

蒸気タービンプラントシステムの最適化エンジニアリング

Optimized Engineering for Steam Turbine Auxiliary Systems

沖田 信雄
N. Okita

佐藤 健二
K. Sato

山木 正彦
M. Yamaki

蒸気タービンプラントシステムの信頼性を維持しながら、コストダウンを図るエンジニアリング（最適化エンジニアリング）は、プラントの合理化に大きく寄与する。

システム構成の簡素化としての給水加熱器の1系列化は、信頼性が向上したため、大容量プラントでも採用可能になった。当社は個別機器のコンパクト化にも注力し、単胴型脱気器や新型管配列復水器の開発を完了し、実機へ適用し始めている。また、配管設計業務において三次元 CAD システムを取り入れることにより、設計業務の合理化、高度化が可能になった。

Optimized engineering for steam turbine auxiliary systems, which aims at minimizing costs while achieving sufficient reliability, makes a major contribution to plant optimization. Improved manufacturing technology makes it possible to apply one-line feedwater heaters to even large-capacity units as a simplified system.

Toshiba has developed a one-tank deaerator and a condenser with newly arranged tubes featuring compact design, and has also introduced a three-dimensional CAD system into piping design in order to optimize and integrate piping arrangement.

1 まえがき

蒸気タービンプラントシステムを構成する機器として、熱交換器やポンプ・配管・弁類があるが、そのプラント全体に占める構成割合は高く、これらを合理化することは全体の合理化に大きく貢献する。

当社では、運用に合わせたシステムの簡素化、機器のコンパクト化や、設計・製造技術の高度化などに取り組んできた。

ここでは、給水加熱器の1系列化、大容量横置き単胴型脱気器、高伝熱性能新管配列復水器や三次元 CAD システムの適用による配管設計業務の合理化などについて紹介する。

これらの技術は、互いに独立したものではなく密接に関連している。

2 システムの簡素化

給水加熱器（ヒータ）の1系列化は、信頼性の向上により、大容量でも可能となってきている。

図1は、低圧1, 2ヒータの1系列と2系列の比較を示している。ヒータバイパスとの組合せで、ヒータ1台故障時の負荷制限と、合理化効果との兼ね合いで選択される。

なお、従来比較検討項目になっていた1系列化に伴う大型給水加熱器の製造限界は、近年の設計製造技術・製造設備の近代化によりクリティカルにならなくなってきている。

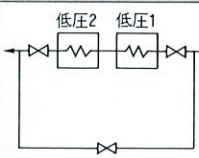
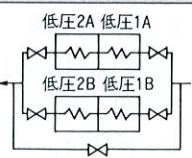
		1 系列	2 系列
概略系統 (低圧1, 2ヒータ)			
・ヒータ, 弁 ・給水管 ・バイパス管, 弁		100%×2 100%×1 90%×1	50%×4 50%×2 25%×1
負荷制限		90%負荷	100%負荷
特徴	運用性	○	◎
	経済性 実績	◎ ○	○ ○

図1. 給水加熱器の系列数の比較 低圧給水加熱器は、1系列のほうが若干運用性（1台故障時の負荷制限）の点で劣るが、経済性の点で有利である。

Comparison of number of feedwater-heater lines

ポンプ・熱交換器類の予備機削減も、最近の製造技術・品質管理の向上により信頼性が向上しているため、可能となってきている。予備機がないことによる故障時のプラントへのインパクトと合理化との兼ね合いで採用が決められている。

また、予備的な機器やシステムを省略したり、機能を分担していた機器や台数を分けていた機器を一つにまとめたり、容量的に冗長性を排除して小型化する方法などが検討され、採用されている。これらはいずれも運用性を比較検討項目として考慮する必要があり、ユーザのご協力を得ながら進

めている。

表 1 に代表的な項目とその経済性と実績を示す。

表 1. システム構成の簡素化 (例)
Example of plant system simplification

項 目	経済性	実績
予備的な機器や系統を省略 ・ M-BFP の省略 (T-BFP での起動) ・ BFP タービン高圧主蒸気系統の省略 ・ 電磁フィルタの省略	◎ ◎ ◎	一 有 有
機能を分担していた機器を一つにまとめる ・ 補給水タンクの省略 (純水タンクとの共用) ・ M-BFP-BP の省略 (インデューサ付き M-BFP の採用) ・ 雑用空気圧縮機の省略 (制御用空気圧縮機との共用)	◎ ◎ ◎	有 有 有
台数の 1 台化 ・ 循環水ポンプ (CWP) の 1 台化 (出口弁の省略も可能) ・ 循環水配管の 1 系列化 ・ T-BFP の 1 台化 ・ 海水プースタポンプの 1 台化	◎ ◎ ◎ ◎	有 有 有 有
その他 ・ M-BFP の揚程見直し (起動専用, 流体継手省略) ・ CWP 潤滑水系統の省略 (無注水軸受の採用) ・ 復水器冷却水系統の 6 弁逆洗方式	◎ ◎ ◎	有 有 有

M-BFP: モータ駆動ボイラ給水ポンプ
T-BFP: タービン駆動ボイラ給水ポンプ
M-BFP-BP: M-BFP 用プースタポンプ

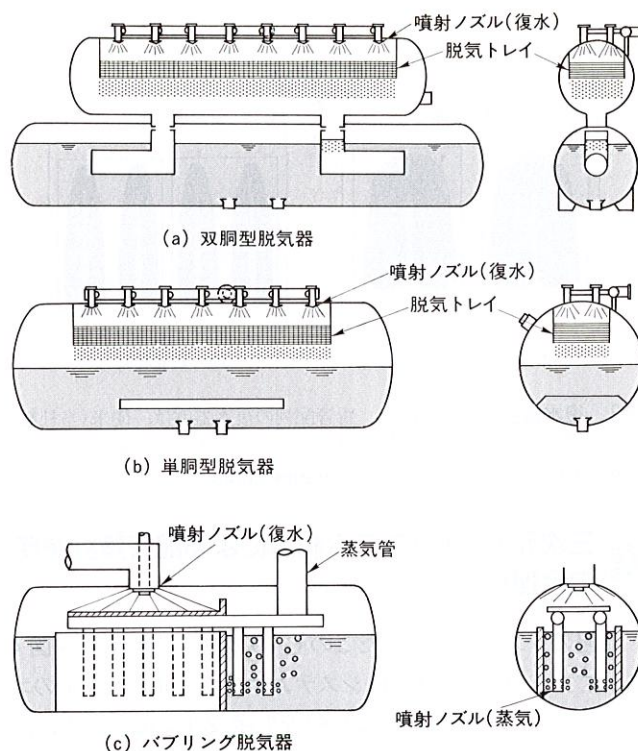


図 2. 脱気器の比較 単胴型脱気器(b)は、従来の双胴型脱気器(a)よりもコンパクトであり、バブリング脱気器(c)はさらにコンパクトになる。

Comparison of deaerators

3 熱交換器コンパクト化技術

3.1 脱気器の開発

図 2 に双胴型脱気器, 単胴型脱気器 (標準型), バブリング脱気器の比較を示す。

従来の脱気器は双胴型と呼ばれ, 水平円筒容器を二段に重ねた構造であり, 上部を脱気室, 下部を貯水タンクとして使用してきた。双胴型脱気器は, 据付け時に脱気室と貯水タンクをバランス管と連絡管で接続する, 比較的高度な技術を要する溶接作業と大がかりな据付け工事が必要であった。

そこで, 脱気器のコンパクト化と総合信頼性の向上を目的として, 従来の双胴の脱気室と貯水タンクを一体にした大容量構造単胴型脱気器の開発を行い, 145 MW の自家発電プラントで初めて採用して以降今回 600 MW の事業用火力発電所での運転に成功した。

単胴型脱気器には以下に示すさまざまな利点がある。

- (1) 据付け工事まで含めて総合的に評価すると工期, コスト面で優位性がある。
- (2) 現地組立工事がなく, 工場で完成品が製作できるため, 総合信頼性が高い。
- (3) 組立重量が従来型より軽減できる。
- (4) 脱気器の高さを低減できるので機器配置上有利である。
- (5) 連絡管, バランス管がないので, プラント過渡変化

時でも安定した制御が行える。

さらに, バブリング脱気器では水中に蒸気を噴射することにより, 蒸気を復水中に噴射接触させて脱気を促進する方式を採用しており, さらなるコンパクト化が図れる。

バブリング脱気器は, 脱気復水器への応用も鋭意進めている。

3.2 新管配列復水器の開発

図 3 に復水器管配列の比較を示す。

従来のつり鐘型管配列が管板 1 枚当たり 1 管束で構成されるのに対して, 新管配列では同じ大きさの管板で 2 管束で構成される。

この管配列は, 流入蒸気の圧力損失を低減し, 蒸気圧力に対応した飽和温度の低下を抑制している。それにより, 管外側の平均蒸気温度が高く保たれるため, 管内外の温度差を約 20% 大きく保つことができる。

一方, 流入蒸気は伝熱管表面で冷却され凝縮するが, この交換熱量は管内外の温度差に比例する。

したがって, この管配列を使用した復水器では同一伝熱面積で約 20% の交換熱量の増加が図れる。

すなわち, 伝熱面積を約 20% 削減しても従来の復水器と同等の性能および信頼性が得られることから大きな合理化メリットが期待できる。

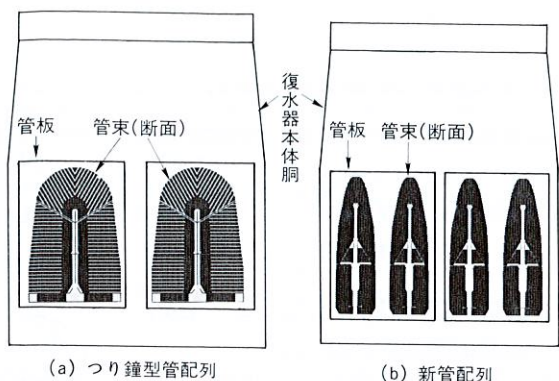


図3. 復水器管配列の比較 新管配列の復水器(b)は、従来(当社製)のつり鐘型管配列(a)よりも伝熱性能が良くコンパクトな設計となる。

Comparison of condenser tube arrangements

4 三次元 CAD システム利用による配管設計業務の合理化

周囲のシステムを含めたこの CAD システムの構成を図 4 に示す。この三次元 CAD システムは火力発電プラントのエンジニアリング高度化および配管生産設計支援のために、基本設計から詳細設計までをスルーした設計者の業務支援ツールと位置づけられる。

4.1 全体配置調整

タービン建屋内の各種機器、配管装置、ケーブルトレイ類、現場盤など主な対象物をすべて三次元コンピュータモデルに配置する。従来個々の部門がお互いの図面やプラスチックモデルを基に干渉チェックや調整作業を行っていたが、この三次元コンピュータモデルを使い、複数の大型プロジェクトを備えた“モデル&レビュー室”において社内関係者が一堂に会し、全体を見ながら最適配置への調整作業を効果的に行うことができる。

図 5 に、全体配置の一例を示す。

4.2 解析アプリケーションへのインタフェース

三次元コンピュータモデルのデータと配管総合データベース

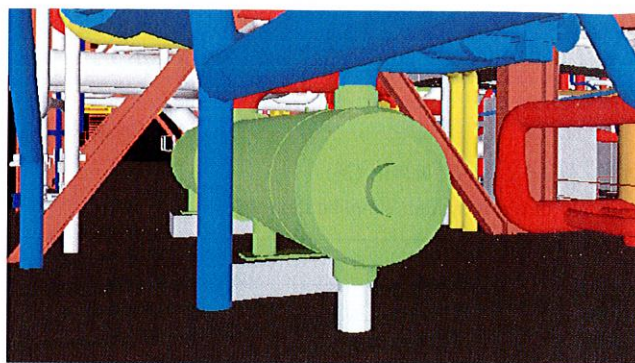


図5. 全体配置の一例 大型プロジェクトに映された三次元の全体配置を見ながら最適な配置調整が行える。

Example of plant arrangement

ースを電子情報として一元管理し、各種解析業務に活用することはその効果が倍増する。この配管配置情報を各種解析(例えば、熱心力解析、過渡解析、圧力損失計算や耐震解析)に渡し、さらに配管サポート設計へ展開するために各システム間のインタフェースを開発中である。

4.3 製作手配への展開

上述の調整作業と解析アプリケーションによって完成度の高められた配管配置データは、配管総合データベースを介して製作詳細設計側へ渡される。従来は多くの後戻り作業があった生産詳細設計側では、この完成度の高い情報をリアルタイムに製作手配情報に落とし込むことができる。

5 あとがき

蒸気タービンプラントシステムの合理化は、システムの簡素化、機器のコンパクト化や設計・製造技術の高度化などその範囲が多岐にわたるため、大幅な合理化が期待される分野である。ここで紹介したのは代表例であり、さらなる合理化のために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。

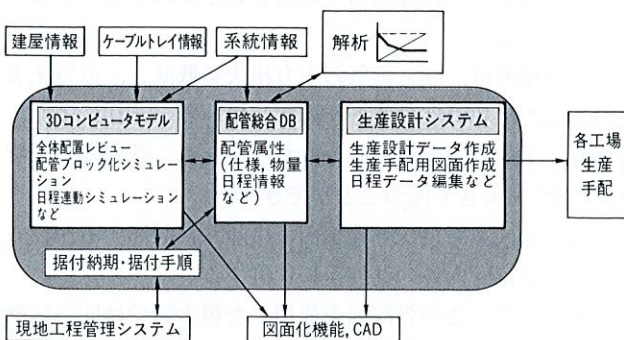


図4. 三次元 CAD システム 三次元 CAD システムの採用により、基本設計から詳細設計までをスルーした配管設計業務の合理化、高度化が可能である。

Three-dimensional CAD system



沖田 信雄 Nobuo Okita

火力事業部火力プラント技術部参事補。
事業用火力プラントの蒸気タービン設備の基本計画に従事。
日本機械学会会員。
Thermal Power Plant Div.



佐藤 健二 Kenji Sato

京浜事業所タービンプラント機器部主務。
蒸気タービンプラント用熱交換器の開発に従事。日本機械学会会員。
Keihin Product Operations



山木 正彦 Masahiko Yamaki

京浜事業所タービンプラントシステム部主務。
原子力・火力発電プラントタービン系配管設計システムの開発に従事。
Keihin Product Operations