

最近の日立高速・大容量水車及びポンプ水車の動向……………	3
強度解析による水車の信頼性向上……………	9
最近の高速・大容量発電電動機の動向……………	15
高速・大容量水車発電機のスラスト軸受……………	23
水力発電所の水路系を考慮した主機トータル システムの解析……………	29
同期機励磁制御による電力系統安定化装置……………	35

日立水力発電機器65年の歩みと成果……………	22
------------------------	----

最近の日立高速・大容量水車及びポンプ水車の動向

最近の水車及びポンプ水車は、経済的な発電設備を建設する見地より単機容量が増大し、適用落差も500mと著しく高くなる傾向にある。

大容量化、高速化を推進する基礎となった新技術として、構造面では、鋳鍛造能力を超える大形ランナ、及び主軸が、エレクトロスラグ溶接技術の進歩により溶接構造化された。性能面では、ランナ内流れ計算プログラム“FLANPT”の完成及び流れの測定技術の向上により、不安定特性や二重特性が解明され、500m級ポンプ水車への適用が可能となった。また、計算技術の進歩により多分岐鉄管、長放水路など複雑な水路系を有する発電所の過渡現象解析の精度が向上したことなどが挙げられる。

これらの技術的な進歩は、昭和48～49年に運転開始した一連の日立高速・大容量水車及びポンプ水車に適用され、良好な現地試験結果が得られた。

強度解析による水車の信頼性向上

水車主要部品であるランナ、ケーシングなどの強度上の信頼性確認のため、高精度応力解析を行ない、この計算値と、模型及び実機の実働応力測定値を比較した。これらの結果から、許容応力を決定するに際し、初期不整、材料欠陥、残留応力などの材料強度を低下させる要因について検討した。許容応力については、圧力容器に関するAmerican Society of Mechanical Engineers 基準を適用することが一般的には妥当であり、このため、発生する応力を分類し応力の繰返し数より疲れ強度を検討した。

最近の高速・大容量発電電動機の動向

近年、発電電動機は単機容量、回転速度ともにますます増大の傾向にあり、製作限度に近いものが次々に計画されている。製作限度を左右する要因としては、出力係数、振動、通風、推力軸受及び絶縁種別などがあるが、本稿においてはこれらの要因について述べるとともに、最近の発電電動機における特色としてΔリング形スラストブラケットや防振ステーを用いた制振構造、推力軸受仕様の過酷化に伴って実施している試験研究、サイリスタ始動方式及び強制通風方式などについて触れ、更に今後の問題として、直接水冷却方式、新しい推力軸受、回転子、固定子、あるいは支持部の構造などについて述べている。

高速・大容量水車発電機のスラスト軸受

近年、水車発電機における高速・大容量化の傾向は急ピッチであり、これに応じてスラスト軸受の荷重も増大しつつある。高荷重・高速スラスト軸受は、支持方式、冷却方式に関する試作研究を行ない、日立ピボット スプリング支持方式及びパッド間昇圧給油冷却方式などの新技術を適用して製作されている。最終的に現地で試験用軸受を組み込み、始動から運転、停止に至るまでの軸受特性及び負荷しゃ断、入力しゃ断の過渡特性を含めた詳細な性能確認も行なわれた。

本稿は、大容量水車発電機の特長解析から開発及び現地試験までの内容につき述べてある。

水力発電所の水路系を考慮した主機トータル システムの解析

複雑な水路系に接続された複数台のポンプ水車の動特性解析プログラムを開発したので、その概要を紹介する。

このプログラムは、水圧鉄管側、ドラフト側の両水路系に生ずる水撃現象、各ポンプ水車の流量、トルク特性、発電機負荷特性及びガバナを含む総合的なプログラムで、各ポンプ水車の起動から停止まで、あらゆる運転状態をディジタル計算機でシミュレートするものである。従って、現地の運転予測はもちろん、計画段階で土木条件を含むポンプ水車プラント全体の最適化設計が可能である。

なお、水撃の解析には特性曲線法を用い、管路摩擦の外に各管路の傾斜角も考慮に入れた。

同期機励磁制御による電力系統安定化装置

最近の電力系統における発電機単機容量の増大、あるいは送電線の長距離化などに起因する系統安定度の低下に対し、励磁制御系による安定度改善が要求されている。また、最近の揚水発電所において揚水運転時、系統電圧との関連により電力動揺がみられることがある。これらの電力動揺の改善のために励磁系による制動トルクを補償する信号を励磁装置に加えることが有効であり、日立製作所では同期機出力より相差角動揺を検出する電力信号方式による電力系統安定化装置を開発し、フィールドテストにおいてその効果の良好なことを確認した。

小形実験機によるシミュレーション試験及びフィールドテストにおける発電機負荷時インデシャル応答、並びに送電容量試験、2回線送電系統における1回線開閉試験において電力動揺の継続時間を約30%以下に短縮できた。

最近の日立高速・大容量水車及びポンプ水車の動向

Current Development in High-Speed, Large Capacity Water Turbines and Pump Turbines

To provide economical power generating facilities, water turbines and pump turbines are usually manufactured now in very large unit capacities and in high head, as much as 500 m, a trend which is increasing due to various technological breakthroughs, both in construction and in the improvement of machine performance. Thanks to the advancement of electroslag welding techniques, large-size runners and main shafts with capacities greater than casting and forging equipment can now be fabricated. And because of the establishment of a flow calculation program, FLANPT, and improvement of flow measuring techniques, unstable and double characteristics have been clarified, even for 500m-class pump turbines. Due to recent advances in calculating methods, analysis accuracy has been increased on the transient phenomena of power plants, where manifolds and long draft conduits form a complicated water passage system. These technological results have been applied to various Hitachi high-speed, large-capacity water turbines and pump turbines, all of which were put into commercial operation during 1973 and 1974, with excellent test results.

大石朝男* Asao Ôishi

井上久男* Hisao Inoue

河野通忠* Michitada Kawano

1 緒 言

最近の電力需要の増大及び石油危機による火力発電所の燃料コストの上昇のため、原子力発電所建設の促進が急務となりつつある。オフピーク時の余剰電力をピーク時の供給電力に転換する揚水発電所が原子力発電所の建設と対で計画され、並行してその建設が進められる例が多くみられ、原子力発電所の増加に伴います大規模な揚水発電所が建設される傾向にある。一方、公害問題、クリーン エネルギー確保の面で有利な水力発電所が見直され、エネルギー供給者としての水力発電所の建設が急がれている。本稿は世界的にみても、経済的な見地よりますます高落差化、大容量化する水車の動向について述べる。

2 最近の水車及びポンプ水車の技術動向

2.1 大容量化及び高落差化

火力・原子力プラントの単機容量の増大に伴うピーク負荷対策、電力系統全体の効率的な運用のため、単機容量 200～400 MW の大容量ポンプ水車を、2～8 台並べた大規模な純揚水発電所を建設し、その経済化を図っている。

これらの例としては、昭和48年に営業運転に入った電源開発株式会社沼原発電所納め 230 MW ポンプ水車 3 台、世界最大容量のアメリカのコンシューマ電力ラディングトン発電所納め 343 MW ポンプ水車 6 台、ニューヨーク州電力局ブレンハイム・ギルボア発電所納め 300 MW ポンプ水車 4 台、及びロスアンゼルス市水利局キャストアイック発電所納め 261 MW 6 台などや、昭和49年運転開始した関西電力株式会社奥多々良木発電所納め 310 MW ポンプ水車 2 台、及びアメリカのベ

ア・スワンプ発電所納め 320 MW ポンプ水車 2 台などが挙げられる。

純揚水発電所は比較的自由に地形を選定することが可能であり、400～600 m と従来の実績を超えた高落差が開発対象となる。出力当たりの揚水量が小となり、主機が高速化されるため、上・下貯水池、発電所の規模及び機器の寸法が縮小され、総合建設費が低減されることになる。

世界で初めて 500 m の壁を破ったポンプ水車としては沼原発電所納めの揚程 528 m ポンプ水車及び奥多々良木発電所納めの揚程 423.9 m ポンプ水車などが挙げられる。近い将来、一段800 m 級ポンプ水車も実用化されることが予想されている。

一方、水車専用機であるフランシス水車についても建設費の低減及び総合効率の向上を図るため、ますます大容量化、高速化する傾向にある。日立製作所においてもこれに対処するため、フランシス水車の開発を行ない、その成果は数々の大容量記録機の受注となって表われている。昭和48年に運転開始したブラジル・イリヤ ソルティラ発電所納め 166 MW フランシス水車 4 台がこの例である。またベネズエラ・グリ発電所では主機主要寸法を変えず高速化して出力を 270 MW から 400 MW に増強する画期的な設計改善を行なった。更にカナダ・マイカ発電所 492 MW フランシス水車では、最大径約 6.3 m のランナを一体で製作し輸送することを計画し、機器をコンパクトにすることができた。

図1及び2にポンプ水車及びフランシス水車大容量化の推移を示した。また、表1は、日立大容量ポンプ水車及びフランシス水車の製作例を示した。

* 日立製作所日立工場

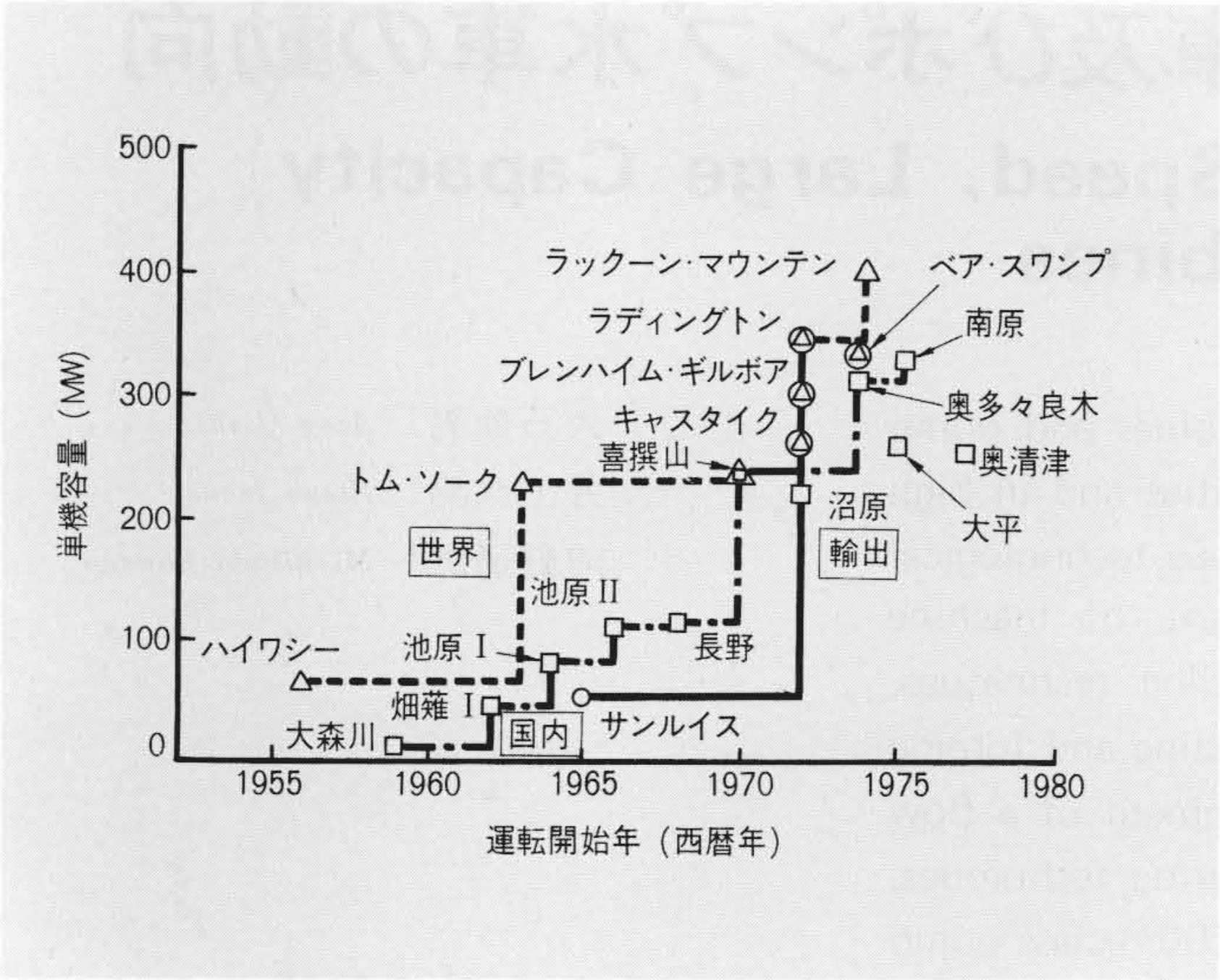


図1 ポンプ水車の単機容量の推移 日立製作所より輸出したラディングトン発電所用ポンプ水車は、現在運転中のポンプ水車の容量、寸法の記録品である。

Fig. 1 Record of Unit Capacity of Pump Turbine

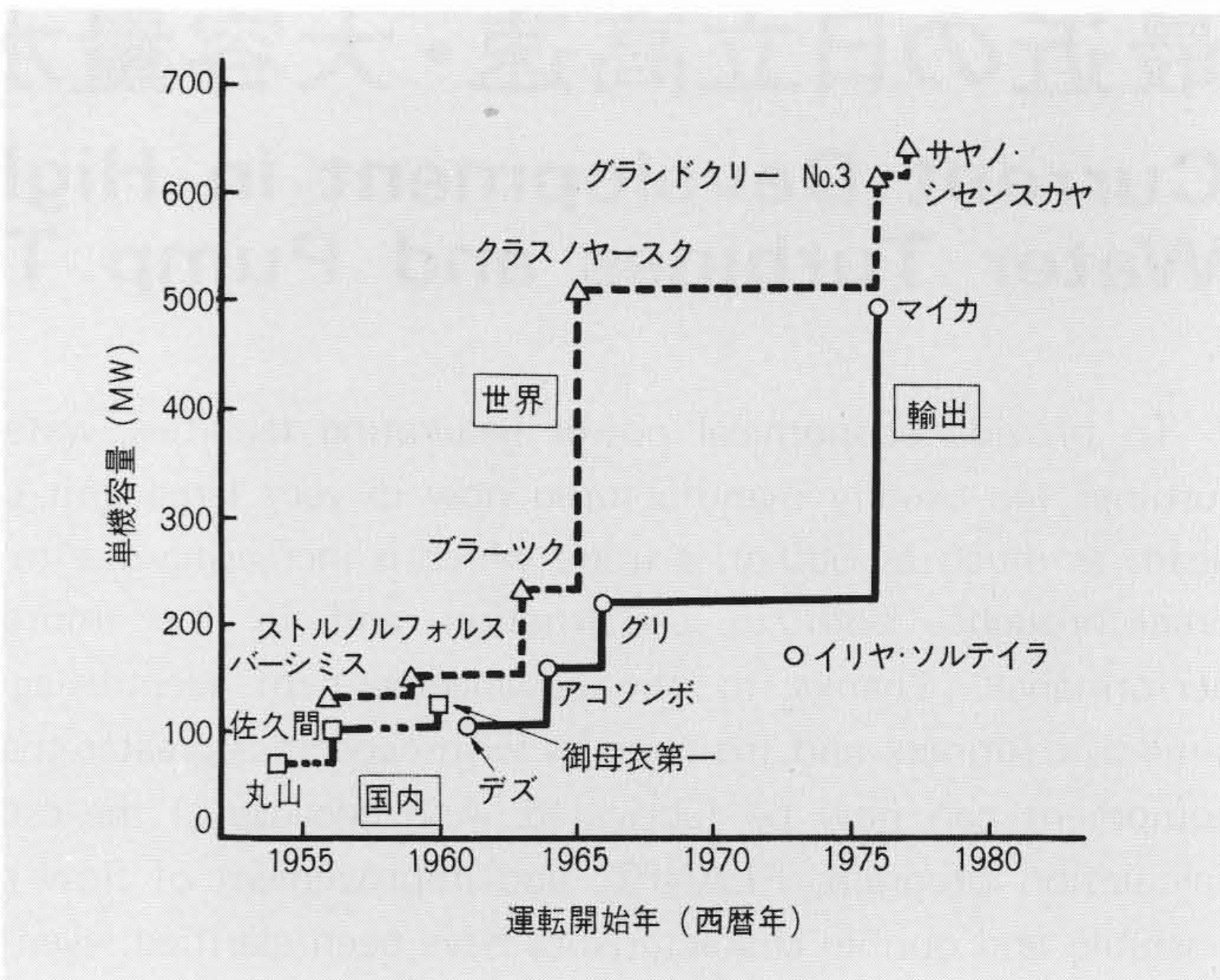


図2 フランシス水車の単機容量の推移 単機容量は、500～600MWにまで大容量化した。

Fig. 2 Record of Unit Capacity of Francis Turbine

表1 最近製作された日立大容量水車及びポンプ水車 単機容量200～500MWの水車が一発電所に2～6台設置されている。

Table 1 HITACHI Large Capacity Water Turbine and Pump Turbine

水 車 区 分			ポ ン プ 水 車									フ ラ ン シ ス 水 車					
発 電 所 名			ラディングトン	ブレンハイム・ギルボア	キャストアイク	ベア・スワンプ	沼 原	奥多々良木	大 平	南 原	奥 清 津	馬瀬川第一	イリヤ・ソルティラ	マイカ	チーフ・ジョセフ	グ リ (増設機)	
国 名			アメリカ	アメリカ	アメリカ	アメリカ	日 本	日 本	日 本	日 本	日 本	日 本	ブラジル	カ ナ ダ	アメリカ	ベネズエラ	
台 数			6	4	6	2	3	2	1	2	4	2	4	2	11	3	
形 式			VFR-IRS	VFR-IRS	VFR-IRS	VFR-IRS	VFR-IRS	VFR-IRS	VFR-IRS	VFR-IRS	VFR-IRS	VDR-IRS	VF-IRS	VF-IRS	VF-IRS	VF-IRS	
仕 様	最 大 出 力	MW	343	300	261	320	230	310	256	318	260	149	166	493	101	400	
	最 高 落 差	m	107.0	338.3	327.7	228.6	500	387.6	512	317.5	490	104.9	50	182.9	49.7	139	
	最 高 揚 程	m	113.6	357.3	381	240.8	528	423.9	545	339.5	512	167.5	—	—	—	—	
	回 転 速 度	r p m	112.5	257	257	225	375	300	400	257	375	180	85.7	128.6	112.5	128.6	
寸 法	ラ ン ナ	最 大 径	mm	8,375	6,000	5,840	5,800	4,960	5,780	4,840	5,950	5,050	4,961	7,391	6,245	5,462	5,785
	材 質	—	普 通 鋼	普 通 鋼	5Ni13Cr鋼	普 通 鋼	5Ni13Cr鋼	5Ni13Cr鋼	5Ni13Cr鋼	普 通 鋼	5Ni13Cr鋼	5Ni13Cr鋼	普 通 鋼	5Ni13Cr鋼	普 通 鋼	13Cr鋼	
	構 造	—	工 場 溶 接	普 通 鋼 鑄 造	5Ni13Cr鋼 鑄 造	普 通 鋼 鑄 造	5Ni13Cr鋼 鑄 造	5Ni13Cr鋼 二 分 割 鑄 造	5Ni13Cr鋼 鑄 造	普 通 鋼 鑄 造	5Ni13Cr鋼 鑄 造	5Ni13Cr鋼 鑄 造	普 通 鋼 工 場 溶 接	5Ni13Cr鋼 工 場 溶 接	普 通 鋼 工 場 溶 接	13Cr鋼 鑄 鋼	
	主 軸	軸 径	mm	2,000	1,220	1,170	1,200	1,000	1,100	1,000	1,150	1,050	1,300	1,550	1,524	1,117.6	1,372
構 造	軸 構 造	長 さ	mm	9,000	4,475	7,220	5,796	5,050	5,550	5,050	4,850	5,420	2,900	6,450	8,870	5,334	5,100
	—	工 場 溶 接	鍛 鋼	鍛 鋼	鍛 鋼	鍛 鋼	鍛 鋼	鍛 鋼	鍛 鋼	鍛 鋼	鍛 鋼	鍛 鋼	工 場 溶 接	鍛 鋼	鍛 鋼	鍛 鋼	
	ケーシング	入 口 径	mm	7,320	2,820	2,640	3,360	2,400	2,861.6	2,400	3,100	2,400	4,920	8,400	5,842	6,096	6,000
	材 質	—	60kg 高張力鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 フランジ	60kg 高張力鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 現地溶接	普 通 鋼 現地溶接	普 通 鋼 現地溶接	60kg 高張力鋼 現地溶接
運 転 開 始 年			1973	1973	1973	1974	1973	1974	1975	1976	1977	1977	1973	1976	1978	1974	

2.2 性能開発に関する動向

(1) ランナ内流れの解析

ランナ内流れ計算のプログラム、“FLANPT”の完成並びにランナ内及びランナ出入口部流れの測定技術の向上により運転中のランナ内部の流れの状態を解析することが可能となった。これらを基礎として、ランナ及びそれに付随する流路系が非常に偏平な形となる低比速度ポンプ水車の効率性能の向上、キャビテーション性能の改善が図られ、ポンプ高揚程

領域における不安定な特性、及び水車高速領域における二重特性などの現象が解明され、沼原、大平、奥清津各発電所など一連の 500m級ポンプ水車への適用が可能となった。水車専用機については、上記技術に、更にモデルテストによる種々の実測結果を加えて水車寸法の縮減を行ない、従来より5～10%もの寸法縮減に成功し、性能的にも従来の実績をしのぐ高効率ランナを開発した。

(2) 過渡現象の解析

高落差ポンプ水車を備えた揚水発電所は、一般に地下に建設されることが多く、高落差になるに従って、圧力管路及び放水路管路も非常に長くなり、経済的な見地より管内流速の上昇、長い部分を共通とした七分岐ないし二分岐圧力管路、あるいはサージタンク容積の縮小又は省略などが採用される傾向にある。分岐管の例としては、七分岐のキャストリック発電所、四分岐のブレンハイム・ギルボア発電所、三分岐の沼原発電所、二分岐の奥多々良木、大平、南原、ベア・スワンプ各発電所などがあり、長放水路のサージタンク省略の例としては、沼原、南原発電所などが挙げられる。また奥多々良木発電所では上・下サージタンクの容量の縮小が図られている。一方、主機の経済性の点から高い回転数を選定し、且つはずみ車効果 GD^2 をできるだけ小さく選定する傾向にある。上記の厳しい水路条件と小 GD^2 の採用により、過渡時の圧力上昇、回転速度上昇及び水圧脈動増大などを種々な運転条件において詳細な過渡現象解析を行ない案内羽根閉鎖方式の適切な選定を行なうことがますます重要となりつつある。その結果、案内羽根閉鎖速度を2ないし4種類組み合わせた多段閉鎖方式が採用される傾向にある。電子計算機による計算技術の向上により、多分岐管をもつ発電所において各の主機が異なる運転を行なっている場合の過渡現象も解析可能となった。数多くの案内羽根閉鎖方式に対する解析結果と蓄積された現地試験結果との対比により、高落差・大容量ポンプ水車についても、過渡時の案内羽根閉鎖方法はほぼ確立されたものとみられる。

2.3 構造・材質に関する動向

(1) ランナ

水車の大容量化に伴い、ランナ寸法が非常に大きくなり、特に、アメリカ・ラディングトン発電所用ポンプ水車のランナ外径は8.4m、イリヤ・ソルティラ発電所用フランス水車のランナ外径は7.4mに達しており、一体鋳造又は二分割鋳造としても鋳造の製作限界を超えることになる。このため、ランナの各部を普通鋼板、又は普通鋳鋼で製作し、大幅に進歩したエレクトロスラグ溶接、サブマージアーク溶接などの自動溶接により、一体化する方法が採用されている。特にエレクトロスラグ溶接は、極厚鋼板の溶接に適し、溶接線は複雑な三次元曲面が多いため、これらに最適な消耗ノズル式と呼ばれるエレクトロスラグ溶接が多く採用されている。三次元曲面をもつランナペーンは、曲面処理プログラム“HAPT-DS”の利用及び数値制御(NC)工作機械の使用により製作されたランナペーン総型プレスで成形加工されている。

従来の耐摩耗、耐キャビテーション材料である1Ni 13Cr鋳鋼は、溶接性が悪いことが欠点とされていたが、4%以上のNiを含有する溶接性の優れた高Ni13Cr鋳鋼が開発され、積極的に採用されるようになった。これにより従来不可能であった溶接構造のステンレス鋼ランナも大容量機に採用され注目を集めている。

高Ni 13Cr鋳鋼は耐摩耗、耐キャビテーション性の点でも1Ni 13Cr鋳鋼よりはるかに優れた特性をもっている。

奥多々良木発電所用ポンプ水車ランナ(外径5.8m)は輸送上の関係で二分割構造となっており、半割れランナ及び合せ目フランジを高Ni 13Cr鋳鋼で、別々に鋳造したものを溶接し、現地でボルト締めにより一体化した最初の高Ni 13Cr溶接構造ポンプ水車ランナである。

一方、300～500m級の高揚程ポンプ水車ランナは扁平な形状となっているため、予熱温度の高い補修溶接は不適当であり、キャストリック、沼原、大平、奥多々良木各発電所など

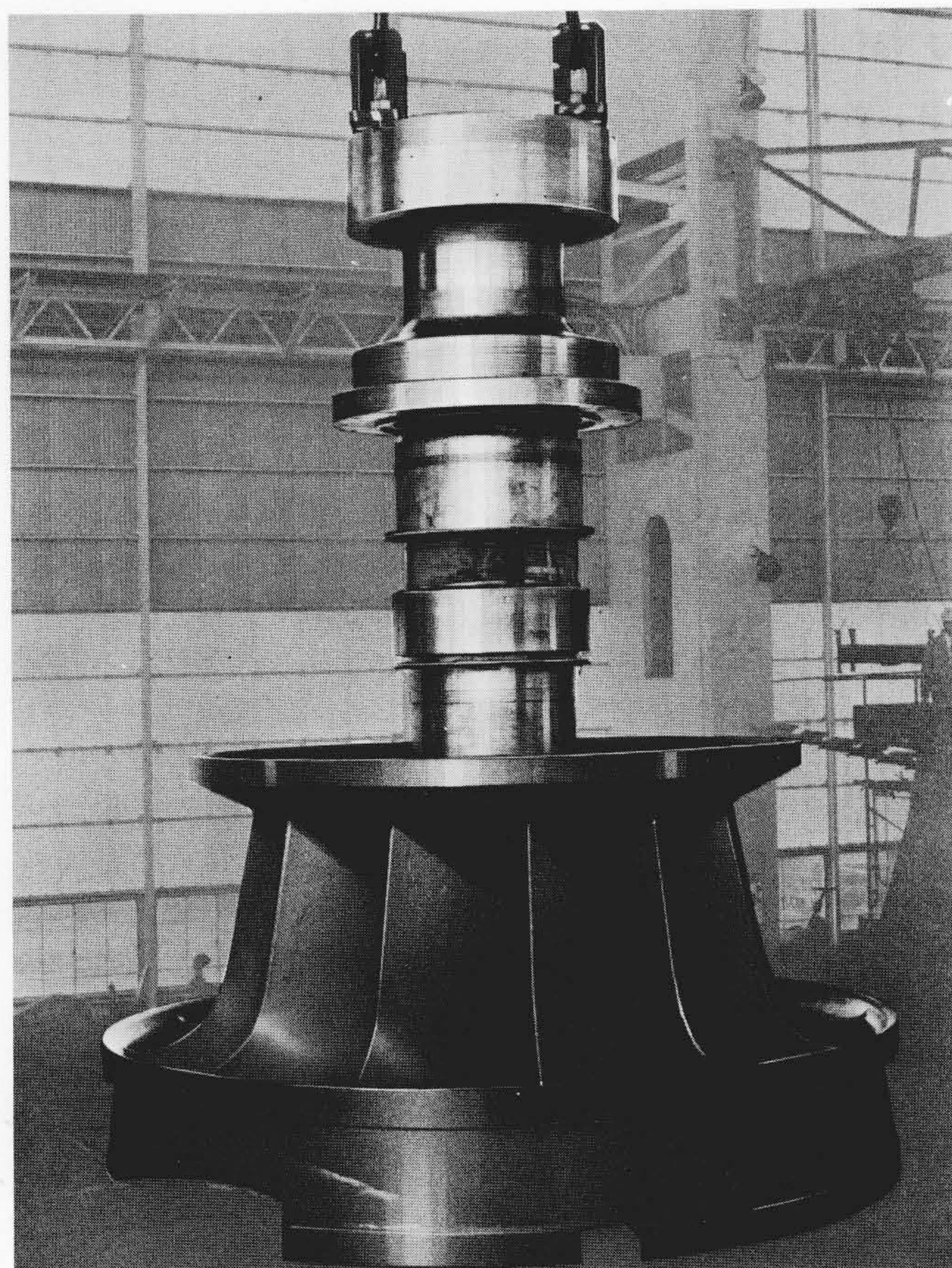


図3 イリヤ・ソルティラ発電所用溶接構造ランナ及び溶接構造共通主軸 ランナ、主軸とも各部を普通鋼板、又は普通鋳鋼で製作し、エレクトロスラグ溶接、又はサブマージアーク溶接により一体化されている。

Fig. 3 Fabricated Runner and Fabricated Common Shaft for Ilha Solteira Power Station

に、溶接性の優れた高Ni 13Cr鋳鋼ランナが幅広く採用され、キャビテーションが発生した場合も現地補修作業ができるよう配慮されている。

(2) 主軸

ラディングトン、イリヤ・ソルティラ発電所などの大形機においては、一体鍛造能力を超えるため、従来の鍛鋼製に代わって溶接構造主軸が採用される傾向にある。2ないし3個に分割され、熱間曲げ加工された厚肉普通鋼板の円筒部と、鍛鋼製又は鋳鋼製フランジとを円筒状溶接線に好適な消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接により一体化する方式が採用されている。

大容量機においては、発電機も含めた全体の高さを縮小しコストを低減するため、従来の水車軸と発電機軸を1本にまとめた、いわゆる共通主軸構造が多くなる傾向にある。これに伴いスラスト軸受を水車上カバー上に設置し、機器高さを低減する構造が多い。

共通主軸の例としては、ラディングトン発電所用ボグブ水車及びイリヤ・ソルティラ発電所、パナマ・バヤノ発電所用84,600kWフランス水車などがある。イリヤ・ソルティラ発電所用フランス水車は、スラスト軸受が水車上カバー上に設けられている。

図3に、イリヤ・ソルティラ発電所用溶接構造ランナ及び主軸を示した。

3 最近の高速・大容量水車及びポンプ水車の運転経験

3.1 ポンプ水車

(1) 初充水試験

上部貯水池に流入する河川がない場合、まず揚水運転によって上部貯水池を充水する必要がある、これを初充水と呼んでいる。主機のポンプ運転によって初充水を行なうためには、主機の要求する最低限度の水位まで別の手段によって充水する必要がある。沼原発電所の場合、専用の初充水ポンプを設置し、下部貯水池より長期間揚水を行ない、上部貯水池を主機ポンプ運転最低揚程相当水位まで充水した。ラディングトン発電所は建設用ポンプ及び給水ポンプにて、ミシガン湖より揚水し、鉄管上端最低水位より8m下がりまで充水した。ブレンハイム・ギルボア、ベア・スワンプ、奥多々良木各発電所は上部及び下部貯水池に雨水をため、建設用ポンプで鉄管及びトンネルに充水してから主機の初揚水運転を行なった。

図4にベア・スワンプ発電所の初揚水時の運転結果を示した。

ラディングトン発電所の場合、上部貯水池の取水口付近の粘土強度に不安があったため、初揚水は保証外の極低揚水であったが、案内羽根開度を極端に絞った状態で行なわれた。ドラフトパイプマンホール部に比較的大きい振動が測定されたが、この振動はランナベーンのポンプ入口部に発生する逆流現象及びキャビテーションに起因するものであり、ランナ下部に給気することにより構造振動を大幅に改善することができた。案内羽根を適正開度に近い50%まで開いた運転状態は良好であった。

ブレンハイム・ギルボア、ベア・スワンプ、沼原、奥多々良木

各発電所などの初揚水試験は保証外の低揚程で行われたが、土木側よりの制約がなくほぼ適正開度に近い運転が可能であったため、表2(a)に示すように運転状態は良好であった。

(2) 揚水運転

ブレンハイム・ギルボア、ベア・スワンプ両発電所においては、案内羽根よりの漏水を補給するため、専用ポンプにより放水路からケーシングへ給水し、ケーシング水圧を放水路側水圧より4～5m高く保持した状態で水面押し下げし、ポンプ起動を行なっている。沼原、奥多々良木両発電所については、鉄管側より漏水補給弁を介して、ケーシングへ給水し上記と同程度の差圧に保持されている。沼原発電所の場合、定格回転数においてランナ外周は約100m/sの周速となり、ランナ空転トルクを減少させるため特別の配慮が払われている。各発電所の適正開度におけるポンプ運転状態は、表2(b)に示すように良好であった。

(3) 水車運転

キャストイック発電所は、自流のある混合式揚水発電所であるため、初充水を必要とせず発電運転より試験を開始することができた。

各発電所の水車運転状態は表2(c)に示すように、起動、停止、負荷運転とも全範囲にわたって良好であることが確認された。特に奥多々良木、ギルボア、キャストイック各発電所については、部分負荷時においても、空気給入を行なわないで、十分安全な運転が可能であることが認められた。

(4) 負荷しゃ断・入力しゃ断

各発電所とも、模型試験によって得られた完全特性に基づき、実機における負荷しゃ断・入力しゃ断時の案内羽根閉鎖

表2 ポンプ水車運転状況 各発電所とも運転状態は良好であった。表中のラディングトン*は、主軸受カバーにおける測定値を示す。また、振動は全て両振幅を示す。

Table 2 Operating Results of Pump-Turbine

項 目		単位	ラディングトン	ブレンハイム・ギルボア	キャストイック	ベア・スワンプ	沼 原	奥多々良木
(a) 初充水運転結果	静 落 差	m	81.2	310~330	—	215~219	497.35	357.8
	案 内 羽 根 開 度	%	50	74	—	76~71.5	58	70
	電 動 機 入 力	MW	333	310~305	—	300	213	311
	構造振動	軸 振 れ	mm	0.20	0.13~0.17	—	0.14	0.11
		上カバー (V)	μ	130*	30~80	—	35~50	15
		ドラフトパイプ	μ	100	—	—	—	—
	水圧振動	ケーシング	m	3	—	23	—	—
		ドラフトパイプ	m	5	—	11	—	—
(b) 揚水運転状況	静 落 差	m	113	327	316	219	511.05	367.3
	電 動 機 入 力	MW	321	305	239	294	204	306.7
	案 内 羽 根 開 度	%	52.8	78	68	71.5	53.5	95
	構造振動	軸 振 れ	m	0.15	0.15	0.08	0.08~0.14	0.10
		上カバー (V)	μ	200~210*	—	50	33	12
	騒 音	水車ピット内	dB	112	113.5	101	—	101
		ドラフトパイプ	dB	106	109	105	—	92.5
(c) 水車運転状況	静 落 差	m	107	330	320.8	210	510.5	392.7
	発 電 機 出 力	MW	320	248	226	230.4	225.3	307
	案 内 羽 根 開 度	%	80	78.3	80	65	77	92
	構造振動	軸 振 れ	mm	0.19	0.13	0.18	0.05~0.07	0.10
		上カバー (V)	μ	30*	25~65	—	23	40~60
	騒 音	水車ピット内	dB	110	110	110	—	101
		ドラフトパイプ	dB	—	—	—	107~108	96

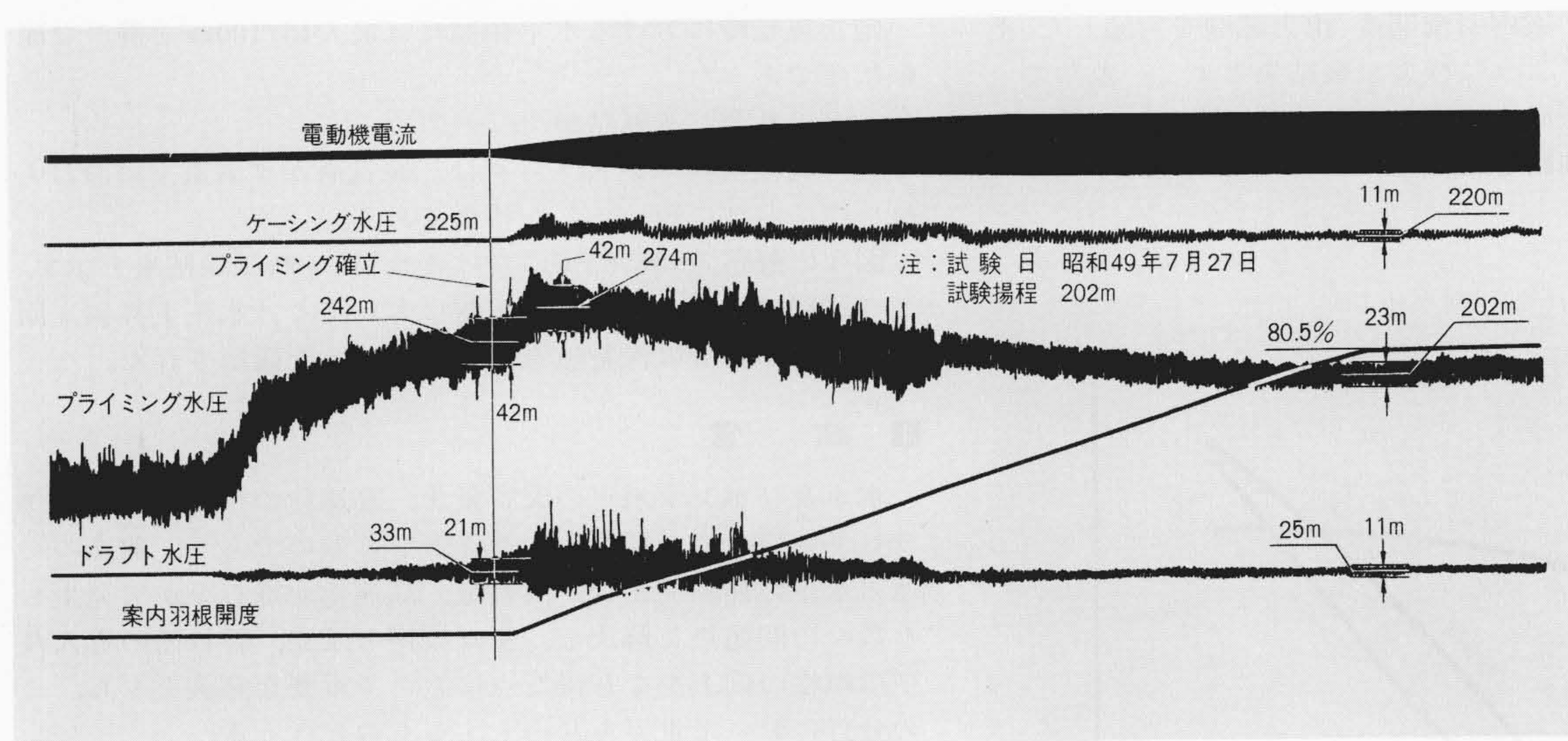


図4 ベア・スワンプ発電所用320MWポンプ水車初揚水運転結果 通常運転範囲より低い揚程での初揚水においても、各部の水圧脈動値も比較的小さい良好な結果を示した。

Fig. 4 BEAR SW-AMP Results of Initial Filling

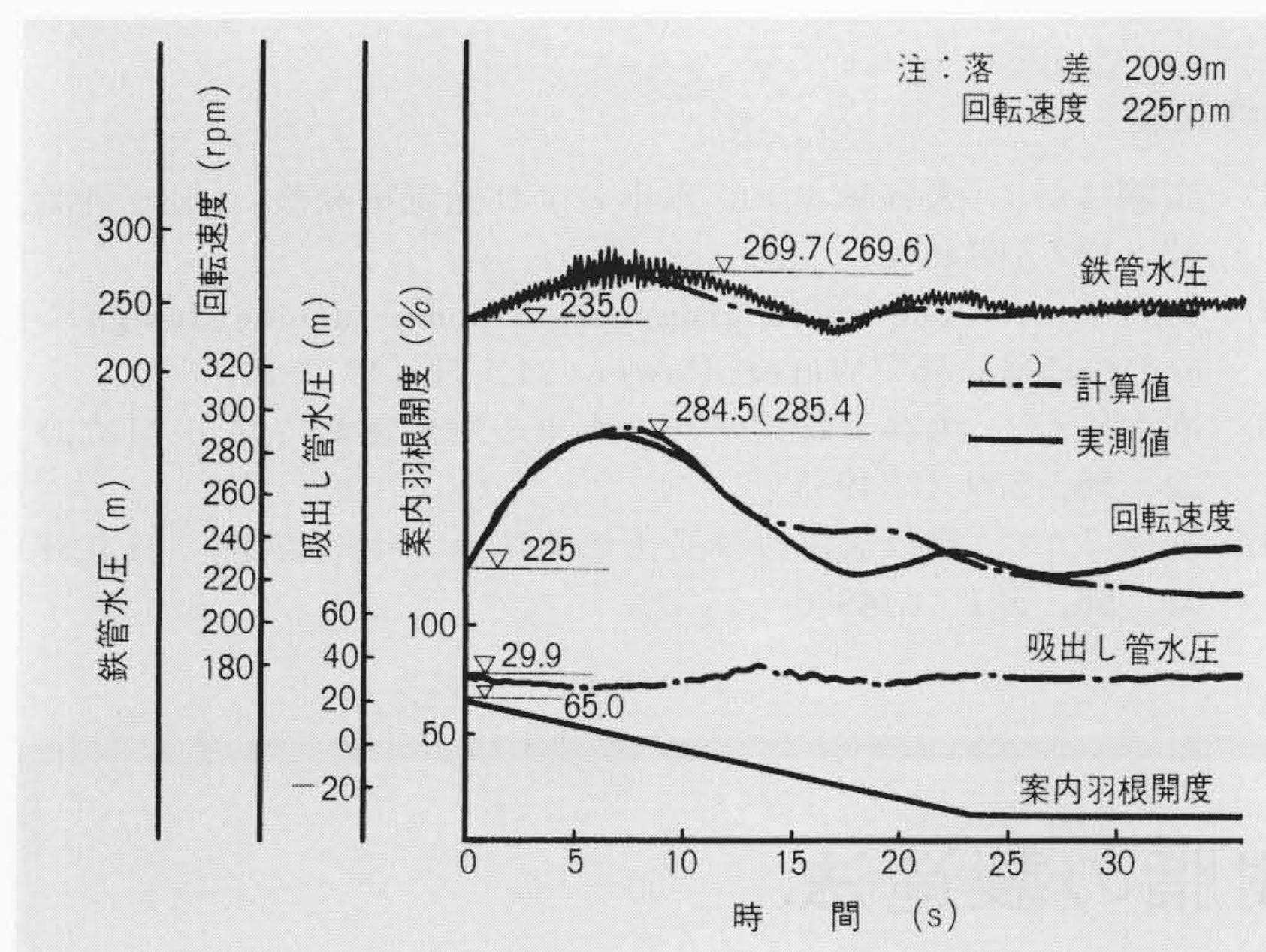


図5 ベア・スワンプ発電所用320MWポンプ水車負荷しゃ断試験結果 低落差における負荷しゃ断試験結果を示す。試験結果と計算値はよく一致している。

Fig. 5 Results of Load Rejection Test for Bear Swamp Power Station

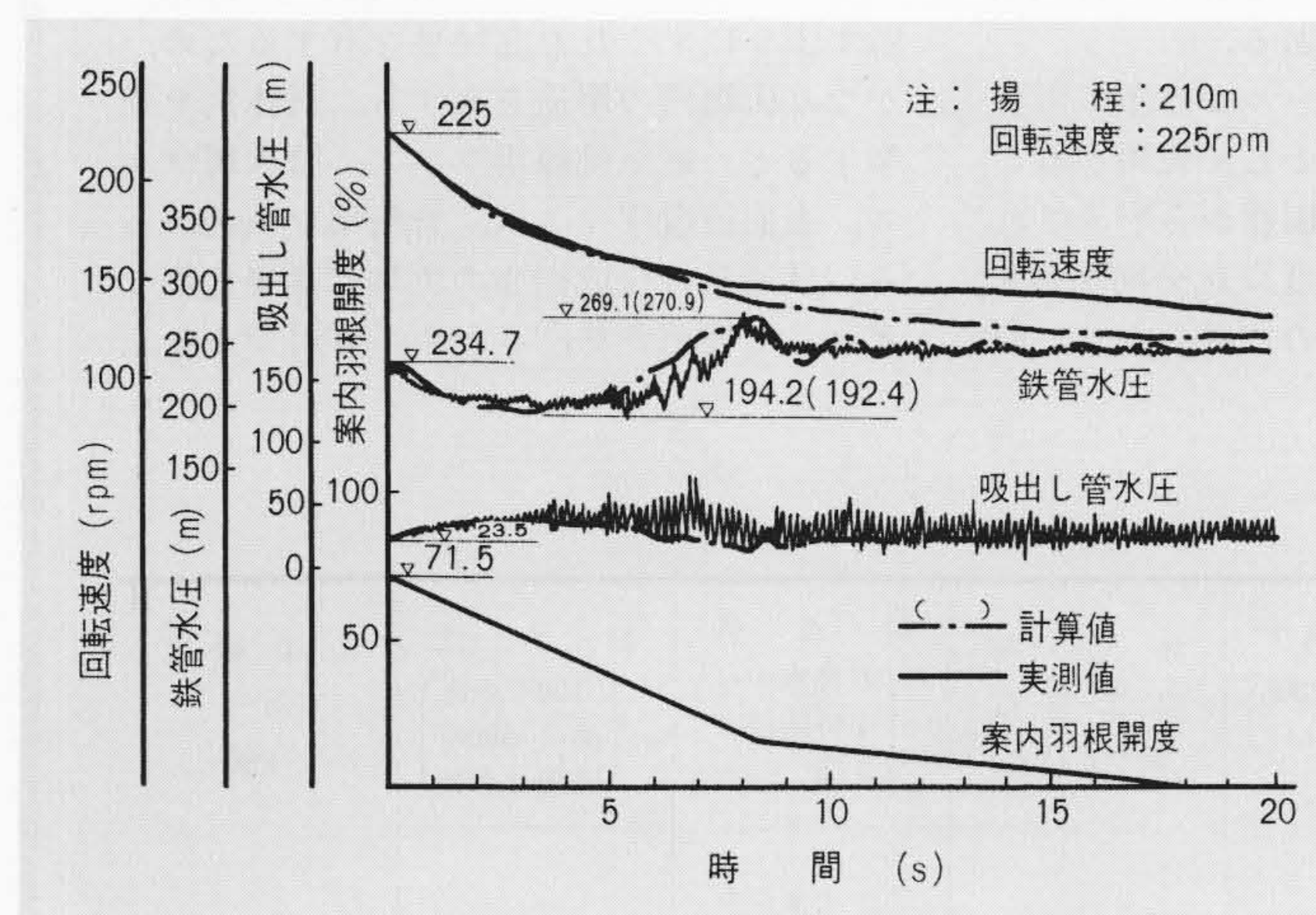


図6 ベア・スワンプ発電所用320MWポンプ水車入力しゃ断試験結果 低揚程における入力しゃ断試験結果を示す。試験結果と計算値はよく一致している。

Fig. 6 Results of Input Rejection Test for Bear Swamp Power Station

と過渡特性の関係をあらかじめ電子計算機により求め、現地試験に臨んでいる。現地試験結果は計算結果とほとんど一致することが認められている。図5及び図6にベア・スワンプ発電所の例を示した。

3.2 フランシス水車

イリヤ・ソルティラ発電所は総出力 320MWのブラジル最大の発電所である。日立製作所では、このうち水車4台を受注し、昭和48年12月4台目の現地試験を終え営業運転に入った。

(1) 水車負荷試験

現地試験当時には、ダムが完成しておらず、最低落差に近

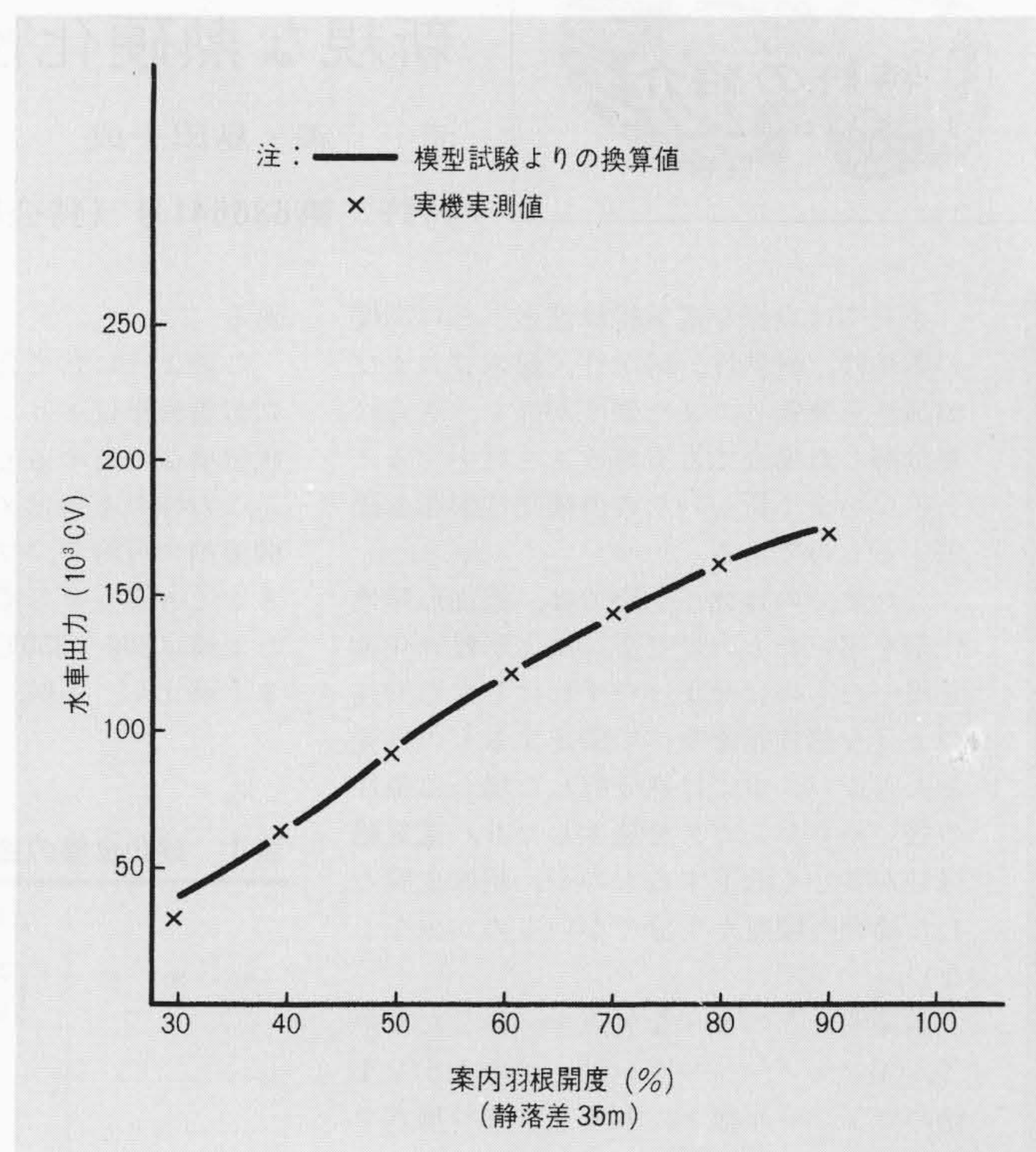


図7 イリヤ・ソルティラ発電所水車出力試験結果 静落差35m時における水車出力試験結果を示す。実機実測値と、模型試験よりの換算値が良く一致している。

Fig. 7 Results of Turbine Load Test for Ilha Solteira Power Station

い静落差 36.52m で、案内羽根開度-出力試験を実施した。その結果は、図 7 に示すように模型試験結果とよく一致している。また運転結果も振動、騒音ともに非常に少なく、給気する必要はないものと判断された。

定常運転時における水車軸振れは最大15/100mmと静かな運転状態であった。

(2) 水車負荷しゃ断試験

この発電所のペンストックは、発電所がダム直下に設けられたので非常に短いことが特徴である。

図 8 に静落差 36.65m における負荷しゃ断試験結果を示す。この試験結果より、最高落差時においても、水圧上昇値、回転数上昇値ともに保証値を満足することが確認された。

4 結 言

水車及びポンプ水車の大容量化、高速化の技術は、水力プラントの総合的な経済化の基礎となるものであり、前述の一連の水車の運転開始は、大容量、高速化が進むなかで発生した数々の問題点を解決し、基礎技術の確立、新技術の導入及び信頼性の向上をなし得た点において重要な意義をもち、この分野において世界をリードするものと考えている。

終わりに、本稿が水力発電技術の発展の一助ともなれば筆者らの幸いとするところである。

参考文献

- (1) 高瀬ほか：「大容量ポンプ水車および発電電動機」 日立評論 53, 182 (昭46-2)
- (2) 田高ほか，“The rapid progress of pump-turbine design and techniques” Water Power 24, 71 (1972-2)
- (3) 高瀬ほか：「大容量輸出ポンプ水車の現地運転特性」 日立評論 56, 209 (昭49-3)
- (4) 妹島ほか：「鋼板製溶接構造大形水車ランナの製作」 日立評論 56, 521 (昭49-6)

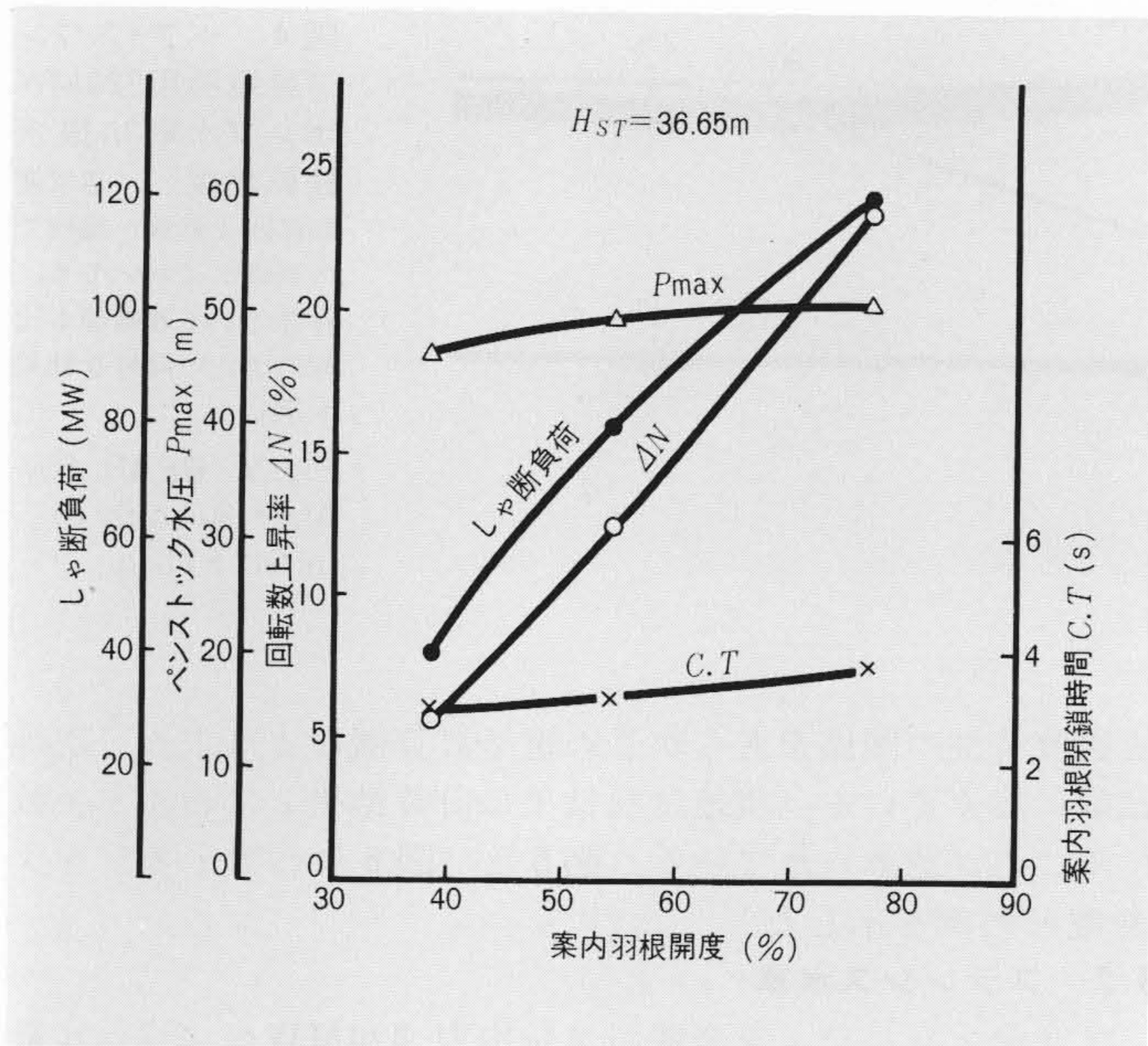


図 8 イリヤ・ソルティラ発電所水車負荷しゃ断試験結果 静落差36.65mにおける負荷しゃ断試験結果を示す。

Fig. 8 Results of Load Rejection Test for Ilha Solteira Power Station



新規な熱硬化性樹脂の製造法

浦 満・島田一成

特許 第636641号 (特公昭46-25874号)

本発明は良好な電気絶縁性ととともに高度の難燃性、耐熱性、耐湿性、耐水性および耐油性を兼備し、また硬度が高く、さらに熱分解した場合でも有毒ガスを発生することのない全く新しい形の熱硬化性樹脂を提供するものである。

これまでの難燃性樹脂では、添加形難燃化剤を用いたものにせよ、反応形難燃化剤を用いたものにせよ、いずれにしても前述のような諸性能をすべて満足するものは見あたらない。中には熱分解した場合に毒性の強いハロゲンガスを発生したり、電気絶縁性が著しく低下するものや、絶縁皮膜とした場合の硬度が十分でないものが少なくない。

本発明はそのような欠点を一掃したもので、(a)フェノールやクレゾールのような1価のフェノール類と、(b)安息香酸や無水フタル酸のような飽和カルボン酸、それに、(c)五酸化リンあるいはポリリン酸とを加熱反応させることによって達成されるもので

ある。

このようにして合成された樹脂は分子中に芳香族単位とリン原子とを有する新規な化学構造を有するものである。

この種のものはメタノールなど多くの有機溶剤に可溶で、ワニスとして使用することができる。そしてこの樹脂から形成された皮膜は300～350℃の温度に数分間加熱すると硬化し、不融、不溶の皮膜となり、前

述のような数多くの特長を備えた絶縁性の皮膜に変換するものである。

このようにして得られる皮膜は、表1に示すようにすぐれた諸特性を有するため、かなり広範囲の用途を有する。具体例を列举すると、電気絶縁用ワニス、防火用ワニス、表面被覆用ワニス、含浸用ワニス、あるいは通常の合成樹脂の添加形難燃化剤などとして使用され、きわめて有用である。

表1 硬化皮膜の諸特性

難 燃 性	加熱減量率 (200℃/200h) 加熱後	熱 分 解 開始温度 (熱てんびん)	耐 水 性 (煮沸水中に 1時間浸せ き後)	耐 油 性 (150℃の鉱 油に 500時 間浸せき後)	鉛 筆 硬 度 (室温～ 250℃)
バーナ炎で赤熱しても着火せず	13%	400℃	バーナ炎にさらしても着火せず	同 左	9 H以上