

「革新的新構造材料等技術開発」プロジェクトへの取り組み ー車両構体へのマグネシウム合金の適用を目指してー

生産本部 技術部

1 はじめに

近年の高速車両には、①更なる高速化、②車両振動の低減、③車内・車外騒音の低減等、さまざまな要求がある。また、世界的な地球環境問題を背景として、鉄道車両システムにも更なる省エネルギー化が求められており、当社としてもその要求に応えるべく、高速車両の研究開発をおこなっている。本報では、当社の取り組みについて紹介する。

2 高速車両の軽量化

現在、我が国で製造される高速車両構体は全てアルミニウム (Al) 合金製である。初期の高速車両 (例えば0系新幹線) 構体は普通鋼 (Fe) 製であった。Alの比重は 2.7g/cm^3 、Feは 7.8g/cm^3 であり、Al合金製構体の登場は、軽量化に大きく寄与した。図1に営業最高速度と車両質量の関係を示す。1軸あたりの重量 (軸重) が営業最高速度の増加に伴い、減少傾向にあることがわかる。つまり、高速化に伴って車両質量は大幅に軽量化されていると言える。また、この軽量化は省エネルギー化、沿線地盤振動の低減、軌道保守費の低減などに寄与したと考えられる。

また、Al合金製構体の普及の大きな要因として、ダブルスキン押出型材の登場がある。本押出型材の登場により、車両構造の簡素化が可能となり、生産工数の短縮に大きく寄与する結果となった。

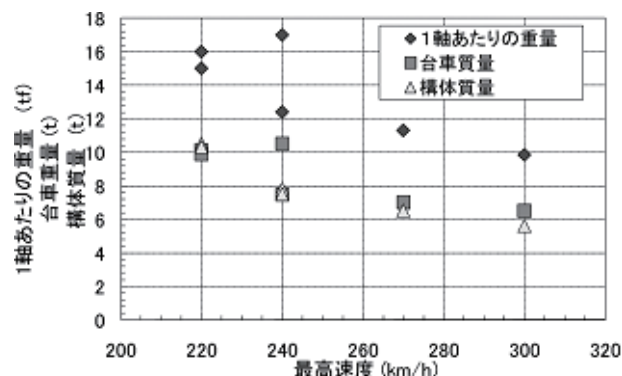


図1 新幹線の営業最高速度と車両質量の関係⁽¹⁾

3 「マグネシウム合金高速車両構体実用化技術委員会」の概要

タイトルに示す「革新的新構造材料等技術開発」プロジェクトの解説をする前に、「マグネシウム合金高速車両構体実用化 技術委員会」について触れる。2010年から活動を開始した本委員会は、JR各社、鉄道総研、大学・公的研究機関、素材メカ、車両メカ各社が参画しており、現在で49団体100名超 (2013年8月現在) にのぼる。本委員会は、次世代構造部材として注目を浴びる“難燃性マグネシウム (Mg) 合金”を車両構体へ応用することを目標として活動をおこなっている。難燃性Mg合金は、(社)日本鉄道車両機械技術協会が実施する鉄道車両用材料燃焼試験で、「不燃性」の区分を取得している。

3. 1 難燃性Mg合金の諸特性と難燃化機構

Mgは、その比重がFeの4分の1、Alの3分の2であり、実用金属の中で最も軽量で、リサイクル性にも優れた金属である。しかしながら、Mgは発火するので、実用化の障壁となっていた。

そのような中、1990年代後半に、市販合金にカルシウム (Ca) を添加すると発火温度が $200\sim 300^\circ\text{C}$ 程度上昇することが日本の産業技術総合研究所で見出された。この発見が契機になり、難燃性Mg合金が次世代構造部材として注目されるようになり、世界各国で国をあげた開発プロジェクトが盛んにおこなわれている。図2にCa

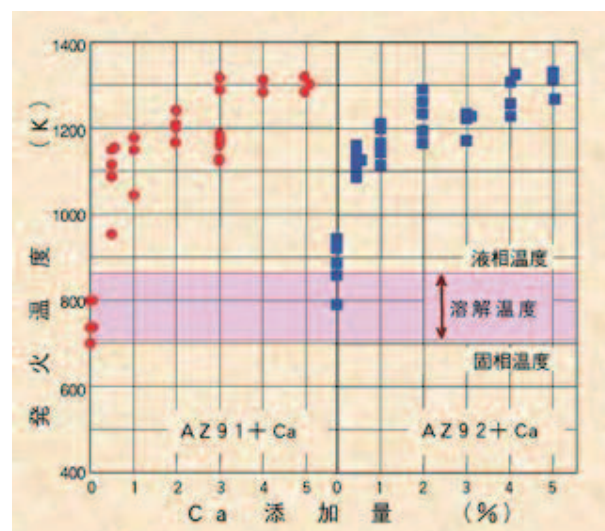


図2 Ca添加量と発火温度の関係⁽²⁾

添加量が発火温度に及ぼす影響について調査された結果を示す。この結果からわかるように、Ca添加量が増加するに従い、発火温度は上昇する傾向にある。なぜCaを添加すると、難燃化が起きるかという問題は非常に興味深いところである。これまでの研究で、Ca添加により金属表面に緻密な酸化膜が形成され、酸化燃焼を防止する保護膜の役割を果たすことで難燃化が起きることが明らかになっている。この難燃性Mg合金は、すでに国内の高速車両部品、例えば荷棚受けなどに採用されている。

3. 2 委員会の体制

委員会は、車両分科会と材料分科会から構成されている。各分科会の取り組みについて概要を述べる。

(1) 車両分科会

車両分科会は、接合WG、表面処理WG、安全性WGで構成される。

接合WGでは、当社を中心に各種接合技術（TIG溶接、MIG溶接、FSW）の確立を目指して取り組んでいる。これまでの取り組みにより、合金組成（AMX602、AZX612等）によって継手効率が異なることを明らかにし、最適な溶接施工条件が少しずつ見出せつつある。しかし、板厚や溶接電流等が溶接品質に及ぼす影響については今のところ不明である。

表面処理WGでは、母材と表面処理材を対象として、実環境を想定した暴露試験および腐食促進試験（加速試験）を実施し、耐食性の評価をおこなっている。また、評価結果をフィードバックすることで、最適な表面処理技術の確立を目指し、取り組みをおこなっている。

安全性WGでは、構体製作時に想定される部材運搬、保管、加工、補修、廃棄等の各プロセスにおいて、Al合金と同様に扱ってよいかについて議論をおこなっている。

(2) 材料分科会

材料分科会は、型材WG、板材WGで構成され、共に車両部材として最適な材料開発およびその製造プロセス開発をおこなっている。図3に示すように、現在のAl合金製の屋根・側構体には中強度押出材であるA6N01合金（Al-Mg-Si）が使用される。一方、信頼性が求められる台枠には、高強度材であるA7N01合金（Al-Zn-Mg）が使用されている。難燃性Mg合金の場合も同様で、車両構体を組み上げるためには、中強度材・高強度材の開発が必要となる。これまでの取り組みにより、型材・板材に対する最適な合金組成の割合が見出せつつあるが、課題はまだ多い。当面の課題は、いかに高速押出を実現させるかと、高強度材を作り込めるかという点である。

4 「革新的新構造材料等技術開発」プロジェクトの概要

2013年度に経済産業省から本プロジェクトについて公募があった。本プロジェクトは、「未来開拓研究プロジェクト」の一環として実施するものであり、Al材、チタン材、Mg材、鋼板、CFRP等、輸送機器の主要な構造材料の高強度化等に係る技術開発と、これらの材料に適用可能な革新的接合技術の開発等を一体的に実施するという内容である。我が国の製造業の高い競争力を支えることを目的としているので、開発費は国費から支弁される。2013年度から10ヵ年計画であり、総事業費は600億円を計上している。契約は3年単位であり、毎年60億円の予算計画である。

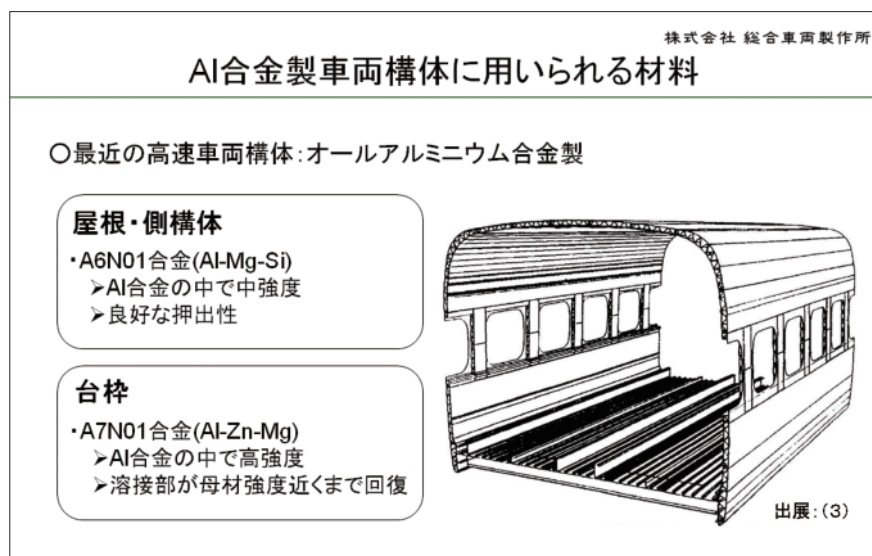


図3 最近のAl合金製車両構体の例

前述したように、当社は「マグネシウム合金高速車両構体実用化 技術委員会」で活動をおこなってきた。本委員会での活動を最大限効率良く、かつ迅速におこなうため、本プロジェクトを活用することとした。公募申請をおこなうにあたり、図4の開発体制（名称：革新的マグネシウム材技術開発グループ）を組み、申請した結果、無事に採択を受けることができた。組織は大別して、材料作製WGと信頼性評価WGで構成される。以下に、各WGについて概説する。

【材料作製WG】

合金設計及びプロセス技術の開発をおこなう。高速押出型材、高強度押出型材、高強度圧延材（薄板材）、高強度圧延材（中板・厚板材）の計4つの素型材の研究開発を実施し、「易加工性マグネシウム材」及び「高強度マグネシウム材」を開発することを目標としている。

【信頼性評価WG】

信頼性評価WGは、以下の3つのWGで構成される。

① 難燃性WG

発火温度を正確に測定するための評価技術の確立を目指す。

② 接合性WG

高い継手効率を実現するための接合技術開発と、接合部の信頼性（疲労特性、破壊靱性）を保証するための評価技術を確立する。

③ 耐食性WG

母材の耐食性および表面処理材の耐久性を保証するための評価技術の確立を目指す。また、大型展伸部材の耐食性を保証するための表面処理法を確立する。

当社は、上記の接合性WGに参画し、難燃性Mg合金を用いて車両構体を製作する際に必要となる接合技術全般（主にTIG溶接、FSW）の技術開発と、構造体の信頼性を保証するための技術開発（主に疲労特性評価）を担当している。新規材料の標準TIG溶接方法を確立するには、板厚、継手形状、溶接電流、溶接速度、電極径、溶接雰囲気等のプロセスパラメータが溶接継手品質に及ぼす影響について明らかにする必要がある。また、FSWにおいても同様に、接合ツール回転速度や接合速度等のプロセスパラメータが継手品質に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

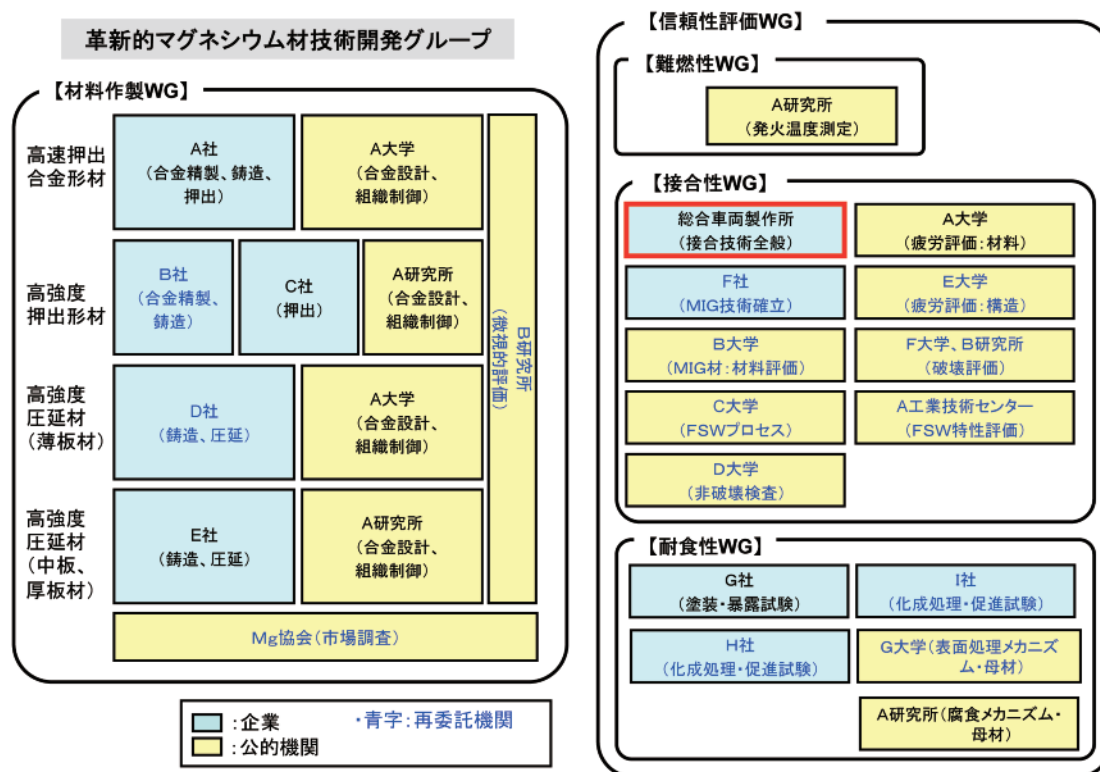


図4 革新的マグネシウム材技術開発グループ

5 国内外の研究開発動向と適用状況

航空機分野において、実用金属の中で最軽量のMgは次世代構造部材として注目を集めている。近年開発された合金は、米連邦航空局（FAA：Federal Aviation Administration）が策定中の最新の燃焼試験の基準を満たしたという報告がされている。FAAが合格という判定をすれば、世界中の民間航空機で使用が可能となる。すでに、航空機大手の米ボーイング社と国内大学の共同研究に関する協議が開始している。

鉄道車両分野においては、前述したようにすでに難燃性Mgが高速車両部品（荷棚受け）に採用されており、航空機分野と比較して適用状況は進んでいると言える。しかし、構体部材としての応用を目指すには押出材や圧延材などの展伸材の開発が必須となる。図5に示すように、近年、日本の鉄道総合技術研究所にて、難燃性Mg合金のダブルスキン形材を試作したという報告がされ、Mg合金製構体の具現化に弾みがついた。

自動車分野については、燃費性能の向上のため、軽量化は最重点課題として位置づけられている。したがって、Mgの利用研究は他業界と比較して先進しているのが現状である。環境負荷低減効果に優れたMg材料はいち早く注目され、ヨーロッパや米国において国家政策として大規模におこなわれている。EUの「EUCARプロジェクト」やドイツの「SFB390プロジェクト」、米国の「USCARプロジェクト」等が広く知られており、すでにエンジンブロックの一部や、コックピットモジュール等に採用実績がある。

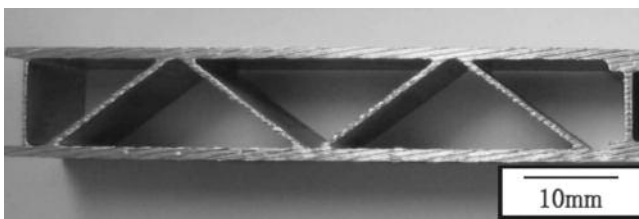


図5 難燃性Mg合金のダブルスキン形材（断面外観）⁽⁴⁾

6 おわりに

我が国の高速車両の国際競争力を維持するためには、冒頭で示した高速車両のニーズに応えることが必要となる。しかし、車両軽量化は、一般に剛性低下を招くので振動乗り心地の点で、また軽量性そのものが車内騒音の点で不利な要素を含んでいる。したがって、難燃性Mg合金の特徴である軽量性、高比強度・比剛性、高振動吸収性を活かした車両構造の検討が必要である。当社の取り組みが、その一助になればと考える。

（石川武，橋本健司 記）

参考文献

- (1) 鈴木康文：「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」，軽金属，Vol.60，No.11，565-570，（2010）
- (2) 産総研 中部センターHPより
- (3) 溶接・接合便覧，溶接学会編，1282，丸善
- (4) 森久史，他：「難燃性マグネシウム合金の加工性評価」，鉄道総研報告，Vol.25，No.10，35-38，（2011）