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)

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)



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、

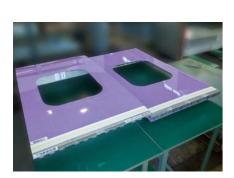


図1 開発合金を使用して試作した側パネル。左がシン グルスキン形材、右がダブルスキン形材(トラス断面)

(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膜が溶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 まうことが、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、



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

伸びを約1.5倍(10%→15%)にする必要が ありました。

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年度末までにラボレベルで強度・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

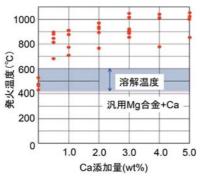


図3 代表的な難燃性Mg合金の発火温度とCa添

[出所] 坂本満、上野英俊: シンセシオロジー 2(2009)127.

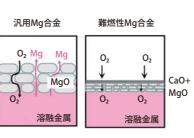


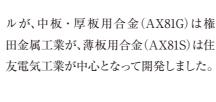
図4 難燃性Mg合金の難燃性向上のしくみ

構体作製の現場から-





組立準備作業



●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

接合や防食などの要素技術を確立してい 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

欠です。側パネル作製を通して、加工・



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途料が担い、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、大日本途料がミリオン化学 と共同で開発しました。



FSW装置





MIG溶接作業

マロ 日信AIロ立C以	I 日标AIロ並と以外MYロ並の依然的付任と評正述及の比較						
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AI合金 高速押出用 A6N01	Al-Mg-Si系	270	12	約10~20			
目標AI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					



●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と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AI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。



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

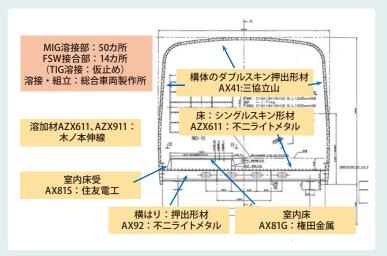


図7 試作した部分構体の構成

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歩前進」(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)