

6N01 アルミニウム合金押出材の高温変形挙動 に及ぼす溶着部の影響*

安田 晋也 **, 熱田 賢 ***, 若栗 聡史 ****, 一谷 幸司 ***, 日比野 旭 *****

Effects of a Seam Weld on a High Temperature Deformation Behavior in an Extruded 6N01 Aluminum Alloy*

Shinya Yasuda **, Ken Atsuta ***, Satoshi Wakaguri ****, Koji Ichitani *** and Akira Hibino *****

An aluminum alloy hollow extrusion made with a porthole-die has a few seam welds. It is known that the deformation behavior of a weld region is different from that of a non-weld region at room temperature. In the present study, the influence of a seam weld on the high temperature deformation of a 6N01 aluminum alloy extrusion bar was investigated. The elongation of the alloy with the seam weld was significantly lower than that of the alloy without the weld. This was because the alloy with the seam weld started local necking at a very early stage of deformation. An orientation analysis with an electron backscatter diffraction suggested that a difference in recrystallization texture between the weld and the non-weld regions would accelerate the start of a local necking.

Keywords: extrusion, high temperature deformation, crystal orientation

1. 緒言

自動車用部品の軽量化に伴い、アルミニウム合金押出材が多く利用されており、6000系アルミニウム合金の中空押出材の成形には、一般的にポートホール(PH)押出法が用いられている。PH押出法では、ビレットのメタルはオス型のブリッジによって押出方向に沿って一旦分断されて、オス型のマンドレル部とメス型のダイス部との隙間から押出される際に、圧力と塑性変形で再度一体化して中空材が形成される。この一体化した箇所は溶着部と呼ばれ、非溶着部とは異なる変形挙動を示すことが知られている¹⁾。これまで、室温での変形挙動について、溶着部、非溶着部で形成される不均一な組織形態の影響が指摘されており、再結

晶・未再結晶組織の2相領域による影響などが報告されている²⁾。しかしながら、高温変形挙動に及ぼす溶着部の影響についての詳細な報告は少ない。

本研究では、高温変形挙動に及ぼす溶着部の影響を明らかにすることを目的として、押出性や溶接性に優れる6N01アルミニウム合金PH押出材を供試材として用い、溶着部有無による高温引張特性、特に溶着部周りで集合組織との関連性について調査を行った。

2. 実験方法

本実験に用いた供試材の化学組成を **Table 1** に示す。DC 鋳造された合金を均質化処理した後、温度773 K、速度15 m/minにて板幅中央に溶着線を有する板厚

* 本稿の主要部分は、軽金属, 64(2014), 191-194に掲載

The main part of this paper has been published in "J. JILM, 64(2014) 191-194".

** (株)UACJ 福井製造所 品質保証部

Quality Assurance Department, Fukui Works Production Division, UACJ Corporation

*** (株)UACJ 技術開発研究所 名古屋センター 第六部

No. 6 Department, Nagoya Center, Research & Development Division, UACJ Corporation

**** (株)UACJ 押出加工小山 製造部

Production Department, UACJ Extrusion Oyama Corporation

***** (株)UACJ 技術開発研究所 深谷センター 第一部

No. 1 Department, Fukaya Center, Research & Development Division, UACJ Corporation

3 mm, 板幅200 mmの平板に押出した。高温引張試験片の形状を Fig. 1 に示す。高温引張試験片は、平行部長さ30 mm, 平行部幅8 mmで、その長手方向が押出方向と直行する方向とし、平行部中央に溶着部(図中、逆三角形にて示す)を含むものを溶着材、溶着部を含まないものを非溶着材として採取した。

高温引張試験は、温度803 K, 初期歪速度一定の0.01 /sとして、伸び20, 40%および60%までの引張中断試験、および破断試験を行った。また、各種高温引張後試験片にて形状測定機(Mitutoyo CONTRACER CV-3100)により試験片長手方向での板厚の変位を測定した。さらに、各種高温引張前後の溶着部および非溶

Table 1 Chemical compositions of the alloy used. (mass%)

Alloy	Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Al
6N01	0.68	0.58	0.20	0.12	0.06	0.06	bal.

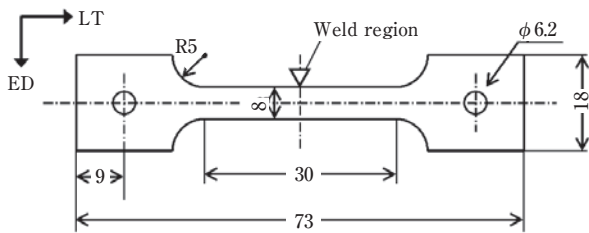


Fig. 1 The shape for the high temperature tensile test specimen.

着部における押出方向直角断面のマクロ組織観察, EPMA分析(日本電子JXA-8200), ビッカース硬さ試験(AKASHI MVK-G2)などを行い、加えてEBSD測定(日本電子JSM-6510/MSC2200)により各主要方位成分を理想方位からの傾角15°以内を同一方位成分として調査した。ここで、EBSD測定は板幅方向と直交する断面に対して機械研磨に続いてケラー氏液(HF:1.0%, HNO₃:2.5%, HCl:1.5%, H₂O:95%)で15 sエッチングした後、熱処理した全板厚×400 μmの領域をステップサイズ3 μmで測定した。

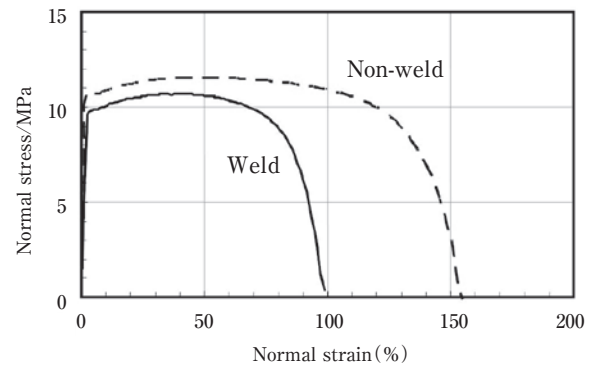


Fig. 2 The nominal stress versus nominal strain curves of the weld specimen and the non-weld specimen from the high temperature tensile tests.

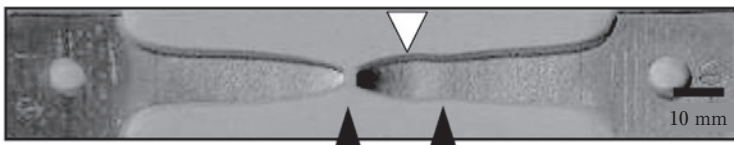
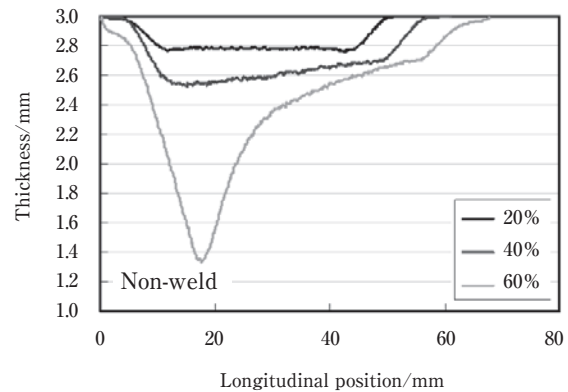
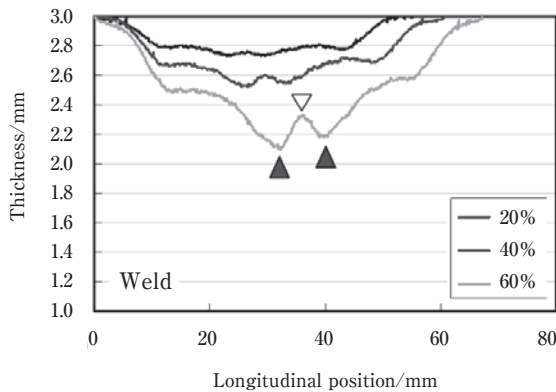


Fig. 3 The measured thickness distribution of the weld specimen and the non-weld specimen along the tensile direction at nominal strain of 20%, 40% and 60%. The photo shows the weld specimen after the fracture.

3. 結果および考察

3.1 高温引張試験

高温引張試験によって得られた溶着材および非溶着材の応力-歪曲線を Fig. 2 に示す。非溶着材の破断伸びは約160%であるのに対し、溶着材の破断伸びは約100%低い。溶着材および非溶着材を伸び20%、40%および60%まで変形させ、試験片長手方向の板厚分布を測定した結果を Fig. 3 に示す。非溶着材では、伸び40%までは試験片平行部でほぼ均一変形しており、伸び60%では試験片平行部の一端で応力集中しているのが確認できる。一方、溶着材では、伸び20%の変形早期において溶着部近傍での板厚減少が確認され、さらに伸び40%や60%では、溶着部両脇における顕著なくびれの発生が確認できる。溶着材における伸びの著しい低下は、このくびれの早期発生によるものと考えられる。

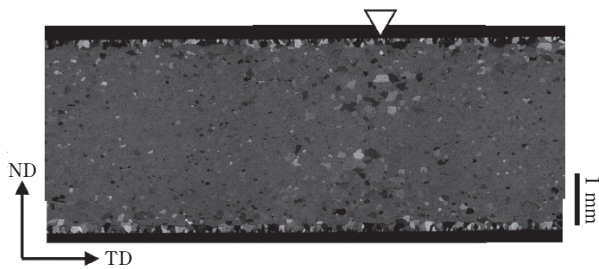


Fig. 4 Optical micrograph of cross section perpendicular to the extrusion direction.

3.2 溶着部組織と特性

溶着部周りでのくびれ発生の原因解明のため、溶着部周りの組織を調査した。なお、非溶着材は溶着材の非溶着部の組織と同様であるため本紙では除外した。溶着材の断面マイクロ組織を Fig. 4 に示す。押出後では、板厚のほぼ全域で再結晶しており、特に溶着部では板厚中心部を境に上下二分された粗大結晶粒領域が認められた。一方、非溶着部の板厚内部では結晶粒界が不明瞭な組織が認められ、これらは類似した結晶方位を有する亜結晶組織の形成によるものと考えられる。また、板表層では溶着部と非溶着部で同様の再結晶組織が確認された。溶着部および非溶着部におけるLT-ST断面のSEM観察結果を Fig. 5 に示す。溶着材の伸び低下には、第二相粒子分布の影響も疑われるが、溶着部と非溶着部で第二相粒子分布に大きな差は確認されない。溶着部周りのEPMA分析の結果を Fig. 6 に示す。ビッカース硬さ測定結果を Fig. 7 に示す。溶着部周りとは非溶着部で固溶状態の差は見られず、また硬さの違いも見られなかった。溶着部周りでは局所変形の原因

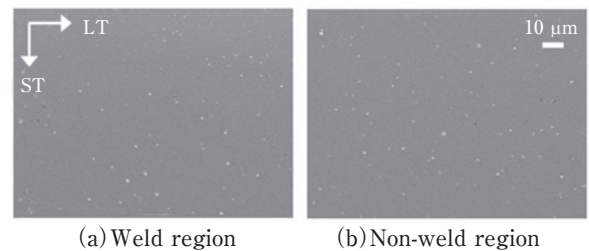


Fig. 5 SEM images around the weld specimen and the non-weld specimen.

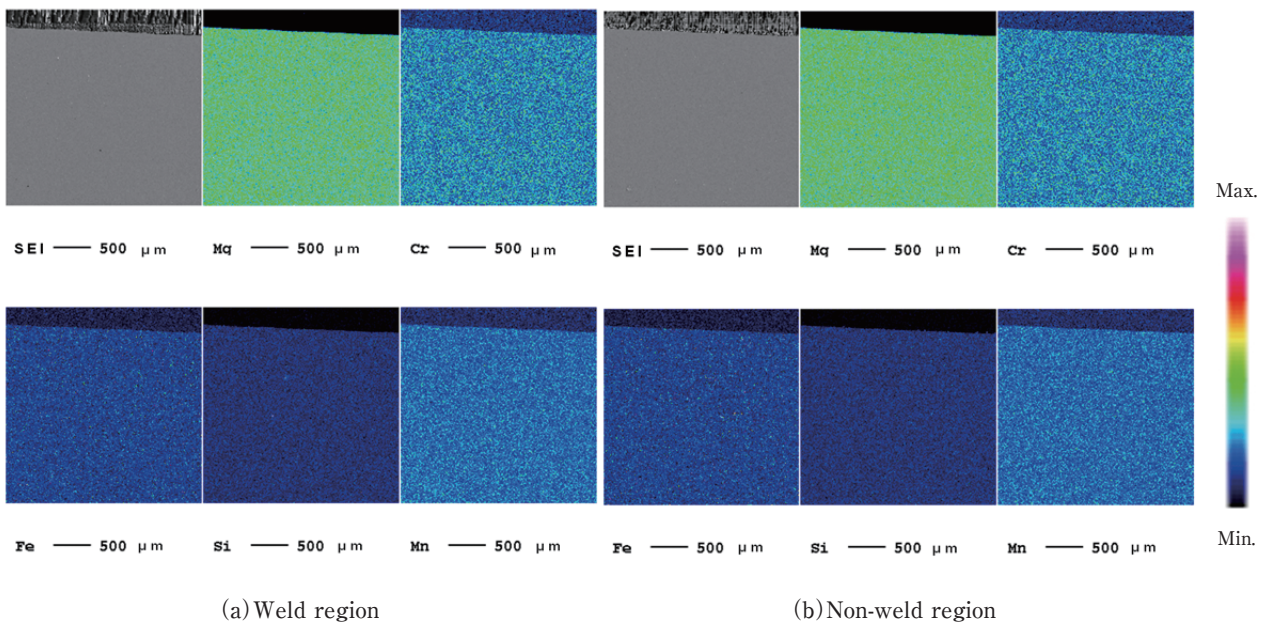


Fig. 6 The dominant element maps of the weld specimen by EPMA analysis.

となるような成分偏析、第二相粒子分布の違い、軟化部や押出欠陥等も認められなかった。

3.3 集合組織

溶着材および非溶着材のEBSD測定による主要方位成分のIPF(逆極点図)マップをFig. 8に示す。ここで各結晶方位は、押出平板の板面に平行な結晶面の指数(h k l)と、押出方向(ED)に平行な結晶方向[u v w]を用いて(h k l) [u v w]と表記した。また、優先方位を特定するため解析したODF(方位分布関数)マップをFig. 9に示す。なお、非溶着材の集合組織は、溶着材の溶着部周りを除く非溶着部と同等の集合組織であった。溶着材において、非溶着部の板厚中央では{100}<001>(Cube)方位粒の集積が確認された。一方、溶着部の板厚中央では粗大粒領域の形成が認められ、図中X:{011}<100>(Goss), Y:{012}<100>, Z:{011}<3-1 1>方位粒が優先方位として確認された。また、板表層では比較的ランダムな集合組織を呈しており、一部Goss方位粒も観察された。一般にAl-Mg-Si系アルミニウム

合金の平板押出材では、押出材全域で再結晶すると、板厚中央ではCube方位粒が主方位となり、板表層ではTD軸周りに多少回転した(112) [110]が主方位として観察される^{3),4)}。これは、平板押出における板厚中央では圧延変形に近い変形を受けるのに対し、板表層ではダイスとの摩擦によって板厚中央とは異なるせん断変形を受けるためとされる。集合組織形成には高温変形中の第二相粒子分布も影響因子の一つであるが、溶着部と非溶着部で第二相粒子分布の違いは確認できなかった。したがって、溶着部での不均一な集合組織の形成は、溶着部生成過程に特有のブリッジによってメタルが一旦分断され、再度一体化するといった非溶着部とは異なる変形様式によるものと推定される。Cube方位は主に溶着部を除く板厚中央、Goss方位粒は板表層や溶着部において確認されるのに対し、他の{012}<100>, {011}<3-1 1>方位は溶着部においてのみ確認されることから、溶着部特有のメタルフローによって生じた結晶方位であると考えられる。

以上から変形早期におけるくびれ発生は、溶着部周

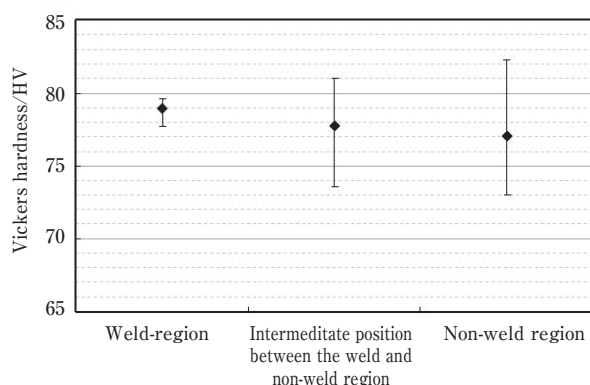


Fig. 7 Vickers hardness of the weld specimen before the high temperature tensile test.

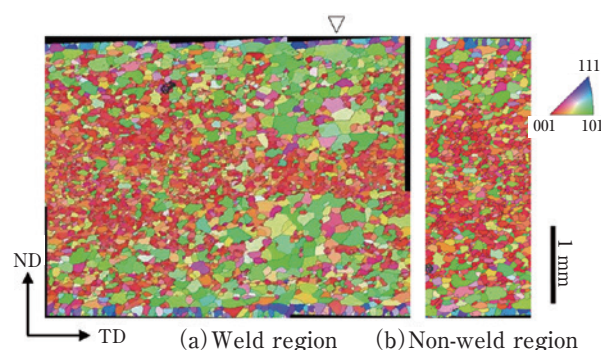
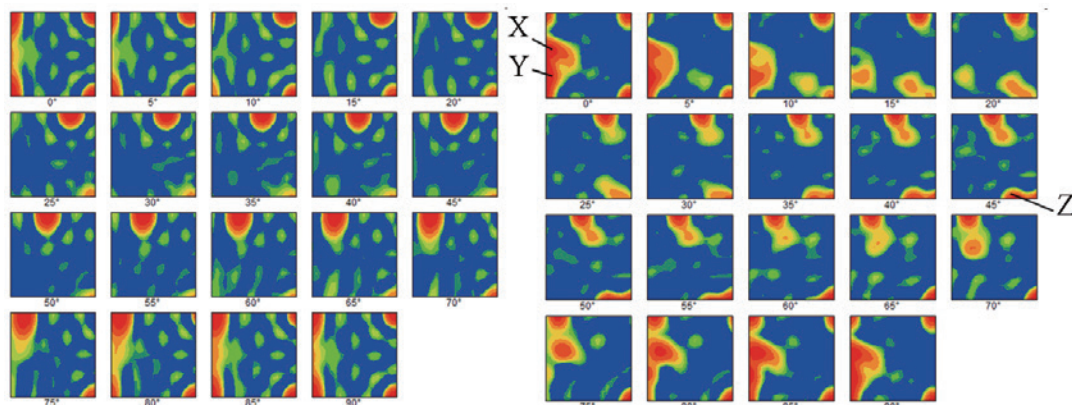


Fig. 8 IPF maps of the weld specimen before the high temperature tensile test.



(a) The part of the coarse grains at the weld region.

(b) The center of the thickness at the non-weld region.

Fig. 9 ODFs at the weld region and the non-weld region.

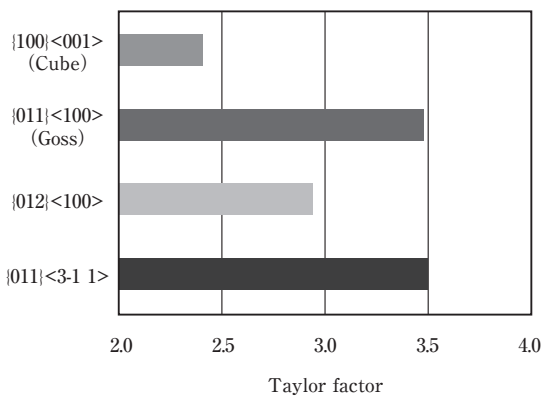


Fig. 10 The calculated values of the Taylor factor for the crystal orientation of {100}<001>, {011}<100>, {012}<011>, and {011}<3-1 1>.

りの不均一な集合組織に起因している可能性が高い。押出形状によっても集合組織が変化し、それに応じて局所的なTaylor因子が増減することで強度特性に影響することが報告されている^{2), 5), 6)}。ここでTaylor因子はすべり変形のしやすさを表す指標であり、値が大きいほどすべり変形しにくいとされる。また、江田らは、6000系フリーバルジ管において非溶着部でCube方位が多いのに対して溶着部では方位分散していることが成形性の差の要因であると報告しており⁷⁾、高温変形においても集合組織に起因したTaylor因子の差によって一様伸びが低下する可能性が考えられる。

Fig. 10は本試験片で確認された4つの主方位のTaylor因子の計算結果を示している。Cube方位に比べると溶着部に形成した他の方位のTaylor因子は0.5～1.0程度高い。単結晶の曲げ変形においてはああるが、結晶方位によってTaylor因子が1.0程度異なることで曲げ加工性を左右することが報告されており⁸⁾、本実験における高温引張変形においても結晶方位ごとのTaylor因子の差がくびれ発生に関与していると推察される。溶着部近傍および非溶着部のTaylor因子によるマッピングを**Fig. 11**に示す。板表層については、溶着部と非溶着部でTaylor因子の差は見られないことから、溶着部近傍でのくびれ発生には寄与しないと考えられる。板厚中央で比較すると、非溶着部の亜結晶組織ではTaylor因子の低いCube方位が集積しているのに対し、溶着部の粗大結晶粒組織ではTaylor因子の高い方位が集積している。すなわち、溶着材では一様伸びに優れたCube方位の集積により均一変形しやすいが、溶着材では溶着部と非溶着部の境界にて、押出によって形成される不均一な集合組織に起因してTaylor因子に差が生じ、高温変形時の変形抵抗の差が大きくなり不均一変形が促進されたと考えられる。その結果、

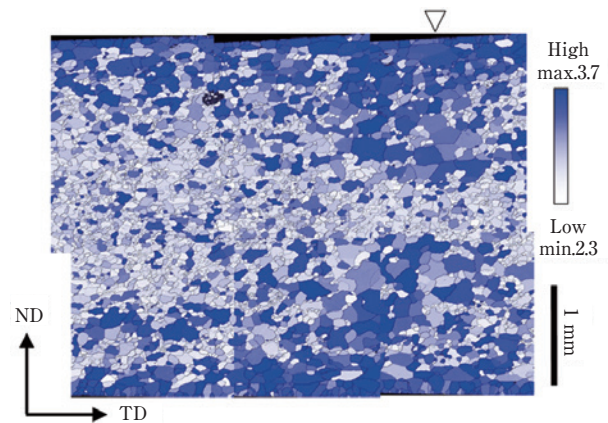


Fig. 11 The Taylor factor map of the weld specimen before the high temperature tensile test.

溶着材では特にTaylor因子が低く変形抵抗の低いCube方位側において変形早期にくびれが発生したと推測される。

4. まとめ

6N01 平板押出材の溶着部の高温引張特性について調査した結果、以下の知見を得た。

- (1) 平行部に溶着部を有する試験片は、溶着部を有しないものと比較して高温引張試験における破断伸びが著しく低下した。破断伸びの低下は、溶着部脇に発生した変形早期のくびれが原因と推測される。
- (2) 非溶着部では {100} <001> (Cube) 方位粒の集積が見られるのに対し、溶着部周りではCube方位の集積は低く、{011}<100> (Goss), {012}<100>, {011}<3-1 1>の方位が強くと集積し、不均一な集合組織を形成していた。これら優先方位はCube方位粒に比べTaylor因子が高い傾向が見られ、これにより変形挙動に不連続性が生じた結果、溶着材において変形早期にくびれが発生したと推測される。

参考文献

- 1) 松田真一, 吉田英雄: 軽金属, **53** (2003), 483-489.
- 2) 松岡秀明, Luc NEUMANN, 浜野秀光, 坂口雅司: 軽金属, **52** (2002), 155-160.
- 3) 井上博史: 軽金属, **52** (2002), 524-529.
- 4) 箕田 正, 吉田英雄: 軽金属, **49** (1999), 548-552.
- 5) 稲数直次, 井上博史, 金野泰幸: 軽金属, **38** (1988), 102-106.
- 6) 新里喜文, 箕田 正, 吉田英雄: 軽金属, **63** (2013), 218-222.
- 7) 江田浩之, 坂口雅司, 前原 久, 鋤本己信, 淵澤定克: 軽金属, **43** (1993), 438-443.
- 8) 竹田博貴, 日比野 旭, 高田 健: 軽金属, **60** (2010), 231-236.



安田 晋也 (Shinya Yasuda)
(株)UACJ 福井製造所 品質保証部



熱田 賢 (Ken Atsuta)
(株)UACJ 技術開発研究所 名古屋センター
第六部



若栗 聡史 (Satoshi Wakaguri)
(株)UACJ 押出加工小山 製造部



一谷 幸司 (Koji Ichitani)
(株)UACJ 技術開発研究所 名古屋センター
第六部



日比野 旭 (Akira Hibino)
(株)UACJ 技術開発研究所 深谷センター
第一部