リヒートサイクル船用蒸気動力 プラントの水処理について*

乾 文 雄**, 武 田 智 則***

概 要

リヒートサイクルをわが国で初めて採用した 209,000DWT タンカーの「出光丸」と姉妹船の「松寿丸」はともに $100\text{kg}/\text{cm}^2\text{g}$ 級のボイラをとう載しているが、蒸気動力プラントの水を管理するにあたり、ホットスポット、アルカリ腐食、汚染物質およびキャリーオーバーによる損傷を低減させることに留意した。

これら損傷の低減対策は、設計時にはじまり、就役時に入念な洗浄とブローを実施した後、乗組員が水質管理法を十分に理解実行してこそ初めて成果をあげることができるが、両船ともあらかじめたてた水質制限目標値内に管理することができ、現在順調に航海している。

水質管理を実施するにあたり、通常、補給水は各種ドレン系統とメーキャップ系統の導電率を、給水は主として pH と残留ヒドラジン、ボイラ水は主としてコングルエント・コントロールに準じて pH と PO_4 をそれぞれ管理している。なお、コングルエント・コントロールについてはその指針を詳述した。

Water Treatment of Marine Steam Reheat Power Plant

by Fumio Inui, Tomonori Takada

Abstract

Particular consideration have been given to protect water treatment in planning the steam reheat cycle boiler of $105\text{ kg}/\text{cm}^2\text{g}$ drum pressure installed on the 209,000 DWT sister tanker Idemitsu Maru and Shoji Maru, with the view to minimizing damage due to (a) hot spots on the water side of heating surfaces, (b) corrosion from boiler water alkalinity, (c) contaminants trace-able make-up, drain and feed water to boiler, and (d) carry-over into steam of silica, phosphate and other dissolved impurities.

These considerations for ensuring proper boiler water quality require application right from the stage of planning and design of the boiler, and must be followed up at the time of commissioning by adequate cleaning and blowing operation, and carried through to the entire period of service operation by the ships crew.

In service operation, the purity of the drain and make-up water is mainly controlled by measuring the electrical conductivity, the feed water by pH and residual hydrazine content, and the boiler water by pH and, phosphate content, with congruent control. A description is given of the general lines to be followed in order to maintain the Na/pO_4 mole ratio within the range of 2.6~2.8 by congruent control.

1. ま え が き

船舶の大形化・大出力化に伴って蒸気動力プラントの熱効率の向上が要求されつつあるが、209,000DWT

タンカー「出光丸」にはリヒートサイクルが昭和41年(1966)にわが国では初めて採用され、ひきつづき姉妹船の「松寿丸」(昭和44年(1969)1月29日就航)にも採用された。現在、前者は21次航目、後者は3次航目にはいりそれぞれ順調に運航されている。

これら船舶は、計画圧力 $100\text{ kg}/\text{cm}^2\text{g}$ 級ボイラを

*原稿受付 昭和44年4月22日

**正会員, 出光タンカー(株)(東京都中央区銀座 4-12)

***正会員, 石川島播磨重工(株)技術研究所(東京都江東区豊洲3-1-15)

とう載しているため、プラントの水処理もおのずから従来のものとは異なり、進歩したものを採用したと考えるので、ここにとりまとめて紹介するしだいである。

2. 機 関 部 概 要

推進機関は、1軸33,000 PS×101 R/M の蒸気タービンで、リヒートサイクルを採用した画期的なものである。

主機械は、シングルプレーン形2段減速衝動再熱式蒸気タービンで再熱式であるが、出光丸では従来と同じ高压および低压の2気筒とし、高压タービンと低压タービンの中で再熱する方式をとった。また、松寿丸では中圧タービンを設け、高压タービンと同一気筒内に納めて、高压タービンと中圧タービンの中で再熱した。

ボイラは1隻に2基とう載し、そのうちの1基はストレートボイラで、二重過熱器、回転形ガス式空気予熱器、蒸気式空気予熱器、緩熱器を備えた 86.5kg/cm² g (ドラム圧105 kg/cm² g)×515°C のものでありほかの1基はリヒートボイラで、上記のものに、リヒートファーンスを加えてツィーンファーンス形とし、その両ファーンスの中間に再熱器を装備した 86.5kg/

cm²g×515°C、再熱温度 423°C (出光丸), 505°C (松寿丸) のものである。ボイラの最大蒸発量は、おのおの 72.5 T/H である。

蒸気動力プラントの水系統は図1に示すとおりであるが、ボイラ給水温度は、4段の給水加熱器を設けて常用出力時226°C (出光丸), 230°C (松寿丸)に保持される。また、主発電機および主給水ポンプのタービンはいずれも背圧式で、主機タービン1段落からの抽気によって駆動され、排気は給水加熱器に導くほか雑用蒸気としても使用されている。

3. 水処理技術開発の概要

水処理技術は、ただ単にいわゆる「清浄剤」の薬注技術にとどまるものではなく、設計時からその重要性を認識して方針を定め、建造・就役時にはその方針に基づいてそれぞれの役割を果たし、さらに乗組員のスタッフがその主旨を体得して運転してこそ初めて満足な状態になるものである。そこで、われわれは、昭和42年以来「出光丸」をモデルにこの問題に対処し、最適な水処理法を見出すとともに、プロセス的見地から改良したほうがよいと結論づけられた事項を極力第2船の「松寿丸」にフィードバックすることにした。

図1 蒸気動力プラント水系統図(松寿丸)

4. 水 処 理 方 針

補給水、復水、給水、ボイラ水の水質が不良な状態でプラントを運転すると、ボイラ、タービン、補機などに腐食、スケール付着、キャリオバに基因する障害がおこり、各機器の能力を阻害するばかりでなく、その程度によっては、修理あるいは洗浄のために運転を中止する必要を生ずるので、多大の悪影響を及ぼすことになる。したがって、腐食、スケール付着、キャリオバの防止につとめなければならないが、この方針を具体化するために、下記の管理目標をたてた。すなわち、

- (1) ホット・スポットを起こす要因を低減させること
- (2) アルカリ腐食を起こす要因を回避させること
- (3) 汚染物質を減少させること
- (4) キャリオバを起こす要因を回避させること

5. ホット・スポットの低減対策

ホット・スポットは、ボイラ内面にスケールを付着させ、伝熱阻害や腐食、ときにはアルカリ腐食の原因となるので、これを極力低減させるべきである。

まず設計段階において、構造的欠陥に基づくホットスポットがないことを十分チェックする必要がある。建造時には、単品の焼曲部などを完全に酸洗してホット・スポットの要因を除去する必要がある。プラント建造完了後の就役当初は、系統内の内面に、汚れ、ほこり、砂などがあり、また、油分が付着し、さび、ミルスケールなどが相当量含まれているが、これらがボイラ内面の収熱率の高い部分にたい積するとホット・スポットの原因となる。

なお、これらはまた、ポンプや脱気器などに詰まって機能を低下させるとともに給水中に金属塩を持ち込む汚染源ともなるし、高圧給水加熱器にもたい積するし、タービン翼などにも損傷を与えたりなどするので、いずれにせよ、就役当初にプラント全系統の清掃を行わなければならない。

Shell International Marine では、10年前から、就役時にボイラ、給水系統、ドレン系統、蒸気系統のクエン酸洗浄を行なっている⁽¹⁾が、酸洗浄はかなりの費用と工期を要するとともに、エキスパンド部のわずかな間隙を拡大する危険性もある⁽²⁾ので、われわれはもっと安価な洗浄法を行ない満足な結果を得ている。すなわち給水系統は油分や汚れなどの除去を目的としてアルカリ洗浄を、ボイラは油分、汚れなどの除去を1次的目的とし、ミルスケールやさびなどの除去を2次

的目的としてソーダ煮を、ドレン系統は汚れなどの除去を目的として水フラッシングを、蒸気系統は汚れやミルスケールやさびなどの除去を目的としてブローイングアウト（蒸気フラッシング）を、それぞれ入念に行なった。

なお、ボイラに張水後も、若干の残留懸濁物を除去するため、可能な限り水面および水底吹き出しを繰り返えしたところ、最終的には濁度を1 ppm 以下におさえることができ有効であった。また、就航後も、給水からボイラ内に持ち込まれる金属塩や懸濁物によってホット・スポットなどを生じないように、航海中は水面吹き出しを、停泊時は消火後水底吹き出しを極力実施するとともに、ボイラ水中の全固形物を低減させるため薬注量を従来よりも低く保持するように留意している。

6. アルカリ腐食の回避対策

船用よりも収熱率が若干低い陸用ボイラの場合でも、圧力が100kg/cm² g 以上のボイラの化学腐食は、すべてボイラ水中の苛性ソーダの濃度に関連があるということが統計的に知られている⁽³⁾。したがって収熱率の高い船用ボイラの場合には、高圧化に伴ってボイラ水中にフリーの苛性ソーダを存在させないように対策をたてる必要がある。ボイラ水の管理は、船用の場合、通例としてリン酸ナトリウムの添加により固着性カルシウムスケールの除去を行なっているが、リン酸塩のハイドアウト現象が起こると必然的にボイラ水中の苛性ソーダの濃度が上昇することがある。リン酸塩のハイドアウトとは、ボイラ水中のリン酸イオンの濃度が負荷の上昇に伴って減少し固相となって析出することをいうのであるが、その際、固相中のNa/PO₄のモル比がNa₃PO₄の場合の3.0よりも小さくなるので、上記のように液相中にフリーの苛性ソーダを生ずることになり、アルカリ腐食の原因となる。したがってハイドアウトの条件下といえども、固相と液相の、Na/PO₄のモル比が互いにつり合っているか、または液相のモル比のほうが若干低目であれば、液相中にフリーの苛性ソーダを生じないことになる。この目的にかなったボイラ水管理法として、ソ連で見出され⁽⁴⁾、さらに陸用に対しアメリカで開発されたコングルエントコントロール(Congruent Control)⁽⁵⁾と称するものがある。Na/PO₄のモル比は、ボイラ水温度300°Cの場合に2.85、365°Cの場合に2.65であれば固相と液相とで互いにつり合っている⁽⁴⁾。

そこで、この水管理はまず圧力に応じてNa/PO₄の最適モル比を選定するとともに、ボイラ水中のリン酸

図2 種々の Na/PO_4 モル比に対する曲線

イオン濃度も規定した後、ボイラ水の pH を前記モル比に応じたリン酸イオン濃度—pH 曲線 (図2 参照) に従って管理する方法である。アメリカの陸用ボイラでは $200\text{kg}/\text{cm}^2$ g 程度のドラム式高压ボイラに対し、 PO_4 のモル比を 2.6 以下⁽⁵⁾におさえて管理しているが、 Na/PO_4 のモル比が 2.6 以下になるとボイラ内面のマグネタイトの保護被膜が破壊されるという考え方⁽⁶⁾もあるので、われわれはこの考え方を本船に適用するにあたり、 NaPO_4 のモル比を 2.6~2.8 にしている。なお、海水漏/洩を考慮してリン酸イオン濃度を 2~4ppm に規定すると、pH を 9.0~9.5 に管理しなければならないが、そのために第2および第3リン酸ナトリウムをボイラに投入して管理している。

7. 汚染物質の除去対策

汚染物質が給水からボイラ内に持ち込まれると、スケール付着、腐食、キャリーオーバー、タービン翼損傷などの各種障害を生じやすくなるので極力これを除去しなければならない。それには、給水内に流入するメーキャップ水とドレン水中の汚染物質を極力除去するとともに、給水自体の管理を行なって給水系統内で腐食させないことが肝要である。これら汚染物質の除去に対してたてた対策を列挙すると、つぎのようになる。

(1) イオン交換塔の適用

メーキャップ水のポリッシング用として蒸化器のあとにイオン交換塔をとう載したが、シリカや蒸化器からのピックアップに由来する銅などの除去に有効である。

(2) 油分早期発見用インスペクションタンクおよびデオイラの設置

大気圧復水器は、カーゴポンプ、バラストポンプ、ストリップングポンプ、デッキマシンなどの排気をドレン化するので、このドレン系は、油分を混入する危

険性が高い。また燃料油タンクヒーティングおよび燃料油ヒータのドレンは、油分を含む可能性が高いのでデオイラを設置したが、そのデオイラドレンについても同様のことがいえる。したがって「松寿丸」は、この両ドレン系に対して、ドレンタンクにはいる手前にインスペクションタンクを設け、油分混入の早期発見ができるようにしてある。なお、このタンクにはせきを設け、デッキマシンやカーゴポンプ稼動時に多量に混入してくる腐食生成懸濁物の除去もできるようにしてある。この懸濁物による汚染がはげしいのは、この系統の機械稼動開始後の最初の20分間であり、大気圧復水器出口で 10 ppm 近くの全鉄を検出することがある。

(3) ドレンタンク流入ドレンラインのグループ化
「出光丸」の各種ドレンの水質特性と流量を勘案し、「松寿丸」のドレンラインは図1に示すように下記の6系統に分割して、汚染がはげしい場合にはその系統だけビルジに捨てることが可能な構造とした。

すなわち、純水系統、デオイラドレン+大気圧復水器ドレン系統、グラントンデンサドレン+エゼクタドレン系統、蒸化器ドレン+スチームゼット式エアコンドレン+雑ドレン系統、1段給水加熱器ドレン系統、海水ヒータードレン系統の6系統である。

(4) 磁性ろ過器の活用

懸濁鉄などの汚染物質を極力給水中に持ち込まないようにするため、「松寿丸」は補給水系統の末端 (図1 参照) に磁性ろ過器を取りつけた。その効果についてはまだ定量的に確認していないが、処女航海の実績によると1週間に1回清掃しなければならないほど有効であったとのことである。

(5) 海水漏えい早期発見用モニタ網の活用

海水漏えいにより給水や補給水の各系統が汚染した場合、ただちにどこで海水漏えいが起こっているかを的確に判断できれば、その被害を最小限度におさえることができるので、表1に示す導電率方式のモニタ網を「松寿丸」に設定した。この導電率はまた水質管理上投入する薬品の影響も受けるので、その影響を消去するため本来は強酸性陽イオン交換樹脂を通過させた後 (カチオンスルと呼称) 計測したほうがよい。したがって主要点であるドレンポンプ出口、主復水器出口、ボイラ入口の各部には、カチオンスルの導電率計を設けた。また、24計測点中20点は機関制御室で監視可能としたうえ、主要なもの6点については記録方式を採用した。当然のことながら、すべての計測点にアラームを取り付けた。

(6) 給水水質管理の適正化

表1 導電率計による計測点一覧表

($\mu\Omega/\text{cm}$)

記号	計測点名称	ストレートまたはカチオンスルー	指示	記録	警報	アラーム設定点
1	ボイラ入口給水	S	○	○	○	5
2	同上	S→C	○	○	○	5→0.5
3	主復水器出口	S→C	○	○	○	5→0.5
4	純水タンク出口	S	○	○	○	5
5	ストレート・ボイラ水	S	○	○	○	100→50
6	リヒート・ボイラ水	S	○	○	○	100→50
11	海水ヒータドレン	S	○	/	○	7
12	大気圧復水器ドレン	S	○	/	○	7
13	デオイラ用ドレン ーラ・ドレン	S	○	/	○	7
14	主復水器出口	S	○	/	○	7
15	蒸留水タンク入口	S	○	/	○	7
16	エアコンドレン	S	○	/	○	7
17	蒸化器ドレン	S	○	/	○	7
18	ドレンポンプ出口	S→C	○	/	○	7→1
19	同上	S	○	○	○	7
20	イオン交換出口	S	△	/	○	1
21	ドレン集合管	S	△	/	○	7
22	蒸化器ドレン	S	△	/	○	7

(備考) 現場指示3点アラーム中央1点

注

1.

記号の 説明	S	C	○	/	△
	ストレート	カチオンスルー	中央操作室	なし	現場

- アラーム設定点は運転後の実状により多少変更することがある。
- は給水が清浄になったら切替えることを示している。

給水系統の腐食を最小限に抑制することが必要であるが、そのために pH を 8.8~9.2 に管理し、かつ、溶存酸素を低減させるように管理している。pH に対しては、ドレンポンプ出口の薬注ラインからモルホリンを連続投入することにより、溶存酸素に対しては給水系統に脱気器を設けるとともに、上記薬注ラインよりヒドラジンを連続投入し、ボイラ入口の残留ヒドラジン濃度を 10~30ppb に保持させることにより、おの管理を行なっている。溶存酸素は補給水と復水の

流量比に関係があるが、上記手段により脱気器出口の溶存酸素量を常に 7ppb 以下に保持することができる

8. キャリオーバの防止対策

合理的設計によりキャリオーバの防止に留意しているが、付帯設備として蒸気ドラム内にシェブロンドライヤをさらに高水位警報計を装備し、水位計を機関制御室とボイラパネルで遠隔指示させている。他方、水質管理にあたっては、既述のとおり汚染物質の除去につとめるとともに、薬注量も低下させ、ボイラ水中の全固形物が少なくなるようにしている。通常航海時には導電率が 10~30 $\mu\Omega/\text{cm}$ にまで低下している。キャリオーバに対するボイラ水中のリン酸イオンの許容濃度は高圧ボイラの場合 10⁽⁷⁾~15⁽⁸⁾ ppm 以下といわれているが、本船は 2~4ppm に制限しているので問題ないとする。シリカは蒸気中に溶解した状態でキャリオーバ (selective carry-over と呼称) する特性をもっているが、タービン翼やロータなどに固着すると性能低下などの悪影響を与えるので、蒸気中のシリカを許容濃度の 0.02 ppm 以下におさえるようボイラ水中のシリカ濃度を規制しなければならない。現在出光丸はボイラ水中のシリカ濃度の目標を 1.5ppm 以下としているが、実績は 1.0 ppm 前後の値を示し良好な状態にある。これは上記全固形物の低下によるほか、既述のイオン交換塔の活用が一役をかついていると考える。なお、60 kg/cm² g 級以下のボイラをとう載した従来の船舶では 8 ppm 以下のシリカを検出しているのが通例である。⁽¹⁾ また、ボイラ水中のシリカ濃度の低減はシリカ含有スケールの固着防止にも役立っている。

9. コングルエント・コントロールの指針

コングルエント・コントロールを実施するために必要な PO₄ と pH の関係を図 3 に示す。これは Marcy

図3 100cm/cm² g 級ボイラ水のコングルエント・コントロール用 PO₄-pH 曲線

と Halstead が開発した種々の Na/PO_4 に対する $\log \text{PO}_4$ と $\log \text{pH}$ との関係⁽⁸⁾ (図2) を直角座標に直したものである。図中斜線をひいてある部分が、本船に対するコングルエント・コントロールの範囲である。この範囲にボイラ水を保持するために、どのような指針に基づいてなにを薬注したらよいかという問題について述べる。

(1) 第3リン酸ナトリウム ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) と第2リン酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) の混合比

$\text{Na}/\text{PO}_4 = 2.6 \sim 2.8$ (標準は2.7) に保持するために必要な $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 1 モルに対する $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ を x モルとすれば、

$$\text{Na}/\text{PO}_4 (\text{モル比}) = \frac{3 \times 1 + 2 \times x}{1 \times 1 + 1 \times x} = 2.6 \sim 2.8 \quad (2.7)$$

より x は、 $x = 2/3 \sim 1/4$ (3/7) となる。

したがって $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (分子量380) と $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (分子量358) の重量比は

$$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} = 1.59 \sim 4.25 (2.48) \dots\dots (1)$$

となる。

(2) ボイラ水中の $\text{PO}_4 = 3\text{ppm}$, $\text{pH} = 9.25$ (管理範囲の標準値) に保持するための第3リン酸ナトリウムと第2リン酸ナトリウムの所要量

$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ の所要量を a ppm とし、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ の所要量を b ppm とすると、 $\text{PO}_4 = 3$ ppm のときの $\text{pH} = 9.25$ は、 $\text{Na}/\text{PO}_4 = 2.7$ に相当するので、(1)式の関係と PO_4 の分子量が95であることから

$$\begin{cases} a \times 95/380 + b \times 95/358 = 3 & \dots\dots\dots (2) \\ a/b = 2.48 & \dots\dots\dots (3) \end{cases}$$

(2)と(3)の連立方程式より a と b が求まる。

(3) ボイラ水の pH または PO_4 が標準値から離れているときの補正法

(i) pH と PO_4 が図3の $\text{Na}/\text{PO}_4 = 2.7$ の曲線上に、ほぼのっているが、管理範囲から離れている場合の補正法

(4) $\text{pH} > 9.25$, $\text{PO}_4 > 3$ の場合

$\text{PO}_4 = 3$ ppm になるようにブローすればよい。

(v) $\text{pH} < 9.25$, $\text{PO}_4 < 3$ の場合

(2)式の右辺を $(3 - \text{PO}_4)$ とおき、(2), (3)の連立方程式を解けばよい。

(ii) pH と PO_4^{3-} が図2の $\text{Na}/\text{PO}_4 = 2.7$ の曲線からまったく離れている場合の補正法

(4) PO_4 に比べ pH が低い場合

例 $\text{PO}_4 = 3$ ppm, $\text{pH} = 8.5$ の場合は、図3からこれに対応する Na/PO_4 のモル比が2.2であることがわかるから、 Na_2PO_4 1 モルに対する NaOH の添加所要量を a モルとすると

$$\text{Na}/\text{PO}_4 (\text{モル比}) = \frac{2.2 \times 1 + 1 \times x}{1 \times 1} = 2.7$$

$$\therefore x = 0.5 \text{ モル}$$

したがって Na_2PO_4 (分子量145.6) と NaOH (分子量40) の重量比は

$$\text{Na}_2\text{PO}_4 / \text{NaOH} = 145.6 / 20$$

一方、 $\text{PO}_4 = 3$ ppm であるから

$$\text{Na}_2\text{PO}_4 = 4.6 \text{ ppm となる。}$$

$$\therefore \text{NaOH} = \frac{4.6 \times 20}{145.6} = 0.63 \text{ ppm}$$

(v) PO_4 に比べ pH が高い場合

例、 $\text{PO}_4 = 3$ ppm, $\text{pH} = 9.5$ の場合は、図3からこれに対応する Na/PO_4 のモル比が3.0であることがわかるから、 Na_3PO_4 1 モルに対する第1リン酸ソーダ ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) の添加所要量を x モルとすると

$$\text{Na}/\text{PO}_4 (\text{モル比}) = \frac{3.0 \times 1 + 1 \times x}{1 \times 1 + 1 \times x} = 2.7$$

$$\therefore x = 3/17 \text{ モル}$$

したがって Na_3PO_4 (分子量164) と $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (分子量138) の重量比は

$$\text{Na}_3\text{PO}_4 / \text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} = 164 / 24.4$$

一方、 $\text{PO}_4 = 3$ ppm であるから

$$\text{Na}_3\text{PO}_4 = 5.2 \text{ ppm となる。}$$

$$\therefore \text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} = \frac{5.2 \times 24.4}{164} =$$

$$0.77 \text{ ppm}$$

ただし、

$$\text{PO}_4^{3-} = 3 + 0.77 \times \frac{95}{138}$$

$$= 3.53 \text{ ppm となる。}$$

ほかの場合も同様にして補正できる。

ここに示した数例からわかるようにボイラ水質管理に使用する薬品は、第3および第2リン酸ナトリウムを主体に、場合によっては第1リン酸ナトリウム、苛性ソーダ、リン酸を水質に応じて必要量だけ分割投入 (Split treatment) するのであるが、 SiO_2 や Cl などの不純物を含むものであってはならない。

10. 給水とボイラ水の制限目標値と実測値

いままでに述べてきたことを総合的に勘案して表2

表2 「出光丸」の給水とボイラ水の制限目標値と
18次航の実測値

水の種類	項 目	制限目標値	実 測 値	
			平常航海時	高負荷時/ 低負荷時
給	pH (25°C)	8.8~9.2	9.0	
	硬度 (C ₀ CO ₃) ppm	0	0.0	
	溶存酸素 ppm	<0.007	<0.007	
	シ リ カ ppm	<0.03	<0.01	
	全 鉄 ppm	<0.03	<0.005	
	全 銅 ppm	<0.02	<0.005	
水	ヒドラジン ppm	0.01~0.03	0.01~0.03	
	導電率 (25°C) $\mu\Omega/\text{cm}$	<5	2	
	// (カチオンスルー)	<0.5	<0.3	
ボ イ ラ 水	pH (25°C)	9.0~9.5	9.3(S)(*2) 9.25(R)	
	全固形物 ppm	<50	(*1) 7.5(S) 5(R)	
	導電率(25°C) $\mu\Omega/\text{cm}$	<100	15(S) 10(R)	
	塩素イオン ppm	<5	1.2(S) 1.0(R)	
	リン酸イオンシ ppm	2~4	2~3	2.2(S) ^(*3) 2.4
水	シ リ カ ppm	<1.5	1.0~1.5(S) 0.8~1.4(R)	2.2(S) 2.3

(注) (*1. ボイラ水中の全固形物実測値は、導電率からの計算値である。

(*2 (S) と (R) は ストレートボイラとリヒートボイラの略。

(*3 リヒートボイラのハイドアウトチェックは、高負荷時計測前に薬注をしているので除外した。

に示すような制限目標値を設定したが、同表に示すように満足な結果を得ている。また、低負荷時に対する高負荷時の濃度の変化から、リン酸イオンもシリカもまったくハイドラウトを起こしていないことが判明している。

したがって、アルカリ腐食などの心配もない。

「松寿丸」は処女航海時のボイラ水中に 5 ppm 程度のシリカが存在していたので、ボイラ内面などにマグネタイトの保護被膜を作らせる意味も含めて、1航海だけ Na/PO₄ のモル比を 3.0 よりも高いいわゆるアルカリ処理としたが、2~3航目の現状は、Na/PO₄ のモル比を 3.0 より若干低目のいわゆる低リン酸塩処理としており、シリカの低減に伴ってコンゲルメントコントロールにもっていく予定である。

11. む す び

リヒートサイクル船用蒸気動力プラントの水処理についての考え方と実施例を述べてきたが、このような好成績をあげることができたのは、船主、乗組員、造船所の関連各位がお互いに交流し合って技術の向上につとめたこと、最終的には積極的に水処理の受講までうけた乗組員スタッフの努力の賜物と考える。本船の場合には乗組員の交代が比較的少なかったので取扱面において熟練度を増し、大きな効果をあげることができたが、交代がひん繁に行なわれる船舶の場合には水質管理技術の徹底をはかっておかなければならないであろう。このようなことを考えると、分析技術の自動化が、一日も早く達成されることを祈念してやまない。

また、薬注は現在給水系統とボイラ水とに実施しているのが通例であるが、外国の一部では陸用のプラントにおいて、数年前から低圧の蒸気系にヒドラジン薬注を行ない⁽⁹⁾、復水系統の汚染低減、特に銅のピックアップの低減に役立たせている。本邦では陸用に対してもこのような対策をたてた事例を聞いたことがないが、一つの大きな今後の問題点と考えている、このほか、耐食材料の開発などなにかと問題がひそんでいるがコストも勘案のうえいちだんと努力を重ねる必要があると考える。

文 献

- (1) J. F. Preston, "Design and Commissioning of steam Turbine Installations" Presented at the Institute of Marine Engineers, London, 22 nd Oct, 1968
- (2) 武田, "船用ボイラの高圧化に伴う水処理上の問題点" 日本船用機関学会誌, 3, 187—192, (1968)
- (3) Jacklin, C, "Waterside Failures in High -Pressure Boilers A Field Survey" ASME Paper 61—WA—271; abstracted in Mlch, Eng. 84, 75—76 (1969) March.
- (4) Ravich, M. I. and Scherbakova, L. A., "Nature of the Solid Phase Which Crystallizes from Aqueous Solution of Trisodium Ortho—phosphate at High Temperatures," Izvest. Sektora Fiz—Khim. Akad. Nauk S. S. R., 26, 248—58 (1955); cited in Chem. Abstracts, 50, 3055 i (1956)
- (5) Douglas E. Noll, "Factors—That Determine Treatment for High—Pressure Boilers" Proc. Am. Power Conf. 26, 753—761 (1964)

- (6) Н. Н. Манькина, Т. А. Кириллова, "Контроль Режима Уменьшенного-осфатирования Котловой Воды" Электрические Станции, 36:38, Днвари, (1968)
- (7) L.W.X. J. A., "Boiler Water Quality Control in High-Pressure Steam Power Plants," Paper Presented at the National Power Conference, Baltimore, September 25, (1962)
- (8) Kleim, H. A., "Use of Coordinated Phosphate Treatment

to Prevent Caustic Corrosion in High Pressure Boilers," Combustion, 34, 45-52 (1962) October.

- (9) Marcy, V. M., and Halstead, S. L., "Improved Basis for Coordinated Phosphate-pH Control of Boiler Water" Combustion, 35 45-47 (1964) January.

- (10) M. Bodmer, "Feedwater Conditioning by Hydrazine Injection into the Turbine Steam" The Brown Boveri Review 54, 707-709, (1967) Oct/Nov.

〔質 疑 応 答〕

質問者

日立造船 小西龍郎

〔質問〕 Reheat 切換時に低圧タービンに発生する過渡的熱応力, 熱変形などが過大にならないようにするために, どのような運転をされているか.

〔回答〕 リヒート開始および停止の際は, 低圧タービンへの蒸気の急激な温度変化をさけるため, 一定の温度上昇率 (30分間で再熱器後の温度を210°C ~ 423°Cに上げる) または下降率

(上昇時と同じ割合) になるようリモート・ファーンエスへの燃料供給量を Control している. もっとも, この操作はだれが行なっても, 同一基準で行なえるようプログラム・コントロール化され, 乗員は単にリヒート開始ボタンまたは停止ボタンを押すだけである.

なお, 再熱器を通る蒸気流量が少ない低負荷時には, リヒート・ファーンエスへの燃料供給量の制御ができなくなるが, 燃料管制弁の制御が不十分な領域ではリヒートは開始できないような Interlock を設けている.