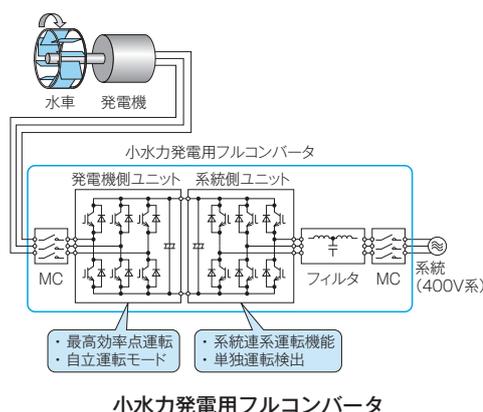


# 小水力発電システムへのパワーエレクトロニクス（パワエレ）技術適用

増子利健 Toshitake Masuko  
小石川洋平 Yohei Koishikawa  
光田 純 Jun Mitsuta

キーワード 小水力, 可変速, 自立運転, FRT

## 概要



パワーエレクトロニクス（パワエレ）技術を用いた小水力発電システムを開発した。パワエレ技術の適用によって、可変速制御で落差など流況の変化に応じた効率的な運転ができる。また、一般産業用インバータを活用したフルコンバータ方式を採用したことで、ブラシなどの付帯設備が不要でメンテナンス性も高い。

単独運転検出・FRT（Fault Ride Through）をはじめとする系統連系規程に準拠し、停電時には負荷に追従した自立運転ができるなど、非常用電源として活用できることなども特長である。

発電未利用ダムでの維持放流による発電など、従来の発電システムでは効率的な運転ができない場合や、水力発電を非常用電源に活用したい場合などに適したシステムである。

## 1 まえがき

カーボンニュートラルに向けた取り組みが進む中で、水力発電は再エネ主電源化の実現に向けて重要な電源である。固定価格買取制度（FIT）の施行後は、リパワリングや未開発地点への小水力発電の建設が行われている。特に発電未利用ダムでの発電が検討され、維持放流を活用した発電設備も導入されている。

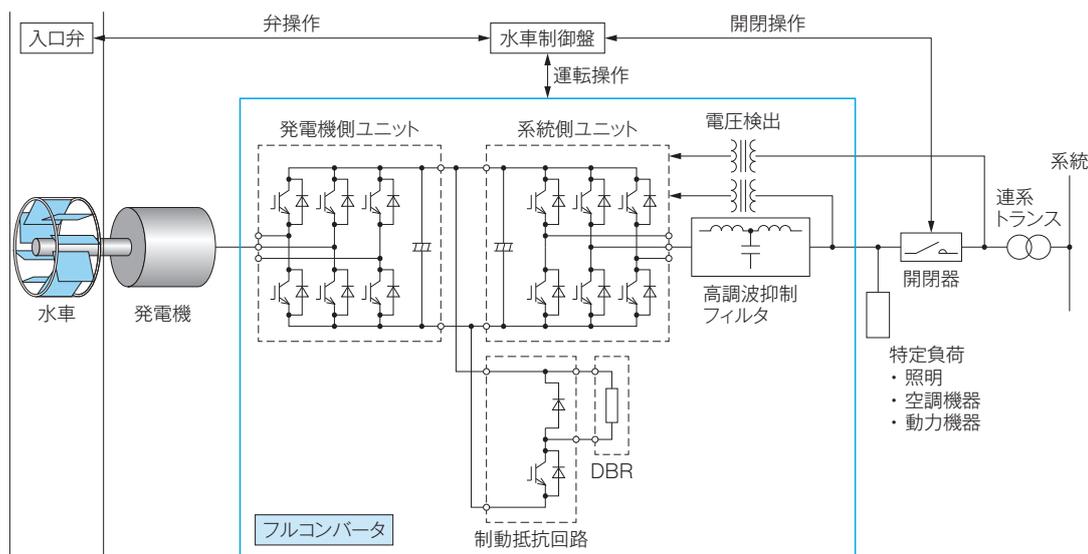
しかし、このようなダムは年間を通じてダム水位が変動するなどの理由から、通常の水車発電機では効率的な運用ができない点で課題がある。また、自然災害時の自立電源として水力発電を活用したいとの要望も高まっている。本稿では、パワーエレクトロニクス（パワエレ）技術を用いて効率的な運転と停電時に自立運転する小水力発電システムを紹介する。

## 2 小水力発電におけるパワエレシステム

### 2.1 フルコンバータシステム

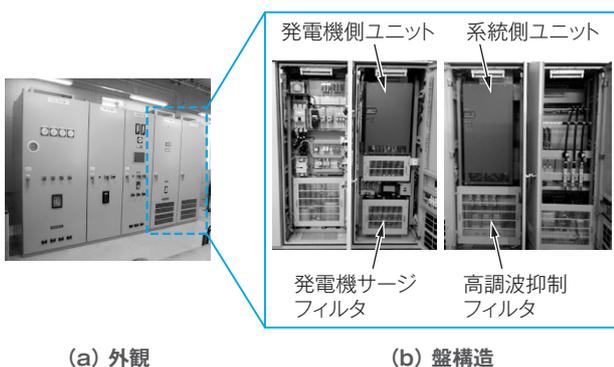
第1図に小水力発電におけるフルコンバータシステムの構成を、第2図に外観及び盤構成を示す。3相のPWM（Pulse Width Modulation）方式電圧形インバータで発電機出力を一度直流に変換し、再度交流に変換して系統に接続する。この構成で発電機側と系統側をほぼ個別に制御できる。インバータで3相交流を制御することで発電機は励磁回路不要となり、保守性を向上させている。

また、コンバータの主回路部分は一般産業用インバータと同一のものを使用している。そのため使用部品は入手しやすいため保守性が高い。機器構成も一般産業用インバータ盤と変わらない。



第 1 図 フルコンバータシステム構成

システムの概要を示す。



(a) 外観

(b) 盤構成

第 2 図 外観及び盤構成

外観と盤内構造を示す。

## 2.2 フルコンバータシステムの優位点

フルコンバータシステムを採用することで、系統連系時は発電機側の制御で可変速制御による高効率発電、停電時には系統側の自立運転によって電力供給する。また、ブラシが不要で、メンテナンス性が高い。

## 3 発電機側制御

発電機側と系統側の小水力での特長的な技術を紹介する。

従来の水車や他の発電機は固定速度が一般的であるが、パワエレを使って周波数・電圧を可変にす

ることで可変速制御を行う。変落差運転時などは、これにより発電効率が向上する。また、誘導発電機や永久磁石式発電機といった励磁回路が不要で、安価・堅ろうな発電機を採用できる。さらに精密な速度センサを付けずに制御できるため、保守性の向上にもつながる。

### 3.1 可変速制御方式

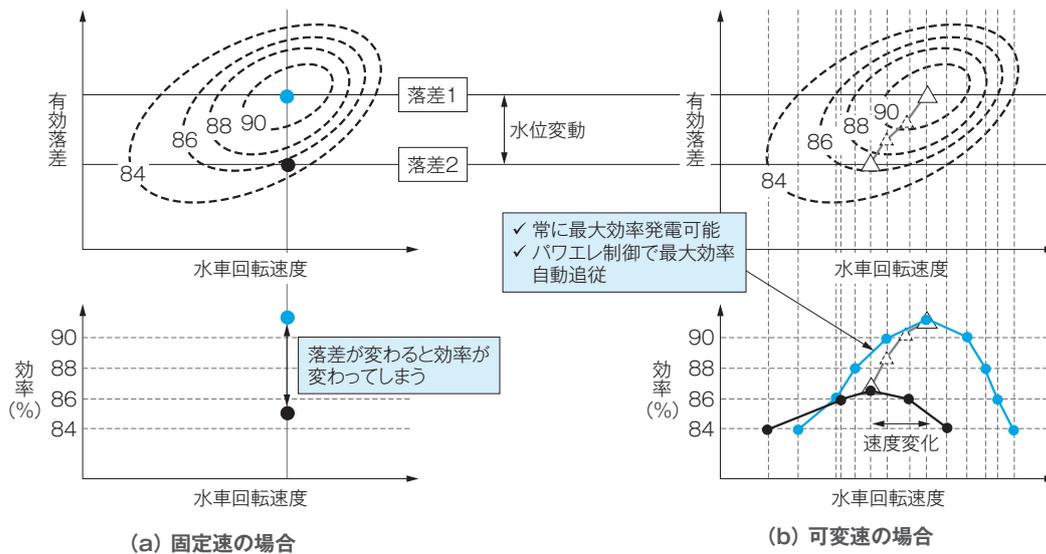
可変速制御による発電効率向上を説明する。水車の発電電力は落差と流量に依存するが、一般的な水車では、水車回転速度、落差と効率の関係は第 3 図に示したようになる。

ダムや河川では天候や季節によって落差や流量の変動があり、固定速度の制御では必ずしも最大効率点での運転ではない。これをパワエレ技術で水車の回転速度を可変制御することで、その時点の落差で最大効率の発電を行うことができる。

第 4 図に具体的検証事例を示す。(a) は流量を一定とし落差を変化させた場合、(b) は落差を一定とし流量を変化させた場合の検証結果で、可変速による発電出力の向上が確認できる。

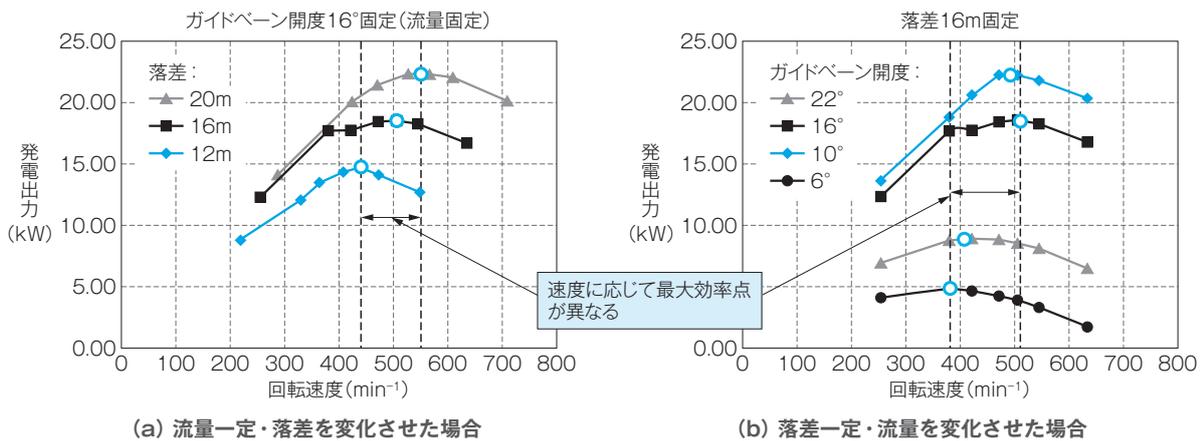
### 3.2 センサレス制御

センサレス制御は、インバータ自身の電流・電圧を用いて回転機のモデル演算を行うことで、回転速



### 第3図 可变速制御方式による落差、流量と効率の関係

可变速制御方法を示す。



| 落差  | 固定速 |      | 可变速 |      | 出力増加率 |
|-----|-----|------|-----|------|-------|
|     | 速度  | 出力   | 速度  | 出力   |       |
| 20m | 429 | 20.0 | 527 | 22.2 | 11.0% |
| 16m | 429 | 18.0 | 507 | 18.5 | 2.8%  |
| 12m | 429 | 14.8 | 429 | 14.8 | 0.0%  |

✓ 流量が変化した場合も同様

✓ 落差が変動しても可变速制御することで出力向上が可能

### 第4図 可变速制御の検証事例

可变速制御の検証事例を示す。

度と位相を推定しながら運転する。これにより、回転速度センサは不要となる。特に水路にタービンを入れ込む水中タービン水車に対して、センサレスによる配線削減効果大きい。第5図に水中タービン水車を示す。



### 第5図 水中タービン水車

センサレス制御を行う対象例（イームル工業㈱製水車）を示す。

## 4 系統側制御

LCフィルタ内蔵による高調波抑制や系統連系規程に準拠した高品質電源は、以下の特長を有する。

- (1) 単独運転検出・FRT (Fault Ride Through) 機能をはじめとする系統連系規程に準拠
- (2) 自立運転機能の搭載で、停電時や災害時の非常用電源として利用が可能

本システムによって、水が流れる限り昼夜問わず、停電や災害時の非常電源として利用できるという特長がある。さらに発電機が永久磁石式の場合、励磁制御が不要なため、ブラックアウトスタートにも対応できる。

### 4.1 自立運転方式

第6図に自立運転方式を示す。停電が起こるとそれを検知してコンバータの出力開閉器をトリップさせ、自立運転モードに切り替わる。自立運転中は

発電機側が最大効率可変速制御から直流電圧一定トルク制御へ切り替わり、負荷電流によって直流電圧が下がらないように発電機のトルクを制御する。系統側は直流電圧一定同期制御から固定電圧固定周波数出力制御へと切り替わる。

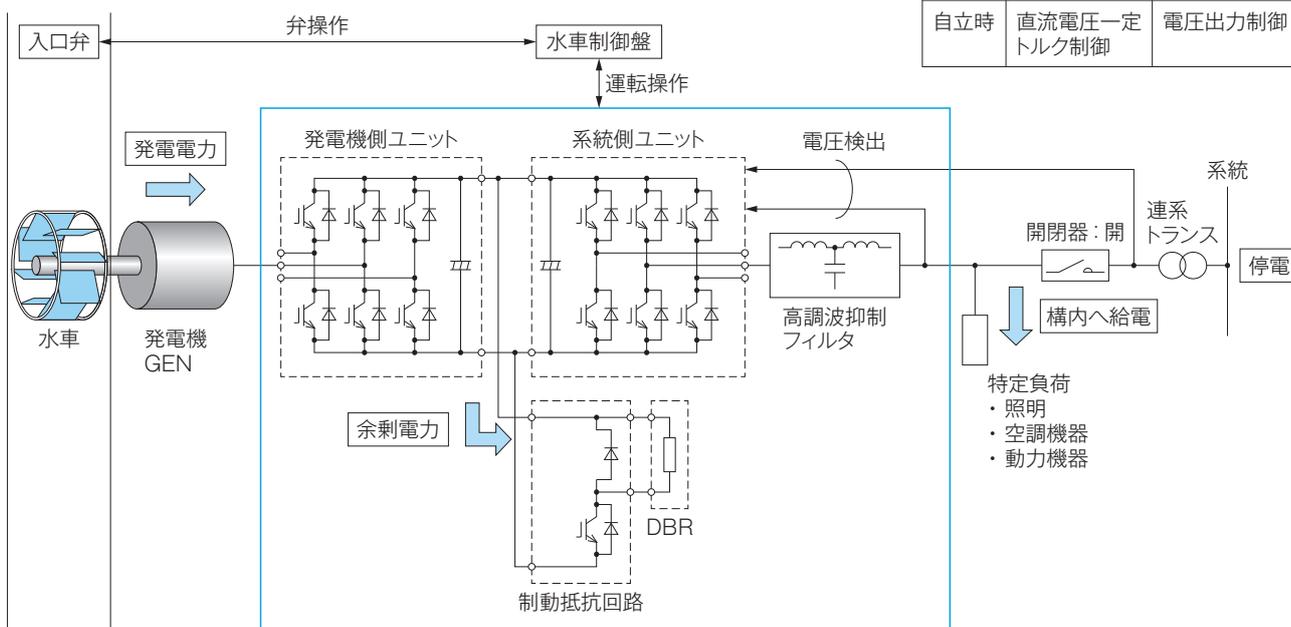
自立運転中の負荷電力が小さい場合などに、水車のオーバスピードを防止するため、余剰電力を制動抵抗で吸収できる。

### 4.2 自立運転時の負荷追従制御

ここまで紹介してきたように、パワエレ技術を用いることで水車の速度やトルクを可変制御できるため、自立運転中も負荷の消費電力に追従できる。

第7図に自立運転時の負荷追従制御を示す。負荷の増大や追加負荷投入時には、トルクを上げることで速度が下がる。また、負荷の減少や開放された場合は逆に速度が上がる。このような動作によって、供給可能範囲内で負荷に追従できる。

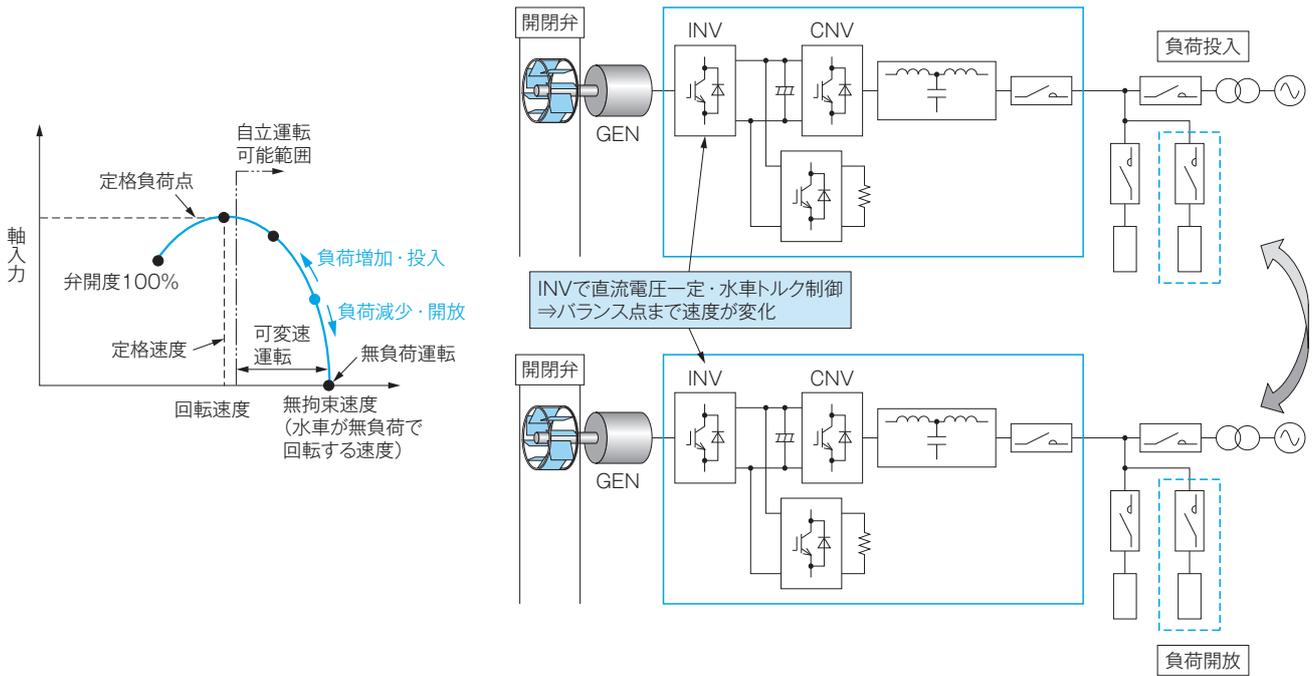
災害時など系統停電時でも構内負荷に電力を供給する  
(非常電源として利用可能)



| モード                          | 発電機側            | 系統制御             |
|------------------------------|-----------------|------------------|
| 連系時                          | 最大効率<br>可変速制御   | 直流電圧一定<br>電源同期制御 |
| ↑ ↓ 自動切り替え<br>※自立移行時は短時間停電有り |                 |                  |
| 自立時                          | 直流電圧一定<br>トルク制御 | 電圧出力制御           |

第6図 自立運転方式

自立運転制御の概要を示す。



第7図 自立運転時の負荷追従制御

自立運転時の負荷追従制御を示す。

## 5 むすび

水力発電は再エネの中でもCO<sub>2</sub>の発生が最も少ない電源で、地域に根付いた分散電源でもある。この重要なエネルギーを有効に活用する方法として、パワエレ技術を用いた小水力水力発電システムを開発した。

今後も新たな技術を取り入れながら水力発電の製品開発を展開していく。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

### 【執筆者紹介】



**増子 利健**  
Toshitake Masuko  
水力事業推進本部  
水力発電事業の企画業務に従事



**小石川 洋平**  
Yohei Koishikawa  
水力事業推進本部技術部  
水力発電システムのエンジニアリング業務に従事



**光田 純**  
Jun Mitsuta  
製品技術研究所  
可変速制御装置の開発業務に従事