

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「低コスト・高機能化を達成するマグネシウム合金の冷間鍛造法の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 宮本工業株式会社

目 次

第1章	研究開発の概要	3
1.1	研究開発の背景・研究目的及び目標	
1.2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	
1.3	研究成果の概要	
1.4	当該研究開発の連絡窓口	
第2章	本論	8
2.1	新規性確認の技術調査	8
2.1.1	現状の課題とその解決法	
2.1.2	課題解決の取組	
2.1.3	マグネシウムの研究開発動向と本開発の新規性	
2.2	マグネシウム鍛造用細径棒を達成する新鑄造法の開発	10
2.2.1	鍛造用最適素材製造に関する開発研究	
2.2.2	鍛造用細径棒の鑄造技術開発研究	
2.2.3	断熱鑄型によるマグネシウム鑄造法の開発	
2.3	特徴ある新合金に関する技術開発	16
2.3.1	高機能鍛造素材の技術開発	
2.3.2	AZX系の最適組成に関する開発	
2.4	鍛造変形能向上の結晶粒微細化加工法の開発研究	19
2.4.1	凝固速度と結晶粒微細化に関する開発研究	
2.4.2	鍛造加工での動的再結晶に関する開発研究	
2.5	精密鍛造用金型製造法の開発	21
2.5.1	流動制御鍛造の開発研究	
2.5.2	精密鍛造金型加工法の開発	
2.6	マグネシウム材の複雑・高精度鍛造加工法の開発研究	23
2.6.1	マグネシウム合金用最適潤滑法の開発	
2.6.2	複雑・高精度鍛造加工法の開発	
2.6.3	開発成果を生かした事業化に向けて	
第3章	開発技術での実用化・事業化の見通し	26
3.1	事業化の見込み	
3.2	製品価格	
3.3	上市と売り上げ予想	
第4章	全体総括	29

第1章. 研究開発の概要

1. 1 開発の背景・研究目的及び目標

国内鍛造業界はその需要を自動車産業に大きく依存している。しかもグローバル化の中、国際競争力が必要とされる条件下でコスト低減が重要な課題となっている。しかしながら、今迄の方法ではコスト低減に限界が見られる。また、環境対応や燃費削減のため軽量化が喫緊の課題となっている。

自動車の軽量化には実用金属中最軽量であるマグネシウムが最適であるが、コスト・強度面で問題があり採用が少ない。このため、その解決の一手段として、新たな付加価値を需要家に提供できる基盤的技術開発と新製品の開発が必要となってきている。合理的なコストで高機能鍛造品を実現する基盤的技術が開発できれば、今後、高機能鍛造品需要の顕在化が期待できる。

本事業では細径鍛造棒の新鍛造法を開発し、サーボプレスを使用して鍛造工程内で加工熱処理して結晶粒を微細化して低価格・高強度なマグネシウム鍛造品を開発する。また成果を鍛造業界に広く展開して鍛造業界の競争力アップと新製品創出を図る。

本開発では宮本工業(株)を開発の中心として材料メーカ、金型メーカ、他の鍛造メーカが役割を分担しながら、連携し効率的な開発を推進する。本開発研究の中で、このプロセスの有効性を実証し、その適用製品の拡大と品質・コストの確認を行い、早期事業化を実現に繋げる計画で進めた。その結果、昨年度事業化を達成した。

1. 2 研究体制

1) 研究組織

本研究開発の研究体制を図1に示した。事業管理者として宮本工業(株)、研究実施体は開発研究の中核となる宮本工業(株)を中心として、協力者である(株)エヌ・シー・ロード、三協マテリアル(株)、(株)ゴーシューで構成し、総括研究代表者：関口常久(宮本工業(株))、副総括研究者：山下友一(三協マテリアル(株))で実施した。また本プロジェクトの推進体制を図2に示した。ここに示すように開発の当初からユーザ企業を意識して何を望んでいるかを優先して開発を進めた。

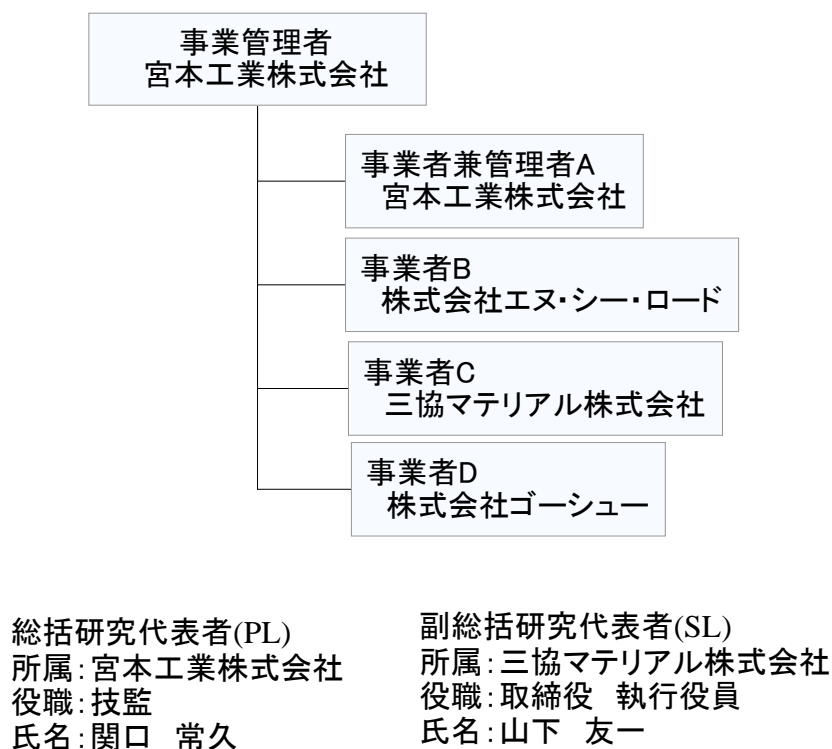


図1 研究実施体制

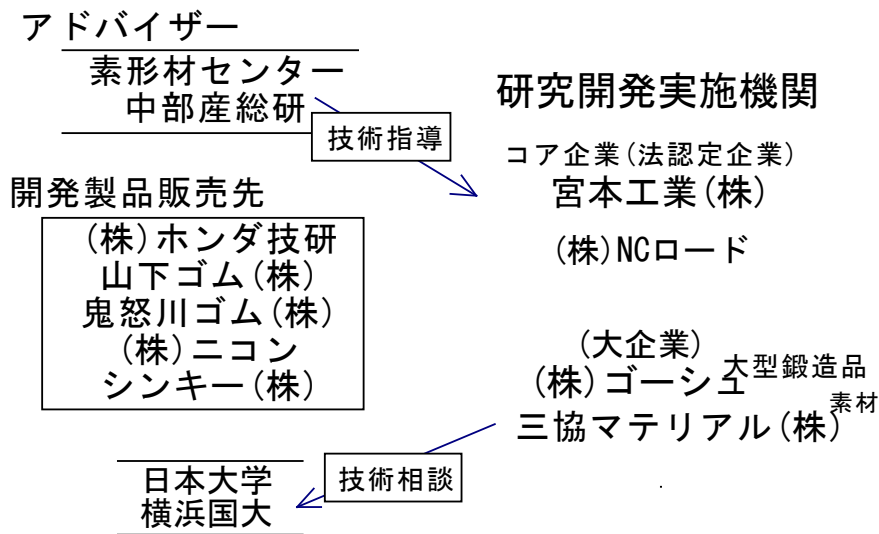


図2 本プロジェクトのコンソーシアム

2) 管理者・研究者

本開発研究を遂行するための業務管理者、研究実施者における管理員、研究者は下記のとおり登録しています。

[事業管理者] 宮本工業株式会社

事業管理者：

氏名	所属・役職
宮本尚明	代表取締役社長

[委託・再委託先]

宮本工業株式会社

氏名	所属・役職
宮本尚明	代表取締役社長
関口常久	技監
内城昭治	参事
神原和夫	技術本部 技師
石下孝一	技術本部 技師
蘇武剛雄	技術本部 技術課 課長
伏見明生	営業管理部 営業管理課 課員
酒井崇行	技術本部 技術課 課員

株式会社エヌ・シー・ロード

氏名	所属・役職
山口正人	取締役社長
猪俣秀規	技術部 部員
星 真夫	技術部 部員

株式会社ゴーシュー

氏名	所属・役職
護法良憲	技術部 部長
秋田 亨	技術部 研究開発課 課員
宮田利信	技術部 研究開発課 課員

三協マテリアル株式会社

氏名	所属・役職
山下友一	執行役員
清水和紀	用途開発課副参事

1. 3 研究成果の概要

安価で高機能なマグネシウム鍛造品を上市する目標を達成するため図3に示す研究開発を行った。夫々の研究実施項目・内容とその成果を要約して示す。特記すべき成果は昨年、平成24年6月にデジタルカメラ部品2製品の事業化に成功したことである。これを図4に示した。

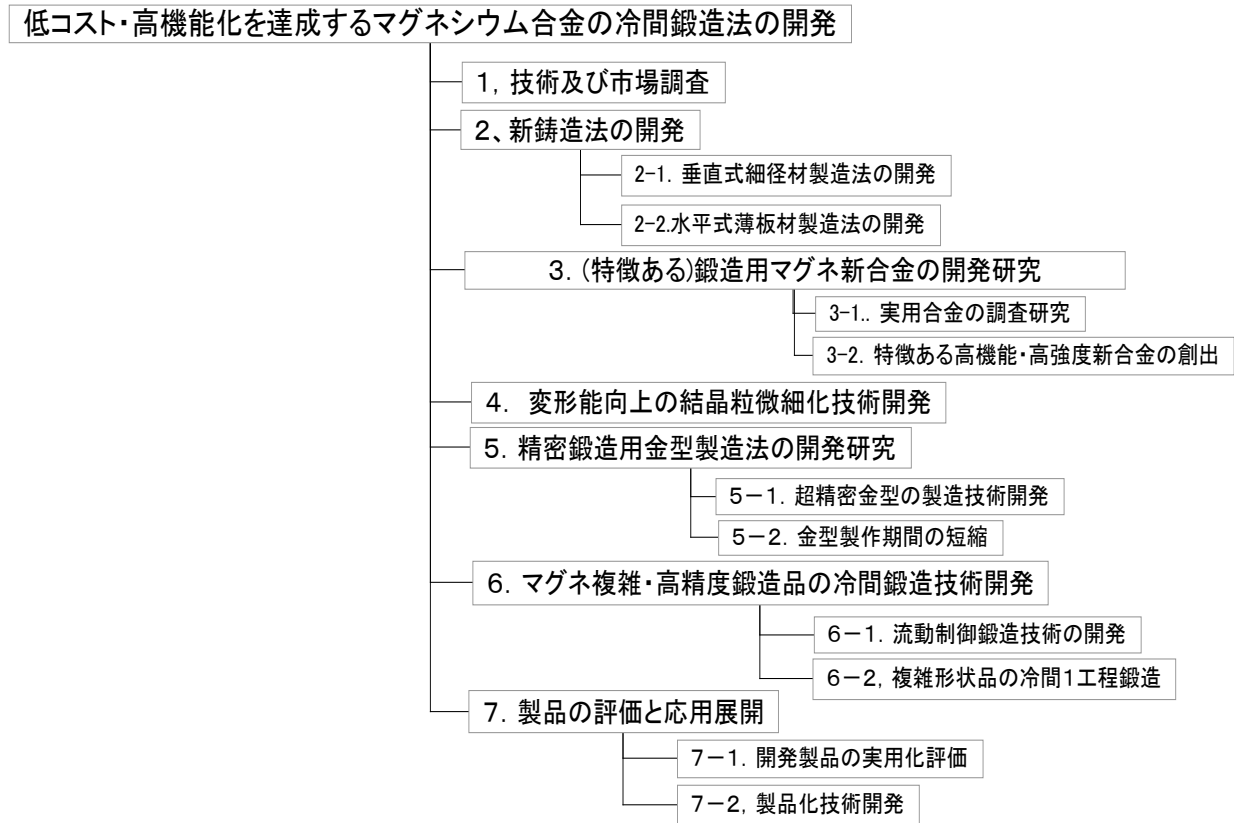


図3 研究開発の内容

1) 新規性確認の技術調査・・・宮本工業(株)、三協マテリアル(株)

内容：本テーマ「低コスト・高機能化を達成するマグネシウム合金の冷間鍛造法の開発」を達成するための課題と解決方法を定める。その課題解決方法が新規性を有するか否かを技術調査をする。

成果：欧州、中国、韓国、米国の技術調査を実施した。その結果、本技術開発で実施する押出レス細径鑄造棒での鍛造、及び動的再結晶による結晶粒微細化と鍛造成形の融合化の開発は新規性があることが確認できた。

2) マグネシウム細径棒を達成する新鑄造法の開発

①鍛造用最適素材に関する開発・・・宮本工業(株)、三協マテリアル(株)

内容：押出レスの最適鍛造素材を製造するため現状素材の組織の大きさと強度特性試験を実施する。さらに、鑄造素材で押出並みの特性を有するための製造条件を確認する

成果：現状素材で樹枝状晶間隔：DASと強度特性の関係を把握できた。DASが小さくなるほど強度特性は向上することが判った。最適鍛造素材としてはDASは20μm以下にする必要があることが判明した。これを満足するには鑄造径をφ80以下にする必要がある。

② 断熱鋳型鋳造法の開発・・・三協マテリアル(株)

内容：マグネシウム合金の鋳造細径棒($\phi 80$ 以下)を製造するための新鋳造法を開発する。

成果：断熱鋳型連続鋳造法を開発することで、 $\phi 80$ 以下は勿論のこと $\phi 56$ の鋳造細径棒の開発が出来た。これは世界初の技術であり特筆出来る。

3) 特徴ある新合金に関する技術開発・・・宮本工業(株)、(株)ゴーシュー

① 高機能鍛造素材の技術開発

内容：マグネシウム鍛造品の高機能化を計るべく、強度目標値をアルミニウム A6061 材の強度を凌駕する 340Mpa 以上に設定し、省工程鍛造を達成すべく鍛造性良好な素材開発を実施する。

成果：AZX 系合金に的を絞る最適アルミニウム量の特定試験を実施した。その結果 9%AL 量が強度特性、鍛造性で最適であることが確認できた。

② 鍛造用高機能新合金開発

内容：前項で特定した AZX911 合金の最適 Ca 量及び Ca に代替する Be(ベリリウム)、Sb(アンチモン)の効果をj確認して最適組成を特定する。

成果：断熱鋳型連続鋳造法でサンプルは製造した。その鍛造性を確認できた。

4) 鍛造変形能向上の結晶粒微細化加工法の開発研究・・・三協マテリアル(株)、宮本工業(株)、(株)ゴーシュー

① 凝固速度と結晶粒の関係

内容：耐熱性向上のため添加される Ca を含有したマグネシウム合金では鋳造段階での結晶粒微細化は難しいことが確認できた。一方鍛造素材としては DAS、結晶粒の微細化が必須である。結晶粒径は $10 \mu\text{m}$ 以下にすることが求められる。先ずモデル試験でどこまで結晶粒を微細化可能かを検証する。

成果：一方向凝固試験で試験した結果 Ca が添加されていない AZ80 合金では $100 \mu\text{m}$ 程度まで微細化できる。Ca が添加された AZX911 合金では $100 \sim 150 \mu\text{m}$ までしか微細化できない。そのため、新たな結晶粒微細化工程が必要になることを確認した

② 鍛造加工での動的再結晶に関する開発研究

内容：鋳造で結晶粒微細化に限定がある。そこで動的再結晶による結晶粒の微細化を検討した。

成果：加工率 20%以上で $10 \mu\text{m}$ 以下の結晶粒になることが確認できた。この時の加工温度は 200°C より 400°C の方が微細化程度は大きく再結晶率が高いことが予想できた。また加工前組織が小さいほど低加工率で微細化が進むことが判明した。

5) 精密鍛造用金型製造法の開発研究・・・(株)エヌ・シー・ロード、宮本工業(株)、(株)ゴーシュー

① 流動制御鍛造の開発研究

内容：複雑形状品の省工程鍛造を行うため材料の塑性流動を制御した鍛造が出来る金型の製造技術開発を実施する。

成果：金型表面の摩擦係数を変化するためマイクロショット加工機を試作した。この加工機を使用してジルコニアの微細粒子 ($20 \sim 40 \mu\text{m}$ 径) で入射角を種々変化して試験した結果入射角 5° が最適だった。確認できた条件でマイクロショット加工を実施した結果初期目的どおりの表面を有する金型が得られた。

② 精密鍛造金型加工法の開発・・・(株)エヌ・シー・ロード

内容：精密鍛造を達成するには金型表面の鏡面加工が必要である。この目的を達成するため
リニアモータ駆動の放電加工機でラップ材を放電液に添加して加工を実施する。

成果：ピストン鍛造金型を対象として金型表面の鏡面仕上げ加工を実施した。リニアモータ駆動
EDMと放電ラップによる平滑化により、短時間で良好な加工精度が得られことを確認した。
これにより生産技術としての見通しが得られた。

6) マグネシウム材の複雑・高精度鍛造加工法の開発研究・・・宮本工業(株)、(株)ゴーシュー

① マグネシウム合金用最適潤滑法の開発

内容：鍛造時に新生面の出やすいマグネシウム鍛造に最適な潤滑法を開発する。

成果:化成処理と水溶性潤滑剤の黒鉛微粒化の融合技術で最適潤滑剤を完成させた。

② 複雑・高精度鍛造加工法の開発

内容：複雑・高精度鍛造品の加工法の開発を実施する。

成果：組織が均一で微細化した鑄造細径棒の結晶粒微細化を別工程で実施することで従来2工程を
要していた製品を1工程の省工程で鍛造できることを確認した。また、結晶粒微細化の
加工条件を決定した。

③ 好塑化鍛造法の開発

内容：サーボプレスを使用して上記6. 2項で実施した加工を融合化して一工程で行う。

成果：サーボプレスを使用してスライドを複動化することで、加工初期に結晶粒微細化を完了し、
その後成形する「好塑化鍛造法」を開発した。この技術開発は業界初である。生産技術とし
ての加工条件の詰めもほぼ終了した。

7) 製品の評価と応用展開

開発技術を生かして事業化のため製品化した。その結果図4に示すデジタルカメラ部品の事業化を
達成した。時流に乗り今後量的拡大が期待できる。

図4 昨年(H24年)事業化に成功した二部品

1.4 当該研究開発の連絡窓口

宮本工業株式会社 代表取締役社長 宮本 尚明

電 話：0287-47-1122

F A X：0287-47-1613

E-Mail：n-miya@miyamoto-ind.co.jp

第2章 本論

本開発で取り組む「低コスト・高機能化を達成するマグネシウム合金の冷間鍛造法の開発」では、低コスト化・高性能化・環境適応をキーワードに実用化、製品化を第一優先して開発に取り組む。本研究開発の技術的な課題としては二面あり、一つは素材に係るコスト高、強度・性能面の向上に関する課題であり、もう一つは鍛造品の強度特性向上と寸法精度・形状面の課題である。

2.1 新規性確認の技術調査

本開発を実施するに際し取り組みの妥当性を検証する目的で技術調査を実施した。マグネシウムの課題。すなわち普及を阻害している主な要因として、材料のコスト高と耐食性、耐熱性、耐クリープ性、強度－延性バランス、靱性などの諸特性の低さが挙げられる。そのために今後研究開発するマグネシウム合金は図5に示すような特性改善が求められている。

素材コストの低減を行い、上記した特性を改善することができれば、マグネシウムの適用範囲は飛躍的に拡大することが期待できる。そこで、本開発テーマの「低コスト・高機能化を達成するマグネシウム合金の冷間鍛造法の開発」ではポイントを絞って素材の低廉化とマグネシウム鍛造品の高機能化に取り組むことにする。そのために、先ず課題を明確にして、課題解決方法を決めその方法が新規性があるか否かを見極めるために国内外の技術調査を行って新規性を確認できた。

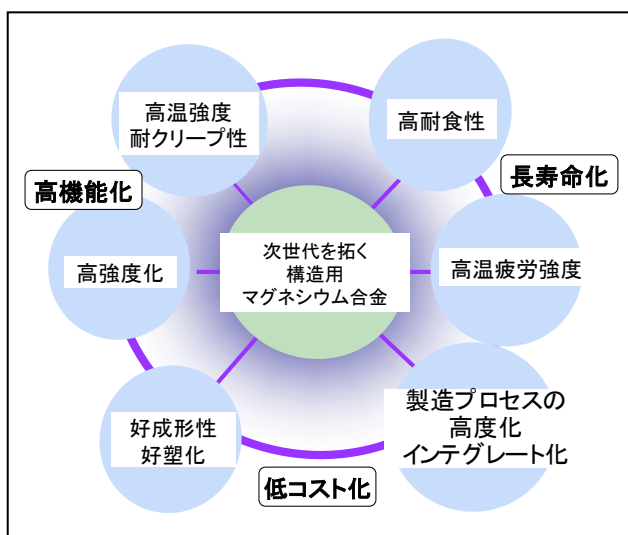


図5 現状マグネシウムの課題

2.1.1 現状の課題とその解決法

マグネシウム製品はマーケットが限定され、合金添加用、鉄鋼脱酸剤の適用が多く、成形品への適用は全需要の3割で、しかもダイカストが主流であり、鍛造品は全需要量の2.5%程度である。鍛造品の課題は、価格がダイカスト製品の8～10倍程度と高価であること、強度特性が中途半端であり、高精密鍛造ができない等がある。本開発ではコスト面で、鋳造品の2倍以下にすること、強度面ではアルミニウムA6061材並みの $\sigma_B > 340\text{MPa}$ とすること、高精密鍛造品を可能にすることを目的に開発に取り組んだ。

2.1.2 課題解決の取り組み

マグネシウム合金は結晶構造が稠密立方格子のために他金属に比較して鍛造性が劣ることがあげられる。そのために課題解決に取り組む前にマグネシウム合金の鍛造性を知る意味で標準化を行った。この目的は2つあり、一つはアルミニウム合金との鍛造性の比較であり、他は種々あるマグネシウム合金の相対的な鍛造性の比較である。これによってマグネシウム合金の精密鍛造法の開発項目が浮き

彫りにできると考えた。

- 1) コストダウンを素材製造と鍛造の省工程化開発に取り組んだ。
- 2) 高強度化を達成すべく、素材製造時に急冷凝固させて組織の微細化を計り最適合金を開発した。
- 3) 複雑・薄肉形状鍛造を可能にする鍛造工法として”流動制御鍛造法“の開発に取り組んだ。ユーザーニーズの課題解決方法と目標値を図6に示した。

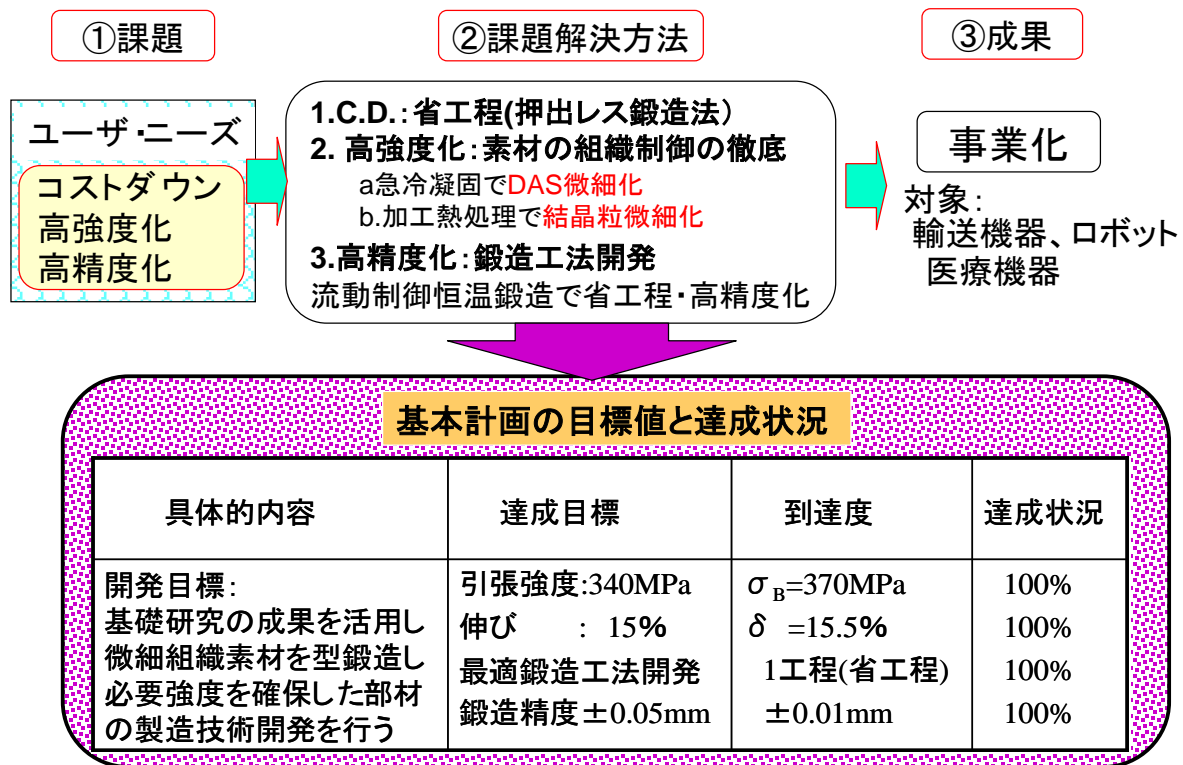


図6 本開発の課題とその解決方法と開発目標値

2. 1. 3 マグネシウムの研究開発動向と本開発の新規性

本研究開発を達成するため、急冷凝固微細組織素材で押出工程を省略する鍛造最適素材の製造技術開発を行う。次に、鍛造中に動的再結晶を伴う鍛造工法を開発する2点を達成する。

マグネシウムに関する研究開発動向を国内及び諸外国で調査した。これらの研究開発は1) マグネシウム地金の製造技術開発、2) 合金製造技術開発、3) マグネシウム加工プロセス技術開発の3項目に分類できる。

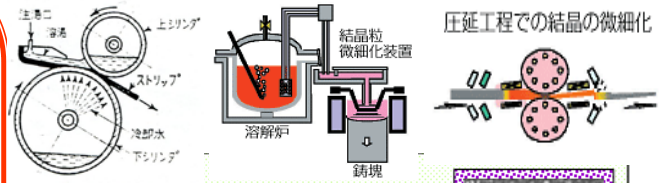
その内容を見ると、1) 地金製造技術に関しては低コスト減量化の技術開発、・製錬の省エネ化、・環境対応(CO2削減、SF6フリー)に関する技術開発がなされている。

2) 合金製造技術開発に関しては高強度化技術開発、・耐熱性向上に関する技術開発、・加工性向上に関する技術開発の取り組みがある。

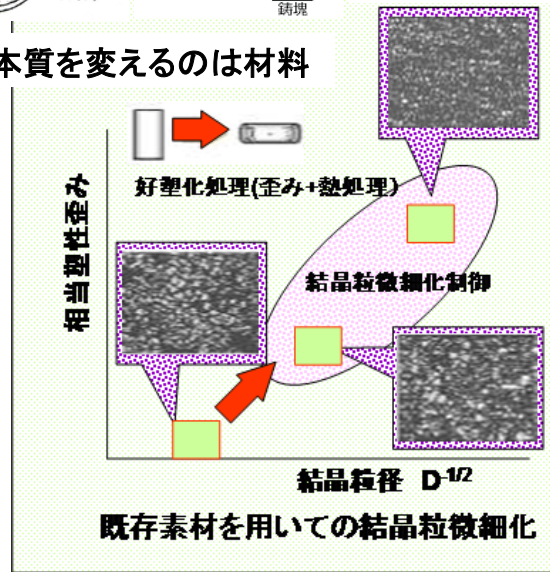
3) マグネシウム加工プロセス技術開発に関しては押出：大型・異形断面の製造技術開発、・低コスト化に関する技術開発、・プレス：高速超塑性加工技術開発、・鋳造：ガス・巢レス、薄物鋳物の技術開発、・チクソ：量産化の要素技術開発、・鍛造：高機能化、コスト低減に関する技術開発、・接合：異種接合、対応力腐食割れに関する技術開発、・表面改質：リサイクル可能で低廉な表面処理方法の技術開発などがある。本テーマは図7に示すように、マグネシウム素材から抜本的に見直して鍛

造性を向上して、高機能化（高強度化、高精度鍛造品）を図るもので、新規性があり、ユニークなものである。

- 1.地金製造技術
 - ・低コスト減量化
 - ・製錬の省エネ化
 - ・環境対応(CO2削減、SF6フリー)
- 2.合金製造技術開発
 - ・高強度化
 - ・耐熱性向上
 - ・加工性向上
- 3.プロセス技術開発
 - ・押出: 大型・異形断面・低コスト化
 - ・プレス: 高速超塑性加工
 - ・鑄造: ガス・巣レス、薄物鑄物
 - ・チクソ: 量産化の要素技術開発
 - ・鍛造: 高機能化、コスト低減
 - ・接合: 異種接合、対応力腐食割れ
 - ・表面改質: リサイクル可能で低廉な表面処理



製品の本質を変えるのは材料



本開発テーマの骨子

図7 研究開発動向の要約と本開発テーマの比較

2. 2 マグネシウム鍛造用細径棒を達成する新鑄造法の開発

2. 2. 1 鍛造用最適素材製造に関する開発研究

1) マグネシウム合金の鑄造組織と強度特性に関する開発研究

マグネシウム地金は 300 円/kg程度と比較的安価であるが鍛造に使用するマグネシウム合金素材は 3,500~6,000 円/kgと割高である。これは鑄造が難しく、酸化防止のためSF₆ガスを使用しなければならないため鑄造ビレットが高いことと押出生産量が少なく固定費が嵩むためである。

これらを解決すべく、押出工程を省略して、マグネシウム溶湯から直接細径棒を鑄造して鍛造に使用することを試みた。これは、マグネシウムでは世界初の試みであり、この技術開発が完成すれば、押出工程が不要になり工程が省略でき安価な素材を鍛造に使用可能になる。開発工程の概要を図8に示した。この製造法は直接細径棒を鍛造用に製造するので急冷凝固した鑄造組織が均一・微細で DAS、晶出物、結晶粒も微細なことが重要なポイントとなる。この様な意味も含めて、原点に戻り鍛造に最も適した素材はいかにあるべきかを考え、マグネシウム合金の鑄造組織と強度特性・鍛造性を試験した。この試験は完了し、押出レスの根拠になる組織の大きさと鍛造性の関係も確認できた。

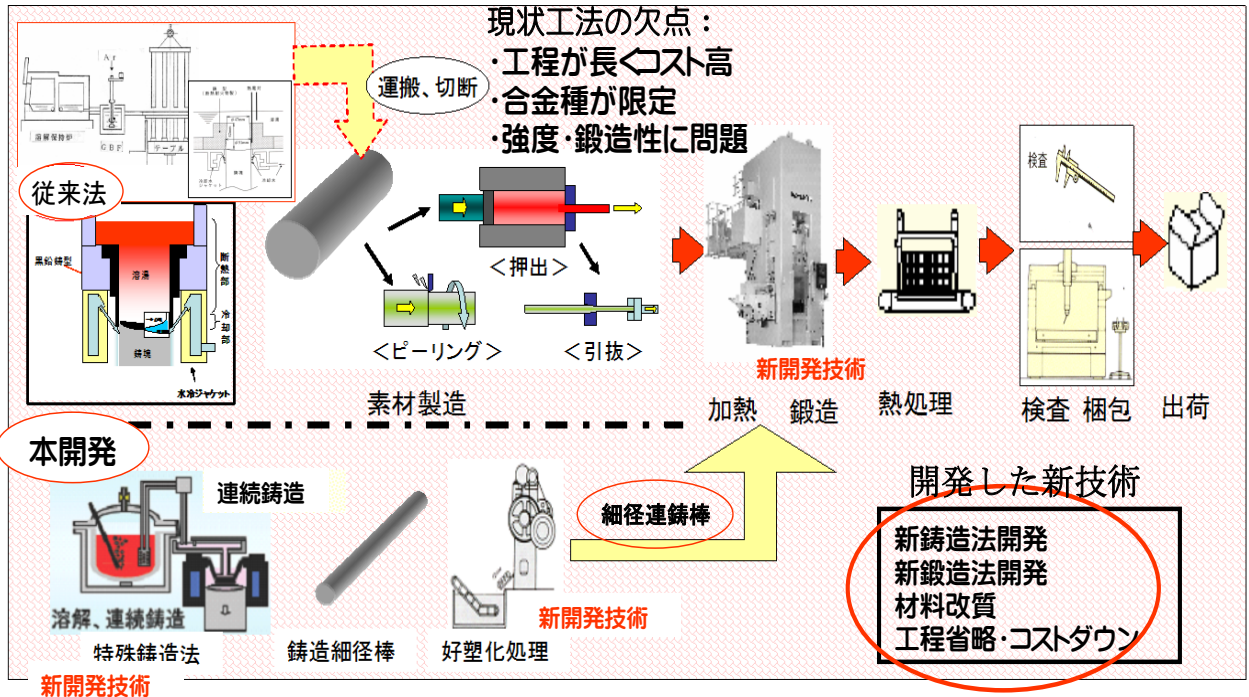


図8 押出工程を省略して安価で高機能なマグネシウム鍛造品を製造する工程

理想的な鍛造素材を求めるため、組織の大きさと強度特性の関係を試験した。試験結果を図9に示すが組織が微細になれば引張強度、耐力値、伸びが向上することが確認できた。特に、鍛造性に影響のある伸びは組織が $20\mu\text{m}$ (DAS)以下に微細化すると飛躍的に向上することが確認できた。

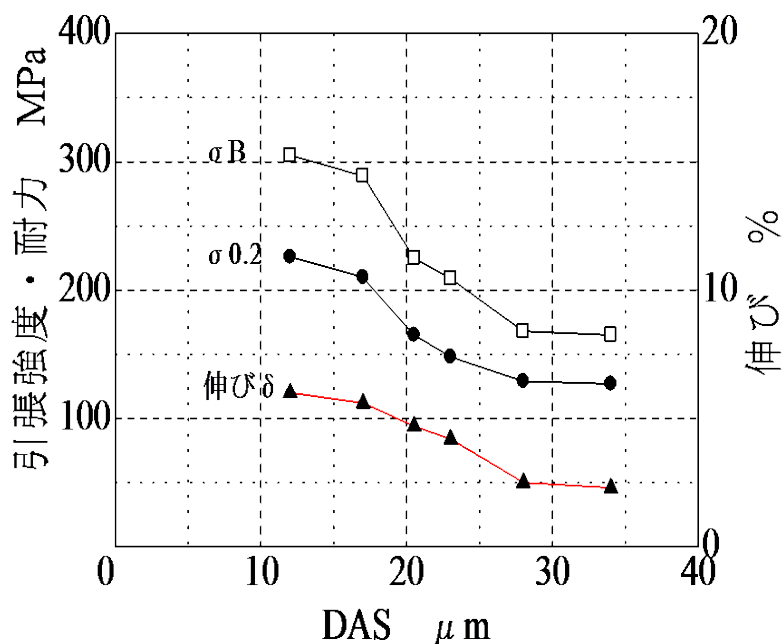


図9 組織の大きさと強度特性 (AZ91 合金)

組織を微細化すれば具体的に鍛造性をどの程度向上することができるのかをチェックするため据込鍛造による限界割れ試験を実施した。その結果を図 10 に示す。

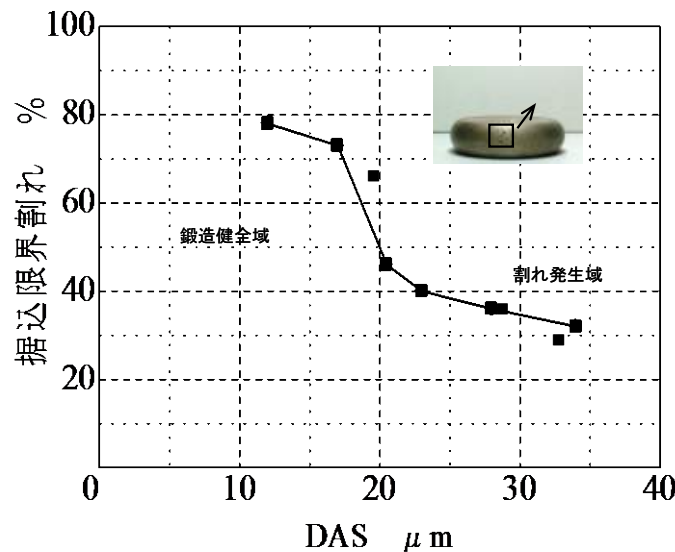


図 10 組織の大きさが鍛造性に及ぼす影響

図 10 は横軸が DAS に代表される組織の大きさと縦軸に据込鍛造時の割れが発生した加工率(限界加工率)である。限界加工率が高い方が鍛造性が良好であり一般に 50%以上の限界加工率であれば鍛造に支障がない。組織が微細になるほど限界加工率は向上し、DAS が 20 μm 以下になると限界加工率は 50%を超える。このことから組織を 20 μm 以下に制御すれば押出工程を必要としない casting 素材を鍛造に使用できる低コストの理想的鍛造素材となる。

2. 2. 2 鍛造用細径棒の casting 技術開発研究

1) 鍛造用ビレット連続 casting 基本システムの開発

鍛造用素材として供し得るマグネシウム合金ビレットを溶湯からの直接連続 casting によって製造する casting 基本システムを考案、開発する。具体的には、 casting 型内における溶湯の冷却を極力低減し、型下端での急速冷却による結晶粒の微細化や、指向性凝固形態による組織制御方法を検討した。その結果、独自技術として保有する小径ビレットの連続 casting 技術の断熱 casting 型連続 casting 法を応用し、鍛造用マグネシウム合金小径ビレットを製造する世界初の連続 casting 基本システムを開発した。

2) 組織微細化を実現するビレット連続 casting 技術の開発

凝固組織の微細化を実現するために開発した連続 casting システムで連続 casting 条件と凝固組織の関係を捉え、最適なマグネシウム合金鍛造用素材の実用レベルでの製造条件を明確化した。鍛造加工性の向上にはビレットの結晶粒微細化以外にも、新たに dendrite 組織や第 2 相粒子を微細・均一分散化させることが有効かつ重要である可能性を見出し、実用化を想定した鍛造用素材としてあるべきビレット凝固組織に関する基礎的な知見と開発方針を得た。

3) 実用化・量産化を想定したビレット連続 casting システムの開発

上記技術開発で得た微細粒径ビレットの連続 casting 技術の実用化に向けて、量産化を想定したビレット連続 casting システムを開発して実用化・事業化の基盤を構築した。その結果、 casting 径 φ 50~76mm のビレット連続 casting が可能な実験環境を整備し、 casting 径 φ 76mm、 casting 長さ 4.5m の連続 casting ビレットの試作に成功した。

1.1 鍛造用ビレット連続铸造基本システムの開発

図 11 に各種ビレットの連続铸造法を示す。図より、従来の DC 铸造法は铸型内で溶湯を一旦凝固させる 1 次冷却と、その後の冷却水による 2 次冷却で完全に凝固させる複数の冷却工程で構成される連続铸造法である。これに対し、今回開発した断熱铸型連続铸造法は断熱構造を持つ铸型内では溶湯を凝固させずに、铸型下端の冷却水のみで一気に凝固させる連続铸造法である。そのため、従来法に比べてよりフラットなビレットの凝固界面が得られる連続铸造法であり、溶湯の冷却速度の高速化やビレット円周方向における凝固組織の均一化を図ることが可能である。本技術開発では凝固組織の微細・均一化を実現すべく、断熱铸型連続铸造法をマグネシウム鍛造用素材の連続铸造法に採用し、装置開発を行った。

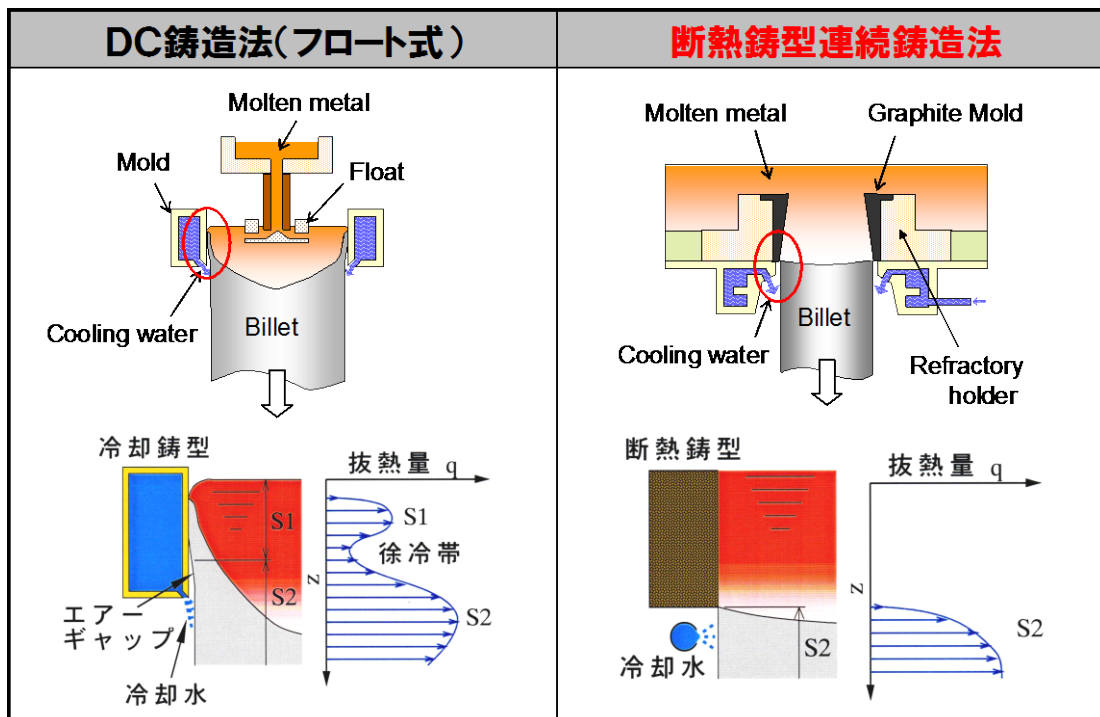


図 1 1 ビレットの各種連続铸造法の概略

1.2 組織微細化を実現するビレット連続铸造技術の開発

本技術開発では、平均結晶粒径 $50\mu\text{m}$ 以下の凝固組織を有する鍛造用ビレットの安定した連続铸造技術を開発、実現することが最終目標である。上記目標値を達成するために以下の技術開発および検討を行った。

断熱铸型連続铸造法によるビレット凝固組織の検討

本技術検討において開発したマグネシウム合金の断熱铸型連続铸造法を適用し、ビレットの連続铸造実験を試行した。本試験では、当該铸造法の実用化の可否を見極めるため、ある程度の铸造長さを確保し、ビレットの長手方向における内部品質の状態を調査することを試みた。そのため、約 10kg の溶湯量に対し、ビレットの铸造径を $\phi 55\text{mm}$ と比較的小径化することで、铸造長さを確保した。試作後のビレットは図 12 に示すように、铸込み始め側と铸込み終わり側にてスライスサンプルを採取した後、成分分析および組織観察を実施し、ビレット長手方向、および円周方向における基本的な内部品質を評価した。

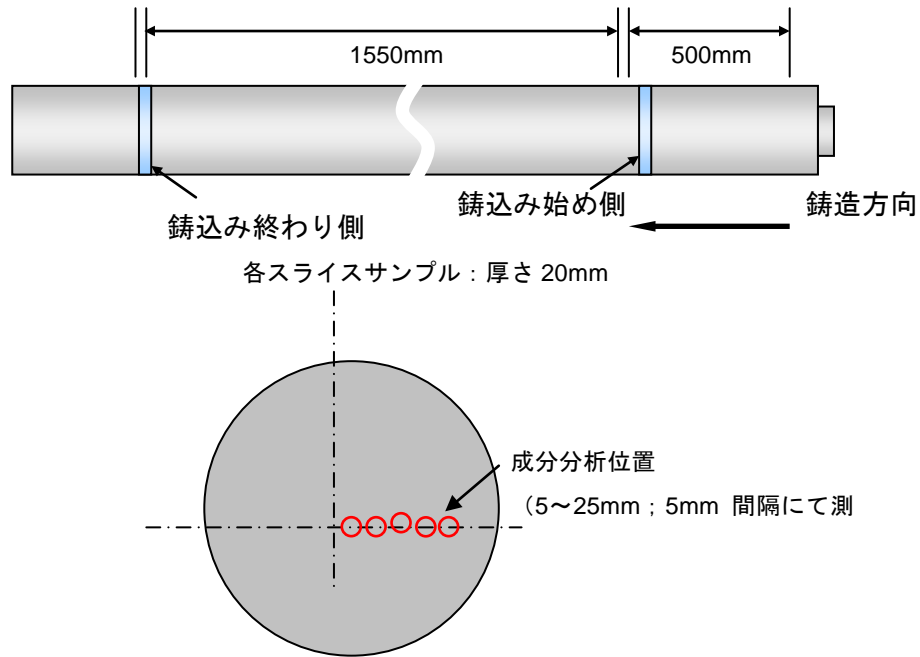


図 1 2 ビレットサンプル採取位置および円周方向成分分析位置

2.2.3 断熱鑄型によるマグネシウム鑄造法の開発

考案したマグネシウム合金の断熱鑄型連続鑄造法を適用し、実際にビレットの連続鑄造実験を試行した。表 1 に鑄造実験条件を示した。表 2 に長手方向のビレット成分分析結果を示した。

表 1 断熱鑄型連続鑄造法による実験条件

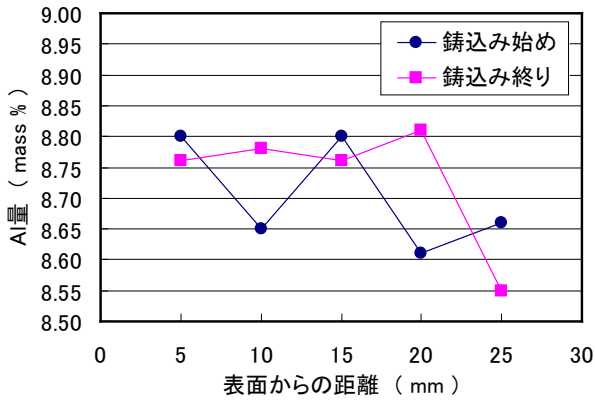
実験概略	実験条件	
	合金種	AZ91、AZX911
	溶解量	約 10kg
	ビレット径	φ 55mm
	注湯時溶湯温度	約 700℃
	鑄造速度 (初期)	100mm/min
	鑄造速度 (定常)	190mm/min
	増速勾配	(30mm/min) /min
	冷却水量	16.6L/min

図 13 に、ビレット円周方向における主要元素 (Al、Zn、Ca、Mn) の変化を示す。図より、ビレット円周方向の各成分変動幅は Al で 0.3mass%以内、Zn で 0.03mass%以内、Ca で 0.1mass%以内、Mn で 0.06mass%以内である。一般に Mn 量については、その比重の影響で鋳込み終わりの方が (鑄造時間の経過とともに) 高くなる傾向があるものの、問題のない範囲と考えられる。ゆえに、円周方向においてもビレット全域に渡ってほぼ均一な成分を有する連続鑄造ビレットが製造できていることが分かる。

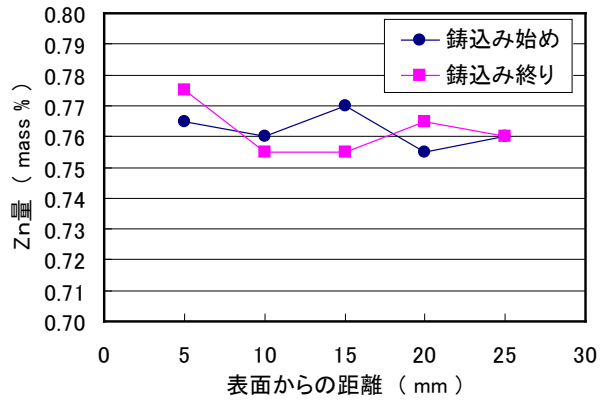
図 14 に当該鑄造法にて試作したビレットのマクロ組織写真を示す。図より、鋳込み始め側と鋳込み終わり側の組織にはほとんど差異は無く、粗大粒等の異常組織は観察されない。

表 2 断熱鋳型連続鋳造法による長手方向のビレット成分分析結果 (mass%)

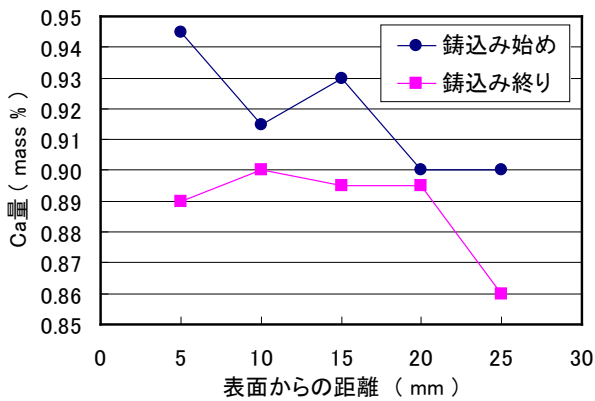
	Al	Zn	Ca	Mn	Si	Fe	Ni	Cu	Mg
鋳込始	8.8	0.76	0.91	0.19	0.005	<0.002	0.002	<0.002	Bal.
鋳込終	8.9	0.77	0.90	0.22	0.005	<0.002	0.002	<0.002	Bal.



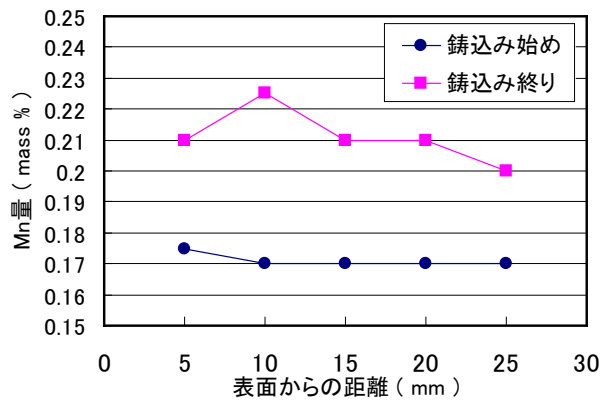
【Alの成分変動】



【Znの成分変動】



【Caの成分変動】



【Mnの成分変動】

図 1 3 断熱鋳型連続鋳造法による円周方向のビレット各元素の成分変化

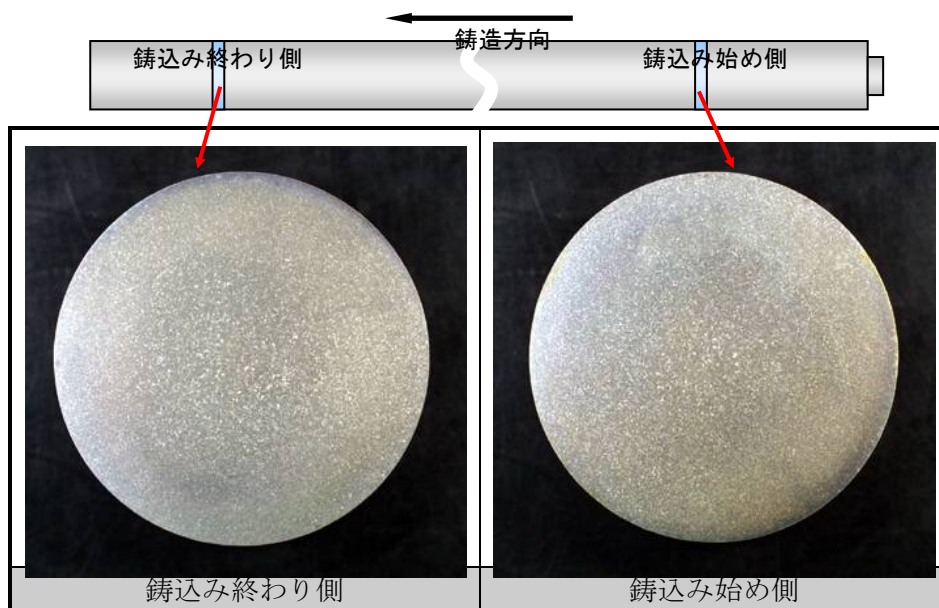


図 1 4 断熱鋳型連続鋳造法による AZX911 ビレットマクロ組織

図 15 はビレット casting 終わり側のマイクロ組織を示すが、ビレット径方向については、中央部や半径 1/2 位置に比べ、ごく表層部 (300~500 μm) においてデンドライト組織が若干細くなる傾向が観察されるものの、それ以外の部位は均一なデンドライト組織となっていることが観察できる。

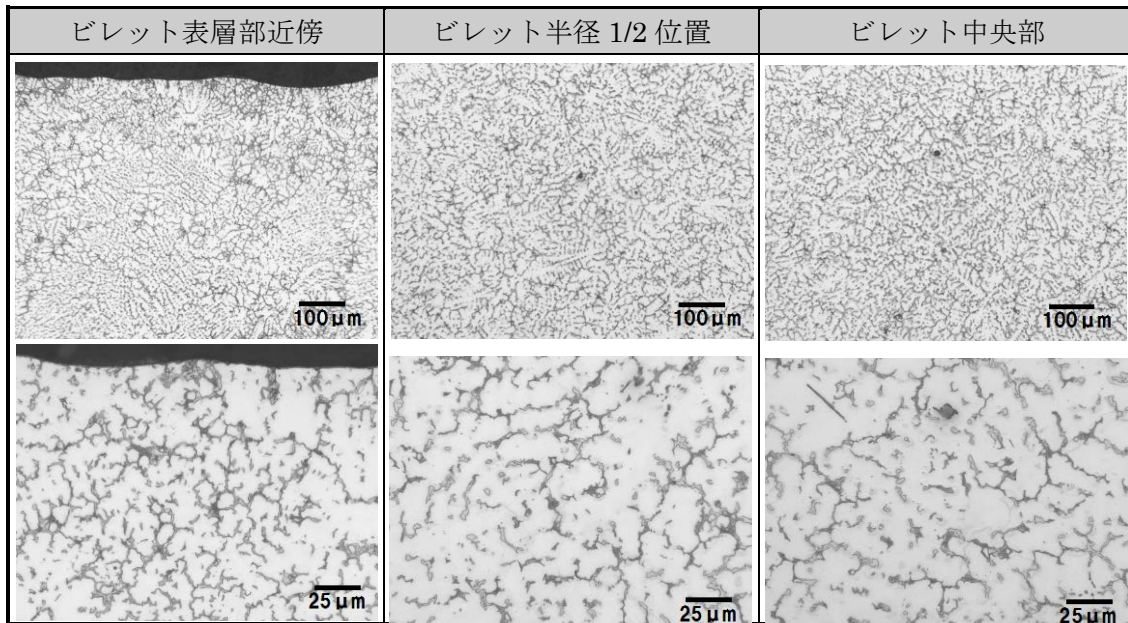


図 15 断熱鋳型連続鋳造法による AZX911 ビレットマイクロ組織の一例

以上の基本的な調査結果より、現レベルの鋳造条件では、当該連続鋳造法は長手方向およびビレット径方向において安定かつ均一な成分および凝固組織を得ることができる鋳造法であることを確認することができた。したがって、断熱鋳型連続鋳造法は、実用レベルを想定した鍛造用素材として提供可能な、マグネシウム合金の連続鋳造法として十分適用することのできる鋳造法と判断できる。

2. 3 特徴ある新合金に関する技術開発

2. 3. 1 高機能鍛造素材の技術開発

高強度マグネシウム鍛造合金開発のため AZX 系合金の最適合金組成を見出すことを目的とする。

2. 3. 2 AZX 系の最適組成に関する開発

鍛造用高強度マグネシウム合金を決定するため AZX 系合金で Zn 量を 1% 一定として、Al 量を 3、6、9、12% と変化してマイクロ組織検査と強度特性、熱処理特性調査及び結晶粒微細化試験を行った。素材は φ76mm に鋳造した細径鋳造棒である。供試した素材の組成を表 3 に示す。

表 3 鍛造用最適合金試験に用いた素材の成分分析表 wt%

NO	合金名	Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	Zr	Ca	その他	Mg
1901	AZ80	8.3	0.48	0.14	0.070	0.03	<0.002	<0.002			Bal
1902	AZX311	2.9	0.75	0.28	0.050	<0.002	<0.002	<0.002	0.90		Bal
1903	AZX611	6.2	0.79	0.21	0.007	<0.002	<0.002	<0.002	1.00		Bal
1905	AZX911	8.8	0.84	0.17	0.004	<0.002	<0.002	<0.002	1.02		Bal
1907	AZX1211	12.0	0.81	0.19	0.006	<0.002	<0.002	<0.002	0.96		Bal

図 16、17 はφ76 鋳造細径棒で AZX 系の AL 量を変化したときの素材及び鍛造後 T5 処理を行ったものの強度特性を試験したものである。鍛造後、T5 処理することで強度特性は向上しているのが判る。

またアルミニウム量が 3% から増加するに従って強度は向上するが 9% 以上になると強度は若干低下する傾向にある。また 9%AL 量で T5 処理(215°Cx21 時間)したものの強度特性は 345MPa を示し目標値を達成しており目標値を凌駕することが確認できた。このことから高機能最適合金は AZX911 ないしはその改良合金に決定した。

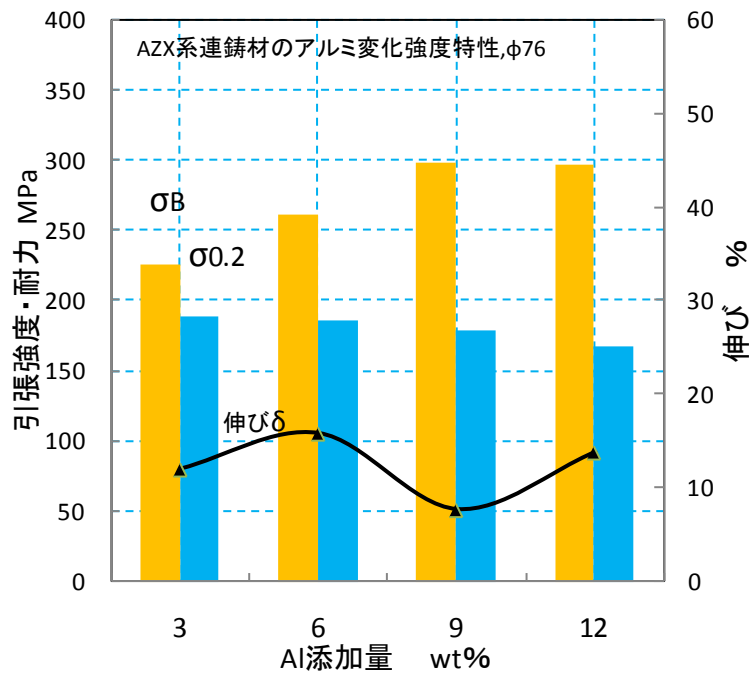


図 1 6 AZX 合金の AL 量変化の素材の強度特性

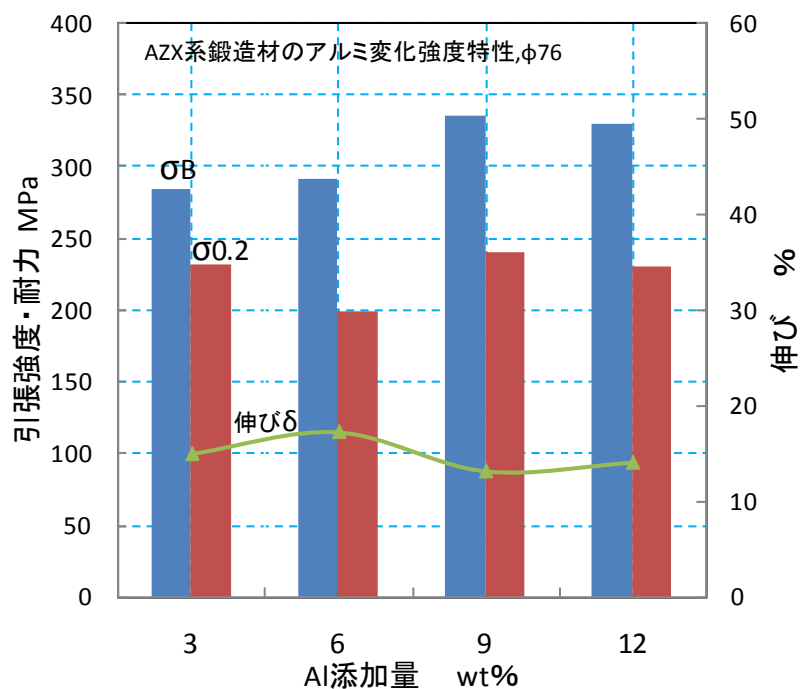


図 1 7 AZX 系合金の AL 量を変化したときの鍛造材の強度特性

AZX911 合金が目標強度を達成できることが確認できた。しかしこの合金は Ca が 1% 添加されており耐熱性は得られるものの鍛造性が劣る。そこで、AZX911 合金の最適 Ca 量を求めるため Ca 量を低

減する試験を実施した。試験条件は図 18 に示す。

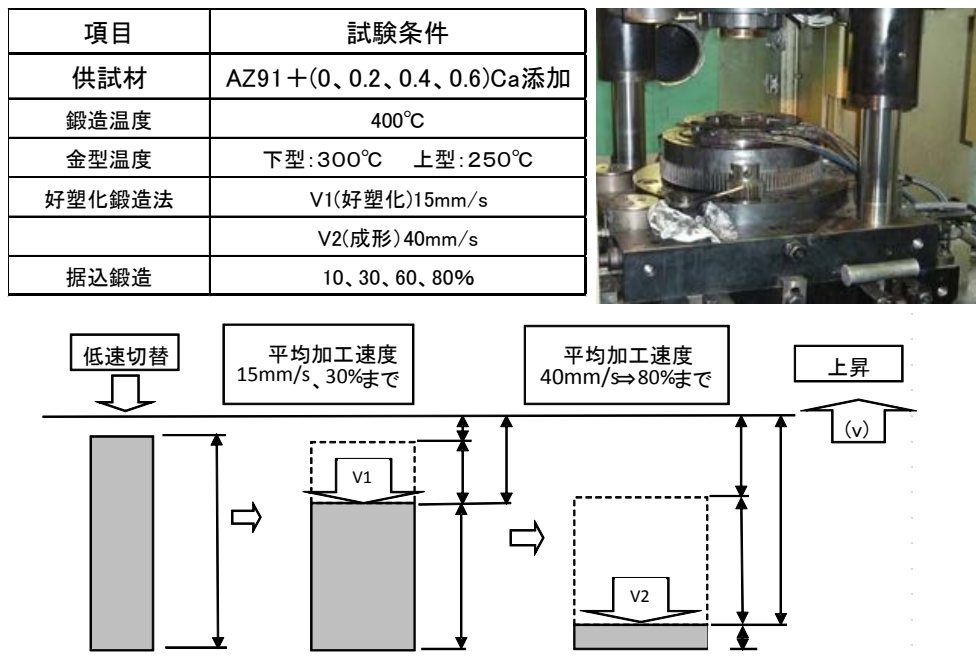


図 1 8 Ca 量変化素材の鍛造限界加工率の試験条件

上記の試験結果を図 19、20 に示した。この結果、Ca 量が増加するに従って鍛造性は低下し Ca を添加しない AZ91 合金が最も良好で、0.6%添加が最も鍛造性が悪い結果となった。また、0.2%と 0.4%ではほとんど鍛造性の差は認められなかった。耐熱性を考慮すれば Ca の添加は必須であるが、鑄造時の結晶粒微細化阻害と鍛造性の低下を考えるとできるだけ少ない方が得策である。これらを考慮して Ca の添加は 0.4%がベストとの結論に達した。これで、合金組成が決定したことになる。

400°C		20	40	60	80
加工率%					
Ca0.2%					
Ca0.4%					
Ca0.6%					

Red circles (○) indicate successful forging, and red crosses (×) indicate failure. For Ca0.2%, 20% and 40% are successful, 60% is a failure, and 80% is a double failure. For Ca0.4%, 20% and 40% are successful, 60% is a failure, and 80% is a double failure. For Ca0.6%, 20% and 40% are successful, 60% is a failure, and 80% is a double failure.

図 1 9 AZX 合金の Ca 量変化の鍛造試験結果

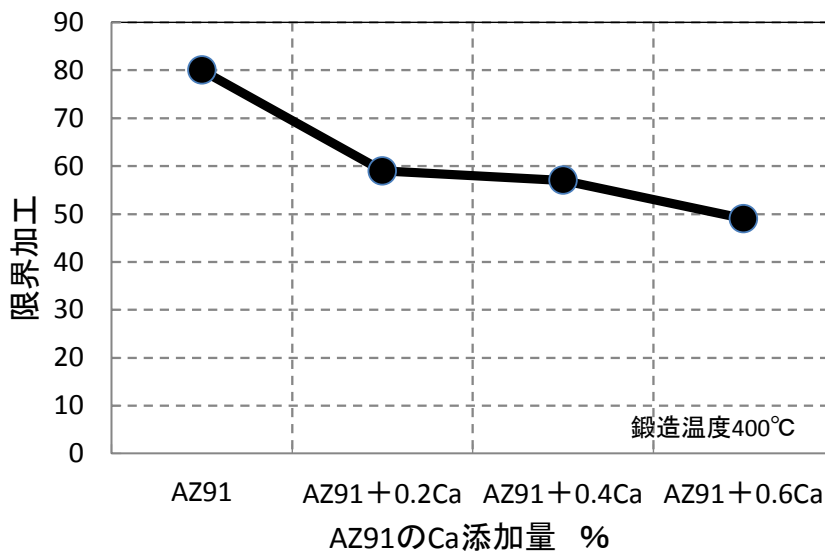


図 20 AZX911 の Ca 量変化による鍛造性(限界加工率)

2. 4 鍛造変形能向上の結晶粒微細化加工法の開発研究

マグネシウム合金の鋳造時に急冷凝固することで強度特性、鍛造性が向上することが確認できた。また、新鋳造法の開発で急冷凝固を達成する細径棒の製造方法の確立ができた。しかし、新たな問題として急冷凝固しても結晶粒が微細化できない問題が出てきた。ここでは、結晶粒が強度特性に及ぼす影響とどのようにして塑性加工で結晶粒を微細化するかの開発を実施した。

2. 4. 1 凝固速度と結晶粒微細化に関する開発研究

従来のビレットと急冷凝固した鋳造細径棒の結晶粒径を合わせてプロットした。従来材での結晶粒は $300\mu\text{m}$ 程度と大きい。これを熱間圧延や押し出で結晶粒を微細化しているがその大きさは $50\mu\text{m}$ 程度である。急冷凝固すれば結晶粒の微細化効果が期待できるが、本技術開発で開発した断熱鋳型新連続鋳造法の最高凝固速度と推定される $25^\circ\text{C}/\text{s}$ を持っても $50\mu\text{m}$ 程度にしかならないことが判る。鍛造加工で鍛造性を向上し強度特性を向上するには最高でも $10\mu\text{m}$ 程度で望むらくは $5\mu\text{m}$ 以下にする必要がある。図 21 に凝固速度と結晶粒の大きさを示す。

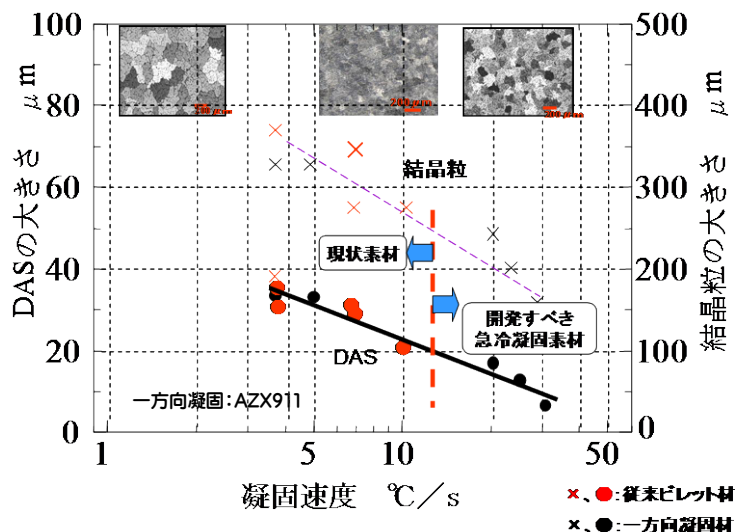


図 21 一方凝固試験での凝固速度と結晶粒の大きさ

2. 4. 2 鍛造加工での動的再結晶に関する開発研究

急凝固の細径鋳造棒でも結晶粒の大きさは $100\mu\text{m}$ の大きさであり、鍛造加工に必要な $10\mu\text{m}$ 以下にするには新たな対策が必要になる。動的再結晶を鍛造前に行って結晶粒の微細化を図ることを考えた。具体的には素材を鍛造前にひずみを与えて動的再結晶させて、結晶粒を微細化して鍛造するものである。この処理を行うことで結晶粒が微細化して強度特性が向上し、鍛造性も向上する。鍛造加工と同時に行えば理想的であり、工程が省略できる。この結晶粒微細化と鍛造加工を同時に実施する処理を『好塑化処理』と名付けることにした。動的再結晶での結晶粒微細化処理(好塑化処理)を実施した試験結果を図 22、図 23 に示した。供試材は $\phi 155$ と新鋳造法で製造した $\phi 55$ の AZ91 合金を使用し、金型温度は 300°C 一定とし鍛造温度は 300°C で実施した。また、鍛造は加工率 30%までは歪速度を 30mm/s で加工しその後 80%までを 100mm/s で行った。 $\phi 155\text{mm}$ AZ91 材の初期結晶粒は $150\mu\text{m}$ あったが好塑化処理後では $15\mu\text{m}$ に微細化した。しかしこの結晶粒では強度特性や鍛造性の向上には不十分である。

一方、本開発の成果である新鋳造法で製造した $\phi 55$ の鍛造用細径棒では初期結晶粒 $67\mu\text{m}$ が好塑化処理後では $5\mu\text{m}$ まで微細化することができた。この結晶粒ならば強度特性、鍛造性も向上する。

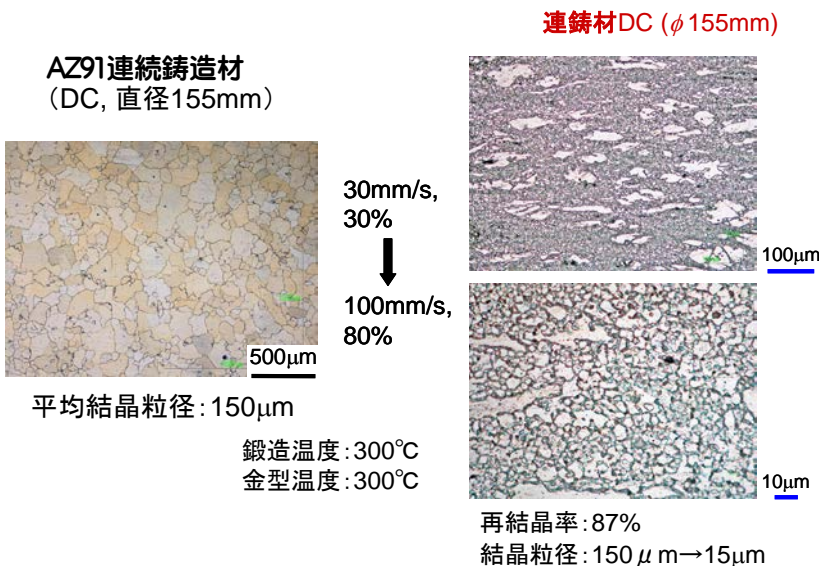


図 2 2 $\phi 155$ AZ91 材の動的再結晶による結晶粒の微細化

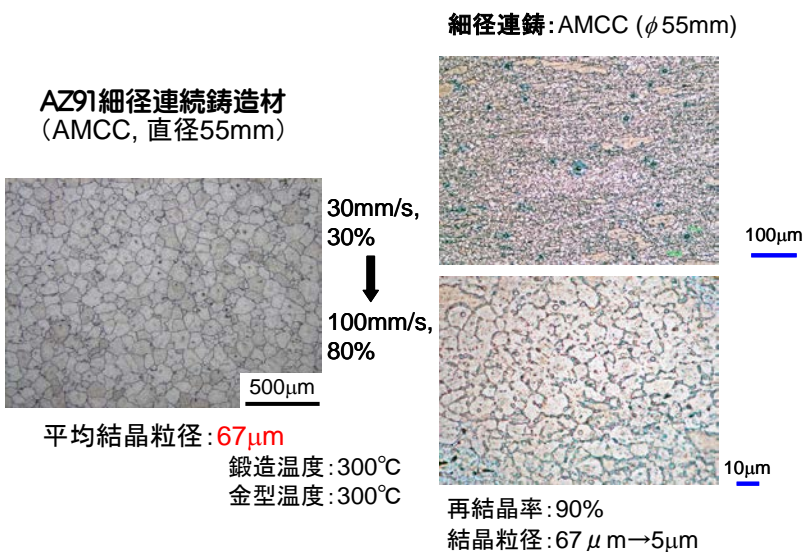


図 2 3 $\phi 55$ AZ91 材の動的再結晶による結晶粒の微細化

本開発の成果である新鑄造法で製造した鍛造用細径棒では初期結晶粒が $67\mu\text{m}$ が好塑性処理による動的再結晶を行うと $5\mu\text{m}$ まで微細化可能であった。それでは結晶粒をどの程度微細化すれば強度特性、鍛造性が向上するのであろうか？それを試験した結果を図 24 に示した。

図 2 4 結晶粒径と強度特性(AZX911 合金)

ここに示すように、結晶粒が微細化すれば引張強度、耐力値は向上する。一方、伸びは強度特性に従って低下している。特に、結晶粒が $10\mu\text{m}$ 以下になると特性が飛躍的に向上し、結晶粒微細化の効果が確認できた。このことより、結晶粒は $10\mu\text{m}$ 以下が望ましいことが判った。

2. 5 精密鍛造用金型製造法の開発

2. 5. 1 流動制御鍛造の開発研究

鍛造工程でのアルミの流れをコントロールする事が出来れば、精度が良く高品質な鍛造素材が得られ、加工代削減によるコストの低減が可能となる。流れをコントロールする為には、鍛造過程での材料流動を正確に把握する必要がある。

図25はピストンの一工程鍛造時に最も問題になるボス部の“被り”欠陥を鉛を使い段打ち鍛造で再現したものである。“被り”はボス部コーナ部の流動速度が速くなり、最先端の円形部で流れが縮流となり、コーナ流れの乱流が起こり発生することが判った。金型の摩擦係数を制御すれば欠陥は防止できることが確認できた。

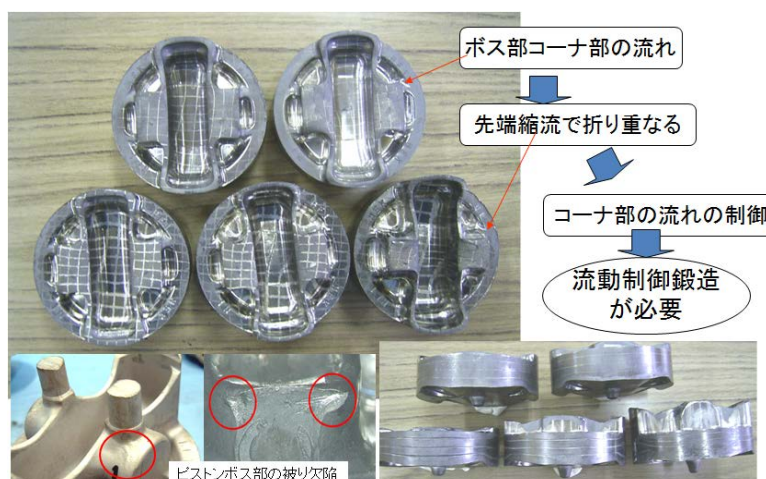


図 2 5 ピストンの一工程鍛造で発生する“被り”欠陥の検証

省工程鍛造には金型の摩擦係数をコントロールすることが重要となる。この目的を達成する方策として、マイクロショット加工法を検討した。マイクロショット加工は中心粒径 $\phi 20\sim 40\ \mu\text{m}$ の略球形セラミックビーズを、圧縮エアを介し秒速100m以上の高速で被加工物の金型表面に衝突させて金型の寸法を変えること無く、金型表面を研磨する方法である。これによって金型表面の摩擦係数を調整して鍛造時の材料流動を制御するものである。

製作したマイクロショット加工試験装置で金型の研磨試験を実施した。図 26 はマイクロショット加工メディア ZrO_2 を用いて、粒径と噴射圧を変化してノズルの入射角度を変化し、20 分間噴射したときの金型(SKD11 材)表面の面粗度結果である。

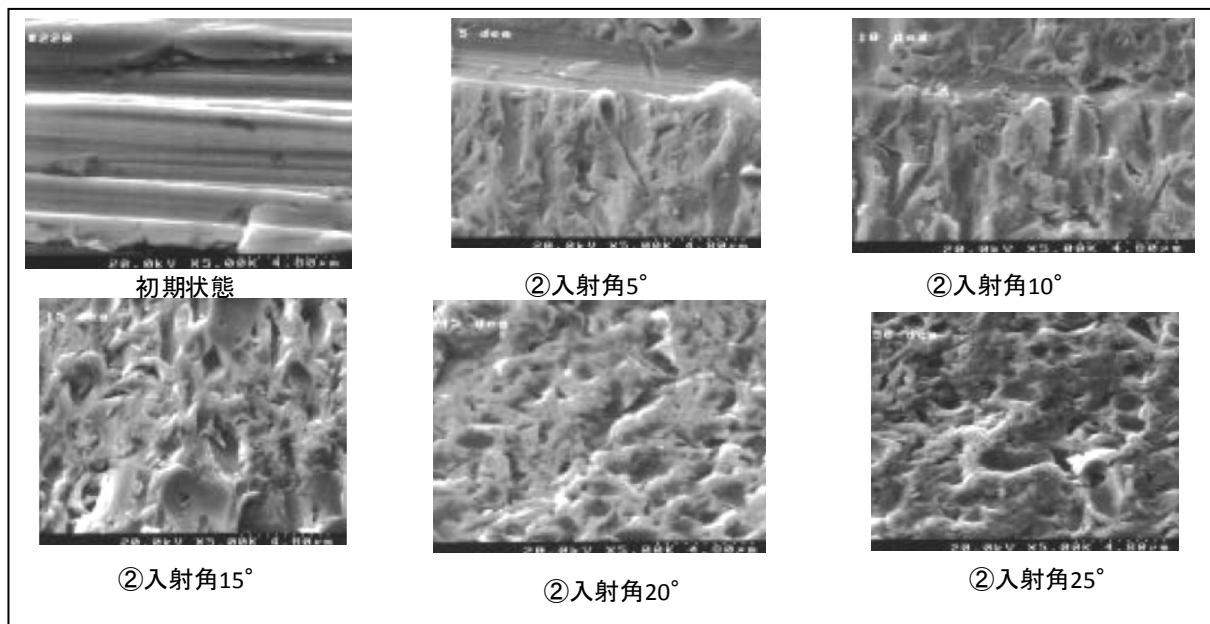


図 26 マイクロショット加工の噴射入射角と金型表面の関係

ノズル入射角が 5° で研磨剤を $\text{ZrO}_2\ 30\ \mu\text{m}$ を用いた時の噴射時間と金型表面粗度の関係を図 27 に示すが研磨時間と共に表面粗さは向上し 15 分程度で面粗度は一定となり 20 分でサチレートする。今迄は熟練技術者が 150 分程度かけて研磨していたものが 20 分程度で同じレベルに研磨できることが判明した。

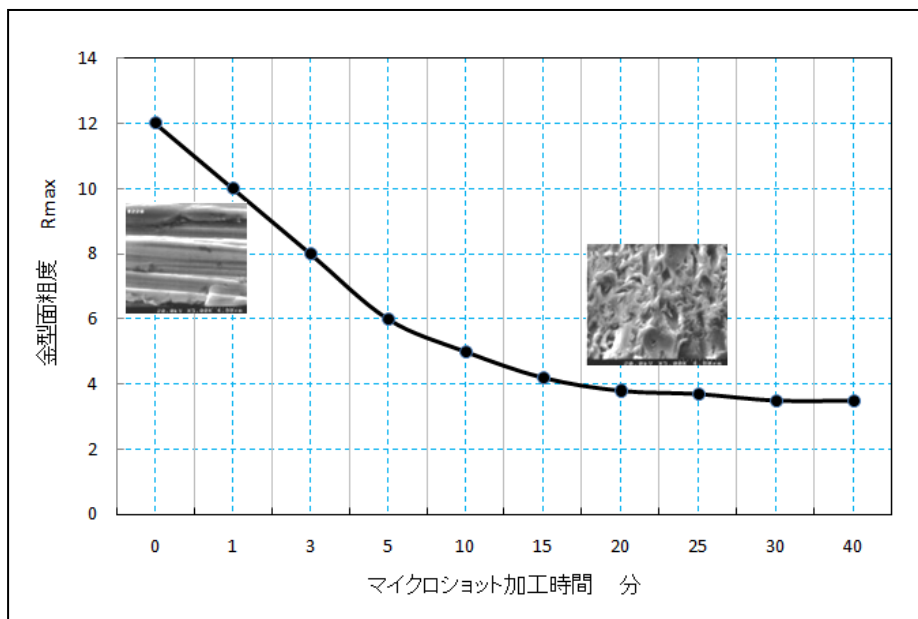


図 27 マイクロショット加工での加工時間と金型面粗度の関係

2. 5. 2 精密鍛造金型加工法の開発

最先端の加工機械による金型加工に加え鍛造技術である流動制御技術とこれを達成するための金型表面制御技術（極限平滑化、局部粗面制御）の技術開発に取り組んだ。放電加工機を利用した金型表面平滑化をリニアモータ搭載の放電加工機と砥粒添加により加工時間の短縮と表面平滑の両方の開発を実施した。図 28 に金型仕上がり面粗度の試験結果を示す。

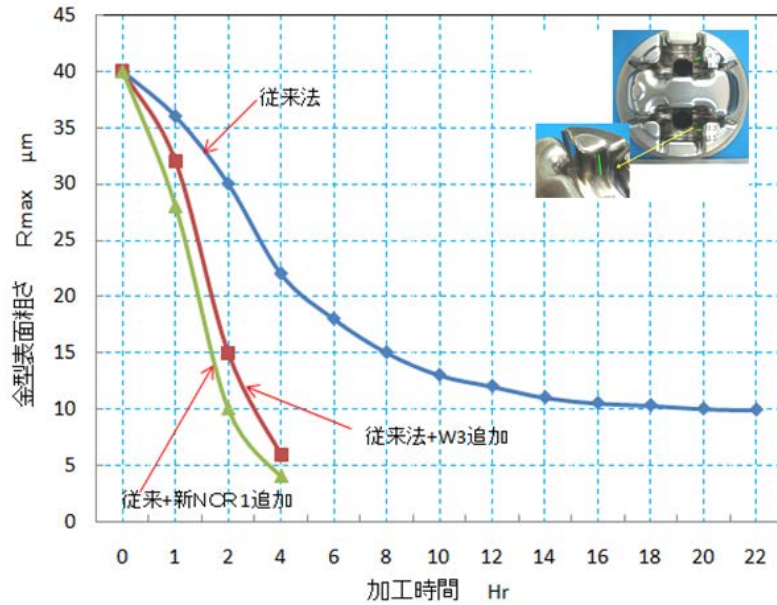


図 28 開発放電ラップ法と従来法の金型仕上がり面粗度の試験結果

2. 6 マグネシウム材の複雑・高精度鍛造加工法の開発研究

2. 6. 1 マグネシウム用最適潤滑法の開発

マグネシウム合金は鍛造時に潤滑剤が切れて潤滑剤のない金属新生面が出易く、金型との焼き付きが発生する。このため、複雑形状で精密な鍛造品を製造するには潤滑剤とその処理方法の開発が必須と考え取り組んだ。その結果、良好な潤滑剤と処理方法を開発することができた。図 29 は開発した潤滑剤とその処理工程と処理後の表面のモデル図を示したものである。各温度で摩擦係数は低く良好な結果を得た。図 30 は実際にマグネシウムの鍛造を AZ31 合金で確認した。開発した潤滑処理の有効性を確認する試験でリング圧縮試験結果である。鍛造温度 400℃で従来使用されている油性のオイルダグよりはるかに良好な結果であった。

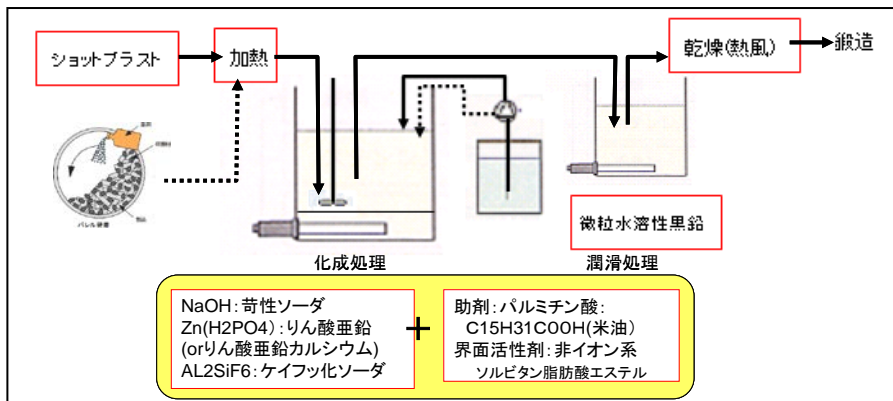


図 29 開発した新潤滑工法

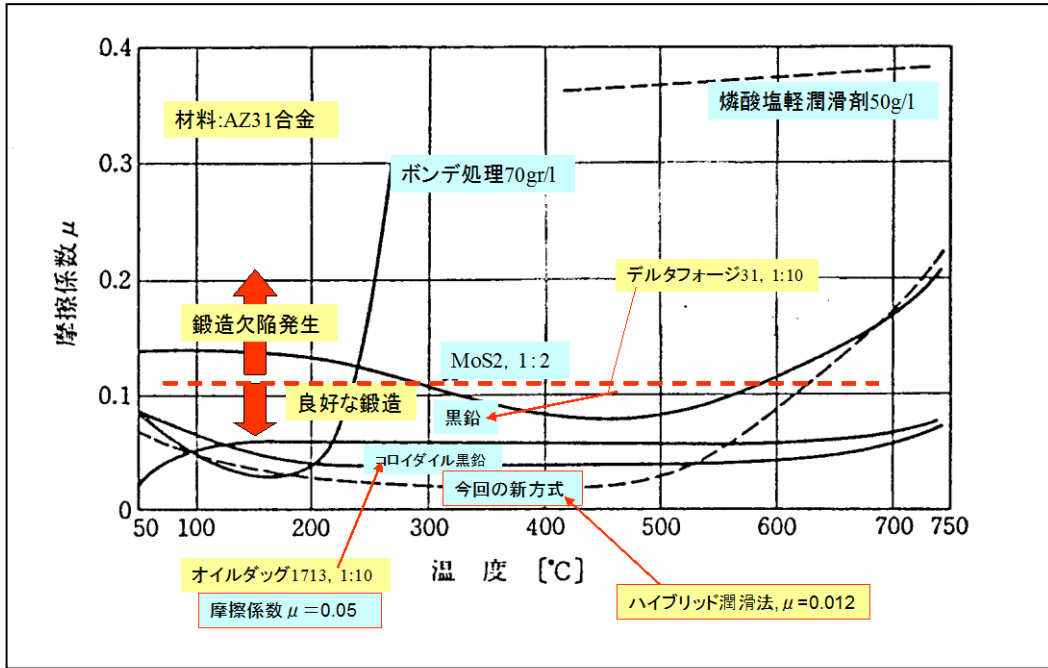


図 3 0 新開発潤滑と従来法との摩擦係数の比較（リング圧縮試験）

2. 6. 2 複雑・高精度鍛造加工法の開発

今迄の試験で強度目標値をクリアーできる合金開発ができた。これには合金組成と金属組織の微細化が寄与している。しかし、鑄造組織であり、結晶粒の微細化は十分でなく、結晶粒を微細化すれば更なる強度特性の向上と鍛造性の改良が見込め鍛造の低温化(冷間鍛造)が期待できる。結晶粒を微細化することで従来2工程鍛造していたものを1工程で鍛造も可能になる。結晶粒微細化工程と鍛造加工を別工程で実施していたが、これを鍛造成形時に結晶粒微細化と成形加工を同時に実施できれば省工程化が達成できる。すなわち、サーボプレスでの結晶粒微細化と鍛造成形の融合化である。これはサーボプレスの特徴を生かせば実現可能と判断して試験した。これは、今迄にない新鍛造加工法である、「好塑化鍛造加工」の開発研究になる。

今回開発した鍛造法はサーボプレスの特徴を生かして鍛造中に加工速度を 10mm/s と低速にして30%程度の加工率を加え、一度スライド下降を停止し、結晶粒を微細化して、その後成形加工を加える方法である。この加工法は鍛造中に結晶粒微細化で鍛造変形能を向上して成形するので「好塑化鍛造法」と名付けた。図 31 に好塑化鍛造法概念と使用したサーボプレスの仕様を示した。

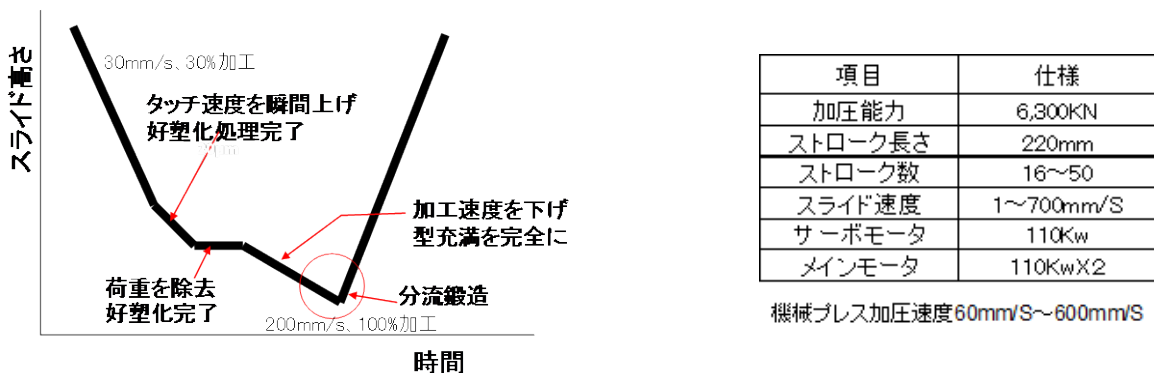


図 3 1 サーボプレスでの試験条件と仕様

図 32 で示すように鍛造成形時に新たな結晶粒を生成し、微細化させる動的再結晶を利用した鍛造成形法である。この新鍛造法はサーボプレスを用いることで初めて可能になる。

本開発による組織因子を微細にした素材と一般材を比較して各温度の限界加工率を図 63 に示した。結晶粒 $7\mu\text{m}$ 、DAS $8\mu\text{m}$ の素材は 150°C まで割れが発生せず低温化が可能となった。これは結晶粒、DAS 共に微細化した効果と考えられる。

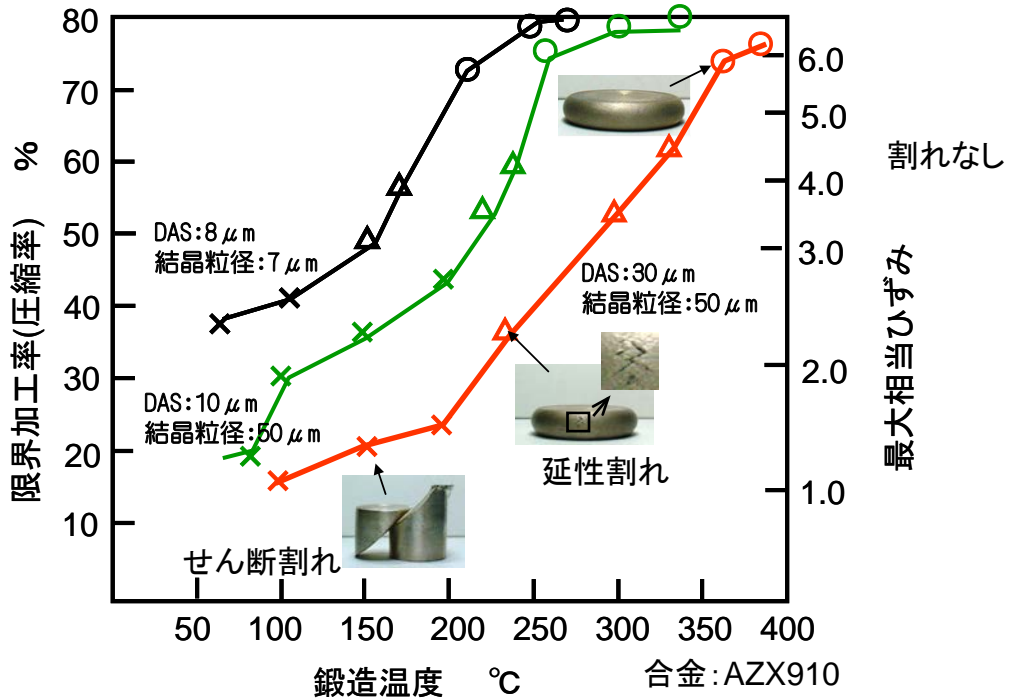


図 3 2 従来材 ($\phi 155$) と本開発工法での各温度での限界加工率

2.6.3 開発成果を生かした事業化に向けて

1) 技術目標値の達成度

3年間の開発研究を実施してかなりの成果を上げることができた。開発目標値と現状の達成度を比較したのが表 4 である。丸で囲んだのが目標を達成したものでほぼ目標を達成できた。この成果を生かしてユーザ企業に接触して実用化・事業化の検討を行った。

表 4 本技術開発の目標値と達成度

項目・内容		現状	目標
技術・品質	素材	素材形状	押出材
		組織、DAS	$40\mu\text{m}$
		組織、結晶粒	$200\mu\text{m}$
	強度特性	強度	AZ31合金 260MPa
		高温強度(at 250°C)	AZ31合金 80MPa
		伸び	AZ31合金 8%
	軽量化率	対アルミ	30%以上軽量化
鍛造成形	成形法	熱間加工のみ	
	寸法精度	$\pm 1\sim 1.5$	
価格	(素材)	現状比(押出材)	100
	製品	現状比	100

は目標数値達成。2012年12月

選定したターゲット製品を図33に示す。選定したのはモータサイクル用部品、介護用ロボット部品、新幹線用ケーブルコネクター、自動車用ダンパー継手、デジタルカメラ部品、ヒートシンクである。これらの製品は今迄の開発技術を生かして問題なく製品鍛造ができた。



図 3 3 試作したマグネシウム鍛造品

第 3 章. 実用化技術における実用化・事業化の見通し

3. 1 事業化の見込み

今迄実施してきた基盤技術開発や実用化開発研究の成果を生かして、製品の種類、その目標とする特性・価格をユーザサイドと摺り合わせることにより、製品の展開・拡大を行うことが可能となり、事業化もスムーズに行える。

弊社はロボット産業を除き、自動車及び部品メーカ、情報・家電メーカ等に複数の顧客を有し有望な販売ルートを持っており、ピストン、防振マウント、ロボット部品を上市した際、このルートに有効に活用でき成功すると考えた理由である。さらには、マグネシウム連続铸造素材メーカとも太いパイプを有しており、これも成功する大きな要因と考えた。また、提案型企業としてユーザとともに新製品開発を実施してきた豊富な実績があり、高い評価を受けている。マグネシウム鍛造を事業として実施している企業は2～3社と限定されており、本プロジェクトで実施する素材+鍛造加工の融合化で低価格で機能を向上する開発は全くなされていない。この意味で本開発により目標を達成すれば、オンリーワンの地位を築くことができる。

本開発プロジェクトで得られた急冷凝固した細径铸造材で十分な鍛造加工性をもつ新鍛造素材と精密で工程数を短縮しコスト低減を可能にする鍛造プロセスの結合は他に実例を見ないものである。また国内外の文献等においても本開発に該当するような報告例はない。以上のように、本技術に関する先行技術はなく独創的で優位性を持つものであると言える。これらを勘案して高機能化、コスト低減、納期短縮などの課題を解決すれば、事業として成功すると考えた。その根拠を従来技術と比較して図34に示した。

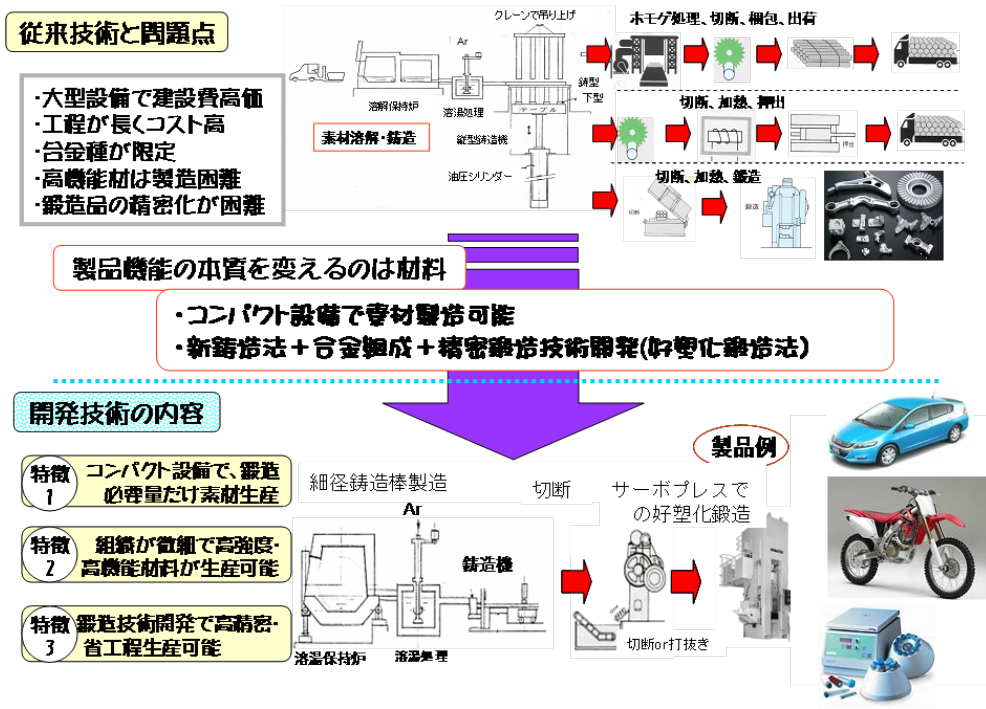


図 3 4 従来技術と本開発技術の比較

従来技術は押出工程が必要なために必然的に大型設備が必要で大量生産を前提としているため種々のデメリットがある。例えば、大型設備のため設備費が高み、工程が長くコスト高になる欠点がある。さらに大量生産のため合金種が限定され小回りが効かない。最大の欠点は押出製造に適したビレットを使用しているため組織微細化の概念が取り入れられていない。それに比較して本開発技術は上記欠点を解消し、更なるメリットをもたらす。

3. 2 製品価格

本研究開発を究極の目標2000円/Kgとしたい。根拠はマグネシウム合金価格を350円/Kg、連続鑄造材価格1000円/Kgとした。本開発で目標を達成すればアルミニウム鍛造製品に近い価格にすることが可能となり、抜群の競争力を持つ。しかし、素材価格の予測とユーザの予測を参考に無理をせずに、先ず第1段階3000~3500円/Kgを早期に実現する。これは、

現状の製品価格の1/2~1/3に相当し、これを達成するだけで、強固な価格競争力を発現できる。この根拠を図35に示すが、素材コストが大幅に低減している。これは従来のように押出工程を経ないで直接連続鑄造したものを鍛造素材とすることで大きく価格が下がるからである。本技術開発の素材及び鍛造工法両面の成果を利用することで、価格競争力をもつマグネシウム鍛造品が創出できる。

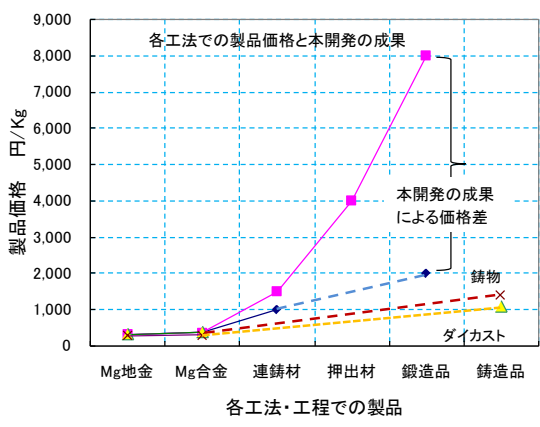


図 3 5 マグネシウム価格の比較 (宮本工業 (株) 試算)

3. 3 上市と売上げ予想

本事業は平成 24 年度の 2012 年に、冒頭、図 4 に示した 2 部品の上市に成功した。これはデジタルカメラ用部品のレンズ鏡筒とモードダイヤルで、マグネシウムの特徴を生かして試作したものが客先に評価され採用されたものである。この他、遠心分離機用部品やヒートシンクが狙上にある。しかし主要製品は自動車、及び二輪車向けエンジン部品と防振マウント、及び工業・医療用ロボット部品、モバイル用電子・情報機器部品である。具体的にはピストン、バルブリフター、防振用エンジンマウント(ゴム製品との複合材)、ロボットアーム、各種継手、管材、ヒートシンク、ホルダー等の部品である。製品の売上げ予想を図 37 に示した。図は総需要予測(億円)と弊社売上予想(億円)、宮本工業の総需要に対するシェアで 2012 年から 5 年間で 2022 年の変化で示した。図に示すように事業化した初年度は 1.7 億円と少ないが、2015 年には 5.2 億円になり、2016 年には 14 億円になると考えた。この金額はマグネシウム鍛造品総需要の 0.1~0.6%に相当し、弊社の新たな事業の柱となる。

以上の種々の成果からその意義を考えると、マグネシウム鍛造技術開発を行い低コスト、高強度、高精度鍛造工法の開発を実現したことになる。開発の結果、1) 業界初の押出レス素材、省工程鍛造技術を開発した、2) A6061 を凌駕する 370MPa 強度達成し目標値(340MPa)を大幅にクリアーした、3) 鍛造品の低コスト化を実現し現行の 1/3 (2,000 円/kg) にできた、4) 業界初の好塑化鍛造法を開発して高精度±0.05mm を達成した、5) 本技術開発の成果を業界に供与可能としたことが挙げられる。図 36 は、本年度導入した新切断機である。これにより、マグネシウム材の切断面粗度が向上した。その結果、好塑化鍛造時に組織微細化が促進され、好塑化鍛造法をさらに加速させることができ、より低温での鍛造が可能となった。



図 3 6 新切断機

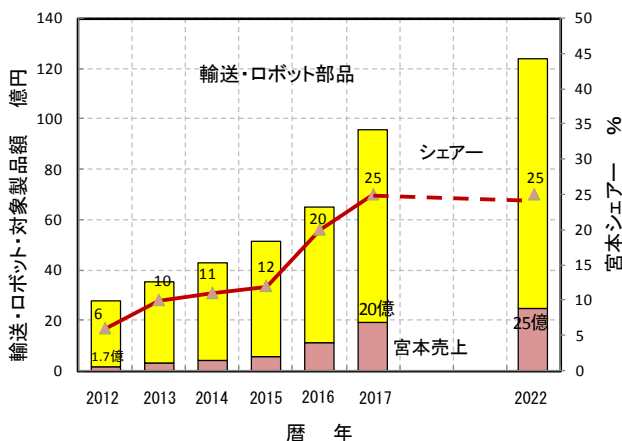


図 3 7 宮本工業(株)の売上げ見通し
マグネシウム製品の総需要

第4章 全体総括

今年度で本開発プロジェクトを終了した。鍛造産業は自動車産業の伸長とともに、生産を拡大してきたが、グローバル化の中で競争力を維持し、生産量・利益の確保をすることが難しい環境にある。また、新しい素材、加工法が出現する現在、鍛造業として存続するためには、中小企業といえども、需要家に対して鍛造部品の新たな付加価値を提供するための戦略とその実行が必要である。鍛造品が今後、生産量・利益を確保するための条件として高機能化、雑形状・高精密化、低コスト化が挙げられる。

本開発は、第1段階として、低コストを実現する細径鍛造棒を開発して押出レス鍛造素材によるマグネシウム鍛造を具体化する。さらに、開発した素材を用いて結晶粒微細化と鍛造成形を融合化した「好塑化鍛造法」を開発した。この技術開発は世界初であり、技術的な価値は大きい。また本技術開発が完成することで自動車用部品、オートバイ部品、モバイル機器、医療機械、鉄道車両など応用範囲も広がり市場拡大が期待できる。

本開発はその条件（課題）の解決に必要とされる研究実施内容を含めたものになっている。

- ・ 部品の高機能化・・・高機能合金の開発、新鍛造法の開発
- ・ 複雑形状・高精密化・・・高精密金型加工法の開発、流動制御鍛造法開発、鍛造試作研究
- ・ 低コスト化・・・新鍛造法の開発、省工程新鍛造法の開発

この確立された技術をベースに、幅広い産業分野のニーズを顕在化し、高機能鍛造部品の需要を創出また拡大していきたい。本開発の研究実施者は、宮本工業を開発研究の中核とし、(株)NCロード、(株)三協マテリアル、(株)ゴージュは共同研究者である。各研究メンバーは役割を分担し、効果的の遂行を行い、当初の目標を達成することができた。

3年間の開発研究の成果の主なポイントは次の通りである。

- ① マグネシウム合金では世界初となる鍛造細径棒を断熱急冷鋳型連続鍛造法の実用化の見通しを得た。
- ② 高機能新合金の実用化の見通しを得て、合金組成を決定した。
- ③ 低コスト化を実現する押出レス素材を鍛造に応用展開する技術の要である組織と結晶粒微細化を両立で着る新鍛造法の実用化技術を確立した。この結果総合的鍛造工法の最適化が実現した。冷間鍛造性については250℃までの低温化が可能になった。今後さらに低温化の検討を行う。
- ④ 精密鍛造金型の精密加工法実用化し、試作鍛造品の金型に応用展開した。
- ⑤ 事業化のためユーザ企業とコンタクトして鍛造品の試作を行った。その結果2製品の7事業化を達成できた。これは本開発研究の最大の成果と考える。今後さらに上市品の増加に努めたい。本開発研究を実施した結果図38に示すような種々の成果と波及効果を生み出すことができた。

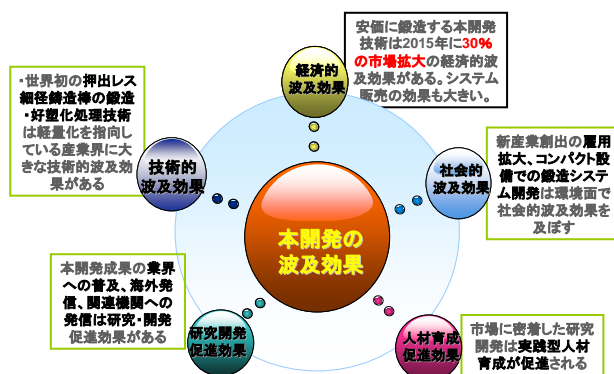


図38 本技術開発による波及効果

= 完 =

