

ガスタービン発電設備調相運転用 オーバランニングクラッチの開発

Overrunning Clutch for Synchronous Operation of Gas Turbine-Generator

従来、ガスタービン発電設備は、ピークロード及び非常発電用として順調に発展してきたが、最近に至り、更に発電機を同期調相機として利用する傾向が高まってきた。

発電機を調相運転するには、ガスタービンと発電機の上にオーバランニングクラッチを装着する必要がある。

このたび、日立製作所では伝達容量31,500kW、回転数3,000rpmのオーバランニングクラッチの開発を行ない、実機発電機に装着の上、等価模擬試験などを実施した。その結果、クラッチの嵌脱性能は円滑かつ確実に摺動部分の摩耗もなく、高い信頼性を得られることが分かった。

なお、現在、本開発機を基に製作した実用機11ユニットが、海外（バングラデシュなど）で順調に稼動している。

村山孝夫* Takao Murayama

吉鶴睦男* Mutsuo Yoshizuru

大井 征男** Masao Ôi

1 緒 言

ガスタービン発電設備は、火力発電設備などに比べて短納期であること、運転操作が容易で始動・停止が迅速であることなど多くの特長をもち、ピーク及び非常発電用のほか送電不備な地域に対する常用発電用として発展してきた。

しかし、最近各地で新設された火力発電設備が稼動を開始し、送電線路が充実されるにつれて、ガスタービン発電設備の稼動期間が短くなる傾向にある。また一方、発電機を同期調相機（ガスタービンは切り離し、送電線路は接続したまま、同期速度で発電機だけを運転する。）として利用することによって、送電線路の電圧調整及び力率改善を図ることができる。このような背景から、設備の有効利用対策として調相運転の需要が急速に高まった。

図1にクラッチ付ガスタービン発電設備の全体構成図を、図2に発電設備の運転パターンを、図3に最近の調相運転の

需要傾向をそれぞれ示す。

ガスタービン発電設備が、発電と同期調相の両方の機能をもつためには、ガスタービンと発電機の上にオーバランニングクラッチ（以下、同期クラッチと呼ぶ。）を設ける必要がある。しかし、これには、クラッチに対し大動力伝達と同時に高速回転中の嵌脱を行なわせるという高度な技術が要求される。日立製作所ではこの要求に応ずるため、独特の構成をもった同期クラッチを設計するとともに、コンピュータを駆使したシミュレーションと実機による確認試験などを行ない開発に成功した。

その結果、十分な信頼性が確認され、現在、バングラデシュなどで、11ユニットが順調に営業運転を行なっている。以下、その概要について述べる。

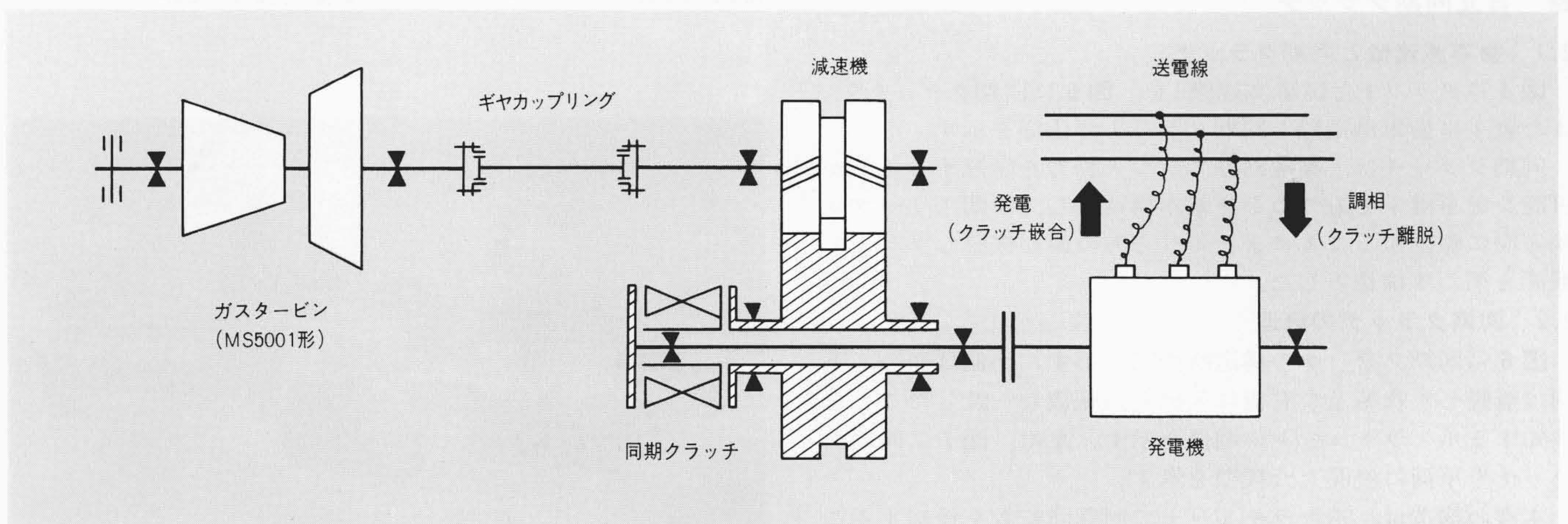


図1 ガスタービン発電設備の全体構成 ガスタービン発電設備は、徹底した標準化とパッケージ化が図られている。

* 日立製作所土浦工場 ** 日立製作所日立工場

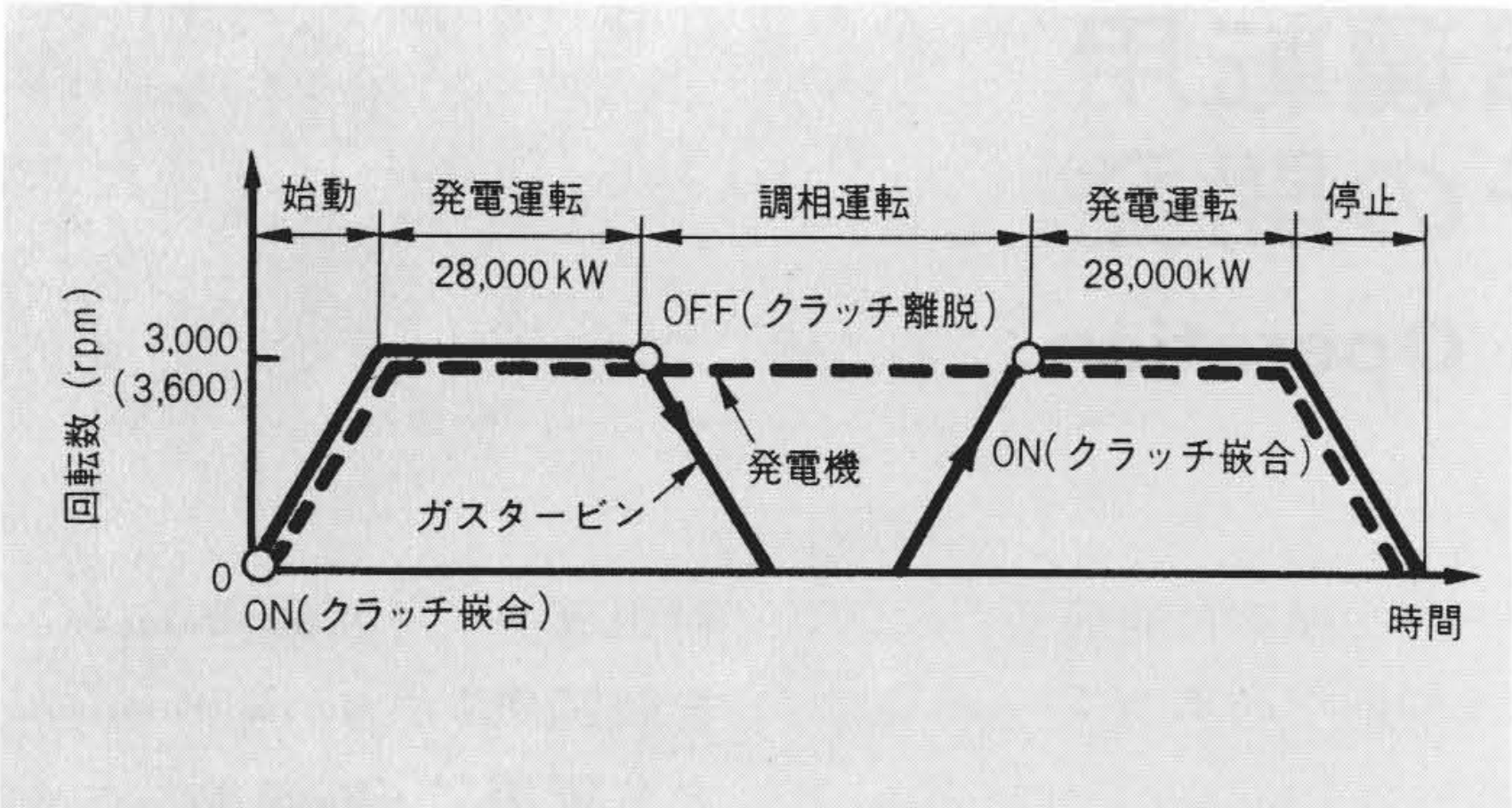


図2 ガスタービン発電設備の運転パターン 運転パターンの一例を示すものであり、一般的には停止期間はなく、発電及び調相運転の繰り返しになる。

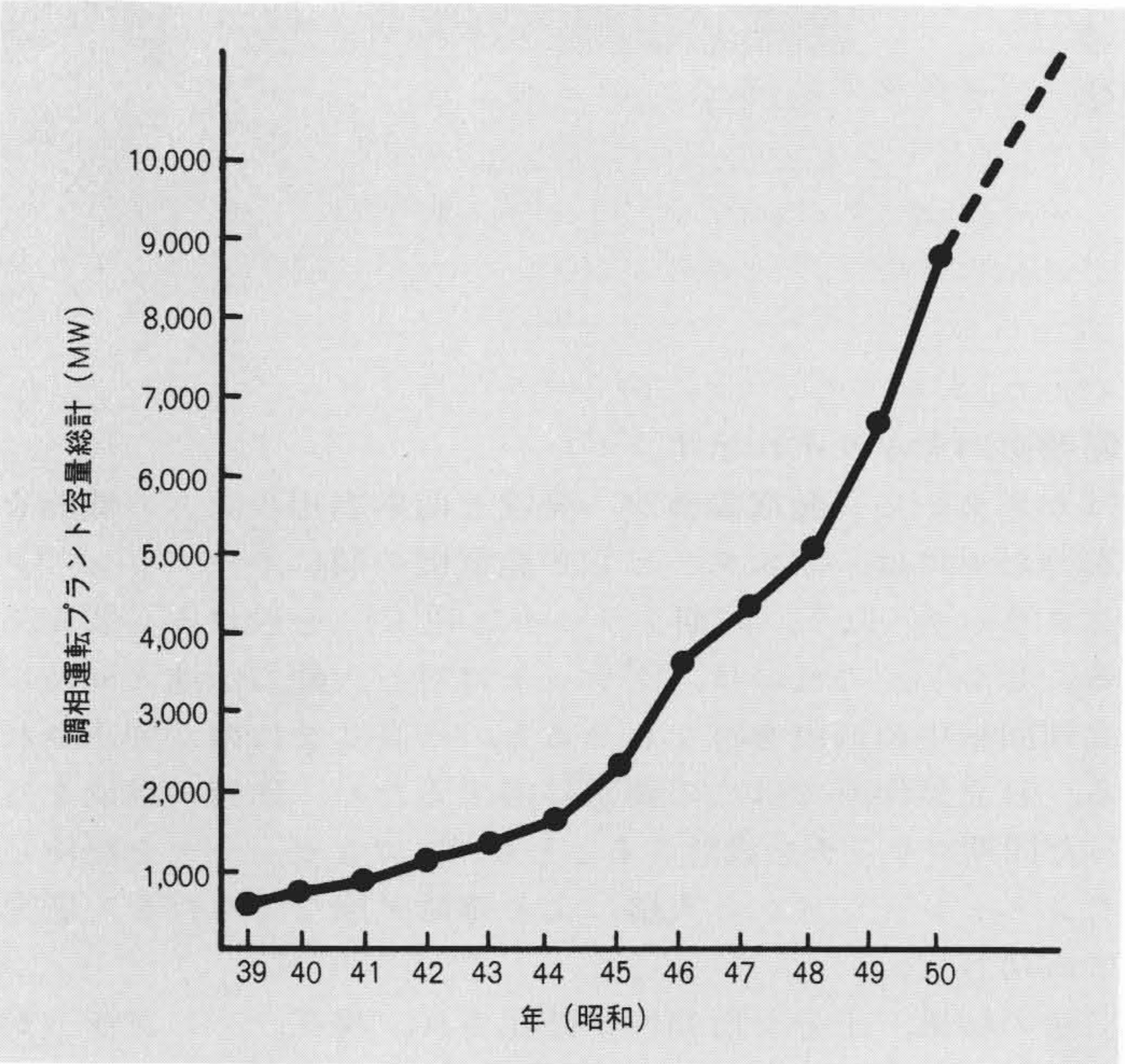


図3 調相運転の最近の需要傾向 調相運転の最近の傾向を示す。

2 日立同期クラッチ

2.1 歯車減速機と同期クラッチ

図4にクラッチ付歯車減速機¹⁾を、図5に同期クラッチを、また表1に歯車減速機と同期クラッチの仕様を示す。

同期クラッチは、高速回転でかつ大動力を伝達することが可能な歯車継手をもつことを基本構造とし、中間スリーブが軸方向に移動することによって、一方の歯が嵌脱しクラッチ機能を果たす構造とした。

2.2 同期クラッチの構造

図6に同期クラッチの構造断面図を示す。上側は嵌合、下側は離脱した状態及び右側に入出力回転数が一致したことを検知する爪とラチェットの関係を示す。また、図7に同期クラッチを平面に展開した模型を示す。

本機の構造は、爪とラチェットで同期回転数を検知すること、ねじの原理で中間スリーブを移動させること、クラッチ機能を果たす歯が幾何学的に必ずかみ込むこと、中間スリーブの移動に伴い自動的に油圧ダンパ機能が働くこと、結合後爪とラチェットに負荷が加わらないことなどの機構的な特長

を挙げることができる。また、高速回転で大動力を伝達し、かつコンパクトにするため歯面に浸炭焼入れを施し高精度研削仕上げ歯車とした。そのほか、摺動するラチェット及び爪も同様に浸炭焼入れ研削仕上げ加工が施されている。

表1 クラッチ付歯車減速機と同期クラッチの主な仕様 F5ガスタービン発電機用減速機には、50Hz、60Hzの2種類がある。

形 式	NX(垂直オフセット形1段平行減速機)	
	50Hz	60Hz
周 波 数	50Hz	60Hz
伝 達 容 量	28,000kW (max. 31,500kW)	
入 力 軸 回 転 数	5,106rpm	5,094rpm
出 力 軸 回 転 数	3,000rpm	3,600rpm
減 速 比	1.702	1.415
ク ラ ッ チ 伝 達 ト ル ク	9,090kg・m	7,575kg・m
ク ラ ッ チ 周 速	85m/s	101m/s
全 体 給 油 量	450 l/min	500 l/min
潤 滑 油 油 種	JIS K2213 添加タービン油1種	

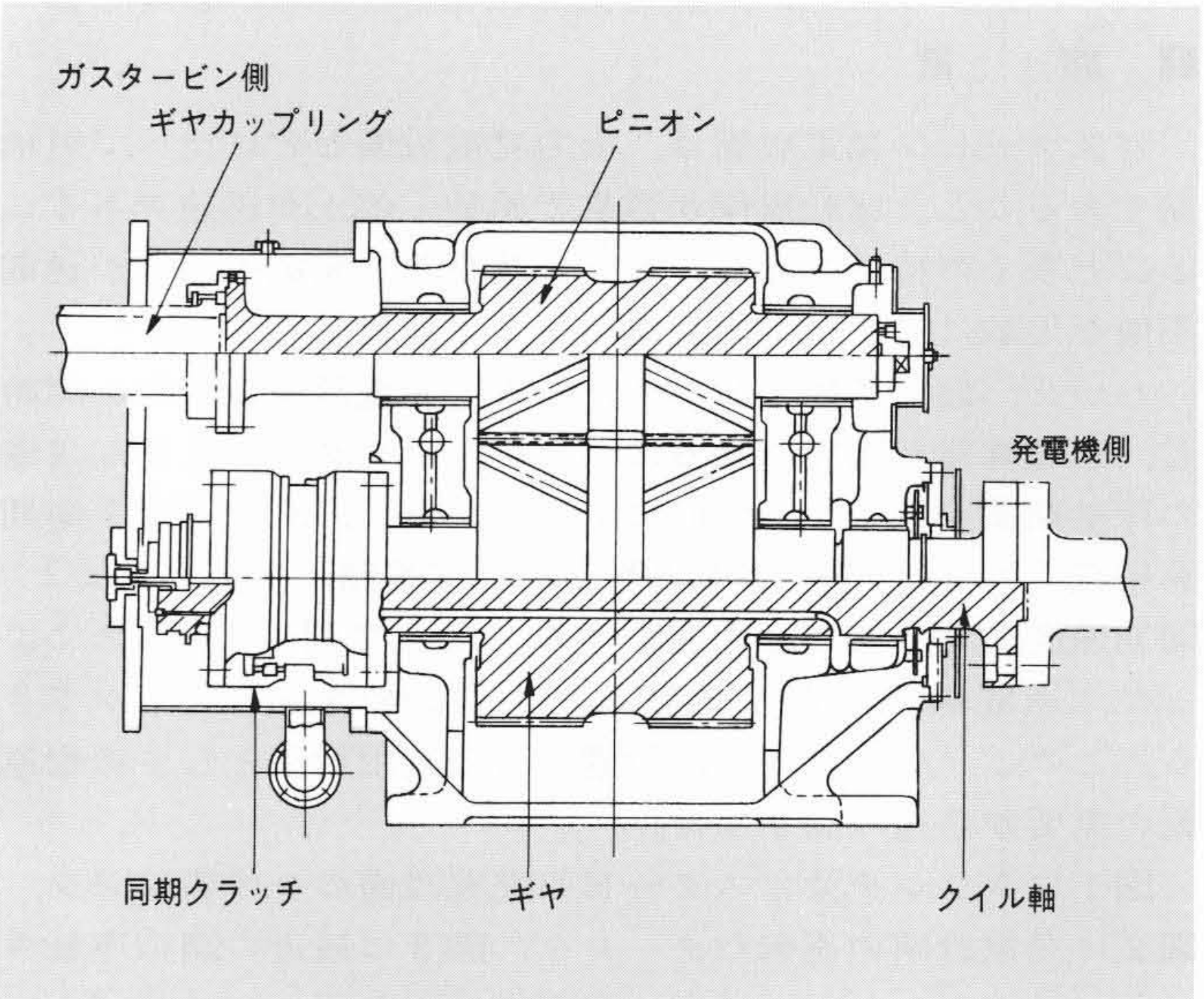


図4 クラッチ付歯車減速機 歯車減速機はダブルヘリカル歯車を採用し、かつ効率の向上を図るためスラスト軸受を設けていない。

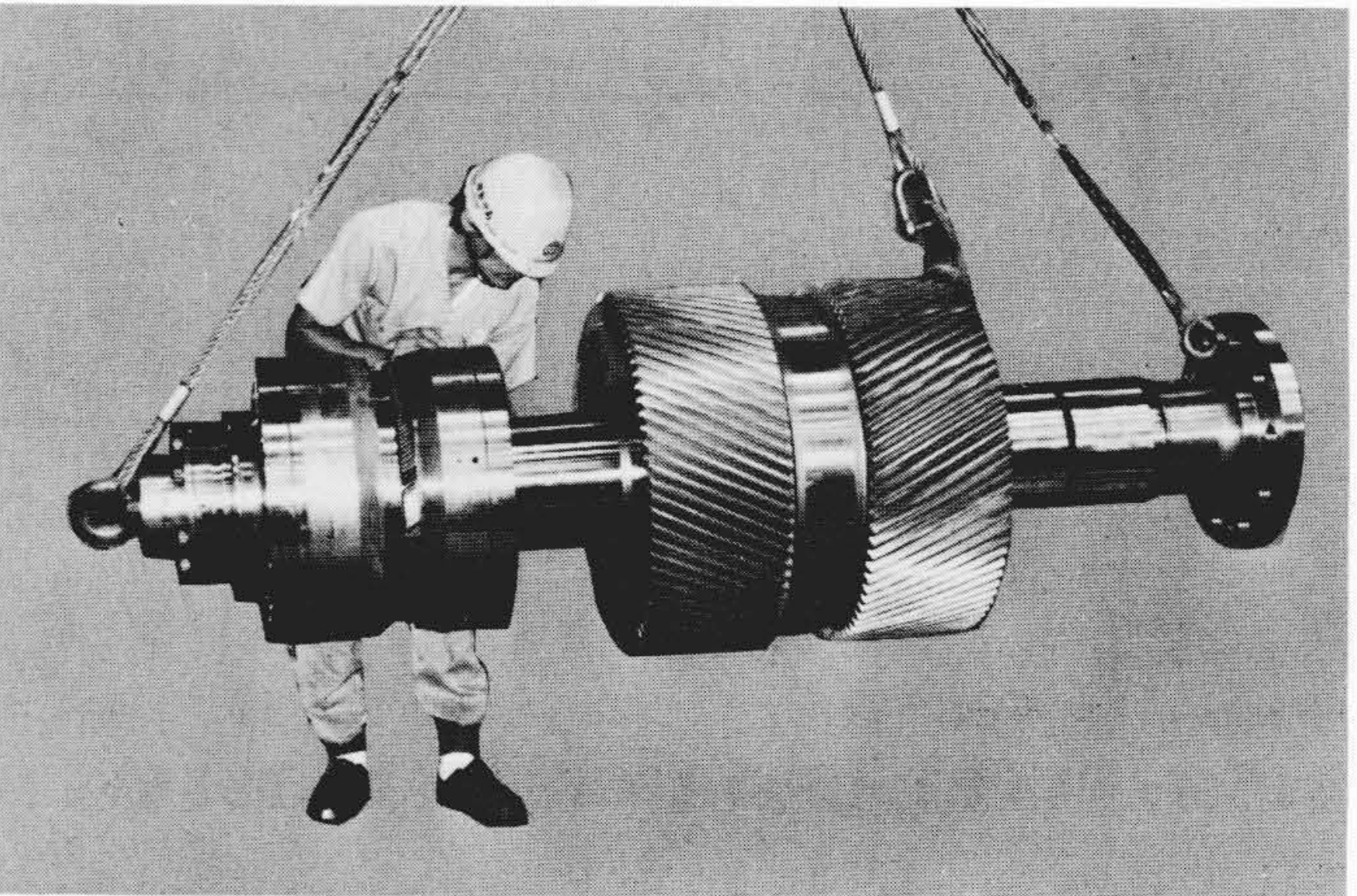


図5 歯車軸に装着した同期クラッチ 歯車軸は中空軸から成り、同期クラッチを発電機の反対側に設け折り返す構造としている。

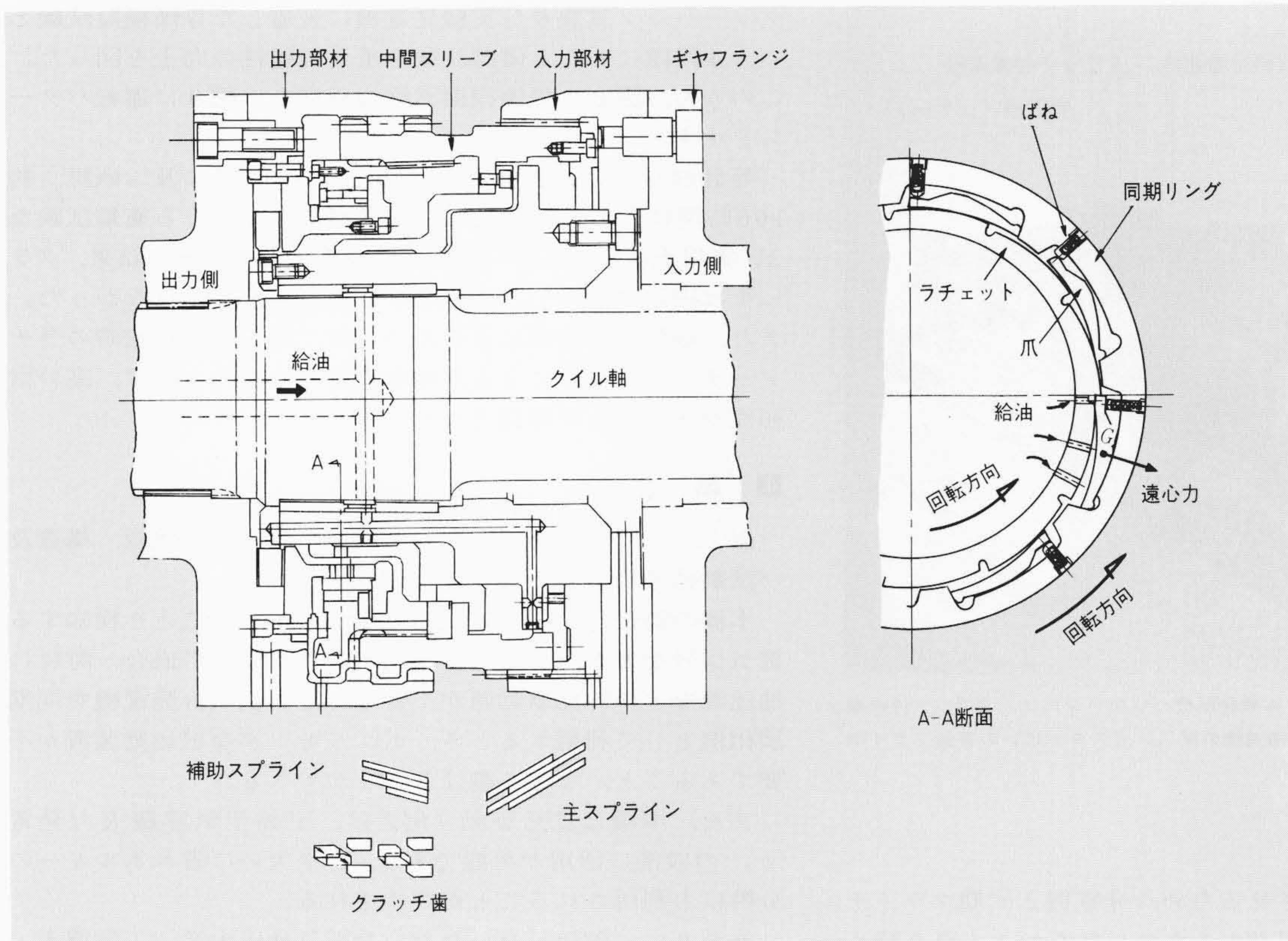


図6 同期クラッチの構造 上側はクラッチの結合，下側はクラッチの離脱状態を示す。

2.3 同期クラッチの作動

入力側に組み込まれた複数の爪のうち、いずれか1個が出力側に設けてあるラチェットを追い越そうとすると、必ず接合するよう静止状態ではばね力、回転中では遠心力によって

爪に回転モーメントが加わるよう、形状には細心の注意が払われている。同時に、接合時の衝撃力に十分耐えるよう堅牢な構造になっている。また、調相運転のように出力側が入力側よりも回転が大きい場合、爪に対してラチェットが(最大周速：約65 m/s)摺動する。摺動面の摩耗には十分な潤滑を施し、ばね力と遠心力に対しても各種の荷重、振動に対する実験データから求め得た摩耗限界荷重²⁾以下に設定されている。

中間スリーブには、ねじれ角をもち摺動可能な主スプライン及び補助スプラインが設けてあり、常時入力部材及び同期リングとかみ合っている。爪とラチェットが接合した後、更に駆動しようとする発電機の慣性が抵抗となり、上記スプライン面でスラスト力が発生する。このスラスト力と「ねじの原理」により中間スリーブは軸方向に移動し、クラッチ歯が嵌合する。このときどのような条件でも歯と歯が幾何学的にかみ合うように、爪の数、ラチェット及びクラッチ歯の歯数の組合せができています。また、調相運転に切り替えるときは、ガスタービンが慣性抵抗となり、嵌合時と逆の作用によりクラッチ歯が離脱する。

2.4 結合時の衝撃力の緩和

結合時の衝撃力の大きさは、入出力側の慣性モーメントの大きさ、相対角速度及びその系の固有振動数の積で決まる。したがって、本機に対しては次のような方法を採用した。

- (1) 同期した後、爪とラチェットが接合するまでの空転距離が小さければ、それだけ入出力側の相対角速度を小さくすることができる。すなわち、組み込まれる爪の数、爪と接合するラチェットの歯数の組合せを替えることにより、相対角速度を小さくすることができる。
- (2) 中間スリーブと入力部材の間に油室を設け、中間スリーブの移動による相対速度で油圧ダンパ機能を果たすようにした。
- (3) 結合時の相対加速度が9 rpm/s以下になるように、スピードトロニックと呼ぶ電子制御装置を用いてガスタービンの

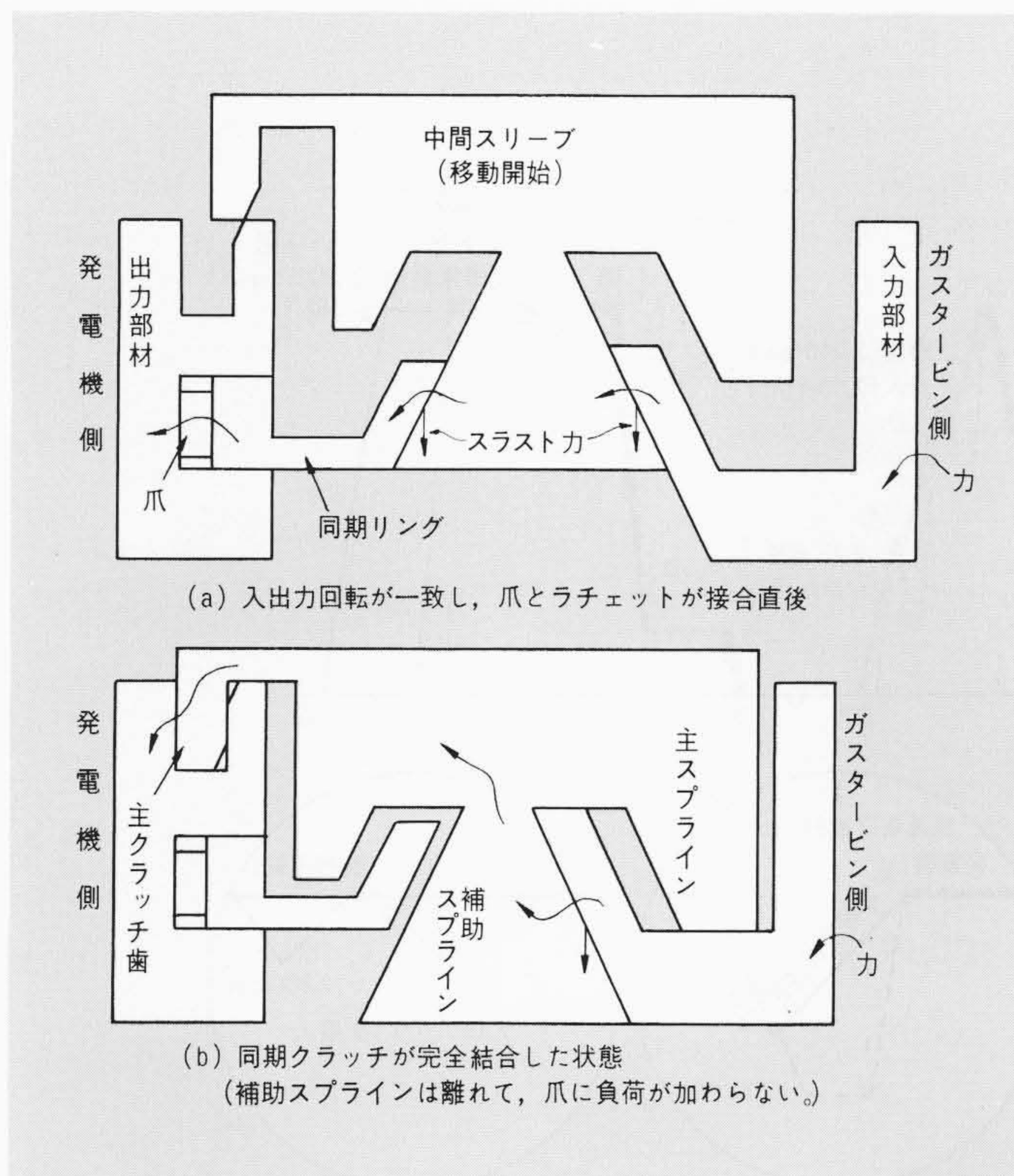


図7 平面展開した同期クラッチの模型図 結合した状態では補助スプラインが離れ、爪に負荷が加わらない機構になっている。

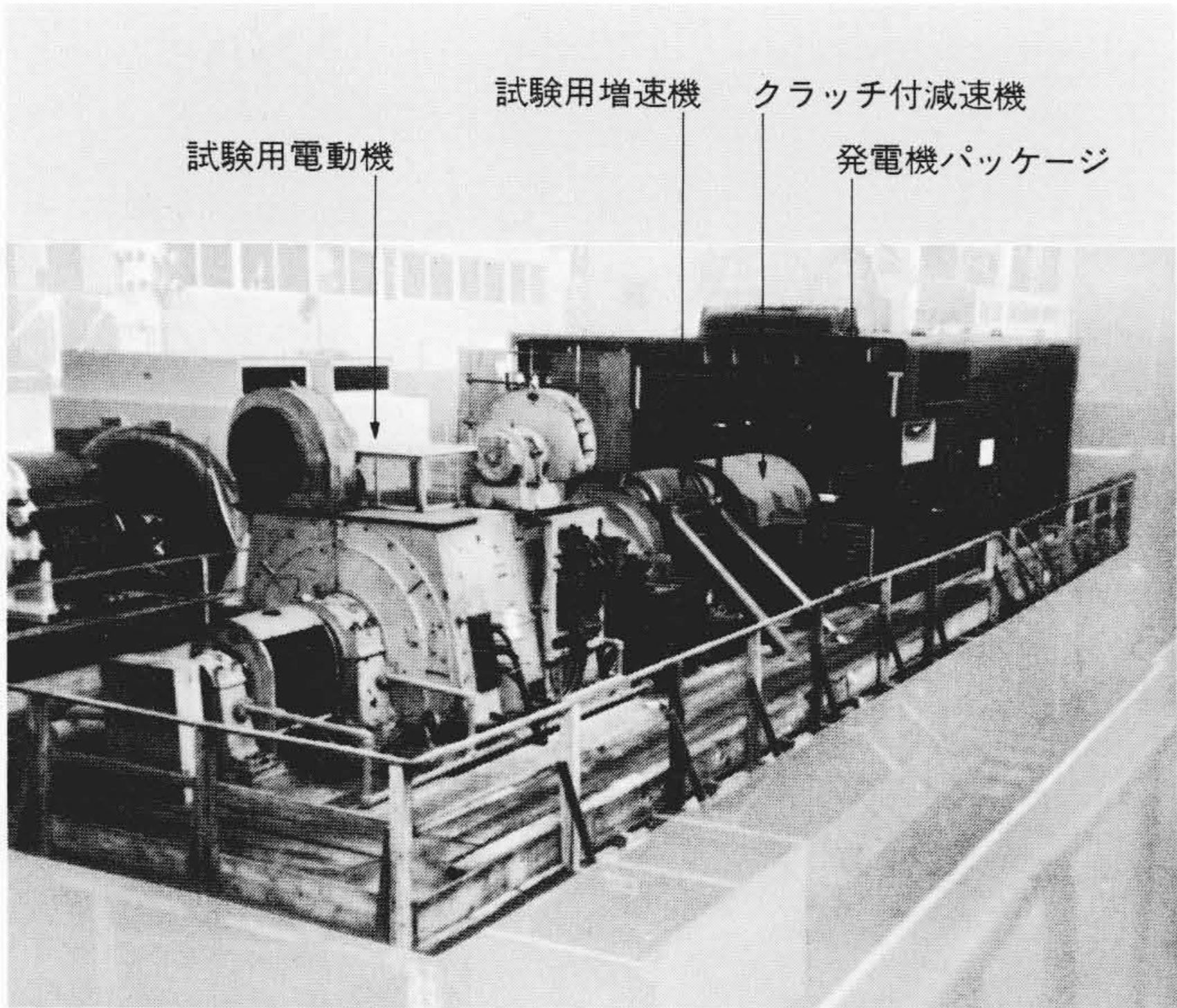


図8 等価模擬試験装置 実機発電機パッケージには、クラッチ付歯車減速機が装着され、また電動機と増速機の間にはガスタービンの等価フライホイールを設けてある。

速度制御を行なう。

(4) 結合後の衝撃を緩和させるため、発電機と同期クラッチの間のトーションバーに相当するクイル軸をできる限り細くし、固有振動数の低下を図る。

同期クラッチの開発に当たっては、コンピュータを用いてシミュレーションを繰り返し、結合の際の各部材の挙動及び衝撃力を詳細に把握し、実機大の設計製作を行なった。

3 同期クラッチの確認試験

開発に当たり実機大の試作機を製作し、爪とラチェットの摩耗要素試験、クラッチの嵌脱機能試験、実負荷相当のバック

クツバック試験及び実機発電機に装着した等価模擬試験という4段階にわたる確認試験を重ね信頼性の向上を図った。このうち、図8に等価模擬試験の模様を、図9に運転パターンを示す。

等価試験では、1,060回(約5～7年相当)に及ぶ嵌脱、約100時間にわたる調相運転、発電機の短絡による衝撃試験など、実用上考えられる一連の試験を実施した。その結果、クラッチは円滑に嵌脱し、衝撃音など異音は感知されなかった。また、嵌脱時の衝撃による爪の変形、及び調相運転時のラチェティング運転による爪の摩耗などは認められず、高い信頼性があることが確認された。

4 結 言

以上、日立製作所で開発した同期クラッチの機能、構造及び試験結果について紹介した。

本機の特長は、(1)入出力回転数が一致したことを検知する電気信号などが不要であること、(2)クラッチの嵌合・離脱に油圧源などの外部駆動源が不要であること、(3)発電機を同期調相機として利用するとき、ポニーモータなど始動装置が不要であること、などを挙げることができる。

また、本機は二元駆動(例えば、圧縮空気貯蔵火力発電所)³⁾の設備に活用が可能であり、今後大いに省エネルギーの分野にも利用されることが期待される。

終わりに、御教示をいただいた電気通信大学・工学博士・成瀬長太郎教授に対し、厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 阿部, 外: 日立ガスタービン発電機用歯車減速機, 日立評論, 58, 831～836 (昭51-10)
- 2) 成瀬, 外: 2円筒試験におけるスコーリング限界荷重, 日本機械学会論文集, 43, 376, p. 4670 (昭52-12)
- 3) エッソ・オイルウェイズ・インターナショナル: 38, p. 19 (1978)

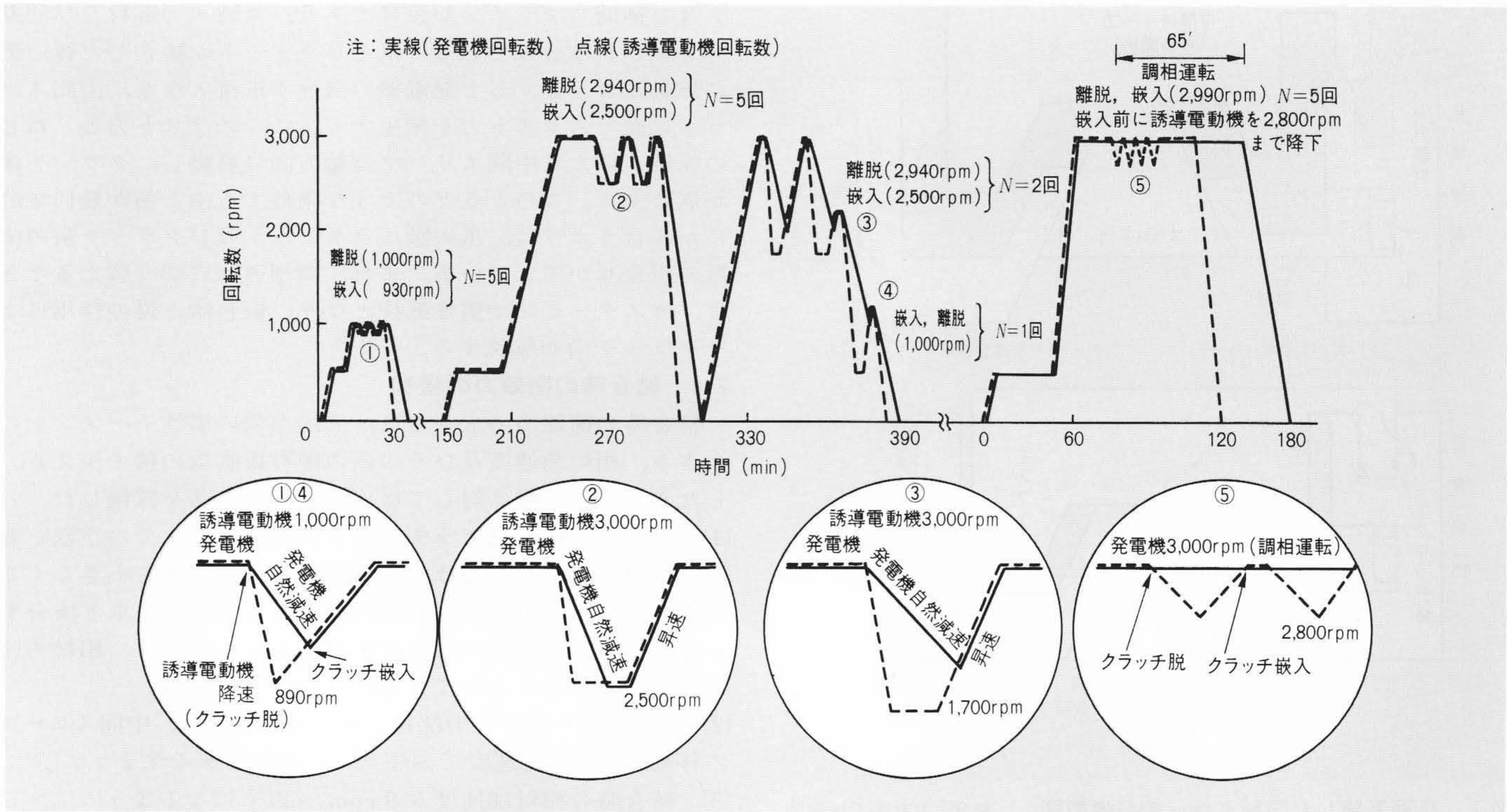


図9 等価模擬試験の運転パターン 実機発電機との組合せ試験の運転パターンを示すもので、任意の回転数での嵌合・離脱も合わせて確認した。