

平成27年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高品質マグネシウム合金板のコスト半減を実現する
高速双ロール鋳造・圧延技術の開発」

成果報告書

平成28年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 一般社団法人首都圏産業活性化協会

目次

第1章 研究開発の概要

1.1	研究開発の背景	1
1.2	研究開発の目的及び本年度の目標	1
1.2.1	研究開発の目的	1
1.2.2	本年度の目標	2
1.3	研究体制（研究組織・管理体制，研究者氏名，アドバイザー）	3
1.3.1	研究組織	3
1.3.2	管理体制(事業管理者の概要)	4
1.3.3	研究者氏名	4
1.3.4	アドバイザー氏名	5
1.4	成果概要	5
1.5	当該プロジェクト連絡窓口	6

第2章 本論

2.1	リバース圧延機の板温度均熱化のための設計と試作	7
2.1.1	圧延ワークロールの設計と試作	7
2.1.1	設計法及び理由	7
2.1.2	実製試作品	7
2.1.3	稼働実験	7
2.2	200kg コイル 鑄造条件の最適化	9
2.3	コストの評価	9
2.3.1	コスト評価方法	9
2.3.2	コスト計算	10
2.3.3	アドバイザーの意見	10
2.4	鑄造条件と機械的性質	11
2.4.1	東海大学の取組	11
2.4.2	産業技術総合研究所の取組	15
2.5	スクレイパーを装備した単ロール鑄造機の開発	18
2.5.1	スクレイパーを装備した単ロール鑄造機の設計と試作	18
2.5.1	金属組織、機械的性質の確認	18
2.6	クラッド材製作用双ロール鑄造機の開発	19
2.6.1	クラッド材製作用双ロール鑄造機の設計と試作	19
2.6.2	クラッド（接合）に影響する条件の探索	20
2.6.3	プレス成形に対する最適クラッド比の探索	21
2.6.4	金属組織、機械的性質の確認	22

第3章 総括

3.1	達成度	23
-----	-----	----

第1章 研究開発の概要

1.1 研究開発の背景

マグネシウム合金は、軽量化が急務である自動車、情報家電、建築分野から熱望されている材料である。現行軽量材料としては、アルミニウム、樹脂、チタン、等がある。これら材料に対してマグネシウム合金は物理的・機械的性質の面で様々な特徴を有している。しかし、マグネシウム合金板の第1世代であるAZ31板は軽量、高リサイクル性をもつが、強度不足・燃えやすい・高価、が問題である。これを改良した第2世代のAZX611板は軽量・高リサイクル性を維持しながらも、マグネシウム合金を難燃化しつつ強度を向上する事が可能である。しかしながら、板材のコストは未だに高価（4,000円/kg）である。マグネシウム合金展伸材のコスト高の理由として、活動するすべり系が他の軽金属材料に比べて少なく、冷間加工が難しいことが挙げられる。マグネシウム合金薄板を得るには溶解・鋳造工程で約80mmのブロックとした後、加熱・熱間圧延を30回程度、繰り返す必要がある。依って、マグネシウム合金に対する産業界からのニーズは、その優れた軽量性を維持しながら特性を向上した状態での大幅なコスト低減にある。

本研究開発では、マグネシウム合金板の製造工程において、溶解時の溶湯清浄化技術及び高速双ロール鋳造と圧延工程での凝固・加工・熱処理に関する制御技術を開発し、従来材に比べて不純物が少なく、製品欠陥の少ないマグネシウム合金板のコスト半減を実現する。これにより、従来、コスト面から採用され難かった情報家電、自動車、建材分野でマグネシウム合金板の特徴を活かした用途・需要を確保し、軽量化・リサイクル・省エネルギーにより総合的な温室効果ガス削減にも貢献する。これらの背景に係る技術的課題を平成25年度から平成27年度の3ケ年で解決する。

1.2 研究開発の目的及び本年度の目標

1.2.1 研究開発の目的

プレス成形用マグネシウム合金の主流であるAZ31合金は、強度不足かつ燃えやすい点が問題である。強度不足については合金中のアルミニウム（以下「Al」という。）量を増やすことにより、また燃えやすい点についてはカルシウム（以下「Ca」という。）を加えることにより解決できる。しかし、この方法はいずれも圧延時のマグネシウム合金の変形能を低下させ、エッジ割れ等が発生し易くなる。それらを防止するためには、圧延時の圧下率を下げ、圧延のパス回数を増やす必要がある。従来、マグネシウム合金は室温での変形が不可能で圧延を熱間で行うために生産コストが高く、パス回数の増加は更なる高コスト化の原因となっている。

AZ31合金に対して、Alの量が2倍で1%のCaを加えたAZX611合金は、高強度難燃性の第2世代のマグネシウム合金として情報家電業界・自動車業界・建築業界から注目されているが、上述の通り生産コストが高く実用化されていない。そのために、低コストでAZX611合金板を製作できる全く新しいプロセス開発が必要である。

本年度（平成27年度）の研究開発では、容易に薄く高機能なAZX611合金板を成形できる高速双ロール鋳造法を確立し、生産コストを1,500円/kg（現状4,000円/kg）まで低下させることを目的とする。さらに、高速双ロール鋳造法の発展技術として、より薄い板を製作することが出来るスクレイパーを装着した単ロール鋳造機と、プレス成形性の向上を目的としたクラッド材の製作が可能な双ロール鋳造機を開発する。

1.2.2 本年度の目標

1) 研究の概要

今年度の研究開発では、均温加熱炉の設計・製作を行い、200kg コイルの最適な鑄造条件を確立する。製作した AZX611 合金について特性評価（機械的強度、マイクロ組織解析等）を行い鑄造条件の適性を検証する。この結果からコスト評価を行い、今年度は 1,500 円/kg の達成を目標とする。

また、今年度は、スクレイパーを装備した単ロール鑄造機を完成させ、単ロール鑄造板の製作を行う。更に、クラッド材製作用双ロール鑄造機を製作し、クラッド材を製作する。そのクラッド板を用いて深絞り試験を行い、LDR1.8 (-) を達成する。

2) 実施内容

①リバーズ圧延機での板温度均熱化の設計と製作（実施：権田金属工業株式会社）

昨年度は、高速双ロール鑄造の生産力に対応するための生産速度向上かつ板表面の清浄性及び厚さ精度維持を満足するリバーズ圧延機の設計・製作を行った。その結果、1パスあたりの圧下率が向上し、工数が約 30%程度削減できることを確認した。今年度は、板温度を 300°C 以上で均熱化させるための加熱炉の構造設計と迅速な温度制御システムを構築し、高速双ロール鑄造の生産力に対応した板厚制御システムの確立及び工数 50%削減を実現する圧延制御方式を含めた全体の最適化を実施する。

②200kg コイル鑄造条件の探索（実施：権田金属工業株式会社、学校法人常翔学園）

従来のパイロット機に使用されているロールでは、温度制御性が悪く最適な鑄造条件が長続きせず 50kg のコイルしか製作できなかったが、昨年度、高冷却ロールを用いて AZX611 合金で 100kg の板を連続して鑄造・巻取りができる鑄造条件を明らかにした。今年度は、さらに最適化を進め 200 kg のコイルを作成するための、ロール周速、注湯温度、ロール荷重等の最適条件を確立する。

③コストの評価（実施：権田金属工業株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人常翔学園、学校法人東海大学）

昨年度までに得られたデータ及び試作した AZX611 合金板の生産コストについて、アドバイザーなどの助言を加味して評価し、最終目標である 1,500 円/kg を達成する。

④鑄造条件と機械的性質の確認（実施：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人東海大学）

①と②の研究実施により試作した AZX611 合金板の金属組織、機械的性質に対する鑄造条件（ロール周速、注湯温度、ロール荷重、板厚等）の影響を確認する。

⑤スクレイパーを装備した単ロール鑄造機の設計・製作（実施：学校法人常翔学園、権田金属工業株式会社）

スクレイパーを装備した単ロール鑄造機は、双ロール鑄造機に比べて半分の厚さの板を連続して鑄造できる。また、消耗品であるロールの個数も半分になる利点もある。今年度は、昨年度に引き続き、ロールサイズを $\phi 1000\text{mm} \times 100\text{mm}$ とし、マグネシウム合金の板が製作可能な単ロール鑄造機を設計・製作する。

⑥金属組織、機械的性質の確認（実施：学校法人東海大学、権田金属工業株式会社）

昨年度からの取り組みを継続して行い、更に⑤及び⑦の研究実施により試作した AZX611 合金のクラッド板の金属組織及び機械的性質を確認する。

⑦クラッド材製作用双ロール鋳造機の開発（実施：学校法人常翔学園、権田金属工業株式会社）

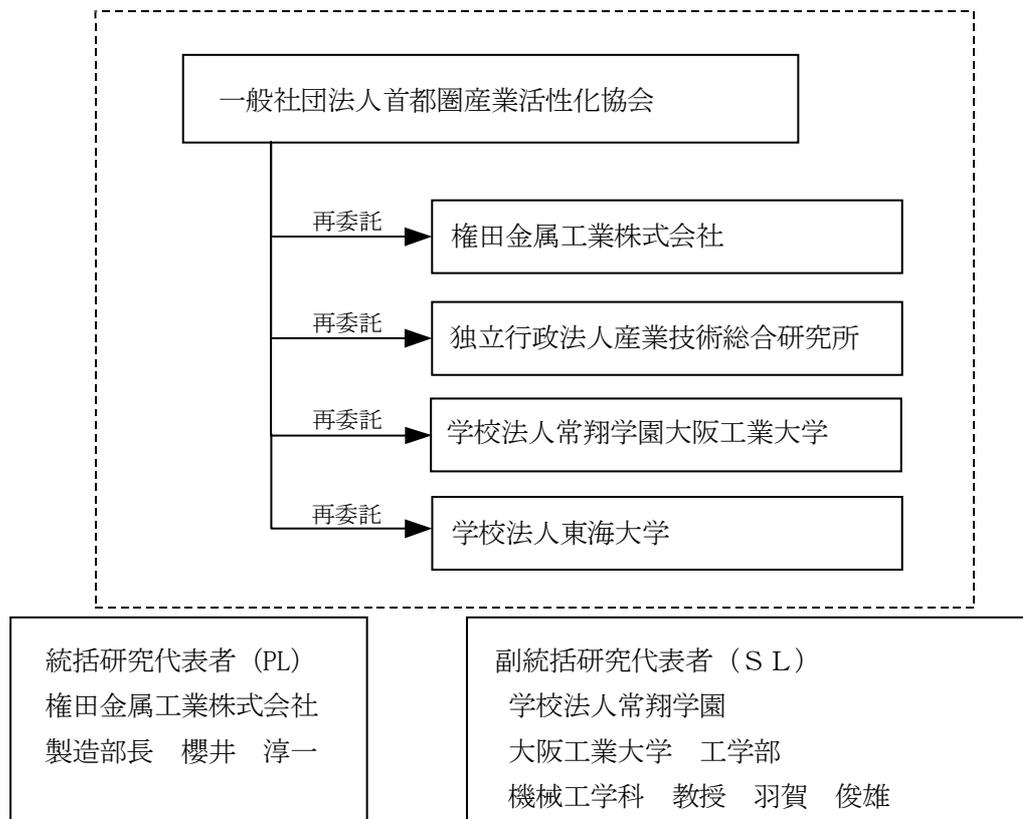
表面と内面でアルミニウム量の異なる難燃性マグネシウム合金を有したクラッド材を製作し、その板を用いて深絞り試験を行い、LDR1.8(-)を達成する。

⑧プロジェクトの管理・運営（実施：一般社団法人首都圏産業活性化協会）

- ・事業管理機関・一般社団法人首都圏産業活性化協会が本プロジェクトの管理を行う。プロジェクトの研究経緯と成果について取りまとめ、成果報告書1部及び電子媒体（CD-ROM）を作成する。
- ・本研究の実用化に向けた到達の度合いを検証するとともに、事業化に向けての課題等について研究実施者と調整を行う。
- ・再委託先事業者が作成する証憑書類について、指導・確認を行う。
- ・研究開発推進委員会を委託契約期間内に4回程度開催する。

1.3 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、アドバイザー）

1.3.1 研究組織



1.3.2 管理体制(事業管理者の概要)

【研究管理者氏名】 松本 浩造

【研究管理者略歴】

- ① 1963年4月 富士電機株式会社入社 (～2008年3月)
 - ・材料研究所／中央研究所／富士電機総合研究所／東京工場 勤務(研究・業務実績等)
 - ・金属材料の高温強度評価・接点材料開発・原動機用金属材料の研究・粉末冶金技術の適用研究・セラミックス製造プロセスと応用に関する研究・インクジェットヘッドの開発研究等
 - ・電気接点, 燃料電池用電極, 圧電材料, セラミック材料, インクジェットヘッド関連の特許出願
- ② 2008年4月 (社)首都圏産業活性化協会 (～現在に至る)
 - 研究開発担当 (TAMA地域企業の研究開発プロジェクトの推進支援)

【経理担当者氏名】 西原 輝好

【経理担当者略歴】

- ① 1974年～2011年 西武信用金庫
- ② 2011年～現在 (社)首都圏産業活性化協会: 管理部長 (管理・経理担当)
 - ・着任以来, (社)首都圏産業活性化協会にて, 経理及び管理業務を統括し, 現在に至る

1.3.3 研究者氏名

権田金属工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
櫻井 淳一	製造部長	① ②③⑤⑥⑦
片桐 隼人	製造部 マグネシウム部	①②③⑤⑥⑦

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
松崎 邦男	先進製造プロセス研究部門 難加工材成形Gグループ長	③④
花田 幸太郎	先進製造プロセス研究部門 難加工材成形G	③④

学校法人東海大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
吉田 一也	工学部 精密工学科 教授	③④

学校法人常翔学園大阪工業大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
羽賀 俊雄	工学部 機械工学科 教授	②③⑤⑥⑦

1.3.4 アドバイザー氏名

氏名	所属・役職	備考
高梨 伸	ソニーモバイルコミュニケーションズ 株式会社 開発課長	アドバイザー（旅費）
板倉 浩二	日産自動車株式会社 テクニカルセンター アシスタントマネジャー	アドバイザー（謝金，旅費）
本田 徹	株式会社タイセイ総研 常任理事	アドバイザー（謝金，旅費）
鈴木 孝和	独立行政法人産業技術総合研究所 イノベーション推進本部 産業技術指導員 (コンサルティング・アドバイザー)	アドバイザー

1.4 成果概要

1) リバース圧延機での板温度均熱化の設計と製作

従来のリバース圧延機はコールドロール法であったため、移動のムダ、板幅方向の温度ムラがあり、更に熱膨張によるロールの樽型化が問題であった。本年度の研究開発ではホットロール法を採用することで、板幅方向温度ムラを改善しロールの樽型化防止を達成した。設計仕様と構造仕様は以下の通りとした。

- ・設計仕様（基本仕様）

最高使用温度＝450℃、燃料＝LPG 13A、最大燃焼量＝420(MJ/h)100、000(kcal/h)

- ・構造仕様

①ガスラジエントチューブで間接加熱された大量の循環空気で強力均一にコイルを加熱する。

②ガス燃焼室空気を予熱する熱交換機バーナーと、断熱材にセラミックファイバーを使用する省エネルギー炉である。

2) 200kg コイル casting 最適条件の探索

従来はロール温度上昇により50kg以上の casting は不可であった。本年度の研究開発ではロール温度上昇を抑制する事により200kg以上の casting も可能とした。下表の条件内であれば casting ロールの樽型化が抑制され、次工程圧延に支障のないことを確認した。

ロール周速・V(m/min)	溶湯温度・T(℃)	板厚・t(mm)
30	約650～660	約4.0
20		約5.0
10		約6.0

3) コスト評価

コスト算出は、製作条件を品種：AZX611、形状：1.0mm(t)x600mmx1000mm として行った（電気・ガス代は3年間固定、月稼働21日中1日を整備日として、20日×4ch）。本年度の研究開発の遂行により、改善前の5,140円/kgから、改善後は1,800円/kgまで削減できた。更に、工数を見直すことで目標の

達成を図る。

4) 鑄造条件と機械的性質の確認

圧延上がりのマグネシウム合金板に350℃で熱処理することにより、板の引張り強さは300MPa程度になることを確認した。この強度レベルは市場の要求を満たしている。

5) スクレイパーを装備した単ロール鑄造機的设计・製作

スクレイパー荷重を0.05kg/mmとして、厚さ1mm以下の薄板の作製を目的とした。板厚に対する凝固距離、ロール周速、凝固定数などの関係を実験的に検討した。板厚1mmにするには、凝固距離(L)を30mm以下にすれば実現できることを確認。正常なマイクロ組織を有する薄板を作製した。

6) 金属組織、機械的性質の確認

昨年度からの取り組みを継続し、AZX611合金の単ロール板、クラッド板の金属組織及び機械的性質を調査確認した。強度レベルは市販品と同等であり、金属組織も正常であった。

7) クラッド材製作用双ロール鑄造機の開発

本年度は、マグネシウム合金同士のクラッド化によって、今までにない性能を持った材料ができる可能性に着眼し、AM60とAZ121クラッド材の作製を試みた。即ち、縦型双ロールキャスターを用いて、溶湯から直接クラッド材を作製することで酸化膜の影響を受けず、クラッド材が作製できる可能性がある。双ロール鑄造でAM60とAZ121のクラッド材を得、熱間圧延で厚さ1mmとした。本クラッド材は繰返し曲げ試験では剥離せず、AM60とAZ121は強固に接合していることを確認できた。更に、V曲げ試験、エリクセン試験も行い基礎データを収集した。

1.5 当該プロジェクト連絡窓口

管理団体： 一般社団法人首都圏産業活性化協会

担当： 松本 浩造

住所： 東京都八王子市旭町9番1号

電話： 042-631-1140

FAX： 042-631-1124

メールアドレス：matsumoto@tamaweb.or.jp

第2章 本論

2.1 リバース圧延での板温度均熱化の設計と製作

2.1.1 圧延ワークロールの設計と製作

2.1.1.1 設計及び理由

現在の圧延機の方法加熱用の炉は最高使用温度設定が 440℃までの仕様となっている。(雰囲気 400℃、板温度 370℃) 圧延機の構造上炉から出した板が圧延ロールに到達するまでに 350℃以下まで低下してしまう。結果、1パスあたりの圧下量がかせげない。本年度では 500℃まで加熱できる炉に変更し板温度が圧延ロールに到達するまでに 400℃以上を確保する。

効果

- ①1パスあたりの圧下量が向上し、工数の削減が見込める。
- ②現在は溶体化の炉から圧延機炉へ移動のロスがあるが、1炉で処理可能になる。
- ③溶体化後すぐに圧延することによりエネルギーの削減が見込める。

設計仕様

- ①ガスラジエントチューブで間接加熱された大量の循環空気で強力均一にコイルを加熱する。
- ②ガス燃焼空気を排熱で予熱する熱交換器バーナーと、断熱材にセラミックファイバーを使用する省エネルギー炉

2.1.1.2 実製試作品

製作した加熱炉を図 2-1 に示す。



図 2-1. 圧延用加熱炉

2.1.13 稼働実験

導入したガス炉と電気炉の温度分布を図 2-2 に示す。ガス炉では電気炉に比べより高温に加熱されていることが分かった。

また、図 2-3 に示す通り、従来ではガス炉で熱処理したコイルを一度圧延機の電気炉に移動してから圧延を開始していたが、本設備で熱処理できる温度まで加熱できるため、炉から炉へ移動する手間を削減することができた。さらに 2 炉使用から 1 炉使用にしたことによりエネルギーの削減も行った。

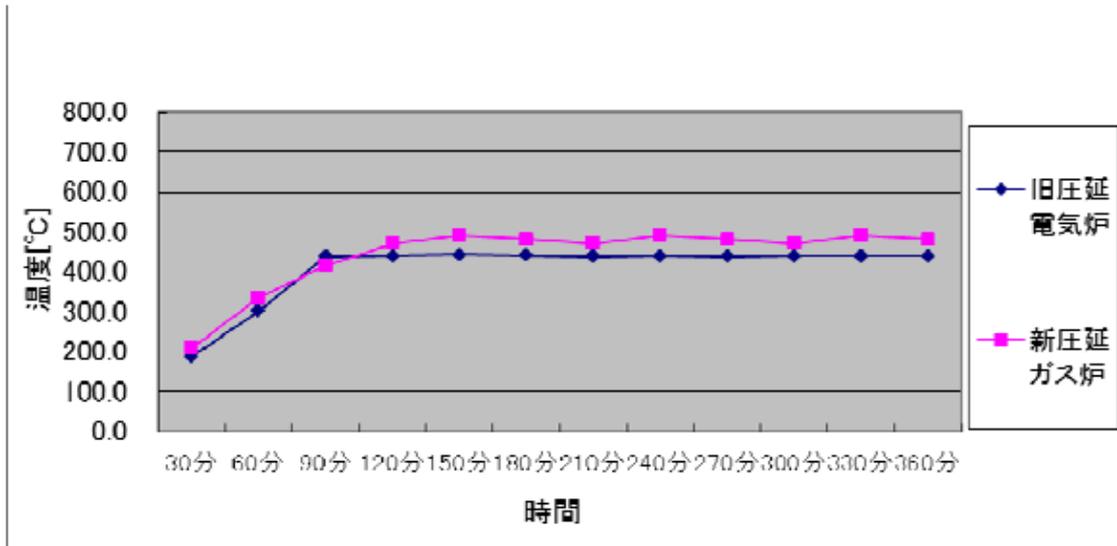


図 2 - 2. ガス炉及び電気炉の温度測定

厚さ設定用リバース圧延機

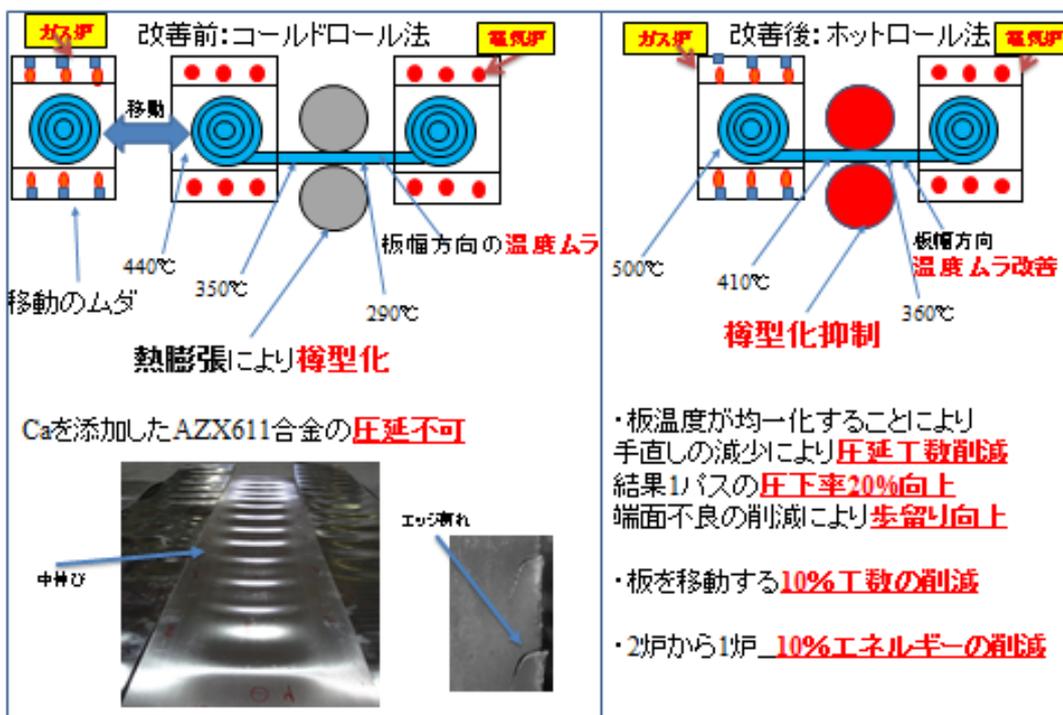
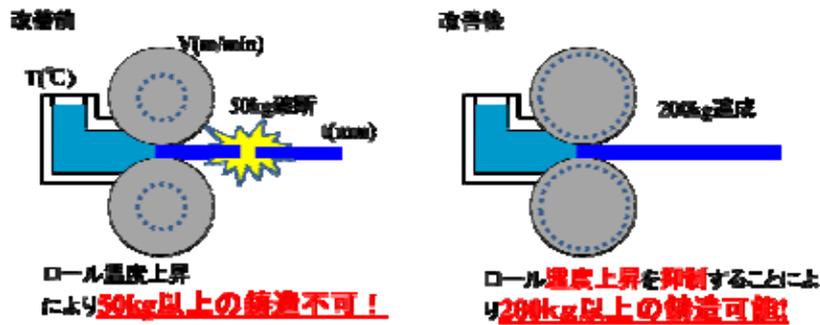


図 2 - 3. リバース圧延の改善前後比較

2.2 200 kg コイル 鋳造条件の最適化

図 2 - 4 に示す通り、AZX611 合金の鋳造では出湯時の溶湯温度が高いため、より急激にロール温度が上昇し、板がつながらずに切れてしまう為、50 kg 以上の鋳造は不可能だった。H25 年度に導入した高冷却鋳造ロールを使用することによりロール上昇温度を抑制し、200 kg 以上の鋳造を行えるようになった。また、以下の表の条件内であれば鋳造ロールのたる型化が抑制でき、次工程での支障が発生しなくなった。



ロール周速 V(m/min)	溶湯温度 T(°C)	板厚 t(mm)
30	約650~660	約4.0
20		約5.0
10		約6.0

この条件内であれば casting ロールが筒型化が抑制され
次工程圧延に支障がない

図 2 - 4 . AZX611 铸造条件

2.3 コストの評価

2.3.1 コスト評価方法

先に述べたように AZX611 合金板は量産化されておらず板価格は現在販売されている市場価格の倍以上となっている。現在の市場価格は AZ31 合金板において従来のスラブ圧延では 4000 円/kg、双ロール铸造法では 2500 円/kg となっているが、現状の評価をアドバイザーの助言を得ながら以下の算出方法で実施した。本検討で、目標である AZX611 合金板での価格 1500 円/kg にちかい 1660 円/kg の達成が見込まれた。

製品コスト計算には以下の式を用いた。

製品コスト(円/kg)=材料費+溶解コスト+铸造コスト+圧延コスト+研磨コスト+検査コスト

- 1.材料費=原材料費×溶解投入量÷製品重量
- 2.各工程コスト=人件費+光熱費+消耗品費
 - a.人件費=人数×作業時間×時給÷製品重量
 - b.光熱費=(消費電力×作業時間×電気料金+消費ガス量×作業時間×ガス料金)÷製品重量
 - c.消耗品費=消耗品費÷製品重量

2.3.2 コスト計算

平成 27 年度のコストを計算するに当たり、以下の仮定条件を用いた。また、比較のために価格は 2013 年に計算したものを流用する。

電気料・・・21 円/kwh (2013 年価格)

ガス料金・・・92 円/m3 (2013 年価格)

原材料費 AZ61・・・380 円/kg (2013 年 AZ61 インゴット価格)

AZX611・・・462 円/kg (2013 年 AZ61 インゴット価格+Mg - Ca30%インゴット価格)

月産重量・・・15 トン

(月稼働 21 日中、5 日を整備日として铸造日数 16 日、1 日铸造 3 回実施)

作業者時給・・・・2,000 円/h

計算の結果、H26 年度末及び H27 年度末の AZX611 合金板コスト価格を図 2-5 に示す。

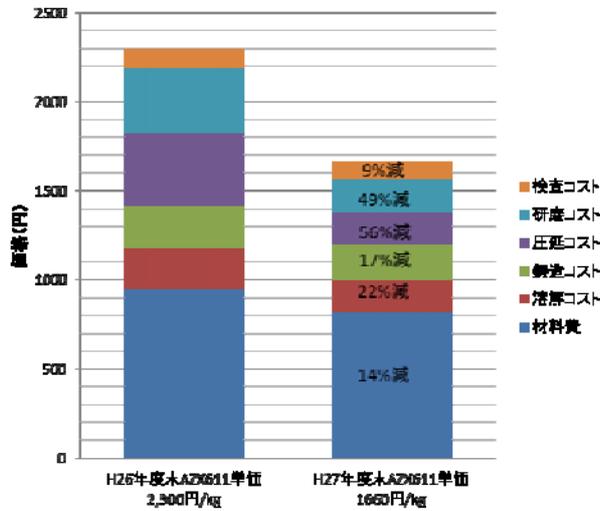


図 2-5. 最終コスト計算 AZX611

従来の AZX611 合金では 5300 円/kg と大幅にコストが高かった。これは AZX611 合金板では従来の鋳造ロールの冷却能力が足りないことによりコイル化が出来ない為である。

本年度の計算結果では上記に述べたように従来の AZX611 はコイル化できなかった為、コストの大幅増の原因となっていたが、AZX611 でも 200kg のコイル化が達成できたこと、圧延工数の削減ができたことにより目標の AZX611 合金で 1660 円/kg の達成をすることができた。均熱圧延ロールを導入したことにより AZ61 合金および AZX611 合金でも圧延工数の削減ができた。

2.3.3. アドバイサーの意見

各業界のアドバイザーからコストに関するアドバイスを得た。この意見を参考にコスト算出と作製する板特性について検討した。

ソニー株式会社

・扱っている製品が弱電なので、使う量は少ないので他の市場ほど要求は厳しくはないが、たとえばスマートフォンでは薄くなって強度が求められるようになっている。表面はプラスチックでは難しくなっておりガラスを使うようになっている。それにともない一部、内部や外部で金属材を使って強度を補強している。従って軽くて丈夫な材料であれば材用される可能性はある。

・使用料は数g程度なので、価格が落ちてくれば、アルミに比べて強度が強いとかくぼみがないと言ったメリットがあるので、アドバンテージになると思う。

日産自動車株式会社

・自動車の中のパネル部品はプロセスが長く、プレス→接合→塗装・・・と、それぞれにマグネシウムの課題がある。

・既存のプロセス中の課題に加えてコストアップがあると自動車での採用は進みにくく、ニッチな車でしか使えない。ただし市場でも少しずつマグネシウムの板を使ってくる車が出てきているので、採用していく可能性はある。爆発的に車に使われるのはまだ遠い将来かと考えている。

・クラッドは面白いと思っていて、アルミの世界だと成形しやすい合金と強度の高い合金をクラッドにしたものが採用されている。マグネシウムとアルミのクラッドがあるとすると、耐食性や塗装性、成形性をアルミに持たせるという考え方はあると思う。

・自動車用の材料としての最大の課題は板のサイズ。幅2mは必要なので、今の延長線上で2mができるかわからないが、期待している。

大成建設株式会社

・建材として既存（アルミ）の置き換えをするには、アルミと品質や価格が同じ目標では難しい。現行品の置き換えは努力がいる（リスクがある）。そこに課題がある。

・（単なる置き換えではなく、別のメリット、たとえば電磁シールドを）しっかり評価していくべきだと思う。また天井材にしても大面積での採用の可能性がないか検討すべき。ニッチな市場（天井、腰木、巾木）では十分可能性はあると考えられる。一番面積の大きい外装材への採用は厳しいと考えている。

・市場で使われ始めると（ユーザは）横展開も考えるので、まずはニッチであっても使っていくことが大事だと考えている。

2.4 鋳造条件と機械的性質の確認

2.4.1 東海大学の取り組み

本研究グループが開発した高速双ロール鋳造・圧延法にて製造されたマグネシウム合金板の機械的性質の評価を行い、鋳造条件や圧延加工条件ができた板の機械的性質への影響を調査した。

また、鋳造後の圧延加工度と機械的性質を明らかにし、産業界が要求するマグネシウム合金板の機械的性質であるか判断する。さらに製造コスト低減のための圧延加工工程を考察した。

具体的な評価項目

① 試作された100kgクラスのAZX611のMg合金板材の機械的性質の評価

（評価法の確立、他社製品との比較なども含む）

② 圧延加工度と機械的性質との関係

鋳造板を繰り返し圧延することにより、機械的性質の向上できる圧延加工度を検討する。この結果により、このプロセスでの製造できる板の寸法範囲と製造コストを明らかにすることができる

機械的性質の方法

図2-6に示す様にワイヤー放電加工にて、鋳造板、圧延加工板を鋳造方向、圧延方向に0度、45度、90度の試験片を取り出した。試験片の寸法は図2-7に示す。

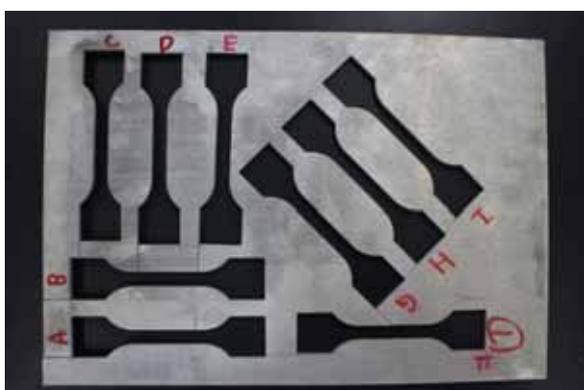


図2-6. 鋳造・圧延板から試験片の切出し

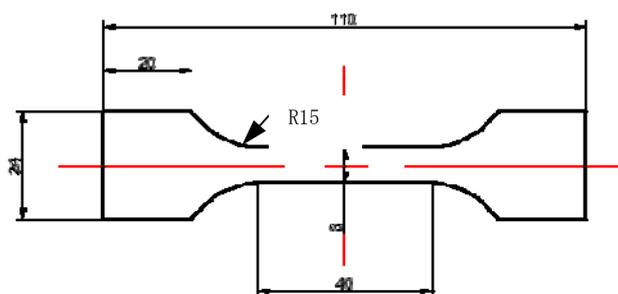


図2-7. 機械的性質を調べる試験片寸法

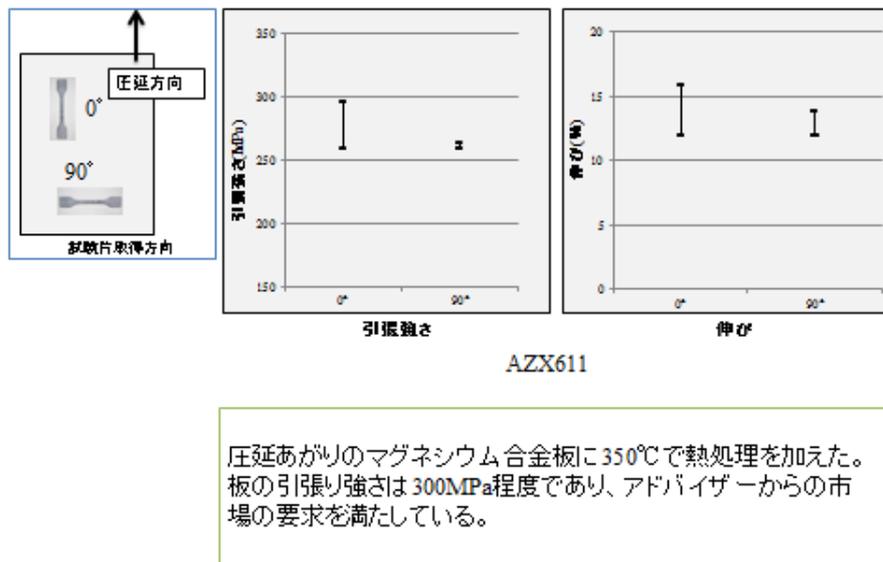
試験結果

図 2-8 に材料条件、図 2-9 から図 2-11 に試験結果を示す。



図 2-8. 材料試験片条件

【1-6】 鋳造条件と機械的性質の確認



17

図 2-9. 圧延パス 10 回目での引張試験結果

破断面のEDS解析

90° 焼鈍材における引張り試験後の試験片破断面の介在物の光学顕微鏡, SEM観察

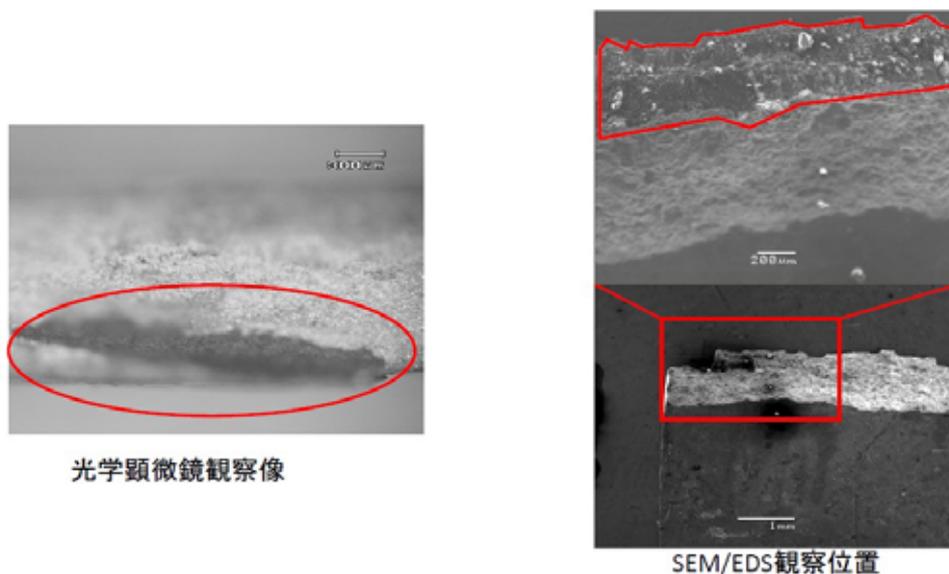


図 2 - 1 0 . 破断面の EDS 解析

破断面のSEM/EDS解析

介在物のEDS分析によるマッピング画像

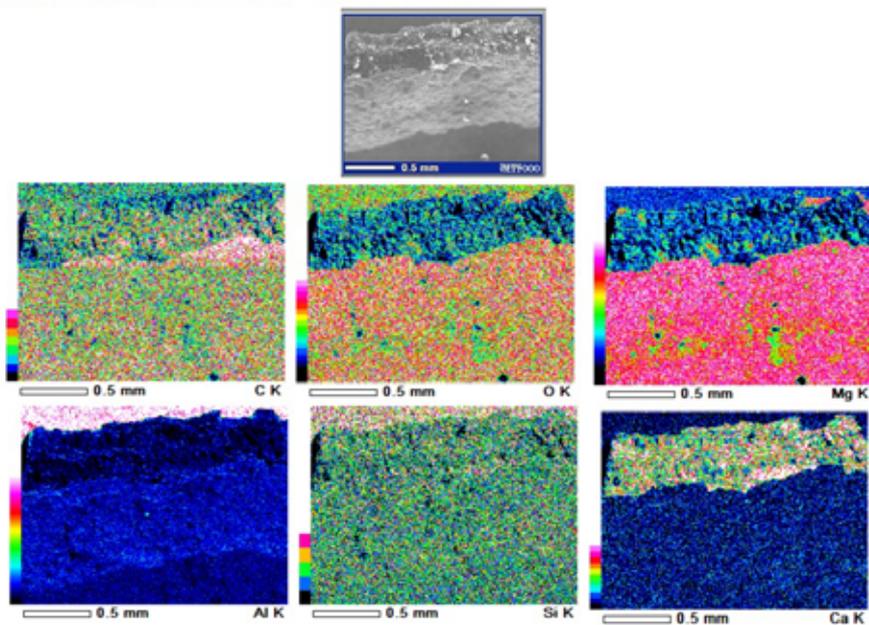


図 2 - 1 1 . 破断面の SEM/EDS 解析

考察及びまとめ

AZX611 の機械的性質

・ 鋳造板の引張強さは 200MPa 程度だったが、熱間圧延を 4 パス繰り返すと板の引張強さは 250MPa まで向上し、破断伸びは 4% となった。この段階ですでに鋳造組織はつぶされ、良好な金属組織になっていることが推測できる。

・ 図 12 に示す通り熱間圧延を更に 10 パス繰り返していくと圧延上がりの引張強さは 300MPa 近くまで向上し、破断伸びは数 10% まで向上した。

昨年の結果では熱間圧延を繰り返していても約 3% 程度の伸びしか得られなかった。また最終の圧延加工後に焼鈍処理を施しても 6% 程度の伸びしか回復しなかった。その点から新方式の鋳造・圧延では AZX611 板の機械的性質は飛躍的に向上している。

熱間圧延後に機械的性質を向上させるための焼鈍工程を入れているが、熱間圧延を 10 パス繰り返すと焼鈍工程を入れなくても焼鈍に近い品質を得ていることが分かった。

10 パス圧延を繰り返し 0° と 90° 方向に試験片を切り出し、その方向が機械的性質に与える影響を調べた。圧延方向に切り出した板の引張試験での破断伸びは 8% から 10 数% にバラつきがあった。

・ 図 13 および図 14 に示す通り 90° 方向の引張試験片の破断伸びがばらつく原因を EDS で分析すると Ca 介在物が偏析していた。圧延によりその Ca 酸化物が圧延方向に引き伸ばされるため、酸化物とマグネシウムの界面強度が低いので破断ひずみが減少したものと考えられる。

以上により本開発により鋳造されたマグネシウム合金 AZX611 板は、市場から要求される機械的性質はほぼ満足していると判断できる。しかし、今後の課題として Ca の偏析を抑える技術も今後検討していかなければならない。また、熱間圧延の温度の影響、圧延条件や熱処理温度も変化させ、更なる高品質 AZX611 圧延板が製造できないか検討すべきと判断する。

2.4.2 産業技術総合研究所の取り組み

1) 組織観察

双ロール鋳造後、図 2-6 の試料と同様の圧延により 1.3 mm の板に作成した板材の X 線回折図形を図 2-12 に示した。従来の圧延材と同様に 002 面のピーク強度が高く、Mg の C 面が板材の面に配向した組織となっているのが見られる。配向性に関しては SEM-EBSD によって調べ、その結果を図 2-13 に示した。極点図からは底面である 001 の強度が中心で高くなっており、昨年の試料と同様に圧延した試料では、底面の配向が顕著に表れていることが分かった。図 2-14 は圧延した試料の反射電子像をしており、結晶粒は 10-20 μm の微細な粒から構成されることがわかった。

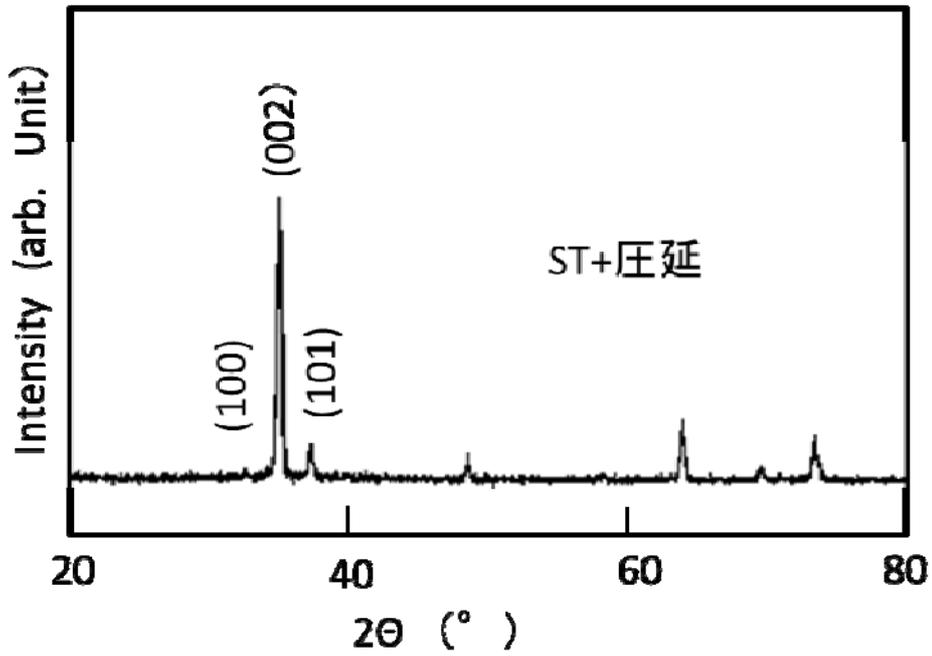


図 2-1 2. 鋳造後、圧延した AZX611 板材の X 線回折図形

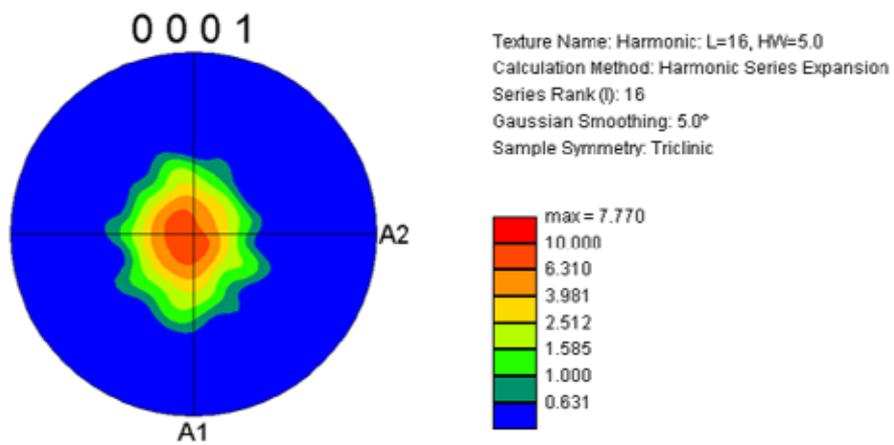


図 2-1 3. 鋳造後、圧延した AZX611 板材の極点図

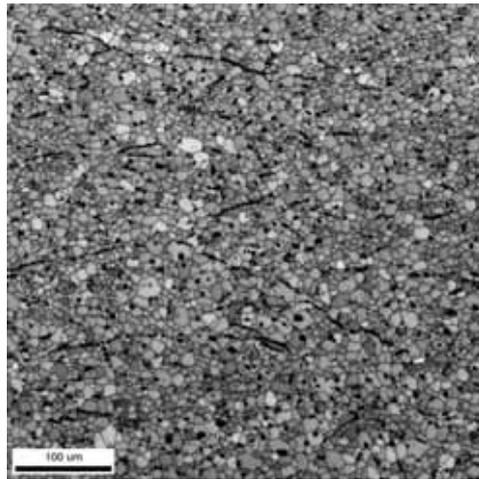
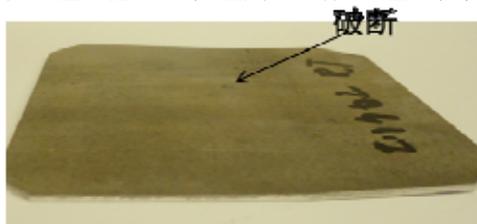


図 2-14. 各試料の反射電子像

2) 成形性

図 2-15 は、双ロール鋳造材を図 2-6 と同様に圧延した試料の室温での張出し試験の結果である。張出し高さは 1.43 mm であり、成形性が乏しいことがわかる。このことは X 線回折、EBSD の結果から、底面の配向組織の形成に起因している。

図 2-16 は 1.3 mm 厚さの圧延材のコンカルカップ試験の結果を示している。試験片の直径は 60 mm であり、試験後の直径であるコンカルカップ値 (CCV) は、室温で 58, 9、であり、ポンチの頭部で割れが発生しており、2 軸引張りが作用する部分で破断していることがわかる。試験温度が 200°C および 250°C ではそれぞれ 50.8 および 50.6 であり、試験温度の上昇にともない成形性は向上している。破断は同様にポンチ頭部で見られた。張出し高さは、室温では 8.84 mm であり、250°C では 21.6 mm に増大している。以上のことから、板材は室温での成形性は低い、温間では成形性が改善することが分かった。



室温 エリクセン値 1.43

図 2-15. 圧延材の室温で張出し試験した試料の外観

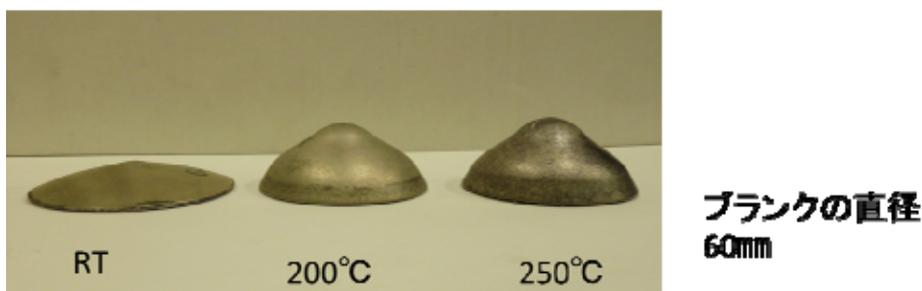


図 2-16. 各温度でコンカルカップ試験した試料の外観

3) 板材の熱分析

図2-17は圧延材の Tg-DTA 曲線である。以前の試料と同様に大気中で 750°Cまで加熱した場合、熔融後は重量の減少も増加もほとんど見られず、蒸発も酸化も生じないことを示しており、難燃性を確認することができた。

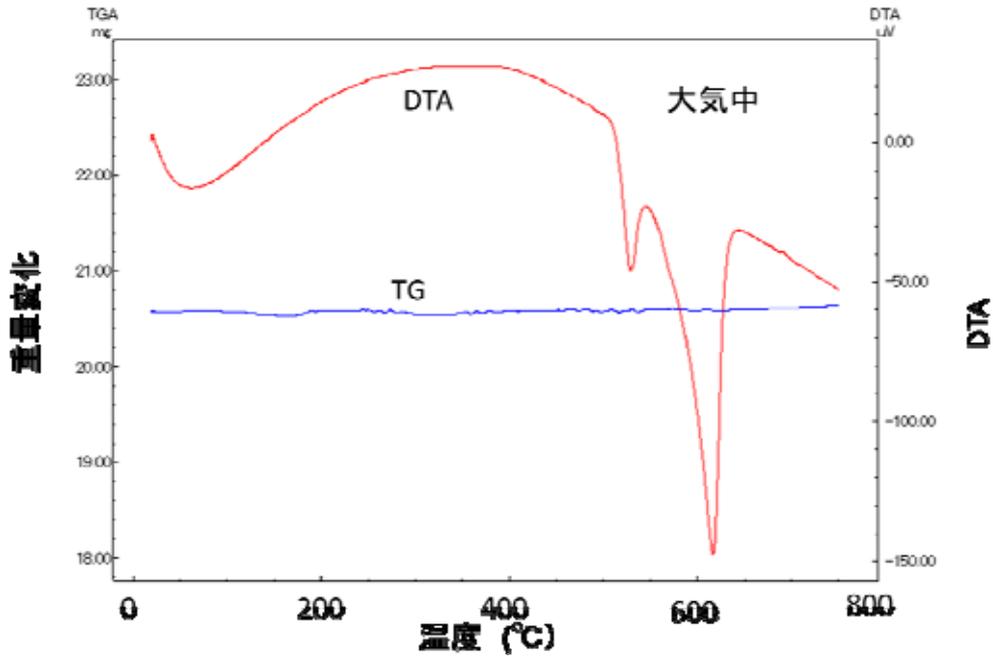
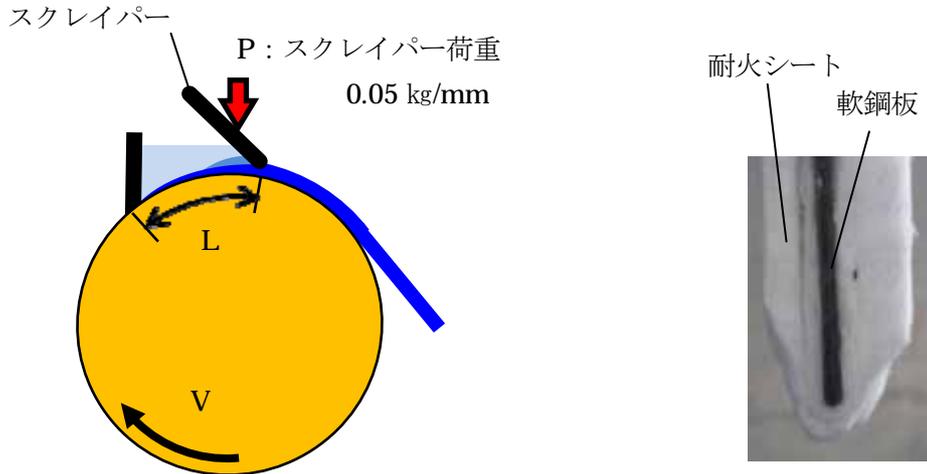


図2-17. 鋳造後、圧延した AZX611 板材の熱分析曲線

2.5 スクレイパーを装備した単ロール鋳造機の開発

2.5.1 スクレイパーを装備した単ロール鋳造機的设计・製作

スクレイパーを用いた単ロール鋳造技術に関する基礎技術（特許第 5408730 号）を使用して Mg 合金用単ロール鋳造機を開発した。スクレイパーを装着した単ロール鋳造機の概要とスクレイパーの先端の一例を図 2-18 に示す。スクレイパーは、一定荷重で薄板の自由凝固面を成形する機構になっている。コストと熱衝撃による破損を考慮して軟鋼板に耐火シートを貼り着けた構造になっている。予熱は必要ない。



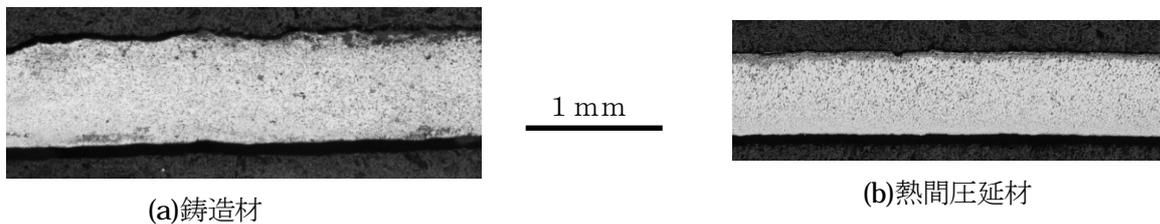
(a) スクレイパーを装着した単ロール鋳造機

(b) スクレイパーの先端

図 2-18. スクレイパーを装着した単ロール鋳造機の概要とスクレイパーの先端

2.5.2 金属組織、機械的性質の確認

図 2-19 にスクレイパーを装着した単ロール鋳造機で鋳造した AM60 鋳造板の断面と熱間圧延板の断面を示す。厚さが 1 mm 以下の板を鋳造することができ、2 回程度の熱間圧延で厚さが 0.6 mm の板を鋳造することが可能であった。スクレイパーを装着した単ロール鋳造機は、薄板の作製に適していることは明らかである。AM60 の成分等についてクラッドの章に示す。



(a) 鋳造材

(b) 熱間圧延材

図 2-19. スクレイパーを装着した単ロール鋳造機で鋳造した鋳造板とその熱間圧延板の断面

材料：AM60，ロール周速：30m/min，凝固距離：30mm

スクレイパーを装着した単ロール鋳造機においては、板厚はロール周速と凝固距離によって制御可能である。式(1)により板厚を推測することができる。図 2-20 に実験結果と式(1)の関係を示す。

t:板厚(mm)
L:凝固距離(mm)
V:ロール風速
K:凝固定数 40(mm·min^{0.5})

$$\text{板厚 } t = k \sqrt{\frac{L}{V}}$$

(1)

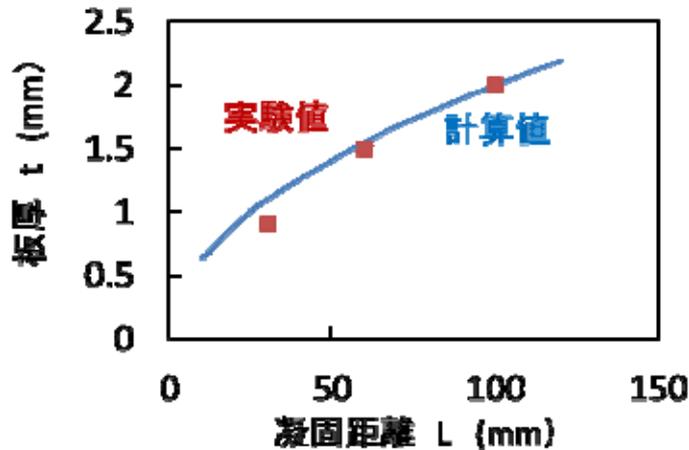


図2-20. スクレイパーを装着した単ロール鋳造機で鋳造した鋳造板の板厚に対する凝固距離の影響
 実験値と式(1)による計算値を示す. 材料: AM60, ロール周速: 30m/min

2.6 クラッド材製作用の双ロール鋳造機の開発

2.6.1 クラッド材製作用双ロール鋳造機的设计・製作

従来のクラッド材作製プロセスと本研究のクラッド材作製用双ロール鋳造機のプロセス比較を図2-21に示す. プロセスの短縮による省エネの利点だけではなく, 半凝固状態を利用した接合により酸化の影響を最小限に押えることができる.

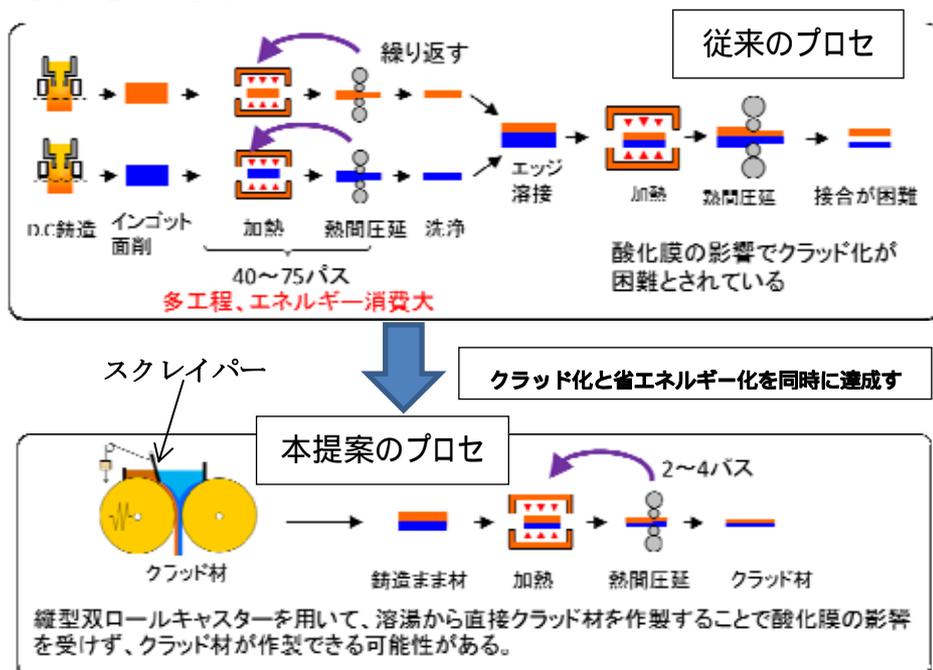


図2-21. 従来のクラッド材作製プロセスと本研究のクラッド材作製用双ロール鋳造機のプロセス比較

クラッド金属板の鋳造技術に関する基礎技術（特願 2015-069182）を使用して Mg 合金クラッド材作製用と双ロール鋳造機を開発した。クラッド材の材料としては一般的な鋳造用マグネシウム合金である AM60 と、高強度ではあるがスラブからの熱間圧延では板の作製が困難とされている AZ121 を使用した。AZ121 の熱間圧延が困難ということは、熱間圧延によるクラッド化（接合）も困難であるということを示している。AZ121 板の薄板が直接作製可能なだけでは無く、クラッド化も可能なことが本プロセスの大きな利点である。双ロールキャスターのロール荷重は、圧延と比較して 100 分の 1 以下の荷重である。

表 1 には AM60 と AZ121 の成分、表 2 には固相線温度、液相線温度、注湯温度を示した。

表 1 AM60とAZ121 の成分

材料	Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu
AM60	6.12	0.15	0.29	0.03	0.001	0.001
AZ121	12.25	0.75	0.20	0.03	0.001	0.001

表 2 AM60とAZ121 の凝固温度と注湯温度

材料	固相線温度	液相線温度	注湯温度
AM60	540 °C	615 °C	640 °C
AZ121	470 °C	580 °C	600 °C

2. 6. 2 クラッド（接合）に影響する条件の探索

図 2-2 には、スクレイパーを装着したクラッド材作製用双ロール鋳造機と鋳造材および熱間圧延材の断面を示す。AM60 は AZ121 と接触前に大気と接触する。AM60 の表面は酸化しているはずであるが、接合していることが確認できた。半凝固状態であるため酸化膜は薄く AZ121 の溶湯と接触すると破壊・拡散するため、接合には影響しないと考えられる。熱間圧延によっても剥離は発生しなかった。

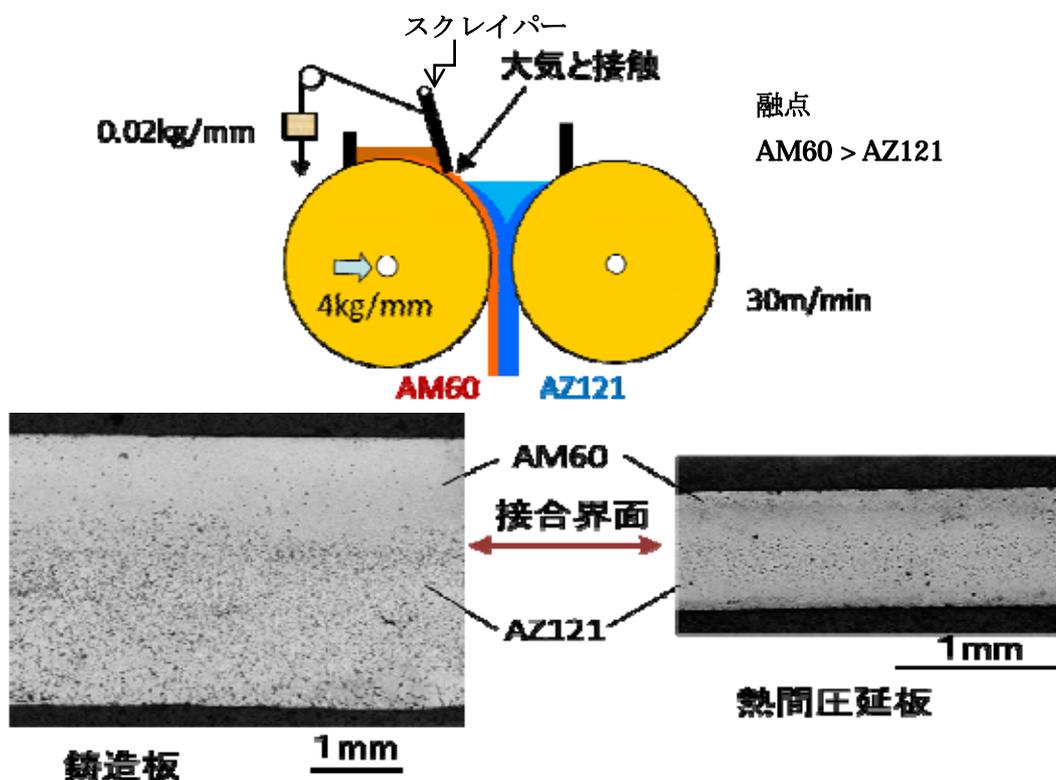


図 2-2 2. スクレイパーを装着したクラッド材作製用双ロール鋳造機と鋳造材および熱間圧延材の断面。AM60 が大気と接触する場合。

図2-23は、AM60が大気と接触せずにAZ121と接合する場合の結果である。図5よりもスクレイパー荷重を大きくしているため、半凝固層の固相率は低くした。これは、スクレイパー直後でAZ121の溶湯と接触するため板温度は固相線より高く酸化膜の影響も排除できるので、固相率を高くしても接合が可能であると判断したためである。接合界面は明瞭であり接合強度も繰返し曲げ試験に耐えられた。铸造組織は急凝固により微細化しており、クラッド化の影響はないものと考えられる。

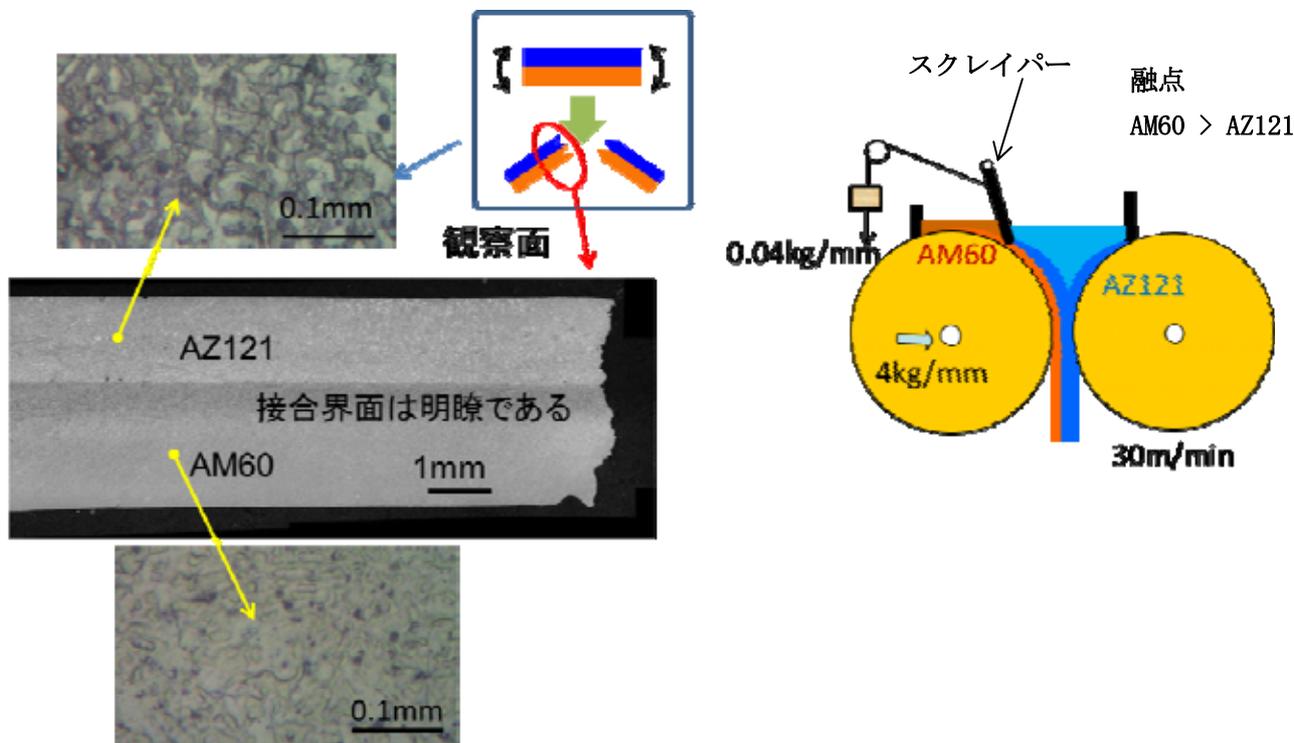


図2-23. スクレイパーを装着したクラッド材作製用双ロール铸造機と铸造材および熱間圧延材の断面。
AM60が大気と接触しない場合。

2.6.3 プレス成形に対する最適クラッド比の探索

板材は曲げを行った後に使用されることが多いのでクラッド材のV曲げ性について調査を行った。図2-24には、V曲げの方法を示す。曲げ性に対する、曲げを行う温度、パンチ先端の曲率半径、AZ121とAM60のどちらを外側にするかの影響について調査を行った。V曲げ時に剥離しないことは大前提になるので、剥離の有無についても調査した。铸造材を熱間圧延で厚さ1mmの板を作製し、焼きなまし後にV曲げを行った。

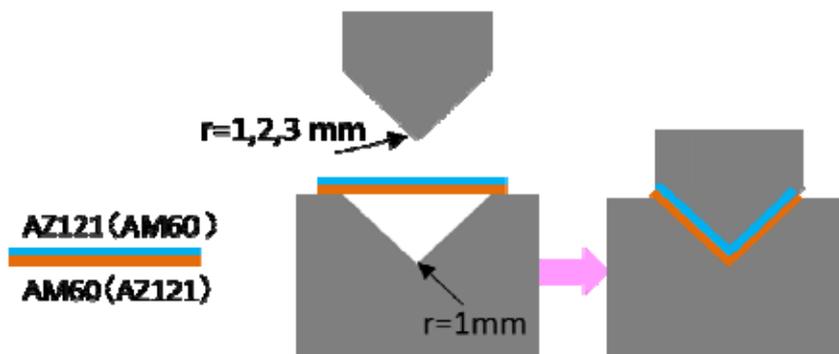


図2-24. クラッド材の熱間V曲げ試験の方法

V曲げにおいて剥離は起こらなかった。V曲げの結果を表3に示す。曲げを行う温度が高くなるほど曲げが可能になり、400℃以上であればAZ121を外側にしてもクラックの発生や破断は起こらなかった。また、パンチ先端の曲率半径が大きいほど曲げやすくなった。AM60が外側の方が割れ難く、AM60をAZ121の外側に接合することで、AZ121の曲げ性を改善できることが分った。

表3 V曲げ試験 ○:健全, △:クラック, ×破断

温度(℃)	外面	パンチ先端の半径(mm)		
		1	2	3
300	AM60	△	○	○
	AZ121	×	×	△
350	AM60	△	○	○
	AZ121	×	×	△
400	AM60	○	○	○
	AZ121	○	○	○

2.6.4 金属組織、機械的性質の確認

熱間におけるエリクセン試験（張出試験）の結果を図2-25に示す。AM60を外側にした方が良好な張出性を示した。延性が高い材料を延性に乏しい高強度材に接合することで高強度材の張出性を改善できることが明らかになった。



外面: AM60, 高さ: 7.9 mm

外面: AZ121, 高さ: 5.3 mm

板厚: 1mm, 試験温度: 250℃, 球形: 20mm

図2-25. エリクセン試験の結果

第3章 総括

3-1 達成度

本年度の目標達成状況を表4に示す。

本年度目標は全て達成する事が出来た。

表4. H27 年度達成率

研究課題	研究実施機関	研究目標 (具体的に数値を記入すること)	研究目標に対する研究達成度	
			達成率(%)	説明(研究目標値に対する達成数値も併せて記載)
【1.3】リバース圧延での板温度均熱化の設計と製作	物産工業株式会社 大阪工業大学	工数50%削減	100%	工数70%削減できた。
【1.4】200kgコイル製造用最適条件の探索	物産工業株式会社 大阪工業大学	1コイル重量200kg	100%	AZ61合金では100kgのコイルをば成功している。Caを1%添加しているAZ61合金ではAZ61合金と同じ製造条件で製造できないため、AZ61合金にあった製造条件を検討し、達成した。
【1.5】コストの評価	ソニーモバイルコミュニケーションズ株式会社 大成建設株式会社 日産自動車	1,500円/kg達成(27年度に到達予定)	100%	サポイン設備導入前の製作コストを個別に算出した。燃料費、歩留りの大きな改善が見込まれ、平成27年度の1,500円/kgに近い価格を達成できる見込みが得られている。
【1.6】製造条件と機械的性質の確認	東海大学 産総研	対象製品に合わせて最適化	100%	AZ61合金製造板を圧延した。試作された圧延板をMC加工により試験片を作製し、機械的特性を調査した。市場からの要望を満たしていることを確認した。
【2.2】スクレイパーを装備した単ロール製造機の設計・製作	大阪工業大学 物産工業株式会社	開発し厚さ0.4mm板においても1,500円/kgを達成する	100%	Mg合金を使用して設計用・製作用の基礎データを得た(大阪工大)。
【3.1】クラッド材製作用双ロール製造機の設計・製作	大阪工業大学 物産工業株式会社	最適な条件を明確にする	100%	Mg合金を使用して設計用・製作用の基礎データを得た(大阪工大)。

3-2 本年度のまとめ

本事業は予定通り進行した。事業化に向けて各再委託先とアドバイザーを含めて行った討論の上に具体的な検討がなされている。最終年度のテーマである、リバース圧延での板温度均熱化の設計と製作によるさらなるコストダウンと、200kg コイル製造用最適条件も開発の目途がたち、アドバイザー各位へのサンプル提出を行い、本事業成果である製品群の実用化を確実なものにしようと考えている。省エネ化が必須になっている現在、マグネシウム合金板の実用化ニーズは非常に高まっていると感じている。本研究の事業化はサポイン終了後

1年以内に実現したいと考えている。そのために現サポインのアドバイザーの方々と量産・商品化へ向けての検討を継続的に行っている。

また、各種展示会に精力的に参加しており、それに加えて地道な営業活動を行い、具体的に事業化に向けた話も数社から来ている。

3-3 学会発表

本プロジェクトでの講演発表の成果を図3-1に示す通り1件行った。

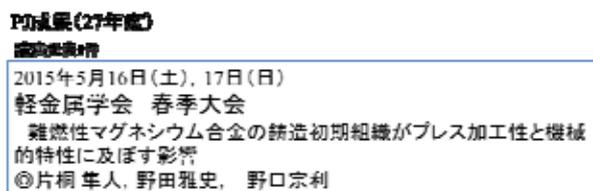


図3-1. H27 講演発表

3-4 事業化に向けて

①家電分野

家電でも金属が使われる場面が増えている。主流はアルミだが、Mg 合金は、軽く、凹まないというメリットがある。常温では凹みが少なく、落とした時の形等がないのが強み。軽く、凹まないアドバンテージを活かし、新しい筐体を開発していく。

②自動車分野

環境問題の深刻化にともない、日本や欧米先進諸国を中心に、クルマのCO2 排出量などの規制が大幅に強化されつつある。そのため自動車メーカーは軽量化を進めており、マグネシウム合金が採用されるべく取り組んでいく。具体的に 国内メーカーから試作の話が出ている。

③建材分野

マグネシウム板を使用した例としてエキスパンドジョイント（つり天井緩衝材）が製品化された（採用合金 AZX612）。本事業を適用することで、より安価で提供でき、市場拡大につながる。