

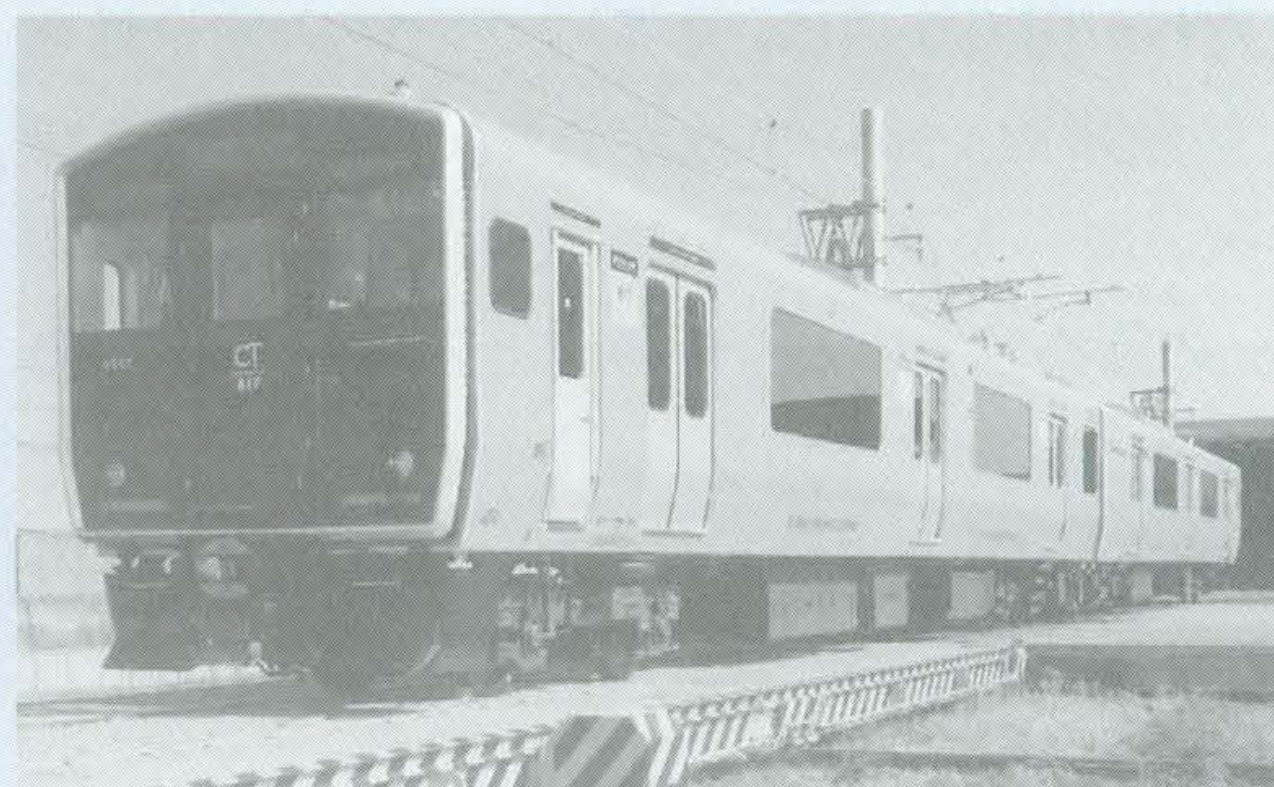
# 最近の鉄道車両“A-train”

## Recent “A-train” Electric Cars

山田 敏久 Toshihisa Yamada 大場 英資 Hideshi Ôba



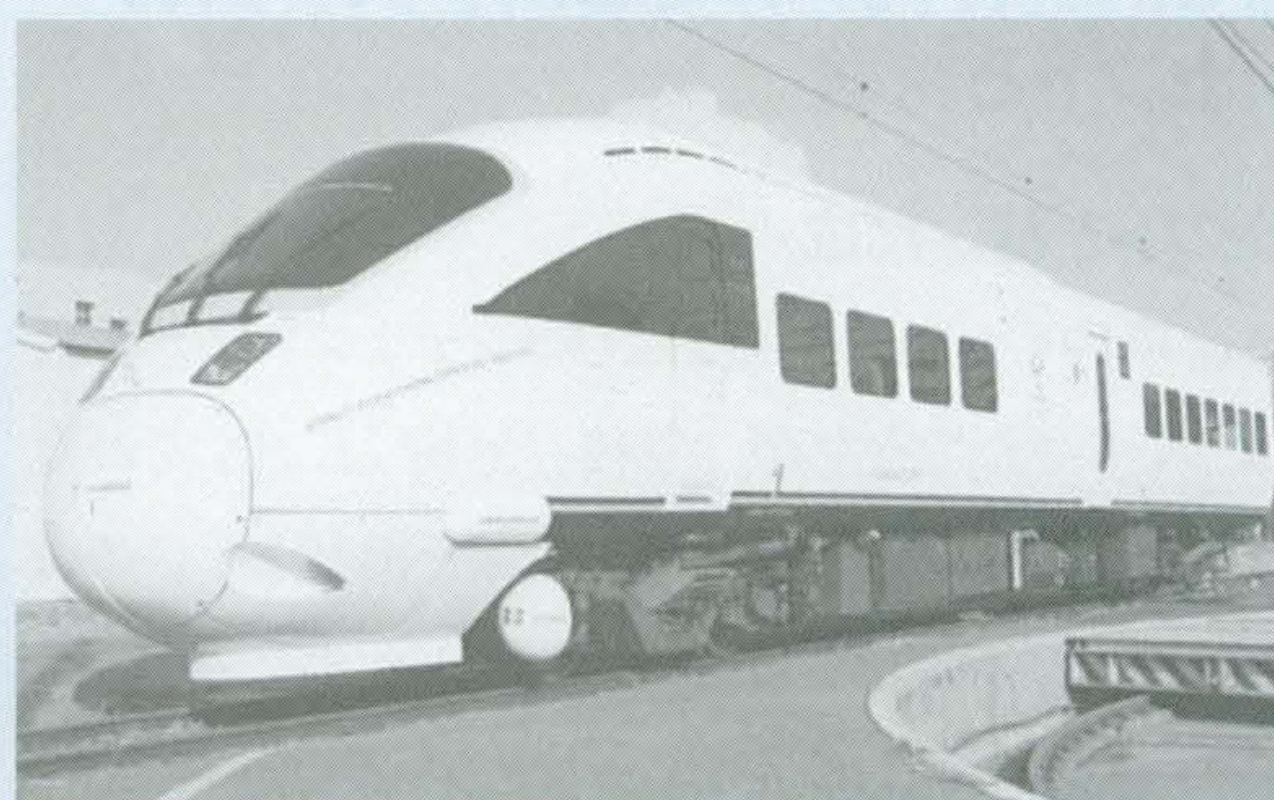
首都圏新都市鉄道株式会社納め「つくばエクスプレス」



九州旅客鉄道株式会社納め 817 系電車



東日本旅客鉄道株式会社納め E257 系電車「かいじ・あずさ」



九州旅客鉄道株式会社納め 885 系電車「白いかもめ」

注：\*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。

### 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、くふうを凝ら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」は進化していく。

日立製作所は、「環境負荷の低減」、「ライフサイクルコストの削減」、「今後予想される熟練就業者人口の減少」への対応をコンセプトに、車両の材料、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・近郊型電車をはじめ、特急電車に適用している。

A-trainの基本構成は、(1) FSW (Friction Stir Welding: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、(2) 完全自立型モジュール内装、(3) 中空押出型材で一体成形されたマウンティ

ングレールへのモジュール締結である。

A-trainにより、車内環境の静音化、高剛性構体、および安全性の向上が可能となり、FSW技術を適用することで、ひずみが少なく美しいアルミダブルスキン構体を実現できる。また、内装のモジュール化により、車両生産リードタイムの短縮とリニューアルの容易化が図れ、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」によって分解・分別が容易となり、リサイクル性にも優れている。

## 1 はじめに

長い鉄道の歴史の中で、車体についても社会のニーズに

適合した材料や構造、システムの開発が行われてきた。特に最近では、社会環境の変化や技術革新を受け、安全性・快適性・経済性・環境性など、車体に要求される機能や特性も多様化・高度化している。これにこたえるには、従来の構造お



よび工法の延長線上では限界があることから、抜本的な技術革新が求められていた。

このような状況の中で、日立製作所は、高精度アルミダブルスキン構体と自立型モジュールぎ装をコンセプトとした「A-train次世代アルミ車両システム」を開発した。

A-trainは、快適性・経済性・環境性について当初の目標をクリアしている。一方、最近では、従来以上に衝突時における安全性が求められるようになってきている。高度な信号システムを備えたわが国の鉄道は、世界トップクラスの安全性を誇るものの、接触事故や踏切事故が皆無ではなく、衝突時での安全性への関心が高まっている。そのため、日立製作所は、A-trainの衝突時での安全性の向上を図るとともに、修理作業の容易化に取り組んでいる。

ここでは、「A-train次世代アルミ車両システム」の開発と、衝突時での安全性への取り組みについて述べる。

## 2 A-train次世代アルミ車両システムのコンセプトと特徴

### 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なされてきたが、今後、労働人口構成の変化と少子化が予想されるため、信頼性確保を前提に、このような時代にも適用可能な設計・生産およびメンテナンスができる車両システムの開発を続けてきた。

開発のコンセプトは、顧客や社会の多様なニーズにこたえ、その実現に向けて目的と手段を共有化し、様式化、パターン化したシンプルな車両構造である。

A-trainのコンセプトを図1に、その基本構成を図2にそれぞれ示す。

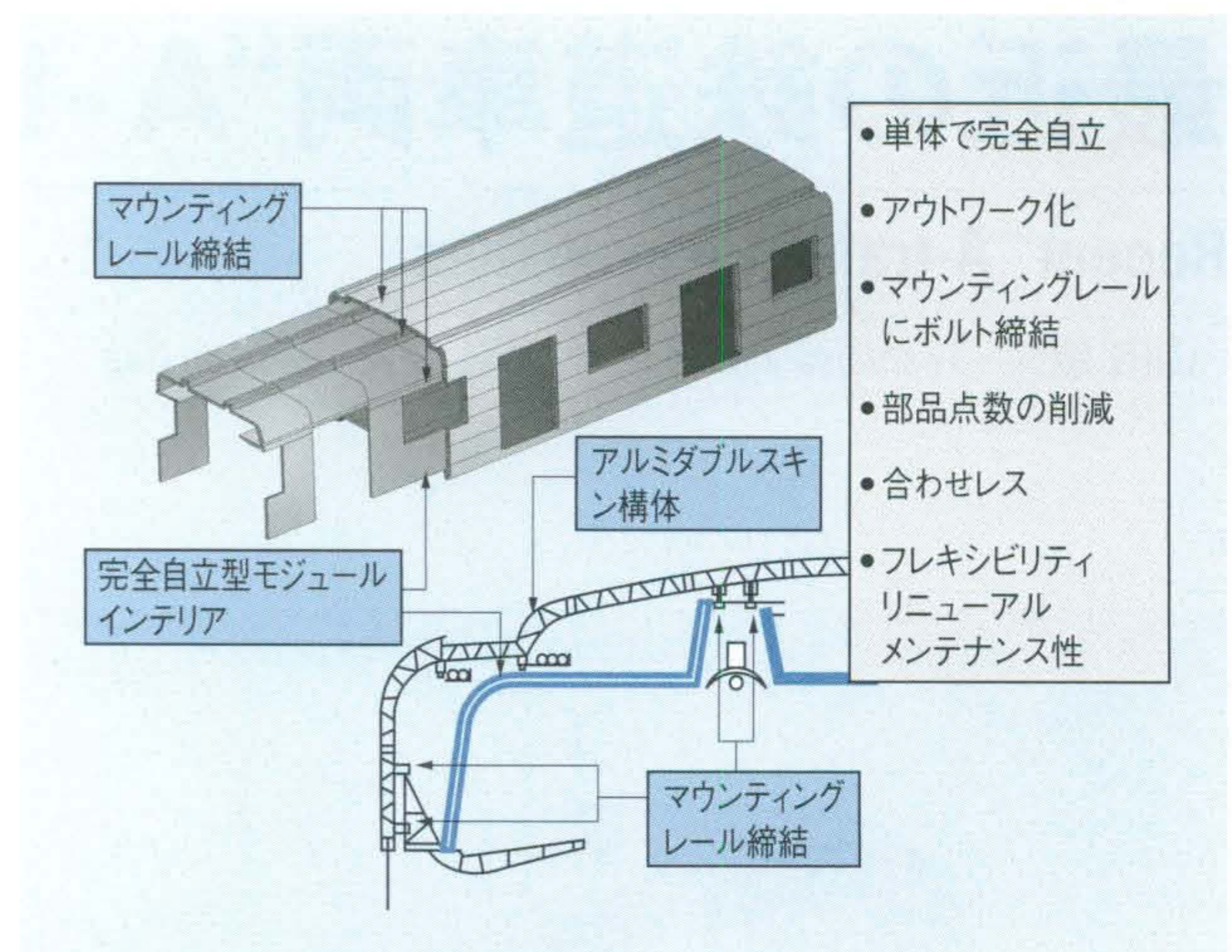


図2 A-trainの基本構成

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、自立型モジュールインテリアをボルトで容易に取り付けることができる。

### 2.2 特徴

#### 2.2.1 快適性

ダブルスキン構体は、シングルスキン構体に比べて遮音性の面で優れた構造である。シングルスキン構体が外板部の面密度が小さいのに対して、ダブルスキン構体は全面がほぼ均一の面密度となるため、全質量が遮音に有効的に作用する。

シングルスキン車両とダブルスキン車両の実車実測データを図3に示す。アルミダブルスキン車両の車内騒音はシングルスキン車両と比較するとオーバーオール(全体の音圧レベル)で3~6 dB(A)低く、車内環境の快適性を実証した。

#### 2.2.2 経済性

素材だけを比較すると、アルミはステンレス鋼よりも高価である。しかし、アルミダブルスキン構体は、その構造がシンプルであり、型材どうしの接合が自動化できるので、省力化による組立費の低減と車両生産リードタイムの短縮化が図れる。

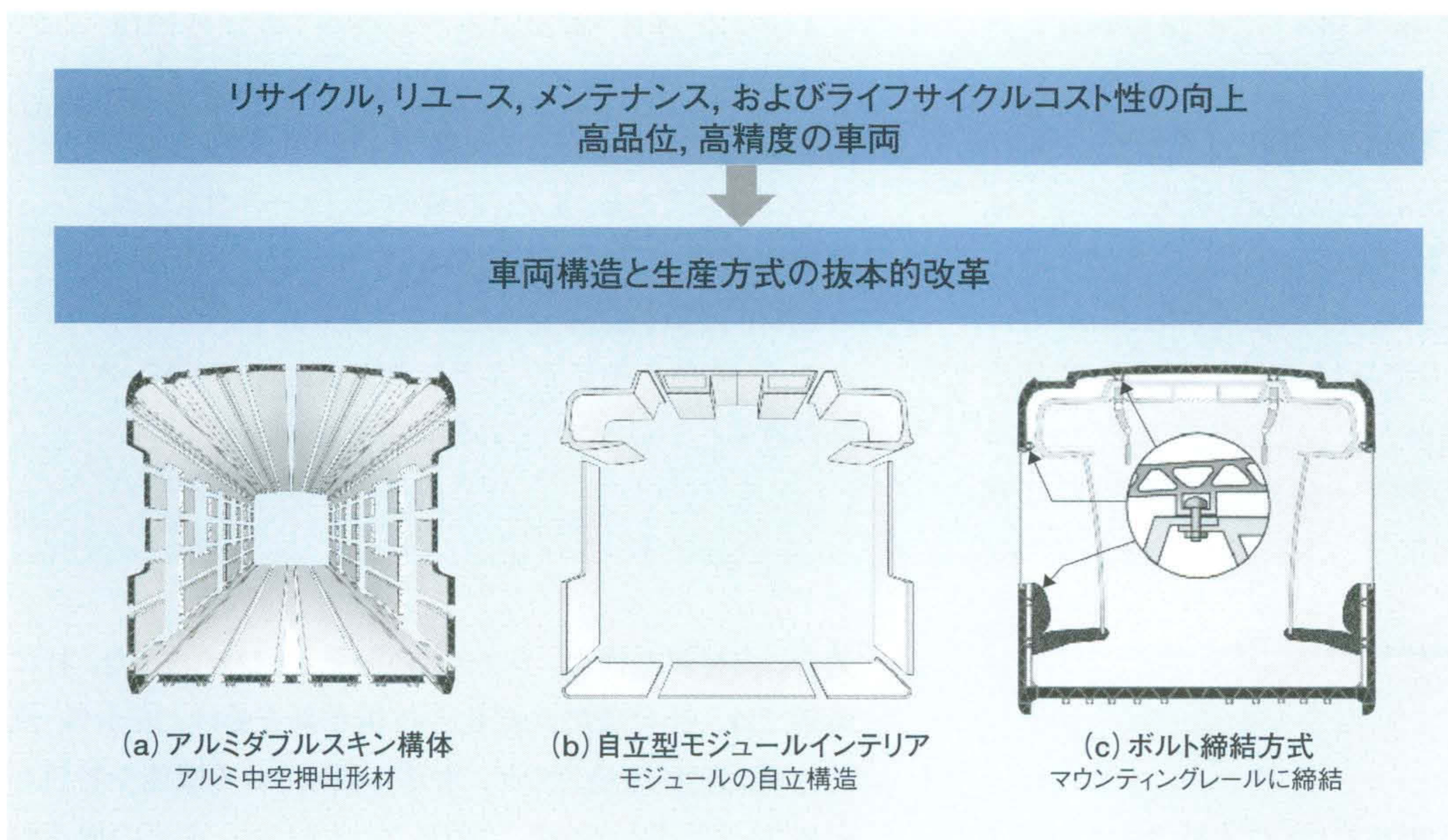
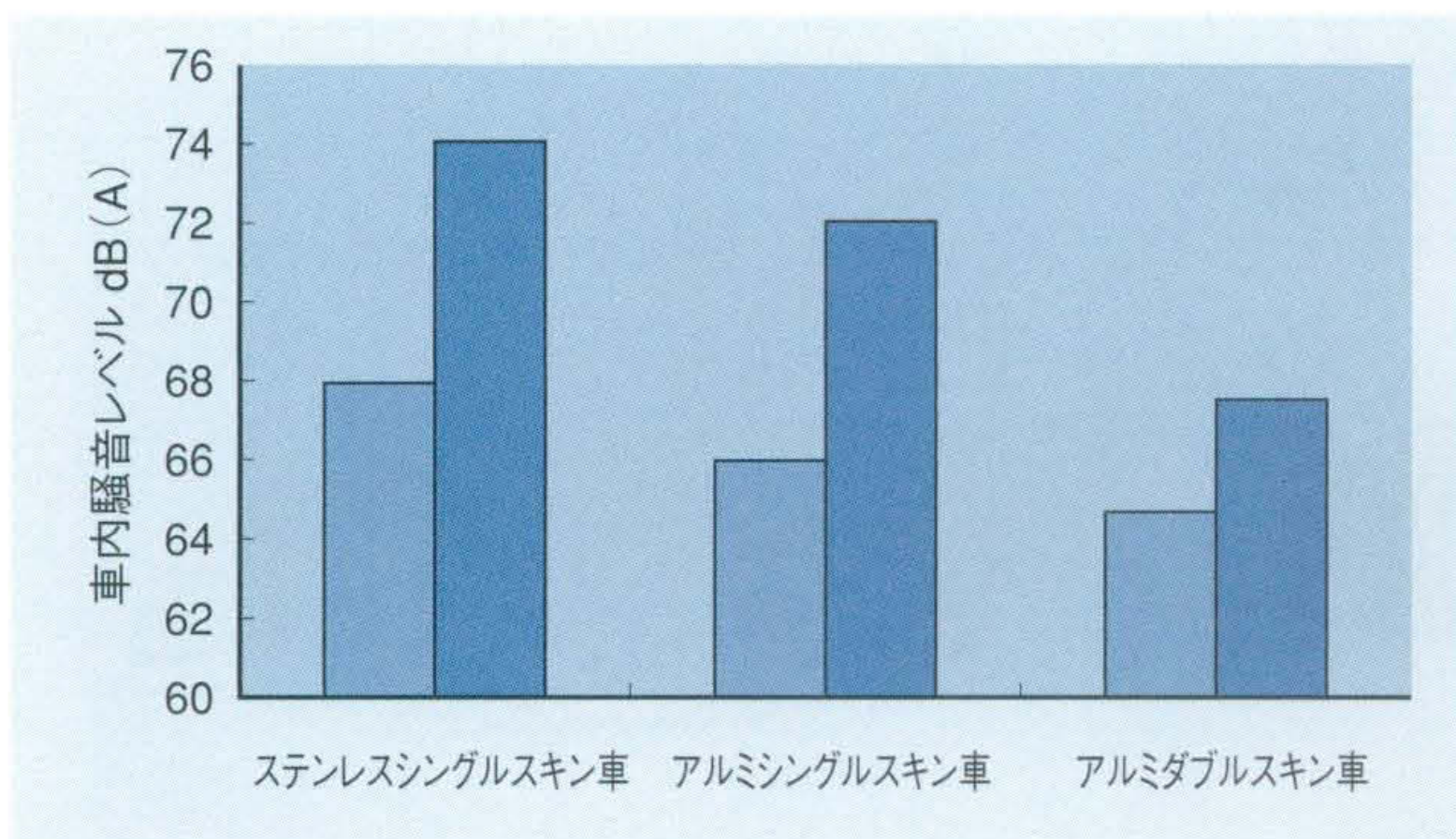


図1 A-trainの基本コンセプト

全体をアルミ中空押出型材で構成したアルミ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み合わせにより、車両構造と生産方式を改革する。





注1: ■ [力行時騒音 (50 km/h)], ■ [惰行時騒音 (80 km/h)]  
 注2: (1) 軌道条件; 明かり (地上の開放) 区間  
 (2) 測定位置; 台車上部床面から1.2~1.5 m

図3 アルミダブルスキン車両とシングルスキン車両の車内騒音レベル (通勤電車による実測値)

骨組がなく全面を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できるので静音化が図れる。

廃車の際にもアルミは残存価値を持っているので、新地金の3%のエネルギーでアルミ地金としてリサイクルできる長所がある。

また、完全自立型モジュール工法を採用した車両組立により、組立費が低減でき、リニューアル工事が容易化できる。

さらに、モジュール化によって構体内部骨組が廃止でき、複雑な根太がないシンプルな床構造となる。そのため、ステンレス構体と構体質量 (内部骨、床構造を含む。) を比べると5%程度の軽量化が図れることから、車両の走行エネルギーの低減に寄与できる。

### 2.2.3 環境性

A-trainは、前述したように、構体の軽量化によるエネルギー消費やCO<sub>2</sub>排出量の削減が可能な、環境に配慮した車両である。

アルミダブルスキン車両とステンレス車両について、LCA (Life Cycle Assessment) 評価を実施した結果、アルミダブルスキン車両は、ステンレス車両と比べて走行時のエネルギー消費を98%に低減できる見通しである。

## 3 衝突時での安全性への取り組み

### 3.1 基本構成

鉄道車両の衝突時での安全性を向上させるためには、衝突時に車体構造の変形、破壊を最小限にとどめ、乗客乗員の安全性を確保する必要がある。また、衝突時に車両自体が持つ運動エネルギーを吸収し、車体に作用する衝撃加速度を低く抑える必要もある。

A-trainではモジュール構造を用いており、車体を先頭モジュール、中央客室部、および連結部の切妻モジュールに分割している。列車の衝突エネルギーを先頭モジュール、切妻モジュールの塑性変形によって吸収し、衝撃加速度を緩和し、

かつ中央客室部の変形、破壊を最小限にとどめて、客室部を乗客乗員の安全空間として確保する。

### 3.2 安全性の確保

アルミ中空押出型材によって両面に外皮が構成されるダブルスキン構体は、これまでのステンレス鋼製構体やアルミシングルスキン構体と比べて構造体としての強度が高く、レール方向の圧縮荷重に対する破壊強度と、局部荷重に対する破断強度に優れている。国内外の鉄道衝突事故例には、アルミ構体が溶接継手から破断して被害を増大させている事例が見受けられる。しかし、A-trainの構体製作に適用されているFSW (摩擦かくはん接合) は、母材、アーク溶接継手により、高い衝撃強度を持つことが実験によって確認されており、衝突時の構体の破断を抑え、安全性が向上するものと期待できる。

これらにより、A-trainのアルミダブルスキン構体は、衝突事故時の乗客乗員の安全性をいっそう高めることができると言える。

### 3.3 クラッシュブルゾーンによる衝突エネルギーの吸収

A-trainのアルミダブルスキン構体は、前述したように高い圧縮強度を持っている。しかし、これは衝突事故時に構体が剛体に近い挙動を示し、高い衝撃加速度を発生させ、乗客乗員と搭載機器に強い衝撃を与えてしまうことにつながる。そのため、車体両端部の構体に、中央部よりも低い圧縮荷重で塑性変形を起こさせることで、衝突時の運動エネルギーの一部を変形エネルギー (変形に要する荷重×変位量) に変換して吸収し、衝撃加速度を抑制する構造 (クラッシュブルゾーン) を採用した。クラッシュブルゾーンで吸収すべき衝突エネルギー量は、衝突時の列車の挙動をダイナミクスシミュレーションによって解析し、各車両に作用する荷重や衝撃加速度が所定のレベル以下となるように設定する。列車挙動のダイナミク

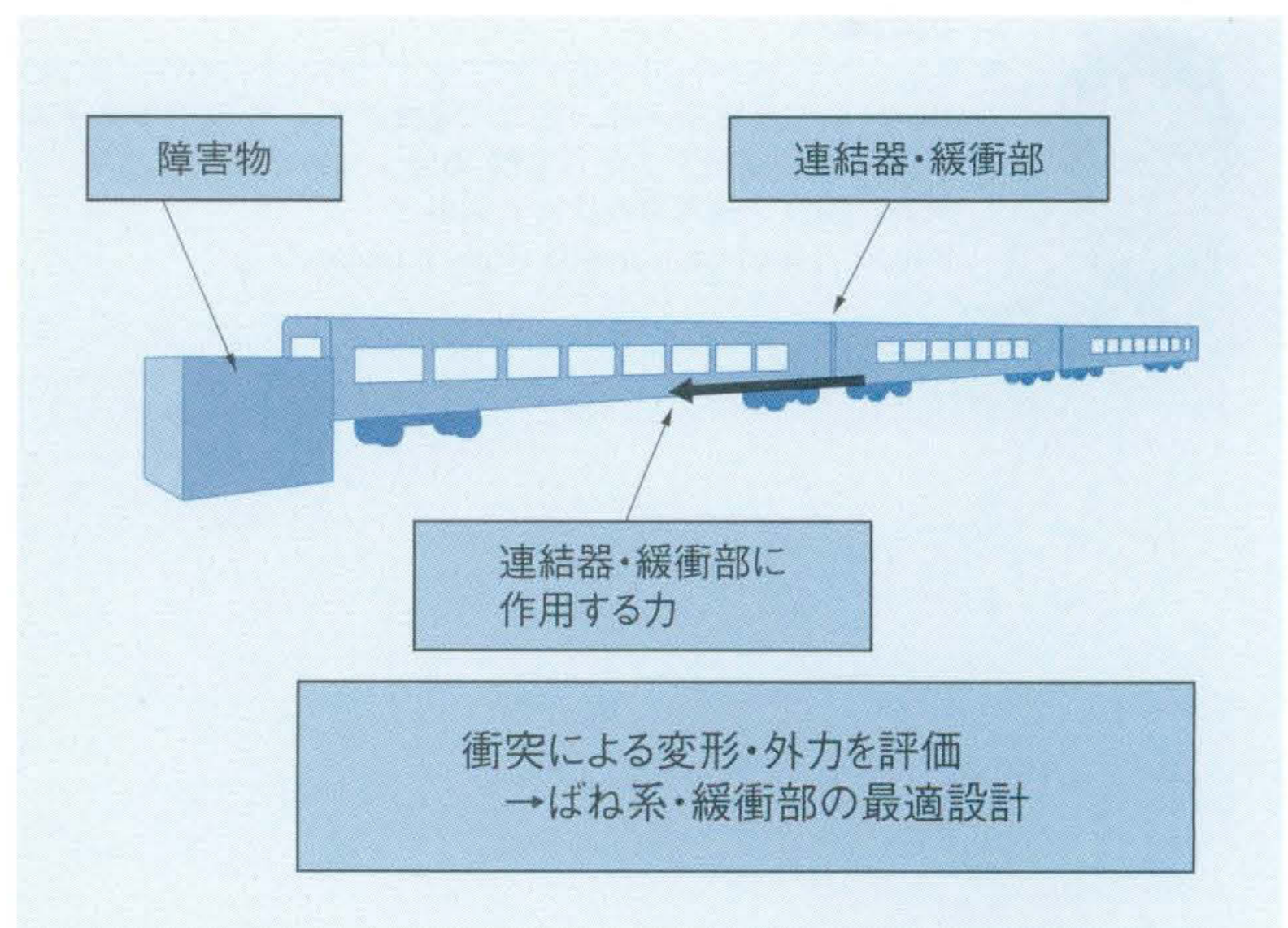


図4 列車挙動におけるダイナミクスシミュレーションの例

衝突時の列車の挙動を解析し、各車両に作用する荷重や衝撃加速度が所定のレベル以下となるように、クラッシュブルゾーンで吸収する衝突エネルギー量を設定する。



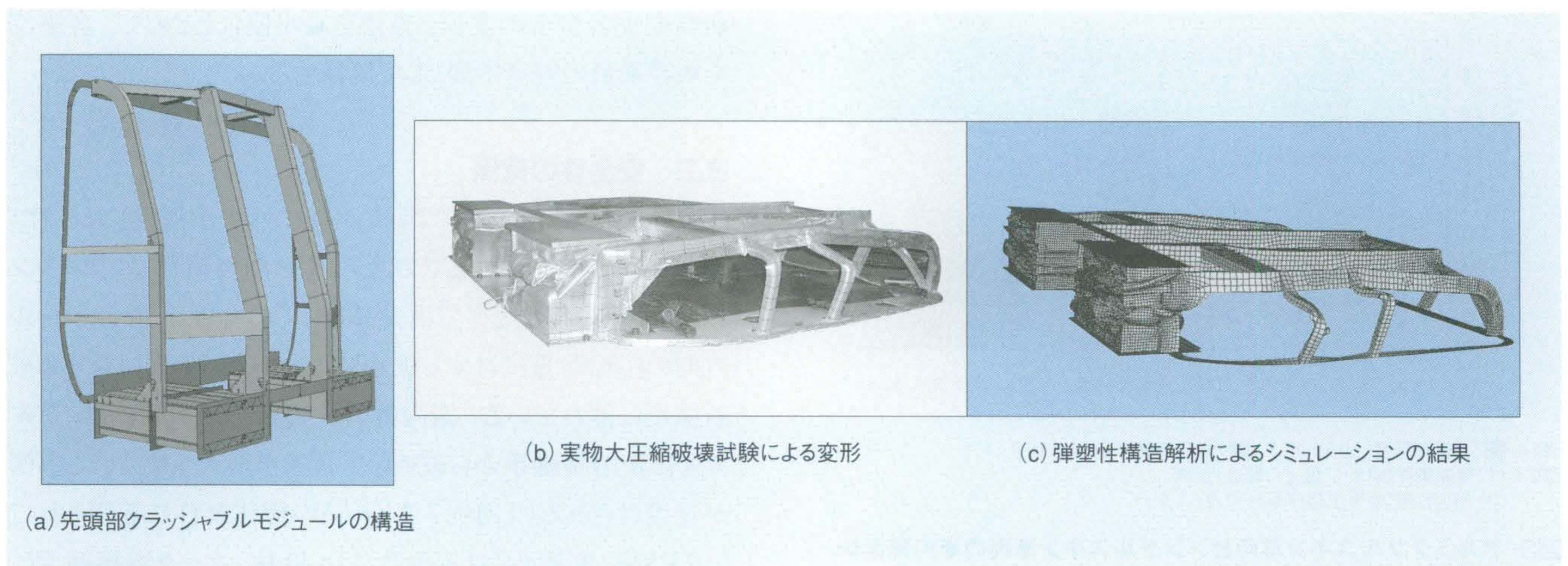


図5 先頭部クラッシュブルモジュールの例

軽量でコンパクトなアルミ合金製エネルギー吸収要素を採用した。実物大圧縮破壊試験と弾塑性構造解析の結果がよく一致している。

スシミュレーション例を図4に示す。

クラッシュブルゾーンを構成する方法として製品に適用しているのは、アルミダブルスキン構体の車体両端部に切欠を設けて、両端部の圧縮強度を中央部よりも低くする構造である。これにより、両端部で塑性変形を起こし、衝突エネルギーを吸収させる。現在はさらに吸収能力を高めるため、エネルギー吸収効率の高い部材で先頭部、切妻部のフレームを形成し、外板、内装、搭載部品を組み込んだモジュール(クラッシュブルモジュール)を、中央部のアルミダブルスキン構体にボルト締結する構造の開発を進めている。この構造では、衝突によって塑性変形したクラッシュブルモジュールを予備パーツにそっくり交換することにより、事故車両を短時間で修理し、早期の復帰を可能にする。

日立製作所は、高度な弾塑性構造解析技術を基に、A-trainに適合した軽量でコンパクトなアルミ合金製エネルギー

吸収要素を開発し、クラッシュブルモジュールに適用している。先頭部クラッシュブルモジュールの例、および実物大圧縮破壊試験結果と弾塑性構造解析結果の比較を図5に示す。

## 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、衝突時における安全性への取り組みについて述べた。

安全性は交通機関の最も重要なキーワードである。日立製作所は、今後も、ユーザーの多様なニーズにこたえるために速度や快適性に加えて、安全性を乗客への重要なサービスととらえ、A-trainのクオリティと安全性の向上を図る技術を開発していく考えである。

## 執筆者紹介



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在来線電車の設計に従事  
E-mail: toshihisa\_yamada @ pis. hitachi. co. jp



大場英資

1987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、輸出電車の設計に従事  
E-mail: hideshi\_ohba @ pis. hitachi. co. jp