特集論文

鉄道電力システムにおける環境への取り組み

葛山利幸*　藤田敬喜*
高橋邦明**
木内浩司***

Ecological Approach in Traction Power Supply System

Toshiyuki Katsurayama, Kuniaki Takahashi, Hiroshi Kiuchi, Keiki Fujita

要　旨

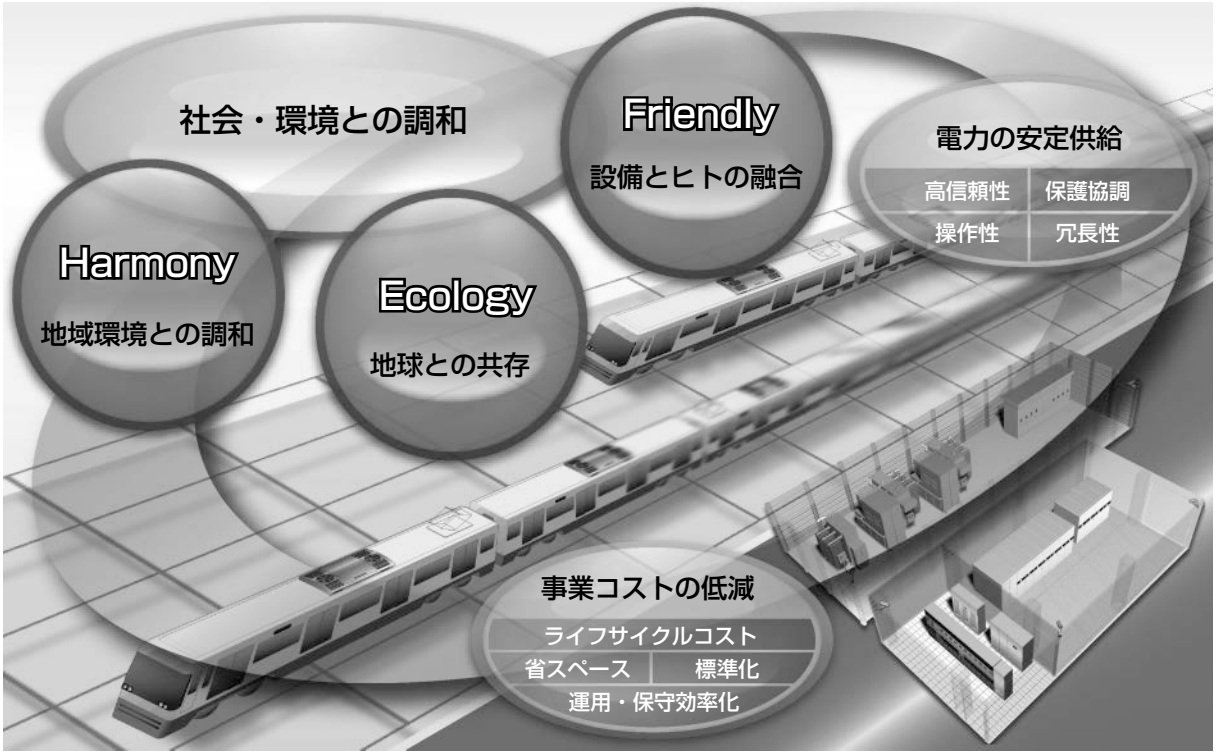
鉄道電力システムでは，三つの基本となるデザインコンセプト“電力の安定供給”“社会・環境との調和”“事業コストの低減”を軸に，より快適で信頼性の高いモビリティの実現に向けた活動を行っている[1]。

環境においては，このデザインコンセプトの下に，Harmony：地域環境との調和，Ecology：地球との共存，Friendly：設備とヒトの融合からなる環境コンセプトを掲げ，顧客ニーズにこたえるために環境調和設備と環境評価技術の提供と共に回生エネルギーの有効活用に向けた取り組みを行っている。

三菱電機の主な環境調和設備としては，低ガス圧ドライエア複合絶縁技術を用いた72～7.2kVの脱SF_6ガス絶縁スイッチギヤ，純水ヒートパイプ冷却によるシリコン整流器，さらに駅舎の屋根に設置する太陽光発電システムがある。

環境評価技術としては，騒音シミュレーション，並びに電磁界シミュレーションによって，電力設備の計画をサポートする。

鉄道システムにおける回生エネルギーの有効活用では，電力回生インバータといった既存技術と合わせて，リチウムイオン電池を用いた電力貯蔵システムや，車上・地上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ションを開発し，エネルギーフローの最適化に取り組んでいる。



鉄道電力システムにおける環境への取り組み

安定大量輸送という鉄道サービスの根幹を支える鉄道電力システムは，Harmony：地域環境との調和，Ecology：地球との共存，Friendly：設備とヒトの融合からなる環境コンセプトを掲げて取り組んでいる。

1. まえがき

環境意識の高まりの中，地球温暖化防止に向けた取り組みが始まっている。当社は2000年に世界で初めて市場投入した脱SF_6（六フッ化硫黄）ガス絶縁24kVスイッチギヤをはじめとして，環境調和設備の開発・製品化を推進してきた。また変電所における漏洩（ろうえい）磁界や騒音については，シミュレーション技術によって最適化を図り，地域環境へ配慮した変電所の建設を進めている。さらに回生エネルギーの有効活用では，電力貯蔵システムや統合電力シミュレータを開発し，エネルギーフローの最適化に取り組んでいる。

2. 環境調和設備

2.1 特高受電設備

2.1.1 72kV脱SF_6ガス絶縁スイッチギヤ

特高受電設備に用いられている電力機器には，1970年ごろから絶縁性能が高く消弧性能に優れるSF_6ガスが絶縁媒体として採用されてきたが，1997年の地球温暖化防止京都会議以降，SF_6ガスの排出量削減とともにSF_6ガスを用いない脱SF_6ガス設備が望まれてきた。

当社は，キュービクル形ガス絶縁スイッチギヤ（C-GIS）の脱SF_6ガス化による地球温暖化抑制を目的として，24～36kV密閉形複合絶縁スイッチギヤで実用化したドライエアと固体絶縁による複合絶縁を更に高度化することで，72kVクラスで，低圧力（最高使用ガス圧力0.2MPa-G以下）のドライエアによって，従来のSF_6ガス絶縁C-GISと同等の外形寸法で脱SF_6ガス絶縁スイッチギヤを実現した[2]（**図1**）。

遮断器は，72kVクラスの真空遮断器（VCB）に電磁コイルの磁力による開閉動作と，永久磁石の磁力による開閉状態保持を行う電磁操作方式を採用し，大幅に信頼性が向上した。操作機構を電磁操作化することによって，VCB操作機構の状態監視ができる技術を開発し，タンク内常時監視技術と合わせて，スイッチギヤのトータルCBM（Condition Based Maintenance）化を可能とした。

2.2 直流き電設備

2.2.1 低損失・脱SF_6ガス変圧器

変圧器には鉄心にトップランナ変圧器で使われる低損失材料“高配向性珪素（けいそ）鋼帯”を使用，さらに整流器用変圧器は3相5脚外鉄形鉄心構造の採用によって，鉄損，銅損を低減した低損失変圧器を製品化している。またガス変圧器の代用として，難燃性の特長を持つシリコーン液による変圧器も実現している。

2.2.2 純水ヒートパイプ式シリコン整流器

半導体素子の冷却には従来PFC（パーフルオロカーボン）を用いてきたが，環境に配慮して純水を封入したヒートパイプを採用している。**図2**に純水ヒートパイプ自冷式シリコン整流器の外観を示す。新しく開発した高耐圧・大容量の半導体素子を適用することによって，部品数の低減と装置の小型化を図っている。ヒートパイプは安全面を考慮して主回路と絶縁し接地電位としている。ヒートパイプを工夫することで，周囲温度が氷点下になる場合も凍結防止ヒーターなしで整流器運転が可能である。

2.3 交流き電設備

2.3.1 ルーフデルタ結線き電用変圧器

超高圧で受電する変電所では変形ウッドブリッジ結線が使われてきたが，昇圧変圧器が省略でき低損失化が図れるルーフデルタ結線を新たに開発した。また外鉄形鉄心構造を採用することによって小型・軽量化でき，使用材料の削減が図れた。

2.3.2 電力補償装置（RPC）

RPC（Railway Static Power Conditioner）は，新幹線用き電設備として，電源不平衡対策としての有効電力融通機能と，き電電圧降下対策としての無効電力補償機能を兼ね備えた自励式変換器である。既設変電所にRPCを導入することで，既存の設備容量を増やさずに，加速性能を向上させた車両の投入に伴うピーク負荷増対応を可能とした。

図1．72kV脱SF_6ガス絶縁スイッチギヤ

図2．純水ヒートパイプ式シリコン整流器

2.4 配電設備

2.4.1 太陽光発電

太陽電池セルからパワーコンディショナまでを自社一貫生産し，信頼性が高い太陽光発電システムを提供している。

実用サイズの多結晶シリコン太陽電池セルでは，世界最高の変換効率18.9%（当社測定値）を達成し，また大容量太陽光発電システム向け100kW大容量パワーコンディショナでは，97.5%の変換効率を達成した。太陽光発電システムの更なる普及と発電効率向上によって，CO_2排出量の削減に取り組んでいる。

2.4.2 7.2kV密閉形複合絶縁スイッチギヤ

駅配電所の高圧設備は，従来大気で絶縁されたスイッチギヤが採用されていたが，感電防止や外気（車の排気ガス等に含まれるNOxやSOxなど），湿度の影響を受けない密閉形複合絶縁スイッチギヤとして，72kV同様ドライエア絶縁によるスイッチギヤがシリーズ化された。

3. 環境評価技術

3.1 騒音シミュレーション

騒音シミュレーションの計算例を**図3**に示す。複数の変圧器が同時に運転したときの音圧上昇や，建屋の壁による反射や敷地境界に設けた塀を迂回（うかい）する影響を加味した解析が可能である。

3.2 電磁界シミュレーション

直流変電所の出力電流は最大数千Aにもなり，漏洩磁界が無視できない。電磁界シミュレーションにより主回路ケーブルの配線ルートの違いによって漏洩磁界の分布を求めることができる。

4. 回生エネルギーの有効活用

4.1 電力回生インバータ

電気鉄道車両の回生余剰電力を熱として消費することなく，交流電力に変換し有効利用できることから，回生電力吸収設備として広く採用されている。当社の電力回生インバータは，電源転流による他励式位相制御方式を採用しており，制御が単純で応答性に優れ安定した回生電力吸収を行うことができる。

4.2 地上用電力貯蔵システム

現時点でエネルギー密度が最大であるリチウムイオン電池を使った，地上用電力貯蔵システムを開発した。詳細についてはこの特集号の“回生エネルギー貯蔵システム（p 9～12）”を参照願いたい。

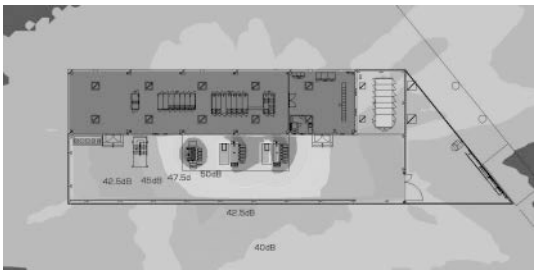


図3．騒音シミュレーションの計算例

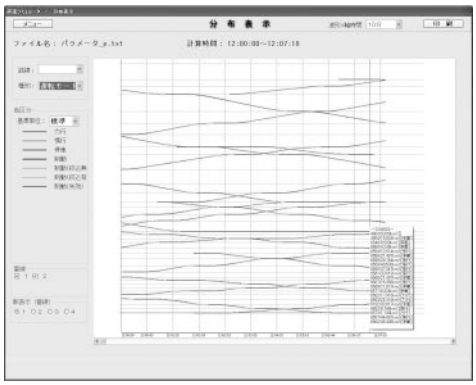


図4．統合電力シミュレータ計算例

4.3 車上・地上システム統合電力シミュレータ

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を開発した。電力貯蔵システムによるエネルギーフローの最適化検討が行える。電力貯蔵システムの検討では，地上設備だけでなく車上搭載も可能である。また回生絞り込みの発生状況を把握するため，**図4**に示す車両運転モードをダイヤ上に色別に表示するポストプログラムも整備している。

5. むすび

今後，鉄道電力システムに対してもトータルシステムとしての提案や品質確保など，顧客ニーズはますます高度化・多様化していくと考えられる。当社は三つのデザイン・コンセプトを軸にその期待にこたえていく所存である。

参考文献

(1) 米畑　譲，ほか：電力システムの現状と今後の展望，三菱電機技報，**77**，No.11，731～736（2003）
(2) 有岡正博，ほか：72kV脱SF_6ガス絶縁スイッチギヤ“HG-VA”，三菱電機技報，**80**，No.7，455～458（2006）