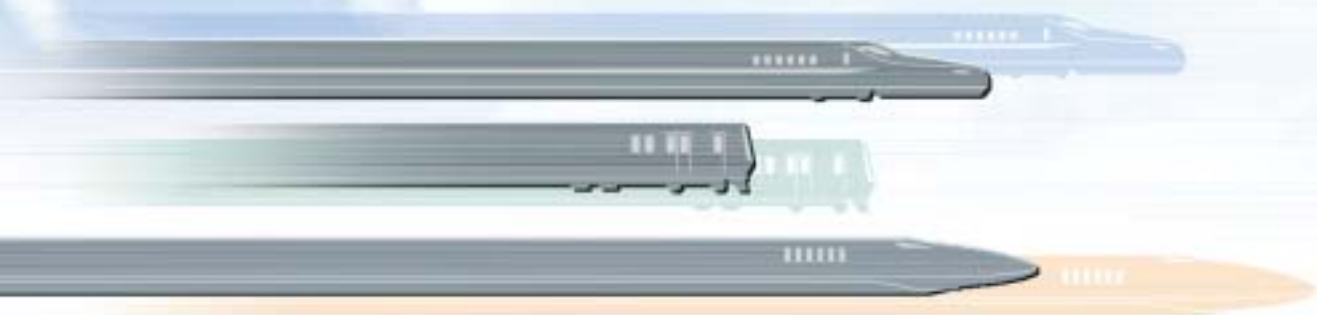


21世紀の鉄道車両

次世代を担うアルミ車両



アルミニウム車両委員会

技術とともに進歩するアルミ車両

1962(昭和37)年に日本で初めてのアルミ車両が登場して以来、アルミニウムの軽量性、耐食性、リサイクル性が鉄道関係者に広く認識され、通勤車両から新幹線車両まで、幅広くアルミ車両が普及してきました。最近では、ダブルスキン構造やアルミニウムに最適な摩擦攪拌接合(FSW)によって、生産性が向上し、コストダウンが可能となり、安全性を向上した構成も可能になりました。これらの優れた特性を生かし、アルミ車両は21世紀の鉄道車両をリードしていきます。



第2.5世代 新幹線車両に高気密・大型構体が出現。7N01合金押出型材、7003合金押出型材、5083合金押出型材および板材を使用。ミグアーク溶接、抵抗スポット溶接。

第2世代 全溶接構体が可能となる。7N01合金押出型材、5083合金押出型材および板材。ミグアーク溶接。

第1世代 市販のアルミ材料を使用。ミグアーク溶接、リベット・ボルト接合。



新世代 ダブルスキン構体。6N01合金中空押出型材が主体、一部に7N01合金押出型材。ミグアーク溶接、FSW。

オール大型押出型材構体。6N01合金押出型材が主体、一部に7N01合金押出型材。ミグアーク溶接。



1962 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 2000 01 02 03 (年)

アルミ車両生産累計

(両)
14,000
13,000
12,000
11,000
10,000
9,000
8,000
7,000
6,000
5,000
4,000
3,000
2,000
1,000
0

アルミ車両のメリット

アルミニウムは「軽くて強い」「耐久性に優れる」「リサイクル性に優れる」などの特長を持っています。鉄道車両にアルミニウムを使用すると、いろいろなメリットが期待できます。

1 軽量化が図れる

同一質量で耐え得る強度、いわゆる「比強度」では、アルミニウムは普通鋼の約1.5倍の強度があります。このメリットを生かし、車両の軽量化に大きく貢献します。

▶ 高速化

加・減速度や最高速度などの車両性能が向上し、目的地までの到達時間が短縮されます。ひいては、車両の運行効率が向上します。

▶ 省エネルギー

走行エネルギーの低減につながり、動力費が節減できます。

▶ メンテナンスの削減

軌道、橋梁への負荷が低減し、軌道保守費の増大を抑えることができます。またブレーキ用制輪子や車輪などの摩耗部品の寿命が長くなり、メンテナンスの低減が図れます。

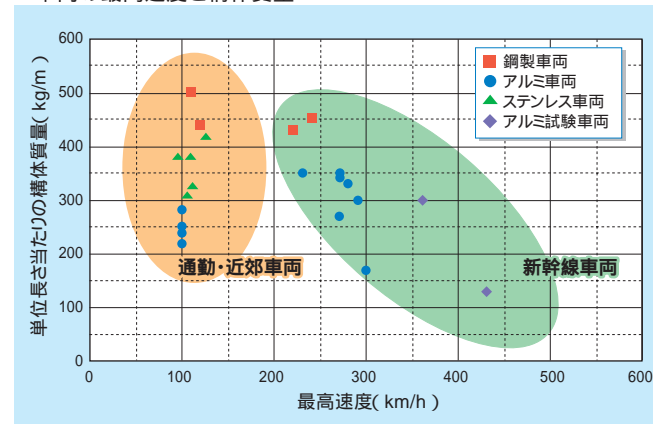
▶ 環境適合性

騒音、地盤振動が低減し、沿線の環境を守ります。また、省エネルギーを通して、環境負荷(CO₂)の低減に寄与します。

アルミニウムと他金属の比強度

	アルミニウム	ステンレス	鋼
強度(引張強さ)	245MPa以上 [6N01]	520MPa以上 [SUS301]	490MPa以上 [SPA-H]
軽量性(比重)	2.7	7.9	7.9
比強度(引張強さ/比重)	91	66	62
比	1.5	1.1	1.0

車両の最高速度と構体質量¹⁾



2 耐食性に優れる

アルミニウムは耐食性が良好で、長期にわたって特性が変わることがありません。

▶ 無塗装化

無塗装でも腐食の心配がなく、また無塗装化によって、車両保守費も節減できます。

▶ 長寿命化

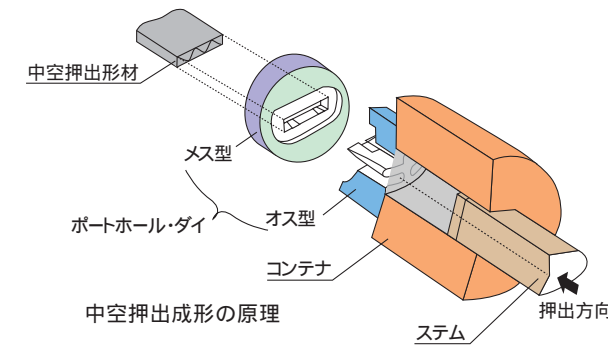
構体の寿命が長くなります。これにより、車両のリニューアル、リユースが可能となり、ライフサイクルコストが低減できます。

3 リサイクル性に優れる

廃車時のアルミスクラップを再生地金にするには、新地金をつくる場合と比べてわずか3%のエネルギー消費量ですみます。

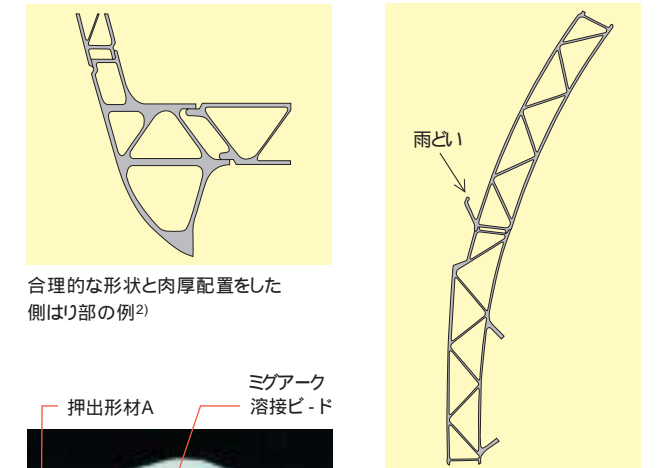
車両用アルミ押出型材の特長

日本で独自に溶接構造用に開発した6N01合金は押出性に優れ、「大型薄肉押出型材」や「大型中空押出型材」が製造できます。押出型材は断面形状において、比較的自由度が高く、いろいろな機能を持った素材として注目されています。



1 形状と肉厚が任意

従来のような、板材と骨材の組合せだけでは作りえない形状を、一度に作る事ができます。そのため、構体の構成部品数を低減する効果があります。また部材の肉厚は合理的に設定できるため、強度や剛性が必要な部分のみの肉厚を厚くし、それ以外は薄くすることが可能で、強度や剛性の確保と軽量化を両立した最適設計が可能です。さらに押出型材は、構造部材であると同時に、そのまま車両の外板も兼ねることが出来ます。

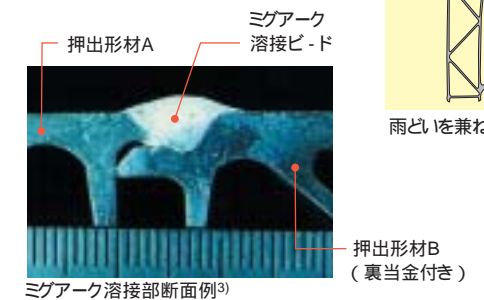


合理的な形状と肉厚配置をした側はり部の例²⁾

雨どいを兼ねる軒部断面の例

2 押出型材同士の接合は合理的

中空押出型材の場合、押出型材同士をはめ込む構造をとり、溶接(接合)に際し、裏当金付き突合せ継手となります。また、車両と同じ長さの押出型材を車両の長手方向に配置するため、自動溶接、ロボット化が容易であり、車体製造のコスト低減に寄与します。

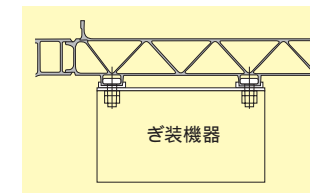


ミグアーク溶接部断面例³⁾

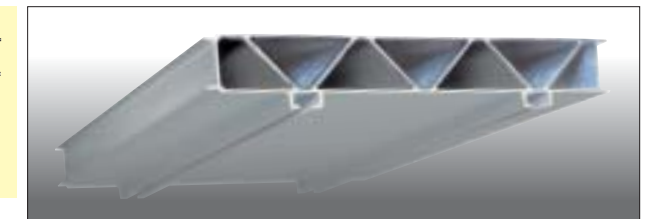
押出型材B (裏当金付き)

3 部品点数の削減が可能

押出型材につり溝のレール部を一体化することにより、機器などのぎ装をつり溝部に、ボルトで簡単に取り付けられます。



床下機器取付の例

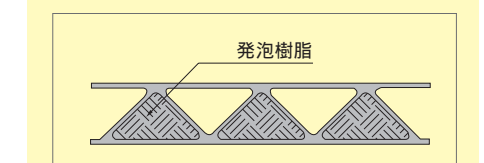


床材用アルミ押出型材

4 制振材の付加が可能

制振材を押出型材の中空部に付加することが可能です。このため車両製作時には制振材取付作業が不要となり、製作コストが低減できます。また、リサイクル時にはシュレッダー処理により制振材はアルミニウムから完全に除去できます。

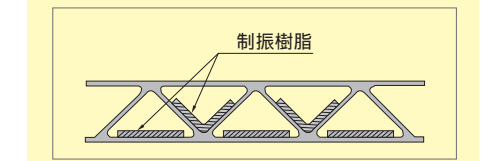
制振材が付加された押出型材



発泡樹脂充填タイプ

5 大型押出型材の製造が可能

中実押出型材では最大幅600mmまで、中空押出型材では最大幅550mmまでの大型押出型材の製造が可能です。



制振樹脂貼付タイプ

中空押出型材を使った車両の特長

中空押出型材を使えば、側柱や屋根たき等補強部材が不要となり、構体の組立ては自動化、ロボット化が容易となります。この車体断面全てを中空押出型材で構成する、いわゆるダブルスキン構造は信頼性が高く、品質の優れた車両が得られます。

1 車体強度の向上

中空押出型材は、曲げやせん断の強度が高く、これらを車両の長手方向に組み合わせたダブルスキン構造では、車端圧縮強度や側面衝突強度が向上します。(下図参照)

2 高剛性の確保

中空押出型材は、高い曲げ剛性やねじり剛性を有します。これらを車両の長手方向に組み合わせたダブルスキン構造では、車両の乗り心地を左右する剛性面においても優れます。

3 優れた遮音性

中空押出型材の中空部に制振材を入れることにより、遮音性を向上させ、いっそう快適な車内空間を作ります。

4 デザイン性の向上

押出型材の断面形状は自由度が高く、またアルミニウムは加工性に優れるため、車両のデザイン性を高めることができます。また、中空押出型材は接合組立てによるひずみが少なく、美しい外観を作り出すことができます。

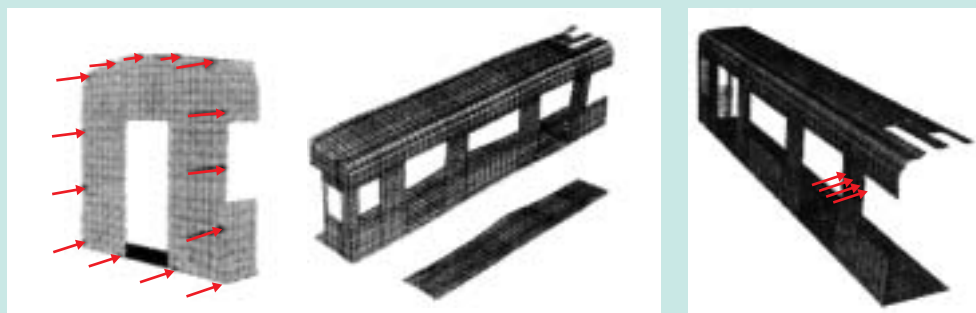


車両構体への溶接ロボットの適用¹⁾



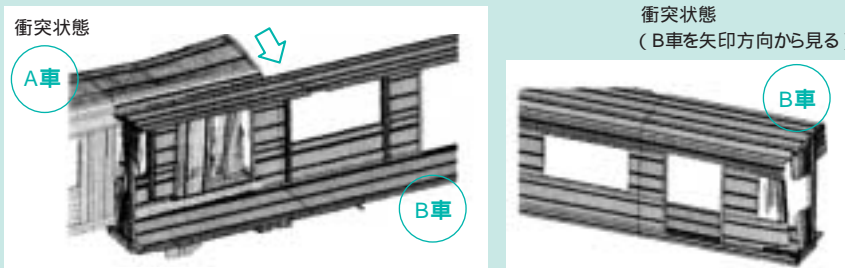
700系新幹線車両の構体内部³⁾

車体強度解析例²⁾



車端荷重に対する強度(車端荷重、全体)

戸袋荷重に対する強度



衝突状態

衝突状態
(B車を矢印方向から見る)

オフセット衝突に対する強度(オールダブルスキン構体)

中空押出型材は、曲げやせん断の強度に優れ、これを車両の長手方向に組み合わせたダブルスキン構体は、図に示すように、車端荷重強度、戸袋荷重強度、あるいはオフセット衝突強度等に対する精密な解析の結果、優れた特性を有することが確認されています。

新しい接合技術——摩擦攪拌接合(FSW)

摩擦攪拌接合(FSW:Friction Stir Welding)は、アルミニウム合金に適した接合技術です。接合は2つのアルミニウム合金材の突合わせ面に、回転工具を回転させて挿入し、素材を攪拌して接合します。従来の溶融溶接に比べて熱影響が少ないため、高い強度が保たれ、歪みも少ない良好な外観が得られます。

1 アルミニウム押出型材の長手方向の形状、特性をフルに活用して、生産設備の自動化、ロボット化が容易であり、省力化が徹底できます。

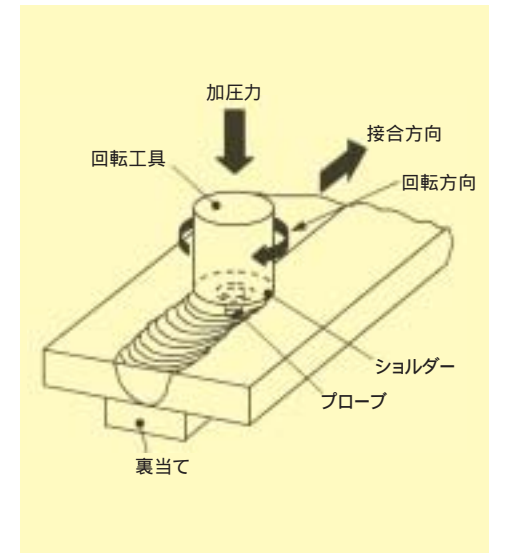
2 接合品質が作業者の技量に依存しません。

3 溶接後の変形(歪みや曲がり)や欠陥が少なく、後処理や歪み取りが不要で、精度が高く見栄えがよく、良好な外観が得られます。

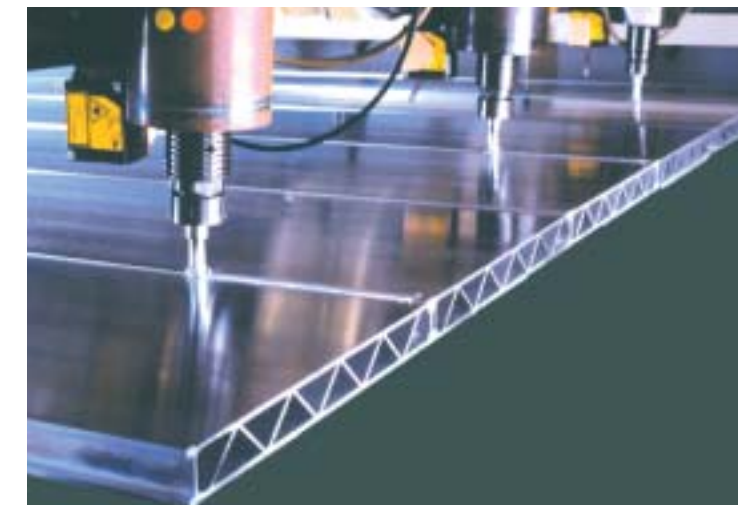
4 溶接後の機械的強度が、溶融溶接であるミグアーク溶接と同等以上です。

5 溶融溶接によるヒューム(粉塵、ガス)やスパッター(飛散金属)の発生がなく、作業環境が清潔に保てます。

6 溶加材やシールドガスなどが不要であり、省力化とともにコスト面で優位となります。



摩擦攪拌接合の原理



摩擦攪拌接合による接合状況⁴⁾



摩擦攪拌接合による構体外観(東京地下鉄05系13次車)

次世代の鉄道車両を担うアルミ車両

従来、労働集約型といわれた鉄道車両は、ダブルスキン構造を採用することによって、部品数が減少し、車両製作の自動化がきわめて容易となりました。それによって、構体構造はまったく新しい発想へと進化しました。また、新たに開発されたアルミに適した摩擦攪拌接合(FSW)技術は、この推進に拍車をかけています。

1 素材における高機能化

アルミ押出材は、強度部材の他に意匠性や別部品まで取り込んで一体化された素材です。特に最近ダブルスキン材と呼ばれるようになった構体用の中空押出材は、各中空押出材を接合することによって、全体として強度、剛性を有するなど、高い機能が確保されています。

2 コスト低減を可能とする自動化

ダブルスキン材は、20～25mという車両の長さいっばいに精度よく押出成形されます。車体製作に際しては、その長い状態のまま自動接合が可能です。自動化の結果、品質にばらつきがなく補修作業も軽減され、品質の向上が図れます。それとともに、作業者の技量に頼らない製造方法によって、高品質で低コストな製品の提供が可能となります。

3 乗り心地、快適性の向上

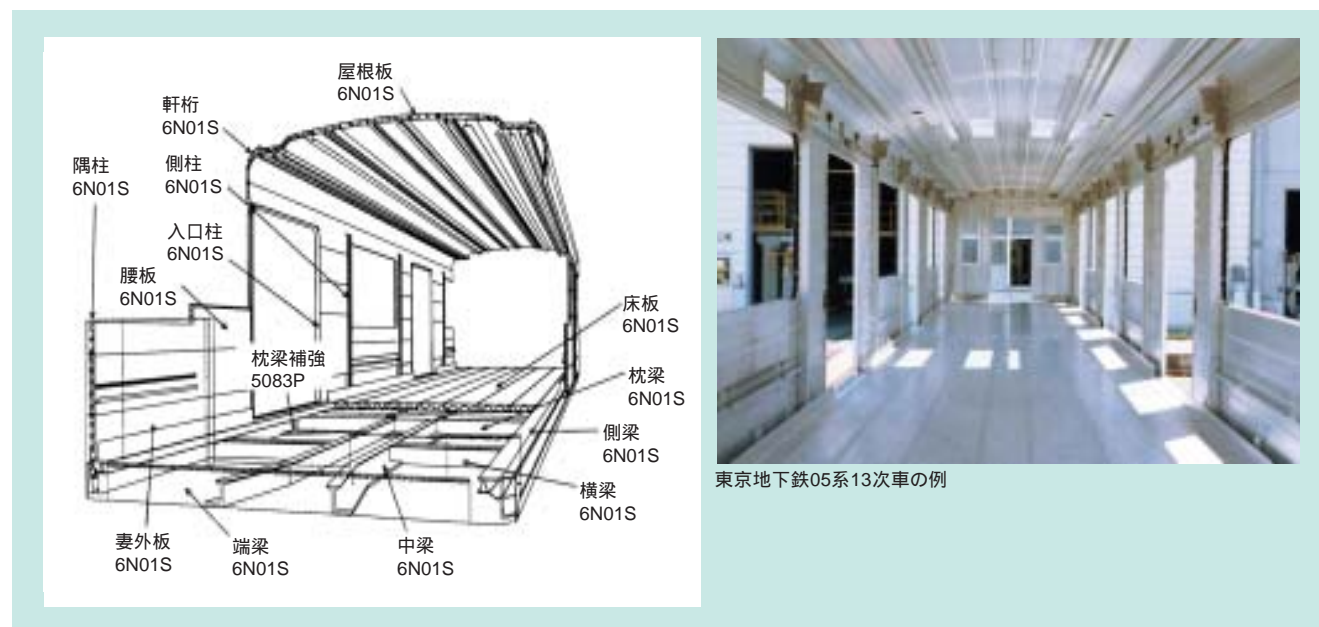
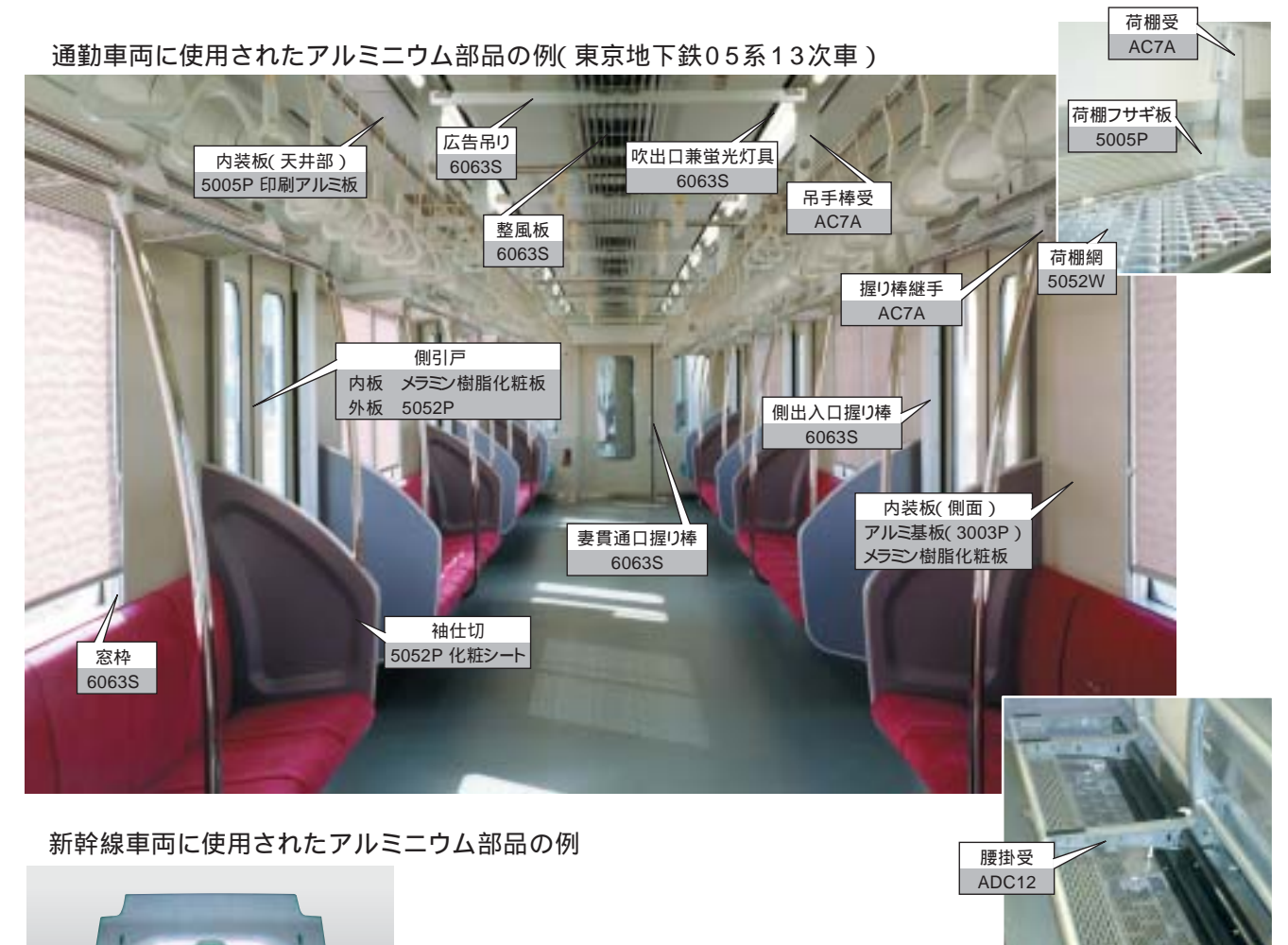
ダブルスキン材には、その中空部に制振材を付加することによって、振動・騒音が軽減され、乗り心地や静粛性が向上します。同時に、素材形態そのものが剛性を有するため、柱や梁がない構体構造が可能で、より広い快適な室内空間の確保が可能です。

4 標準化、リサイクル性等の推進

ダブルスキン材による構体構造は、共通の部材の採用が可能のため標準化が容易で、コスト低減にも有効です。また、ダブルスキン材と一体のつり溝を利用した部品の取付、配線等の共有化ができ、これもコストの低減に効果的です。さらに、同一合金種別のアルミ材の採用、すなわちモノアロイ化と内装部品の一層のアルミ化によって、高いリサイクル性が得られます。同時に、内装部品のアルミ化の推進は、火災時等の有毒ガス発生抑制や耐燃焼性の向上に寄与します。

随所で活躍するアルミニウム部品

軽量で耐食性のよいアルミニウム合金は、その成形性や美観などのすぐれた特性が活かされ、通勤車両から新幹線車両まで、各種車両部品として随所で活躍しています。また内装材のアルミ化により、車両の耐燃焼性が向上します。



21世紀を駆けるアルミ車両

21世紀に入り、環境負荷の低減や安全性が一層必要とされる社会にあって、公共輸送という社会的に重要なインフラの整備に、アルミ車両はさらに貢献していきます。また、海外からも日本のアルミ車両は高く評価されています。



台湾新幹線 700T系
700系を基本とした初の輸出新幹線車両
ダブルスキン押出型材構体、ミグアーク溶接



中国・重慶モノレール
跨座式モノレール
シングルスキン押出型材構体、ミグアーク溶接



首都圏新都市鉄道 “つくばエクスプレス”
TX-1000系直流電車、TX-2000系交直流電車
ダブルスキン押出型材構体、FSW



JR九州 800系
700系新幹線を基本とし、格調の高い内装設備
ダブルスキン押出型材構体、ミグアーク溶接



浮上式鉄道(山梨実験線) MLX01
超電導磁気浮上式リニアモーターカー
シングルスキン押出型材構体、FSW



JR東海・JR西日本 N700系
新ATCシステム・車体傾斜方式等を採用
ダブルスキン押出型材構体、ミグアーク溶接・FSW



JR東日本 新幹線高速試験電車FASTECH360S
最高速度360km/h営業運転を目指す高速試験電車
E954形式新幹線専用
ダブルスキン押出型材構体、ミグアーク溶接・FSW



小田急 50000形
特急形直流電車
ダブルスキン押出型材構体、ミグアーク溶接



JR東日本 E257系
特急形直流電車
ダブルスキン押出型材構体、ミグアーク溶接・FSW



JR西日本 683系
特急形交直流電車
ダブルスキン押出型材構体、ミグアーク溶接・FSW



福岡市交通局 3000系
リニア駆動方式地下鉄
ダブルスキン押出型材構体、FSW



東武 50000系
新型通勤電車
ダブルスキン押出型材構体、FSW



愛知高速 HSST100形“リニモ”
磁気吸引浮上・リニア誘導モータ推進式
シングルスキン押出型材構体、ミグアーク溶接

参考文献

- 1)宮崎勇：接合技術から見たアルミ車両の変遷、シンポジウム アルミニウム合金製鉄道車両 構造の革新と接合技術の役割、(社)軽金属溶接構造協会(2004)
- 2)戸取征二郎：21世紀を駆ける次世代アルミ車両システム、シンポジウム アルミニウム合金製鉄道車両 構造の革新と接合技術の役割、(社)軽金属溶接構造協会(2004)
- 3)酒井康士：シングルスキンとダブルスキン構造の接合技術的考察 新幹線300系と700系を例に、シンポジウム アルミニウム合金製鉄道車両 構造の革新と接合技術の役割、(社)軽金属溶接構造協会(2004)
- 4)東京地下鉄(株)：東西線05系車両13次車(2004)

アルミニウム車両委員会

(財)鉄道総合技術研究所
東日本旅客鉄道(株)
東海旅客鉄道(株)
西日本旅客鉄道(株)
東京地下鉄(株)
川崎重工業(株)
近畿車輛(株)
東急車輛製造(株)
日本車輛製造(株)
(株)日立製作所
(株)神戸製鋼所
三協アルミニウム工業(株)
昭和電工(株)
住友軽金属工業(株)
日本軽金属(株)
古河スカイ(株)
三菱アルミニウム(株)
軽金属押出開発(株)
(社)日本鉄道車輛工業会
(社)日本アルミニウム協会

(社)日本鉄道車輛工業会

〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-2 淡路町サニービル
TEL 03-3257-1901
<http://www.tetsushako.or.jp>

(社)日本アルミニウム協会

〒104-0061 東京都中央区銀座4-2-15 塚本素山ビル
TEL 03-3538-0221
<http://www.aluminum.or.jp>