

# 原子力用タービン発電機

## Turbine Generator for Nuclear Power Plant

西 政 隆\* 川 村 隆\*  
Masataka Nishi Takashi Kawamura

### 要 旨

原子力用タービン発電機は1,800 または 1,500 rpm の4極機であり、火力用3,600 または 3,000 rpm 2極機と比較して主としてロータ構造などが大きく相違している。そのため巨大なシャフト、リテイングリングなどの材料上の問題も多いが、いずれも火力用発電機の製作において蓄積された技術によりじゅうぶん克服可能であり、むしろロータの冷却が比較的容易なためもある。火力機より先に1,000 MVA を越える超大容量機が出現している。ここに火力用2極機と比較したときの原子力用4極機の構造上、電気特性上および運転上の特長につき紹介し、今後ますます発展するであろう原子力用タービン発電機の全般につきまとめたものである。

### 1. 緒 言

火力発電プラントのユニット容量は近年著しく増大しているが、これとともに原子力発電プラントの建設もめざましく、世界的には火力機を越える超大容量機が原子力機にて製作されつつあるという現状である。アメリカにおいて特にこの傾向は著しく、1972年にて全設備容量のうちの50%を原子力機が占め、同年以降では原子力機のほうが火力機を凌駕(りょうが)するであろうとされている。わが国の原子力発電機および励磁機の仕様をまとめたものが表1である。東海発電所の発電機は別として、それ以外の軽水炉のものは、力率が0.85または0.9、短絡比が0.58~0.64であり励磁方式が減速機付直流励磁方式からコミュテータレスまたはブラシレスへ移行しつつあるなど、仕様面からは火力機とほぼ類似の傾向が見られる。

構造的にも、性能上も火力機と原子力機とは本質的に異なったものではないけれども、細部にわたれば回転数・極数の相違に起因する相違点も多く、以下主として火力機と比較したときの原子力機の特長という観点から、原子力タービン発電機につき述べることにする。

### 2. 原子力タービン発電機の構造上、材料上の特長

#### 2.1 原子力タービン発電機の特長

原子力タービン発電機でも蒸気タービンに直結して駆動されることは火力機と同様であるが、原子炉で発生する蒸気は火力のボイラのそれに比較して低温低圧であることが大きな相違点である。そのため同一出力を出すに要する蒸気流量が多くなり、タービンは効率

確保のため長いブレードを採用する必要があり、そのため回転数を落さざるを得ず、したがって発電機は1,800 または 1,500 rpm 機(4極機)となる。

同一仕様の2極機と比較したときの4極機の特長は下記のとおりである。

- (1) 回転子直径は約1.6倍となり、回転子重量は約2.2倍となる。
- (2) 鉄心外径はごくわずか増加するだけで、外形寸法にはあまり差は出ない。固定子は80%程度に軽くなる。
- (3) 毎極励磁アンペアタービンが減少した界磁巻線の銅量も増加するため励磁容量は約60%に減少する。
- (4) (3)と同じことで、界磁巻線の冷却は楽になり2極機では採用しがたいラジアルフロー形直接水素冷却方式で1,000 MVA程度でもじゅうぶん製作可能である。
- (5) (1)と同じ理由により危険速度は高くなり、一次危険速度は定格速度の下で二次危険速度は定格速度の上という小・中容量の2極機なみの設計が可能となり、バランスの点からも問題が少ない。
- (6) 固定子鉄心に関してはコアバックが薄くなるけれども振動ノード数が増大するため共振周波数は高く、振幅は小さくなりスプリングマウント方式は不要となる。
- (7) 風損・界磁銅損および漂遊負荷損のうちの固定子鉄心端部損失が減少し、したがって効率が向上する。
- (8) (7)と同じ理由で、水素冷却器は小さくて済み、冷却水量も減少する。

表1 わが国の原子力発電機

原子力発電所 電力会社名 (敬称略)	発電機名 発 電 所	運 開 年 月	タービン		発 電 機									
			出力 (MW)	回転数 (rpm)	容量 (MVA)	力率	電圧 (kV)	短絡比	水素圧 PSIG	冷 却	励 磁 機			
									ステ ータ	ロー タ	方式	出力 (kW)	電圧 (V)	
日本原子力発電株式会社	東海	42. 7	85	3,000	100	0.85	11	0.64	30	R	R	D	766	580
日本原子力発電株式会社	敦賀 #1	44. 12	357	1,800	420	0.85	18	0.58	45	W	R	G	700	500
東京電力株式会社	福島 #1	45. 10	460	1,500	525	0.9	18	0.60	45	W	R	G	1,330	500
関西電力株式会社	美浜 #1	45. 10	340	1,800	400	0.85	17	0.64	60	I	I	B	1,550	500
東京電力株式会社	福島 #2	48. 3	784	1,500	911	0.9	17	0.60	60	W	R	G	2,170	500
関西電力株式会社	美浜 #2	48. 6	500	1,800	560	0.9	17	0.58	60	I	I	B	2,300	500
中国電力株式会社	島根 #1	49. 6	465	1,800	520	0.9	18	0.58	45	W	R	C	1,305	370

注：1. 本表は据付順に記載する。  
2. 冷却方式にて W：直接水冷却， R：直接水素冷却， I：内部冷却を表わす。  
3. 励磁機にて G：ギヤ直結直流励磁機方式， B：ブラシレス方式， C：コミュテータレス方式を表わす。

- (9) 電機子漏えいリアクタンスもダンパー漏えいリアクタンスも界磁漏えいリアクタンスも増大し、したがって次過渡リアクタンスも過渡リアクタンスも増大する。
- (10) シャフトの断面構造上極心軸とそれに垂直な軸との断面二次モーメントの差異は少なく、2極機のようにシャフトにクロスロットを切る必要はない。
- (11) ファン効率の点からラジアルファンを採用したほうが良いことが多い。
- (12) 水素冷却器は横形上置方式ではなく、たて形の普通の方式で超大容量機まで製作可能である。
- (13) 全損失のうち水素ガスにより持ち去るべき熱量が2極機より少ないので、2

\* 日立製作所日立工場

極機より1段低い水素圧力で済む場合もある。

以上の特長につき、500 MW級の2極機と4極機の実機にて比較したものが表2である。力率が違っているために、完全に同一条件下の比較となっていないが、その違いをうかがい知ることができる。

また500 MW級4極機の代表例の構造断面図は図1に示すとおりであり、半径方向寸法のうち回転子の占める割合が大きいこと、固定子鉄心にスプリングバーなどが用いられていないことなどがうかがえる。

以下にこれら特長のおのおのについて節を改めて述べる。

2.2 4極機の励磁容量

4極機においては表2に示すように励磁アンペアターンは大幅に減少し、さらに界磁スロット寸法を大きくとれることもあって、界磁銅損は減少し、したがって励磁容量は2極機の約50~60%程度に減少する(同一容量で2極機はダイアゴナルフロー形直接冷却、4極機はラジアルフロー形直接冷却の場合)。その理由は表3に示すとおりである。すなわち電機子スロット数を直径の比程度にしか増加できないため1極当たりの電機子導体数は4極機のほうが減少し、したがって電機子反作用が減少し、短絡比が同じ機械ならば1極当たりの励磁アンペアターンはほぼそれに比例して減少する。一方ロータ径が大きくかつ応力的にも楽なため、界磁スロットの面積は大きくとり得るし、したがって銅量をふやせるので、界磁銅損(全極分)は4極機のほうが減少し結局励磁機定格出力も減少する。表3は実機での比較のため力率が異なるが、仮に4極機のほうも0.85力率として比較しても( )内のようになり、励磁容量はほぼ60%に減少すると言える。

発電機容量と励磁機出力との実績の例は図2に示すとおりであり、上記の関係が示されている。

2.3 4極機界磁巻線の冷却方式

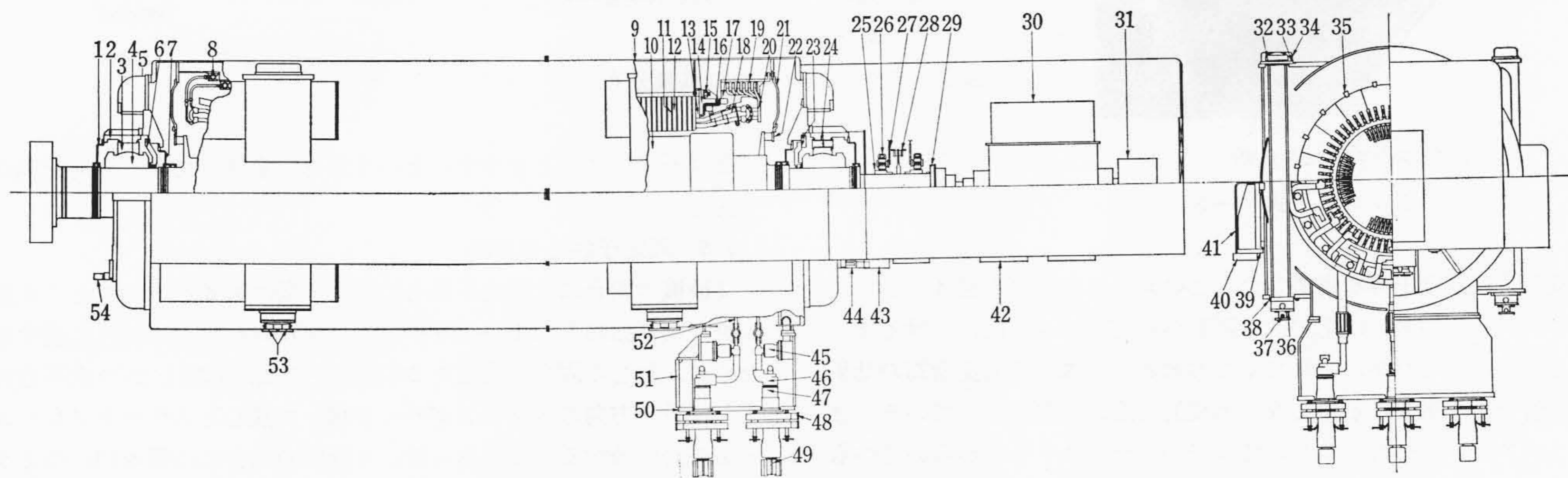
4極機では前節にて記したように2極機に比較して界磁銅損が約60%に減少するために、2極機と異なった方式で界磁巻線を冷却することができる。その方式がラジアルフロー形直接冷却方式と呼ば

表2 500 MW級実機における2極機, 4極機比較

		2 極 機	4 極 機	
仕 様	容 量 (kVA)	625,000	626,000	
	力 率	0.85	0.9	
	水 素 圧 (PSIG)	60	45	
	回 転 数 (rpm)	3,600	1,800	
フレーム	フ レ ー ム 構 造	一重ドーム付	一 重	
H <sub>2</sub> ターラ	H <sub>2</sub> ターラ構造員数	上置横形 4	たて形 4	
冷 却	冷却方式	ステータロータ	直接水冷却 ダイアゴナルフロー式	直接水冷却 ラジアルフロー式
寸 法	フ レ ー ム 外 径	100%	97%	
	鉄 心 外 径	100%	110%	
	空 げ き 長	100%	70%	
	ロ ー タ 外 径	100%	160%	
	ロ ー タ ボ デ ー 長	100%	98%	
	ベアリングスパン	100%	98%	
重 量	ス テ ー タ	100%	80%	
	ロ ー タ	100%	225%	
	全 重 量	100%	102%	
損 失	全 損 失	100%	83%	
	水素冷却器で冷却する損失	100%	65%	
	水冷却器で冷却する損失	100%	100%	
リ タ ア ン ク ス	過渡リアクタンス $x_d'$	100%	125%	
	次過渡リアクタンス $x_d''$	100%	110%	
	開路時定数 $T_{d0}'$	100%	110%	
	$GD^2$	100%	560%	
励 磁	励磁アンペアターン	100%	63%	
	励磁機容量	100%	50%	

れ、図3(b)に示すような断面構造であり、サブスロットを通過して軸方向に進んだ水素ガスはスロットアーマ、サブスロットカバーの通風孔を通りコンダクタ中の中空孔を半径方向に走ってクリーページブロックおよびウェッジの通風孔を経由して空げきに排出されるものである。

ラジアルフロー方式の効果の確認のため、88 MVAの普通水素冷却の2極のタービン発電機においてラジアルフロー方式を併用し、



番号	品 名	番号	品 名	番号	品 名	番号	品 名
1	オイル・デフレクタ	15	キ ー バ	29	カ ッ プ リ ン グ	43	キ ー 止 め
2	ベアリングリング	16	銅 シ ー ル ド 板	30	交 流 励 磁 機	44	ア ラ イ ン メ ン ト キ ー
3	ベアリングリング	17	テトラロックサポート	31	交 流 副 励 磁 機	45	が い し
4	メ タ ル	18	電機子コイルエンド	32	水 素 冷 却 器	46	内 部 タ ー ミ ナ ル
5	エンドブラケット	19	コイルつなぎささえ	33	ク ー ラ ヘ ッ ダ	47	が い し
6	シ ー ル リ ン グ	20	つ な ぎ 線	34	ク ー ラ カ バ ー	48	CT
7	オイル・デフレクタ	21	エンドシールド	35	キ ー バ	49	タ ー ミ ナ ル
8	固定子冷却水ヘッドリング	22	ラジアルファン	36	ク ー ラ	50	タ ー ミ ナ ル プ レ ー ト
9	ステータフレーム	23	シ ー ル リ ン グ 絶 縁	37	空 気 抜 き	51	タ ー ミ ナ ル ボ ッ ク ス
10	フ ィ ー ル ド	24	軸 受 絶 縁	38	ク ラ ン プ	52	リ ー ド
11	ラジアルダクトピース	25	スリップリング	39	脚	53	ク ー ラ フ ラ ン ジ
12	鉄 心	26	ブラシホルダ	40	ソ ー ル プ レ ー ト	54	ア ラ イ ン メ ン ト キ ー
13	エンドダクトピース	27	パ ッ フ ル	41	ラ ッ キ ン グ カ バ ー		
14	ステータエンドプレート	28	スリップリングファン	42	ソ ー ル プ レ ー ト		

図1 4極タービン発電機構造断面図

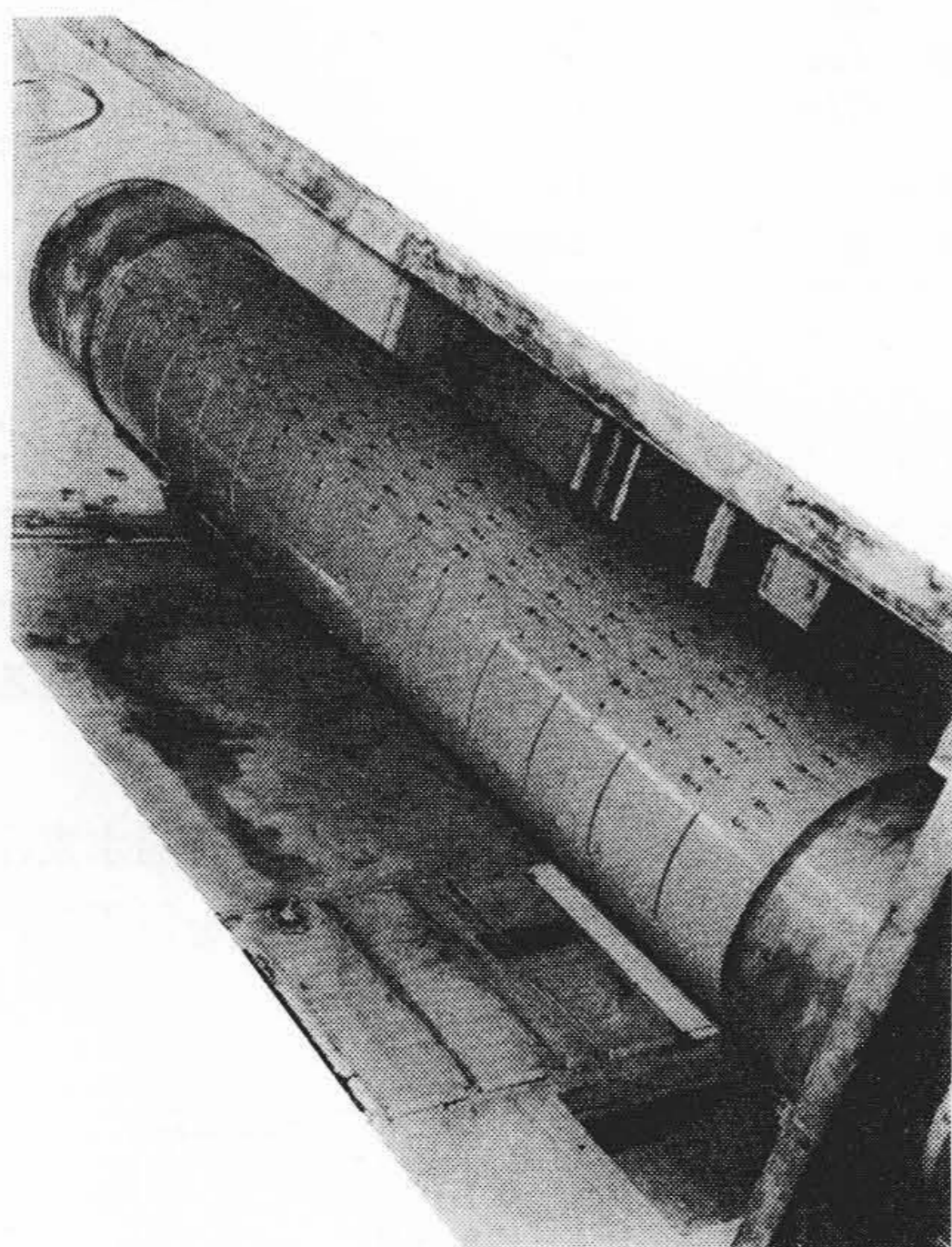
表3 2極機, 4極機の励磁容量比較

	2 極 機	4 極 機
容 力	625,000	626,000
量 率	0.85	0.9
ロ ー タ 外 径	100%	160%
空 げ き 長	100%	70%
電 気 装 荷	100%	100%
磁 気 装 荷	100%	100%
電 機 子 反 作 用	100%	70%
励 磁 ア ン ペ ア タ ー ン / 極	100%	(68%) 63%
界 磁 ス ロ ッ ト 有 効 面 積 / 極	100%	140%
界 磁 巻 線 銅 損	100%	(62%) 55%
励 磁 機 出 力	100%	(62%) 50%

注: (1) ( ) 内は4極機で仮に 0.85 PF とした場合。  
 (2) 界磁スロット有効面積/極は1極当たりの銅の断面積のこと。

表4 ラジアルフロー式の冷却能力測定  
 88,235 kVA 3,000 rpm 2極機のロータ

	普通水素冷却		ラジアルフロー方式と普通水素冷却方式の併用	
	計 算	実 測	計 算	実 測
風 量 (m <sup>3</sup> /s)	4.44	4.67	4.84	4.89
界磁巻線温度上昇 (deg)	48.30	44.70	20.80	17.60



(普通水素冷却方式との併用)

図4 ラジアルフロー式ロータ

風量および温度上昇を実測した。このロータの写真を図4に示す。サブスロットの深さは応力的な制限から実際の4極機におけるほど深くできなかったが、それでもなお水素ガスによる直接冷却の効果が顕著であり表4に示すように効果的な冷却能力を示している。またラジアルフロー方式においては一つのサブスロットからいくつもの半径方向通風路が並列に分岐する(600 MVA級4極機で約60枝)ためおのおの風量分布が問題となる。それについては別途静止モデルにて試験および解析を行なっているが、その結果の一例は図5に示すとおりであり、軸方向中央部分の通風孔ほど風量が増大している。これは主としてベルヌイの定理により説明されるが、これを均一化するために、軸方向中央部ほどサブスロット断面積を小さくするという対策を講ずることもある。

2.4 危険速度

ロータ外径が2極機の約1.6倍あるために一次危険速度は2極機より増大する。また二次危険速度は定格回転数よりも高くなる。これは1,000 MVAを越える超大容量4極機に関してもいえることであり、中・小容量の2極機並びに二次危険速度より下で運転できる

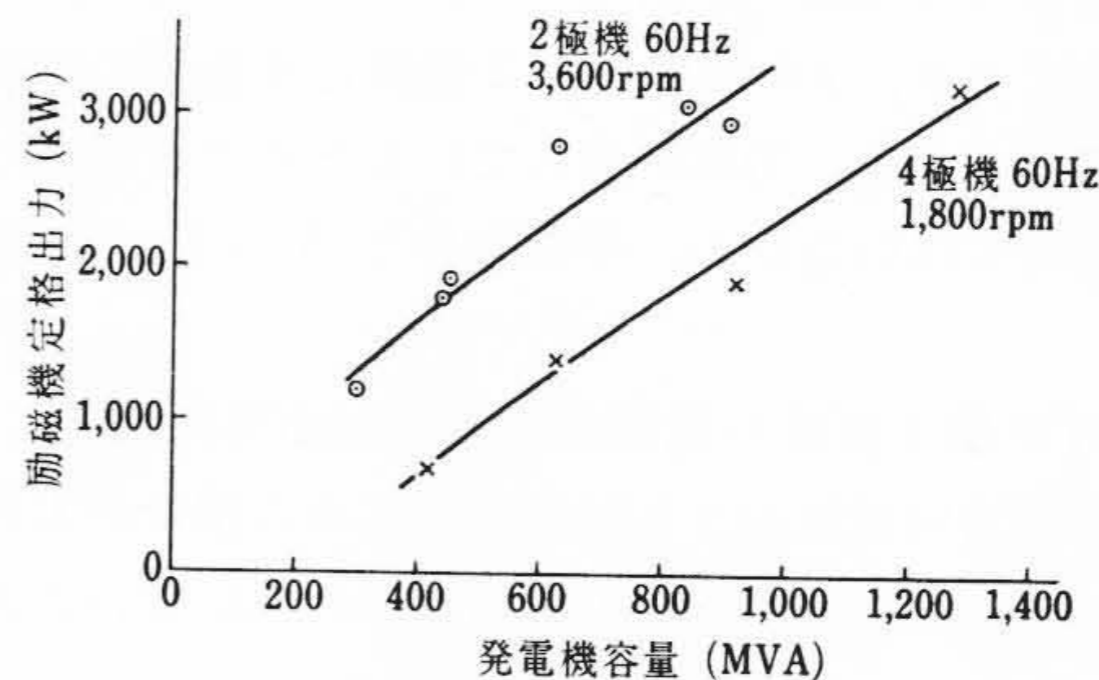


図2 発電機容量と励磁機定格出力

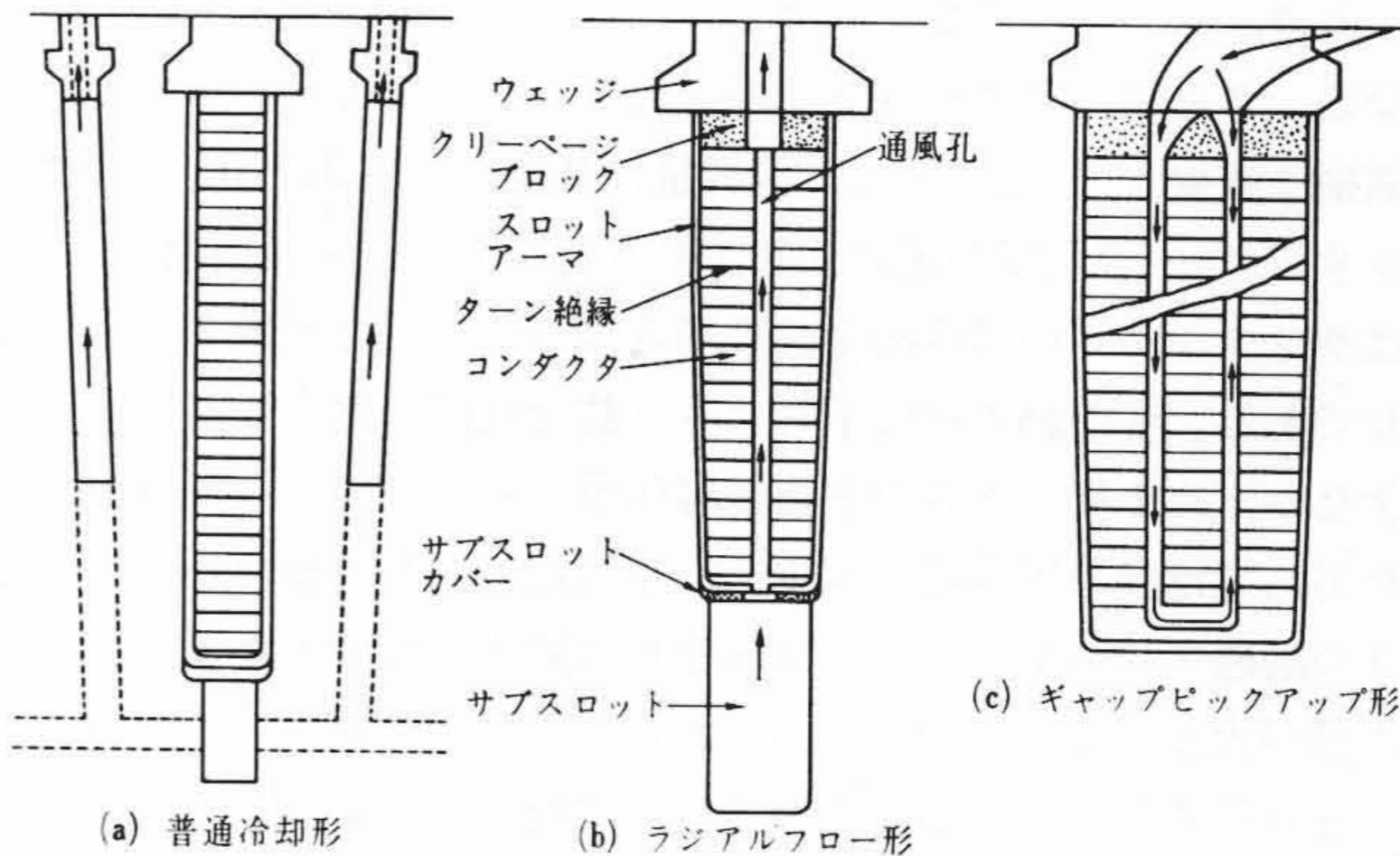


図3 回転子冷却方式比較

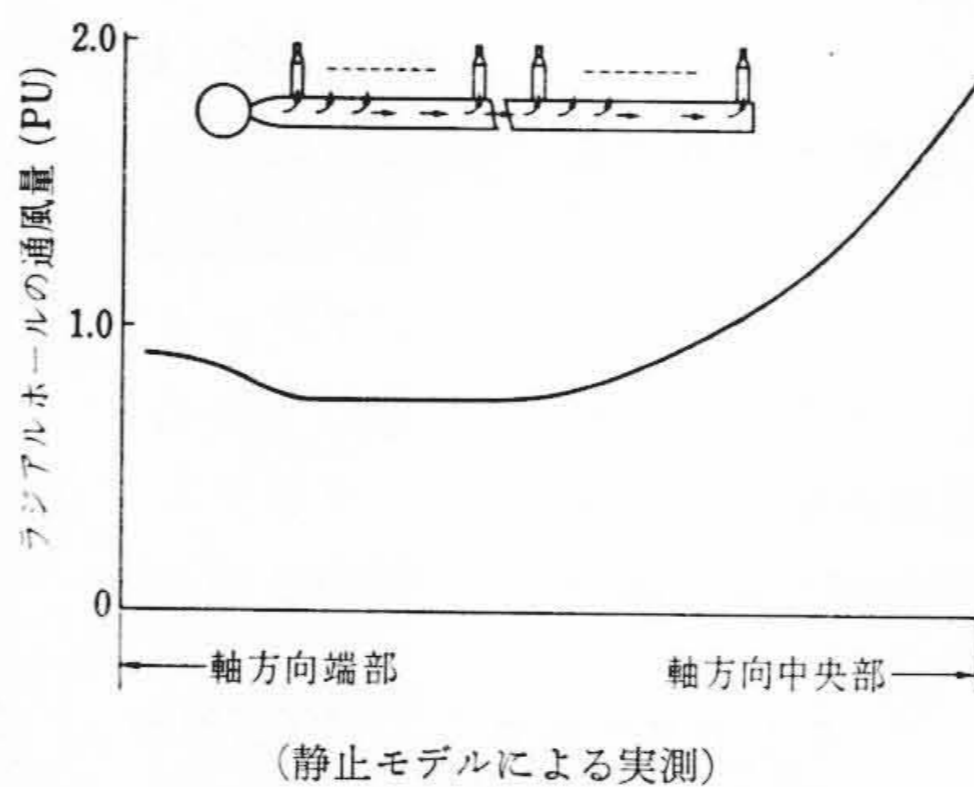


図5 ラジアルホールの風量分布

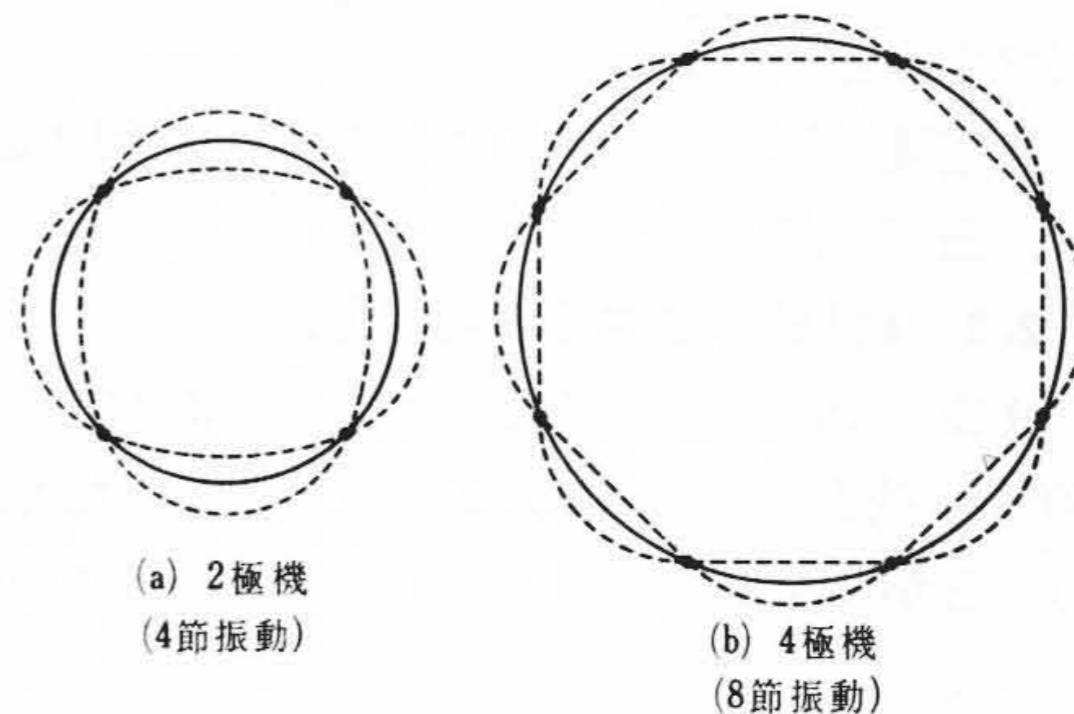


図6 固定子鉄心の振動

ことはバランスがとりやすいということの意味しており非常な利点である。

2.5 固定子鉄心の振動

2極機の場合には固定子鉄心の電磁振動は図6(a)のごとく4節振動であり振幅も数10~100 μ程度(半径における両振幅)に達するために、鉄心の固有振動数を2×定格周波数から離しかつ水平方向または垂直方向のスプリングバーを用いて鉄心とステータフレームとを振動絶縁する必要があった。4極機の場合には図6(b)のように8節振動となるため鉄心背部の半径方向高さが低いにもかかわらず、固有振動数も高く、振幅も小さくなり、その結果振動絶縁は不要となって鉄心はバネを介さずに直接ステータフレームに取り付けられる。この関係をまとめたのが表5である。

表5 固定子鉄心の振動

		2 極 機	4 極 機
容 量 (kVA)		625,000	626,000
鉄 心 外 径		100%	110%
鉄 心 内 径		100%	145%
鉄 心 背 部 高		100%	72%
鉄 心 固 有 振 動 数		100%	260%
振 動 両 振 幅		100%	21%

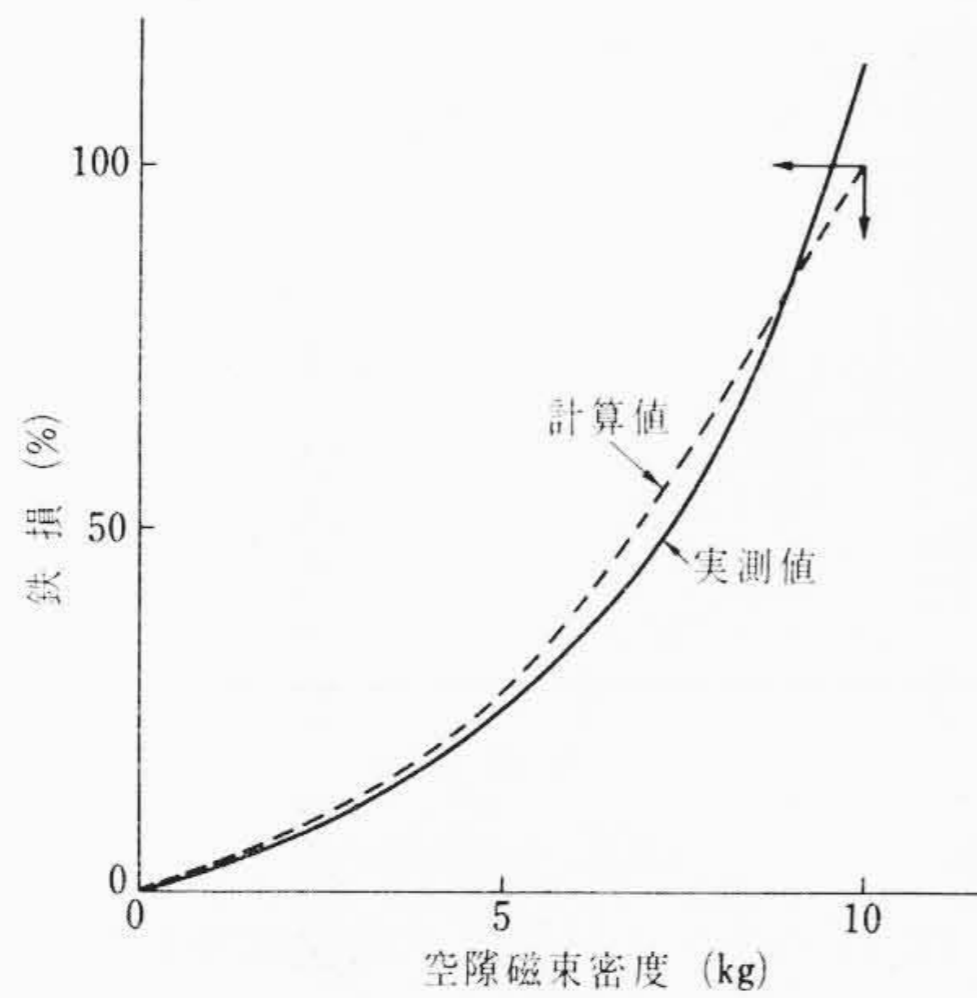


図7 鉄損測定結果

表6 軸受比較

	2極機	4極機
容量 (kVA)	625,000	626,000
ロータ重量	100%	225%
軸受直径	100%	140%
軸受長さ	100%	160%
軸受面圧	100%	100%
軸周速	100%	70%
摩擦損失	100%	125%

表7 漂遊負荷損比較

	2極機	4極機
容量 (kVA)	625,000	626,000
スロット内電機子コイルの渦電流損	100%	100%
電機子エンドコイルの渦電流損	100%	70%
ロータ表面の渦電流損	100%	100%
固定子鉄心端部の渦電流損	100%	80%
漂遊負荷損合計	100%	85%

2.6 4極機の鉄損

4極機の固定子鉄心は表5にも例があるように径が大きくかつコアバックの高さが低いため、磁束の通り方も2極機とかなり様相を異にすることも考えられ、その確認のため4極機鉄損モデル機を試作し、鉄損、各部磁束密度、鉄心振動などを測定した。図7は鉄損の実測計算結果であるが、計算値はほぼ正しいことが判明した。

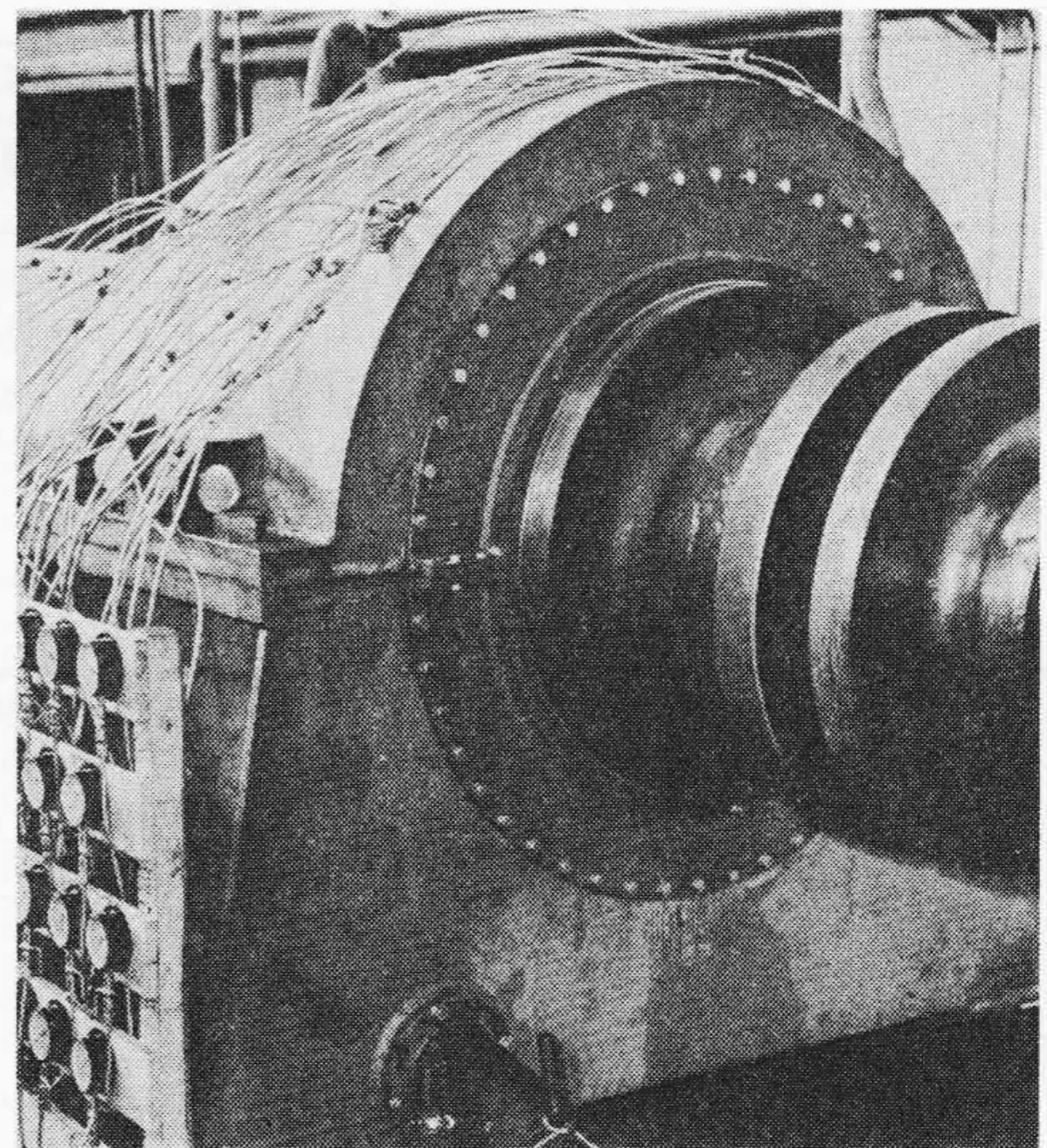
2.7 4極機の軸受およびその特性

4極機においてはロータ重量も大きいため軸受も当然大きいものとなり、2極機と比較すると表6のようになる。軸受面圧が同じになるように設計すると直径・長さとも2極機より大きくなるので、摩擦損失は増大する。直径が大のためオイルリフト付きにすることが多く、また2極機と同じく楕円(だえん)軸受としてオイルホイップ防止を行なう。

軸受についても、実物大モデルにおいて試作を行ない性能試験を完了した。モデル試験装置の外観を図8に、また試験結果の一例として軸受摩擦損失曲線を図9に示す。計算値と実測値の一致は良く4極の大径軸受についても日立製作所の開発した楕円軸受理論の正しいことが立証された。

2.8 固定子鉄心端部

4極機においては2極機よりも極間げきが短いため電機子コイルエンド部が短く、したがって固定子鉄心端部の漏えい回転磁束は2極機の場合よりもかなり小さくなる。図10は計算結果の一例であるが、これはエンドコイルおよびステータエンドプレートなど複雑な境界面をもつ固定子鉄心端部の磁界に関する電磁界の方程式をベクトルポテンシャルを利用して直接解いた結果である。



(特性試験中)

図8 4極機軸受試験装置

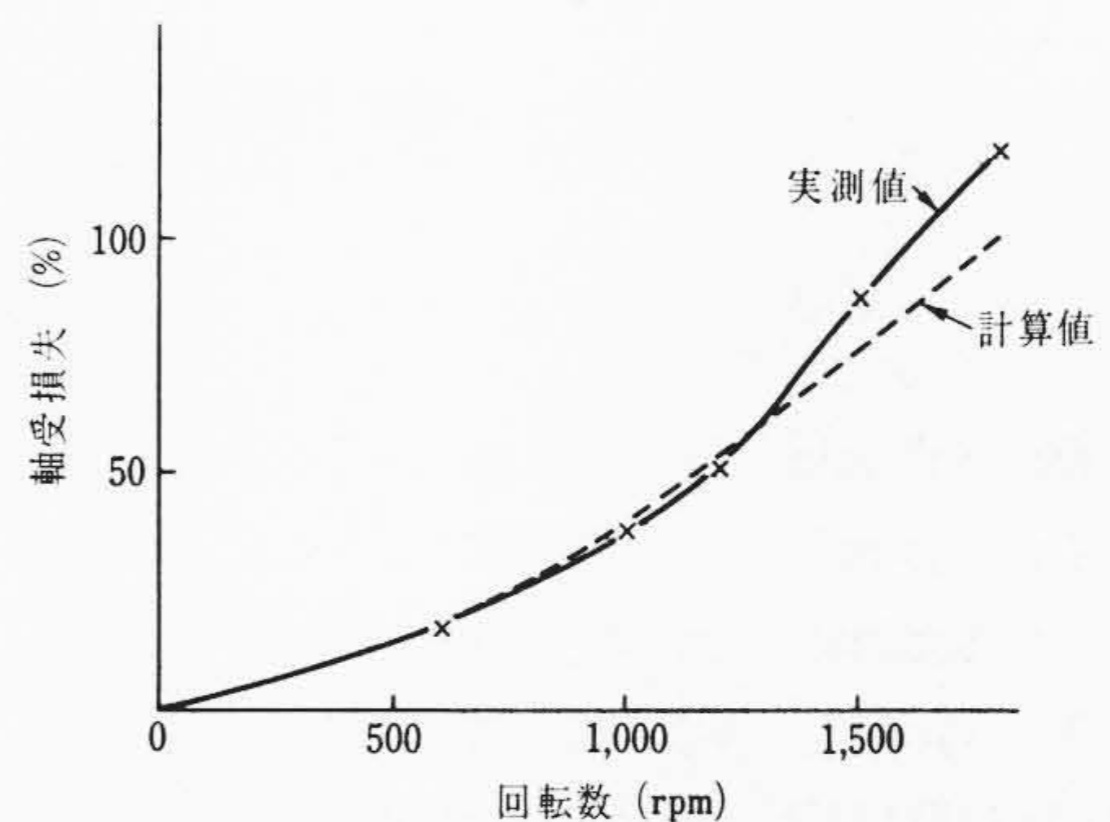
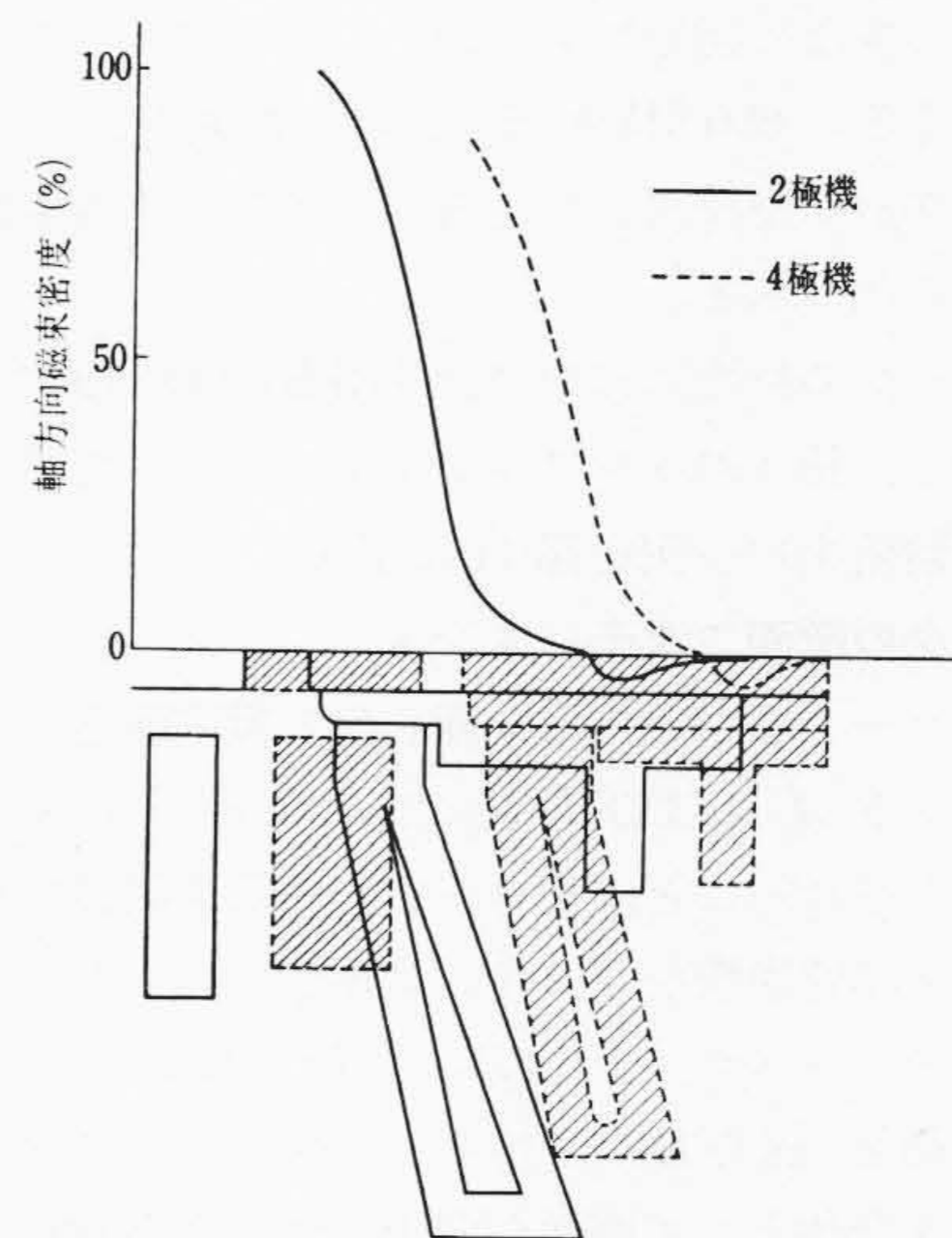


図9 軸受特性試験結果



(軸方向密度計算)

図10 端部漏えい磁束密度 計算例

このためタービン発電機の損失のうち電機子銅損と同程度の値を示す漂遊負荷損は表7のように4極機のほうが若干小さくなる。

2.9 ラジアルファン

2極機の場合の通風方式はタービン側、スリップリング側のおのにおに設けられた1段の軸流ファンにより軸方向に対称な(タービン側、スリップリング側とも同一な)通風とするのが普通であった。

4極機の場合には図1の例にもあるとおり、軸方向対称な通風とすることは2極機と同一であるがファンにはラジアルファンを用い

表8 ファン形式比較

容 量 (kVA)		2 極 機	4 極 機
		625,000	626,000
フ	ン	100%	68%
静	風	100%	85%
回	量	3,000 rpm	1,800 rpm
比	圧	1,440	670
較	数		
フ	回	軸流ファン	ラジアルファン
ァ	転		
ン	数		
形	式		

表9 ロータの断面二次モーメント

クロススロット	コイルウェッジの補剛効果	2 極 機		4 極 機	
		$I_x$	$I_y$	$I_x$	$I_y$
(1)	考慮せず	75.7%	49.0%	60.0%	61.0%
(2)	考慮	58.0%	48.6%	—	—
(3)	考慮	66.6%	64.6%	—	—
(4)	なし	—	—	71.4%	72.1%

注：(1)  $I_x$  極間軸に対する断面二次モーメント  
 (2)  $I_y$  極心軸に対する断面二次モーメント  
 (3) 上記で 100% は中心孔だけ切った丸軸の断面二次モーメントである。

することも多い。これは主としてファン効率の観点からである。すなわち一般に比較回転度  $n_s$

$$n_s = N \frac{\sqrt{Q}}{(p/\gamma)^{0.75}}$$

Q: m<sup>3</sup>/min 風 量  
 p: kg/m<sup>2</sup> 風 圧  
 γ: kg/m<sup>3</sup> 比 重 量  
 N: rpm 回 転 数

において  $n_s$  が 1,000 以下の場合にはラジアルファンのほうが効率が良く、1,000 以上のときは軸流ファンのほうが効率が良いのであるが、2極機においては  $n_s$  が 1,000 以上が普通であるのに対し4極機では、風量が少なく回転数も低いというところから 1,000 を下回るものも出てくる。600 MVA 級の比較は表 8 のようになって4極機はラジアルファンを採用しているが、さらに大容量機では軸流ファンにしている例もある。

ラジアルファンの特性については JIS B 8330 (1962) ぞおりの標準風胴を製作し、種々のラジアルファンを製作して特性試験を行なった。特性試験結果の一例を図 11 に示す。

### 2.10 ロータの断面二次モーメント

高速回転のロータにおいては、極心軸と極間軸とのおおのこの断面二次モーメント ( $I_y$  および  $I_x$  とよぶ) が異なればロータは 1 回転に 2 回ずつ起振されることになり、いわゆる倍周波振動が生じてバラシングなどに悪影響を及ぼす。2極機ではこれを防止するために磁極部分にクロススロットを切って  $I_x$  を弱め、さらにコイルウェッジの補剛効果 (遠心力によりウェッジがシャフトに強く押しつけられ、ロータ全体として剛性が向上したのと等価になる効果) をも考慮したときにちょうど  $I_x$  と  $I_y$  とが釣り合うように設計されている。4極機ではロータスロットの数も多く、クロススロットを切らなくとも剛性を一致させることができる。この関係を示したのが表 9 である。表中の (3) が 2 極機の最終の形であり、(4) が 4 極機の最終の形であるが、いずれも  $I_x$  と  $I_y$  は数 % 以内で一致していることがわかる。

### 2.11 ロータ材料

ロータシャフト材およびリテイニングリング材はタービン発電機の場合のうちで最も重要なものに属するが、表 2 にても示したように径が大きく重量が重いものとなる。成分、機械的特性は 2 極機のものと同様であるが、運転時に加わる応力からみて機械的特性に

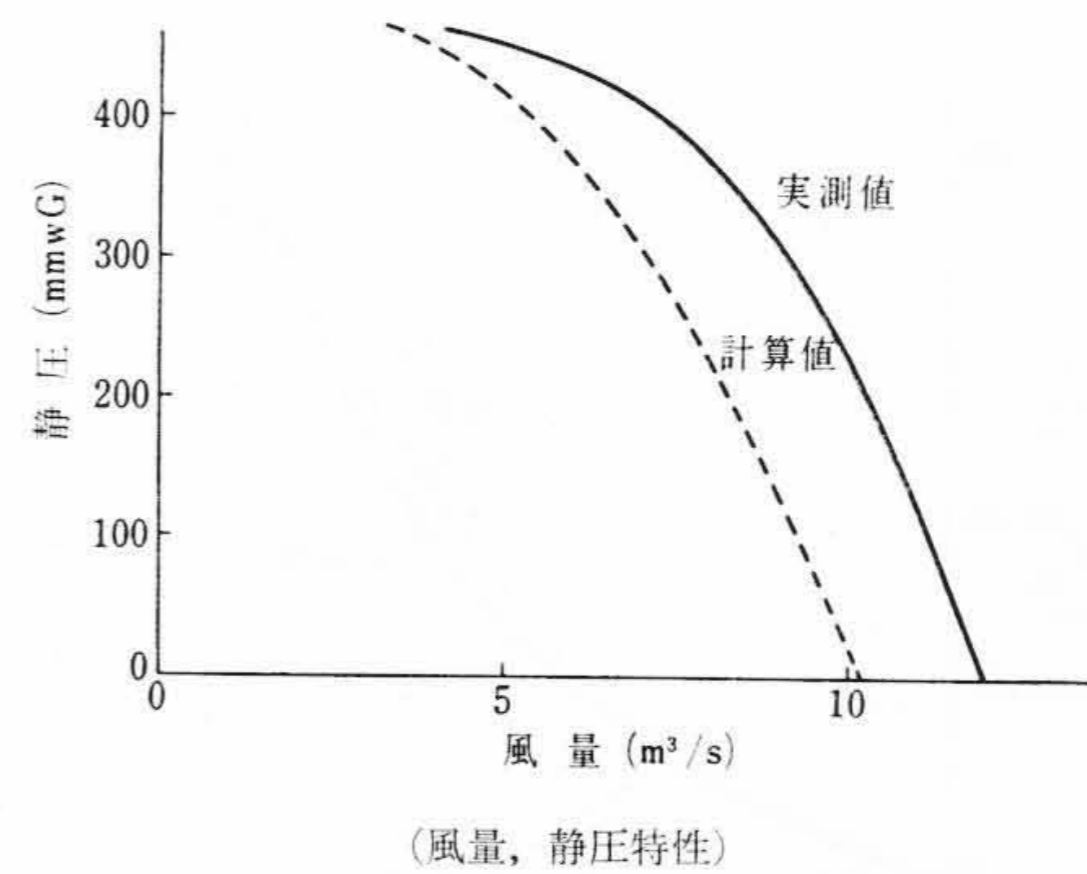


図 11 ラジアルファン試験結果の例

対する要求を若干緩和することも多い。

リテイニングリングは非磁性のマンガンクロム鋼であるが、これは固定子鉄心端部の漏えい磁束および電機子漏えいリアクタンスの関係で非磁性とするものであり、大容量 2 極機と同様である。

### 2.12 2極機・4極機の構造比較(まとめ)

以上に述べたように 2 極機・4 極機では構造上、材料上で相違点が多いが、それ以外の点については下記のように同様と考えて良い。

- (1) 固定子コイルの冷却は原子力用 4 極機 (400 MVA 以上が普通) では必ず直接水冷却である。中空導線の使用、往復流と片道流の使いわけ、水の純度保持方式、絶縁ホースそのほかの接続部の方式などは 2 極機と同様である。
- (2) 電機子コイルに加わる電磁力に対処するためスロット内ではリップスプリングなどを用い、エンドコイルではテトラロック方式を用いることなどは 2 極機と同様である。
- (3) ブッシングは 1,000 MVA 級でも水素ガス直接冷却構造を採用する。発電機内のファンの圧力を利用するこの方式は 2 極機でも同様である。
- (4) スリップリングは 1,000 MVA 級でも空気冷却であり、みぞ付きで、スリップリングファンを有しているが、これも 2 極機と同様である。
- (5) 水素冷却器は 1,000 MVA 級でもなお、500 MVA 級の 2 極機と同じくたて形とする。500 MVA を越える 2 極機では水素冷却器の寸法のためにステータフレームの寸法が大きくなり輸送上問題となることを避けるために水素冷却器をステータフレームの上部にのせる横形クラー上置方式をとることも多いが、4 極機では冷却すべき損失もなく、たて形クラーとしても問題が少ないからである。
- (6) 励磁機は交流励磁機、静止整流器方式 (コミュテータレス方式) とすることが多い。近年の 2 極機の傾向と同一である。
- (7) 固定子水冷却装置は 2 極機のものと同様である。
- (8) 密封油装置は 2 極機のものと同様である。軸密封部の寸法、周速などは異なるが、密封油量、油圧は同容量 2 極機のものと同様のためである。

## 3. 原子力タービン発電機の運転上の特長

4 極タービン発電機の運転特性につき 2 極機との比較において下記にまとめる。

### 3.1 過渡、次過渡リアクタンスと運転特性

4 極機では、電機子みぞ内リアクタンスの所為で電機子漏えいリアクタンスは若干増大し、また極間げきが短くなるため空げきを周方向に走る磁束が増しダンパー漏えいリアクタンスも増大し、したがって次過渡リアクタンスも増大する。さらに界磁スロットが深くなるため界磁漏えいリアクタンスしたがって過渡リアクタンス  $x_d'$

表10 リアクタンス時定数比較

	2 極 機	4 極 機
容 量 (kVA)	625,000	626,000
回 転 数 (rpm)	3,600	1,800
電機子漏えいリアクタンス $x_l$	100%	110%
次過渡リアクタンス $x_d''$	100%	110%
過渡リアクタンス $x_d'$	100%	125%
開路時定数 $T_{d0}'$	100%	110%
単位慣性定数 $H$	100%	120%

注：単位慣性定数はタービンも含む。

4極タービン発電機  
容量曲線と安定度  
600MVA級

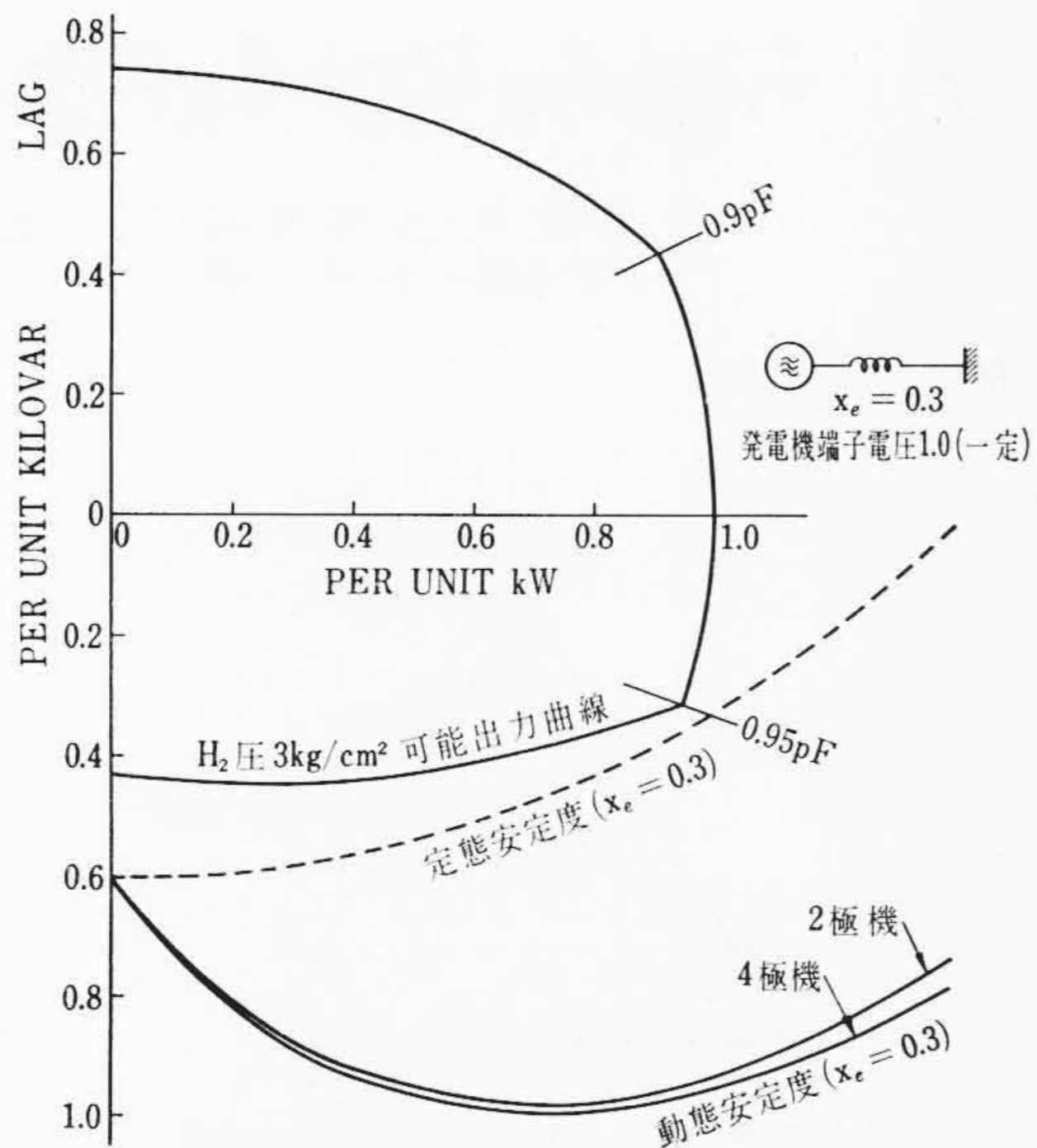


図12 安定度と可能出力曲線

も増大する。また開路時定数は空けぎにたくわえられる磁気エネルギーと励磁電力との比であり、4極機のほうが励磁電力が減少するため時定数は若干増大する。この関係は表10に示すとおりである。

これら定数の差異によりまず影響されるのは安定度の問題である。動態安定度の計算例は図12に示すとおりであるが、4極機は過渡リアクタンスが大きいにもかかわらず2極機より安定限界がわずかに広がっている。これは開路時定数  $T_{d0}'$  や単位慣性定数  $H$  のせいであり、 $T_{d0}'$  とか  $H$  とかは小さいことが必ずしも動態安定度の向上に寄与しないからである。結局2極機と4極機とでは表10のように定数には若干の差はあるが、動態安定度上はほとんど差がないと考えられるであろう。

一方過渡安定度からいえば、この定数の相違は若干の差異を示す。図13に示す送電容量曲線は、2回線送電線のうち1回線で三相地絡事故が生じ0.1秒後にその回線のしゃ断器を開き故障除去した場合の過渡安定に関する計算例であり、過渡リアクタンス  $x_d'$  の影響が大きく4極機のほうが送電可能容量が小さくなっていることがわかる。これは1計算例であるが、過渡安定度上は  $x_d'$  の影響が大きいのでその都度系統条件を考慮して計算する必要があるということである。

### 3.2 可能出力曲線

4極機では図10に示したように端部漏えい磁束も若干少なく、したがって発生損失、温度上昇も少ないので固定子鉄心端部の温度上昇という点からは進相運転の問題は2極機より少ない。安定度上からは前述のように2極機とほぼ同一と考えられるため結局可能出力

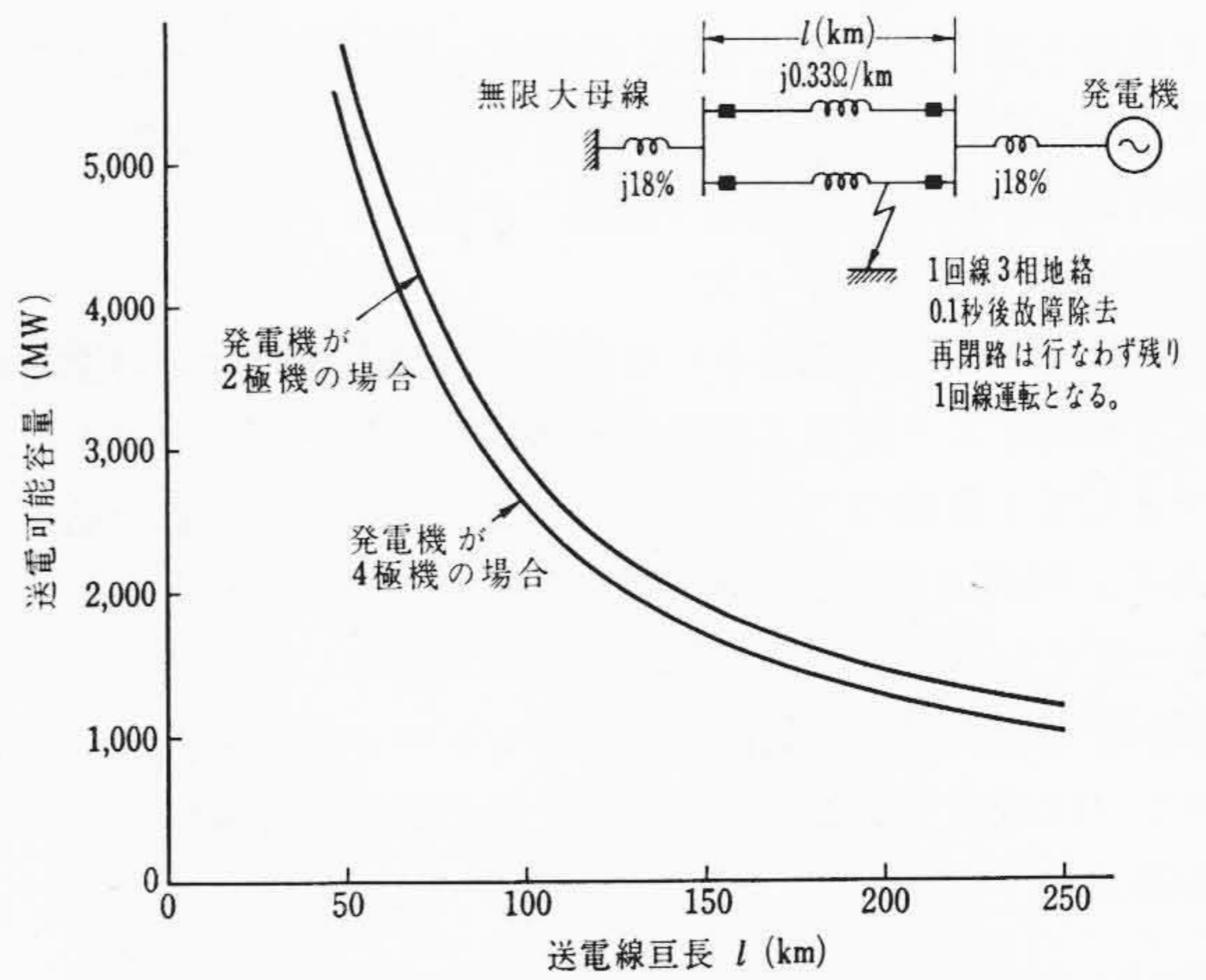


図13 過渡安定度 計算例

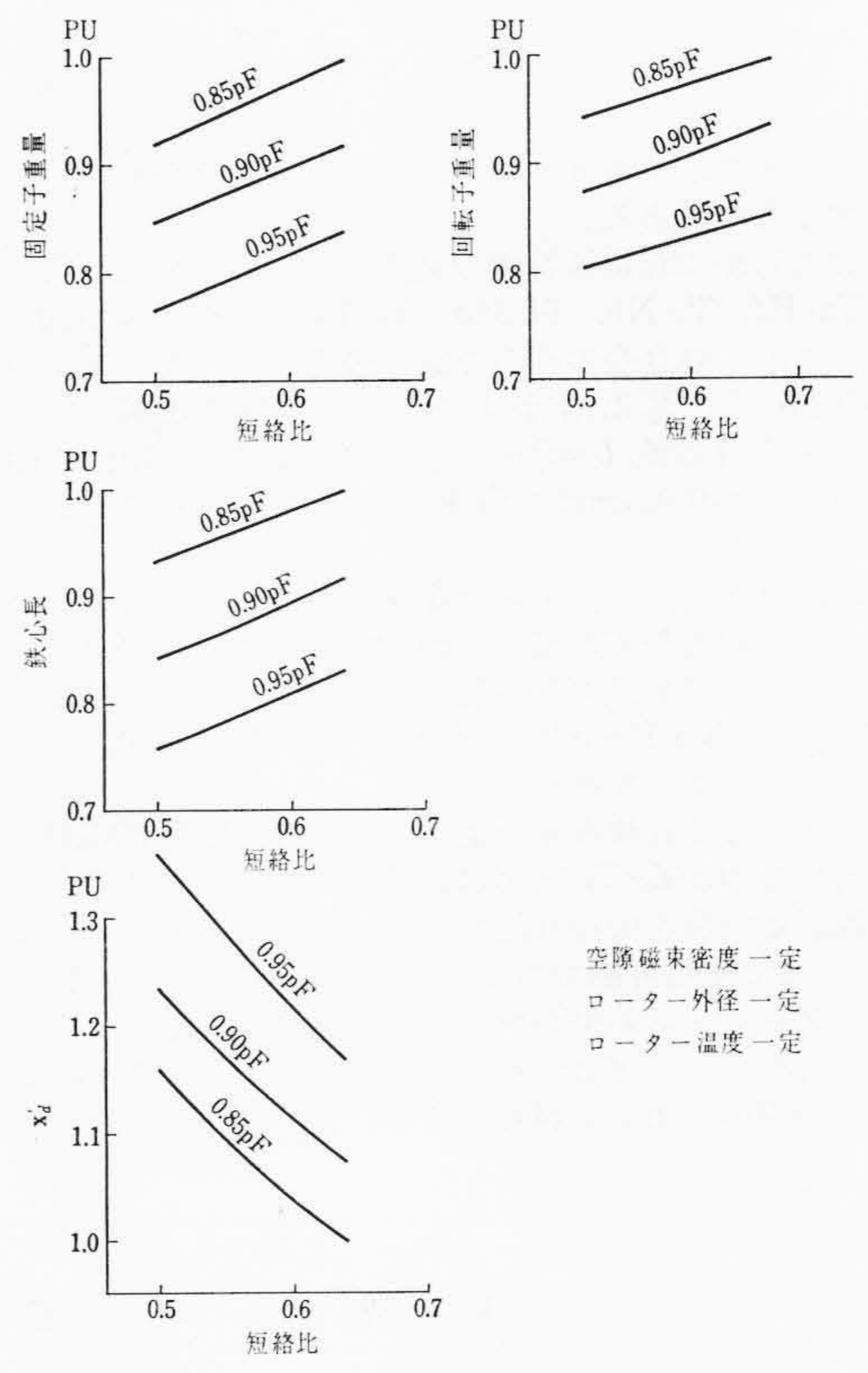


図14 マシンサイズ

曲線は2極機と同一の形となり図12に併記したようになる。すなわち100%容量、95%進み力率にて運転可能である。

### 3.3 特殊運転

#### (1) 短時間過負荷耐力:

2極機と全く同一の過電流耐力にて設計するのが標準である。

#### (2) 逆相耐力:

原子力機では直接水冷却機であることがほとんどである。過渡的な逆相電流  $I_2(PU)$  が  $T$  秒継続する場合には

$$I_2^2 T \leq 10$$

である限り発電機に支障はないし、また逆相電流が連続して流れる場合には、界磁電流が定格値またはそれ以下ならば

$$I_2 \leq 9\%$$

で運転して支障はない。これらは直接液体冷却の2極機と同一である。

(3) 許容電圧変動:

2極機と同じく100%±5%の範囲の運転に対しては実用上支障なく耐えられる。すなわち100%電圧時と同一の温度上昇は保証されないが長時間支障なく運転できる。

3.4 4極機のマシンサイズ

前述のような運転特性あるいは運転上の制限条件はその発電機のマシンサイズにより左右される。短絡比を変数とし、力率をパラメータとして4極機のマシンサイズおよびx<sub>d</sub>'を検討した結果が図14である。同図は空けき磁束密度、ロータ外径、界磁巻線温度のいずれも一定という条件下で試算したものであり、短絡比が大きくなり力率が悪くなれば電気装荷を下げマシンサイズは上がり、過渡リアクタンスは減少することがわかる。この傾向は2極機でもほぼ同様である。

4. 結 言

以上に原子力用4極タービン発電機の構造上、材料上、運転上の特長を火力用2極タービン発電機との比較において述べた。

2極機の2倍以上もの重量を有する巨大シャフトおよびリテーニングリングなどの材料の問題、界磁巻線の冷却の問題、大径軸受の問題、次過渡リアクタンスが2極機より若干大きくなる問題などがあるが、日立製作所では各種試作と解析とを完了し、また材料の国産化が可能なることも確認しており、国産の原子力用4極タービン発電機の製作に対してすべての準備を完了している。

この体制のもとで日立製作所では今後のわが国の原子力発電の進歩に全力をあげる覚悟であることを表明し、諸賢のご指導、ご助言を乞うものである。



特許の紹介



特許第507097号(特公昭41-18684号)

土井俊雄・大原秀晴・三谷正男  
前田清治郎・小林 勝

超 電 導 材 料

本発明はニオブ、ジルコニウム、チタン三元合金からなる超電導材料に関するものである。

従来、加工可能で超電導特性の優秀な合金としてTi-V, Nb-Zr, Zr-Mo, Ta-Hf, Ti-Nb, Ti-Mo, Ti-Taなどの合金が知られている。しかしこれらの合金のうちで最も優秀な特性を示すものとされているNb-25原子%Zr合金もその転移温度10.9K°外部磁場60KO<sub>e</sub>における臨界電流I<sub>c</sub>=2.6×10<sup>4</sup>A/cm<sup>2</sup>,外部磁場70KO<sub>e</sub>における臨界電流I<sub>c</sub>=0A/cm<sup>2</sup>で70KO<sub>e</sub>以上の強磁場においては使用できない欠点がある。

また、Nb, Zr, はともに高価な金属であるため、この合金も高価となり、さらに塑性加工が割合に困難であるという欠点もある。

本発明はこれらの欠点のない超電導材料を得るためになされたもので、原子%でNb20~63%, Zr1~7%, Ti1~79%および付随的不純物よりなることを特長とする。

図は本発明になる各種成分合金について外部磁場80KO<sub>e</sub>における臨界電流値をNb-Zr-Ti三元組成図上に示したもので、高磁場まで大きな臨界電流値を保持可能なことを示しており、臨界磁場も90KO<sub>e</sub>前後まで使用可能である。特にNb含有量の少ないものは所謂デグラデーション効果が少なく、超電導マグネット、超電導変圧器などの巻線として使用すればきわめて効果的であり、安価であると同時に細線への加工も容易である。(松田)

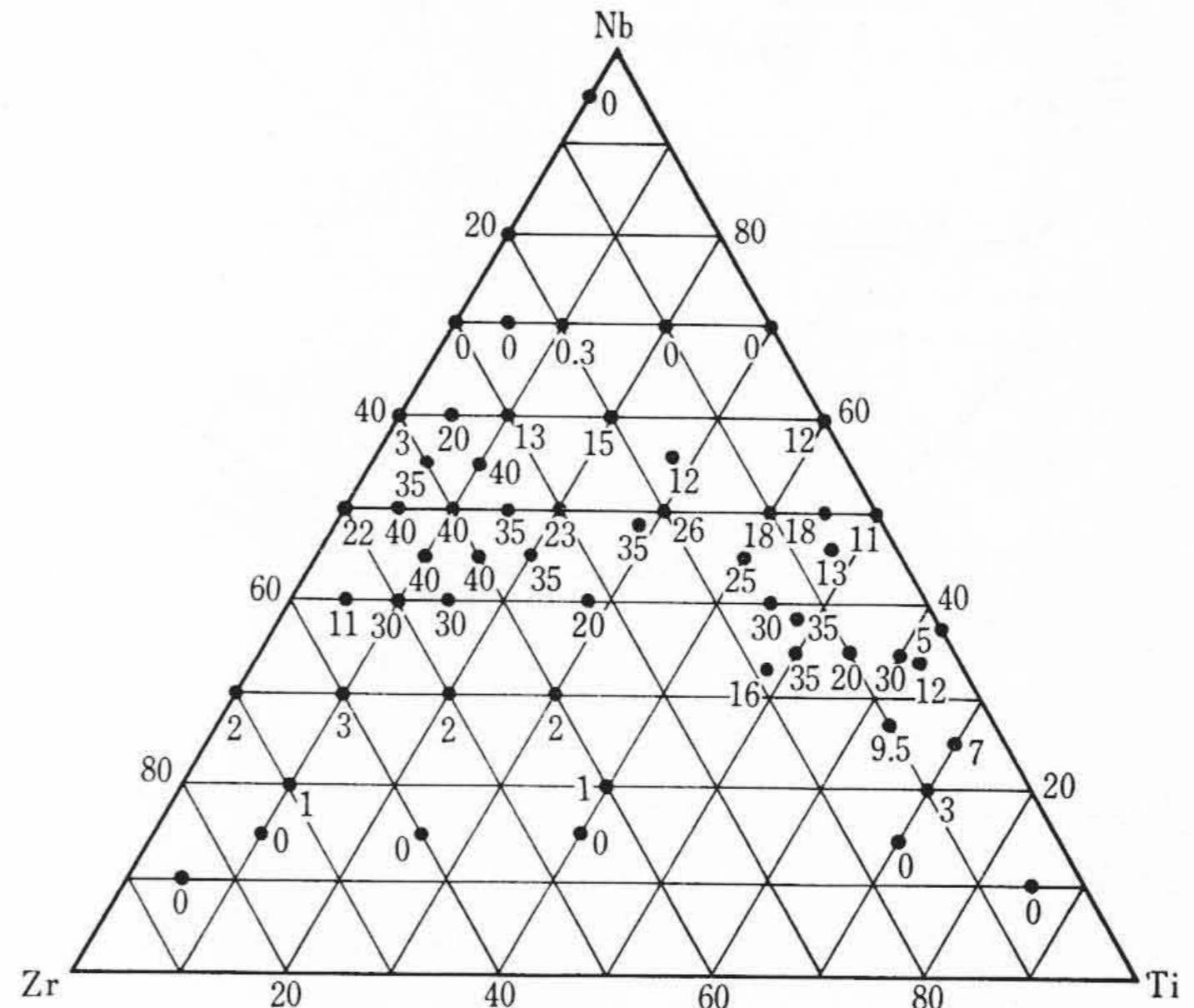


図 1

Vol. 52

日立評論

No. 3

目 次

■ 論 文

- ・サイクリックデジタルデータ伝送方式
- ・配電用変電所の制御保護装置
- ・日立コンデンサブッシング
- ・日立テーパロール高粘度処理機
- ・渦流れポンプの揚水性能
- ・ボーキサイトスラリー圧送用ハイドロホイストの研究
- ・電子交換機裏面布線雑音チェックシステム
- ・電子交換機実装割付チェックシステム

- ・16 ミル 1/2 D 方式コアスタック
- ・軸受用Al合金“ダイナロイ”の諸特性

■サイリスタ応用特集

- ・超高耐圧サイリスタ
- ・大容量サイリスタとその応用
- ・交流電動機のサイリスタ制御
- ・高速度サイリスタとチョップ制御
- ・最近の汎用サイリスタ・ダイオードとその応用
- ・家庭電化製品のサイリスタ応用

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内一丁目5番1号  
郵便番号 100

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町3丁目1番地  
郵便番号 101

振替口座 東京20018番