

小水力発電機器

Small Scale Hydroelectric Power Generating Equipment

純国産資源である小水力発電が見直しされ、建設計画地点が増大しつつある。

本稿では、小水力用発電機器に関する標準化、簡素化、合理化手法及び新技術の概要について述べる。

(1) 小水力用としては、フランシス水車、カプラン水車、チューブラ水車がよく使われるが、最近1,000kW以下でクロスフロー水車が使われ始めた。これらは、落差、流量により機種選定が行なわれる。

(2) 発電機は、F種絶縁、ブラシレス励磁方式などの採用により機器の小形・軽量化、保守の軽減化を図っている。更に、冷却水を使用しない空冷発電機も開発、実用化されている。

(3) 運転制御、自動同期、AVR、電気式调速機などを一つのプロセッサによりまとめた一体形制御装置が開発されている。

(4) 最近納入した小水力発電機器の仕様及びその特徴

これら機器の標準化・合理化手法は、建設費の低減だけでなく、発電所計画の効率化にも役立つものである。

蜂谷武雄* Takeo Hachiya

1 緒言

水力発電は、クリーンで循環可能なエネルギー源である。しかし、経済的に有利な大容量機が建設される地点は、我が国ではほとんどなくなっている。今後は、従来の水力発電のように河川の落差を利用するばかりでなく、農工業用水や上・下水道での圧力差の利用など、小容量発電設備の建設が増加するものと予想される。

事業主体は電力会社以外に公営電気事業者、自家発電など多岐にわたるが、小水力発電に関するマニュアル作成など、小水力発電建設に対する認識が高まっている^{1)~3)}。

しかし、小水力発電は建設費が割高になるという難点があり、機器だけでなく土木関係をも含めた総合的建設費の低減が必要であり、各分野でその努力がなされている。

ここでは機器の構造の合理化、標準化の具体例及び簡素化機器の概要について述べる。

2 水車の機種選定と構造合理化

2.1 機種選定

水車の理論出力は、有効落差と流量の積から求められる。一方、比速度の値により適用機種が限定されるが(表1)、最終的には、立地条件と流況曲線による流量変動、落差変動を考慮し、年間の発生電力量が最大となるような機種を選定する。

表1 水車適用区分 水車には落差、出力に応じた最適機種がある。

水車形式	水車出力(kW)	有効落差(m)	比速度(m・kW)
立軸フランシス水車	2,000~20,000	30~300	80~300
横軸フランシス水車	200~5,000	15~200	60~240
チューブラ水車	200~5,000	3~20	400~1,000
カプラン水車	1,000~20,000	10~70	250~800
クロスフロー水車	50~1,000	5~100	45~180
ペルトン水車	200~20,000	100~	8~28

ることになる。有効落差を縦軸に、流量を横軸にとった選定図を図1に示す。代表的な機種の特徴と選定上の留意点は以下に述べるとおりである。

(1) フランシス水車

適用落差、出力範囲が広く、構造が簡単で経済性に優れていることから、中小水力としては最も適用範囲が広い。特に横軸水車は、建屋掘削量の低減、据付の単純化、保守が容易など小水力機器に適した特長をもっている。ランナ及び流水部の形状を変えることにより、部分負荷特性の改善も図られているが⁴⁾、流量変化が大きい場合は、両掛け水車も有効である。

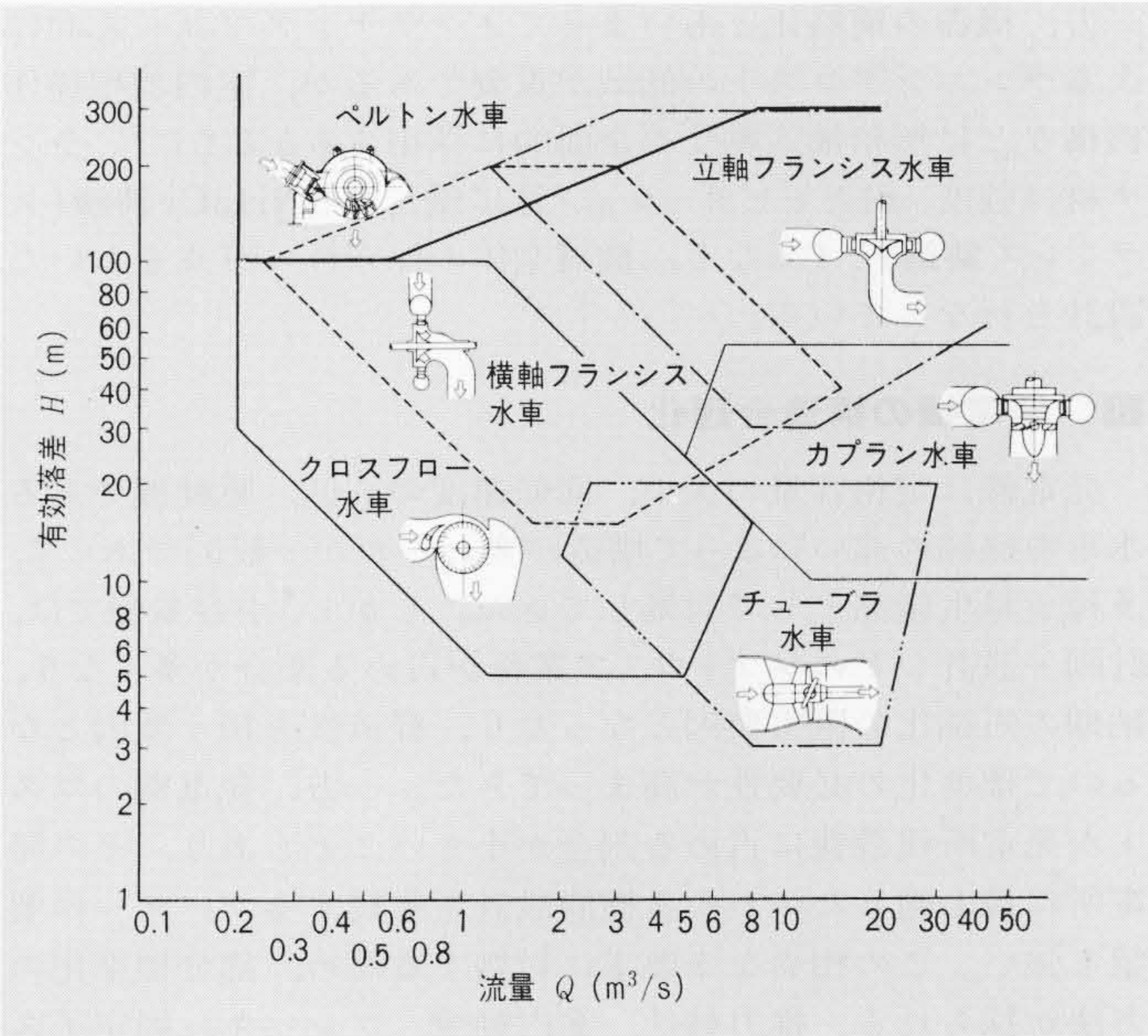


図1 水車形式選定図 低落差に対してはチューブラ水車の、中落差に対してはフランシス水車、クロスフロー水車の適用範囲が広い。

* 日立製作所電力事業部

(2) チューブラ水車

落差20m以下の低落差範囲に対しては、主としてチューブラ水車を適用する。発電機を円筒水路の中に設けたバルブ水車と、発電機を水路の外部に設けたS形チューブラ水車があるが、小水力に対しては経済性、保守性の点から考えて、後者が増加すると考えられる。

落差、流量の変動を考慮し、案内羽根やランナペーンを可動とするかどうかを決定することになるが、一方、落差が高い場合は特に、キャビテーション防止のために吸出し高さの確保に注意する必要がある。

(3) クロスフロー水車

中落差小容量機(1,000kW以下)に対しては、クロスフロー水車を開発した。最高効率約85%に達しており、軽負荷時にも高効率を得られるので、流量変化の大きい流れ込み式発電所に適している。

クロスフロー水車を採用するに当たっては、衝動水車の一種であるため、吸出し管内水位をランナ下端以下に保持することが好ましい。

2.2 構造合理化

小水力は容量は小さくても付帯設備は一通り必要であるため、機器の経済化を図るには設計の標準化が有効である。従来は、落差、流量の諸元によりそのつど流水部の形状、寸法を決定していたが、設計のための期間と費用がかさむため、ランナ入口径を基準として水車各部の主要寸法を系列化した。これは建屋スペース、土木掘削量、水路構造の検討などの発電所建設計画にも役立つものである。ランナ入口径の最終決定に当たっては、当該発電所の流況曲線に基づき、水車効率特に年間発生電力量が最大となるように流水部の形状を定めている。

形状を簡略化して経済化を図る機器構造の合理化としては、標準エルボを溶接形成した等断面積ケーシング、流入湾曲部を省略した平行形スピードリング及び厚板一体上カバー、水潤滑軸受などの採用によって簡素化、経済化を図っているが、小容量機では水車、発電機を共通ベースにのせたパッケージ形とすることによって、現地据付工事の短縮を図っている。一方、機器の簡略化とあいまってメンテナンスフリー志向によるランニングコストの低減が重要であるが、案内羽根操作機構などに無給油式軸受を全面的に採用するとともに⁵⁾、ランナ材は強度、耐キャビテーション性に優れた5Ni13Cr鋳鋼(ステンレス鋳鋼)とするなど、機器全体の保守性に重点をおいた設計を行なっている。

3 発電機の構造合理化

発電機は定格容量の大小、回転速度の高低、駆動機である水車の機種の違いによって構造が変わるのが一般的であって、多種少量生産品として対処してきた。しかし、小容量機では、計画・設計などのソフトウェア業務が占める割合が多くなり、納期の短縮化の阻害要因となったり、経済性を損う要因となるので標準化の必要性が高まってきた。一方、発電機のコストが発電所建設費に占める割合が小さいこともあり、その発電所に最も適したいわゆる機能設計を重視するユーザーの要望も強い。この相異なる要求に対処するため、部分標準化の方法が採られる。推力軸受、案内軸受、ブレーキ、固定子スロットサイズなどの標準化が行なわれ、発電機の性能・信頼性を損うことなくソフトウェア業務の低減が可能となっている。

製作過程での品質管理、工程管理は大容量機と同等に行ない、信頼性の高い部品を生産することによって工場組立や回

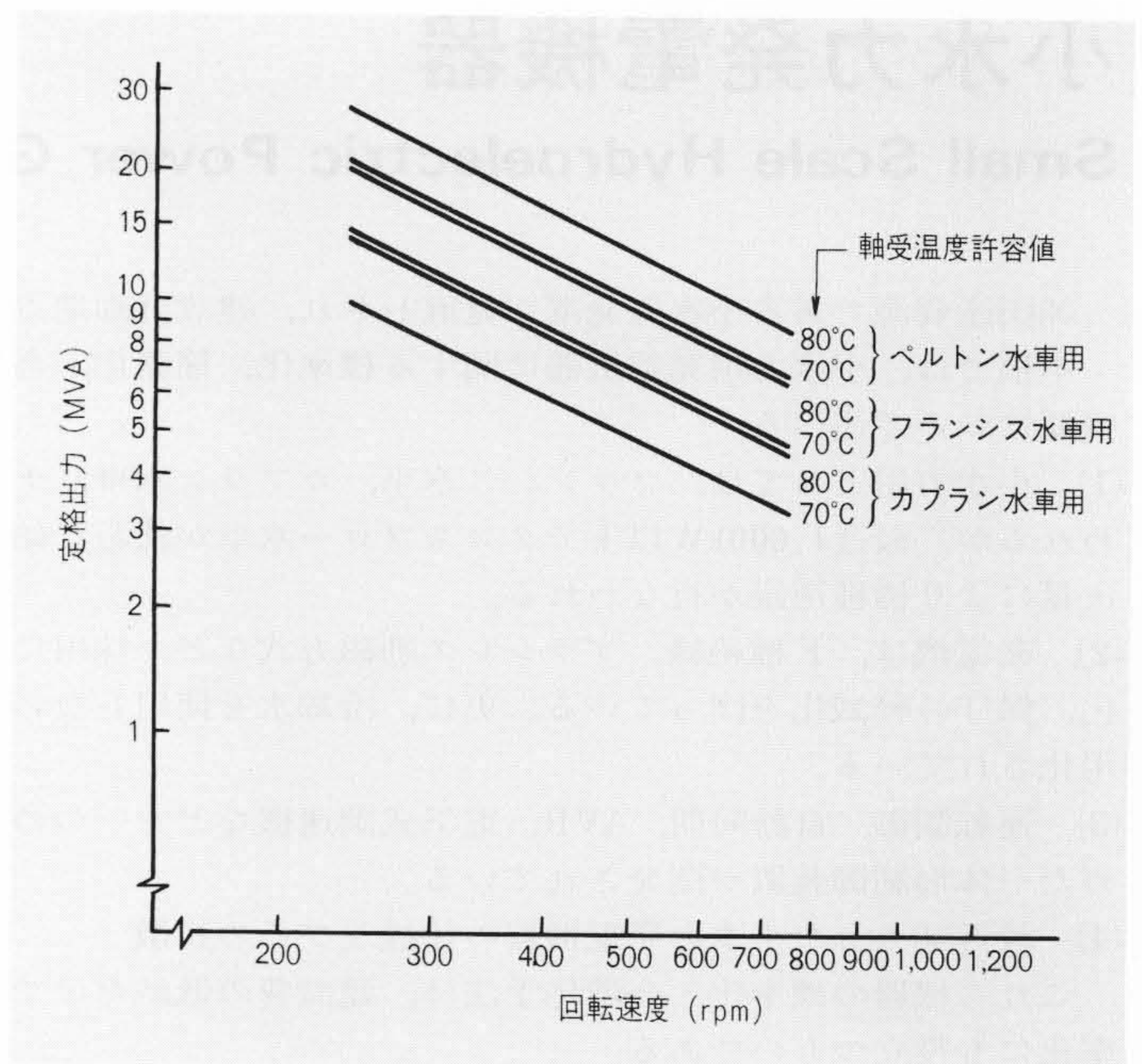


図2 風冷式軸受適用範囲 水車の機種によって水スラストが異なるため、適用範囲も変わる。

転試験を省略できる体制にしており、コストダウンに寄与している。

F種絶縁採用による機器の小形・軽量化⁶⁾、ブラシレス励磁方式の採用による保守の軽減など、新技術の採用による総合的な経済化も小水力開発の重要なポイントである。発電機に冷却水を全く使用しない風冷式発電機は新技術製品の一例であり、図2にその適用範囲を示す。この場合、発電機は出口管通風形(JEC-114のJC2形)であり、推力軸受、案内軸受は共に風冷形である。冬季に冷却水の凍結が懸念される無人発電所などには最も適している。

水車発電機としては同期発電機が多く用いられ、まれに誘導発電機が用いられる。同期発電機の場合は、励磁装置、自動電圧調整器などの補機が必要であり、誘導発電機に比べてコスト高となるが、系統並入時の擾乱がないこと、力率の調整が可能であることなどの系統運用上の便利さから、同期発電機が選ばれる例が多い。水力発電用誘導機としての記録品は北陸電力株式会社桑島発電所に納入した7,500kW立軸機があるが、計画に際しては系統条件を十分に吟味する必要がある。

4 制御機器の合理化

小水力発電設備は一般に随時監視制御が行なわれるが、自動運転を行なうため運転制御装置は複雑となり割高になる傾向がある。このため、調速機をはじめとする制御装置に対しては、大幅な合理化、標準化が必要である。

4.1 調速機の合理化

(1) 簡易形調速機

中小容量水車用として、性能面で電気協同研究会第24巻、第2号に規定されているC級調速機の性能をもった簡易形調速機を開発した。専用プリント板、SSG(Speed Signal Generator)形速度検出器、油圧式負荷制限装置などの採用によって、従来形と同等以上の信頼性を確保するとともに、保守点検の容易な構造となっている。

(2) ブラダ形圧油装置

案内羽根及び入口弁の制御手段として、一般に油圧が用い

られる。圧油タンクとして、 N_2 ガスを封入したブラダ形アキュムレータを用い、圧油ポンプに可変容量形ベーンポンプを採用しているブラダ形圧油装置は、圧縮空気装置、アンローダが不要となり、据付面積の低減、保守の簡易化を図ることができる。図3に示すパッケージ形油圧制御装置は、簡易形調速機とブラダ形圧油装置を一体化したものである。

(3) 電動サーボモータ

小容量の水車に対しては、案内羽根及び入口弁開閉を電動操作とすることにより、圧油装置を省略し、機器及び保守の簡易化を図ることができる。案内羽根制御用電動サーボモータは、電動機の回転をボールねじ機構を介して直線運動に変換し、ガイドリングを作動するものであるが、制御回路にトランジスタを用い、電動機を連続制御することによって所定の調速機能が得られるようになっている。

4.2 制御方式の合理化

(1) 標準制御方式

水車、発電機の制御方式は、主機の種類、特性、立地条件などで異なるが、基本仕様としては必要最小限度の機能、性能を満足し、オプション機能が追加できるように経済性、信頼性を考慮して標準化を図っている⁷⁾。基本仕様の要点を次に述べる。

- 同期機の場合、制御装置はAVR(自動電圧調整器)、電気ガバナのレギュレータ部分、及び監視、操作、制御、保護装置を一体化する。
- 主機の停止制御は、普通停止と非常停止の二通りとする。
- 軸受温度などの機械的保護装置は、現場設置とする。
- 流込式プラントの負荷調整は、水位調整器運転とする。
- 遠方-直接の制御回路切換開閉器は、プラントで1個とする。

(2) 一体形制御装置

標準制御方式に基づく各制御機能の合理化と合わせて、制御機器間のケーブルの削減、据付面積の削減、据付工事の短縮、信頼性の向上、保守の合理化などを目的として、デジタル制御方式による一体形制御装置を開発した。制御機能中、監視と操作の一部、運転制御装置、自動同期装置、ブラシレス励磁装置用AVR、電気式調速装置を一つのプロセッサにより実現した。また、保護装置はデジタル制御装置とは別系統で回路を構成して、保護の信頼性を確保している。

一体形制御装置の外観を図4に、その構成とデジタル制

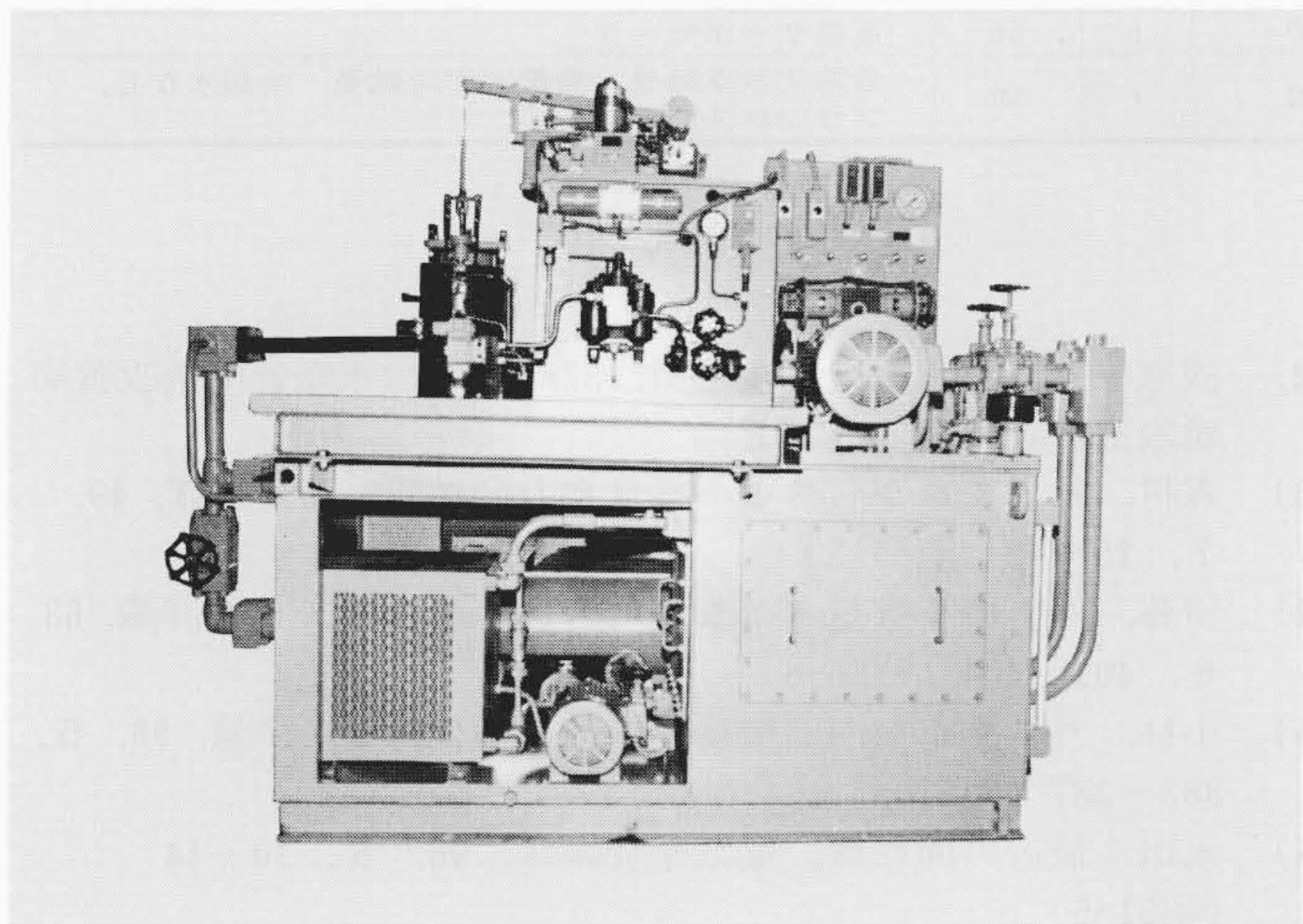


図3 パッケージ形油圧制御装置 簡易形調速機とブラダ形圧油装置の一体化を図っている。

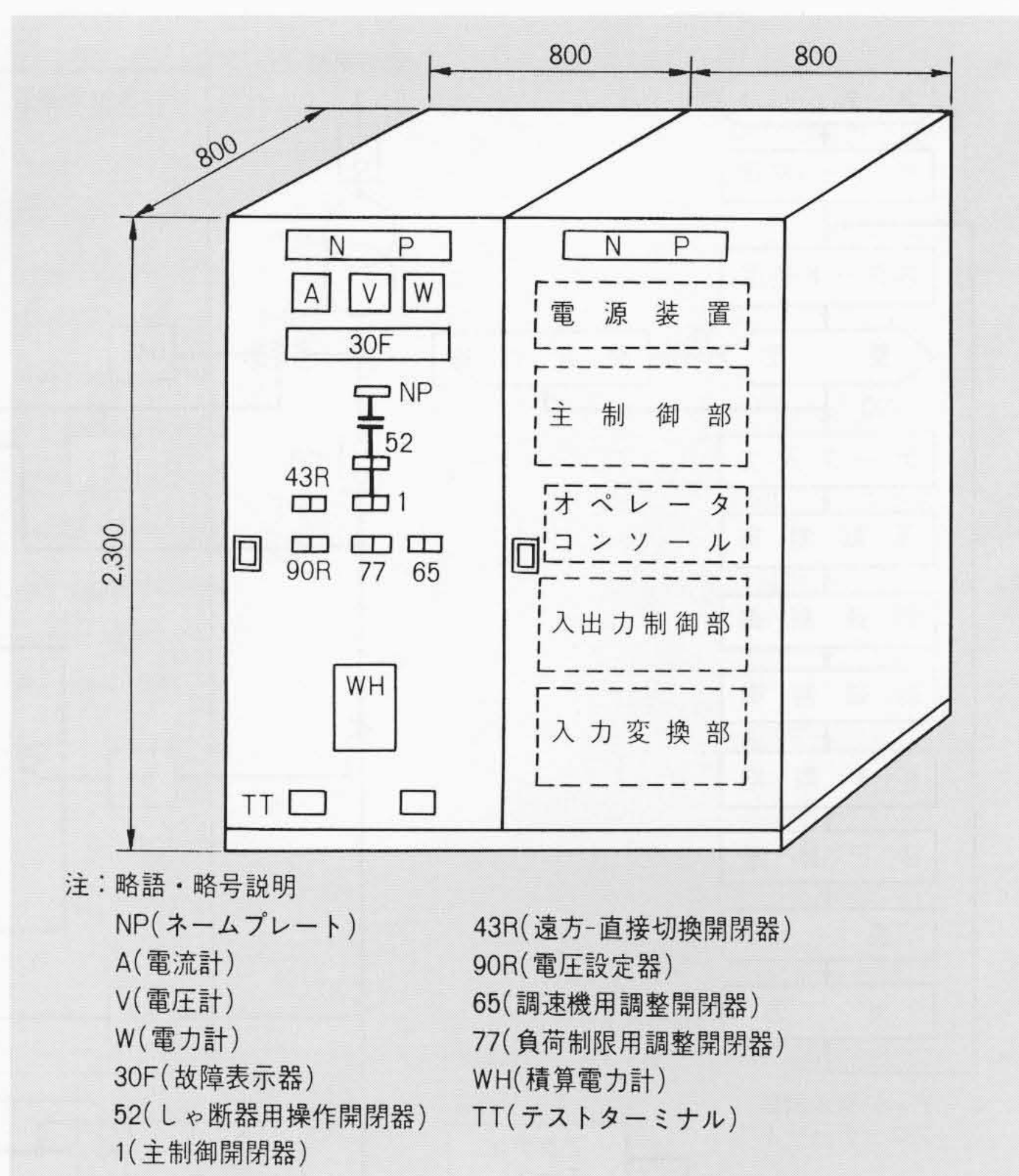


図4 一体形制御装置 運転制御装置、自動同期、AVR、電気式調速装置などを一体形で構成している。

御のフローチャートを図5に示す。

一体形制御装置の主な特徴は次に述べるとおりである。

- 監視、操作、運転制御、保護は技術基準に準拠した必要最小限度を標準仕様としている。また、運転制御は一人制御方式をベースに、フランシス水車、カプラン水車、ペルトン水車などに対応できるように考慮してある。運転制御の動作状態は内蔵のオペレータコンソール上の発光ダイオードで監視できる。
- 励磁制御方式は保守の合理化を考慮して、ブラシレス方式で、APFR(自動力率調整装置)を標準装備としている。ただし、電源変圧器及びサイリスタは外部設置である。
- 調速制御方式はダンピング方式で、速度検出はSSG方式、特性は電気協同研究会規定のC級相当とし、水位調整機能を標準装備としている。
- 保護リレーは全静止形とし、電流差動継電器(87)、過電流継電器(51)、過電圧継電器(59)、などを標準装備している。また、ターゲット形故障表示器をデジタル制御装置と分離して独立に設置している。
- 各種整定値の確認、変更などはオペレータコンソール上で容易に操作できる構成となっている。

このほか、耐ノイズ性も考慮されており、小水力発電所の制御装置としてコンパクトな設計となっている。

5 最近の納入例

表2は、最近納入又は製作中の小水力の代表的な発電所の仕様と特徴を示したものである。本稿で言及した合理化技術が随所に採用されている。軸受の無給油化は、ほぼ全面的に採用されているので特記事項からは除外した。なお、S & Bとはスクラップアンドビルドのことで、老朽化に伴う機器の更新を意味している。

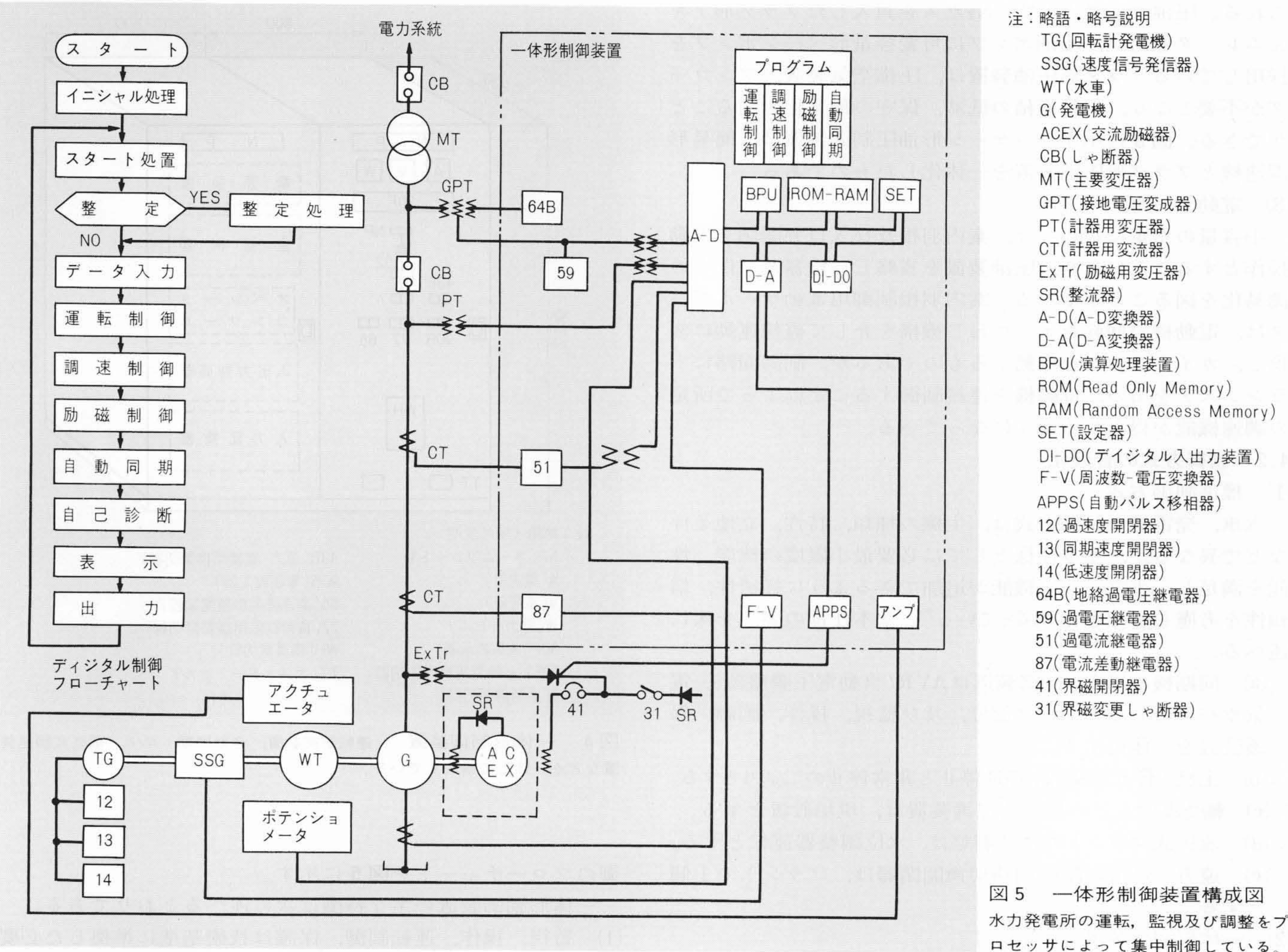


図5 一体形制御装置構成図
水力発電所の運転、監視及び調整をプロセッサによって集中制御している。

表2 最近の小水力機器納入の主な例 1万kW以下のものが多い。S&Bは既設水車の老朽化による一式更新であるが、流路形状改善により特性の向上を図っている。

納 入 先	発電所名称	水		車	回転数 (rpm)	発電機出力 (kVA)	台数	納入年 (昭和)	特 記 事 項
		形式	出力(kW)	落差 (m)					
北陸電力株式会社	桑 島	VK	7,850	52.3	450	7,500kW	1	53	誘導発電機, F種絶縁, 水潤滑式水車軸受
九州電力株式会社	飯 田	HF	318	13.2	514	—	1	54	S & B, 横軸二輪単流横口双子フランシス水車
星野温泉株式会社	星野温泉第 2	HF	150	21	900	150	1	54	パッケージタイプ(水車・発電機)
東京電力株式会社	一 の 瀬	HP	13,000	281.3	429	—	1	55	S & B
東京電力株式会社	石 打	VF	5,800	49.7	333	6,500	1	55	S & B, ブラシレス励磁, 自冷式水車軸受
富 山 県	大長谷第 3	VP	8,300	244.5	450	8,900	1	56	発電機冷却水なし, 空冷軸受
東京電力株式会社	氷 川	VF	4,270	107.7	600	—	2	56	S & B, 発電機改造, ブラシレス励磁
中部電力株式会社	新 開	HF	1,400	26.2	514	—	1	57	S & B
〃	天 神	HS	730	9	257	750	1	57	S & B, 横軸露出形プロペラ水車, ブラシレス励磁,
東京電力株式会社	小 諸	VF	8,300	68.8	333	—	2	57	S & B, 発電機改造, 自冷式水車軸受
山 口 県	生 見 川	HF	1,900	64.5	720	1,800kW	1	58	誘導発電機
水 資 源 公 団	一 庫	HF	1,950	59.5	720	2,200	1	58	電動サーボモータ
富 山 県	上市川第 2	VF	4,470	85.8	600	4,800	1	59	自冷式水車軸受, 発電機空冷軸受, 冷却水なし, ブラシレス励磁

注：略語説明 S & B(スクラップアンドビルド)

6 結 言

立地条件の制約によって、今後建設される水力発電の単機容量がますます小容量化していくことに対応して、経済的建設を図るため、日立小水力発電機器「ハイドロキット」に採用されている合理化、標準化、簡素化技術の紹介を行なった。建設費に占める割合が大きい土木関係でも、関係者による合理化開発がなされつつあるので、小水力建設のよりいっそうの促進が図られることを期待したい。

参考文献

1) 高橋, 外: ダム管理用水力発電設備調査報告書, 57-3, 水資源開発公団 建設電気技術協会

2) 浅原, 外: 小水力発電の手引, 57-3, 農林水産省構造改善局建設部設計課
3) 森村, 外: これからの中小容量水力発電所, 電気計算, 49, 7, 15~42 (昭56-5)
4) 伊藤, 外: 中小容量水車改修における新技術, 日立評論, 63, 6, 401~404 (昭56-6)
5) 小林, 外: 水車案内羽根軸受の無給油化, 日立評論, 58, 5, 383~387 (昭51-5)
6) 永田: 最近の回転機, 電気学会雑誌, 96, 5, 10~14 (昭51-5)
7) 平野, 外: 制御・保護システムの進歩と適用, 電気計算, 49, 7, 32~36 (昭56-5)