

平成 2 2 年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「環境・コスト低減に対応した、光輝性アルミニウム合金鋳物製造技術の開発」

## 研究開発成果等報告書

平成 2 3 年 3 月

委託者 中国経済産業局

委託先 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 -
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 .....	- 1 -
1-2 研究体制 .....	- 3 -
1-3 成果概要 .....	- 7 -
1-4 当該プロジェクト連絡窓口 .....	- 8 -
第 2 章 本論 .....	- 9 -
2-1 光輝性を有する新規アルミニウム合金の開発 .....	- 9 -
2-2 新規アルミニウム合金の鑄造技術の開発 .....	- 13 -
2-3 新規アルミニウムの熱処理技術の開発 .....	- 17 -
2-4 新規アルミニウム合金の鏡面加工技術及び表面処理技術の開発 .....	- 18 -
最終章 全体総括 .....	- 23 -

## 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) 研究の目的

現在、自動車用鋳造アルミホイールでは、大口径化によるエクステリアや高強度・高靱性の薄肉軽量化を図るため、アルミニウム合金鋳物 Al-Si-Mg に熱処理を施した AC4CH-T6 材に光輝性に優れる装飾用クロムめっきを施したアルミホイールが使用されているが、めっき工程によるコスト高と環境負荷物質の使用が問題となっている。本研究では、自動車用鋳造アルミホイールにおいて、従来よりも高強度・高靱性且つめっきに代わる機械的及び物理的の表面加工による光輝処理が可能な新規材料を開発するとともに、製造プロセスを確立し、環境配慮、低コスト、軽量化を実現することを目的とする。

#### 2) 研究の概要

現在、自動車用鋳造アルミホイールは、自動車産業が最重要課題としている車体の軽量化に貢献してきたが、近年、アルミホイールはファッション性の向上や自動車の高出力化・大型化に伴い、大口径化が進んでいる。そのため、乗用車用ではさらなる高強度化・高靱性化・軽量化が強く要求されている。一方、アルミホイールは自動車のエクステリアの印象を際立たせるのに効果的であり、特に装飾用クロムめっきを施した光輝性に優れるアルミホイールのニーズが高い。

しかし、アルミニウム合金は難めっき素材として、複雑なめっき工程によるコスト上昇、膨れ・ザラ・ブツ・変色などの外観不良による不良率の上昇(2割以上)を招いている。また、めっき工程ではシアン加工物や6価クロムなどの有害物質が使用され、めっき処理が施された製品をリサイクルする場合、不純物の混入を防ぐため、めっき皮膜を完全に剥離しないと再び使用することができない。めっき剥離工程は、500℃程度の高温雰囲気中で保持するため、エネルギー等環境にも大きな負荷となる。環境保護の観点からリサイクル性の改善が要求されている。

鋳造アルミニウム合金の鋳肌面を湿式バフ研磨(加工液をかけながら、皮や毛、樹脂などの柔軟材を回転させながら加工物の表面に押し付ける研磨方法。)すると、光輝性のある表面を得ることができるが、表面の光輝性はアルミニウム合金のタイプで異なる。ケイ素(Si)を7%程度含有した現状のアルミニウム合金鋳物 Al-Si-Mg (以下、AC4CHとする。)合金では、硬い析出物によってめっきと同等の光輝性は得られない。一方、Al-Mg 系合金は、アルミニウム合金の中でも優れた研磨性を有しており、研磨後めっきとほぼ同等の光輝性に優れた表面を得ることができ、めっき処理を省くことが期待できる。アルミニウム合金鋳物用 Al-Mg 系材料(以下、AC7Aとする。)(次表②)で試作鋳造を行った結果、研磨後めっきに近い光輝性を得ることができた。しかし、課題として機械的性質においては、靱性(伸び)は高いものの、強度(引張強さ・硬度)が低く、難鋳造性であることが判明している。

この課題を解決するため、AC7A 材をベースに亜鉛(Zn)を添加した Al-Mg-Zn 合金(次表③)を試作鋳造し、AC7A 材との比較を行った結果、強度(引張強さ・硬度)と靱性(伸び)において AC7A 材より高い値を得ることができた。しかし、従来の AC4CH 材(次表①)と比較す

ると靱性はすぐれているものの、強度が劣っているため、さらなる強度向上が必要である。なお、鑄造性への亜鉛(Zn)添加の影響は明らかではないが、亜鉛(Zn)は低融点金属であることから、溶湯の流動性を向上させる作用を有すると考えている。

上記より、本研究では Al-Zn-Mg 系合金をベースとした次表④の性能を満たすめっきフリーアルミホイールを開発する。

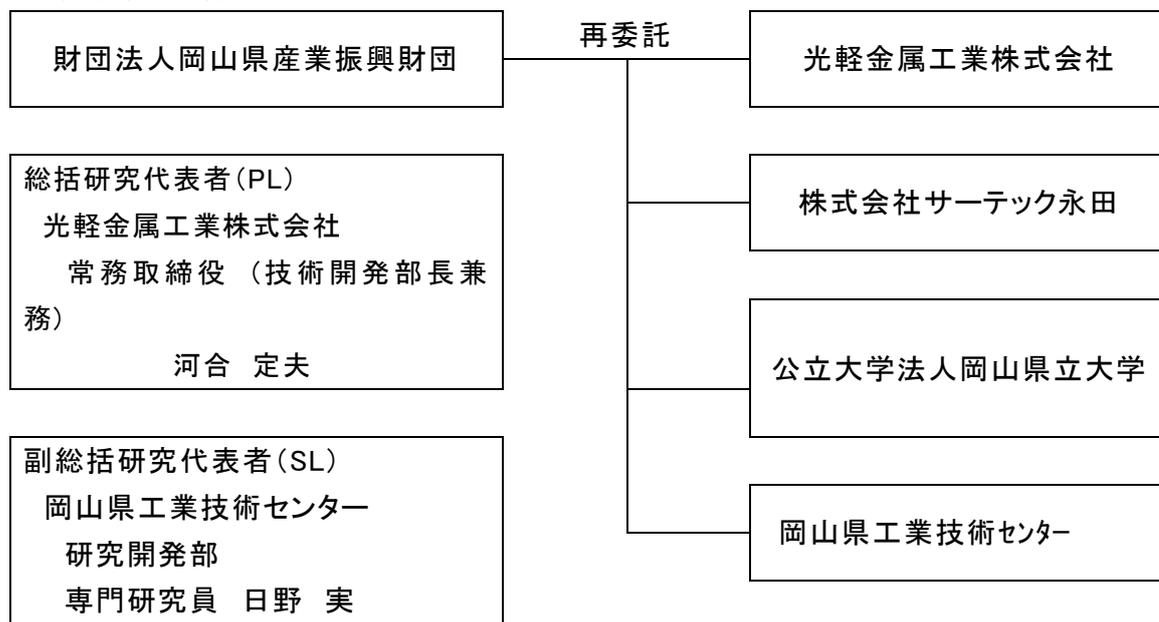
表. 従来と新技術のアルミホイール性能比較(新技術最終目標値は平成 22 年度までに実現)

	①従来(AC4CH-T6材、表面めっき処理)	②AC7A-F材	③先導研究 Al-Zn-Mg系合金 (Zn1%)	④新技術最終目標値 (Al-Zn-Mg系開発合金)
環境負荷物質使用	あり(シアン化合物、硼酸、6価クロム)	環境負荷物質の使用なし	環境負荷物質の使用なし	環境負荷物質の使用なし
製造コスト	—	—	—	めっきフリー、品質向上、原材料コスト低減で従来比30%以上低減
機械的性質	引張強さ:240N/mm <sup>2</sup> 以上 耐力:190 N/mm <sup>2</sup> 硬度 :HB 約 80	引張強さ:190N/mm <sup>2</sup> 硬度 :HB53	引張強さ:230 N/mm <sup>2</sup> 硬度 :HB63	引張強さ:250N/mm <sup>2</sup> 以上 耐力:190 N/mm <sup>2</sup> 以上 硬度 :HB 約 80
	伸び :約 5%	伸び :9%	伸び :12%	伸び :8%以上
光沢度	590% (基準片比) 市販めっき光沢ではトップレベル	目視にてめっきに近い光輝性が得られる	目視にてめっきに近い光輝性が得られる (②と同等の光輝性)	590%以上 (基準片比) 従来 AC4CH-T6材めっき仕様と同レベル
耐食性	塩水噴霧 240 時間 腐食なし	—	—	塩水噴霧 240 時間腐食なし

## 1-2 研究体制

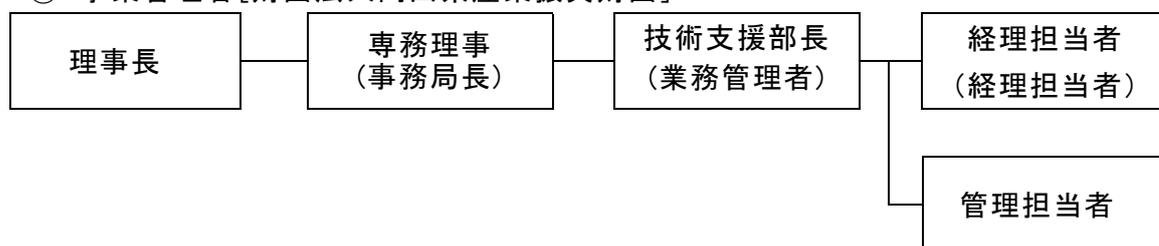
### (1) 研究組織及び管理体制

#### 1) 研究組織(全体)



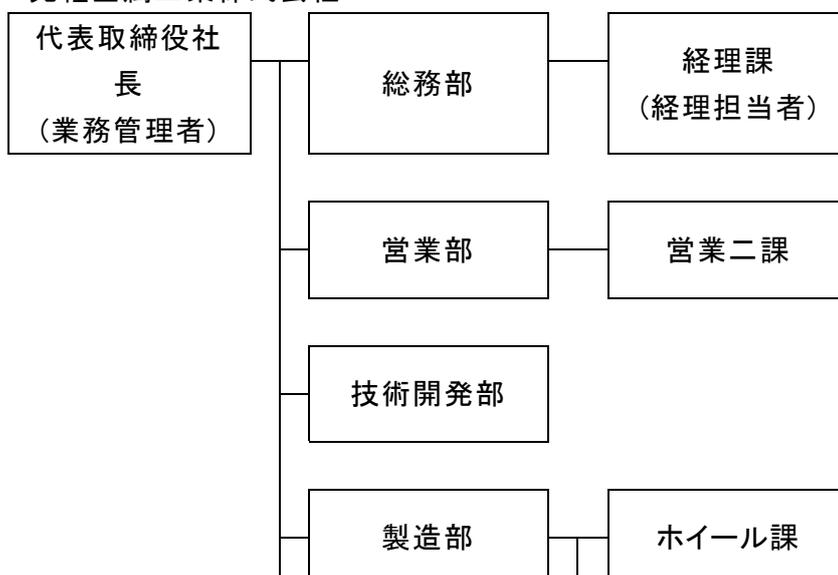
#### 2) 管理体制

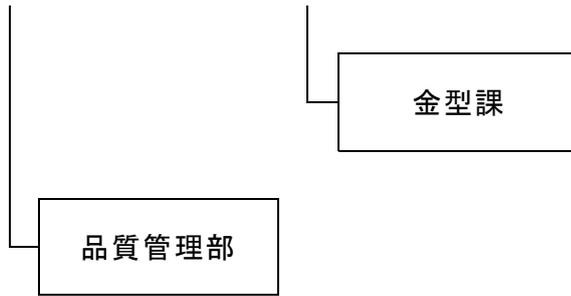
##### ① 事業管理者[財団法人岡山県産業振興財団]



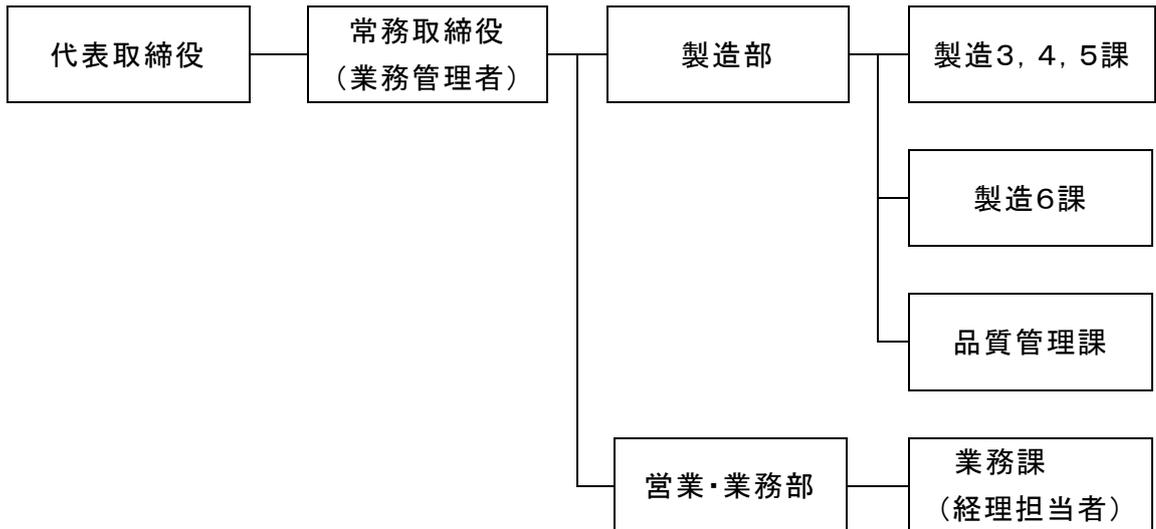
##### ②(再委託先)

#### 光軽金属工業株式会社

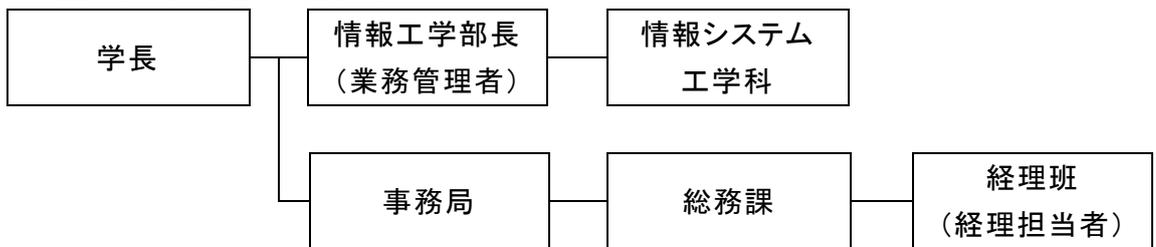




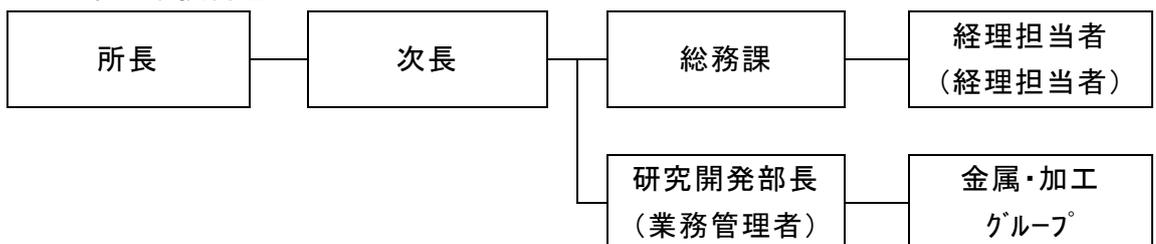
株式会社サーテック永田



公立大学法人岡山県立大学



岡山県工業技術センター



## (2) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人岡山県産業振興財団

## ①管理員

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
深井 康光	技術支援部 部長	⑥
横田 尚之	技術支援部 研究開発支援課 課長	⑥
宮内 隼	技術支援部 研究開発支援課 主事	⑥
三竿 真紀	技術支援部 研究開発支援課 主事	⑥

## 【再委託先】

光軽金属工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
河合 定夫	常務取締役 (技術開発部 部長兼務)	① ② ③ ④ ⑤
金築 秀樹	技術開発部	① ② ③ ④ ⑤
藤岡 和成	品質管理部 課長	① ② ③ ④ ⑤
渡邊 一正	製造部 ホイール課	① ② ③ ④ ⑤
木村 豊	製造部 ホイール課 課長	① ② ③ ④ ⑤
内田 金一	製造部 ホイール課	① ② ③ ④ ⑤
重康 秀行	品質管理部 主任	① ② ③ ④ ⑤
大藤 晃久	営業部 営業二課 主任	① ② ③ ④ ⑤
福本 光輝	製造部 ホイール課 主任	① ② ③ ④ ⑤
戸牧 宏文	製造部 ホイール課 班長	① ② ③ ④ ⑤
青井 源明	製造部 金型課	① ② ③ ④ ⑤
山本 隆行	製造部 ホイール課	① ② ③ ④ ⑤

株式会社サーテック永田

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
永田 教人	常務取締役	① ④ ⑤
永田 靖人	製造部 品質管理課	① ④ ⑤
松原 行男	製造部 部長	① ④ ⑤
角中 義彦	製造部 製造3, 4, 5課 主任	① ④ ⑤
戸田 伸一	製造部 製造6課	① ④ ⑤
高田 義信	製造部 製造6課リーダー	① ④ ⑤
井端 千恵	製造部 品質管理課	① ④ ⑤

公立大学法人岡山県立大学

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
尾崎 公一	情報工学部 情報システム工学科 教授	① ② ③
福田 忠生	情報工学部 情報システム工学科 准教授	① ② ③

岡山県工業技術センター

氏名	役職・所属	実施内容(番号)
日野 実	研究開発部 専門研究員	① ③ ④ ⑤
國次 真輔	研究開発部 研究員	① ③ ④ ⑤
村岡 賢	研究開発部 研究員	① ③ ④ ⑤
村上 浩二	研究開発部 研究員	① ③ ④ ⑤

水戸岡 豊	研究開発部 技師	① ③ ④ ⑤
-------	----------	---------

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理者】

財団法人岡山県産業振興財団  
 (経理担当者) 技術支援部 研究開発支援課 主事 宮内 隼  
 (業務管理者) 技術支援部 部長 深井 康光

【再委託先】

光軽金属工業株式会社  
 (経理担当者) 総務部 経理課長 津久井 正浩  
 (業務管理者) 代表取締役社長 鴻上 光宣

株式会社サーテック永田  
 (経理担当者) 営業・業務部 業務課 高塚 美佐  
 (業務管理者) 常務取締役 永田 教人

公立大学法人岡山県立大学  
 (経理担当者) 総務課 経理班 班長 藤井 雅男  
 (業務管理者) 情報工学部 学部長 渡辺 富夫

岡山県工業技術センター  
 (経理担当者) 総務課 主任 赤木 広美  
 (業務管理者) 研究開発部 部長 光石 一太

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

研究推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考
河合 定夫	光軽金属工業株式会社 常務取締役	PL
日野 実	岡山県工業技術センター 研究開発部 専門研究員	SL
永田 教人	株式会社サーテック永田 常務取締役	
尾崎 公一	公立大学法人岡山県立大学 情報工学部 情報システム工学科 教授	
薄田 茂	三菱自動車工業株式会社 技術開発本部 材料技術部	アドバイザー
田中 裕久	株式会社ワーク 企画部 開発1課 課長	アドバイザー
金谷 輝人	岡山理科大学 教授	アドバイザー

### 1-3 成果概要

本研究開発により、次のような成果を得ることができた。

#### 成果の総括

本研究では、鏡面加工後の光輝性に優れた AC7A 材 (Al-Mg 系合金) をベースに、自動車用アルミホイールに最適な機械的性質を得ることと優れた光輝性を維持することを目的に Zn を添加した Al-Zn-Mg 系の新規アルミニウム合金開発に取り組み、鑄造、熱処理、鏡面加工及び表面処理技術の基礎研究を進めてきた。

その結果、平成 21 年度までの研究で新合金の機械的性質は目標をクリアし、アルミホイール強度規格試験も合格した。このことから、事業化への方向性は正しいといえる。一方、課題もあり、平成 22 年度は事業化を見据え、平成 21 年度までの成果を基に下記の点を優先的に取り組んだ。

- ①生産性を考慮した鑄造条件の確立と熱処理条件の選定。
- ②耐応力腐食割れ性の検証
- ③光輝性を低下させない鏡面研磨及び陽極酸化技術の確立

①について、熱処理条件は 3~4 時間の時効処理が可能であることが検証できた。一方、鑄造サイクルタイムは、目標 5 分以下としていたが、結果は 5 分 24 秒であった。しかし、従来の 8 分~10 分サイクルと比較すると大幅改善ができた。事業化へ向けて、さらなる生産性向上が課題である。

②について、開発材の水素脆性による腐食試験を行った結果、170MPa 以下の設計応力にする必要があることがわかった。本開発のアルミホイールは、(株)ワーク田中氏によれば、余裕をもって設計してあるので問題は無いとの見解であったが、安全性や軽量化を考慮すると耐腐食性向上は事業化に向けての課題である。

③について、開発材の新しい電解研磨と陽極酸化処理技術により、めっきと同等以上の光輝性を得ることができた。今後は、事業レベルでの電解研磨と陽極酸化処理技術の向上が課題である。また、鏡面研磨コストを下げるために電解研磨技術の向上は今後の課題である。

#### (1) 光輝性を有する新規アルミニウム合金の開発

実施内容	目標	結果
・溶湯流動性評価	AC4CHと同等以上	○ (溶湯吸引により)
・機械的性質評価	引張強さ: 250N/mm <sup>2</sup> 以上 耐力: 190N/mm <sup>2</sup> 以上 伸び: 8%以上 硬度: HB約80(Hv約85)	◎約300N/mm <sup>2</sup> ◎約210N/mm <sup>2</sup> ◎約10% ◎ Hv100~110
・鑄物健全性評価	有害な欠陥無し	◎(湯流れ改善)
・研磨後の光沢度評価	基準片比590%以上	◎ 688%
・耐食性評価	表面処理後塩水噴霧240時間クリア	◎ 240時間 (陽極酸化+塗装)
・アルミホイール疲労強度評価	自動車用軽合金アルミホイール試験規格に合格	◎合格 JWL+マーク基準
・耐応力腐食割れ性	従来材AC4CH-T6と同等以上	○ 170N/mm <sup>2</sup> 以下

(2) 新規アルミニウム合金の鑄造技術の確立

内容	目標	結果
新規アルミニウム合金の物性値を用いた鑄造シミュレーション	実鑄造との整合	◎(整合済)
アルミホイール構造解析による強度予測	解析による強度予測実施	◎(回転曲げ試験による解析)
鑄造方案・鑄造条件の確立	鑄造サイクルタイム 5分/個 以下	△ 324秒
鑄造シミュレーション精度向上の取組み	欠陥予測と実鑄造の精度向上	◎ (予測精度向上)

(3) 新規アルミニウム合金の熱処理技術の開発

内容	目標	結果
熱処理時間・温度等の条件によるミクロ組織観察及び機械的性質・応力腐食割れ性評価	項目(1)と同じ	項目(1)の通り

(4) 新規アルミニウム合金の鏡面加工技術の開発

内容	目標	結果
特に人件費のコストを抑えるため、機械的なバフ研磨⇒電解研磨の検討	光沢度基準比 590%以上	◎688%
電解研磨の条件確立及び光沢性評価	光沢度基準比 590%以上	◎688%

(5) 新規アルミニウム合金の表面処理技術の開発

内容	目標	結果
陽極酸化処理後の光沢性・耐食性評価	光沢度基準比 590%以上 塩水噴霧試験240時間腐食無し	◎ 光沢度688% 240時間 (陽極酸化+塗装)
光輝性低下しにくいクリア塗装技術及び塗装欠陥低減技術の開発		
AC4CH材と新規アルミニウム合金のめっき性比較	めっき性評価の実施	◎ (AC4CH材より良好)

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

管理法人：財団法人岡山県産業振興財団

〒701-1221 岡山市北区芳賀 5301 テクノサポート岡山 3F

連絡担当者名・所属役職：技術支援部 研究開発支援課 課長 横田 尚之

TEL：086-286-9651 FAX：086-286-9676

E-mail：nyokota@optic.or.jp

## 第2章 本論

### 2-1 光輝性を有する新規アルミニウム合金の開発

#### 1. 自動車用アルミホイール規格試験 (JWL 試験+㈱ワーク自主基準) 実施における新規アルミニウム合金の検証

##### 1.1 試験方法及び条件

本開発において、新規アルミニウム合金が自動車用アルミホイール規格試験に合格するのに十分な機械的性質を確保することは最優先の課題である。本節では、新規アルミニウム合金で鋳造した自動車用アルミホイールについて、実際に規格試験を実施し合格するかどうかを検証する。

規格試験は以下の3点について実施する。3点すべてクリアして合格となる。

- ①回転曲げ疲労試験
- ②半径方向負荷耐久試験 (ドラム試験)
- ③13° 衝撃試験

##### 1.2 規格試験結果

表1に19インチディスクホイール(スポークタイプ)の規格試験結果を示す。強度試験は、JWL 基準より過酷な㈱ワーク自主基準において合格であった。

表1 19インチディスクホイール規格試験結果

材料	ディスクホイール性能		
	回転曲げ	負荷耐久	衝撃
Al-Mg4.5%-Zn3.5%-T6 Ti-B Be添加	合格	合格	合格 (締付ボルト合格)

## 2. 水素脆性に関する検討

### 2.1 はじめに

自動車用アルミ部品において、融雪剤を含む水との反応により生成した水素が材料内部に拡散し、脆性破壊を引き起こす事例がある。本研究対象であるアルミホイールは外装部品であり、寒冷地では融雪剤との接触は避けられないので、開発材の水素脆性特性を調査する必要がある。本節では、食塩水による腐食環境下で水素脆性試験を行い、水素脆性が生じない応力レベルを確認し、設計に有用なデータを得る。

### 2.2 実験方法および条件

図1に実験に使用した2種類の試験片形状を示す。舟形試験片の中心部より平滑試験片を、周辺部よりノッチ付試験片を切り出し、試験に用いた。図2に試験装置を示す。試験

片をガーゼで覆い，ガーゼには 1 日に 2 回，1%NaCl 水溶液を噴霧し，湿らせた．また，水素脆性試験に先だって引張試験を行い，測定された初期断面積基準の引張強さの 70%を試験応力とした．

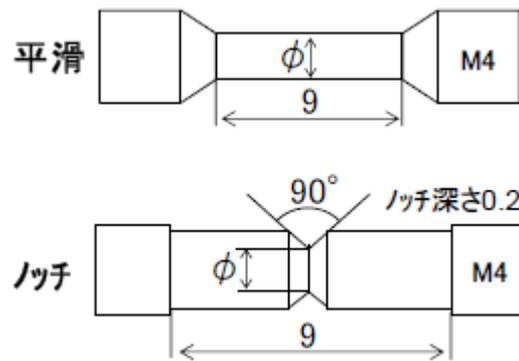


図 1 試験片形状

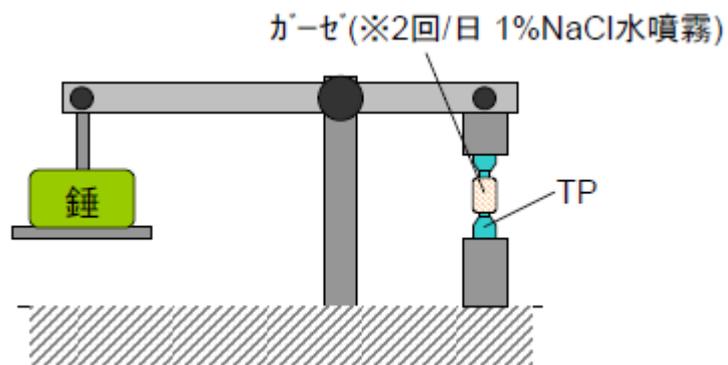


図 2 試験装置

### 2.3 水素脆性試験結果

図3に水素脆性試験結果を示す。応力比0.7で試験を行ったところ、現行材であるAC4CHに関しては、平滑試験片、ノッチ付試験片共に15日までに破損は生じなかった。これに対し開発材に関しては、平滑試験片は15日間破損が生じなかったが、ノッチ付試験片は5日で破断した。すなわち、開発材は従来材に比べて水素脆性の影響を受けることが判明した。次いで、応力比を0.6, 0.5, 0.4に低下させ、開発材のノッチ付試験片の実験を行った。その結果、応力比0.6では12日、0.5では15日で破損するが、0.4では15日以上破損しないことが分かった。この結果から、開発材が腐食環境下で水素脆性を起こさないためには、170MPa以下の設計応力とする必要があることが判明した。

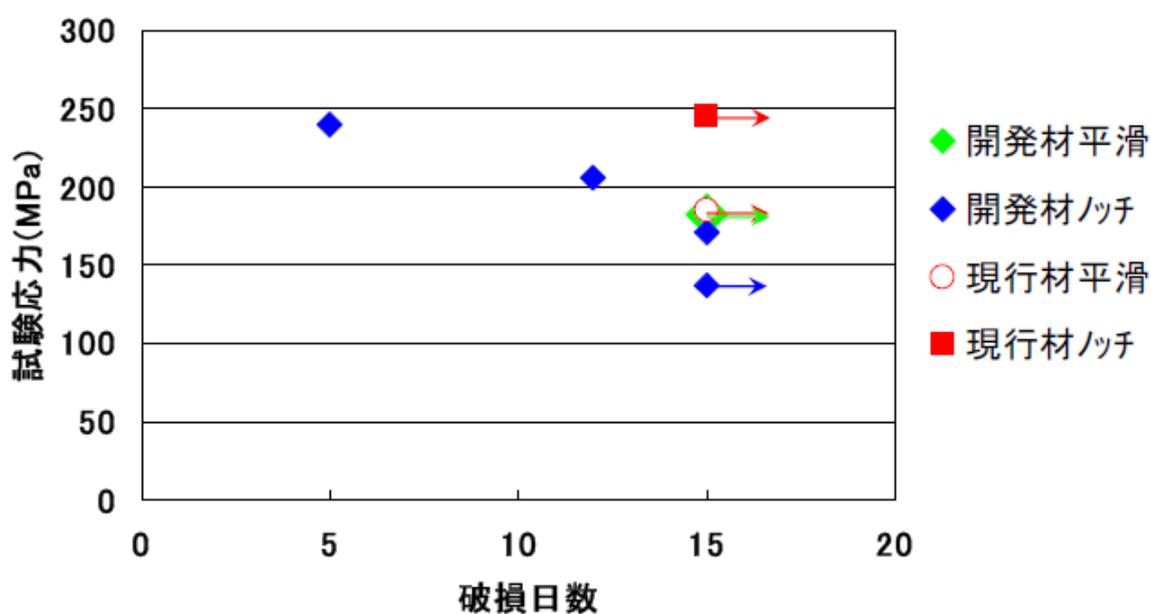


図3 水素脆性試験結果

図4にノッチ付試験片の破面観察結果を示す。従来材の引張試験破面にはディンプルが観察され、延性破壊していることが分かる。一方、開発材の引張試験破面に着目すると、表面付近ではへき開破壊が、中央部では粒界破壊が延性破壊と共存していることが分かる。また、開発材の水素脆性破面では、破壊の起点付近では粒界破壊が支配的となっており、水素により結晶粒界が脆化したものと考えられる。なお、水素脆化のメカニズムと対策については、今後も検討の必要がある。

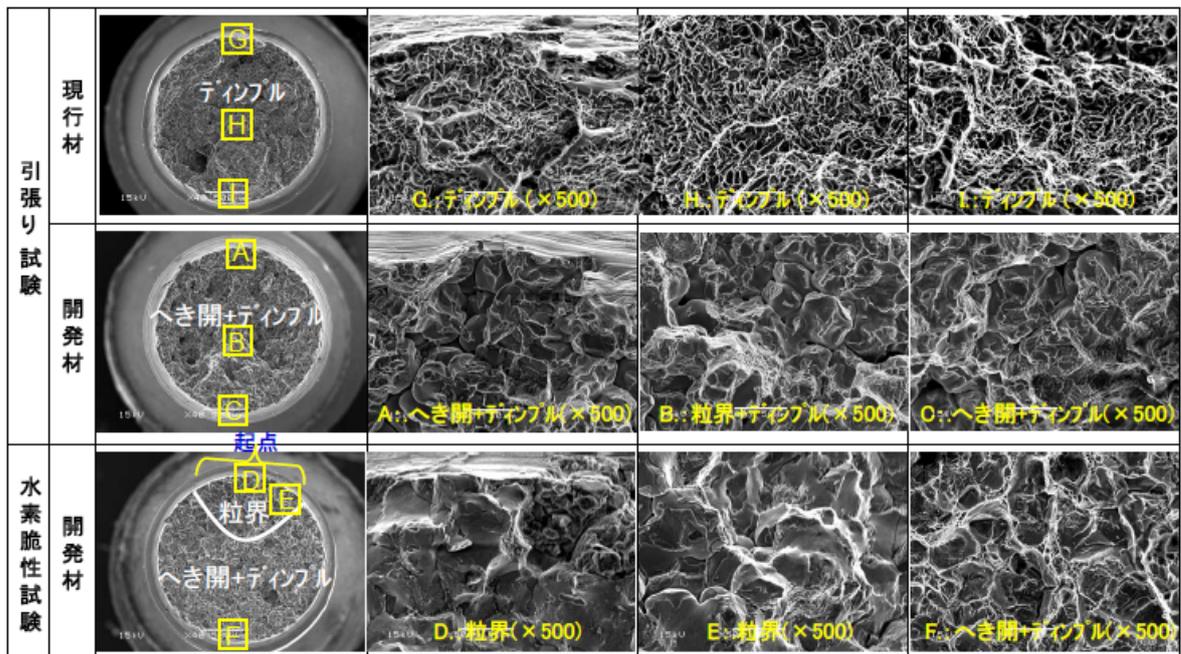


図4 破面観察結果

## 2.4 まとめ

従来材（AC4CH）および開発材の水素脆性試験を行い、以下の結果を得た。

- (1) 開発材の水素脆性は従来材に比べて顕著である。
- (2) 開発材の設計応力は170MPa以下に設定する必要がある。

## 2-2 新規アルミニウム合金の鑄造技術の開発

### 1. 量産体制での鑄造条件の研究

#### 1.1 はじめに

量産体制の鑄造条件の研究を実施する目的は、以下の通りである。

- (1) 鑄物品質の向上(機械的性質、耐食性向上、欠陥防止等)
- (2) 鑄造サイクルタイム短縮による生産性の向上

この2点を満たすためには、鑄造時のアルミ冷却速度を上げることが必要である。上記2点の目的を達成するために、金型冷却能力の向上に取り組んだ。

#### 1.2 新水冷式金型冷却による金型冷却能力向上

金型重力鑄造の金型冷却は、エアー及びミスト冷却式より水冷式が効果的。

新水冷金型冷却方式を用いてアルミホイールの鑄造を行い、エアー+ミスト式の従来冷却の鑄物と比較した。

鑄造サイクルタイムの比較を、表2に示す。新水冷式金型冷却による水冷式にすることで、鑄造サイクルが従来の約2/3となり、大きな生産性向上となった。また、図5にサーモグラフィーによる金型温度分布測定結果を示す。新水冷式金型冷却により、大きな冷却効果が得られ、組織の微細化、サイクルタイム短縮効果があることがわかる。

表2 鑄造サイクルの比較

	従来工法	本研究量産工法	本研究試作(参考)
金型内部冷却	エアー+ミスト	新水冷式	新水冷式
サイクルタイム	8~10分	5分24秒	5分35秒

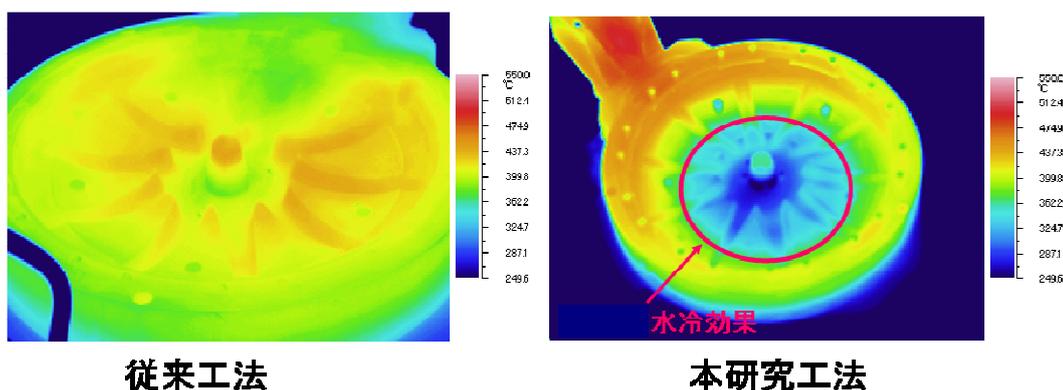


図5 サーモグラフィーによる金型温度分布

#### 1.3 アルミホイールの組織観察

全体の組織が見えるマクロ組織観察、細部を見るミクロ組織観察を行った。

図6にマクロ組織観察結果、図7にミクロ組織結果を示す。

マクロ組織は、新水冷式冷却の方が従来のミスト冷却よりも、極めて細かい。新水冷式

冷却の方が、それだけ冷却能力が高いと言える。

マクロ組織より細部を見るミクロ組織観察では、新水冷式冷却が、組織が細かく、冷却能力が高いことを示している。

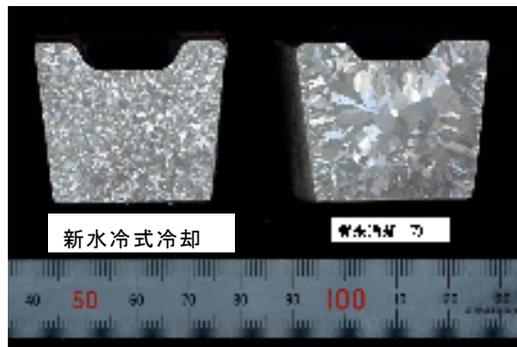


図6 マクロ組織写真

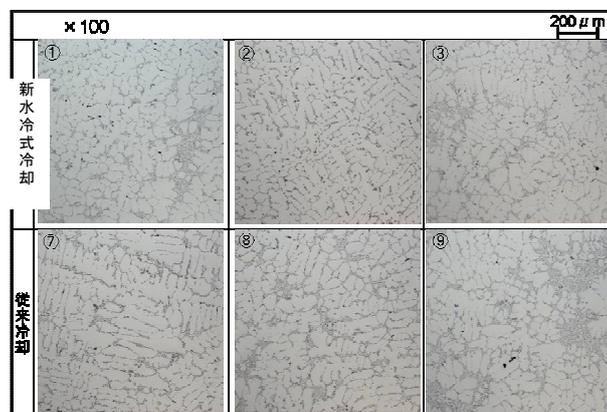


図7 ミクロ組織写真

## 2. 試作ホイールの応力解析

### 2.1 はじめに

水素脆性に関する検討では水素脆性の観点から設計応力を検討し、170MPa 以下にする必要があることが分かった。本節では、試作ホイールの回転曲げ試験を模擬した FEM 解析を行い、ホイールに生じる応力について検討した。

### 2.2 解析モデル

図8に解析モデルを示す。対称性を考慮した解析で最大応力が評価可能なことから、図8に示すように1/2モデルとし、切断面には対称条件を与え、リムの車体側を完全拘束した。荷重は  $F' = 2.5\text{kN}$  とし、図中上向きに与えた（図3-3の  $\theta = 270^\circ$  の方向）。

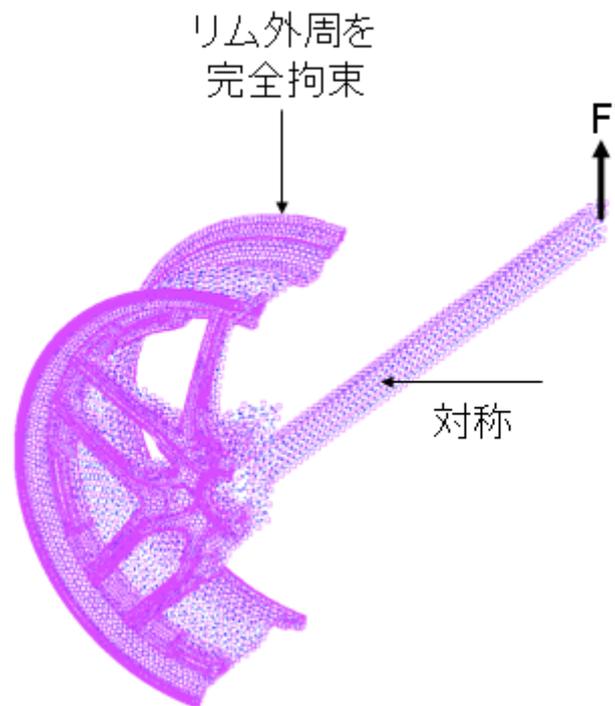


図8 リム付き解析モデル

### 2.3 解析結果

解析結果を図9に示す。同図において、局所的な節点に高い応力は観察されず、良好な解析結果が得られた。また、最大ミーゼス応力は175MPaであり、0.2%耐力の目標値とした200MPaよりは小さいが、第2節で得られた水素脆性を考慮した設計応力170MPaよりは若干高い値となった。アドバイザーの(株)ワーク 田中氏のコメントでは、回転曲げ試験の負荷モーメントにはかなりの余裕を見込んでいるとのことであり、過酷な腐食環境下以外では試作ホイールは安全と思われる。しかし、多種多様な環境下での安全性を確保するには、最大応力を低めに押さえた形状とすることが望ましい。

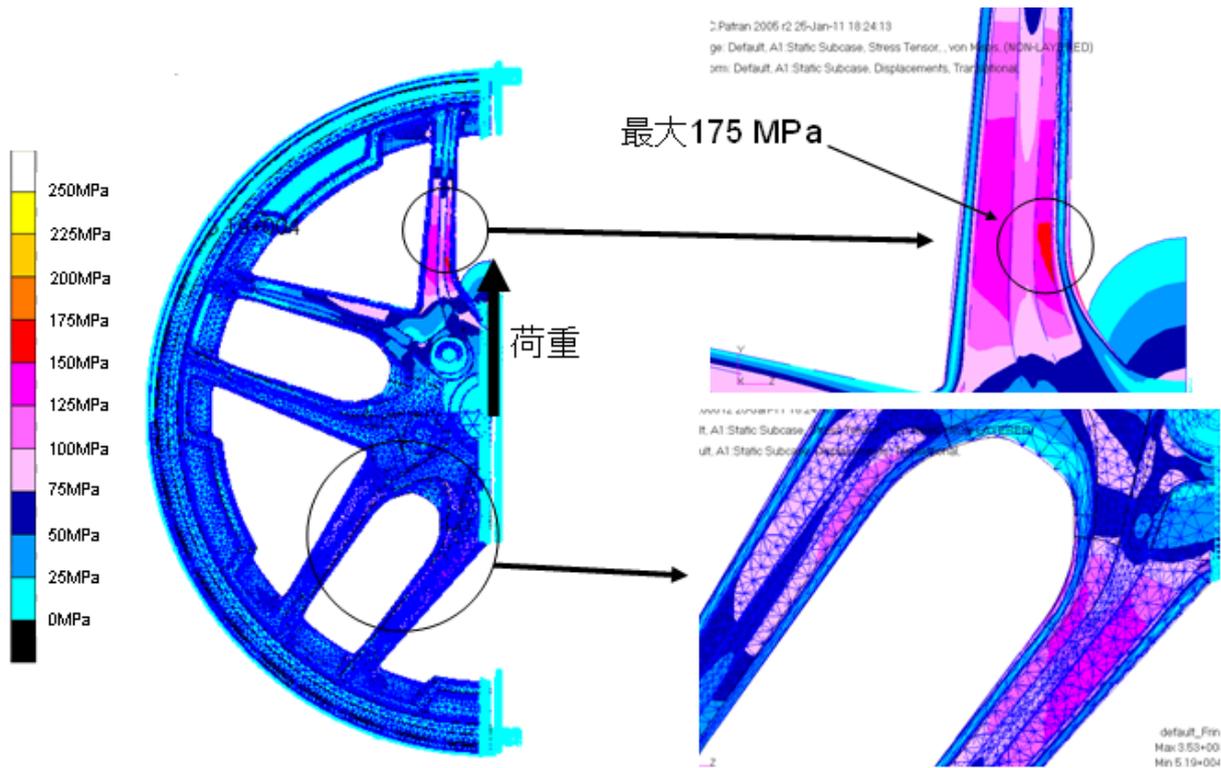


図9 リム付きモデルのミーゼス応力分布

## 2.4 まとめ

試作ホイールの応力解析を行い、以下の結果を得た。

- (1) 最大ミーゼス応力は 175MPa であり、0.2%耐力の目標値とした 200MPa よりは小さいが、水素脆性を考慮した設計応力 170MPa よりは若干高い値となった。
- (2) 試作ホイールは、過酷な腐食環境下以外では安全と思われるが、多種多様な環境下での安全性を確保するには、最大応力を低めに押さえた形状とすることが望ましい。
- (3) ホイールの応力分布を FEM 解析により予め推測し、高応力部には鑄造欠陥が生じないような製造法の検討が重要である。

## 2-3 新規アルミニウムの熱処理技術の開発

### 1. 時効硬化処理を施した Al-Mg-Zn 系合金の強度評価

#### 1.1 はじめに

AC7A は AC4CH と比較し、強度および鋳造性の面において劣る。一般的に硬化元素として使用される Zn を添加することで、強度は向上する。しかし、新合金を AC4CH の代替材とする為には最適な熱処理を施す必要がある。また、Al-Mg-Zn 系合金の自然時効に関する調査報告は少ない。自然時効の進行によって過時効になった結果、製品が衝撃に対して脆くなり破断する危険性が出てくる。そのため本節では、Al-Mg-Zn 系合金の機械的性質に及ぼす熱処理条件及び自然時効の影響について検討した。

#### 1.2 まとめ

Al-Mg-Zn 系 Al 合金の機械的性質に及ぼす熱処理条件及び自然時効の影響について検討し、以下の結果を得た。

- (1) Zn 濃度が高く、熱処理条件が高温長時間になるにつれて引張強さ、0.2% 耐力は向上するが、破断ひずみは減少する。AC4CH を上回る機械的性質を有するための熱処理条件選定の結果、熱処理時間 3 , 4 h 程度で実現できる。
- (2) 高 Zn 濃度・短熱処理時間材は 140 day 前後でピーク時効に達する。
- (3) 硬さは Zn 濃度の増加に伴い向上するが、熱処理時間には依存しない。

## 2-4 新規アルミニウム合金の鏡面加工技術及び表面処理技術の開発

### 1. 新規アルミニウム合金の鏡面加工技術及び陽極酸化処理技術の開発

#### 1. 1 はじめに

Al-Mg-Zn 系合金である新規アルミニウム合金は、鏡面加工後の光輝性に優れた AC7A 材をベースにしていることから、結晶粒内に金属間化合物を有し、表面も粗雑になりにくい為、表面処理性に適していると考えられる。

ここでは、新規アルミニウム合金の鏡面加工技術及び陽極酸化処理技術の研究開発から得られた結果を報告する。

#### 1. 2 実験結果

図 10 には、新方式で陽極酸化を行った試料の外観を示す。従来方式での陽極酸化処理では、表面が僅かに白く変色し、光輝性の低下を招いた。一方、新方式による陽極酸化処理では、硫酸浴で認められた光輝性の低下が抑制されている。

表 3 には、各試料に対して従来方式及び新方式による陽極酸化処理を行った際の表面光沢度を示す。従来方式による陽極酸化処理では、いずれの試料においても光沢度が 400% 以下を示した。



図 10 バフ研磨＋電解研磨＋新方式陽極酸化処理後の外観

表 3 各試料に対する従来方式及び新方式による陽極酸化処理表面の光沢度

各試料	光沢度 (%)	
	従来方式	新方式
Al-Zn-Mg 系新合金	382	701
AC4CH-T6	242	317

### 1.3 まとめ

本研究では、アルミニウム合金鑄造材表面に対して、光輝性を付与することを目的とし、新規アルミニウム合金開発材料について、バフ研磨、電解研磨、陽極酸化の表面処理加工を行い、得られる加工表面の光沢度から表面処理性に及ぼす影響を検討した。

その結果、新規アルミニウム合金開発材料は、Zn 添加量および熱処理条件にかかわらず、機械的なバフ研磨によって優れた光輝性が得られることがわかった。さらに電気化学的な研磨法である電解研磨をすることにより、さらに光輝性が向上する研磨効果が得られた。一方、研磨後の保護皮膜であり、耐食性付与の陽極酸化の浴種において、光輝性に及ぼす影響は大きく、生成皮膜の溶解を抑制し、表面の凹凸も小さいアルカリ性陽極酸化皮膜の適用が有効であると考えられる。

## 2. 新規アルミニウム合金への塗装技術の開発

### 2.1 はじめに

前節において、新規アルミニウム合金材に対して、バフ研磨、電解研磨、陽極酸化処理を行うことにより、良好な光輝性が得られることが明らかになった。しかし、アルミニウムホイールは重要保安部品であるため、機械的性質とともに長期の使用に対する製品の信頼性が重要である。これらの長期信頼性を保証するため、塩水噴霧試験・キャス試験・複合サイクル試験といった各種耐食性評価が行われている。これまで光輝性を保持する陽極酸化処理技術の開発を行ってきたが、一方で開発した陽極酸化皮膜の耐食性はアルミニウムホイールに要求される性能を満足しているとは言えない。

そこで、長期信頼性の向上を目ざし、塗装を施すことにより、耐食性を向上させることを試みた。

塗装について、従来は粉体クリアー(膜厚約 100 $\mu$ m)を施し、180 $^{\circ}$ C $\times$ 60min の乾燥で塗装を実施していたが、塗装後膨れが発生する問題があった(図 1 1)。原因は、高温乾燥による膨れであることから、低温乾燥が可能な溶剤クリアー塗装(膜厚約 15 $\mu$ m)を施した。乾燥条件は 100 $^{\circ}$ C $\times$ 20min である。塗装後の膨れは無く良好な状態であった(図 1 2)。



図 1 1 粉体クリアー塗装⇒高温乾燥 図 1 2 溶剤クリアー塗装⇒低温乾燥

ここでは、新規アルミニウム合金について、前節で得られた光輝性表面に対して、低温

タイプの塗料によって塗装し、得られた皮膜表面の耐食性に及ぼす塗装の効果を報告する。

## 2. 2 実験結果

塩水噴霧試験から、新規開発合金そのものの耐食性およびそれに対して従来方式及び新方式による陽極酸化処理を施した試料の耐食性が目標値を満足しないことが判明した。そのため、陽極酸化処理後、低温タイプ塗装による複合表面処理により耐食性の改善を試みた。

図13には、鏡面加工後、新方式による陽極酸化処理を施した試料に対して、低温タイプの塗装を行った試料の外観を示す。なお、比較のために従来材（AC4CH-T6）も同様な処理を行い、評価した。開発材である新規アルミニウム合金について、陽極酸化処理+低温タイプ塗装後の表面光沢度は702%であり、一方、従来材（AC4CH-T6）は560%であり、開発材が塗装後の外観においても優れた光輝性を有していることがわかる。

図14には、塩水噴霧試験240時間後の外観を示す。開発材である新規アルミニウム合金は、240時間後において、腐食の発生はなく、表面光沢度も変化しなかった。一方、従来材（AC4CH-T6）は白色の腐食生成物が発生し、表面光沢度も低下した。

## 2. 3 まとめ

開発材である新規アルミニウム合金は、塗装を含む表面処理によって、耐食性が著しく改善することがわかった。最後にめっきフリープロセスにおける本研究の目標値である耐食性（塩水噴霧試験240時間腐食無し）および光沢度（590%以上）について、新規開発した表面処理プロセス（バフ研磨、電解研磨、陽極酸化、塗装）を適用することで、目標値以上の値を示すことを確認した。

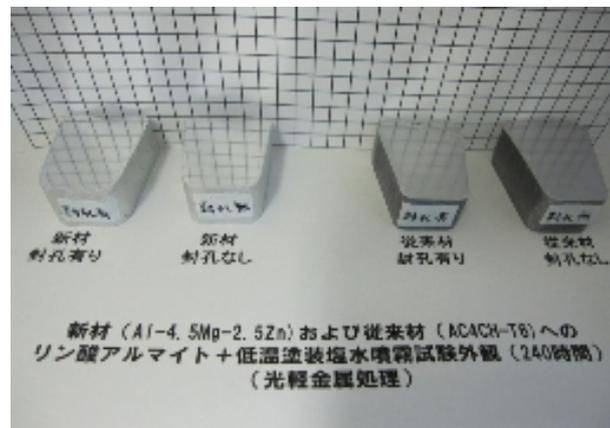


図13 開発材料への複合表面処理の外観（塩水噴霧試験前）

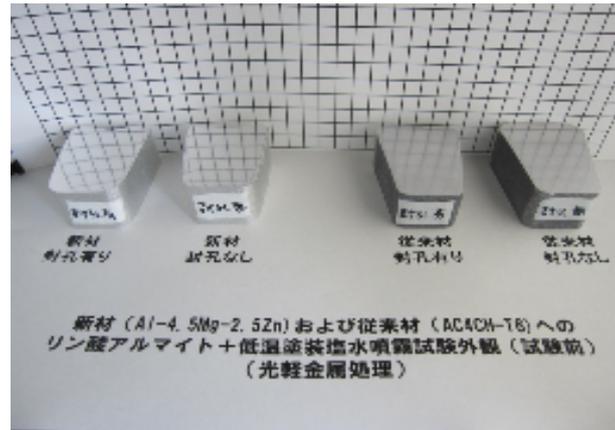


図 1 4 図 1 3 の試料に対する塩水噴霧試験 240 時間後の外観

### 3. 新規アルミニウム合金のめっきグレード材料としての開発

#### 3. 1 はじめに

従来材 (AC4CH-T6) は鑄造時の湯流れ性を向上させるため、Si を約 7% 添加している。Al-Si 二元系状態図から、この合金は共晶タイプで、Al 中への Si の固溶も僅かである。そのため、鑄造後、必ず共晶 Si が析出し、その共晶 Si の偏析によって表面が粗くなり、めっき性の低下を招く。さらに偏析した共晶 Si は、表面が酸化し、化学的に安定であるため、その部位でめっきの膨れが発生しやすく、また、密着性の低下を誘引する。現状、従来材 (AC4CH-T6) によるアルミホイールに対するめっきでは、前述の要因に基づき、20% 以上の不良率と成っている。

一方、本研究の開発材である新規アルミニウム合金は、電解研磨によって光輝性を有する平滑な表面が容易に得られることから、従来材の代替材料として期待できる。

ここでは、従来材 (AC4CH-T6) と開発材である新規アルミニウム合金とのめっき処理性を比較検討し、得られる加工表面の光輝性に及ぼすめっき処理性の影響を明らかにする。

#### 3. 2 実験結果

従来材 (AC4CH-T6) と開発材である新規アルミニウム合金に対して、めっき処理を施した試料の表面外観を図 1 5 および 1 6 に示す。

開発材である新規アルミニウム合金に対し、めっき処理を行った表面 (図 1 5) は、5 種類の試料全てについて、格子が鮮明に写し出され、良好な光輝性が得られる。また、これらの表面光沢度は、いずれも 600% を超えており、外観とよく一致している。

一方、従来材 (AC4CH-T6) について、同じ条件によってめっき処理を行った表面 (図 1 6) では、開発材である新規アルミニウム合金と比較し、格子の写し出しが明らかに低下しており、これらの表面光沢度は、200~350% であった。さらに膨れやシミなどのめっき不良も発生し、新規アルミニウム合金が、めっき用材料として従来材よりも適していることが明らかになった。



図 1 5 新規アルミニウム合金に対するめっき皮膜の表面外観

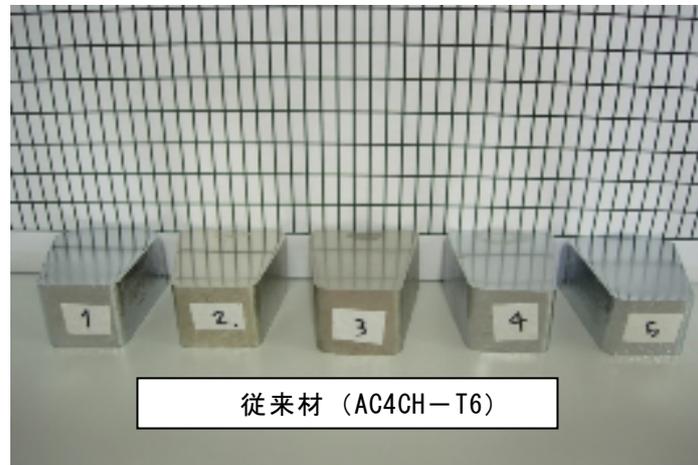


図 1 6 従来材 (AC4CH-T6) に対するめっき皮膜の表面外観

## 最終章 全体総括

### 1. 複数年の研究開発結果

表4に本研究開発達成度を示す。耐腐食割れ性、製造コストに課題は残したが、当初目標は概ね達成し、事業化へ向けて準備ができたといえる。

表4. 本開発達成度

	④新技術最終目標値 (Al-Zn-Mg系開発合金)	結果	
		評価	内容
環境負荷物質使用	環境負荷物質の使用なし	◎	めっきフリー(陽極酸化+塗装)の実現
製造コスト	原材料コスト低減で従来比30%以上低減	△	約11%。鏡面研磨のコスト高が課題
機械的性質	引張強さ : 250N/mm <sup>2</sup> 以上 耐力 : 190N/mm <sup>2</sup> 以上 硬度 : HB約80 (Hv約85) 伸び : 8%以上	◎ ◎	ホイール規格もクリア 耐力の向上が課題
腐食割れ性	AC4CH-T6材と同等以上	○	水素脆性感受性対策が課題
光沢度	590%以上 (基準片比)	◎	バフ+電解研磨コスト対策が課題
耐食性	塩水噴霧240時間腐食なし	◎	陽極酸化+塗装裸耐食性向上課題

### 2. 研究開発後の課題・事業化展開

事業化へ向けた今後の課題として、下記の3点が挙げられる。

- ① アルミホイール以外の分野への展開
- ② 製造コストの低減
- ③ 腐食割れ性の改善

①については、図17のようにアルミホイール以外の輸送用機器、家電、半導体部品、建築材料等多分野に展開が可能であることから、異分野連携体で協力し、新連携による支援を受けながら、積極的に販路開拓をする。



図17. 多分野への展開

②について、図18のコスト比較より、本開発品は鏡面研磨コストがかかる事から、電解研磨及び自動バフ研磨技術を実用化し、製造コストダウンに取り組む。

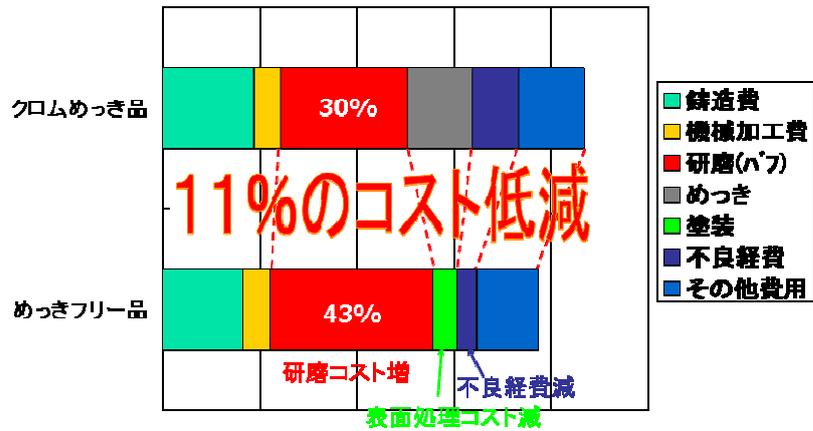


図18. 本開発品と従来品のコスト比較

③について、開発材は水素脆性感受性が高いことから、材質、熱処理条件等、耐腐食割れ性に強い材料の開発を継続する必要がある。

「この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とします。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。」