

環境対応型の新しい車両コンセプト“A-train”

Environment-Friendly New Railway Train Concept

宮本俊治 Toshiharu Miyamoto 北林英朗 Hideo Kitabayashi
山田敏久 Toshihisa Yamada



九州旅客鉄道株式会社 815系電車



西武鉄道株式会社 2000系電車



西日本旅客鉄道株式会社 683系電車「サンダーバード」



九州旅客鉄道株式会社 885系電車「白いかもめ」

新しいコンセプトを生かして造られた車両

それぞれの車両に求められる条件に合わせて、くふうをしながら新しいコンセプトを取り入れていくことにより、「A-train次世代アルミ車両システム」は進化する。

日立製作所は、「環境負荷の低減」、「ライフサイクルコストの低減」、「今後の熟練者就業人口の減少」への対応をコンセプトに、車両の材料と構造および生産方式を抜本的に見直した「A-train次世代アルミ車両システム」を開発し、通勤電車、近郊電車、特急電車への適用を開始した。その基本構成は、構体新接合技術FSW(摩擦かくはん接合)を用いた高精度・高品位アルミダブルスキン構体、完全自立型モジュールインテリアぎ装、中空押出型材と一体成形されたマウンティングレールへのモジュールの締結である。

このA-trainでは、車内の静音化、高剛性による構体強度の向上・安全性の向上が可能で、新しい接合方法であるFSW技術も相まって、ひずみの少ない美しいアルミダブルスキン構体の特性を発揮することができる。また、徹底したモジュールぎ装は、車両生産リードタイムを短縮し、リニューアルを容易にするという経済的効果をもたらす。さらに、「アルミダブルスキン構体+モジュールぎ装構造」による分解、分別の容易さは、リサイクル性にも優れている。

1 はじめに

長い鉄道車両の歴史の中で、車体についても、社会のニーズに適合した最適な材料、構造やシステムの開発に向けて努力がなされてきた。最近の急激な社会環境の変化や技術革新の中で、安全性、快適性、経済性や環境性など、車体に求められる機能や特性も多様化・高度化しており、これにこたえるためには従来の構造および工法の延長線上では限界があり、何らかの技術革新が求められている。

このような状況の中で、最近、わが国でも車両用の長

尺大型押出型材の押出成形が開発されてきている。日立製作所は、接合技術について高精度、高品位な構体を実現する“FSW(Friction Stir Welding:摩擦かくはん接合)”を実用化し、抜本的な革新を可能にする高精度構体を実現した。

このような技術革新を背景に、日立製作所は、高精度アルミオールダブルスキン構体および自立型モジュールぎ装を核とした車体トータルシステムとして、車両の構造と製造方法を抜本的に革新した「A-train[※]次世代アルミ車両システム」を開発した。

ここでは、「A-train次世代アルミ車両システム」のコン

※) A-trainのAは、Advanced, Amenity, AbilityおよびAluminumを統合的に表したものである。

セプトと基本構成、特徴およびアルミニウム合金の新しい接合技術“FSW”について述べる。

2 A-train次世代アルミ車両システムの特色

2.1 コンセプトと基本構成

これまで鉄道車両の設計・生産およびメンテナンスは、多数の熟練者によって支えられてきたが、これからは労働人口構成の変化と少子化の進展に伴い、少数の未熟練者に支えられなければならなくなってくる。そのため、少数の未熟練者による設計・生産およびメンテナンスが可能な車両システムの開発が急務となっている。

設計のコンセプトは、顧客や社会の多様なニーズにこたえながらその実現に向けて目的と手段を共有化できることと、普遍的なルールを明快に表現した、様式化・パターン化されたシンプルな車両構造の実現である。

一方、約3 m×25 mと比較的大きく、かつ少量多品種の車両を製作するにあたっては、その占有スペースが大きいことから、最小限の設備と共通ルールで生産管理ができる効率の高い生産方式を確立しなければならない。そのためには、構造のシンプル化と部品点数の大幅な削減はもちろんのこと、徹底したモジュール化とモジュール品取り付け時の合わせ調整作業の廃止を前提にした自動化・機械化・専用ライン化が必要である。

A-trainの基本コンセプトを図1に、その基本構成を図2にそれぞれ示す。

2.2 A-train次世代アルミ車両システムの特徴

2.2.1 安全性(高強度アルミダブルスキン構体)

これまでのステンレス構体やアルミ構体は、構体外皮が1枚のシングルスキンである。これをシングルスキン構

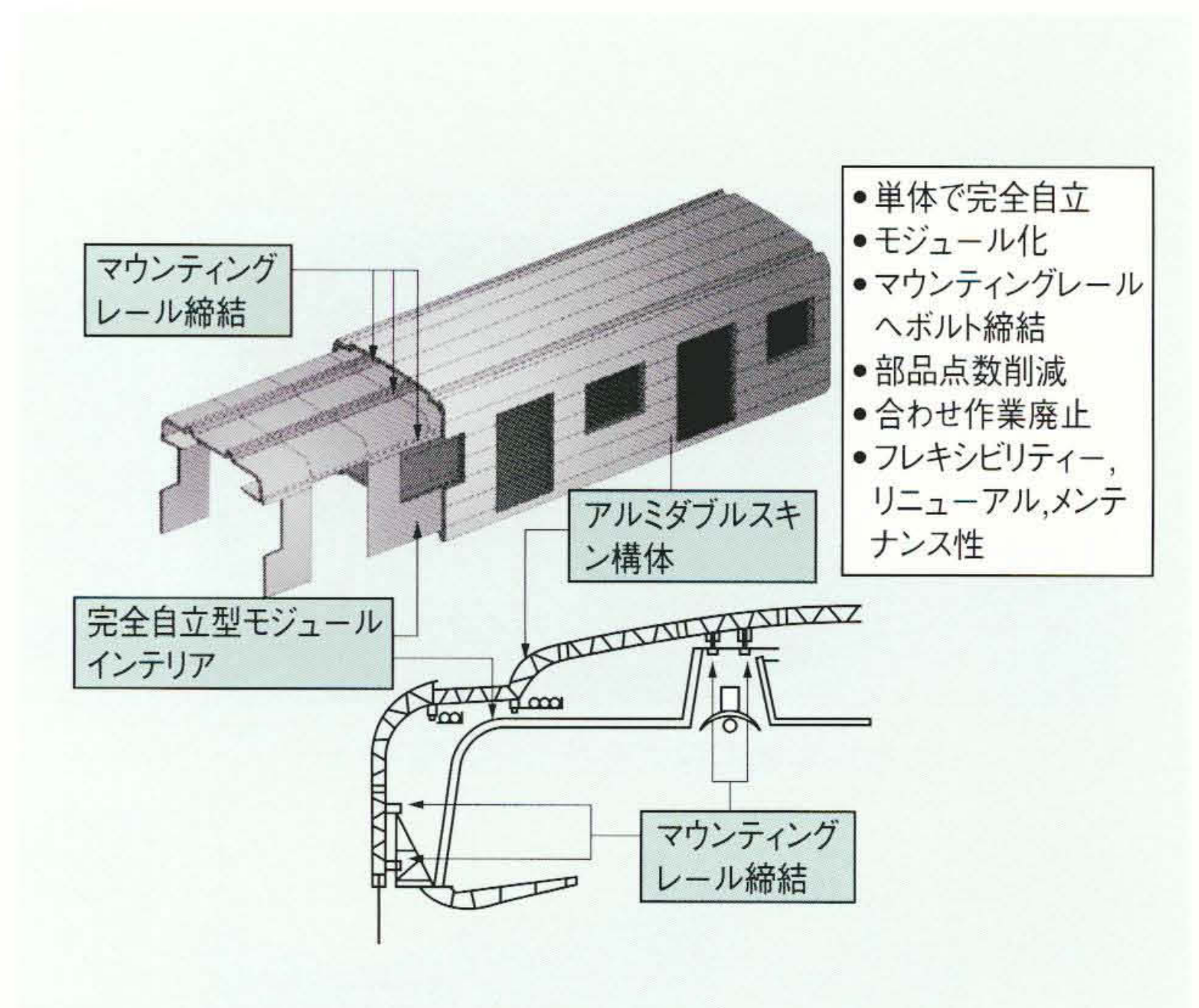


図2 A-trainの基本構成

アルミダブルスキン構体と一体成形されたマウンティングレールに、数少ないボルトで自立型モジュールインテリアを容易に取り付けることができる。

体と呼ぶ。これに対して、中空押出型材によって両面に外皮が構成されるアルミダブルスキン構体は、シングルスキン構体に比べて構造体としての圧縮強度が高く、車端荷重負荷時の破壊強度に優れている。日立製作所が製作した車両の車端荷重負荷時の変形比較計算を図3に示す。構体質量としてはアルミダブルスキン構体のほうが軽いにもかかわらず、変形は、はるかに少ない。

2.2.2 快適性(車内の静音化)

ダブルスキン構体は、シングルスキン構体に対して、構造的に遮音性の面で優れている。外板と骨組から成るシングルスキン構体は、外板部の面密度が小さくなるのに対して、ダブルスキン構体は、全面がほぼ均一の面密

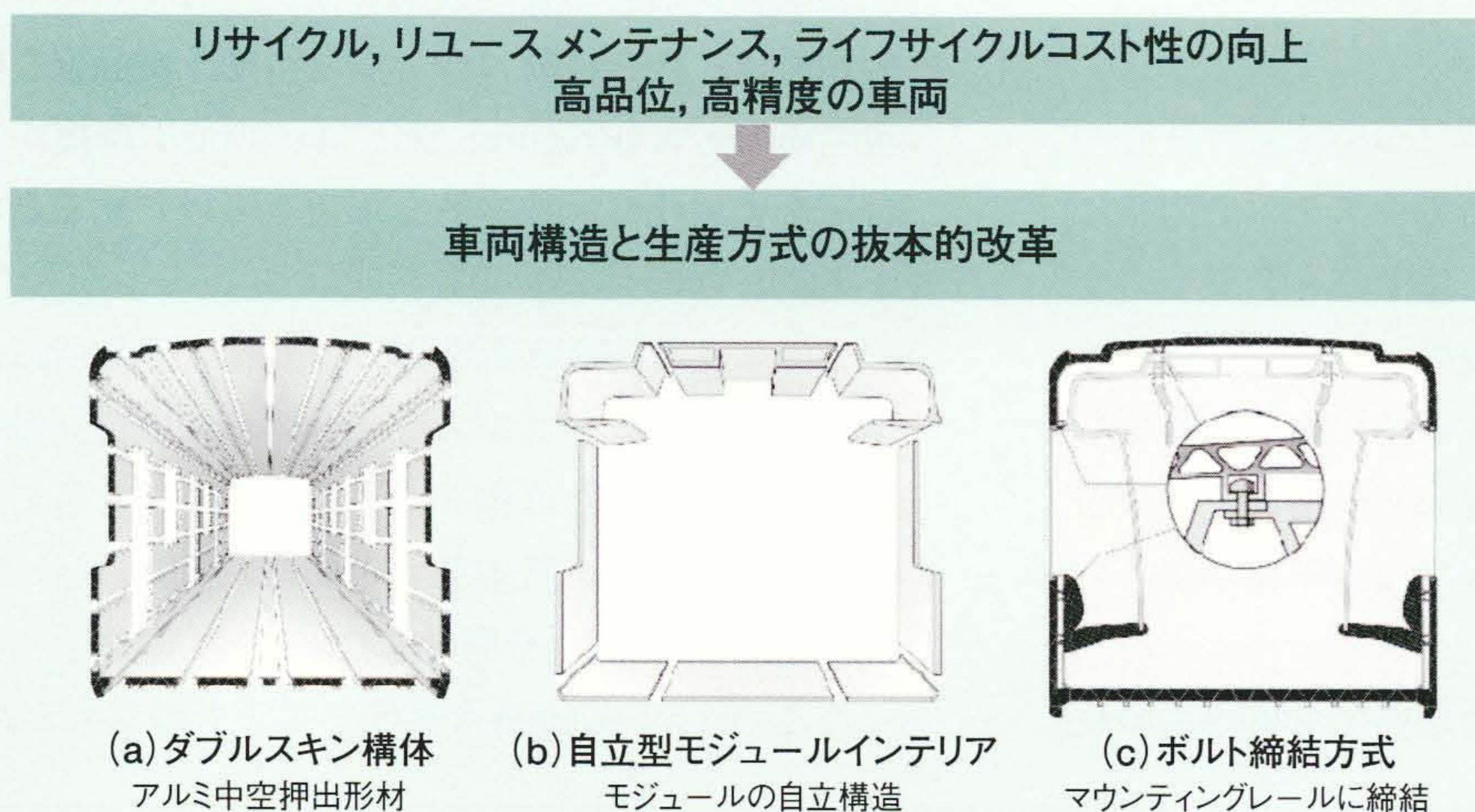


図1 A-trainの基本コンセプト

全体をアルミ中空押出型材で構成したダブルスキン構体と、剛性を持つ自立型モジュールインテリアの組合せにより、車両構造と生産方式を改革する。

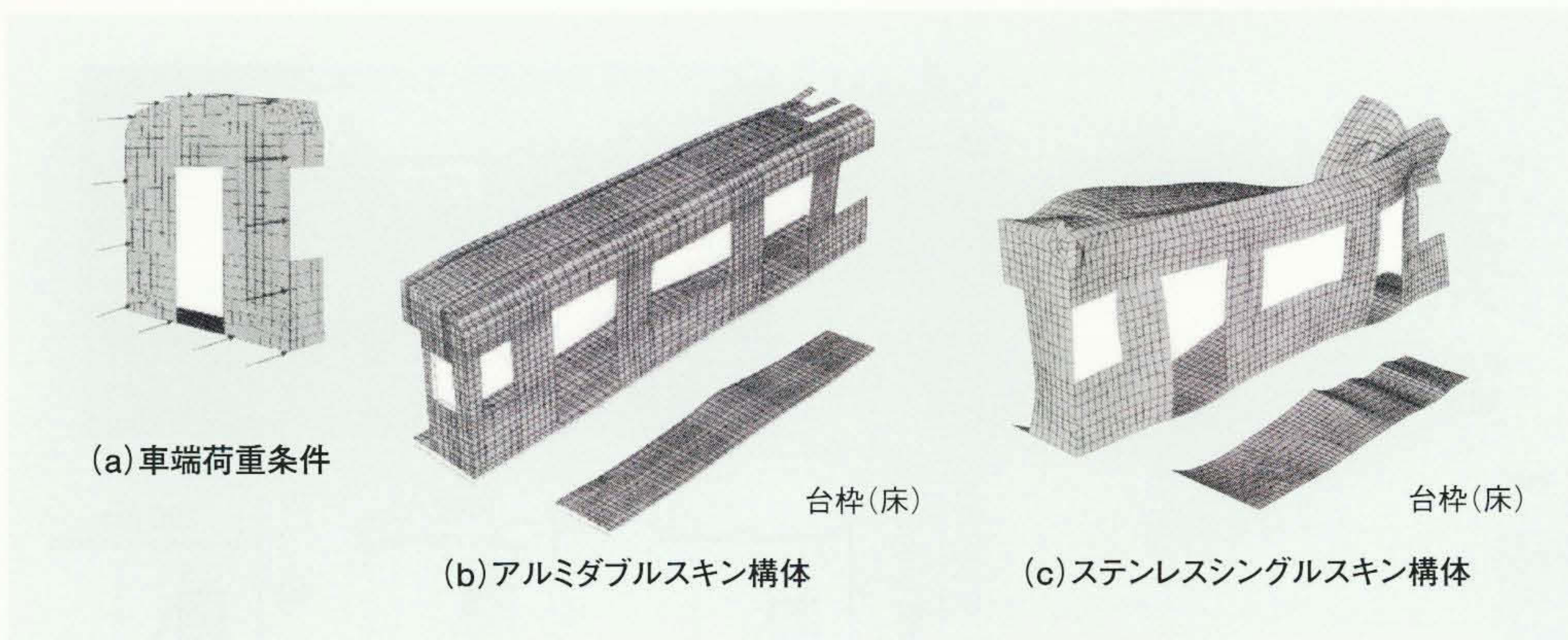


図3 車端荷重負荷時の変形比較
圧縮強度に優れるダブルスキン構造と衝撃吸収体との組合せにより、客室をいっそう安全なセーフティゾーンとすることができる。

度となり、全質量が遮音に有効に作用するからである。このことは、要素試験でも確認している。シングルスキン車とダブルスキン車の実車の実測データを図4に示す。アルミダブルスキン車の車内騒音は、ステンレスシングルスキン車よりも3~6 dB(A)低くなっている。

2.2.3 経済性

素材としてのアルミは、ステンレス鋼に比べて高価である。しかし、アルミダブルスキン構体とモジュールぎ装から成るA-trainでは、そのシンプルな車体構造により、組立費を低減でき、車両生産リードタイムが短縮される。また、リニューアルが容易で、改造費用を削減することができる。

さらにA-trainでは、構体内部骨を廃止でき、床構造もシンプルなため、ステンレス構体との構体質量比較(内部骨、床を含む。)で5%程度軽くでき、車両の走行エネルギーの低減に寄与できる。

2.2.4 環境性

A-trainでは、前述したように構体の軽量化により、エ

ネルギー消費やCO₂排出量の削減が可能である。

また、分解、分別が容易な車体構造はリサイクル性に優れ、アルミニウム合金は、新地金の3%のエネルギーでリサイクルできる。

2.2.5 高精度・高品位

アルミダブルスキン構体は、画期的な接合技術“FSW”との組合せにより、ひずみの少ない美観に優れた車両を作り出す。また、アルミ押出型材との組合せにより、自由度の大きな車体断面の形成が可能である。

3 アルミニウムの新しい接合技術

3.1 FSWの概要と接合原理

1991年に英国溶接研究所(TWI)が、摩擦熱を利用して板材を接合するFSW法を開発した。日立製作所は開発と同時にTWIの共同開発メンバーとして参画し、実用化に向けての基礎研究を行い、製品に適用するための要素技術を開発してきた。

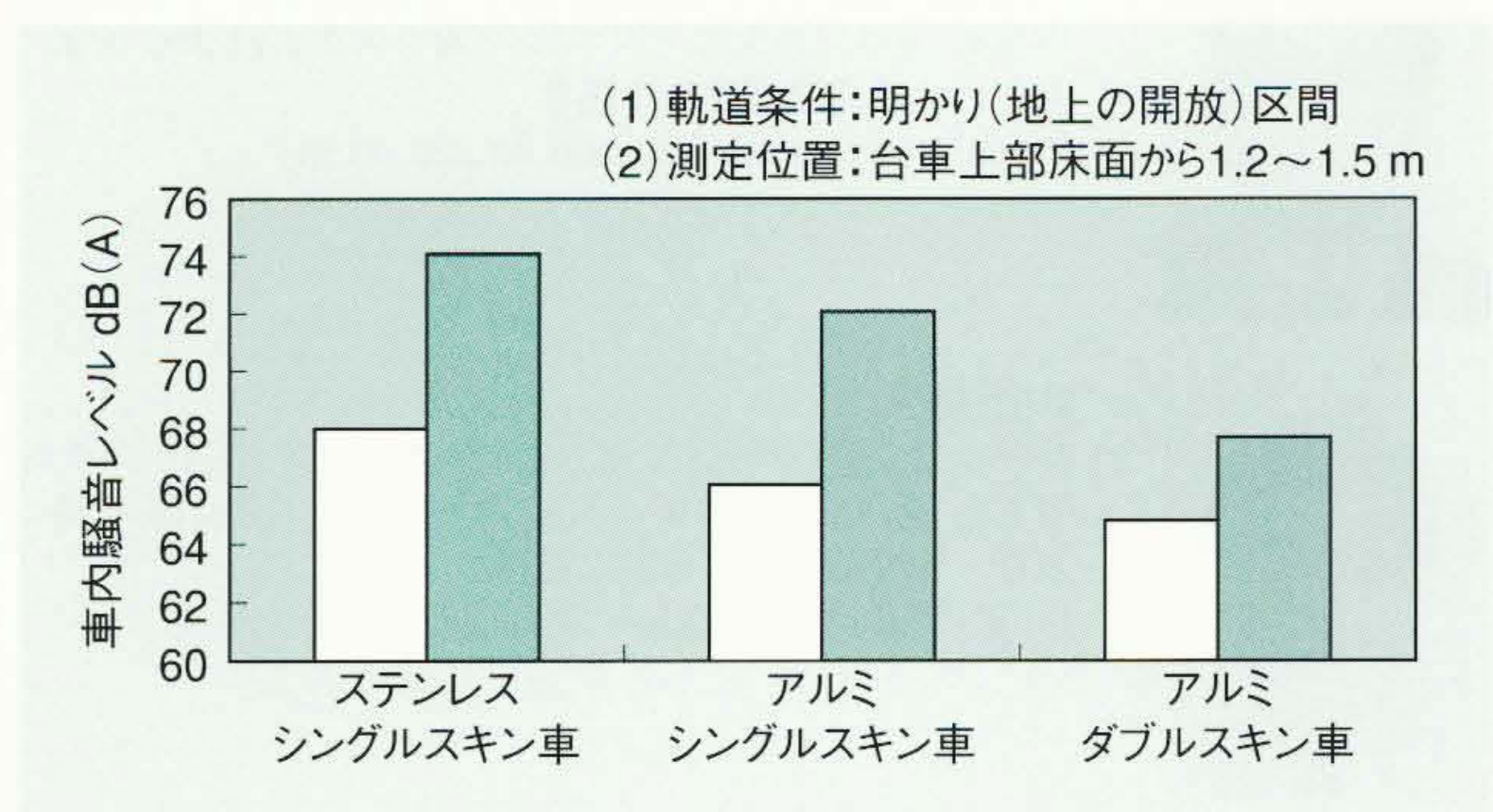
このたび、25mのアルミ中空押出型材を車両構体パネルとして接合できるFSW装置を開発し、A-train次世代アルミ車両システムに適用した。

FSWの概要を図5に示す。FSWの原理は、回転する金属製のツールを接合線に沿って進行させることにより、摩擦熱で軟化したアルミ合金に、ツールの回転に引きずられるように塑性流動を起こして接合する方法である。

3.2 FSWの特徴

FSWには次の五つの特徴がある。

- (1) 接合による変形や収縮がほとんどない。
- (2) 接合部の変色がほとんどない。
- (3) 溶接棒やシールドガスが不要である。
- (4) スパッタやヒュームの発生がなく、紫外線などの有害光線の発生もない。
- (5) 機械的な接合であり、接合部は母材に近い組織のため



注：□[力行時騒音(50 km/h)], ■[惰行時騒音(80 km/h)]

図4 アルミダブルスキン車とシングルスキン車の車内騒音レベル(通勤電車実測値)

骨組みがなく、全面をほぼ均一な面密度にできるアルミダブルスキン構体は、全質量が遮音に有効に作用することから、静かな車内が実現できる。

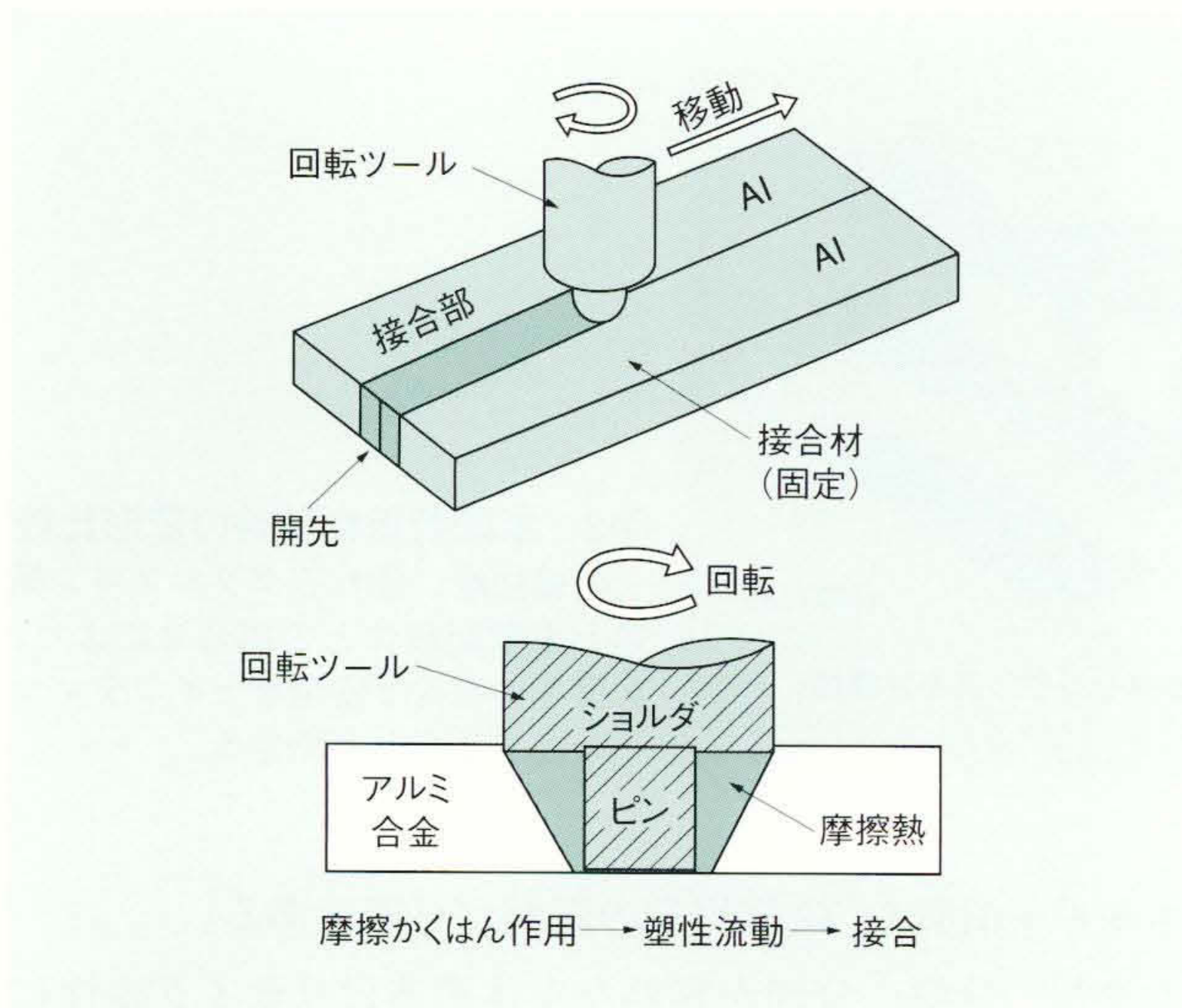


図5 FSWの概要

回転ツールと接合材の摩擦熱により、塑性流動化した接合部をツール先端でかくはんして接合する。溶接棒を使用しないので、接合部はほとんど変色しない。

め、ブローホールや割れといった溶融接合で発生しやすい欠陥がない。

3.3 接合部の特性

(1) 接合部の温度・入熱量，ひずみ

FSW部の温度測定の結果，最高が480℃であり，MIG (Metal Inert Gas)によるアーク溶接部の温度(>660℃)に比べてきわめて低い。入熱量の比較では，接合速度にもよるが，FSWの入熱量はMIGの $\frac{1}{3}$ 以下である。また，FSWのひずみは，材質・厚さ・接合条件にもよるが，MIGの $\frac{1}{12}$ 以下，YAG(Yttrium Aluminum Garnet)レーザの $\frac{1}{7}$ 程度である。これは接合部の温度が低いため，これもFSWの大きな特徴である。FSWとMIGの変形量と収縮量比較を図6に示す。

(2) 機械的強度・信頼性

引張試験の結果，いずれもMIGと同等以上の強度があり，破断位置はすべて熱影響部である。FSW部の機械的性質がMIG以上である理由は，FSWの接合温度が低く，また，ひずみが小さく，欠陥の発生がないためである。

4 おわりに

ここでは，最近のアルミ車両技術の代表例として，「A-trainアルミ車両システム」と，摩擦かくはん接合「FSW」について述べた。

これからの鉄道車両が循環型社会に適合していくことはもちろんであるが，多品種少量生産であるがゆえに機

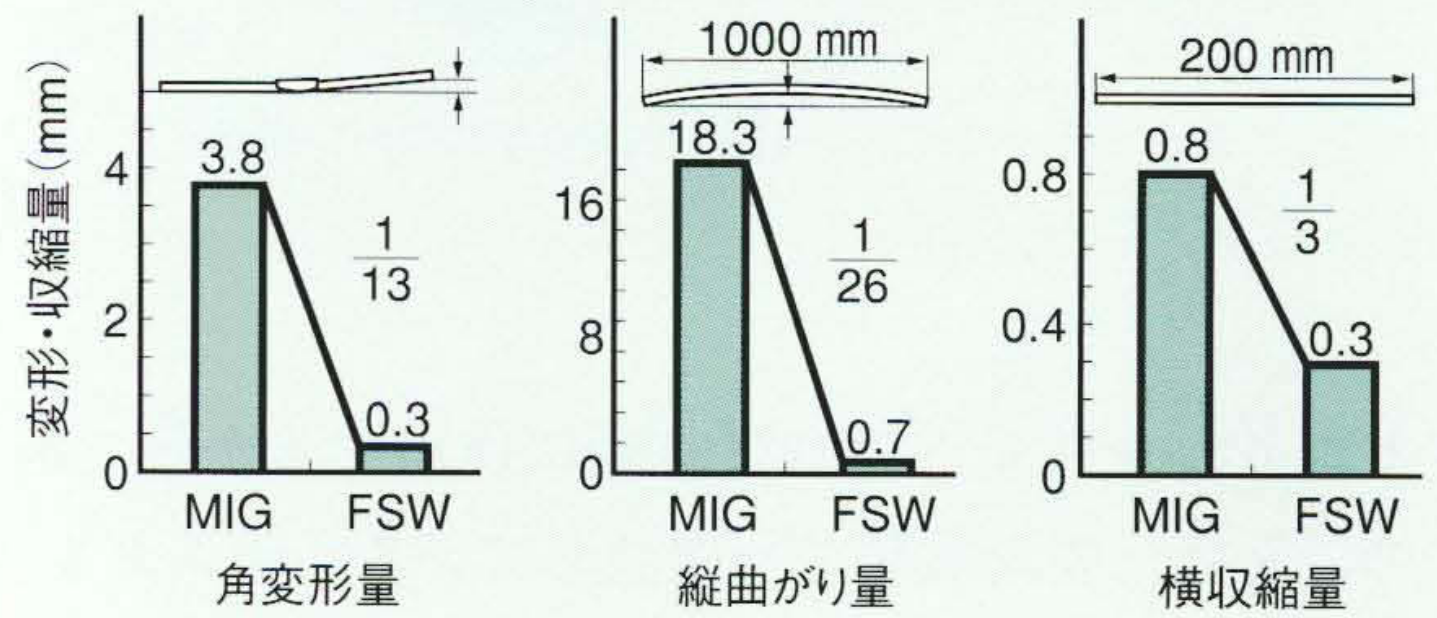
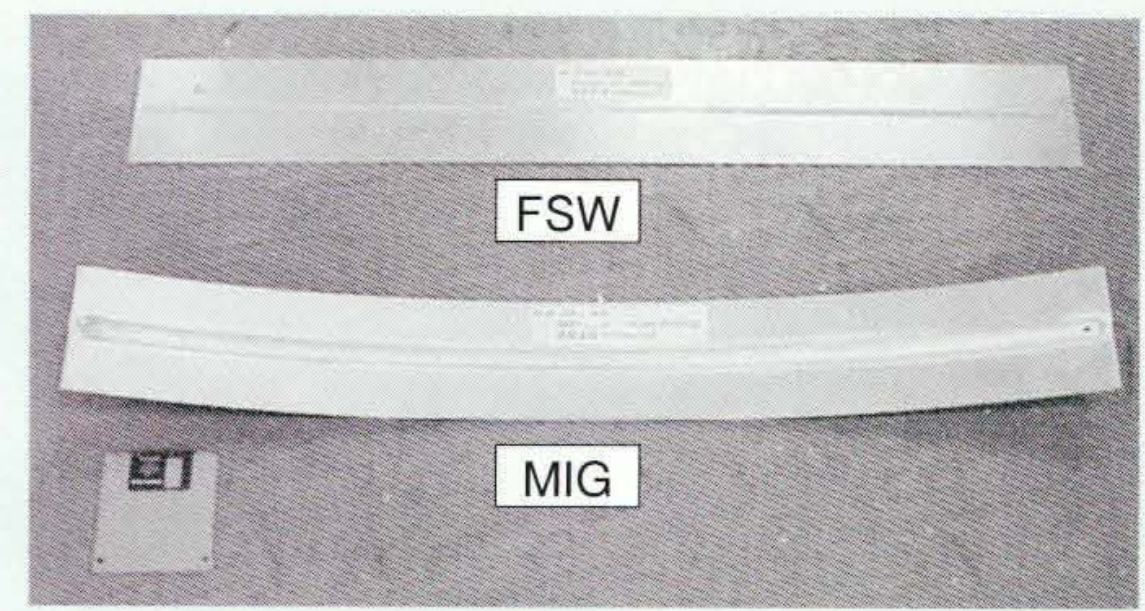


図6 FSWとMIGとの変形量と収縮量比較

低温度のアルミ塑性流動現象を利用した接合法であるFSWでは，入熱が少なく，変形量や収縮量も少ない。

械化・合理化に課題がある，熟練労働者に依存した手工業的な構造と工法を抜本的に見直し，先進的かつ汎用的な技術を積極的に取り入れながら機械化とロボット化を推進し，鉄道車両を他の交通機関と同様に工業製品化していくことによって製品の質的向上と品質の安定化を図っていくことが求められている。今後も，その方向でA-trainを発展，進化させていく考えである。

執筆者紹介



宮本俊治

1971年日立製作所入社，電力・電機グループ 交通システム事業部 笠戸交通システム本部 車両システム設計部 所属
現在，公私鉄電車設計に従事
E-mail: miyamoto@kasado.hitachi.co.jp



山田敏久

1986年日立製作所入社，電力・電機グループ 交通システム事業部 笠戸交通システム本部 車両システム設計部 所属
現在，JR在来線電車設計に従事
E-mail: yamada-toshihisa@kasado.hitachi.co.jp



北林英朗

1990年日立製作所入社，電力・電機グループ 交通システム事業部 車両システム部 所属
現在，新幹線電車のシステムエンジニアリングに従事
E-mail: hideo_kitabayashi@pis.hitachi.co.jp