

# ブラシレスタービン発電機

## Brushless Turbine Generators

西 政 隆\* 川 村 隆\*  
 Masataka Nishi Takashi Kawamura  
 幸 田 智 一\* 園 部 正\*  
 Tomoichi Kôda Tadashi Sonobe

### 要 旨

近年事業用タービン発電機の単機容量の増大に伴い、その励磁容量も急激な増加を示し、直流励磁機の場合は整流の観点から低速を要求され、そのため寸法・重量が大幅に増大し問題となってきた。  
 また産業用タービン発電機でも、ふんい気が悪く整流子の保守上問題がある場合がままある。  
 これらに対し有効な解決手段としてブラシレス励磁方式がある。日立製作所では早くからこの方面の開発研究を行ない、昭和41年に250,000 kW級のブラシレス励磁装置の試作を完成しているが、今般さらに日本レイオン株式会社宇治工場納 14,000 kVA, 3,600 rpm ブラシレスタービン発電機を完成したので、その概要を紹介する。

### 1. 緒 言

事業用タービン発電機の単機容量の増大はめざましく、その励磁容量も近年急激な上昇を示している。400 MVA級で2,000 kW級となった励磁機は800 MVA程度では約3,500 kW程度に達するものと予想される。主発電機に直結の直流励磁機は整流の点から大容量化が困難であり、従来は減速ギヤを介するか、または別置の電動機駆動の直流励磁機として回転数を1,200~514 rpm程度の範囲で製作していた。励磁機あるいは電動機の寸法・重量は回転数が減少するにつれて大幅に増大し、整流上で二重電機子構造の励磁機とする場合などはさらに増大する。

また整流子あるいはスリップリングではブラシの材質のバラツキやふんい気が敏感に整流状態に影響を及ぼすため、ブラシ数が増大すると保守点検上非常な負担となる。

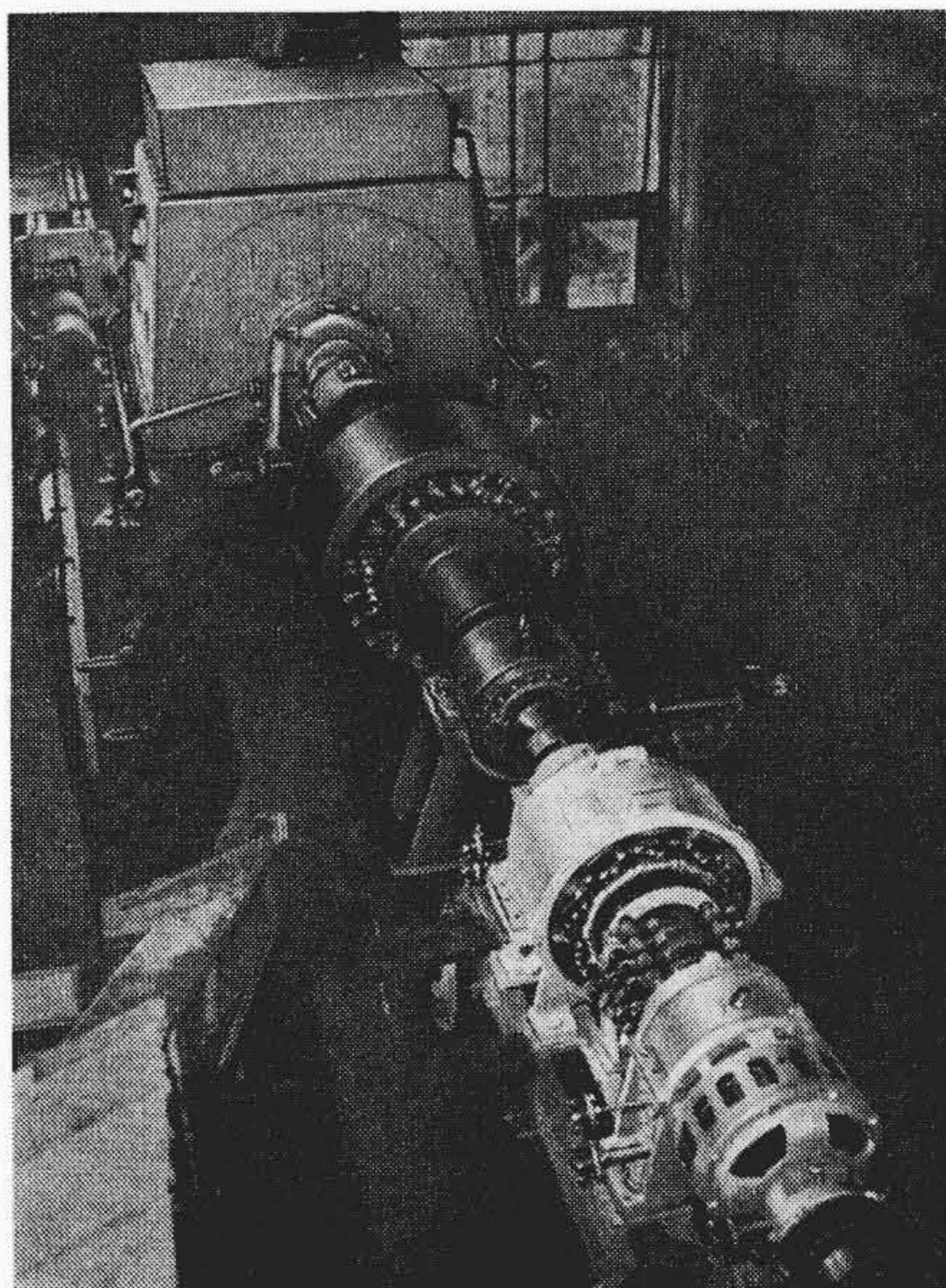
一方最近のシリコン整流素子は高電圧・大電流素子の実績が積み重なって信頼性は著しく増加した。直結交流励磁機と静止整流器との組合せによるコミュテータレス方式と直結交流励磁機と回転整流器との組合せによるブラシレス方式とが、従来の直流励磁機に代わ

って台頭してきた。特に後者のブラシレス方式は、整流子、スリップリングおよびブラシを全くなくしたものであり、事業用大容量タービン発電機あるいは産業用タービン発電機でも特にふんい気が悪く整流子の保守が非常に困難な場合とか、防爆工場で整流中のごくわずかのスパークも許されない場合などには、保守点検の容易さおよび励磁装置の寸法・重量の低減から最適と考えられる。

日立製作所ではいち早くブラシレス方式の開発を開始し、昭和41年6月に250,000 kW, 3,600 rpm級のタービン発電機用の回転整流装置、交流励磁機、交流副励磁機、自動電圧調整装置の試作を完了し、研究部門やシリコン整流素子製造部門との緊密な連絡のもとにブラシレス方式の電氣的機械的諸特性の解明を完了した。その後ブラシレス発電機および電動機としては表1のような実績を有しているが、今回さらに日本レイオン株式会社宇治工場納 14,000 kVA, 3,600 rpm ブラシレスタービン発電機を完成したので、この機会にその概要を報告する。図2は同機の工場試験中の写真である。

### 2. ブラシレス励磁装置の構成

ブラシレス励磁方式の簡単な構成を図3に示す。主発電機の所要励磁電流は交流励磁機の電機子(回転部分)から回転整流装置を経て供給される。交流励磁機の励磁制御は回転軸に直結された永久磁石発電機(交流副励磁機)から自動電圧調整装置(AVR)を経て行なわれる。したがって整流子、スリップリングおよびブラシなどのしゅう動接触部分が全くない。



(250,000 kW, 3,000 rpm 級)

図1 試作回転整流装置および交流励磁機, 交流副励磁機

\* 日立製作所日立工場

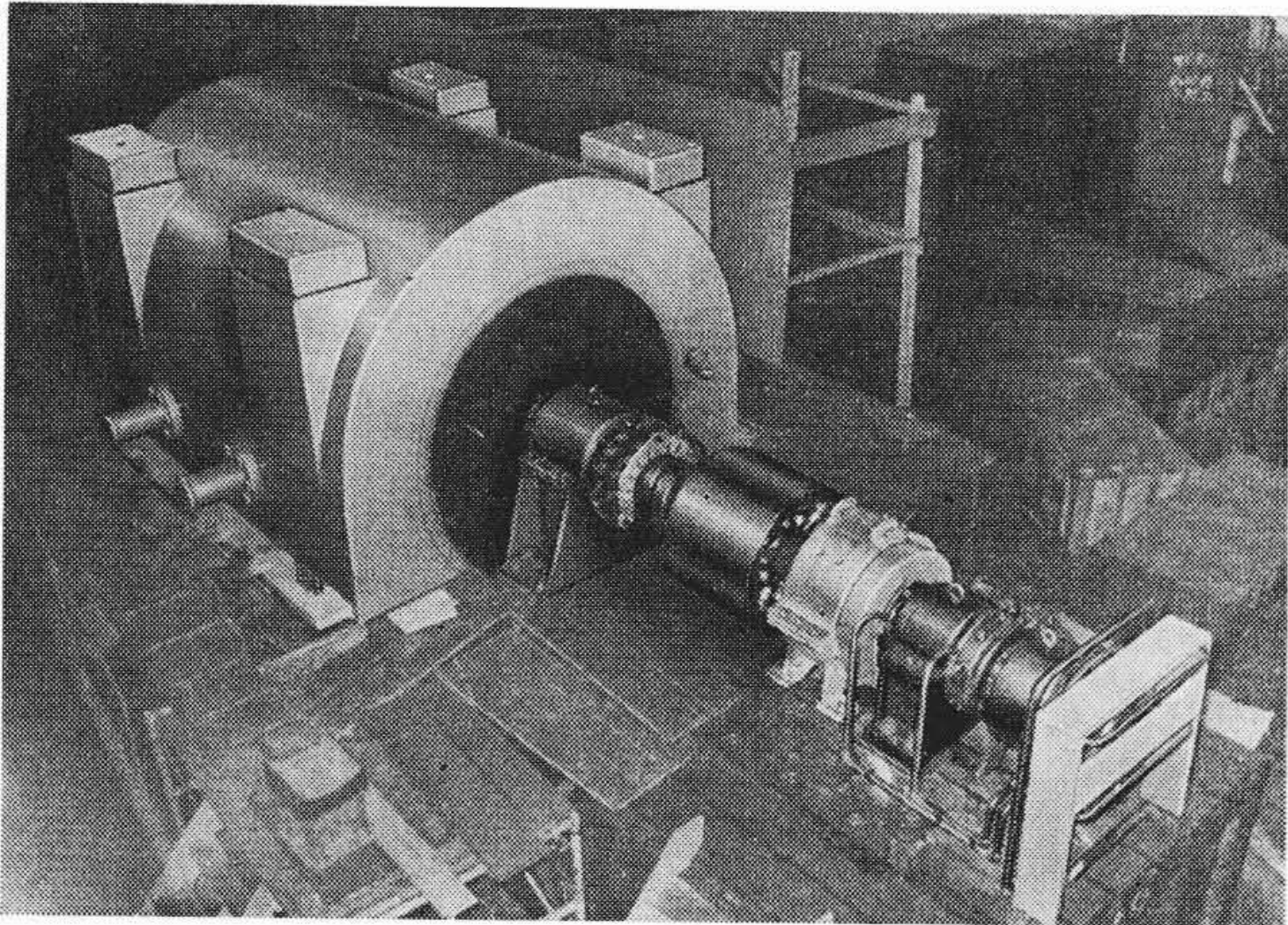
表1 製 作 実 績  
 ブラシレス交流発電機製作実績

納入先	発電所	台数	発電機定格		励磁機 (kVA)	納入年月	原 動 機
			kVA	rpm			
和歌山県電	岩倉	2	6,700	600	60	41-6	水 車
製鉄化学	姫路	1	1,375	1,200	17.5	42-6	蒸気タービン
岩手県電	四十四田	1	18,000	250	200	42-10	水 車
日本レイオン	宇治	1	14,000	3,600	60	43-1	蒸気タービン
昭和電工	鶴崎	1	35,294	3,600	110	製作中	蒸気タービン
昭和電工	鶴崎	1	18,824	3,600	75	製作中	ガスタービン
某社		1	88,235	3,000	390	製作中	蒸気タービン
試作		1	250,000 kW	3,600	1,200 kW	41-6	誘動電動機

ブラシレス同期電動機製作実績

納入先	発電所	台数	電動機定数		励磁機 (kVA)	納入年月	用 途
			kVA	rpm			
製鉄化学	姫路	1	3,800	300	50	42-5	コンプレッサ
日石化学	浮島	2	2,200	200	50	42-6	コンプレッサ
昭和電工	鶴崎	2	3,100	212	60	製作中	コンプレッサ





(励磁機カバーをはずした状態)

図 2 日本レイヨン株式会社宇治工場納  
14,000 kVA, 3,600 rpm タービン発電機,  
46.7 kW, 110V ブラシレス励磁機

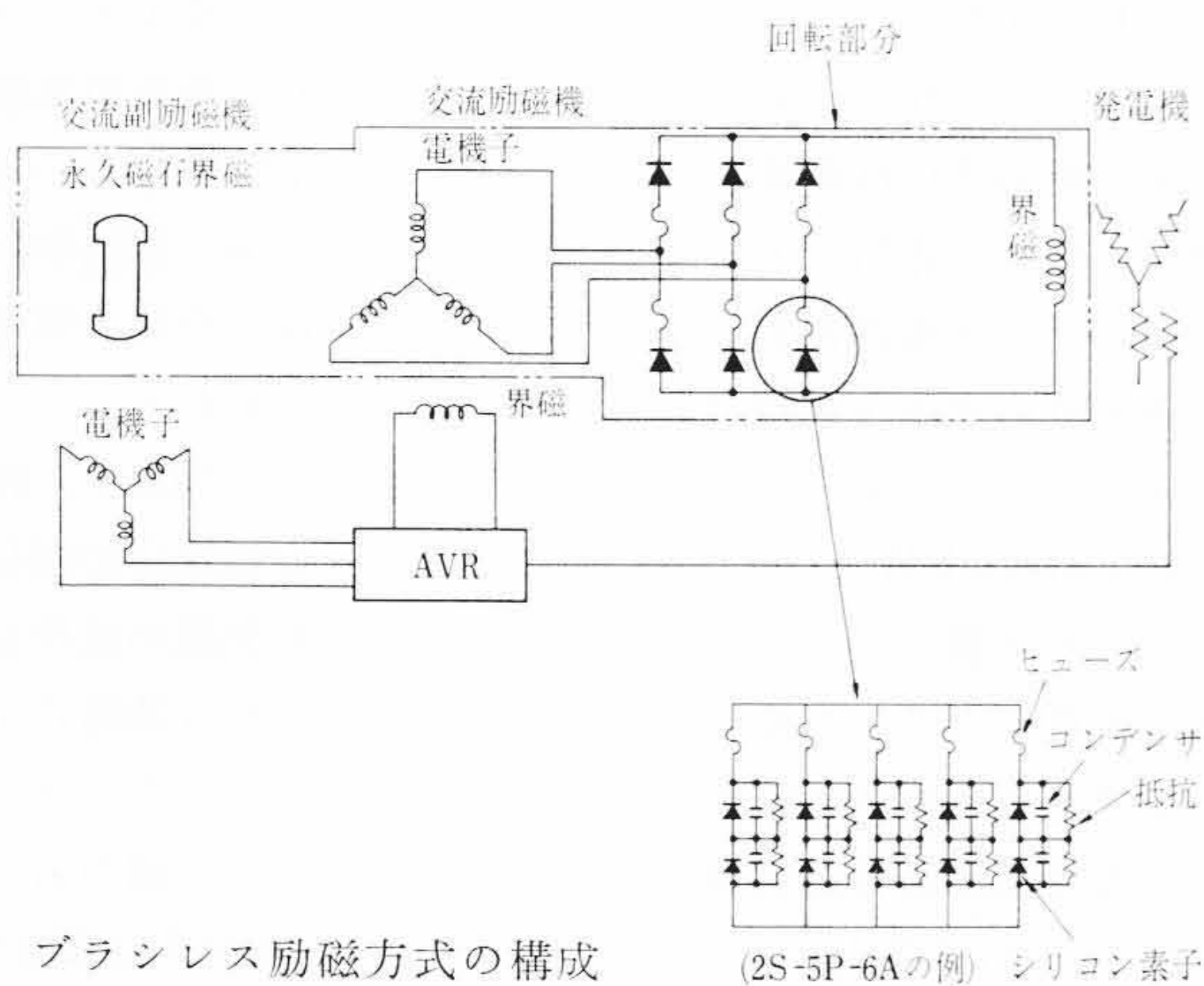


図 3 ブラシレス励磁方式の構成

(2S-5P-6Aの例) シリコン素子

表 2 シリコン整流素子の定格 (H04M)

項 目	単 位	定 格	備 考
定格せん頭逆耐電圧	V	1,300	単相半波波高値
定格せん頭過渡逆耐電圧	V	1,600	単相半波波高値
定格平均順電流	A	300	
定格瞬時過電流	A	5,500	20 ms, 波高値
動作温度	℃	-25~+150	ジャンクション部
保管温度	℃	-25~+150	ジャンクション部
最大順電圧降下	V	1.5	単相半波波高値

2.1 回転整流器

ブラシレスタービン発電機で最も重要なものが、この回転整流装置である。強大な遠心力に対する考慮と同時に、事故時の過電圧・過電流など電気的にも細心の考慮を要する部分である。

シリコン整流素子の結線には三相全波整流回路(グレッツ結線)と三相半波整流回路の2種類があり、リード線の引きまわしは多少複雑になるが、整流素子に印加される逆電圧値が小さく、また利用率も高い前者が採用されるのが普通である。

シリコン整流素子は特に強大な遠心力に対して耐えるよう開発された日立製 H04M なる素子(平均順電流 300 A, ピーク逆耐電圧 1,300 V)を使用し、定格時および過渡時の電圧電流値から、直並列数はおのおの定められるが、直列個数 1~3, 並列個数 2~16 程度で 500 MW 級までのタービン発電機に必要な励磁容量を得ることができる。日本レイヨン株式会社宇治工場納には三相全波回路を採用し各アームに 2 個直列, 2 個並列のいわゆる 2S-2P-6A の接続としている。シリコン素子 H04M の定格を表 2 に示す。

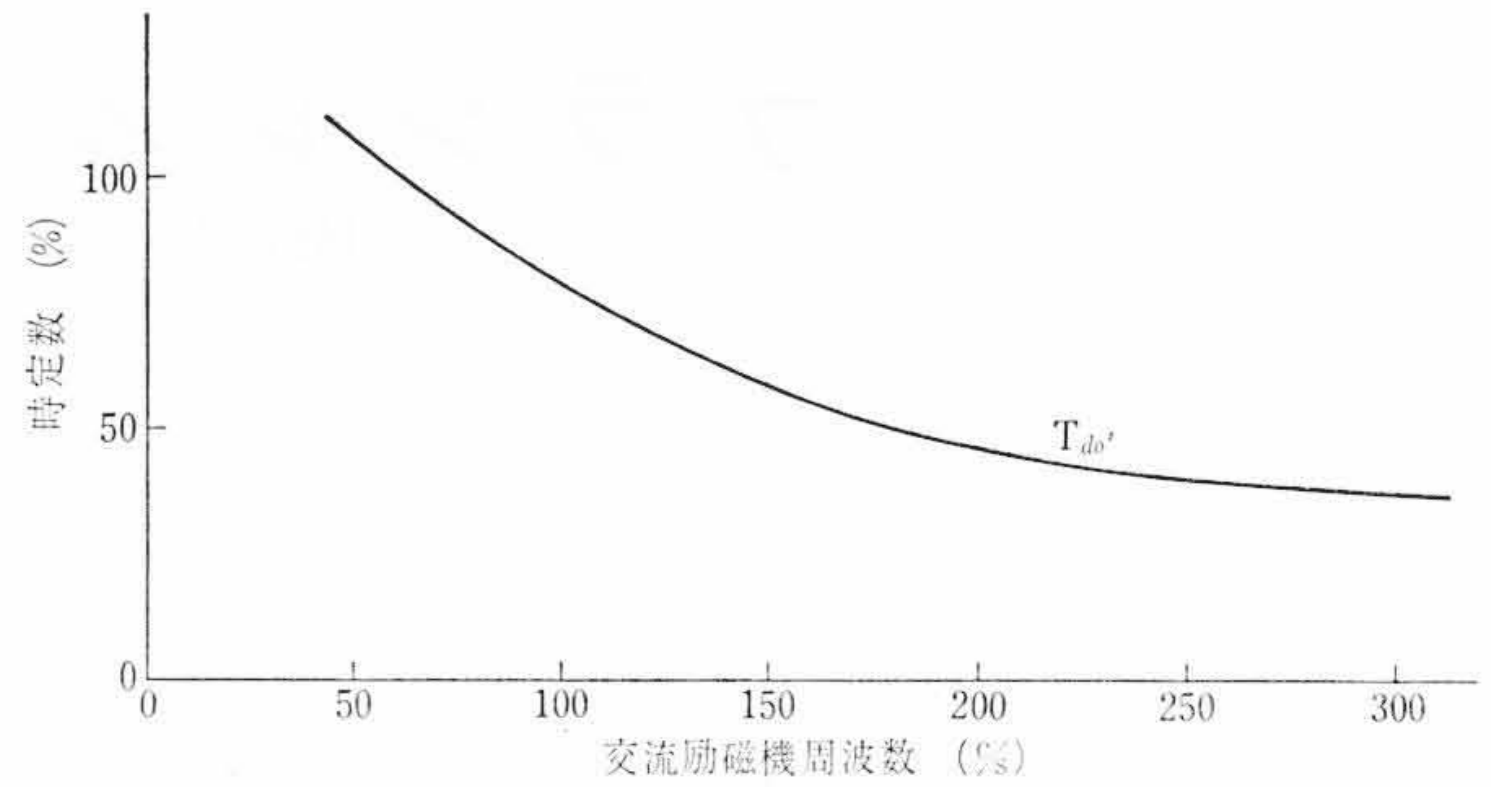


図 4 交流励磁機の周波数と時定数

2.2 交流励磁機

交流励磁機の動作状態は整流回路が定まり、直流側の条件すなわち主発電機の界磁電流・電圧が定めれば正確に求めることができる。交流側の力率も一義的に定まり、普通は 0.85~0.93 程度である。

励磁装置の応答特性を改善する有効な方法に励磁機の時定数を短縮することがある。そのためには極数を多くして周波数を上げることが有効で、一例を図 4 に示す。同図にあるように、時定数の減少の度合いも飽和してくるし、鉄損の増大やうず電流による漂遊負荷の増大およびリアクタンス値の増加などの問題のため 500 c/s を越える周波数とすることは少なく、100~420 c/s 程度を採用することが多い。

ブラシレス方式の場合には、交流励磁機が回転電機子構造のため静止側の界磁極の数、したがって周波数を比較的自由に選択することができるのである。なお日本レイヨン株式会社納には 300 c/s を採用した。

構造的には、回転電機子、静止界磁のため比較的直流機に類似した構造となり、火力機の場合は 3,600 または 3,000 rpm の高速機のため電機子コイル端部の耐遠心力構造などに考慮が払われている。

2.3 交流副励磁機

交流励磁機の界磁は、主発電機の出力の一部あるいは所内電源などから励磁されることもあるが、同一軸上の永久磁石発電機により励磁する場合も多く、その場合には系統異常時にも主機軸から励磁エネルギーを得ることができて主機の励磁を確保し、また初励磁の問題もなく安定な運転が可能となる。永久磁石発電機は、回転界磁として永久磁石を利用するものであり、従来、调速機用などに実績が多い。経年変化などにより減磁するという事はないが、万一のため励磁巻線を備えているのが普通である。またこの交流副励磁機は AVR 装置の諸電源を兼ねている。

2.4 保護装置

図 3 の構成図中に示したように、各素子に並列に抵抗器とコンデンサを接続する。並列抵抗の目的は定常状態で均一な電圧分担を行ない、かつ過渡時の電氣的振動の減衰を早めることにあり、また並列コンデンサは過渡時の電圧分担を均一にするためとシリコン素子の正孔蓄積効果を吸収するためである。

整流回路の各枝に対し 1 個ずつの高速限流ヒューズをもうけ、万一整流素子が短絡故障を生じた場合には回路からすみやかに切り放す必要がある。ただしヒューズは主発電機に三相短絡などが生じてその誘導で界磁巻線および整流素子に大きな電流が流れる場合などは動作しては困るわけで、シリコン素子の短絡故障のみを選択遮断する必要があり、その遮断特性は、あらゆる事故時の過渡電流の値から決定されねばならない。

またヒューズが動作したときはそれを外部から検出できるような装置をもうけ、動作したヒューズの個数と位置を常時確認しておく必要がある。そのため日立製作所では電磁ピックアップにより、ヒューズあるいはその接続導体の電流による磁界の有無を静止側より



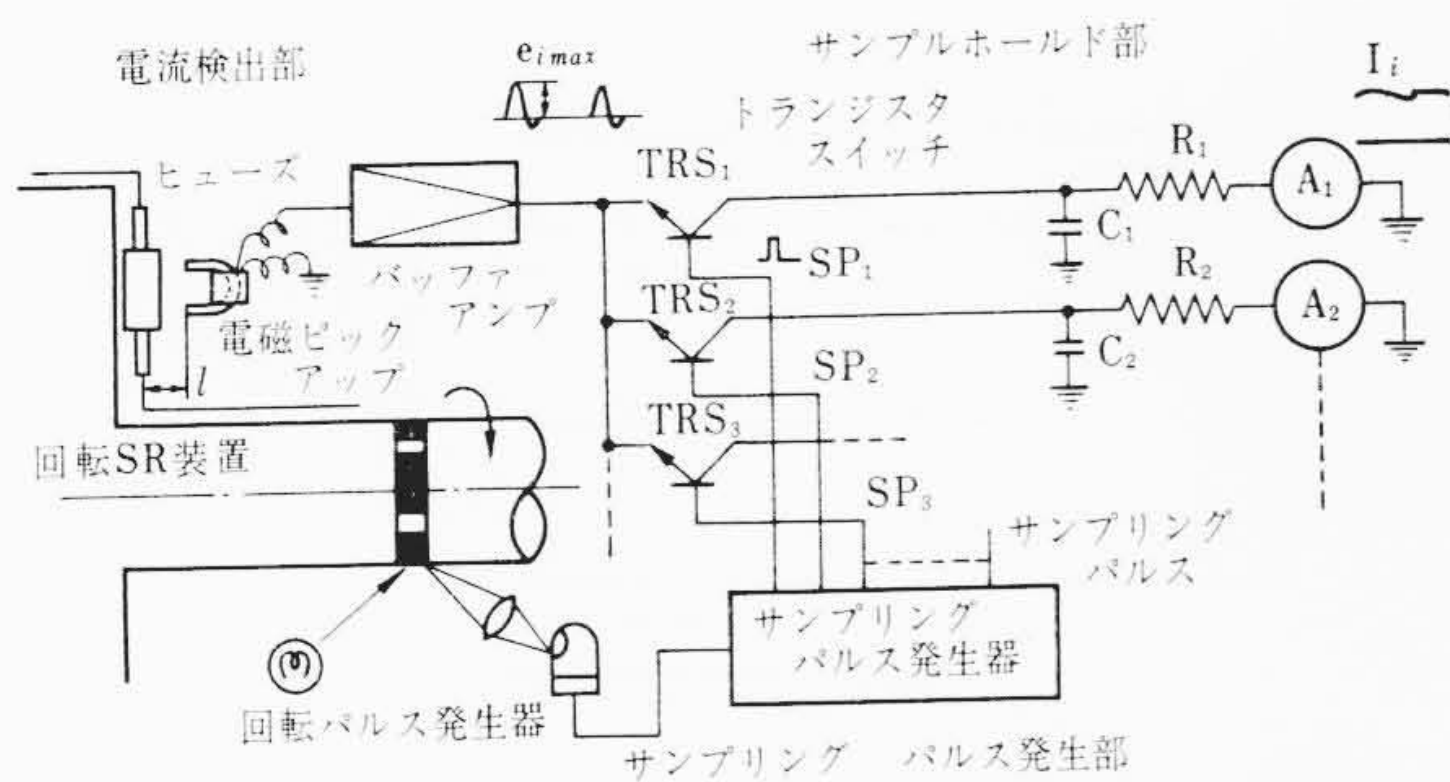


図5 ヒューズ溶断検出方式(特許申請中)

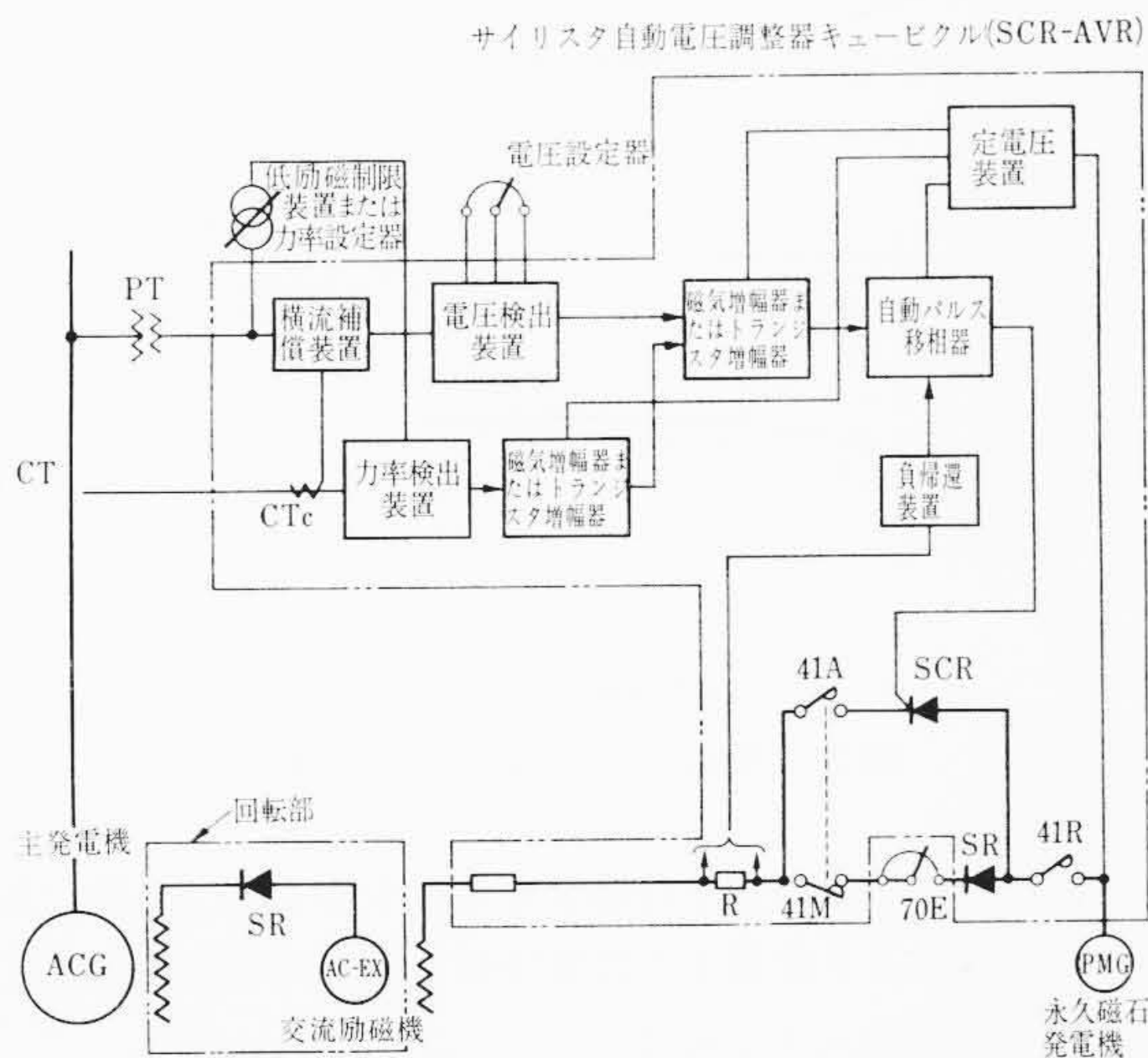


図6 自動電圧調整装置単線結線図

検出し、その出力電圧をサンプルホールドして故障したヒューズの識別ならびに表示・警報する方式を実用化した(特許申請中)。検出装置の構成は図5に示すとおりで、溶断検出のために回転体上に付加物をつける必要はなく、軸回転に同期したサンプリングパルスにより、各枝の通流期間のみトランジスタスイッチを導通させて、たとえば電流計にて電磁ピックアップの誘起電圧に見合う電流を読み、必要に応じて警報表示も行なうという方式である。本方式にはストロボによる方式などのように現場にて確認する必要はなく、すべて中央操作室にて確認することができる利点もある。

また発電機保護の目的で用いられる継電器には一般的に表3に示すようなものがあるが、そのうち界磁巻線に接続しているものは界磁接地リレー 64Fのみであり、それだけはブラシレス方式では取り付けすることはできない。したがって純粋なブラシレスではなくなるが、界磁接地検出用の小さなスリップリングをもうけて定期的にブラシを当て接地の有無をチェックする方式が普通である。

2.5 自動電圧調整装置

ブラシレス励磁方式の自動電圧調整装置(AVR)は直流励磁機の場合と本質的に同一であり、一例(サイリスタ励磁の場合)を図6に示す。

PT二次電圧を整流した入力信号を設定値と比較し、その偏差をトランジスタ増幅器または磁気増幅器などにて増幅し、自動パルス移相器にて永久磁石発電機の出力側のサイリスタのゲートコントロールを行なう。制御ループはさらに交流励磁機電機子、主発電機界磁、主発電機電機子を経て、閉ループとなる。

AVRの安定性を得るために主発電機界磁からダンピングをとるのが最も望ましいが、ブラシレスの場合には主発電機界磁およびその接続部分はすべて回転しているため、交流励磁機の界磁にダンピング回路をもうけ、そこで主発電機界磁にダンピング回路をもうけ

表3 保護継電器

発電機比率差動	87G:電機子巻線接地・短絡保護
発電機界磁喪失	40G
発電機界磁接地	64F
発電機電機子接地	64G
発電機逆相保護	46G:三相不平衡保護
発電機逆電力	67
主変圧器比率差動	87GT:ユニット短絡保護
後備過電流	51

た場合と等価なフィードバックを得るようにする必要がある。

またAVRには直流励磁方式の場合と同様に、産業用機の場合には力率一定運転装置をもうけ、また事業用機では低励磁制限装置をもうけることにより、全領域で安心して発電機を運転することができる。

AVRは必要に応じて自動電圧制御に切り換えられるが、この場合は、永久磁石発電機の出力は整流されて手動の界磁抵抗器を介して交流励磁機の界磁に供給されることになる。

増幅器中のサイリスタには直列にヒューズをそう入し、ヒューズが切れた場合にはランプまたはトリガーヒューズにより表示し、運転中でもトレイごと引き出して交換できる構造とするのが普通である。

3. ブラシレス励磁装置の特長と問題点

ブラシレス励磁方式は保守点検上非常に容易であるという大きな利点を有する一方、回転体上に主要部品を装荷するために種々の制約をうけ直流励磁機方式あるいは同じ交流励磁機方式でも静止整流器方式のコミュテータレス方式と比較するとかなりの相異点を有している。ここでは他方式と比較しつつ、ブラシレス方式の特長と問題点につき述べる。

3.1 各種励磁方式の比較

おもな項目につき直流励磁機方式、コミュテータレス方式、ブラシレス方式の比較をしたのが表4である。このほかに広く用いられている励磁方式には複巻静止自動方式があり、またごく最近用いられ出したものにサイリスタ励磁方式があるが、いずれもすべてを静止機器で構成するもので、回転励磁機を用いる前記三者とは多少趣を異にしている。また比較的小容量機に限られるところから、これらは比較の対象にしないことにする。

(1) 応答特性

主発電機の電圧確立の様子を各種励磁方式につき比較したのが図7であり、ブラシレス、コミュテータレスのいずれの場合も交流励磁機の場合には、その固有の大きな電圧変動率のゆえに出力電圧に大きなオーバーシュートを生じ、主発電機の界磁電流の立上りを直流励磁機の場合よりも早めることができることが顕著である。すなわち交流励磁機のほうが主発電機の界磁時定数を見かけ上減少させるということになるが、一方所要励磁容量は交流励磁機のほうが直流励磁機よりも多少増加する傾向がある。

図7はアナログ計算機による計算結果であるが、別途試作の交流励磁機において応答特性の実測を行ない、計算と実測が一致することを確認している。

(2) 外形寸法

表4に示したように回転励磁機と静止の励磁機盤を合わせて考えると、コミュテータレス方式とブラシレス方式は優劣なしと考えられる。

(3) 信頼性

表4に示したとおりである。

(4) 運転

コミュテータレス方式と電流励磁方式の場合には、主発電機の



表4 励磁方式比較

項目	方式	(1) 直流励磁機方式		
		(1)	(2) コミュテータレス方式	(3) ブラシレス方式
1	応答速度	遅い	(1)より早く (3)とほぼ同一	(1)より早く (2)とほぼ同一
2	外形寸法	Ex 本体 大 励磁機盤 大	Ex 本体 小 励磁機盤(1)よりSR盤の分だけ大	Ex 本体 小 回転整流装置と合わせると(1)のギャ直結の場合とほぼ同じ励磁機盤 最も小 (FS盤なし)
3	運 転 (1) 界磁遮断器 (2) 急速減磁 (3) 逆励磁 (4) 界磁電流温度測定 (5) 界磁回路のアレスター (6) シリコン素子交換 (7) 予備機との切換 (8) 界磁接地リレー (9) 励磁制御量	あり 可 可 可 — — 可 あり 小	あり 可 不可 可 あり 運転中可能 可 あり (1)より大 (3)とほぼ同一	なし 不可 不可 精度は落ちるが可 なし 運転中 不可 不可 補助スリップリングを取れば可能 (1)より大 (2)とほぼ同
4	保 守 点 検	Ex整流子, 発電機スリップリングとも, ブラシがある点で不利	スリップリングのブラシがある点で(3)より不利 整流器の点検交換は有利	ブラシが全くなく最も有利 ただし整流器の点検は(2)より不利
5	そ の 他	電動機駆動の場合には約 1,200%の起動 kVAを要する		

界磁巻線に界磁遮断器(FS)をもうけることができるため、予備機との切り換えもできるし、主発電機短絡時などの急速減磁を放電抵抗を利用して行なうこともできるが、ブラシレス方式ではいずれも不可能である。

また運転中、主発電機の界磁電流、界磁電圧、界磁巻線温度などを計測することは、ブラシレス機の場合は直接的には不可能で、間接的に精度の落ちる方法で測定するしかないが、ほかの二者の場合は直接計測が可能である。

界磁接地リレーもブラシレスの場合は補助スリップリングを用いなければ取り付かない。

整流器励磁の場合はいずれも主界磁の逆励磁は不可能であるが、それは応答速度が早いことでカバーし得る。また整流器励磁のために主界磁巻線に高電圧が発生する可能性があるが、その場合にはコミュテータレス方式のほうが、界磁巻線に並列にアレスターを設置することができるためブラシレス方式より有利といえる。

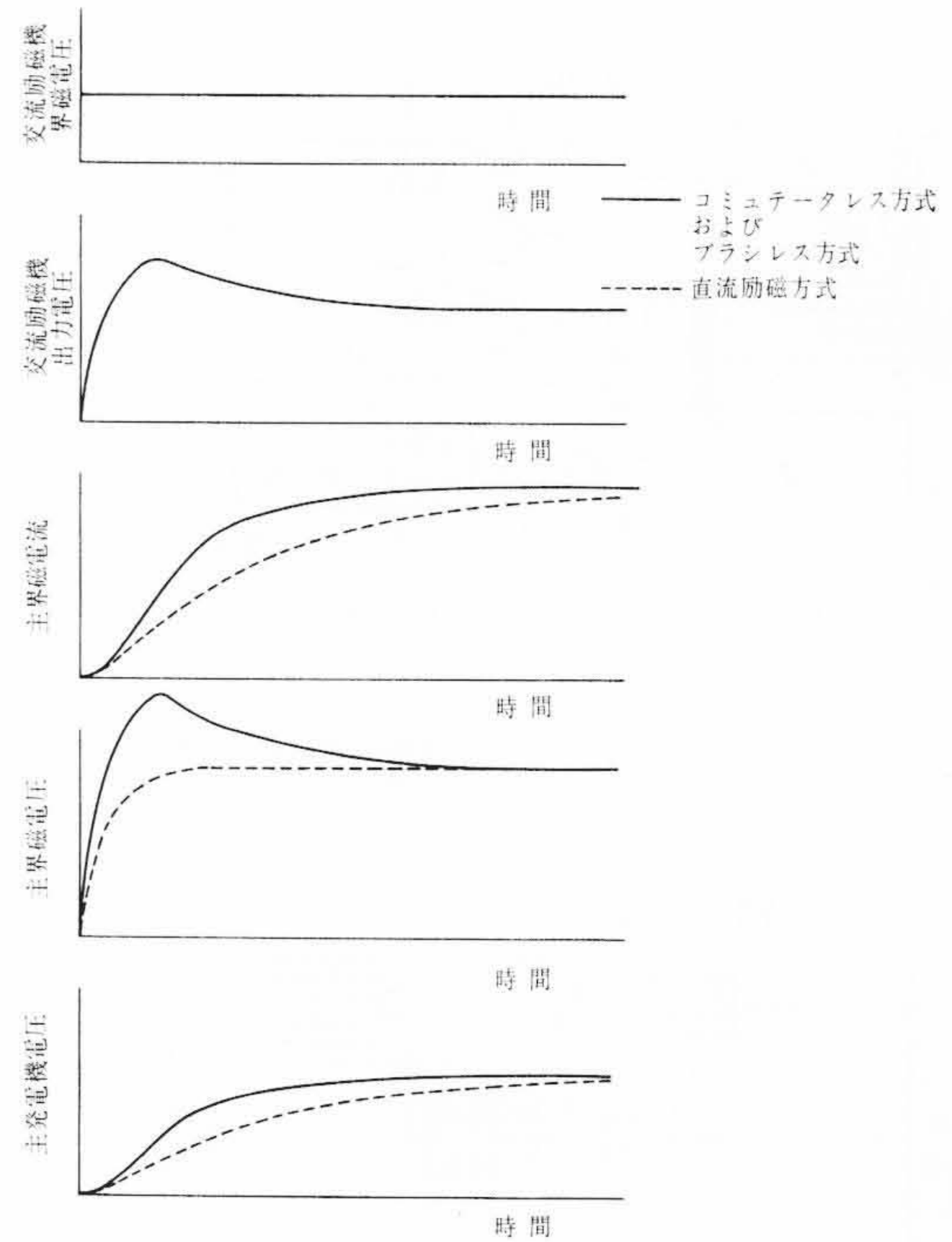
(5) 保 守 点 検

表4に示すとおりブラシレス方式が最も有利である。

以上表4にまとめた結果から考えると、交流励磁方式は直流励磁方式よりはすぐれているが、ブラシレス方式とするかコミュテータレス方式とするかでは優劣をつけにくい。保守点検を重視するか、運転上の便利さを重視するかにより、おのおののケースにつき決定すべきものと思われる。

3.2 過渡時の逆電圧と直列素子数

正常運転中は各アームに加わる逆電圧値は、励磁機が頂上電圧を出している場合であっても直流出力電圧と同程度であって、あまり問題にはならない。むしろ直列素子数を決定するのは過渡時の逆電



(主発電機無負荷の場合)

図7 励磁方式と電圧応答比較

圧であり、それには次のような場合を考慮することが必要である。

- (1) 誤動作により位相または電圧値を合わせずに系統に主発電機を同期投入する場合
- (2) 非同期運転の場合 (誘導発電機運転の場合)
- (3) 単相運転の場合
- (4) 二回線送電線での故障遮断の場合
- (5) 全負荷遮断
- (6) 進相負荷を投入する場合

いずれの場合も界磁電流に定常的にまたは過渡的に交流分が重畳し、界磁電流がある時点で負の値をとろうとして整流素子によりブロックされて素子の端子間に高い逆電圧が発生するものである。(3)から(6)の場合は、いずれも界磁異常電圧は全く発生しないか、あるいは発生しても非常に小さな値であると考えられ、実用上問題となるのは(1)(2)の二ケースである。

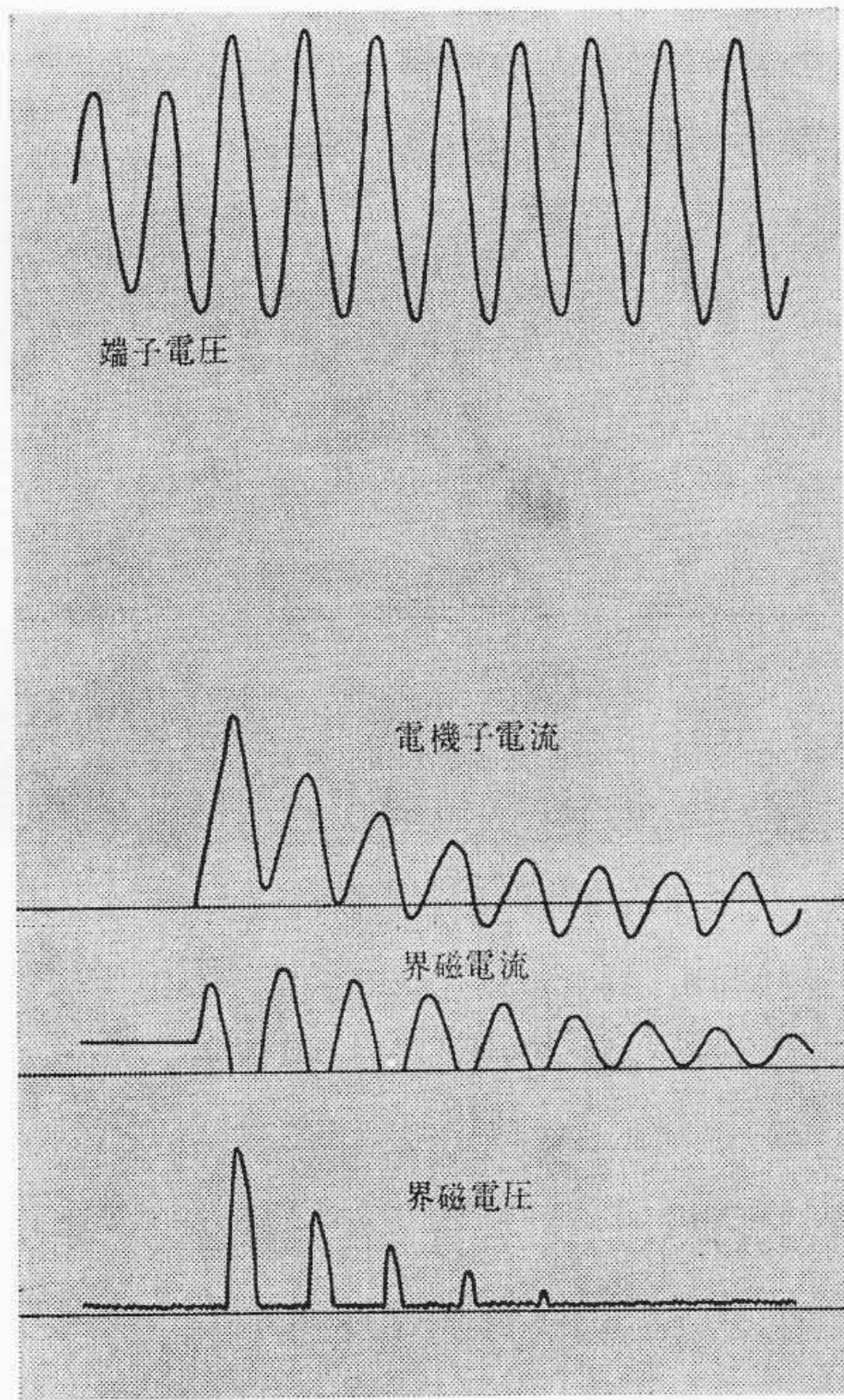
(2)の非同期運転の場合は、主発電機が誘導発電機として運転することがあったとしても、そのすべりは普通1%以下と考えられ、その程度のすべりでは発生する逆電圧は主界磁巻線端子間で数百V程度であり、問題とならない。(1)の同期投入の場合には誤操作の程度にもよるが、主発電機の発生電圧のほうが系統電圧より低い値で投入した場合が電圧は一致させても位相が合っていない場合には、主界磁巻線間に数千Vもの高い逆電圧が発生することがあり得る。このときのオシログラムの一例を図8に示す。主界磁電流が負になろうとして阻止された期間だけ高い逆電圧が発生していることが顕著である。したがってある程度以上の電圧差あるいは位相差では同期投入を行なわないように注意するか、あるいはさらにインターロックを組むことにより、この事故は防ぐことができる。

結局、直列素子数はこれら事故時の最大逆電圧の値を考慮し、主界磁巻線の耐電圧値と協調をとって決定されることになる。

3.3 過渡時の過電流と並列素子数

並列素子数の選定には、まず正常運転時に関しては主発電機の定格界磁電流に見合う各素子の電流使用率が、多くとも70%程度以下になるように定める。それは電流の不均衡で15%を見込み、また余裕は少なくとも20%は取るからである。





(異電圧投入の例)

図8 同期投入時の主発電機界磁巻線の異常高電圧

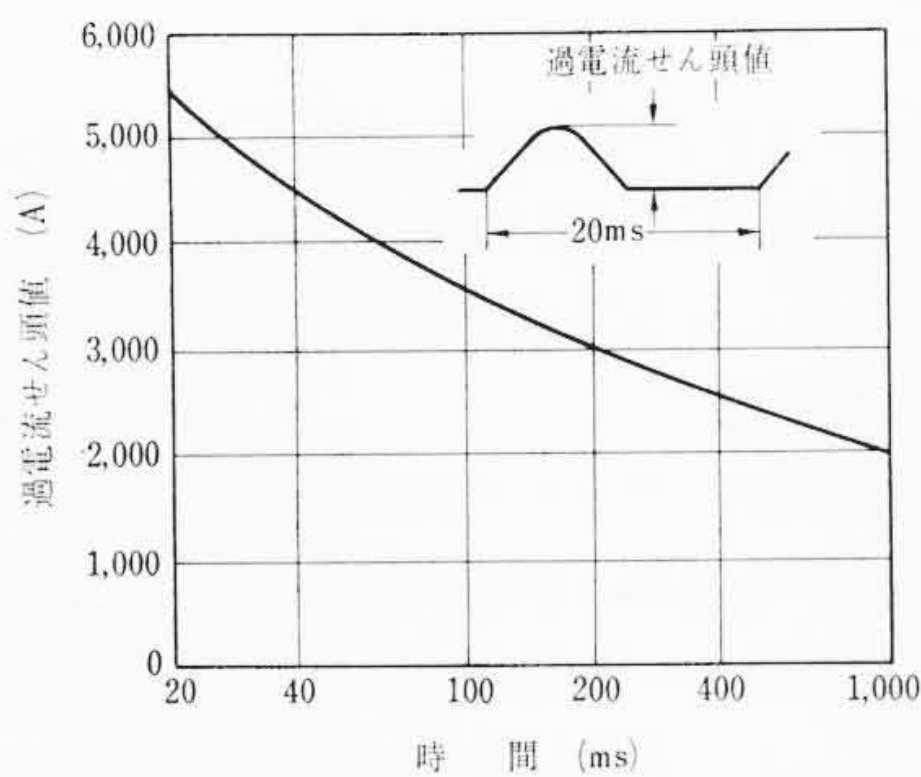


図9 シリコン整流素子H04M 過電流耐力曲線

過渡的な過電流としては次のものが考えられる。

- (1) 整流回路の一枝が短絡し、交流励磁機がその枝を介して短絡する場合
- (2) 主発電機が三相短絡を生じ、その誘導で界磁巻線に大きな電流が流れる場合
- (3) 主発電機界磁の短絡
- (4) 強制励磁

ここで(1)の場合はヒューズがある場合には短絡した枝を直ちにヒューズで切り放すが、ヒューズなしの場合には後述の方法などによりそれを検出して、発電機をいったん停止し、健全素子と交換する必要がある。(2)(3)の場合には、これは遮断してはいけない訳で、これがシリコン素子の過渡許容電流以下になるように並列素子数を定め、またヒューズの遮断特性の決定のときもこれを考慮せねばならない。(4)の短時間の強制励磁電流に関しては発電機界磁巻線の熱的許容過電流値が、定格界磁電流値の125%に1分間耐えるという設計が普通だが、シリコン素子もこれには十分耐えうる過電流耐力を有しており問題はない。図9にシリコン素子H04Mの過電流耐力曲線を示す。

### 3.4 遠心力に対する強度

シリコン素子は、耐遠心力素子として特に開発されたH04Mであり、静止時の等価過酷試験にPNジャンクション、パッケージとも合格したあと、試験用回転整流装置に組み込んで回転試験を行ない問題なく合格したものである。

表5 シリコン整流素子の過酷試験項目 (ジャンクションに対する過酷試験例)

試 験		電 気 的 特 性 試 験	
1	加圧逆電圧試験	1	順方向電圧降下測定
2	加圧通電試験	2	逆特性測定
3	くり返し加圧試験	3	熱抵抗測定
4	振動試験	4	過電圧印加、逆電流測定
5	ヒートサイクル試験	5	過電流通電、順方向降下および逆電流測定

以上の過酷試験の前後で右の電気的特性を測定した

H04Mは合金形のPNジャンクションを有し、それは負荷時の熱応力低減のため熱膨張係数の近いタングステン板を経て銅ベースに装着され、上部は内リードに接続されている。銅ベースと外リード間はセラミックがい子で絶縁され、内部には不活性ガスが充てんされていて素子が外部ふんい気により劣化することを防止している。

回転時に等価な試験を静止時にジャンクションに対して行なったがその項目は表5に示すとおりである。

逆電圧を印加したり、電流を通電させながら実運転時より、はるかに過酷な荷重を加えて加圧試験を行ない、その前後で表5に示したような電気的特性を試験したが全く差異が見られなかった。上記加圧試験に引き続いて同じジャンクションで振動試験、ヒートサイクル試験を行なったが、いずれも機械的損傷も電気的特性の劣化も認められず、問題なく合格となった。

またパッケージには、定常加圧高温クリープ試験、くり返し圧縮試験、圧縮後振動試験、圧縮後ヒートサイクル試験などをいずれも250 MW級機実機の状態よりはるかに過酷な条件で行なったが、変形量、リーク量とも全く認められないか、あるいはごくわずかで許容値内に十分はいる、問題なく合格となった。

さらにこののち、素子は250 MW級3,600 rpm試作回転整流装置にて、8ヶ月にわたる実回転試験を行ない、異常のないことを確認した。

シリコン素子は本質的に圧縮側の力に対してはきわめて強く、したがって素子の取り付けも当然遠心力がすべて圧縮側に働くよう配慮されている。

並列抵抗およびコンデンサは特別に開発した耐遠心力構造でエポキシ樹脂でモールドされており、おのおのシリコン素子と同じように等価過酷試験と回転試験のおのおのに合格したものである。

## 4. 日本レイオン株式会社宇治工場納 ブラシレス励磁装置

### 4.1 機器仕様

#### 4.1.1 発電機

形 式	横軸円筒回転界磁、閉鎖通風形、同期発電機
数 量	1台
出 力	14,000 kVA
電 圧	3,450 V
周 波 数	60 c/s
回 転 数	3,600 rpm

#### 4.1.2 励磁装置

形 式	AVR付ブラシレス励磁方式、風道付強制空気冷却
数 量	1式
構 成	交流励磁機(主発電機直結) 1台
形 式	横軸、回転電機子、突極同期発電機
出 力	55 kVA



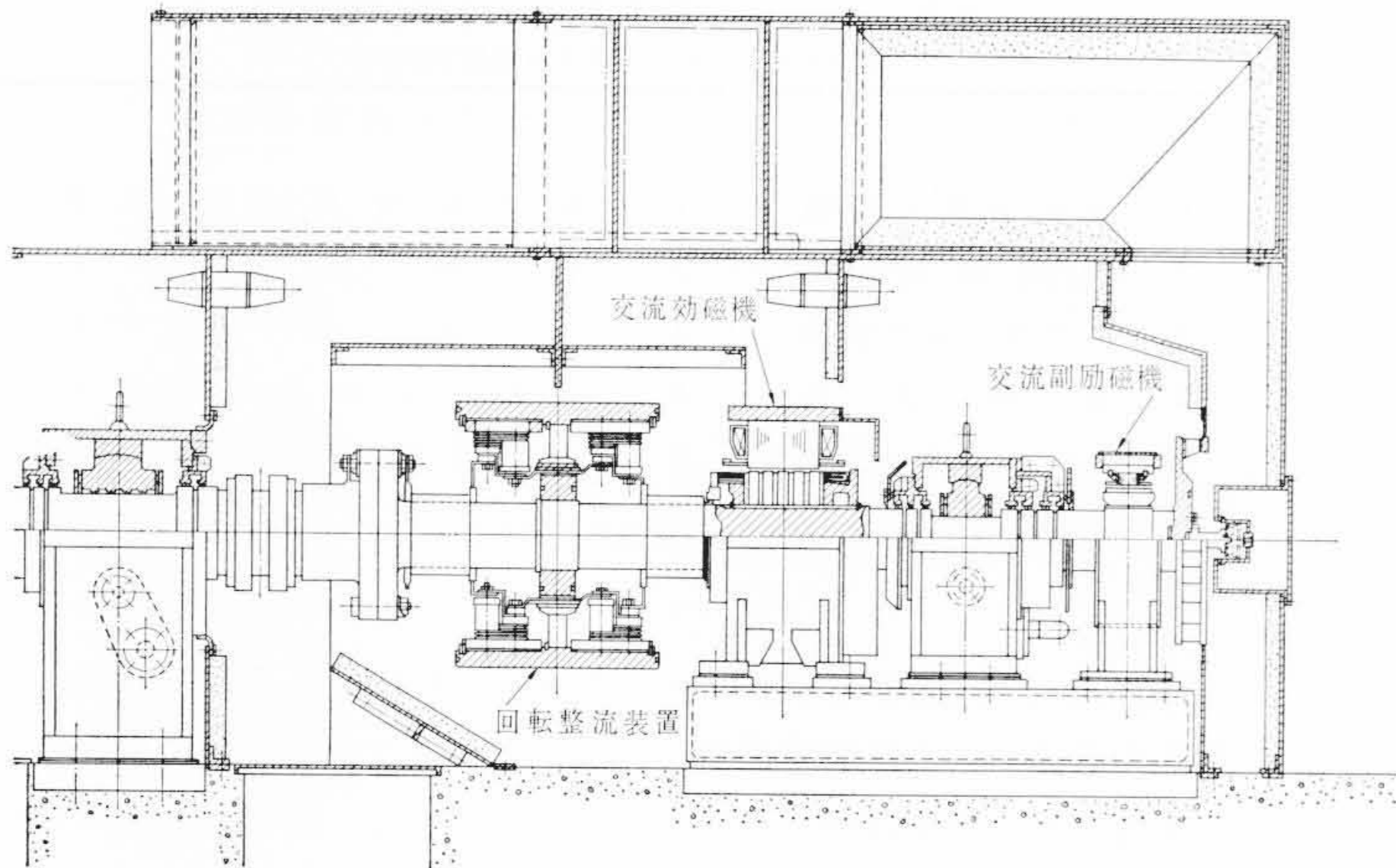


図10 日本レイヨン株式会社宇治工場 ブラシレス励磁装置断面図

相数	3
電圧	90V
周波数	300 c/s
回転数	3,600 rpm
極数	10
回転整流器(主発電機直結)	1台
形式	回転シリコン整流装置
接続	三相全波(グレッツ結線)
出力	46.7 kW
電圧	110V
交流副励磁機	
形式	横軸、永久磁石回転界磁、突極同期機
出力	2 kVA
電圧	130V
自動電圧調整装置	
形式	連続動作形サイリスタ方式、自動力率調整装置付

#### 4.2 励磁装置の構成

図10に励磁装置の断面図を示す。回転整流装置と交流励磁機は同軸上に組み立てられ、一方はカップリングにより主発電機軸と直結され他方は励磁機軸受にてささえられる。交流副励磁機および強制通風用冷却ファンは軸端にオーバハングの構造とした。室内からフィルタ、サイレンサを経由して取り入れた冷却空気は副励磁機、交流励磁機、回転整流装置の順に冷却してダクトを経て屋外へ排気される。励磁機カバーは運転中は密閉されるが軸受給油圧力、軸受排油温度、排気ガス温度などは指示計により外部より常時監視が可能である。定検時には両側に合計8個もうけたドアにより保守点検が容易に行なえる構造である。

交流励磁機からシリコン素子に伝えられた励磁電力は、直流に変換され、軸上の正・負のコレクタリングに集められたあと、カップリング部を経由してから主発電機を中心孔リードにはいり、主界磁巻線に達する。シリコン素子、並列抵抗、コンデンサなどの各素子は特殊鋼のリティンギングの内周に強固に組み立てられ、リード線なども強大な遠心力に耐える配置となっている。また素子の交換も容易にできるような配列が採用されている。

シリコン素子の結線は2S-2P-6Aであり、発電機の定格負荷運転を行なっているときの素子の平均順電流は定格値の約18%と小さく、また主発電機の三相短絡時に各素子に流れる電流あるいは整流器の直流側短絡のときの素子の電流、一枝短絡時の他相の素子に流れる電流とも図9に示したシリコン素子の過電流耐力以下である

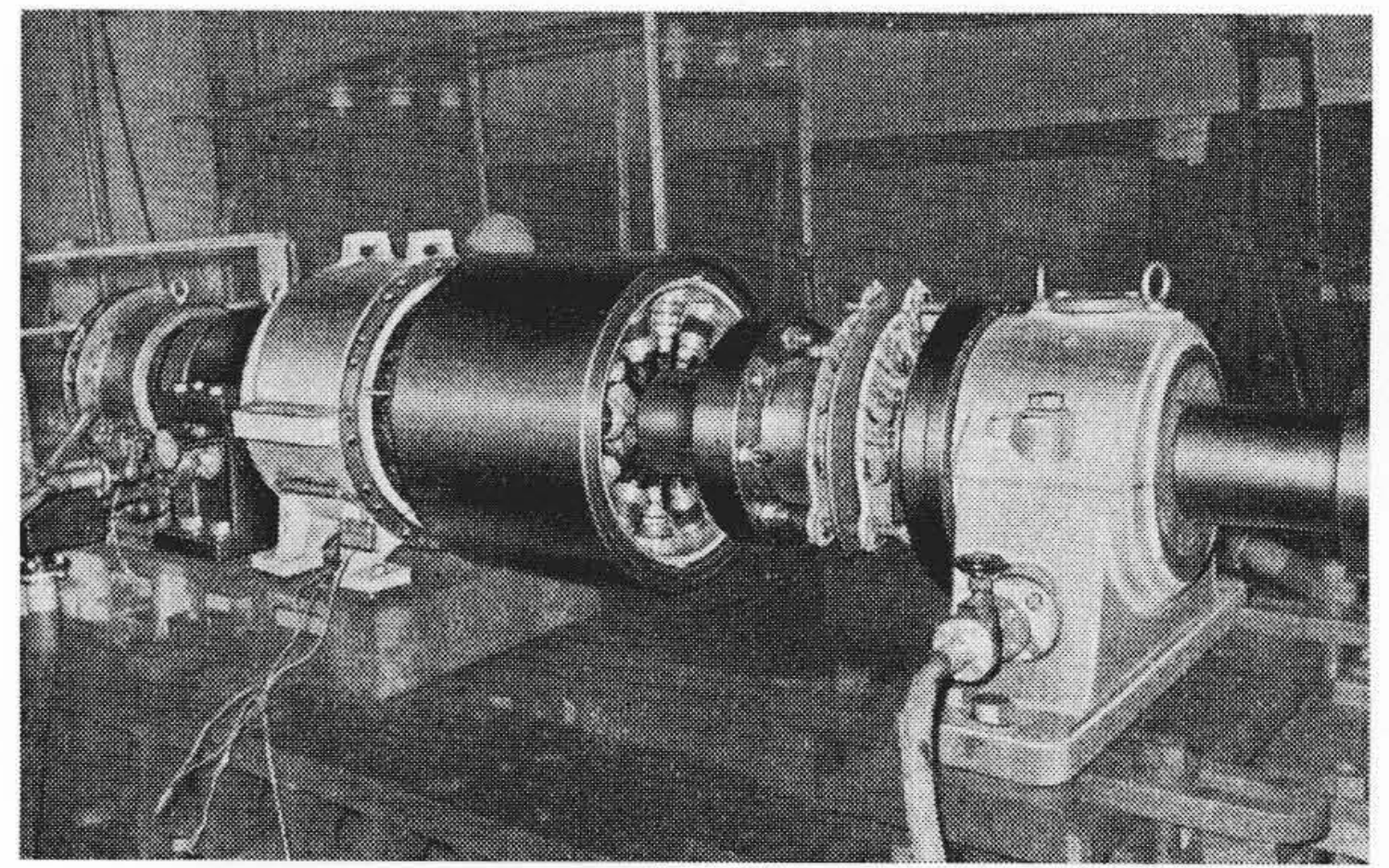


図11 日本レイヨン株式会社宇治工場納 14,000 kVA タービン発電機用励磁装置単独試験

ため、ヒューズは取り付けない方式とした。シリコン素子が直列2個とも短絡故障を生じたときは、発電機を停止して故障した素子を交換する必要があるが、素子の信頼性からみてそのような場合はほとんど起こらないものと考えられる。整流回路の一枝短絡の場合には、主発電機の界磁電流が整流回路健全時の約1/10程度に減少するため、界磁喪失リレーにより検出でき、またAVRが動作しているときは交流励磁機の界磁過電流リレーによっても検出できる方式とした。

AVRはサイリスタ方式で前段増幅器としてトランジスタを使用しており、電圧一定運転(AVR運転)と力率一定運転(APFR運転)のいずれかに切り換える方式となっている。

#### 4.3 試験成績

本機の工場試験に際してはまず試験用スリップリングにより励磁装置の単独試験、主発電機の単独試験を行なって、諸特性を十分に確認してから励磁装置と主発電機を直結し、現地の状態と同じくして総合試験を行なった。単独試験の結果から、現地で主発電機の電機子側の条件と交流励磁機の界磁側の条件を知れば、主発電機の界磁の状態、交流励磁機の電機子の状態を推定することができる。

おもな試験結果は次のとおりである。

##### (1) 励磁機温度上昇試験(主発電機定格負荷条件)

交流励磁機電機子コイル	15°C
交流励磁機界磁コイル	15°C
シリコン整流素子	27°C以下

##### (2) 励磁機速応度

NER=3.3

図11は単独試験中の励磁機の様子を示したものである。

## 5. 結 言

以上、ブラシレスタービン発電機の特長、問題点および構成について述べ、日本レイヨン株式会社宇治工場納 14,000 kVA, 3,600 rpm ブラシレス機についてその概要を紹介した。

日立製作所ではすでに250,000 kW級タービン発電機のブラシレス励磁装置の設計および試作も完了しており、万全の製作体制をととのえているが、一方コミュテータレス方式のタービン発電機も408 MVA機を初めとして数機製作中であり、いずれの場合も使用者側のご相談に応じ得る体制である。

終わりにこのブラシレス方式を採用され、種々のご協力をいただいた日本レイヨン株式会社旭常務取締役、池田原動部長ならびに関係各位に深甚の謝意を表すると同時に、本機が日立製作所日立工場、国分工場、大阪営業所の諸氏の多大のご援助によって完成されたことを付記する。