

# 水処理設備におけるエネルギーソリューション技術

特集

山本 総一郎 (やまもと そういちろう)

長倉 善則 (ながくら よしのり)

## ① まえがき

1999年4月1日に「エネルギーの使用の合理化に関する法律の一部を改正する法律」(改正省エネ法)が施行されて以降、二酸化炭素による地球温暖化や窒素酸化物による酸性雨などのエネルギー消費に係る地球環境負荷を低減するための取組みがなされてきたが、特に民生・運輸部門のエネルギー消費の増加が著しく、エネルギー消費の増加に歯止めがかからない状況となっている。このため、国も2003年4月1日にさらなる省エネ法の改正を施行し、第1種エネルギー管理指定工場の対象業種限定を撤廃、第2種エネルギー管理指定工場へのエネルギー使用状況の定期的報告を義務づけ、特定建物(2,000m<sup>2</sup>以上の住宅以外の建物)の省エネルギー措置届出を義務づけするなどにより一層のエネルギー使用の合理化を求めている。

一方では、電力系統の供給信頼性は格段に向上し一需要家あたりの停電の年間発生件数は0.18回、停電時間は14分(2000年度:電気事業連合会)で、停電時間は欧米の15%程度と比較的短い。昭和60年代の大雪、1990年の台風19号、1995年の阪神・淡路大震災などの例にみるように、広域災害が発生すれば広範囲で長期間の停電が発生し、社会インフラストラクチャーの機能がまひする状況が懸念されている。水処理施設は設備や運用の冗長性によって、継続的な稼働や早期復旧の期待に応えているのが現状である。

このように水処理施設の管理・運用は、重要なライフラインとしての高い稼働信頼性を確保する中で、ますますエネルギー消費を合理的なものとする必要に迫られている。

本稿では、省エネルギー機器の可変速電動機とエネルギーセキュリティのための電源品質補償装置に関する技術を紹介する。特に可変速電動機は高調波を抑制しつつ飛躍電圧を電動機端子の定格許容変動範囲内まで抑制している点で、またNAS(ナトリウム-硫黄)電池用PCS(Power Conditioning System)連系運転と自立運転を無瞬断で切り換えられる点で先進性のある製品となっている。

## ② 可変速電動機

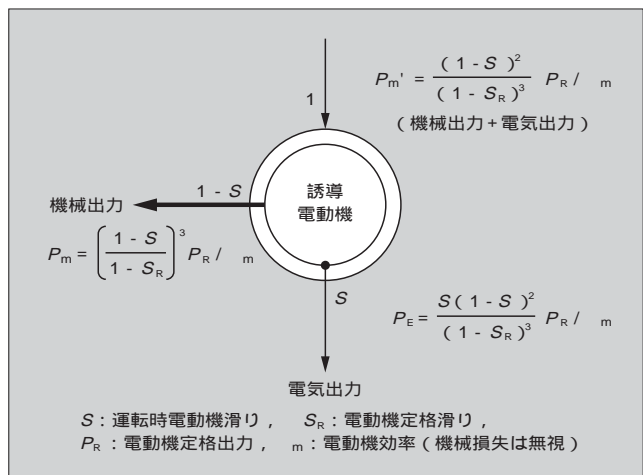
### 2.1 可変速電動機の省エネルギー効果

水処理施設におけるエネルギー消費の約85%が電力消費であり、特に水道事業においては水の輸送に使用するエネルギーがその88%、下水道事業においては汚水輸送やばっ気に使用するエネルギーが全消費量の70%程度を占めるといわれており、ここに省エネルギーの余地が多く内在する。これらの動力はポンプ、プロワを電動機で駆動して得られる。流体機械のポンプ、プロワは、吐出流量が回転速度に比例、吐出圧力が回転速度の二乗に比例、軸動力が回転速度の三乗に比例する特性を持つため、回転速度で流量、圧力を制御すれば弁やダンパを制御する方式より格段の省エネルギーになる。図1に流体機械用電動機のエネルギーフローを示す。弁制御方式、二次抵抗制御方式、VVVF(可変電圧可変周波数)方式のエネルギー消費量の理論式を表1に、効率の計算例を図2に示す。制御範囲が広いほど省エネルギー量が多くなることが分かる。

### 2.2 最近の可変速電動機

可変速電動機は、半導体素子の技術発展とともにさまざま

図1 流体機械用電動機のエネルギーフロー



山本 総一郎

上下水道用電気・計装システムの設計に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境システム本部水処理統括部首都圏技術部長。電気学会会員。



長倉 善則

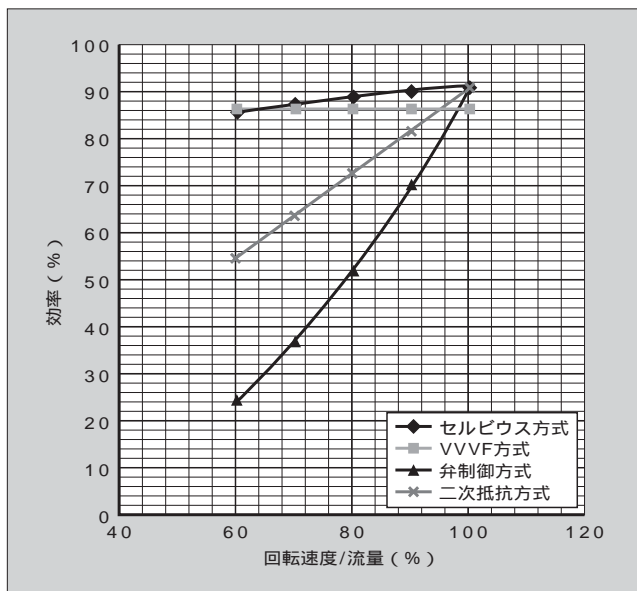
上下水道用電気・計装システムの設計に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境システム本部水処理統括部首都圏技術部グループマネージャー。

表1 流体機械用誘導電動機の消費電力理論式

方式	機械要求出力 (電動機端)	消費電力
弁制御	$P_m = \frac{F_R + F}{2F_R} P_R$	$P_m = \frac{2 - S}{2} P_R / \eta$
二次抵抗制御	$P_m = \left( \frac{1 - S}{1 - S_R} \right)^3 P_R$	$P_m = \frac{(1 - S)^2}{(1 - S_R)^3} P_R / \eta$
VVVF制御		$P_m = \left( \frac{1 - S}{1 - S_R} \right)^3 P_R / (\eta \times \nu)$

注1 定格における機械要求出力と電動機機械出力が等しいとしている。  
 注2 弁制御時の機械要求出力は流量に比例し、流量なしで定格の1/2と近似した。弁制御時の消費電力は流量が回転数に比例する条件の基すべりの関数で近似した。  
 $F$  : 運転時流量,  $F_R$  : 定格流量  
 注3  $\nu$  : VVVF装置の効率

図2 方式ごとの運転効率の計算例



まな方式が開発され適用されてきた。近年のパワーデバイスの大電流化、高電圧化、低価格化などの技術革新は目覚ましく、直接高圧回路に適用可能になるに至って、小容量機から大容量機まですべての可変速電動機の適用標準方式はVVVF方式となっている。これは、VVVF方式はセルピウス方式より運転効率が最大で5%程度低くなっているものの、電動機がかご形でブラシやスリップリングを使わず堅ろうであること、機構部のある始動抵抗器を使わず保守性に優れていることが評価されているためである。

しかしながら、VVVF方式は、高調波、ノイズ、サージ電圧などのエネルギー変換の副生成物を他の方式に比べて多く発生する。

高調波は系統に接続される電気機器、特に進相コンデンサ設備を過負荷状態にして発熱による異常を発生させ、ノイズは主回路配線に近接する弱電信号配線、特に計測信号に重畳して信号を乱して制御にじょう乱を与え、サージ電圧は巻線を持つ機器、特に一般電動機に印加されると絶縁を脅かし絶縁劣化を加速して絶縁破壊に至る可能性がある。

図3 高調波サージ電圧低減型高圧VVVFの原理

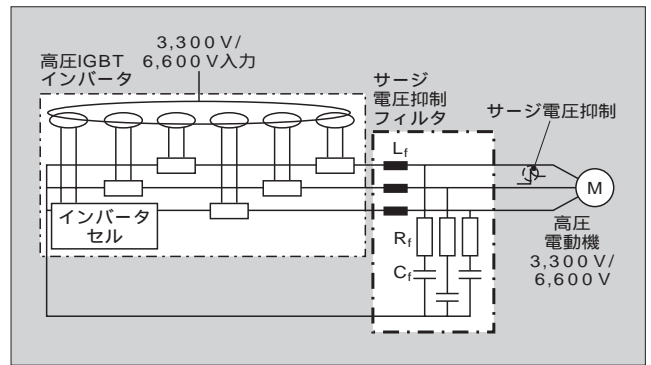


表2 高圧VVVFの主な仕様

仕様項目	3.3 kVクラス	6.6 kVクラス	
出力容量範囲	400 ~ 2,500 kVA	560 ~ 5,000 kVA	
適用電動機出力 (参考値)	300 ~ 2,150 kW	450 ~ 4,400 kW	
入力	電圧	3.3 kV ± 10% 三相	6.6 kV ± 10% 三相
	周波数	50/60 Hz ± 5%	
出力	電圧	3.3 kV 三相	6.6 kV 三相
	周波数	0.2 ~ 60 Hz 分解能 0.1 Hz	
コンバータ	3相ダイオードコンバータ		
インバータ	マルチレベルインバータ直連続PWM制御		
回転数制御方式, 精度	簡易センサレスベクトル制御付 V/f 一定制御, ± 0.5%		
効率	約97%		
力率	95%以上		
瞬低保護時限	200 ms		
入力電流高調波含有率	ガイドライン以下		
盤構造	屋内自立閉鎖形 (IP20)		
冷却方式	強制風冷		
絶縁耐力	3号A・B対応	6号A・B対応	
	瞬低保護時限 500 msまで		
オプション	出力サージ電圧抑制	ピーク電圧を定格の10%以下に抑制	
	投入・解列機能	商用 インバータの同期切換可能	

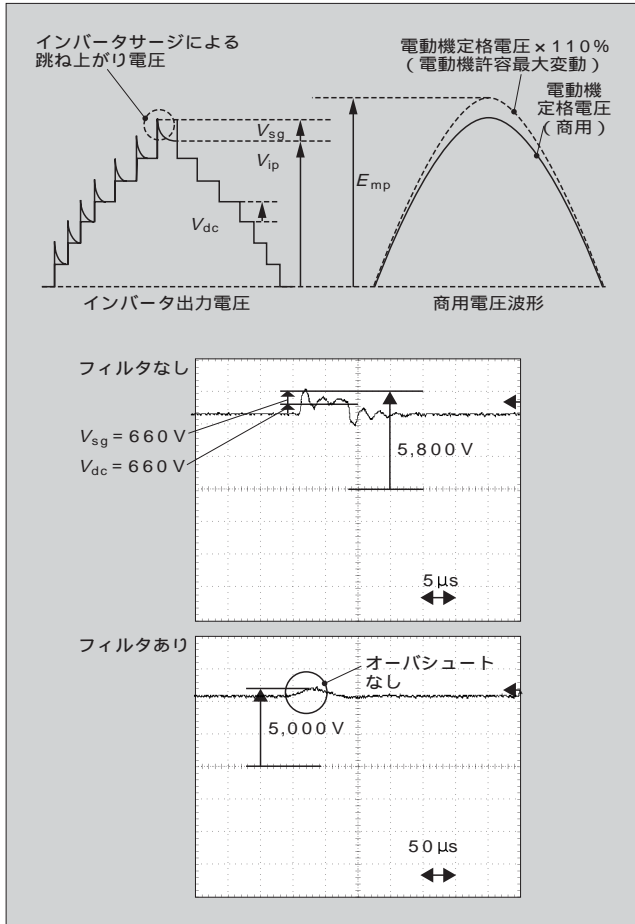
最近のVVVFはパワーデバイスの能力を最大限引き出して運転効率を向上させるほか、高調波は高調波抑制ガイドライン以下、ノイズ、サージ電圧については、不具合を発生させないレベル以下まで発生を抑制するものが開発されつつある。

製品化した高調波レスでサージ電圧レスの高圧VVVFの原理を図3に、主な仕様を表2に示す。本VVVFは、高調波の発生量をガイドライン以下、サージ電圧も定格電圧ピーク値の10%以下に抑制するため、今まで可変速度で運転していない誘導電動機をかご形・巻線形、新設・既設、専用・一般用にかかわらず、周りの電気設備に悪影響を与えることなく可変速度化することができる。図4にサージ電圧の抑制状況を示す。

③ 電源品質補償装置

水処理施設の稼働信頼性を維持するうえで重要なことは電源の確保である。電源の供給信頼性を阻害する要因の一つは停電で、電力系統の雷撃で避雷器が動作する際に系統

図4 サージ電圧抑制効果



電圧が避雷器の制限電圧以下に維持されて生ずる 0.5 秒以下の瞬時電圧低下（瞬低）から、地震、台風などによる配電網の損壊が原因の数日間の長期停電までである。また、最近のフィールド機器には小型の CPU を有する高機能機器が導入されてきており、電圧の変動が制御機器の動作に影響を与え、設備の稼働に影響を与える可能性も増大してきている。

さらに分散電源の普及が進めば、特に太陽光発電設備や風力発電設備のように天候により変動するものなどは系統の電力品質維持の阻害要因となる可能性もある。大規模浄水場では停電・復電処理に数十分を要するところもあり、これらの影響を極力抑制し、施設の安定的運転を確保することが重要となっている。

3.1 電源品質補償装置の特徴と機能

非常用発電設備では、発電機が始動して電圧が定格電圧に到達した後、電力会社系統を切り離して負荷へ電力供給するため、需要家側の一時停電が必須である。これを防止するためには常用発電設備として運転しておき、停電時に発電機設備を生き残らせて必要最小限の負荷に電源供給する方法があるが、コージェネレーションでない限りエネルギー利用率は低く、経済的負担が多くなるばかりか環境負荷を増大させる結果となる。環境負荷を増大させず、これらの要求に応えるものとして NAS 電池用高機能 PCS を製品化した。この装置は、図 5 に示す機器構成で通常時には連系運転を行って NAS 電池に電力を貯蔵するとともに、貯蔵されたエネルギーの一部を使って並列インバータ経由で負荷電流の補償（受電電力のピークカット）に使用し、あわせて無効電流・高調波電流の補償も行い、直列インバータにより電圧を補償することによって、高品質な電力を負荷に供給する機能を持っている。いったん停電となれば、並列インバータの出力でサイリスタスイッチを消弧して即時に系統から解列して自立運転に入り、無瞬断で NAS 電

図5 NAS 電池用 PCS の動作原理

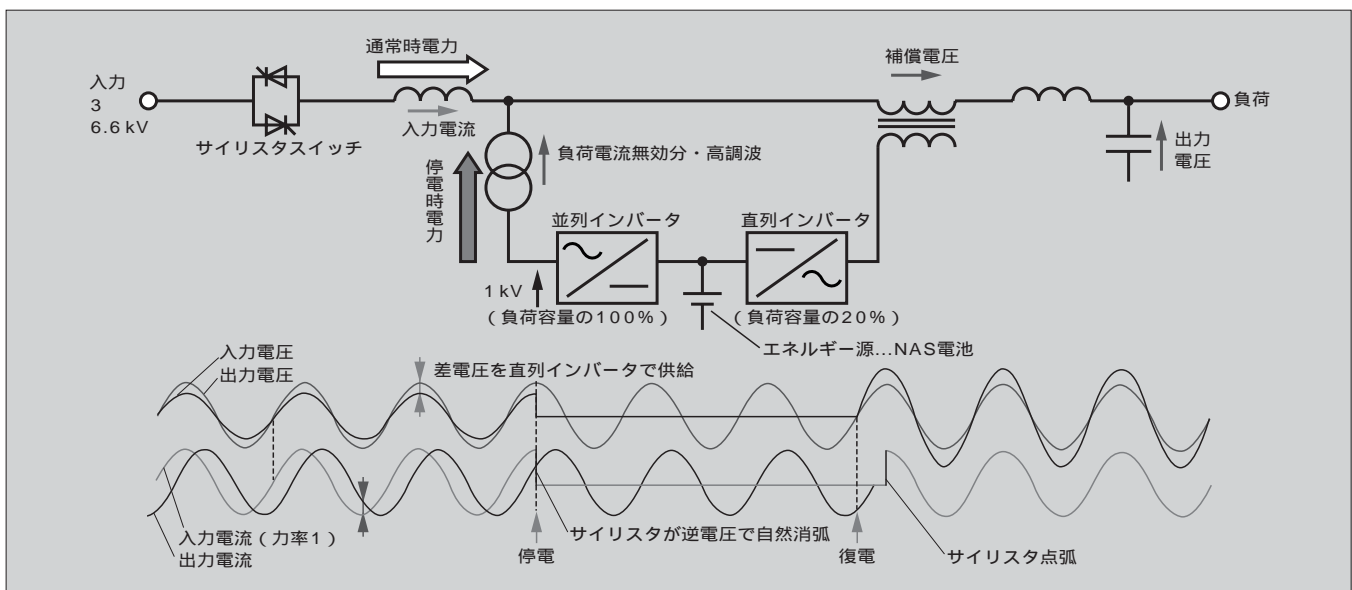


表3 NAS電池用PCSの主な仕様例

項目		仕様	備考
変換方式		自励電圧型高周波PWM	IGBT素子
冷却方式		強制空冷	
直流入出力	充電	電力	0 ~ 500 kW
		電圧	580 ~ 755 V
	放電	電力	0 ~ 538 kW
		電圧	660 ~ 490 V
交流入出力	電力	充電	400 V, 600 kW
		放電	400 V, 500 kW
	電圧変動範囲 (自立時精度)	± 10% (± 2%)	直列インバータ
	周波数変動範囲 (自立時精度)	± 1% (± 0.1%)	
	高調波含有率	総合5%, 各次3%以下	
	波形ひずみ率	3%以内	
	力率	95%以上	
変換効率		93%以上	
切替時間		20 ms以内	

池に貯蔵していたエネルギーで電力供給を継続することができ、復電時も同様に無瞬断で連系運転に復帰できる。

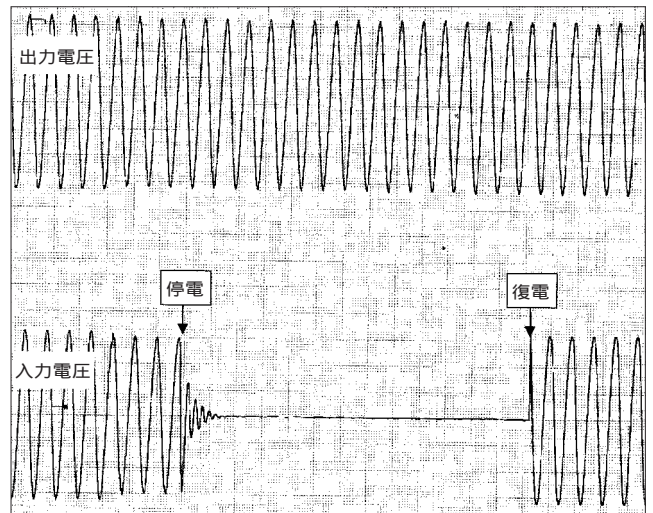
表3に仕様例、図6に停電・復電動作時の電圧波形を示す。

さらに自家発電設備との連系運転を可能とすれば、停電発生直後はNAS電池の単独運転で必要負荷の運転を継続させ自家発電設備運転後にこれと連携させれば、過大な容量のNAS電池を持たずに高品質な電力の供給を長期の停電期間中も供給可能となる。

### 3.2 電源品質補償装置としての適用拡大

上記のNAS電池を他の二次電池などに替えて、コンデンサとすれば百分の1秒オーダーの瞬時電圧低下補償用、リチウムイオン電池、ニッケルメタルハライド電池とすれば分オーダーの瞬時停電補償用など、補償対象、補償電力、補償時間などに応じてさまざまな電源品質補償に適用できる。

図6 PCS停電・復電動作時の電圧波形



## 4 あとがき

省エネルギーと電源信頼性の確保は今後も水処理施設におけるエネルギーソリューションの重要課題である。本稿で紹介した高圧VVVFやPCSをさらに高機能にして適用可能範囲を拡大するほか、有害物質の使用抑制、リサイクル可能物質の使用拡大などの製品サイクル全体を通して地球環境の保全に有用な製品へと進化させていきたい。

今後も、水処理施設の抱えている課題を解決しつつ、このような社会的要求に応えるエネルギーマネジメントを実施する中でさらに有用なサービスや製品を提供していく所存である。

### 参考文献

- 1) 中原泰男ほか．水処理施設における新エネルギー技術．富士時報．vol.71, no.6, 1998, p.316-323.
- 2) 山本総一郎ほか．上下水道設備の省エネルギーとリサイクル．富士時報．vol.74, no.8, 2001, p.480-482.
- 3) 小松木和成．多様化する電力品質問題への対応技術．富士時報．vol.74, no.12, 2001, p.652-658.



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。