

第5章 実缶負荷変化試験による検証

本章にては、著者提案超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラ伝熱面配置を採用した中郡電力川越1号ボイラの100%負荷より、50%負荷まで、4-2～4-4節にて述べた5%/分の負荷変化よりも更に急速な7%/分の負荷変化率にて負荷変化させた例を解析し、本伝熱面配置が、制御性と中間負荷運用耐力弱点部位の耐力の両面から、要件を満足していることを述べるものである。

すなわち、5-1節においては蒸気温度制御の面からは本伝熱面配置は、中間負荷運用耐力弱点部位の耐力改善の意味から、一次過熱器(横置き過熱器)の上流側に熱慣性の大きい煙道蒸発器を設置したため、蒸気温度制御に対する悪影響が懸念されたが、適切な運転制御上の配慮と、過渡的なガス再循環のオーバーフィーディング、アンダーフィーディングの増大と一次過熱器スプレイ量の変化巾増大にてそのデメリットには対処でき、蒸気温度、圧力制御の面からは問題がないことが検証できた。

次に5-2節においては、節炭器スチーミングならびに中間負荷運用耐力弱点部位安全性確保の検証を行った結果を述べる。すなわち、①節炭器スチーミングに関連した火炉水冷壁の安全性面からも節炭器出口温度を全く問題ないレベルに押さえこむことができた。また、②水冷壁出口エンタルピー偏差の面からも、③後部煙道の3ガスパス間の温度差の面からも、火炉側壁/副側壁/後部伝熱壁側壁取合郎および水冷壁出口部分の中間負荷運用耐力弱点部位の耐力面、後部伝熱壁波形ケーシングの耐力面で、問題ないと予測されるレベルに押さえこむことができ、更に、中間負荷運用耐力弱点部位に実際に取りつけた熱電対による計測結果から算出した耐力弱点部位の、ボイラ仕様寿命20年間ににおける寿命消費が十分低いことを示し、最終的に検証することができたものである。

5-1 蒸気温度制御性の検証

本節においては蒸気温度制御の面からは本伝熱面配置は、中間負荷運用耐力弱点部位の耐力改善の意味から、一次過熱器(横置き過熱器)の上流側に熱慣性の大きい煙道蒸発器を設置したため、蒸気温度制御に対する悪影響が懸念されたが、適切な運転制御上の配慮と、過渡的なガス再循環のオーバーフィーディング、アンダーフィーディングの増大と一次過熱器スプレイ量の変化巾増大にてそのデメリットには対処でき、蒸気温度、圧力制御の面からは問題がないことが検証できた。この詳細を実缶試験結果により見て行くこととする。

表5-1-1は中部電力川越1号ボイラにおいて、100%⇄50%の負荷変化条件にて7%/分、5%/分の2条件、50%⇄30%の負荷変化条件にて5%/分、3%/分の2条件での負荷変化追従性を示しているが、何れも良好な結果を示している。

図5-1-1～図5-1-3までの3枚のグラフは中部電力川越1号ボイラにおける700MW⇔350MW、7%/分の負荷変化率による負荷変化試験結果を示しており、表5-1-2には本実缶負荷変化試験における主蒸気圧力及び蒸気温度制御性に関する評価・考察を記している。即ち、

(1) 負荷変化時主要制御特性(図5-1-1、表5-1-2)については、

(a) 表4-4-1、4-5-1にて検討した700MW⇔350MW、5%/分の負荷変化シミュレーションにては負荷降下時のガス再循環のオーバフィードにより、2次過熱器(つり下げ1次過熱器)出口蒸気温度が100%負荷の値よりも高くなる現象が生じていたため、過熱防止のため適切な配慮を行う必要がある旨指摘しておいたが、実缶ではこの解決のため、3次過熱器入口温度を -20°C 低減させた設計を採用するとともに、シミュレーションに見られた、MWDの50%到達時以降の発電機出力のアンダーシューティングを減少させることにより、燃料のアンダーファイアリングを減少させ、ガス再循環のオーバフィードを減少させ、2次過熱器(つり下げ1次過熱器)出口蒸気温度偏差を低減させている。この結果、本負荷変化試験ではシミュレーションの5%/分を更に上回る7%/分の負荷変化率ではあるが、図4-3-2-2、図4-4-2-2では2次過熱器(つり下げ1次過熱器)出口蒸気温度が 560°C を超えていたにも拘わらず、この実缶負荷変化試験では、3次過熱器(つり下げ2次過熱器)入口温度時過熱器出口は 520°C に止まっており、この結果、発電機出力のアンダーシューティング、燃料のアンダーファイアリングともにシミュレーションに比し大幅に減少させることが出来た。

(b) 蒸気温度を水燃比により、一段及び二段再熱蒸気温度をスプリットパスガス分配及び再熱器スプレー(緊急時)により制御し、火炉壁出口流体温度をガス再循環で制御する三菱アドバンスドダンパコントロール方式採用の結果、負荷変化速度7%/分でも、主蒸気圧力 $+6/-6\text{kg/cm}^2$ 、蒸気温度 $+9/-16^{\circ}\text{C}$ と良好な制御特性が得られた。

(2) 負荷変化時スプリットパスガス分配ダンパ変化特性(図5-1-2)については、

一段及び二段再熱器出口蒸気温度は一段、二段再熱器パスガス分配ダンパ及び一段、二段再熱器スプレー(過渡的)で良好に制御されている。過熱器パス分配ダンパは、一段、二段再熱器分配ダンパと逆動作となっている。

(3) 負荷変化時各部主蒸気及びボイラ水温度特性(図5-1-3)については、

負荷降下時の煙道蒸発器出口蒸気温度応答が遅く、過熱器の蒸気温度制御に影響を与えているが、つり下げ一次過熱器(2次過熱器)入口蒸気温度は負荷変化に対して良い応答性を示している。これは過渡的なガス再循環のオーバーフィード、アンダーフィードの増大(但し、本図には示されていない)で、一次過熱器スプレーの過渡的増大と、煙道蒸発器の応答遅れを良く相殺できているためである。

以上述べたように、本伝熱面配置は、一次過熱器(横置き過熱器)の上流側に熱慣性の大きい煙道蒸発器を設置したが、上記の2次過熱器過熱防止の為の配慮と、過渡的なガス再循環のオーバーフィーディング、アンダーフィーディングの増大と一次過熱器スプレイ量の変化巾増大にて対処でき、蒸気温度、圧力制御の面にて問題がないことが検証できたものである。

負 荷 (MW)	変化率 (% / min)	主蒸気 圧力偏差 (kgf / cm ²)	主蒸気 温度偏差 (°C)	一段再熱蒸気 温度偏差 (°C)	二段再熱蒸気 温度偏差 (°C)
350→700	5	+1.0/−3.8	+6.0/−3.5	+4.5/−2.5	+6.0/−3.0
700→350	5	+4.8/−1.3	+2.5/−4.5	+1.5/−13	+0/−15
350→700	7	+1.1/−5.6	+7.0/−16	+9.0/−1.0	+8.5/−5.5
700→350	7	+4.8/−1.0	+4.5/−4.0	+2.0/−12.5	+0.5/−14.5
245→350	3	+2.2/−3.3	+5.0/−2.0	+4.0/−3.0	+0/−10.5
350→245	3	+5.8/−1.0	+0/−8.0	+2.5/−8.5	+3.0/−2.5
245→350	5	+2.8/−4.2	+5.5/−0	+5.5/−2.5	+0.5/−11
350→245	5	+5.1/−1.0	+2.5/−5.5	+2.0/−11	+3.0/−3.0

表5-1-1 中部電力川越1号ボイラ負荷追随性

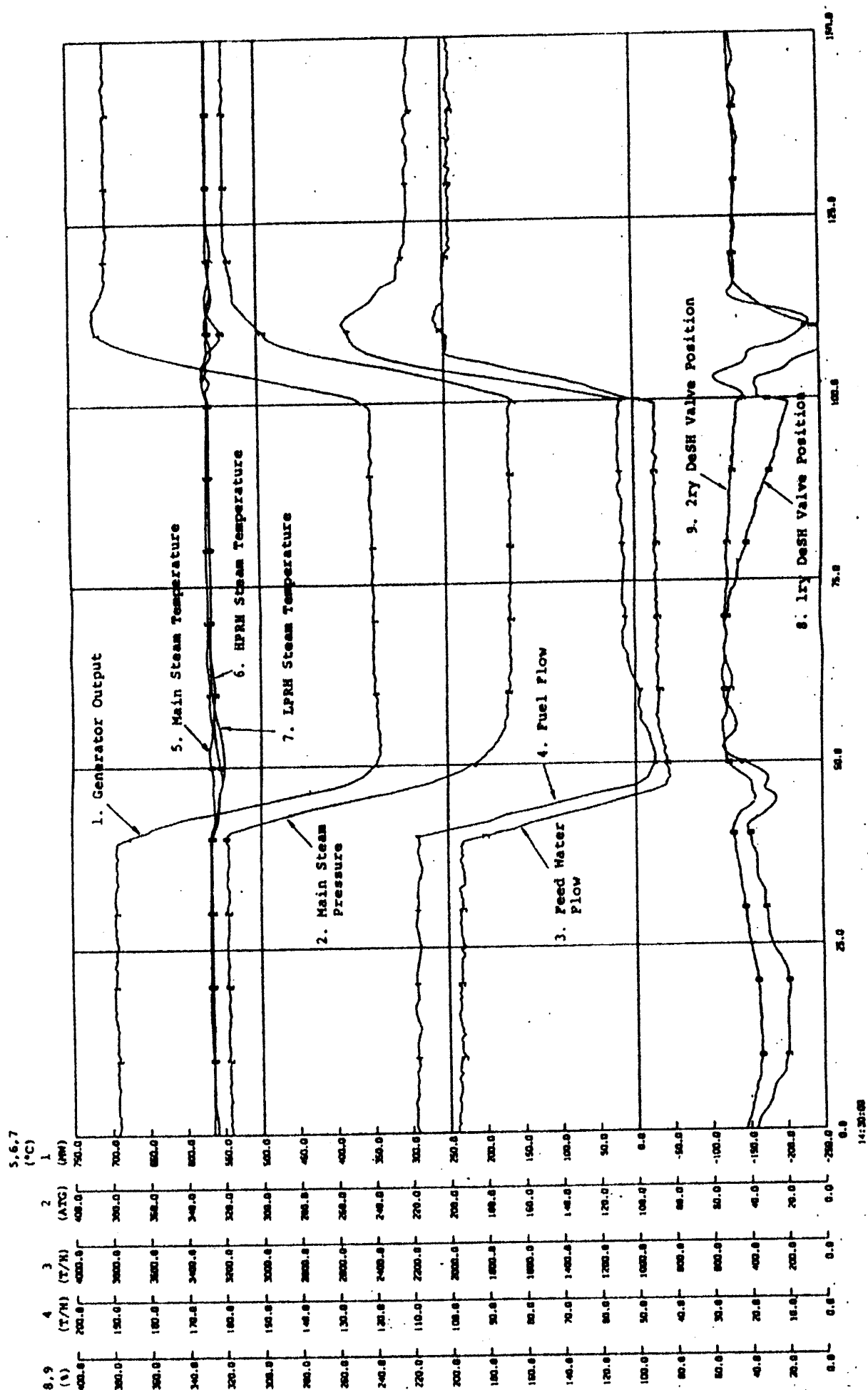


図 5-1-1 中部電力川越 1 号ボイラ負荷変化試験結果 (700MW ⇄ 350MW, 7% / 分)

— 主要制御特性

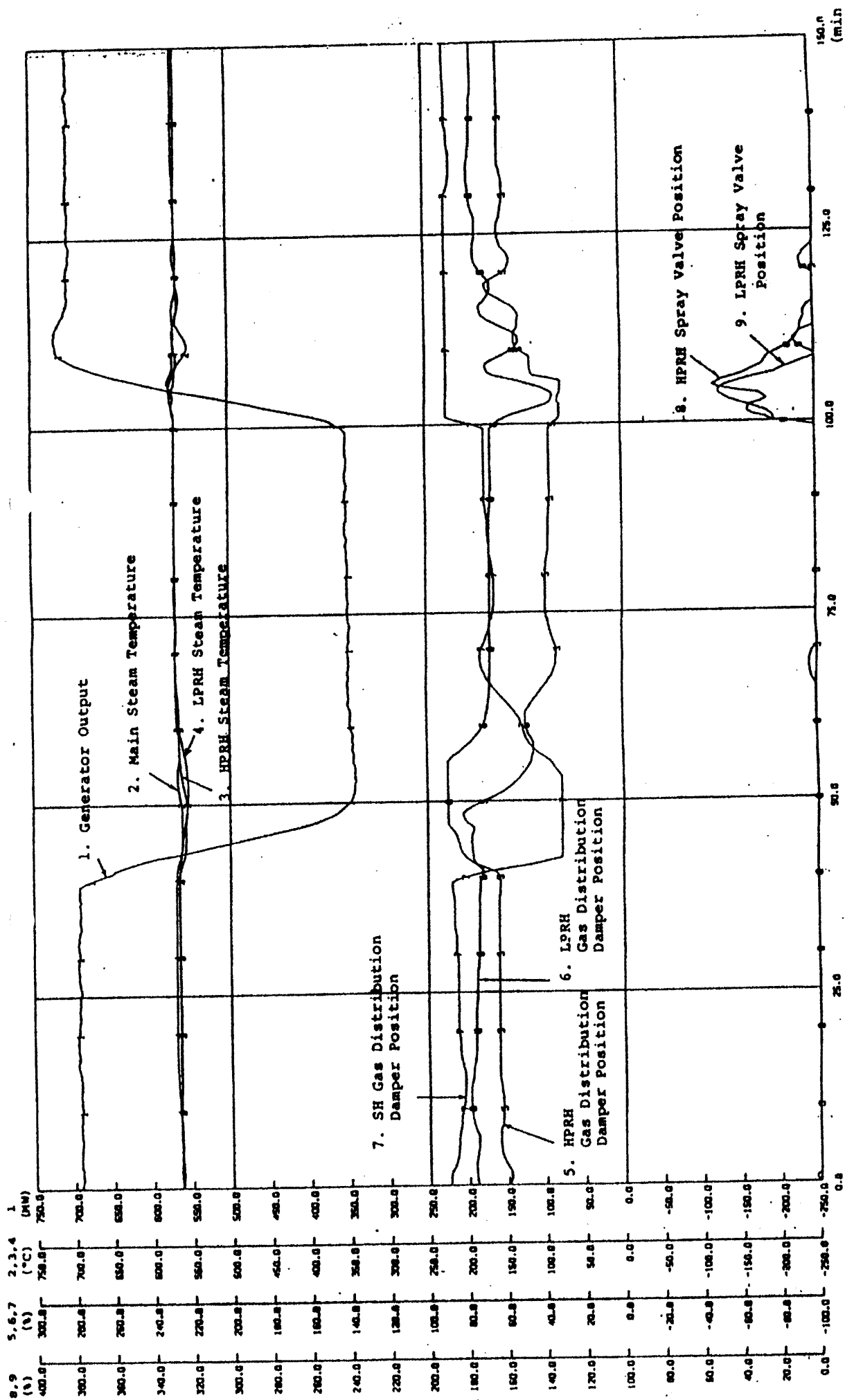


図 5-1-2 中部電力川越 1 号ボイラ負荷変化試験結果 (700MW ⇄ 350MW, 7 %/分)
 スプリットパスガス分配ダンパ開度変化特性

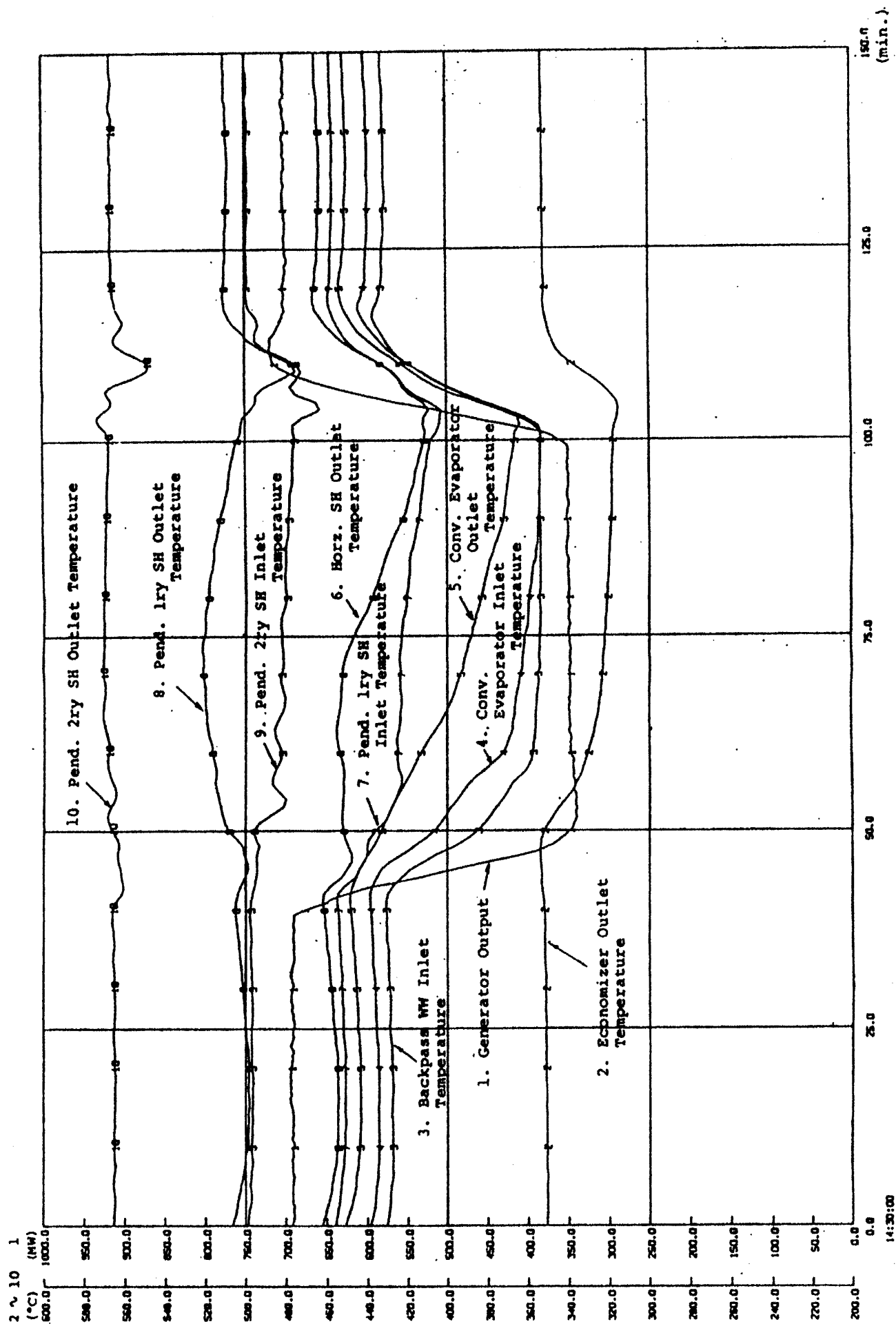


図 5-1-3 中部電力川越 1 号ボイラ負荷変化試験結果 (700MW ⇄ 350MW, 7% / 分)
— 主蒸気及びボイラ水温度特性

**表5-1-2 中部電力川越1号ボイラ実缶負荷変化試験(700MW⇔350MW, 7%/分)による
著者提案超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラ伝熱面配置の検証
—主蒸気圧力及び蒸気温度制御性**

項 目	結 果
(1) 負荷変化時主要制御特性 (図5-1-1) (表5-1-1)	<p>(a) 表4-3-1、4-4-1にて検討した700MW⇔350MW、5%/分の負荷変化シミュレーションにては負荷降下時のガス再循環のオーバフィードにより、2次過熱器（つり下げ1次過熱器）出口蒸気温度が100%負荷の値よりも高くなる現象が生じていたため、過熱防止のため適切な配慮を行う必要がある旨指摘しておいたが、実缶ではこの解決のため、3次過熱器入口温度を更に-20℃低減させた設計を採用するとともに、シミュレーションに見られた、MWDの50%到達時以降の発電機出力のアンダーシュートイングを減少させることにより、燃料のアンダーファイアリングを減少させ、ガス再循環のオーバフィードを減少させ、2次過熱器（つり下げ1次過熱器）出口蒸気温度偏差を低減させている。</p> <p>この結果、本負荷変化試験ではシミュレーションの5%/分を更に上回る7%/分の負荷変化率ではあるが、図4-3-2-2、図4-4-2-2では2次過熱器（つり下げ1次過熱器）出口蒸気温度が560℃を超えていたにも拘わらず、この実缶負荷変化試験では、3次過熱器（つり下げ2次過熱器）入口温度時過熱器出口は520℃に止まっており、この結果、発電機出力のアンダーシュートイング、燃料のアンダーファイアリングともにシミュレーションに比し大幅に減少させることが出来た。</p> <p>(b) 蒸気温度を水燃比により、一段及び二段再熱蒸気温度をスプリットパスガス分配及び再熱器スプレー（緊急時）により制御し、火炉壁出口流体温度をガス再循環で制御する三菱アドバンストダンパコントロール方式採用の結果、負荷変化速度7%/分でも、主蒸気圧力+6/-6 kg/cm²、蒸気温度+9/-16℃と良好な制御特性が得られた。</p>
(2) 負荷変化時スプリットパスガス分配ダンパ変化特性 (図5-1-2)	一段及び二段再熱器出口蒸気温度は一段、二段再熱器パスガス分配ダンパ及び一段、二段再熱器スプレー（過渡的）で良好に制御されている。過熱器パス分配ダンパは、一段、二段再熱器分配ダンパと逆動作となっている。
(3) 負荷変化時各部主蒸気及びボイラ水温度特性 (図5-1-3)	負荷降下時の煙道蒸発器出口蒸気温度応答が遅く、過熱器の蒸気温度制御に影響を与えているが、つり下げ一次過熱器（2次過熱器）入口蒸気温度は負荷変化に対して良い応答性を示している。これは過渡的なガス再循環のオーバーフィードイング、アンダーフィードイングの増大（但し、本図には示されていない）で、一次過熱器スプレーの過渡的増大と、煙道蒸発器の応答遅れを良く相殺できているためである。
結 論	本伝熱面配置は、一次過熱器（横置き過熱器）の上流側に熱慣性の大きい煙道蒸発器を設置したが、上記の2次過熱器過熱防止の為の配慮と、過渡的なガス再循環のオーバーフィードイング、アンダーフィードイングの増大と一次過熱器スプレー量の変化に伴う増大にて対処でき、蒸気温度、圧力制御の面にて問題がないことが検証できた。

5-2 節炭器スチーミングならびに中間負荷運用耐力弱点部位安全性確保の検証

本節においては、節炭器スチーミングならびに中間負荷運用耐力弱点部位安全性確保の検証を行った結果を述べる。すなわち、①節炭器スチーミングに関連した火炉水冷壁の安全性面から節炭器出口温度を全く問題ないレベルに押さえこむことができたこと。また、②水冷壁出口エンタルピ偏差の面からも、③後部煙道の3ガスパス間の温度差の面からも、火炉側壁／副側壁／後部伝熱壁側壁取合部および水冷壁出口部分の中間負荷運用耐力弱点部位の耐力面、後部伝熱壁波形ケーシングの耐力面で、問題ないと予測されるレベルに押さえこむことができたこと。更に、中間負荷運用耐力弱点部位に実際に取りつけた熱電対による計測結果から算出した耐力弱点部位の、ボイラ仕様寿命20年間における寿命消費が十分低いことを示し、最終的に検証することができたこと、を述べる。

表5-2-1には中部電力川越1号ボイラ実缶負荷変化試験(700MW⇄350MW, 7%/分)における水冷壁出口エンタルピ及び節炭器出口サブクール度に関する評価・考察を記している。即ち、

(1) 水冷壁出口エンタルピ(図5-2-1)については

水冷壁出口エンタルピは負荷降下の際、ループを描いて下がっているが、負荷変化時も常に2850kJ/kg(680kcal/kg)を下回る2840kJ/kg以下に止まっており、水冷壁出口部分の中間負荷運用耐力弱点部位の耐力は十分確保されている。

(2) 節炭器出口サブクール度(図5-2-1)については

節炭器出口ボイラ水温度は飽和水線を十分下回った位置にあり、節炭器出口サブクール度は最小の時点でも15℃以上確保されており、節炭器出口給水スチーミングの心配はない。

以上の結果から、本伝熱面配置は、火炉側壁／副側壁／後部伝熱壁側壁取合部および水冷壁出口部分の中間負荷運用耐力弱点部位の耐力面では問題ないと予測される(別途、更に、表5-2-2、表5-2-3、表5-2-4により検証)とともに、節炭器スチーミングに関連した火炉水冷壁の安全性面からも全く問題ないことが示された。

表5-2-2～表5-2-4までの3枚の表は第2-1-2節で述べた、この種中間負荷運用ボイラにおいて耐力面で最も弱点部位であるとされる、火炉側壁／副側壁／後部伝熱壁側壁取合部、火炉出口管寄管台、後部伝熱壁波形ケーシングの3部位につき発停時、負荷変化時の各モード別に、温度計測、ストレングージ計測を行い、プラントの運用期間内における寿命消費の評価を行ったもので、表5-2-5はその結果を取り纏めたものである。即ち、

(1) 火炉側壁／副側壁／後部伝熱壁側壁取合部(表5-2-2)については、

負荷変化中における水冷壁出口エンタルピの増大抑制により負荷変化中の火炉側壁／副側壁／後部伝熱壁側壁間のボイラ仕様寿命20年間に於ける寿命消費は23. 8%と十分な耐力を有する計画が実現できた。

(2) 火炉出口管寄管台(表5-2-3)については、

負荷変化中における水冷壁出口エンタルピの増大抑制により負荷変化中の火炉出口管寄と火炉水冷壁管の温度遅れによる温度差の低減により、ボイラ仕様寿命20年間に於ける寿命消費は3. 0%と十分な耐力を有する計画が実現できた。

(3) 後部伝熱壁波形ケーシング(表5-2-4)については、

ダンパコントロール用に分割した後部煙道ガスパス間に於ける負荷変化に伴うガス温度差抑制によりボイラ仕様寿命20年間に於ける寿命消費は66. 4%と十分な耐力を有する計画が実現できた。

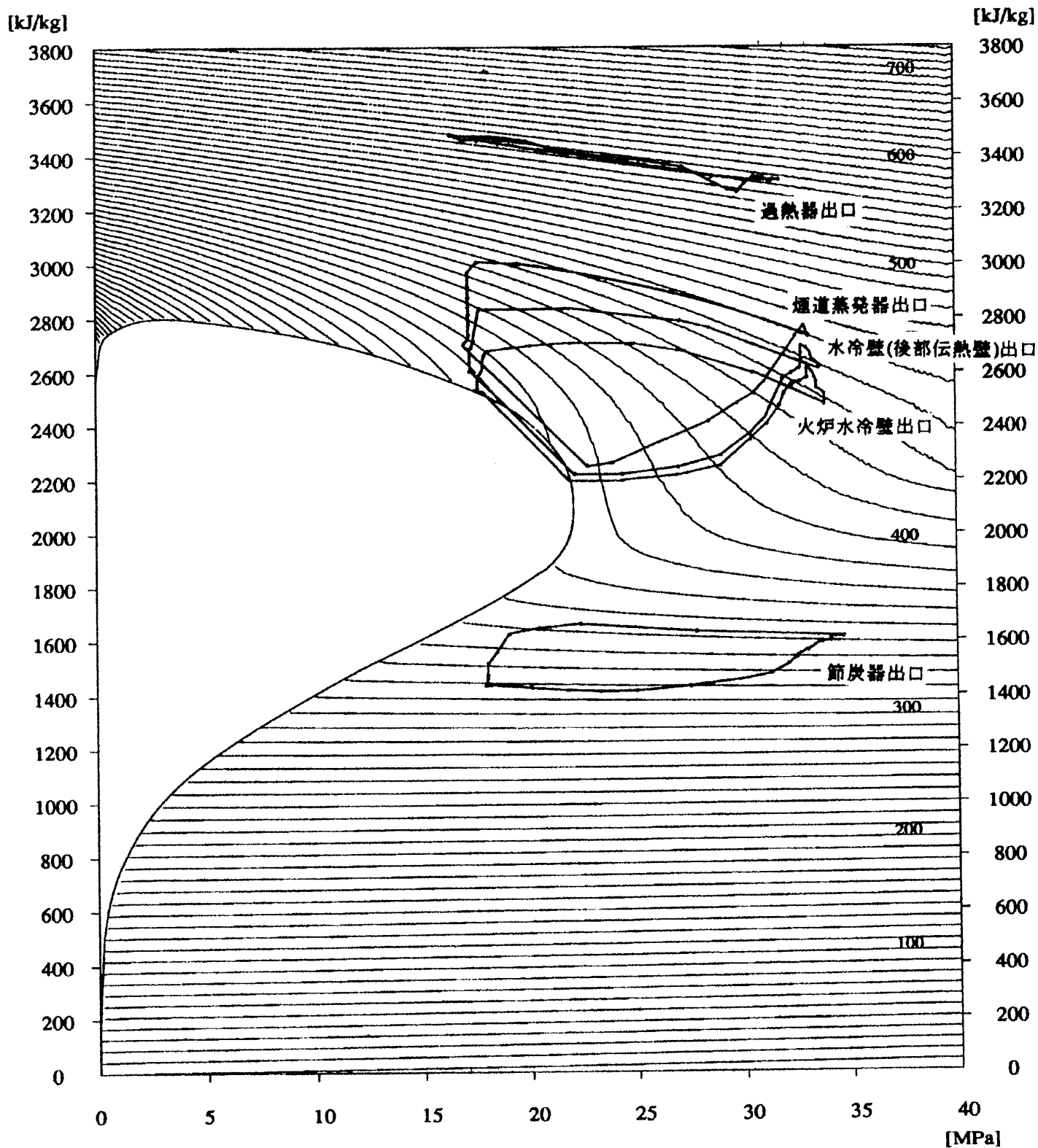
以上の結果から、

① 後部伝熱壁を水冷壁とし、

② 煙道蒸発器を設置し、

③ 設置した煙道蒸発器を並列に3分割した、

著者提案超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラ伝熱面配置案(三菱アドバンスト・ダンパ・コントロール方式伝熱面配置案)(著者発明特許1730978号、平成5年1月29日登録)の採用と、適切な構造、運転制御法の採用により、『厳しい中間負荷運用条件の要求される超々臨界圧変圧運転ボイラ』において、何れの中間負荷運用弱点部位も十分な耐力を有することが検証が出来たものである。



15-2-1 中部電力川越1号ボイラ負荷変化試験結果(700MW⇔350MW, 7%/分)
 ー節炭器出口、水冷壁出口、煙道蒸発器出口エンタルピ圧力線図

表5-2-1 中部電力川越1号ボイラ実缶負荷試験(700MW⇔350MW, 7%/分)による

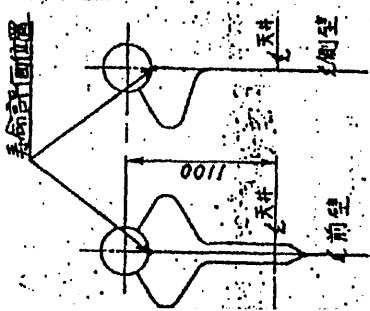
三菱アドバンスダンパコントロール方式伝熱面配置案の検証

ー水冷壁出口エンタルピ及び節炭器出口サブクール度

項 目	結 果
(1) 水冷壁出口エンタルピ (図5-2-1)	水冷壁出口エンタルピは負荷降下の際、ループを描いて下がっているが、負荷変化時も常に2850kJ/kg (680kcal/kg) を下回る2840kJ/kg以下に止まっており、水冷壁出口部分の中間負荷運用耐力弱点部位の耐力は十分確保されている。
(2) 節炭器出口サブクール度 (図5-2-1)	節炭器出口ボイラ水温度は飽和水線を十分下回った位置にあり、節炭器出口サブクール度は最小の時点でも15℃以上確保されており、節炭器出口給水スチーミングの心配はない。
結 論	以上の結果から、本伝熱面配置は、火炉側壁／副側壁／後部伝熱壁側壁取合部および水冷壁出口部分の中間負荷運用耐力弱点部位の耐力面では問題ないと予測される（別途表5-2-2～5-2-4により検証）とともに、節炭器スチーミングに関連した火炉水冷壁の安全性面からも全く問題ない。

検討部位	区分	火炉壁	部位 ③2 a	火炉側壁・副側壁・後部伝熱壁側壁取合部 (フィン端部)	仕様	Φ28.6×t5.9, STBA23 Φ38.1×t9.3, 火STBA21
構造図						
荷重	項目	負荷	発 停 時		負 荷 変 化 時	
			コールド	ウォーム	ホット	
寿命消費評価	各壁間温度差		26 °C	85 °C	45 °C	30% ↔ 100% 13 °C 10% ↔ 100%
	補強板と炉壁の温度差		30 °C	54 °C	44 °C	13 °C 20 °C
	計画運用回数		80 回	560 回	1,330 回	3,720 回
	発生応力幅		13.6 kg/mm ²	38.0 kg/mm ²	20.5 kg/mm ²	6.1 kg/mm ² 6.2 kg/mm ²
	寿命消費率		0.1 %	12.2 %	2.5 %	5 % 4 %
寿命消費率合計			23.8 %			
備 考						

表 5-2-2 中間負荷運用弱点部位耐力検証－火炉側壁／副側壁／後部伝熱壁側壁取合部

検討部位	区分	火炉壁・後部伝熱壁出口管寄せ管台	部位③	火炉前壁・側壁出口管寄せ管台	仕様	管寄せ φ323.9×t65.0、 φ28.6×t5.9、 STPA21、 STBA21
構造図						
	荷重	発停時		負荷変化時		
寿命消費評価	項目	コールド	ウォーム	ホット	30%↔100%	10%↔100%
	管寄せ～炉壁間温度差のレンジ	19℃	60℃	37℃	26℃	26℃
	計画運用回数	80回	560回	1,330回	5,620回	3,720回
	発生応力幅	3.9 kg/mm ²	12.4 kg/mm ²	7.5 kg/mm ²	5.3 kg/mm ²	5.3 kg/mm ²
	寿命消費率		1%		1%	1%
	寿命消費率合計	3%				
備考						

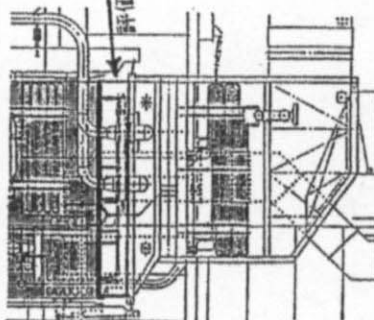

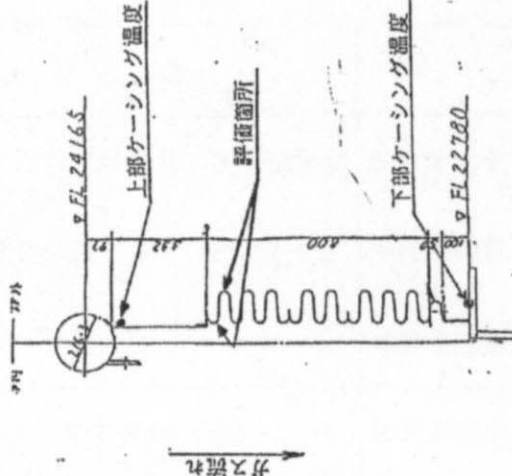
検討部位	区分	非耐圧力部	部位	後部伝熱壁波形ケーシング	仕様 t=2.3 mm	HCR-B	
構造図							
							
荷重	項目	負荷	発 停 時			負 荷 変 化 時	
			コールド	ウォーム	ホット		
		設計温度	489 °C ←			30% ↔ 100%	10% ↔ 100%
		各バス間最大ガス温度差	27 °C	28 °C	25 °C	27 °C	27 °C
		ケーシング上下温度差レンジ	80 °C	52 °C	46 °C	24 °C	24 °C
		計画運用回数	80 回	560 回	1,330 回	5,620 回	3,720 回
寿命消費率評価	項目	発生応力幅	66.3 kg/mm ²	43.1 kg/mm ²	38.1 kg/mm ²	19.9 kg/mm ²	19.9 kg/mm ²
		寿命消費率	15.4 %	20.0 %	23.8 %	4.3 %	2.9 %
		寿命消費率合計	66.4 %				
		備考					

表 5-2-4 中間負荷運用弱点部位耐力検証—後部伝熱壁波形ケーシング

表5-2-5 中間負荷運用弱点部位耐力検証結果まとめ

部 位	結 果
(1) 火炉側壁／副側壁／後部伝熱壁 側壁取合部 (表5-2-2)	負荷変化中における水冷壁出口エンタルピの増大抑制により負荷変化中の火炉側壁／副側壁／後部伝熱壁側壁間のボイラ仕様寿命20年間ににおける寿命消費は23. 8%と十分な耐力を有する計画が実現できた。
(2) 火炉出口管寄管台 (表5-2-3)	負荷変化中における水冷壁出口エンタルピの増大抑制により負荷変化中の火炉出口管寄と火炉水冷壁管の温度遅れによる温度差の低減により、ボイラ仕様寿命20年間ににおける寿命消費は3. 0%と十分な耐力を有する計画が実現できた。
(3) 後部伝熱壁波形ケーシング (表5-2-4)	ダンパコントロール用に分割した後部煙道ガスパス間における負荷変化に伴うガス温度差抑制によりボイラ仕様寿命20年間ににおける寿命消費は66. 4%と十分な耐力を有する計画が実現できた。
結 論	以上の結果から、 ①後部伝熱壁を水冷壁とし、 ②煙道蒸発器を設置し、 ③設置した煙道蒸発器を並列に3分割した 著者提案超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラ伝熱面配置と、適切な構造、運転制御法の採用により、 急速且つ頻繁な負荷変化／起動停止の要求に対し、何れの間中間負荷運用弱点部位も十分な耐力を有する計画が実現でき、その検証が出来た。

第6章 結言

我が国の大容量火力発電プラントの蒸気条件については、昭和42年（1967）に246kgf/cm²gの超臨界圧プラントが運転を開始して以来、平成元年（1989）に至るまでの21年間、同一条件が採用されてきた。しかし、昭和48年（1973）、昭和53年（1978）に起きた2度のオイルショックを契機として、昭和55年（1980）以降にはプラントの省エネルギーの見直し検討が進められるとともに、プラント効率向上を目的とし、更に高温高压化した、高効率且つ、急速且つ頻繁な負荷変化／起動停止運用の要求される厳しい中間負荷運用発電プラントの開発に対する要求も高まりつつあった。著者らは、このような情勢を踏まえ、昭和55年（1980）に従来の超臨界圧火力発電プラントの発電効率39%より相対値にて5%に達する大巾な向上を狙った、蒸気条件316kgf/cm²g, 566／566／566℃のプラントの試設計を行ない、同時点における技術水準と経済性の評価を慎重に行い、超々臨界変圧運転二段再熱ボイラに関し、著者は、超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラに拘わる12項目に及ぶ様々な分野の技術開発に着手し、超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラとしては世界初の達成であった、平成元年（1989）6月30日、及び平成2年（1990）6月22日、中部電力（株）川越火力発電所1・2号ボイラの営業運転開始をもってその開発実用化が完了した。本論文ではこれらの内、その第一の課題であった『良好な蒸気温度制御性と全溶接火炉壁／副側壁／後部伝熱壁等耐圧部／非耐圧部構造壁の中間負荷連用耐力の両立』について論ずるものである（第1章参照）。

中間火力負荷運用が一般化した、1983年及び1984年当時の新鋭超臨界圧変圧運転ボイラにおける試運転調整中に、従来の負荷変化率の低いベース負荷運用機では考えられなかったような、静定条件から大幅に乖離した過渡応答特性が観察され、これに伴い、全溶接構造部物として変形を拘束されているボイラ各部に、静定条件下ではあり得ない大きな面内温度差とそれに伴う熱応力が発生し、中間負荷運用に対する耐力の低い接合部などの弱点部位において金属疲労による漏洩事故の可能性が指摘されるに至った。これらに対しては中間負荷弱点部位に対する構造的補強と、負荷変化中にも構造物としてのボイラ各部に許容限度を越した面内温度差が生ぜぬような運転・制御方法の改善が図られた。今回の対象となった超々臨界圧変圧運転プラントにおいては、従来の超臨界圧プラントよりも更に高温高压化しているにも拘わらず中間負荷運用条件はむしろ厳しくなっている。このため、当然のことながら、ボイラ耐圧部中間負荷運用耐力弱点部位の構造的強化や、ボイラ運転技術の改善に加え、より根本的な、ボイラ伝熱面配置などのボイラ基本設計面の配慮が必要となってくる。筆者らはこの点を考慮し、厳しい中間負荷運用仕様に対応候補として考え得る3種の伝熱面配置に対し問題点、課題、解決策を摘出するに至った（第2章参照）。

この検証のため、1965年当時の我が国への超臨界圧低圧運転ボイラの初導入時より開発に取り組み、集中定数系による簡易積分計算を利用し、実機試運転結果との対比により精度向上に取り組んできた、火力プラント動特性シミュレータを改良した。この火力プラント動特性シミュレータを使用して、超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラの開発、検討、検証を行った時点から、既に15年程が経過し、当時の計算機速度は当時本計算に使用した最高級機でも100MHz程度に過ぎなかったが、現在では一般的なパソコンでも2GHz程度のものが利用されているなど、この間の計算機技術の進展には驚くべきものがある。しかしながら、火力プラントのように系の固有値にかけ離れたものがある、いわゆるスティッフな系では、この20倍程度の計算速度上昇では、これだけでは問題を解決するには不十分であり、現在もなお、この火力プラント動特性シミュレータに採用した集中定数系によるシミュレーション技術は有効である（第3章参照）。

上記火力プラント動特性シミュレータを駆使し、実機同様の精細な構造、制御系を入力したモデルを構築し、これらに対し負荷変化応答解析を実施した。

この結果、

①後部伝熱壁を水冷壁とし、

②煙道蒸発器を設置し、

③設置した煙道蒸発器を、並列に3分割し、過熱器パス、一段再熱器パス、二段再熱器パスの過熱器、再熱器のガス側から見て下流側に配置したことを特徴とする、

著者提案超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラ伝熱面配置案（日本参考文献10、米国参考文献11、ドイツ参考文献12、フランス参考文献13、スイス参考文献14、中国参考文献15特許成立）では、①、②の効果により、全溶接構造体である、火炉水冷壁、及び後部伝熱壁の出口部分のエンタルピレベルを、少々エンタルピレベルの乖離では、大きな温度の乖離に繋がらない、レベルに置くことにより、負荷変化時の火炉水冷壁出口温度の静定状態値よりの乖離を抑制し、中間負荷運用弱点部位である火炉壁管出口部分や、火炉側壁と、火炉副側壁、後部伝熱壁の接合部の中間負荷運用耐力が向上させるとともに、③の効果により、同じく負荷変化中の後部煙道の3ガスパスにおける節炭器入口ガス温度差が抑制され、この温度差も最大で25℃以内におさめることにより、後部伝熱壁と節炭器周りスチールケーシング接合部の中間負荷運用耐力が向上させた。この結果、『厳しい中間負荷運用条件の要求される超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラ』において、最も問題視されていた、厳しい中間負荷運用条件による負荷変化中における、中間負荷運用耐力弱点部位における耐力の問題を解決出来る伝熱面配置を確立出来たことを検証したものである（第4章参照）。

更に、この方式で設計した中部電力川越火力発電所1号ボイラでの包括的な試運転計測の

結果、何れの間荷運用弱点部位も十分な耐力を有する計画が実現でき、実証による検証が完了した。これにより『厳しい中間荷運用条件の要求される超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラ』において、最も問題視されていた、厳しい中間荷運用条件による荷変化中における、中間荷運用耐力弱点部位における耐力の問題を解決出来る伝熱面配置を確立することが出来たものである。(第5章参照)

我が国の大容量火力発電プラントの蒸気条件については、昭和42年(1967)に246kgf/cm²の超臨界圧プラントが運転を開始して以来、平成元年(1989)に至るまでの21年間、同一件が採用されてきたが、平成元年(1989)6月30日、及び平成2年(1990)6月22日、中部電力(株)川越火力発電所1・2号ボイラの営業運転開始をもって、この21年間に及ぶ蒸気条件の停滞が打ち破られ、遂に316kgf/cm²gの新しい段階に踏み出した。爾来12年経過したが、その後のガスタービンコンバインドサイクルプラントの急な発展により、LNG焚きプラントとしては、より高効率、中間荷運用性に優れたガスターンコンバインドサイクルプラントが主流として建設されており、現在川越火力発電所1・各号ボイラに続く316kgf/cm²g級の超々臨界圧変圧運転二段再熱プラントは建設されていない。

また、石炭焚きプラントとしては、表6-1-1 参考文献³⁰に最近の700MW以上の大型プラントを示すが、表に示す如く、蒸気温度こそ、最近のものは600℃/600℃級に上昇しているが、蒸気圧力は依然として従来の超臨界圧プラントの水準246kgf/cm²gのままであり、2-1節図2-1-2および図2-1-9に紹介した従来の超臨界圧ボイラの設計がそのまま踏襲されている。即ち、図6-1-1～6-1-3に我が国3大事業用ボイラメーカー制作ボイラの代表例を示すが、図6-1-1(三菱重工製) 参考文献³¹、図6-1-2(パブコック日立(株)製) 参考文献³²の例では、図示の如く、過熱器パス下流には煙道蒸発器を設置した設計としているものの、再熱器パス下流には煙道蒸発器を設置する必要がないため、設置されていない、図2-1-2のタイプであり、図6-1-3(石川島播磨重工業(株)製) 参考文献³³では煙道蒸発器も設置されていない、図2-1-9のタイプである。

これは、石炭火力では、“超々臨界圧化二段再熱”化すれば、従来プラントより4%程度の効率向上が図れるが、燃料価格の安い石炭火力の場合には、LNG焚きプラントの場合と異なり、“超々臨界圧化二段再熱化”による機器のコストアップと、効率改善による燃料費節減が見合わないためである。このため、高温材料の開発により、比較的安価に対応出来るようになった、蒸気温度を従来レベルより高温化し若干の高効率化を図る動きはあっても、“超々臨界圧二段再熱化”まで行い、高効率化を図る動きはなかったものである。

一方、現在の地球環境問題に関する人々の、関心の高まりから、今後、COP3の京都議定

書の批准が進展し、石炭火力のCO₂排出量削減が注目を浴びることとなることは必至であると思われる。社会情勢が、石炭火力に対しても低CO₂排出化を要求し、高CO₂排出に対して税が課せられるような状況となると、“超々臨界圧二段再熱化”による機器のコストアップよりも、効率向上によるCO₂排出量低減の方が評価される状況になることもあり得る。この場合、更に、従来は余り中間負荷運用の対象とは考えられていなかった石炭火力をも中間負荷運用対象となると、話は別方向に展開し、著者が開発した技術が脚光を浴びることとなる。この場合の競合技術は石炭ガス化コンバインドサイクル技術であり、こちらの方は現在精力的に開発が進められているが、その開発の進展具合によっては、“中間負荷運用超々臨界圧変圧運転二段再熱”プラントに対するキー技術である本技術が再び脚光を浴びる時代が来ることもありうるのである。

このような、時代が来れば、本技術も、地球にやさしい技術として再び脚光を浴びることとなるであろう。『厳しい中間負荷運用条件の要求される超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラ』の開発を推進し、この技術を完成させた一技術者として、この技術が再び、花形の火力プラント技術として脚光を浴びる時代がやって来ることを期待している次第である。

[完]

発電所名	会社名	所在地 (都道府県)	定格出力 (MW)	主蒸気圧力 (MPa)	蒸気温度 (℃)	運転開始
原町1号	東北電力	福島県	1000	24.5	566/593	Jul-1997
松浦2号	電源開発	長崎県	1000	24.1	593/593	Jul-1997
三隅1号	中国電力	島根県	1000	24.5	600/600	Jun-1998
七尾大田2号	北陸電力	石川県	700	24.1	593/593	Jul-1998
原町2号	東北電力	福島県	1000	24.5	600/600	Jul-1998
橘湾	四国電力	徳島県	700	24.1	566/593	Jul-2000
橘湾火力1号	電源開発	徳島県	1050	25.0	600/610	Jul-2000
敦賀2号	北陸電力	福井県	700	24.1	593/593	Sep-2000
橘湾火力2号	電源開発	徳島県	1050	25.0	600/610	Dec-2000
碧南4号	中部電力	愛知県	1000	24.1	566/593	Nov-2001
苫東厚真4号	北海道電力	北海道	700	25.0	600/600	Oct-2002
碧南5号	中部電力	愛知県	1000	24.1	566/593	Nov-2002
舞鶴1号	関西電力	京都府	900	24.5	595/595	Apr-2003
苓北2号	九州電力	熊本県	700	24.1	593/593	Jul-2003
舞鶴2号	関西電力	京都府	900	24.5	595/595	Aug-2003
常陸那珂1号	東京電力	茨城県	1000	24.5	600/600	Dec-2003

表6-1-1 わが国における最近の大型石炭火力プラント(700MW以上) 参考文献30

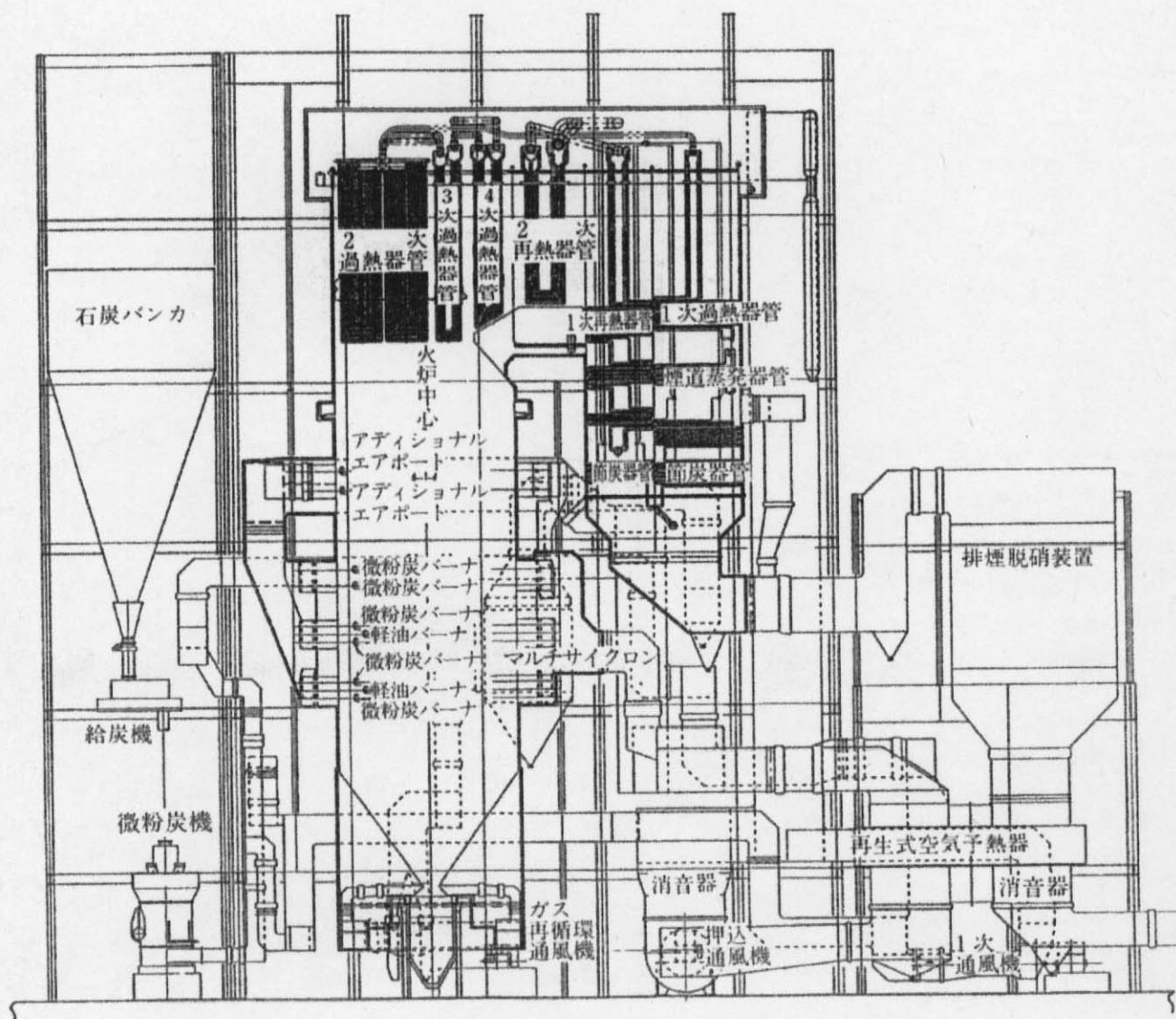


図6-1-1 中国電力三隅発電所1号1000MW超臨界圧変圧運転ボイラ

(三菱重工業(株)製) 参考文献31

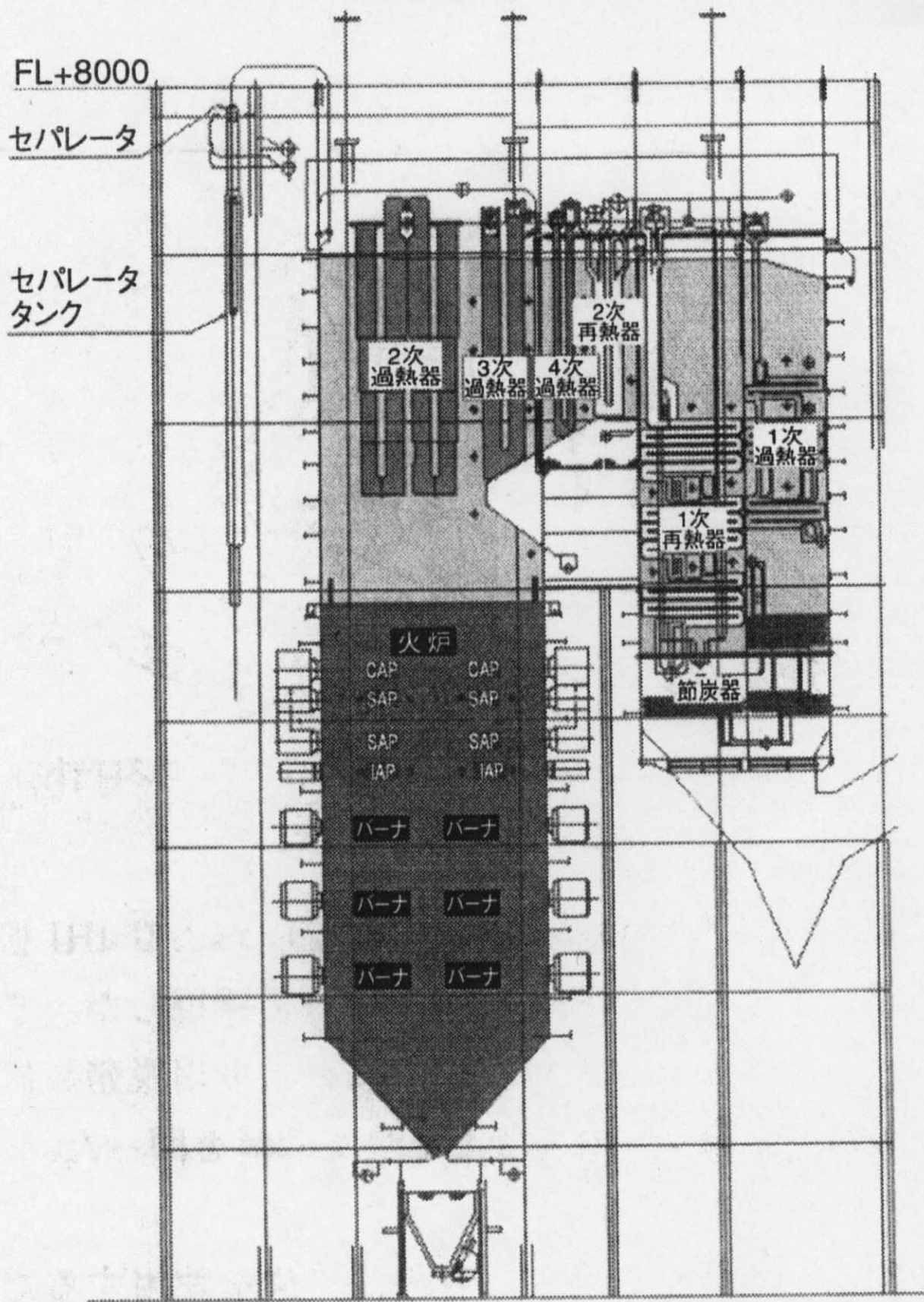


図6-1-3 電源開発橋湾火力発電所1号1050MW超臨界圧変圧運転ボイラ

(石川島播磨重工業(株)製) 参考文献33

謝辞

本研究は、著者が昭和38年(1963)年に当時の新三菱重工神戸造船所に入社して以来、超々臨界圧火力発電用商用ボイラとしては世界で3例目、超々臨界圧変圧運転火力発電用商用ボイラとしては世界初の開発となった、平成元年(1989)6月30日の中部電力川越火力発電所1号ボイラの営業運転開始による『中間負荷対応の超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラの開発』完了に至るまでの26年間、著者のライフワークとして一筋に追求して来た“事業用ボイラ開発研究”の掉尾を飾る“超々臨界圧変圧運転二段再熱ボイラ最適伝熱面配置の研究”について論じたものであります。

本論文執筆に当たって、吉識晴夫教授には、本開発研究を実施時所属していた三菱重工業株式会社を退職して既に7年になる著者に対し、開発研究の内容を後世に引き継いでおくべきであるとして、論文に纏めることを強くお勧め戴くとともに、多くの御懇切なる御指導、御助言、御鞭撻を戴きました。心より感謝申し上げる次第であります。

また、本論文を纏める際に、数々の適切な御助言と御示唆を戴いた西尾茂文教授、飛原英治教授、加藤千幸教授、金子成彦助教授に深く感謝致します。

今回の論文取り纏めに当たって、本論文の一部として使用することとなった、過去に発表した諸論文、諸発明につき、これらの共著者、共同研究者として、これら論文・発明を著者の学位論文とすることを快く御承諾戴きました、岩永清氏、小澤正昇氏、中村裕交氏、沓名直行氏、大地昭生氏、河村友槌博士、國本武志氏、豊田隆治氏、佐田哲朗氏、竹内友一氏、大野昌郎氏、藤原敏勝博士、荒岡衛氏、鎌田敏弘氏に対し、これら諸氏より賜った研究期間中における御厚誼に思いを致し、心よりの感謝を捧げます。特に藤原敏勝博士、荒岡衛氏には、およそ15年に亘る開発研究期間中を通じての、お二人の、他に類を見ない献身と情熱がなければこの開発研究は成就しなかったであろうことを思い感謝の念を新たに致しております。更に、これらの期間を通じて著者の直接の上司として御指導を戴いた、故飯田庸太郎氏、故宇治田惣次氏、塩島誼昌氏、丹羽高尚氏、ユーザーの立場から御指導を戴いた、田中三男氏、佐野雅俊氏、伊藤誠二氏、三菱重工社内他部門にあって御支援を戴いた、仙石忠正氏、故相賀正男氏、岩淵牧男博士、相楽和男博士、瀬戸口克也博士、増山不二光博士、著者第二の勤務先である東電工業にて御支援戴いた田村尊信氏、三井隆二氏、そしてここには紙面の都合から、お名前を書くことの出来なかった多くの方々の御支援、御協力、御厚誼に対して、心よりの感謝を捧げます。最後に、本年は昭和44年に妻加津子と結婚し丁度35年目、Coral Wedding、珊瑚婚の年に当たります。この35年間、常に著者と共にあって、著者を支え、励ましてくれた加津子に対する心よりの感謝と共に本論文の筆を擱かせて戴きます。

平成15年1月

羽田 壽夫

参考文献

1. K. Iwanaga, A. Ohji, H. Haneda, "The Construction of 700MW Units with Advanced Steam Conditions," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A Journal of Power and Energy, Vol. 205, pp 249~256 (1991)
2. 小沢正昇、沓名直行、國本武志、豊田隆治、羽田壽夫、佐田哲朗、“川越火力発電所1号機超々臨界圧変圧運転ボイラの計画概要と運転実績”、火力原子力発電、第41巻第5号 567~576頁 (1989),
3. 中村裕交、小沢正昇、豊田隆治、羽田壽夫、“超々臨界圧プラント川越火力発電所1, 2号ボイラの建設”、火力原子力発電第40巻第6号 653~662頁 (1990)
4. 國本武志、大野昌郎、羽田壽夫、竹内友一、藤原敏勝、“中部電力(株)川越火力発電所1, 2号ボイラ制御系の計画”、三菱重工技報, 第26巻第1号, 1~4頁 (1989)
5. 河村友槌、羽田壽夫、荒岡衛、“超臨界圧変圧運転強制貫流ボイラ” 日本国特許公開番号昭56-74501 (昭56-6-20)、
6. T. Kawamura, H. Haneda, M. Araoka, "Forced-flow once-through boiler for variable supercritical pressure operation," United States Patent 4,331,105 (May 25, 1985)
7. T. Kawamura, H. Haneda, M. Araoka, "Zwangsdurchlaufkessel", Schweizerische Eidgenossenschaft (スイス特許) CH653758 (15.01.1986)
8. T. Kawamura, H. Haneda, M. Araoka, "Chaudière à parcours unique à circulation forcés destinée à travailler à une pression hypercritique variable" Brevet d'invention (フランス特許) No 80 20075 (29-5-1981)
9. 羽田壽夫、荒岡衛、“ボイラ装置”、日本国特許登録番号 第1730978号 (平5.1.29)
10. H. Haneda, M. Araoka, "Boiler," United States Patent 4,632,064 (Dec. 30, 1986)
11. H. Haneda, M. Araoka, "Dampfkessel," Bundesrepublik Deutschland Patentschrift (ドイツ特許) DE 35 37 439 (4.12.1986)

- 1 2. H. Haneda, M. Araoka, "Chaudière à réchauffeurs et superchauffeurs," Brevet d'invention (フランス特許) No 85 12662 (9.1.1987)
- 1 3. H. Haneda, M. Araoka, "Dampfkessel", Schweizerische Eidgenossenschaft (スイス特許) CH668116 (30.11.1988)
- 1 4. 羽田 壽夫、荒岡衛、“鍋炉” 中国特許登録番号129号 (1987・2・19)
- 1 5. 羽田 壽夫、荒岡衛、鎌田敏弘、佐田哲朗、“ボイラ”、日本国特許公開番号昭61-1918 (昭61-8-26)
- 1 6. H. Haneda, M. Araoka, T. Kamata, T. Sada, "Supercritical sliding pressure operation boiler with rear gas duct," United States Patent 4,754,725 (Jul. 5, 1988)、
- 1 7. H. Haneda, M. Araoka, T. Kamata, T. Sada, "Boiler with a rear gas duct," European Patent 192044 (19.07.1989)
- 1 8. 羽田 壽夫、荒岡衛、鎌田敏弘、佐田哲朗、“鍋炉”、中国特許登録番号3814号 (1989年10月11日)
- 1 9. 羽田 壽夫、荒岡衛、柏崎正道、“超臨界圧変圧運転型ボイラ”、日本国特許登録番号1965687号 (1995. 8. 25)
- 2 0. 竹内 友一、岩井 正隆、羽田 壽夫、荒岡衛、“設定値算出装置”、日本国特許公開番号昭63-217402 (1988. 9. 9)、
- 2 1. 塩島 誼昌、羽田 壽夫、佐田哲朗、荒岡衛、豊田隆治、“中部電力川越1,2号LNGだきUSCボイラの設計”、三菱重工技報第24巻第5号 (1987)
- 2 2. T. Kawamura, T. Toyoda, I. Kurihara, H. Haneda, "Design and Operation of Ultra Super Critical Boiler with 311bar in the Kawagoe Plant," Presented before the VGB Congress "Power Plants 1989" - VGB Annual Assembly, October 10 to 13, 1989, Congress Centrum Hamburg (CCH), Mitsubishi Boiler Bulletin MBB-89101E (1989)
- 2 3. T. Kawamura, H. Haneda, T. Toyoda, T. Sada, M. Araoka, "Design of LNG Fired USC Steam Generator for Units Nos. 1 & 2 of Kawagoe Power Station. Chubu Electric Power Co., Inc."

24. 豊田隆治、岩淵牧男、羽田壽夫、岡田正信、佐田哲朗、“超々臨界圧700MWLNGだきボイラの運転特性”三菱重工技報第27巻第1号 (1990)
25. 三菱重工業株式会社、株式会社東芝、中部電力株式会社、“700MW級火力発電所用超々臨界圧ボイラ及びタービン”、「優秀省エネルギー機器表彰制度による平成元年度優秀省エネルギー機器」(財団法人日本機械工業連合会発行) (1990)
26. "Kawagoe station pioneers ultra-supercritical steam cycle, The 1990 International Power plant Award", Power, September 1990
27. 仙石忠正、大地昭生、宮崎松生、羽田壽夫、“第37回(平成2年度)大河内記念賞受賞“超々臨界圧変圧運転火力発電プラントの開発”(社団法人火力原子力発電技術協会発行) (1991)
28. 仙石忠正、大地昭生、宮崎松生、羽田壽夫、“平成2年度(第37回)大河内記念賞受賞超々臨界圧変圧運転火力発電プラントの開発”、(財)大河内記念会発行平成2年度(第37回)大河内賞受賞業績報告書 (財団法人日本機械工業連合会発行) (1991)
29. T. Sengoku, A. Oji, M. Miyazaki, H. Haneda, "Grand Technology Prize, Development of Ultra-Supercritical Sliding Pressure Operation Fossil-Fired Power Plant," The Okochi Memorial Prize, Summary of 1991 Award-Winning Achievements (1992)
30. 新井康夫、田村広治、増山不二光、梶谷一郎、金子了市、大森達郎、“超々臨界圧発電プラント(Phase-2)の開発”、火力原子力発電第52巻第1号 32～45頁 (2001)
31. 廣實登司行、鶴田哲二、“三隅発電所1号機の概要と建設状況”、火力原子力発電第47巻第4号 862～870頁 (2001)
32. 住友政春、“四国電力橘湾発電所の試運転結果”、火力原子力発電第52巻第7号 32～45頁 (2001)
33. 長勝幸、室木克之、“電源開発(株)橘湾火力発電所第1号機ボイラの特長と試運転実績”、火力原子力発電第53巻第3号 278～285頁 (2002)

付録

付録－1 超々臨界圧変圧運転2段再熱ボイラ各種表彰受賞一覧

**付録－2 超々臨界圧変圧運転2段再熱ボイラ著者発明伝熱面配置
特許一覧**

付録－3 超々臨界圧変圧運転2段再熱ボイラ著者発表論文一覧

付録－１ 超々臨界圧変圧運転2段再熱ボイラ各種表彰受賞一覧

平成2年2月 社団法人日本機械工業連合会

第10回（平成元年度）優秀省エネルギー機器表彰

700MW級発電所用超々臨界圧ボイラ及び蒸気タービン^{参考文献25}

平成2年10月 Editors of Power International

The1990 International Powerplant Award

Chubu Electric Co. Kawagoe Powerplant^{参考文献26}

平成3年3月 財団法人大河内記念会

第37回（平成2年度）大河内記念賞

超々臨界圧変圧運転火力発電プラントの開発^{参考文献27、参考文献28、参考文献29}

付録－2 超々臨界圧変圧運転2段再熱ボイラ著者発明伝熱面配置特許一覧

番号	発明名称	内容	説明	国名	登録日付 (公開日付)	登録番号 (公開番号)	有効期限	共同発明者
1	強制貫流ボイラ	ライフル管使用 垂直管型超臨界 圧変圧運転ボイ ラ基本特許	ライフル管を使用し た垂直管型超臨界圧 変圧運転ボイラ	日本 フランス スイス	(1981-3-6) 1985. 5. 24 1985. 3. 29	(昭56-23603) 8,017,037646 48,645	2000. 8. 1 2000. 7. 24	河村 友槌 仙石 忠正
2	超臨界圧 変圧運転 強制貫流 ボイラ	煙道蒸発器使用 直管型超臨界圧 変圧運転ボイラ 基本特許	煙道蒸発器を設置し た垂直管型超臨界圧 変圧運転ボイラ	日本 アメリカ フランス スイス	(1981-6-20) May 25, 1985 29-5-1981 15.01.1986	(昭56-74501) 4,331,105 8,020,070 653,758	1999. 5.24 2000. 9. 17 2000. 10.27	河村 友槌 荒岡 衛
3	ボイラ装 置	三菱アドバンス ト・ダンパコン ロール式2段再 超臨界圧変圧転 ボイラ基本特許	再熱器の設置された ガスパスの下流に煙 道蒸発器を設置した ダンパコントロール 式2段再熱超臨圧変 圧運転ボイラ	日本 アメリカ ドイツ フランス スイス 中国	1993. 1.29 Dec. 30, 1986 4.12.1986 9.1.1987 30.11.1988 1987. 2.19	1730978号 4,632,064 3,537,749 2,574,158 668,167 129	2003.12. 29 2005.10. 22 2005. 8. 22 2005. 11. 3 2000. 9. 18	荒岡 衛
4	ボイラ	川越型三菱アド バンスト・ダン パコントロール 式2段再熱ボイ ラ配置特許	後部煙道を前後方向 に2分割し、前方煙 道に2段再熱器を、 後方煙道を左右方向 に3分割し、それぞ れに過熱器と1段再 熱器を設置したダン パコントロール式2 段再熱ボイラ	日本 アメリカ ドイツ イギリス フランス スイス 中国	(1986-8-26) Jul. 5, 1988 19.07.1989 [EPC出願] 1989. 10. 11	(昭61-1918) 4,754,725 192,044 3,814	2005. 7. 4 2006. 1.15 2001. 2. 18	荒岡 衛 鎌田 敏弘 佐田 哲朗
5	超臨界圧 変圧運転 型ボイラ	超臨界圧変圧運 転ボイラ給水ポ ンプ動力低減特 許	後部煙道周壁と煙道 蒸発器を連続してバ イパスする管を設置 したボイラ	日本	1995. 8. 25	1965687号		荒岡 衛 柏崎 正道
6	設定値算 出装置	超臨界圧変圧運 転ボイラ制御性 能向上技術特許	設定値の上昇側と下 降側で遅れ時間の値 を変え制御性能を向 上させる方法	日本	(1988. 9. 9)	(昭63-217402)		竹内 友一 岩井 正隆 荒岡 衛
合 計				日本 アメリカ ドイツ イギリス フランス スイス 中国 合計	6 件(内登録済 3件) 3 件 2 件 1 件 4 件 4 件 2 件 延 22 件 (実数 6 件)			

No	発表年月	発表誌	題目	共著者
A. ボイラ全般				
1	1989.10	Proceeding of VGB Congress “Power Plants 1989” -VGB Annual Assembly, October 10 to 13, 1989, Congress Centrum Hamburg (CCH), Mitsubishi Boiler Bulletin MBB-89101E	Design and Operation of Ultra Super Critical Boiler with 311bar in the Kawagoe Plant	T. Kawamura T. Toyoda I. Kurihara
2	1991. 7	VGB Kraftwerktechnik 7/1991	Design and Operation of Ultra Super Critical Boiler with 311 bar in the Kawagoe Power Plant	T. Kawamura T. Toyoda I. Kurihara
3	1990. 4	Conference Proceedings “ Steam Plant for 1990's” Apr. 4-6, 1990, Institution of Mechanical Engineers, London, U.K. C386/055	Design and Operating Performance of 700 MW LNG -fired Ultra Supercritical Pressure Steam Generator for Kawagoe Units 1 and 2	Y. Ishiki T. Toyoda I. Kurihara
4	1991.10	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A Journal of Power and Energy	The Construction of 700 MW Units with Advanced Steam Conditions	K. Iwanaga A. Ohji
5	1990. 5	火力原子力発電第 41 巻第 5 号	川越火力発電所 1 号機超々臨界圧変圧運転ボイラの計画概要と運転実績	小沢正昇 杵名直行 國本武志 豊田隆治 佐田哲朗 塩島誼昌 佐田哲朗 荒岡 衛 豊田隆治
6	1987. 9	三菱重工技報第 24 巻第 5 号	中部電力川越 1,2 号 LNG だき USC ボイラの設計	佐田哲朗 荒岡 衛 豊田隆治
7	1989.11	Mitsubishi Technical Bulletin No. 192	Design of LNG Fired USC Steam Generator for Units Nos. 1 & 2 of Kawagoe Power Station. Chubu Electric Power Co., Inc.	T. Kawamura T. Toyoda T. Sada M. Araoka
8	1989. 6	火力原子力発電第 40 巻第 6 号	超々臨界圧プラント川越火力発電所 1, 2 号ボイラの建設	中村裕交 小沢正昇 豊田隆治
9	1990. 1	三菱重工技報第 27 巻第 1 号	超々臨界圧 700MWLNG だきボイラの運転特性	豊田隆治 岩淵牧男 岡田正信 佐田哲朗
B. 制御系の開発				
10	1989. 1	三菱重工技報第 26 巻第 1 号	中部電力(株)川越火力発電所 1, 2 号ボイラ制御系の計画	國本武志 大野昌郎 竹内友一 藤原敏勝
C. 事業用火カプラント動特性シミュレーション技術の開発				
11	1985.11	三菱重工技報第 22 巻第 6 号	事業用火カプラントの動特性シミュレーション技術	相楽和男 森山 功 基志川忍 小川道隆 木下宏志

No	発表年月	発 表 誌	題 目	共 著 者
D. <u>ボイラ耐圧部寿命評価技術の開発全般</u>				
12	1985. 8	Transactions of the ASME, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 103	Findings on Creep-Fatigue Damage in Pressure Parts of Long-term Service-exposed Thermal Power Plant	F. Masuyama K. Setoguchi F. Nanjo
13	1985. 8	三菱重工技報第 22 巻第 3 号	ボイラ耐圧部信頼性評価技術の現状と展望	南條房幸 金子祥三 豊田隆治 瀬戸口克哉 増山不二光 岩本啓一
14	1987. 12	Properties of Stainless Steels in Elevated Temperature Service-MPC-Vol.26/PVP- Vol. 132, presented at The Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers, Boston, Massachusetts, Dec.13-18, 1987	Investigation of the Deterioration plus Restoration Behavior of Fourteen Heats of TP316 Stainless Steel Removed from Eddyston Unit No. 1 Main Steam Lines after 130,520 Hours Service	F. Masuyama N. Nishimura F. V. Ellis J. F. Delonga
E. <u>ライフル管使用垂直管型火炉の開発</u>				
15	1982. 8	日本機械学会論文集第 48 巻第 432 号	臨界圧近傍におけるライフル管の伝熱特性	岩淵牧男 立岩幹雄
16	1986. 4	日本機械学会論文集 (B 編) 第 52 巻第 476 号	変圧運転条件下におけるボイラ用ライフル管の熱伝達率関連式	松尾篤二 岩淵牧男 神坂光男 山本健次郎
17	1982. 9	Heat Transfer 1982, Proceedings of the Seventh International Heat Transfer Conference	Heat Transfer Characteristics of Rifled Tube in Near Critical Pressure Region	M. Iwabuchi M. Tateiwa
18	1985.10	Proceeding of International Symposium on Heat Transfer, October 15-18,1985, Tsinghua University, Beijing P.R. of China	Prediction on Heat Transfer Coefficient and Pressure Drop in Rifled Tubing at Subcritical and Supercritical Pressure	M. Iwabuchi T. Matsuo M. Kanzaka K. Yamamoto
19	1980. 3	三菱重工技報第 17 巻第 2 号	垂直蒸発管形大容量超臨界圧変圧運転貫流ボイラ	河村友槌 國本武志 仙石忠正 岩淵牧男 立岩幹雄 村石顕介 深堀和實
F. <u>改良型 9 Cr 鋼管の開発実用化</u>				
20	1997. 9	Proceeding of The International Conference on Advances in Material Technology for Fossil Power Plants. Chicago, Illinois, 1-3 September 1987, jointly sponsored by ASM International and ERPI, 8706-005	Fabrication and Characteristic Properties of Modified 9Cr-1Mo Steel for Header and Piping	F. Masuyama S. Kaneko T. Toyoda

No	発表年月	発表誌	題 目	共著者
21	1988. 11	Proceeding of EPRI 2nd International Conference on Improved Coal-Fired Power Plants, Palo Alto, Calif. U.S.A.	Development of Thick Wall Pipe and Header of Modified 9CR Steel (9Cr-1Mo)	T. Toyoda T. Sada F. Masuyama
22	1987. 9	三菱重工技報第 24 巻第 5 号	大径厚肉 Super9Cr(改良形 9Cr-1Mo) 鋼管の実用化	増山不二光 金子祥三 豊田隆治
23	1988. 7	Mitsubishi Technical Bulletin No.182	Application of Super 9Cr Steel Large Diameter and Thick Wall Pipes	F. Masuyama S. Kaneko T. Toyoda
24	1985. 7	三菱重工技報第 22 巻第 4 号	ボイラ用 Super9Cr 鋼 (改良形 9Cr-Mo 鋼) の実用化研究	大黒 貴 増山不二光 藤村浩史 南條房幸 土屋 喬 橋口 孝
25	1985. 9	三菱重工技報第 22 巻第 5 号	超高温高压 (USC) 発電ボイラプラント用高温材料の実機実証試験	中林恭之 湯上 博 入谷淳一 宮沢正樹 西本義博 南條房幸 大黒 貴 増山不二光 土屋 喬 横山知充
26	1988. 1	三菱重工技報第 25 巻第 1 号	超高温高压 (USC) 発電ボイラ・プラント用高温材料の長時間実機実証試験	中林恭之 宮沢正樹 増山不二光 土屋 喬
G. 細粒 TP347H 鋼管開発実用化				
27	1989. 1	三菱重工技報第 26 巻第 1 号	細粒 TP347H 鋼管材の実用化研究	豊田隆治 横山知充 増山不二光 岩永惇正
(1) 国際学会学術講演				5 篇
〈1a〉 英国機械学会主催				1 篇
〈1b〉 アメリカ EPRI(米国電力研究所)主催				1 篇
〈1c〉 米国金属学会主催				1 篇
〈1d〉 国際伝熱会議主催				1 篇
〈1e〉 北京清華大学熱科学技術研究所主催				1 篇
(2) アメリカ機械学会論文集掲載論文				2 篇
(3) 英国機械学会論文集掲載論文				1 篇
(4) ドイツ VGB 動力技術掲載論文				1 篇
(5) 日本機械学会論文集掲載論文				2 篇
(6) 日本“火力原子力発電”掲載論文				2 篇
(7) Mitsubishi Technical Bulletin 掲載論文				2 篇
(8) 三菱重工技報掲載論文				11 篇
合計				27 篇