

# 既設UPボイラの間荷運用化改造

## Modification of UP Boilers for Cycling Operation

前田政勝\* Masakatsu Maeda

近年の電源構成及び電力需要形態の変化により、今日までベース負荷火力として運用されてきた貫流形の大形UPボイラにも、中間負荷運用が求められるようになってきた。中間負荷運用としては、毎深夜停止に対応できることが必要であり、ボイラ火炉構造は変更せず運用性能向上を図る定圧運転方式と、火炉壁スパイラル化を伴う変圧運転方式の二つのケースが考えられる。いずれの場合も、機能上必要な基本改造と予防保全対策としての修繕が必要となる。

工事中の東京電力株式会社五井火力発電所納め2号ボイラの改造内容、及び超臨界圧ボイラの改造検討例を紹介し、UPボイラの間荷運用火力への改造の考え方について述べる。

### 1 緒言

近年、電源構成に占める原子力発電割合の増加、及び電力需要形態の変化により、原子力発電はベース負荷運用、火力発電は中間負荷運用となってきている。

このため、ベース負荷火力として設計納入された貫流形のUP(Universal Pressure)ボイラにも、中間負荷火力への移行が要望されている。バブコック日立株式会社納入UPボイラは、表1に示すように合計27缶あり、当初の設計条件及びその後の燃料転換、NOx(窒素酸化物)低減対策などのそれぞれの歴史と個性を持っている。またこのうち約半数は、既に10万時間以上の運転時間に達しており、予防保全対策も必要となっている。

中間負荷運用としては、DSS(毎深夜停止)に対応できることが必要であり、そのためには、現状ボイラ構造をベースとして運用圧力は変更せず信頼性向上・操作性改善・自動化などにより運用性能向上を図る定圧運転方式(ケースⅠ)と、火炉壁スパイラル化、起動バイパス系更新、ボイラ循環ポンプ設置などを伴う変圧運転方式(ケースⅡ)の二つのケースが考えられる。いずれの場合も、機能上必要な基本改造と操作性・信頼性向上など、予防保全対策としての修繕が必要となる。また、各ボイラに適したボイラ本体・起動バイパス系の改造が必要である。

UPボイラの間荷運用化への改善構想と改造計画例について紹介し、今後の参考に供したい。

### 2 UPボイラの間荷運用化への改善構想

既設UPボイラは運転圧力、再熱方式、使用燃料などにより六つのタイプに分類される(表1)。中間負荷火力への移行には前述の二つのケースがあり、これらを順に対策することも、ケースⅡまでを一気に実施することも可能である。主な改造

表1 既設UPボイラまとめ表 蒸気圧力、再熱方式、使用燃料によりUPボイラは6タイプに分類でき、約半数は10万時間以上の運転時間となっている。

タイプ	プラント名	ユニット出力 (MW)	蒸気圧力		再熱方式		使用燃料			火炉分割壁あり	運開年月 (昭和)
			亜臨界	超臨界	一段	二段	石炭	重油	ガス		
Ⅰ	A社 Aプラント	265	○	—	○	—	—	—	○	—	39年8月
	A社 Bプラント	265	○	—	○	—	—	—	○	—	41年1月
	B社 Aプラント	325	○	—	○	—	—	○	○	○	39年10月
	C社 Aプラント	250	○	—	○	—	—	○	○	—	41年1月
	A社 Cプラント	350	○	—	○	—	—	—	○	—	43年3月
	D社 Aプラント	220	○	—	○	—	—	—	○	—	41年8月
	E社 Aプラント	350	○	—	○	—	—	—	○	—	46年3月
	E社 Bプラント	350	○	—	○	—	—	—	○	—	47年4月
	E社 Cプラント	350	○	—	○	—	—	—	○	—	48年2月
	C社 Bプラント	350	○	—	○	—	—	—	○	—	45年8月
C社 Cプラント	350	○	—	○	—	—	—	○	—	49年11月	
Ⅱ	A社 Dプラント	600	—	○	○	—	—	○	○	○	42年12月
	A社 Eプラント	600	—	○	○	—	—	○	○	○	44年11月
	A社 Fプラント	600	—	○	○	—	—	○	○	○	46年6月
	A社 Gプラント	600	—	○	○	—	—	○	—	○	47年4月
Ⅲ	E社 Dプラント	500	—	○	○	—	—	○	—	—	49年6月
	F社 Aプラント	500	—	○	○	—	—	○	—	○	55年6月
	A社 Hプラント	1,000	—	○	○	—	—	○	—	△*	50年6月
Ⅳ	B社 Bプラント	450	—	○	—	○	—	○	—	—	45年5月
	B社 Cプラント	450	—	○	—	○	—	○	—	—	45年9月
	B社 Dプラント	600	—	○	—	○	—	○	—	—	48年6月
	B社 Eプラント	600	—	○	—	○	—	○	—	○	52年8月
Ⅴ	A社 Iプラント	1,000	—	○	○	—	—	○	○	○	52年2月
	D社 Bプラント	700	—	○	○	—	—	○	○	○	53年3月
	D社 Cプラント	700	—	○	○	—	—	○	○	○	53年4月
	A社 Jプラント	600	—	○	○	—	—	○	○	○	54年10月
Ⅵ	G社 Aプラント	700	—	○	○	—	○	—	—	△*	58年3月
合計	27	13,625	11	16	23	4	1	19	12	13	—

注：△\*ウイング壁

\* バブコック日立株式会社呉工場

内容をまとめると表2のようになり、ボイラ個々に検討し一部又はすべてを適用する。

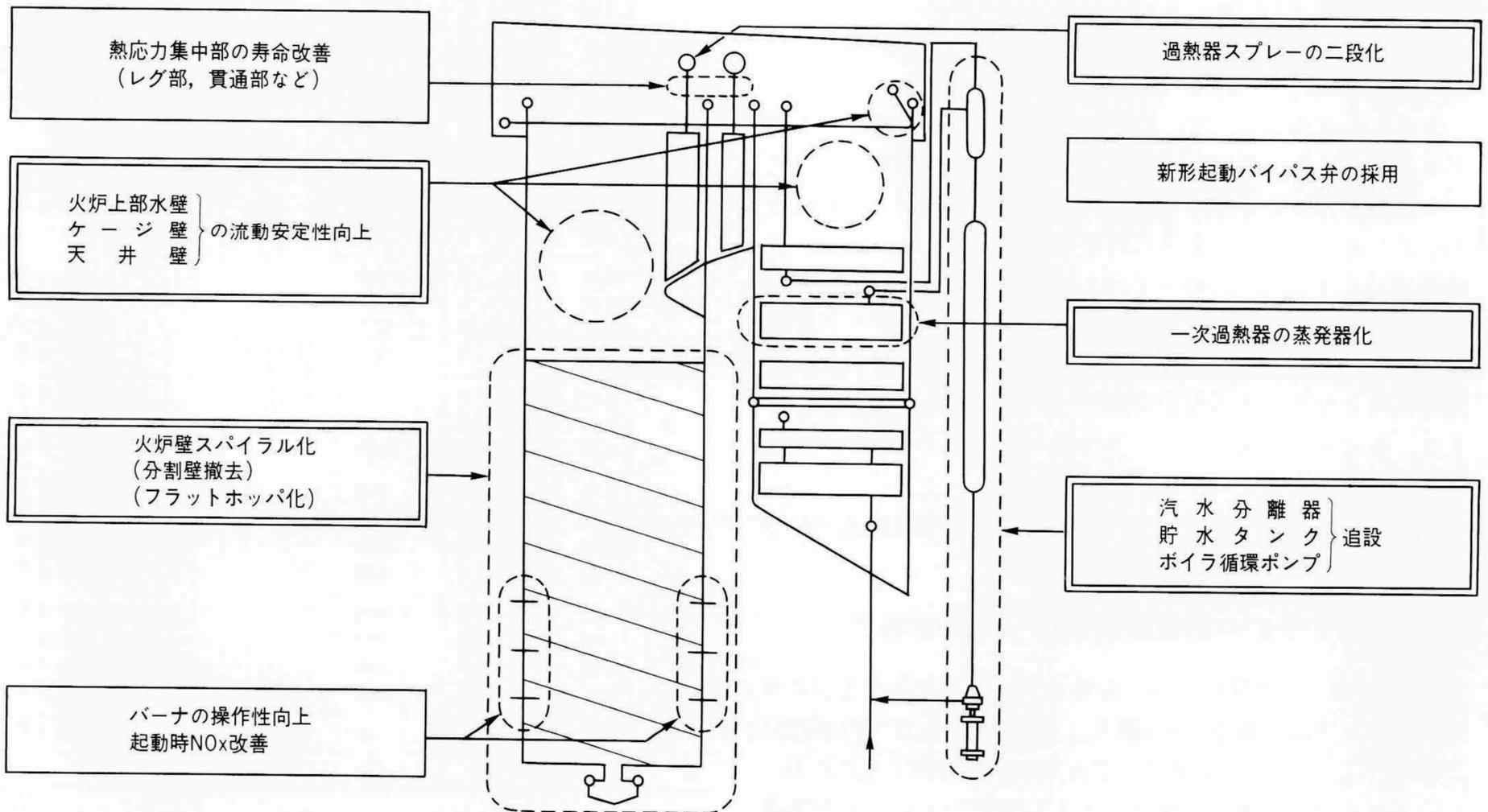
定圧運転方式の場合には、過熱器スプレーの二段化による主蒸気温度制御性改善により、起動時間の短縮や負荷変化率の改善などの機能向上を図る。各ボイラとも信頼性向上対策としては、起動・停止回数の増加による応力集中部の応力緩和のための構造改善、起動バイパス弁の使用頻度増加のため耐摩耗性に優れた新形起動バイパス弁への更新などの改善が必要となる。操作性改善では、運転操作の複雑さを軽減するために、起動・停止時の各種操作を自動化し、省力化あるいは時間短縮を図る必要がある。

定圧運転方式に比べ、変圧運転方式とする場合には、更に応じたような検討が必要である。現状UPボイラの火炉は垂直管で構成されており、必要管内流速確保の点から最低負荷低減が難しく、一般にUPボイラの最低負荷は亜臨界圧ボイラでは33%MCR(Maximum Continuous Rating)、超臨界圧ボイラでは25%MCRである。また、隣り合う水壁パネルあるいは水壁管が異なった流体温度条件で構成されている。このため、最低負荷低減や流体温度差均一化は、火炉壁をスパイラル管構造とすることで対応する。更に、起動バイパス系の更新、ボイラ循環システムの設置が必要である。ボイラ循環システムは、最低貫流負荷時の蒸発完了点の位置に設置する必要がある。主な改造内容をまとめると図1のようになる。

このように既設UPボイラの間荷運用化には二つのケースが考えられ、運用性能改善目標は表3に示すとおりである。次章以降に具体的な検討結果を紹介する。

表2 中間負荷運用化への改造項目 各々のボイラごとにこれらの一部又はすべてを実施する。運転方式(定圧運転方式、変圧運転方式)によっても改造内容は異なる。

項 目	備 考
<b>ケース I</b> (1) 機能向上 過熱器スプレーの二段化 後部伝熱面のパラレル配置(パラダンパ化) (2) 信頼性向上 熱応力集中部構造改善 新形起動バイパス弁への更新 二次過熱器入口管材質向上 (3) 操作性改善, 省力化, 制御性向上 ボイラバンキング操作自動化 ボイラ点火準備自動化 主蒸気管ウォーミング操作自動化 補機連動シーケンスの拡大 蒸気温度予測制御の導入	<b>定圧運転方式</b>  レグ部, 壁貫通部
<b>ケース II(ケース I に加えて)</b> (1) 機能向上 火炉下部スパイラル水壁化 ケージ壁流動安定化 一次過熱器の蒸発器化 過熱器スプレーの二段化 起動バイパス系更新 ボイラ循環系設置 (2) 耐力向上 二次過熱器入口管材質向上	<b>変圧運転方式</b>  分割壁のあるものは撤去  主としてガス燃焼ボイラ

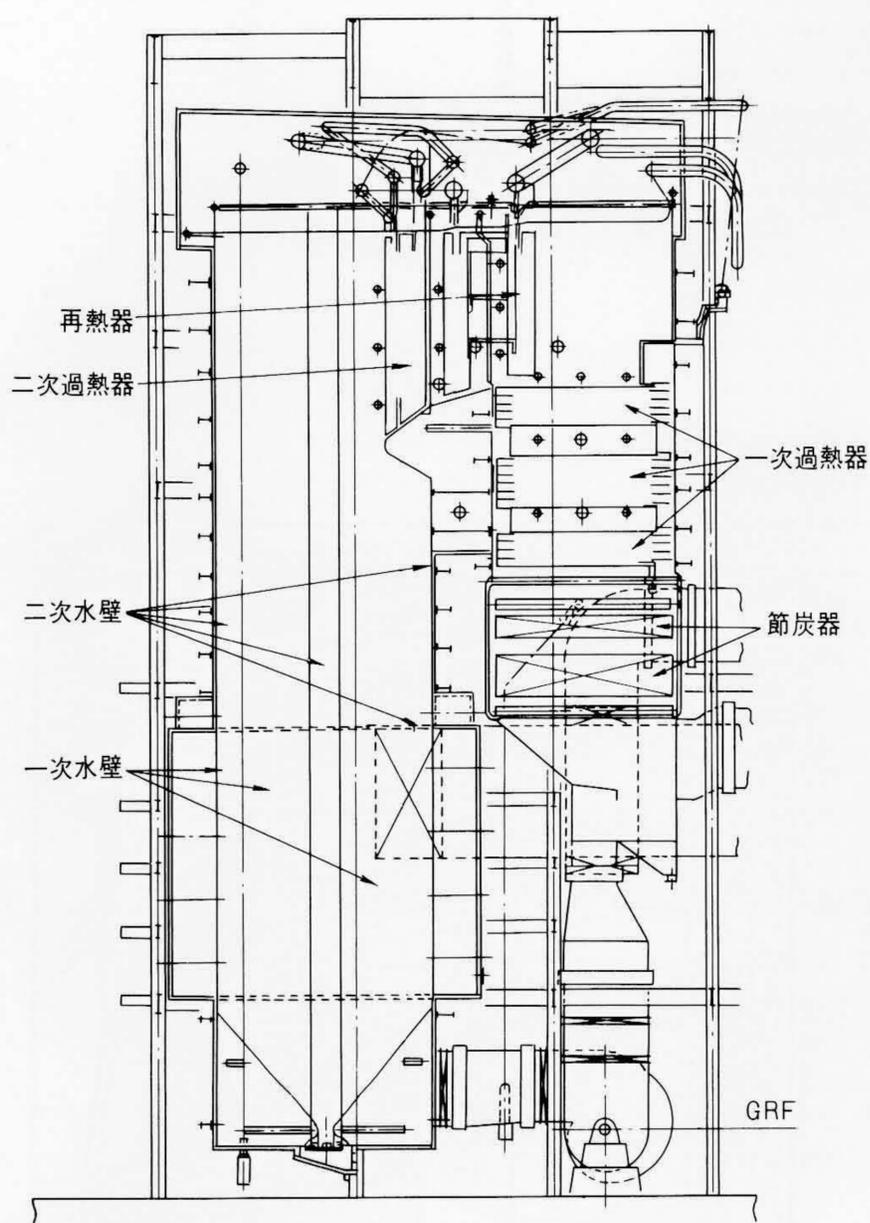


注：略語説明など NOx(窒素酸化物),   基本改造,   修繕・操作性向上

図1 ボイラ改造内容 改造内容は大きく二つに分けられ、  囲みで示す機能向上のための基本改造と   囲みで示す予防保全対策としての修繕・操作性向上改造がある。

### 3 亜臨界圧UPボイラのスパイラル化改造計画例

亜臨界圧UPボイラのスパイラル化改造計画例として、東京電力株式会社五井火力発電所納め2号ボイラについて紹介する。本ボイラは、アメリカBabcock & Wilcox社により昭和39年8月に納入された我が国初のUPボイラである。本ボイラの仕様と構造を図2に示す。ボイラの累積運転時間は12万時間に達しており、各種の予防保全対策も必要となってきた。また、起動バイパス系統は、その後の大容量UPボイラとは異なり起動損失が大きい。このため、火炉壁管の取替えに当たり、変圧運転にも対応できるようにスパイラル化するとともに、最新の変圧プラントと同様な起動バイパス系統に変更するものとした。



注：略語説明 GRF (Gas Recirculation Fan)

項目	仕様	
ボイラ仕様	最大連続蒸発量	900t/h
	蒸気圧力(過熱器出口)	176kg/cm <sup>2</sup>
	蒸気圧力(再熱器出口)	36.5kg/cm <sup>2</sup>
	蒸気温度(過熱器出口)	571℃
	蒸気温度(再熱器出口)	569℃
	通風方式	押込通風
	燃焼方式	LNG(液化天然ガス)専焼
運開営業	年月	昭和39年8月 (米国Babcock & Wilcox社納入)

図2 東京電力株式会社五井火力発電所2号ボイラの現状仕様と構造 本ボイラは我が国初のUPボイラで、火炉構造は一次水壁と二次水壁が隣り合うTwo-Pass方式である。累積運転時間も約12万時間に達している。

改造の基本的な構想は、次の四つである。

- (1) 現状の火炉構造は温度差のある一次水壁と二次水壁が隣接し、両者の間に伸び差が発生するため急速起動に適していない。このため、火炉壁をスパイラル構造に変更する。
- (2) 最新のプラントに比べて、起動時の熱損失が大きく、起動時間短縮の妨げとなるので、ボイラ循環系統を設置し、起動熱損失の低減を図る。
- (3) 主系統に起動用の弁類が設置されており、起動操作が煩雑なため起動バイパス系の簡素化を図る。
- (4) 今後の高負荷変化率を考えた場合、主蒸気温度制御は、給水と燃料の比による制御に加えて過熱器スプレーを常用化し、制御性の向上を図る。

主な改造内容は図1に示すとおりであり、基本改造としては火炉壁スパイラル化、一次過熱器の一部蒸発器化、及び汽水分離器、貯水タンク、ボイラ循環ポンプなどのボイラ循環系の追設である。また、修繕・操作性向上対策である応力集中部の構造改善による応力低減や新形起動バイパス弁の採用による起動系の信頼性向上対策も実施する。火炉壁スパイラル化については、前述の基本構想の(1)に述べたとおりである。一次過熱器の一部蒸発器化は、最低貫流負荷時の蒸発が一次過熱器の途中で完了するため、一次過熱器の蒸発完了部にボイラ循環系統を設置し、一次過熱器の入口側を蒸発器、出口側を一次過熱器とするものである。図1に示す項目のうち、火炉上部水壁・天井壁・ケージ壁の流動安定性については、亜臨界圧ボイラのため、当初から設計に考慮されている。また既設BFP(電動ボイラ給水ポンプ)では、給水圧力の制御性が十分でないため、今回の改造では通常運用時は定圧運転とし、将来BFPが更新された時点で、変圧運転に移行できるように考慮している。

改造前後の運用特性の比較を図3に示す。今回の改造では、起動時間の短縮に主眼をおき、現状ホットスタート(8時間停止後起動)で点火から全負荷345分の起動時間を半分以下の160分とし、連続運転最低負荷は現状と同じとした。将来BFP更新に加えて、過熱器スプレーの二段化などの制御性向上対策と、信頼性向上対策を合わせて実施することにより、起動時間120分、負荷変化率5%/分、連続運転最低負荷40MW(15%負荷)とする改善案を提案中である。

本改造工事は、既設撤去・据付工事・試運転を含めて6箇月で完了する計画である。

### 4 超臨界圧UPボイラの中間負荷運用化改造検討例

超臨界圧UPボイラの中間負荷運用化について、LNG(液化天然ガス)燃焼600MWボイラの変圧運転化改造検討例を紹介する。

超臨界圧UPボイラは、超臨界圧下の单相流だけを取り扱う特徴を有効に利用し、ボイラ本体の簡素化を図ったボイラである。このため、水・蒸気の二相流を取り扱う変圧運転ボイラへの転換は、当初から二相流を取り扱う設計である亜臨界圧UPボイラと異なり、二相流に対する考慮を十分に払った適切な改造計画が必要である。

現状の定圧運転では、蒸気タービンの負荷調整は蒸気加減

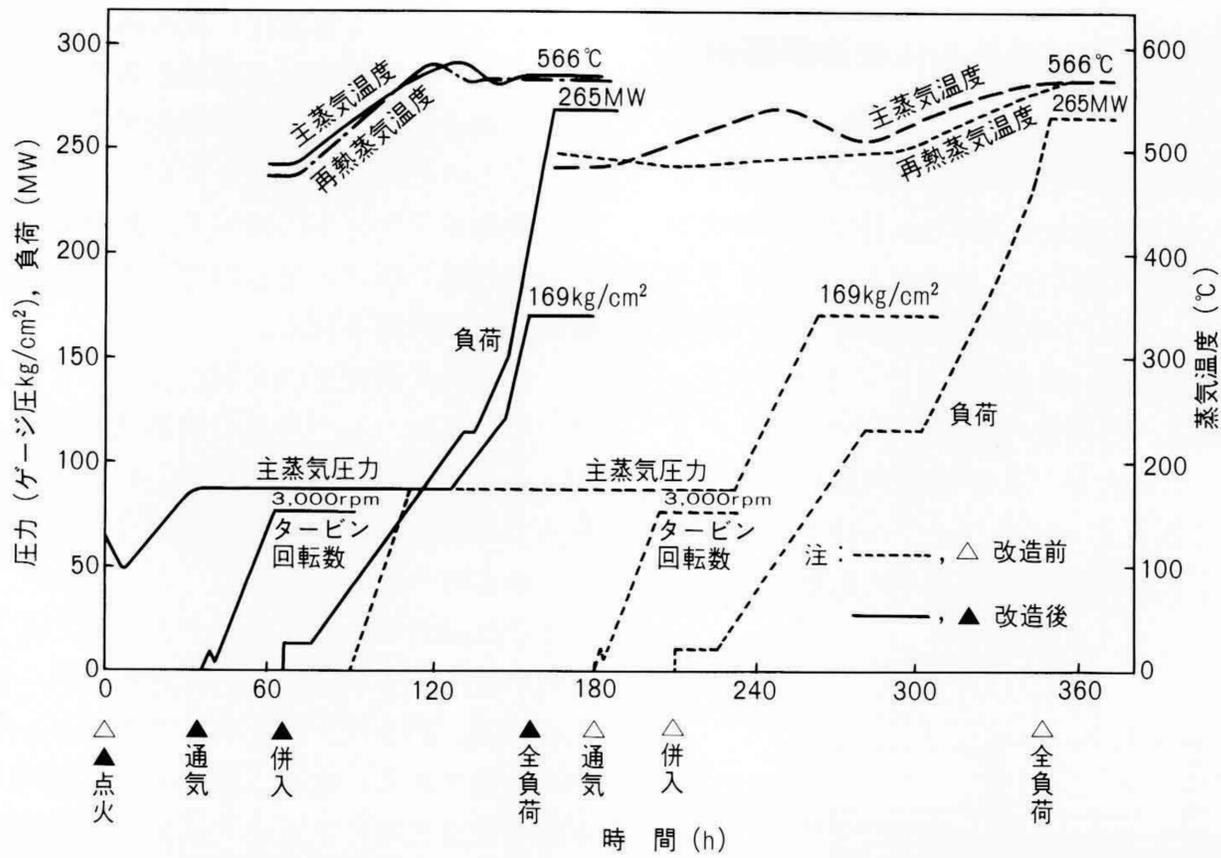


図3 改造前後の起動特性比較 現状の起動時間345分(点火～全負荷)を半分以下の160分とする。将来の変圧運転実施時には、起動時間120分となる予定である。

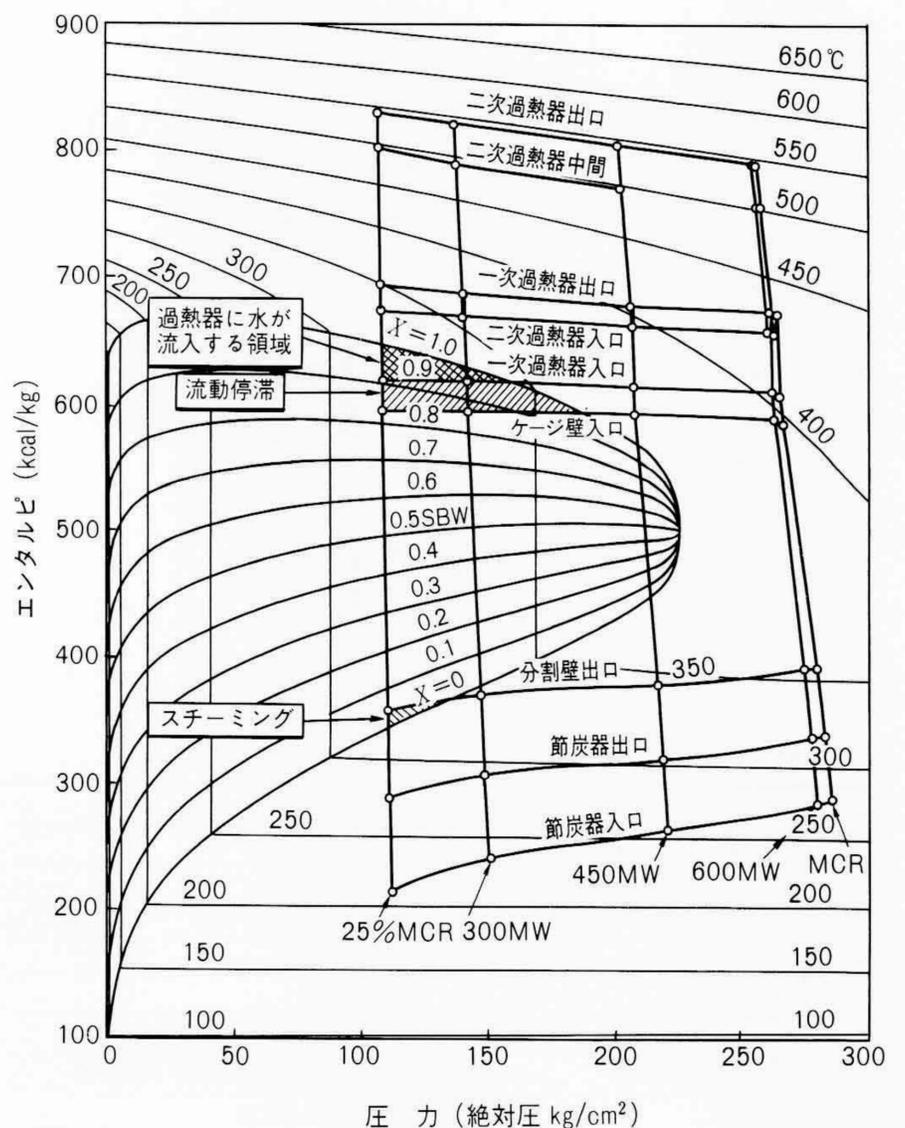
弁によって行われ、ノズル調速による温度変化幅が大きいので、蒸気タービンの寿命消費が大きく起動時間・回数に制約がある。このため、変圧運転化により蒸気タービンの寿命消費を軽減する。また、ボイラは変圧運転化のため火炉壁のスパイラル水壁化や二相流に対する考慮と操作性の改善などにより、中間負荷運用化に対応する。

現状構造で変圧運転を行った場合のボイラ給水・蒸気特性を、圧力-エンタルピ線図に示すと図4となる。この図に示すように超臨界圧UPボイラを変圧運転に移行する場合には、二相流の流動・伝熱に関して以下の三つの検討項目がある。

- (1) 火炉入口(火炉分割壁出口)でのスチーミング(流体状態が飽和域に入り蒸気が発生する現象)の発生
- (2) ケージ壁での流動停滞
- (3) 一次過熱器への水の流入

ボイラに供給された水は、節炭器により加熱された後、燃焼空間である火炉を左右に二分割するボイラ中心部の水壁(火炉分割壁)を経て火炉周壁へ入り、更に過熱器で過熱されタービンへ送られる。火炉内に設けられた分割壁は熱吸収量が大きいため、火炉入口流体が飽和域に入ることになる。火炉入口でのスチーミング発生は、火炉入口管寄せなどで流体が水と蒸気に分離(汽水分離)するおそれがあり、汽水分離が発生すると熱負荷の高い燃焼室を構成する火炉壁管が焼損することになる。これを避けるため分割壁を撤去し、火炉入口流体を圧縮水領域に保つようにする。

現状のケージ壁では低負荷域で圧力損失が小さいため、水と蒸気の汽水混合流体が入口部で汽水分離を起こした場合、飽和水が管下部に停滞する。飽和水が管下部に停滞すると、管上部で過熱状態となるおそれがあるため、入口にオリフィスを設置し、圧力損失を大きくとる必要がある。この低負荷時の差圧確保対策により、高負荷では必要以上の圧力損失と



注：略語説明  
MCR(Maximum Continuous Rating), SBW(Steam By Weight)

図4 超臨界圧UPボイラの変圧運転時予想特性 変圧運転時の検討項目としては、火炉入口(分割壁出口)でのスチーミング、ケージ壁での流動停滞、過熱器への水の流入がある。

表3 運用性能改善目標 改善後起動時間は、定圧DSSで現状の半分の150~180分、変圧DSSで $\frac{1}{3}$ の100~120分とする。また、変圧DSSでは最低負荷10~15%とする。

項目	現 状	改 善 後	
		定圧DSS化	変圧DSS化
起動時間	300~360分 (ホットスタート)	150~180分	100~120分
負荷変化率	1~3%/分	3~5%/分	3~5%/分
最低負荷	33~40%負荷	33~40%負荷	10~15%負荷
効率向上	ECR時ベース 50%ECR時ベース	±0% ±0%	±0% 約+2%

注：略語説明 DSS(Daily Start and Stop)  
ECR(Economical Continuous Rating)

なるため、バイパスシステムの設置により圧力損失低減を図る必要がある。

一次過熱器への水の流入は、一次過熱器入口部を蒸発器化することで対応する。このため、ボイラ循環系統は蒸発器出口(一次過熱器入口)から取り出し、節炭器・火炉・ケージ壁・蒸発器などを循環する。主な改造内容は図1に示すとおりである。

改造後の運用特性の目標は、表3に示すようにホットスタート100~120分(点火~全負荷)、連続運転最低負荷10%~15%負荷、負荷変化率5%/分である。改造工事は、既設撤去・据付工事・試運転を含めて6~8箇月で完了するように計画している。

### 5 定圧運転方式による中間負荷運用化改造

変圧運転方式による中間負荷運用化の例を紹介してきたが、前述したように、まず定圧運転方式による中間負荷運用化を図り、その後更に機能向上をするために変圧運転へ移行することも可能である。定圧運転方式時に実施した予防保全対策については、変圧運転へ移行する場合に必要な項目であり、先行的な対策と言える。各ボイラに共通する主な予防保全対策としては下記がある。

#### (1) 大径管サポートの管取付部の応力低減改善

過熱器出口、再熱器出口管寄せなどはトルクブラケットと称する板を管寄せ外周に溶接し、また主配管などはサポートラグと称する板を配管に溶接してサポートしている。これらには、頻繁な起動・停止や負荷変化時に、管寄せ・配管内部の流体温度変化により溶接部に応力が繰り返し作用する。このため、シャーラグを介して荷重をサポートしサポート支持部に柔軟性を持たせ、応力を軽減するように構造改善する(図5に再熱器出口管寄せの場合を示す)。

#### (2) メンブレンバー止端部のR取り構造改善

ボイラ水壁は、管と管の間をメンブレンバーで接続し構成している。このメンブレンバーには止端部が存在し、頻繁な起動・停止により応力が繰り返し作用するため、R取りを実施

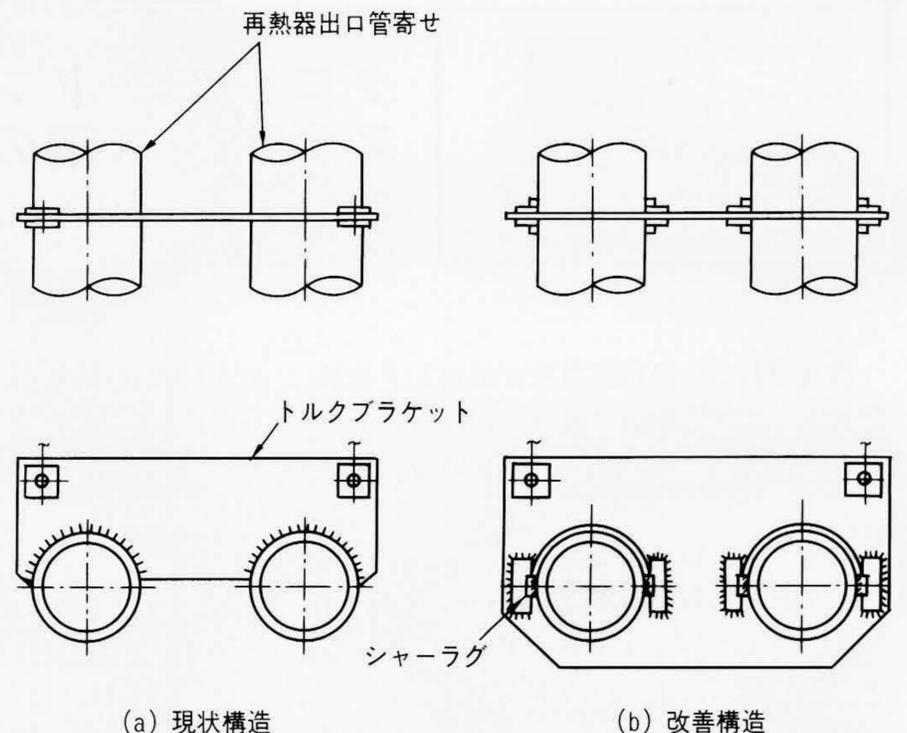


図5 大径管サポートの管取付部の応力低減改善例 再熱器出口管寄せのサポート構造を、トルクブラケットからシャーラグに改善し、サポート部材と管寄せの間に自由度を持たせ応力低減を図るものである。

し応力集中を緩和する構造とする。

#### (3) 水壁、ケージ下部管寄せシールリング取付構造の改善

各管寄せの間はケーシング及びシールリングによりガス漏れを防止しているが、各種の荷重と温度差により応力が発生する。このため、シールリング取付構造を発生応力に耐えるように強化改善する。

#### (4) ケージ下部管寄せシールボックスの構造改善

ケージ下部管寄せ部は、シールボックスによりガス漏れを防止しているが、発生応力軽減のためにシールボックスに柔軟性を持たせた構造に改善する。

#### (5) 各種開口部のフレーム形状改善

ボイラ水壁には、炉内点検用、炉内監視テレビジョン用、炉内監視用など各種の開口があり、これらには開口フレームと称するガスリーク防止板が取り付けられている。これら開口フレームにもフレームとボイラ水壁の温度差により応力が発生する。この対策として、応力軽減を図る構造とする。

このほかにも各ボイラ固有の多くの予防保全対策項目があり、これらすべてを十分に検討対策する必要がある。これらの対策のほかに、新形起動バイパス弁への更新など起動バイパス系の強化、制御装置のデジタル化などにより中間負荷運用に対応することになる。

### 6 結 言

現在まで、ベース負荷火力として運用されてきた貫流形の大形UPボイラも、今後は中間負荷火力に移行するものと予想される。ここに紹介した東京電力株式会社五井火力発電所納め2号ボイラを先べん(鞭)として、既設各ボイラの機能向上改善を図り、今後の電力需要変化に対応した運用性能要求にこたえていく考えである。

終わりに、本検討に対し、御指導いただいた東京電力株式会社の関係各位に対し、深く感謝の意を表すものである。

## グローモードプラズマ源を用いた放電洗浄によるステンレス鋼の放出ガス低減

日立製作所 伊藤明子・石川雄一・筑波大学 河辺隆也  
真空 30—5, 276—279 (昭62—5)

高真空あるいは超高真空を必要とする装置では、大気開放後の排気に10時間以上かかることが常識のようになっている。この排気時間を短縮するためには、真空容器壁の吸着ガスを短時間で除去(脱ガス)することが必要である。現在、最も一般に行われている脱ガス法はベーキング(真空中加熱)と呼ばれ、熱によって吸着ガスを除去する方法である。しかし、装置全体を均一に高温加熱できるようにするには、コストがかかること、加熱冷却に時間がかかること、信頼性が低下することなどの欠点がある。そこで、プラズマによって吸着ガスを除去する放電洗浄法に着目した。

放電洗浄は、これまでに核融合装置と加速器で、テーラー型放電洗浄や電子サイクロトロン共鳴放電洗浄、グロー放電洗浄が行われている。この中で、プラズマ発生装

置を持たない任意の形状の装置にも比較的容易に適用できる点から、グロー放電を採用することにした。しかしこの方法には、(1)放電電圧(≒空間電位)が数百ボルト以上と高く、イオンによる器壁のスパッタリングが生じること、(2)放電開始圧力が10Pa台と高いこと、などの問題があった。

本論文では、以上の問題点を解決するため、著者らが考案したグローモードプラズマ源を用いたグロー放電洗浄法を示し、そのプラズマ特性、排気特性及び昇温脱離スペクトルによる洗浄効果の評価結果について紹介した。

従来のグロー放電洗浄は、陽極を真空容器内に備え、接地した真空容器との間で放電させて脱ガスを行うもので、放電の維持を器壁から放出される二次電子だけに頼っていた。本法は、熱陰極と陽極から成るグ

ローモードプラズマ源を用い、電子を供給しながらグロー放電を行う点に特徴がある。

この方法により、従来から二けた低い圧力で、放電の開始、維持が可能となった。また、ラングミュアプローブによりプラズマ特性を測定し、空間電位(イオンが容器壁に衝突するエネルギーを決める電位)を従来の $\frac{1}{10}$ まで下げられることを明らかにした。

更に、ステンレス製真空容器の脱ガスを本法で行い、 $10^{-7}$ Pa台までの排気時間が、放電洗浄を行わない場合の $\frac{1}{4}$ 以下に短縮できることを明らかにした。また、昇温脱離スペクトルの測定から、空間電位が20eV以下の放電でも脱ガス効果のあること、及びイオン照射量が脱ガス効果に大きく影響を与えることを明らかにした。

## 誘導電動機の世界・電圧センサレス・ベクトル制御法

日立製作所 奥山俊昭・藤本 登・他2名  
電気学会論文誌 107—D, 191—197 (昭62—2)

かご形誘導電動機の高性能速度制御が行えるベクトル制御法は、鉄鋼圧延機駆動やFAのサーボドライブなどに広く使われている。しかし、その制御法は電動機の滑り周波数の指令値と実回転速度の和に応じてインバータ周波数を制御する方式のため、電動機取付けの速度センサが不可欠であり、適用に当たってはそれだけ制約を受け、システム構成が複雑化する。一方、周波数をオープンループ制御し、構成が簡単なV/f制御が一般可変速用途に多数適用されているが、その制御性能は動特性及び精度の点で十分とは言えない。そのため、電動機の電圧及び電流から回転速度及びトルクを演算する方法や、スロット高調波電圧から速度を演算する方法など、速度センサを用いない高性能速度制御方式が幾つか提案されている。しかし、いずれもインバータからの高調波を多量に含む電動機電圧を検出し演算する方式のため、制御精度は十分とは言えず、電圧センサとその周辺回路のために

システム構成が複雑である。

そこで、本論文は速度センサ及び電圧センサを省略し、電動機電流センサだけにより速度とトルクの高性能制御が行える新制御法を提案した。

ベクトル制御は、インバータから供給される電動機電流の励磁成分とトルク成分を独立に制御して、電流変化に伴う電動機磁束の変動を防止し、高速応答、高精度な速度制御を可能にする制御法である。その際に、従来は電動機電圧、電流などから磁束を演算し、それを座標基準として電流を制御していたが、前述のような問題があった。そこで、磁束の演算検出を必要としない新制御法を提案した。すなわち、電動機電圧が、誘導起電力の指令値及び電動機定数と電流から演算した漏れインピーダンス電圧降下の演算値の和に比例するように、インバータ出力電圧を制御し、そのとき、誘導起電力の指令値(位相)が実際値と一致することに基づき、それを制御のための座標基

準に使う方法である。

制御システムの数式モデルに基づいて動特性を解析し、トルク変化時などでの電動機磁束の変動原因を明らかにするとともに、その補償法により制御特性の改善が行えることを、シミュレーション及び実測によって確認した。更に、制御システムの設計に有効な誘導電動機を含む制御系のブロック構成を明らかにした。本制御法によれば、電動機の伝達関数は線形化され、そのブロック構成は明解な形で示される。

提案したシステムは、速度、トルクの精度及びインパクト負荷特性や四象限運転特性などの実験結果から、中精度の速度センサ付きベクトル制御システム並みの高い性能が得られることが実証された。

本制御法は、簡単なシステム構成と高い制御性能により、新設の誘導電動機システムばかりでなく、速度センサの設置が必ずしも容易でない既設の誘導電動機システムをも含め、各種用途に幅広く適用できる。