

平成２３年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「耐熱・難燃性マグネシウム合金鑄造による
パワートレイン耐熱部材の開発」

研究開発成果等報告書

平成２４年３月

委託者：九州経済産業局

委託先：財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

目 次

第 1 章	研究開発の概要	・ ・ ・ ・ ・ 2
1－1	研究開発の背景・研究目的及び目標	・ ・ ・ ・ ・ 2
1－2	研究体制	・ ・ ・ ・ ・ 4
1－3	成果概要	・ ・ ・ ・ ・ 10
第 2 章	本論	・ ・ ・ ・ ・ 11
2－1	耐熱合金の開発	・ ・ ・ ・ ・ 11
2－2	介在物制御方法の確立	・ ・ ・ ・ ・ 14
2－3	形状最適設計	・ ・ ・ ・ ・ 16
2－4	リサイクル技術の確立	・ ・ ・ ・ ・ 17
最終章	全体総括	・ ・ ・ ・ ・ 19

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

1-1-1 研究開発の背景

CO₂ の排出削減を主とした地球環境保護運動の高まりとともに自動車の一層の燃費向上が要求されている。自動車におけるエンジン部材、特にパワートレイン（動力伝達）部材の軽量化は、単純な部品の軽量化のみならず、慣性に起因する機械損失の低減することができるので、燃費を向上させることができる。また同時にエンジン騒音の低減および、これに伴う遮音材・吸音材等の削減につながるもので、ひいては車体重量の軽減につながり、更なる燃費向上に寄与することができる。したがって、パワートレイン部材の軽量化は燃費向上および振動・騒音の低減の両面に対して効果的な手段であることがいえる。一方、ユーザーは自動車の快適性を求めているため、車内の静粛性が必要となっている。加速走行時の騒音は他と比較して 34% 程度と一番高く、エンジン騒音削減が求められている。

現在、パワートレイン部材においてアルミニウム合金鋳造材が多く使用されている。近年のさらなる軽量化のニーズに対しては、アルミニウム合金はすでに材料開発および形状設計技術ともに成熟しているので、これ以上の軽量化、高機能化は困難であると思われる。これに対して、軽量かつ高減衰能という特性を持つマグネシウム合金鋳造材を使用することにより、パワートレイン部材の軽量化、すなわち自動車の燃費向上および振動・騒音の低減が期待できる。

1-1-2 研究目的及び目標

本研究では燃費向上および振動・騒音の低減に対する最も効果的な解決手段の一つとして、パワートレイン部材のマグネシウム合金化を目指す。物性値目標の達成および実機評価の結果から、マグネシウム合金化が期待されるパワートレイン部材の実用性を実証することができる。

マグネシウム合金はアルミニウム合金よりも軽量かつ低摩擦・摩耗（鉄との反応性が低い）、高減衰能のパワートレイン部材が可能となるため燃費向上や振動・騒音の低減が可能となる。しかし、新規材料として期待される耐熱マグネシウム合金については、現状では機能性と成形性を併せ持つ材料は得られておらず、既存の耐熱合金も希土類を含むことからコスト面、安定供給の面で問題がある。

本研究では汎用鋳造マグネシウム合金である AZ 系マグネシウム合金を改良し、希土類を用いることなく耐熱性を向上させ、同時に鋳造性も良好な合金開発を目指す。また、開発合金の特性に最適化した形状で実用化を目指す。このため、川下企業が得意とし、多くのユーザーが利用する自動車用エンジンに適用されるパワートレイン部材のアルミニウム合金からマグネシウム合金への材料転換を技術目標とする。

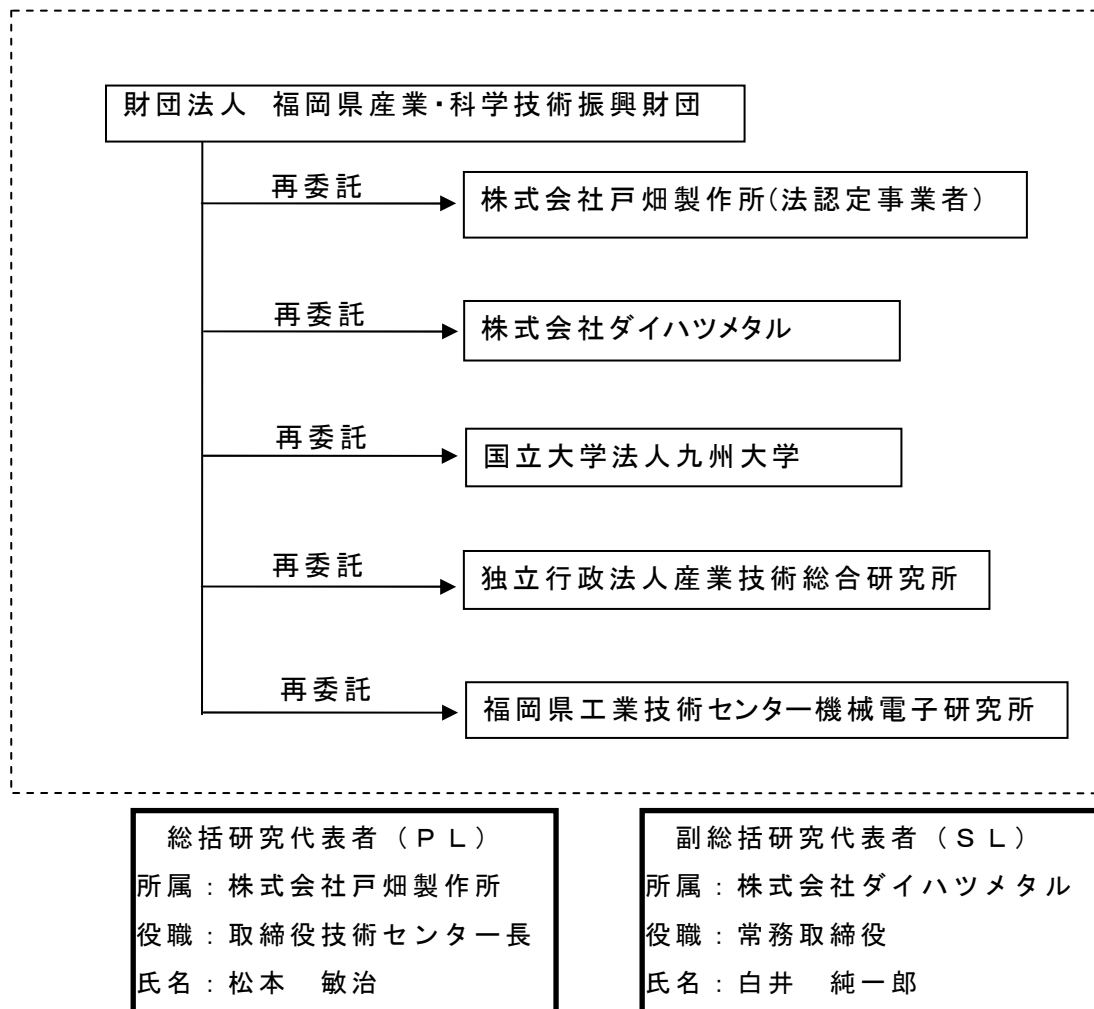
自動車エンジン用材料としての特性を満たすため、表 1 に示す研究項目（テーマ）および技術目標値を設定し、耐熱・難燃性マグネシウム合金によるパワートレイン耐熱部材の開発を行った。

表 1. 研究項目（テーマ）と技術目標値

研究項目（テーマ）	技術目標値
① 耐熱合金の開発	・高温強度、硬さ、疲労強度、振動減衰性を兼ね備え、最適化した合金組成・組織制御 ・現行材料であるアルミニウム合金と同等の摩擦・摩耗特性
①－１ 合金設計・組織制御	硬さ：110HB
①－２ 酸化物を模擬した欠陥材料での高温特性評価	高温引張強さ：130MPa（250℃）
①－３ 摩擦・摩耗特性評価	モデル摩擦・摩耗試験による評価方法の確立
② 介在物制御方法の確立	・疲労強度：63MPa（250℃） ・応力集中部に欠陥が存在しないこと
②－１ 酸化物の存在確率の把握	高温疲労強度：63MPa（250℃）
②－２ シミュレーションによる鑄造方案の確立	応力集中部に欠陥が存在しないこと
③ 形状最適設計	個別部材に関する数値等は非公開
③－１ 軽量化	
③－２ エンジンの振動・騒音の低減	
④ リサイクル技術の確立	・酸化物量管理手法の確立、0.001%（10ppm）単位の不純物量管理（JIS H5203 <0.01%） ・リターン材使用率 60%（アルミニウム合金同等）
④－１ 分析技術の確立	酸化物量管理方法・不純物量（10ppm 単位）管理方法の確立
④－２ リターン材使用率の最大化	リターン材使用率 60%の達成

1－2 研究体制

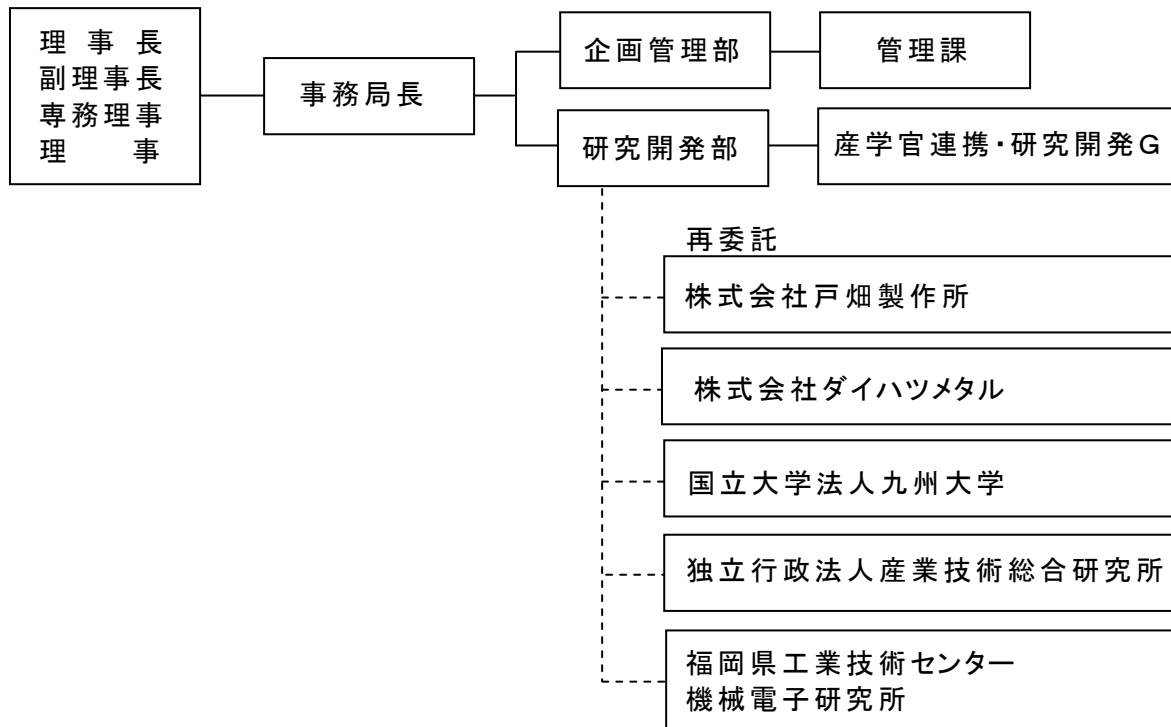
1) 研究組織



2) 管理体制

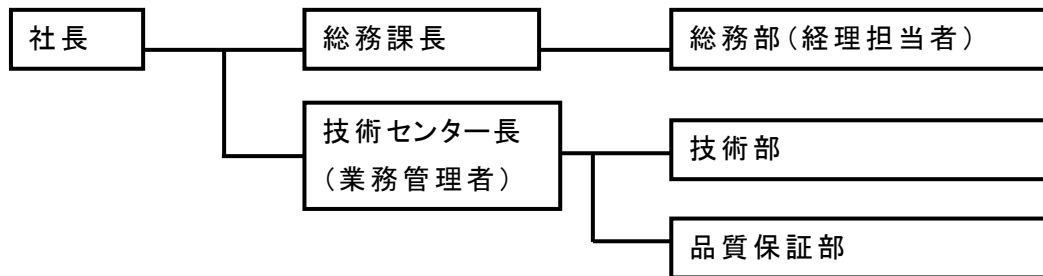
① 事業管理者

財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

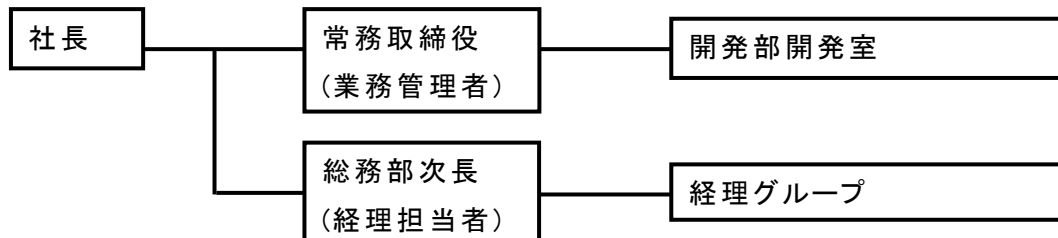


② (再委託先)

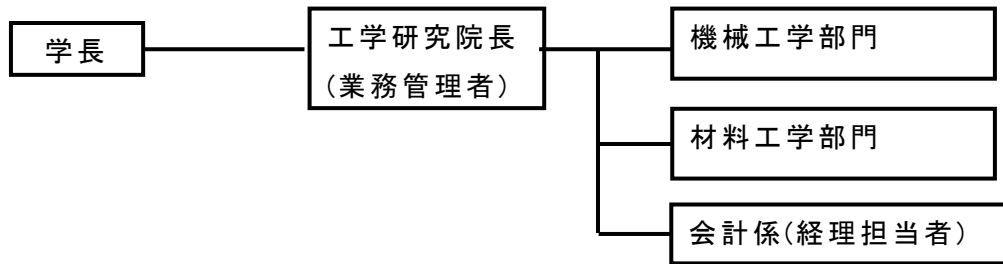
株式会社戸畑製作所



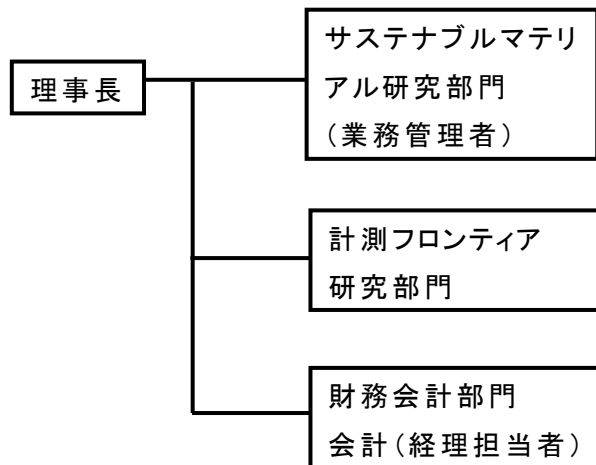
株式会社ダイハツメタル



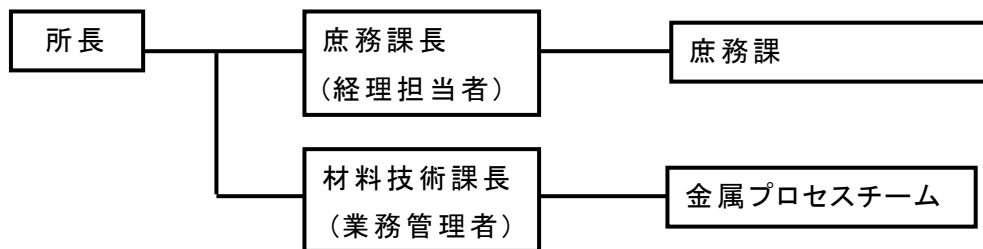
国立大学法人九州大学



独立行政法人産業技術総合研究所



福岡県工業技術センター機械電子研究所



3) 管理員及び研究員

【事業管理者】

財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

①管理員

氏 名	所属・役職
中村 裕章	研究開発部 部長
中村 憲和	研究開発部 主幹
河口 千弘	研究開発部 主幹
堂ノ脇 靖巳	研究開発部 副主幹
内野 正和	研究開発部 専門研究員
石川 正洋	研究開発部 主任主事
江田 智子	研究開発部 サブマネージャー
松尾 朱三江	研究開発部 サブマネージャー
小村 和彦	企画管理部 管理課長
平田 学	企画管理部 事務主査
舩添 史和	企画管理部 主任主事

【再委託先】※研究員のみ

株式会社戸畑製作所

氏 名	所属・役職
松本 敏治	取締役技術センター長
与田 靖之	品質保証部・専門部長

株式会社ダイハツメタル

氏 名	所属・役職
白井 純一郎	常務取締役
高田 真司	開発部開発室・係長

国立大学法人九州大学

氏 名	所属・役職
野口 博司	大学院工学研究院機械工学部門・教授
濱田 繁	大学院工学研究院機械工学部門・准教授
宮原 広郁	大学院工学研究院材料工学部門・教授

独立行政法人産業技術総合研究所

氏 名	所 属・役 職
坂 本 満	生産計測技術研究センター・センター長
柘 植 明	計測フロンティア研究部門・主任研究員

福岡県工業技術センター機械電子研究所

氏 名	所 属・役 職
廣 瀬 政 憲	生産技術課・課長
小 川 俊 文	材料技術課金属プロセスチーム・研究員

4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

(経理担当者)企画管理部 管理課長 小村 和彦

(業務管理者)研究開発部 部長 中村 裕章

(再委託先)

株式会社戸畑製作所

(経理担当者) 総務部課長 寺岡 次郎

(業務管理者) 取締役技術センター長 松本 敏治

株式会社ダイハツメタル

(経理担当者) 総務部 次長 岩谷 謙二

(業務管理者) 常務取締役(開発部担当) 白井 純一郎

国立大学法人 九州大学

(経理担当者) 工学部等経理課 経理課長 井上 勝敏

(業務管理者) 工学研究院 院長 日野 伸一

独立行政法人産業技術総合研究所

(経理担当者) 総務本部 財務部 経理室長 伊佐 好雄

(業務管理者) 生産計測技術研究センター センター長 坂本 満

福岡県工業技術センター機械電子研究所

(経理担当者) 庶務課長 松本 啓

(業務管理者) 生産技術課長 廣瀬 政憲

5) 他からの指導・協力者名

推進委員会委員

(外部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
北原 辰巳	国立大学法人九州大学大学院工学研究院機械工学部門・准教授	アドバイザー
高橋 芳朗	大分県産業科学技術センター機械・金属担当・主任研究員	アドバイザー
上村 誠	熊本県産業技術センターものづくり室・研究主幹(兼室長)	アドバイザー
桑原田 聡	鹿児島県工業技術センター素材開発部・主任研究員	アドバイザー
南 守	財団法人飯塚研究開発機構 研究開発部 事業部 研究員	アドバイザー

(内部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
松本 和朗	株式会社戸畑製作所・代表取締役社長	
松本 敏治	株式会社戸畑製作所・取締役 技術センター長	PL
与田 靖之	株式会社戸畑製作所品質保証部・専門部長	
白井 純一郎	株式会社ダイハツメタル・常務取締役	SL
高田 真司	株式会社ダイハツメタル開発部開発室・係長	
野口 博司	国立大学法人九州大学大学院工学研究院機械工学部門・教授	
濱田 繁	国立大学法人九州大学大学院工学研究院機械工学部門・准教授	
宮原 広郁	国立大学法人九州大学大学院工学研究院材料工学部門・教授	
坂本 満	独立行政法人産業技術総合研究所 生産計測技術研究センター センター長	
柘植 明	独立行政法人産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門・主任研究員	
廣瀬 政憲	福岡県工業技術センター機械電子研究所 生産技術課・課長	
小川 俊文	福岡県工業技術センター機械電子研究所 材料技術課金属プロセスチーム・研究員	
中村 裕章	財団法人福岡県産業・科学技術振興財団 研究開発部・部長	

末松 正典	財団法人福岡県産業・科学技術振興財団・ 産学コーディネータ	
-------	----------------------------------	--

1-3 成果概要

1-3-1 耐熱合金の開発

開発合金の硬さについて、118HV3（112HB 相当）が得られた。

開発合金の引張強さの目標値 130MPa（250℃）を満たすために許容される欠陥寸法が $\sqrt{\text{area}}=600\mu\text{m}$ であることを示した。

摩擦・摩耗特性評価においては実機を想定したモデル摩擦磨耗試験手法を確立した。さらに試験結果から、開発合金の摩擦摩耗特性改善に最適な表面処理皮膜を選定した。

1-3-2 介在物制御方法の確立

開発合金を対象に、応力集中部位において疲労強度の目標値 63MPa（250℃）を満足するために許容される欠陥寸法が $\sqrt{\text{area}}=137\mu\text{m}$ であることを示した。

組織観察や機器分析による凝固組織評価、シミュレーションを用いた解析結果と試作品製造・評価の結果を検証することで、鑄造方案を確立することができた。

1-3-3 形状最適設計

実機評価により、開発合金の高温の領域で優れた強度を示すことが実証できた。また、軽量化および振動・騒音の低減において、理論通りの効果を実証することができた。

1-3-4 リサイクル技術の確立

酸素分析値から酸化物介在物の存在確率を推定し管理する品質管理基準、リターン材使用時の金属不純物の品質管理基準を策定した。リターン材使用率 60%を達成した。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団 研究開発部

tel 092-725-2781 fax 092-725-2786

E-mail; ken@ist.or.jp

第 2 章 本論

2-1 耐熱合金の開発

2-1-1 合金設計・組織制御 [九州大学材料工学部門、(株)戸畑製作所]

(研究内容)

AZ 系鋳造マグネシウム合金はアルミニウム合金と比較して、凝固組織及び熱処理特性に関する報告が極めて少ない。そこで、AZ 系鋳造合金を改良した試料を作製し、合金のミクロ硬さに及ぼす溶体化及び時効処理条件について調査し、熱処理条件に関する基礎的知見を得た。

(研究結果)

電気抵抗炉を用いて開発合金を大気中で 683K(410℃)まで加熱し、0 時間～20 時間の種々の時間で保持する溶体化処理実験を行った。その結果は図 1 に示したが、保持時間の増加に伴い、共晶組織は次第に低下し、共晶組織はおよそ 20 時間で一定の値になった。このことから AZ 系鋳造マグネシウム合金は 400℃20 時間で鋳造ままの非平衡状態から平衡状態へ移行すると考えられた。さらに、初晶 Mg デンドライト内に含有できる Al 濃度は図 2 の様に保持温度の上昇とともに増加し、400℃近傍ではおよそ 10mass%Al まで含むことが可能であった。続いて、溶体化処理した試料は時効処理をさせることにより平均値で 110HV3、最高値で 118HV3 (112HB 相当) の硬さを得ることができた。これに対して、鋳造したままの試料を時効処理させると、溶体化処理した試料と比較しておよそ 10HV3 低い値を示した。これは、凝固したままでは固溶される Al 濃度が低く、時効硬化においてその効果を十分発揮出来なかったためと考えられた。しかし、いずれの条件でも十分時効させると高い値を示し、製造コスト等を考慮して熱処理プロセスを選択すべきと考えられた。

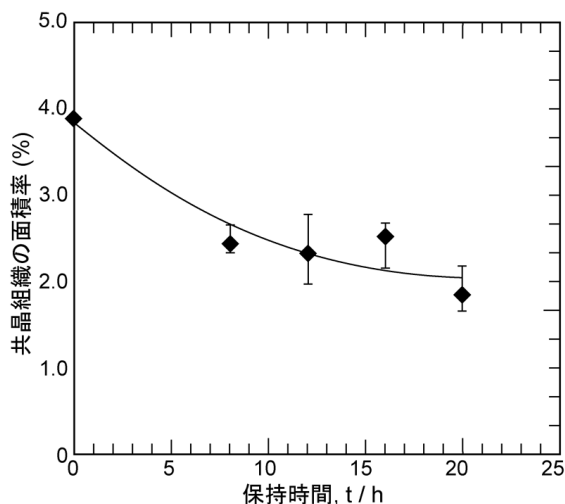


図 1 共晶組織の体積割合と保持時間

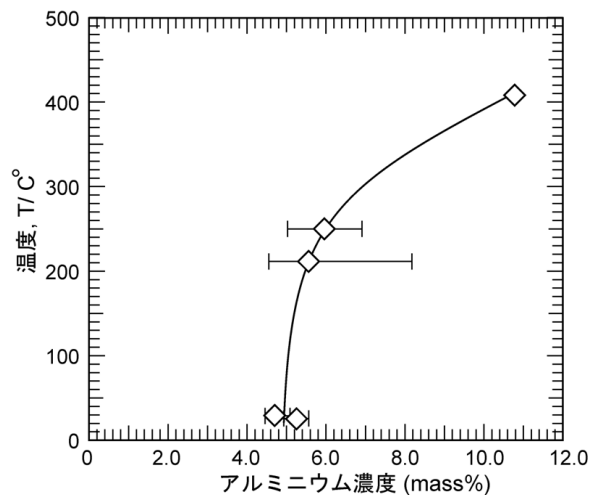


図 2 各温度における Al の固溶量

2-1-2 酸化物を模擬した欠陥材料での高温特性評価 [九州大学機械工学部門、 (株)戸畑製作所]

(研究内容)

開発合金鑄造材が実部材として要求される引張強さ（目標値は高温引張強さ 130MPa）を満足しているか否かは一般的な引張試験片では確認できない。これは一般的な試験片の検査体積中には必ず引け巣や酸化物等の材料欠陥が混入してしまうためである。そこで本節の開発目標としては開発合金鑄造材における材料母材の機械的性質の評価方法を確立し、目標値を満たすための許容されうる欠陥寸法を明らかにする。

(研究結果)

開発合金鑄造材の材料母材の機械的性質を評価する方法として切欠き試験片を用いた一連の引張試験による外挿法を提案した。実際に 250℃において開発合金鑄造材の平板切欠き試験片（図 3）および微小き裂試験片（図 4）の引張試験をおこない以下の結論を得た。

- （1）切欠きの曲率半径 $\rho=4\text{mm}$ 以下の試験片では切欠き底起点で破壊し、また $\rho=4\text{mm}$ 以上では材料欠陥が起点で破壊が起こった（図 5）。
- （2）外挿によって得た開発合金鑄造材の材料母材の引張強さの値は 145MPa であった。
- （3）リターン材においても、引張強さの値は 145MPa である。
- （4）高温中で取得したき裂進展特性（R カーブ，図 6）から引張強さ 130MPa を満たすための許容されうる欠陥寸法は $\sqrt{a_{\text{area}}}=600\mu\text{m}$ である。

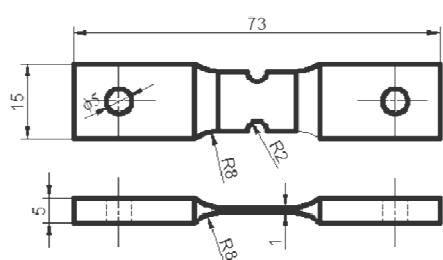


図 3 平板切欠き試験片

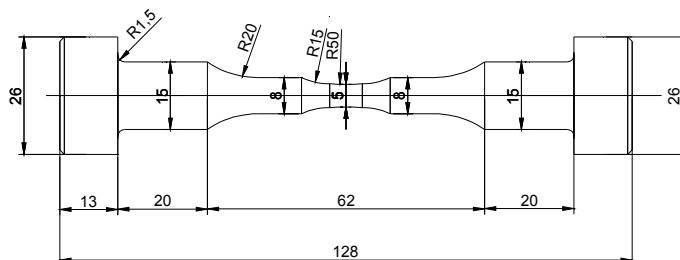


図 4 微小き裂試験片

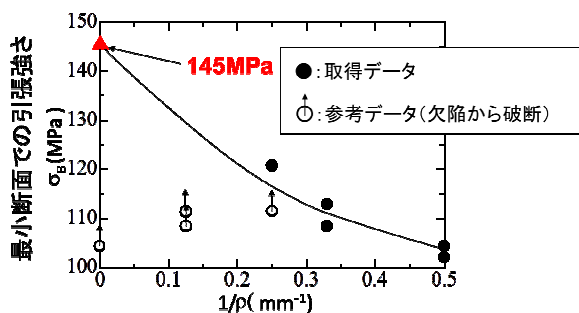


図 5 小試験体積における引張強さ

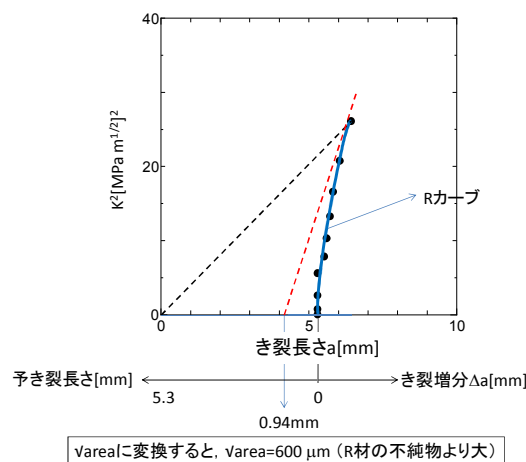


図 6 き裂進展特性と許容欠陥寸法

2-1-3 摩擦・摩耗特性評価 [福岡県工業技術センター機械電子研究所、 (株)ダイハツメタル、九州大学材料工学部門、(株)戸畑製作所]

(研究内容)

マグネシウム合金を無垢のまま実部材に適用すると、摩耗等によって使用に耐えない。そのためマグネシウム合金を実部材に適用するためには、使用環境に耐えうる摩擦摩耗特性を有した適切な表面処理を施す必要がある。実機を使用する摩擦摩耗試験方法では実用性能を容易に判断できるが、膨大なコストや時間を要する。そこで、簡便かつ低コストで実機評価試験結果との相関がとれるモデル摩擦摩耗試験により、表面処理を施した開発マグネシウム合金の摩擦摩耗特性を調査し、パワートレイン部材として適用可能な摩擦摩耗特性を有する開発マグネシウム合金用表面処理皮膜を選定するために必要な基礎的情報の収集を行った。

(研究結果)

摩擦摩耗特性は、ピン・オン・ディスク型式による同一円周回転測定で、試験温度 393K、試験時間 28 時間、マシンオイルによる湿潤状態で行った。試験片の基板材料には、開発マグネシウム合金 casting 材を用い、その基板材料に 3 社メーカーの被膜（皮膜厚 10、20 μm ）を施した。実部材を想定し硬さの異なる鉄系材料との摩擦摩耗試験を行うため、相手材となるピンには高硬度特殊鋼と普通铸铁を選定した。対高硬度特殊鋼を想定した摩擦摩耗試験においては、材質 SUJ2 製のピンを用いた。明確な違いが観察されたピン先端の摩耗量で、評価を行った。その結果を図 7 に示す。 casting 材無垢と比較すると被膜が開発マグネシウム合金の耐摩耗性向上に大きく寄与していることが明らかである。中でも A 社の被膜は摩耗量 0 で最も良好であった。対普通铸铁を想定した摩擦摩耗試験においては、材質 FC250 製のピンを用いた。いずれの試験においても摩擦係数に大きな変化がみられなかった。試験時間中の平均値を比較したものを図 8 に示す。被膜の種類や皮膜厚の違いによる摩擦係数の明確な差は、殆ど見られなかった。

モデル摩擦摩耗試験の結果から、総合的に考えて A 社の被膜が最適であると判断し、A 社の被膜を施した試作品で実機評価試験を行った。その結果、各部位における被膜の摩擦摩耗具合は、モデル摩擦摩耗試験結果から想定できる良好な結果を得ることができた。モデル摩擦摩耗試験の有効性を確認することができた。

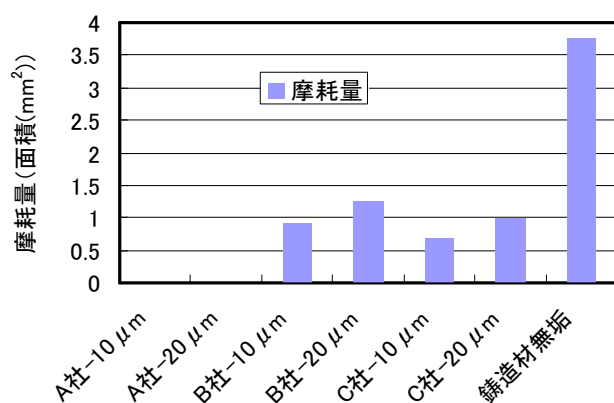


図 7 対 SUJ2 摩擦摩耗試験の結果

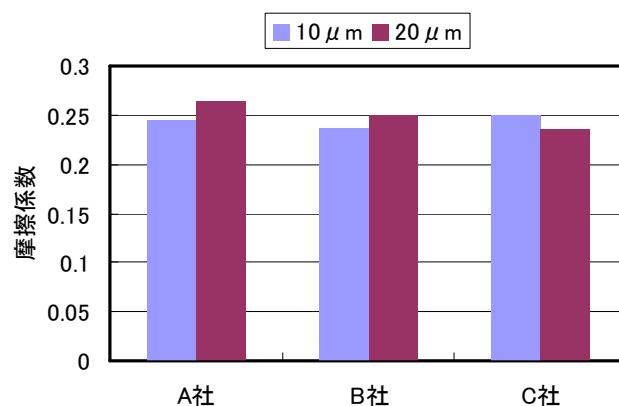


図 8 対 FC250 摩擦摩耗試験の結果

2-2 介在物制御方法の確立

2-2-1 酸化物の存在確率の把握 [九州大学機械工学部門、(株)戸畑製作所]

(研究内容)

実部材として要求される疲労強度を満足するために許容される酸化物および鑄巣の許容寸法を特定する。プロジェクトの目標は、疲労強度：63MPa（250℃， $N=1 \times 10^7$ ，応力集中部位）である。開発合金鑄造材が目標疲労強度を満足するために許容される欠陥寸法を提示する。

(研究結果)

開発合金鑄造材において、切欠き試験片（図9）と微小き裂試験片（図10）の疲労試験を行うことによって、以下の結論を得た。

- (1) 現状の（欠陥制御がなされていない）開発合金鑄造材の 250℃における疲労強度は 50MPa 程度である（図11）。
- (2) 目標の高温疲労強度を満足するためには、応力集中部位に存在する欠陥寸法を $\sqrt{area}=137\mu\text{m}$ 程度に低減すればよい（図12）。
- (3) 開発合金鑄造材には 250℃環境において疲労限が存在する（図13）。

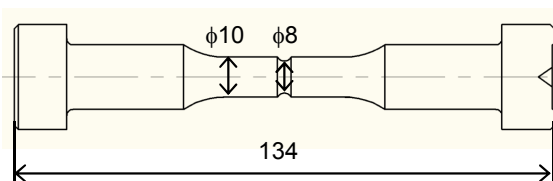


図9 切欠き試験片（ノッチ部 $\rho=2$ ，深さ1）

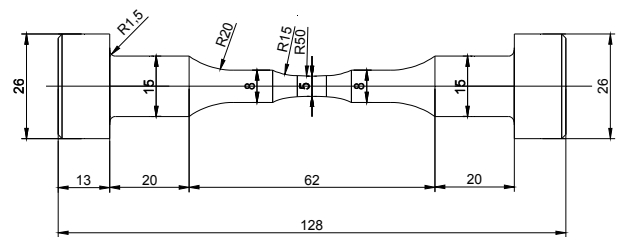


図10 微小き裂試験片

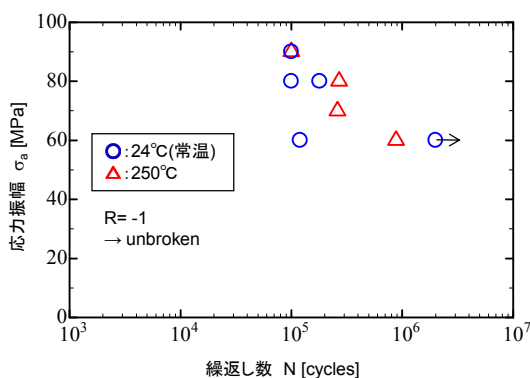


図11 現状での欠陥を含んだ材料の疲労強度

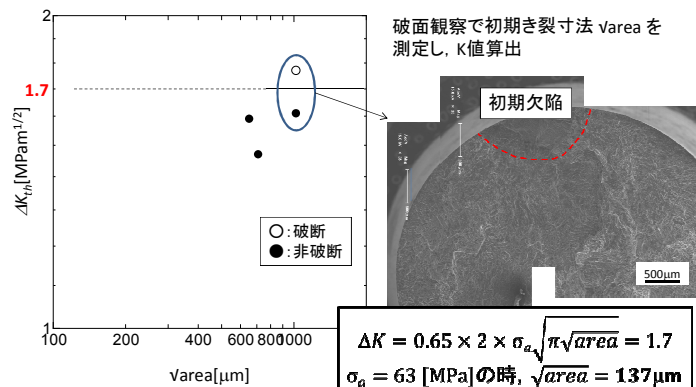
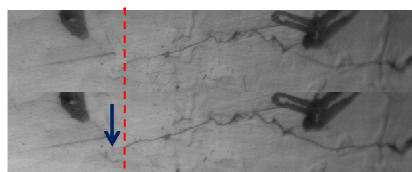


図12 目標を達成するための欠陥寸法測定試験結果

繰返し数
 $N=0$
 $N=10^5$



$N=2.2 \times 10^6$
 $N=3 \times 10^6$

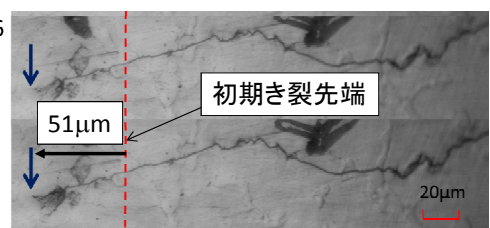


図13 疲労限の存在を示すき裂の停留現象

2-2-2 シミュレーションによる鑄造方案の確立 [九州大学材料工学部門、 (株)戸畑製作所]

(研究内容)

信頼性の高い鑄造部材を製造するためには、介在物や引け巣等からなる欠陥の発生・混入を防ぐ必要がある。これら欠陥の発生条件を明らかにし、さらに市販鑄造 CAE ソフトを用いて鑄造方案を確立することを目標とした。解析結果と試作品製造・評価の結果を検証することで鑄造方案の確立を図った。

(研究結果)

開発合金鑄造材に含まれる欠陥を評価するために凝固組織観察、EPMA(電子プローブマイクロアナライザ)や X 線 CT を用いた解析を実施した。結果の例を図 1 4 に示す。開発合金には複数種類の酸化物介在物が発生するが、その生成機構、分布状態を確認することができた。また、新山パラメータを用いた引け巣の発生予測や、温度推移の解析による成形性(湯流れ性)の評価例を図 1 5 に示す。

組織観察や機器分析による凝固組織評価、シミュレーションを用いた解析結果と試作品製造・評価の結果を検証することで、鑄造方案を確立することができた。

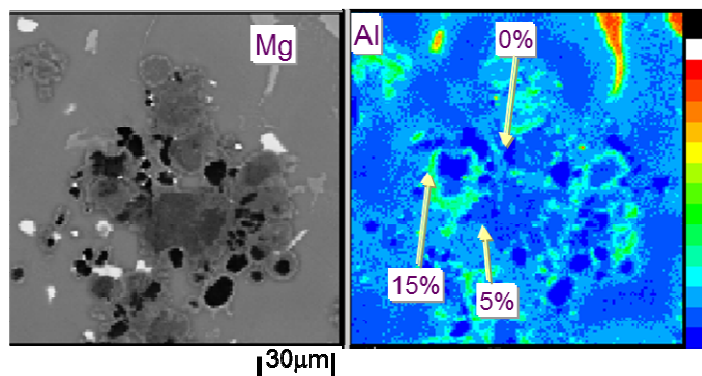


図 1 4 酸化物組織及び EPMA 面分析例

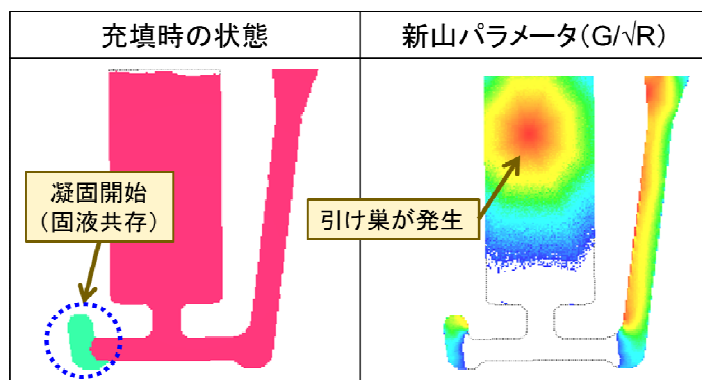


図 1 5 解析結果例

2-3 形状最適設計

2-3-1 軽量化〔株ダイハツメタル〕

（研究内容）

本プロジェクトの耐熱・難燃性マグネシウム合金鋳造材で、自動車用エンジンのパワートレイン部品を試作し、実機評価した。

（研究結果）

本プロジェクトの開発材は、既存の他の耐熱マグネシウム合金のように、高温時の材料特性を向上させるためにレアアース等の希少、かつ高価な添加元素を使用せず、低廉元素のみを使用しているが、特に高温の領域で優れた強度を示すことが実証できた。

このことから、本開発材を用いれば、オイルパン等のパワートレイン耐熱部品を、低コストでマグネシウム合金に置換することが可能と考える。

2-3-2 エンジンの振動・騒音の低減〔株ダイハツメタル〕

（研究内容）

マグネシウム合金の比重は、アルミニウム合金の約 $2/3$ 、 1.8 g/cm^3 程度と非常に軽量で、エンジン等振動の激しい要素の部材として用いれば、自動車全体の振動低減に非常に効果的である。

本プロジェクトの開発材で、エンジン用のパワートレイン部品を試作し、実際のエンジンに組み込んで実機評価を行い、振動・騒音低減の効果を確認した。

（研究結果）

前述の実機評価により、理論通りの振動低減が実証できた。

既存の耐熱マグネシウム合金に比べ、かなりの低コストで製造可能な本プロジェクトのマグネシウム合金により、エンジンを中心とするパワートレイン部品の多数を軽量化できれば、自動車の快適性の向上や、防振用の他の部材の軽量化、簡素化を図ることができ、自動車全体の軽量化、高機能化に寄与できる。

2-4 リサイクル技術の確立

2-4-1 分析技術の確立〔産業技術総合研究所、㈱戸畑製作所〕

（研究内容）

リターン材を使用した合金において問題となる酸素量の増加を管理するために、酸素・水素分析装置を導入した。分析装置に産総研が開発したマグネシウム合金中酸素の測定条件を組み込み、共同分析試料を用いて分析値の妥当性の確認を行った。量産品の品質管理に適する様に分析条件の迅速化を行った。リターン材を使用した合金中酸素の分布解析を行い、分布を対数正規分布と仮定することで、合金中酸化物の粗大粒子の存在確率を推定する方法を考案し、量産品の品質管理基準を策定した。

（研究結果）

酸素量の増加を管理するために戸畑製作所内に新規酸素水素分析装置（図16）を導入し、産総研が開発したマグネシウム合金中酸素を測定するための加熱条件を組み込んだ。この分析条件は、マグネシウム試料とスズを900℃で共融し、穏やかに2000℃まで升温することでマグネシウムを蒸発除去した後のスズに残った酸化物をスズ中酸化物として酸素分析するものである。開発合金切粉を成形した酸素量の均質性が高い共同分析試料を産総研と戸畑製作所でそれぞれ分析し、分析値が一致することにより分析値の妥当性を確認した。

産総研開発の汎用的分析条件を開発合金および導入装置に合わせて改良し20測定／日レベルの迅速化を達成した。開発合金から238個の試料を系統的に取り出し、含まれる酸素の分布について解析したところ、酸素は酸化物の分散状態を反映した対数正規分布に近い形となった（図17）。酸化物大きさの存在状態を対数正規分布と仮定すれば、破壊起点となる粗大粒子の存在確率を推定可能となることから、酸素分析値を幾何平均と幾何標準偏差で解析すれば破壊力学から得られる最小欠陥寸法と結びつけることが可能と考えられた。酸素の分析値から粗大粒子の存在確率を推定し管理する品質管理基準を策定した。



図16 導入した酸素・水素分析装置

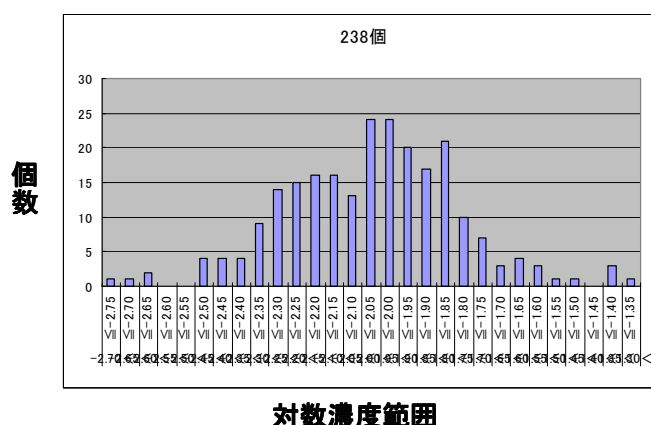


図17 酸素の対数濃度による頻度分布

2-4-2 リターン材使用率の最大化〔産業技術総合研究所、㈱戸畑製作所〕

（研究内容）

リターン材を使用した合金において問題となる金属系不純物の増加を管理するために発光分光分析装置を導入した。装置を用いて合金中金属不純物の分析を行いリターン材使用により増加する不純物元素を確認した。増加元素の混入機構を検討し行い、効果的な低減方法を考案した。量産品の品質管理を目指してリターン材使用合金中金属不純物の品質管理基準を策定した。

（研究結果）

金属系不純物の増加を管理するために発光分光分析装置（図18）を導入しリターン材使用合金の不純物量の分析を行った。リターン材の使用により増加する元素として、数種類の元素があることを見いだした。その混入メカニズムについて推定し、低減方法を検討した。

リターン材の保管環境中からの混入元素と考えられる元素については、使用前管理方法（混入の防止措置、及び使用前清浄化方法）を検討したところ、効果的に低減できることが分かった。

合金溶解中の混入と考えられる元素については、リターン材使用合金の溶湯温度と不純物の存在位置解析を行ったところ、それらの不純物が増加せずに沈降する温度域があることを見いだした（図19）。この沈降挙動を利用する沈降除去方法を確認した。量産品の品質管理に向けて、発光分光分析法による分析結果を用いてリターン材使用合金中金属不純物の品質管理基準を策定した。



図18 導入された発光分光分析装置

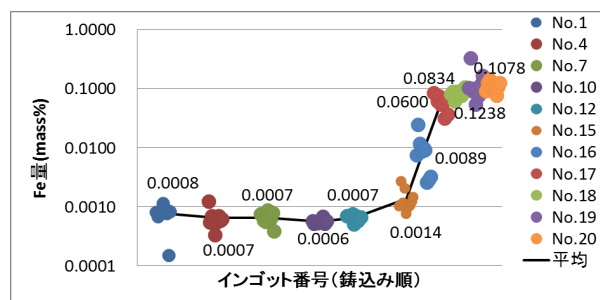


図19 金属不純物（Fe）の沈降状態例

最終章 全体総括

（１）目標に対する成果

以下の通り開発目標を達成した。

①耐熱合金の開発

- ・硬さ：118HV3（112HB 相当）を達成した。
- ・高温引張強さ：130MPa（250℃）を満たす許容欠陥寸法 $\sqrt{area}=600\mu\text{m}$ を算出した。

②介在物制御方法の確立

- ・高温疲労強度：63MPa（250℃）を満たす許容欠陥寸法 $\sqrt{area}=137\mu\text{m}$ を算出した。
- ・鋳造シミュレーションにより鋳造方案を確立し、試作品を製造した。

③形状最適設計

- ・実機評価により、軽量化および振動・騒音の低減を実証した。

④リサイクル技術の確立

- ・品質管理基準を策定した。
- ・リターン材使用率 60%を達成した。

（２） 全体総括

耐熱・難燃性マグネシウム合金鋳造によるパワートレイン耐熱部材の開発を実施するに当たり、川下企業のニーズを満足するため、研究メンバーが保有するシーズを活用し開発を進めた。開発は物性値目標の達成と部材開発の両面から進め、①現行材料であるアルミニウム合金鋳造材の物性値・実績を目標とした合金開発およびリサイクル技術の開発、②試作品設計、製造、検査、実機試験評価をサイクルとした部材開発を行った。

物性値目標を明確にすることで品質管理基準が明確になった点、設計および鋳造方案にシミュレーションを活用することで試作回数の低減がなされた点等、実用化を視野に効率的な開発を行うことができた。その結果、合金開発・リサイクルの面では数値目標の達成、部材開発の面では実機試験において耐久性を実証することができた。

これらの成果は、熱負荷の高いパワートレイン部材を対象に、希土類元素を用いることなくマグネシウム合金の耐熱性を向上させ、実機運転試験において耐久性を実証するという、過去に例のない非常に画期的のものであると自負している。

これまでに実施した内容は開発合金の鋳造による部材開発の一例であり、今後は一連の手法を展開し、様々な部材開発を進めたいと考えている。また、実用化を進めるためには素材供給の面から量産体制を構築することが重要であり、開発合金の量産技術・品質保証体制の確立を進める所存である。