

火力発電プラントの現地建設工事の技術動向

Technological Trends and Prospects for Rationalization of Thermal Power Plant Construction Work

澤居 克幸
K. Sawai

内崎 稔
M. Uchizaki

片柳 泰一
H. Katayanagi

火力発電プラントの建設工事では、建設業法の改定、PL 法施行、電気事業法改定、品質保証の国際規格 ISO 9001 の堅持など、さまざまな環境変化のなかで、より経済性のあるプラントを実現させるための工事改善と建設コストの削減がますます重要な課題となっている。当社では、これらの変化への対応とともに機器のモジュール化をはじめとした工法改善や、自動機適用による省力化および計測作業の近代化などを積極的に推進している。

また、工事の改善を設計面から支援する三次元コンピュータモデルを用いたツールの開発を進めている。ここでは、当社の建設工事に関する改善の取組みと、特長的な最近の技術事例を紹介する。

Recent environmental changes, including public laws and ordinances such as the Construction Industry Act, the Electricity Enterprises Act, and the Product Liability Act, are promoting the rationalization of thermal power plant construction work.

This paper introduces new Toshiba technologies in field construction work such as a three-dimensional CAE simulation tool, modular construction of large equipment, and a more efficient system for implementing a plant's cabling and piping construction work.

1 まえがき

当社は、これまで国内外を問わず多くの火力発電プラントの建設に携わり、厳しい条件下での工事を克服してきた。これらの経験と実績をベースとした工法改善の各種技術は、新規の建設プラントに採用しており、現地の据付形態は時代とともに変化してきた。

近年、発電プラントの建設工事をとりまく環境は、経済不況の影響や、高度情報化の進展、および電気事業法改定による規制緩和など急激かつ著しく変化している。当社ではこれらの変化に対応するため、現地工事面でも従来の発想を越えた新たな視点からの抜本的改善および工程短縮を最大の課題として取り組んでいる。

ここでは、現地の作業能率向上、工程の短縮、工事の近代化などを反映した工事計画と現地工事改善に関する特長的な技術事例を紹介する。

2 現地工事改善の検討

現地据付工事における基本は安全、品質、工程確保である。よって、工事改善および合理化を考えるうえでは、その施工手段による現場生産性の向上とともに、安全・品質面での維持向上を図ることが重要となる。当社では、図1に示すようなアプローチで計画初期の段階から工数削減、工程短縮の検討を強化して、工事改善を推進している。

現地工事の改善は、近年の社会状況からますます要請が

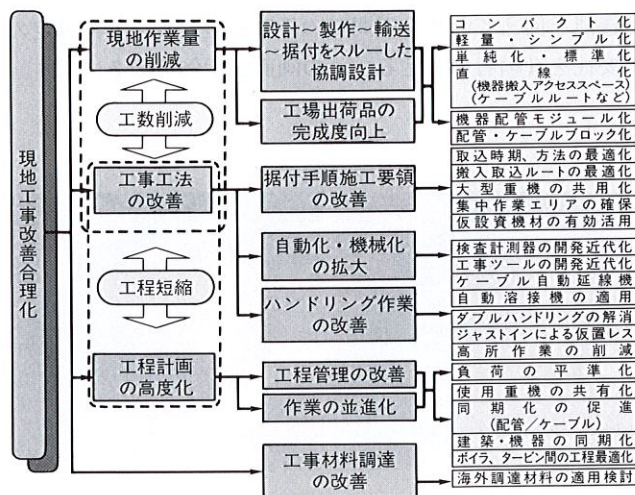


図1. 現地工事改善の分類体系 体系的なアプローチで工事改善の具体化を推進している。

Systematic approach for rationalization of field construction work

高まっている地球環境の維持、産業廃棄物の縮小、地域との調和、人に優しい建設工事(労働環境改善)なども視野に入れた総合的な位置づけで取り組んでいる。また同時に、市場ニーズにこたえる国際調達を含めた建設コスト削減を目的としている。

具体策への展開は、現地だけに着目した個別的なアプローチを越えたくふうが必要である。よって、設計、製造、輸送、据付をスルーして、工事側の声をフィードバックさ

せながら最適な協調設計を積極的に推し進めている。

以下に建設工事関連技術の動向と、当社の代表的な取り組み事例を述べる。

3 現地据付工事計画支援ツールの開発

火力発電プラントの建設工事を三次元コンピュータモデルおよび配管総合データベースを中核としたコンピュータグラフィクスを使用して仮想的にシミュレーションする仮想建設 CAE (Computer Aided Engineering) システムを開発し、実機への本格適用を目指している。

このシステムは配置配管設計用ツールであるとともに、三次元コンピュータモデルを用いて現地据付方法や工事工程を早期に検討し、工事のあるべき姿として最適化を検討するための支援ツールとして利用できる。

3.1 搬入据付シミュレーション

従来、図面上で検討していた搬入計画を三次元の画面上で検討するものである。この機能は工事計画者がコンピュータ画面上で対話形式で搬入ルートを設定し、機器やブロック化された配管がそのルートに沿って移動可能かどうかを検証するものである。このシステムでは移動中の干渉確認機能を備えており、仮開口の設置や搬入ルート再設定の必要性を計画者に教える。この画面表示例を図 2 に示す。

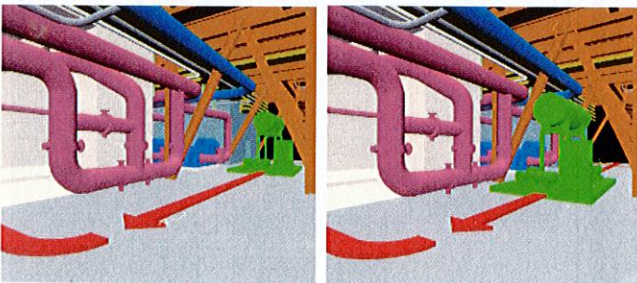


図 2. 搬入据付シミュレーション機能による画面表示例 機器の搬入ルートを三次元の画面上で仮想的に検討し、安全で最適な方法を据付要領の計画に反映する。

Example of CAE simulation for carrying equipment

3.2 工事手順シミュレーション

工事工程表に連動する形で任意の日時を指定すれば、その日時における現地の機器、配管類の据付状況が画面上に表示される機能である。工事計画者はこの画面データから作業の並進化や先行化促進への手がかりとすることができ、また、有限な人員供給資源の山積み・山崩しによる平準化などの検討と合わせ、工事計画を最適化するツールとして使う(口絵参照)。

3.3 配管ブロック化シミュレーション

現在、製造環境の整った工場ですべての配管や弁類を組上げた配管ブロック化が有効な手段として多く取り入れられている。しかしながら、多様な形状をもつ配管ブロックを最終据付場所へいかに効率よく取込むかは、従来の図面による検討では、その時点の作業環境の把握が困難で事前の検証が不十分であった。この機能は、設計者が対話形式でコンピュータモデルから配管ブロックを任意に設定しその配管ブロックの搬入据付状況を画面中でシミュレーションするものである。この画面表示例を図 3 に示す。

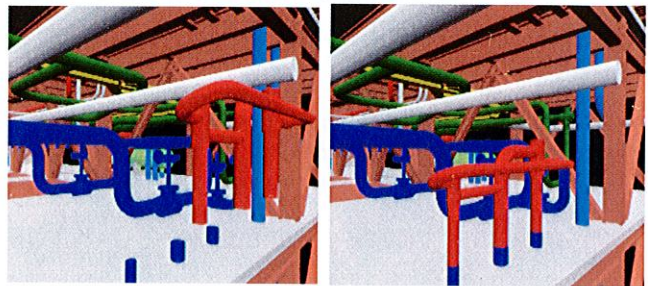


図 3. 配管ブロック化シミュレーション機能による画面表示例 配管のブロック化計画と、複雑で多様な形状をした配管ブロックの据付方法の事前検証を支援する。

Example of CAE simulation for engineering block of pipes

4 現地工事改善の事例

4.1 機器の大型モジュール化

4.1.1 排熱回収ボイラのもジュール化 従来、コンバインドサイクルプラントの排熱回収ボイラは数モジュールに分割されていたが、次期計画プラントではコンパクト化と工場組立て一体化を進めた 2 モジュール化を実現させ、1 船で現地搬入することで計画している。

このことにより現地作業工数および当該機器の据付期間は、いずれも 50% 以上の削減と短縮ができる。

さらに将来は 1 モジュール化への取組みを進めている。従来はボイラまわりの作業に仮設足場、ゴンドラ、高所作業車を多用していたが、モジュール数の削減により高所作業が激減し現地工事の安全性向上とともに天候の影響からも解放されることになる。

4.1.2 中圧ケーシングと再熱蒸気止め弁の一体モジュール化

従来、中圧タービンのケーシングと再熱蒸気止め弁(以下、CRV と略記)はそれぞれ個別に現地へ搬入され、基礎台内の狭い場所で開先を合わせて現地溶接する方法が取られていた。当社では、単機最大容量機である 1,000 MW の蒸気タービンで、これを一体モジュール化し、据付状態で輸送する工法を他社に先駆けて適用した。モジュール化された寸法は、L 9,250×W 5,370×H 4,150 mm、

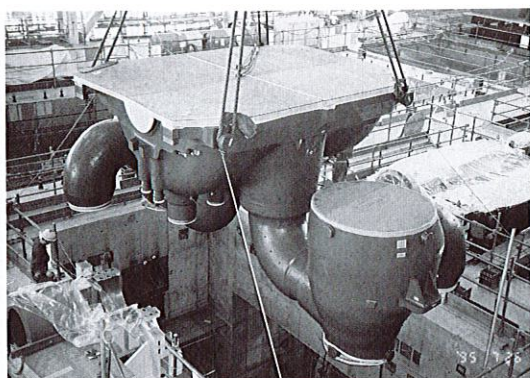


図4. 中圧タービンケーシングとCRVの一体モジュール化 モジュール化された中圧タービンケーシングとCRVが現地で据付オンベースされる状況。

Combined module for IP turbine casing and CRV

質量は内部ケーシング、輸送架台を含め138tである。現地据付中の状況を図4に示す。

この工法を採用したことによって、従来工法と比較して、中圧タービンのオンベースからCRVの取付け心出し完了までの期間が13日間短縮できた。

4.2 ケーブルトレイとケーブル敷設作業の改善

ケーブルトレイは、ユーザごと、設計ごとの多種多様なオーダーメイド品が使用されていた。当社では、過去の納入実績を基にして多用される形状寸法からなる経済性に有利な標準化を整備した。標準化するうえでの評価検証に際しては模擬的な手法に頼らず、実態の状況を再現して耐荷重試験や設計強度条件の妥当性などを確認している。より多くのユーザに受け入れられるように理解を得ながら適用拡大に努めている。

また、ケーブルトレイは国際調達検討対象の一つであり、東南アジア地区のサーベイを実施し導入を始めている。

ケーブル敷設工事の効率化では、ケーブル自動延線機の適用範囲拡大と作業しやすい環境を整える必要がある。このための手段として、次の対応を軸として作業能率の向上に取り組んでいる。

- (1) トレールートの直線化 アップダウンや曲りの少ない直線化されたケーブルトレイルートの設計
- (2) 自動延線機の改良 ケーブル多条敷設、ケーブル自動払い出し、ケーブルテンション保護装置、垂直敷設ころの開発

4.3 配管工事業業の改善

配管の現地工事は、作業エリアも広範囲に及び、完成までの作業プロセスも段取りを含めて手間のかかる作業である。よって、約3,000本にも及ぶ膨大な配管の搬入とこれらの現地溶接の負担を軽減するため、次のことを個々のプラントに具体化し推進してきている。

- (1) 搬入、輸送の合理性を考えた配管のブロック化

- (2) ラック上配管のサポート材を含めた長尺化
- (3) 配管支持装置のブロック化
- (4) 高所作業車やハンドリング工事ツールの導入拡大
- (5) 配管支持装置の先行取付けによる作業平準化

現在、配管のブロック化適用数はおよそ100ブロックに達している。今後、三次元コンピュータモデルを用いた設計の支援ツールを活用してさらに進んだブロック化の拡大を図り、配管工事の作業能率向上を目標としている。

また、配管現地溶接の人力から機械力への転換についても、溶接士の高齢化、3K作業の改善、および品質の向上と均一化などのニーズから計画的対応が必要である。

当社において自動溶接機分野で多くの実績をもっている原子力タービン系での技術とノウハウをトランスファしながら、火力の条件に適した自動機の適用（現在、半自動マグ溶接を多用）と、監視レス化を将来目標として開発に取り組んでいる。

4.4 施工要領および検査の改善

4.4.1 タービン、発電機台板設定の工法改善 タービン、発電機の台板（ソールプレート）設定の工法は、無収縮性グラウト材の技術開発により飛躍的に作業能率が改善され進歩してきた。

レベル調整作業の省力化と、さらなる工期の短縮を図るため、当社ではねじで容易にレベル調整ができるレベリングブロックを使用した全面フロアブルグラウト方式による新工法を開発した。

新工法によればソールプレートの設定からタービン、発電機の最終心出しまでをすべて当該レベリングブロックによりレベルの調整ができる。運転中の荷重を支持する全面フロアブルグラウト部（レベリングブロック面積を除く）は、その施工性を含めて試験検証し実機へ適用している。従来工法との比較を図5に示す。

4.4.2 計測および検査の改善 当社では特殊計測をはじめ、現地計測作業の近代化とともに、①計測時間の短縮、②特殊技能計測の削減、③データ処理の自動化、④計測デ

機能図	項目	従来工法	新工法
	レベル調整面	フロアブルグラウトパッド（シム調整）	レベリングブロック上面（ねじ調整）
	据付中荷重支持	フロアブルグラウトパッド	レベリングブロック
	運転中荷重支持	フロアブルグラウトパッド	全面フロアブルグラウト
	最終充填材（補強材）	普通モルタル（運転中荷重支持を期待せず）	無収縮性グラウト材の全面充填

図5. タービン、発電機のソールプレート設定方法 レベリングブロックを使った新工法と、従来のグラウトパッドによる方法の比較。

Comparison of leveling-block vs. grout-pad construction work

一々の信頼性維持向上、などを目的として計測装置の開発に取り組んでいる。以下は開発の結果実用化されている計測装置の事例である。

- (1) 機器据付過程での水平面レベル測定や、基礎台の不等沈下調査確認に使用されてきた角レベルおよび精密水レベル計に代わる、レーザ光線を使ったディジタラ装置。
- (2) タービン組立て時に多くの構成部品の中心を位置決めする作業に使用する、レーザ心出し計測装置(図6)。
- (3) タービンのロータとノズルダイヤフラム内径部の位置関係の間隙(げき)計測では、ピンチェック方式に代わる簡便で高精度な狭あい部自動間隙計測装置。
- (4) 電気計装盤や補機類の各種機器の据付心出し作業で威力を発揮する、基準心からの移し替えがスピーディーにできるレーザ式墨出し装置。

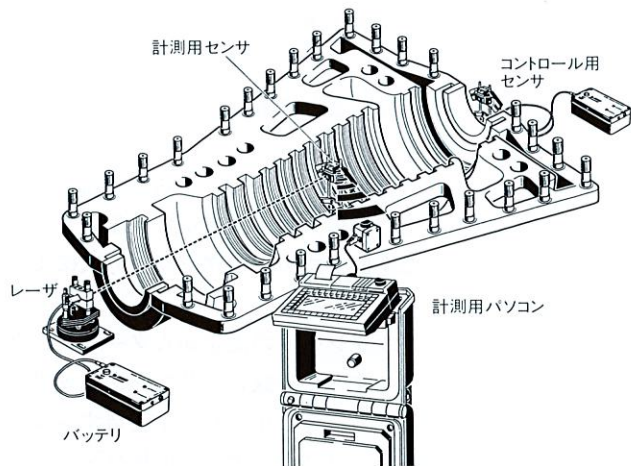


図6. レーザ心出し計測装置の概念 タービン組立て時のロータ軸中心に代わるピアノ線を張った従来のワイヤリング方式の代替技術で、記録の処理が自動化され計測時間も短縮できる。

Laser beam device for level measurement

4.5 配管機器洗浄方法の新技術

蒸気配管システムの洗浄異物排除の手法としては、蒸気によるブローイングアウトが通例であった。当社はコンバインドサイクルプラントで、最大約 3.04 MPa の高圧空気を使用して配管システムを洗浄し、その手法と技術基盤を確立した。実機適用に際しては、モックアップテストによる実証試験、配管系の各種挙動の解析による対策、および安全対策内容など綿密な事前準備と事前検証の徹底を図り、良好な結果を得ることができた。

この手法は、蒸気を使用しないため工程上での制約が少ないことと、蒸気使用に伴う諸費用が不要となる長所がある。図7にブローイングアウト放出端の状況を示す。

4.6 情報通信近代化による情報管理の高度化

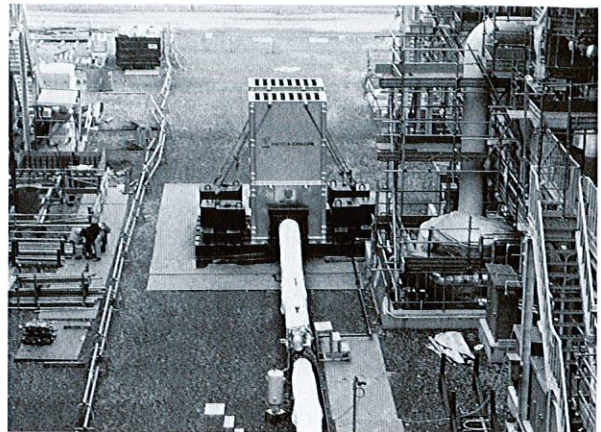


図7. 圧縮空気によるブローイングアウト放出部 高圧の圧縮空気を放出する仮配管(写真中央)の端部に設置したサイレンサの据付状況。

Overview of air blow-out system

今日、建設所現地との情報の伝達は電子メールの普及で近代化しつつあるが、まだまだ郵便、電話、FAX、に頼っている部分も多い。同時性のある大規模な情報を伝達するには、従来の伝達手段では限界があり、また、現地工事と試運転に必要なドキュメント類の一元管理をするうえでも情報通信の近代化が急務となっている。したがって、情報の共有化による迅速な意思決定と現地工事管理の高度化を目指し、現地との情報通信近代化と強化を推進している。

5 あとがき

火力発電プラントの建設現場は、発電プラントを最終的に完成させる工場であり、また地域との調和と共生も含めた当社の顔でもある。今後とも適切な品質を確保し、環境に優しく、経済性を向上させるための共益提案をしていく所存である。関係各位のなおいっそうのご指導、ご協力をお願いする次第である。



澤居 克幸 Katsuyuki Sawai

火力事業部火力フィールド技術部参事補。
フィールド部門の技術企画管理に従事。
Thermal Power Plant Div.



内崎 稔 Minoru Uchizaki

火力事業部火力フィールド技術部主任。
コンバインドサイクルプラントの建設業務に従事。
Thermal Power Plant Div.



片柳 泰一 Hirokazu Katayanagi

京浜事業所タービンプラントシステム部主査。
火力発電プラントの配管設計業務に従事。
Keihin Product Operations