

# 最近の上下水道システム用電源設備

## Recent Power Supply Equipment for Water and Wastewater Systems

上下水道システムの電源設備は、供給信頼性の向上が最も重要なポイントである。これは単なる受変電、配電設備だけにかかわるものでなく、非常用自家発電設備やコンピュータ用無停電電源設備をも含めたトータルパワーサプライシステムとして確立される。

最近のマイクロエレクトロニクス、パワーエレクトロニクスの発達により、それらの応用がシステムの機能向上に貢献している反面、電源設備としては電源波形ひずみ、瞬時電圧変動に対する要求も高度になってきている。

本稿では供給信頼性向上の具体策に加えて、高品質電力供給を行うためのエンジニアリング手法、及び新技术を適用したハードウェアについても一端を紹介する。

大鋸英五\* Eigo Ôga  
三島宣雄\*\* Nobuo Mishima  
伊東 孝\*\* Takashi Itô  
斉藤 隆\*\*\* Takashi Saitô

### 1 緒 言

近年、生活水準の向上及びその平均化によって上下水道施設の普及は、大都市だけでなくあらゆる地域に拡充されつつあり、その地域の特質から小規模分散、設備の集中化、対象地域の広域化など多様化がみられる。これらのシステム構成のいかににかかわらず、いずれも地域の社会生活に直接かわるものであり、上下水道設備の信頼性はますます重要視されるようになってきた。

上下水道設備をエネルギー供給面からサポートする電源設備の使命は、負荷に安定した良質の電力を継続して供給することであり、従来からハードウェアの高信頼度化、システム構成の冗長性向上あるいはソフトウェアの近代化など、あらゆる面から種々の施策がとられてきている。

特に上下水道設備では、公共性からくる連続運転の必要性に加えて、雨水、融雪水の急増など自然現象の急変に対応して確実なシステム始動を行うための待期信頼度の向上も重要なポイントである。

本稿では受変電設備、非常用自家発電設備及び無停電CVCF(Constant Voltage and Constant Frequency: 定電圧定周波)を含めたトータルパワーサプライシステムとしての電源設備について、電力安定供給方式、電力品質の維持あるいは新技术導入による機器の付加価値の増大について、その一端を紹介する。

### 2 上下水道システム用電源設備の特徴

上下水道システム用電源設備は、安定供給のための電源確保という基本的機能に加えて、最近のシステム内への新技术導入に対応して次のことを考慮に入れたシステムとする必要がある。

- (1) 供給信頼度向上のためのシステム構成と冗長性向上
- (2) 待期信頼度向上のための予防保全方式の導入
- (3) 上下水道システム内機器のパワーエレクトロニクス化に伴う高調波解析技術と適正な高調波対策
- (4) 計装、制御のコンピュータ化に伴う無停電電源の確保

### 3 電力安定供給への施策

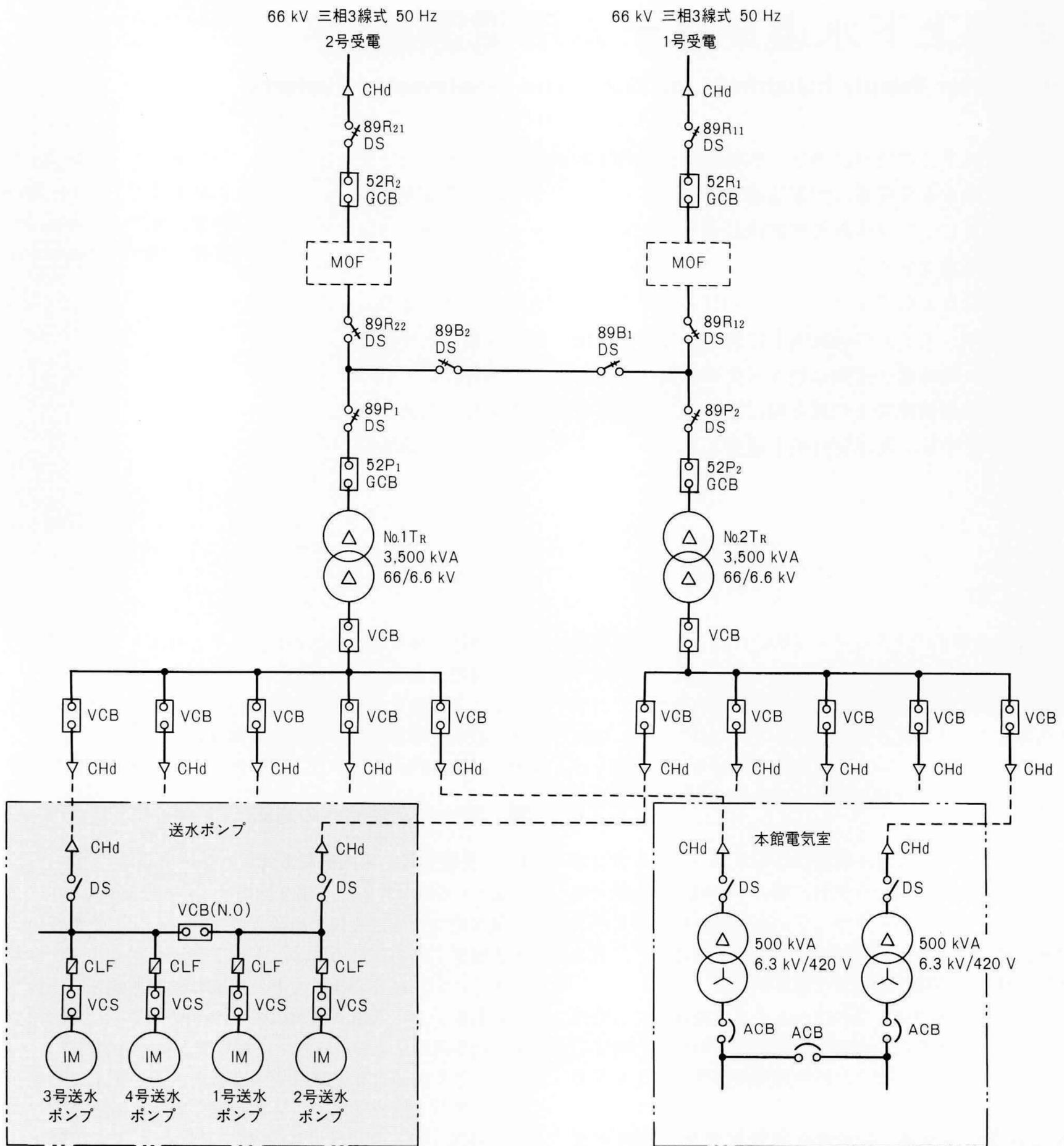
#### 3.1 受電方式、場内配電方式

図1に66 kV常用、予備2回線受電、3.5 MVA×2バンクの浄水場用受変電設備の単線接続図例を示す。受電電力の供給信頼度を高めるためには、平行2回線受電やループ受電が望ましいが、電力会社でのその地域の配電方式との合致が必要である。上下水道システムのアウトプットとしての水などが供給支障に至らない範囲で停電時間が長く許容できる場合、あるいは非常用自家発電設備の容量が大きい下水処理場などでは、平行2回線受電やループ受電に固執する必要はない。

2 MOF(取引用計器用変成器)方式は取引用変成器を2回線の各々に設置することによって、定期的なMOFの校正、点検のための取外しに対しても無停電で電力の供給を可能とするもので、近年、上下水道など公共性が高く、長期間(20~30年)運用する需要家用受変電設備では本方式が一般的となってきた。

場内配電の供給信頼性、冗長性を高めるため、これまで種々の方式が採用されてきた。主変圧器の二次母線方式についても表1に示す断路器切換式二重母線方式や環状母線とすることが多かったが、これらの方式は期待される冗長性が向上する反面、インタロック方式を含めたシステム構成が複雑となるとともに、二重母線といえども同一閉鎖配電盤内にある

\* 日立製作所国分工場 \*\* 日立製作所日立工場 \*\*\* 日立製作所機電事業本部



注：略語説明 CHd(ケーブルヘッド), VCB(真空遮断器), N.O(常時開), DS(断路器), CLF(限流ヒューズ), GCB(ガス遮断器), VCS(真空開閉器) MOF(取引用計器用変成器), IM(誘導電動機), Tr(変圧器), ACB(気中遮断器)

図1 66 kV常用予備2回線受電3.5 MVA×2バンク変電所の単線接続図例 フィーダの一部は省略し、負荷設備も場内配電方式の説明のため一部だけ記載した。

ので母線点検時近接活線作業となる欠点があった。近年 3 kV・6 kV級真空遮断器の小形化、低コスト化により二重母線 2 遮断器切換方式が見直されてきた。A母線、B母線をそれぞれ独立した列盤構成とすることによって、母線点検時、母線を含めた列盤全体を無電圧とすることが可能になる。遮断器数が増加するが遮断器の小形・軽量化により多段積みとすることで据付面積の増大を防止している。

図1の送水ポンプ系のように、複数のポンプ駆動電源を異

系統、異バンク母線から供給することによって、母線や電気系統を複雑にすることなく、必要な送水量の確保という面から電気系統、ポンプ設備を含めたサブシステムとして互いにバックアップ可能とすることも有効である。

### 3.2 機器の劣化診断と予防保全

事故による突如の運転停止を防止し、供給信頼度を高めるための機器の劣化診断と予防保全は重要であり、受変電システム、非常用自家発電システム共に、新しいセンサの開発や

表1 変圧器二次母線方式の比較 供給信頼度は二次母線方式だけでなく、場内配電方式を含めて検討することが必要である。

母線方式	単母線	二重母線		環状母線 (リングバス)
	単一母線 母線連絡CBあり。	(1)二重母線 2CB切換	(2)二重母線無停電切換DS 母線連絡CBあり。	
単線接続				
設備費	小	やや大 (CBの数が増える。)	大 [(1)より大きい。]	大
供給信頼度	T <sub>1</sub> ダウン時50%負荷制限, T <sub>2</sub> ダウン時T <sub>1</sub> と自家発電で運転	T <sub>1</sub> 又はT <sub>2</sub> ダウン時, 買電と自家発電で運転	同左	同左 ただし, T×3台のため, 負荷制限少
設備構成	簡単	やや複雑	複雑	やや複雑
母線点検	片側ずつ点検	両母線とも無停電で点検可能	A, B交互に母線の停電をとり点検	タイCBの切換えにより, 母線停電をとって行う。
母線切換	—	切換時間1秒以内	切換時間10~15秒	—
操作性	簡単	簡単	複雑	やや複雑
インタロック構成	簡単	簡単	複雑	やや複雑
増設性	片側ずつ停電	同左	同左	タイCBと変圧器二次側CB OFFすることによりブロックの停電で可。
据付面積	小	やや大	大	同左

注：略語説明 T(変圧器), CB(遮断器)

予測保全へのシステム化が発表されている。ここでは、受変電設備の中心的機器である大形油入変圧器の劣化寿命診断技術と、商用受電が停電となった場合、確実に始動する必要がある非常用自家発電システムについて以下に紹介する。

### 3.2.1 油入変圧器の経年劣化と寿命診断

従来、油中に溶存する炭化水素系の可燃性ガスを分析して変圧器内部に局部過熱や部分放電などの異常発生を診断を行う方法が確立され、電気協同研究第36巻第1号に発表されているが、これは変圧器の寿命予測を診断するものではなかった。

油入変圧器の経年劣化度は、油中の絶縁紙の機械的強度(平均重合度)の低下度に関係するが、最近、絶縁油中で熱、水、酸素の影響を受けて劣化、平均重合度が低下してゆく際に油中に放出される炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)、一酸化炭素(CO)の生成量、生成速度が平均重合度と密接な関係があることが東京電力株式会社と日立製作所の共同研究で明らかとなり<sup>1)</sup>、これを応用した劣化診断法が実器に適用され効果を上げている。図2の寿命診断図の例では、ある変圧器がO点においてCO<sub>2</sub>+COがAの方向に進んでいけば、その変圧器の寿命は正規寿命30年以上となる。Bのように進めば30年以下となる。しかし、運転条件が軽減してCのようにCO<sub>2</sub>+CO生成速度が低下すれば、残存寿命は延長する<sup>2)</sup>。

### 3.2.2 非常用自家発電設備予防保全システム<sup>3)</sup>

図3に予防保全システム概要図を、表2に予防診断項目を示す。非常用自家発電設備の待機中、始動中及び運転中に各種センサによりデータを収集・分析・記録を行うもので、主な機能を下記に示す。

(1) 異常発生時、的確な処置を行うため操作ガイダンスを中

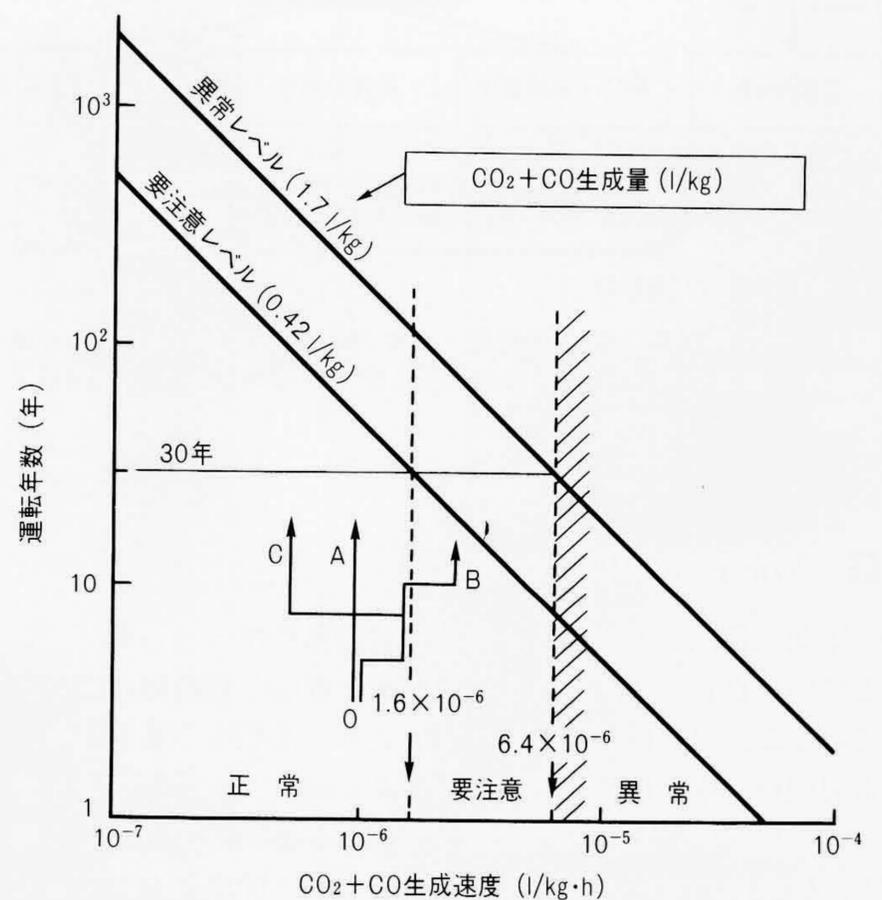
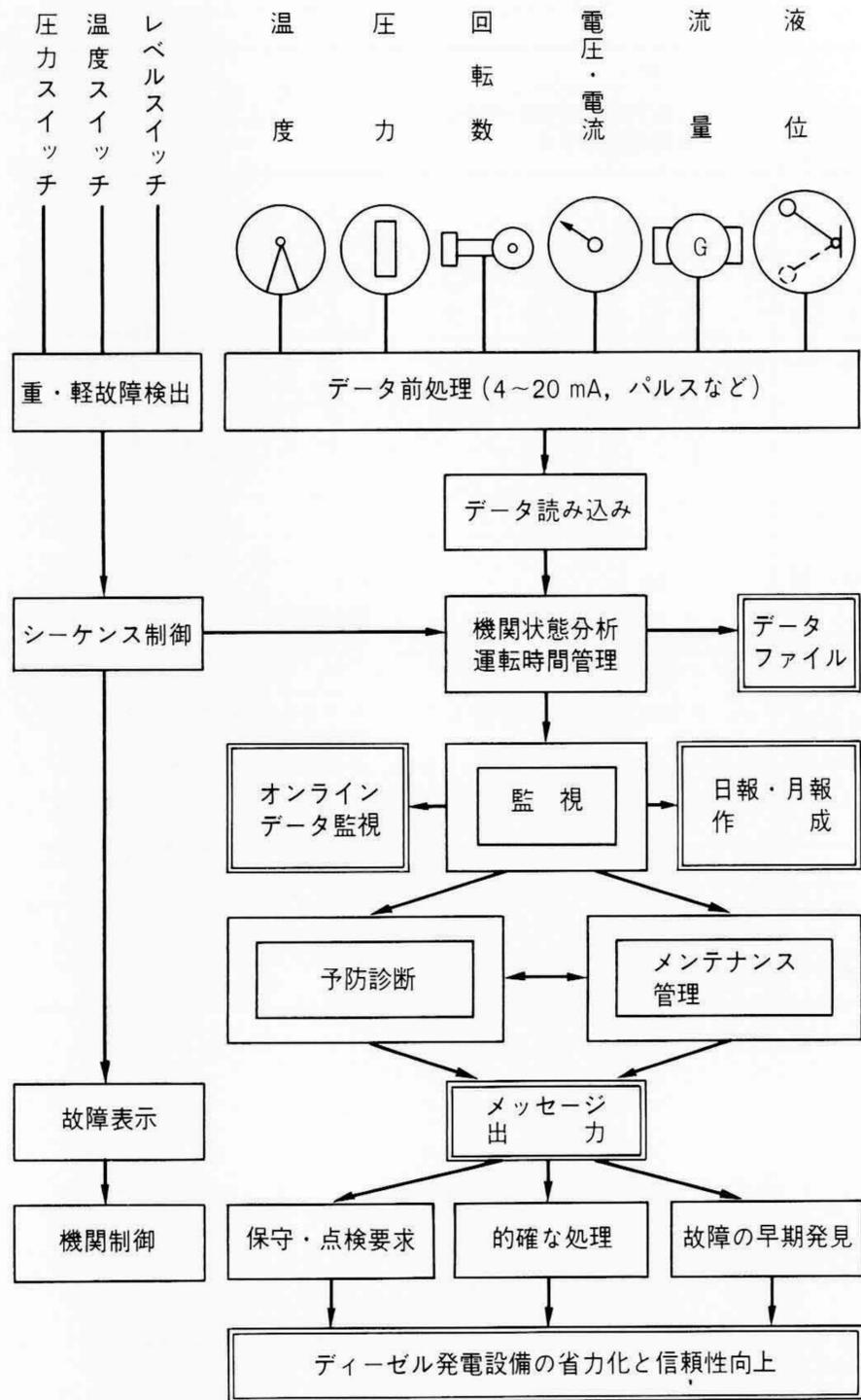


図2 寿命診断図 Amount: 生成量, Rate: 生成速度, Year: 運転年数から, そのイニシャル文字をとりARYマップとも呼ぶ。

央監視室に設置する監視処理装置上のCRT(Cathode Ray Tube)に出力する。

(2) 過去のデータとの比較から設備の経年変化を把握し、適切なメンテナンス情報を出力する。

(3) 日報、月報を自動印字する。



注：略語説明 G(発電機)

図3 予防保全システム概要図 エンジン、発電機の運転状況を取り込み、異常の有無を監視する。東京都下水道局実施例(小松川ポンプ所)

#### 4 高品質電力供給への施策

電源設備は良質の電力を供給する義務を持っているが、ここでいう良質とは、これまで周波数、電圧が規定値に保たれていることではほぼ十分であったが、近年、需要家の負荷設備、電力変換設備に対してパワーエレクトロニクス応用機器が普及するに伴い、これらの機器が発生する高調波電流による場内配電システムの電圧波形ひずみが注目すべき問題となってきた。上下水道システムでも、古くからセルビウス式可変速電動機用インバータによる高調波障害の例があり、最近ではコンピュータ用無停電CVCF, AVAF(Adjustable Voltage and Adjustable Frequency)式ほか各種可変速電動機などの高調波発生源がある。

##### 4.1 高調波対策

配電系統内に一定量以上の高調波が存在し電圧波形ひずみが生ずると、各種機器の動作に影響を与える<sup>4)</sup>(表3)。また、買電停電時に非常用自家発電設備によって選別された重要負

表2 故障診断項目 ディーゼル発電設備やエンジンの各系統ごとに、故障診断の内容をまとめたものである。東京都下水道局実施例(小松川ポンプ所)

No.	系 統	内 容	待機中	運転中
1	ディーゼル発電設備	ディーゼル発電設備各種の運転特性データを判定して、発電設備の運転状態を診断する。	—	○
2	始動空気系統	空気槽圧力や空気圧縮機の運転状態を判定して、始動空気系統がディーゼル機関の始動条件を満たしていることを診断する。	○	—
3	燃料系統	燃料槽などの液位や燃料移送ポンプの運転状態を判定して、燃料系統が待機状態であることを診断する。	○	—
		燃料消費量、圧力、フィルタ差圧などを判定して、燃料系統の運転状態を診断する。	—	○
4	冷却水系統	一次、二次冷却水各水槽の液位や各循環ポンプなどの運転状態を判定して、冷却水系統が待機状態であることを判断する。	○	—
		一次、二次冷却水の温度、圧力、差圧などを判定して、冷却水系統の運転状態を診断する。	—	○
5	潤滑油系統	潤滑油槽などの液位や温度を判定して、潤滑油系統が待機状態であることを診断する。	○	—
		潤滑油の温度、圧力、フィルタ差圧などを判定して、潤滑油系統の運転状態を診断する。	—	○
6	発電機系統	発電機の界磁電流、電圧、電流、電力、力率、周波数、回転数、巻線温度などを判定して、発電機系統の運転状態を診断する。	—	○
7	制御盤	シーケンスの一部判定(始動～電圧確立まで)を行い、運転状態を診断する。	—	○

表3 高調波が各種機器に与える影響 インバータは自身が高調波発生源であって、同時に被害者となり得ることを示している。

No.	機 器 名	高調波による影響の種類
1	電力用コンデンサ	コンデンサの共振次数から低次の高調波電流の拡大現象による過熱、異常音の発生
2	発電機、電動機	固定子巻線、ダンパ巻線の過熱 高調波電流により発生する振動トルク周波数と系の振動数の共振による異常振動や騒音
3	蛍光灯	蛍光灯内蔵力率補償コンデンサ、安定リアクトルの過熱焼損
4	インバータ	転流電源の高調波ひずみにより余裕角が減少することによる転流失敗
5	電子計算機 O A 機器	入力電圧ひずみで機器内蔵電源のDC出力電圧が低下し、CPU、メモリなどの誤動作を起こす。 CRT画面への雑音

注：略語説明 OA(Office Automation)  
CPU(Central Processing Unit)  
CRT(Cathode Ray Tube)

荷だけが運転されると、全体負荷に対する高調波発生機器の割合が増加し、より大きな影響を受けるケースもある。

計画時点での高調波分布状況の解析には、高調波分流積算方法による簡易計算や、EMTP<sup>5)</sup>(Electro-Magnetic Transient Program)が用いられ、配電系の高調波電流、電圧ひずみを求めて規定値を満足することを確認する。規定値としては

電気協同研究会のガイドライン<sup>6)</sup>により電圧ひずみ率5%以内が多く用いられている。

高調波対策は整流器の多相整流化などの発生源で抑制する方法と、高調波フィルタを設置するなど系統側で対策する方法がある。図4に高調波分流計算によって系統内の電圧ひずみ発電機の高調波耐量を確認し、CVCF相数の決定、フィルタ設置の要否を決定する場合の計算の流れを示す。

#### 4.2 無停電CVCF

最近の上下水道システムは本誌別稿でも述べているように、コンピュータなしでは考えられない。その適用も浄水場、処理場内の計装、制御装置だけでなく、広域水運用システム、図面管理システムあるいは料金徴収、検針システムなど拡大されつつある。

瞬時停電によるコンピュータのシステムダウンを防止するためには、無停電CVCFの使用が必ず(須)である。CVCFのシステム別供給信頼性の比較<sup>3)</sup>を表4に示す。

また、非常用自家発電設備の負荷容量に占めるCVCFの割合が増加する傾向にあるが、CVCF入力のひずみ波電流が発電機に影響を与える場合もあり事前の検討が必要となってきた。

### 5 最近の電源設備機器<sup>4)</sup>

上下水道システム用電源設備機器は、要求されるニーズに適合した機能が発揮できるように新製品の開発やシリーズ化が行われている。受変電設備に与えられるニーズと対応する技術、製品の一例を図5に示す。以下、その代表的な機器を紹介する。

#### 5.1 新形ガス絶縁開閉装置

60・70 kV級受変電設備の受電開閉部は、設置スペースが小さく、信頼性が高いSF<sub>6</sub>ガス絶縁開閉装置(図6)の採用が一般的となっている。従来は断路器、遮断器などのコンポーネントをガス母線をつないで構成するのが一般的であったが、このたび、同一タンク内への集積度をより高め(図7)、面積、

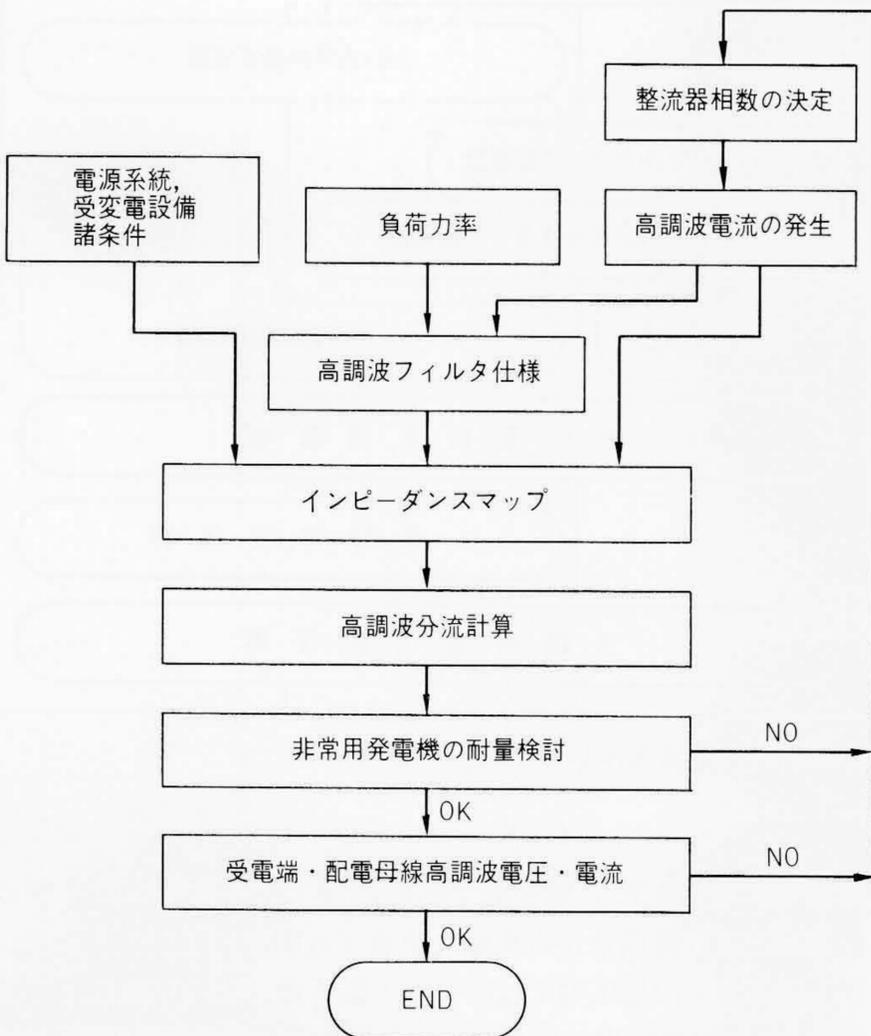


図4 高調波障害に対する検討フローチャート 高調波フィルタの仕様決定、非常用発電機の耐量及び整流器相数決定のための流れを示す。

表4 CVCFのシステム別供給信頼性 CVCFの供給信頼性はシステムによって異なる。本表は運転形態とCVCF障害時のバイパス方式によって分類したものである。

CVCF 運転形態	単機		並列冗長		備考
	簡易方式	無瞬断方式	簡易方式	無瞬断方式	
バイパス方式					
回路構成					すべて蓄電池付きを基本とする。
無瞬断供給	CVCF故障時	○	○	○	当初の計画に依存する要素がある。
	過電流発生時	○	○	○	
	共通部障害時	—	(内容による。)	(内容による。)	
拡張性	△	△	○	○	—
供給信頼性	△	○	○	○	—
保守性	△	○	○	○	—

注：略語説明など CVCF(Constant Voltage and Constant Frequency), ×(不可), △(良), ○(優)

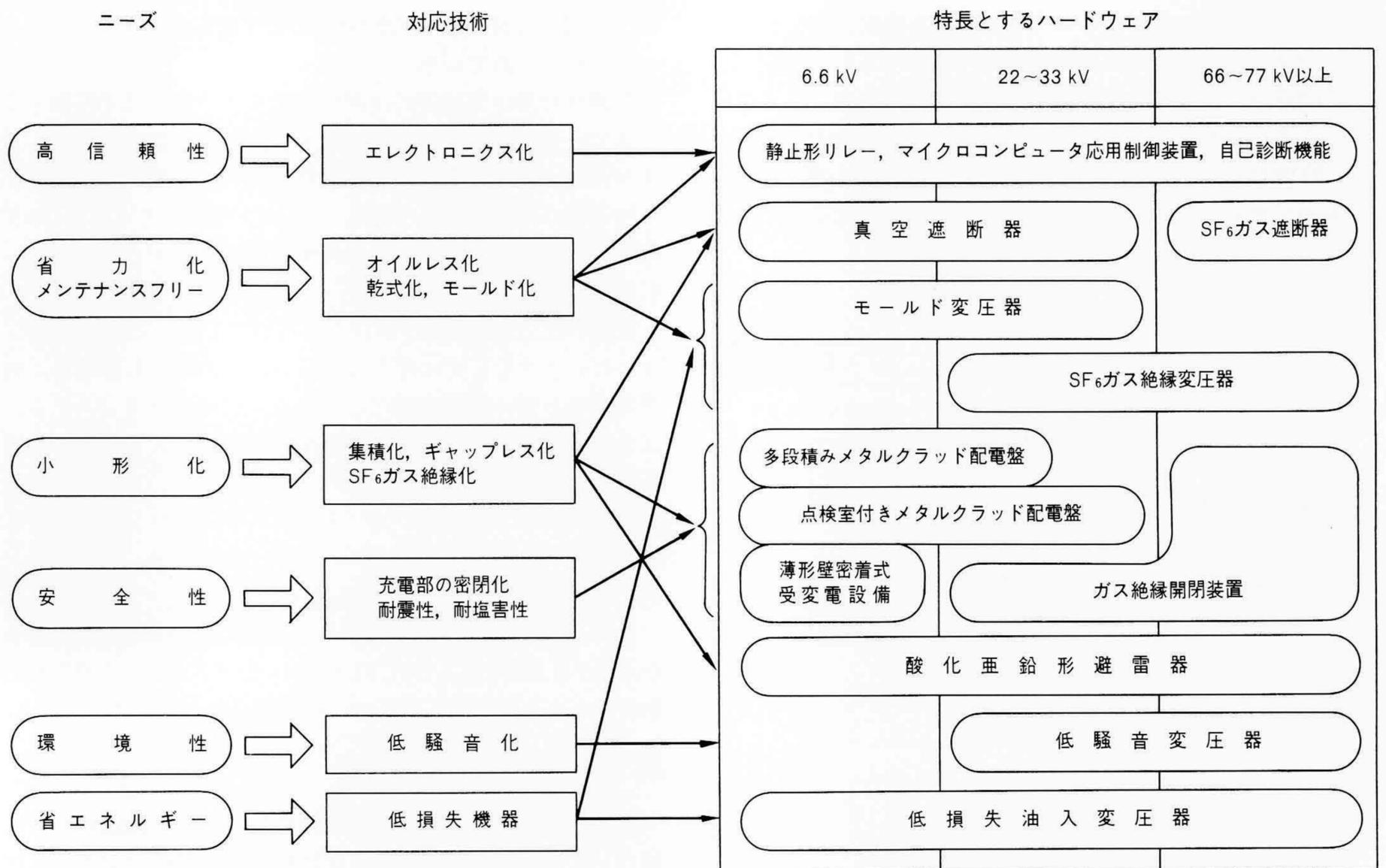


図5 受変電設備に対するニーズとハードウェア 対応技術は今後の技術開発の方向をも示している。

質量とも約25%縮小した新形ガス絶縁開閉装置が完成した。

最近、20 kV・30 kV級に対してもSF<sub>6</sub>ガス封入による開閉装置群の小形化が進められており、図8に示すように1フィーダ当たり幅600 mmの金属密閉形ガス絶縁開閉装置が開発された。

### 5.2 オイルレス化機器

近年、防災機器化、保守の省力化を目的としたオイルレス化のニーズに対し、開閉器類はほぼ完全に真空遮断器、ガス

遮断器に移行した。変圧器では超高压・大容量変圧器を中心に絶縁技術、経済性から鉱油に依存する割合がまだ大きい、30 kV級以下の変圧器ではモールド変圧器、20 kV級以上ではSF<sub>6</sub>ガス絶縁変圧器の実用化によって、広く難燃性変圧器が使用されるようになった。また、小形・軽量化を図るため耐熱レベルをB種からH種とした66 kV/3.3 kV 4,000 kVA(風冷時6,000 kVA)自冷式変圧器を製品化した。図9にその外観を示す。

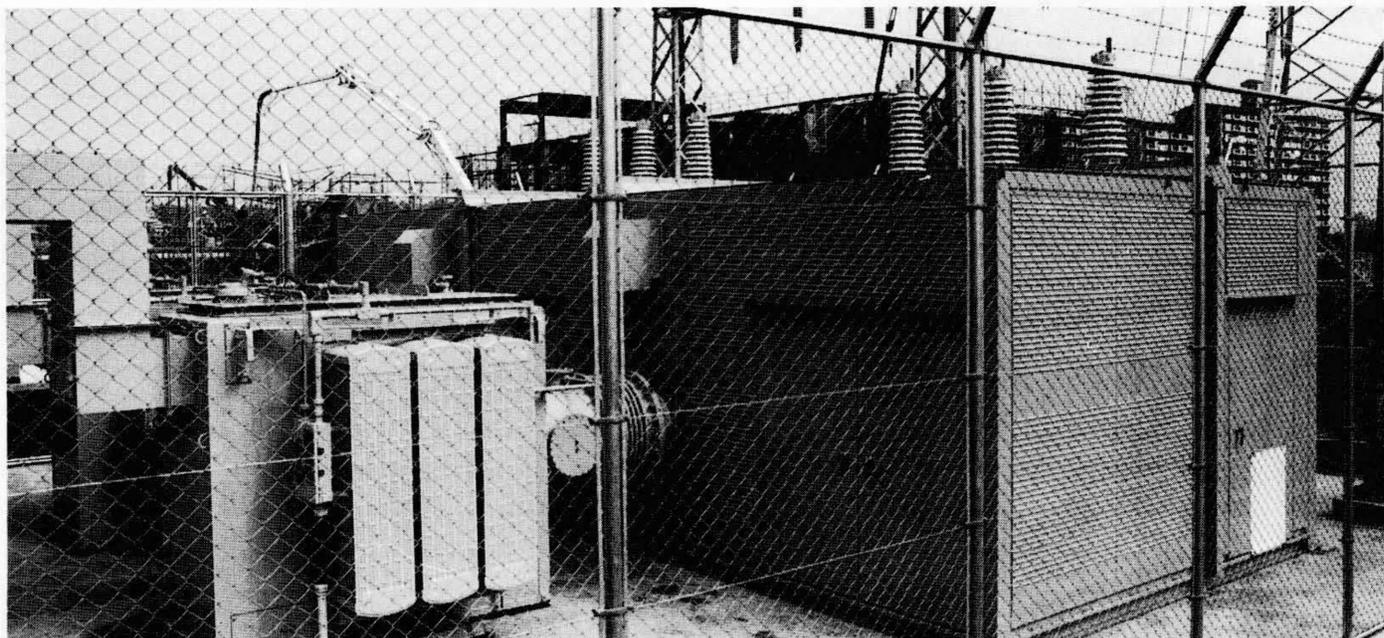
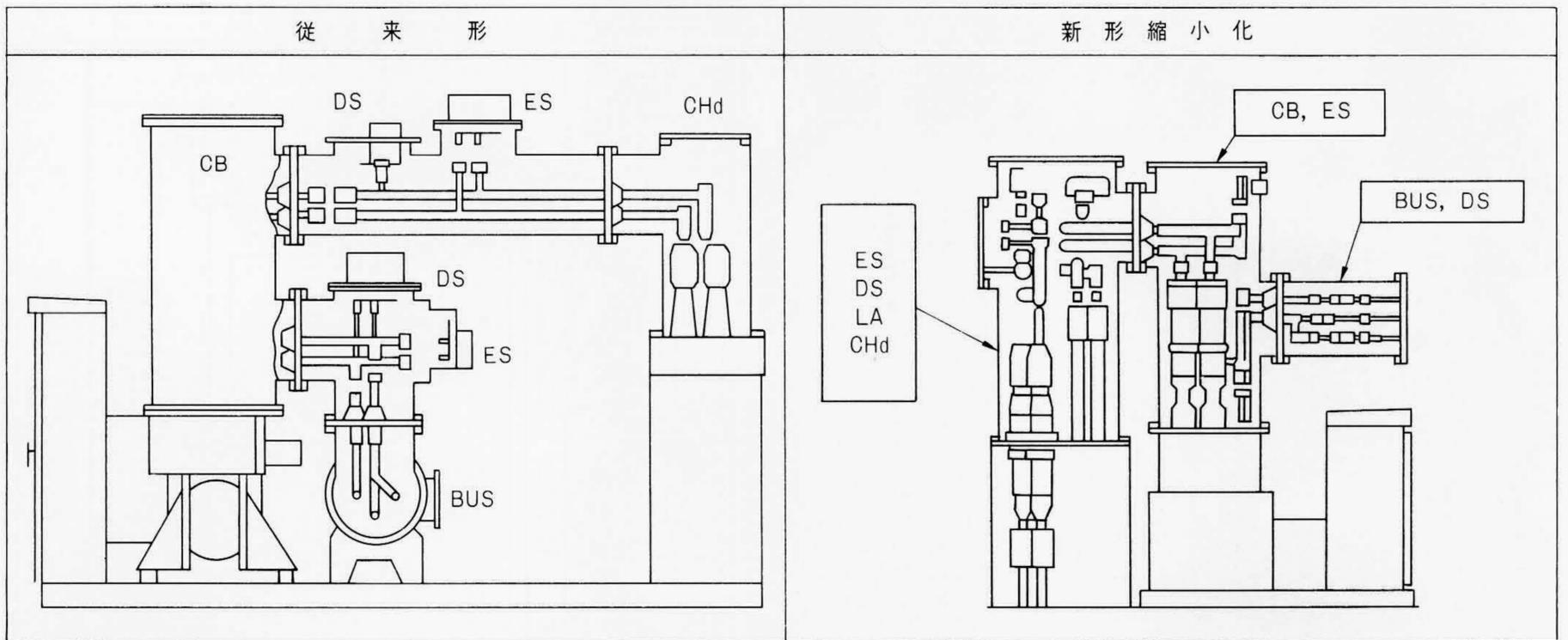
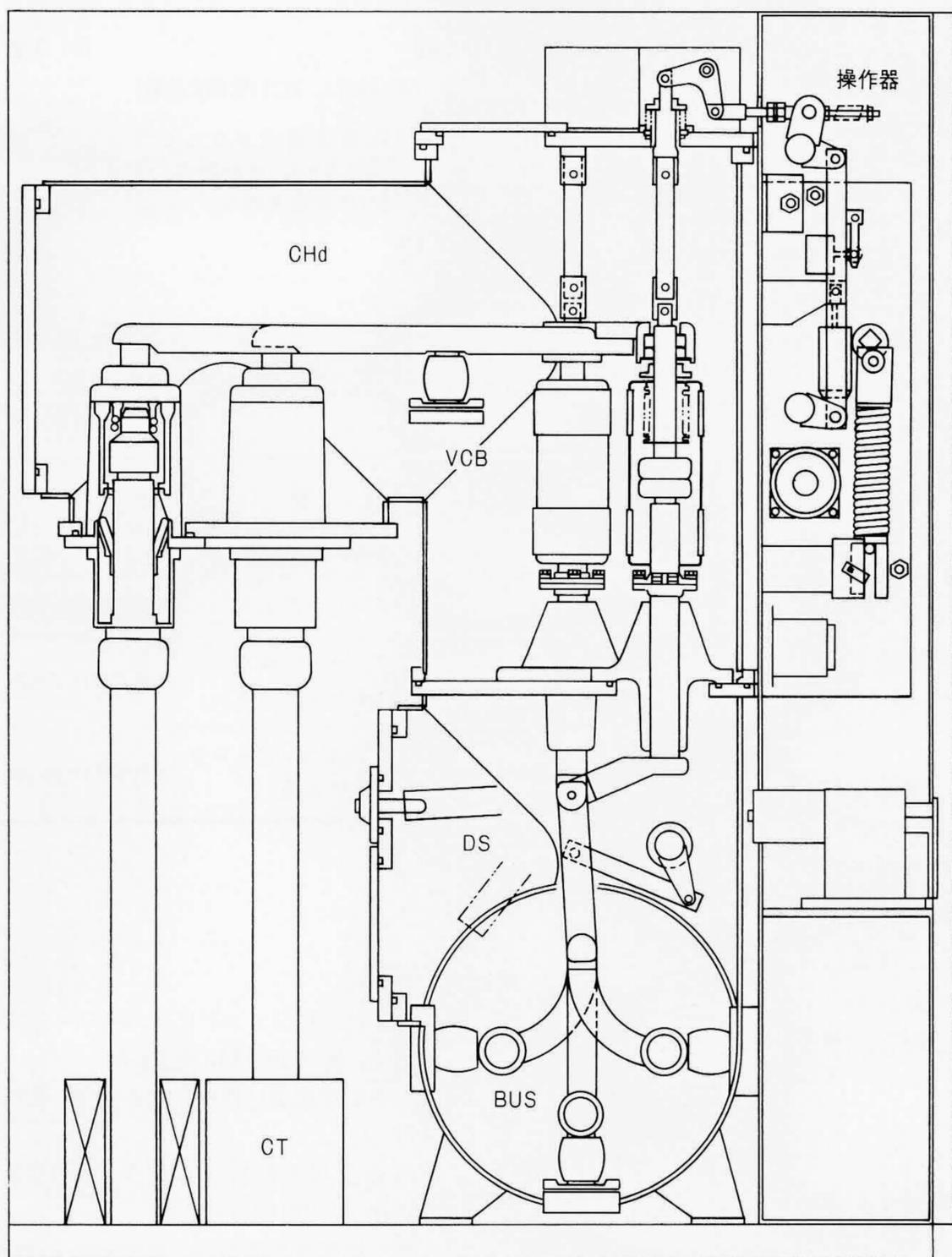


図6 浄水場向け66 kVガス絶縁変電所納入例 66 kV, 4,000 kVA×2バンク ガス絶縁変電所。ガス絶縁開閉装置部をシェルタ内に収納して環境調和を図っている。



注：略語説明 ES(接地開閉器), BUS(母線), LA(避雷器)

図7 66 kV SF<sub>6</sub>ガス絶縁開閉装置内部構造の新旧比較 ガス区画を広げることなく同一タンク内に複数のコンポーネントを収納し、縮小化を図っている。



注：略語説明 CT(変流器)

図8 24 kV・36 kV SF<sub>6</sub>ガス絶縁開閉装置の内部構造 定格電圧24 kV・36 kV, 定格電流600 A・1,200 A・2,000 A, 定格遮断電流25 kAの性能を持つユニットである。



図9 H種絶縁自冷式ガス絶縁変圧器 H種絶縁の採用により、小形・大容量の不燃性変圧器を実現した。

### 5.3 20 kA壁密着式前面操作閉鎖配電盤

薄形壁密着式閉鎖配電盤は配電盤の奥行寸法を極小化するとともに、完全にフロントアクセス化するもので、従来6 kV級で短絡電流12.5 kA用だけであったが、このたび20 kA用を開発した。図10にその寸法と内部構造を示す。

### 5.4 CVCF

オフィスコンピュータ、OA機器の普及によって、CVCFに接続される負荷とその規模も多様化しており、CVCFは大容量集中電源の方向と小容量分散電源の方向にある。前者はよりいっそうの信頼性、性能の向上が要求され、後者は低騒音化非線形負荷に対するスイッチングなどの向上が要求される。これらのニーズに対応して、日立製作所では表5に示した3シリーズを開発し販売している。

## 6 結 言

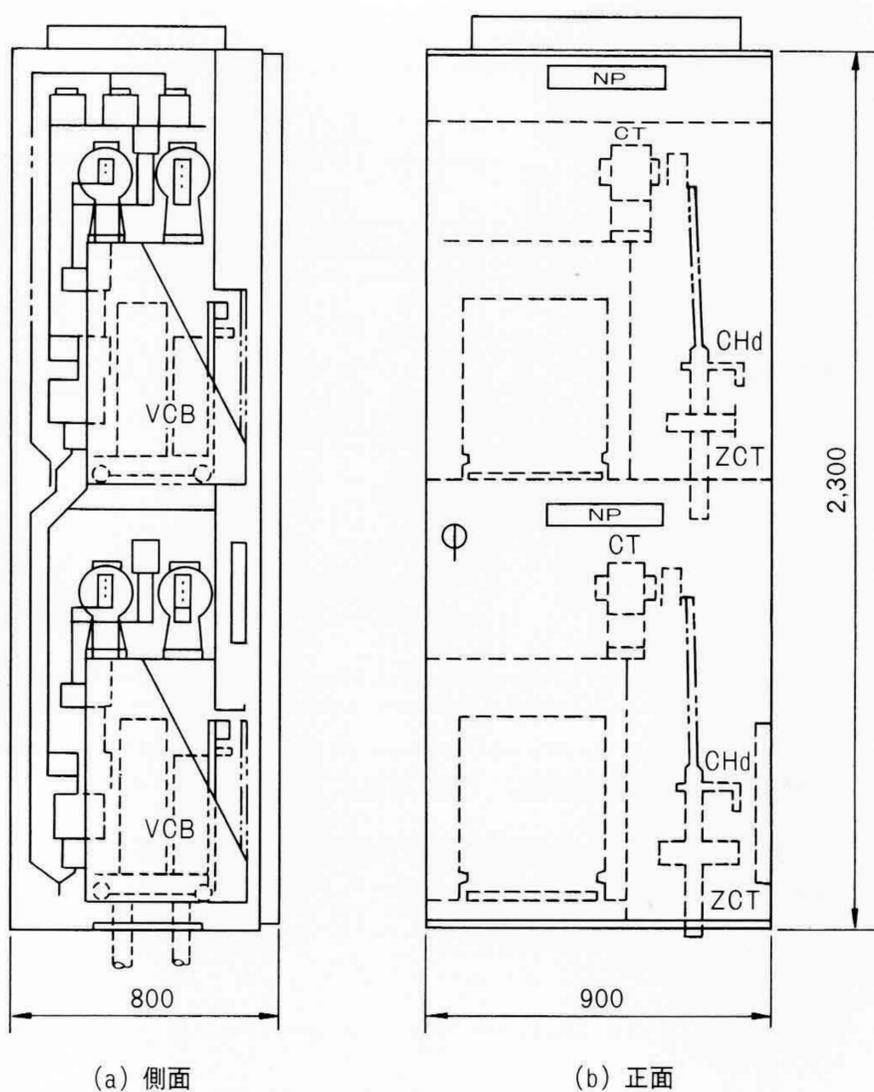
以上、上下水道システムをエネルギー面から支える電源設備の電力安定供給方式、電力品質を維持するための問題点と対策などのシステム構成方式、及びハードウェア面の新技術について解説した。

電源設備での新技術は単に新しく設置される浄水場や下水処理場に適用されるだけでなく、昭和30年代以降の急激な経済成長とともに設置され、老朽化や効率低下が目立ってきた電源設備に対するモダニゼーションに対しても、機能の向上、システムの拡張に有効に利用できると確信している。

終わりに、本稿が各方面の上下水道システムの電源設備の計画維持管理に従事している人々に対し、多少なりとも参考になれば幸いと考える。

### 参考文献

- 1) 月岡, 外: CO<sub>2</sub>とCOによる油入変圧器の経年劣化度診断の研究, 電気学会論文誌, Vol.106-A, No.7(昭61)
- 2) 大鋸: 受変電設備劣化診断の技術動向, 生産と電気, 第39巻,



注: 略語説明 NP(銘板), ZCT(零相変流器)

図10 6.9 kV薄形壁密着式メタルクラッド構造 JEM-II53 F<sub>2</sub>級の構造で、定格電圧6.9 kV, 定格電流1,200 A, 定格遮断電流20 kA(7.2 kV), 25 kA(3.6 kV)の性能を持つ。

表5 CVCFのシリーズ システムの規模に応じて最適の機種を選定できる。小システム用は特別な工事が不要で、オフィス内にも自由に設置できる。

用 途	シリーズ	単機容量
はん(汎)用コンピュータを主体とする大容量オンラインシステム用	HIVERTER-850	75~500 kVA
ミニコンピュータ, オフィスコンピュータを中心とするシステム用	HIVERTER-851	5~50 kVA
OA端末機, パーソナルコンピュータモデムなどの小システム用	HIVERTER-88	1~3 kVA

- 3) 齊藤, 外: インテリジェントビルのパワーサプライシステム, 日立評論, 69, 8, 739~746(昭62-8)
- 4) 大鋸: 特高受変電設備に使用される機器, 電設工業, Vol.34, No.1(昭63-1)
- 5) 雨谷: 汎用過渡現象解析プログラムEMTP, 電気学会誌, Vol.102, No.6, 23(昭57)
- 6) 配電線高調波対策専門委員会: 配電系統の高調波障害防止対策, 電気協同研究会, 第37巻, 第3号(昭56-10)