

# 資源の有効活用を支援するパワーエレクトロニクス

Power Electronics Contributing to Green Energy Distribution and Energy Efficiency Improvement

茂瀬 忠男

MOSE Tadao

吉野 輝雄

YOSHINO Teruo

川口 章

KAWAGUCHI Akira

豊かな自然環境なくしては社会生活の存続は不可能であり、自然環境保全は社会基盤維持のためのもっとも根幹の活動と言える。パワーエレクトロニクスは、電力エネルギー変換技術による資源の有効活用を通じ、自然環境保全に寄与することが可能である。すなわち、風力発電、太陽光発電などのクリーンなエネルギーを使いやすい交流電力に変換したり、産業用電動機の可変速制御による省エネルギー(以下、省エネと略記)などにより、資源の有効活用寄与している。

Environmental preservation is one of the most fundamental activities sustaining the social infrastructure, since a clean environment is essential to daily life. Power electronics can contribute to environmental preservation through efficient energy resource management based on its power conversion technology, which converts clean energy from wind turbines or photovoltaic cells to convenient AC electric power. Power electronics also saves energy through variable-speed drives in industrial electric motors.

## 1 まえがき

自然環境は社会基盤のもっとも根幹であり、環境保全活動は日々の生活を維持するための重要な活動と言える。一方、社会生活によるエネルギー消費の増加とともに、環境負担がますます増加している状況にある。

しかし、地球温暖化防止京都議定書(COP3)により、自然環境保全の認識が更に高まり、ISO14000の取得、省エネ・新エネルギー設備の導入、温熱併給発電設備(コージェネレーション)の導入などにより、化石燃料消費削減やCO<sub>2</sub>ガス排出削減などの環境保全活動が多く行われるようになった。

このような活動に対し、パワーエレクトロニクスは、自然エネルギーやクリーンエネルギーの変換、エネルギー蓄積、省エネなどを通じ、資源の有効活用を支援している。

## 2 自然エネルギー・クリーンエネルギーのためのパワーエレクトロニクス

当社では、近年成長の著しい風力発電に適用する周波数変換装置などの製品開発を続けている(図1)。

### 2.1 風力発電用周波数変換装置

風力発電は、大別すると誘導発電機を使用するシステム、同期発電機を使用するシステムの2種類がある。小容量の風力発電では、構成の簡単な誘導発電機を適用した方式があるが、突入電流及び風力変動に伴う発電電力変動が大きいという性質があるので、数百kVA以上では同期発電機と周

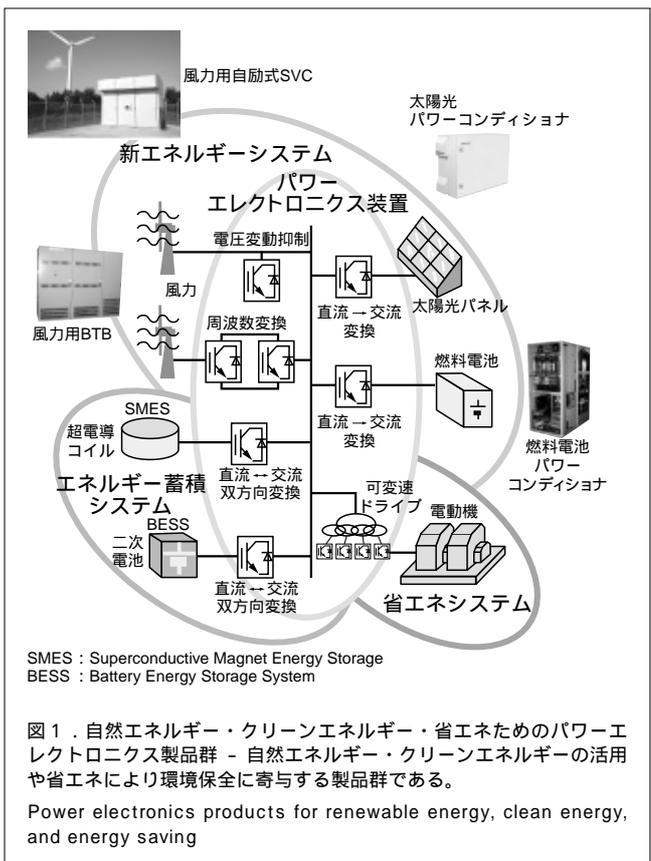


図1. 自然エネルギー・クリーンエネルギー・省エネのためのパワーエレクトロニクス製品群 - 自然エネルギー・クリーンエネルギーの活用や省エネにより環境保全に寄与する製品群である。

Power electronics products for renewable energy, clean energy, and energy saving

波数変換装置を組み合わせた方式が目目されている。

同期発電機を用いると、風力変動に伴い回転速度が変動し、発電電力の周波数が変動することになるが、この方式で

は、周波数変換装置により、周波数が変動する電力を一定周波数(50 Hz又は60 Hz)の送・配電系統へ出力する。このようにすると、発電機回転速度が系統周波数と無関係に制御可能となり、可変速範囲が広く取れ、発電電力変動を小さくできるという利点がある。また、周波数変換装置で連系するので、突入電流もない。

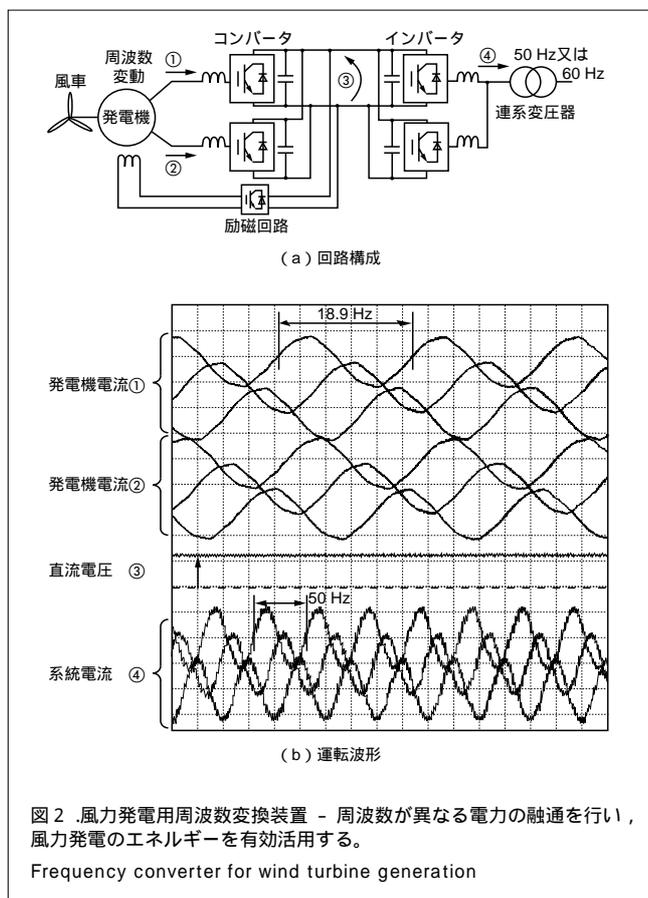
周波数変換装置は、風力発電機の交流電力をいったん直流電力に変換するためのコンバータ、直流電力を一定周波数の交流電力に逆変換するためのインバータから構成される。この2種類の変換器が背中合わせに接続される構成になっているので、BTB(Back to Back)と呼んでいる。

風力発電用BTBの構成と運転波形を図2に示す。図2(a)と(b)を用いて、BTBの動作を説明する。図2(a)の番号と図2(b)の番号は各々対応している。

- ①, ② 風力発電機の出力電流：この例は発電機が18.9 Hzで運転している場合の波形である。
- ③ 周波数変換装置の直流電圧：コンバータの動作により①, ②の発電機出力を直流電力に変換する。
- ④ 周波数変換装置の出力電流：インバータにより直流電力を50 Hzの交流電力に変換し、出力する。

### 2.2 風力発電用無効電力補償装置

風力発電所は遠隔地に設置されることが多く、送電線の距



離が長くなる場合がある。無効電力補償装置(SVC: Static Var Compensator)は、一般に電圧変動抑制に適用される例が多いが、送電線に流れる無効電流を低減するように動作させ送電ロスを低減する用途に適用される場合もある<sup>(1)</sup>。この原理を適用すれば、風力発電電力の送電効率向上を支援することができる。

## 3 エネルギーの有効活用のためのパワーエレクトロニクス

### 3.1 周波数変換設備

発電機の技術導入の経緯から、日本には二つの電力周波数があり、東日本は50 Hz、西日本は60 Hzに統合されてきた。しかし、周波数が異なる場合、交流技術では電力を融通できないので、せっかく経済的な電源あるいは環境に優しい電源が近くにあるにもかかわらず、活用できないという課題が生じる。この課題に対しては、周波数変換設備により連系することで、エネルギーの有効活用が図れる。

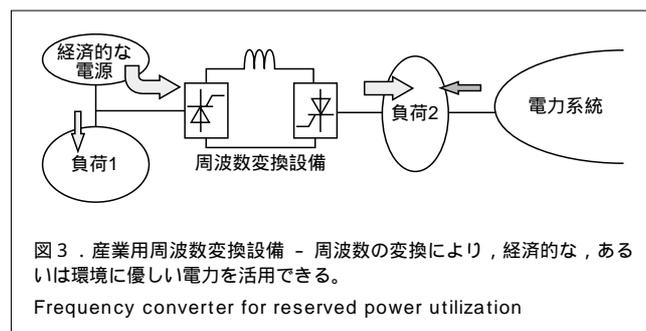
既存技術としては、サイリスタ変換器による周波数変換設備が営業運転しており、電力用で300 MW、産業用では30 MW設備の例がある<sup>(2)</sup>。また、大容量自励式変換器を適用した10 MWクラスの設備が計画されている例がある。

周波数変換設備の建設にはコストがかかるが、図3に示すように、運転コストの安価な水力発電設備、減価償却が済んだ発電設備などの経済的な電源の電力を、負荷1に供給すると同時に、余剰電力を異なる周波数の負荷2に供給可能となるので、運転コストを含めると経済的な設備導入と言える。

### 3.2 サイリスタスイッチ

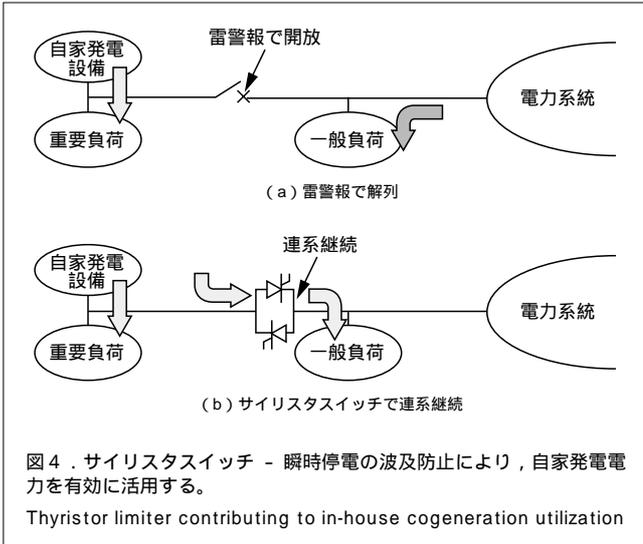
電力とともに熱エネルギーを利用する自家発電設備は、エネルギー利用効率が高く、環境負荷の少ない設備であり、近年導入が盛んに行われている。

自家発電設備から工場の重要負荷に電力を供給するとともに、余剰分を一般負荷へ回す運用を行う例がある。このような運用をしているときに雷警報が発令されると、重要負荷の接続される部分系統を商用電力系統から切り離し、落雷事故に起因する停電事故が重要負荷に及ばないように防止す



ることが行われる。しかし、効率の良い自家発電電力は一般負荷には供給されなくなってしまう。

このような状況下において、サイリスタスイッチを用いた高速解列を行うようにすれば、雷警報が発令されても自家発電電力を一般負荷にも供給を続け、実際に落雷による停電事故が発生したときは、高速に解列を行うことで、重要負荷への停電波及を防止するシステムが実現できる(図4)<sup>(3)</sup>。



#### 4 エネルギー蓄積のためのパワーエレクトロニクス

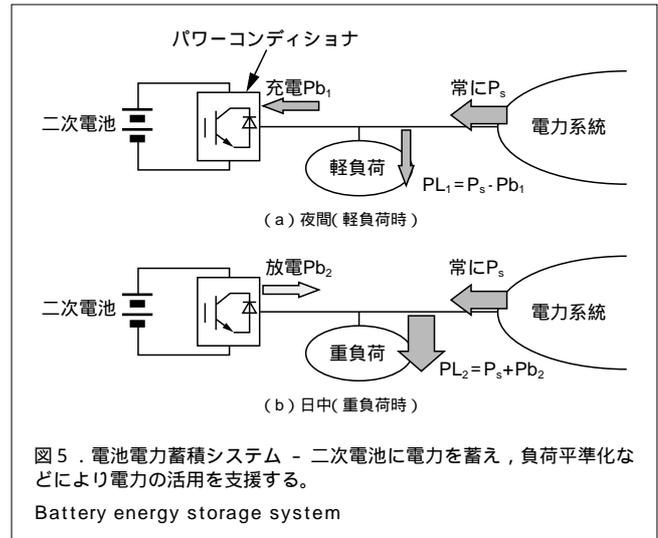
電気エネルギーは供給と消費のバランスを常に取って運営されている。日中のピーク電力に合わせた設備が必要となる。一方、夜間の消費は小さく、設備の稼働率が低くなるので、夜間に電力を蓄え、日中のピークを賄うことができれば、電力の平準化が可能となり、発電設備などの有効活用が可能になる。

##### 4.1 二次電池による電力貯蔵

現在、既に一部実用化されているのが二次電池による電力貯蔵である。大規模な電力貯蔵のため、新形二次電池として、ナトリウム硫黄(NaS)電池やレドックスフロー電池などが開発され、適用されている。

二次電池では直流で電力が蓄えられるので、交流電力と直流電力との融通を行うパワーコンディショナが必須となる。

パワーコンディショナは充電/放電電力を自由に制御できるので、ある一つの事業所の受電電力を平準化できる。工場や店舗などの事業所の電力負荷パターンは、通常日中に重負荷となり、夜間は軽負荷となるパターンである。図5に示すように、夜間の軽負荷時は二次電池を充電することで、負荷の消費電力 $PL_1$ と充電電力 $Pb_1$ の和を常に受電電力 $P_s$ に一致させ、日中の重負荷時は、負荷の消費電力 $PL_2$ を、二次電池からの放電電力 $Pb_2$ と電力系統からの受電電力 $P_s$ とで



賄う。このような動作を行うことにより、受電電力 $P_s$ を平準化することができる。

また、蓄積した電力で負荷の運転を継続し、システムダウンを防止する構成が可能である。

##### 4.2 超電導コイルによるエネルギー蓄積

最近の超電導材料の研究開発に伴い、超電導コイルによるエネルギー蓄積の実用化開発が進展している。超電導コイルによるエネルギー蓄積は、コイルに循環電流を流して行う。循環電流は直流電流であるため、交流電力系統との電力授受には、パワーコンディショナが必須となる。

エネルギーを蓄積する形は異なるが、二次電池の場合と同様、負荷電力の平準化や停電時の電力供給などに適用が可能である。

#### 5 省エネのためのパワーエレクトロニクス

(社)省エネルギーセンターでは、省エネ推進を工場、ビル、生活、交通の4区分で表しているが、可変速ドライブによる省エネは、工場のほかにビルの省エネ効果も大きく、空調ファンや冷凍コンプレッサなど流体機械の可変速が有効である。

商用電源で一定速駆動しているファン、ポンプなどを可変速することで省エネ運転できることは広く知られ、日本では70年代後半から80年代にかけて、幅広く省エネ目的の可変速ドライブが普及した。現在でもその導入目的や効果についての考え方は変わっていないが、省エネに対する社会的な責務の重要性は格段に大きくなっている。その省エネ促進のため、汎用インバータに代表される低圧の省エネ用小容量インバータ、あるいは数百kW以上の高圧大容量インバータは、高性能多機能化、信頼性向上、低価格化の追求が続けられている。

### 5.1 省エネ用中大容量インバータの動向

数百 kW 以上の大容量インバータでは、高調波抑制ガイドラインの浸透もあり、高調波の少ないクリーンな高圧出力インバータの開発が進められ、市場に普及してきた。

当社では図6に示すように、直列多重マルチレベルインバータ方式の“TOSVERT<sub>TM</sub>・MV”を製品化して、200 kW ~ 5,000 kW クラスの省エネ用ドライブに幅広く採用されている。投資コストの短期回収のための低価格化だけでなく、工期短縮や設置スペース削減をコンセプトに、整流器用変圧器、変換装置部、制御装置部をパッケージ化している。このインバータは、表1に示すように3.3 kVと6.6 kVの電圧で400k ~ 6,000 kVAまでシリーズ化し、省エネ導入計画のエンジニアリングをサポートしている。

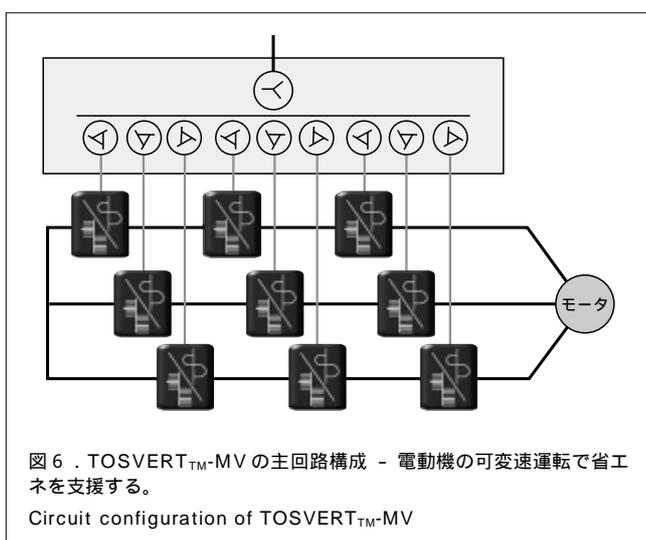


表1 . TOSVERT<sub>TM</sub>-MVの容量ラインアップ  
TOSVERT<sub>TM</sub>-MV capacity lineup

出力電圧(kV)	容量(kVA)	出力電圧(kV)	容量(kVA)
3.3	400	6.6	660
	650		1,300
	900		1,800
	1,200		2,400
	1,500		3,000
	1,800		3,600
	2,400		4,200
	3,000		4,800
			5,400
			6,000

### 5.2 省エネ用ドライブの適用拡大

特に、自家発電設備のボイラ用ファン(引込みファン、押し出しファン)を省エネ化するためのドライブでは、よりいっそうの高信頼性が求められる。そのために、インバータ装置単体の信頼性確保はもちろん、商用電源への自動切換えバックアップなどのシステム冗長、瞬時停電や瞬時電圧降下時の運転

継続性能の向上が図られ、システム全体の信頼性を確保することでその適用が拡大している。

一般製造工場のポンプはもちろん、上下水道プラントのポンプも省エネ効果が大いことから、取水ポンプや送配水ポンプの変速化は古くから行われ、巻線形誘導電動機をセルビウス装置で駆動する方式が主流であった。近年では、需要家の使用量に合わせた取水、浄水、配水のバランスを最適化コントロールするための可変速化はますます拡大しており、セルビウス装置に代わって“TOSVERT<sub>TM</sub>・MV”が数多く適用されている。

また、既設セルビウス装置の老朽更新のため、巻線形誘導電動機の二次スリップリングを短絡して“TOSVERT<sub>TM</sub>・MV”で駆動するなどの適用も広がっている。

## 6 あとがき

自然エネルギー資源やクリーンエネルギー資源の活用を支援するパワーエレクトロニクス、エネルギー蓄積を通じてエネルギーの有効活用を支援するパワーエレクトロニクス、及び省エネを支援するパワーエレクトロニクスについて述べた。

今後も資源の有効活用により、社会基盤の根幹である自然環境の保全を通じ、明るい豊かな未来社会の実現のため、パワーエレクトロニクス技術による貢献の努力をますます続ける所存である。

## 文献

- (1) Irokawa, S., et al. "TRANSMISSION LINE LOSS MINIMIZATION BY SVC". IEEE/IEEE Joint Conference on High Voltage Transmission Systems. Beijing, China, 1987-10, p.761 (S-3-002).
- (2) 森浦康友,ほか。“自家発電プラントにおける周波数変換装置の制御回路”。平成10年電気学会産業応用部門全国大会。発表番号227。
- (3) 菅原新市,ほか。“サイリスタスイッチによる瞬時停電対策装置”。電気学会産業電力電気応用研究会。発表番号IEA-01-6。



茂瀬 忠男 MOSE Tadao

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場  
ドライブシステム部主幹。ドライブ装置の開発設計に従事。  
電気学会会員。  
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



吉野 輝雄 YOSHINO Teruo

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場  
パワーエレクトロニクス部主幹。大容量パワーエレクトロニクス装置の開発設計に従事。電気学会、IEEE会員。  
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems



川口 章 KAWAGUCHI Akira

社会インフラシステム社 府中社会インフラシステム工場  
パワーエレクトロニクス部主査。パワーエレクトロニクスの開発に従事。電気学会会員。  
Fuchu Operations - Social Infrastructure Systems