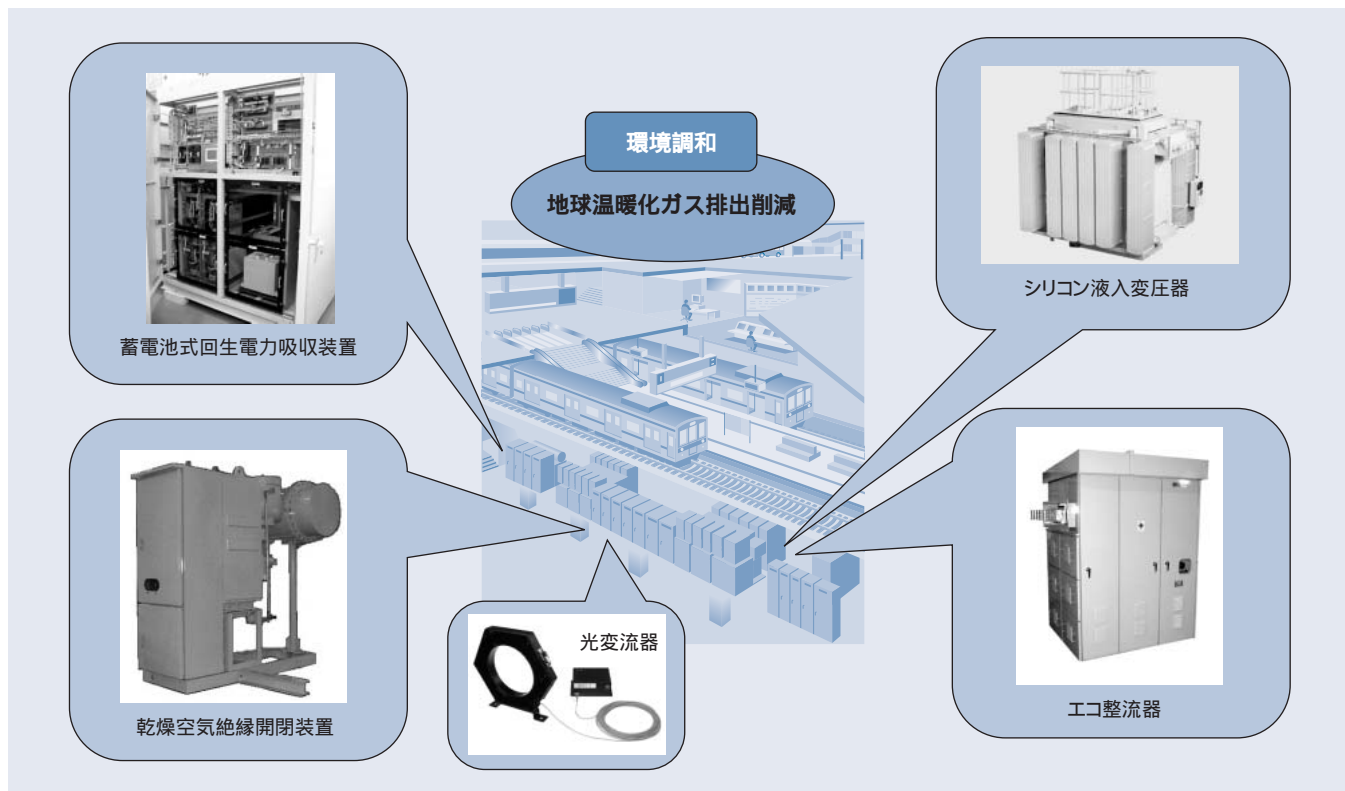


# 地球温暖化に対応した環境調和型変電システム

## Environment-Conscious Substation Systems

永澤 一彦 Kazuhiko Nagasawa  
加藤 哲也 Tetsuya Katō

伊藤 智道 Tomomichi Itō  
山崎 剛司 Tsuyoshi Yamazaki



### 環境調和型変電システムを構成する日立製作所の開発製品群

地球温暖化ガス排出削減を図った製品を適用することにより、環境調和型変電システムを構築する。

1997年に京都で開催された気候変動枠組み条約第3回締約国会議で地球温暖化対象ガスが指定されるなど、地球環境保全についての社会的ニーズがますます高まってきた。

日立製作所は、元来は地球環境に優しい鉄道システム分野でこのようなニーズに寄与するため、地球温暖化ガスの排出をさらに削減できる、鉄道用変電システムの各種製品を開発した。

特に、ハイブリッド自動車に適用しているリチウム電池を使用した製品である蓄電池式回生電力吸収装置や、従来は機器の絶縁媒体として使用していた地球温暖化係数の高いSF<sub>6</sub>ガスをまったく使用しない、完全SF<sub>6</sub>ガスレス化の72 kV乾燥空気絶縁開閉装置は代表的な製品である。これらの製品を適用することにより、環境調和型変電システムを構築することができる。

## 1 はじめに

近年の社会情勢の中で、鉄道用変電システムには、従来よりさらに環境に優しい設備が求められている。

日立製作所は、このような社会的なニーズに応える、地球温暖化ガス排出削減という基本思想の下に、環境調和型鉄道用変電システムの各種製品を開発した。リチウム電池を使用した蓄電池式回生電力吸収装置や、完全SF<sub>6</sub>(六フッ化硫黄)ガスレス化の乾燥空気絶縁開閉装置、絶縁媒体としてシリコン液を使用したシリコン液

入変圧器、リサイクル性と産業廃棄物削減に寄与する光変流器はその代表的な製品である。

ここでは、これらの製品と応用技術について述べる。

## 2 環境調和対応パワーエレクトロニクス装置

日立製作所は、環境問題に適應する鉄道向け直流き電変電所用の変換器として、蓄電池式回生電力吸収装置を開発中であり、エコ整流器をすでに製品化している。

## 2.1. 蓄電池式回生電力吸収装置

### 2.1.1 開発の背景

日立製作所は、近年、各電鉄会社で導入が進んでいる回生車での回生失効対策として、回生インバータや抵抗消費式回生電力吸収装置を製品化し、導入を進めてきた。しかし、いずれの装置も長所と短所があることから、どちらの長所も備えた装置として、蓄電池を使用した回生電力吸収装置を開発した。これは、これまでの回生失効対策だけではなく、き電電圧の電圧降下対策(車両の加速性能向上)にも適用が可能であり、幅広い利用が見込める装置である。現在、電鉄会社の協力を得て、この装置を実際の直流き電変電所に設置したフィールド試験が完了し、製品化を進めている(図1参照)。

### 2.1.2 蓄電池の選定

今回の回生電力吸収装置に使用している電池は、リチウムイオン電池(以下、Li電池と言う。)である。Li電池はハイブリッド自動車用が開発されたもので、大電流充放電と高蓄電量を必要とする今回の用途に適した電池である。各蓄電媒体の性能比較を図2に示す。このLi電池は出力密度とエネルギー密度の両方の特性を持っており、他の蓄電媒体と比較しても優位にある。また、使用材料の改良などによって長寿命化技術が確立しており、変電所での設置環境や負荷条件で15年以上使用が可能という見通しを得ている。

### 2.1.3 製品仕様と特徴

開発し、製品化した蓄電池式回生電力吸収装置の目標仕様は以下のとおりである。

- (1) 定格容量 2,000 kW(180 s周期で15 s運転)
- (2) 定格電圧 DC1,500 V/750 V( DC750 Vの場合の定格容量は1,000 kW)
- (3) スwitching周波数 600 Hz(50 Hz地域), 720 Hz

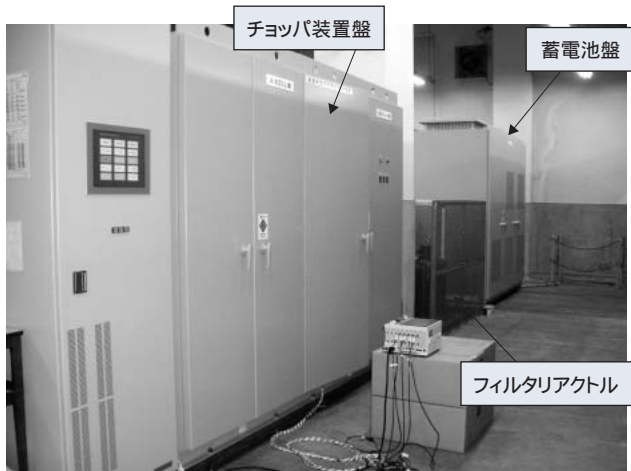
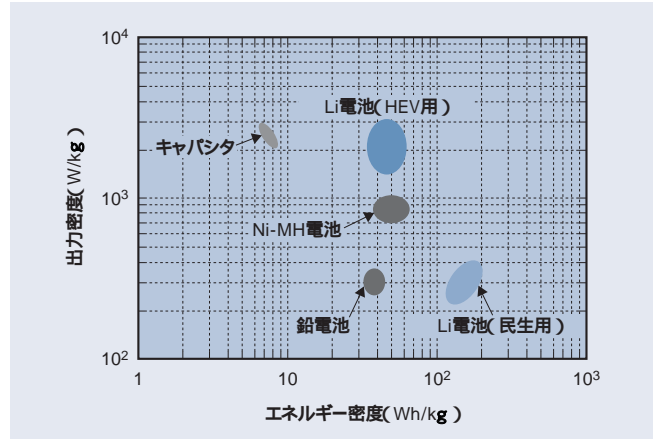


図1 蓄電池式回生電力吸収装置のフィールド試験の様子  
フィールド試験機の仕様は、500 kW 180 s周期15 s運転、DC1,500 V, Li電池 4直列5並列, IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) チョップパ2多重構成である。



注: 略語説明 HEV( Hybrid Electric Vehicle ), Ni-MH( Nickel-Metal Hydride )

### 図2 蓄電媒体の性能比較

ハイブリッド自動車用Li電池(リチウムイオン電池), Ni-MH電池(ニッケル水素電池), 鉛電池など蓄電媒体の性能の比較を示す。Li電池(HEV用)は、急速な充放電を繰り返す用途に作られており、電鉄負荷への使用に適している。

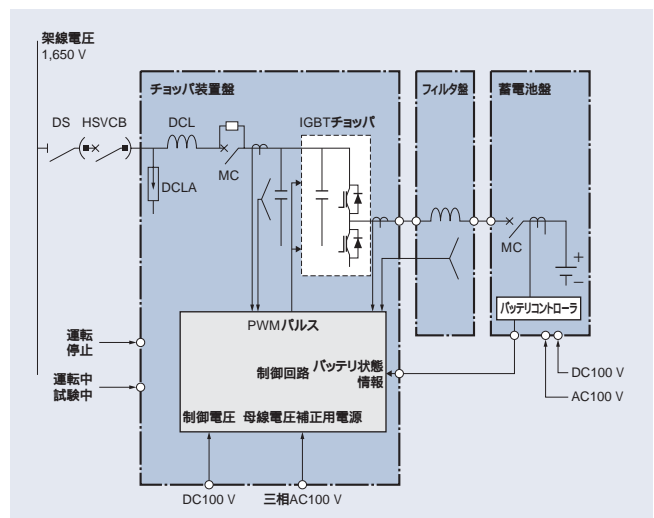
(60 Hz地域)

(4) Li電池4直列20並列

回路構成の概要を図3に示す。装置はチョップパ装置盤、フィルタ盤、および蓄電池盤で構成している。これに直流遮断器盤を組み合わせることで、設置場所を限定されることなく、回生失効の起こる駅付近や、き電電圧の下がる変電所間など、任意の場所に設置が可能となる。

チョップパ装置は、3.3 kV, 1,200 AのIGBT( Insulated Gate Bipolar Transistor )素子を使用した昇降圧チョップパで構成しており、4並列のIGBTチョップパのスイッチング位相をずらすことによる4多重構成として、き電線側と蓄電池側へのリップル電流の減少を図っている。

蓄電池は、ハイブリッド自動車で使用しているLi電池をそのまま使用し、4直列20並列を標準とした。なお、



注: 略語説明 DS( Disconnecting Switch ), HSVCB( High-Speed Vacuum Circuit-Breaker )  
DCL( Direct Current Reactor ), DCLA( Direct Current Line Arrester )  
MC( Mechanical Contactor ), PWM( Pulse Width Modulation )

図3 蓄電池式回生電力吸収装置の概略回路  
開発した製品の回路構成の概要を示す。

個々のLi電池ではバッテリーコントローラで充電率などの運転状態監視と保護を行い、この情報はチョッパ装置側に伝達されてLi電池に最適な運転制御を実現する。チョッパ装置での運転制御には、充電開始と放電開始電圧をLi電池の充電率によって変化させ、最適な充電率範囲でLi電池を使用する充放電管理制御と、待機時には次の充電(回生電力吸収)のために充電率を下げしておく充電率制御を組み込むことにより、き電電圧の一定制御とバッテリーの長寿命化制御を両立させる。この制御はフィールド試験機ですでに適用しており、実運転で効果を発揮している。

## 2.2 エコ整流器

### 2.2.1 開発の背景

直流電気鉄道の地上変電所には、電車に直流電力を供給するために、交流電力を直流電力に変換するシリコン整流器が使用されている。これまでは、整流器に使用しているダイオード素子の冷却として、冷媒にPFC(Perfluorocarbon)を使用していた。今回、地球温暖化物質の排除を目的とし、純水を冷媒としたヒートパイプ冷却方式のエコ整流器を製品化した(図4参照)。

### 2.2.2 製品の特徴

このエコ整流器の特徴は以下のとおりである。

- (1) 温室効果ガスの排除  
ダイオード素子冷却のために、純水を冷媒としたヒートパイプ冷却方式を採用
- (2) -20℃の環境でも正常動作  
VCHP(Variable Conductance Heat Pipe)を使用し、-20℃の環境でも使用が可能
- (3) 小型・省スペース  
従来比-50%の設置スペースを実現
- (4) 低損失  
高耐圧ダイオード素子の適用によって素子数を半減し、従来比-40%の損失低減



図4 | 6,000 kWエコ整流器の外観  
地球温暖化物質を排除したエコ整流器の外観を示す。

## 3 脱SF<sub>6</sub>ガス化対応装置

脱SF<sub>6</sub>ガス化として、24 kVクラスのC-GIS(Gas-Insulated Switchgear)に続き、今般、72 kVクラスのGISについても乾燥空気化を完了した。また、SF<sub>6</sub>ガス絶縁変圧器の脱SF<sub>6</sub>化として、シリコン液を絶縁媒体としたシリコン液入変圧器、および環境調和としてリサイクル性と産業廃棄物削減に優れている光変流器を開発した。

### 3.1 72 kVクラス乾燥空気絶縁開閉装置

#### 3.1.1 開発の背景

SF<sub>6</sub>ガスは、高電圧に対して非常に優れた絶縁性能と電流遮断性能がある一方、地球温暖化ガスに指定されたため、大気への放出を極小化する必要が出てきた。

日立製作所は、大気と同組成の乾燥空気の高圧力ガスに着目し、絶縁媒体としての基本的特性、電流遮断部のVCB(Vacuum Circuit-Breaker:真空遮断器)化、内蔵開閉器の電流開閉性能、内部導体の複合絶縁技術など、GISとしての性能の面での研究開発によって24 kVクラスに引き続き72 kVクラスへの適用を進め、世界初の72 kVクラス乾燥空気絶縁開閉装置を開発し、製品化した(図5参照)。

#### 3.1.2 製品の仕様と特徴

今回開発した72 kVクラス乾燥空気絶縁GISの主な仕様は以下のとおりである。

- (1) 定格電圧、電流:72 kV, 1,200 A
- (2) 定格遮断電流:25 kA
- (3) 定格乾燥空気圧力:0.45 MPa(VCB区画), 0.5 MPa(主母線, 断路器区画)

この製品の特徴は以下のとおりである。

- (1) 高圧力乾燥空気と内部導体の複合絶縁構造、導体配置、およびガス容器の最適化により、コンパクト化を実現
- (2) VCB部の高耐圧ベローズの開発による高信頼化
- (3) ガス区画をVCB部とその他の部位に分け、VCBの

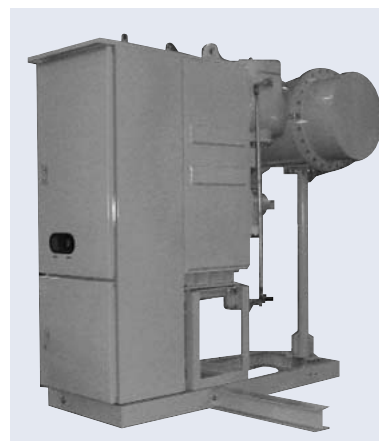


図5 | 乾燥空気絶縁開閉装置の外観  
世界初の72 kVクラス乾燥空気絶縁開閉装置の外観を示す。



保守性の向上とSF<sub>6</sub>ガス不使用による酸欠防止策を不要とし、組成が空気であることから毒性がなく、安全性が向上

### 3.2 シリコン液入変圧器

#### 3.2.1 開発の背景

SF<sub>6</sub>ガス絶縁変圧器の脱SF<sub>6</sub>化については、絶縁媒体の代替材料として新幹線車両搭載用変圧器で使用実績があるシリコン液に着目し、高電圧下での絶縁性能や冷却性能などの諸特性の基礎研究により、高圧から特別高圧クラスまでのシリコン液入変圧器への適用を進め、製品化を完了した。したがって、現在では、電鉄変電所用途の変圧器のさまざまなニーズにシリコン液絶縁変圧器での対応が可能である(図6参照)。

#### 3.2.2 製品の特徴

シリコン液入変圧器のシリコン液の特徴は以下のとおりである。

- (1) 引火点が250 と高いので着火し難く、さらに、自己消火性を持つことから防災面でも有利となる。
- (2) 非腐食性であり、組成が安定している。
- (3) シリカが主成分であることから、加水分解して自然界の物質に還元できるため、環境性に優れている。
- (4) 過負荷耐量が大きく、電鉄整流器用変圧器用途に適している。

### 3.3 光変流器

#### 3.3.1 開発の背景

日立製作所は、ファイバ中を進行する光の電磁界による偏光原理に基づく光電流センサの研究開発を進め、電鉄変電所での直流と交流電流の計測装置として、光変流器を開発し、製品化した(図7参照)。

光変流器はセンサ部に光ファイバを用いていることから、リサイクル性に優れており、従来の巻線形直流変流器と比べ、更新などによる装置の廃棄物を極少化できる。

#### 3.3.2 製品の特徴

光変流器の特徴は以下のとおりである。

- (1) 小型・軽量であり、絶縁体のファイバ(センサヘッド)を計測対象に直接巻きつけることにより、電流を計測することができる。



図6 シリコン液入変圧器の外観

シリコン液入変圧器では、電鉄変電所として多様なニーズへの対応が可能である。



図7 光変流器の外観  
センサ部に光ファイバを用いているので、リサイクル性に優れている。

- (2) 直流・交流電流計測は $\pm 20 \text{ kA} / \pm 10 \text{ V}$ 、応答速度は0.5 msである。
- (3) 電磁干渉耐性に優れ、ダイナミックレンジが広い。
- (4) 通常使用時には、分割形のセンサヘッドケースを用い、ケース内で光ファイバを巻きつけて使用できる。

## 4 おわりに

ここでは、地球温暖化ガス排出削減を目指した、環境調和型変電システムを構築する変電機器について述べた。

日立製作所は、今後も、さらに増大する環境保全への社会的ニーズに応えるため、さらに技術の向上を図り、さまざまな変化のスピードに対応した、新しい鉄道用変電システムの研究開発に努めていく考えである。

#### 参考文献

- 1) 川村, 外: 最近の鉄道変電システム, 日立評論, 85, 8, 585 ~ 588 (2003.8)

#### 執筆者紹介



永澤 一彦

1991年日立製作所入社、電機グループ 交通システム事業部 信号・変電システム部 所属  
現在、鉄道変電システムのエンジニアリング業務に従事  
E-mail: kazuhiro-nagasawa@pis.hitachi.co.jp



加藤 哲也

1989年日立製作所入社、情報・通信グループ 情報制御システム事業部 パワーエレクトロニクス設計部 所属  
現在、鉄道変電システム用変換器の開発に従事  
E-mail: tetsuya-a\_katou@pis.hitachi.co.jp



伊藤 智道

2000年日立製作所入社、日立研究所 情報制御第一研究部 パワエレシステムユニット 所属  
現在、電力システムのループ バランス コントローラの開発に従事  
電気学会会員  
E-mail: toitou@gm.hrl.hitachi.co.jp



山崎 剛司

1989年日立製作所入社、電力グループ 日立事業所 国分生産本部 受変電生産統括部 所属  
現在、鉄道変電システムのエンジニアリング業務に従事  
技術士(電気電子部門)  
E-mail: tsuyoshi\_yamazaki@pis.hitachi.co.jp