

### ●車両部分構体へスケールアップ

側パネル試作で培った技術をスケールアップして、2017年度は車両部分構体の試作に進みました。

Al合金をMg合金で代替すると比重が小さくなるものの、ほぼ同じ割合でヤング率(弾性係数)も低下するため、剛性を維持しようとするAl合金と同じ質量になってしまいます。剛性の維持と軽量化を両立するため、二つの構造的工夫を施しました。設計を担当した田口真氏(川崎重工業)は「一つは窓サイズの変更です。現行の550mmから旅客機程度の400mmにし、剛性を維持しました。もう一つはダブルスキン構造にトラス断面(図1)だけではなく、ハモニカ断面(図5)も採用したことです。ハモニカ断面はリブが短く、押出性が高いことなどから軽量化とコストダウンを図ることができまし

た。ただ、せん断荷重に弱いので、せん断荷重の小さい部位にのみ採用しました(図6)」と説明しています。

設計に基づき、溶接・組立は総合車両製作所が担当しました。溶接は2016年度までに確立していたAl合金の接合法と異なる点の抽出、接合強度を基準にした最適な接合条件範囲の確定など、基礎的な接合技術を生かして、MIG溶接部50カ所、FSW接合部14カ所、TIG溶接は仮止めに使用しました。MIG溶接に使用する溶加材(母材とともに溶融して接合を助ける金属材料)は、木ノ本伸線と共同で最適な溶加材の組成を選定しました。

構体は屋根構体と側構体(2枚)、台枠を組立てた後、下地処理、塗装を施して完成しました。難燃性Mg合金製の車両部分構体は重量239kg、Al合金製図

面質量と比較して約28%の軽量化を実現しています。構体の構成を図7に示します。

### ●今後の予定

今後は、より長尺(約5m)で前後の開放面を閉じた六面体を2019年度末までに作製する予定です。作製した構体を使って気密疲労試験を実施し、信頼性の確保、長期使用時の安全性を検証していきます。ISMA本部の堀谷貴雄は「プロジェクトでは基礎技術の確立を目指します。事業化・実用化についてはプロジェクト終了後になるでしょう」と開発スケジュールの目安を説明しています。

ISMAでは軽くて強いMg合金の高速鉄道車両への本格適用を目指して、車両の軽量化、高速化、省エネ化に貢献していきます。

## 特集 世界最大級、難燃性マグネシウム合金製の高速鉄道車両部分構体を試作

「革新的マグネシウム材の開発」に取り組んでいる横浜金沢分室(株式会社総合車両製作所)、明石分室(川崎重工業株式会社)、射水分室(三協立山株式会社)、相模原分室(権田金属工業株式会社)、伊丹分室(住友電気工業株式会社)、長洲分室(不二ライトメタル株式会社)、小牧分室(大日本塗料株式会社)、名古屋守山分室(国立研究開発法人産業技術総合研究所)と、再委託先の木ノ本伸線株式会社、ミリオン化学株式会社は共同で、難燃性マグネシウム(Mg)合金を使った世界最大級の高速鉄道車両部分構体を試作しました。

現在、新幹線などの高速鉄道車両構体には、主にアルミニウム(Al)が使われていますが、本研究課題では、Alより比重が30%以上小さいMgを構体に適用することで、さらなる車両の軽量化を目指しています。今回の部分構体試作は、その実現性が確認されたことに意義があります。

(この成果は2018年6月12日にプレス発表されました)



図5 窓枠付近にはハモニカ断面を使用



図6 ハモニカ断面を採用した部分

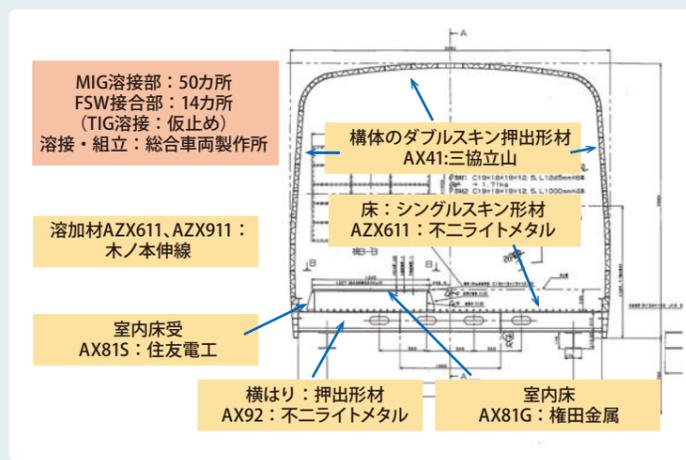


図7 試作した部分構体の構成



試作した難燃性Mg合金製高速鉄道車両部分構体。幅: 3380mm、高さ: 2880mm、長さ: 1040mm、質量: 239kg。(総合車両製作所にて撮影)

### ISMAの活動についての報道

#### ●プレスリリース(2018年6月12日)

「世界最大級、難燃性マグネシウム合金を使った高速鉄道車両部分構体の試作に成功」

#### 新聞

日刊工業新聞、鉄鋼新聞、日刊産業新聞(13日)、化学工業日報、北日本新聞、富山新聞(14日)、日本経済新聞、フジサンケイビジネスアイ(18日)、科学新聞(22日)ほか

#### 雑誌

日経ものづくり「Mg製の鉄道車両実現に一步前進」(2018年7月号)

### ISMA REPORT September 2018, No.12

©Innovative Structural Materials Association. 2018 All rights reserved.

#### 発行 新構造材料技術研究組合 (ISMA)

お問い合わせ先 新構造材料技術研究組合 (ISMA) 技術企画部  
〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-9-4 蚕糸会館10階  
Tel: 03-6213-5655 Fax: 03-6213-5550  
制作協力: サイテック・コミュニケーションズ  
デザイン: 高田事務所 撮影: 石川典人(表紙ほか)

# 特集 世界最大級、難燃性マグネシウム合金製の高速鉄道車両部分構体を試作

## ● 研究の背景

Mgは軽量で比強度が高く、振動吸収性や生体吸収性に優れることから、ノートパソコンやスマートフォン、医療分野などの小型部材で活用されています。しかし燃えやすいことや耐食性、成形性などに課題があるため、鉄道、自動車、航空機など大型構造物である輸送機器への適用は進んでいません。それらの課題を解決するため、ISMAでは2013年から「革新的マグネシウム材の開発」に取り組んでいます。

本研究課題では、Mg合金製高速鉄道車両構体の実用化を目指して、従来Al材と同等の強度・延性を有する難燃性Mg合金の開発と、新合金に適合する接合技術・防食技術の開発を行っています。その実現に向けた主な技術課題としては、Mg合金製大型構造物に適した設計、素材作製、加工、組立技術の確立などがあります。

開発計画に基づき、2015年度末までに合金開発・プロセス技術開発を終了、2016年度末には開発合金を使用して側パネル(窓枠周りの構体側面、図1)を試作、そして今回、新幹線と同一断面サイズの構体(表紙写真)の試作に成功しました。

部分構体は、(1)合金・素形材開発、

(2)加工・接合技術、(3)防食技術、(4)部分構体作製・評価の4つの要素技術から成るグループによって作製され、それぞれが専門分野を生かした役割を果たしました(図2)。

## ● 合金・素形材の開発

難燃性Mg合金とは、汎用Mg合金(Mg-Al系合金)に約1~2wt%のカルシウム(Ca)を添加することで、発火温度を200~300℃上昇させ、大気中での発火特性を著しく改善した合金です(図3)。合金開発を担当した千野靖正氏(産業技術総合研究所)は「Caの添加により、緻密なCaO膜が熔融金属表面に生成され、難燃効果を生み出しています(図4)」と難燃性Mg合金の特性を解説しています。

Caの添加量を増やすと難燃性は高まるものの、硬くなり加工性が低くなってしまふことが、難燃性Mg合金開発の課題です。目標とするAl合金、既存Mg合金の特性と押出速度の比較を表1に示しました。Al材と同等の強度・延性を持つ新合金を開発するためには、高速押出用Mg合金に関しては、押出速度を現行の約5~6倍(2~3m/min→10~20m/min)に、高強度Mg合金に関しては、強度を約1.3倍(270MPa→350MPa)に高めつつ、

伸びを約1.5倍(10%→15%)にする必要があります。

表2に開発した合金と素形材の種類を示します。合金は高速押出用と高強度の2種類、素形材は4種類を開発しました。2015年度末までにラポレベルで強度・延性の目標を達成し、2017年度末までに量産設備サイズでの製造を可能にしています。

高速押出用Mg合金(AX41)はダブルスキン構造の中空素形材として、構体面積の大部分を占める屋根と側面に使用されるため、生産性の向上が大きな課題でした。AX41の開発を担当した清水和紀氏(三協立山)は「開発材の押出速度は同等Al材の7~8割程度に達しています」と開発の成果を語っています。

高強度Mg合金に関しては、台枠などに使用される3種類の素形材を開発しました。押出用合金(AX92)は不二ライトメタ

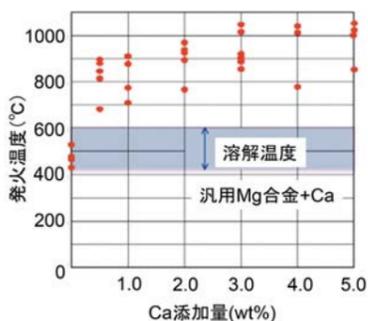


図3 代表的な難燃性Mg合金の発火温度とCa添加量の関係  
(出所)坂本満、上野英俊: シンセシオロジー 2(2009)127.

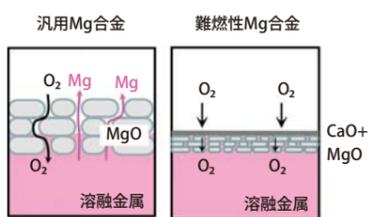


図4 難燃性Mg合金の難燃性向上のしくみ



図1 開発合金を使用して試作した側パネル。左がシングルスキン形材、右がダブルスキン形材(トラス断面)

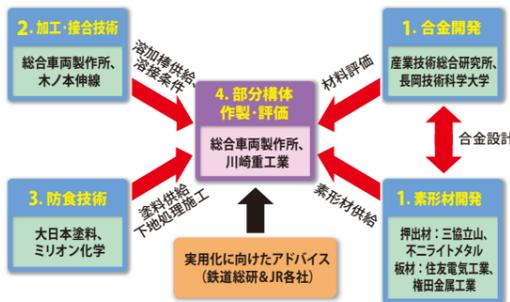


図2 高速鉄道車両部分構体の作製を実施した主な研究機関

## 構体作製の現場から



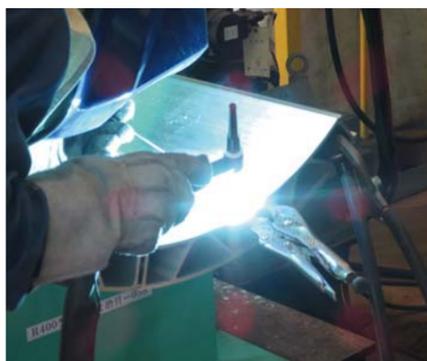
摩擦攪拌接合(FSW)作業



FSW装置



MIG溶接作業



組立準備作業



化成処理作業



塗装作業

ルが、中板・厚板用合金(AX81G)は権田金属工業が、薄板用合金(AX81S)は住友電気工業が中心となって開発しました。

## ● 側パネルの作製

合金開発にめどが立ち、2016年度は開発合金を使った側パネルの試作に入りました。Mg合金の加工・接合技術は未成熟な分野であり、車両構体接合部の信頼性を確保する上で、技術の確立が不可

欠です。側パネル作製を通して、加工・接合や防食などの要素技術を確立してきました。側パネルの設計を担当した石川武氏(総合車両製作所)は「設計のポイントはMg合金製とAl合金製とで等価剛性になるようにしたことです」と言っています。その結果、Al合金製ダブルスキンの高さ35mmに対し、Mg合金製ダブルスキンの高さは43mmとなりましたが、質量はAl合金製18.9kgに対し、Mg合金製

は13.7kgとなり、約28%の軽量化を達成しました。

腐食しやすい特性を持つMgを耐久性が要求される鉄道に適用するためには、防食技術の確立も重要な課題です。防食技術の開発は大日本塗料が担い、大型構造物に施工するための常温硬化型塗料を開発しました。また塗装前の下地処理技術は、大日本塗料がミリオン化学と共同で開発しました。

表1 目標Al合金と既存Mg合金の機械的特性と押出速度の比較

目標(既存)	合金組成(質量%)	引張強さ(MPa)	破断伸び(%)	押出速度(m/min)
目標Al合金 高速押出用 A6N01	Al-Mg-Si系	270	12	約10~20
目標Al合金 高強度 A7N01	Al-Zn-Mg系	350	15	—
(既存Mg合金) AZX611	Mg-6Al-1Zn-1Ca	270	10	約2~3

表2 開発した合金と素形材の種類

開発Mg合金	合金組成(質量%)	構体適用箇所	開発担当機関
高速押出用Mg合金	AX41 押出用合金 (易加工性)	Mg-4Al-1Ca 屋根・側面	三協立山、 長岡技術科学大学、 物質・材料研究機構
高強度Mg合金	AX92 押出用合金	Mg-9Al-2Ca 台枠の横はり	不二ライトメタル、 産業技術総合研究所
	AX81G 中板・厚板用合金	Mg-8Al-1Ca 床板	権田金属工業、 産業技術総合研究所
	AX81S 薄板用合金	Mg-8Al-1Ca 室内床受	住友電気工業、 長岡技術科学大学