##### (2) 様々なサイズのクラッド管の製造が可能です

図2に示すように、外径8mm程度の小径管から外径90mm程度の大径管まで製造が可能です。小径管に関しては、ドロープロックによる連続抽伸加工にて、低コストで製造が可能であり、図3に示すように長尺コイルでの供給も可能です。

#### 3. 製品仕様

##### (1) クラッド管の材質とクラッド率

クラッド管の製品仕様の代表例を表1に示します。ク

表1 クラッド管の製品仕様例  
Table 1 Typical example of specification for clad tubes.

芯材材質	クラッド材質	クラッド率(%)	
		外面	内面
3003	7072(犠牲材)	10±5	無
		無	10±5
		10±5	10±5
	4343(ろう材)	7±5	無

表2 クラッド管の製造制約  
Table 2 Product restrictions for clad tubes.

製品形態	犠牲材クラッド	ろう材クラッド	調質
直管	製造可	製造可	0材、HXX材
コイル管	製造可	製造不可	0材

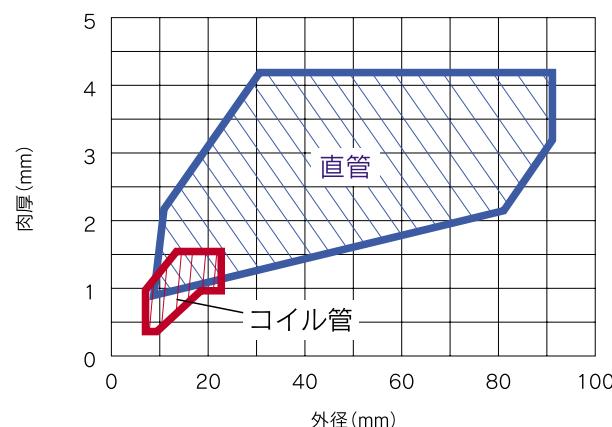


図4 クラッド管の製造範囲  
Fig.4 Productive range for clad tubes.

ラッド層の材質、クラッド率に関しては、お客様のニーズに対応可能です。

#### (2) クラッド管の製造可能範囲

図4にクラッド管の製造可能範囲を示します。また、表2に示す通りの製造制約があります。

#### 4. 性能

図5に犠牲材クラッド管の腐食試験結果を示します。犠牲材クラッド管は3003合金管(クラッド層無し)と比較して、一定期間における最大孔食深さが小さく、また、貫通するまでの期間が長くなることを示しています。このように犠牲材クラッド管は、クラッド層のない場合と比較すると、耐食性を飛躍的に向上させます。

また、ろう材クラッド管に関しては、ろう付けの前処理であるろう材塗布の工程を省くことができます。

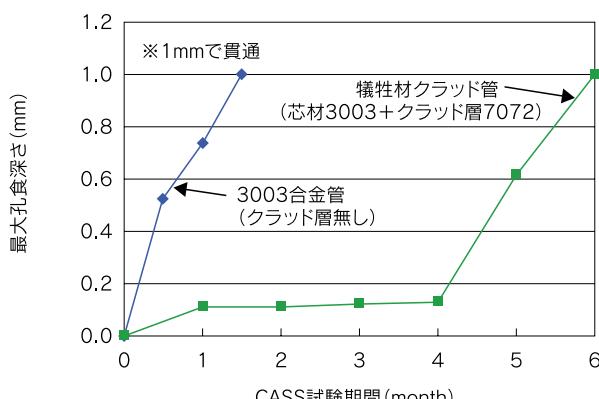


図5 腐食試験結果  
Fig.5 Results of corrosion test.

#### 5. 用途

図6にクラッド管の使用例を示します。犠牲材クラッド管は優れた耐食性を有するため、自動車のコンデンサ等の熱交換器の配管に使用されています。また、ろう材クラッド管はコンデンサのヘッダタンクのような、ろう付けによる接合が施される部品に使用され、ろう付け時にフィレットを形成することで接合を可能にします。

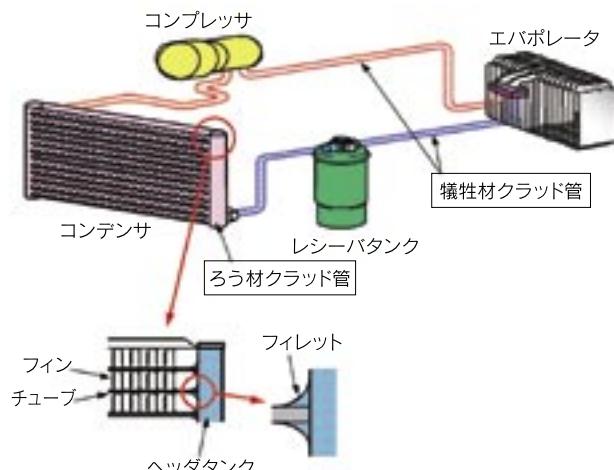


図6 クラッド管の使用例  
Fig.6 Application examples of clad tube.

近年、新用途開発の一環として、図7に示すように管材以外の棒材や形材においてもクラッド押出材の製造技術開発を行っています。

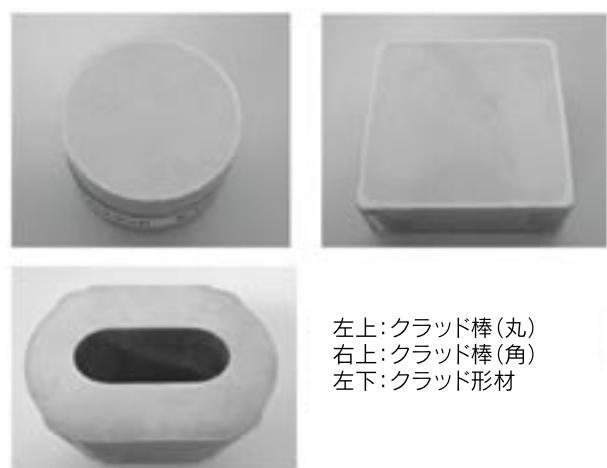


図7 クラッド棒及びクラッド形材の例  
Fig.7 Examples of clad bars and shapes.

#### お問い合わせ先

技術部

〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号  
秋葉原UDX12階

TEL: (03)5295-3785 FAX: (03)5295-3761

## 技術紹介

## ノートタイプPC用薄肉押出形材の精密押出技術

The Development of the Precision Extrusion Technology for the Note Type PC

## 1. はじめに

近年の電子機器では、消費者ニーズの多様化に伴って優位性のあるデザインを持つ商品の開発が課題となっています。この様な状況の中で、新規デザインコンセプトに基づくノートタイプPCに使用するパームレスト部品用アルミニウム押出形材を開発致しました。アルミニウム押出形材に要求された特性は、(1)板厚0.7mmと薄肉軽量で、且つ、PC用部品として部材組立ておよび実装が可能な高精度の寸法であること、(2)更にシャープな稜線を有する美麗な表面状態を達成することでした。

当社はこれらの要求を満たすべく、(1)組立て、実装に影響を及ぼす寸法の高精度化を図るため、押出条件を考慮した当社が独自で開発した数値解析ソフトを駆使した各種検討、(2)意匠性を低下させるアルミニウム押出形材の表面欠陥を抑制するための押出条件の最適化検討を実施致しました。これらの検討結果により、厳しい要求を満足できるアルミニウム押出形材の製造技術を確立し、本アルミニウム押出形材の量産を開始しました。



図1 適用製品の外観  
Fig.1 Appearance of notebook PC.



図2 パームレスト部品の外観  
Fig.2 Appearance of palm rest.

図1、2に外観を示す本製品は、今年(2006年)2月から店頭販売されています。

## 2. 精密押出技術の概要

## 2.1 現状押出技術の問題点

図3に押出加工の概略を示します。押出加工は高温に加熱した鋳塊を、同様に加熱したコンテナにセットし、押出ダイスに材料を流入させて最終的な製品形状を得ます。この際、押出形材の断面形状によっては材料の押出ダイスへの不均一な流入によって所定の断面形状を得ることが難しい場合があります。

また、押出加工は熱間成形であることから、押出中の温度条件の変化や押出後の熱収縮により、板材のプレス成形などの冷間成形品よりも寸法精度が悪くなるのが一般的です。従って、JISに規定されている特殊級の寸法公差でも、精密な電子製品用部品に使用できる形材を製造することは困難であるとされていました。

## 2.2 精密押出技術の開発内容

薄肉高精度および高意匠性のアルミニウム押出形材を得るためにには、押出条件および押出ダイス形状を最適化し、母材を押出ダイスへ均一に流入させることが重要なポイントになります。

そこで、各種押出条件を考慮した当社独自の数値解析ソフトを駆使し、押出時の母材の流入解析を実施することで材料が押出ダイスへ均一に流入する押出ダイスの設計条件を把握することが出来ました。図4および5に解析事例を示しますが、押出ダイスのオープニング近傍の

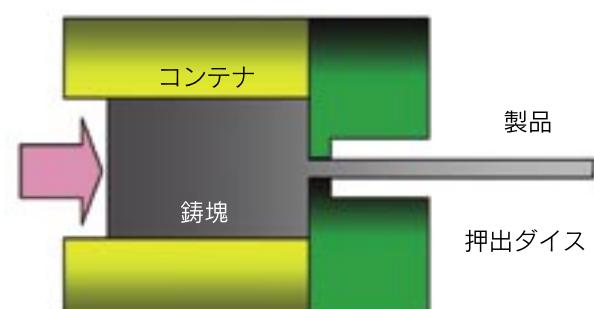


図3 押出加工の概略  
Fig.3 Schematic of extrusion.

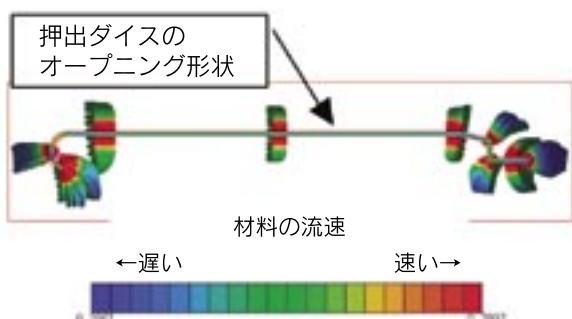


図4 数値解析による材料の流速分布解析結果-その1  
Fig.4 Numerical analysis of flow velocity distribution.(1)

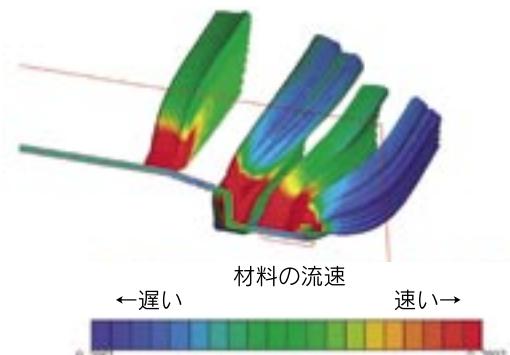


図5 数値解析による材料の流速分布解析結果-その2  
Fig.5 Numerical analysis of flow velocity distribution.(2)

材料の流速が均一であることが分かります。その最適設計条件を基に作製した押出ダイスと、実際の押出加工における各種条件(押出スピード、ビレット温度、ダイス温度等)を最適化することで、厳しい内容の要求であった寸法精度およびシャープな稜線を有する美しい表面状態を満足する、高精度かつ高意匠性を付与したアルミニウム押出形材の製造技術を確立することができました。

### 3. 精密押出形材と表面意匠性について

今回開発の対象であるパームレスト部品は下地処理としてヘアラインを採用したことから、ヘアライン加工時の研削によるシャープな稜線のダレの抑制、また形材全面への美しい均一なヘアライン加工の実施が重要な検討課題でした。そのためにも、ヘアライン加工後の表面意匠性を損なうような欠陥(ダイスマーカーや縞状模様など)のない高精度なアルミニウム押出形材が必要であり、当社が開発した精密押出技術によるアルミニウム押出形材を使用することでヘアライン加工の課題を解決することができました。稜線部の拡大写真を図6に示します。

また、図7にヘアライン加工前後の押出形材の外観を示します。板厚0.7mmの薄肉形材の各部寸法はJIS特殊級の1/2~1/5程度の精度を、特に平面部に関しては、平面度0.35mm以下を達成できたことで均一なヘアライン加工が可能となりました。また、押出形材表面の欠陥を厳しく抑制したこと、デザイン的に特徴のある



図6 稜線部拡大写真  
Fig.6 Magnified image of edge.



図7 アルミニウム押出形材  
Fig.7 Extruded bar(Upper: After hairline treatment, Lower: Extruded aluminum shape).

シャープな稜線と、ヘアラインによる美しい表面を有する、アルミニウム押出形材製のパームレスト部品が完成しました。

### 4. 今後の展開

アルミニウム押出形材は、断面に種々の形状、例えば実装基盤などの部材を押さえるためのリブ形状や、別部品を締結するためのビスホールなどを付与できるなど、部品としての機能性を向上させることができます。また今回のヘアラインのような各種下地処理と染色アルマイト処理を組合せることにより、アルミニウム材料の金属的質感を活かし、且つ、高意匠性を付与した製品を提供することが可能と考えています。

今後、更に高密度実装が要求される各種電子機器製品分野への形材部品としての展開を進め、今後もお客様のニーズにお答えした商品の開発に貢献してまいります。お困りの事案やご要望がございましたら、以下の問合せ先に是非ご連絡下さい。

### お問い合わせ先

加工品事業部 電子製品部

〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号

秋葉原UDX12階

TEL: (03) 5295-3530 FAX: (03) 5295-3766

# アルミニウムの腐食のおはなし

The Fundamentals of Corrosion of Aluminum

兒島 洋一

Yoichi Kojima

## 1. はじめに

アルミニウム(Al)に対しては“軽くてきれい”というよいイメージが定着していることはうれしい限りである。しかしながら、弊社にも、Alの腐食防食に関する一般的な相談が少なからず寄せられるのも事実である。目にする、鋳びずにきれいなAlには、多くの場合アルマイト処理・塗装等の防食被覆が施されており、これらの人工被覆が非常に有効に機能してよいイメージに貢献しているのもAlという金属材料の大きな長所であり、先達技術者の努力の恩恵である。ところが1円玉のような被覆のない裸Alとなると話は別で、上記相談に繋がる現象が多い。財布の中ではきれいであった1円玉も、水がかかったまま放置されると光沢を失い、このとき10円玉と接していたりすると短時間のうちに表面がぼろぼろになつたりする。水中に沈んでいたのを拾い上げると、下向きになって底とすきまをつくっていた面がひどくやられている場合がある。海水であった場合にはさらに激しい。これら腐食現象の理解の一助となることが本稿の目的である。

## 2. 腐食反応

### 2.1 単一電極反応

金属Alが水溶液環境におかれたとき、表面のAl原子がAlイオン( $\text{Al}^{3+}$ )となって環境中に出て行き、金属中に電子(e)を残すような酸化反応のことをアノード反応という。その逆に、環境中の $\text{Al}^{3+}$ が、金属表面でeを受け取りAl原子となって析出するような還元反応のことをカソード反応という。アノード・カソード反応は、後述する電極電位がそれ高い・低い(貴な・卑な)ほど大きい速度で進む。これら反応速度と電極電位との関係を模式的に図1に示す。両反応が同じ速度で進み、見かけは溶解・析出しない電極電位が平衡電位( $E_{\text{eq}}^{\text{Al}}$ )である。ただし、後述のごとく $E_{\text{eq}}^{\text{Al}}$ は著しく卑なため水( $\text{H}_2\text{O}$ )環境では通常は実測できず、表面をアマルガム化した場合には $E_{\text{eq}}^{\text{Al}}$ に近い電位が測定できる<sup>1)</sup>。

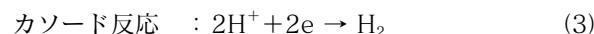
電解質を介して二電極間に電流が流れている場合、カソード・アノード反応がおこっている電極(場所)をそれぞれカソード・アノードという。電池における正(+)極、外部負荷への電流流出極がカソードで、負(-)極、電流流入極がアノードである。電気分解における陰極、外部電源からのe注入極がカソードで、陽極、e放出極がアノードである。燃料電池においても $\text{H}_2\text{O}$ の電気分解においても、酸素(O)極がカソード、水素(H)極がアノードである。eの授受方向を基準としたアノード・カソードという名称は混乱を招かない。これら電池や電気分解の各電極では、それぞれの電極電位において、基本的に一つのアノードまたはカソード反応(単一電極反応)が進行している。

### 2.2 複合電極反応

酸性水溶液に金属Al片を投入すると、次式に従ってAlの溶解と同時に水素ガス( $\text{H}_2$ )が発生する。



これは次式の素反応に分解され、模式的に図2に示される。



電極が2本あり、外部回路とeを取り交わす電池や電気分解と異なり、金属Alが単独で浸漬されている“自然浸漬”状態では、系のすべての反応は金属/液界面で起こる。このとき金属・液の両相で電気的中性条件が満たされ、金属相ではe、液相ではマイナスイオン( $X^-$ )がこれを仲立する。Alの $\text{Al}^{3+}$ への酸化で放出されるeがそつくり水素イオン( $\text{H}^+$ )の $\text{H}_2$ への還元に使われる。 $\text{H}^+$ はAlの酸化剤として、逆にAlは $\text{H}^+$ の還元剤として働くいたいう。

このときの定量的考察には、図1のような電極電位—反応速度図が有用である。Al/ $\text{Al}^{3+}$ に関する電極電位—反応速度図に、 $\text{H}_2/2\text{H}^+$ のそれを重ねて図3aに示した。この組合せの場合、 $E_{\text{eq}}^{\text{Al}}$ がHの平衡電位 $E_{\text{eq}}^{\text{H}}$ より卑なので、Alのアノード線とHのカソード線とが交点をもつ。この交点で図2に示した“腐食反応”が上記の中性条件を

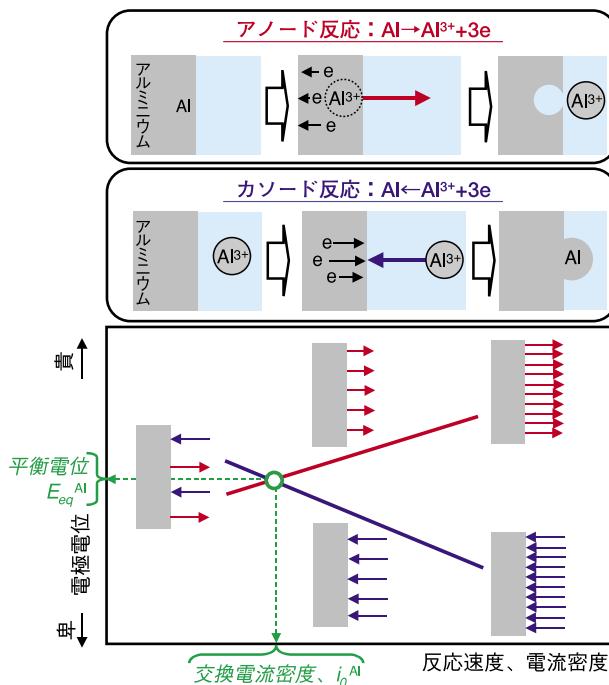


図1 アルミニウムに関するアノード反応とカソード反応、およびこれらの反応速度と電極電位との関係  
Fig.1 Anodic and cathodic reactions of aluminum, and rate of these reactions in relation to electrode potential.

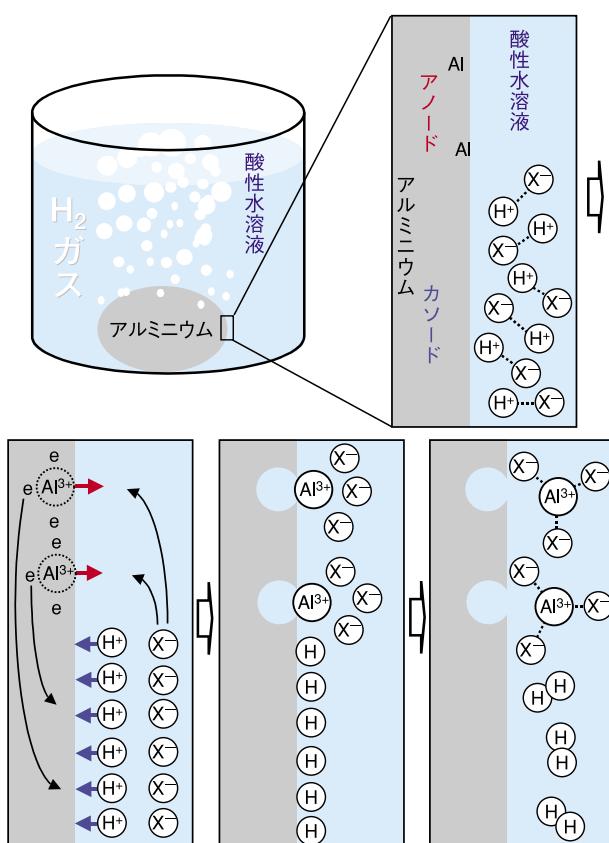


図2 酸性水溶液中アルミニウムの腐食の素反応の模式図  
Fig.2 Schematic of elementary reactions of aluminum corrosion in acid aqueous solution.

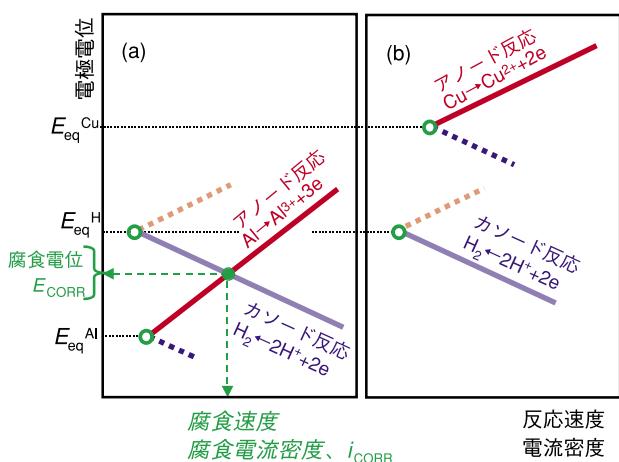


図3 (a)アルミニウムおよび水素、(b)銅および水素に関する、アノード反応およびカソード反応の反応速度と電極電位との関係の模式図  
Fig.3 Anodic and cathodic reactions of (a) aluminum and hydrogen, and (b) copper and hydrogen, and rate of these reactions in relation to electrode potential.

満たしながら自然に進行しうる。交点の反応速度が腐食速度に相当し、電極電位を腐食電位( $E_{\text{CORR}}$ )という。このように腐食反応は、アノード反応とカソード反応とを取り混ぜた少なくとも二つの単一電極反応で構成された複合電極反応である。Alを銅(Cu)にかえてHと組み合わせて図3bに示す。Cuの平衡電位( $E_{\text{eq}^{\text{Cu}}}$ )は $E_{\text{eq}^{\text{H}}}$ より貴なので、Cuのアノード線とHのカソード線とは交点をもたない。これが、CuがH<sup>+</sup>溶液環境で自然には溶解しない理由である。

### 2.3 電極反応速度

腐食反応は上述のように電極反応(電気化学反応)であるから、その反応速度は電流密度で表せる。図1、3を電極電位-電流密度図としたものを分極曲線とよぶ。アノードとカソードとでは電流の向きが逆であるが、分極曲線ではこのように電位軸に対して同じ側にかいても混乱が無く、複合電極反応である腐食反応の $E_{\text{CORR}}$ における腐食速度(腐食電流密度、 $i_{\text{CORR}}$ )の考察にはこのほうが便利である。腐食速度と電流密度との関係はファラデーの法則により与えられる。表面積 $S(\text{m}^2)$ 、原子量 $M=27$ 、密度 $\rho=2.7 \times 10^6 \text{ g/m}^3$ のAlが $n=3$ 価のイオンとして溶出し、期間 $\Delta t(\text{s})$ で $\Delta W(\text{g})$ の重量損失したときの腐食電流密度を $i(\text{A}/\text{m}^2)$ とすると、ファラデー一定数 $F=96500 \text{ C}$ を用いて、

$$n \cdot F \cdot \Delta W / M = i \cdot S \cdot \Delta t \quad (4)$$

が成立する。この関係を用いて腐食速度 $\dot{W}(\text{g}/\text{m}^2/\text{s})$ および $\dot{L}(\text{m}/\text{s})$ は、それぞれ

$$\dot{W} = \Delta W / S / \Delta t = 9.3i \times 10^{-5} \quad (5)$$

$$\dot{L} = \dot{W} / \rho = 3.5i \times 10^{-11} \quad (6)$$

となる。身近な単位では0.11mm/yが10μA/cm<sup>2</sup>に相当する。

### 3. 電極電位—pH平衡図

#### 3.1 水と酸素の環境

ある水溶液環境のもつ金属腐食性については、それが“酸性かアルカリ性か”とその“酸化力が強いか弱いか(酸化性か還元性か)”が問題となる。これらの指標がそれぞれpHと電極電位で、これらを横軸と縦軸にした図4<sup>2)</sup>中の位置でその水溶液環境の腐食性が示される。破線①, ⑥はそれぞれH, Oに関する各酸化還元反応の平衡電位で、①線が上述の $E_{eq}^H$ に相当する。これらの反応式、および、熱力学的に計算した平衡電位式を各破線の下に示した。H, OはH<sub>2</sub>O自体の構成元素であり、水溶液環境には必ず存在する。これによると、液体の水(H<sub>2</sub>O, H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>)は①・⑥間でのみ安定である。⑥線より貴側では、Oが-2価のOH<sup>-</sup>またはH<sub>2</sub>Oでは不安定で、0価の酸素ガス(O<sub>2</sub>)に酸化されうる。また①線より卑側では、Hは+1価のH<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>またはH<sub>2</sub>Oでは不安定で、0価のH<sub>2</sub>に還元されうる。つまり①線より平衡電位の卑な金属に対しては、H<sub>2</sub>O環境自体が酸化剤として働き、H<sub>2</sub>を発生させながらこれらを腐食させうる。H<sub>2</sub>Oの電気分解では、アノードおよびカソード電極がそれぞれ⑥線より貴および①線より卑な電位域に保持され、各電極からO<sub>2</sub>およびH<sub>2</sub>が発生する。

生命活動麗しき我々の地上はH<sub>2</sub>OとO<sub>2</sub>の環境である。この“地上水”的腐食性を考える。大気を構成するO<sub>2</sub>は分子のまま地上水に常温で約8mass ppm溶け込んでおり、これを溶存O<sub>2</sub>といい、多くの水中生物はこれを呼

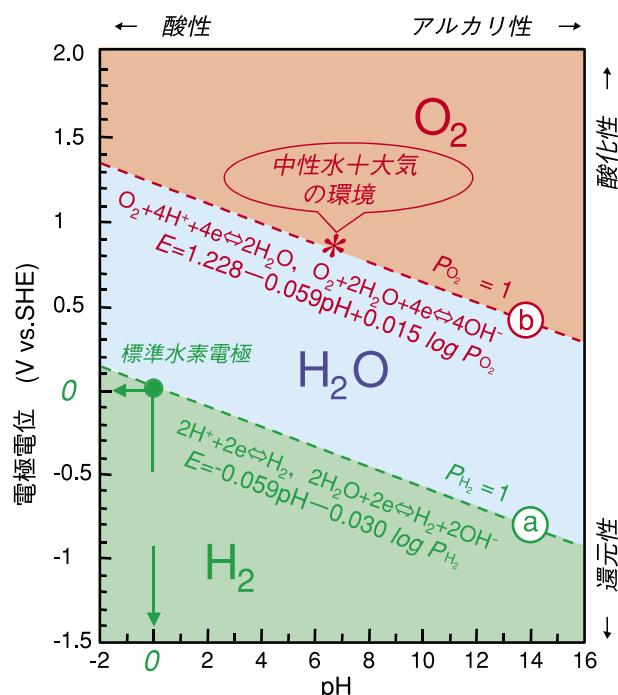


図4 水環境の特性(25°CにおけるH<sub>2</sub>Oの電位—pH平衡図<sup>2)</sup>)  
Fig.4 Characteristic of water environment (E-pH equilibrium diagram for oxygen-water-hydrogen system at 25°C).

吸している。地上水をこのようなH<sub>2</sub>O-O<sub>2</sub>環境とみると、この環境は⑥線より平衡電位の卑な金属に対して腐食性を持ちうる。すなわち溶存O<sub>2</sub>が酸化剤として働いてこれらを腐食させ、自らはOH<sup>-</sup>またはH<sub>2</sub>Oに還元される。図4中⑥線は気相O<sub>2</sub>分圧( $P_{O_2}$ )1atmの平衡電位を示す。大気では $P_{O_2}$ の低い分だけ⑥線より卑になるが、図のスケールではほぼ⑥線に一致する。こうした地上水、中性H<sub>2</sub>O-O<sub>2</sub>環境の腐食性は、図4中に\*で示した⑥線上pH=7付近である。

本稿ではこのような中性H<sub>2</sub>O-O<sub>2</sub>環境を基本的腐食環境としているが、人工環境はそこに含まれる化学成分等により、図4中の様々な特性をもちうる。たとえば燃料電池では、アノード側は還元性雰囲気、カソード側は酸化性雰囲気における腐食が問題となる。とくにセパレータなどは裏・表でそれぞれ酸化性・還元性環境に耐えうる防食設計が必要になる。

①線において、pH=0,  $P_{H_2}=1$ のときに $E=0$ (図中●)となる。すなわち電極電位は、標準状態における水素電極反応(2H<sup>+</sup>/H<sub>2</sub>)の平衡電位が基準となっており、縦軸のSHEは標準水素電極(Standard Hydrogen Electrode)を示している。このように電極電位は、物理学で用いられる真空中無限遠を基準とした内部電位とは異なるので、電極電位と呼ぶ。電極電位の物理学的概念<sup>3)</sup>を取り扱うのは難しいが、照合電極(基準電極)を用いればその測定は容易で、その測定値は腐食現象・事例の解析にとって極めて有用である。

#### 3.2 平衡図と速度論

金属が環境中で自然に腐食する可能性の有無は、これまで述べた酸化還元反応に関する平衡電位に加えて、酸塩基反応に関する平衡pHを考慮し予測する。これらを熱力学的に計算したものが電極電位—pH平衡図(E-pH図)である。H<sub>2</sub>OのE-pH図(図4)にAlのそれを重ねて図5a<sup>2)</sup>に示す。 $E_{eq}^{Al}$ は、次式で表される。

$$E_{eq}^{Al} = -1.66 + 0.0197 \log [Al^{3+}] \text{ (V vs. SHE)} \quad (7)$$

$E_{eq}^{Al}$ は環境中Al<sup>3+</sup>濃度に依存する。その他平衡電位・pH線も各イオン濃度に依存し、図中にはこれらが1および10<sup>-6</sup>Mについて示した。Al<sup>3+</sup>またはAlO<sub>2</sub><sup>-</sup>の安定条件下に金属Alをおけば、これらイオンとなって溶解腐食し、水和酸化物(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・3H<sub>2</sub>O)の安定条件下におけば、精錬前の鉱石のようになる可能性を持っている。このようにAlは、H<sub>2</sub>O安定下限界の①線よりずっと還元性域でないと金属として存在できない活性金属である。したがって、地上環境に生きる我々は金属Alを見ることができないはずである。平衡図に基づいた、Alに対する地上水環境の酸化性という見地からは確かにそうであるが、幸い我々が生息するのはAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・3H<sub>2</sub>Oの安定な中性環境である。我々の見ている金属Alは、表面にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・3H<sub>2</sub>O

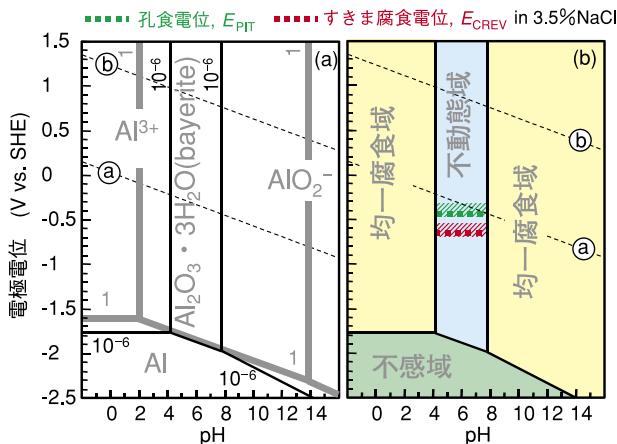


図5 アルミニウムの電位-pH平衡図<sup>2)(a)</sup>、および実測腐食領域図<sup>4)(b)</sup>

Fig.5  $E$ -pH equilibrium diagram for aluminum-water system(a), and corrosion diagram for aluminum in water environment (b) at 25°C.

の沈着皮膜をもち、これが保護皮膜として働くという“速度論的事実”的おかげで我々は長期間にわたって金属Alの存在を見ることがある。

#### 4. 耐食性の特徴

##### 4.1 耐食金属材料

Alの実測腐食領域図を図5b<sup>4)</sup>に示す。イオン濃度 $10^{-6}\text{M}$ の $E$ -pH図とほぼ対応している。 $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{AlO}_2^-$ 安定域は、図2の例のように全面が比較的早い速度で溶解する均一腐食域である。 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 安定域は、これが下地保護性を持つ不動態皮膜を形成する不動態域で、Al安定域は、金属Alが環境の腐食性に感受性をもたない不感域である。

鉄(Fe)の $E$ -pH図と炭素鋼の実測腐食領域図を図6a<sup>2)</sup>とb<sup>4)</sup>にそれぞれ示す。Feの不感域は、Alのそれよりかなり広く、これら領域の上限電位である平衡電位を比べると、 $E_{\text{eq,Al}}$ は、Feの平衡電位( $E_{\text{eq,Fe}}$ )に比べ約1Vも卑なことがわかる。鋼では、強酸環境を除いて貴電位域に不動態域が広がり、図4中に示した\*環境はこれに含まれる。このため通常環境で不動態化してもよさそうである。ところが、後述の如く速度論的事実から決まる自然電位が、不動態域の卑側に存在する均一腐食域に溜まり、鋼は不動態化できない。炭素鋼の“自然電位”<sup>5)</sup>を図6b中に示す。この自然電位の含まれる領域から、鋼は、アルカリ $\text{H}_2\text{O}-\text{O}_2$ 環境では不動態化できるが、通常の中性 $\text{H}_2\text{O}-\text{O}_2$ 環境では均一腐食する。これが“鉄は錆びやすい”という一般的なイメージの所以である。

このような炭素鋼に対し、FeにNi・Crを添加したステンレス鋼、あるいはチタン合金などは中性 $\text{H}_2\text{O}-\text{O}_2$ 環境において不動態化する。この場合速度論的に“腐食していない”とみなせる。このような金属・合金は耐食

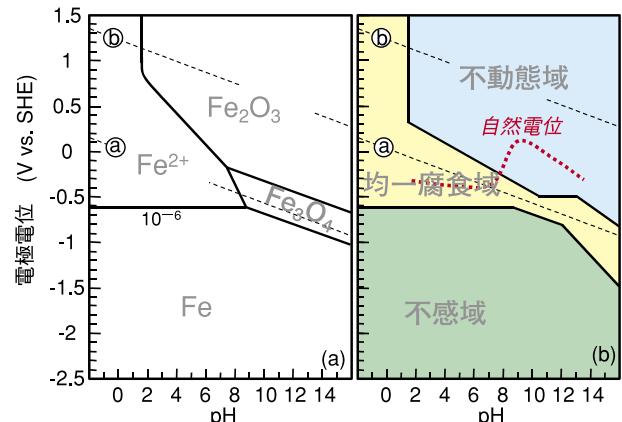


図6 鉄の電位-pH平衡図<sup>2)(a)</sup>、および炭素鋼の実測腐食領域図<sup>4)(b)</sup>

Fig.6  $E$ -pH equilibrium diagram for iron-water system (a) and corrosion diagram for steel in water environment (b) at 25°C.

金属材料とよばれ、一般に、Al合金もこれに分類されている。一方、金(Au)や白金(Pt)等の貴金属は、平衡電位が貴で、不感域が①、⑥線間の $\text{H}_2\text{O}$ 安定域をほぼ凌駕することで高い耐食性を確保している。通常環境中で均一腐食する鋼については、その均一腐食速度の容認できる使用目的では設計段階での“腐食しき”の確保で、また容認できない使用目的では防食手段でそれぞれ対処される。環境との絶縁策としての塗装、電極電位を不感域に保持する亜鉛めっき・電気防食などである。

##### 4.2 局部腐食

各種耐食金属材料は、それぞれの不動態域で不動態皮膜との複合体として使用されるべきもので、均一腐食域において全面が腐食する場合は大きな腐食速度を持ちうる。しかしながらこの不動態域も微妙である。自然環境にかならず存在する塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ )等が、不動態皮膜を局所的に攻撃破壊し、孔食・すきま腐食等の局部腐食を起こしうるからである。 $\text{Cl}^-$ を考慮していない実測腐食領域図(図5b)によると、pH4~8.5で耐食的であるが、 $\text{Cl}^-$ の存在により、この領域の貴電位側に局部腐食域が出現する。図5b中に示した緑・赤の破線の貴側に相当するが、これらに関しては後述する。孔食は不動態化した金属の自由表面で成長する侵食で、すきま腐食は不動態化金属表面に非自由表面が構成されたとき、その内部で起こる侵食である。非自由表面とは、金属表面どうし、または金属表面と別物質の表面とが接して“閉塞環境となるすきま”が構成された場合をいう。ボルト・ナットの密着部分等の構造的すきまはもちろんのこと、付着物の下なども腐食すきま(腐食を起こしているすきま)となりうる。これに対して自由表面とは、金属表面がその上にすきまを形成する物体を何ももたず、環境と接している場合をいう。

### 4.3 すきま腐食機構

すきま腐食の発生過程は図7aに概念を示すように、(1)すきま内溶存O<sub>2</sub>の消費、(2)すきま内と外との通気差電池の成立、(3)すきま内Cl<sup>-</sup>濃度上昇とpH低下、からなる<sup>5)</sup>。この各過程を以下に説明する。不動態“皮”膜は、人工的に被せた“被”覆と異なり、合金が環境との相互作用により生成した自前の皮(skin)である。したがって、生命活動における代謝のように、局所的破壊と修復が絶えず繰り返されながら維持されている。こうして速度論的には腐食していないとみなせても軽微にアノード溶解してAl<sup>3+</sup>が溶出し、これに相当する電流を不動態保持電流密度( $i_A^{\text{PASS}}$ )という。これにみあうカソード反応として、表面で溶存O<sub>2</sub>が還元されている。沖合との物質移動が制限されるすきま内では、これらのアノード・カソード反応により、Al<sup>3+</sup>が蓄積し、溶存O<sub>2</sub>は枯渇する。溶存O<sub>2</sub>枯渇後のカソード反応は主にすきま外表面で起り、アノード・カソードがすきま内・外にそれぞれ分離する。蓄積したAl<sup>3+</sup>に対して電気的中性条件を満たすために、沖合からCl<sup>-</sup>などが泳動してすきま内Cl<sup>-</sup>濃度が上昇する。さらにAl<sup>3+</sup>は加水分解してH<sup>+</sup>を放出してpHが低下する。これらが進行して不動態の維持できない高Cl<sup>-</sup>濃度・低pHが達成されるとすきま腐食が発生し、すきま内アノード溶解を外表面カソード反応が支えて成長する。

### 4.4 すきま腐食電位と孔食電位

すきま腐食の成長の可否は、すきま内のAl<sup>3+</sup>の蓄積濃度による。蓄積濃度は、Al<sup>3+</sup>のすきま内溶出速度と、すきまから沖合への流出速度との競合で決まる。図1に示した如く溶出速度は電極電位に依存し、流出量はすきまの閉塞度に律速される。したがって、すきまの閉塞度に応じて、必要なAl<sup>3+</sup>蓄積濃度となる電極電位の臨界値が存在する。これがすきま腐食電位( $E_{\text{CREV}}$ )<sup>6,7)</sup>—すきま腐食の発生・成長臨界電位—である。 $E_{\text{CREV}}$ はすきまの閉塞度がゆるいほど貴になり、最もゆるい自由表面で最も貴になることになる。孔食の開始過程では、自由表面の不動態皮膜がCl<sup>-</sup>によって局所的に破壊されたときに生じる小孔の閉塞度に応じた電極電位が必要になる。これが孔食電位( $E_{\text{PIT}}$ )—孔食の発生臨界電位—である。孔食の概念図を図7bに示した。間口の小さな食孔(孔食によって生じた孔)が深さ方向に成長した場合には、その溶解底部の閉塞度は成長に応じてきつくなる。したがって、孔食を継続できる臨界電位は、食孔が成長するほど卑になりうる<sup>8)</sup>。上述のように考えると、孔食とすきま腐食とは本質的には同じと考えられるが、すきま腐食は孔食よりも卑な電位域—酸化性のマイルドな環境条件下—で発生しうるぶんだけやつかいである。

1000・3000・5000系Al合金に関する25℃における

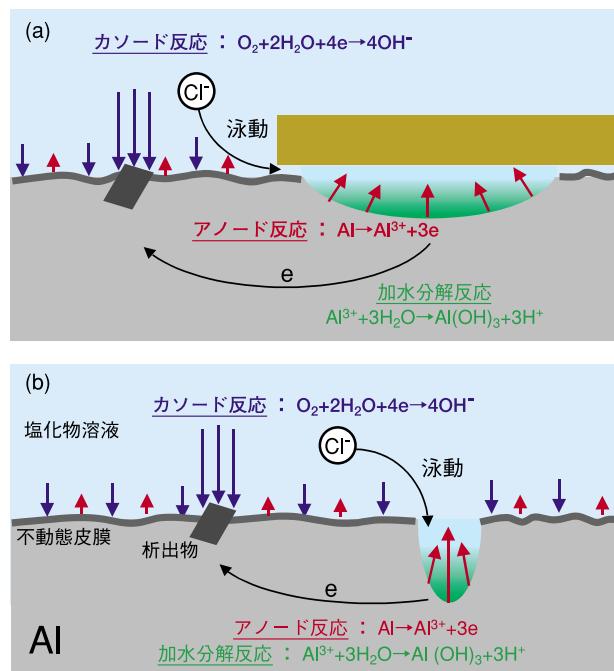


図7 すきま腐食(a)・孔食(b)の成長過程の模式図  
Fig.7 Schematic of growth process of the crevice corrosion (a) and pitting corrosion (b).

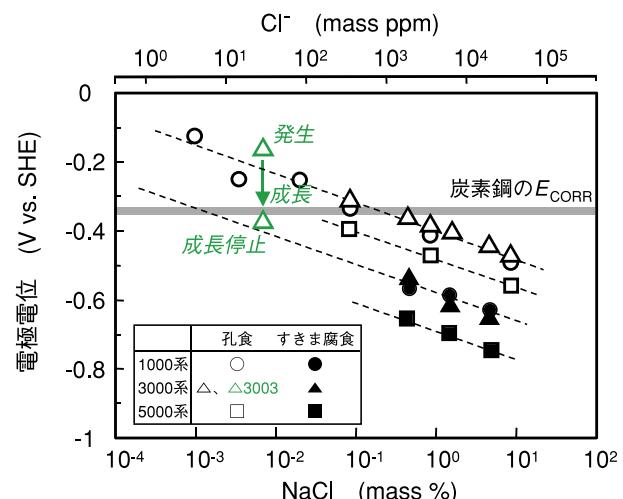


図8 孔食電位およびすきま腐食電位のNaCl濃度依存性<sup>9)</sup>  
Fig.8 NaCl concentration dependence of pitting potential and crevice corrosion potential at 25°C.

$E_{\text{PIT}}$ ・ $E_{\text{CREV}}$ のCl<sup>-</sup>濃度依存性を図8<sup>9)</sup>に示す。各電位はCl<sup>-</sup>濃度とともに卑化する。環境の局部腐食性には、Cl<sup>-</sup>濃度の影響が大きい。 $E_{\text{CREV}}$ は $E_{\text{PIT}}$ より約200mV卑である。また、各臨界電位は合金元素の影響も受け、添加元素によってある程度貴化または卑化させうる<sup>10)</sup>。図中には20ppmCl<sup>-</sup>環境中3003合金について、 $E_{\text{PIT}}$ 、および一定深さまで成長した孔食の成長に関する臨界電位を緑色の△で示した<sup>11)</sup>。孔食は $E_{\text{PIT}}$ で発生した後、成長によって、成長継続に関する臨界電位が $E_{\text{CREV}}$ に向かって卑化したことになる。このような卑化現象は、上述の、食孔の成長にともなう閉塞度の経時変化の結果と考えられる。食孔の形状は合金種と環境条件に依存する。食孔の間口が広く、成長しても閉塞度のきつくならない場合

には、成長の影響は小さい。図中の炭素鋼の $E_{\text{CORR}}$ については、4.7項で述べる。

実測腐食領域図(図5b)に、海水相当の3.5%NaCl中の $E_{\text{PIT}} \cdot E_{\text{CREV}}$ をそれぞれ緑・赤の破線で記入した。これらより貴電位域が、各局部腐食域である。同環境中SUS304L鋼の $E_{\text{PIT}}=0.5\text{V}$ 、SUS316L鋼の $E_{\text{CREV}}=0\text{V}^{12)}$ で、これらステンレス鋼と比べるとAl合金の臨界電位は著しく卑である。臨界電位以下では不動態皮膜が小さく抑えていた溶解速度も、これ以上ではその破壊により非常に大きくなりうる。Al合金の臨界電位は④線より卑で、 $\text{H}_2\text{O}-\text{O}_2$ 環境の酸化性からみるとひとたまりも無いことになる。すなわちAl表面で溶存 $\text{O}_2$ 、 $\text{H}^+$ がそれぞれの平衡電位直下から活発に還元されれば、 $\text{Cl}^-$ のない清浄環境を除いて、局部腐食は避けられない。3.2項で述べたように、著しく卑な $E_{\text{eq,Al}}$ は不動態化で乗り切ったが、局部腐食によりまたもや我々はきれいな金属Alにお目にかかれることになってしまう。

#### 4.5 自然電位

Alが他の実用合金と異なる大きな特徴に、不動態化表面での溶存 $\text{O}_2$ や $\text{H}^+$ 還元等のカソード反応が不活発なことがある<sup>10)</sup>。この原因は、Alの不動態皮膜の絶縁性の高さにあるため、高純度Alでこの傾向が強い。添加元素や不純物元素が皮膜の絶縁性を低下させたり、カソード反応の活発な析出物をつくったりしてこの傾向を弱める。逆に、こうした析出物を選択的に表面から除去するとカソード反応は不活発になる<sup>13)</sup>。Cu含有2000系合金等では、溶出した $\text{Cu}^{2+}$ が皮膜欠陥部で金属Cuとして還元析出し、そのCu表面でのカソード反応が非常に活発になる。

材料が単独で水溶液中に浸漬され、単体表面でのアノード反応とカソード反応との速度がバランスしている自然浸漬状態で示す電極電位を自然電位という。表面で均一腐食、局部腐食等を起こしている場合には先述の腐食電位、 $E_{\text{CORR}}$ 、と同義になるが、自然電位のほうが語義が広い。自然電位は、Ptのように腐食しない金属や、局部腐食を起こしていない不動態化合金に関しても使用する。この場合には $E_{\text{CORR}}$ と区別して $E_{\text{SP}}$ (Spontaneous Electrode Potential)と標記する。

Alの上述のようなカソード特性と、 $i_{\text{A}}^{\text{PASS}} \cdot E_{\text{PIT}}$ 等のアノード特性とできる自然電位を、模式図と分極曲線を用いて図9に示した。アノード電流密度は、 $E_{\text{PIT}}$ 以下では $i_{\text{A}}^{\text{PASS}}$ に抑えられ、 $E_{\text{PIT}}$ 以上で孔食電流密度( $i_{\text{A}}^{\text{PIT}}$ )が加わり急増する。このようなアノード曲線にカソード曲線を重ね、その交点によって自然電位が与えられる。高純度Alでは、不動態皮膜上のカソード電流密度( $i_{\text{C}}^{\text{PASS}}$ )が小さく、これと $i_{\text{A}}^{\text{PASS}}$ とがバランスして自然電位は $E_{\text{SP}}$ として $E_{\text{PIT}}$ より卑側にとどまる(図中①)。このような

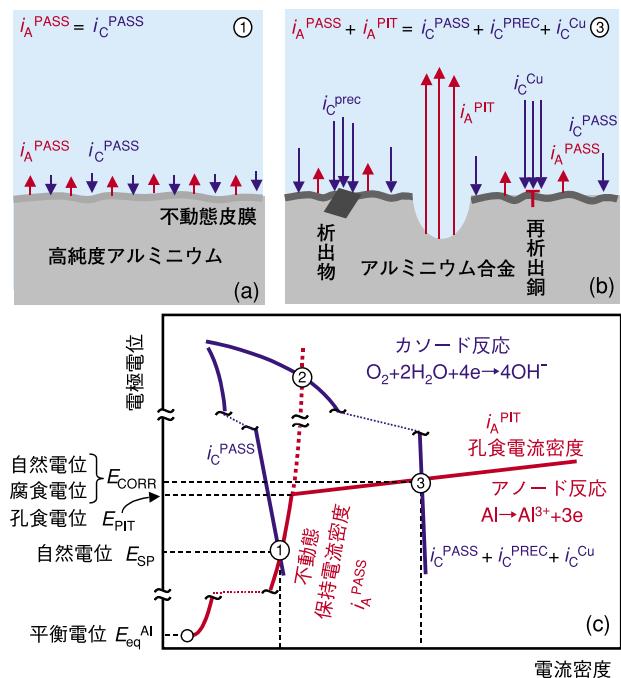


図9 孔食を起こしていない場合(a)、および起こしている場合(b)のアノード・カソード反応の模式図、およびこれらの場合の分極曲線における自然電位

Fig.9 Schematic of anodic and cathodic reactions for the fully passivated surface (a) and the pitting surface (b), and the open-circuit potentials on the polarization curves for these cases.

$E_{\text{SP}} < E_{\text{PIT}}$ の場合、孔食は起こらない。Al合金では一般的に、 $i_{\text{C}}^{\text{PASS}}$ 自体も高純度Alより大きくなり、これに析出物・再析出Cu表面上のカソード電流密度( $i_{\text{C}}^{\text{PREC}} \cdot i_{\text{C}}^{\text{Cu}}$ )が加わる。孔食の起こらない低 $\text{Cl}^-$ 濃度環境条件下であれば、 $i_{\text{A}}^{\text{PASS}}$ と $i_{\text{C}}^{\text{PASS}} \cdot i_{\text{C}}^{\text{PREC}} \cdot i_{\text{C}}^{\text{Cu}}$ の総和とがバランスするため、①にあった $E_{\text{SP}}$ は、カソード電流密度の増加とともに、環境がもつ酸化力の電極電位に向かって貴化する(図中②)。孔食の起こる環境条件下では、 $E_{\text{PIT}}$ より貴電位域で $i_{\text{A}}^{\text{PIT}}$ が急増して、カソード電流の総和と、 $i_{\text{A}}^{\text{PASS}} \cdot i_{\text{A}}^{\text{PIT}}$ の総和とがバランスする結果、自然電位は $E_{\text{CORR}}$ として $E_{\text{PIT}}$ 直上にとどまる(図中③)。

#### 4.6 防食手段

Al合金以外の耐食金属材料は、局部腐食の起こらない使用可能条件“ $E_{\text{PIT}} \cdot E_{\text{CREV}} > E_{\text{SP}}$ ”下で用いるのが基本<sup>14,15)</sup>で、特別な場合を除いて、防食手段に頼ることをしない。使用可能条件が満足されず局部腐食の懸念される場合は、合金元素添加および不純物低減による $E_{\text{PIT}} \cdot E_{\text{CREV}}$ の貴化(使用材料の高級化)で対処される場合が多い。Al合金では、上述のようなカソード反応の不活発さから $E_{\text{SP}}$ は他合金より卑で、これ自体は局部腐食感受性に対して安全側に寄与する。しかしながらAl合金の $E_{\text{PIT}} \cdot E_{\text{CREV}}$ も上述のように極めて卑であり、しかもこれらの合金元素添加による改善幅は、使用可能条件を目に見えて広げるほどではない。これに対して $E_{\text{SP}}$ は合金・不純物組成の影響を大きく受け、元素によっては容易に

貴化する。また使用合金の選定は耐食性の観点からのみなされるわけではないため、当該環境条件と選定合金によって $E_{\text{PIT}} \cdot E_{\text{CREV}}$ と $E_{\text{SP}}$ との貴卑関係は常に微妙である。上述の一般的な耐食材料の使用可能条件を厳密に適用することは、その用途を著しく限定することになる。さらに、合金種と環境条件との組合せによっては、孔食を起こさない使用条件であっても、 $i_A^{\text{PASS}}$ が大きくなり、使用目的によっては“腐食していない”とはみなせない場合もある。したがって、中性環境で不動態化し、耐食性金属材料に分類されているAl合金であっても、下に例を示す防食手段の講じられる場合が多い。これらは、使用可能条件そのものを広げるわけではなく、腐食の発生・進行を遅らせるということをその主な内容としている。

一般に、 $\text{Cl}^-$ の避けられない屋外での使用には、自然皮膜よりも厚い、陽極酸化(アルマイド)・封孔処理、および塗装からなる複合防食被覆が施される。このような被覆処理の許されない熱交換器等では、Al合金の表層に亜鉛(Zn)との合金層を与える方法がある。表層にZnを被覆またはAl-Zn合金をクラッドし、熱拡散によって表面から深さ方向へZnの濃度勾配を形成させるいわゆるZn拡散処理である。Al-Zn合金の自然電位に及ぼすZn濃度の影響を図10a<sup>16)</sup>に示す。このNaCl-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液環境ではAl-Zn合金は孔食を起こしており、これら自然電位は先述のごとく $E_{\text{CORR}}$ として $E_{\text{PIT}}$ 付近にある。すなわちZn濃度とともに $E_{\text{PIT}}$ は卑化する。したがってZn拡散層においては、Zn濃度の高い表層において $E_{\text{PIT}}$ は最も卑で深さ方向に向かってZn濃度の減少とともに貴化する。このときの孔食の進展の概略を、図10bに示す。次項述べる如く、 $E_{\text{PIT}}$ より卑な金属はより貴な金属を防食しうる。こうして、Zn拡散層においては、より表面に近いところが、より深いところを防食しうる。こうして、腐食機構を基に分類される腐食形態<sup>17)</sup>としては孔食であ

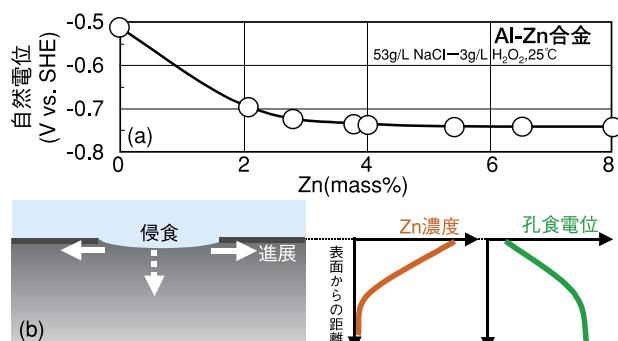


図10 NaCl-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>溶液中Al-Zn合金の自然電位に及ぼすZn濃度の影響(a)<sup>16)</sup>、およびZn拡散層における侵食進展方向・Zn濃度・孔食電位の模式図(b)

Fig.10 Open-circuit potentials in NaCl-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aqueous solution for Al-Zn alloy in relation to the Zn concentration (a)<sup>16)</sup>, and schematic of the penetration propagation for the Zn diffusion layer(b).

りながらも、侵食形状は孔状とならずに、この防食方法が完全に理想的に機能した場合には、全面が同じ速度で腐食することになる。Al合金は、合金元素により $E_{\text{PIT}}$ を貴化させることでその使用可能条件を大きく広げることはできなかったが、合金間 $E_{\text{PIT}}$ の差を利用して孔食の成長方向を制御することに成功した。この手段は、海水中炭素鋼の均一腐食等に対して適用される“腐食しろを見込んだ設計”とトタン板における亜鉛めつきの“犠牲防食”をミックスしたようなユニークな防食概念である。

#### 4.7 異種金属接触腐食

流動海水中で0.34mm/yであったAlの腐食速度が、ステンレス鋼(SUS)と接触(電気的に短絡)させた場合に3.2倍に加速されたという報告がある<sup>18)</sup>。異種金属としてSUSを想定し、AlとこれをSUSが孔食を起こすような濃厚NaCl環境において面積比1:1または1:2で接触後、および接触前単独自然浸漬の腐食条件を図11に模式的に示した。接触前の自然電位(腐食電位、 $E_{\text{CORR}}^{\text{Al}}$ および $E_{\text{CORR}}^{\text{SUS}}$ )では、Alが卑な金属、SUSが貴な金属である。接触後の腐食電位 $E_{\text{CORR}}^{\text{Al-SUS}}$ は次式の電気的中性条件を満たす電位としてくる。

$$I_{\text{A PIT,Al}} = i_{\text{C}}^{\text{Al}} \cdot S^{\text{Al}} + i_{\text{C}}^{\text{SUS}} \cdot S^{\text{SUS}} \quad (8)$$

$I_{\text{A PIT,Al}}$ は電流密度ではなくAl上の総孔食電流、 $i_{\text{C}}^{\text{Al}}$ および $i_{\text{C}}^{\text{SUS}}$ は各カソード電流密度、 $S^{\text{Al}}$ および $S^{\text{SUS}}$ は各表面積である。簡単のため不動態保持電流を0とした。 $E_{\text{CORR}}^{\text{Al}} < E_{\text{CORR}}^{\text{SUS-Al}} < E_{\text{CORR}}^{\text{SUS}}$ となり、接触によって貴な金属の電位は卑化、卑な金属の電位は貴化する。これに伴って、アノード反応は貴な金属で抑制、卑な金属で加速、その逆にカソード反応は貴な金属上で加速、卑な金属上で抑制される。このように、異種金属接触時にいずれの腐食が加速されるかは自然電位の貴卑から予測でき、より卑な金属の腐食が加速される。自然電位は、先述の如く環境中のアノード・カソード特性により決まるので、その序列は、これらの反映されていない各元素の平衡電位の序列であるイオン化列とは異なる。Al合金と他金属との組合せでは流動海水中<sup>18)</sup>、各種Al合金・化合物同士ではNaCl-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>水溶液中の自然電位<sup>16)</sup>が参考になる。しかしながら自然電位は、酸化力・pH・Cl<sup>-</sup>濃度等の環境条件の影響を大きく受けるので、可能であれば当該使用環境において実測・比較するほうが確実である。炭素鋼の $E_{\text{CORR}}$ <sup>19)</sup>を、図8中に示した。鋼は均一腐食ゆえに $E_{\text{CORR}}$ のCl<sup>-</sup>濃度依存性がない一方で、Al合金の $E_{\text{CORR}}$ はCl<sup>-</sup>濃度依存性の大きい各臨界電位の近傍にある。高Cl<sup>-</sup>濃度環境においては、鋼との接触によってAl合金は接触腐食を起こすが、低Cl<sup>-</sup>濃度では鋼との電位が逆転し、接触腐食は起こりにくくなる。

図11において、定量的に考察する。接触前は両金属とも孔食を起こしているが、 $E_{\text{CORR}}^{\text{SUS-Al}}$ はSUSの孔食電

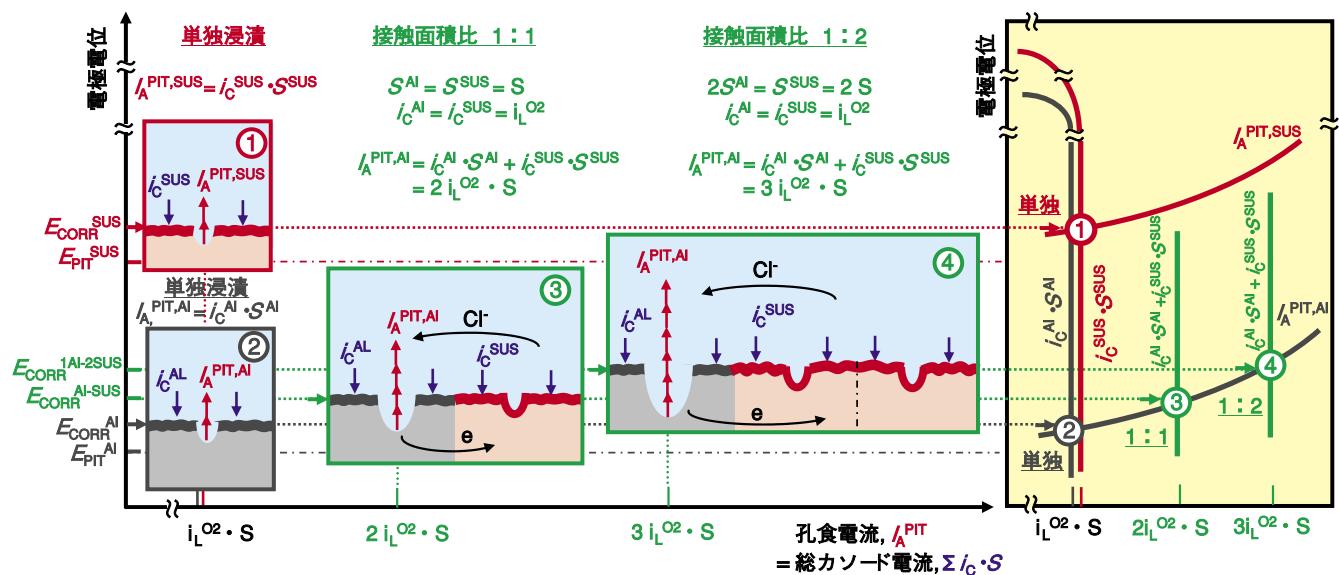


図11 アルミニウムとステンレス鋼との接触腐食における電極電位と腐食密度との関係  
Fig.11 Relationships between corrosion potentials and corrosion current for a galvanic couple of aluminum and stainless steel.

位 ( $E_{PIT,SUS}$ ) より卑になりSUSの孔食はとまる。すなわち、AlによってSUSは防食される。かわりにAlの孔食がSUSによって加速され、その速度は(8)式の  $I_A^{PIT,Al}$  で与えられる。カソード電流密度が金属および接触前後を問わず一定値 ( $i_C^{Al} = i_C^{SUS} = i_L^{O2}$ 、溶存O<sub>2</sub>還元の拡散限界電流密度) と仮定すると、 $I_A^{PIT,Al}$  は、 $S^{Al} : S^{SUS} = 1 : 1$  のとき2倍、1:2のとき3倍に加速される。両金属の面積比が重要であることがわかる。この防止策として、SUSに塗装を施して  $i_C^{SUS} = 0$  にすれば、 $I_A^{PIT,Al}$  を接触前の値に戻すことができる。逆に、腐食するからといってAlに塗装すると、孔食発生が塗装欠陥部に限られ、 $I_A^{PIT,Al}$  が数の減少した孔食に集中する結果、個々の孔食の成長速度は著しく加速される可能性がある。Al合金はその自然電位の低さから、接触腐食で被害者となる場合が多い。Al合金の、自動車等の他金属との併用環境における活躍に対する期待感の益々高まるなかで、上述のような接触腐食防止法は重要な工学的センスとなる。

## 5. おわりに

著しく卑な平衡電位・孔食電位等がAl合金特有の腐食現象を生み、生成皮膜特性の環境条件への敏感さ、多岐にわたる合金組成・制御組織などが、その現象を多様化させている。本稿では、基礎現象をご理解頂くため模式的説明に終始し、個々の現象に対して厳密さを欠いた部分も多々ある。対応できなかった現象については、機会があれば次回以降の課題とさせて頂きたい。Al合金を耐食的に用いるには、環境条件の見極め、防食手段への配慮が必須で、これらと強度等その他の要求特性とのバランスの上で材料選択せねばならないことをご理解頂けれ

ば幸いである。

## 参考文献

- 久松敬弘：電気化学，27(1959)，184.
- M. Pourbaix : Atlas of Electrochemical Equilibrium in Aqueous Solutions, Pergamon Press,(1966).
- 佐藤教男：電極化学(上)，日鉄技術情報センター,(1993),147.
- 久松敬弘：日本金属学会会報，20(1981),3.
- 腐食防食協会編：材料環境学入門，丸善,(1993),34,264.
- 辻川茂男，久松敬弘：防食技術，29 (1980),37.
- 兒島洋一，岸元 努，辻川茂男：材料と環境，45，(1996),305.
- 久松敬弘：鉄と鋼，63(1977),574.
- S. Furuya and N. Soga : Corrosion, 46(1990),989.
- 杉本克久，沢田可信：日本金属学会会報，37(1973),148.
- 当摩 建，竹内 庸：軽金属，29(1979),498.
- 腐食防食協会編：金属の腐食・防食Q&A, 丸善, (1988),128.
- 世利修美，滝川正人：日本金属学界誌，63(1999),776.
- 兒島洋一：配管技術，8(2005),1.
- Y. Kojima, S. Tsujikawa : Scientific Basis for Nuclear Waste Management XVI, MRS,(1993),311.
- E.H.Hollingsworth and H.Y.Hunsicker : in Metals Handbook, 9th Edition, 13, ASM, (1987), 583.
- M.G.Fontana and M.D.Greene:Corrosion Engineering, Mc Graw-Hill,(1967),28.
- F. L. LaQue : Marine Corrosion, Causes and Prevention, J. Wiley & Sons,(1975), 197.
- 西山貞雄，当摩 建：材料と環境，42,(1993),569.



兒島 洋一 (Yoichi Kojima, pH. D)  
工学博士 技術研究所

## Introduction of factory

### 関連会社紹介

#### 古河カラーアルミ株式会社

Furukawa Color Aluminum Co., Ltd.

### 1. はじめに

古河カラーアルミ(株)は、古河スカイ(株)100%出資のアルミニウム専門塗装工場であり、国内カラーアルミ業界トップシェア(2004年度シェア46%)を誇っています。古河スカイ(株)と協同で、アルミニウム素材の研究開発、製造から塗膜の研究開発、塗装、販売までの一貫サービス体制によりお客様の満足度向上を図り、シェアを伸ばしています。以下に古河カラーアルミ(株)の製造設備や製造工程を紹介します。

### 2. カラーアルミとは

カラーアルミは、図1に断面構造を示すように、アルミニウムに焼付け塗装を施した板や条です。アルミニウムの軽量、高耐食性、高リサイクル性を生かし、塗膜による更なる高耐食性や高意匠性、また高潤滑性塗膜や放熱性塗膜、高反射性塗膜等による高機能付加が容易である事が特徴として挙げられます。

カラーアルミの主な用途は、屋根、サイディング、天井等の建築材料、バン車、ナンバープレート等の輸送機器、パソコン部品、薄型テレビ部品、電解コンデンサケース等の電気・電子機器に分けられます。

図2に当社のカラーアルミの需要分野別出荷量の推移を示しますが、建築、輸送分野が減少傾向にあるのに対し、電気・電子機器が急激に増加しています。



図1 カラーアルミの断面構造と高機能付与  
Fig.1 Section structure and functionalization of color aluminum.



#### 【会社概要】

設立：1973年7月(操業開始：1975年1月)  
資本金：3千万円  
所在地：〒321-0905 栃木県宇都宮市平出工業団地20-2  
敷地面積：24,200m<sup>2</sup>  
売上量：1.3万トン(2004年度)  
従業員：約60名

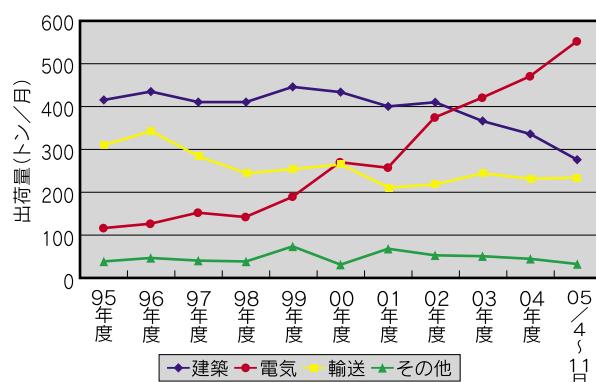


図2 当社カラーアルミの需要分野別出荷量推移  
Fig.2 Shipment of our color aluminum by demand areas and by year.

### 3. 製造工程

#### 1) 塗装(図3に塗装ライン概略図を示す)

古河スカイ(株)深谷工場で製造したアルミニウム素条を使用し、脱脂／化成処理、下塗り／焼付、上塗り／焼付の順に連続して行います。

#### 2) スリット、切断

その後、御要求により、スリットライン、切断ラインで所定サイズに加工します。

各設備の製造範囲を表1に示します。

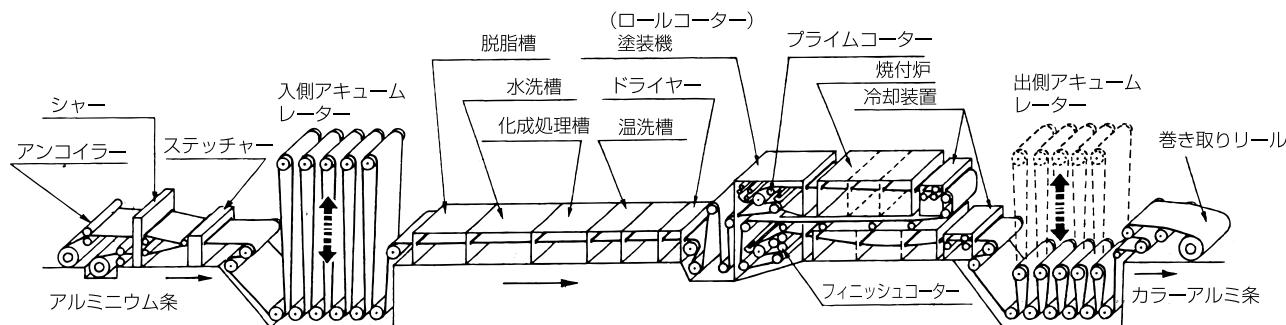


図3 塗装ライン  
Fig.3 Coating line.

表1 各設備の製造範囲

Table 1 Production range of various facilities. (mm)

項目	塗装ライン	スリットライン	切断ライン
使用材料	アルミニウム及び アルミニウム合金	塗装済アルミニウム及びアルミニウム合金	
	厚さ	0.12~2.0	0.2~1.0
	幅	630~1250	600~1270
使用塗料	熱硬化型合成樹脂塗料 (エポキシ、ポリエステル、 アクリル、フッ素等)	—	—
塗装方法	ロールコーティング方式 による2コート2ペーク	—	—
加工幅	—	150~1250	—
加工長さ	—	—	300~4000

#### 4. 塗装方法

ロールコーティング方式にはロールの回転方向によって、図4に示すようにナチュラル方式とリバース方式があります。表2に示すそれぞれの特徴を生かし、用途、仕様に応じて使い分けています。

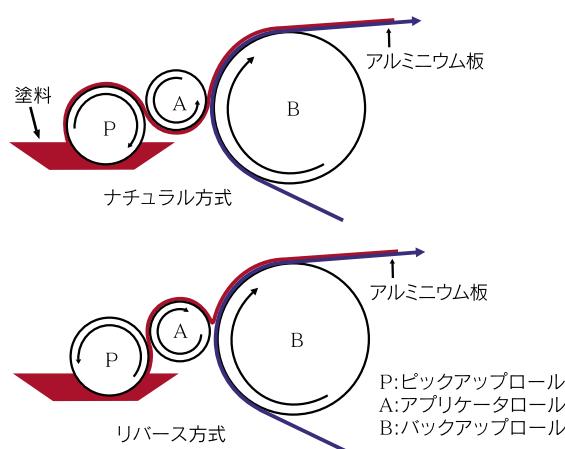


図4 ロールコーティング方式  
Fig.4 Roll coating method.

表2 各ロールコーティング方式の特徴  
Table 2 Features of roll coating method.

項目	ナチュラル方式	リバース方式
塗装表面仕上がり	粗い	平滑
塗装ロール磨耗	少ない	多い
膜厚	薄膜に適する	厚膜に適する

#### 5. 環境対応

カラーアルミはアルミニウム表面に樹脂を被覆していることや、製造工程で有機溶剤を使用することから、環境影響物質を管理する必要があります。社会の継続的発展と言う観点からも2003年にISO14001を取得し、廃棄物削減、有機溶剤のリサイクル化、塗料中有害物質削減等の活動を行っています。特に塗料中の6価クロム、鉛等は電気・電子分野や自動車分野で規制対象となることから、一部を除いてこれらを含まない塗料へ変更しています。

また、塗装下地は規制対象外の3価クロムを含むリン酸クロメート皮膜を使用していますが、全くクロムを含まない皮膜の開発も進めています。

#### 6. 製品使用例

古河スカイブランドのカラーアルミ「ファスコートシリーズ」の電気・電子機器分野での使用例を図5に示します。



図5 ファスコートシリーズの使用例  
Fig.5 Uses of FUSCOAT series.

## Introduction of factory

### 関連会社紹介

#### VCW工場 (ベトナム)

VCW Plant (Vietnam)

#### 1. はじめに

VCW工場は、Vietnam : Compressor : Wheelの頭文字を採って名付けられ、その名の通り自動車用アルミ精密鋳物部品である、「コンプレッサホイール(コンプレッサーとも呼ぶ。以下コンプレッサホイールと表記する)」(図1)を製造する工場です。

コンプレッサホイールは、自動車用ターボチャージャに使用され、圧縮空気をエンジンシリンダ内に供給する部品であり、鋳物でありながら優れた強度や疲労特性に加えて厳しい寸法公差、動的バランス特性が求められます。このため、本製品を製造できるメーカーは世界でも数社しかいません。

VCW工場は古河スカイ(株)小山工場(栃木県小山市)で長年蓄積したコンプレッサホイールの設計技術、製造技術、品質管理を基盤として、コストミニマムを求めてここベトナムの地に進出しました。



図1 コンプレッサホイール  
Fig.1 Compressor wheel.

#### 2. VCW工場の沿革

VCW工場は2003年4月に設立されました。ベトナムへの進出にあたっては、既に現地進出していた古河電気工業株式会社の関係会社「古河オートモーティブパート社」(本社:滋賀県犬上郡)の子会社である「Furukawa Automotive Parts (Vietnam) Inc.」(本社ホーチミン市)



#### 【会社概要】

設立: 2003年4月(操業開始:2003年9月)  
所在地: ベトナムホーチミン市7区  
タントワン輸出加工区14-16通り  
敷地面積: 4,212m<sup>2</sup>(VCW工場のみ)  
生産量: 月産30万個(2005年11月現在)  
従業員: 約200名

に製造を委託する形で、同敷地内に工場を併設しました。日本人駐在員5名を中心に日本の小山工場で研修した、ベトナム人の現地スタッフとワーカーで、日本からの支援の元、工場の立上げを実施し、現在に至ります。以下に、VCW工場の沿革を示します。

- 2003年 8月 工場開所式
- 2003年10月 少量量産開始
- 2004年 2月 月産10万個達成
- 2004年 6月 月産15万個達成
- 2004年 9月 ISO9001認証取得
- 2005年 6月 月産25万個達成
- 2005年11月 月産30万個達成

#### 3. コンプレッサホイールの製造

##### 3.1 使用合金と調質

###### 1) 合金

コンプレッサホイールには、強度および鋳造性のバランスからAl-Si-Cu-Mg合金である354.0, C355.0合金(AA規格)が主に使用されます。化学成分の代表値

は、以下の通りです。

354.0 : Al-9%Si-1.8%Cu-0.5%Mg

C355.0 : Al-5%Si-1.3%Cu-0.5%Mg

## 2) 調質

調質はT61(溶体化処理・人工時効処理)を用います。

### 3.2 製造工程

コンプレッサホイールの代表的製造工程を以下に示します。

①マスター モデル製作(5軸NC旋盤)

②電鋳型製作

③ゴム型製作

④石膏型製作

⑤石膏型乾燥焼成

⑥鋳造

⑦仕上げ(口切り、洗浄)

⑧熱処理(溶体化)

⑨矯正

⑩熱処理(人工時効処理)

⑪検査

これらのコンプレッサホイール製造工程の中でVCW工場では、③のゴム型製作以降の製造を行っています。①～②の工程は、小山工場にて実施しており、VCW工場は小山工場から送られる鋳型をもとに大量かつ安価に製造するのがその役目です。

### 3.3 製品品質

コンプレッサホイールに要求される特性には、さまざまなものがありますが、ターボチャージャの特徴である高回転下における製品の信頼性が品質における重要ポイントとなります。そのためには高強度、高寸法精度に加えて内部品質の健全性が必要です。VCW工場では小山工場から受け継いだ低圧鋳造技術に加えて、溶湯の酸化防止のために窒素ガスを用いた加圧方式を採用して、一歩進んだ製品品質の作りこみを行っており関係各方面から良好な評価をいただいております。

## 4. 新会社設立のお知らせ

VCW工場は現在月産30万個の能力を有していますが、今後大きな需要の伸びが予想される自動車用アルミ精密鋳物部品事業へ積極的に対応し、製造拠点の拡充を図る目的で、現地法人「フルカワスカイ・アルミニウム・ベトナム社」(Furukawa-Sky Aluminum (Vietnam) Inc.)を設立しました。新会社は、現VCW工場と同じタントワン輸出加工区内に新たに土地を購入して自社工場を立ち上げることになります。新工場立上げ後のベトナムにおけるコンプレッサホイールの月産能力は、2008年の段階で70万個を計画しています。

## 【新会社概要】

設立：2006年1月11日

資本金：600万USドル

出資比率：古河スカイ株式会社 100%

敷地面積：27,009.5m<sup>2</sup>

稼働：2007年1月予定

## 5. おわりに

ベトナムには2つの季節しかありません。1つは乾季でありもう1つは雨季です。年中夏のこの国では時の過ぎる感覚がなくなります。したがって駐在員は“今、日本は春だよなあ！”とか言いながら自分なりに時の感覚を保っています。また赤道近くのこの国では、太陽が真正上にあるため自分の影がとても短く、一見影がないように見えます。したがってちょっと油断していると日焼けで真っ黒になるため、日焼け止めは必需品です。ベトナムでは昼寝の習慣があり、昼食後のわずか10分でも昼寝をとります。これは暑い国ならではの体力回復のよい習慣ですが、日本人にはなじみがないせいか、なかなか真似ができません。

しかしながら、駐在員は、現地従業員の模範となるべく誰よりも朝早く出勤し、かつ現地従業員が帰るまで帰らないことを実践しています。自己満足かも知れませんが、こうした姿勢は必ず役に立つ時がくると信じています。

今日も一日“笑顔、感謝、謙虚”を忘れずに頑張るぞと言い聞かせて、駐在員は工場に向かいます。



### トピックス

## 全日本学生フォーミュラ大会とアルミニウム材料

The Student Formula SAE Competition of Japan and Aluminum Materials

全日本学生フォーミュラ大会は、自動車産業の発展と人材育成のために社団法人 自動車技術会が主催し、学生たちの自主的なものづくりの総合能力を養成するものです。週末にアマチュアが趣味でレースを行うレーシングカー製作を課題とし、設計思想、価格(1台325万円以下)、安全性、走行性能など、総合的な評価をします。本大会は、車両製作を通して、技術者として必要となる実践的な問題解決力や応用力、コスト意識、マネジメント能力などを身につける「ものづくり育成の場」となるものです。日本では2003年から開催され第3回を迎えたが、米国では20年以上もの歴史があります。

車両設計の大きなポイントは、車体の軽量化を達成することで、アルミニウムをいかに使いこなすかが勝負です。当社はアルミニウムの総合メーカーとして、昨年より学生たちの自主的な活動を支援してきました。そして支援先の一つである金沢大学フォーミュラ研究会が、第3回大会で見事に総合1位を獲得しました。チームリーダーを務めた金沢大学工学部の中尾君に、アルミニウム材料の有効性について体験談をいただきましたので、以下にご紹介いたします。

2005年9月、第3回大会



レーシングカーを囲む優勝した  
金沢大学フォーミュラ研究会



## ＝「金沢大学フォーミュラ研究会」におけるアルミニウム材料の使用事例＝

2005年度Kanazawa Univ.  
Formula R&Dチームリーダー

中尾 仁



### 1. アルミニウム材料の必要性

車両の重量は加速性、旋回性、制動性などの走る、曲がる、止まるという基本的な走行性能に大きく影響するため、レーシングカーの設計において軽量化は最も重要な課題の一つです。私たちはこのことを念頭に置き、各々のパーツを耐久性とコストを考慮した上で如何に軽く作るかを目標として車両の設計を行ってきました。

通常は、ある程度の強度があり安価で溶接性の良い鉄を使用しているものの、重いというデメリットがあります。PCベースの強度解析ソフトを設計に生かしており、解析の結果、鉄では大幅な軽量化が困難でかつ過強度であった場合、アルミニウム化による軽量化を図ってきました。

アルミニウムは切削性が優れているため、溶接などの固定用治具を製作する際に鉄に比べて切削時間が短縮でき、限られた時間で活動している私たちにとっては大変助かります。また車両の軽量化、製作時間の短縮に大きく貢献する材料として欠かせないものです。その一例を下に示します。

### 2. 課題

アルミニウムの使用で苦労しているのが溶接。燃料タンクはアルミニウム板を貼り合わせて製作していますが、溶接の安定性のためにアルミニウム板の肉厚を厚めにとり製作しています。アルミニウム溶接がうまくできるようになれば、燃料タンクの薄肉化などアルミニウム部材の使用範囲が拡大すると考えています。

### 3. おわりに

アルミニウムは鉄に比べて高価であるため、使用用途は限られていきました。またアルミニウムの特性や具体的な使い方を知る機会がなく、アルミニウムを有効に活用できていない可能性もあります。古河スカイ様には2005年度、アルミニウム部材をご支援頂き大変感謝しております。今後は技術的なアドバイス等のご支援を頂ければ幸いです。

アルミニウムの特性を学び、有効に活用することで、車両のさらなる性能向上を図りたいと思います。

2005年度車両アルミニウム使用例



スロットルボディ



Lデフホルダー

## Topics

### トピックス

## 光ダクトシステム実証実験住宅

Experimental House with Mirror Duct System

### 1. はじめに

昨年4月、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)殿より「平成17年度民生部門等地球温暖化対策実証モデル評価事業」の公募があり、当社は日建設計、マテリアルハウス、日建ハウジングシステム、東陶機器殿とともに「新分野光ダクトシステムフィールドテスト及び量産化開発」というテーマで応募し、7月認可をいただきました。

本住宅はその一貫としてNEDO殿の補助のもと建設したもので、昨年12月当社深谷工場内に完成以降、「光ダクトシステムによる自然採光のメリットの実証」を目的として、各種測定、実験を行っています。図1にその外観を示します。



図1 実証実験住宅の外観(手前は守衛所)  
Fig.1 Appearance of experimental house.

### 2. 光ダクトシステムの概要

光ダクトシステムは、屋外の自然光を屋内に取り込むことにより、昼間の点灯を減少させることによる「省エネルギー効果」が得られるだけでなく、屋内でありながら自然光による心地よさが得られるなどの「住空間の質の向上」も期待されています。

図2に光ダクトシステムの概要を示します。本システムは、自然光を取り込む採光部、取り込んだ光を所定の場所まで運ぶ導光部、その光を所定の場所で放出する放光部から構成されています。その中で導光部、放光部では反射性のアルミニウム板が用いられています。

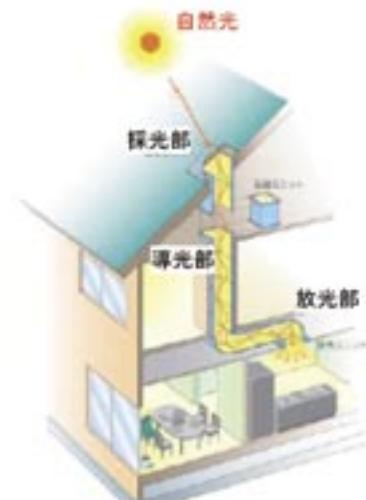


図2 光ダクトシステムの概要  
Fig.2 Outline of mirror duct system.

### 3. 実証実験住宅の内容

本住宅は、地上2階、総床面積140m<sup>2</sup>であり、図3に示すように1階は玄関ホール、居間兼食堂、廊下、台所、トイレ、洗面所、浴室で構成され、玄関ホールを除いて同じ作りの部屋を左右対称に二間ずつ設けており、それぞれ光ダクト導入、非導入とすることにより、その効果を比較確認することができます。設置した光ダクトの仕様は、一般型が4本、殺菌・衛生型4本、屋外型と洗面台用が各1台となっています。なお、居間兼食堂には各種試験を行うスペースも設けています。



図3 住宅1階の平面図  
Fig.3 Ground plan of experimental house.



図4 玄関ホール左の植栽  
Fig.4 Plants at left side of porch.



図5 居間兼食堂  
Fig.5 Room used both for sitting room and for dining room.

玄関を入ると玄関ホール左に図4のような植栽を設けました。光ダクトを植栽の上に取り付けることにより、省エネだけでなく、植物の生育状態への効果についても期待しています。

玄関ホール正面は図5のような居間兼食堂です。部屋の中央とテーブルの上に光ダクトを設けることにより、自然光による快適性も狙っています。

台所、トイレ、洗面所、浴室を図6～図9に示します。各室の光ダクトは、より紫外線を導入しやすいタイプであり、殺菌・衛生効果という付加価値を実証しています。特に浴室では、光触媒加工を施したタイルを使用しており更なる効果が期待できます。

なお、図8に示すように、洗面所では洗面化粧台に取り付けた鏡の後ろにも光ダクトを設けました。これは、化粧を自然光のもとで行うことで、より自然に近い状態に仕上がる事が期待されるからです。

#### 4. 測定および実験内容

前述のように、光ダクトは省エネルギー効果だけではなく、快適性、殺菌・衛生効果などが期待されています。住宅完成以降、各種測定・実験を行っていますが、事前の計画、準備を含めて、早稲田大学理工学部建築学科田辺研究室には多大の協力をいただいています。

実施内容としては、気象観測、採光性能、省エネルギー(照明消費電力)評価のほか、図10に示すように被験者による「自然光による快適性」、「食材、料理、服装における色評価」、「化粧」などの評価も行っています。

#### 5. おわりに

光ダクトは、昨今注目されている省エネ、環境問題、人への優しさなどに対して有効なシステムであると考え



図6 台所  
Fig.6 Kitchen.



図7 トイレ  
Fig.7 Toilet room.



図8 洗面所  
Fig.8 Room with washstand.



図9 浴室  
Fig.9 Bath room.



図10 被験者実験  
Fig.10 Subjective Experiment.

られることから、本住宅を活用してその効果を実証したいと考えています。

金属の中でもアルミニウムは地球環境に優しい材料です。当社は、光ダクトに適したアルミニウム材料を提供することにより、社会貢献に取り組んでいく所存です。

#### お問い合わせ先

加工品事業部

〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号

秋葉原UDX12階

TEL: (03) 5295-3538 FAX: (03) 5295-3766

## Topics

### トピックス

#### 古河スカイ上場記念コンサート・本社移転のお知らせ

Commemoration of Tokyo Stock Exchange Listed Concert &  
Information of Headquarter Shifted

#### 古河スカイ上場記念コンサート

当社は上場を記念して、4月8日サントリーホールにて古河スカイクラシック・スペシャルと題して、日本フィルハーモニー交響楽団第306回名曲コンサートに協賛しました。

＜演目＞

- オペラ『ルスランとリュドミラ』序曲(グリンカ)
- ピアノ協奏曲第2番(ショパン)
- 組曲『展覧会の絵』(ムソルグ斯基)

小林研一郎氏(日本フィル音楽監督)の指揮、梯剛之氏のピアノにより、オーケストラの華麗な演奏が行われ、観客誰もが名曲の調べに耳を傾けました。



#### 本社移転のお知らせ

古河スカイ本社は、ワンフロア化により本社機能の効率化を図るため、2月20日秋葉原駅前の秋葉原UDXに移転しました。

●新所在地

〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号  
秋葉原UDX 12階

●新電話番号

03-5295-3800 (代表)



## 編集後記

1年前の『Furukawa-Sky Review』創刊号発刊から早いもので、第2号発刊を迎えました。この間、古河スカイは2005年12月2日をもちまして、東京証券取引所市場第一部へ上場いたしました。また本年、2月には本社オフィスを錦糸町から秋葉原に移転いたしました。これもひとえに、皆様のご支援の賜物と心より感謝申し上げます。

これを機に、上場会社としての社会的責任を自覚し、皆様のご期待に沿えますよう努力を続ける所存でございます。今後とも引き続き、ご支援ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

『Furukawa-Sky Review』第2号をお届け致します。

第2号は読者の皆様からのアンケートご回答内容を参考とさせていただき、解説記事、製品紹介、関連会社・工場紹介、トピックスなど、気軽に読みいただける記事を多数掲載いたしました。誌面の制約で、当社の技術・製品の一端をご紹介するに止まりましたが、内容についてのご質問、ご意見、ご要望等ございましたら、忌憚なく担当者までお問い合わせください。

『Furukawa-Sky Review』を皆様方にご愛読いただけるように、編集委員一同、魅力的な誌面づくりを心掛けてまいりますので、今後もより一層のご指導、ご助言をお願い致します。

編集委員一同

## Furukawa-Sky Review No.2

(2006年4月1日発行)

## Furukawa-Sky Review 編集委員会

委員長 西辻孝三  
委 員 亀井信哉 難波江元広 倉田正裕  
岸野邦彦 東海林 了 爲本崇史  
仁木和寿  
幹 事 石川和徳 澤地 隆 三浦央子

発行所  古河スカイ株式会社

〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号 秋葉原UDX12階

TEL : (03) 5295-3800 FAX : (03) 5295-3760

編集発行人 西辻孝三

編集 Furukawa-Sky Review 編集委員会

製作 株式会社スノウ

(禁無断転載)

# Always With You

私たち古河スカイは、日本最大のアルミ圧延メーカーとして、幅広い産業分野のお客様とともにアルミニウムがもつ無限の可能性を追究し、“新たな価値”を創造し続けていきます。

## 輸送分野



軽量で、強度・剛性に優れたアルミニウム材料は、鉄道車両や船舶の加速度性能の向上やエネルギー効率の向上に貢献してきたほか、近年では、ハイブリッド自動車の駆動モータのパワーアップや省エネ化のキーパーツとなるアルミ電解コンデンサにも広く使われています。

- 自動車熱交換器
- 自動車ボディ
- ターボチャージャ用インペラ
- 鉄道車両
- 船舶
- 航空機

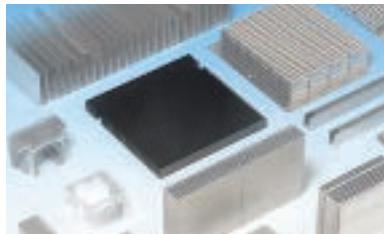
## 生活関連分野



リサイクル率に優れ、省エネにも大きく寄与するアルミニ缶は、ビールや清涼飲料水などに広く使われています。また、鉄の約3.1倍という熱伝導率の高さをもつことから、高性能化、省エネ化が求められるエアコンの熱交換機としての需要も高まっています。

- アルミ缶
- 食品用箔
- 医薬用箔
- 家電
- スポーツ・レジャー

## 産業分野



品質安定性やコストパフォーマンスに優れた小型・大容量のコンデンサ（蓄電器）として、また、軽量で、放熱性や加工性、意匠性に優れた筐体として、アルミニウムはパソコンや携帯電話、デジタルカメラなどのエレクトロニクス機器に幅広く用いられています。

- PS版(オフセット印刷用刷版)
- 複写機ドラム
- 電解コンデンサ
- ヒートシンク
- メモリーディスク基板
- 真空容器

## 建築分野



アルミニウム材料は、表面処理を施すことでさまざまな色や質感を表現できるほか、建築物に求められる気密性、遮音性、断熱性、耐火性などにも優れることから、高層ビルのカーテンウォールやガラスドームの骨材、住宅の建材やエクステリア製品などに活用されています。

- カーテンウォール
- 内外装
- 屋根
- サッシ
- 高欄
- 標識

# 古河スカイ株式会社

本 社 〒101-8970 東京都千代田区外神田4丁目14番1号  
秋葉原UDX12階  
TEL: (03) 5295-3800 FAX: (03) 5295-3760

工 場  
福 井 〒913-8588 福井県坂井市三国町黒目21-1番地  
TEL: (0776) 82-5840 FAX: (0776) 81-6022

深 谷 〒366-8511 埼玉県深谷市上野台1351番地  
TEL: (048) 572-1311 FAX: (048) 573-4162

日 光 〒321-1443 栃木県日光市清滝桜ヶ丘町1番地  
TEL: (0288) 54-0567 FAX: (0288) 53-3329

小 山 〒323-0812 栃木県小山市大字土塔560番地  
TEL: (0285) 23-2111 FAX: (0285) 22-1668

滋 賀 〒523-0021 滋賀県近江八幡市長福寺町172番地  
TEL: (0748) 38-1300 FAX: (0748) 37-8423

## 営業拠点

関 西 〒530-0004 大阪府大阪市北区堂島浜2丁目1番29号  
古河ビル6階  
TEL: (06) 4797-7300 FAX: (06) 4797-7327

中 部 〒461-0005 愛知県名古屋市東区東桜1丁目14番25号  
テレビアビル8階  
TEL: (052) 955-6680 FAX: (052) 955-6683

九 州 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前3丁目2番1号  
日本生命博多駅前ビル3階  
TEL: (092) 436-3341 FAX: (092) 436-3349

## 関連会社

株式会社A C E 21  
株式会社エルコンボ  
株式会社システムスカイ  
スカイサービス株式会社  
株式会社ニッケイ加工  
日本製箔株式会社  
東日本鍛造株式会社  
古河カラーアルミ株式会社  
古河スカイ滋賀株式会社  
古河スカイテクノ株式会社  
株式会社山田軽金属製作所  
Furukawa-Sky Aluminum (Tianjin) Corp.  
Furukawa-Sky Aluminum (Vietnam) Inc.  
PT. Furukawa Indal Aluminum (50音順)



<http://www.furukawa-sky.co.jp/>



植物性大豆油インキを使用しています



古紙配合率100%の再生紙を使用しています