

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月17日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560853

研究課題名（和文） 高速双ロールキャスターによる自動車アルミボディー材の革新的等品位リサイクル

研究課題名（英文） Same level recycle of aluminum alloy body sheet for automobile by a high speed twin roll caster

研究代表者

羽賀 俊雄 （ HAGA TOSHIO ）

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：00212134

研究成果の概要（和文）：不純物によるアルミニウム合金薄板の機械的性質の劣化防止を、高速双ロールキャスターを使用して試みた。不純物は高速双ロールキャスターの急冷凝固により不純物は微細化し、劣化を押さえることが可能であった。高速双ロールキャスターを用いると鑄造用アルミニウム合金から良好な深絞性を有する薄板を作製できた。不純物による鑄造用合金の劣化も高速双ロールキャスターの急冷凝固により防ぐことができた。不純物を含む Al-Mg 合金においても、劣化の防止に高速双ロールキャスターは有効であった。

研究成果の概要（英文）：Improvement of deterioration of the aluminum alloy body sheet caused by impurity was tried using a high speed twin roll caster. The impurity became fine by the effect of the rapid solidification. Therefore, the deterioration could be eliminated.. When the high speed twin roll caster was used, aluminum alloy for the casting could be cast in to the sheet, and this sheet had sound formability of deep drawing. The deterioration by impurity of the aluminum alloy for casting could be prevented by rapid solidification by the high speed twin roll caster. The high speed twin roll caster was adapted on Al-Mg alloy. The high speed twin roll caster was useful for the prevention of the deterioration of mechanical property by the impurity.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・リサイクル工学

キーワード：再使用

## 1. 研究開始当初の背景

自動車のボディーシート用のアルミニウム合金の Fe 量は、良好な曲げ性を得るために一般的に 0.2%以下に制限されている。しかし、一般的には一回のリサイクルで不純物としての Fe 量は、約 0.2%増加するため、ボ

ディーシート材のリサイクル材をボディーシート材に使用することは不可能とされていた。また、不純物 Fe の除去もコスト的に実用的では無いとされていた。そのため、不純物の無害化が望まれていた。

## 2. 研究の目的

本研究では通常のアルミニウム合金用双ロールキャスターより冷却速度が優れている高速双ロールキャスターを使用して不純物を微細化して靱性に対する害を小さくすること、および組織を微細化することで靱性を向上させることで、等品位リサイクルの可能性を明らかにする。6000系と5000系の合金の他にリサイクル材を使用する鋳造用合金についても板材として使用する可能性を調査した。

## 3. 研究の方法

5000系、6000系およびリサイクル材を使用する鋳造用合金を使用する。これらの合金に不純物元素としてFeの他にCuとSiを選択し、これらを添加してリサイクル材のモデル材とし、高速双ロールキャスターで薄板を作製し、引張試験、曲げ試験、深絞り等により機械的性質を調査する。以下に高速双ロールキャスターの概略図を示す。

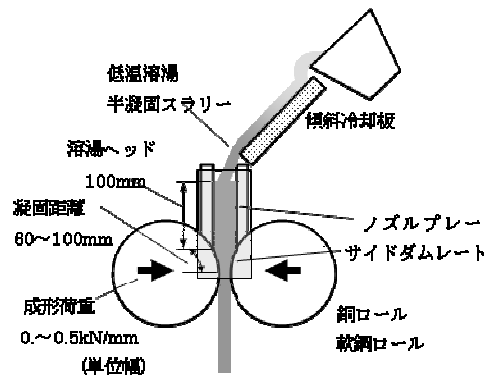


図1 高速双ロールキャスター



図2 ロールキャストの様子

高速双ロールキャスターの特徴は、従来のアルミニウム合金用の双ロールキャスターと比較して冷却能を向上させている点である。冷却能を向上させるために、従来のアル

ミニウム合金用の双ロールキャスターが熱間加工用の工具鋼を使用しているのに対し、本研究では熱伝導率が高い銅ロールを使用している。また、従来は薄板のロールへの固着を防ぐため、離型剤をロール面に噴霧していた。この離型剤は、ロールと溶湯またはロールと薄板間の熱抵抗になる。つまり冷却速度の低下の原因になる。本研究では、銅ロールの表面温度は固着温度まで上昇しないため離型剤が必要なかった。これも冷却速度の向上に影響した。ノズルを使用することで、溶湯ヘッド圧によりメニスカスの振動を抑え、大気に触れる溶湯面積を狭くして酸化膜による熱抵抗も軽減するように工夫した。

## 4. 研究成果

### (1) 高速双ロールキャスターの冷却能の検証

A6063合金にFeを添加し、AlSiFe系の金属間化合物の微細化の可能性を確認した。

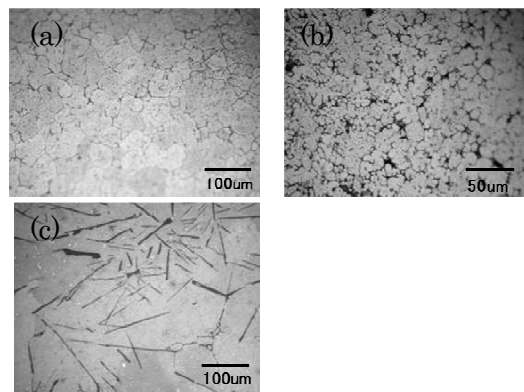


図3 A6063 および A6063+2%Fe の組織。

(a)ロールキャスト A6063, (b)型鋳造 A6063+2%Fe, (c)ロールキャスト A6063+2%Fe

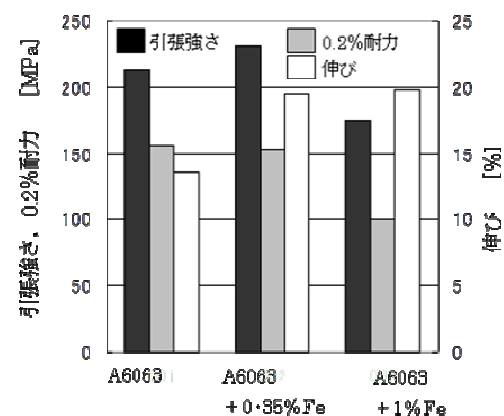


図4 A6063 および A6063 に Fe を添加したロールキャスト板の T6 処理材の引張試験

### (2) Si 量不足による時効効果の不足と対策

図4は A6063 および Fe を添加したロールキャスト板の T6 処理材の引張試験を示す。

Fe 量が 0.35% の場合は、A6063 より機械的性質は優れている。この結果は、ロールキャストした A6063 のリサイクル材は、強度の面からは 1 回のリサイクルに耐え得ることを示している。Fe 添加量が 1% の場合は時効効果が無くなる。これは、AlFeSi 金属間化合物が晶出するため  $Mg_2Si$  の Si が不足し、十分に析出硬化が得られなかったと考えられる。複数回のリサイクルでも強度が劣化しないためには、Si 量を増加させるか Cu を添加し  $CuAl_2$  や  $Al_2CuMg$  を析出させて強度を保持する方法が考えられる。A6063 の Si 量は、0.3% であるが、1% の A6061 を用いて Fe 量の強度への影響を調査した。Fe 量が 0.75% までは、Fe 量の増加とともに引張強さ、0.2% 耐力、伸びの全てが低下した。引張強さと 0.2% 耐力の低下は、 $Mg_2Si$  の減少が原因と考えられる。伸びは金属間化合物の増加が原因と考えられる。Fe 量が 1% の時に引張強さと 0.2% 耐力が増加したのは、単に金属間化合物の増加原因と考えられる。図 6 に T4 材の 180° 曲げ試験の結果を示す。外周近傍にはせん断帯が発生しているが割れには至っていない。

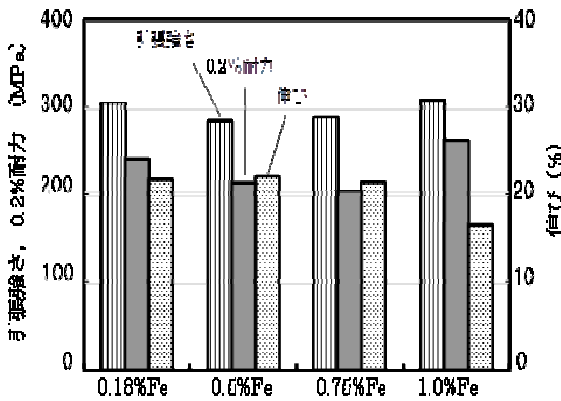


図 5 A6016 および A6016 に Fe 添加したロールキャスト板の T6 処理材の引張試験

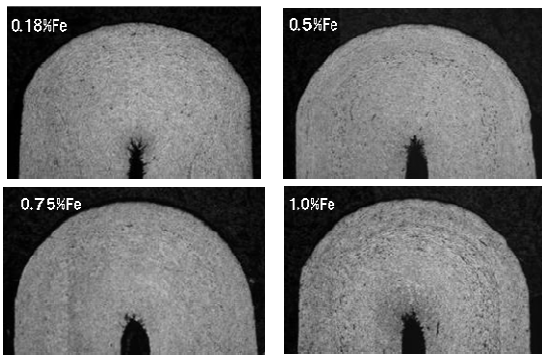


図 6 A6016 および A6016 に Fe 添加したロールキャスト板の T4 処理材の曲げ試験

A6111 のような Al-Si-Mg-Cu 系の合金であれば、Fe 量が増して Si が不足しても  $CuAl_2$

や  $Al_2CuMg$  が析出することで強度の低下は無いと推測し、A6111 を用いてロールキャストイングを行った。厚さ 1 mm まで冷間圧延後の T6 材の引張試験の結果を図 7 に示す。引張強さと 0.2% 耐力は、Fe 量の増加とともに若干増し、 $Mg_2Si$  の減少が  $CuAl_2$  や  $Al_2CuMg$  によって補われていると考えられる。また、微細な AlSiFe 金属間化合物の粒子分散強化も作用していると考えられる。

T4 材の 180° 曲げ試験の結果を図 8 に示す。Fe 量の増加は、割れに大きく影響していない。AlSiFe の晶出により Si の晶出量が減ることは、曲げ性を向上させるので、曲げへの Fe の悪影響を相殺することも起こっていると考えられる。

Cu の添加は、準固相線を生じさせ、高速双ロールキャスト材のワニ口割れの原因となった。したがって、Cu の添加は機械的性質の劣化を防ぐためには有効であると考えられるが、高速双ロールキャストには適していないと考えられる。

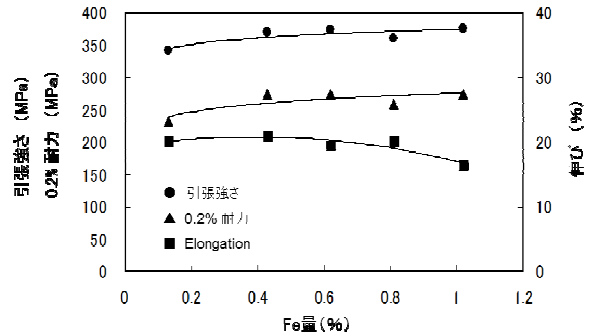


図 7 A6111 および A6111 に Fe を添加したロールキャスト板の T6 処理材の引張試験

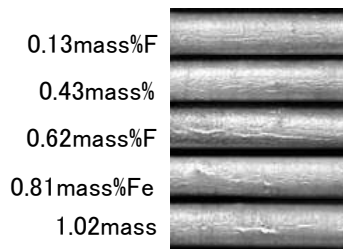


図 8 A6111 および A6111 に Fe を添加したロールキャスト板の T4 処理材の 180° 曲げ(厚さ 1 mm)

6000 軽合金 (Al-Si-Mg) において Si 量を増加させて Fe 量の増加による機械的性質の劣化を防ぐことができるか検討した。曲げ性も考慮する必要があるため、Si 量を 3% とした。通常の casting であれば、Si 量が 3% であると 180° 曲げは困難であるが、高速双ロールキャストにより 1000°C/s 以上の冷却速度で casting するため、晶出する Si や AlSiFe 系の金属間化合物は微細になり、延性の劣化を防

ることができると考えた。図9に T6 材の引張試験の結果を示す。Fe 量が増加すると引張強さと 0.2%耐力は増加した。AlSiFe が晶出しても Mg<sub>2</sub>Si の析出に必要な Si 量は存在したと考えられる。Fe 量が増加すると AlSiFe の効果により引張強さと 0.2%耐力は増加したと考えられる。

図 10 に曲げ試験の結果を示す。Fe 量が 0.7%までは、180° 曲げ試験が可能であった。へム加工に耐え得ると考えられる。

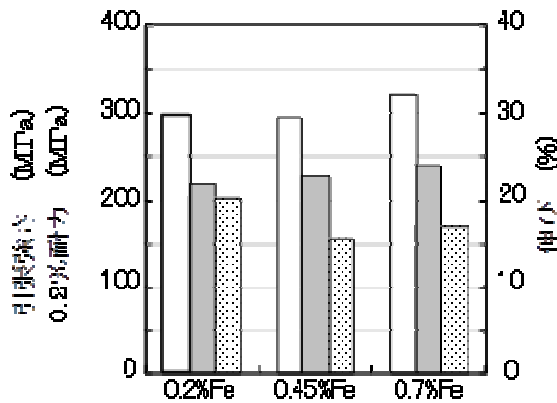


図9 Al-3%Si-0.3%Mg ロールキャスト板の T6 処理材の引張試験

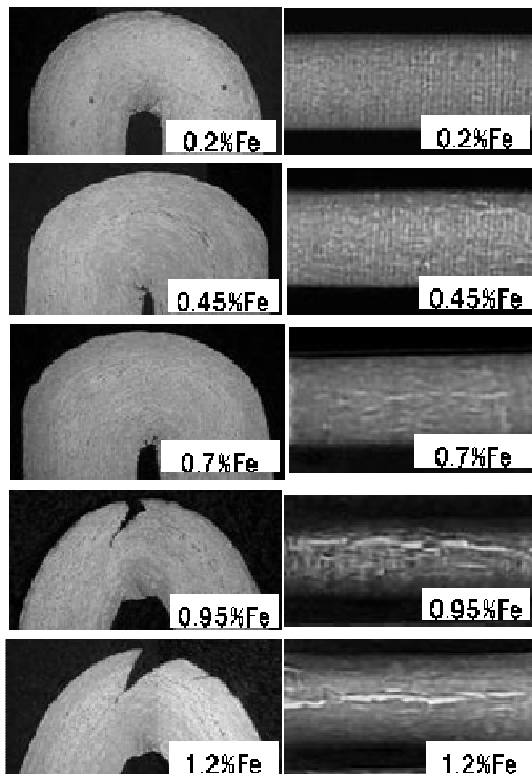


図10 Al-3%Si-0.3%Mg ロールキャスト板の T4 処理材の曲げ試験

(3) 汎用 6000 系合金のリサイクル性  
6000 系の汎用材としては A6061 がある。

高価な A6016 の代替として A6061 を使用することができるかについても調査を行った。A6061 の Si は 0.77% であり、A6016 の 1.1% より少ない。入手 A6061 の Fe 量は 0.36% であり、A6016 の 2 倍の量であった。一回に相当する 0.2% の Fe を添加した。引張試験の結果を表 1 に示す。0.2% 程度の Fe の添加であれば、A6063 と同様に機械的性質は向上した。また、180° 曲げにおいても外面に割れは発生しなかった。

表 1 A6061 および Fe を添加した A6061 ロールキャスト板の T6 材の引張試験

	引張強さ	0.2%耐力	伸び
A6061	248 MPa	131 MPa	21 %
+0.2%Fe	255 MPa	136 MPa	25 %

#### (4) 5000 系合金への Fe 量の影響

自動車の OUTER 材に使用される 6000 系に続き、INNER 材に使用される 5000 系への不純物の影響について調査を行った。汎用材である A5182 を用いた。引張試験の結果を表 2 に示す。A5182 の場合は、ロールキャスト性が悪く、6000 系のように Fe 量に対して傾向は現れなかった。しかし、顕著な機械的性質の劣化は無いようである。図 11 に深絞りの結果を示す。リサイクル 3 回に相当する 0.6% の Fe を添加しても LDR は 1.9 を得ることができた。

表 2 A5182 および Fe を添加した A5182 ロールキャスト板の 0 材の引張試験

	引張強さ	0.2%耐力	伸び
A5182	280 MPa	151 MPa	20 %
+0.2%Fe	295 MPa	138 MPa	28 %
+0.4%Fe	290 MPa	135 MPa	18 %
+0.6%Fe	302 MPa	140 MPa	22 %

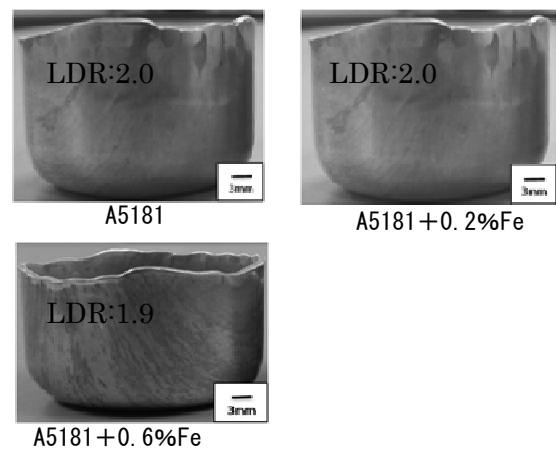


図11 A5182 および Fe を添加した A5182 ロールキャスト板の 0 材の深絞り。パンチ径 32mm

(5) 鋳造用 Al 合金のプレート材への適用の検討と Fe 量の影響

鋳造用合金はリサイクル材を使用している。共晶点近い Si 量を含む鋳造用合金である AC3A および Fe を添加した AC3A 合金のロールキャスト材を用いて自動車のパネル材への適用の可能性について調査した。AC3A の成分を表 3 に示す。Fe 量は 0.44% と多い。深絞り試験の結果を図 12 に示す。Fe が 0.44% であっても LDR が 1.7 の深絞りが可能であった。

表 3 AC3A 合金の成分 (mass%)

Si	Fe	Cu	Mg	Al
11.24	0.44	0.16	0.14	Bal.

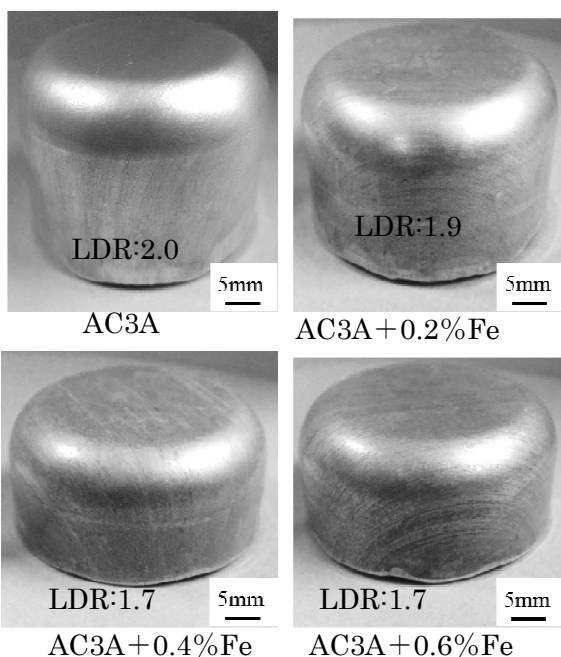


図 12 AC3A および Fe を添加した AC3A ロールキャスト板の 0 材の深絞り。パンチ径 32mm

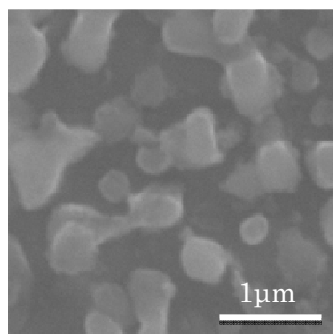


図 13 AC3A ロールキャスト as-cast 板の共晶 Si の SEM 写真

(6) 研究成果のまとめ  
ボディシートに使用する展伸用アルミ

ニウム合金のリサイクルから研究はスタートした。この研究をとおして、展伸用アルミニウム合金の等品位リサイクルに高速双ロールキャスターは有効であることが明らかになった。高速双ロールキャスターの高冷却能を活かし、安価なボディシート材を作製するには、安価な鋳造用アルミニウム合金を使用すべきである。ヘム加工以外であれば、AC3A 合金でさえも高速双ロールキャスターで鋳造した板は深絞りが可能であることを明らかにした。これは、アップグレードリサイクルの可能性を示唆していると考えられる。

#### 5 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① T.Haga, Roll casting of recycled AA5182, *Advanced Materials Research*, 査読有, Vol.121-126, (2012)4667-4670.  
Doi:10.4028/www.scientific.net/ARM.121-126.4667.
- ② T.Haga, H.Inui, R.Nakamura, Strip casting of 6061 and recycled 6061 alloy by an unequal diameter twin roll caster, *Advanced Materials Research*, 査読有, Vol.264-265, (2011)1911-1916.  
Doi:10.4028/www.scientific.net/ARM.264-265.1911
- ③ T.Haga, H.Harada, Casting of Al-25% strip using a vertical type twin roll caster, *Advanced Materials Research*, 査読有, Vol. 239-242, (2011)1944-1947.  
Doi:10.4028/www.scientific.net/ARM.239-242.1994
- ④ K.Komeda, T.Haga, S.Kumai, High speed twin roll casting of Al-Mg alloys, *Advanced Materials Research*, 査読有, Vol.154-155, (2011)1544-1548.  
Doi:10.4028/www.scientific.net/ARM.154-155.1544

[学会発表] (計 13 件)

- ① T.Haga, Strip Casting of the Recycled Aluminum Alloys, *International Symposium on Materials Science and Innovation for Sustainable Society (ECO-MATES2011)*, 30/November/2011, Osaka University
- ② 羽賀俊雄, 直径 1000 mm の縦型双ロールキャスターによるアルミニウム合金板の作製, 第 62 回塑性加工連合講演会, 2011 年 10 月 28 日, ホテル日航豊橋.
- ③ 羽賀俊雄, リサイクルアルミニウム合

- 金のロールキャスティング，第 62 回塑性加工連合講演会，2011 年 10 月 28 日，ホテル日航豊橋。
- ④ T.Haga, Strip casting using a single roll caster equipped with a scraper, Aluminium science and Technology ECAA2011, 6/October/2011, Bremen convention center Germany.
  - ⑤ T.Haga, Roll casting of aluminum alloy strip by a single roll caster equipped with a scraper, International conference on advances in materials & processing technologies AMPT2011, 15/July/2011, Istanbul convention center Turkey.
  - ⑥ T.Haga, Casting of aluminum alloy clad strip using a roll caster, JSME/ASME2011 International conference on materials & processing, 14/Jun/2011, Oregon State University, USA.
  - ⑦ 羽賀俊雄, 直径 1000 mm ロールを用いた縦型高速双ロールキャスターの試作, 日本機械学会第 18 回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2010), 2010 年 11 月 27 日, 東京大学.
  - ⑧ 羽賀俊雄, 縦型高速双ロールキャスターによる 5182 合金薄板作製における巣の改善, 日本機械学会第 18 回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2010), 2010 年 11 月 27 日, 東京大学.
  - ⑨ 羽賀俊雄, 縦  $\Phi$ 1000 型高速双ロールキャスターによる 6000 系合金薄板の作製, 軽金 119 回秋期大会, 2010 年 11 月 14 日, 長岡技術科学大学.
  - ⑩ 米田康祐, 羽賀俊雄, 縦型高速双ロールキャスターによる 5182 のリサイクル材を使用した薄板作製, 塑性加工学会春季講演会, 2010 年 5 月 30 日, 電気通信大学
  - ⑪ 羽賀俊雄, 5182 合金の双ロールキャスティングにおける欠陥の改善, 軽金 118 回春期大会, 2010 年 5 月 23 日, 関西大学.
  - ⑫ 羽賀俊雄, 縦型高速双ロールキャスターによるリサイクル Al 合金薄板の作製, 軽金 117 回秋期大会, 2009 年 11 月 14 日, 電気通信大学.
  - ⑬ 羽賀俊雄, 高速双ロールキャスターによるリサイクル 5182 合金薄板の作製, 日本機械学会第 18 回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2009) 2009 年 11 月 6 日, 富山国際会議場.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

羽賀 俊雄 (HAGA TOSHIO)  
大阪工業大学・工学部・教授