

新鋭浄水場における受変電及びポンプ設備

Power Supply Systems and Pumping Stations for Newly Planned Purification Plants

浄水場設備の最重点は、信頼できる安定した施設とすることである。このため、新鋭浄水場の計画に当たっては、既設備の維持管理から得られた種々の貴重な経験を踏まえて検討を加える必要がある。

本論文では、特に変電所設備とポンプ設備に絞り、電力あるいは水の供給信頼性、安全性の向上に関するシステムや機器ハードウェアについて取り上げた。ガス絶縁変電所や低騒音・低脈動ポンプ設備は、固有信頼性を向上する。一方、万一の故障時に影響を最小限に抑えるため、2回線併用、2MOF受電方式や停電時の水撃対策、瞬時停電対策、管理システムなどが重要な要素となる。

神津修二* Shūji Kōzu

大鋸英五** Eigo Ōga

小松健彦*** Takehiko Komatsu

1 緒言

過疎地区での都市化の進行をはじめ、下水道の普及、生活様式の変化、加えて地下水規制に伴う代替水の増加など、近年、水の需要はますます増大してきている。それとともに、水源は都市部を離れて遠方に移り、設備は集中化し、対象地域は広域化する傾向にある。

浄水場設備の信頼性はますます重要視されるとともに、更に、環境対策、省エネルギーなどの要素を加えて検討する必要がある。本論文では、新鋭浄水場での変電所設備、ポンプ設備の諸問題について取り上げた。

より安定した運転を実現し、一方、停電や万一の設備故障時に予想される影響を最小限に抑えるためには、構成機器の固有信頼性を向上することはもとより、システム構成、運用方式に関する供給信頼性の向上も極めて重要である。新鋭浄水場の設備は、水量と水質の確保のために、ハードウェア、ソフトウェア両面にわたっての厳しい検討により設計、製作の上建設される。

変電所、ポンプ設備のほかに、新鋭浄水場の設備には薬品注入設備、計装設備、自動制御管理システム、ガイダンス技術などにみるべきものがあるが、これらについては別稿に譲ることにする。

2 受変電設備

2.1 受電方式の動向

2.1.1 2回線併用受電方式

図1に154kV平行2回線受電、30MVA×4バンクの新鋭浄水場受変電設備の単線接続図例を示す。この方式では、1回線送電線が停電しても他の健全線側から無停電で供給が可能となる特長がある。このような送電線事故時の無停電受電方式として、60kV級でのループ受電方式がある。しかし、需要家向け受変電設備では常用、予備2回線受電や1回線受電が一般的であり、採用に当たっては浄水場の規模、公共性の高さを考慮して、電力会社、監督官庁との協議が必要である。

2.1.2 2MOF方式

MOF(Metering Out Fit:取引用変成器)を2回線の各々に設置することにより、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が可能となる。2MOF方式は上下水道用受変電設備のほか、電気鉄道用、都市ガス

供給工場用など計画的な全停電でさえ取りにくい公共性の高い需要家として多く採用されてきている。

2.2 変圧器バンク数の選定と運用方法

浄水場などの公共設備では、万一のバンク停止事故でも長時間の大幅な負荷制限が許されないことから、設備容量を上げておく必要がある。バンク数が2の受変電設備では、浄水場の運転のため最小限必要な負荷容量の約2倍の設備容量を必要とする。図1の例では、バンク数を4とし、最小3バンクで浄水場の操業が確保できるように各バンクの変圧器容量を選定し、どのバンクが停止しても、あるいは154kV回路のどの部位で母線事故が発生しても、3バンクの変圧器が運転可能となるよう連絡断路器(DS12, DS20, DS30及びDS34)を構成している。

2.3 場内配電方式

従来、供給信頼性を高めるため、主変圧器二次母線を二重母線や環状母線(表1参照)とすることが多かったが、これらの方式は期待冗長性が向上する反面、電気系統構成が複雑となり、緊急時の操作性が低下するという欠点があった。

閉鎖配電盤の信頼性の向上に伴い、母線連絡しゃ断器付の単一母線方式の系統構成の単純さや、操作の容易さが見直されるとともに、図1(a), (b)に示すような合理的な配電方式が採用されるようになった。すなわち、大容量ポンプ設備については、電気系統だけの冗長性の向上だけでなく、ポンプ、送水系統まで含めたトータルシステムとして送水量の確保という立場でとらえたとき、図1(a)に示すように複数台のポンプ中何台かを異バンク母線から供給するほうが電気系統の簡素化や操作性の向上につながるのと同時に、1台のポンプに関連する電動機、開閉機器、ケーブル、変圧器などどの部位の故障に対しても、他のポンプを互いに同じパターンで応援運転できる特長がある。

薬品注入処理所など比較的小容量で重要度の高い設備への配電は、並列運転された異バンク母線からの平行2回線配電[図1(b)]が最良で、表示線継電器による区間保護方式の採用により、ケーブルを含めた電源側故障による停電時間を皆無としている。

切換えのための数秒程度の停電が許される負荷に対しては、常用、予備2回線による配電方式が経済的にみても望ましい。

* 日立製作所機電事業本部 ** 日立製作所国分工場 *** 日立製作所土浦工場

表1 主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	二重母線			環状母線 (リングバス)
	単母線 母線連絡CBあり	(1) 二重母線 2CB切替	(2) 二重母線無停電切替DS 母線連絡CBあり	
単線接続				
設備費	小	大(CBの数が多くなる)	大((1)より少ない)	大
供給信頼度	T ₁ ダウン時50%負荷制限, T ₂ ダウン時T ₁ と自家発電で運転。	T ₁ 又はT ₂ 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	複雑	同左	やや複雑
母線点検	片側ずつ点検	(1) 買電母線は自家発電運転で行なう。 (2) 自家発電母線は無停電。	甲, 乙交互に母線の停電をとり点検。	タイCBの切替えにより, 母線停電をとって行なう。
母線切替	——	切替時間1秒以内	切替時間10~15秒	——
操作性	簡単	やや複雑	複雑	やや複雑
インターロック構成	簡単	やや複雑	複雑	やや複雑
増設性	片側ずつ停電	(1) 甲母線接続時は自家発電運転(負荷制限あり)。 (2) 乙母線接続時には無停電。	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	大	同左	同左

注: 略語説明 T(変圧器), CB(しゃ断器)

ような系統には、故障発生直後の数サイクルの大電流に耐えるよう耐短時間電流強度と投入容量を強化したしゃ断器が経済的にも有利であり、表3にその仕様の例を示す。

3 ポンプ設備

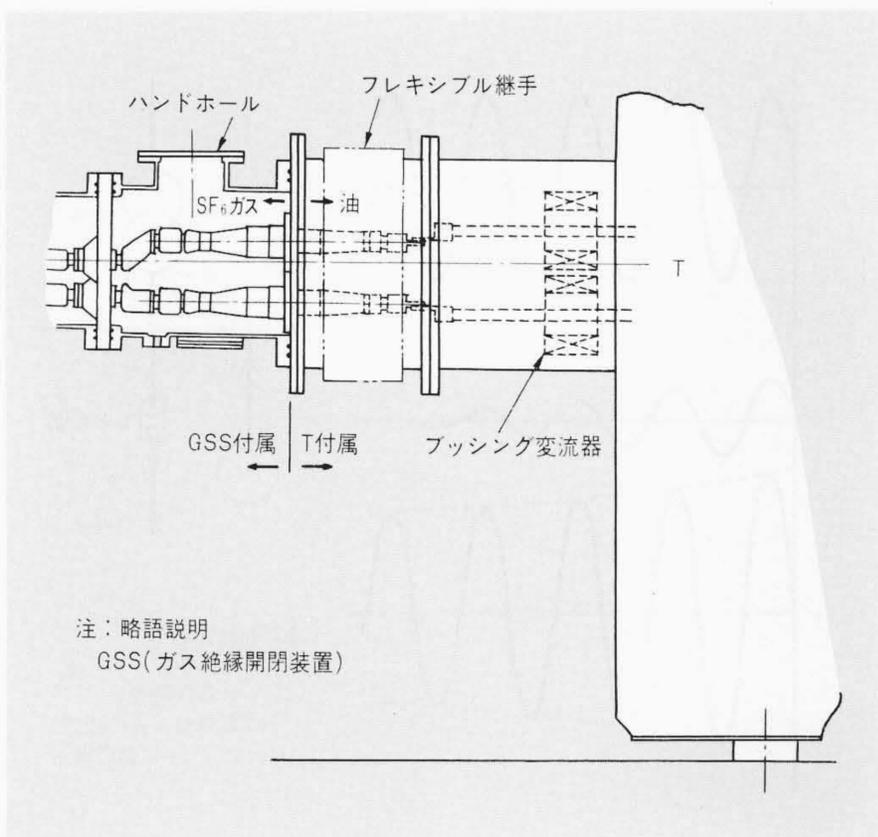
3.1 機器設置上の特長

機器設置上の特長としては、従来の共通補機方式から、ユニット方式への移行が顕著である。速度制御装置、冷却水装

置、満水装置、制御電源など、いわゆる補機と呼ばれる機器は、スペース的にも経済的にも極力台数を減らす考えから予備機器はもつものの、主機台数の多少にかかわらず2~3台でまかなうよう計画されていた。しかし、既施設の維持管理上の経験と設備の信頼性を高めるため、主機と補機とをユニット化し、更に吸込配管なども系統に分離して、設備全体としての安全性を高めようとするものである。

更に、広域化に伴い複数の送、配水系統を一つの機場でまかなう場合は、互いに有機的に運用できるよう、管、弁類を配置するとともに、ポンプはより幅の広い流量制御を考慮する。速度制御方式に加えて、大小容量のポンプを組み合わせる方式も効果的である。

機場スペースを縮小できる立て軸ポンプは、増圧ポンプ場



注: 略語説明
GSS(ガス絶縁開閉装置)

図2 変圧器-ガス母線直結構造図 ガス絶縁変電所では、SF₆ガス母線から変圧器内部へ直接接続される。

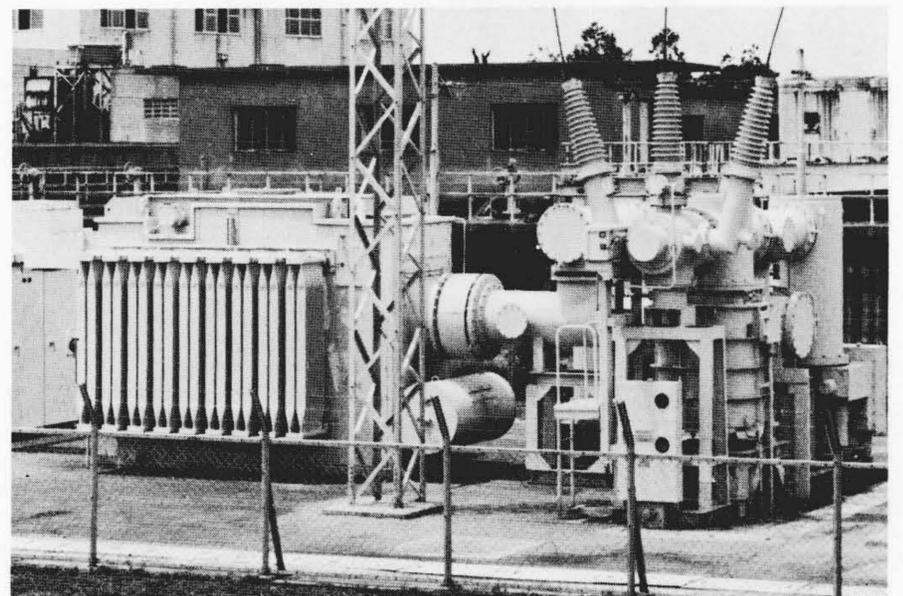


図3 66kVガス絶縁変電所納入例 縮小化、高信頼性の特長を生かして、浄水場など公共設備の受変電設備として多く納入されている。

表2 ガス絶縁開閉装置構成機器の定格及び仕様 66/77kV, 154kV
 ガス絶縁開閉装置構成機器の標準定格及び仕様を示す。

No.	機 器	項 目	定 格 ・ 仕 様	
			66/77kV	154kV
1	しゃ断器	形 式	三相一括パフファ形	相分離パフファ形
		定格電圧	72/84kV	168kV
2	母 線	形 式	三相一括形	三相一括形
		定格電圧	69/80.5kV	161kV
3	断 路 器	形 式	三相一括形	相分離形
		定格電圧	72/84kV	168kV
4	接地開閉器	形 式	三相一括形	相分離形
		定格電圧	72/84kV	168kV
5	変 流 器	形 式	貫 通 形	
		変 流 比	100/5A	300/5A以上
6	計器用変圧器	形 式	油浸形 (PT)	ガス絶縁形 (PD)
		変 圧 比	66(77)/√3kV/110/√3V/ 110/3V	154/√3kV/110/√3V/ 110/3V
7	避 雷 器	形 式	酸化亜鉛ギャップレス	酸化亜鉛ギャップレス
		定格電圧	84/98kV	196kV

表3 大投入容量磁気しゃ断器の定格 *印の値が、電動機効果による短絡電流の増加に対処して強化した値である。JEC-181の標準値は、定格投入電流100kA、定格短時間電流は40kA、2秒だけで10サイクルの規定はない。

形 式	BMH-6L-40AMA
定 格 電 圧	7.2kV
絶 縁 階 級	6号A
定 格 電 流	1,200A
定格しゃ断電流	40kA
定格投入電流	135kA*
定格短時間電流	40kA 2s 54kA 10サイクル
しゃ断時間	5 サイクル
投 入 時 間	0.4s
操 作 方 式	電磁ソレノイド操作
制 御 電 圧	DC 100V
準 拠 規 格	JEC-181(1975)

や中継ポンプ場など、用地に制約がある場合にその特長を生かすことができる。しかし、浄水場内や給水場に設置されるポンプは、保守点検が容易な横軸ポンプの採用が多くなった。ポンプ、電動機は地下に配置して、空気伝搬音や固体伝搬音を軽減し、更に満水操作を必要としないレベルに下げて押込運転を可能とし、加えて上階の電気室との合理的な配置により機場スペースの軽減を図っている。

3.2 水撃(ウォーターハンマ)現象の解析と対策

最近、水道水源はしだいに需要地域から遠く離れた地点に求めざるを得なくなってきた。送水距離の長大化に伴い、水撃現象の解析とその防止技術の開発は、弁類の改良、フライホイールの設置などポンプ機場内の機器だけにとどまらず、管系、立地条件を含んだ送水系全体の問題として取り上げられてきている。

図6 は、国内で初めて複数(5個)のワンウェイサージタン

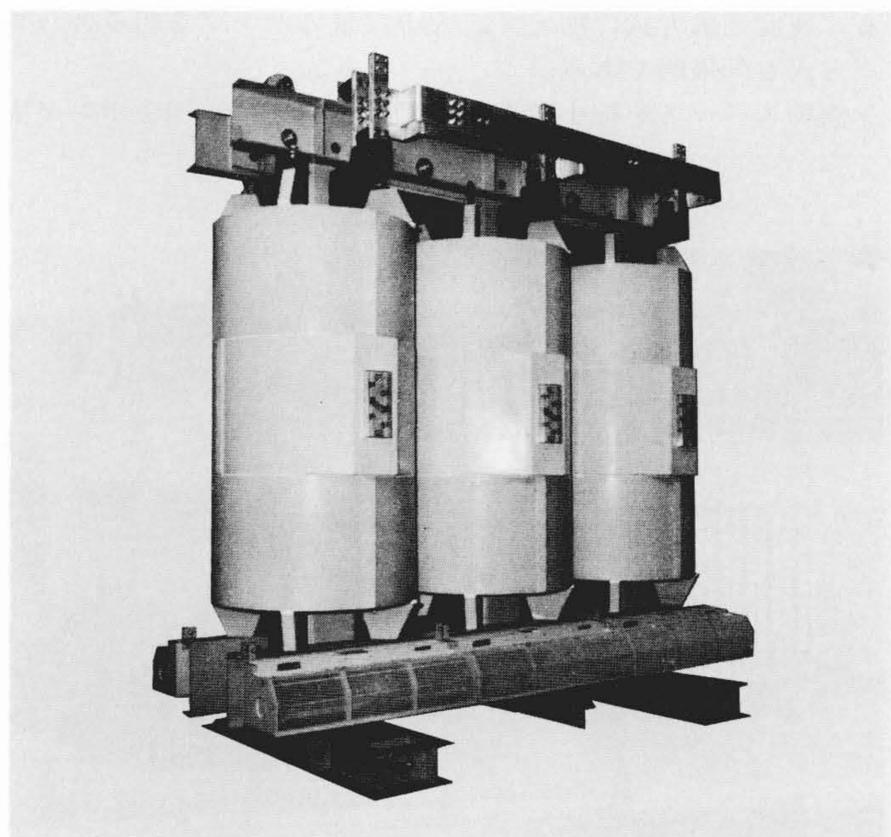


図4 H種レジンモールド変圧器 22kV, 4,500kVAの製品例を示す。

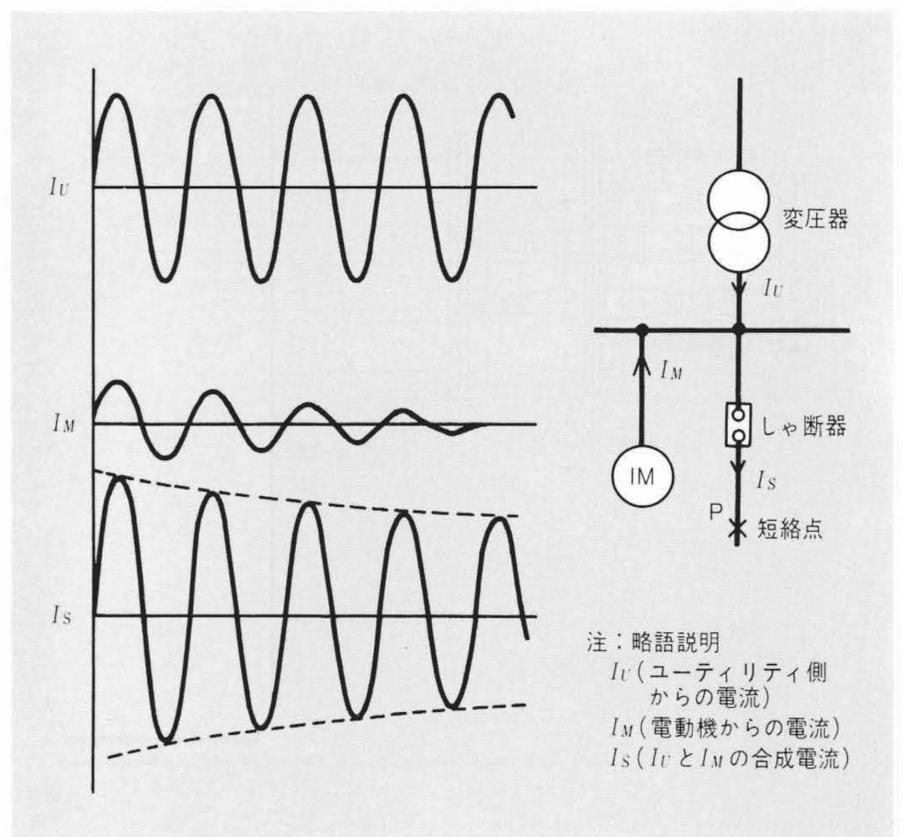


図5 高压配電系統中の電動機効果 短絡事故点Pにはユーティリティ側からのIuと電動機からのImの和、Isが流れ込む。便宜上、対称分だけを示した。

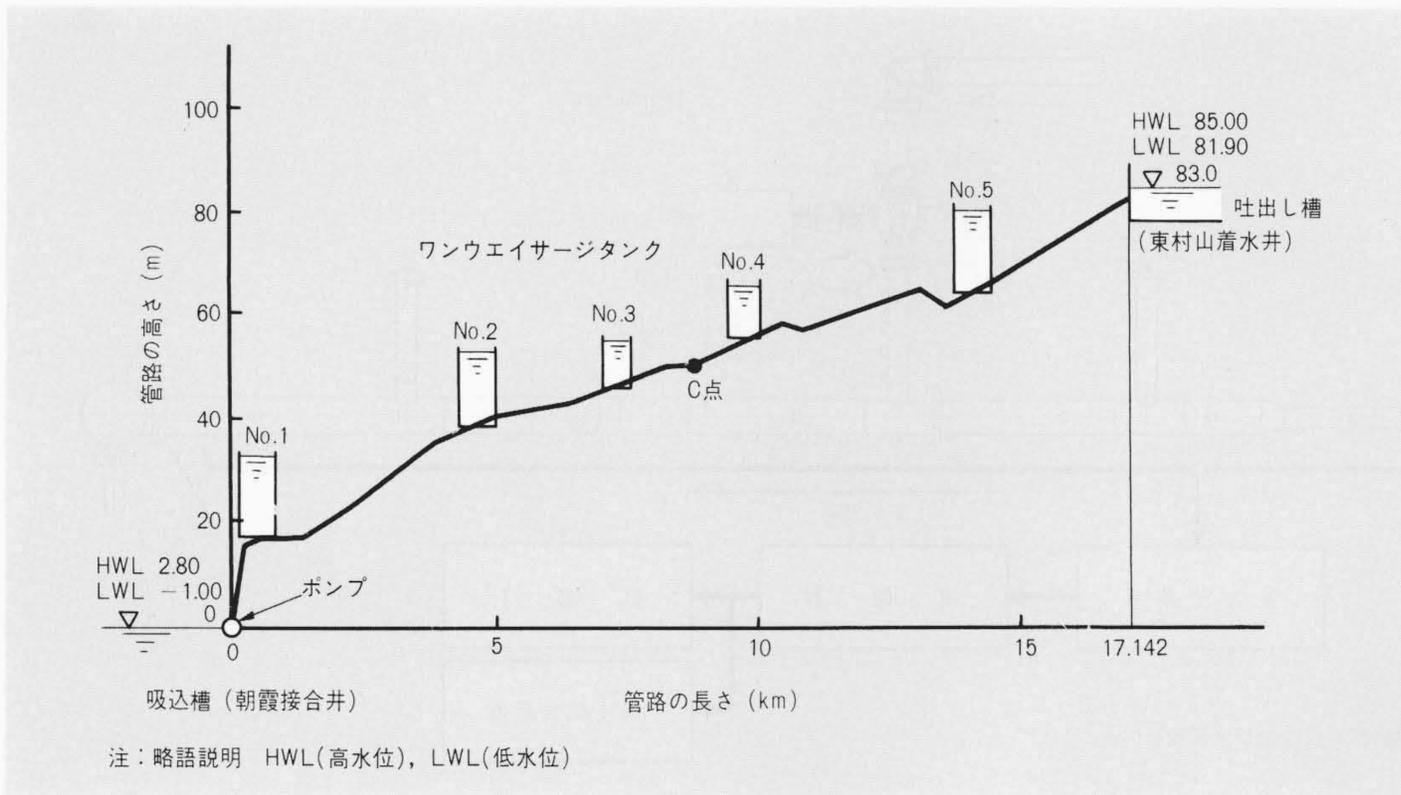


図6 ワンウェイサージタンク設置例 5個のワンウェイサージタンクを設置し、長距離送水の停電時水撃現象を防止した。

クを設置して水撃作用を防止した、東京都朝霞浄水場原水連絡系(管径2,200mm,全長約17km,ポンプ口径1,400mm,6,200kW電動機3台)の水撃現象対策を示す一例である。

最近、送水対象地域の広域化に伴い、送水管圧の均衡、増圧ポンプ場、給水場の関連など、複雑多岐にわたる送水形態と経済性の追究から、停電時の水撃などの水理的過渡現象に対し、コンピュータによる詳細な解析が必要となってきた。更に、落雷などによる瞬時停電(例えば0.6秒以内)でも、ポンプの継続的運転を目標とした瞬時停電対策回路を設けることが多くなったため、管路内の過渡現象はいっそう複雑化し、計画の際の解析は重要な要素である。

また、水撃対策の方法も、サージタンクのほかに、エアチャンバ、空気弁方式などが管路形状により採用されるようになった。

3.3 低騒音、低脈動化

近年、騒音に対する社会的関心が高まり、ポンプ機場及び吐出し配管系を含めたポンプシステムについても、低騒音化が強く要求される。騒音の伝搬経路は、空中を伝搬する空気伝搬音、管壁、基礎及び建屋壁を媒体として伝搬する固体伝搬音、及び配管内の水を媒体として伝搬する液体伝搬音の3種に大別される。図7に、ポンプ機場の騒音発生原因と伝搬

経路の関係を示す。

空気伝搬音と固体伝搬音の騒音レベル計算は既に確立され、計算結果をX-Yプロッタにより作図することができる^{1),2)}。これらの騒音対策は、ポンプ機場内の主騒音源であるポンプ、電動機の低騒音化対策と、規制境界線に対する建屋位置や建屋壁の選定などにより可能である。

次に、液体伝搬音は、水圧脈動が吐出し配管の水中を伝わって建屋の外部まで伝搬するもので、40dB(A)程度の厳しい騒音規制値を満足するためには、無視することはできない。この水圧脈動の基本周波数である $Z \cdot N$ 成分(Z は羽根車の羽根枚数、 N は回転数)は50~300Hz程度の低周波数であるため地中埋設によるしゃ音効果は少なく、実際の機場周囲での測定値が吐出し配管埋設部だけ10dB(A)高かった事例もある。

ポンプ回転数が一定の場合の水圧脈動対策は、ポンプ吐出し側に λ (λ は脈動波長)分岐管を設け、脈動を吸収することが効果的であることが報告されている^{3),4)}。

ポンプ回転数が可変の場合は、水圧脈動の基本周波数である $Z \cdot N$ 成分が変化するため、脈動の吸収対策は困難であり、吐出し配管系の水柱の固有振動数と共振を起こすおそれさえある。図8は、この共振現象に対して、脈動解析プログラムの精度の確認とその低減法を確立させるための模型装置であ

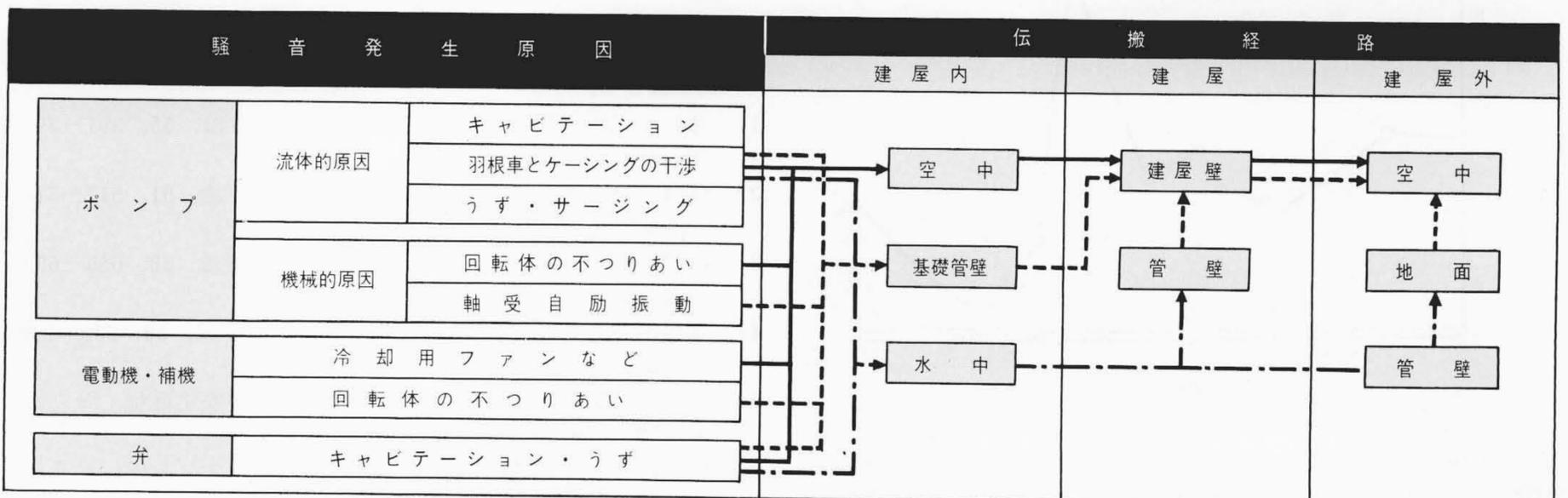


図7 ポンプ機場の騒音と伝搬経路 騒音の発生原因と伝搬経路を示す。このうち、水中脈動の解析と対策が遅れていたが、実験により明確となった。

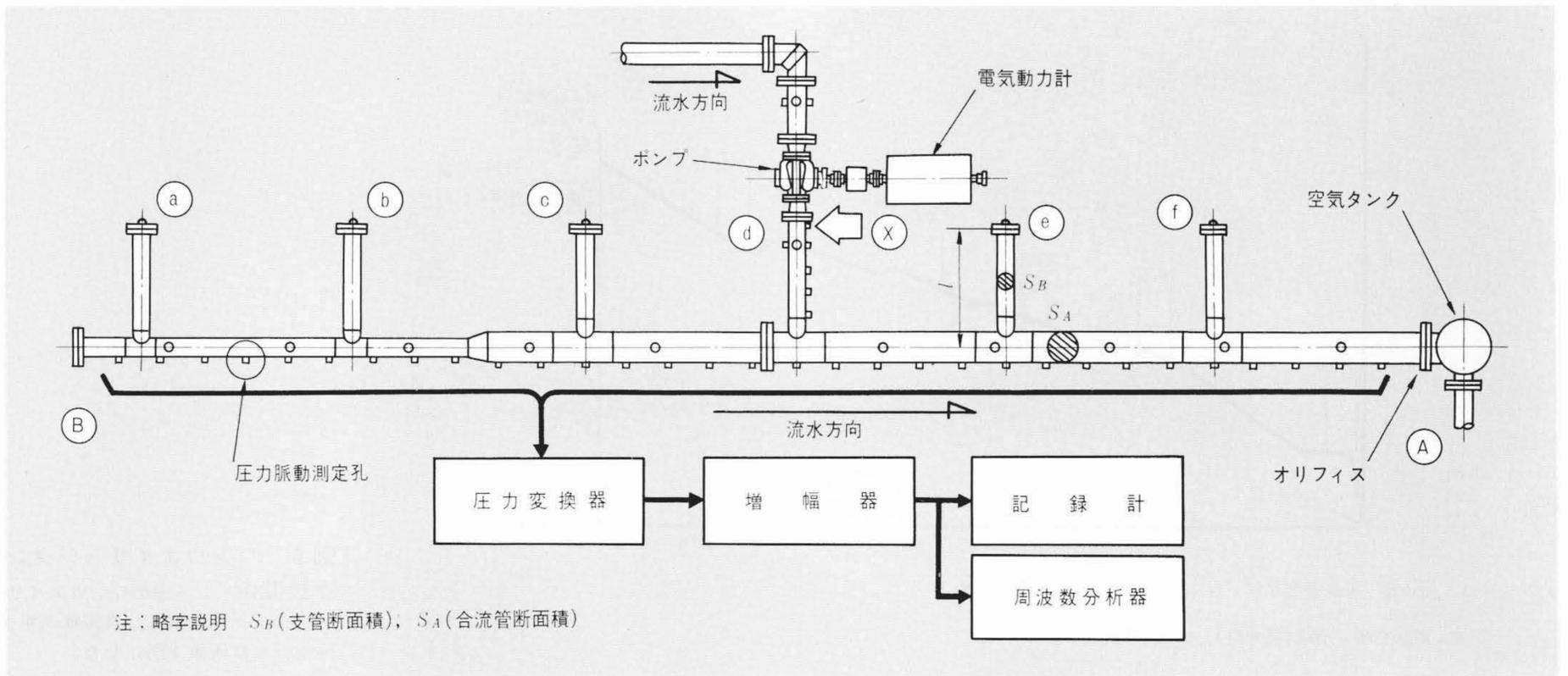


図8 共振実験の模型装置 この実験により、水圧脈動解析プログラムと、その低減法を見いだすことができた。

る。供試ポンプには、上水道用ポンプ設備で使用されることが多い両吸込うず巻ポンプを用い、羽根車は二系統の種類を採用した。すなわち、一般に使用されている左右の羽根の出口端の位相が等しい羽根車(同相羽根車)と、左右の羽根の出口端の位相が $\frac{1}{2}$ ピッチずれた羽根車(異相羽根車)とを用いた。図9は、実験結果の一部を示すものであるが、回転数を定格回転数からその60%まで連続的に変化させた場合、同相羽根車の回転数85%付近で顕著なピークが見られ、配管内部が共振状態にあるのに比べて、異相羽根車は回転数全域にわたって脈動振幅が格段に小さいことが分かる。

異相羽根車は、効率やキャビテーション性能を犠牲にする場合が多いが、上水道ポンプには絶対に許容されるものではない。日立製作所では、慎重な設計と各種実験に基づき、これらの性能向上を満足することができた。

3.4 ポンプ自動制御

給水量の確保と経済的な運転は、浄水場ポンプ設備の重要な使命である。給水量の季節的、時間的変動に対してポンプ

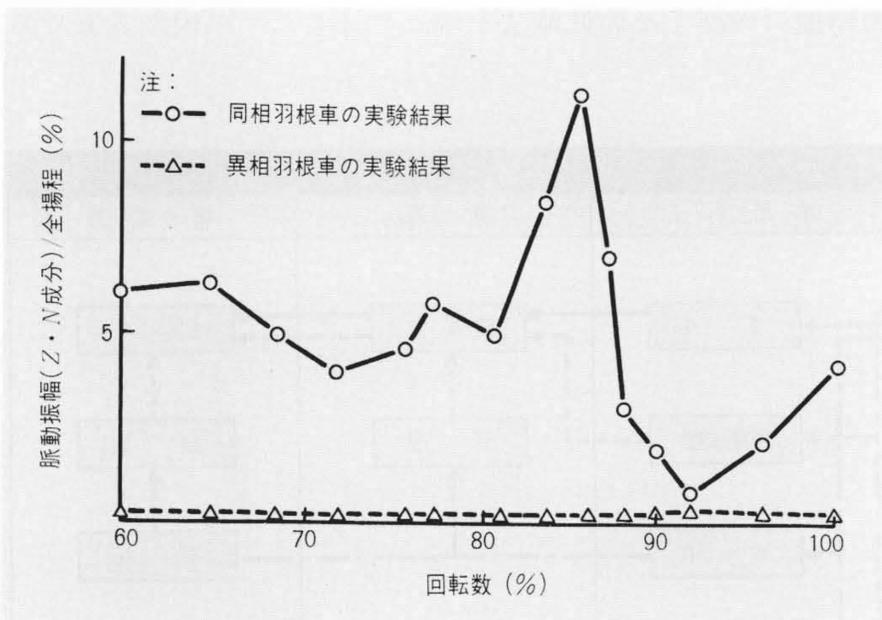


図9 回転数を変化させた場合の脈動振幅の変化 同相羽根車の回転数85%付近でピークがみられ、共振状態であることを示す。異相羽根車の脈動振幅は、回転数全域にわたって格段に小さい。

容量を追従させるポンプ速度制御方式は、制御装置がアナログ方式からマイクロコントローラによる直接デジタル制御へ進歩しつつあること、及び上位計算機システムとのハイアラキー構成の発展によって、水道システム全体、あるいは浄水場機能とバランスを保ちながら最適運転を行ない、異常時にも迅速かつ適切な処理を行なうよう中央管理室から管理される。

特に、静止セルピウスシステムにより駆動される場合、瞬時停電によってポンプが停止に至り、再起動に時間がかかる例がある。安定な給水と管理員の負担の軽減のため瞬時停電対策を施し、ポンプの継続的運転を行なうことは、設備の信頼性向上のためにますます多く採用される傾向にある^{5),6)}。

4 結 言

新鋭浄水場の設備の代表例として、変電所設備とポンプ設備を取り上げ、信頼性、安全性の向上に関するシステムや機器ハードウェアの技術的動向について述べた。

より安定した運転を実現し、一方、停電や万一の故障時に予想される影響を最小限に抑えるためには、システム構成、運用方式に関する供給信頼性の向上も極めて重要である。

本稿が、浄水場の計画上なんらかの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 井川：工場周辺における騒音予測，日立評論，55，391～396（昭48-4）
- 2) 藤波，外：ポンプ機場の低騒音化，日立評論，61，511～516（昭54-7）
- 3) 齊藤，外：低騒音ポンプ機場の完成，日立評論，58，655～659（昭51-8）
- 4) 須藤，外：ポンプ場の低騒音化計画，日立評論，59，235～240（昭52-3）
- 5) 市川，外：省エネルギー可変速度電動機の安定運転，日立評論，59，679～684（昭52-8）
- 6) 島崎，外：東京都水道局三園浄水場送水ポンプ設備，日立評論，58，539～546（昭51-7）