

火力プラントの設備保全・改良工事に対し、近年設備稼働率向上の観点から工期短縮の要求が高まっている。また、将来的に労働力の不足が予測されることから、工事の省力化が求められると同時に、環境調和・労働時間短縮といった社会的要請にこたえて、人に優しい作業環境を造りあげることも重要な課題となっている。

現在当社ではこれらの状況を踏まえて、工期短縮、省力化のための工法改善、機械化・自動化を精力的に推進しており、設計面でも現地工事が容易となるよう設計改善に取り組んでいる。実フィールドでも大きな効果が上がりつつあり、今後ともこれらの改善を推進していくことにより、真の現地工事近代化を目指していく。

ここでは、現地工事の近代化に向けての当社の取組み状況と、具体的な適用例とその成果を紹介する。

Recently, strong demand has arisen for the shortening of modification and maintenance work periods for thermal power plants from the standpoint of improving plant operation rates. As the labor situation is becoming more severe, it is necessary not only to save labor in on-site work but also to achieve easier and more comfortable working conditions.

Under these circumstances, we are now actively introducing modernized technologies for site refurbishing work such as new construction procedures, specially designed tools/facilities, and automated machines aimed at achieving shorter work periods and saving labor. Many of these measures have already been confirmed to be effective, and we believe that these activities will surely realize modernized site work.

These papers describe useful technologies adopted for this purpose.

概説

General Overview

笠井 大二郎
D. Kasai

村上 哲郎
T. Murakami

電力エネルギー供給の主力として火力プラントは重要な役割を果たしており、品質の維持、予防保全を目的とした定期点検や経年設備の更新などの設備保全工事、および機能向上・性能向上・長寿命化を目的とした設備改良工事が重要な施策となっている。

これらの工事は当然プラント停止を伴うため、設備稼働率を向上させるためには、工事をいかに早く仕上げるかがキーとなる。このため、近年設備稼働率向上を目的とした工期短縮の要求が高まってきており、近代工法を取り入れた現地工事のいっそうの合理化が求められている。

今後とも保全・改良工事の着実な増加が予測されているがその一方で若年層作業員の減少、熟練作業員の高齢化問題が大きな要因となって労働力不足が顕在化しつつある。さらに工事の季節集中化がこれに拍車をかけている現実があり、こ

の点からも省力化を目的とした工事の合理化が重要なテーマとなっている。

また、社会的要請として環境管理の向上、労働時間の短縮が求められており、近代的な人に優しい環境を造り上げることが重要な課題となっている。

このような背景を踏まえて、当社では現在図1に示す工事近代化を精力的に推進している。取組みの主眼点を以下に述べる。

- (1) 工期短縮のための工法改善の推進 プラント停止から、分解点検→改造・再組立→試験・調整→プラント併入に至る現地作業プロセスの中で、工程的に長時間を要する作業をピックアップし、おのおのの作業に対し実効のある工法改善を推進している。これらの工法は、機械化やジグ・工具の改善、作業能率を高めるための工事用設備の充実などにより直接的に工期短縮の効果が得られるものであるが、自動化、機械化などによる省力効果も大きい。
- (2) 省力化のための自動化・機械化の推進 工数の削減、力作業の低減、特殊技量に頼らない作業の実現、作業環境の改善、危険作業の排除などを目的として、自動化・機械化を推進している。保全・改良工事の場合は既設の機器およびレイアウトの条件下での自動化・機械化とな

工期短縮技術

Adoption of New Technologies for Shortening Work Periods

高橋 勇
I. Takahashi

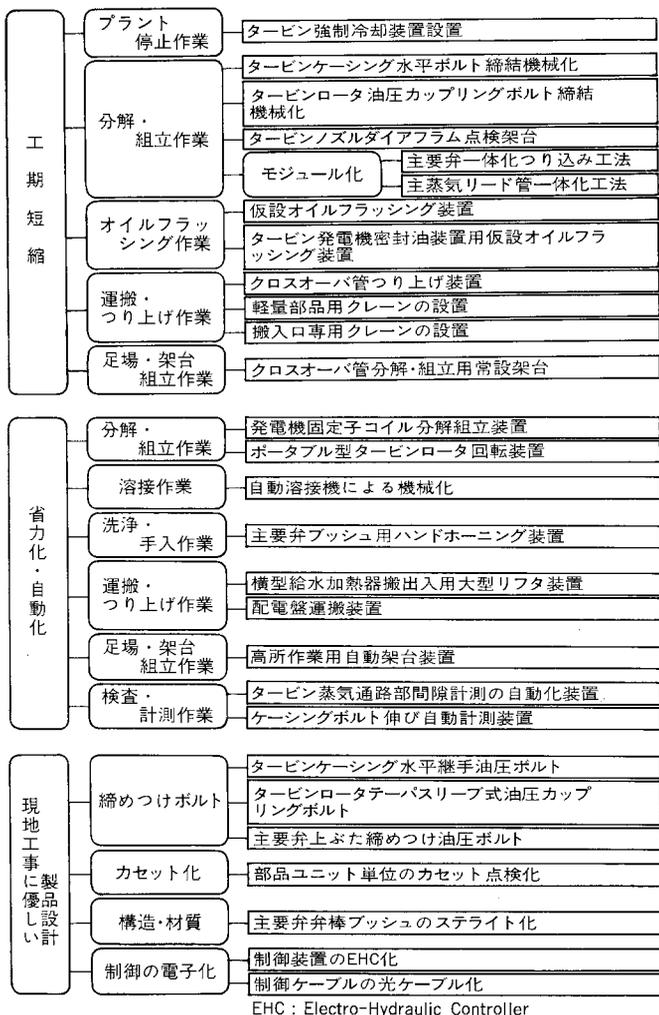


図1. 現地工事の近代化技術 現地工事の工期短縮, 省力化を目的として工法近代化を推進している。

Modernized technologies for site refurbishing work

るため、建設工事に比べ実現が難しい面もあるが、長期的視野に立って計画的に取り組んでいる。

(3) 現地工事に優しい製品設計の推進 現地工事の難易度は、製品構造や機器レイアウトによって左右されることから、現地工事を容易にするため保守のしやすい構造、保守ツールを備えた構造、部品ユニット単位でのカセット化、モジュール化が可能な構造などの採用を推進している。点検インターバルの延長を目的として、新素材採用部品の適用などにも注力している。

また、現地工事を行っている作業者の立場から見た製品やレイアウトの改善要望を上流部門(技術部, 設計)にフィードバックし、改善に取り組んでいる。

以下に、工期短縮技術についてはプラント停止作業の改善, 製品のモジュール化を含めた分解・組立作業の改善, および運搬作業の改善について述べ、省力化・自動化技術は現地工事の効率化, 作業量の低減化を、また、現地工事に優しい製品設計について代表的な取り組み事例と適用による成果を述べる。

1 プラント停止作業改善による工期短縮

1.1 蒸気タービンの強制冷却装置

発電予備率が非常に厳しい現状を踏まえ、定期点検工期の短縮が重要な課題となっている。

定期点検もしくは緊急停止時にタービンを解放する場合、自然冷却では外部ケーシング分解着手までにタービン解列後5~6日を必要とし、この冷却期間が工期上クリティカルとなる。従来からタービンの急速冷却の方法はいろいろ提案され、また実機にも適用されてきているが、この装置は高圧および中圧ケーシング内に空気を送入してタービン内部を効率的に冷却し、分解着手までの冷却時間を短縮することで3日目に作業に取りかけられることを可能とするものであり、システムの試運用を開始した。

詳細はこの特集の別稿で述べる。

2 蒸気タービンの分解・組立作業改善による工期短縮

2.1 タービンをケーシングのボルト自動締め付けシステム

蒸気タービン高圧・中圧ケーシングの水平継手ボルトは、水平フランジ面のシール性向上のため、高軸力で締め付ける必要がある。

従来はボルトヒータによりボルトを伸長し、質量約20kg近いナットを人力でボルト部にセットし、締めつけを行っていた。また、分解時も同様な手作業となっていた。作業する人にとってはこの作業は重荷であり、また工期短縮要求に対しても制約となっていた。

このシステムは、ボルトを油圧で伸長し、ナットをバランスアームによりボルト部にセットし、自動締め付けを行うことができる。また、軸力の指標となるボルトの伸び計測結果もデータ処理装置により自動記録される。

詳細はこの特集の別稿で述べる。

2.2 主蒸気リード管一体化工法

蒸気タービンの高圧外部ケーシング更新工事に併せて主蒸気リード管を更新する場合、工場主蒸気リード管の一体化溶接を行い、水圧試験まで実施することにより、現地では機器本体との接続部だけの最小限の溶接箇所にすることができ、工期短縮を実現できたので、以下にその概要を説明する。

従来、リード管を更新する場合は配管部材を現地に持ち込

み、現場で配管組立作業と10か所以上におよぶ溶接作業を実施し、それに付随する焼鈍、溶接部の各種検査などのほか、最終的にはリード管の現地水圧試験を受験する必要があった。

新工法を350 MW級クロスコンパウンド機で試行することとした。主蒸気止め弁、蒸気加減弁が2-4弁タイプであることから一体化の対象とするリード管は上半側が2本、下半側が2本の計4本である。

リード管の一体化溶接を実施する場合、水圧試験に関する法規上の問題点の解決と一体化したリード管の現地搬入方法(工法)の改善が必要であった。水圧試験の法規上の問題については、①工場で水圧試験を実施する、②現地水圧試験の代替箇所は現状と同じ2か所/1本、の2条件を満たすことにより、現地水圧試験を省略することが可能となった。現地搬入方法については現場調査、図面中心による机上検討、さらに縮小モデルを使ってのつり込みのシミュレーションを行い、必要な機材とハンドリング方法を検討し新工法をまとめた。

さらに高圧タービンケーシングと主蒸気止め弁、蒸気加減弁との相対位置関係を測定し、工場での一体化溶接に反映するとともに、リード管の現地搬入タイミングについても高圧タービンケーシング更新工事と協調をとり工程を決定した。

新工法による実機でのつり込み作業を図2に示す。リード管一体化工法を適用することで、次に示す項目が実現できた。

- (1) 現地開先合せ、溶接作業の大幅削減
- (2) 足場組立、分解作業の削減
- (3) 水圧試験準備作業不要



図2. リード管つり込み作業 工場で一体化溶接を行ったリード管のつり込み作業を行っている。

Installation of pre-welded steam leading pipes

実機に適用した例では他の付帯工事(抽気管改造工事など)を含めても、従来工法に対し350 MW級クロスコンパウンド機で7日間の工期短縮が実現できた。

3 運搬つり上げ作業の改善による工期短縮

3.1 クロスオーバー管分解組立専用架台

従来クロスオーバー管を分解・組立する場合、作業に先立って作業用足場を組んでいるが、足場材として汎(はん)用のものであるため、工事方法・範囲に適した足場を製作するのが非常に手間となっていた。

クロスコンパウンド型タービンの場合、架台はある程度広範囲にする必要があり、外観的にも常設することには無理があり、クロスオーバー管分解・組立時だけに使用する方式とした。また、工期短縮要求に応ずるため効率的な作業が可能となるように、取付け・取外しが容易な専用架台を考案し採用した。なお、運転中は分解・分割して別の場所に保管する。

この架台を設置しクロスオーバー管分解・組立工事を行っている状況を図3に示す。

専用架台の設置範囲は必要最小限とし下記の範囲とした。

- (1) プライマリ側は低圧車室とクロスオーバー管、接続部だけの点検歩廊とした。
- (2) セカンダリ側は低圧車室とクロスオーバー管、接続部のほかに一時側と二次側の接続部の点検も可能な構造とした。

上記内容を踏まえプレハブ組立を前提とした専用架台を採用することにより、600 MW級クロスコンパウンド機で約2日間の工期短縮および組立作業員数名を削減できた。



図3. 専用架台によるクロスオーバー管の分解組立工事 600 MW級のクロスコンパウンド機で専用架台を利用してクロスオーバー管の分解・組立工事を行う。

Assembly of cross-over steam pipe using specially designed steel type platforms

工事の省力化と自動化

Adoption of New Tools/Facilities and Automated Machines

杉山 喜之
Y. Sugiyama

1 分解・組立作業の省力化と自動化

積極的に取り組んでいる改善として、発電機固定子コイル分解・組立の機械化、ポータブル型タービンロータ回転装置がある。

1.1 発電機固定子コイル分解・組立の機械化

タービン発電機の重要部品の一つである固定子コイルの絶縁性能が経年劣化により低下した場合、予防保全として固定子コイルの巻替えが必要となる。この作業は固定子の搬出入作業量が膨大になるため、現地においてコイルの全巻替えを実施する。この現地作業では以下の考慮すべき点があり、省力化、作業の安全と品質の均一化および工期短縮を目的として機械化を行っている。

- (1) 固定子枠を回転できない（転動装置が使えない）。
- (2) 鉄心内の狭い場所で重量物（コイル）の上げ下げをする必要があり、多くの作業員が足場が悪いなかで、かつ中腰で作業を行う必要がある。
- (3) 挿入するコイルの搬入、撤去したコイルの搬出作業にもかなりの作業員の配備が必要となる。

固定子コイル分解・組立装置を使用した分解・組立作業を図4に示す。

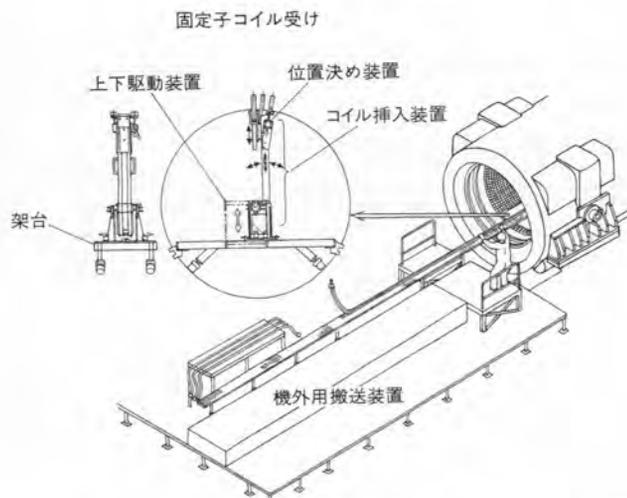


図4. 新装置による固定子コイル分解組立作業 タービン発電機固定子コイル分解組立装置を使用した分解・組立作業を示す。工期短縮、省力化、品質の均一化ができる。

Steam turbine generator stator coil disassembly and assembly machine

この装置は位置決め部および上下駆動部を一体化して架台上に設置したコイル組立挿入装置と、ステータ外でコイルをハンドリングする機外搬送装置とからなる。

コイルの分解・組立作業には、機外搬送装置とステータ内に設置する複数のコイル組立挿入装置を使う。

コイル挿入は、作業エリアに搬入した固定子コイルを、まずローラコンベヤを備えた機外搬送装置に乗せて、ステータ内に搬入する。次に、位置決め部で挿入すべきスロットを決め、上下駆動部でコイルを持ち上げて所定のスロットに挿入する。

ステータ内に設置した装置を図5に示す。

従来工法と比較して、予定の工期に対して数日間の短縮が可能となり、同時に作業の省力化にも大きな効果がある。この種の力作業の機械化は工期短縮、作業の省力化、品質の均一化などが実現されるが、同時に作業者に優しい作業環境も提供できる。

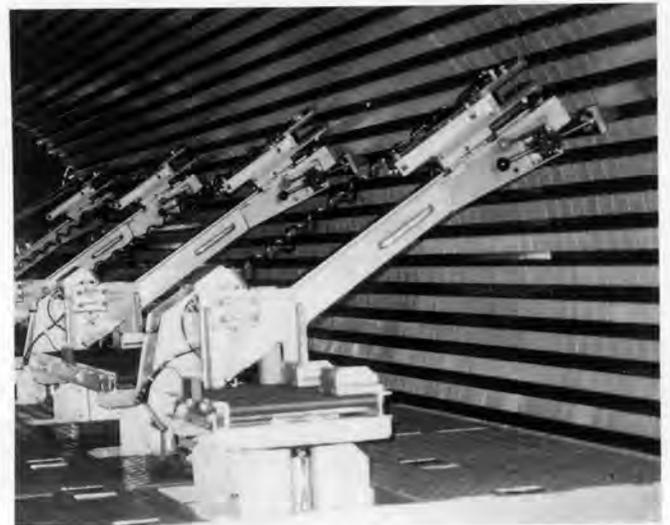


図5. タービン発電機固定子コイル分解組立装置 架台上に設置したコイルの組立挿入装置およびコイルをハンドリングする搬送装置を示す。作業環境が改善される。

Stator coil disassembly and assembly machine installed inside existing stator casing

1.2 ポータブル型タービンロータ回転装置

ポータブル型タービンロータ回転装置はタービンロータの点検時に使用する。従来はロータにワイヤを掛けて天井クレーンでそのワイヤを巻き上げてロータを少しずつ回転させて点検作業を行っていた。作業の安全を確保しつつワイヤを掛け替える作業の繁雑さを解消し、人力作業に代わる機械化施策として油圧式ロータ回転装置を実用化している。装置の構成を図6に示す。

装置は油圧シリンダ、フック付き操作アーム、油圧ユニットを備え、フック部をロータのつめ車とかみ合わせて回転さ

2 洗浄・手入れ作業の近代化

洗浄・手入れ作業の改善として主要弁ブッシュハンドホーニング装置について説明する。

2.1 主要弁ブッシュハンドホーニング装置

主要弁の弁棒と案内片ブッシュの適切な間隙(げき)管理による固着防止を目的とするもので、主蒸気止め弁、蒸気加減弁、再熱蒸気止め弁、インターセプト弁などの弁棒ブッシュの研磨作業を対象とする。

ハンドホーニング装置の構造を図8に示す。

この装置はホーニングヘッド、動力(エアドリル)および伝達装置、テーブルリフトからなり、エアドリルに取り付けた回転砥石でブッシュ内径を精度よく研磨することができ、作業時間の短縮も図れる。

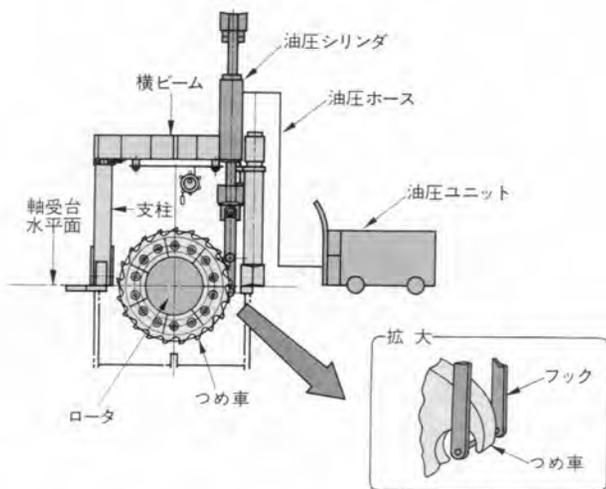


図6. 油圧式タービンロータ回転装置の構成 作業の安全性確保と人
力作業に代わる機械化を実現する。

Functional outline of hydraulic type turbine rotor rotating machine



図7. ポータブル型油圧式タービンロータ回転装置の適用 実機に適用しロータを回転させている。従来の作業に比べ回転時間が1/4に、作業員が7人から2人に省力化できる。

Application of portable type turbine rotor rotating machine to existing unit

せる設計となっている。実機適用時の状況を図7に示す。

特長としては、全数カップリング状態でロータを連続して回転させることができ、かつ微小回転動作により任意にロータの位置決めが可能である。

これによりワイヤ掛け作業を省略でき、クレーン待ち時間の排除が可能となり、かつ作業員の省力化と安全確保に有効である。この装置の採用により回転時間が従来のワイヤを利用する場合の約1/4となり、必要な作業員も7人から2人程度に省力化できる。

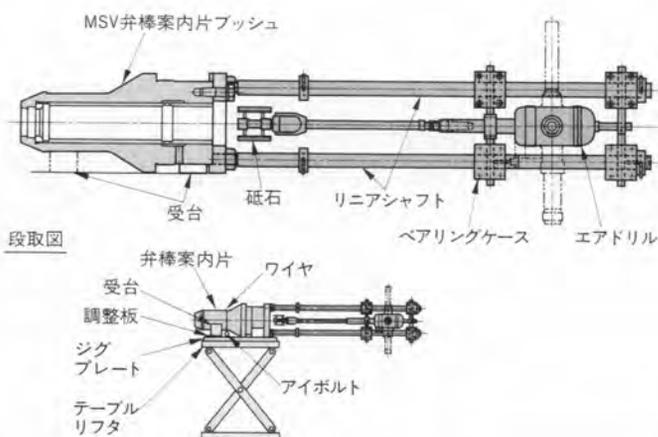


図8. 主要弁ブッシュハンドホーニング装置の構成 圧縮空気を利用して主要弁ブッシュのハンドホーニングを行う。ブッシュ内径を精度よく研磨し、作業時間を短縮できる。

Outline of handy honing machine for main valve bushings using high-pressure air

現地工事に優しい製品技術

Adoption of Products Easily Installed at Site

石井 文治
F. Ishii

茂在 哲雄
T. Mozai

1 蒸気タービン油圧ボルト

1.1 油圧カップリングボルト

蒸気タービンロータのカップリング間の締結を目的としたテーパスリーブ式油圧カップリングボルトは、組立て、分解に要する時間を短縮し、しかもフランジ接合部をより安全確実に保持するためのものである。

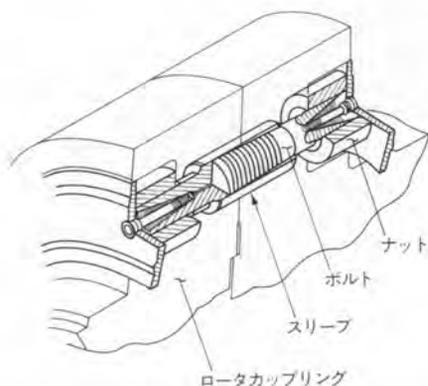


図9. 油圧カップリングボルト 蒸気タービンロータのカップリング間の締結をテーパスリーブ式油圧カップリングボルトを用いることにより信頼性の向上，作業改善が図れる。

Hydraulic coupling bolt

油圧カップリングボルトの構造を図9に示す。

ボルト本体の外表面はテーパ形状となっており，スリーブ内面と取り合う。スリーブの内面がボルトとの，はめあいのためにテーパ形状となっており，スリーブ外表面はストレート形状となっている。

スリーブ押さえジグを取り付け，ボルトを引っ張ると，ボルトの移動に伴い，スリーブが広がり，締めりばめとなる。この状態で両端にナットを取り付け，正規の油圧でボルトを引っ張り，ナットを回転させて油圧を解放すると，ボルト穴，スリーブおよびボルトが完全に密着状態となりボルトの締めつけが完了する。

油圧カップリングボルトを採用することによって，均一な締めつけによりカップリングの共振防止が図れるほか，心出しが容易なため，従来ボルト1本当たり30分の作業時間を要したものが約5分程度となり，作業時間の短縮および作業環境の改善を図ることが可能となった。

1.2 蒸気タービンケーシング水平継手ボルト

油圧方式を採用した蒸気タービンケーシングの水平継手用油圧ボルトは，締めつけ・分解に要する時間の短縮，蒸気漏れに対する信頼性向上，さらにボルトの長寿命化を図るために開発した。ケーシング水平継手ボルトの構造を図10に示す。

ボルト本体の中央にはボルトロッドが挿入され，下端のプラグで受ける。ボルトを伸ばす際には，上半のナットを取り付けた後に油圧シリングをボルト上部にセットする。シリング内に油を供給すると，油圧ピストンがボルトロッドを押し下げ，プラグでこの力を受けることで，ボルト本体が伸ばされる。伸びた時点で下半ナットを締めつけ，油圧を抜く。ボルトが規定の伸びを得ていることを確認したうえで，油圧シリングを取り外すことにより締めつけが完了する。

さらにこの油圧ボルトを用いたタービンケーシングのボルト自動締めつけシステムを実用化したことにより，自動締めつけ作業が可能となり，作業環境改善に貢献している。

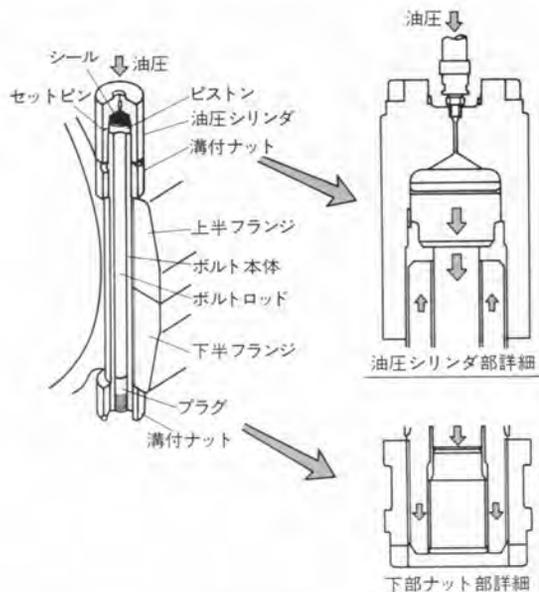


図10. 蒸気タービン外部ケーシング水平継手ボルト 蒸気タービンの高圧および中圧外部ケーシングの水平継手ボルトの締結に油圧ボルトを用いることにより現地工事の作業改善が図れる。

Hydraulic casing bolt for steam turbine outer casing horizontal joint

2 蒸気タービン制御装置のメンテナンス方法の改善

2.1 工場持ち込み品の補修方法の改善

蒸気タービン制御装置は，蒸気タービンを制御する頭脳とも言える重要な機能を備え，多数の部品から構成されている。定期点検を行う場合，従来は制御装置の精密点検は標準パターンとして工場に持ち込み，作動試験，分解点検を行い，新製交換する部品，手入れする部品，そのまま使用する部品を決定し，再組立，性能試験後，工場を出荷する方式であった。そのため分解点検ではじめて必要となる修理内容が確定するため，一定の在工場期間が必要であった。

これに対して最近の改善した補修方式は，各制御装置の経歴（カルテ）の作成，補修内容の単純化・標準化のもとに，補修の計画的実施を図っていく方式（図11）である。

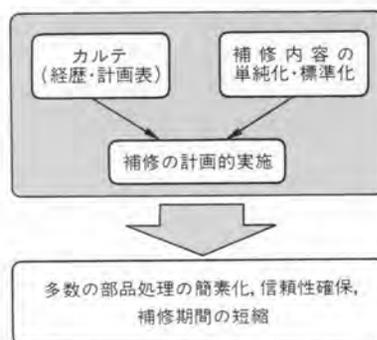


図11. 制御装置の補修方法の改善 早期に補修内容を決定し，必要な部品を事前に準備して，先行して修理を行う方式である。

Improvement of repair method for turbine control devices

具体的には、カルテ、精密点検標準仕様書の活用によりブロック単位ごとに部品を先行手配し、定期検査時に交換する。

この方式により信頼性の確保も行いながら、かつ補修期間の短縮、工事の簡素化を図ることが可能となる。

2.2 部品ユニット単位でのカセット化

上記の補修方法に合わせて、さらに部品ユニットとして予備品をもつこと、例えば主蒸気止め弁、加減弁、再熱蒸気止め弁、インターセプト弁の弁体部分一式を予備品として保有し、定期点検時それらを使用中のものと一式カセット交換し、旧品については定期点検期間外に点検手入れを実施し、同様な工事における予備品として再利用する。

部品ユニット単位でのカセット交換により補修工程の短縮を図ることが可能となる。さらに点検で不適合が発見されても、工程に悪影響を及ぼすことがなくなる利点がある。

3 計装・制御ケーブルの削減

監視制御システムの高度化に伴う発電所内の情報量の増加は、計装・制御ケーブル量の増大をももたらしている。このような状況に対応するため、入出力装置を従来の中央に集中して設置する方式に代わって、現場に分散設置し、現場と中央盤間に光ケーブルを使用する方式が採用されてきている。

(1) メタクラ、ロードセンタと制御装置間 メタクラ、ロードセンタにマルチリレーを適用し、開発を進めている制御装置とのインタフェース基板を収納する。これに

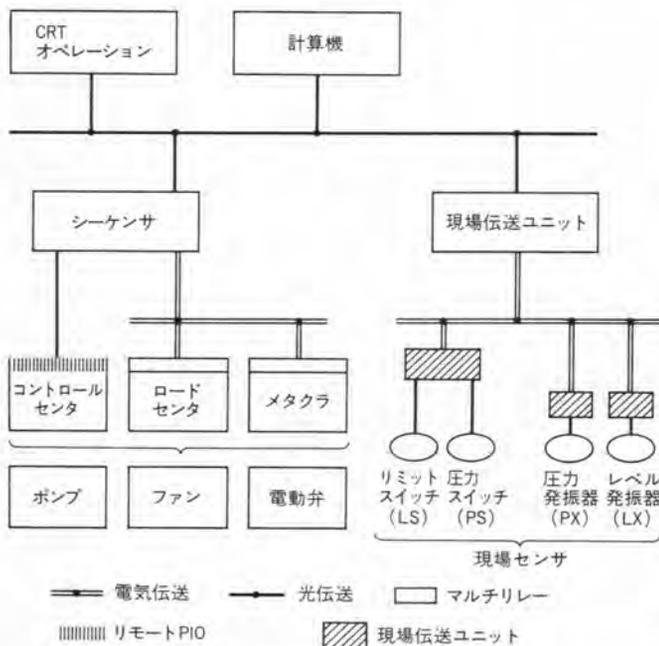


図12. 計装制御ケーブルの削減 マルチリレー、リモートプロセスI/O、現場伝送ユニットによりプラント情報の伝送を行う。

Reduction of control and instrumentation cables by local network unit

より、従来はケーブルでやりとりしていた補機モータにかかわる情報の伝送化が可能となる。

(2) コントロールセンタと制御装置間 コントロールセンタ近傍に制御装置の入出力基板を設置し、コントロールセンタ補機にかかわる情報の入出力を行う。

(3) 現場と制御装置間 現場伝送ユニットを分散配置し、プロセス情報を監視制御装置に伝送する。この現場伝送ユニットは現在フィールドテスト中である。

これらの方式の採用で、ケーブル量を大幅に削減することが可能である。システムに適用した概念を図12に示す。

4 あとがき

以上、代表的な改善事例を紹介したが、現在それぞれのテーマで着実に成果をあげつつある。当社では今後とも新規改善テーマの発掘に努め、保全・改良工事のいっそうの近代化と抜本的改善を推進し、社会的要請に積極的にこたえていくと同時に、魅力的な作業環境を備えた真の工事近代化を目指していく所存である。



笠井 大二郎 Daijirô Kasai

1964年入社。発電プラント機器、電力変電系統機器の保全・改良工事業務に従事。現在、電力事業部事業部長附。Power Systems Div.



村上 哲郎 Tetsurô Murakami

1973年入社。発電プラント機器、電力変電系統機器の保全・改良工事業務に従事。現在、電力事業部電力フィールド技術課課長。Power Systems Div.



高橋 勇 Isamu Takahashi

1961年入社。火力発電プラント機器の保全・改良工事業務に従事。現在、電力事業部火力フィールド技術課課長。Power Systems Div.



杉山 喜之 Yoshiyuki Sugiyama

1972年入社。発電プラント機器、電力変電系統機器の保全・改良工事業務に従事。現在、電力事業部電力フィールド技術課主幹。Power Systems Div.



石井 文治 Fumiharu Ishii

1974年入社。火力プラント機器の改良保全業務に従事。現在、火力統括部火力改良保全センター課長。Thermal Power Plant Engineering Div.



茂在 哲雄 Tetsuo Mozai

1962年入社。火力プラントの制御・計装システムエンジニアリング業務に従事。現在、火力統括部火力制御システム技術課部長附。Thermal Power Plant Engineering Div.