特集 火力発電新技術

U.D.C. 621. 182. 2-661-52:681. 323. 014:681. 513. 6

大形ボイラ制御システムの新しい動向 Recent Trend of Utility Boiler Control Systems

大形ボイラに対して中・小形ボイラと同様の負荷調整能力が要求されており,そ れに適したボイラ構造及び制御システムの設計が重要な課題となっている。 計算機によるシミュレーション解析技術が定着し,制御システムを含むトータル ボイラプラント動特性の定量的評価が可能となった。最近の制御システムは,その 成果を採り入れることにより発展している。本稿では,起動制御,微粉炭機制御, 蒸気温度制御及び熱応力監視制御について取り上げ,技術の展望を明らかにした。

程塚国男* Kunio Hodozuka 東 敏彦** Toshihiko Higashi 佐藤美雄*** Yoshio Satô

□ 緒 言

燃料の多様化,特に石炭への転換が進む中で,大形ボイラ の中間負荷運用は避けられない成りゆきにある。従来に増し て基本計画段階から運転性能及び制御システムを考慮したボ イラ構造設計・システム設計を進めることが重要である。

システムの運転性能を定量的に評価するために,計算機を 利用したシミュレーション解析が欠かすことのできない中心 技術となっている。

本稿では、ボイラ制御の観点から中間負荷運用ボイラの具



備すべき条件について述べる。また,シミュレーションによる運転性能解析技術を紹介するとともに,それらが新しい制御システムの中にどのように採り入れられているかについて述べる。

2 中間負荷運用ボイラ

我が国での事業用電源構成及び負荷の運用パターンをみる と、火力発電プラントによる中間負荷運用は今後共、必須 条件と言える。すなわち、火力発電プラントの夜間最小負荷 は昼間最大負荷のたかだか35%であり、原子力発電プラント が増すにつれこの比率は更に低下すると思われる¹⁾。このよう に負荷調整用として運用される中間負荷運用は、新設大容量 ボイラに課せられている最も重要な機能の一つである。

中間負荷運用ボイラは,負荷応答性に優れていること,起 動時間が短いこと及び部分負荷での熱効率が高いことが要求 されるが,これらの要求に適したボイラとして欧州で主流と なっている変圧運転ベンソンボイラが,我が国でも採用され 始めている。一方,石油に代わるエネルギー源として,各種 の代替エネルギーの開発が進められているが,当面の火力発 電用燃料はIEA(国際エネルギー機関)による石炭利用促進勧 告を受け,石炭へ移行している。使用炭の性状及び諸性質が ボイラ本体,周辺機器の信頼性・運転性能に多大な影響を及 ぼす。特に,制御性の面から見ると蒸気温度制御の困難さを もたらす。

これらの課題に対し、制御システムとしてどのように対処しているかについて以下に述べる。

3 制御システム

図 | 火力発電プラントシミュレータの外観 日立制御用計算機 HIDIC 80Eを中核とする専用シミュレータにより,ボイラ基本設計,制御設計を 進めている。対話による計算が可能である。

御用計算機HIDIC 80 E を中核とする専用シミュレータの拡充 を図ってきた。シミュレータ全体構成例を図1に示すが、研 究部門だけでなく基本設計を担当する部門にも設置し、ボイ ラプラントの運転性能を検証しながら設計・計画を進めてい る。対話によるシミュレーションが可能であり、設計パラメ ータ変更に対する影響を容易に知ることができる。

シミュレーション技術の進歩により,運転性能解析が進ん できたことに加え,ようやく信頼性の高いディジタル式制御 装置が出現してきたことから,高度な運転制御手法を採り入 れたボイラ制御システムが実用化されつつある。この新しい システムは,一つには適応制御・最適化制御理論を応用して 高い負荷応答性を可能とし,他にはボイラプラントの信頼性 管理を行なう方向に進んでいる。

以下,シミュレーション解析例と,その応用としての制御 システムについて紹介する。

3.1 起動制御

十家島石岜ギノラのナ リフタ リティ おくけんけん にんしょう

ボイラの中間負荷運用化に対応するため、日立製作所及び バブコック日立株式会社はシミュレーション専用言語DDS (Digital Dynamics Simulator)を開発すると同時に、日立制	を図2に示す。ボイラ構造及び系統については、本特集号の 別稿に記されているので参照されたい。本例ではボイラ点火 からタービン通気までに55分を要している。起動時間を支
* バブコック日立株式会社呉工場 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立	立製作所日立研究所
	65

774 日立評論 VOL. 64 No. 10(1982-10)

侵暴 火力外霉素结晶



図2 石炭燃焼貫流ボイラの起動特性 ボイラ点火からタービン通気 までの起動特性を示したもので,通気温度470℃に達するまで約55分を要してい ることが分かる。 システムが必要である。

などの知見を得た。解析結果は制御システムにアルゴリズム として採り入れられ,起動モードによって最適な投入燃料量 を決定することなどに使われる。

3.2 微粉炭機制御

給炭機から微粉炭機を経て微粉炭バーナに至る給炭系は, 重油・ガス供給系に比べて遅れ時定数が大きい。微粉炭機の 粉砕能力によって時定数は左右されるので,適切な構造設計 が必要であるが,制御システムによる応答性改善も重要である。

図4は、燃料供給指令に応じて、給炭機指令及び微粉炭搬送用一次空気指令をステップ的に変化させた場合のバーナ入口微粉炭流量応答を示したものである。微粉炭機内での滞留時間が比較的長く、要求値に達するまでの整定時間が延びている。微粉炭機内に貯蔵された石炭を一時的に増減させることによって立上り特性が改善されることが期待できる。図5 では、給炭機指令に動的先行信号を加えて改善を図った例を示している²⁰。

3.3 蒸気温度制御

ボイラの中で最も制御が難しいのは蒸気温度である。その 理由は、燃料変化に対する主蒸気温度変化までの時定数が長いこと、負荷とともに時定数及びゲインが変化することなど





図 4 微粉炭機動特性 微粉炭機内での滞留時間が比較的長く,指令値 に達するまでのバーナ入口微粉炭量整定時間が延びている。

図3 燃料投入量と起動時間の関係 燃料投入量を増加させると起動 時間が短くなるが,約16%MCR(最大連続蒸発量)以上投入するとRH(再熱器管) 保護制限以上のガス温度となり、クーリングが必要である。

配する因子は起動系統弁操作など数多くあるが,最も大きな ものは燃料量である。

投入燃料量を変えた場合の起動時間は,図3に示すように 推移する。同図には同容量重油燃焼ボイラの起動時間につい ても示してある。以上の解析から,

(1) 石炭燃焼ボイラでは、投入燃料量の影響が重油燃焼ボイ



```
ラに比べて大きい。これは、火炉上部に設置されている板形
過熱器の熱吸収量効果によるものである。
(2) 燃料量を15%MCR(最大連続蒸発量)程度投入すると、
石炭・重油燃焼両者の差はなくなる。
(3) 燃料量を16%MCR以上投入すると、再熱器管保護制限
以上のガス温度となる。本限界以上に燃料を投入し更に起動
時間を短縮するには、再熱器冷却のためのタービンバイパス
```

66

にある。従来の制御では、この遅れ時定数などを補償するため、燃料のオーバ/アンダファイリング(一時的な燃料の過剰/ 過少投入)を主にした先行信号プラスフィードバック制御で対 処してきたが、広範囲にわたって最適に調整することが難し く、改善が望まれている。

このような時定数の長い複雑なプロセスを制御するのに適し た手法として適応予測制御があり,主蒸気温度制御に適用し 効果を挙げている³⁾。図6は制御の概念を示したもので,時刻 $i \mathrel{\sc t}(G)$ 後の最も確かな状態変数(最尤値) $\hat{X}(i+t)$ をカル マンフィルタ理論により予測し,目標パターンと比較して制 御することを特徴としている。図7は貫流ボイラ起動時の昇 温制御に適用した例を示したもので,従来見られた主蒸気温度 の一時的降下(同図の45分近辺で30℃程度降下していた。)がな くなり,円滑な温度上昇が達成できた。また,図8は自然循





図8 負荷変化時主蒸気温度制御特性(ドラムボイラ) 従来8~ 10℃あった制御偏差が、4℃以内に収まっている。

図6 主蒸気温度適応予測制御方式 t分先の最も確かな状態変数 x をカルマンフィルタ理論によって予測し,目標パターンと比較して制御することを特徴とする方式である。

表 | 再熱蒸気温度制御方式の比較 再循環ガス方式とパラレルガス ダンパ方式それぞれの利点を生かした両者併用方式が望ましい。

No.	項目	再循環ガス方式	パラレルガスダンパ方式
I	制御応答性	0	
2	Nox低減対策	0	
3	使用炭種変更対応	Δ	0
4	消費動力	\bigtriangleup	0

注:(○は優れている。△は劣る。)



環ボイラ負荷変化の主蒸気温度制御に適用した例を示したも ので、従来8~10℃あった制御偏差温度が4℃に収まってい る。本制御方式は従来技術を一歩進めたもので効果も大きい ことから、今後のボイラ制御に対する有力な武器の一つとし て、ますます適用が拡大されるものと信ずる。

一方,ボイラ構造としては制御が容易に行なえるよう,あ らかじめ配慮することが重要である。石炭燃焼ボイラでは使 用炭の性状及び諸性質がボイラ性能に多大な影響を及ぼす。 特に,蒸気温度制御の困難さをもたらす。一般に主蒸気温度 は過熱器スプレー水(貫流ボイラでは更に燃料量)により制御 されるが,再熱蒸気温度制御は再循環ガス方式,又はパラレ ルガスダンパ方式のいずれかを採用するのが普通である。両 方式の特徴を表1に示すが,蒸気温度制御面からは前者が優 れ,多種炭への対応では後者が優れる。中間負荷運用及び燃 料事情を考えると,一方を選択し他方を棄てる特性は大き過 ぎ,両者を併用する方式を選択することが望ましい。 3.4 熱応力監視制御

高頻度起動・停止や変圧運転化に伴いボイラ厚肉管の寿命 管理が重要なものとなってきている。図9に寿命管理を目的 として開発されたボイラ熱応力監視装置の外観を示す。管内 流体条件からメタル温度を計算(あるいは直接計測)し,更に 熱応力・内圧応力を計算する。起動・停止のたびにあるいは

67

776 日立評論 VOL. 64 No. 10(1982-10)

68



負荷変化のたびに寿命消費計算することも可能である。

応力値は時々刻々CRT(Cathode Ray Tube)に表示され運 転員のプラント操作情報として役立つほか, ユニット計算機 と結合して応力を制限値内に抑える制御情報として使用さ れる。

以上、サブ制御システムについて説明したが、これらを包 含し石炭燃焼貫流ボイラに適用した制御システムの一例を図10 に示す。

4 結 言

ボイラシステムの運転性能を定量的に評価するため,計算 機を利用したシミュレーション解析技術が定着してきた。最 近の制御システムは、その成果を採り入れることにより機能 の拡大と内容の高度化を図って発展しつつある。本稿ではそ の事例として, 起動特性解析による起動制御, 微粉炭機応答 性改善制御,最適制御理論応用による蒸気温度制御及び熱応 力監視制御について紹介し,技術の展望を明らかにした。

参考文献

- 1) 北見:火力発電プラントの負荷応動能力向上のための計算機 制御に関する研究, 電力中央研究所報告(昭55-11)
- 2) 斉藤,外:石炭ミルの動特性シミュレーション,日本機械学 会論文集, No.810-14(昭56-10)
- 3) 藤井, 外:発電用ボイラ蒸気温度予測制御方式, 昭和57年度

計算・監視し, 更に寿命消費管理を行なう装置である。 電気学会全国大会予稿集, No.1341(昭57-3)



石炭燃焼貫流ボイラ制御系統図 図10 適応制御理論を採り入れた貫流ボイラ制御系統図を示したもので、今後の制御方式の主流をなすと考えられる。