

アルミエージ

2014
SPRING
NO.179
JAPAN
ALUMINIUM
ASSOCIATION

ALUMI-AGE

[特集]

鉄道車両とアルミ

Interview

建築家

隈研吾さん

アルミのある風景

競技用車いす

No.179

アルミの話

ナポレオン3世は
アルミニウムに
どんな夢を見たのか。

Aluminium for Railway vehicle

特集 鉄道車両とアルミ

世界の交通インフラに欠かせない鉄道。
鉄道大国日本は、時間に正確で安全な運行はもちろんのこと、
乗り心地やデザイン面でも世界中の注目を集めています。
なかでも新幹線を代表とする高速鉄道は
高い技術が評価され、輸出され始めています。
現在運行するすべての新幹線の車体にはアルミ合金が使われています。
今回は、アルミ合金が使われている鉄道車両の現場をレポートします。

text by ALUMI AGE

取材協力・写真提供：JR 東日本、川崎重工業、山陽電気鉄道、東京メトロ、台湾観光協会
参考文献：車両研究（秀和システム）、日本の鉄道（宝島社）、新幹線テクノロジー（三栄書房）、世界の高速列車II（ダイヤモンド社）
表紙：世界市場に向けた新型高速鉄道車両「efSET」。川崎重工業提供

川崎重工業 兵庫工場で造られている
新型新幹線E7系

それでは日本の車両に目を向け
てみましょう。第二次世界大戦直
後に国鉄の63系電車やオロ40系客
車の車体材料としてジュラルミン
が使用されたことがあります。当
時アメリカの占領下にあった日本
は連合国軍最高司令官総司令部

日本のアルミ合金製車両

現在、「アルミ合金製車両」と
呼ぶときには、構造体にアルミ合
金を用いた車両を指します。です
ので、車体外板や内部構造などに
アルミ合金を使用した最初の車両
という意味では、1952年に誕
生したロンドン地下鉄の車両が世
界最初の「アルミ合金製車両」と
いえるでしょう。

そこで川崎重工業ではドイツの
WMD社に技術者を派遣して設
計・製造技術を習得し山陽電気鉄
道2000系を完成させました。
アルミ合金製車両と同仕様のステ
ンレス鋼製車両と普通鋼製車両も
製造し、同じ路線で走らせてデー

「日本にはすでにゼロ戦などで高
強度のアルミ合金が使用されてお
り、アルミ合金を鉄道の軽量化に
どう使おうかと考えていました。
そこで川崎重工業ではドイツの
WMD社に技術者を派遣して設
計・製造技術を習得し山陽電気鉄
道2000系を完成させました。
アルミ合金製車両と同仕様のステ
ンレス鋼製車両と普通鋼製車両も
製造し、同じ路線で走らせてデー

空機が急速な発展を遂げたため、
鉄道は合理化を迫られます。その
取組の一つとしてアルミ合金を使
った軽量化が研究されるようにな
りました。アルミ合金製車両の最
大のメリットは、車体の構造物が
鋼製の3分の1の重さでできるこ
とです。アルミ合金製車両導入に
よって、車両全体で10〜15%の軽
量化を実現でき、エネルギーを節
減することが可能になりました。

(GHQ) によって飛行機の製作
が禁じられており、航空機用にス
トックされていたジュラルミンを
普通鋼鉄の代用として製作したの
です。これはあくまでも試験的な
試みで、やがて普通鋼材に戻りま
した。その後も、アルミ合金が使
われることがありましたが、ケー
ブルカーやロープウェイのゴンド
ラが主な用途でした。

鉄道が生まれた頃、鉄道車両の
車体に用いられる主な材料は木材
でした。床に当たる「台枠」には
走行する際にかかる力、乗客や荷
物などの重さがかかり、車体の大
きな負荷がかかる場所です。そこ
で強度を持たせるために「半鋼製

アルミが未来の形を作る
本格的に鉄道車両のアルミ合金
化が進んだのは第二次世界大戦以
降です。戦争によって技術力や輸
送手段が合理化され、鉄道のライ
バルである乗用車、バス、民間航



鉄道車両とアルミ
Aluminium for Railway vehicle

E5系新幹線の製作風景
写真提供：川崎重工業



E5系新幹線の構体組立
写真提供：川崎重工業

アルミ合金と鉄道
鉄道車両にアルミ合金が初めて
用いられたのは1896年。フラ
ンス北部鉄道の客車窓枠への試験
的な採用でした。続いて1905
年、イギリスのランカシャー・ア
ンド・ヨークシャー鉄道の電化時
に、市内の高架線を通るために車
両重量を軽くする必要に迫られ、
鋼鉄製の外板と内装品の一部がア
ルミ合金に置き換えられました。
アメリカでも1923年ごろから
イリノイ・セントラル鉄道やノー
ース・ウエスタン鉄道で外板や屋根
板などにアルミ合金が使われ始め
ました。

車」という、外板、柱、台枠を金
属で、床や内装を木材で造った車
体が誕生します。やがてほとんどの
部分で普通鋼材が用いられるよ
うになりました。鋼材は火災や衝
突などに対する安全性を高めるこ
とができましたが、長期間使用す
るとさびなどの腐食が進みます。
そのために腐食代を持たせて厚め
の板を用いるなどして厚みを増す
必要がありますが、車両重量が重
くなり速度が低下してしまいます。
車両製造コストよりも製造効率や
ランニングコストが重要視される
ようになると、軽くて強いアルミ
合金製車両の研究が盛んに行われ
るようになりました。

海外にもFSW（摩擦攪拌接合）が広がり、溶接が人から機械に置き換わると事情は変わるかもしれません」

川崎重工工業では、世界市場に向けた新型高速鉄道車両「efSET」を自社開発しています。この車両は営業運転速度350km



新型車両E7系新幹線。空色と銅色(カッパー)のラインをあしらった和のテイストが息づく。

hを実現し、乗客の快適性向上や環境負荷低減も実現しています。これまでの高速車両の設計・製造の経験を生かし、車体の軽量化及び空気抵抗の低減などの技術を適用しています。もちろん、この車両にもアルミ合金が使用されています。

現在の車両

新幹線でアルミ合金が採用された車両は東北・上越新幹線用に開発された200系（1982年）が最初です。以来、すべての新幹線がアルミ合金製車両を採用しています。公益財団法人鉄道総合



台湾にも日本の新幹線をベースにしたアルミ合金製車両が走る。写真提供：台湾政府観光協会



川崎重工工業株式会社 車両カンパニー技術本部 本部長 森本裕之さん



世界市場に向けた新型高速鉄道車両「efSET」 写真提供：川崎重工工業

タを取ることができました。山陽電気鉄道やる気が感じられますね（笑）。3両編成のステンレス鋼製車体の質量が14460kgに対し、アルミ合金製車体の質量は9770kg。32%の軽量化が確認されました。また、運転時の使用電力や制輪子（ブレーキ装置の一部）などの摩擦を比較した結果、重量の軽減率にほぼ近い低減率となることが確認されました。当時アルミ合金で心配されたのが耐食性なのですが、3つの素材で造った車両の実験により全く問題がないということがわかりました。以来、2000系は1990年まで28年間運用されました」。

高速鉄道の時代へ

現在のアルミ合金製車両の代表は新幹線などの高速車両です。新幹線の先頭車両の形は複雑で、この形を作るためには優れた技術を持つ職人を育成しなければいけません。川崎重工工業をはじめとした日本の車両メーカーは切磋琢磨し、日々技術力を高めています。「アルミ溶接は非常に難しくスキルも必要です。例えばアメリカに高速車両を導入して車両をアルミで作ろうとなったときに、溶接の問題が出てくる。日本のように作業者が徹底的に教育され、品質に対してまじめに取り組むという環境はなかなかない。ですが今後、

技術研究所の車両構造技術研究部 主管研究員の石塚弘道さんに新幹線とアルミ合金の関係を伺いました。

「200系新幹線は東海道・山陽新幹線0系（1964年、鋼の全溶接組立て）をベースに、豪雪地帯を走るための設計がなされました。先頭部には大型のスノーブラウ（軌道上の雪を貯雪溝に排除する板）を装備しています。東北を走るということで、床下機器に雪が付着して凍らないように、床下を覆うポディマウント構造にする必要がありました。覆うわけですから車両全体が重くなる。そこで軽



山陽電気鉄道200系車両 写真提供：山陽電気鉄道株式会社



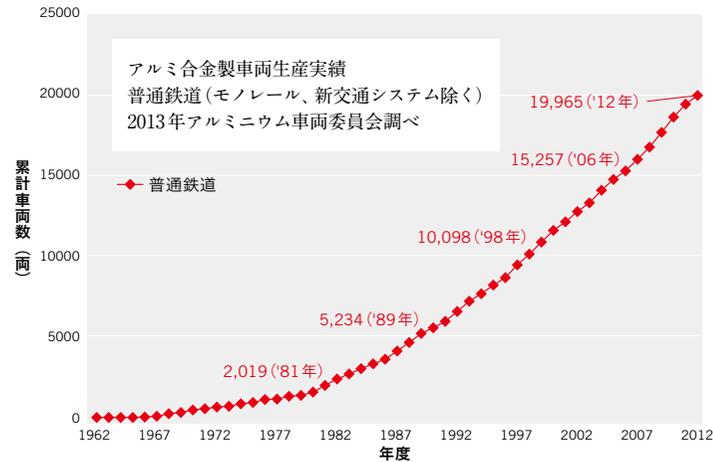
東京メトロ16000系 写真提供：東京メトロ

アルミ合金車両率100%の東京メトロ

東京メトロでは昭和41年にアルミ合金車両（東西線5000系7両編成3本）を導入して以来、アルミ合金車両を増やし続け、現在では東京メトロが保有する2705両（平成25年12月末現在）すべてがアルミ合金車両です。東京メトロ路線は急曲線が多く、駅間距離が短く、さらに勾配が多いことから、列車走行時に加減速を繰り返すという特徴があります。そのような条件下で

運行するには、軽量で列車走行時の電力使用量を削減することが可能なアルミ合金車両は最適です。さらに、アルミ合金は耐腐食性に優れており無塗装化が可能であるため、塗装設備を必要とせず、車両のメンテナンス性の向上につながります。また、アルミ合金がリサイクルに向いているという点や、加工性に優れているために意匠性が高いなどの理由もあります。

2014年3月、新型新幹線車両E7系（JR東日本）、W7系（JR西日本）が2015年春に予定されている北陸新幹線金沢延伸開業に向けてデビューする。日本の持つ最高の鉄道技術を満載し、多くの人々の思いを乗せて走り始める。鉄道車両の進化の影には、必ずアルミ合金が寄り添っています。



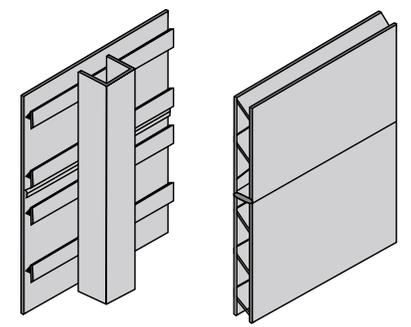
北陸新幹線E7系 写真提供：JR東日本

可能性はまだまだありそうです。これまで、アルミ合金を使う理由の一つに軽量化がありました。最近ではステンレス鋼も薄肉化している、アルミ合金製車両と変わら



公益財団法人 鉄道総合技術研究所
車両構造技術研究部 主管研究員 石塚弘道さん

ないくらいの重さになってきている。これからは軽量化ということだけを売り物にはできない。それ以外のメリット・付加価値をつけないと、ステンレス鋼に対してアルミ合金の優位性を打ち出せないかなと思いますね」



シングルスキン構造 ダブルスキン構造

量化の必要から車体にアルミ合金が採用されたのです。しかし、本格的なアルミ合金製車両の新幹線はシングルスキン構造を採用した300系（1992年）からと考えてもいかもしれませんね。700系（1999年）から最新のE7系（2014年）まではダブルスキン構造を使っています。シングルスキン構造（アルミ合金の大型押出成形材の内側にT字状の突起を形成し、柱や梁などの骨材を溶接した構造）では強度を担保するために外板と骨組みが不可欠でしたが、ダブルスキン構造（内外2重のアルミ板の間にトラス状の構造を形成した物。このトラス構造が強度を発揮する）を使うと、外壁

部のみで必要な強度を保つことができます。さらに、製造工程を簡素化することが可能です」
今後のアルミと鉄道
2012年度（平成24年度）のアルミ合金製車両の生産数は566両。山陽電気鉄道の2000

両の存在になるのでしょうか。「現在の新幹線の車両にはアルミ合金が使われていますし、これからも使われていくでしょう。リニアも含め高速列車はアルミ合金がずつ

と使われていくと思うのですが、さらに今後アルミ合金製車両が増えていくためには、今あまりアルミ合金が使用されていない通勤電車にも使われるようになることさらにシエアが増えていくでしょうね。JR東日本の通勤車両を見てもすべてステンレス鋼製車両です。ですが東京メトロの車両はすべてアルミ合金製車両なんです。価格の問題などがあるので、ここに食い込んでいけばアルミの

開発部 構体構造設計課
田口真さん
アルミは軽量化にとって非常にメリットがある材料です。今、話題になっているのが「異材接合」です。一種の金属だけで作るのではなく、より強度が要求される箇所には強いもの、作りやすさや軽さを追求したい箇所にはその要求に適した材料というように、適材適所に材料を使う考えです。異材接合が進めばオールステンレスの車両の分野にもアルミが食い込んでいけるのではないのでしょうか。

技術本部 開発部
吉川直樹さん
高速車両を考えるとアルミはなくてはならない存在。設計時に軽量化が非常に大きな課題になりますので、必要な板厚は少しでも削りたい。押出形材で必要な場所で板厚を変えられる方法があればさらに軽量化ができます。半分夢のような話ですが、そういうことができたらさらにありがたいですね（笑）。





南青山の隈さんの事務所。

建築家 Architect Kuma Kenjiro

隈研吾

さん

建築家の隈研吾さんが使う建築素材は多様だ。鉄やコンクリート、木はもちろんのこと石、竹、木、ガラス、和紙、セラミック、そしてアルミニウム。それらを用い表情豊かな建物を作り出す。世界で活躍する隈研吾さんにアルミの魅力を尋ねた。

text by ALUMI AGE
photographs by Tanaka Masaya

機能を優先し無機的になりがちな建築も、隈研吾さんの手にかかると有機的なやさしい表情を持つ。安全や機能を第一に考えながらも、長年使い続ける人に寄り添う建築物。斬新に思える素材の使い方や、デザインも独りよがりなものではない。素材の持つ可能性を示し、次世代に向けて絶えず問いかけている。これまでにない建築を世に生み出し続ける隈研吾さんに建築とアルミニウムの関係を尋ねた。

鉄とコンクリートの時代の次

歌舞伎座は1889（明治22）年に第一期ができ、今回僕が建て

替えを手がけたのは五期目に当たります。大きな柱はPC（プレキャストコンクリート）、その次に大きいものはGRC（硝子繊維補強セメント）で造り、入り口の底に付いている垂木は軽量化のためにアルミの曲げで製作しました。垂木を手がけたのは江戸時代からの金工技術を引き継ぐ富山県の職人さんたちです。アルミ、GRC、PCの上にケイ素系の粉体塗装をしていて、質感も漆喰のように柔らかな印象になっている。よく見るとアルミ製垂木のジョイント部分は小さなすき間を空けてある。その細かいすき間が全体として軽



くま・けんご 1954年横浜生まれ。コロンビア大学客員研究員を経て、2001年より慶應義塾大学教授。2009年より東京大学教授。近作にサントリー美術館、根津美術館、歌舞伎座などがある。著書に『負ける建築』（岩波書店）、『建築家、走る』（新潮社）などがある。

なくなったという感じにつながるのだと思う。アルミは建築にかけるいろいろな思いを受け止めてくれる素材です。アルミには押出や曲げなどそれぞれ表情があり、変幻自在なところがありますよね。アルマイト（*）には独特の鈍い光沢が出てくるし、塗装も非常に乗りやすい。木や石などのほか素材と組み合わせたりする時にもアルミは相性がいい。

20世紀の工業化社会は「鉄とコンクリートの時代」でした。それは特殊な時代だった気がしますが、もちろん、今後も鉄とコンクリートがなくなるわけではなくて、建物を支える基礎の部分では鉄やコンクリートが必要なんです。ですが、人間の身体に接する部分で鉄やコンクリートが使用される時代は、これまでの特殊な現象であって、これからは別の時代になるのではないのでしょうか。鉄とコンクリートの前は木造で、薄くて強いものを追求してきました。今、「薄くて強い」という特性はアルミに向いている。実際、僕も薄くて強くしたいときには、アルミが一番いいなという感じになりますね。身体に近いところにある薄くて強いものが、実は主役であって、その後ろに控えている鉄やコンクリートがわき役になっていく気がする。ヨーロッパや中国の建築の現場



上/歌舞伎座 ©Keisuke OGAWA
下/隈さんが考案したアルミ製什器「ポリゴニウム」

で、例えばアルマイトの加工を指示すると、「アルマイトは難しいからシルバー塗装にしてくれ」と言われることがある（笑）。日本人は気づいていないけれど、アルミの加工技術は既に日本の伝統文化だと思えますよ。アルミで建築を見せるということに関しては、日本は世界一の経験と技術を持っている。この技術をもっと世界に広げた方がいいと思いますね。建



隈さんの近著『建築家、走る』新潮社刊

築を見る側もそう。シルバー塗装とアルマイトを見ると、日本人なら「明らかに違う」と感じるけれど、外国では建築家ですら「同じじゃない？」と感じる人が多いんです。日本人はアルミの微妙な良さをきちんと感じている。日本人というのは物質に関する特殊な感性があるように思いますね。

*…アルマイトとは昭和4年に日本人によって発明されたアルミニウムの代表的な表面処理方法。サッシ、ビル外壁等の建材、鍋、やかん等の日用品、デジカメの筐体等の電気製品などに幅広く使用されている。



ファサードに取り付けられたセラミックルーバーはアルミの押出材で補強されている。サントリー美術館 ©Mitsumasa Fujitsuka



アルミのある風景 競技用車いす

風になる アルミ

6年後、2020年オリンピック・パラリンピック大会が東京で開催される。オリンピック同様に注目されるのが障害書を持ったスポーツ選手たちのパラリンピックだ。パラリンピアンが泳ぎ、走り、車いすを使って競技をする。生命感にあふれる彼らの挑戦から多くの人たちが勇気をもらうことだろう。

オーエックスエンジニアリング（千葉市若葉区）は日本が世界に誇る車いすメーカー。パラリンピアンが使う競技用車いすも製作しており、過去6度のパラリンピックで計104個のメダルを獲得している。同社もともとオートバイショップだったが、創業者の石井重行社長がせき髄損傷を負われたことがきっかけで、車いすを製作するようになった。95年に車いす・福祉機器専門会社に業種転換を図り、フィット感、外觀など、既存の概念を越えた製品を生み出

していく。2012年に石井さんは借しくもおおくなりなられたが石井さんの意志を継ぎ、競技用車いすの分野において大きな影響力を持ち続けている。

「強くて軽いアルミメインフレームを採用しています。現在のところ、価格・加工においてパーフェクトです。これ以上の素材は考えられない」とグループ会社のM2デザイン研究所 飯屋龍一社長は話す。フレームには大きな力が加わる。アトラクタでのフレームの断面は楕円。その後、様々な形状を経て、北京前からはアルミ板をプレスしてコの字形を作り、溶接した「もなか型」を採用し、これまでにない強度を得た。

現在では世界中のアスリートからの信頼を獲得しオーダーを受けられるまでになった。パラリンピアンへの挑戦の裏側を技術者やアルミニウムが支えている。

好みに応じてカスタマイズが可能な競技用車いす GPX R11

アルミエージ no. 179
平成26年3月24日
発行…一般社団法人日本アルミニウム協会
<http://www.aluminum.or.jp>
〒104-0061 東京都中央区銀座4-2-15
(塚本素山ビル) tel 03-3538-0221
大阪支部
〒541-0055 大阪府中央区船場中央2-1-4-301
(船場センタービル) tel 06-6268-0558
企画・制作…株式会社放送映画製作所
本誌の掲載記事・写真などの無断複写、複製、
転載を禁じます。
©Japan Aluminium Association

The story of aluminium

アルミの話

ナポレオン3世はアルミニウムに どんな夢を見たのか。

ナポレオン3世の人生は波瀾万丈です。ナポレオン1世の弟、オランダ王ルイ・ボナパルトの第3子として生まれたナポレオン3世は1世の没落後、外国での亡命生活を余儀なくされました。やがて帝国の再興という野心を秘めて私兵を従えて決起しますが、道半ばで捕らえられてしまいます。石工を装って脱獄し、国民議会補欠選挙で選出され政界に登場すると、世論を味方に大統領にまで上り詰めました。しかし、権力を永続化させるため自らクーデターを起こし皇帝になったことや、破壊的ともいえる改革が文化人によって非難され、後の評価が著しく悪い皇帝となっ
てしまいました。

ナポレオン3世は暴君なのでしょうか。実は工業、金融、貿易、都市開発などの分野で大変な成功を収め、フランスが近代から現代へと変ぼうする鏡の役割を果たしたのです。彼はアルミニウムの軽さと強さに注目し、食器やボタン、兵士のヘルメットなどをアルミニウムで造りました。1856年にはパリ郊外のグラシエールに世界初のアルミニウム工場を建設します。

日本とアルミニウムの出会いもナポレオン3

世によってもたらされました。ナポレオン3世からパリ万国産業博覧会(1867年)への招待を受けた江戸幕府は、徳川慶喜の名代として徳川昭武(水戸藩藩主)を団長とする遣欧使節団を派遣しました。昭武も皇帝に謁見し、フランスが国威をあげて製錬し、「粘土から作られた銀」として展示されたアルミニウム棒を手に入れます。使節団はその美しさと軽さに驚嘆したことでしょう。

ナポレオン3世はなぜこれほどアルミニウムに惹かれていったのでしょうか。伯父であるナポレオン1世が凋落したきっかけがロシア遠征の失敗です。60万もの遠征軍が厳冬ロシアに侵攻しましたが、ロシアの撤退戦術によりナポレオンは得意の

短期決戦に持ち込めず、撤退を余儀なくされました。その際、軍服の錫製のボタンが寒さで強度が低下し、兵士があまりの寒さに戦意を喪失したという逸話が残されています。伯父の無念を晴らすべく、科学技術を磨いたのでしょうか。真相は今となってはわかりませんが、ナポレオン3世が現在のアルミニウムの繁栄に尽力したことは間違いありません。

