舶用再熱ボイラの蒸気温度制御 システムの開発*

佐川隆一**, 黒崎泰充***, 富家 勝**

概 要

最近、船が大形化するに伴い高性能の再熱タービンプラントをとう載するものが増加しつつある。この再熱プラントにあっては、特に高性能、高信頼性の再熱ボイラが必要とされる。本論文は筆者らの属する会社にて開発した UFR 形舶用再熱ボイラの蒸気温度制御システムについて述べたものである。

UFR ボイラでは、後部対流伝熱面を過熱器、再熱器およびバイパスエコノマイザを配置した 3 パスに並列に分割配置し、これら各パスのガス量配分を各出口に設けられたダンパ開度にて調節することにより、過熱器および再熱器出口蒸気温度を制御する方式を採用している。また、同時に船の後進時、荷役時など再熱器内に蒸気が流れぬ際には再熱器パスの燃焼ガスをダンパで遮断することにより再熱器の焼損防止をはかっている。

この蒸気温度システムにおいては、負荷外乱および両蒸気温度相互間の相互干渉を解明し、それに基づきそれぞれ外乱非干渉（外乱補償）および両蒸気温度設定値変更に対する非干渉の各制御回路を採用するとともに、ボイラ、タービン運転操作方式との調和をも考慮したシステム設計がなされている。そして、試運転および就航実績によってほぼ所期の目定どおりの性能達成が確認された。

Development of Stem Temperature Control System on Marine Reheat Boiler

by Ryuichi Sagawa, Yoshimitsu Kurosaki,
Masaru Tomiie

Abstract

Recently, adoption of high performance reheat turbine plants is increasing for the huge ships. In our company, KAWASAKI UFR type marine reheat boiler has been developed for such as the KAWASAKI UR plant. This paper discusses about the outline of design and actual experiences of our steam temperature control (STC) system.

UFR boiler is constituted of single radiant furnace and three gas paths system where gas passage is divided by partition water walls into a superheater path, a reheater path and a by-pass economizer path with control dampers arranged at each outlet of the paths. In reheat condition, both the superheater and reheater steam temperatures are controlled by three dampers, and in non-reheat condition superheater steam temperature is controlled by operating the by-pass damper.

The protection of reheater from overheating when there is no reheat steam flow through the reheater during astern or port use condition is carried out by adoption of the double shut dampers which shut out the gas leakage through reheater path.

At the designing of this STC system, we take into consideration of the independent control of the superheater and reheater temperature without interaction and the system matching to the boiler and turbine operation. We hereupon introduce two policies of "Non-interacting control to load disturbances" and "Non-interacting control to set point changes of steam temperature" for the first item. And also we provide the suitable sequential and program control in the case of changing over between reheat and non-reheat condition for the second item. In actual operation of this boiler, highly satisfactory control results have been obtained.

*原稿受付 昭和45年12月23日 **正 会 員 川崎重工(株)(神戸市生田区東川崎町 2-14)
昭和45年秋季学術講演 *** 同 上 (同 上)

1. ま え が き

最近、大形船において高性能の再熱タービンプラントを採用するものがふえつつある。川崎重工業会社においても種々の研究成果をもとに UR 形再熱プラントを開発し^{1),2)}、現在好調に運航中である。

このプラントの UFR 形再熱ボイラには種々の特徴があるが、その一つに後部対流伝熱面を過熱器、再熱器およびバイパスエコノマイザを配置した3パスに並列に分割配置し、各パス出口にダンパを備えそれらによって各パスのガス流量配分を変えて過熱器および再熱器出口の蒸気温度を制御する方式を採用していることがあげられる。

船用再熱ボイラでは、後進時および荷役時など再熱器内に蒸気が流れぬ際には再熱器パスの燃焼ガスを遮断して再熱器管の焼損を防止することが必要不可欠であり、また、再熱運転状態では過熱蒸気温度および再熱蒸気温度を安定でその変動が許容範囲内にあるように制御することが必要である。もちろん、再熱状態および非再熱状態の異なる二つの運転モードの相互切換を一つの制御装置でできるだけ連続に実施し、かつ、制御することが要請される。上記の諸点について筆者らは、ボイラ制御系の解析はもとより、ボイラの本体設計、ボイラタービンの運転操作方式などについても諸検討を行ないシステムの確立をはかった。

UFR ボイラの概括については、すでに紹介されているので、本文では最少限にとどめ主として蒸気温度制御システムについて述べる。

2. 船用再熱ボイラの構造と蒸気温度制御系との関連

従来、陸用再熱ボイラの例では過熱蒸気温度および再熱蒸気温度の調節は注水方式、緩熱方式、バーナチルチング方式、ダンパ方式などのうちで異種の操作方式を組み合わせた相互干渉の少ない方式で行なわれていることが多いのであるが³⁾、UFR ボイラでは構成および操作が比較的簡単で注水方式での水質上の問題などがなく、また、緩熱器方式にくらべて過熱部の圧力損失が少ないなど種々の利点があるシングルファーンエスのダンパ制御方式を採用している。

図1および表1にそれぞれ UR プラント採用第1船にとり載された UFR ボイラの組立図および主要目を示す。図1からもわかるように UFR ボイラでは過熱器、再熱器はその伝熱面配置より対流形となっていて、過熱および再熱蒸気温度はボイラ負荷（燃焼量）増加に対応して図2のように増加する。また、再熱器

図1 (1/2) 川崎 UFR ボイラ

図1 (2/2) 川崎 UFR ボイラ

図2 UFR ボイラの静特性

表1 S/T Golar Patricia 号とう載
主ボイラ要目表

形 式		川崎 UFR 87/77形 二胴水管式船用再熱 主ボイラ
蒸 発 量	再熱常用負荷時	77,000 kg/h
	再熱最大負荷時	87,000 kg/h
	非 再 熱 最 大 負 荷 時	105,000 kg/h
再熱蒸気量	常 用 負 荷 時	56,000 kg/h
	最 大 負 荷 時	63,000 kg/h
設 計 圧 力		120 kg/cm ² g
過熱器出口蒸気条件		104 kg/cm ² g×525°C
再熱器出口蒸気条件		22.5 kg/cm ² g×525°C
給 水 温 度		248°C
F. D. F. 入口空気温度		38°C
燃料高位発熱量 (C重油)		10,278 kcal/kg
空気比 (再熱常用負荷時)		1.085
ボイラ効率(再熱常用負荷時)		90.7%

パス内に No. 4 過熱器を配置して非再熱時の再熱器保護をより確実ならしめ、かつ、再熱ダンパ操作時にも過熱蒸気温度への干渉を緩和するよう配慮はしてあるが、過熱および再熱蒸気温度には上記異種の操作方式を用いる場合に比して、ある程度の相互干渉が起こりうると想定していた。この確認結果については第5節にくわしく述べる。

以上のような負荷外乱による蒸気温度への干渉およびダンパ操作時の各蒸気温度間の相互干渉に対しては、それぞれ外乱非干渉 (外乱補償) および両蒸気温度設定値変更に対する入力非干渉の各制御回路を採用することによってこの問題を解決することとした。

一方、船用再熱ボイラでは再熱器内に蒸気が流れない運転状態が存在するのは前述のとおりである。この状態では図1で示した再熱器パスのダンパ構成において再熱制御ダンパ、再熱器保護ダンパを全閉し、その間にシールエアを封入しガスリークを完全にシャッ

アウトすることにより、再熱器の焼損防止をはかった。

3. 非干渉温度制御の解析

各ダンパ開度と蒸気温度の関係式はラプラス変換した S 領域で表わすと(1)式である。

なお、以下において、各変数は S 領域で表わす。

$$\begin{pmatrix} \theta_S \\ \theta_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{SS} & G_{SR} & G_{SE} \\ G_{RS} & G_{RR} & G_{RE} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_S \\ a_R \\ a_E \end{pmatrix} \cdots \cdots (1)$$

ここで、 θ_S , θ_R : 各蒸気温度

a_S , a_R , a_E : 各ダンパ開度

G_{SS} , G_{SR} , G_{SE} , G_{RS} , G_{RR} , G_{RE} : 各要素の伝達関数

なお、脚字 S , R , E はそれぞれ過熱器, 再熱器, バイパスエコノマイザを示す。

(1)式の各要素を開ループテスト結果, 図11, 12, 13 に示すとおり2次系で近似できるので(2)式に示す。

$$\begin{pmatrix} G_{SS} & G_{SR} & G_{SE} \\ G_{RS} & G_{RR} & G_{RE} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{K_{SS}}{a_1 S^2 + b_1 S + 1} & \frac{K_{SR}}{a_1 S^2 + b_1 S + 1} & \frac{K_{SE}}{a_1 S^2 + b_1 S + 1} \\ \frac{K_{RS}}{a_2 S^2 + b_2 S + 1} & \frac{K_{RR}}{a_2 S^2 + b_2 S + 1} & \frac{K_{RE}}{a_2 S^2 + b_2 S + 1} \end{pmatrix} \cdots \cdots (2)$$

なお、全燃焼ガス量は ACC. により一意的に決定されるので各パスのガス量は a_S , a_R , a_E 中の少なくとも2枚のダンパにより (2枚のダンパ操作時には1枚のダンパ開度を固定し) 炉内圧を従属量としつつ一意的に定めることが可能である。

ボイラの動特性を線形近似伝達関数行列で(3), (4)式で表わす。

$$\begin{pmatrix} P_S \\ \theta_S \\ \theta_R \\ l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & G_{pb} & G_{pa} & 0 \\ G_{SS} & G_{SR} & G_{SE} & G_{sb} & G_{sa} & 0 \\ G_{RS} & G_{RR} & G_{RE} & G_{rb} & G_{ra} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_{lb} & G_{la} & G_{lw} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_S \\ a_R \\ a_E \\ b \\ a_a \\ g_w \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \end{pmatrix} g_s \cdots \cdots (3)$$

$$\mathbf{X} = \mathbf{G}\mathbf{Y} + \mathbf{H} \cdot g_s \cdots \cdots (4)$$

ここで

p_s : 蒸気圧力

l : ドラムレベル

b : 燃料流量

a_a : 空気流量

g_w : 給水流量
 g_s : 蒸気流量
 X : 制御変数ベクトル
 Y : 操作変数ベクトル
 G : プロセス伝達行列
 H : 外乱応答行列

* W : 非干渉用制御器行列
 U : マスターシグナルベクトル
 R : 主制御器行列 (4 元対角行列)
 X' : 設定値ベクトル
 D : 蒸気流量外乱に対するフィードフォワード制御器行列
 H : 蒸気流量外乱行列

ボイラの全制御系の構成を図 3 に示す。設定値変化に対する非干渉制御器の入出力関係および主制御器と外乱非干渉のためのフィードフォワード制御器の入出力関係はそれぞれ(5), (6)式で示される。

$$W = [W_{ij}] \quad i=1 \sim 6, j=1 \sim 4 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$Y = W \cdot U$$

$$U = R(X' - X) + D \cdot g_s \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここで *

図3 ボイラ制御系の構成

$$C = \begin{bmatrix} G_{pb}W_{41} + G_{pa}W_{51}, & G_{pb}W_{42} + G_{pa}W_{52}, & G_{pb}W_{43} + G_{pa}W_{53}, & G_{pb}W_{44} + G_{pa}W_{54}, \\ G_{ss}W_{11} + G_{sr}W_{21}, & G_{ss}W_{12} + G_{sr}W_{22}, & G_{ss}W_{13} + G_{sr}W_{23}, & G_{ss}W_{14} + G_{sr}W_{24}, \\ + G_{se}W_{31} + G_{sb}W_{41}, & + G_{se}W_{32} + G_{sb}W_{42}, & + G_{se}W_{33} + G_{sb}W_{43}, & + G_{se}W_{34} + G_{sb}W_{44}, \\ + G_{sa}W_{51}, & + G_{sa}W_{52}, & + G_{sa}W_{53}, & + G_{sa}W_{54}, \\ G_{rs}W_{11} + G_{rr}W_{21}, & G_{rs}W_{12} + G_{rr}W_{22}, & G_{rs}W_{13} + G_{rr}W_{23}, & G_{rs}W_{14} + G_{rr}W_{24}, \\ + G_{re}W_{31} + G_{rb}W_{41}, & + G_{re}W_{32} + G_{rb}W_{42}, & + G_{re}W_{33} + G_{rb}W_{43}, & + G_{re}W_{34} + G_{rb}W_{44}, \\ + G_{ra}W_{51}, & + G_{ra}W_{52}, & + G_{ra}W_{53}, & + G_{ra}W_{54}, \\ G_{lb}W_{41} + G_{la}W_{51}, & G_{lb}W_{42} + G_{la}W_{52}, & G_{lb}W_{43} + G_{la}W_{53}, & G_{lb}W_{44} + G_{la}W_{54}, \\ + G_{lw}W_{61}, & + G_{lw}W_{62}, & + G_{lw}W_{63}, & + G_{lw}W_{64}, \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(9)$$

** (9)式において、空燃比一定運転条件より

$$\left. \begin{array}{ll} W_{41} = W_{51}, & W_{42} = W_{52} \\ W_{43} = W_{53}, & W_{44} = W_{54} \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots(10)$$

蒸気圧に関する非干渉条件 $C_{12} = C_{13} = C_{14} = 0$ と(10)式の条件より

$$W_{42} = W_{52} = W_{43} = W_{53} = W_{44} = W_{54} = 0 \quad \dots\dots(11)$$

ドラムレベルに関する非干渉条件 $C_{41} = C_{42} = C_{43} = 0$ と(10)式の条件より

$$(G_{lb} + G_{la})W_{51} + G_{lw}W_{61} = 0 \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$W_{62} = W_{63} = 0 \quad \dots\dots\dots(13)$$

(12)式を満足する W_{61} なる制御器を使用すれば、燃料および空気の変化によるレベルへの干渉は消去しう

る。

蒸気温度に関する非干渉条件 $C_{21} = C_{23} = C_{24} = C_{31} = C_{32} = C_{34} = 0$ と(10)式の条件より

$$C_{21} = G_{ss}W_{11} + G_{sr}W_{21} + G_{se}W_{31} + (G_{sb} + G_{sa})W_{51} = 0 \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$C_{31} = G_{rs}W_{11} + G_{rr}W_{21} + G_{re}W_{31} + (G_{rb} + G_{ra})W_{51} = 0 \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$C_{32} = G_{rs}W_{12} + G_{rr}W_{22} + G_{re}W_{32} = 0 \quad \dots\dots(16)$$

$$C_{23} = G_{ss}W_{13} + G_{sr}W_{23} + G_{se}W_{33} = 0 \quad \dots\dots(17)$$

$$C_{24} = G_{ss}W_{14} + G_{sr}W_{24} + G_{se}W_{34} = 0 \quad \dots\dots(18)$$

$$C_{34} = G_{rs}W_{14} + G_{rr}W_{24} + G_{re}W_{34} = 0 \quad \dots\dots(19)$$

(14), (15)式は燃料および空気流量の変化に対する蒸気

温度の非干渉条件であり, (16), (17)は各蒸気温度のマスターシグナルに対する各蒸気温度の非干渉条件である。(18), (19)は給水変化に対する各蒸気温度の非干渉条件であり, 簡素化のため(20)式とした。

$$W_{14}=W_{24}=W_{34}=0 \quad \dots\dots\dots(20)$$

最終的に蒸気温度制御系についての非干渉条件は, (14), (15), (16), (17)式である。なお, 燃料変化に対するドラムレベル非干渉制御器 W_{61} を取り付けても, それによる蒸気温度制御系の非干渉制御条件には影響を与えないことがわかる。

θ'_S と θ'_R の変化に対する θ_S と θ_R の非干渉制御条件は(16), (17)式の二つであり, 未定コントローラ W_{33} , W_{32} は他の W_{12} , W_{13} , W_{22} , W_{23} を自由に決めることによって (ただし, W_{23} , W_{12} は 0 にはできない) 一意的に定まる。

UFR ボイラの非干渉制御系としては, (16), (17)式を満足する(21)式を採用した。

$$\left. \begin{aligned} W_{13} &= W_{22} = 0 \\ W_{33} &= -\frac{G_{SR}}{G_{SE}} W_{23} \\ W_{32} &= -\frac{G_{RS}}{G_{RE}} W_{12} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(21)$$

マスターシグナル U_P による θ_S , θ_R への非干渉制御条件は(14), (15)式の二つであり, これらの式を満足するようにこの U_P によるフィードフォワードシグナルを W_{12} , W_{23} , W_{32} , W_{33} より前に加えるようにし W_{11} ,

W_{21} , W_{31} の代りに W_{11}' , W_{21}' で構成した。

以上をまとめたボイラ制御系の詳細構成を図 4 に示す。

つぎに W_{11}' および W_{21}' の妥当性を確認する。(21)式で示す θ_S と θ_R の非干渉条件のもとでの θ_S の応答は(22)式となる。ただし $C'_{21} = (G_{sb} + G_{sa}) W_{51}$

$$\begin{aligned} \theta_S = & \frac{C_{22}R_{22}}{1+C_{22}R_{22}}\theta'_S + \frac{R_{11}(C'_{21} + W_{11}'C_{22})}{(1+C_{22}R_{22})(1+C_{11}R_{11})} p'_S \\ & + \left\{ \frac{(-H_1R_{11} + D_1)(C'_{21} + W_{11}'C_{22})}{(1+C_{22}R_{22})(1+C_{11}R_{11})} \right. \\ & \left. + \frac{H_2 + D_2C_{22}}{(1+C_{22}R_{22})} \right\} g_S \quad \dots\dots\dots(22) \end{aligned}$$

(20)式より明らかなように p'_S および g_S の変化に対して非干渉とするには

$$\left. \begin{aligned} W_{11}' &= -\frac{C_{21}'}{C_{22}} \\ D_2 &= -\frac{H_2}{C_{22}} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(23)$$

としなければならないが, 簡素化のために W_{11}' のみを使用し p'_S および g_S の変化に対する θ_S の変化を緩和した。 θ_R についても同様に W_{21}' のみを使用した。

以上の解析結果の実 UFR ボイラへの適用をまとめて図 5 の計装ブロック線図に示す。なお, 主制御器 R_{22} , R_{33} はいずれも PID 調節計, フィードフォワード制御器 W_{11}' , W_{21}' は PD 調節計としている。これ

図 4 ボイラ制御系の詳細構成

図5 蒸気温度制御ブロック線図

ら温度制御用機器はすべて市販標準の国産アナログ空気圧式を採用している。

4. 再熱 ⇄ 非再熱モード切換方式

再熱状態における制御モードは、すでに述べたように過熱および再熱蒸気温度の2制御変数を3操作量（三つのダンパ）にて制御する。非再熱状態においては再熱器パスダンパを全閉、過熱器ダンパを一定開度に保持し、過熱蒸気温度をバイパスダンパのみで制御する方式とした。また、再熱運転、非再熱運転相互間の切換はタービンへの熱衝撃を避けるために再熱蒸気温度を約30分で変えていく

図6 非再熱⇄再熱状態切换プログラム

MODES DAMPER	RH Condition	Non-RH Condition with program control	Non-reheat Condition
SH control damper	Control	Control	Open
RH control damper	Control	Control	Full Shut
RH protect damper	Full Open	Full Open	Full Shut
By-pass damper	Control	Control	Control
Seal air damper	Full Shut	Full Shut	Full Open

図7 蒸気温度制御モード

プログラム制御に行なっている。図6にそのプログラムを示す。以上の制御モードをまとめて図7に示す。

非再熱から再熱への切換は、タービン操縦弁位置、抽気弁開度などの信号を検出し運転状態がすべて

図8 再熱⇄非再熱切替シーケンスフローチャート

適切な場合のみ再熱可能ランプを点灯し、手動スイッチを操作することにより行なうこととした。手動スイッチ回路を設けたのは操作員の判断を1ステップ入れることにより操作の確実を期すためである。再熱から非再熱への切替えは、上述の切替えスイッチにより任意に行なえるほか、タービン操縦弁が設定位置以下になった場合には、自動的に切り換わるものとした。また、非再熱から再熱状態へのプログラム切替え中であっても図6の $L \rightarrow P \rightarrow L'$ のごとく非再熱状態への移行を可能なものとし操作に自由度をもたせた。上記のプログラムのほかに、再熱状態あるいはプログラム状態にてアスターンあるいは主機停止などの再熱蒸気ストップ状態が起これば、再熱器保護のために再熱器保護ダンパおよび再熱制御ダンパを瞬時全閉し、その後、シールエアダンパを全開して非再熱状態へ瞬時に切り換わるようにしている。以上述べた再熱⇄非再熱切替方式のシーケンスフローチャートおよび切替操作盤をそれぞれ図8、図9に示す。

図9 非再熱⇄再熱切替操作盤

再熱、非再熱相互間の切替点は、再熱プラントでは再生抽気以前に再熱しても効率向上という点ではあまり意味がなく、また、プラント操作上から考えると抽気弁操作などを非再熱状態にて完了した後、再熱運転

へ移行したほうが運転操作が単純となり好ましいなどの点を考慮して、UR プラントでは比較的高負荷点に選定した。蒸気温度制御システムとタービン運転操作プログラムとの関連を図10に示す。

なお、本システムにおいては再熱器焼損防止に対して図8に示すように再熱蒸気ストップ状態の検出部を多重化し、さらに、非再熱時のダンパ位置アラームおよび再熱器パスガス温度上昇アラームなどの警報安全装置を設けるなどに特に留意して安全を期している。

5. 実船での試験結果

再熱運転状態での各ダンパ開度変化に対する各蒸気温度応答の開ループ試験結果を図11～図13に示す。このとき、 θ_s, θ_R 以外の制御変数 p_s, l はほとんど変化しなかった。これは(3)式の近似の妥当性を示すものである。また、特に図12によれば再熱器ダンパの操作時に過熱蒸気温度の影響はきわめて少なく、第2節で述べた再熱器パスへの No. 4 過熱器の配置による効果があらわれており、この角度からの非干渉制御は必要ないとも考えられる。

さて、実験結果より、(2)式の近似伝達関数を求めると(24)式となる。

ただし、ここで温度は 300°C 、ダンパ開度は 90° で無次元化して求めた。(24)式より明らかにように $[G]$ の各行因子は共通分母をもち、かつ、分子は定数なので非干渉用制御器の各因子は定数でよいことがわかる。また、入力 θ_s', θ_R' の変化に対する非干渉条件を(24)式より求めると(25)式となる。ただし、 $W_{23}=W_{12}=1$ とした。

図10 タービン運転操作プログラム

図11 SH. ダンパステップ変化に対する温度応答

$$\begin{pmatrix} G_{SS} & G_{SR} & G_{SE} \\ G_{RS} & G_{RR} & G_{RE} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1.07}{4S^2+4S+1} & \frac{-0.075}{4S^2+4S+1} & \frac{-0.39}{4S^2+4S+1} \\ \frac{-0.5}{3.35S^2+3.67S+1} & \frac{0.34}{3.35S^2+3.67S+1} & \frac{-0.3}{3.35S^2+3.67S+1} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (24)$$

図12 RH. ダンパステップ変化に対する過渡応答

図13 バイパスダンパステップ変化に対する温度応答

$$\left. \begin{aligned} W_{33} &= -\frac{G_{SR}}{G_{SE}} W_{23} = -0.19 \\ W_{32} &= -\frac{G_{RS}}{G_{RE}} W_{12} = -1.67 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (25)$$

理想的な非干渉とするには(25)式の W_{33} , W_{32} をとるべきだが, 運転試験は $W_{33} = -0.15$, $W_{32} = -1.75$ で行なった. 表2に示す調整値での $\theta_{s'}$, $\theta_{R'}$ のステップ変化に対する閉ループ試験および再熱状態から非再熱状態への切換時 ($\theta_{R'}$ の大きな変化) における運転結果を図14~図16に示す. この結果より, $\theta_{s'}$, $\theta_{R'}$ の変化に対してほぼ非干渉制御が達成されていることがわかる. ただし, 図15より再熱器ダンパ操作時過熱器蒸気温度に非干渉制御器のこの時点でのゲイン調整不完全に基因する過制御傾向がみられる. これはプラントの動特性の認知ならびに各制御器パラメータのチューニングをあらかじめ行ないかつ, 不変と考えておくというフィードフォワード的な制御には, ある程度免

表2 温度制御系調整値

	GAIN	INT. TIME	RATE TIME
R ₂₂	1.0	1.5 min	0.6 min
R ₃₃	1.3	2.5 min	0.6 min
W ₁₂ =1 W ₂₃ =1 W ₃₃ =-0.15 W ₃₂ =-1.75			

れ得ないものであり, 非干渉効果を完全に, かつ, 広範囲な変域にわたって実現しようとするれば, それは非干渉を評価基準とする適応制御系を構成せしめることにはかならず今後, 興味ある問題と考えられる.

6. 結 言

船用再熱ボイラの蒸気温度制御系は, 単に再熱タービンプラントの一つのサブシステムであるが, 従来からあるサブシステム, たとえばボイラの ACC. などと

異なり、制御系の設計自体が再熱ボイラの本体構造のみならずプラントの運転操作方式にまで係わりをもつ点で、いままでにない特異なものであるといえる。

ここで述べたシステムは蒸気温度制御に対する入力非干渉および外乱非干渉（外乱補償）制御系の解明に基づき、当社 UFR ボイラ用に開発されたものであるが、試運転および就航実績によってほぼ所期の目的を達し得たことが確認できた。ボイラの非干渉制御系の

解析および実際適用例として参考となれば幸いである。

なお、前述のように本システムの性格上、その関連技術が多岐にわたることもあって、開発にあたっては非常に多くの方々の助言とご協力を賜った。特に当社技研制御研究室、第2ボイラ設計部船用ボイラ設計課、造船事業部ならびに山武ハネウエル（株）の関係者各位に深く感謝いたします。

図14 SH. 蒸気温度設定値変化

図15 RH. 蒸気温度設定値変化

図16 再熱→非再熱切換テスト

文 献

- 1) 木村「川崎重工 UR 形再熱タービンプラントについて」船用機関学会誌 Vol. 72, No. 610 (1969-11)
- 2) 友田、後藤田「川崎 UR 形再熱タービンプラントの開発と運転結果について」造船工業 Vol. 1, No. 4 (1970)
- 3) Chien 「The Noninteracting Controller for Steam Generating System」Control Engineering. Oct. (1958)
- 4) 佐川「船用再熱ボイラの非干渉制御」第6回計測自動制御学会講演会論文集 (1967)
- 5) 佐川、黒崎、富家「船用再熱ボイラの蒸気温度制御」第9回計測自動制御学会講演会論文集 (1970-8)
- 6) 寺野「ボイラの自動制御」199/194 オーム社 (1969)