

発電プラントの運用性改善 —高精度シミュレーションによる 事前検証—

Improvements of Operability and Controllability for
Steam Power Plants

-Prior Verification by Precise Simulation-

黒 石 卓 司 大 田 稔
桐 原 雄 一 松 岡 俊 規



電力市場自由化に伴い、既設火力プラントにおいては、これまで以上の運用の多様化が望まれている。この実現のためには、高精度シミュレーションに基づくケーススタディが不可欠となっており、本報ではその事例を紹介する。当社の高精度シミュレータは、実機各部の過渡的挙動をも忠実に模擬できる。この技術を使い高精度シミュレータで事前検証することにより、既設火力プラントの運用改善、機能確認、制御性検討に取り組んでおり、実際に効果が上がった実績が豊富にある。

1. は じ め に

当初ベースロード火力として建設された既設火力発電所に対して、

- 電力需要の昼夜間・休平日・季節間の格差
- 高効率コンバインド火力発電所の新設

などの環境変化から、運用の多様化が望まれている。この運用改善実現のためには、高精度シミュレーションに基づくケーススタディが必要不可欠となっており、これに対し当社は、設計技術の一部として、高精度リアルタイムシミュレーション技術の開発を続けており、現在では実機各部の過渡的挙動を忠実に模擬できるレベルまで精度が向上している。

本報告では、高精度シミュレーションで事前検証することによる既設火力プラントの運用改善、機能確認、制御性改善への取り組みを紹介する。

2. 高精度シミュレータの特長

この20年程度で計算機の能力は10 000倍以上に飛躍的に向上している。これに伴い、最近のシミュレータ技術の進展は著しく、20年前には簡素化したプラントモデルにおいても数分間のシミュレーションに数時間を要していた計算時間が、今では精密型プラントモデルのシミュレーションをリアルタイムを上回るスピードで処理できるようになった。

現在、当社が標準的に活用している高精度シミュレータでは、実機プラント設計に用いる物理演算式をそのまま忠実にプログラム化し演算させている。

図1に示すシミュレータモデルでは、各伝熱面を流れ方向に細分割して処理するため、火炉内での蒸発点や各伝熱面のエンタルピを詳細に模擬できている。

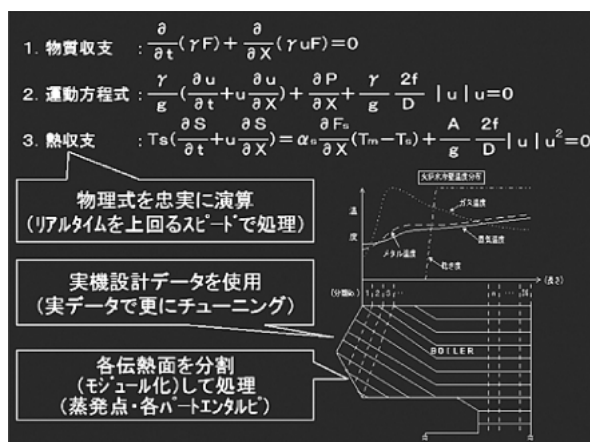


図1 高精度シミュレータモデル概要

また、実機に搭載した制御ソフトウェアを、そのままシミュレータ上でも動作させている。このように物理演算式を忠実に模擬したプラントモデルと実機制御ソフトウェアを組み合わせることで、シミュレーション精度が大幅に向上し、実機の挙動とほぼ一致することとなった。

3. 高精度シミュレータのメリット

高精度シミュレーションにより以下に示すような検証が可能になった。

- ① 精度の高い設計検証：机上検討だけでは限界のある運用性能、制御性の検証ができる。
- ② 通常運用範囲外の試験検証：FCB、ランバック、最低負荷などの実機では電力安定供給の観点から実施できないような試験の検証ができる。
- ③ ケーススタディ：考えられるロジック・インターロックに関する改善案をケーススタディし、定量的な効果検証

が可能である。

- ④ 実機適用前の制御パラメータ最適調整：考えられる運用パターンに対するシミュレーションを行い、制御パラメータの最適値を実機試験以前に検討できる。

また、事前に予想される問題点・注意点を認識した上で試験に臨むことができ、初めての試験に当たっての安心感等大きなメリットがある。

この具体的な事例として以下を紹介する。

4. シミュレーション実施例：新蒸気温度制御

以下に挙げるシミュレーションケーススタディは、1 000 MW 超臨界圧変圧貫流ボイラの制御性改善について実機適用に貢献した顕著な例の一つである。これは、火炉出口温度制御と主蒸気温度制御の制御性向上のために、新しい制

御アルゴリズムを開発したものである。その適用に当たっては、効果を事前シミュレーションで検証するとともに、実機適用ロジック、制御パラメータの調整まで実施した。

新蒸気温度制御（以下新制御と呼ぶ）と従来制御の比較を表1に示す。火炉出口温度と主蒸気温度は、いずれも制御対象であるが、互いに相関があり制御が干渉する。従来、当社の貫流ボイラにおける蒸気温度制御では、ボイラ出口温度は水燃比（給水と燃料の比率）で決めることから、水燃比で主蒸気温度を制御するのが通例であった。その場合、火炉出口温度は、中間スプレによって制御している。

新アルゴリズムでは、制御対象を逆にして、水燃比で火炉出口温度を、スプレで主蒸気温度を制御させるものである。

このような大幅な制御回路の変更に当たっては、机上検討のみではその定量的検討が不十分であり、当社では、高精度シミュレータでの事前検証を実施した。

その結果、次のとおり良好な結果が得られた。

- ① 水燃比による火炉出口温度制御は良好で、主蒸気温度の整定時間も短縮された。
- ② 蒸気温度制御各制御要素の応答時間が均一化され、制御性が向上すると同時に、制御調整も容易となった。

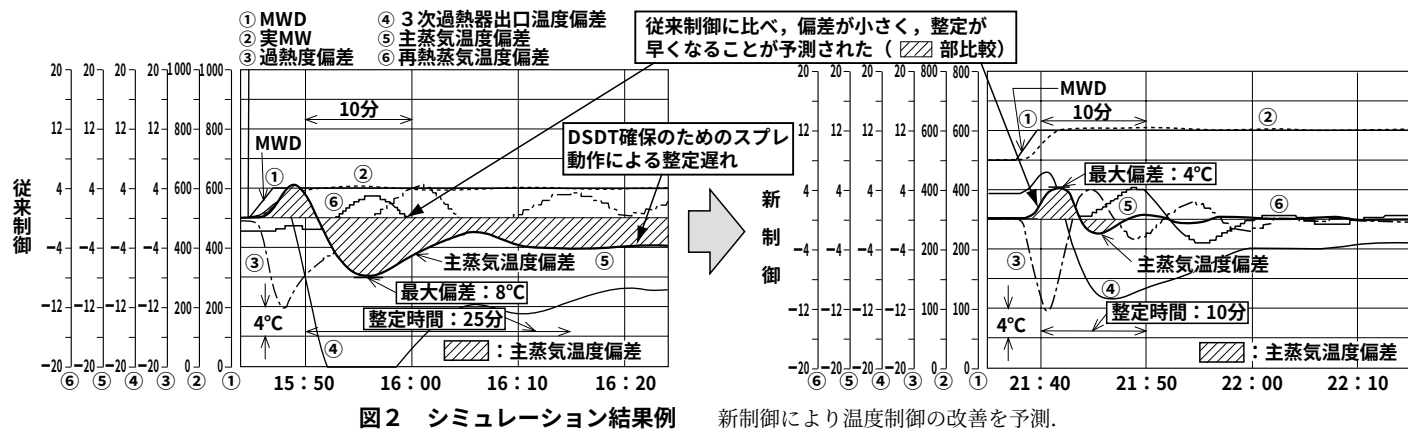
従来制御では、蒸気温度制御に対する操作端である水燃比、2次スプレ及び3次スプレの制御対象への時定数が、7秒～190秒と大きくばらつき調整に時間を要したが、新制御では37秒～60秒に平均化され、調整も容易なアルゴリズムとなった。

表1 新蒸気温度制御と従来制御の比較

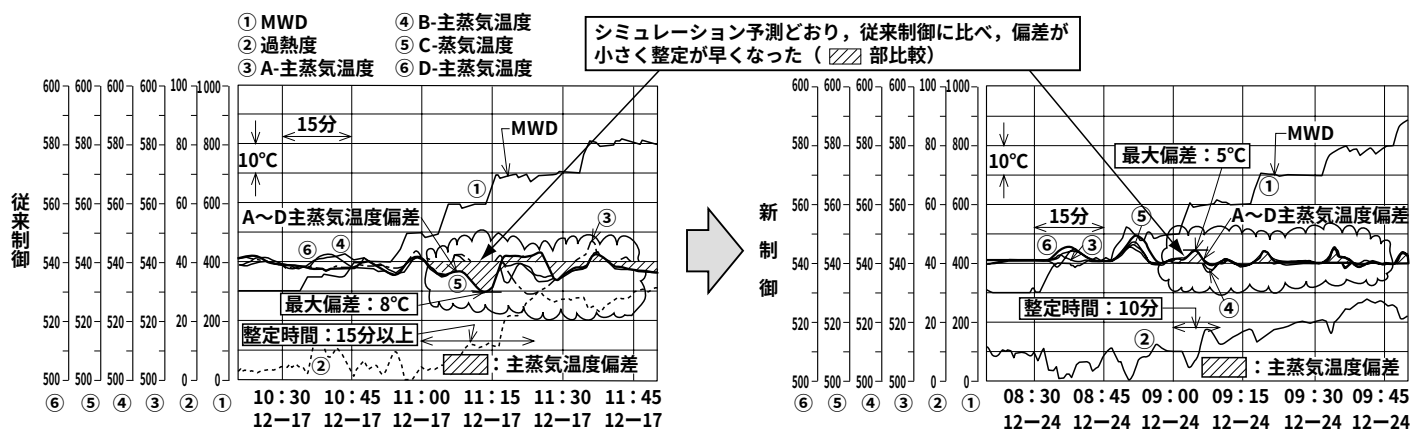
操作部	制 御 対 象	
	従来制御 (応答時間)	新制御 (応答時間)
燃料 (水燃比)	主蒸気温度 (190秒)	火炉出口温度 (37秒)
2次スプレ	火炉出口温度 (20秒)	2次過熱器出口温度 (45秒)
3次スプレ	減温器減温度 DSDT (7秒)	主蒸気温度 (60秒)

新制御の方が応答時間が均一化

⇒ 制御性が向上すると同時に、制御調整も容易になる



新制御により温度制御の改善を予測。



ほぼシミュレーションの予測どおり。

表2 主要な高精度シミュレーション実施事例

	項 目	実 績・効 果	実施時期	適用プラント () は予定
運用改善	定圧及び、変圧貫流ユニットのタービンマスタデマンドにおける時間遅れ回路の有効性検討	変圧貫流ユニットでは有効 特に低負荷でバランスの取れた制御実現	1994.4	東北電力(株)原町1号, 常磐共同火力(株)勿来8号, 東京電力(株)広野3号/5号, 北陸電力(株)敦賀1号/2号, 中国電力(株)三隅1号
	タービン振動調査に伴う, RH温度低下状況の事前検討	GRF減に伴い, 火炉熱吸収増 SHスプレの制御範囲内で問題無し	1997.4	東京電力(株)袖ヶ浦4号
	RH伝熱面調整及びウォーミング水逃しラインサイズアップによる制御性変化の事前検討	RH伝熱面調整は有効 ウォーミング水逃しラインサイズアップ量決定	1997.4	東京電力(株)広野3号
	定圧貫流ユニットの広域SH変圧運転の検討	燃料費・排出CO ₂ の削減 最低負荷の引き下げ タービンロータ寿命消費率の低減	2000.3	東北電力(株)新仙台2号, 関西電力(株)海南3号, 関西電力(株)姫二5号 (東北電力(株)東新潟1号)
	定圧貫流ユニットの最低負荷低減検討	SH変圧方式(狭域)により最低負荷の引下げ実現	2002.4	東北電力(株)新仙台2号, 東京電力(株)姉崎5号, 東京電力(株)袖ヶ浦1号/2号/4号(試験), 中国電力(株)岩国3号
機能確認	油焼きボイラのFCB制御性の検討	重油流調弁規定開度決定 重油ウォーミング弁開スピード決定	1994.8	東京電力(株)鹿島1号
	固定子冷却水断ランバックにおける制御性の検討	給水ポンプの1台除外方法, 運転モード検討	1997.10	(東京電力(株)袖ヶ浦1号/2号/4号)
	油/LNG焼きボイラのランバック制御性の検討	バーナ消火方法としてBID+ヘッダ圧力による本数制御が最適 空気流量アンダーシュート防止回路必要 空燃比ゲイン下げ回路が最適, 他	1998.2	【東京電力(株)委託シミュレーション】
	給水ポンプ停止ランバックにおける制御性の検討	給水ポンプ運転台数算出回路改善必要	1999.4	東京電力(株)袖ヶ浦1号/2号/4号
制御性検討	系統じょう乱時制御性改善検討	貫流ユニットでは周波数変動補償上限フリー BID補正上下限設定 ドラムユニットでは周波数変動補償上限フリー 3要素制御	1994.7	東京電力(株)姉崎5号, 東京電力(株)袖ヶ浦1号/2号/4号
	クロスリミット回路改善検討	LNG焼きプラントでは, 負荷トラック回路は不要	1997.6	東京電力(株)姉崎5号, 東京電力(株)袖ヶ浦1号/2号/4号
	★新蒸気温度制御回路検討	新蒸気温度制御にて安定性・制御性改善	1997.6	北海道電力(株)知内1号, 常磐共同火力(株)勿来8号, 東京電力(株)広野3号/5号, タイ・ラブリー, 台湾FP-1
	LNG焼きボイラのガスクロ入力による補正回路検討	ガスクロによる発熱量補正回路適用	1999.3	東京電力(株)袖ヶ浦1号/2号/4号
	SH変圧負荷上昇時の蒸気温度制御性改善の検討	SH変圧時は, スプレ制御中間温度設定 プログラム必要	1999.9	東京電力(株)新仙台2号, 東京電力(株)姉崎5号, 関西電力(株)海南3号, (東北電力(株)東新潟1号, 東京電力(株)袖ヶ浦1号/2号/4号)
	BOG処理用制御回路検討	LNG側圧調弁が制御範囲内での安定したBOG処理可能	2000.3	東京電力(株)袖ヶ浦1号/2号/4号

この新制御に関する事前シミュレーション結果を図2に示す。従来制御に比べ新制御は、制御偏差が8℃から4℃に小さくなり、かつ、整定時間が25分から10分に短縮されることがシミュレーションから予想された。

次に、新制御を実機に適用した結果を図3に示す。シミュレーションの予測どおり、制御偏差が8℃から5℃に、整定時間が15分以上から10分に短縮される結果が得られている。

この新制御は、表2内★に記載のとおり、当社超臨界圧変圧貫流ボイラの多数に既に適用済である。

5. 既設運用改善事例

4項で紹介した新蒸気温度制御のように、高精度シミュレーションでの事前検証が、既設火力プラントの運用改善、機能確認、制御性改善へつながった事例は、数多くある。その主要なものを表2にまとめる。

6. ま と め

当社は、この高精度シミュレーション技術を、プラントの最低負荷引下げ、新蒸気温度制御、また定圧貫流ボイラの広域SH変圧運転化など、既設機の効率向上や運用性改善工事

の事前検証や、他社製を含めたユニットのトラブル解析にも役立てている。

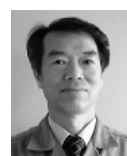
これからは電力自由化など環境の変化に合わせ運用の多様化が時代の要請であり、既設機改造計画等への高精度シミュレーション技術の活用ニーズは、益々高まることと予想される。

今後も、火力プラント総合メーカーとしてのノウハウをいかにしながら、お客様に満足いただける技術提供に努力してゆく所存である。



黒石卓司

原動機事業本部
火力プロジェクト部
火力サービス統括グループ主席



大田稔

長崎造船所
火力プラント設計部
計装電気課



桐原雄一

長崎造船所
火力プラント設計部
制御技術課



松岡俊規

長崎造船所
火力プラント設計部
制御技術課