

平成 28 年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「革新的軽量材料を用いた自動車用防振ゴムマウントの
材料から鍛造までの一貫製造開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 3 月

担当局

関東経済産業局

補助事業者

公益財団法人 栃木県産業振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要

1. 1 研究開発の背景・研究目的及び目標
 - 1) 研究開発の背景
 - 2) 研究目的及び技術的目標値
 - 3) 特定ものづくり基盤技術指針との関連
1. 2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）
1. 3 成果概要
 - 1) 研究開発の成果
 - 2) 導入した設備機器について
1. 4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論－取組内容

2. 1 新規性確認の技術調査と課題及び解決策
 - 1) 新規性確認の技術調査
 - 2) 課題と解決策
2. 2 マグネシウムの新鑄造法の開発
 - 1) 鍛造用最適素材の開発(マグネシウム合金の鑄造組織と強度特性・鍛造性試験)
 - 2) 鑄造細径棒の鑄造技術開発
 - 3) マグネシウム鍛造用板素材の技術開発（双ロール鑄造、横引き連続鑄造法の開発）
2. 3 特徴ある新合金の技術開発
2. 4 鍛造変形能向上の結晶粒微細化加工法の開発
2. 5 精密鍛造用金型製造法の開発
2. 6 マグネシウム合金用最適潤滑法の開発
2. 7 複雑形状品を高精度に鍛造する技術開発
2. 8 防振ゴムマウントの試作鍛造

第3章 最終章

3. 1 本研究開発の成果(成果、外部発表、知的財産権)
3. 2 今後の研究課題と事業化展開
 - 1) 今後の研究課題
 - 2) 事業化展開

謝 辞

第1章 研究開発の概要

1. 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1) 研究開発の背景

鍛造業界は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コスト低減や機能向上の競争力アップが重要な課題である。今迄の造り方ではコスト低減に限界があり新規技術開発が望まれている。加えて、環境対応や燃費削減の軽量化が喫緊の課題である。

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。しかしコスト・強度面で問題があり採用が少ない。新たな技術開発を行い、合理的なコストで高機能鍛造品を実現できればマグネシウム鍛造品の需要増が期待でき、新市場が創出できる。そのため本開発に取り組んだ。

本研究開発は高強度で防振性能が高く、最軽量な自動車用の防振ゴムマウントの開発を行うものである。本開発によって素材から鍛造製品までの一貫製造が可能になり、高機能化と抜群の国際競争力を得ることになる。鍛造産業の需要は年間 7,000 億円であるが、6割を自動車産業に依存している。自動車産業は我が国の屋台骨となる産業である。自動車産業以外の航空・宇宙分野や医療機器、環境エネルギーへの積極的なアプローチも重要であるが、直近では自動車産業に頼らざるを得ない。世界のトップを走る自動車産業であるが、今後もこれを維持するには更なる技術革新が必要である。自動車産業には、1) 車両の軽量化、2) 環境問題対応（排ガス・騒音・振動）、3) 省エネ、4) 低コスト化などの課題がある。中でも、軽量化は最優先課題である。

本事業で取り組む防振ゴムマウントは図1に示すようにエンジンを支えたり、車輪とボディを連結したり、自動車の各部に使用され機能と安全性を支える重要保安部品である。

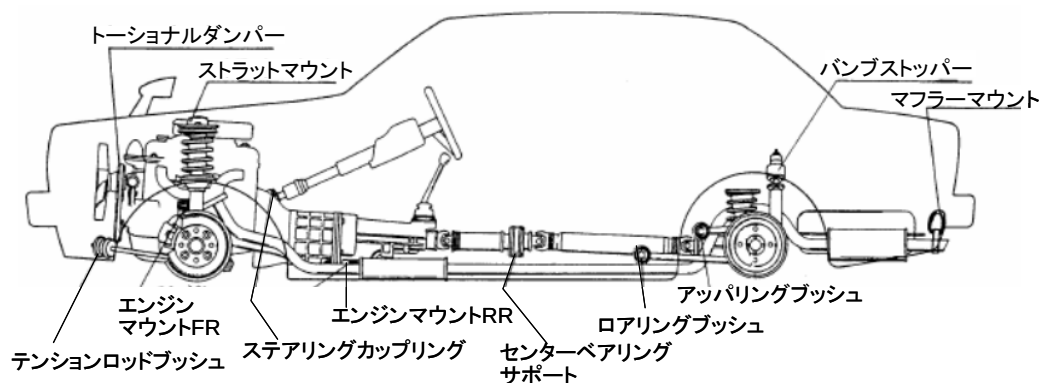


図1 自動車に使用される防振ゴム

防振ゴムマウントの要求特性は、図2に示すように小型・軽量、高強度化、防振、緩衝効果はもとより、堅牢性、低コスト化が求められている。現状製品は鉄板(SS400)からプレス加工で造られるものと軽量化のためアルミニウム鍛造で作られている。しかし、更なる小型・軽量化と防振性が求められている。これに答えるため実用金属中最軽量のマグネシウム合金を使用して、素材から鍛造まで一貫製造する技術開発で、高機能化と低コスト化のユーザーニーズを満たすことができる本事業に取り組んだ。

- ・小型・高強度化: 空間の有効活用をしたい
- ・軽量化: 省エネ・排ガス対応
- ・防振性: 振動の伝達を極限まで抑えたい
- ・緩衝効果: 衝突時の突発力を吸収したい
- ・堅牢性・耐疲労強度: エンジン振動に耐える
- ・防振ゴムとのなじみ性を増したい
- ・低コスト化し競争力アップ



図2 防振ゴムマウントのユーザーニーズ・要求特性

2) 研究目的と技術的目標値

本事業では課題である現状製品を軽量・小型化し、防振性・吸音性を増して、高強度化・低コスト化したい等のユーザーニーズを解決するために、3つの解決方法に取組んだ。具体的には、1) 急冷凝固鑄造法の特長を生かして強化元素を限界固溶した新合金開発、2) 素材製造と鍛造技術を複合・一体化工法の開発、3) 製造時の鍛造省工程化である。この具体的取組を図3に示した。

課題・ユーザーニーズ	現状製品を 1. 軽量・小型化したい。 2. 防振性・吸音性・信頼性を向上したい 3. 高強度化したい 4. 低コスト化したい
課題の解決方法	課題解決のため、次の技術開発を行う 1. 最軽量金属のマグネシウム合金適用(AZ121) 新開発合金 2. 製造時に急冷凝固して組織を微細化して高強度化した素材を適用し、鍛造と一貫化する。 技術の複合・一貫化 3. 結晶粒を微細化し成形性を向上し複動加工で鍛造して現状3工程を1工程に省工程化する。 省工程化

図3 本事業の課題とその解決法

3つの解決を確実に実施するため技術的目標値を表1のように決めた。市販マグネ材に比べ強度1.5倍、防振性能の向上し、従来価格を30%以上削減可能で画期的なものである。

表1 本事業での技術的な目標値

項目・内容			現状	目標
技術・品質	素材	素材形状	押出材	鑄造細径棒
		組織、DAS	40 μ m	8 μ m
		組織、結晶粒	200 μ m	9 μ m
	強度特性	強度	AZ31合金 260MPa	>350MPa
		高温強度(at250°C)	AZ31合金80MPa	>110MPa
		伸び	AZ31合金 8%	>12%
	軽量化率	対アルミ	30%以上軽量化	30%以上軽量化
	鍛造成形	成形法	熱間加工のみ	冷間(温間)加工
		寸法精度	$\pm 1 \sim 1.5$	± 0.3
価格	(素材)	現状比(押出材)	100	<40(1/3以下)
	製品	現状比	100	<40(1/3以下)

3) 特定ものづくり基盤技術指針との関連

本事業は自動車の防振ゴムマウントを実用金属中最軽量のマグネシウム合金を用い、素材製造と鍛造を一貫化して製造するものである。このとき、素材は急冷凝固法で組織を微細化し、マグネの強化元素であるアルミニウムを12%まで強制固溶させて高強度化し、素材製造と鍛造を一貫化する世界初の試みである。本事業と特定ものづくり基盤技術指針との関連は図4に示すように、指針2項の精密加工技術(旧鍛造)の共通課題のA項の高機能化、精密化、軽量化とU項の品質の安定性・安全性の向上及び力項の生産性・効率化の向上、低コスト化の課題に該当する。

1. 2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

本研究開発の研究体制を図5に示した。事業管理者は公益財団法人栃木県産業振興センターで、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、三協立山(株)三協マテリアル社、委託研究先として東京電機大学と富山県立大学で構成して総括研究代表者：宮本尚明(宮本工業(株))、副総括研究者：渡利久規(東京電機大学)で実施した。

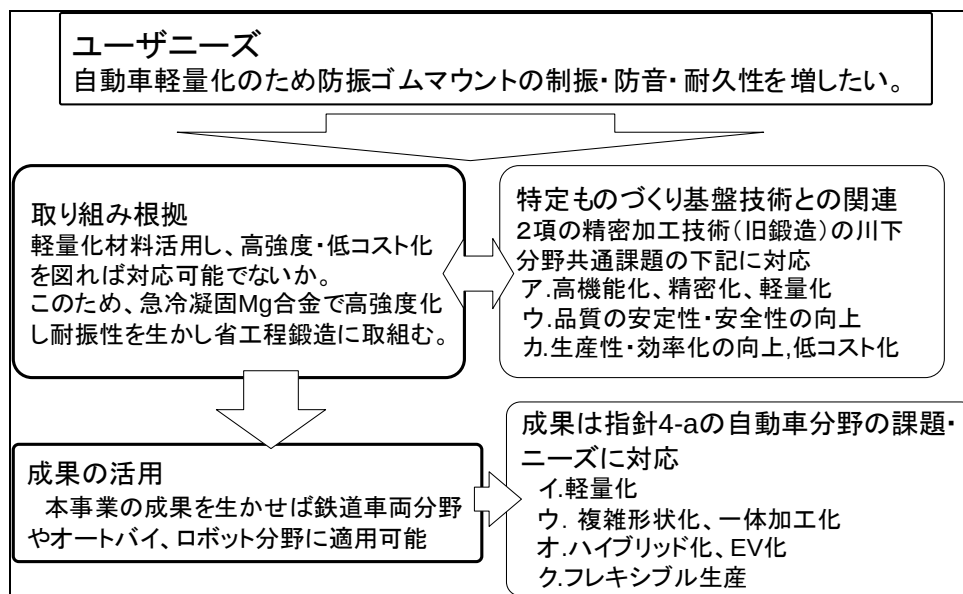
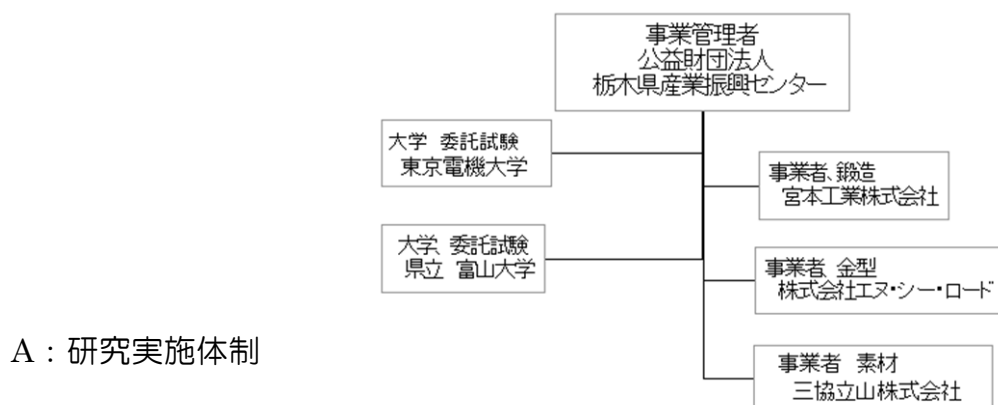


図4 本事業のユーザニーズとものづくり基盤技術指針との関係



A：研究実施体制

氏名	所属・役職
事業管理者：公益財団法人 栃木県産業振興センター	
柳 道夫	理事長

氏名	所属・役職
事業者 宮本工業株式会社	
宮本尚明	代表取締役社長
関口常久	技監
内城昭治	参事
石井光雄	管理部 管理課 課長
斉藤浩一	管理部 管理課 課員
郷間英秋	製造部 鍛造課 係長
手塚正広	営業技術部 工機課 課長
由良暁子	営業技術部 工機課 課員
手塚洋志	営業技術部 技術課 課長
西雪徹	営業技術部 技術課 課員

(株)エヌ・シー・ロード

山口正人	取締役社長
猪俣秀規	技術部 研究員
星 真夫	技術部 課員

三協立山(株)三協マテリアル社

山下友一	執行役員
清水和紀	用途開発課副参事

委託試験 大学

渡利久規	東京電気大学 教授
------	-----------

委託試験 大学

鈴木真由美	機械システム工学科 准教授
-------	---------------

B：構成メンバー

図5 研究実施体制と構成メンバー

1. 3 成果の概要

1) 研究開発の成果

本研究開発は、鍛造工場内で押出工程を経ずに急冷凝固鑄造素材製造を行い、鍛造工程と一貫化するものである。これにより低コストで高機能な競争力のあるマグネシウム鍛造技術確立できた。また鍛造工程で、結晶粒微細化の材料改質と高精度鍛造を実施した点に特徴がある。

この特徴を活用展開した最大の成果は、研究開発期間内に事業化が達成できたことである。成果には技術的なもの、経済的なものと社会的なものに分類できる。代表的なものを列挙すると下記のようになる。

技術的効果：

- ・新鑄造法によって世界初の鍛造用押出レスのマグネシウム鍛造素材の開発ができた。
- ・組織微細な素材と動的再結晶活用の新鍛造工法開発で精密鍛造製造技術確立した。

経済的効果：

- ・本開発でデジタルカメラ部品の受注に成功した。本命の防振ゴム部品は他材料とのコスト比較でワーク中である。

社会的効果：

- ・新事業創出で栃木・福島・富山地区で約3名の新規雇用を実施した。
- ・本研究開発実施により参加各社の若手技術者の実践型人材育成を行った。

2) 導入した設備機器について

平成26年度、平成27年度、平成28年度と年度ごとの導入、改造した設備機械について、下記図6に示す。

・平成26年度導入設備機械



プレス用側方押出好塑化装置



高周波加熱炉装置改造



横型連続鑄造機鑄型等改造



横型連続鑄造試験装置改造

・平成27年度導入設備機械



鍛造品解析装置



流動制御ダイセット



潤滑装置



高周波部分加熱装置



高周波加熱炉装置

・平成28年度導入設備機械



洗浄装置

図6 導入した設備機器

1. 4 当該研究開発の連絡窓口

本研究開発の研究体制を図5に示した。この研究体制で連絡窓口を事業管理者である栃木県産業振興センター飯田豊明(係長)で実施した。連絡先を下記に示した。

〒321-3226 栃木県宇都宮市ゆいの杜 1 丁目 5 番 40 号

(公財) 栃木県産業振興センター 産業振興部 ものづくり産業振興グループ 飯田豊明

TEL 028-670-2601、FAX 028-670-2611

飯田豊明 <iicyan@tochigi-iin.or.jp>

振興センターHP <http://www.tochigi-iin.or.jp/>

第2章 本論－取組内容

2. 1 新規性確認の技術調査と課題及び解決策

1) 新規性確認の技術調査

本開発を独創的に進めるため、先行技術の調査を実施した。マグネシウム全般の課題、普及を阻害している要因は材料コスト高と耐食性、耐熱性、耐クリープ性、強度－延性バランスが悪く靱性などの諸特性の低さがある。このため鋳造品でも使用は限られ、鍛造品はさらに少ない。

本開発事業は急冷凝固素材製造と鍛造を一貫化して高機能・低コスト化を計るものである。この考え方で新規性の有無を見極めるために国内外の技術調査を実施した。海外の先行技術を表2に、国内の開発動向を表3に示した。この調査結果から本開発事業と同様のものは見当たらず、新規性が大いにあることを確認した。

表2 外国の政府支援、マグネシウム開発プロジェクト

地域	テーマ名	内容
欧州	EUCARプロジェクト	Mg自動車シャーシ(レーザー溶接、押出材、耐熱Mg)
欧州	MAGFORGEプロジェクト	Alと同等の品質を有す車台開発(素材、鍛造、組立、デザイン)
欧州	Mg精錬、企業間ハイドロ社(ノルエ-)とAMG社(オランダ)の合併	中国一極集中対応、Mg原料置換(カンラン石)で安価に、塩湖の水利用
独	Mgによる軽量設計プロジェクト	車体構造部品の軽量化(鋳造、鍛造、板、押出)
独	MADICAプロジェクト	ダイカスト、機械加工、接合、チクソ
独	SFB390プロジェクト	Mgの総合技術開発
米	USCARプロジェクト	環境に優しいスーパーカー、Mgパワートレイン開発
米	PNGVプロジェクト	Mgの鋳造技術開発
米	FreedomCARプロジェクト	車体の軽量化部材開発
中国	Mg加工技術開発研究	ダイカスト中心でMgの加工技術開発、精錬技術開発
豪州	Mg製品R&D	ダイカスト、耐食性、接合、鍛造の技術開発
韓国	Mg大型部材開発プロジェクト	大型部材開発、耐熱性向上、板材、加工技術

表3 我が国の政府支援マグネシウム技術開発テーマ

機関	テーマ名	期間
NEDO	チクソキャストによるハイブリッド複合材料部材開発	1998
	Mg合金半溶融射出成形技術の実用化要素技術の研究開発	1999
	インプロセス制御による高性能Mg製品の開発研究	2000
	マグネ合金による超軽量新材料の開発	1997/2000
	マグネ合金の固体リサイクルによるアップグレード化の研究	2001/2002
	SF6フリー高機能発現Mg合金組織制御技術開発	2004/2006
	次世代マグネシウム鋳造合金部材の開発	2003
	次世代マグネシウム粉末合金部材の開発	2003
	高性能カーボンナノファイバー複合材料プロジェクト	2003/2005
	溶湯直接圧延法によるMg板材の革新的製造技術開発	2002/2006
	マグネシウム材料を用いた超軽量フレームの開発研究	2002/2003
	マグネ鍛造部材の技術開発	2007～2011
METI	高機能性Mg合金製造プロセス効率的技術移転実用化研究	2002/2004
	Mg合金製形態電子機器製造の超精密複合鍛造技術の開発	2004/2005
	低コスト・高機能化を達成するMg合金の冷間鍛造法の開発	2010/2012
JST	マグネシウム構造材料の表面改質技術の開発	2002/.2004

2) 課題と解決策

マグネシウム製品はマーケットが限定され、用途は合金添加用、鉄鋼脱酸剤が主流で成形品への適用は全需要の3割程度である。成形品はダイカストが主流で鍛造品は総需要量の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、強度が中途半端であり、高精度鍛造ができない等がある。

技術調査をする中で、自動車業界を中心とするユーザーニーズは高機能化、低コスト化、高精度化の3点に要約できた。本開発ではコストを現状の40%以下にして、強度はアルミニウム A6061 材並みの $\sigma_B > 340\text{MPa}$ 、高精度鍛造品を可能にすることを目指して開発に取り組んだ。解決すべき課題と課題の解決方法を要約して図6に示した。次項から具体的な取り組み内容を示す。

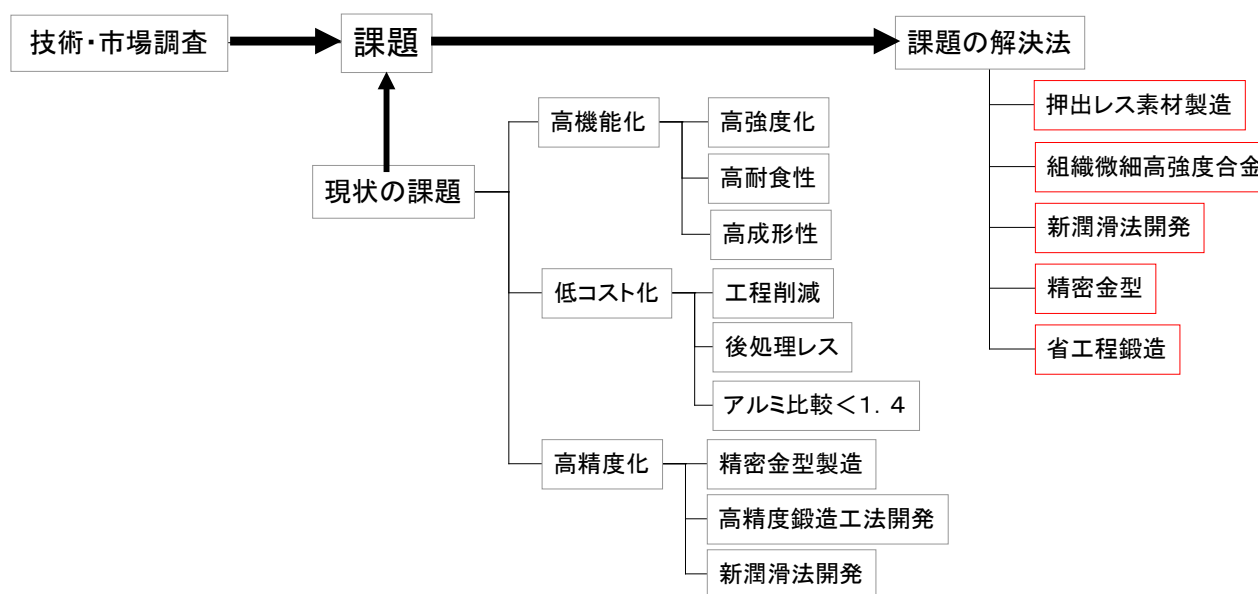


図6 解決すべき課題

2. 2 マグネシウム新鑄造法の開発

マグネシウム鍛造品の高機能化と素材コストの低減を図るべく、3つのテーマに取り組んだ。まず、鍛造用最適素材の開発により、マグネシウム鍛造素材が高強度で鍛造性が良い最適な素材組織を決め込むことである。次に鍛造用素材として用いられる $\phi 60$ 以下の細径棒の鑄造方法の検討と板材を双ロール鑄造、横引き鑄造で製造することを実施した。

1) 鍛造用最適素材の開発（マグネシウム合金の鑄造組織と強度特性・鍛造性試験）

鍛造に使用するマグネ合金素材は押出材なため3,500～6,000円/kgと割高である。マグネシウム地金は300円/kg程度と安価であるにも拘らず鑄造が困難で、酸化防止のため SF_6 ガスを使用するため鑄造ピレットが高く、押出時に需要が少なく固定費が嵩むため極端に高価となる。

これらの問題を解決すべく、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考えた。マグネ連鑄材を直接鍛造するのは世界初の試みである。この技術開発で押出工程が不要になり、安価で組織微細で高機能な素材を鍛造に使用できる。開発工程の概要を図7に示した。素材の製造方法としては直接細径棒を鑄造するか、双ロール鑄造法などが考えられる。鑄造棒も双ロール鑄造板共に、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で高強度・低コストの素材が得ることができる。

この考え方を確認するため、強度特性が良好で成形性の良い“理想的な鍛造素材”はいかにあるべきかを、まずマグネ合金の鑄造組織と強度・鍛造性を試験し、次にその製造条件を検討した。

図9はφ307のAZ80合金で、採取位置で変化する組織の大きさと強度特性の関連を整理した。試験結果から金属組織因子のDASが小さくなると、引張強度、耐力、伸びは向上する。また、DASが30μmを臨界点として、これより小さくなれば特性が急激に向上していることが判明した。

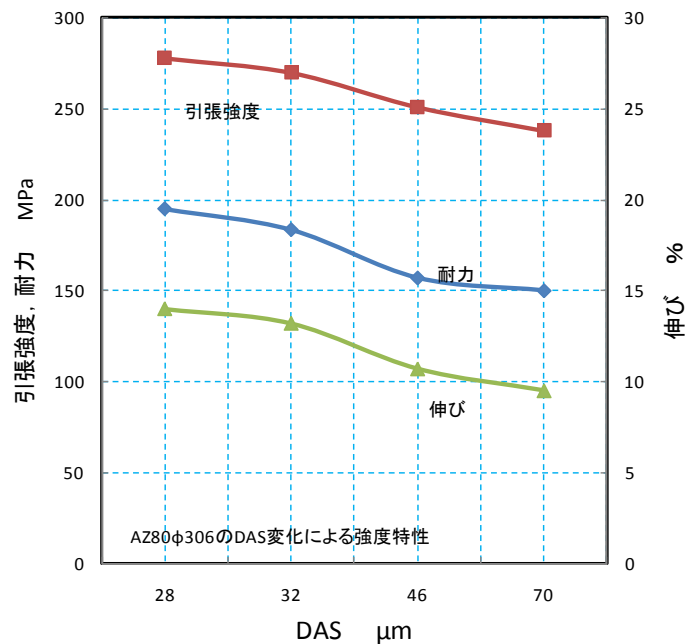


図9 AZ80合金のDAS変化と強度

B) 微細組織を有する鍛造素材の製造条件

前項の試験で素材組織と強度特性間で強い相関があり、組織を微細化すれば強度が向上し、鍛造性向上の指針である伸びも向上することが判った。このことから、組織を微細化すれば、押出工程なしで鍛造可能で高強度な製品が得られることが予想できた。このような素材をどのようにすれば製造可能となるのかを調べるため、一方向凝固試験で製造方法を検討した。

試験結果を図10に示すが、DASを20μm以下の微細組織にするには20℃/s以上の凝固速度で製造すれば可能である。この凝固速度条件は casting 径をφ80以下で casting すればよいことになる。しかし、マグネ合金をこのような細径に casting する技術は世界的になく、新規の技術開発が必要である。

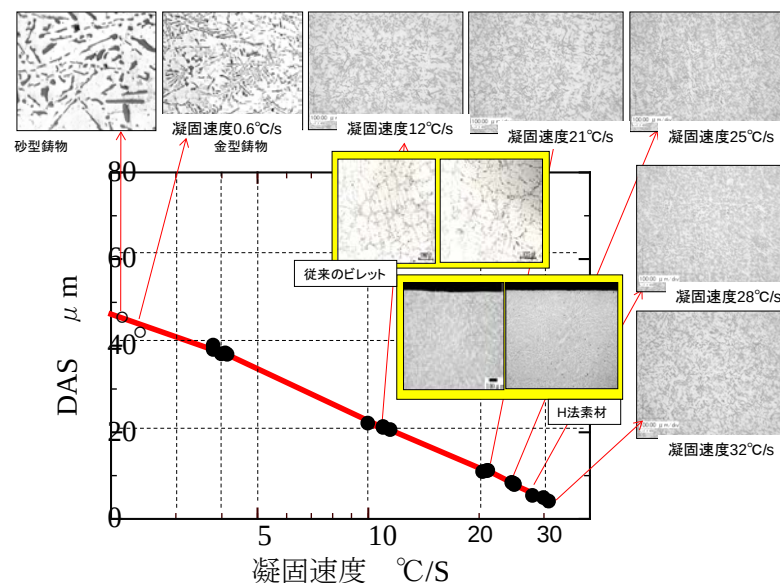


図10 AZ80合金の一方向凝固試験結果

2) casting fine rod casting technology development

前項の試験結果を基に、 $\phi 80\text{mm}$ 以下のマグネ合金 casting 細径棒の casting 技術開発を行った。本開発のポイントはマグネシウム溶湯を直接細径棒に casting するため、溶湯の熱量を効率よく抜熱して熱バランスを取りながら、安定して連続 casting することである。

図 11 に示すような断熱鑄型 casting 方式で、新たな casting 法の開発を行った。この方式はアルミ合金では実績があるが、マグネ合金では世界初の試みである。本開発では強度向上を考えて、AZX 系合金で鍛造素材として使用頻度の高いピレット径 $\phi 55\text{mm}$ 、 $\phi 76\text{mm}$ 、casting 長さ 2~4m の casting 技術開発を行った。その結果、世界初のマグネ細径棒の連続 casting 法を開発でき、鑄塊組織も DAS が大幅に微細化した凝固組織が得られた。

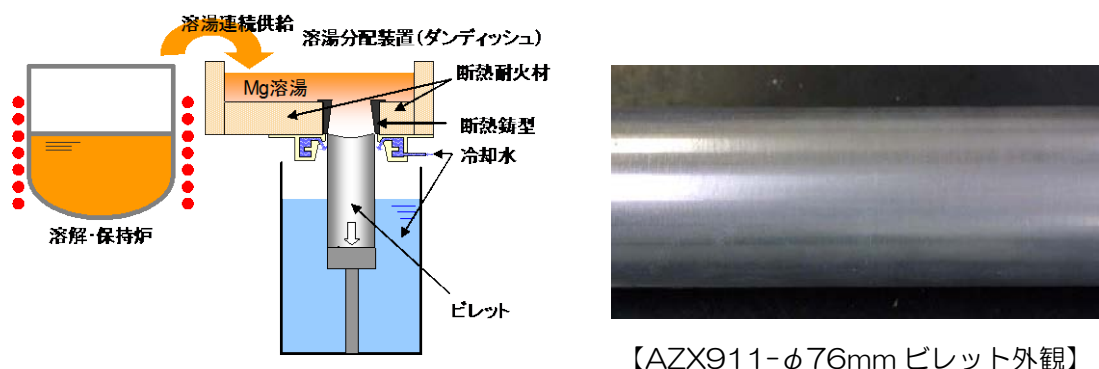


図 11 断熱鑄型による連続 casting 法と試作ピレットの外観

図 12 に示す開発した素材は、DAS が $12\sim 14\mu\text{m}$ と微細だが結晶粒は $150\mu\text{m}$ と大きい。理想的な鍛造素材は DAS $12\mu\text{m}$ 以下で結晶粒は $50\mu\text{m}$ 以下が望ましい。アルミニウム合金では、急冷凝固すれば DAS、結晶粒共に微細になるが、マグネでは結晶粒が微細化できない。これは、マグネ合金の添加元素に結晶粒微細化を阻害する元素があるためと考え種々検討した。この結果、難燃性向上のため添加する Ca に起因することを突き止めた。Ca 添加量が 1% を超えると極端に結晶粒微細化を阻害するものの、難燃性向上には Ca 添加は必須であり、臨界値の 1% 添加を最大として添加することにした。

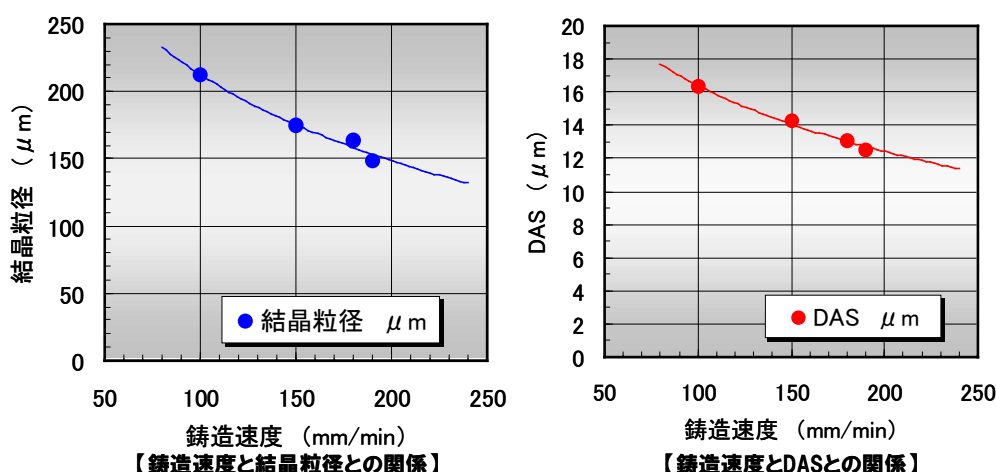


図 12 断熱鑄型連続 casting ピレットの casting 速度と凝固組織との関係 (AZX911- $\phi 55$)

本開発で高強度で安価な鍛造用マグネシウム合金 casting 法が目途が立ったので、量産化を考えた素材製造法の検討を行った。これは鍛造用細径素材を効率よく製造するため、複数本の素材を同時に製造する多数本同時 casting システムの開発である。 casting 装置開発を行い、12 本を連続 casting する装置開発と casting システムの開発を完了し、大きな成果をあげることができた。

3) マグネシウム鍛造用板素材の技術開発（双ロール casting、横引き連続 casting 法の開発）

本開発は鍛造用素材を板 casting し、打抜いて使用して素材製造時の切断屑をなくすと同時に、抜いた後の板材をスクラップとして有効活用することで素材コストを低減するものである。板材の製造法は双ロール casting 法と横引き連続 casting を考えた。従来、塑性加工用のマグネ合金板材の製造方法は、図 13 に示すように DC casting によって、スラブから熱間圧延を繰り返すことによって製造している。この方法では、多数工程を要しコスト高となるため、溶湯から直接板材を製造する方法を上記の二方法で検討した。

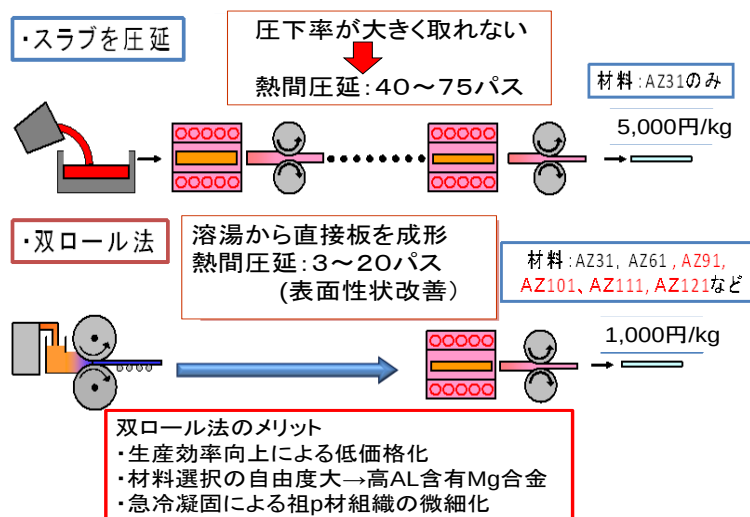


図 13 従来の塑性加工用マグネ合金板材の製造方法と新 casting 法の比較

先ず、双ロール casting 法で高強度が得られるマグネ合金 AZ121、AZ131 を使用して、注湯温度、ロール間隔、上下ロールの凝固距離、ロール押付圧力、潤滑剤の諸条件を変化して検討した。図 14 は開発を行った各種双ロール casting 方式で、標準型、異径双ロール、傾斜型双ロールである。

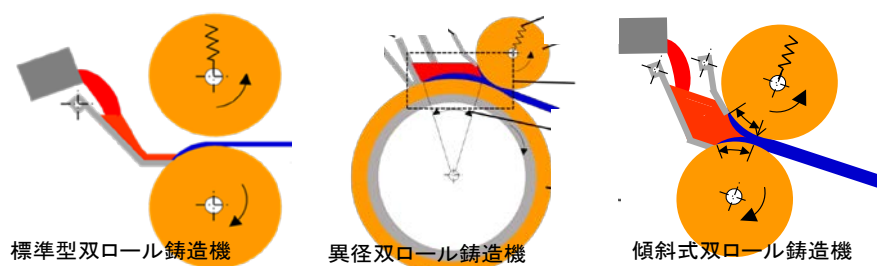


図 14 試験 casting に用いた 3 方式の双ロール casting 法

図 15 は傾斜式双ロールの結果である。板厚 8~11mm まで casting 可能で、強度も AZ121 で 360Mpa が得られた。しかし、熱間割れや鱗口割れが発生して安定した素材を製造するに至らなかった。現在も製造方法確立の試験を継続中であるが、量産化には課題が山積しておりハードルが高い。

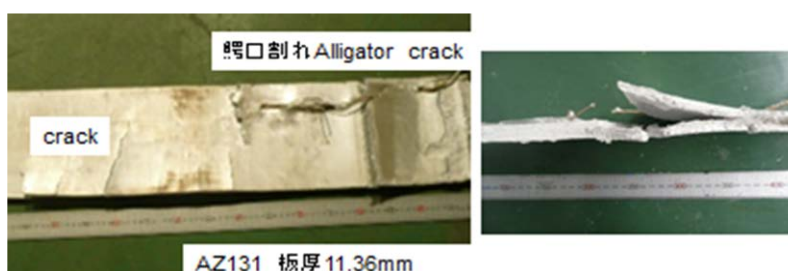


図 15 AZ131 合金の双ロール casting の外観（傾斜式双ロール casting）

双ロール鋳造法では種々の要因を潰しきれず、7mm 程度の厚板になると鋳造時の熱バランスが崩れてしまって上手く鋳造ができない。

本鋳造法での素材製造は期間内での達成は困難と考え断念して、継続実施することにした。本開発の素材開発と鍛造試作は、細径連鋳棒を主体に実施しているために全体計画に遅れは生じなかった。

将来的にトータルコストの低減を考えると、板材をプレスで打抜いて残材をスクラップ活用する方法は、生産の効率化が可能なことから魅力があり捨てきれない。そこで横引きの水平連続鋳造法で鍛造用厚板素材を製造する開発に取り組んだ。

図 15 は試験に用いた水平連続鋳造機と鋳型部である。本鋳造機は炉に直接取付けられた鋳型を通して、金属を水平方向に引出す方法であり、製造素材の引出しは断続的に行う。元々は銅合金、鋳鉄の連鋳に利用され、鋳型には黒鉛が用いられる。初めダミーバーで栓をしておき、作業開始とともに低速で引く方法である。炉内金属の保持温度は 680~750℃であり、高温にすぎると凝固に時間がかかり、また溶湯が漏れることがある。又低温だと鋳造前に凝固して製品を引出せず製品が得られない特徴がある。

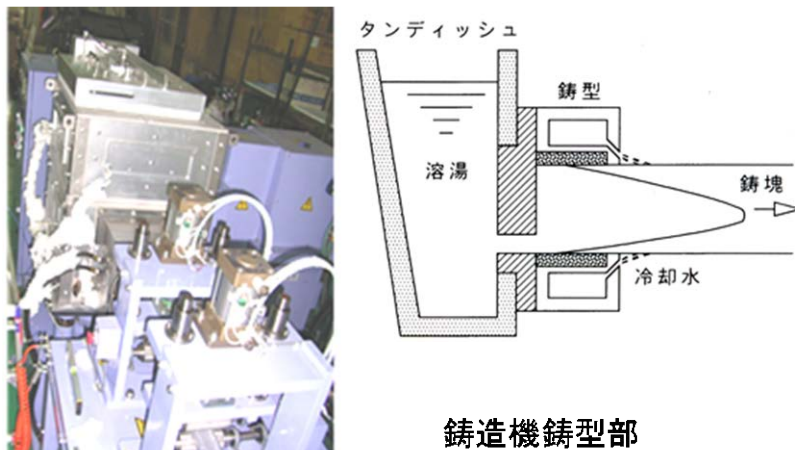


図 15 水平式板材連続鋳造機の外観と鋳型部の詳細

鋳造機を改造してマグネ用の鋳型も製作した。溶解は不可性ガスでシールドしてマグネシウムの酸化を防止して鋳造する方法である。試験鋳造したものと新たに製作したモールドを図 16 に示した。本格的な試験を鋭意実施中であるが、量産適用には更なる試験が必要である。このため、素材製造は既に技術確立した「細径連鋳棒」に絞って開発を進めた。

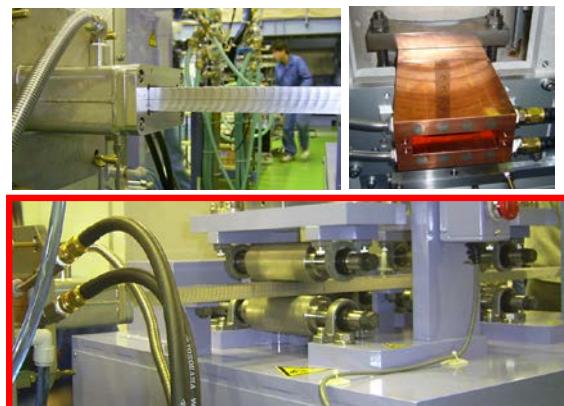


図 16 新たに製作した水冷鋳型と試作鋳造

2. 3 特徴ある新合金の技術開発

高強度マグネ鍛造合金開発のため、AZX 系合金の最適合金組成を見出す試験を行った。本試験は細径鍛造棒のφ76 を使用した。合金開発の経過を表5に示した。先ず現状の一般に使用されているマグネ合金で強度特性、鍛造性を調査し、本開発の骨子である組織微細化素材で合金組成を変化して最適合金組成を求めた。

表5 目標値達成の合金検討経過

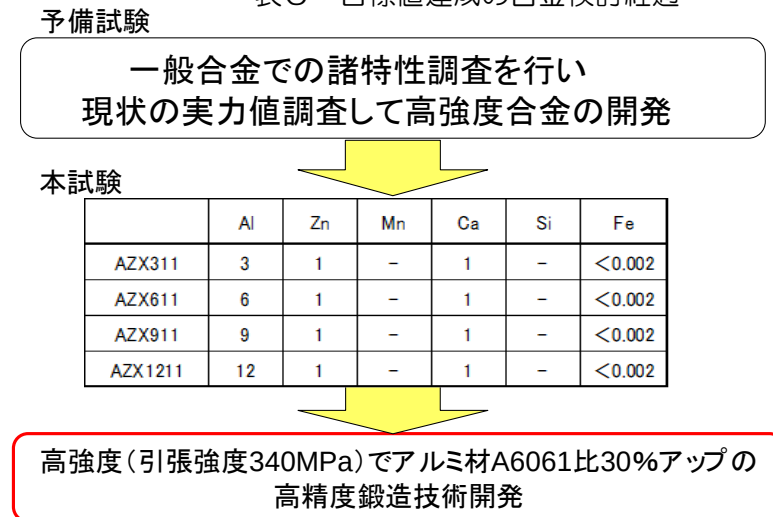


図 17 はφ76 鍛造細径棒で AZX 系の AL 量を変化し加工率 60%で鍛造して、T5 処理を実施した試験片の強度特性である。試験結果は Al 添加量の増加で比例的に強度が向上し、Al 量が 10%になると 350Mpa を超える強度となり、12%では本開発目標値の 340MPa を達成できた。これで本開発の大きなハードルである高強度合金の開発ができた。これは合金組成の効果も大きい、急冷凝固鍛造することで 12%の高濃度 Al が偏析することなく固溶し、組織が微細・均一にコントロールしたことで達成できたと考えられる。

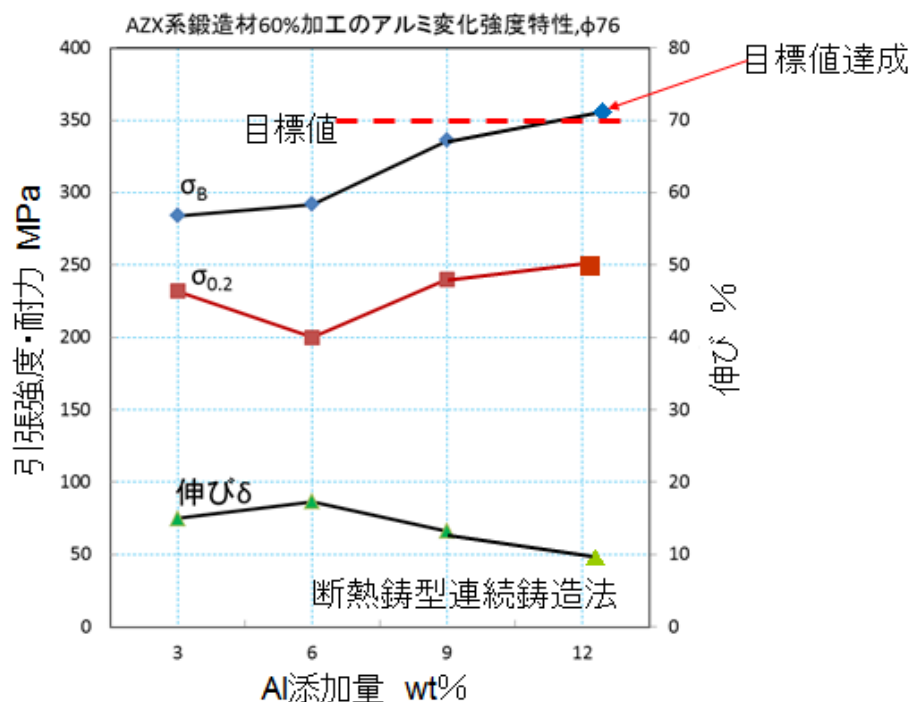


図 17 AZX 系合金の AL 量を変化したときの素材と鍛造材の強度特性

前項の素材開発で目標の強度特性をクリアできた。しかし、DAS は $12\sim14\mu\text{m}$ と微細であるが結晶粒は $100\sim250\mu\text{m}$ と大きい。これは図 18 に示すように Al 添加量が増すにしたがって粗大化している。より急冷凝固すれば結晶粒は微細化できると考え、AZX911 合金で casting 速度を変化して結晶粒を測定した。試験結果を図 19 に示すが、結晶粒は $200\mu\text{m}$ が $150\mu\text{m}$ と若干微細化するが鍛造用素材としては不十分であり、結晶粒を $10\mu\text{m}$ 程度にすることで鍛造性の向上が期待できる。

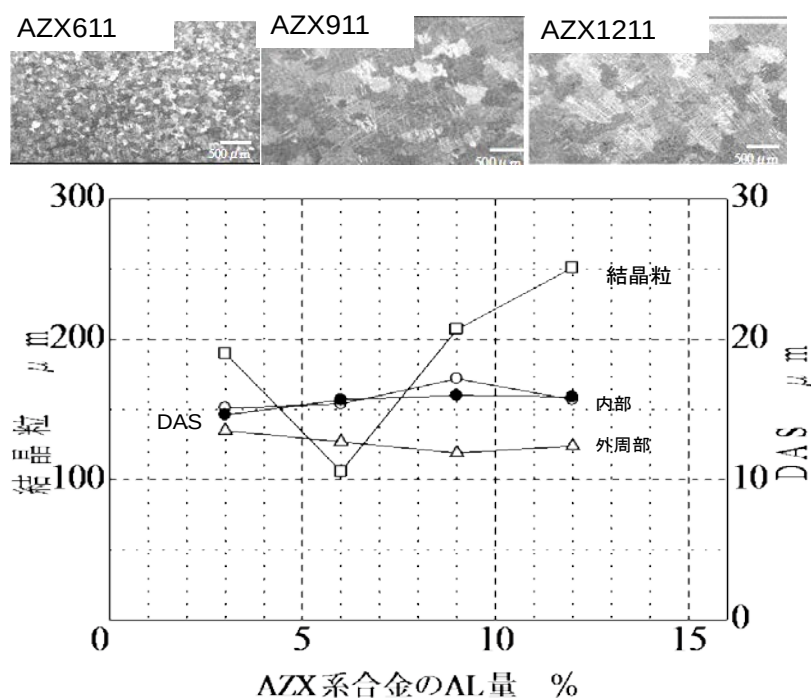


図 18 AZX 系合金で Al 量を変化したときの結晶粒組織

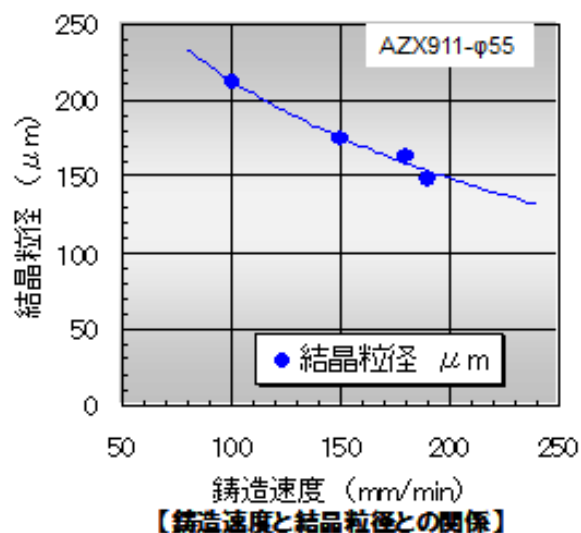


図 19 φ55 铸造細径棒の铸造速度と凝固組織との関係 (AZX911)

アルミ合金と違い、マグネ合金では急冷凝固しても結晶粒が微細化しない。この原因は Al と Ca 添加量に関係あると考えている。現在、強度特性に貢献する Al 添加量と耐熱性向上に効果のある Ca 量をどの程度にすべきかの最適合金組成の試験を継続している。

铸造時の凝固速度を早くしても結晶粒微細化には限界があることが判ったので、鍛造加工時の動的再結晶を活用して結晶粒微細化の検討することにした。

2. 4 鍛造変形能向上の結晶粒微細化加工法の開発

特性試験の結果、得られた素材は DAS、晶出物は微細であるが結晶粒は必ずしも微細化されていない。そこで、更なる鍛造変形能向上を目指して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。これは鍛造と同時に 400℃近傍で予め30%以上の加工率を加えて、動的再結晶意を発現させて結晶粒を微細化する方法である。試験結果を図 20 に示すが、明らかに鍛造時の動的再結晶活用で限界加工率が向上し、鍛造性が向上するのが判った。

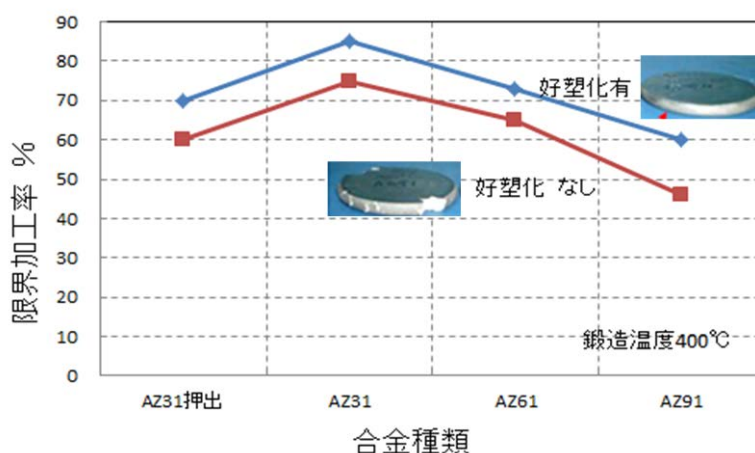


図 20 好塑化处理の効果、鍛造温度 400℃

2. 5 精密鍛造用金型製造法の開発

複雑形状・高精度な鍛造品を実現するための、高精度金型加工技術と流動制御鍛造を具現化する高精度鍛造金型技術の開発研究を実施した。実施内容は 1) 精密金型による流動制御鍛造と 2) 金型製作時間短縮の 2 項目である。鍛造時に型内の素材流動をコントロールすれば、高精度な鍛造が可能で加工代の削減により加工時間が短縮できてコストの低減につながる。鍛造加工時に型内の材料流動をコントロールするには、予め CAE により組成流動解析を実施して合理的な鍛造方案を決める。これに加えて、材料流動の金型部位による差を金型面粗度を部分的に変化させて、材料流動を制御する必要がある。これには金型部位を正確に研磨する必要がある。これを達成するためマイクロショット加工機を開発した。図 21 は試作したマイクロショット加工機であり、金型の所定位置の面粗度が制御できる。この開発したマイクロショット加工機で金型を研磨して試作鍛造に用いた。

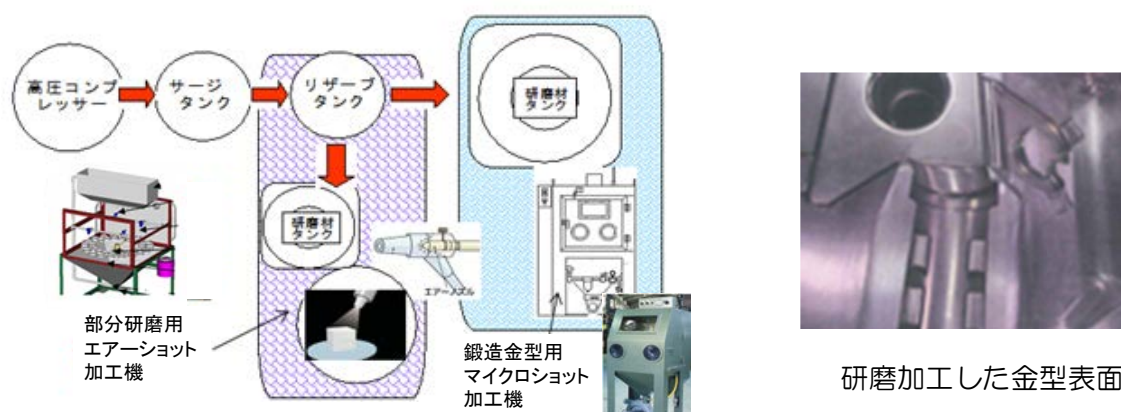


図 21 試作マイクロショット加工機と金型

金型の型彫りに加え最終研磨は熟練の技が必要である。金型研磨に要する熟練の技をデジタル化するために、放電加工と金型研磨を連続する放電ラップ加工法を開発した。この開発で従来の加工時間を 4 割短縮可能となった。また本開発で IOT に拡張でき、継続実施することで今後の成果が期待できる。

2. 6 マグネシウム合金用最適潤滑法の開発

マグネ合金は鍛造時に表皮が破れ、金属新生面がでて金型と焼付いてしまう。このため、複雑形状で精密な鍛造品を製造するには、潤滑剤及び処理方法の開発が必須である。この潤滑法の開発はマグネ鍛造には不可避で、初年度に取組み技術的には完成している。図 22 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で、この装置を用いて試作品鍛造に使用した。

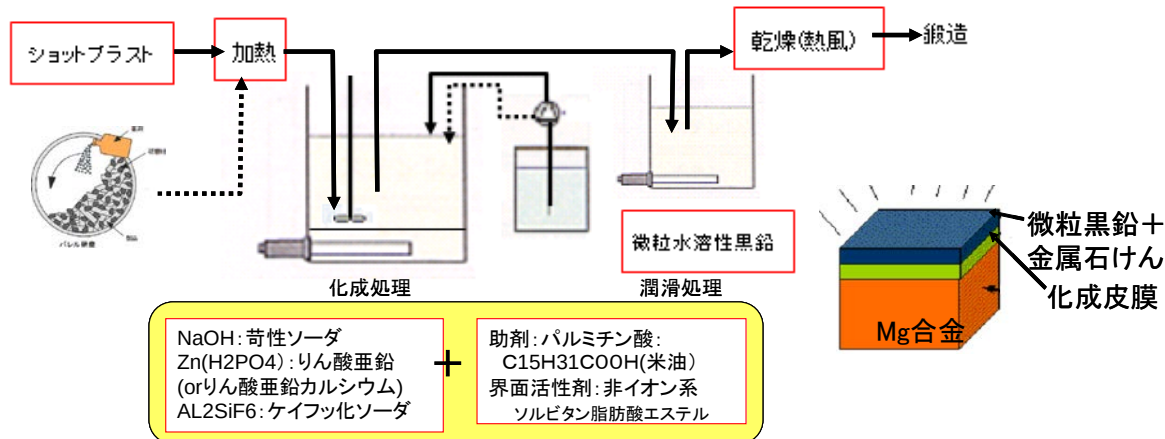


図 22 開発した新潤滑工法と表面モデル

2. 7 複雑形状品を高精度に鍛造する技術開発

本項で実施する複雑鍛造品を高精度に鍛造する技術開発は、1) 動的再結晶を利用した結晶粒を微細化する鍛造法の開発と2) 精度アップ鍛造法の2つである。先ず鍛造時に動的再結晶を発生させて結晶粒を微細化する鍛造法は、図 23 に示すサーボプレスで実施した。サーボプレスはスライドの下降速度を任意に調節できる上に、スライドの停止、上昇、再下降ができる。この機能を生かし鍛造加工時に予め素材に予加工を加えて、動的再結晶を発生させて結晶粒を微細化したのち鍛造成形する方法である。結晶粒が微細化するので、変形能が向上して複雑形状品の成形が容易にでき、鍛造製品の強度も向上する。図 23 のスライドモーション図では動的再結晶鍛造法の機構を記した。

2 項目の精度アップ鍛造法開発は、動的再結晶鍛造時のスライド速度を調整することで、鍛造加工発熱を抑えて精密鍛造するものである。この方法は金型温度の局部上昇が抑えられるので、材料の部位による熱膨張差をなくせるため、寸法精度が向上して精密鍛造が可能になる。この装置を使用して防振ゴム製品の試作鍛造を行った。

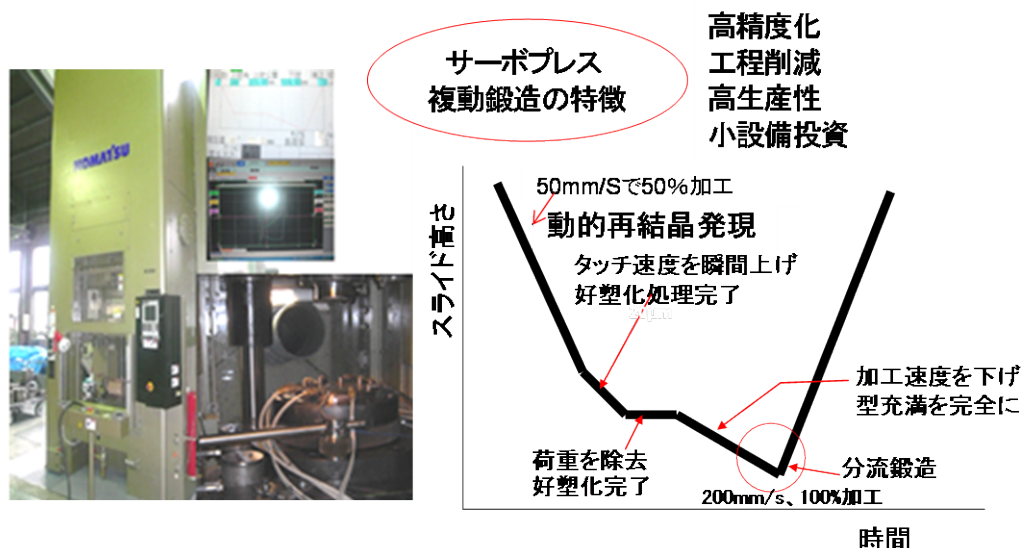


図 23 好塑化鍛造に使用したサーボプレスの特徴

2. 8 防振ゴムマウントの試作鍛造

本事業で確立した開発技術を用いて防振ゴムマウントの試作鍛造を実施した。初年度と本年度で5部品の試作を実施した。図 24～26 に試作鍛造品を示すが、初年度はアップブラケット、スプールの試作を行い、2 年度は防振ゴムインナー、アウター及びカラーアウターの3 部品を鍛造した。最終年度はロアーブラケット、ピストンと引合いのあったデジタルカメラ部品の試作鍛造を実施した。

それぞれの試作鍛造は、CAE による塑性流動解析を行い、マグネシウムの型内の流動をチェックして欠陥が発生せず、高精度鍛造ができるように実施した。



図 24 試作鍛造品の外観写真



図 25 最終年度実施
防振ゴムアウター、インナー



図 26 最終年度実施
防振ゴムロアーブラケットとピストン

図 27 は、型内のマグネシウムがどのように流動していくかを防振ゴムインナーの加工度を変化して、段打ち鍛造でチェックしたものである。ここに示すように金型精密仕上げの効果により、材料がスムーズに型内の隅部まで流動し、開発の成果が発揮されていることが確認できた。

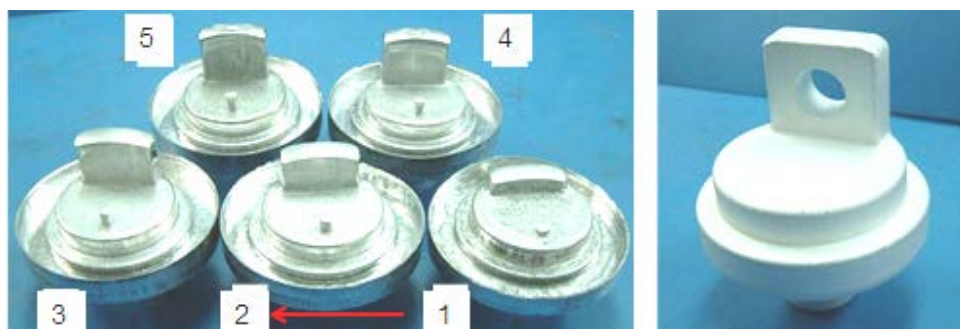


図 27 防振ゴムインナーの段打ち鍛造による角部の流動確認

トピックス：

本事業は自動車用の防振ゴムの軽量化を目的とした開発であるが、マグネ鍛造の PR 活動中にデジタルカメラ部品の引合いが入った。事業化の弾みをつけるため積極的に取り組んだ。サンプル出荷の後に商談が順調に進み、平成 28 年 9 月からの量産が決定した。初期対象製品と異なるが鋭意事業を進め本丸の防振ゴム製品の受注を目指したい。



図 28 量産流動したデジタルカメラ用鏡筒、モードダイヤル

第 3 章 最終章

3. 1 本開発研究の成果（成果、外部発表、知的財産権）

本研究開発は鍛造工場内で押出工程を経ずに急冷凝固鑄造によって、鍛造に最も適した素材製造を行い、鍛造工程と一貫化するものである。本開発により低コストで高機能な競争力のあるマグネ鍛造技術が確立できた。鍛造工程では、結晶粒微細化の材料改質と高精度鍛造を実施する特徴ある鍛造プロセスを開発した。

マグネ合金の特徴を生かし、本研究の新規性を発揮すれば、主ターゲットの防振ゴムマウンツの他に新市場が開拓可能となり、種々の効果が期待できる。ちなみに平成 28 年度よりデジタルカメラ部品の上市化が達成できた。本開発事業で期待できる効果を図 29 に示すが技術的効果、経済的効果、環境効果がある。各効果について要約すると以下ようになる。

外部発表は型技術に「マグネシウム合金連続鑄造材の鍛造プロセス開発」を投稿し、産総研機関誌への投稿 2 件を行った。知的財産の特許出願はなかった。



図 29 本技術開発の新規性と製品適用分野と期待される効果

技術的效果：

- ・新鑄造法によって世界初の鍛造用押出レスのマグネシウム鍛造素材の開発ができた。
- ・組織微細な連鑄素材と動的再結晶活用の新鍛造法開発で精密鍛造製造技術が確立できた。
- ・鍛造金型を超精密に仕上げ熟練技術をデジタル化して省工程鍛造が可能になった。
- ・外部発表として型技術、2016,VOL31,NO9 に発表した。

経済的效果：

- ・本開発で種々の製品開拓でき、終了3年後には年間約4億円の新市場開拓が可能となる。
- ・新事業創出で栃木・福島・富山地区で約18名の新規雇用が期待できる

環境・社会面での効果：

- ・マグネ製造に不可避のSF₆ガスが不要となり地球温暖化防止に寄与する見通しが立った。
- ・本研究開発実施により参加各社の若手技術者の実践型人材育成が可能となる。

3. 2 今後の研究課題と事業化展開

本事業のメインターゲットは自動車の防振ゴムマウントである。自動車産業はグローバル競争の激化から低コスト、軽量、小型化して国際競争力を増すことが喫緊の課題である。これらの要求を満たすには軽量化材料のマグネシウムを活用して、高強度・低コスト化を図れば対応可能でないかと考え、本事業に取り組んだ。

1) 今後の研究課題

本研究開発に組み、種々の技術的成果をあげることができた。メインターゲットの自動車防振ゴム部品を試作して、ユーザーに持ち込みPRした。各ユーザー共に、技術陣は軽量化が達成できることで大きな興味を示してくれた。しかし、なかなか試作検討まで進まない。これには2つの要因がある。

まず、軽量化は達成できても現状より1円でもコストが上がることは容認できない。次に、実績がないので、リスクを冒してまで採用したくないという2点である。これには我々のPR不足もあるが、

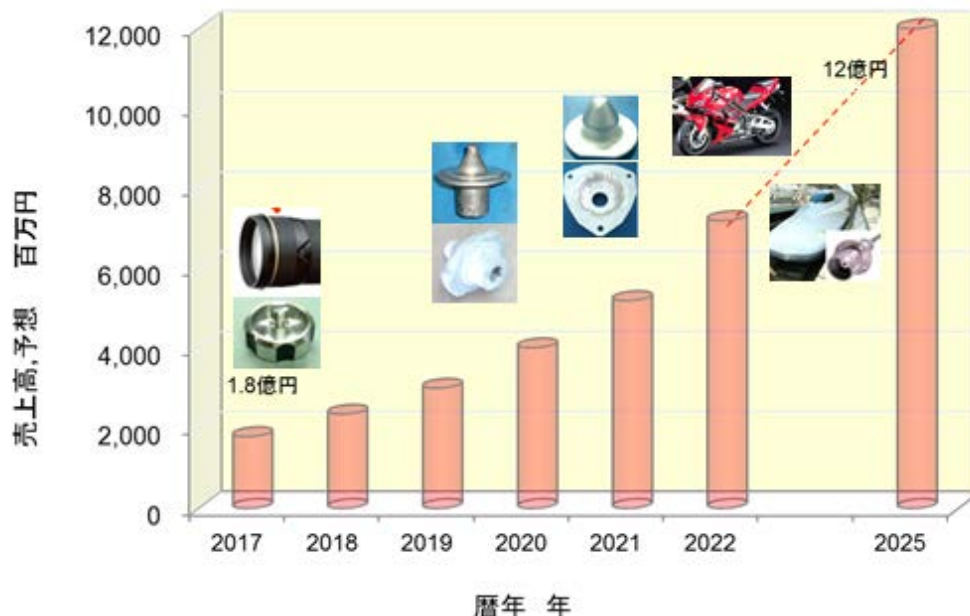


図32 本事業成果を生かした製品の想定市場

本技術開発で、素材製造から鍛造まで一貫化し鍛造工場内で鍛造製品が完結できる。鍛造メーカーは素材を購入して鍛造するだけであった。本技術開発で材料製造から鍛造までが繋がる工場となり、図33に示すような新しいビジネスモデルが構築できた。この技術で材料入手の心配をすることなく海外展開が可能になった。



図33 新ビジネスモデルの概念図

謝辞：

最後になったが、本開発事業を実施してデジタルカメラ部品の量産化が達成でき、新しいビジネスモデルが構築できた。このビジネスモデルで海外展開も視野に展開できる見通しが立った。また、本事業での開発技術は他製品に応用でき弊社の技術力向上に繋がった。この様な貴重な機会を頂いたことを関係者一同感謝し、謝意を表します。

以上