

最近の高速・大容量発電電動機の動向

Recent Trends in High-Speed, Large-Capacity Generator-Motors

In recent years, generator-motors have been growing by leaps and bounds in unit capacity and speed, and many even larger units are being planned whose specifications are close to existing manufacturing limits. Factors affecting manufacturing limits involve output coefficient, vibration, ventilation, thrust bearing structure and insulation class, among others. This article deals with these factors, as well as some important current and projected problems with generator-motors, including: (1) a newly developed generator-motor construction that uses "Δ" ring-type thrust bracket and vibration-absorbing stay; (2) research and tests conducted to conform with increasingly stringent thrust bearing specifications; (3) thyristor starting method; (4) forced ventilation system; (5) direct water cooling method; and (6) structures of new types of thrust bearing, rotor, stator and bracket.

立石貞夫* Sadao Tateishi
谷越敏彦* Toshihiko Tanikoshi
実松俊弘* Toshihiro Sanematsu

1 緒 言

近年の大容量火力・原子力発電所の建設に伴いピーク負荷時の供給と事故時などに短時間で稼動可能な予備力とを確保するために、大容量揚水発電所の計画が各所に進められている。一方、土木工事量の低減と揚水発電の経済性を高めるため発電電動機は近年ますます高速・大容量化の傾向にある。日立製作所は高速・大容量発電電動機として昭和45年に 250 MVA 225rpmを完成し、その後320 MVA 257rpm, 250 MVA 375rpm, 265 MVA 400rpmなどを次々に完成してきた^{(1),(2)}。本稿ではこれら高速・大容量機の動向について述べる。

2 高速・大容量化の傾向

表1は発電電動機の一覧表である。単機容量で300 MVA以上、回転速度で300rpm以上のものが既に多数製作されているが、世界においてもアメリカのラックーン発電所425 MVA 300rpmをはじめとする高速大容量機が建設されつつあり、今後この傾向はますます大きくなるものと思われる。これを単機容量、回転速度の推移で示したものが図1である。急速な高速・大容量化に対処するために事前のコンポーネント試作試験が実施され、幾多の新技术が開発採用されている。強制通風冷却、昇圧給油推力軸受、金属ばね式防振構造、Δリング形スラストブラケットなどがそれであり、またF種絶縁、固定子及び回転子の水冷却、水冷却軸受などが実用の段階にきている。図2にこれらの研究開発の経過を示す。

3 製作限界

高速大容量機の出現につれて発電機の製作技術も進歩し、空冷機としての製作限度も漸次拡大されつつある。製作限界を決定する要因は次の四つがその主なものである。

第一は出力係数である。一般に発電機の出力と体格の間には次式が成り立つ。

$$P \leq K \cdot N \cdot D^2 \cdot L \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、

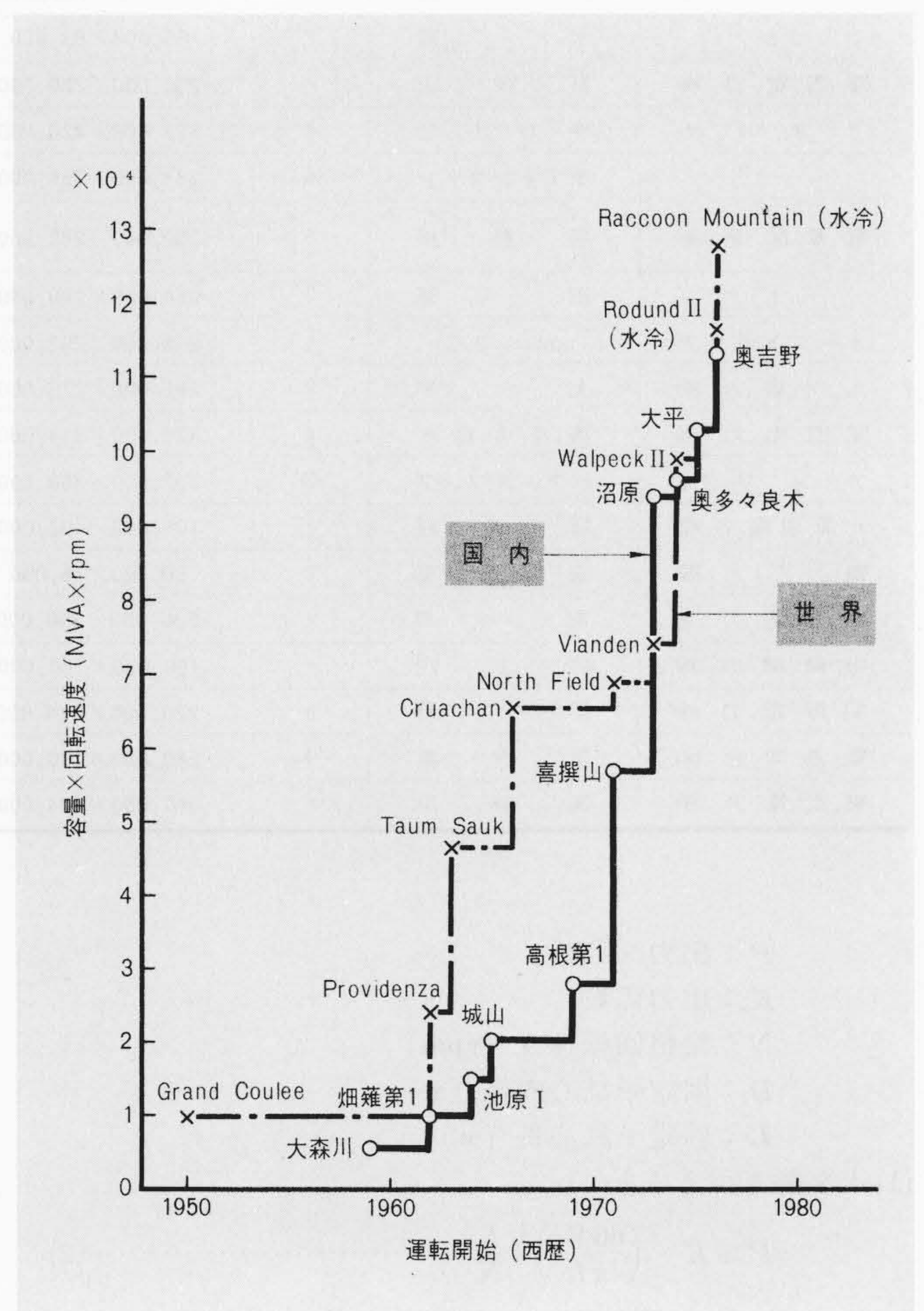


図1 容量×回転速度の推移 単機容量の増大と高速化が急速に進んでいる。

Fig. 1 Tendency of Generator-Motor Capacity and Speed

*日立製作所日立工場

表1 発電電動機一覧表 世界においても、高速大容量機を備えた発電所が建設されつつあり、今後この傾向はますます大きくなるものと思われる。

Table 1 List of Generator-motors

発 電 所 名	台 数	容 量 (kVA／kW)	電 圧 (kV)	回 転 数 (rpm)	極 数	数 周 波 (Hz)	納 入 年	
東京電力(株)	沼 沢 沼	2	23,000／21,000	11	500／600	12	50／60	1951
四国電力(株)	大 森 川	1	14,000／15,000	〃	400	18	60	1958
九州電力(株)	諸 塚	〃	58,000／56,000	〃	300	24	〃	1960
中部電力(株)	畑 薙	3	50,000／46,000	〃	200	36	〃	1961
関西電力(株)	三 尾	1	37,000／37,000	11／10.5	277	26	〃	1962
電源開発(株)	黒 又 2	〃	19,000／20,500	〃	300／333	20／18	50	1963
〃	池 原（Ⅰ期）	2	78,000／80,500	13.2／12.6	180	40	60	〃
四国電力(株)	穴 内 川	1	14,500／14,500	6.6	360	20	〃	〃
神 奈 川 県	城 山	2	70,000／73,000	18／17	300	〃	50	〃
〃	〃	〃	70,000／71,600	〃	273	22	〃	〃
東京電力(株)	矢 木 沢	3	85,000／85,000	13.8／12.6	150	40	〃	1965
電源開発(株)	池 原（Ⅱ期）	2	110,000／110,000	16.5／15.7	〃	48	60	〃
中部電力(株)	新 成 羽 川	3	79,000／73,000	13.2／12.6	144	50	〃	1967
電源開発(株)	長 野	2	120,000／120,000	16.5／15.7	150	48	〃	〃
四国電力(株)	蔭 平	1	51,000／47,000	13.8／13.2	240	30	〃	〃
中部電力(株)	高 根 第 一	4	100,000／97,000	13.2／13.2	277	26	〃	1968
東京電力(株)	安 曇	〃	109,000／106,000	15.4／14.0	187	32	50	〃
〃	水 殿	2	65,000／63,000	11／10	150	40	60	1969
関西電力(株)	喜 撰 山	〃	250,000／250,000	16.5／16.5	225	32	〃	1970
ア メ リ カ	ギ ル ボ ア	4	320,000／420,000HP	17／17	257	28	〃	1971
〃	ラディングトン	6	388,000／388,000	20／20	112.5	64	〃	〃
電源開発(株)	新 豊 根	5	250,000／260,000	16.5／16.5	257, 250 214／257	28, 24, 28	60, 50, 60/50	1972
〃	沼 原	3	250,000／250,000	〃	375	16	50	〃
オーストラリア	Tumat 3	〃	278,000／263,000	15.4／15.4	187.5	32	〃	1973
九州電力(株)	大 平	2	265,000／277,000	11／11	400	18	60	〃
関西電力(株)	奥 多 々 良 木	4	320,000／314,000	18／18	300	24	〃	〃
ア メ リ カ	ベア・スワンプ	2	333,000／309,590	13.8／13.8	225	32	〃	1973, 1975
北海道電力(株)	新 冠	〃	105,000／102,000	13.2／13.2	231	26	50	1973
韓 国	安 東	2	50,000／46,000	11／11	189	38	60	1974
中国電力(株)	南 原	〃	326,000／350,000	20／20	257	28	〃	1975
中部電力(株)	馬 瀬 川	〃	160,000／160,000	13.2／13.2	180	40	〃	〃
関西電力(株)	奥 吉 野	3	220,000／214,000	11／11	514	14	〃	1976
電源開発(株)	奥 清 津	4	280,000／280,000	16.5／16.5	375	16	50	〃
東京電力(株)	高 瀬 川	〃	367,000／324,000	18／18	214	28	〃	〃

P ：出力 (kVA)
 K ：出力係数
 N ：定格回転速度 (rpm)
 D ：固定子鉄心内径 (m)
 L ：固定子鉄心長 (m)

(1)式を書き替えると、

$$P \leq K \cdot \left(\frac{60 V_r}{\pi R} \right)^2 \frac{L}{N} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 V_r ：最大速度時周速 (m/s)
 R ：最大速度と定格回転速度の比
 K は電気装荷と空げき磁束密度の積に比例する定数であり、空冷機B種絶縁の場合、従来の経験より $K=9$ 程度が限界と考えられる。また、 D の上限は最大速度における回転子の強度から決まり、材料の市場性を考慮すると回転子最大周速は約170m/s 程度である。また、 L については機械の振動、冷

却特性などによって制限され、その上限は3.5m程度である。
第二の要因は危険速度であり、軸系の剛性と回転子を支持する部分の剛性が製作限界を決める要因となる。一般に軸系の剛性は高く支持部の剛性が支配的な場合が多い。軸系の剛性が十分大きいものとし、振動系を一自由度と仮定すると振動方程式より次式が得られる。

$$K_s \geq a N_c^2 W \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 K_s ：支持部のばね定数 (t/cm)

$$a：定数 = \frac{1}{300^2}$$

N_c ：危険速度 (rpm)

W ：回転子重量 (t)

K_s の値は1,000～4,000t/cmであり、 N_c は最大速度の120%以上とするのが一般である。また W は出力、回転速度及び慣性定数などによって変わるが、大略の目安として $W=0.7 \frac{P}{N}$ とすると

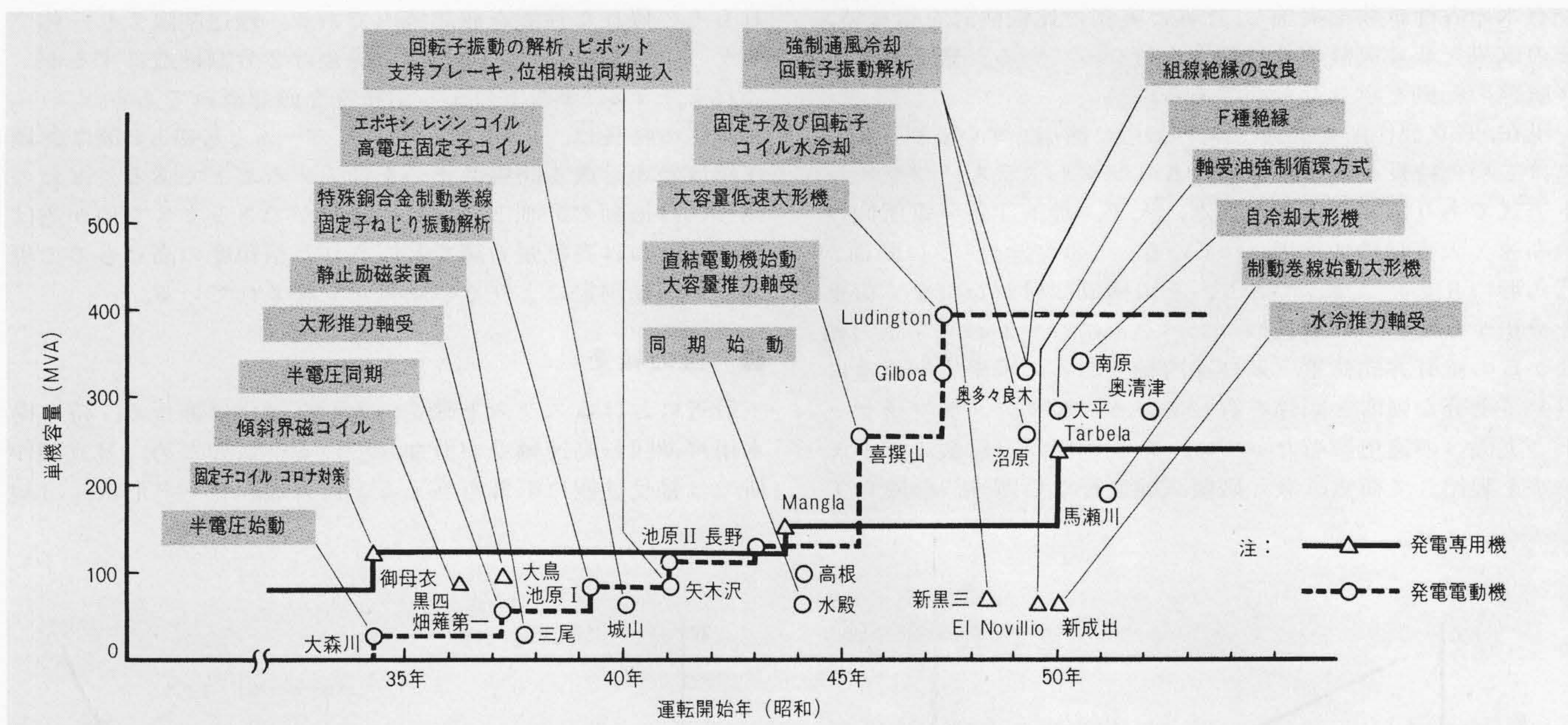


図2 水力発電機の研究開発経過 発電機大形化は、これを克服するための研究開発とともに歩んできた。

Fig. 2 Research and Development of Hydraulic Generators

(3)式は次のように書き替えられる。

$$P \leq 9 \times 10^4 \frac{K}{R^2 N} \dots \dots \dots (4)$$

第三の要因としては、推力軸受の製作限界が挙げられる。これを制限するものとしては軸受の荷重、支持方式と冷却がある。荷重は水車の形式にも左右され出力の関数として表現することは困難であり、個々の仕様について検討する必要がある。

第四の要因としては、通風面積がある。高速機になるほど直径は小、軸長は大となり磁極間の面積が小さくなる。回転速度から D の上限が決まり、取り得る極間最大面積が決まって通風量の上限が求まるが、これによって冷却可能な損失の最大値よりキロボルトアンペアの上限が決定されることになる。主軸、またはスパイダに通風孔を設けて、ロータリムの内周より通風するなどの方法をとれば製作限度は更に増大する。このように機器の構造と密接な関係があるので、通風についてはそれぞれのケースにつき十分検討することが必要である。

その他の要因としては輸送限界や材料の製作能力、無拘束速度、最大速度変動率、短絡比、リアクタンス及び GD^2 などの特殊仕様などがある。図3は(2)式で $K=9$, $Vr=160$, $R=1.5$, $L=3.5$ として得られる空冷限界の目安を示すものであり、他方危険速度の面からみると、この空冷限度を可能にする支持部剛性は約3,300t/cmとなり上部支持部に防振ステーを設けることにより可能になる範囲である。巻線の絶縁をB種よりF種に変更すれば温度上昇を高くとることができるために、同一出力、同一回転速度においては機械の小形化が可能となり、製作限界は約10~15%増大する。日立製作所においては80MVA以下の多数のタービン発電機でF種ハイモールドコイルの実績がある外、水力発電機においても50MVAで製作済みであり、これを高速・大容量機に適用する体制は整っている。日立ハイモールドコイルの主絶縁材料は耐コロナ性の優れたマイカと耐熱性エポキシレジンである。マイカテープ

に十分なレジンを含ませるため集成マイカを用い、機械的強度をもたせるためガラスクロスを裏打材として使用し、これに電気的特性、耐熱性の優れたエポキシレジン半硬化状態に保持したエポキシプリプレグマイカテープを開発応用したものである。図4、5にF種ハイモールドコイルの特性の一例を示す。

4 振 動

大形高速機においては、回転部の不平衡重量や水車側からの衝撃力による振動をいかに抑えるかが重要な問題となる。日立製作所においては、高速・大容量機の振動解析用として発電機と水車を直結したモデルを製作して制振構造の研究を行ってきた。図6はこのモデルの発電機側を示す写真を、図7はその断面図を示すものである。本モデルにより、無水及

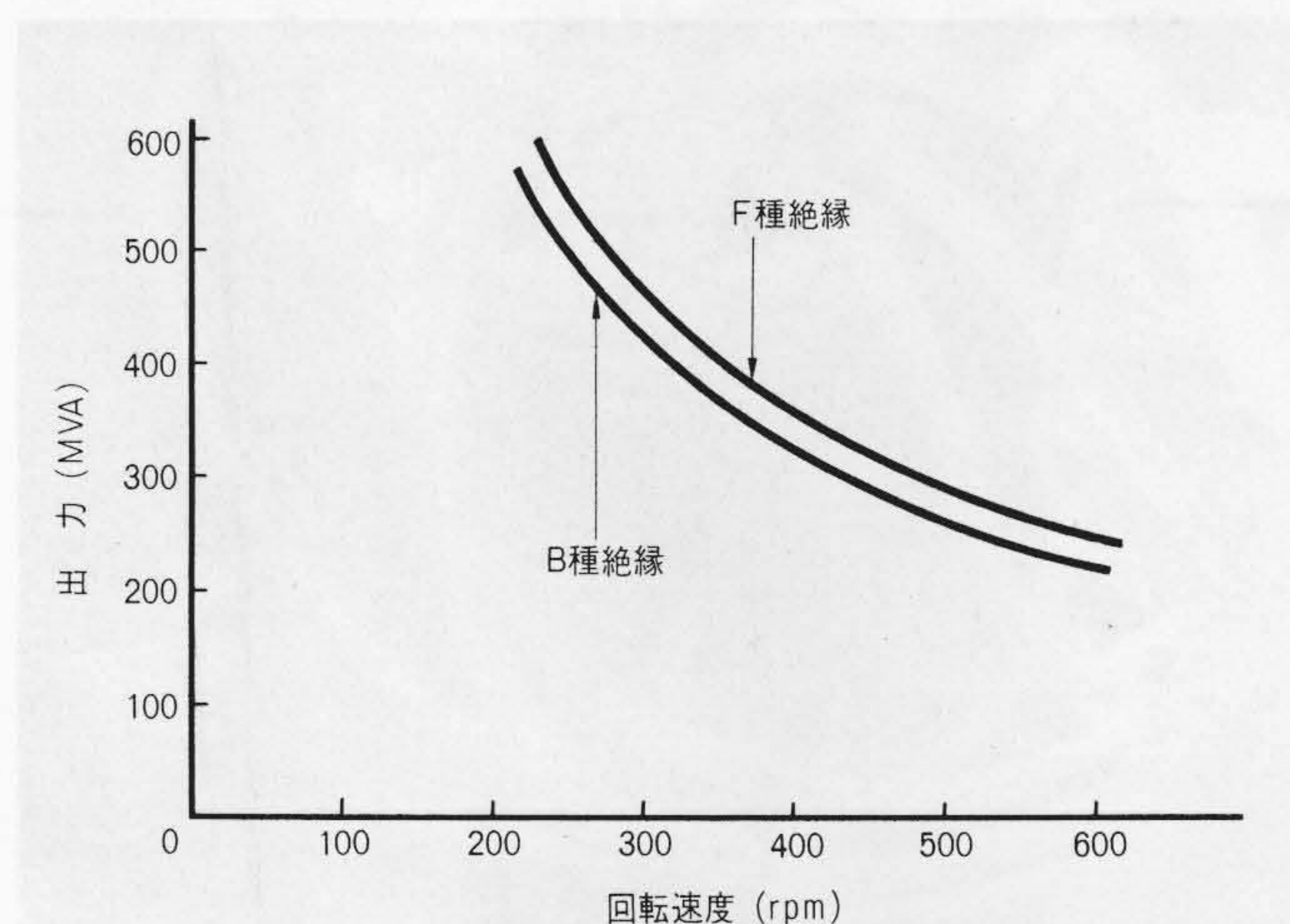


図3 空気冷却水力発電機の製作限界 本図は製作限界の概略を示すものであり限界近くのものには具体的な条件により十分検討する必要がある。

Fig. 3 Manufacturing Limit of Air-cooled Hydraulic Generators

び有水の各種試験を実施し、計算と実測の比較検討を行ない、その成果を基に実機的设计製作を行なっている。表2はモデル試験の一例を示したものである。

現在、日立製作所が高速・大容量機に適用している制振構造には二つの特長がある。第一は Δ リング形スラストブラケット方式であり沼原、奥多々良木、大平、奥清津各発電所向けの高速・大容量機で採用されている。このブラケットは断面が三角形のリングになっており、その構成部材がむだなく荷重を分担するため、軽量且つコンパクトにもかかわらず推力軸受からの垂直方向荷重、及び案内軸受からの水平方向荷重に対して十分な強度と剛性を有している。 Δ リング形ブラケットの実機への適用に当たっては、合成樹脂及び鉄製の縮小モデルを製作して荷重試験、破壊試験を行ない剛性、強度い

れもその優れた性能を確認済みである。輸送制限より一体ブラケットにすることができない場合は2分割構造にするが、これもモデルテストにより信頼性を確認済みである。

第二の特長は、上部ブラケットアームと基礎との間に金属圧縮ばねから成る防振ステーを挿入することである。ばねの剛性には振動の抑制と熱伸びの吸収ができるような値が選ばれる。ばねは高抗張力鋼で製作された信頼度の高いもので現地での振動測定によりその効果が立証されている。

5 推力軸受

最近におけるスラスト軸受の大形高速化は著しく、特に揚水用可逆回転高速軸受が増加している。このため、日立製作所では軸受性能に影響を与える支持方式、パッド形状、冷却

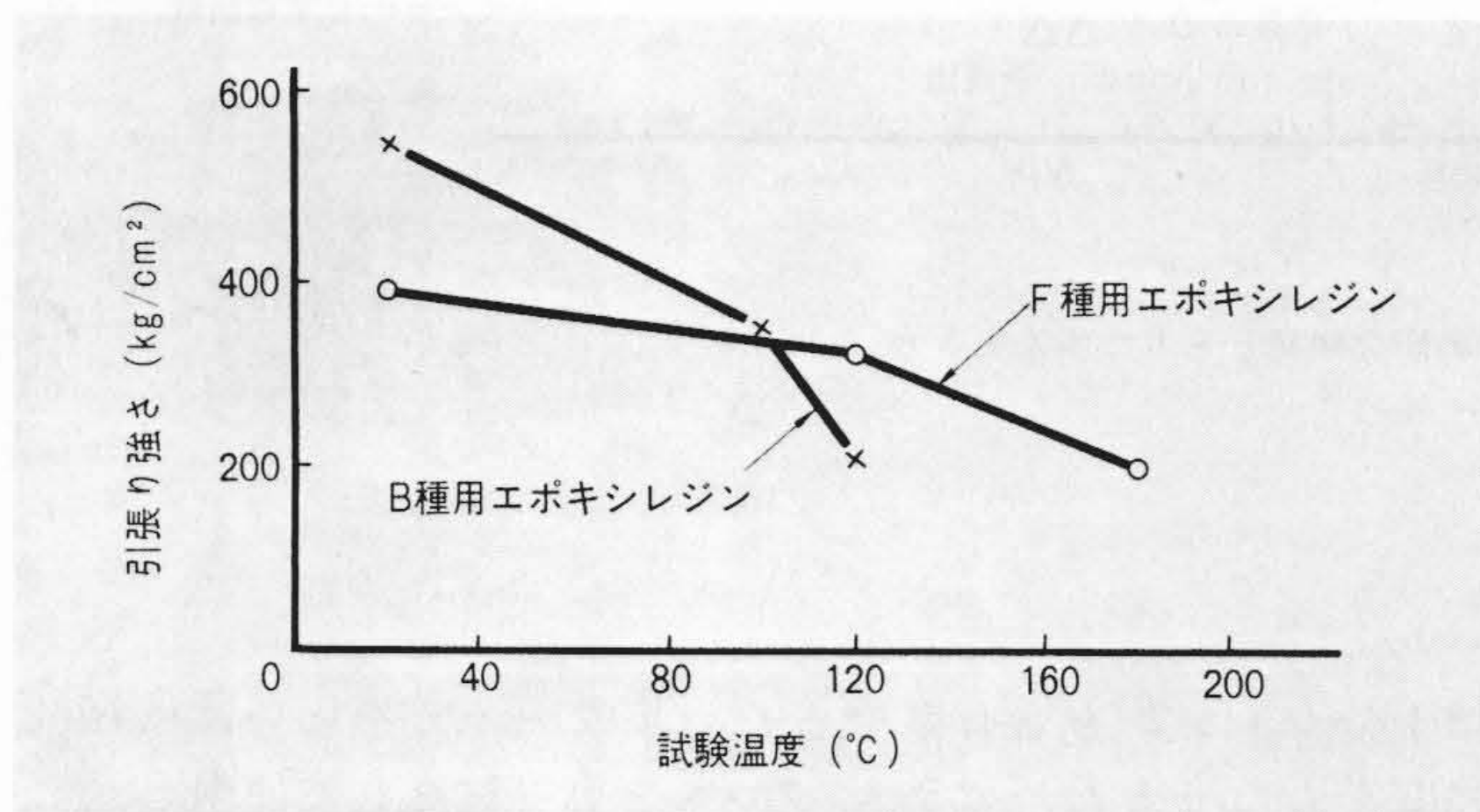


図4 F種プリプレグマイカ用レジンの引張り強さ F種用レジン、高温においても優れた特性をもっている。

Fig. 4 Tensile Strength of Resin for F Class Prepreg Mica

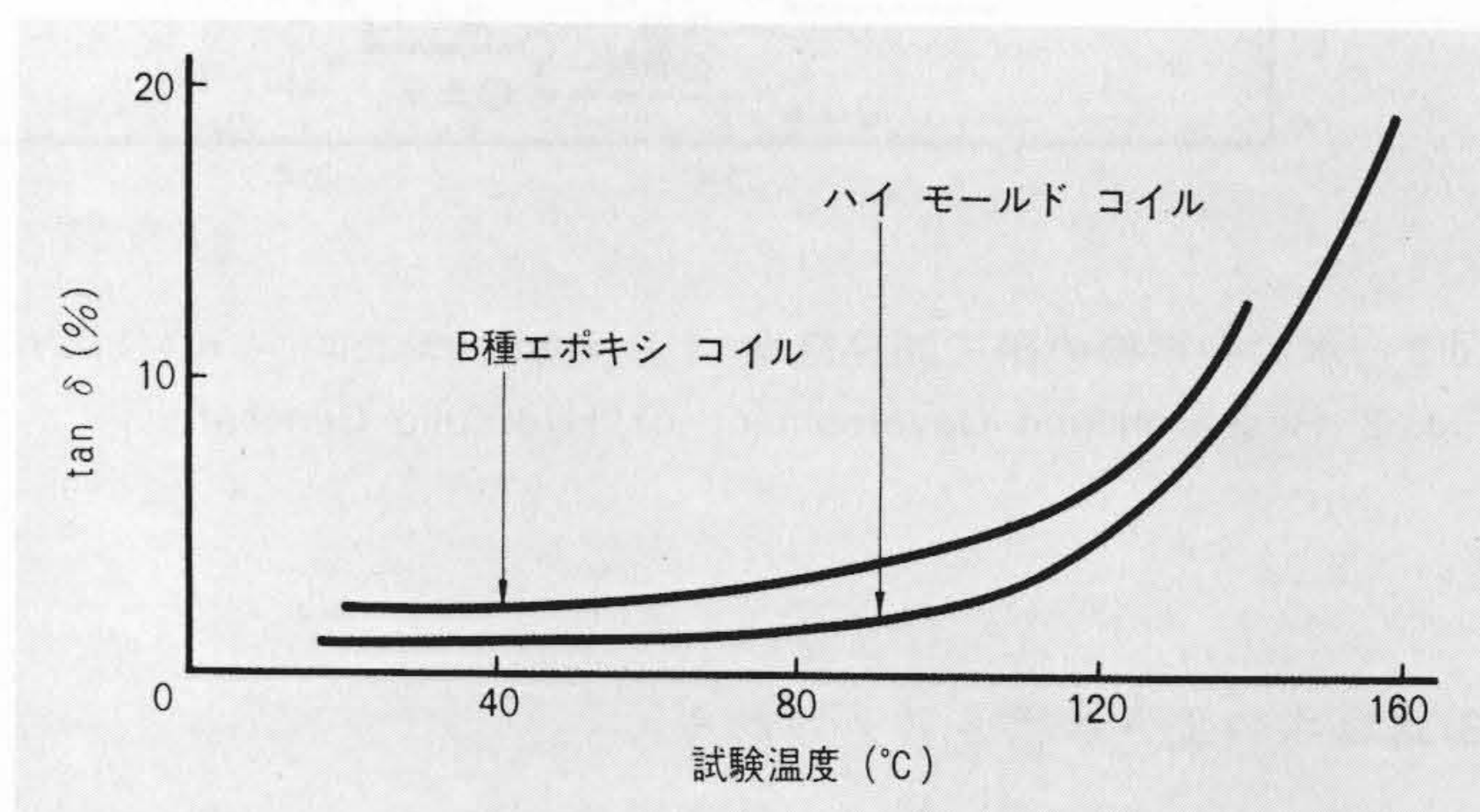


図5 ハイモールドコイルのtan δ-温度特性の一例 ハイモールドコイルのtan δ特性は、B種エポキシコイルより優れている。

Fig. 5 Tan δ-temperature Characteristics of Hi-mold Coil

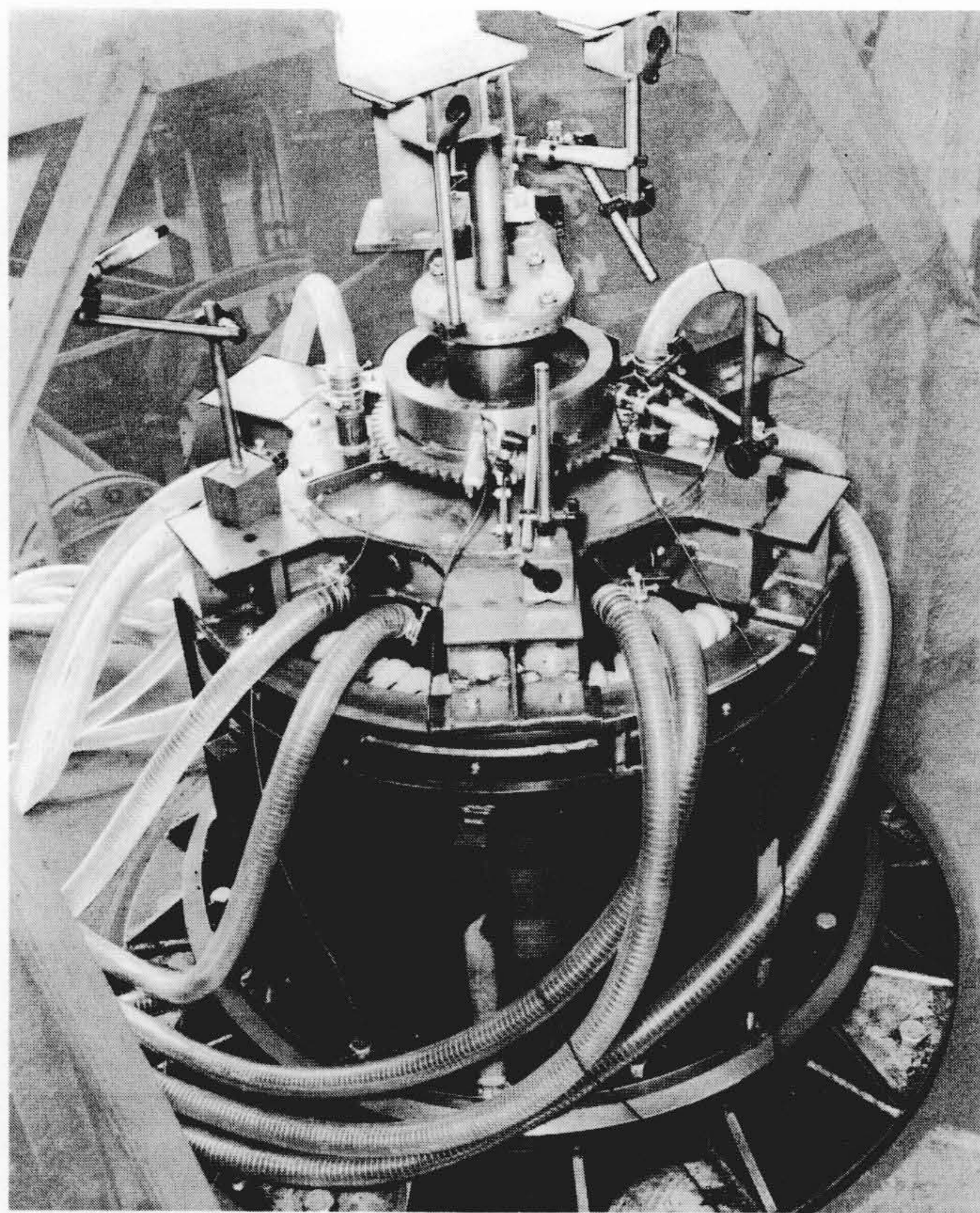


図6 高速・大容量機用振動モデル 発電機側の写真である。

Fig. 6 Vibration Model for High-Speed Large-Capacity Generator-Motor and Pump-Turbine

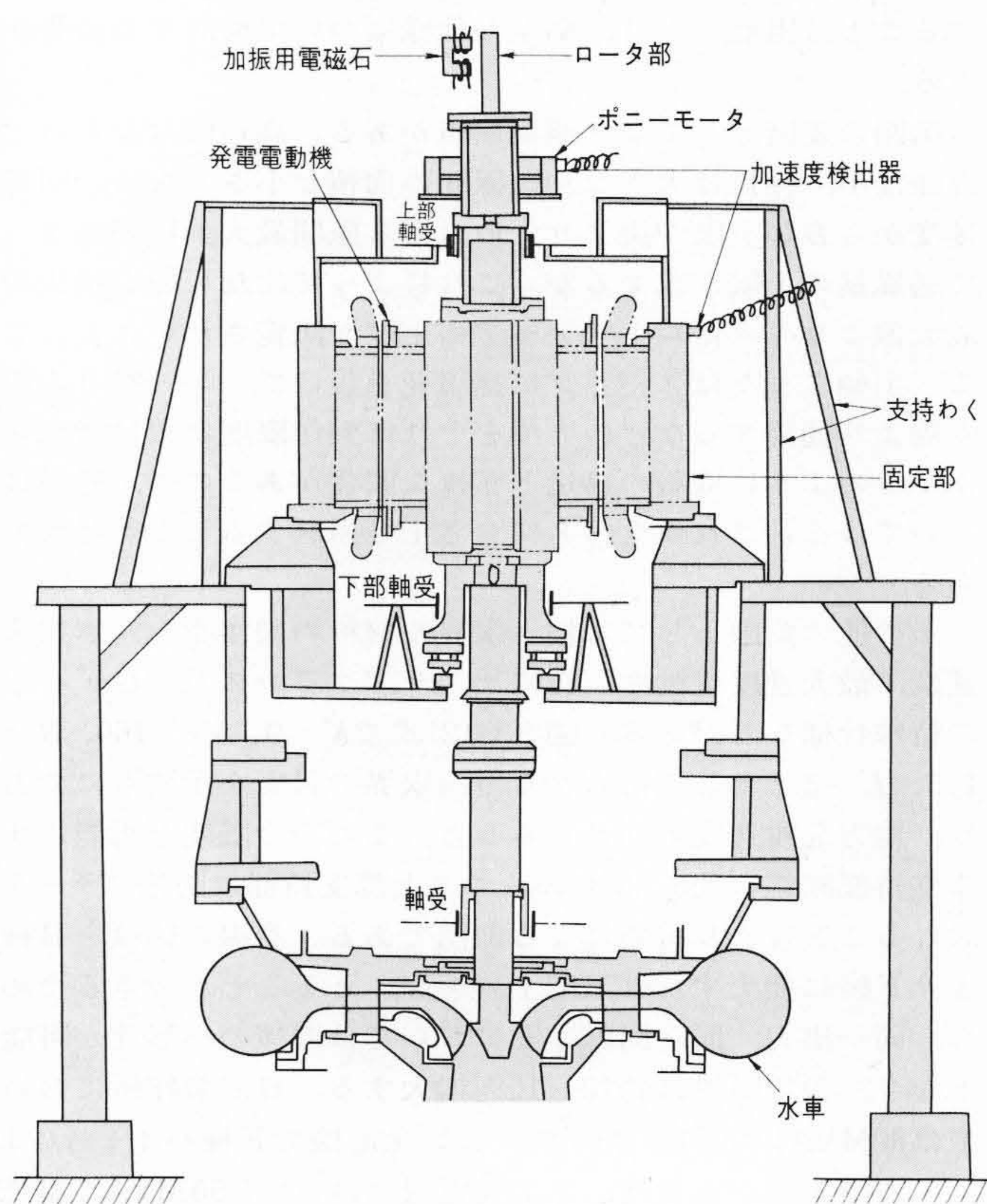


図7 ポンプ水車発電電動機振動モデル構造図 水車と発電機を直結した状態でモデル試験を行なった。

Fig. 7 Sectional View of Vibration Model

表 2 モデル軸系の固有振動数 本表は試験結果の一例である。実測と計算がよく一致している。

Table 2 An Example of Vibration Model Test

区 分	実 測 値	計 算 値
一次固有振動数 (Hz)	90	91
二次固有振動数 (Hz)	183	183

方式などについて油流試験、実荷重試験をそれぞれ小形油流試験機や、図 8 に示す大形試験機を用いて研究し開発を進めている。この外、大容量機の工場回転試験時に油膜厚さ、油膜温度、あるいは油膜圧力などを測定し、性能を確認するとともに、現地において予想される過渡的運転状態、及び冷却水断水などの異常状態における軸受特性を研究して、更に大形高速軸受の製作可能の見通しを得ている。推力軸受用オイルリフトは発電機の始動・停止時に推力軸受の油膜切れによる軸受異常の発生を防止する目的で設置される。一般にポンプセットは二組設置され一組が故障したとき自動的に他の組に運転が切り替えられるよう配慮されている。図 9 にオイルリフトの標準制御方式を示した。

6 始 動

大容量高速機の始動方式としては同期始動、又は直結電動機始動あるいはこれらの併用方式が採用されているが、更に高速になった場合、振動特性上直結電動機方式が困難になることが予想される。このようなニーズと最近のサイリスタ応用技術の進歩により、サイリスタ周波数変換装置を用いた同期始動方式が採用される気運にある。図 10 に発電電動機のサイリスタ始動回路を示す。同図において発電機軸上に取り付けられた分配器により回転子の位置を検出し、この信号によりサイリスタ変換器 II はインバータとしてその出力周波数、及び電圧が発電機に対して同期制御される。回転速度が同期速度近傍に達した後は、他の始動法と同じように同期投入装置からの信号によってサイリスタ始動装置が切り離され、発電電動機は系統に併入され揚水運転に入る。なおサイリスタ始動装置は、発電電動機を停止させるときの制動にも使用することができ、このときの動作は始動時とは逆に変換器 II を整流器動作、変換器 I をインバータ動作させることにより発電電動機の機械的エネルギーが電源に返還される。図 11 は日立製作所で実施したサイリスタ始動実験のオシログラムの一例であり、本始動方式を実機に採用できる態勢にある。

7 構 造

高速・大容量機の構造例を図 12 に示す。形式は一般に準かさ形が多いが、始動電動機がある場合は、上部案内軸受の位置を始動電動機の上に置くか下に置くかについては振動に対する検討を十分行なって決定する必要がある。通風方式を自己通風とするか、強制通風とするかは機械の仕様、構造などより慎重に決定しなければならないが、大略の目安は 300rpm 以上の大容量機は強制通風となろう。強制通風方式の場合、冷却ファンの配置、台数は通風径路やファンの寸法などを考慮して決定されるが、日立製作所の場合は 12～16 台のファンを固定子の上下に配置している。

磁極は特に高速機の場合には傾斜面を有する鉄心で構成し、コイルにかかる遠心力の横方向成分を小さくする構造としており、沼原及び大平各発電所納入のものがこの例である。

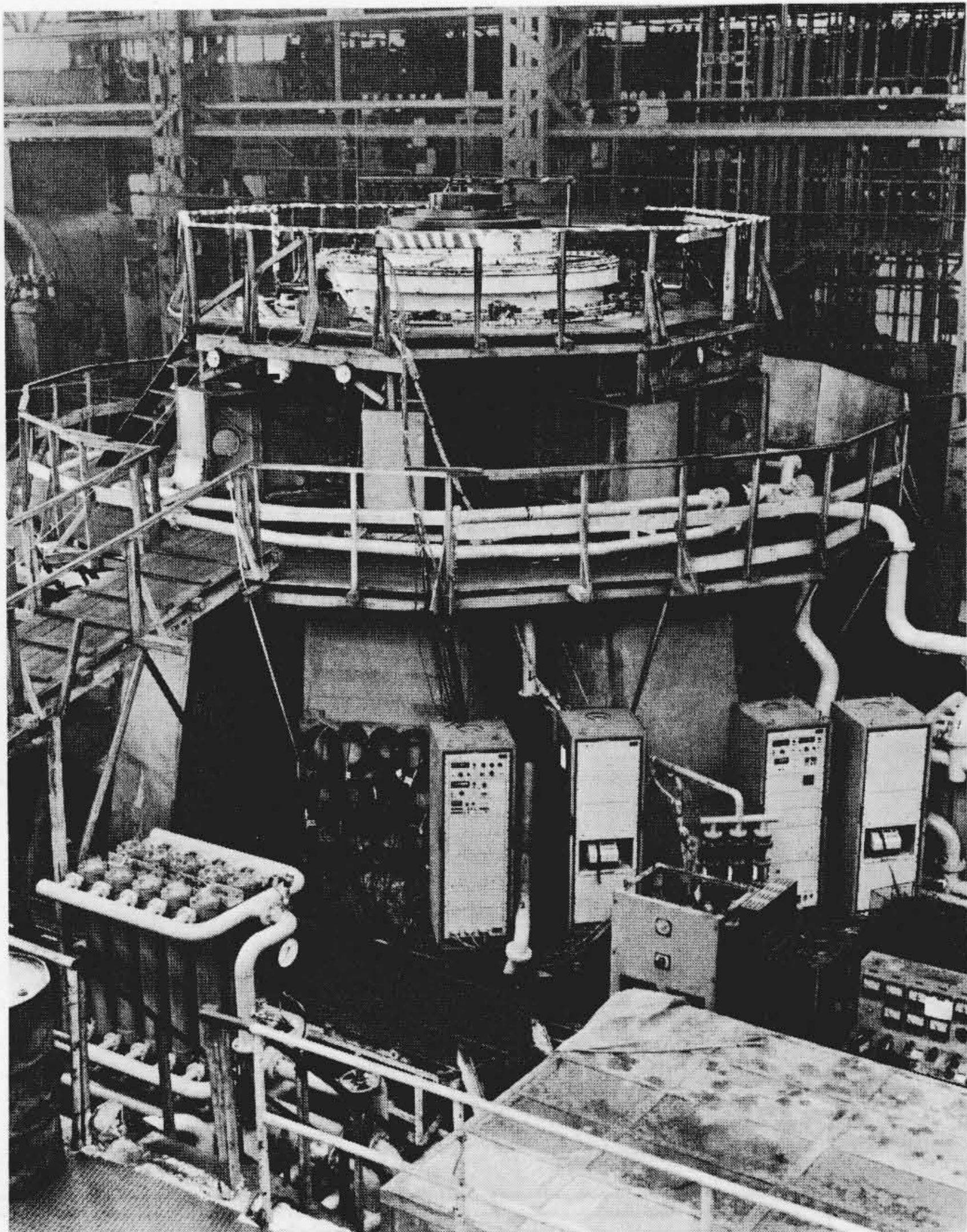


図 8 推力軸受実荷重大形試験機 高速・高荷重軸受が本試験機によって研究された。

Fig. 8 Large Test Equipment for Thrust Bearing

8 今後の問題

建設費の低減、経済的運用などから発電電動機はますます高速・大容量化する傾向にあり、これに対処するために検討を要する問題には次のようなものがある。

(1) 直接水冷却方式

従来の空気冷却では製作できないもの、あるいは空気冷却で製作可能な範囲であっても軽量小形化及び効率の高いことを特に要求される場合などのために直接水冷却方式を採用する発電機が我が国においても計画される段階に入った。日立製作所においても関西電力株式会社納め新黒部川第 3 発電所向けとして直接水冷却発電機を納入済みであり、水冷機製作技術確立しつつある。水冷却機では GD^2 の減少、過渡リアクタンスの増大、短絡化の減少などの問題があるので、これらは系統を含めて総合的に検討してゆかねばならない。

(2) スラスト軸受

普通冷却軸受では摺動面で発生する損失は大部分油膜の温度上昇に費やされ、それを軸受パッドの間隙の冷油によって冷却するので、油膜あるいはホワイトメタルの温度上昇、パッドの熱変形などの増大により製作限界がある。これを解決するものとして二層軸受と直接水冷却軸受がある。二層軸受は剛性を大きくして荷重変形が少ないようにした台金の上に、ホワイトメタルをライニングした薄い軸受を重ねて二層構造としたもので、上層軸受は荷重により常に下層台金に押し付けられるため熱変形がなく軸受の特性が改善され、パッドを小形化することにより損失低減が可能となる。更に直接水冷却の場合は、熱伝導度の高い裏金を用い摺動面近くに冷却

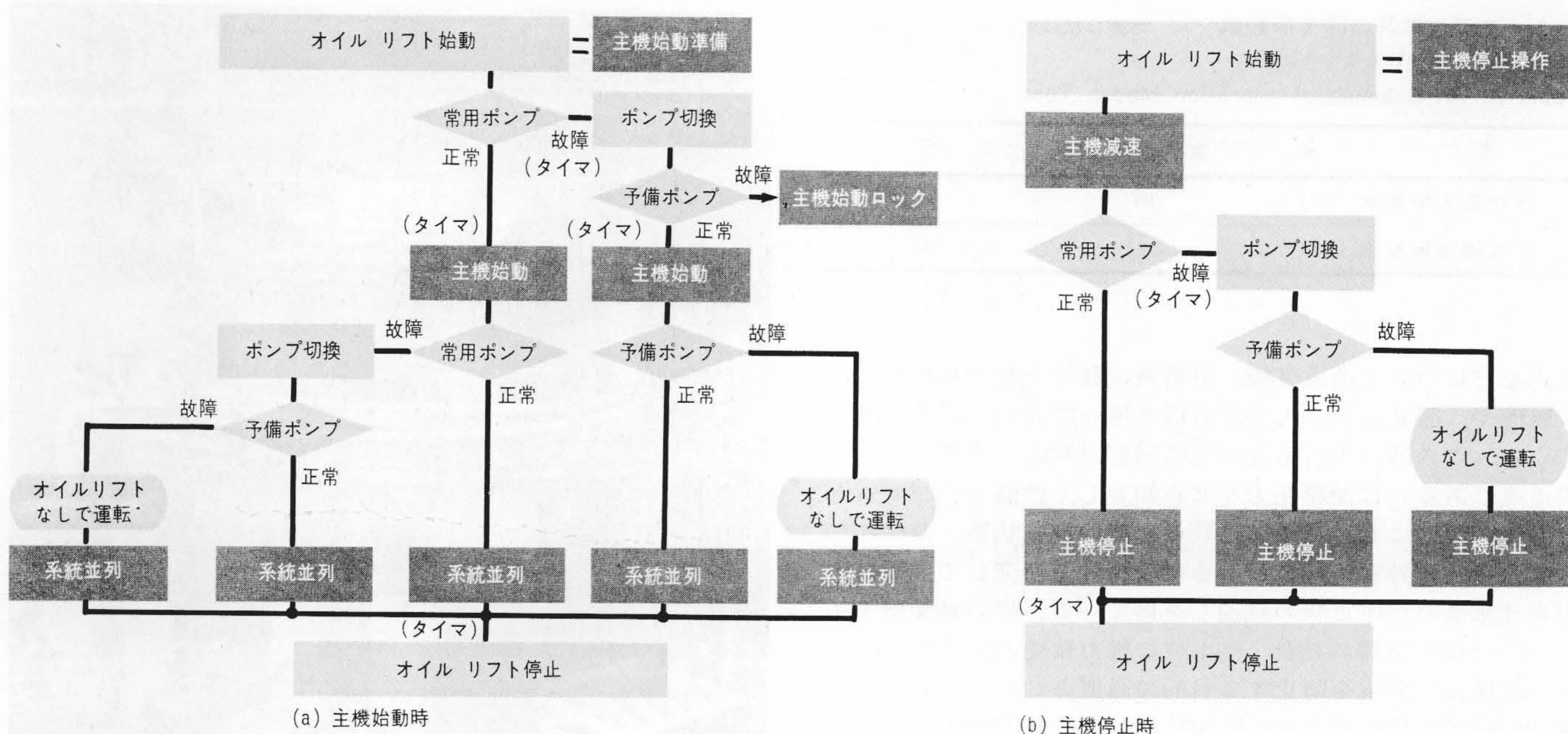


図9 オイル リフトの制御ブロック線図

大形高速軸受には常用、予備2セットのポンプを設置し、故

障時に自動切換ができるようにしている。

Fig. 9 Block Diagram of Oil Lift Control

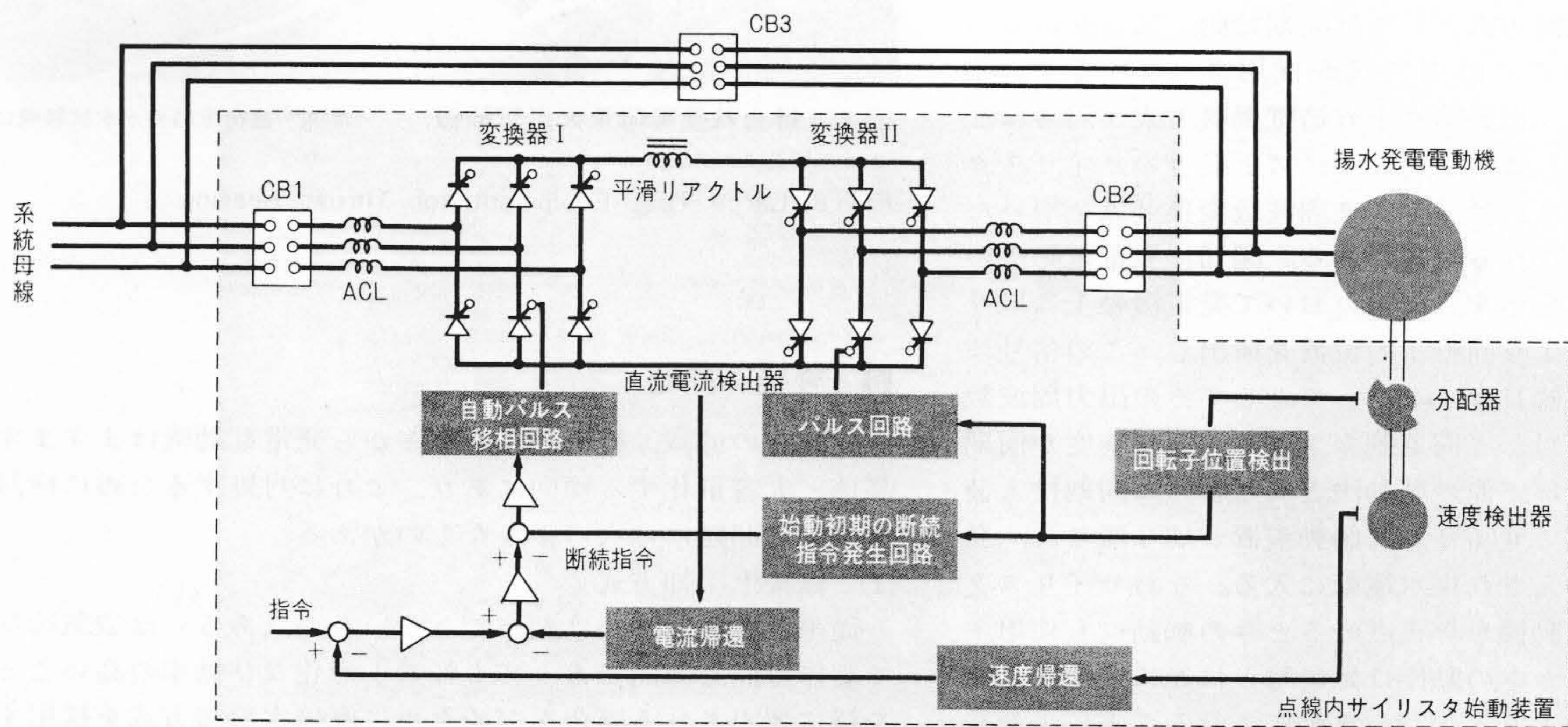


図10 揚水発電電動機のサイリスタ始動回路

発電機軸上に付けた分配器により変換器の出力周波数を

制御する。

Fig. 10 Thyristor Start Connection Diagram for Pumped Storage Generator-Motors

水を導入し、油膜を直接摺動面内で冷却できるようにして油膜温度を低くし摺動面に厚い油膜を形成しようとするものであり、これによって、より高面圧、小形化が可能となる。日立製作所においては64MVA発電機に直接水冷却軸受を採用し、高荷重軸受の製作態勢を確立した。

(3) 回転子の構造

高速大容量になるほど回転子の応力が大となり回転子の材料、構造が問題となる。ロータリムは材力の高いものの開発と同時に新しい積層構造を考案することが必要となろう。また、応力分布の均一化も重要な課題となる。全周一体構造の円環厚板リムとしなければならない場合もあり、これは輸送制限寸法と合わせ十分な検討を要する。また、回転子全体にわたり出っ張り部分を極力小さくして通風摩擦損を減らす

ためのくふうが必要である。

(4) 支持部の構造

高速回転による振動を抑えるためにブラケットなど支持部に対する剛性への要求はますます大となってくる。これにこたえるための支持部の合理的な構造の検討が必要となる。また大形機になれば、振動とともに熱変形も大となるので、これを吸収する新しい構造が必要となる場合がでてくる。

(5) 固定子の構造

頻繁な始動停止に伴うヒートサイクルはコイルやコアに対し過酷なものとなるので、絶縁材料や処理方法の改善とモデルによる信頼性の確認が一段と重要になってきた。コアの振動、緩み及び波打防止のためにコアの保持方法にくふうが払われているが、将来コア現地一体積みが必要になってくるこ

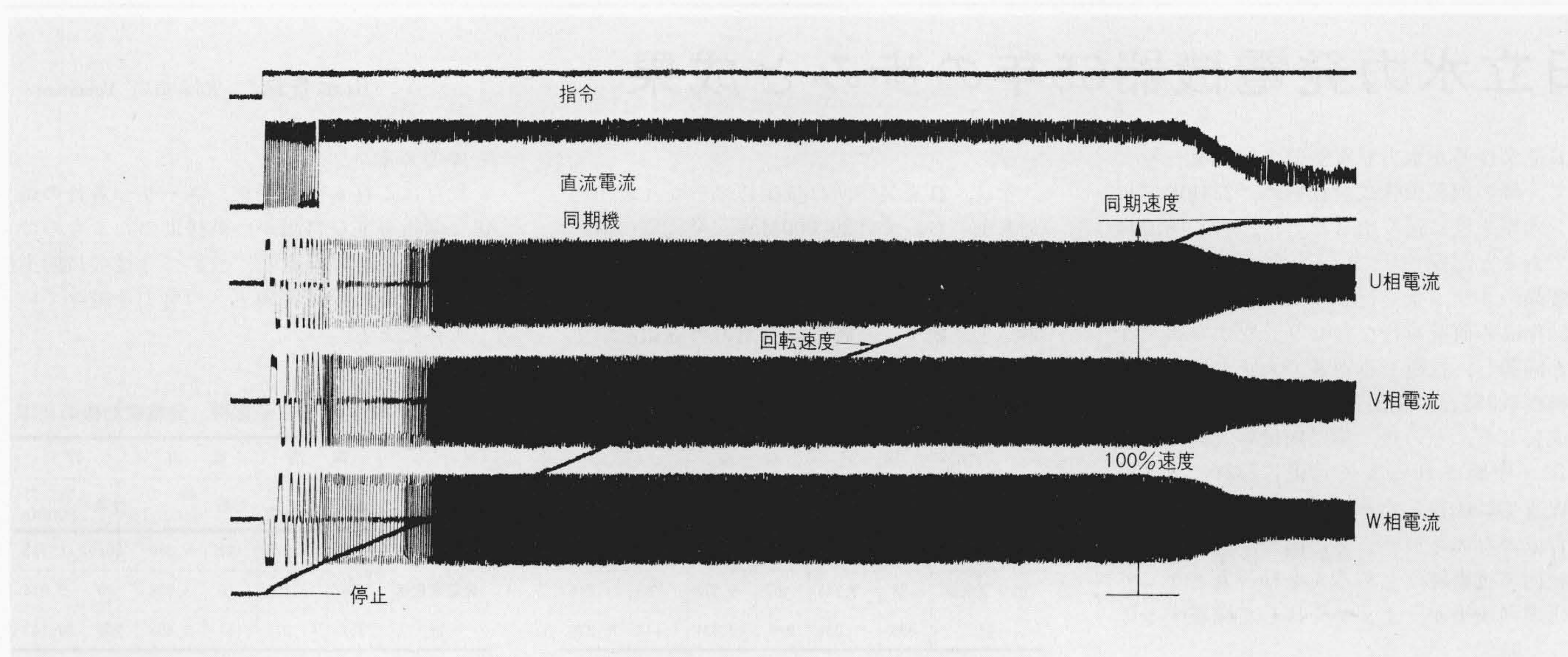


図11 発電電動機のサイリスタ始動 試験機のおシログラムであり、円滑な始動が可能であることが分った。

Fig. 11 Thyristor Starting of Generator-Motor

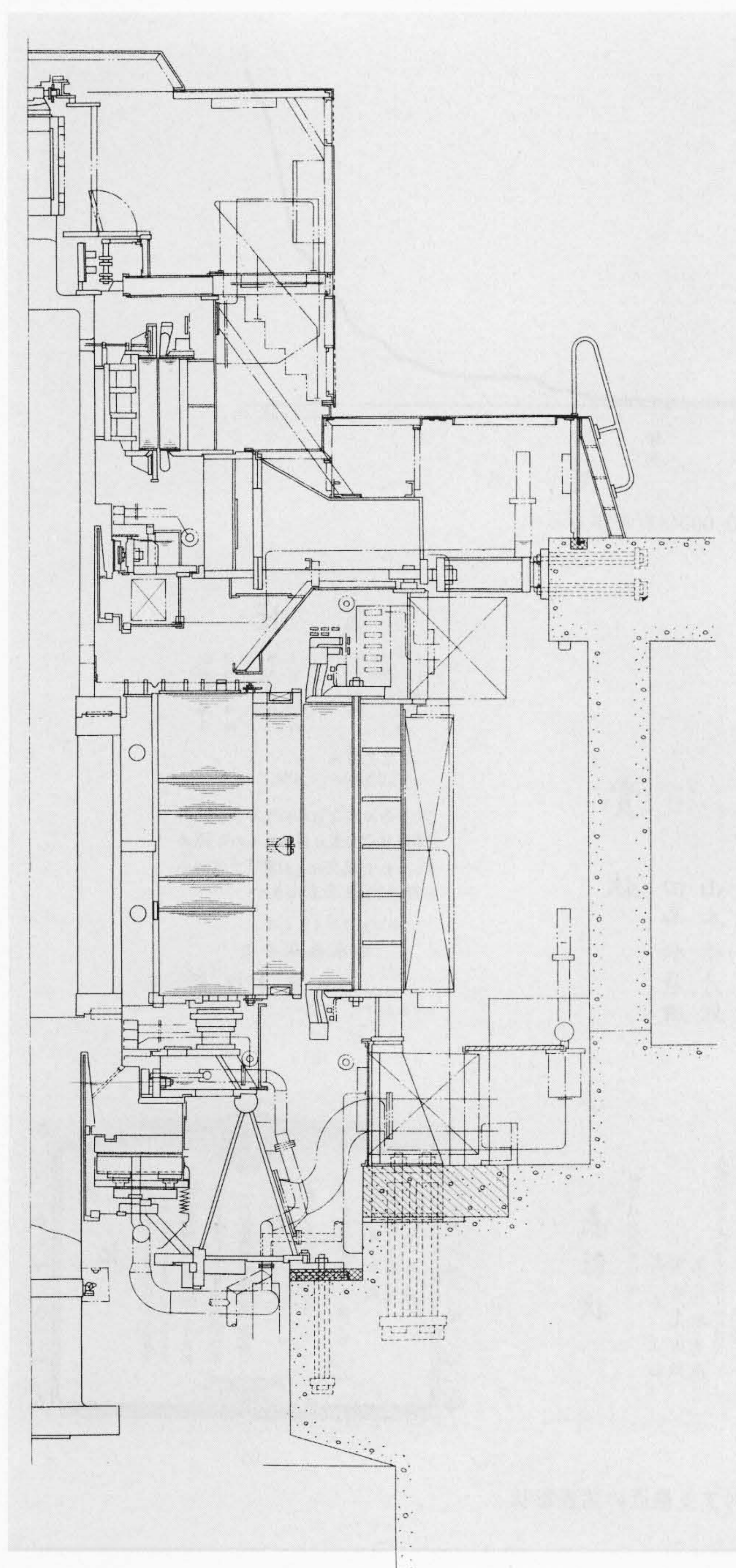


図12 高速・大容量機の構造断面図 発電電動機の上部に誘導電動機、上部案内軸受、防振ステーを、下部に推力軸受、下部案内軸受、リング形スラスト ブラケットを有する準かき形機の典型である。

Fig. 12 Construction of High-Speed Large-Capacity Generator-Motor

とも予想される。

(6) 工場試験

高速大容量機の工場回転試験はその受電設備容量より制限を受けることと、省エネルギーの観点より実施しない方向に向かっている。このための設計、製作、検査を含め総合的な品質保証体制の確立と現地試験方法の確立が重要課題である。日立製作所は輸出機をはじめとする多数の発電機に工場試験省略方式を採用し着実に実績を積み上げている。

9 結 言

我々は、電力会社をはじめ関係各位の御指導のもとに、300 MVA 300rpmを超える高速・大容量発電電動機を多数製作してきた。本稿ではこれら発電機の特徴、今後の問題点などに重点をおいて述べた。高速・大容量機の計画に当たり、幾分でも参考の資となれば筆者らの幸いとするところである。

参考文献

- (1) 田高, 谷越, 実松「電源開発株式会社沼原発電所用250MVA/250MW 発電電動機」 日立評論 55, 1187 (昭48-12)
- (2) 谷越, 実松「関西電力株式会社奥多々良木発電所納め320MVA/314MW 発電電動機」 日立評論 56, 109 (昭49-2)

日立水力発電機器65年の歩みと成果

山本景彦* Kagehiko Yamamoto

日立製作所が水力発電機器の製品第一号として、峰の沢鉱山株式会社納め、224kWペルトン水車を世に送り出したのは、古く明治44年であると記録されている。以来、当初は外国製品のスケッチを行ったり、文献の検討や試作品の研究を行ったりしながら順次資料を備蓄し、技術をみがき、大正末期には納入総台数355台、総出力420MWを超えるまでに成長した。その後、第二次世界大戦で一時製作が中断されるまでに更に732台、2,700MWまでに成長したが、この時代は、国産技術育成のためユーザー側の温かい理解と、当時社内の技術陣はもちろん全社一丸となつての研鑽の成果が、ようやくにして開花するに至った時代といえる。

戦後、我が国の「第二次電源開発五箇年計画」によって生産も軌道に乗り、水力発電機器の単機容量も100MW、あるいはそれ以上のものの計画が相次ぐようになった。一方、国内需要の伸長とともに輸出も増大し、東南アジアの復興計画を皮切りに南アメリカ、アフリカ、更にはアメリカへと市場が開かれていった。

この時期に、可逆ポンプ水車の計画が、国内ではまず四国電力株式会社大森川発電所を対象に開始され、共同研究を通じて幾多の目新しい問題点が提起され、且つその一つ一つが解決されていった。そして昭和34年、我が国初の可逆ポンプ水車並びに発電電動機運転開始という記念すべき年を迎えた。

以後、揚水発電機器の開発計画は急ピッチで進み、ポンプ水車においては順次高落差・大容量化への道をたどることとなった。落差100m級から200m級、300m級、ついには電源開発株式会社沼原、九州電力株式会社大平両発電所納めの500m級へ、単機容量も12MWから45MW、80MW、110MW、230MWと、そしてアメリカ、ラディングトン、関西電力株式会社奥多々良木両発電所納めの310MW以上へと、着実な段階を経て記録は更新されていった。また発電電動機においても、14MVAから50MVA、78MVA、110MVA、250MVA、更に320MVA以上と記録が伸長されてきた。この間、各電力会社とのたゆまぬ共同研究が、揚水技術の基礎確立から実績を踏まえての応用技術へと発展を続け、アメリカの揚水発電所へも続々と日立揚水発電機器が送り込まれていった。

また、最近これらの業績に対して、「高落差大容量ポンプ水車および発電電動機の完成」に対する第20回大河内記念技術賞をはじめ、「NC形セグメント軸受の開発と実用化」に対しては、第13回大河内記念技術賞が、「大容量高落差揚水発電技術の開発」に対しては第16回科学技術庁長官賞が、「沼原発電所高落差大容量フランシス形ポンプ水車」に対しては昭和48年度機械学会賞が、「我が国最初の水冷却水車発電機の完成」に対しては昭和48年度電気学会賞など、多くの表彰を受けるに至って

いる。

今日、日立製作所は創業以来の受注総出力が水車においては30,000MW、発電機においては20,000MVAを超えるという輝かしいエポックを迎えた。図1は年度別水車総出力の伸びを、表1及び表2は総出力の内訳を示す

表1 国内外向け日立普通水車、ポンプ水車の比率

区 分	国 内		輸 出		計	
	台数	出 力 (MW)	台数	出 力 (MW)	台数	出 力 (MW)
普通水車	858	5,696	193	13,959	1,051	19,655
ポンプ水車	37	5,343	26	5,872	63	11,215
計	895	11,039	219	19,831	1,114	30,870

ものである。

我々はこれらの成果が、ユーザー各社の適切な御指導並びに温かい御援助のたまものであることに思いを至し、改めて今後の技術進歩と、機器の信頼性向上への努力を続けていく所存である。

表2 国内外向け日立発電機、発電電動機の比率

区 分	国 内		輸 出		計	
	台数	出 力 (MVA)	台数	出 力 (MVA)	台数	出 力 (MVA)
発 電 機	714	5,873	147	5,860	861	11,733
発電電動機	38	5,406	10	3,608	48	9,014
計	752	11,279	157	9,468	909	20,747

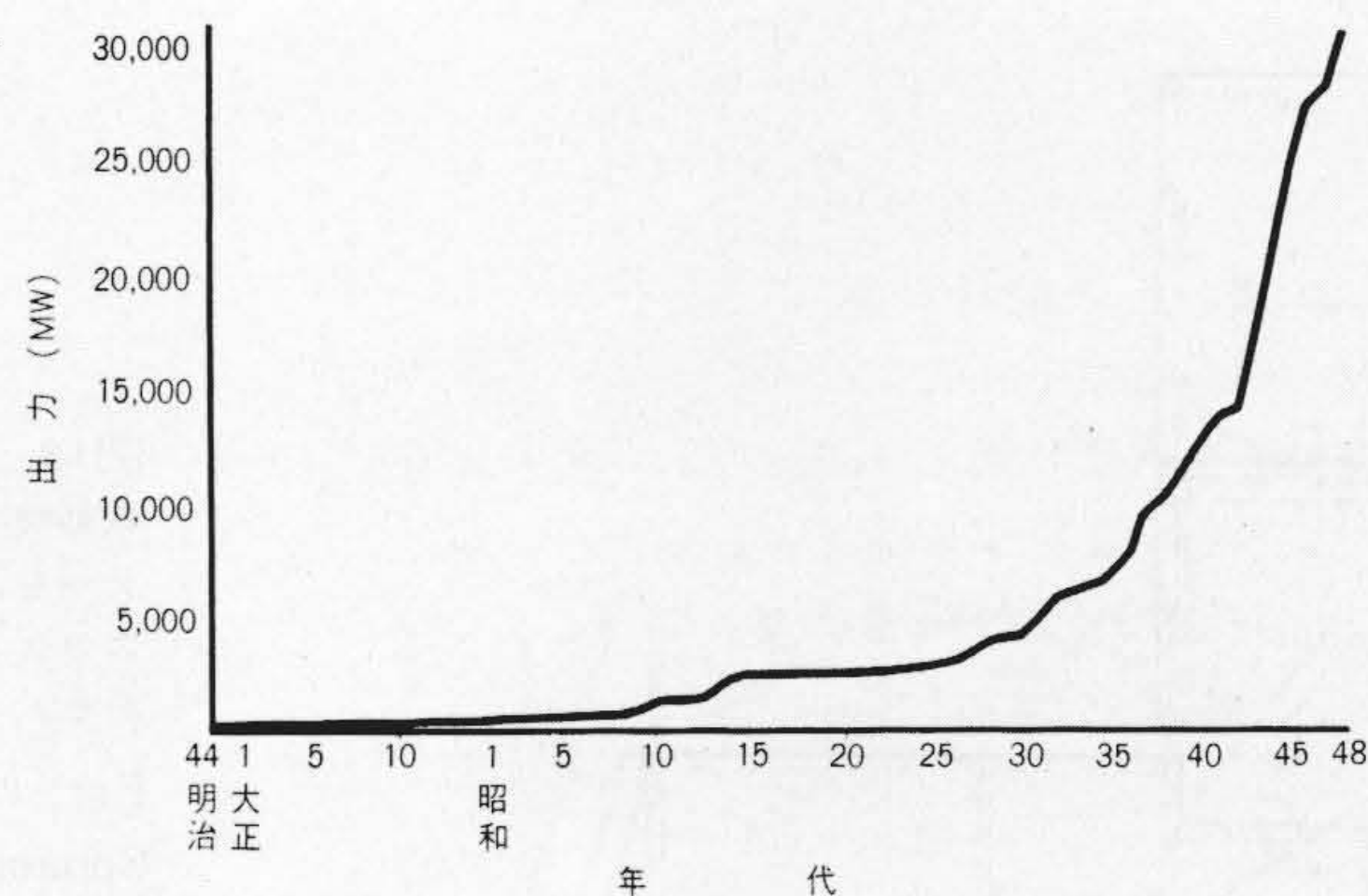
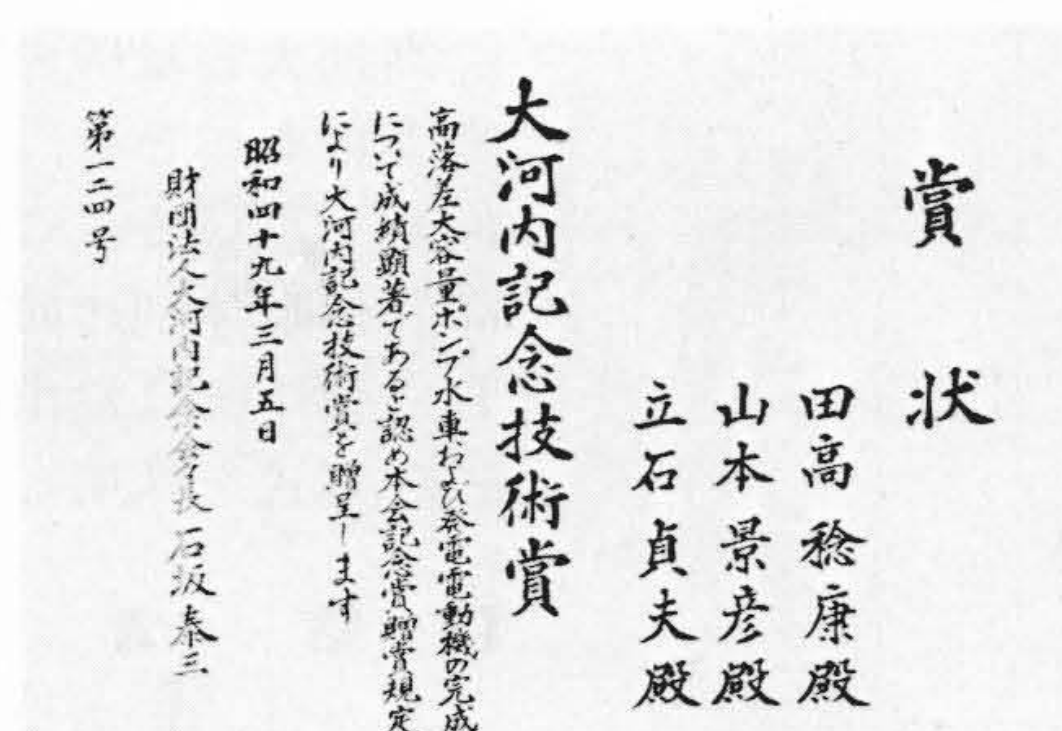
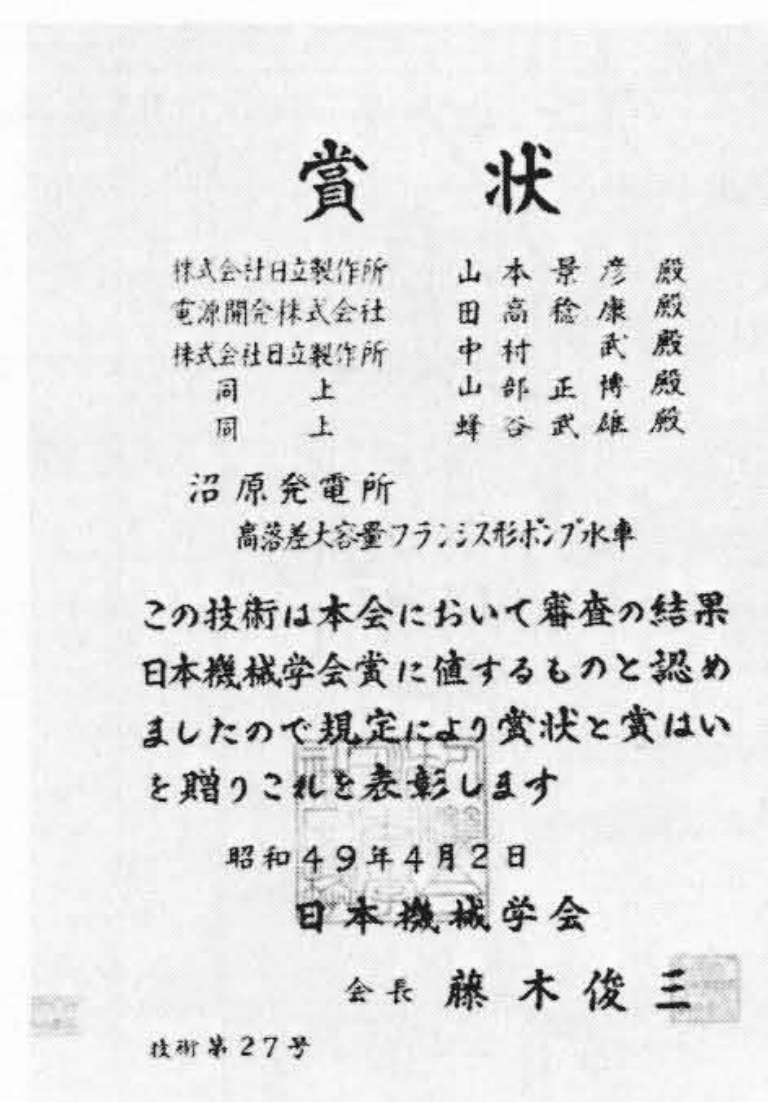


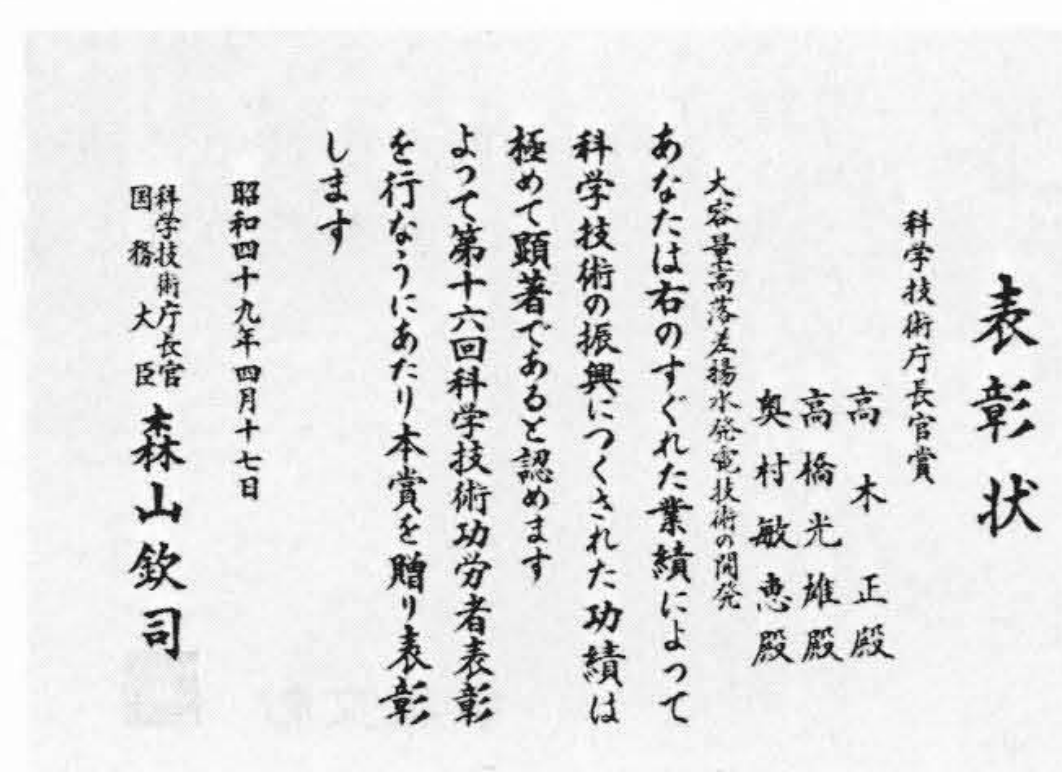
図1 日立水車受注総出力30,000MWの歩み



(a)



(c)



(b)



(d)

図2 日立水力発電機器に対する最近の諸表彰状

* 日立製作所日立工場