

# 自励式変換器による電力系統用パワーエレクトロニクスの適用拡大

Expanded Application of Power Electronics to Electric Power Systems by Self-Commutated Converters Incorporating IEGTs

武田 秀雄  
TAKEDA Hideo

吉野 輝雄  
YOSHINO Teruo

桑原 隆  
KUWABARA Takashi

環境問題と規制緩和は、電気事業環境を大きく急速に変化させているが、一方でコンピュータに依存している社会は、高い電力品質を要求している。規制緩和は、コスト低減を志向し、環境問題と高品質電力は高コスト傾向と相反する要素があるが、電力系統にパワーエレクトロニクスを適用することにより両立させられる可能性がある。

これを可能にする技術が、最近当社で開発した、電圧駆動自己消弧型素子 IEGT を用いた大容量自励式変換器である。当社は、この IEGT 変換器を電力系統に適用し、省エネルギー、低コストといった社会と時代の要請に、積極的にこたえる準備を進めている。

The situation of the electric power business is undergoing significant and rapid changes as a result of environmental issues and deregulation. Moreover, high-quality electric power is necessary for society due to the strong reliance on information systems. These requirements are contrary to each other. However, power electronics is able to offer a single solution to these difficult problems.

Toshiba has recently developed a large power self-extinction device, the Injection Enhanced Gate Transistor (IEGT). We are now providing the means to meet the social requirements for energy saving and lower costs by the application of power electronics, such as IEGT converters.

## 1 まえがき

環境問題と規制緩和の名の下に、電気事業を取り巻く状況が大きく変化している。

わが国の負荷率<sup>(注1)</sup>は、現在 55 %<sup>(1)</sup>と諸外国に比較しても極めて低く、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)削減の観点からも負荷率の向上が望まれる。

また、コンピュータの普及は、電圧変動、周波数変動、停電といった電力品質に厳しい要求を突き付け、電力運用へのコストアップ要因になり得る。しかし、一方で、電力の自由化の流れから、電力コスト低減への動きは強くなるばかりである。

更に、電気事業者にとっては、できるだけ多くの人々に良質な電力を供給する責任もあり、わが国をはじめ島部の多い国々では、経済性との両立に苦慮している。これと同じ問題は、大陸の中の電力系統的な“孤島”にも当てはまる。

このような電気事業環境の変化に伴う諸問題に対して、電力系統にパワーエレクトロニクスを適用することにより、その多くが解決される可能性があると言われている<sup>(2)</sup>。

自由な潮流制御による効率的な電力系統の運用、離島へのケーブル送電などには、“直流(DC)送電”、“周波数変換設備”などの形でパワーエレクトロニクスが使われている。

また、太陽光や風力などの自然エネルギーを利用した電源、マイクロガスタービンや燃料電池に代表される分散電源、BESS(Battery Energy Storage System)やSMES(Superconducting Magnetic Energy Storage)などのエネルギー貯蔵装置は、省エネルギー、CO<sub>2</sub>削減、電力系統の経済的な運用の切り札の一つであるが、これらの装置と電力系統とを連系するためには、パワーエレクトロニクスを用いた周波数変換装置や交直連系装置が不可欠である。

なぜならば、このような新エネルギーや新電源は、発生電力がDC、また交流(AC)でも周波数が高かったり変動したりする性質を持っていて、そのまま直接既存の商用周波数の電力系統と連系することができないためである。したがって、発生電力をいったんDCに変換し、再度適切な電圧と周波数のACに変換して連系することになる。このACとDCを変換する装置(交直変換装置)がパワーエレクトロニクス応用装置である。

当社では、大容量の、電圧駆動自己消弧型素子である IEGT(Injection Enhanced Gate Transistor)素子を適用し、高速スイッチングと低損失を両立させた自励式変換器を開発した。

この大容量 IEGT 素子を適用した自励式変換器(以下、IEGT 変換器と言う)は、電気事業の変化に伴う諸問題に対し、社会、電気事業者、消費者のすべてにとって、メリットとなる回答を与える大きな武器になると予想される。

(注1) 負荷率：年間総需要(kWh)/(最大電力(kW)×8,760h)×100(%)

## 2 広がりつつある IEGT 変換器の適用範囲

IEGT 変換器は自励式変換器である。

一方、交直変換器には、ほかに他励式変換器と呼ばれるものがある。一般に、DC から AC に変換するには、システムの周波数に合うように DC 電流を入り切りして AC 電流に合成するが、この電流を入り切りする際に、系統側の AC 電圧を必要とするのが他励式変換器である。

一方、素子自身が電流遮断能力を持ち、系統側の AC 電圧に無関係に運転できるのが自励式変換器である。

自励式変換器によって広がった電力系統への適用例を図 1 に示す。

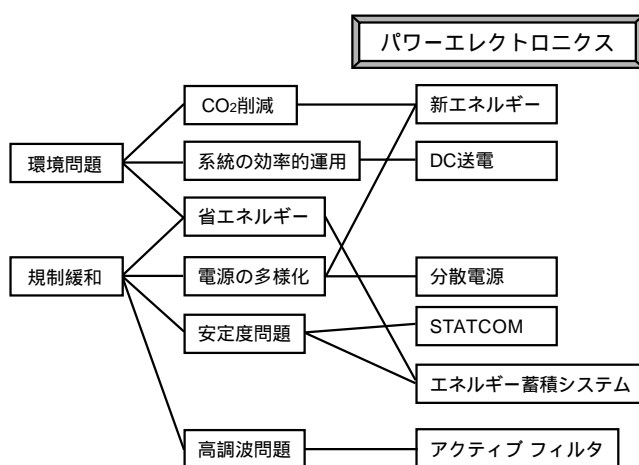


図 1. 電力系統における自励式変換器の適用 環境問題、規制緩和の流れの中の電力系統諸問題を、自励式変換器を中心とするパワーエレクトロニクスが解決する可能性がある。

Application of power electronics to power systems

AC 系統に並列する装置としては、次のような装置がある。

(1) STATCOM(STATIC synchronous COMPensator: 自励式 SVC(Static Var Compensator: 静止形無効電力補償装置)とも言う) 自励式変換器を用いた SVC であり、系統電圧低下時も無効電力供給能力が低下しない特長を持ち、他励式 SVC に比べて電圧維持能力が高い。当社は、東京電力(株)新信濃変電所において、±50 MVA(可制御幅 100 MVA)の STATCOM の実用化試験に成功している。

STATCOM と他励式 SVC の比較を表 1 に示す。

(2) 小規模 HVDC(High Voltage Direct Current transmission: DC 送電) 離島向け DC 送電や、小規模系統と大規模系統との連系などが該当する。従来、この分野には他励式変換器が使われており、変換器のコストとの兼ね合いから長距離大容量送電の場合に、DC 送電は AC 送電より有利とされていた。

表 1. STATCOM(自励式 SVC)と他励式 SVC の比較 Comparison of STATCOM and line-commutated SVC

項目	STATCOM(自励式 SVC)	他励式 SVC
変換器	自励式変換器	他励式変換器
無効電力供給源	DC コンデンサ (外部コンデンサ, リアクトルが不要)	分路リアクトル及び調相用コンデンサ
有効電力供給	短時間可能	不可能
系統電圧変動の影響	影響を受けない。系統電圧低下時も電圧維持能力の低下がない。	系統電圧が低下すると、電圧の 2 乗に比例して電圧維持能力が低下する。
高調波フィルタ	変換器多重接続により、発生高調波抑制可能。高調波フィルタ容量小、もしくは不要。	高調波フィルタの容量が大で、通常、調相用コンデンサと共用させる。
設置スペース	小	大

しかし、AC 電源がなくても運転できる自励式変換器が開発され、そのコストも相対的に低下してきた現在では、小容量の DC 送電でも、離島向けや電力系統的な“陸の孤島”向けという条件では、十分経済的に引き合う状況になってきた。

また、新規架空送電線の確保ができない場合や都市の美観に配慮して、都心系統への電力引込みにケーブルを使う場合にも DC 送電のメリットが生かせる。

更に、IEGT 変換器の適用が予想される分野には、小規模電源と電力系統との連系用として、マイクロガスタービンや燃料電池に代表される分散電源との連系装置、また、新エネルギーとしての太陽光発電、風力発電との連系装置がある。更に、BESS、SMES などのエネルギー貯蔵システムとの連系装置にも、IEGT 変換器が有効になる。

一方、系統の高調波成分を検出し、これと逆位相の高調波を自励式変換器を用いて発生させ、系統高調波の低減を図る装置であるアクティブフィルタにも IEGT 変換器は欠かせない。

しかし、これらの詳細は、この特集の別論文で述べ、ここでは STATCOM と小規模 DC 送電について述べる。

## 3 STATCOM への適用

まず、電力系統への拡大がもっとも期待される STATCOM について述べる。

自励式変換器にも、電流駆動型の GTO(Gate Turn-Off thyristor)を用いた装置と、電圧駆動型の IEGT を用いた装置がある。この比較を表 2 に示す。

また、両者のゲート装置の比較を図 2 に示す。これを見ると、電圧駆動型がいかにか小型に製作できるかわかる。

表 2、図 2 からわかるとおり、今後の自励式変換装置は、電圧駆動自己消弧型素子を用いた自励式変換器が主流になると予想される。電圧駆動自己消弧型素子には IGBT(In-

表2 . IEGT 変換器とGTO 変換器の比較  
Comparison of IEGT converter and GTO converter

項目	IEGT 変換器	GTO 変換器
ゲート駆動方式	電圧 (MOSゲート構造)	電流
スイッチング周波数	~数 kHz	~数百 Hz
素子高耐圧, 大電流化	可能 6 kV・6 kA 目標	可能 6 kV・6 kA
外形	小	大
損失	小	大
コスト	小	大

MOS : Metal Oxide Semiconductor

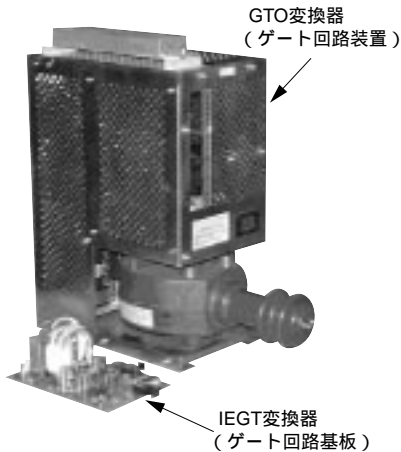


図2 . IEGT 変換器とGTO 変換器のゲート装置の比較 電圧駆動の自己消弧型素子である IEGT 素子を用いた変換器のゲート装置は,従来のGTO 変換器のゲート装置より大幅に小型化され,変換器全体もコンパクトにできる。

Comparison of gate drive circuits of IEGT converter and GTO converter

ulated Gate Bipolar Transistor があるが,当社ではこれを更に発展させ,大容量素子として4 kV・3 kA 級の IEGT の開発を完了している。

最近開発した,素子2直列・2並列の IEGT 変換器モジュールの例を図3に示す<sup>(3)</sup>。

電力系統での STATCOM の適用範囲を拡大するためには,いっそうのコスト低減の努力が必要である。

図4は,±25 MVA(可制御幅 50 MVA)級の IEGT 変換器を使用した STATCOM をパッケージ(コンテナ)に収納した例である。自励式変換器,DC コンデンサ,制御保護装置をパッケージに収納することにより,次の大きな利点が生まれる。

- (1) 変換器や制御盤を収納する建屋が不要になる。
- (2) 現地での工事,配線作業を大幅に低減できる。
- (3) 現地での調整試験内容,期間を大幅に削減できる。
- (4) 工場内の高品質を現地でも容易に維持できる。
- (5) 土木工事を減少できる。

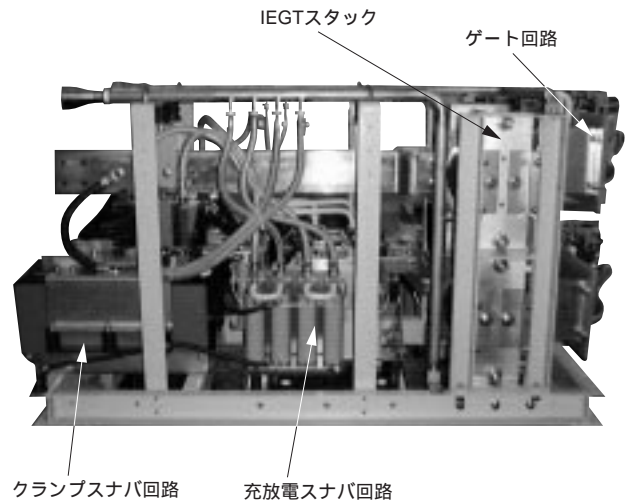


図3 . IEGT 変換器モジュール IEGT 素子2直列・2並列モジュールを試作し,DC4,500 V・4,000 A の遮断試験に成功し,IEGT 変換器技術を確立した。

2S・2P IEGT converter module

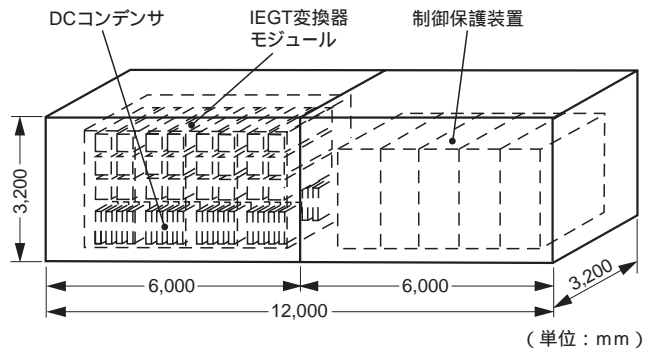


図4 . パッケージ型 STATCOM(±25 MVA) IEGT 変換器,制御保護装置などをパッケージに収納することにより,低コストと高品質を両立できる。

Package type STATCOM(±25 MVA)

- (6) 建設期間の短縮ができる。
  - (7) 必要に応じ可搬型 STATCOM(必要な変電所に,必要な期間だけ使用するために移動,もしくは系統構成の変更に対応するために移動)にすることも可能である。
- 上記に示すように,パッケージ型 STATCOM にすることにより,建設コストの大幅な削減と高品質の維持を両立させることが可能になる。

#### 4 小規模 DC 送電への適用

離島などへのケーブル送電では,送電距離が長くなると AC 送電より DC 送電がコスト的に有利になる。更に,離島側の電源が弱小系統,もしくは AC 電源喪失時でも運転することが要求されると,他励式変換器は適用できず自励式変

換器が必要である。

更に、自励式変換器には、有効電力とは独立して無効電力を自由に制御できるという、他励式変換器にはない特長があるので、系統的に弱い離島には自励式変換器が最適である。

当社が開発した大容量 IEGT 変換器は、自励式変換器の最大のネックであったコスト問題に解決の道を与え、一気に自励式変換器の電力系統への適用を拡大させる可能性をもたらした。離島側を IEGT 変換器、本島側を他励式変換器もしくはダイオード整流器が適用可能な場合は、送電システム全体として更に低コストを実現できる。

また、DC 送電電圧が比較的低い場合は、STATCOM で実用化のめどが立っているパッケージ方式( IEGT 変換器と制御保護装置をコンテナに収納する)を適用することにより、建設コストの低減、建設期間短縮、高信頼度の維持が可能

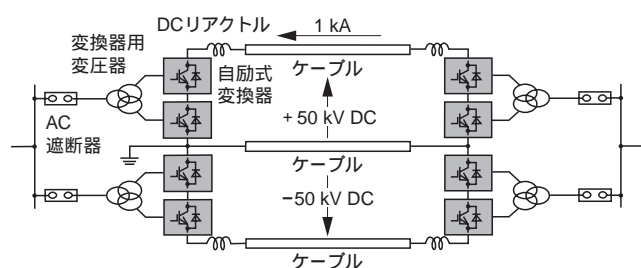
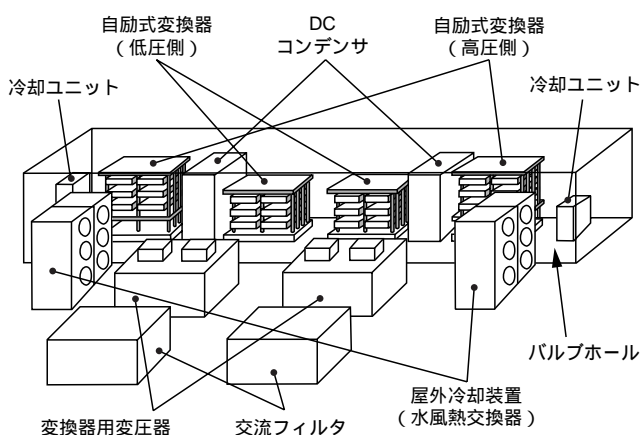


図5 . DC ± 50 kV - 100 MW DC ケーブル送電の構成例 自励式変換器を適用した双極DCケーブル送電は、高信頼度の離島送電に適している。

Example of configuration of DC ± 50 kV - 100 MW HVDC cable transmission system (self-commutated converter)



水風熱交換器：水と空気との間で熱交換する熱交換器

図6 . DC ± 50 kV - 100 MW DC 送電自励式変換器の配置例 自励式変換器の構成方法やレイアウトを工夫することにより、設置面積の削減、現地据付け、調整期間の短縮が可能になる。

Example of layout of DC ± 50 kV - 100 MW HVDC main equipment layout ( IEGT converter)

になる。

IEGT 変換器を用いた DC 電圧 ±50kV、送電容量 100 MW の双極 DC ケーブル送電を想定した単線結線図を図 5 に、この片端子分の機器レイアウト例を図 6 に示す。

また、インターネットや PHS などの既存情報ルートを活用したりリモート監視、点検技術を適用すれば、遠隔地に設置された装置でも容易に監視、点検ができ、送電システム全体の運用コスト低減にも寄与できる。更に、これらの監視情報をオンラインでメーカー側にも転送されることにより、定期点検や、問題発生時の効率的な対応ができるようになる。

## 5 あとがき

IEGT 変換器が開発され、電力系統への自励式変換器拡大のネックとなっていたコスト問題を解決できる見通しが立ってきた。

電気事業環境の急速な変化、電力コスト低減の動き、環境問題の高まりなどに対する解決策の一つが電力系統へのパワーエレクトロニクス適用である。

当社は、このような電気事業や社会の要請に積極的にこたえることができる体制を整えている。

## 謝 辞

電力系統用パワーエレクトロニクスの技術開発にご支援いただいた各電力会社に感謝の意を表します。

## 文 献

- (1) 負荷平準化技術専門委員会 (JEMA) . 電力の負荷平準化推進のための調査・研究報告書 . 2000-3 . 3p .
- (2) 桜井武一 . 地球環境とパワーエレクトロニクス . 電気学会誌 112 , 9 , 1992 . p.677 - 678 .
- (3) Nakajima , T. , et al. " Development of IEGT Series and Parallel Connection Technology for High Power Converters " . IPEC YOKOHAMA March 2000 . 2000-04 , 電気学会 . 2000 , Vol.1 p.670 - 675 .



武田 秀雄 TAKEDA Hideo

電力システム社 府中電力システム工場 パワエレシステムエンジニアリングセンター主査。電力用パワーエレクトロニクスのエンジニアリングに従事。電気学会会員。  
Fuchu Operations - Power Systems



吉野 輝雄 YOSHINO Teruo

情報・社会システム社 府中情報・社会システム工場 パワーエレクトロニクス部主幹。パワーエレクトロニクス機器及び制御設計に従事。電気学会会員。  
Fuchu Operations - Information and Industrial Systems & Services



桑原 隆 KUWABARA Takashi

電力システム社 電力事業部 電力変電技術部主幹。電力用パワーエレクトロニクスのエンジニアリングに従事。電気学会会員。  
Transmission, Distribution & Hydraulic Power Systems & Services Div.