

高橋 眞一郎
S. Takahashi

伊藤 裕道
H. Ito

筧 敦行
A. Kakehi

火力発電プラントで、信頼性を損なうことなくメンテナンスを含めたトータルコストを低減させることは、社会的な要請であり、近年、これに対する期待はますます高まっている。

当社では、最新技術を駆使して、タービン発電機、発電機励磁制御装置など火力発電プラントの電気機器の合理化に取り組んでいる。タービン発電機では、損失低減のための通風冷却技術などの合理化技術をベースに、高効率化技術と小型・軽量化技術を組み合わせ、高信頼性、高効率化、小型・軽量化を実現している。

With regard to thermal power plants, there is demand to reduce the total cost and maintenance costs without lowering reliability, and expectations in relation to these requirements have been recently increasing. In response to this demand, Toshiba has been engaged in the further rationalization of electrical equipment in thermal power plants by making optimal use of advanced technologies.

This paper outlines rationalization technologies for the turbine generator and digital AVR (automatic voltage regulator), as typical electrical equipment.

1 まえがき

近年、火力発電プラントでは、規制緩和や発電事業自由化の動き、環境問題への対応、世界的規模での既設火力発電プラントの老朽化、およびさらなる価格や性能への改善要求などさまざまな課題が山積みしている。

これら多岐にわたる課題にこたえるため、当社では最新技術を駆使して、信頼性を損なうことなく、メンテナンスを含めたトータルコストを低減させることに、取り組んでいる。このため、火力発電プラントの電気機器のエンジニアリング、設計、製造の各分野で、さらなる合理化を目的とした検討が進められている。

ここでは、タービン発電機、発電機励磁制御装置の分野における合理化技術の一例を紹介する。

2 タービン発電機

タービン発電機の損失低減のための通風冷却技術をはじめとする種々の合理化技術をベースにした高効率化技術を基に、小型・軽量化技術と組み合わせ、総合的にタービン発電機の高信頼性、高効率化、小型・軽量化を実現している。

2.1 大容量機

大容量化は、電源設備の発電コストの低減要求にこたえる一つの方法である。電源立地点の最大限の活用、また石炭火力の経済性の追求などの要求から、国内では、しばら

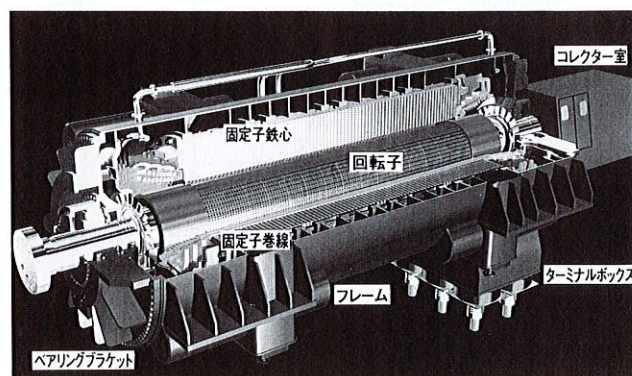


図1. 大容量タービン発電機断面 当社では、2極機で世界最大容量である単機1,000 MW機をすでに開発済みである。

Partial cross-sectional drawing of large-capacity turbine generator

く停滞していたタービン発電機の単機容量の増大が、再び検討され始めている。当社では、2極機で世界最大容量である単機1,000 MW機をすでに開発済みであり、対応準備は完了している。最近の大容量タービン発電機(図1)に採用されている技術を表1に示す。

特に高効率化については、わが国で初めて、500 MW機で効率99.00%以上を実現した。

以後、新設機は高効率機とすることが一般的であるが、これらは、小型・軽量化技術を組み合わせることにより、タービン発電機の外形を大きくせず実現することができた。700 MW機を例にして、タービン発電機における小型・

表1. 大容量タービン発電機の適用技術

Technologies applied to large-capacity turbine generators

目的	技術内容
高効率化	混合素線異断面固定子巻線 機内通風量低減 高効率ファン(翼形変更) 磁束シャント ソリッドコネクション 鉄心材料グレード向上 ターミナルボックスの非磁性化 鉄心内側間隔片の非磁性化 軸受設計の合理化
小型・軽量化	コンパクトフレーム 一体型ターミナルボックス コレクタハウジングの小型化
その他	軸材の製造合理化 回転子くさびのアルミ化

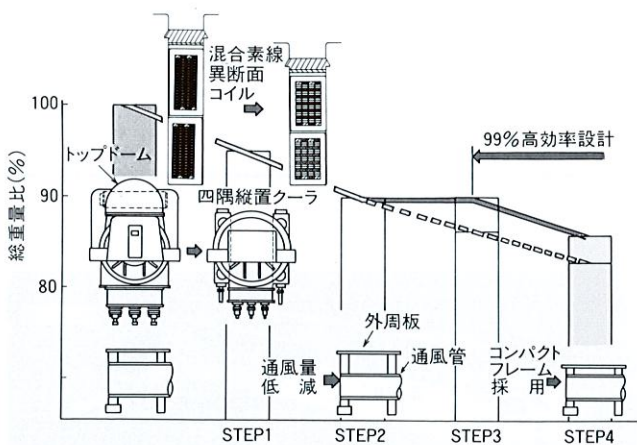


図2. 700 MW 発電機重量の推移 700 MW タービン発電機は、総重量が85%に低減。

Trends in weight of 700 MW turbine generators

軽量化の推移を図2に示す。

2.2 中小容量機

簡単に起動・停止ができるガスタービン用発電機では、水素冷却タービン発電機よりも簡便な空気冷却タービン発電機が脚光を浴び、その大容量化が進んでいる。

2.2.1 高信頼性・高効率化 これまで空気冷却タービン発電機は、水素冷却タービン発電機に比べて効率で劣り、大容量化には限度があるとされてきた。これは、空気の比重が水素に比べて重く、風損が増大するためである。いかにして、風損を少なくし冷却効率を上げるかが、空気冷却タービン発電機に課せられた課題である。

当社は、過去の製作経験と新たな解析技術の開発により、タービン発電機内の発生損失分布をより正確に把握し、許容温度、必要風量を算出し、それぞれの値の計算精度を上げるとともに、必要な空気をもっとも効率よく流れる通風方式を開発し採用している。

その方策は次のとおりである。

- (1) 簡易リバース通風方式の採用 軸流ファンの後方に、空気冷却器を設置することにより、機内入口温度を下げる。
- (2) 固定子二分割通風方式の開発 通風回路が単純化され、風導として使っていたパイプを省略でき、固定子構造が合理化される。
- (3) F種絶縁の採用 温度上昇限度を上げるとともに、冷却性能を強化する。

これらの方策により、必要風量をこれまでに比べ20%減少させることができ、空気冷却タービン発電機として効率98.50%以上を実現した。

2.2.2 小型・軽量化 前述の高効率化設計により、空気冷却タービン発電機の小型・軽量化は一段と進み、従来機に比べ25%の重量低減を実現した。

2.2.3 一体輸送・短納期化 現地での据付け調整期間も含め納期の短縮を実現するため、設計に対しては、ロータ、ステータ鉄心、ステータコイルなどの基本コンポーネントを標準化している。各種仕様に対しては、そのバリエーションごとの対応が可能となる図3に示すようなモジュール設計を採用している。また製造に対しては、コモンベース、インナケース型固定子を採用することにより、ベース、カバー、鉄心部分をパラレルに製造可能とした図4に示すようなパラレル生産を採用している。

輸送・据付けに対しては、コモンベースを採用し、一体輸送・一体据付けが可能になった。また梱包は一部だけ行えばよく、現地での作業は原動機との直結作業と配管取付作業だけとなる。

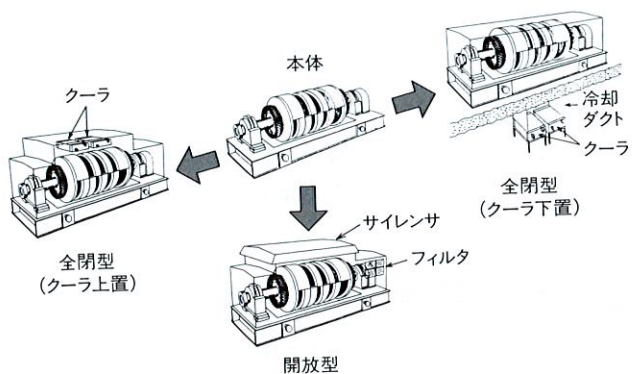


図3. モジュール設計 基本コンポーネントの標準化とそのバリエーションにより、各種仕様に対応する。

Modular design

2.2.4 メンテナンスフリー 空気冷却タービン発電機は、水素冷却タービン発電機に比べ、水素ガスの充填、密封油の操作がなく保守の点から優れている。アウトロータ

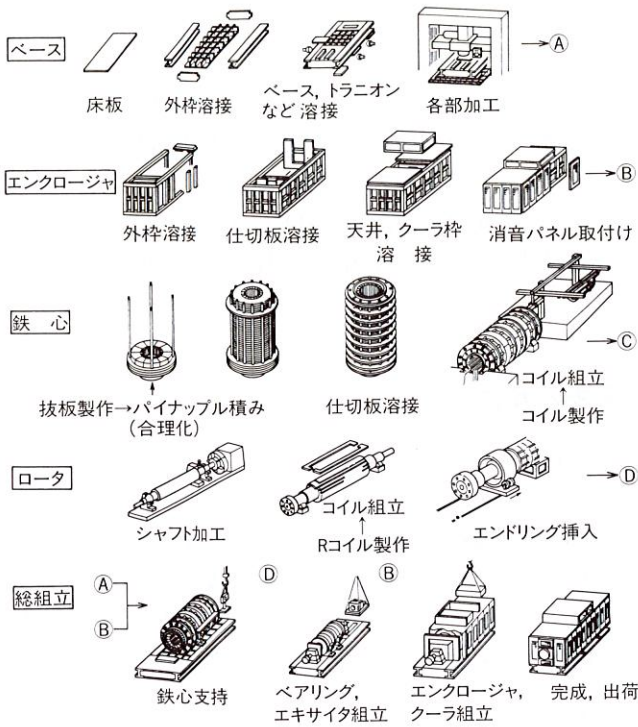


図4. パラレル生産 ベース, カバー, 鉄心部分を並行して, 製造していく。

Parallel manufacturing

タイプのオーバハング型ブラシレス励磁機を採用し、ブラシレス化してメンテナンスフリーとしている。これは、同時に軸受の数を減らすことになり、軸系の複雑なセンタリング作業が簡略化される。

2.3 既設発電機

運転年数 15 年以上のタービン発電機に対しては、経年劣化を考慮した長寿命化の対応が必要になっている。

2.3.1 固定子巻線の絶縁更新

固定子巻線の絶縁に関しては、基礎実験、サンプリングコイル調査の結果により、余寿命評価技術を確立し、余寿命推定が可能となった。このため、絶縁診断結果および運転履歴の検討から更新時期の保守計画立案が可能となっている。

最近、水冷却タービン発電機の固定子巻線で、素線とクリップ間ろう付け部の腐食劣化により、リークが、発生する新しい現象が発見された。この現象に当社では、発見当初から注目し、研究開発を進めてきたが、腐食劣化メカニズムを解明するとともに、恒久対策としての改良ろう付け方法を確立した。また当社は、固定子巻線のキャパシタンス測定ロボットを開発することにより、絶縁層に対する水の影響度合いを容易に調べることができるようになっている。万一、絶縁層に水が浸透した場合の余寿命推定も可能である。

2.3.2 エンドリング材 耐 SCC (Stress Corrosion

Cracking) 特性に優れた 18 Mn-18 Cr オーステナイト非磁鋼

への交換が行われている。

2.3.3 銅粉対策 ターニング時間が増加すると、回転子巻線導体の相互の滑りによる銅粉発生量が増加し、これが絶縁物の沿面に沿って付着すると、界磁地絡を引き起こす可能性があるため、導体相互間の滑りをなくす対策を実施している。

2.3.4 水素シールリング 異物による水素シール部異常に対し、従来品に比べ異物耐力が向上し、起動時から定格速度運転までの全領域での安定度が、改善されるバビット付き二分割一体型鋼製シールリングへの交換が、行われている。

3 発電機励磁制御装置

3.1 デジタル AVR の構成

発電機の AVR (Automatic Voltage Regulator) としては、制御性、信頼性、保守性を向上させたデジタル AVR が採用されている。当社では、タンデム機のサイリスタ励磁方式用 32 ビットデジタル AVR を開発して、図 5 のシステム構成に示すように、マスタコントローラの二重化とシス

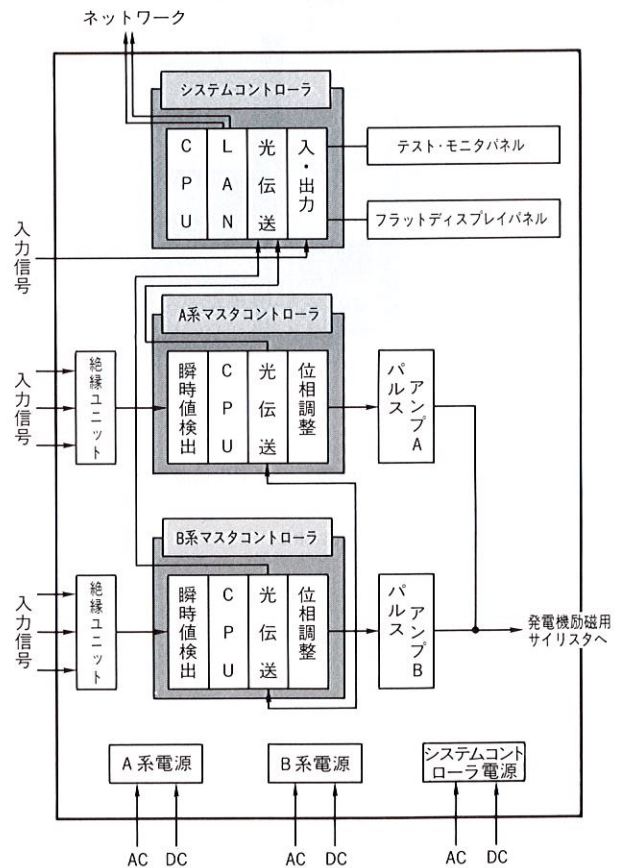


図5. システム構成 マスタコントローラの二重化, システムコントローラの二重化による 32 ビットデジタル AVR のシステム構成。 System configuration of 32-bit digital AVR

テムコントローラの一重化による多重化構成を標準にしている。パルスアンプ以降は、完全に二重化されたものとなっている。

3.2 デジタル AVR の特長

- (1) AVR ユニットに対する 32 ビット専用コンポーネントおよび PLD (プログラミングロジックデバイス) を搭載した D-I/O 基板の適用によりソフトウェア処理範囲を拡大して、リレー、表示器などを大幅に削減し、高速化 (従来比約 4 倍) とソフトウェア設計効率を向上できる。
- (2) アナログ信号入力部における瞬時値検出 A/D 変換基板の開発・適用により計器用変圧器/変流器出力を交流レベルで A/D 変換し、発電機電圧・周波数などを算出することで、検出精度を向上できる。また、自動調整機能により、従来に比べ短時間の調整ができる。
- (3) パルスアンプユニット、電源装置に対するパルスアンプユニットの専用化と 2 入力一体型電源装置の開発

・適用によりパルスアンプユニット、電源装置をコンパクト化できる。

- (4) EL (エレクトロルミネッセンス) ディスプレイの採用と制御ブロック型言語の適用により状態表示とマンマシンインタフェースを向上できる。

これらの方策などにより、図 6 に示すようにデジタル AVR 盤としては、従来に比べ 50 % の盤面数低減を実現した。

4 あとがき

火力発電プラントの電気機器で、信頼性を損なうことなくメンテナンスを含めたトータルコストを低減させるために、当社では最新技術を駆使して、さらなる合理化を進めている。ここで述べたものを含め、今後、よりいっそうの合理化を旨として継続検討していく所存である。関係各位のご指導、ご支援をお願いする次第である。

文 献

- (1) 田里 誠, 他: 超大容量蒸気タービンおよび発電機の開発, 東芝レビュー, 45, 7, pp.572-576 (1990)
- (2) 田里 誠, 他: 高効率タービン発電機, 電気学会電力研究会, RM-90-63

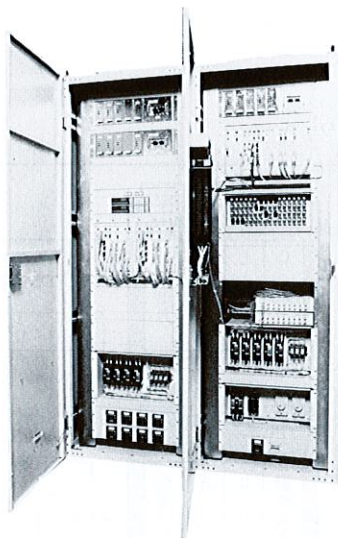


図 6. デジタル AVR 盤の外観 二重化構成の 32 ビットデジタル AVR を収納。

External view of digital AVR cabinet



高橋 眞一郎 Shin'ichiro Takahashi

火力事業部火力電機技術部参事。
火力発電所電気設備のシステムエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。
Thermal Power Plant Div.



伊藤 裕道 Hiromichi Ito

京浜事業所発電機部主幹。
タービン発電機の開発・設計業務に従事。日本機械学会会員。
Keihin Product Operations



笥 敦行 Atsuyuki Kakehi

府中工場発電制御システム部グループ長。
発電用調整制御装置の開発・設計業務に従事。電気学会、IEEE 会員。
Fuchu Works