5052 アルミニウム合金板材の陽極酸化処理表面における光沢度と
表面色に及ぼす表面粗さの影響米原 牧子*・熊井 真次**・磯野 宏秋***
杉林 俊雄****・井形 直弘*****

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 56, No. 8 (2006), pp. 429-434

Effect of surface roughness on glossiness and surface color
for an anodized 5052 aluminum alloy plateMakiko YONEHARA*, Shinji KUMAI**, Hiroaki ISONO***
Toshio SUGIBAYASHI**** and Naohiro IGATA*****

The effect of surface roughness on glossiness and surface color for anodized 5052 aluminum alloy plates were investigated. The surface roughness of aluminum alloy plate was controlled by processing of shot blasting to satisfy the condition of arithmetical mean roughness, Ra , less than $1.0\ \mu\text{m}$. The specimens with several different conditions were prepared: shot blasting, anodizing after blasting, and, in addition, it dyed it to red, green and blue respectively. CIELAB ($L^*a^*b^*$ color system) was applied to the surface color evaluation method. The results of experiments, the glossiness value, G_s (60°), increased as decreasing Ra . The lightness, L^* , decreased as decreasing Ra . The hue angle, h_{ab} , of the anodized surface changed into the green direction. The a , b chroma, C_{ab}^* , decreased as decreasing Ra of the anodizing red and blue specimens. However, the a , b chroma, C_{ab}^* , increased as decreasing Ra of the anodizing green specimen. This was caused by the fact that the hue angle, h_{ab} , changes into the green direction by anodizing.

(Received January 16, 2006 Accepted April 26, 2006)

Keywords: surface texture, roughness, glossiness, color, anodizing, characterization

1. 緒 言

近年、種々の工業製品における機能の多様化および充実化がなされる一方、外観の色調への要望が増加し、表面品位を高めることで他社製品と差別化を図る動向が見られる¹⁾。工業製品の外観は、材料表面を種々の機械的加工方法で仕上げることににより、材料の素材感を活かしたテクスチャが得られる²⁾。また、陽極酸化処理やめっき処理など種々の表面処理技術を用いることににより、アルミニウム表面に耐食性や耐摩耗性の向上、表面の硬質化などの表面機能効果や着色による外観効果を付与することができる^{3),4)}。しかし、陽極酸化の処理方法や着色方法に関する報告^{5)~8)}、発色機構や色調変化を皮膜構造の特徴より検討したもの^{9)~12)}、疲労特性¹³⁾や遠赤外線放射特性¹⁴⁾など機械的、物理的性質に及ぼす陽極酸化処理の影響について検討した報告は見られるが、外観効果すなわちテクスチャについて定量的に述べられたものはほとんど見当たらない¹⁵⁾。

テクスチャは色感、つや感、凹凸感や風合いなどの表面を特徴付ける種々の因子を総合して認識される視知覚の属性で

あるため、その定量化が困難とされている。このため、製作工程におけるテクスチャの伝達は図面を介さず、標準見本または限度見本を用いた別途打合せを要する場合が多く、最終製品の良否も目視による検査がほとんどである。

テクスチャの一因子である凹凸感すなわち表面粗さは、現在の設計図面上において表面性状と呼ばれている。表面性状の図面上での図示方法は JIS B 0031:2003 で規定されており、表面粗さおよび加工方法を表記する。表面粗さは機械的な断面から得られる 2 次元的情報である。そのため、面としての表面性状を再現する際にあいまいさが生じる。著者らはこれまでに、テクスチャを定量的に伝達する際の評価指標として、表面粗さ、鏡面光沢度（以下、「光沢度」と呼ぶ）および表面色の 3 因子の併用を提案している^{16)~21)}。光沢度 (JIS Z 8741:1997) および表面色 (JIS Z 8729:2004) は面の評価が可能であり、しかも JIS 規格により測定方法が確立しているパラメータである。また、光沢度は表面からの正反射光成分を測定し、表面色は拡散反射光成分を測定する。さらに、白色光を光源としてその反射成分を測定することにより、目視に近い定量的評価が可能である。

* 拓殖大学大学院工学研究科研究生 (〒193-0985 東京都八王子市館町 815-1) [現在: 東京工業大学研究生 (横浜市)]. Research Student, Graduate School of Engineering, Takushoku University (815-1 Tate-machi, Hachioji-shi, Tokyo 193-0985) (Present: Research Student, Tokyo Institute of Technology (Yokohama-shi, Kanagawa)). E-mail: yonehara@materia.titech.ac.jp

** 東京工業大学 (横浜市). Tokyo Institute of Technology (Yokohama-shi, Kanagawa).

*** 職業能力開発総合大学校 (相模原市). Polytechnic University (Sagamihara-shi, Kanagawa).

**** 拓殖大学 (八王子市). Takushoku University (Hachioji-shi, Tokyo).

***** 東京大学名誉教授 (文京区). Prof. Emeritus of the University of Tokyo (Bunkyo-ku, Tokyo).

本研究では、表面粗さ、光沢度および表面色の3因子を用いて、アルミニウム合金 A5052-H34 に陽極酸化処理を施した板材におけるテクスチャの評価方法について実験的に検討した。すなわち、陽極酸化処理する前の機械的前処理としてショットブラスト加工を行った。ショットブラストの加工条件を変化させて任意に表面粗さの異なる面を作製し、その後陽極酸化処理および着色を施した面の光沢度と表面色の測定を行い、表面粗さとの関係について調べた。

2. 実験方法

2.1 試料作製と表面粗さの測定条件

本実験で用いた試料はアルミニウム合金 A5052-H34 で 70×70mm の板材である。まず、板表面にショットブラスト加工を行った。ショットブラスト加工は算術平均粗さ Ra (以下、「 Ra 」と呼ぶ) の値が $1.0\mu\text{m}$ 以下となるように Table 1 の加工条件を設定した。表中の最大高さ粗さ Rz (JIS B 0601:2001) の値は加工時における表面粗さの目標値を示し、粗さの異なる A~D の4グループの試料をそれぞれ12枚ずつ作製した。次に、ショットブラスト加工後、Table 2 の条件で陽極酸化処理を行った。陽極酸化は硫酸法を用いて、染色法により赤色、緑色および青色にそれぞれ着色した。封孔は酢酸ニッケル法で行った。なお、皮膜厚さは $10\sim13\mu\text{m}$ とした。本実験では、表面粗さの異なる A~D グループの中でショットブラスト加工のみの面 (以下、「未処理面」と呼ぶ)、ショットブラスト加工後に陽極酸化処理のみ施した面 (以下、「陽極酸化のみの面」と呼ぶ)、さらにショットブラスト加工後に陽極酸化処理し、さらに赤、緑、青にそれぞれ着色した面 (以下、「赤 (または緑、青) に着色した面」と呼ぶ) の試料をそれぞれ準備した。

試料の表面粗さは触針式表面粗さ測定機 SV-624 (株ミットヨ製) を用いて測定した。その際の測定条件としてカットオフ値 0.8mm 、測定長さ 4mm にそれぞれ設定し、試料中央部において直交2方向 (0° および 90° 方向) とその間の2方向 (45° および 135° 方向) の4箇所を測定した。各々の試料の

Table 1 Conditions for shot blast. The maximum height, Rz , is targeted roughness

Group	Rz (μm)	Abrasive Ground	Grain size	Pressure (kPa)	Time (s)
A	0.8	Glass beads	300	50	90
B	1.6	Glass beads	300	80	90
C	2.4	Glass beads	300	150	90
D	4.0~4.8	Glass beads	300	350	30

Table 2 Conditions for anodizing

Anodizing	Dyeing	Sealing of anodic oxide coating
12~14 mass% sulfuric acid	Red, Green, Blue	5 g/l nickel acetate
22°C	60°C	90°C or more
10~60 min	20 s~20 min	20 min

測定した Ra の値を Table 3 に示す。 Ra の値は各々の試料において測定した4箇所の平均値である。 Ra の値が最も小さいのは A グループの試料である。

2.2 光沢度および表面色の測定条件

光沢度の測定には光沢度計 mirror-TRI-gloss (BYK-Gardner 社製) を用いた。測定光源は CIE 標準光源 C の分光特性を有する白色光であり、光源入射角は 60° とした。試料の測定箇所は表面粗さと同一の4箇所とし、その平均値を試料の光沢度とした。

表面色の測定には分光測色計 CM-2600d (コニカミノルタ製) を用いた。光源は光沢度計と同一の分光特性を有する白色光であり、測定面の形状は直径 3mm の円形である。また、測定箇所は中央部とそこから直交方向に約 $\pm 5\text{mm}$ 間隔離れた4箇所の合計5箇所を測定した。各々の試料表面における表面色の測色結果は5箇所の値を平均し、 $L^*a^*b^*$ 表色系 (JIS Z 8729:2004) を用いて表示した。なお、各々の測定直前に油分や汚れを除去するためアセトン洗浄を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 表面粗さと光沢度の関係

まず、試料の凹凸を走査型レーザ顕微鏡により観察した。観察結果の代表例として、未処理面と青に着色した面の A グループおよび D グループについて Fig. 1 (a)~(d) にそれぞれ

Table 3 The average values of arithmetical mean roughness " Ra " on the specimen. (unit: μm)

Group	No treatment	Anodizing			
		Colorless	Red	Green	Blue
A	0.17	0.17	0.21	0.20	0.20
B	0.33	0.26	0.24	0.24	0.25
C	0.52	0.38	0.37	0.31	0.34
D	0.94	0.65	0.59	0.56	0.63

Fig. 1 Microphotographs of the specimen.

Fig. 2 Relationship between arithmetical mean roughness Ra and glossiness G_s (60°).

れ示す。Fig. 1 (a) および (c) ではショットブラストによる球状の加工痕が明瞭であるが、着色した Fig. 1 (b) および (d) では加工痕の輪郭が曖昧になっている。さらに、着色した表面において、 Ra 値の小さい A グループの (b) では着色することで比較的平滑な面となっているが、 Ra 値はほとんど変化がない。一方、 Ra 値の大きい D グループの (d) では着色しても加工痕の凹凸を確認することはできるが、着色前の (c) に比べて Ra 値は小さくなっている。

次に、 Ra と光沢度との関係を Fig. 2 に示す。 Ra の値が小さくなるに従い光沢度の値は指数関数的に高くなる傾向が見られた。また、 Ra 値の同領域において、光沢度の値は未処理面が最も高く、陽極酸化処理を行うと光沢度の値は約 $2/3 \sim 1/2$ に低下する。さらに着色を行った面の光沢度は、未処理面に比べて約 $1/2 \sim 1/3$ に低下する。とくに、着色しても Ra 値がほとんど変化しなかった A グループ、すなわち $Ra \approx 0.2 \mu\text{m}$ の試料においては、陽極酸化処理または着色することによる光沢度の低下が大きい。

陽極酸化処理により光沢度が低下する要因として、皮膜内への光の屈折、透過、反射による多重反射が起こるためと考えられる。すなわち、本試料の皮膜厚が $10 \sim 13 \mu\text{m}$ と測定光源の波長に比べて十分に大きいため、皮膜内で多重反射された拡散反射光が増加し、光沢度を測定するための正反射方向の光が低下する。また、陽極酸化処理後の着色で光沢度の値がさらに低下した理由として以下のことが考えられる。本実験で用いた着色方法は染色法であるため、染料が特定の波長の光を選択的に吸収し、吸収されない光の波長が染料の色となって現れる。そのため、皮膜表面での反射光量が減少し、光沢度の値が低下した。

3.2 $L^*a^*b^*$ 表色系による表面色の定量化

試料の代表的な分光反射率を Fig. 3 に示す。各々の試料の Ra の値は $0.5 \sim 0.6 \mu\text{m}$ である。未処理面と陽極酸化のみの面の分光反射率は可視波長域全体でそれぞれ約 70% と約 60% である。さらに、変曲点のない曲線を描いていることより、未処理面および陽極酸化のみの面の表面色は比較的明度の高い無彩色であることを示している。また、赤に着色した試料の分光反射率は約 620 nm 以下の波長域の光を選択吸収している。すなわち、赤に着色した試料の表面色は約 620 nm 以上の波長成分を有する光が多く含まれた色を呈している。同様に、緑に着色した試料の表面色は約 530 nm の波長成分の

Fig. 3 Typical spectral distribution curve.

Fig. 4 $L^*a^*b^*$ color space.

光が含まれた色であり、青に着色した試料は約 440 nm の波長成分が含まれた光の色を呈する。

また、測定した分光反射率より各々の試料の表面色を $L^*a^*b^*$ 表色系の値で表示した。 $L^*a^*b^*$ 表色系は見かけの感覚色差と色度座標上における測色値間の距離の差が等しくなるように補正された表色系である。また、横軸 a^* 軸と縦軸 b^* 軸の直交座標による色度図と、色度図の原点を通る垂直方向の明度 L^* 軸からなる立体的な色空間である。Fig. 4 (a) および (b) に $L^*a^*b^*$ 表色系の L^* 軸および a^*b^* 色度図を示す。 a^*b^* 色度図上で原点近傍の測色値は無彩色を表し、原点からの距離が大きいほど彩度（色の鮮やかさ）が高く、有彩色であることを示す。 a^*b^* 色度図上における円周方向の角度は測色値の色相（赤、黄、緑、青などの色み）を示す。明度 L^* 軸は $L^*=100$ のとき白、 $L^*=0$ のとき黒を示し、明るい色から暗い色の明暗階調を表す。

Fig. 4 (a) より、各々の試料における明度 L^* の値は比較的広範囲に分布している。Fig. 4 (b) の a^*b^* 色度図を見ると、赤、緑および青にそれぞれ着色した試料の色相角 h_{ab} の平均値はそれぞれ赤： $h_{ab} \approx 30^\circ$ 、緑： $h_{ab} \approx 147^\circ$ および青： $h_{ab} \approx 294^\circ$ である。また ab クロマ（彩度） C_{ab}^* の平均値はそれぞれ赤： $C_{ab}^* = 54.0$ 、緑： $C_{ab}^* = 26.0$ および青： $C_{ab}^* = 45.9$ の比較的高い値を示したことより、これらの表面色は有彩色である。一方、未処理面および陽極酸化のみの表面の測色値は原

Fig. 5 The enlarged a^* , b^* chromaticity diagram.

点近傍に位置し、各々の ab クロマ (彩度) C_{ab}^* の平均値は未処理面: $C_{ab}^*=1.1$, 陽極酸化のみ: $C_{ab}^*=0.8$ と低く、無彩色である。

また、一般に本実験で用いた Al-Mg 系合金の硫酸法により陽極酸化処理した皮膜色は銀白色から淡黄色と言われている²²⁾。Fig. 5 に a^*b^* 色度図の原点近傍の拡大図を示す。未処理面および陽極酸化処理のみの面の a^*b^* 色度はそれぞれ b^* 軸の正方向に位置し、ごくわずかに黄みを帯びていることを示している。さらに、陽極酸化処理した表面の a^*b^* 色度は、未処理面に比べて a^* 値が負方向へ移動している。両試料の色相角 h_{ab} の平均値を比較すると未処理面: $h_{ab} \approx 109^\circ$, 陽極酸化処理した面: $h_{ab} \approx 130^\circ$ であり、陽極酸化処理することによって色相が緑方向へ変化している。この色相の変化は、未処理面および陽極酸化のみの面は無彩色であるため目視による確認は困難である。しかし、明暗の差は目視でも容易に確認することができる。そこで、未処理面と陽極酸化のみの面との色の差、すなわち色差 ΔE_{ab}^* の値を調べた。色差 ΔE_{ab}^* の値は未処理面の表面色を基準色として求めた。色差 ΔE_{ab}^* の値は式 (1) により算出する (JIS Z 8730:2002)。

$$\Delta E_{ab}^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ここで、 ΔL^* , Δa^* および Δb^* は $L^*a^*b^*$ 表色系における 2 つの試料の明度 L^* の差および色座標 a^* , b^* の差をそれぞれ示す。式 (1) より、未処理と陽極酸化のみの両表面の色差 ΔE_{ab}^* は約 6~15 と高い値を示した。すなわち、両表面の色の差を目視により容易に認識可能なことを定量的に示した。

3.3 表面粗さと表面色の関係

Fig. 6 に試料の代表的な外観写真を示す。左側は R_a の値が最も小さい A グループの試料であり、右側は R_a の値が最も大きい D グループの試料である。写真より、表面処理方法が同一であっても、表面粗さが異なると表面色は変化することを目視により確認できる。ここでは、表面色に及ぼす表面粗さの影響を調べるため、 R_a と色の三要素である色相、彩度および明度の関係をそれぞれ調べた。まず、 R_a と色相角 h_{ab} および彩度 C_{ab}^* の関係を Fig. 7 に示す。Fig. 7 (a) は未処理および陽極酸化のみの無彩色である試料の結果を示し、Fig.

Fig. 6 The color variation for varying roughness of untreated, anodized and dyed red, green and blue, respectively.

7 (b) は赤、緑と青に着色した有彩色である試料の結果をそれぞれ示している。

Fig. 7 (a) に示した無彩色の試料の場合、 R_a 値の減少に従い色相角 h_{ab} の値は高くなり、彩度 C_{ab}^* の値は低下する。しかし、これらの試料は無彩色のため、色相および彩度の変化を目視で確認することは極めて困難である。一方、Fig. 7 (b) に示した有彩色の試料では、 R_a が変化しても色相角 h_{ab} の値はほとんど変わらず、これらの試料の色相はほぼ一定である。

Fig. 7 Effect of arithmetical mean roughness Ra on hue angle h_{ab} and a, b , chroma C^*_{ab} .

また、 Ra の値が減少するに従い彩度 C^*_{ab} の値は赤および青の試料においては若干低下するが、緑の試料では高くなる傾向が見られた。緑の試料のみ彩度 C^*_{ab} 値が高くなったのは、陽極酸化処理することにより基材の色相が緑方向へ変化するためと考えられる。したがって、 Ra が変わることによって表面色の彩度も変化するが、この変化は陽極酸化処理によって得られる基材の皮膜色に依存する。

次に、 Ra と明度 L^* との関係を Fig. 8 に示す。また、 Ra と明度 L^* との関係は Ra と正反射率 $G_s(60^\circ)/10$ との関係に対して逆相関となることより、図中に正反射率 $G_s(60^\circ)/10$ の値も示した。すべての試料において、 Ra の値が小さくなるに従い明度 L^* 値は低下し、表面色が暗くなる傾向にある。とくに、 $Ra \leq 0.4 \mu m$ の領域で L^* 値の低下が大きく、 Ra の値が $0.2 \mu m$ 近傍での低下が著しい。さらに、この明度 L^* 値の低下は有彩色の試料と比較して無彩色の試料の方が大きい。すなわち、陽極酸化処理の際に Ra を変えることで表面色の彩度および明度が変化し、微妙な色調の変化を与えることの可能性を示した。

また、 Ra と明度 L^* および Ra と正反射率 $G_s(60^\circ)/10$ の関係を見ると、未処理面の場合、約 40% を境に逆相関の関係を示している。同材料であれば正反射光と拡散反射光の光量の総和は表面粗さに依存せず一定であることより、未処理面の明度 L^* 値に正反射率 $G_s(60^\circ)/10$ 値を加算して総反射率の値を求めた。その結果、未処理面の場合の総反射率は約 90% となり、この値はアルミニウムの真空蒸着面の分光反射率

Fig. 8 Effect of arithmetical mean roughness Ra on lightness L^* and specular reflectance $G_s(60^\circ)/10$.

85~98% の範囲に含まれる。すなわち、 Ra と明度 L^* および Ra と正反射率の関係が逆相関となる境界の反射率約 40% の値は妥当である。一方、陽極酸化のみの面の境界の反射率は約 35% と低く、さらに赤、緑および青にそれぞれ着色した面の境界は約 15~20% と低くなる。各々の総反射率を算出すると、陽極酸化のみの面では約 78%，赤、緑および青に着色した面では約 32~38% であった。これは Fig. 3 の分光反射率よりも、陽極酸化皮膜および染料により光が吸収されていることに起因する。

4. 結 言

本研究は、陽極酸化処理面におけるテクスチャの定量的評価方法を実験的に検討するため、アルミニウム合金 A5052-H34 の表面にショットブラスト加工を行い、その後陽極酸化処理および着色した試料を作製し、算術平均粗さ Ra の値が $1.0 \mu m$ 以下の試料について、光沢度および表面色に及ぼす表面粗さの影響を調べた。得られた結果を以下に示す。

(1) すべての試料において、 Ra の値が小さくなるに従い光沢度の値は高くなる。また、未処理面（ショットブラスト加工のみの面）と比較して陽極酸化処理面の光沢度の値は約 2/3~1/2 に低下し、着色した面の光沢度は未処理面の約 1/2~1/3 の値となる。さらに、赤と緑および青に着色した表面について、これらの光沢度は同一表面粗さであれば表面色に依存しない。

(2) ショットブラスト加工面を陽極酸化処理することにより、色相角 h_{ab} の値は緑の方向へ変化する。

(3) Ra の値が減少するに従い彩度 C^*_{ab} の値は赤および青の試料では低下し、緑の試料では高くなる。これは陽極酸化処理により基材に生成した皮膜色の色相が緑方向へ変化するためである。

(4) すべての試料において、表面の処理条件を同一としても、 Ra の値が小さくなるに従い、明度 L^* 値は低下し、表面色は暗くなる傾向がある。また、 Ra と明度 L^* および Ra と正反射率の関係は逆相関となり、その境界を示す反射率は未処理面で約 40% であるが、陽極酸化のみの面は約 35%，着色した面では約 15~20% と低下する。これは陽極酸化皮膜お

よび染料により光が吸収されることに起因する。

以上の結果より、*Ra*、光沢度および表面色を組合せた指標を用いてテクスチャの定量的評価が可能であることを示し、*Ra* を変えることで微妙な色調の変化を付与することの可能性を示唆した。

謝 辞

本実験の試料作製および測定等にご協力いただきました拓殖大学大学院生 家田和幸氏（現、浜本工業株式会社）に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日経デザイン, 日経 BP 社, **6** (2004), 46-58, 68-73.
- 2) 日経デザイン, 日経 BP 社, **11** (2005), 8-73.
- 3) 磯山永三, 室岡秀一: 軽金属, **40** (1990), 460-483.
- 4) 栗田洋敬, 山縣 裕: 軽金属, **52** (2002), 428-432.
- 5) 和田健二, 松井良夫, 堤 正幸, 内田健治: 金属表面技術, **31** (1980), 140-145.
- 6) H. J. Gohausen and G. C. Schoener: Plating and Surface Finishing, (1984), 56-63.
- 7) 川口朋子, 小野幸子, 佐藤敏彦, 増子 昇: 表面技術, **41** (1990), 690-694.
- 8) 石田慎一, 伊藤征司郎: 表面技術, **41** (1990), 1054-1058.
- 9) 川合 慧, 山室正明, 和田健二: 表面技術, **49** (1998), 1016-1020.
- 10) 山室正明, 森崎重喜: 軽金属, **51** (2001), 234-237.
- 11) 塚本由美子, 海老原健: 表面技術, **50** (1999), 565-570.
- 12) S. Van Gils, P. Mast, E. Stijns and H. Terryn: Surface & Coating Technology, 185 (2004), 303-310.
- 13) 西田友久, 水谷淳之介, 武藤睦治, 前嶋正受, 伊藤六郎: 軽金属, **51** (2001), 457-463.
- 14) 鈴木義和, 村松俊樹, 松尾 守, 前嶋正受, 猿渡光一, 岡田健三: 軽金属, **50** (2000), 598-602.
- 15) 田口喜弘, 海老原健: 軽金属学会第 89 回秋期大会講演概要, (1995), 293-294.
- 16) 米原牧子, 鈴木圭介, 木原幸一郎, 木嶋 彰, 磯野宏秋, 杉林俊雄: 軽金属, **53** (2003), 163-168.
- 17) 米原牧子, 木原幸一郎, 磯野宏秋, 木嶋 彰, 吉森 茂, 杉林俊雄: 銅と銅合金, **42** (2003), 340-344.
- 18) 米原牧子, 木原幸一郎, 磯野宏秋, 木嶋 彰, 杉林俊雄: 軽金属, **54** (2004), 45-50.
- 19) M. Yonehara, T. Matsui, K. Kihara, H. Isono, A. Kijima and T. Sugibayashi: Mater. Trans, **45** (2004), 1019-1026.
- 20) M. Yonehara, T. Matsui, K. Kihara, H. Isono, A. Kijima and T. Sugibayashi: Mater. Trans, **45** (2004), 1027-1032.
- 21) 米原牧子, 木原幸一郎, 香川美仁, 磯野宏秋, 杉林俊雄: 軽金属, **55** (2005), 15-19.
- 22) アルミニウムの製品と製造技術, (編集 50 周年記念事業実行委員会記念出版部会), (社)軽金属学会, (2001), 26.