

巻頭論文

交通システムにおける 環境社会への取り組み



小尾秀夫*



作田昌弘**

Towards Energy-saving of Transportation System for Environmentally Sustainable Society

Hideo Obi, Masahiro Sakuta

要 旨

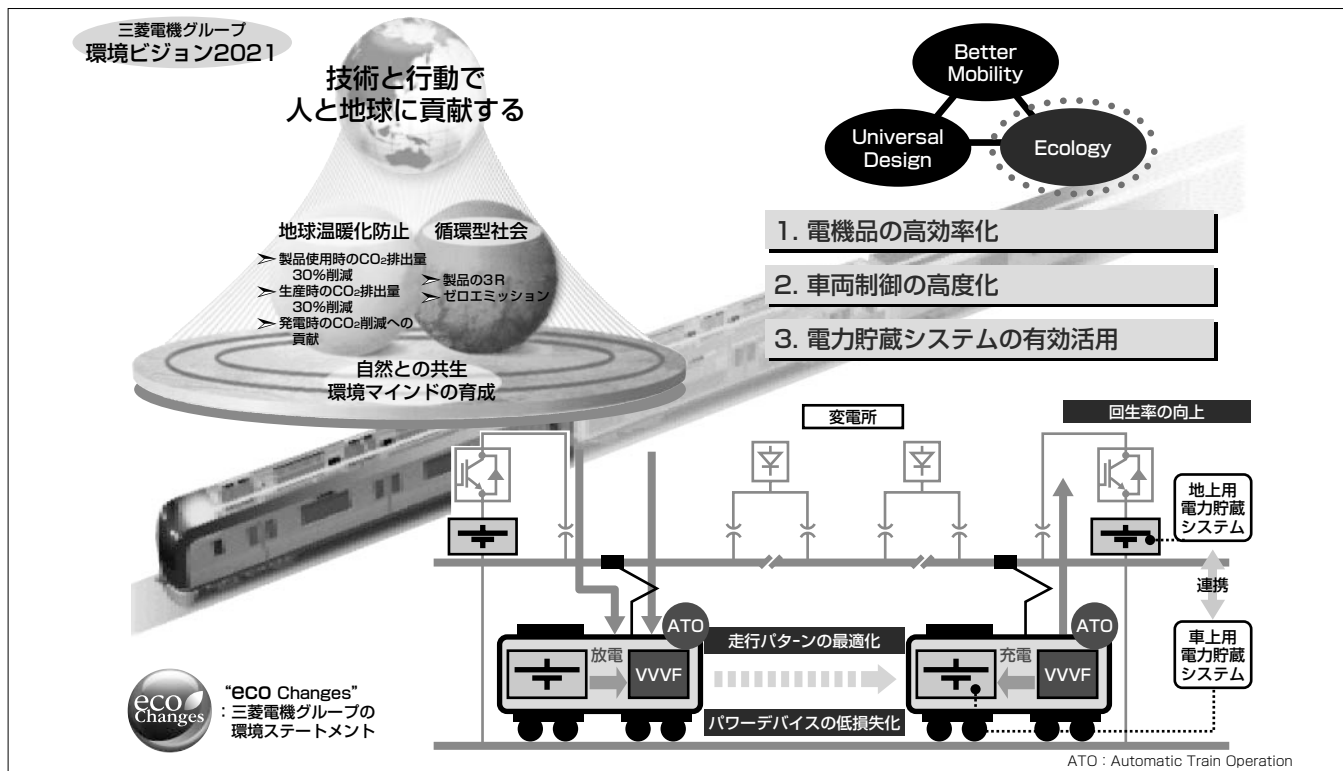
三菱電機は、創立100周年の年である2021年を目標年とする、三菱電機グループの環境経営における長期ビジョン“環境ビジョン2021”を2007年に策定した。そして、“技術と行動で人と地球に貢献する”を指針に、事業活動を通じ、持続可能な社会の実現に貢献するために、地球温暖化防止と循環型社会の形成に取り組んでいる。また、自然と共生し、環境マインドを持った人材の育成にも努めている。

交通事業では、“Better Mobility”をスローガンとして、鉄道の価値向上につながる製品を提供してきた。車両システムを基幹製品に、信号、通信、指令、電力、駅、基地などの地上システムでも豊富な実績を積み重ねてきた。特に、近年は製品開発に当たって、“ユニバーサルデザイン”と“エコロジー”を念頭に置き、人と環境に優しい交通システムの構築に取り組んでいる。現在、国内はもとより、世界20か国以上で当社製品が活躍しており、世界No.1の車両用電機品メーカーを目指して努力している。

鉄道は人・km当たりのCO₂排出量が乗用車の約1/10と言われるように、“環境の優等生”である。一方、環境への意識は地球規模での高まりを見せており、鉄道に対しても、更なる環境負荷低減が期待されている。

当社は、VVVF (Variable Voltage Variable Frequency) インバータに代表される電動機制御の高効率化、回生ブレーキの導入、装置の小型・軽量化など、これまでも積極的・継続的に鉄道の環境負荷低減に取り組んできた。現在は、電機品の高効率化、車両制御の高度化、電力貯蔵システムの有効活用などの開発を進めている。今後も、車両システムから地上システムまでに関する幅広い高度な技術を提供できる交通システムプロバイダーとしての特長を生かして、鉄道における更なる環境負荷低減に貢献していく所存である。

本稿では、鉄道における省エネルギー化の経緯と展望を中心に、当社の交通システムにおける環境社会への取り組みについて述べる。



交通システムにおける環境社会への取り組み

当社は、“環境ビジョン2021”のもと、車両システム、車両制御システム、電力システムなど様々なシステム間で連携を取り、鉄道における省エネルギー化に向けた最適なソリューションを提供していく。

1. ま え が き

当社は環境経営における長期ビジョン“環境ビジョン2021”を策定し全社的な取り組みを行っている。交通事業でも、“エコロジー”を念頭に置いて、環境に優しい交通システムの構築に取り組んでいる。一方、世界は今、地球規模で環境意識の高まりを見せており、“環境の優等生”である鉄道に対しても更なる環境負荷低減が期待されている。この要請にこたえ、鉄道の省エネルギー化に取り組むとともに、安全・安定輸送を確保することによって、鉄道の価値向上に貢献することは、当社交通事業における最も重要な課題である。

本稿では、このような背景に基づき、鉄道における省エネルギー化の経緯と展望を中心に、当社の交通システムにおける環境社会への取り組みについて述べる。

2. 鉄道の省エネルギー化

現在の鉄道は電気駆動が主流となり、人・km当たりのCO₂排出量は乗用車の約1/10で済むと言われている。こうした“環境の優等生”である電気鉄道車両(以下“車両”という。)のエネルギーフローを図1に示す。

架線から入力された電気エネルギーは、走行に必要な運動エネルギーに変換されるとともに、空調装置や補機で消費される。電気エネルギーを運動エネルギーに変換する際には、主回路(推進制御装置・主電動機)における損失と車両の機械系や走行抵抗による損失が発生する。そして、車両が持つ運動エネルギーは、ブレーキ時に主電動機を発電機として作用させることによって、回生エネルギーとして架線に返すことができる。

図1からわかるように、鉄道の省エネルギー化には、各種の損失及び空調・補機エネルギーの最小化、入力エネルギーの最小化、そして回生エネルギーの最大化が必要である。当社は、これらの課題に対して、電機品の高効率化、車両制御の高度化、電力貯蔵システムの有効活用に取り組んでいる。

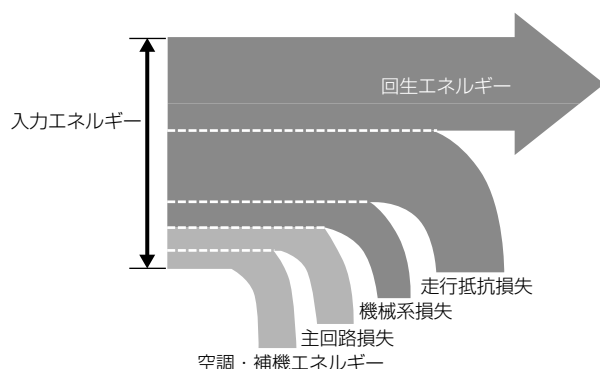


図1. 車両のエネルギーフロー

3. 電機品の高効率化

電機品の高効率化は主回路損失又は補機エネルギーを削減するとともに、装置が小型・軽量化できることによって、入力エネルギーの削減にもつながっている。次に、主要な電機品の高効率化について述べる。

3.1 推進制御装置

当社は、インバータ制御の先駆者として、交流駆動化を率先して推進してきた。また、インバータ制御装置の核となるHVIPM(High Voltage Intelligent Power Module)やパワーユニット、ゲート制御装置をすべて自社内で一貫生産するとともに、ハードウェアとソフトウェアを統合した設計製造体制によって、鉄道車両向けの高い品質を実現している。パワーデバイスの開発にも注力し、図2に示すように、GTO(Gate Turn-Off)サイリスタからIGBT(Isolated Gate Bipolar Transistor)へ、更にはIGBTとその制御・保護機能を同一パッケージに格納したHVIPMを他社に先駆けて実用化し、パワーデバイスの高耐圧化、大電流化、低損失化、インテリジェント化による装置の小型化・高性能化を実現してきた。最近では、定格電流の25%増加、最大動作温度の150℃化を図った“RシリーズHVIPM”を開発した。これによって、従来のパワーデバイスでは限界となっていた装置の小型化を更に進化させた。

一方、シリコン(Si)に比べて、低損失でかつ高温動作が可能なシリコンカーバイド(SiC)が次世代パワーデバイス材料として期待されている。SiCを適用することによって、更なる装置の高効率化と小型・軽量化が可能である。当社は、11kWのSiCインバータを開発し、Siインバータと比較して、損失で70%、体積で75%の低減を達成している。さらに、高耐圧・大電流化に向けた開発を進めている。

3.2 主電動機

主電動機は従来、銅損失、鉄損失の低減が進み、開放形誘導電動機の効率率は約92%に達している。また、全閉形誘導電動機では、回転子バーに低抵抗材料を採用することによって、更に効率を2~3%改善している。こうした状況から、当社は主電動機単体での高効率化だけではなく、主回路全体の高効率化、小型・軽量化に向けた開発を進めている。

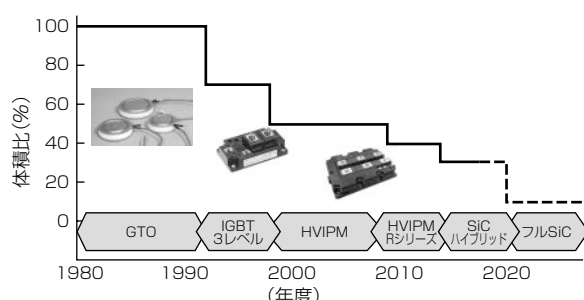


図2. パワーデバイスの発展とパワーユニットの小型化

3.3 空調装置

空調装置の冷房能力は通勤車で約58kW/両、新幹線で約76kW/両にも達しており、空調・補機エネルギーに占める割合が大きい。当社は空調装置の高効率化を図るために、全熱交換器を搭載した空調装置を開発した。全熱交換器は車内に取り込んだ外気と車内からの排気との間で、温度と湿度を同時に交換することができるので、排気熱をそのまま捨てることなく回収できる。これによって、外気取り入れによる熱負荷が低減され、圧縮機の台数削減が可能になる。例えば、N700系用空調装置では700系用空調装置と比較して、圧縮機を1台削減でき、消費電力は約11%削減することができた。

4. 車両制御の高度化

車両制御の高度化は入力エネルギーの削減とともに、回生エネルギーの増加にも貢献している。次に、車両情報制御システムと自動列車運転装置での取り組みについて述べる。

4.1 車両情報制御システム

当社は1979年から、三世代の車両情報制御システムを国内外の50以上の鉄道事業者提供してきた。第二世代のTIS(Train control Information management System)と第三世代TIMS(Train Integrated Management System)では、各車両の搭載機器をネットワークでつなぎ、制御指令の伝送と情報の統合管理を実現することによって、省エネルギー化にも貢献している。具体的には、ネットワーク化によって引通し線は大幅に削減され、電線質量が約50%削減された。また、編成単位で電気/空気ブレーキ力を最適に配分する編成ブレンディング制御によって、回生エネルギーを発生させる電気ブレーキを最大限に活用できるようになった。今後も、車両情報制御システムは列車単位の省エネルギー化で中核的な役割を果たすと考えられる。

4.2 自動列車運転装置

自動列車運転装置ATO(Automatic Train Operation)は省力化を目的に開発されたが、入力エネルギーの削減にも役立つ。当社はATOの国内トップシェアメーカーとして、二つの観点から運転制御における省エネルギー化に取り組んでいる。まず、定常走行時では、勾配(こうばい)を考慮して惰行を多用することによって、駅間走行時分を守りながら、消費電力量を従来よりも最大10%程度削減できることが確認されている。また、ダイヤ乱れ時では、先行列車の位置、さらには進路開通予測時刻を考慮して、適切なタイミングで加速・減速する予測制御ATOについても、実用化に向けた開発を進めている。

5. 電力貯蔵システムの有効活用

鉄道の省エネルギー化は、車両が持つ運動エネルギーを

表1. 電力貯蔵デバイスの比較

	電気二重層キャパシタ	ニッケル水素電池	リチウムイオン電池
特長	急速充放電が可能	放電持続力が高い	放電持続力が高い
注意点	端子電圧の変動が大きい	残容量の把握が難しい	保護装置が不可欠
容量	小さい	比較的大きい	大きい
寿命	長い	比較的に長い	短い
電極材料	主原料は活性炭	希少金属を使用	希少金属を使用

ブレーキ時に回生エネルギーとして取り出す回生ブレーキの実用化によって大きく進歩した。当社は、通勤車から新幹線までの様々な車両で回生ブレーキを実用化してきた。また、インバータ制御装置の制御応答・精度の改善、編成ブレンディング制御、更には回生インバータの適用などによって、回生エネルギーの最大化に取り組んできた。

一方、回生エネルギーを消費する負荷が絶対的に不足する場合には、回生ブレーキは十分に作用せず、車両が持つ運動エネルギーの一部は熱として消費されている。これに対して、近年電力貯蔵システムの有効活用に期待が集まっている。電力貯蔵システムは、リチウムイオン電池などの電力貯蔵デバイスとその充放電を制御するDC/DCコンバータ装置を組み合わせ、回生エネルギーを吸収・再利用できるようにしている。代表的な電力貯蔵デバイスの比較結果を表1に示す。

当社は、これまで培ってきたパワーエレクトロニクス技術を駆使して、それぞれの電力貯蔵デバイスの特性に対応した充放電制御の開発を進めている。現在、リチウムイオン電池を用いて、車上設置と地上設置の電力貯蔵システムを開発し、小田急電鉄(株)と共同で、充放電制御の動作及び回生率の改善効果を検証している。また、東日本旅客鉄道(株)と共同で、同じくリチウムイオン電池を用いて、非電化区間向けの蓄電池駆動電車システムと架線停電時の緊急走行システムを開発している。

電力貯蔵デバイスは、技術進歩が著しいことから、今後の動向を注視して鉄道向けに最適なデバイスを選択する必要があると考えている。その上でデバイスに対応した充放電制御方式を確立して、各用途向けの電力貯蔵システムの実用化に取り組む所存である。

6. 電力システムにおける取り組み

車両に電力を供給する電力システムは、鉄道の根幹を支える重要なものである。この分野で当社は、“Harmony：地域環境との調和”“Ecology：地球との共存”“Friendly：設備とヒトの融合”を環境コンセプトとして、電力供給の安定化・省力化とともに、環境負荷低減に取り組んできた。環境負荷低減では、回生インバータによる回生電力の有効利用、ガス絶縁開閉装置の脱SF₆化、騒音・電磁界シミュレーションによる変電所設備の環境評価などを積極的に進めてきた。最近では、電力貯蔵システムを車上と地上に設置

した場合のエネルギーフローを解析するための、車上・地上システム統合電力シミュレータの開発、太陽光発電システムの導入に取り組んでいる。

6.1 車上・地上システム統合電力シミュレータ

電力貯蔵システムの効率的な運用には、車上及び地上に設置するデバイスの容量の配分と特性の設定、き電回路網上での設備位置が重要である。このために、当社はき電システム、車両システムを統合して扱うことが可能な統合電力シミュレータPETS-DC (Power Estimation of Transportation System-DC feeding system)を開発し、直流き電システムにおけるエネルギーフローの最適化に取り組んでいる。

PETS-DCは複線、複々線、単線からなる大規模路線における、分割・併合を含む高密度な列車運行を対象とする。シミュレーションの入力として、路線、き電系統、運行ダイヤ、車両、変電所、電力貯蔵システムの各モデルを設定することによって、列車運行に応じた、き電回路網の状態変化を求めることができる。なお、電力貯蔵システムはすべての変電所と車両に設置することが可能である。

現在、大手私鉄路線を対象として種々の条件でシミュレーションを行い、電力貯蔵システム導入による変電所出力の低減、回生電力の増加を評価している。

6.2 太陽光発電システム

電力消費量の多い公共施設・事業所などでは、化石燃料を使わない太陽光発電の導入が期待されている。当社は、太陽電池セルからパワーコンディショナまでを自社内で一貫生産しており、信頼性の高い太陽光発電システムを提供している。性能面でも、太陽電池セルは世界最高の変換効率(多結晶シリコンで18.9%)^(注1)を、産業用(100kW)パワーコンディショナは業界最高の電力変換効率(97.5%)^(注1)を実現している。

鉄道事業者向け導入事例として、東日本旅客鉄道(株)の上越新幹線高崎駅に設置された屋根一体型システム(200kW, 三相)を図3に示す。

(注1) 2009年2月現在、当社調べ



図3. 太陽光発電システムの設置事例

7. 設計・生産時における取り組み

当社は、車両電機品を中心に、設計段階でLCA (Life Cycle Assessment)手法を適用した環境負荷評価に継続的に取り組んでいる。これによって、省エネルギー化だけでなく、カドミウムなど有害特定化学物質の排除、走行風を利用した冷却方式によるフロンなどの冷媒レス化、主電動機の全閉化などによる低騒音化、徹底したEMC (Electro Magnetic Compatibility)対策、リサイクル可能なアルミニウムの使用などを積極的に進めている。また、三次元CAD (Computer Aided Design)設計を駆使したデジタルモックアップによる設計品質の向上や、大型EMC試験設備による精度の高い検証評価も環境負荷低減に役立っている。

また生産時でも、廃棄物の削減、リサイクルの推進に取り組んでいる。例えば、交通システムの製造拠点である当社伊丹製作所では、近隣製作所と連携し購入品とともに持ち込まれるクッション材を再利用することによって、クッション材の購入量を半減させている。

8. む す び

持続可能な社会の実現は、今や地球規模の要請となっている。今後とも、当社は幅広い高度な技術力と長年培ってきたシステム構築力をもって、鉄道における更なる環境負荷低減に貢献していく所存である。