

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「フォトニクスを用いた高性能マグネシウム製品の  
クローズド製造プロセスの創成」

研究開発成果等報告書

平成25年 3月

委託者 中国経済産業局

委託先 公益財団法人岡山県産業振興財団

## 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
1-2	研究実施内容	2
1-3	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	3
1-4	成果概要	7
1-5	当該研究開発の連絡窓口	9

### 第2章 全体総括

## 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

自動車分野および情報家電分野において、有害化学物質を使用せず、部材の軽量化によるCO<sub>2</sub>排出量の抑制およびLCA原単位の軽減できるものづくりが強く望まれている。こうした状況下、これらの課題を解決し、とりわけ自動車分野および情報家電分野での高機能物質による性能付与、軽量化、環境負荷低減に資する高機能化学合成技術の確立を目指す。本研究開発では、エコ材料として注目されているマグネシウム部材への高機能化学合成技術（陽極酸化処理）の高度化およびレーザ加工技術を融合し、これまでにない性能（耐食性、導通性、意匠性、耐摩耗性）を有する新規な表面処理技術を開発する。また、マグネシウム原材料の安定供給および製造時のCO<sub>2</sub>排出量の抑制を図るため、レーザクリーニングによる使用済み製品のリサイクル技術を開発し、製造プロセスのクローズドシステムを構築することでマグネシウム製品の低コスト化を実現する。その際、既存材料の中で最も使用されているAZ91Dマグネシウム合金よりも高強度な合金開発を行い、より一層の軽量化を図り、低炭素社会を実現することを目的とする。

<目標値>本研究開発期間で得られる今年度の目標を以下に示す。

開発テーマ	目標値
①薄型成形技術の確立	生産性向上：0.5mm品で良品率90%以上 材料強度：AZ91D比120%以上 薄肉部0.3mm品の成形技術の確立
②レーザハイブリット表面処理技術の開発	導電性：初期：0.5Ω以下 恒温恒湿試験240時間後：0.5Ω以下 耐食性：塩水噴霧サイクル試験（8時間噴霧×16時間休止×3サイクル）後表面抵抗値1Ω以下
③着色表面処理技術の開発	ムラのない均一な着色技術の開発 赤、青、黄以外の染色を可能にする 化成処理品以上の耐食性
④難燃性耐熱合金への表面処理技術の開発	特殊合金（希土類等の添加合金）について、従来の陽極酸化処理品と同等の耐食性（塩水噴霧試験500時間以上腐食無し）
⑤耐摩耗性表面処理皮膜の開発	皮膜硬さ：ビッカース130Hv以上（直流電解100Hv） 摩擦磨耗特性：従来品よりも摩擦係数を30%以上、摩耗量20%以上低減
⑥リサイクルシステムの構築	レーザ除去処理の高速化（1部品30秒以内） リサイクル鑄造チップによる成形および成形品への表面処理が、市販材と同等の性能を有する

## 1-2 研究実施内容

### ①薄型成形技術の確立

(担当実施機関：株式会社藤岡エンジニアリング、株式会社STU、岡山県工業技術センター、岡山理科大学)

既存材料である AZ91D マグネシウム合金組成をベースとし、新たな軽元素を添加した合金設計を行い、成型時の歩留まりおよび製品の強度特性の向上を図る。軽元素の添加により、合金の融点を下げ、成型時の湯流れ性を向上させる。また、添加した軽元素と合金中の金属が析出物を生成することで、核生成点を多発させ、結晶の微細化を促進し、材料強度を向上させる。

### ②レーザハイブリッド表面処理技術の開発

(担当実施機関：株式会社藤岡エンジニアリング、堀金属表面処理工業株式会社、岡山県工業技術センター)

陽陽極酸化処理とレーザ加工をハイブリッド化し、安定した導電性と優れた耐食性の両者を有する表面加工技術の確立を目指す。

### ③着色表面処理技術の開発

(担当実施機関：堀金属表面処理工業株式会社、岡山県工業技術センター)

マグネシウム合金への着色が困難な要因は、表面処理皮膜の形態に起因する。表面処理皮膜の形態を電解条件により精密に制御するとともに、アルミニウム合金でのアルマイト処理皮膜の染色をベースに、マグネシウム合金の着色技術を開発する。

### ④難燃耐熱合金用表面処理の開発

(担当実施機関：堀金属表面処理工業株式会社、岡山県工業技術センター、株式会社STU)

輸送機器部材への適用に際して、マグネシウム合金の燃焼性が危惧され、これに対応する材料開発が進められており、その多くは既存の合金に Ca など特定の金属を添加したものであるが、その添加金属が表面処理性に悪影響を及ぼし、耐食性が低下することが確認されている。

ここでは表面処理に対する添加元素の影響を低減する前処理および電解条件の検討を行い、難燃耐熱合金に対する表面処理技術を確立する。

### ⑤耐摩耗性表面処理皮膜の開発

(担当実施機関：堀金属表面処理工業株式会社、岡山県工業技術センター、岡山理科大学)

輸送機器の摺動部位への適用に際しては、処理皮膜への耐摩耗性が要求されている。現行の直流電解に対し、交流やパルス電解による皮膜の緻密化および PTFE 粒子の複合化を検討し、耐摩耗性に優れた表面処理皮膜を開発する。

### ⑥リサイクルシステムの構築

(担当実施機関：株式会社藤岡エンジニアリング、株式会社STU、岡山県工業技術

センター)

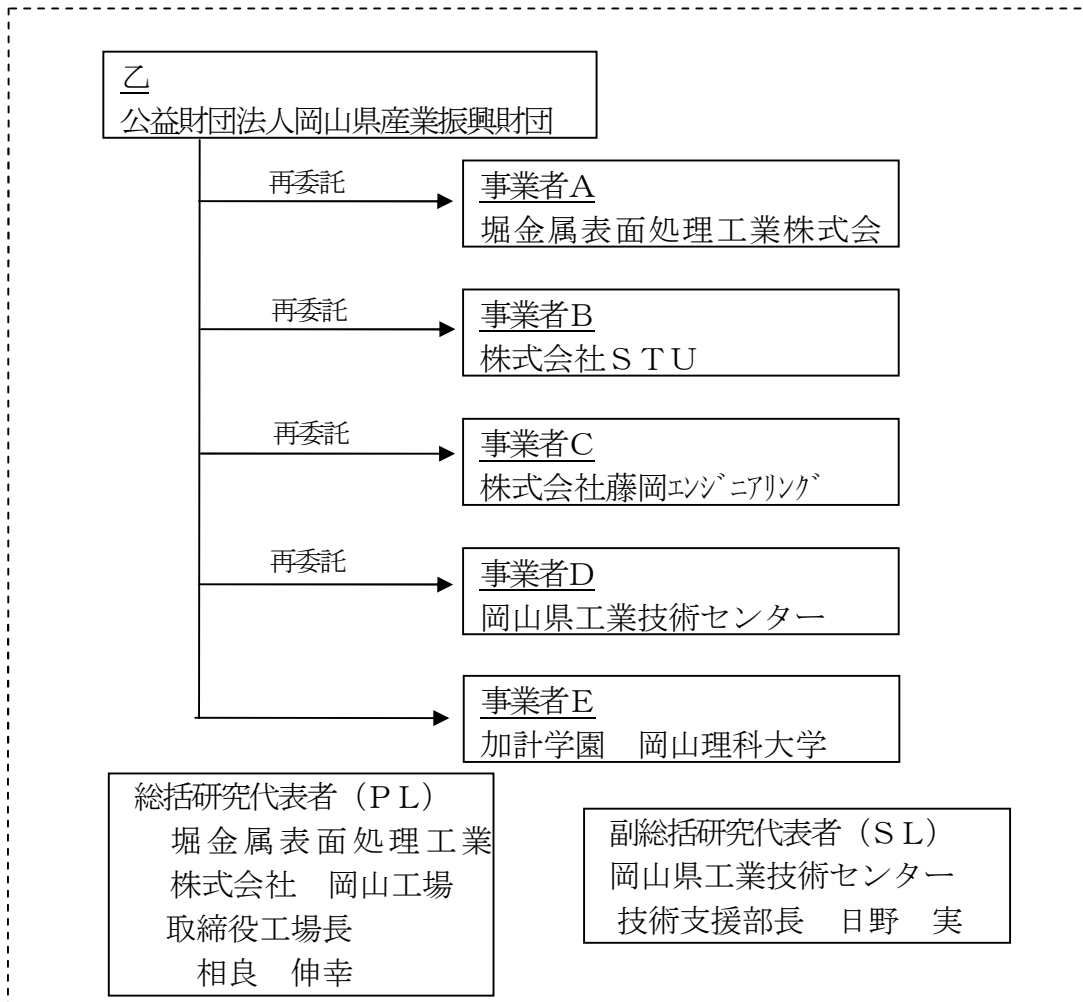
現在、マグネシウム製品の市中屑の大部分は廃棄されているが、この要因としては、市中屑の表面に有機物が強固に付着し、分離・除去が困難なためである。表面に有機物が付着したままでは溶解時に有機物が気化し、爆発を誘引する。仮に溶解できたとしても、マグネシウム合金と有機物の比重は同程度で、溶解時に分離が困難なため、鋳造品の歩留まりおよび品質の低下を招いてしまう。

S T Uと岡山工技センターが開発したレーザクリーニング技術を適用し、市中屑から有機物を分離・除去し、溶解・鋳造→チッピング→成形・加工→表面処理・塗装までのリサイクルシステムを構築する。

### 1-3 研究体制

#### (1) 研究組織及び管理体制

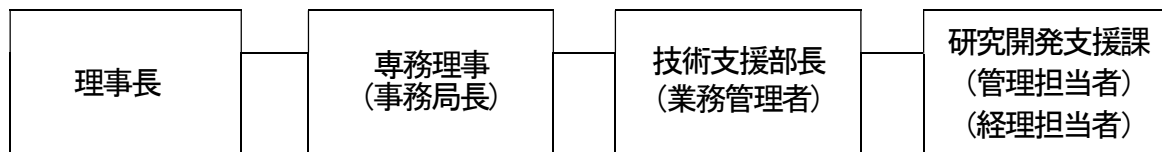
##### 1) 研究組織 (全体)



## 2) 管理体制

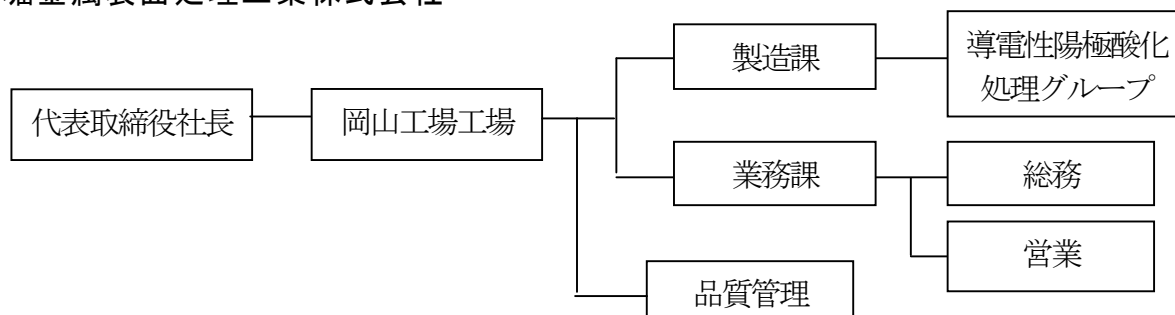
### ①事業管理者

[公益財団法人岡山県産業振興財団]

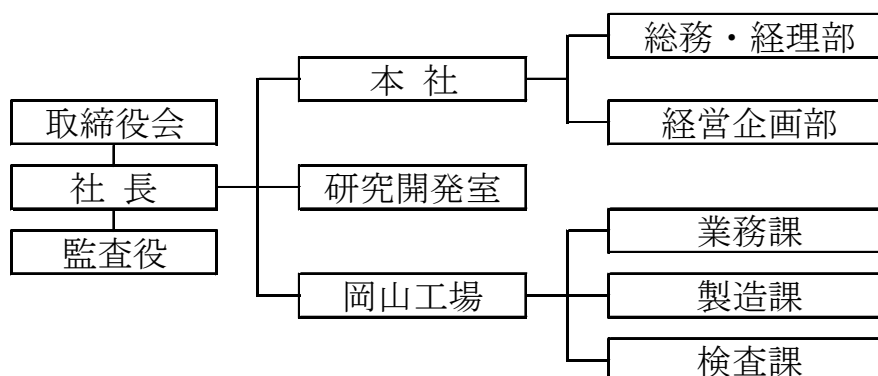


### ② (再委託先)

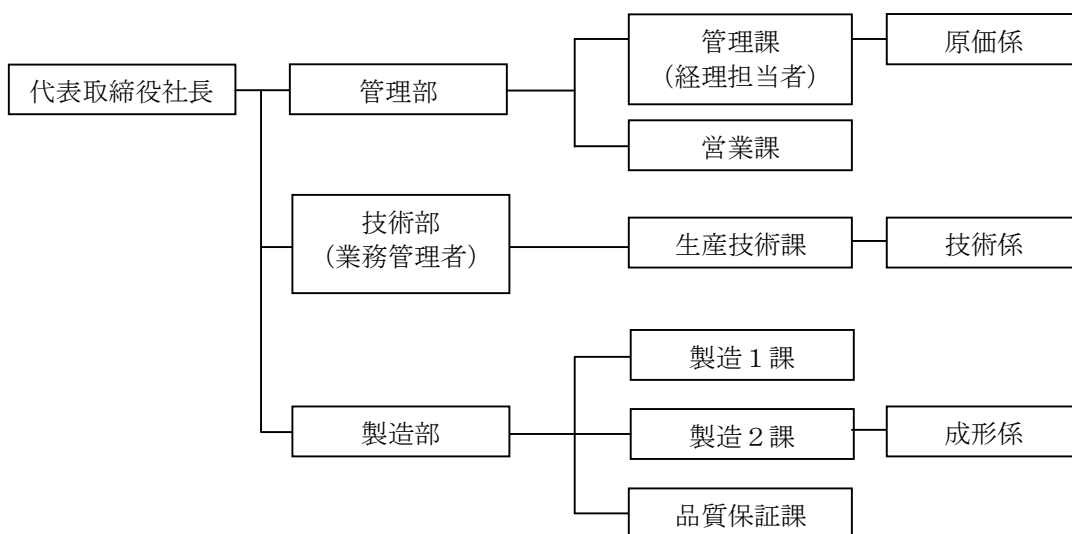
堀金属表面处理工業株式会社



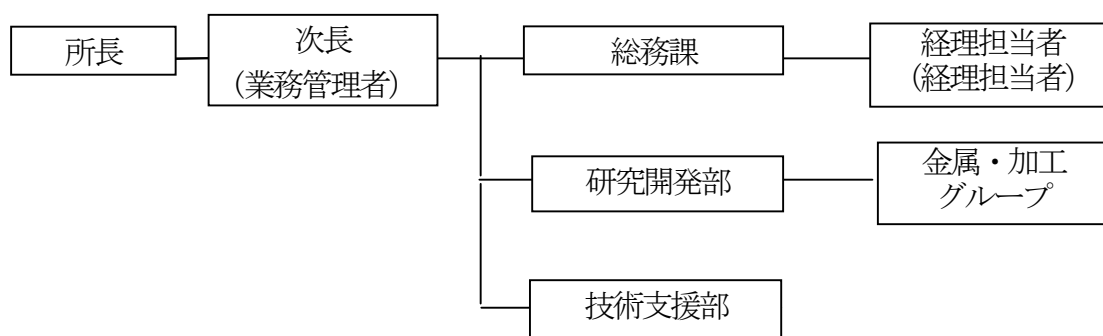
株式会社STU



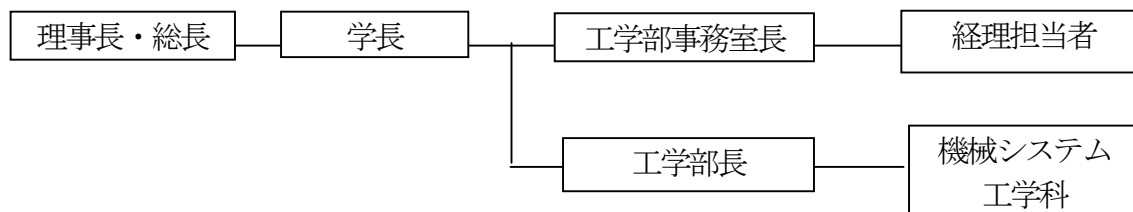
株式会社藤岡エンジニアリング



岡山県工業技術センター



加計学園 岡山理科大学



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 公益財団法人岡山県産業振興財団

管理員

氏名	所属・役職
深井 康光	技術支援部 部長
横田 尚之	技術支援部 研究開発支援課 課長
石部 裕之	技術支援部 研究開発支援課 課長代理
三竿 真紀	技術支援部 研究開発支援課 主事

【再委託先】

堀金属表面処理工業株式会社

氏名	所属・役職	開発テーマ (番号)
西條 充司	業務課 営業主任	②、③、④、⑤、⑥
西本 雄一	業務課 営業主任	③、④、⑤
平松 賢吾	製造課 導電性陽極酸化処理グループリーダー	③、④、⑤
西井 美恵子	製造課 導電性陽極酸化処理グループ	③、④、⑤

株式会社STU

氏名	所属・役職	開発テーマ (番号)
橋本 嘉昭	研究開発室 室長	①、④、⑥

株式会社藤岡エンジニアリング

氏名	所属・役職	開発テーマ (番号)
家原 啓治	製造2課 成形係 係長	①、⑥
西本 克治	生産技術課 技術係	①、②

岡山県工業技術センター

氏名	所属・役職	開発テーマ (番号)
日野 実	技術支援部長	①、②、③、④、⑤、⑥
村岡 賢	研究開発部金属・加工グループ・研究員	①、②、③、④、⑤、⑥
村上 浩二	研究開発部金属・加工グループ・研究員	①、②、③、④、⑤、⑥
水戸岡 豊	研究開発部金属・加工グループ・研究員	①、②、③、④、⑤、⑥



氏名	所属・役職	実施内容(番号)
金谷 輝人	工学部機械システム工学科・教授	①、⑤

## 3) 他からの指導・協力者

氏名	所属・役職	備考
杉本 幸弘	マツダ株式会社 技術研究所 主幹研究員	推進委員会アドバイザー
坂本 明美	シャープ株式会社通信システム事業 本部・プラットフォーム開発セン ター機構開発部 副主任	推進委員会アドバイザー
小原 久	(一般社団法人) 日本マグネシウム 協会専務理事	推進委員会アドバイザー
栗原 保男	小野田森村マグネシウム株式会社 代表取締役社長	推進委員会アドバイザー

## 1-4 成果概要

## ①薄型成形技術の確立

既存材料である AZ91D マグネシウム合金組成をベースとし、新たな軽元素としてカーボンを追加した合金設計を行い、成形時の歩留まりおよび製品の強度特性の向上を図った。さらに追加したカーボンにより、合金の融点を下げ、成形時の湯流れ性を向上させるとともに、合金中の金属が析出物を生成することで、核生成点を多発させ、結晶の微細化を促進し、材料強度を向上させることを試みた。

その結果、既存材料である AZ91D マグネシウム合金と比較し、機械的性質(0.2%耐力 20%以上、伸び 50%以上)が向上し、今年度の目標値を達成した。また、耐食性の評価を行った結果、既存材料の AZ91D の耐食性を上回ることが確認された。

この開発合金をリサイクル品のアップグレードリサイクルに起用できないか試したところ、産業屑リサイクル品、市中屑リサイクル品においても強度向上の効果があることが確認された。湯流れ性についても、従来プロセスと同じ条件と比較し、全溶融成形時における巣の発生を抑制することが明らかになった。なお、実際の製品で開発材料を使用し、AZ91D マグネシウム合金と比較した結果、不良の発生が抑制され、良品率 92.1%まで向上することを確認した。

## ②レーザハイブリッド表面処理技術の開発

陽極酸化処理とレーザ加工をハイブリッド化し、安定した導通性と優れた耐食性の両者を有する表面加工技術の確立を目ざし、レーザ加工条件と導通性および耐食性の関係を調べた。その結果、目標値である導通性が初期において  $0.5\Omega$  以

下、恒温恒湿試験 240 時間後において導通性が  $0.5\Omega$  以下を達成した。また、耐食性について、塩水噴霧サイクル試験（8 時間噴霧×16 時間休止×3 サイクル）後、表面抵抗値  $1\Omega$  以下を達成した。なお、本開発技術は、リサイクル材に対しても目標値をクリアした。

### ③着色表面処理技術の開発

表面処理皮膜の形態を電解条件により精密に制御するとともに、アルミニウム合金でのアルマイト処理皮膜の染色をベースに、マグネシウム合金への均一な着色技術を検討した。その結果、適切な電解条件および前処理を行うことにより、均一な着色を得ることができた。また、着色した表面の耐食性は、化成処理のそれと同等以上の防錆能を示した。

### ④難燃耐熱合金用表面処理の開発

輸送機器部材への適用に際して、マグネシウム合金の燃焼性が危惧され、これに対応する材料開発が進められており、その多くは既存の合金に Ca など特定の金属を添加したものであるが、その添加金属が表面処理性に悪影響を及ぼし、耐食性が低下することが確認されている。

難燃耐熱合金に対して開発した特殊前処理と陽極酸化処理を行うことで、目標値である塩水噴霧試験による耐食性 500 時間を達成した。なお、本開発技術は堀金属表面処理工業（株）および岡山県工業技術センターと共同で特許出願を行った。また、Y 等の希土類添加合金に対する耐食性の付与を目指し検討した。その結果、一部の希土類添加合金について、難燃性マグネシウム合金で開発した特殊前処理を適用することで目標値の塩水噴霧試験による耐食性 500 時間以上を達成した。

### ⑤耐摩耗性表面処理皮膜の開発

輸送機器の摺動部位への適用に際しては、処理皮膜への耐摩耗性が要求されている。そこで、耐摩耗性に優れた表面処理皮膜を開発するため、現行の直流電解に対し、交流やパルス電解による皮膜の緻密化を図った。その結果、皮膜の硬さが  $100\text{HV}$  から  $140\text{HV}$  へと硬質化するとともに、表面も平滑化し、目標値以上の成果が得られた。また、表面に PTFE 粒子を固定化させることで摩擦係数を低減させることができ、目標値を達成した。さらにレーザークリーニングを施したリサイクル材を基材とした結果、従来の AZ91D 材と同様、目標値を達成することができた。

### ⑥リサイクルシステムの構築

現在、マグネシウム製品の市中屑の大部分は廃棄されているが、この要因としては、市中屑の表面に有機物が強固に付着し、分離・除去が困難なためである。表面に有機物が付着したままでは溶解時に有機物が気化し、爆発を誘引する。仮に溶解できたとしても、マグネシウム合金と有機物の比重は同程度で、溶解時に分離が困難なため、鋳造品の歩留まりおよび品質の低下を招いてしまう。

前年度までの研究により、レーザにより不純物を完全に除去した市中屑マグネシウム合金は、バージン材と同等の性能を有することが分かった。

今年度は、レーザ処理スピードを上げることで、リサイクルに要する原価を低減することを試みた。また、薄型成形技術の確立のテーマを研究していく中で、添加したカーボンブラックの官能基がマグネシウム合金の耐食性に悪影響を与えることも分かってきた。そこで、表面に固着した焼付油をレーザクリーニングのみで完全に除去するのではなく、官能基を分解除去できるレベルのレーザクリーニングを行い、溶解精錬によるクリーニング効果を加えて、市販材と同等性能になるように試みた。

この方法による市中屑エンジンカバースクラップ品を再溶解・鋳造した結果、得られたインゴットの化学組成は、規格値を満足し、耐食性も市販材と同程度であった。さらにそのインゴットを切削しチップ化したものを射出成形した成形品の力学的強度と表面処理品の耐食性は、市販材と同等の性能を有し、今年度の目標を達成した。

なお、市中屑マグネシウム合金をレーザ処理したりサイクルマグネシウムを用いて、各研究テーマの材料として使用したところ、全てのテーマにおいて、市販品と同等の結果が得られた。

#### 1-5 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人岡山県産業振興財団 技術支援部 研究開発支援課長 横田 尚之  
TEL 086-286-9651 FAX 086-286-9676 E-mail [nyokota@optic.or.jp](mailto:nyokota@optic.or.jp)

## 第2章 全体総括

平成22年から24年にわたり、「フォトニクスを用いた高性能マグネシウム製品のクロード製造プロセスの創成」について、参画機関が連携し、研究開発を推進した。その全体概要は以下の通りである。

### ①薄型成形技術の確立

既存材料であるAZ91Dマグネシウム合金組成をベースとし、新たな軽元素としてカーボンを追加した合金設計を行い、成形時の歩留まりおよび製品の強度特性の向上を図った結果、既存材料であるAZ91Dマグネシウム合金と比較し、機械的性質（0.2%耐力規格値の20%以上、伸び50%以上）が向上し、湯流れ性についても、従来プロセスと同じ条件と比較し、大幅に向上することを明らかにした。

本開発技術は、新規性もあることから、特許出願を行い、日本での特許が成立した。（日本国特許第5137049号）また、同時にPCT出願も行い、現在、中国および韓国に対して早期審査請求を行っている。

なお、本開発技術に対して家電大手メーカーからは、開発合金の世界初採用を希望され、一日でも早く商品化したいとの要望をいただいた。本サポインにおいて開発された合金は、今年中に事業化の見込みがあると思われる。

### ②レーザハイブリット表面処理技術の開発

陽極酸化処理とレーザ加工をハイブリッド化し、安定した導通性と優れた耐食性の両者を有する表面加工技術の確立を目ざし、レーザ加工条件と導通性および耐食性の関係を調べた結果、目標値である導通性が初期において $0.5\Omega$ 以下、恒温恒湿試験240時間後において、導通性が $0.5\Omega$ 以下を達成した。

今後、実用化に向けて加工コストに大きく影響する加工速度は、極力装置ステージを動かさないで加工する方法の検討および装置ステージの制御方法を含め位置決め速度を向上させる必要があることが明らかとなった。

本研究を通し確認された課題を解決し、現在、引き合いの在る通信機器、情報機器、光学機器、映画制作機器等の筐体について、顧客が要求する性能・コストを満足させ、早急に事業化を図って行く予定である。

### ③着色表面処理技術の開発

表面処理皮膜の形態を電解条件により精密に制御するとともに、アルミニウム合金でのアルマイト処理皮膜の染色をベースに、マグネシウム合金への均一な着色技術を検討した結果、適切な電解条件および前処理を行うことにより、均一な着色を得ることができた。

本開発技術に対して、現在も複数のメーカーよりこの着色技術に興味を持って頂き、試作開発依頼がきている。その顧客が望む外観の着色を実施して行き、更なる安定化および量産化へと繋げていく予定である。

### ④難燃耐熱合金用表面処理の開発

難燃耐熱合金に対して開発した特殊前処理と陽極酸化処理を行うことで、目標値である塩水噴霧試験による耐食性 500 時間を達成した。

本開発技術に対して、現在、複数のメーカーより試作開発依頼がきており、また、一部、実用化に向けた認定も終了しているパーツもある。輸送機器産業において、需要の増大が見込まれる難燃性マグネシウム合金に対する高耐食性表面処理技術として、今後、その重要性がますます高まってくるものと推測される。

#### ⑤耐摩耗性表面処理皮膜の開発

輸送機器の摺動部位への適用に際しては、処理皮膜への耐摩耗性が要求されており、耐摩耗性に優れた表面処理皮膜の開発を試みた結果、従来品よりも摩擦係数を 30%以上、摩耗量 20%以上低減することができた。

本開発技術に対して、現在、複数のメーカーより試作開発依頼がきており、掘金属表面処理工業において、対応している。今後、事業化が十分に期待できるものと思われる。

#### ⑥リサイクルシステムの構築

レーザクリーニング技術を適用し、マグネシウム市中屑から表面に付着した有機物を分離・除去し、溶解・鑄造→チッピング→成形・加工→表面処理・塗装までのリサイクルシステムの可能性を検討した結果、市中屑マグネシウム合金をレーザ処理したリサイクルマグネシウムを用いて、各研究テーマの材料として使用したところ、全てのテーマにおいて、市販品と同等の結果が得られた。

なお、本技術の実用化には、市中屑の回収費用が大きな障害となることが予想される。現在、マグネシウム合金の市場価格約 300 円/kg であるのに対して、回収費用だけで市場価格を上回るという問題点がある。今後、リサイクルシステムを実用化するためには、リサイクルに関する法整備も含め、行政の支援が重要と思われる。