

船用補助ボイラの水処理の現状と信頼性向上のために 水質管理基準及びスケール成分とりん酸塩系 清缶剤の化学反応モデルの新提案

伊丹 良治*・西川 栄一**・森田 駿樹***

Present state of Water Treatment of Marine Auxiliary Boilers and Its Reliability Improvement New proposals for the boiler water quality criteria and the chemical reaction system of scale components and water treatment chemicals of phosphate/alkali type

Yoshiharu Itami*, Eiichi Nishikawa** and Toshiki Morita***

Abstract

It has been demanded more and more to improve the reliability of boiler water treatment, and also to establish the appropriate water quality control corresponding to the recent situation of actual ships.

The authors have investigated the present state of water treatment of marine low pressure boilers, and have made a new recommendation regarding criteria and monitoring for water quality control, which have been accepted by the Boiler Subcommittee of JIME Energy Systems Committee. In order to improve the reliability of boiler water control, the experimental investigations have been carried out on the influence of sea water mixing on boiler water quality. This paper describes the experimental results, which reveal that a new model should be proposed regarding the chemical reaction system of scale components and water treatment chemicals of phosphate/alkali type. The paper describes further the other experimental investigations carried out for the development of an automatic boiler water quality control.

1. はじめに

現在、船用の補助ボイラは発展途上国の船員によって管理され、また支援システムについても有効に活用できない場合が多く、特に水処理に関しての知識及び認識不足から適正な保守が成されない場合が見受けられる。ボイラ本体については、船舶では据え付け面積の少ないボイラが求められることによって高性能、コンパクトなボイラが要求され、伝熱面蒸発率も高い。水質管理基準値については、船用ボイラでは産業用ボイラの水質基準値 JISB8223 を参考にそれぞれの船会社、薬品メーカー、ボイ

ラメーカーで設けられた水質管理基準値を、ボイラ研究小委員会（日本船用機関学会、エネルギーシステム研究委員会）によって取りまとめられ、実船の条件に合わせた値として、その推奨値（ターゲットバリュー）が提案されている。

このような、船用ボイラの水質管理に関わる現状を調査するとともに、信頼性向上のために、特に遅れている水処理の自動化を念頭において、混入した海水によるボイラ水の水質の変化を調査し、その結果としてスケール成分とりん酸塩系清缶剤の化学反応モデルの新提案を行った。このような、ここ数年行ってきた調査研究につい

* 海技大学校

** 神戸商船大学

*** 弓削商船高等専門学校

て報告する。

2. 低圧船用ボイラ (補助ボイラ) の水処理の現状と水質管理基準値

水処理に起因する事故は、非常時に起こる混入海水などによって二次損傷を誘発するものと、水処理の認識不足などによって生じる経年的に現れる腐食、スケール付着などに大別できる。前者の対応には敏感であっても、重大事故につながるおそれのある後者に対して比較的鈍感であり、特に補助ボイラでその傾向が見受けられる⁽¹⁾。また、補助ボイラのコンパクト化、水処理薬品の多様化などハード面はかなり進歩してきているが、外航船舶の乗組員の急激な変化などによって、ボイラ水処理の知識などソフト面での対応が後退してきている。そこで補助ボイラの水処理の現状を整理するとともに、その水処理の基準値について記す。

2.1 水処理の現状

補助ボイラ (ディーゼル船のボイラ) は大別すると大型タンカーで1.57~2.65MPaの水管ボイラが、他の船舶においては0.59~0.88MPaの水管ボイラ及び丸ボイラなどが使用される。また、その圧力 (伝熱面蒸発率、補給水の種類) に応じた水質基準値のもとで清缶剤、スラッジ分散剤及び脱酸素剤が使い分けられている。一般に外航船では、補給水は造水器からの蒸留水が採用され、内航船では、用水を軟水処理した軟化水が採用されるが、用水又は飲料水を直接使用することもある。造水器の蒸留水は浸管型真空一段効果式で塩分濃度計 (4mg/l まで保証) で2mg/l程度、フラッシュ式で1mg/l程度に保持される。給水は95~98%程度が回収された復水 pH8~9で、補給水である蒸留水は2~5%程度である。復水から混入される油分、鉄分などはカスケードタンクなどによって前処理される。

ボイラ研究小委員会のアンケート調査⁽²⁾によれば、復水の水質測定項目は、外航船の大型タンカーでは pH、塩化物イオン、残留ヒドラジン、電気伝導率が測定され、大型タンカー以外では pH、塩化物イオンの濃度が測定されているが、何も測定していないという回答も41%を占めている。また、内航船では硬度だけが測定されているが、何も測定していないという回答が全体の33%を占める。コンデンサー出口、ドレンクーラ出口又は給水ポンプ入口に塩分濃度計 (検塩計) が装備される場合もあるが、混入海水に対する目安程度のもので信頼性は低い。ボイラ水の水質測定項目は、大型タンカー以外に搭載するボイラでは、pH、りん酸イオン、塩化物イオン、Pアルカリ度 (酸消費量 pH8.3)、Mアルカリ度 (酸消費量 pH4.8) が測定され、大型タンカーでは、さらに電気伝導率、残留ヒドラジンが加えられる。両者の大きな違いは、大型タンカーに搭載するボイラでは、ヒドラジン系

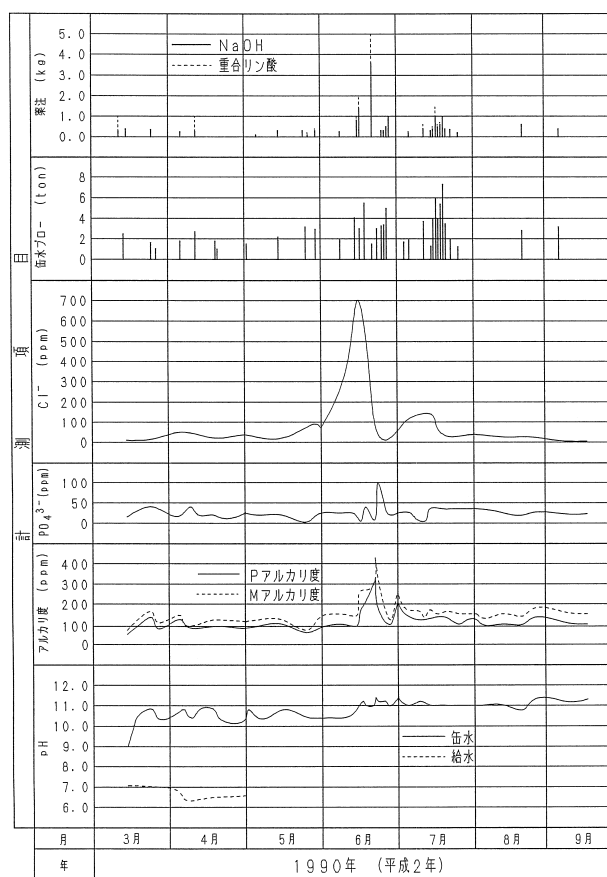


図1 実船の水質管理データ

脱酸素剤が定量連続注入され、溶存酸素による腐食に対処していることであるが、脱気器採用の例はない。

これらの水質測定作業及びボイラ水ブローを含めた水質管理は、外航船では6~10日ごとに、内航船では1~2日ごとに、乗組員によって行われる。また、ブローの基準は大型タンカーに搭載するボイラで塩化物イオンは20mg/l未滿、その他の外航船で20~50mg/l、内航船では50~100mg/lを目安としている。使用する清缶剤はりん酸塩系アルカリ清缶剤で、一液性清浄剤を使用するような混合注入方式が主流になっている。また、ボイラ水処理に起因するトラブルは、外航船では、①溶存酸素による腐食、②混入海水による塩化物イオン濃度の上昇、③用水を補給水として直接使用したため生じたボイラ水処理の不具合、などが報告され、内航船では、①溶存酸素による赤さびの発生、②スケール障害、③復水系の腐食、などが報告されている。

図1は、実船でのボイラ水管理データを示すが、混入海水によってかなりの復旧作業を要している。

2.2 水質管理基準値

船用ボイラの水質管理基準値は、ボイラメーカー、薬品メーカー、船会社それぞれの見方があるため、現在まで統一された値はない。補助ボイラに対しては、ほとんどの会社が JISB8223規格に準じた水質管理基準値を推奨して

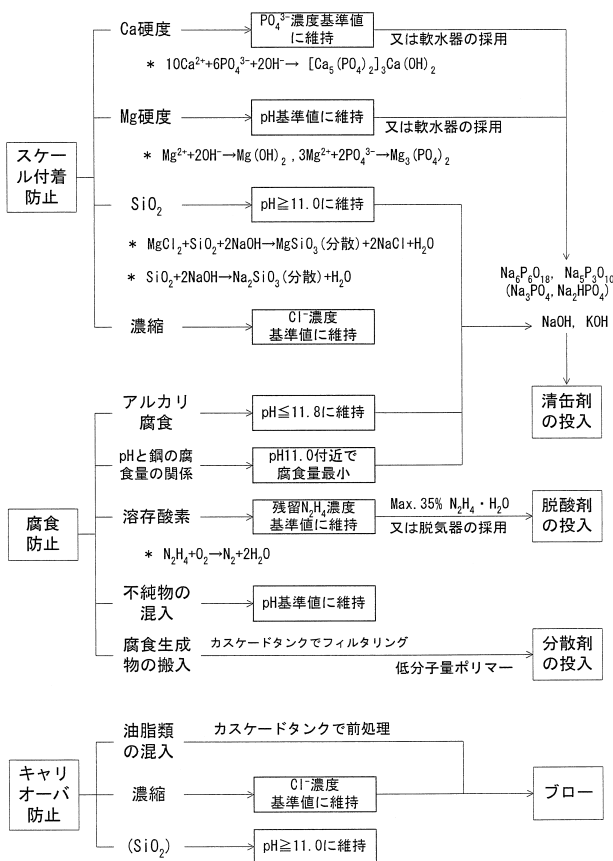


図2 補助ボイラの水質管理の概要

いる。一部の会社では独自の基準値を設けているが、1995年に薬品会社として初めて栗田工業会社が船用ボイラの水質管理基準値を設けた。しかし、こうした管理基準は、個々に採用される薬品及び管理の方法に応じて、それぞれ独自の値を採用した方が適切な場合もある。外航船での急激な乗組員の変化、補助ボイラのコンパクト化、多目的一液性清浄剤の採用などによるヒューマンエラーから生じる事故を回避するために、実船条件に合わせた船用ボイラの水質管理基準値を明確に示すことが必要になっている。そこでボイラ研究小委員会では、ここ数年船用補助ボイラの水処理について調査研究⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾を行い、その成果として水質管理基準値を提案したので、表1にその値を示す。

表1は、現在船舶で採用されている水質管理基準値の代表値（栗田工業株式会社⁽⁵⁾、大阪商船三井船舶会社、日本郵船会社⁽⁶⁾、三菱重工業会社及びJISB8233規格の水質管理基準値）とボイラ研究小委員会のアンケートによる実船での測定項目とその管理基準値を参考にするとともに、図2に示すような、現在考えられている補助ボイラの水質管理の概要をもとにして検討された。そして、新造、又はボイラ運転再開時といった非定常時も配慮し、船用補助ボイラが安全に運転されるために最低限必要である管理項目と実船に合わせた水質管理基準値を提案した。

表1 船用補助ボイラの水質管理基準値

区分	圧	力	1 MPa 未満	1 MPa 未満	1 ~ 2 MPa	2 ~ 3 MPa
	補給	水	原水・軟化水		蒸留水	
給水	pH		7 ~ 9		7 ~ 9.2	
	硬度	mg CaCO ₃ /l	連続監視(1)		-	
	塩分濃度(電気伝導率)		必要各所の連続監視			
	油 脂 類		オブザーベーションタンクまたはカスケードタンクで監視			
	鉄		非定常時の監視(0.3 ; 安定状態に至るまで)			
ボイラ水	処理方式		アルカリ処理	アルカリ処理	アルカリ処理	アルカリ処理
	pH		11.0 ~ 11.8	10.5 ~ 11.5	10.3 ~ 11.5	10.0 ~ 11.0
	酸消費量 (pH 8.3)		適宜	-	-	-
	酸消費量 (pH 4.8)		適宜	-	-	-
	塩化物イオン		100以下	50以下	20以下	10以下
	りん酸イオン		20 ~ 100	20 ~ 40	10 ~ 40	10 ~ 30
	残留ヒドラジン		0.1 ~ 1.0	0.1 ~ 1.0	0.1 ~ 1.0	0.1 ~ 1.0
シリカ		-	-	-	10以下	

3. スケール成分とりん酸塩系清缶剤の化学反応モデルの新提案

外航船に搭載されるボイラの補給水は、造水器で作られた蒸留水が使用される。図3は2隻の外航船舶から採取した造水器のブライン(海水)と蒸留水の成分の関係を示す。図3から明らかなように、シリカを除けばほとんどの成分は比例関係にあり、蒸留水(補給水)中の硬度成分はカルシウムよりマグネシウムが多く含まれる。したがってコンデンサーなどからの海水混入という場合のほかにも、外航船のボイラの給水及びボイラ水管理においては、海水成分、特にマグネシウムの挙動を正確に把握することが重要である。そこで、マグネシウムの挙動を調査するとともに、その調査結果を基に、マグネシウムと清缶剤の反応モデルの新提案を行った。なお、日本の工業用水中の硬度成分はマグネシウムよりカルシウムが多く、どちらかといえば産業用ボイラではカルシウムとシリカが問題となっている。

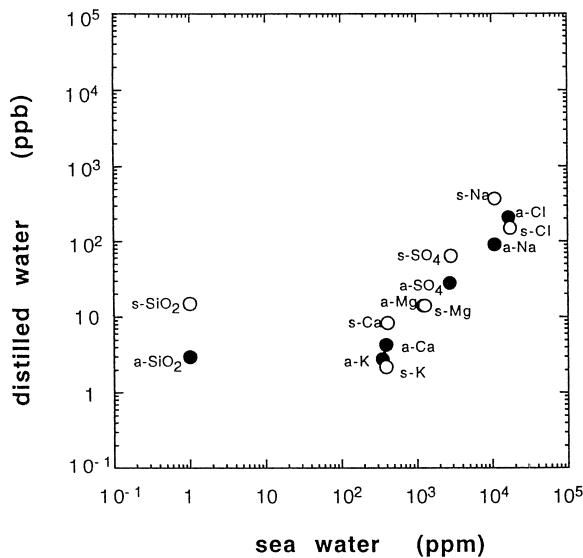


図3 ブラインと蒸留水の成分の関係

3.1 低圧ボイラ水中におけるマグネシウムの挙動

ボイラ水中におけるマグネシウムの挙動は、カルシウムに比べ明らかにされていないことが多い。船用低圧ボイラ水中におけるマグネシウムの挙動を調査するために、一般に採用されている水質管理基準値と同程度の基準溶液を作成して、オートクレーブで昇温昇圧実験を行い、反応前後の溶液の分析からその生成懸濁物を推定した⁽⁷⁾。表2は実験で使用した薬品と目的を示す。これら実験の分析結果から生成懸濁物は $Mg_3(PO_4)_2 \cdot Mg(OH)_2$ 、

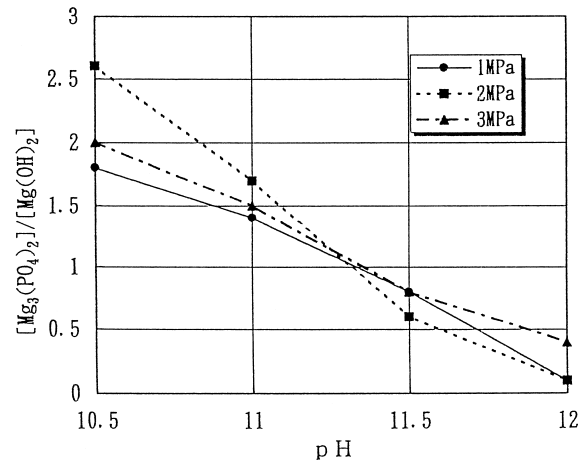


図4 $Mg_3(PO_4)_2$ と $Mg(OH)_2$ のモル比 n の pH による変化 (磷酸イオン濃度20ppm)

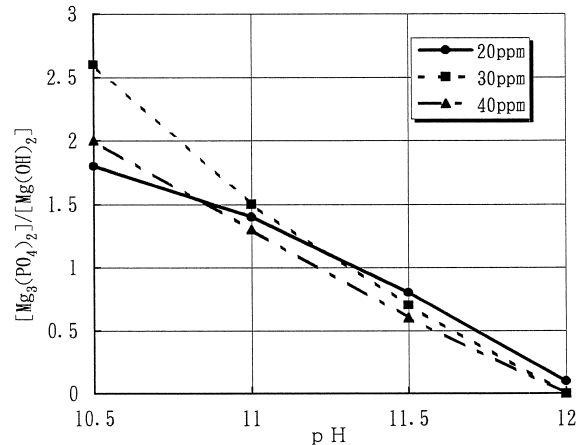


図5 $Mg_3(PO_4)_2$ と $Mg(OH)_2$ のモル比 n の pH による変化 (圧力1MPa)

$Mg(OH)_2$ 又は $Mg_3(PO_4)_2(OH)$ のような化合物になると推定でき、これらを総括して $[Mg_3(PO_4)_2]_n \cdot Mg(OH)_2$ と考え、 $Mg(OH)_2$ に対する $Mg_3(PO_4)_2$ のモル比 n を求めた。得られた結果は以下のである。

- ① 従来の化学反応モデルでは、マグネシウムはほとんど $Mg(OH)_2$ になると考えられていたが、実際には一部は PO_4^{3-} と反応して $Mg_3(PO_4)_2$ が生成されることがわかった。その場合、図4、図5に示すように、 $Mg(OH)_2$ に対する $Mg_3(PO_4)_2$ のモル比 n は、補助ボイラで使用する圧力の範囲下でりん酸イオン濃度及び反応温度にはほとんど影響されず、pHの低下とともに上昇する。本実験では、pH12.0では $n=0$ 、pH10.5付近では $n=2$ 前後となっていた。
- ② 給水中にマグネシウム成分に対して SiO_2 がある程度

表2 使用薬品と目的

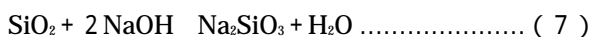
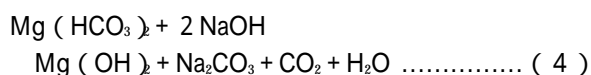
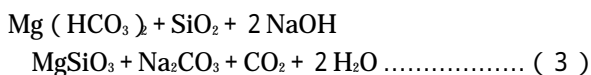
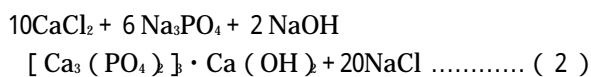
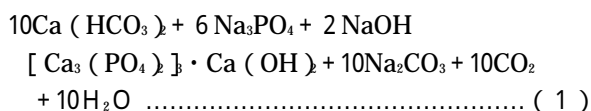
目的	PO_4^{3-} 濃度調節	pH調整剤	Mg 硬度	SiO_2
使用薬品	$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	NaOH	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	$Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$

存在すれば、MgSiO₃ が形成され、その量は SiO₂ の増加とともに増す。また、残りのマグネシウムは①に述べたのと同様の反応によって、[Mg₃(PO₄)₂]_n・Mg(OH)₂ のような形態になると推測され、pH 及びりん酸イオンの濃度を減少させる。

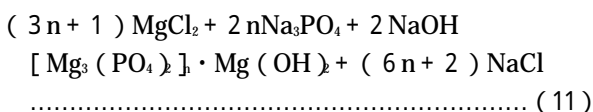
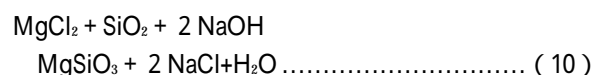
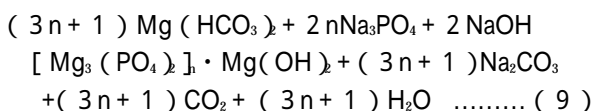
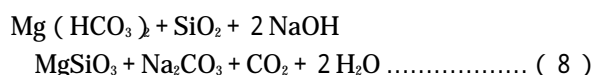
この実験⁷⁾を行う前に、マグネシウムと清缶剤から生じた懸濁物をろ過し X 線回析を行ったが、明確なスペクトルは得られなかった。おそらく、この反応生成物が非結晶の物質であるためで、マグネシウムの挙動があまり明確にされていない理由は、このようなことも原因しているものと思われる。これらの実験結果によって、従来の化学反応モデルの限界が明らかになり、マグネシウムの挙動のおおよそを明らかにすることができた。

3.2 スケール成分とりん酸塩系清缶剤の化学反応モデルの新提案 (従来の化学反応モデルとの比較)

従来から採用されてきたスケール成分とりん酸塩系清缶剤との化学反応モデル⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾を式(1)~式(7)に記す。



この実験結果⁷⁾から得られた新しい化学反応モデルを式(8)~式(11)に記す。従来の化学反応モデルとの相違はマグネシウムに対する化学反応式で、式(3)~式(6)が式(8)~式(11)に変わるものである。化学式中の n 値は pH がパラメータとなり、pH12.0で n = 0、pH10.5付近で n = 2 前後、pH11.0~pH11.5では n = 1 前後であった。



4. 混入海水によるボイラ水質の変化とボイラ水処理の自動化 (スケール成分とりん酸塩系清缶剤の化学反応モデルの新提案の論証)

ボイラの自動化は急激に進んでいるが、水処理の分野はいまだ立ち遅れている。産業用ボイラにおける水処理自動化の現状に関する報告⁽¹¹⁾によると、その必要性が述べられているものの、丸ボイラ及び低圧水管ボイラについては、まだほとんど自動化は進んでいない。船用ボイラではドリユーアメロイド会社(アシュランド会社)などで自動化機器の開発が進められているものの、普及は産業用以上に遅れている。水処理の自動化が遅れている背景には、ボイラ水質の変化が把握しにくいことも一つの原因として挙げられよう。そこで、船用ボイラの給水及びボイラ水の水管理の自動化に対応すべく、最も問題となる混入海水をシミュレートした実缶実験を行い、ボイラ水の pH、りん酸イオンの濃度、塩化物イオンの濃度(又は電気伝導率)の変化を調べる。また、スケール成分とりん酸塩系清缶剤の化学反応モデルの新提案を論証するために、理論値の概算方法を提示し、その理論値と測定値を比較検討する。次いで、それらの結果を基に、pH、電気伝導率のモニタリングによるボイラ水処理の自動化の可能性について考察を加える。

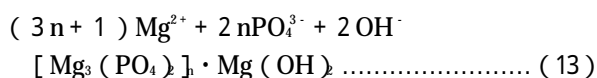
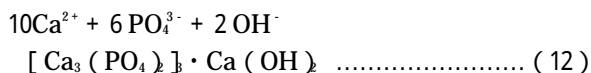
4.1 混入海水によるボイラ水質の理論値の概算方法

表3は実験に用いた混入海水の成分を示すが、海水中

表3 混入海水の成分

電気伝導率 mS/m	4 870	Cl ⁻ mg/l	17 500
pH (at 20)	7.8	SiO ₂ mg/l	1.0>
Ca ²⁺ mg/l	358	SO ₄ ²⁻ mg/l	1 950
Mg ²⁺ mg/l	1 260	酸消費量 (pH4.8) mgCaCO ₃ /l	105
Na ⁺ mg/l	10 200	全無機炭素 mg/l	72.8
K ⁺ mg/l	370	SG	1.026

のシリカの濃度は硬度成分に比べて非常に小さいので、前項で記した新しい化学反応モデルの式(8)及び式(10)を無視しても精度上問題ない。したがって混入海水の化学反応式は、式(1)、式(2)、式(9)、式(11)で表される。そこで、混入海水によるボイラ水のpH、りん酸イオンの濃度、電気伝導率の変化、理論概算値を求めるために、これらの化学反応式を式(12)及び式(13)に集約して考える。



反応式中のnの値は、実缶実験でボイラ水のpHを11.0~11.5に保持したためn=1とする。この場合、化学反応式とイオン反応式では、混入海水によって消費するPA(酸消費量pH8.3)、すなわちpH(OH⁻)の変化が異なるので、それぞれの反応式におけるPAの消費量を算出し、その相関係数を式(14)に記した。なお係数の算出方法については、船用機関学会誌⁽¹²⁾に記載したので、ここでは割愛する。

$$\text{PA}_c/\text{PA}_i = 2864/1384 = 2.069 \quad (14)$$

ここで、PA_c；化学反応式から求めたPA、PA_i；イオン反応式から求めたPA、とする。なおpH(OH⁻)とPAは相関は非常に高いので、混入海水による[OH⁻]モル濃度の消費量に式(14)の係数を乗じ、pH消費の近似値とする。また、Ca、Mg、PO₄、OHの化学式量は、それぞれ40.08、24.305、94.97、17.007とする。式(12)式(13)では、1mgCa/l当たりPO₄³⁻を1.422mg/l(1.50×10⁻⁵mol/l)、OH⁻を0.085mg/l(5.00×10⁻⁶mol/l)消費する。また、1mgMg/l当たりPO₄³⁻を1.954mg/l(2.06×10⁻⁵mol/l)、OH⁻を0.350mg/l(2.06×10⁻⁵mol/l)消費する。

25における各物質の電気伝導率K²⁵は式(15)によって記される。

$$K^{25} = \sum (n_i \cdot \lambda n_i^{25}) \quad (15)$$

ここで、n_i：物質のmg/l濃度、λn_i²⁵：25の物質1mg/l当たりの電気伝導率(Ca²⁺；2.98μS/cm、Mg²⁺；4.39μS/cm、PO₄³⁻；2.18μS/cm、OH⁻；11.66μS/cm)である。

このことから、混入海水(表3)によるボイラ水の水質の理論変化は次のようになる。

4.1.1 塩化物イオンの濃度

$$\text{CL} = \text{Cl}_s \cdot a = 17500 \cdot a \quad (16)$$

ここで、CL：ボイラ水の塩化物イオンの濃度、Cl_s：混入海水の塩化物イオンの濃度、a：ボイラ水の保有水量に対する混入海水の比、とする。

4.1.2 pH

$$\begin{aligned} [\text{OH}^-] &= [\text{OH}^-]_0 - ([\text{OH}^-]_{12} + [\text{OH}^-]_{13}) \cdot \text{PA}_c/\text{PA}_i \\ &= [\text{OH}^-]_0 - (5.00 \times 10^{-6} \times 358 \\ &\quad + 2.06 \times 10^{-5} \times 1260) \times 2.069 \cdot a \\ &= [\text{OH}^-]_0 - 0.0574 \cdot a \quad (17) \end{aligned}$$

$$\text{pH} = \log_{10} [\text{OH}^-] - \log_{10} K_w \quad (18)$$

ここで、[OH⁻]₀：混入海水前の[OH⁻]、[OH⁻]₁₂：式(12)の析出反応によって消費される[OH⁻]、[OH⁻]₁₃：式(13)の析出反応によって消費される[OH⁻]、K_w：水のイオン積、とする。

4.1.3 りん酸イオンの濃度

$$\begin{aligned} \text{PO} &= \text{PO}_0 - (\text{PO}_{12} + \text{PO}_{13}) \\ &= 94970 \cdot K_1 \cdot [\text{OH}^-]_0 - \\ &\quad (358 \times 1.422 + 1260 \times 1.954) \cdot a \\ &= 94970 \cdot K_1 \cdot [\text{OH}^-]_0 - 2971 \cdot a \quad (19) \end{aligned}$$

PO₀；海水が混入する前のりん酸イオンの濃度(mg/l)、PO₁₂；式(12)の析出反応によって消費されるりん酸イオンの濃度(mg/l)、PO₁₃；式(13)の析出反応により消費されるりん酸イオンの濃度(mg/l)、K₁；採用清缶剤のモル比PO₄/OH、とする。

4.1.4 電気伝導率

$$\begin{aligned} \text{EC} &= \text{EC}_0 + \text{EC}_s - (\text{EC}_{12} + \text{EC}_{13}) \\ &= \text{EC}_0 + \text{EC}_s - (\text{EC}_{\text{Ca}} + \text{EC}_{\text{Mg}} + \text{EC}_{\text{PO}} + \text{EC}_{\text{OH}}) \cdot a \\ &= \text{EC}_0 + 48700 \cdot a - \{2.98 \cdot \text{Ca}_s + 4.39 \cdot \text{Mg}_s \\ &\quad + 2.18 \cdot (1.422 \cdot \text{Ca}_s + 1.954 \cdot \text{Mg}_s) \\ &\quad + 11.66 \cdot (0.085 \cdot \text{Ca}_s + 0.350 \cdot \text{Mg}_s)\} \cdot a \\ &= \text{EC}_0 + 48700 \cdot a - (7.07 \cdot \text{Ca}_s + 12.73 \cdot \text{Mg}_s) \cdot a \\ &= \text{EC}_0 + 30129 \cdot a \quad (20) \end{aligned}$$

ここで、EC；ボイラ水の電気伝導率、EC₀；混入海水前の電気伝導率、EC_s；混入海水によって上昇する電気伝導率、EC₁₂；式(12)の析出反応によって減少する電気伝導率、EC₁₃；式(13)の析出反応によって減少する電気伝導率、EC_{Ca}、EC_{Mg}、EC_{PO}、EC_{OH}；式(12)式(13)の析出反応によって減少する各物質の電気伝導率、Ca_s；海水のカルシウムの濃度(mg/l)、Mg_s；海水のマグネシウムの濃度(mg/l)、とする。

4.2 混入海水によるボイラ水質の測定値と理論値(従来の化学反応モデルと新しい化学反応モデルの比較)

図6は混入した海水をシミュレートした実験の過程に、流通形センサー(pH、EC)又は卓上形センサー(CL、PO₄)の水質測定値のデータと、前述した新しい化学反応モデルと従来の化学反応モデルから求めた理論概算値を加えたものである。図から明らかなように、実験過程における理論概算値と測定値の傾向はほぼ一致しており、

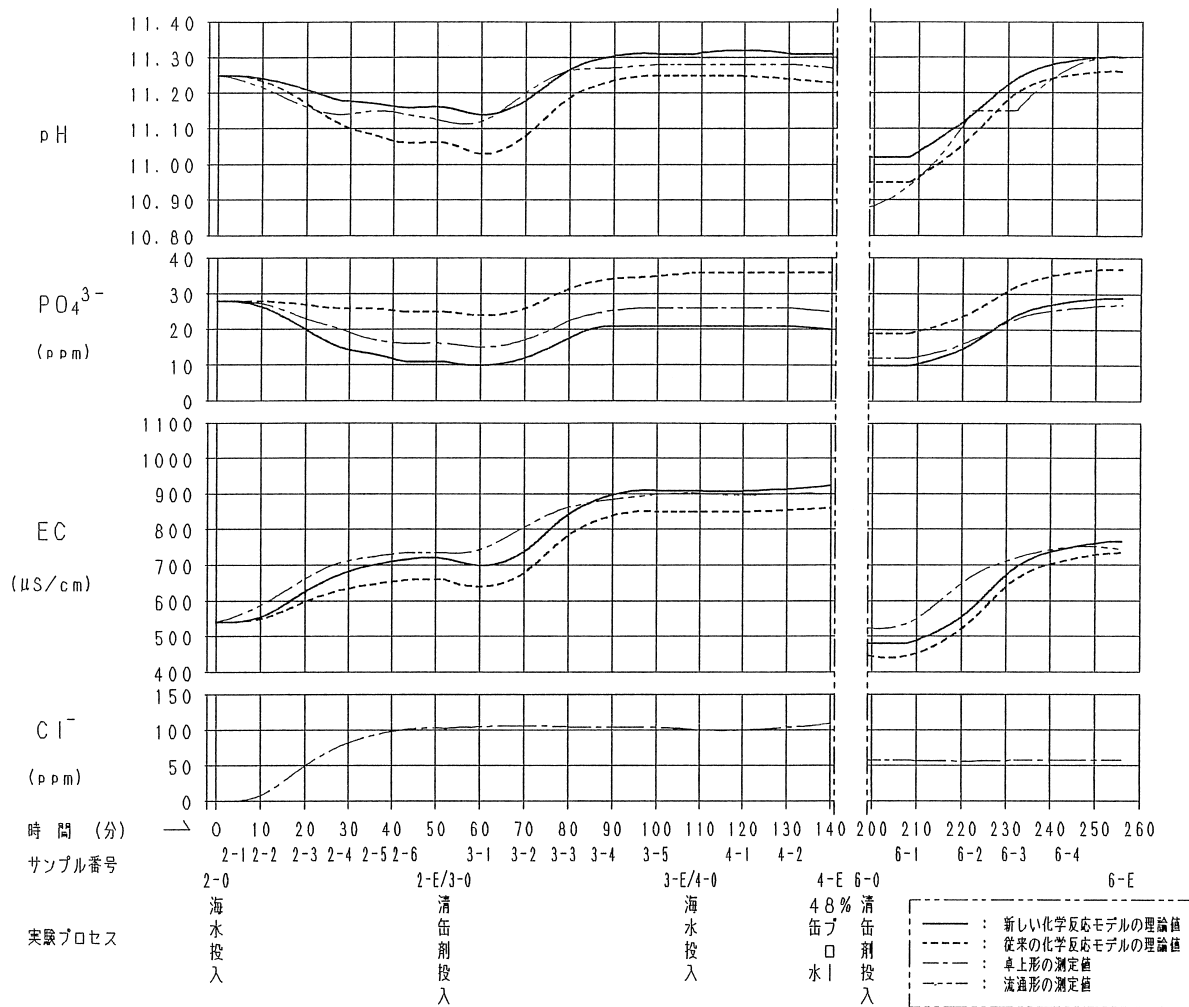


図6 実験過程における理論値と測定値の関係

新しい化学反応モデルから求めた理論概算値は従来の化学反応モデルから求めたそれと比べ、各水質測定値に対してより近い値になっている。したがって、従来マグネシウムはほとんど $Mg(OH)_2$ になると考えられていたが、実際には一部は PO_4^{3-} と反応して $Mg_3(PO_4)_2$ が生成されることが立証された。

4.3 シリカ存在下のボイラ水質の理論値

水質管理基準値に保たれたボイラ水中に硬度成分と SiO_2 がある程度存在すれば、ボイラ水中での化学反応は式(1)、式(2)、式(8)、式(10)で表される。このようにマグネシウムは $MgSiO_3$ としてボイラ水中に分散され、その量は SiO_2 の増加とともに増し OH^- を消費させる⁽⁷⁾。したがって、シリカ存在下のボイラ水質の理論概算値は、従来の化学反応モデルから求められる理論概算値と同じ値となり、その概算方法は、前記した新しい化学反応モデルに準じた方法で求められる⁽¹²⁾。次いで残りのマグネシウムは式(9)式(11)の化学反応によって、 $[Mg_3(PO_4)_2] \cdot Mg(OH)_2$ のような形態になると推測され、pH 及びりん酸イオンの濃度を減少させる。したがって、反応生成物である $MgSiO_3$ と $[Mg_3(PO_4)_2] \cdot Mg$

$(OH)_2$ のモル比は給水中の Mg に対する SiO_2 の混入比により決定されると考えられる。

4.4 ボイラ水処理の自動化について

ボイラ水処理の自動化のために現在使用できる水質センサーは、信頼性、メンテナンス及びコストを考慮すれば、pH 計と電気伝導率計だけであろう。この pH と電気伝導率モニタリングによる補助ボイラのボイラ水処理の自動化を試みるとき、これらの実験⁽⁷⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾によって、以下のようなことが分かった。

- ① 硬度成分とシリカが共存するボイラ水中において、pH でりん酸イオンの濃度を管理することは難しいので、りん酸塩系清缶剤を使用するならばりん酸イオンの濃度の定期的な測定を必要とする。
- ② 完全自動化を考えるならば、前処理装置(軟水装置、純水装置等のイオン交換装置など)を採用してあらかじめ硬度成分を除去し、清缶剤はアルカリ清缶剤(NaOH)を使用してシリカを水溶性にする。
- ③ ボイラ水の濃縮度は電気伝導率モニタリングによって、薬品注入制御は pH モニタリングによって管理するものとし、その場合、流動電位の変化による誤差を考慮

して、サンプリング水流量を適切に調節する。

5. おわりに

この数年、船用補助ボイラの水処理の信頼性向上のために、特に遅れている水処理の自動化を念頭において調査研究を進めてきた。その成果として、スケール成分とリン酸塩系清缶剤の化学反応モデルの新提案をし、これによって混入海水による水質の変化、pH、リン酸イオンの濃度及び電気伝導率(塩化物イオン)のおおよそは、理論値の概算方法によって把握できることが分かった。混入海水によるボイラ水質の変化を予測することは、船用ボイラ取扱者にとって重要な事項の一つであろう。また、シリカ存在下のボイラ水質の変化についても、一連の理論値を求めるためには、給水中の硬度成分に対するシリカの混入比が必要であることもわかった。これらのことから、水処理の完全自動化を成功させるためには、現在の補助ボイラの水処理が薬品主体で行われているところを、装置による方法と併用することが必要であるとともに、pH センサーが制御目的で利用できるような、今以上に信頼性の高いものが要求される。

また、ボイラ研究小委員会によって実船に合わせた水質管理基準値を提案できたことは、今後の船用ボイラの水処理におけるヒューマンエラーなどによる事故を回避するために、非常に有益であったと思われる。

最後に、これらの調査研究が今後の船用ボイラの水質処理の自動化に貢献できるとともに、水質管理の安全性、信頼性の向上に寄与できることを期待する。

文 献

- (1) 伊丹・西川・梅田, 船機誌, 29 - 2, (1994), 193.
- (2) 伊丹・西川・梅田, 船機誌, 30 - 12, (1995), 870.
- (3) 伊丹・西川・梅田, 船機誌, 32 - 4, (1997), 278 ~ 284.
- (4) MESJ エネルギーシステム研究委員会, 研究会報告, No. 284, (1995).
- (5) 栗田工業編, 薬品ハンドブック第3版, (1995), 520.
- (6) 日本郵船機関長会編, 船用機関, 第57号, (1996), 97.
- (7) 伊丹・西川・梅田, 船機誌, 33 - 10, (1998), 759 ~ 763.
- (8) 薬品ハンドブック, 栗田工業編, (1988), 66.
- (9) ボイラーの水管理・基礎と実際, 日本ボイラ協会編, (1984), 245.
- (10) James W. McCoy, The Chemical Treatment of Boiler Water, Edited by Chemical Publishing Co. New York, (1984), 17.
- (11) ボイラ研究, 日本ボイラ協会誌, No. 251, (1992 -

2).

(12) 伊丹・西川・梅田・金子, 船機誌, 30 - 5, (1995), 405 ~ 411.

(13) 伊丹・西川・梅田, 船機誌, 28 - 6, (1993), 356 ~ 365.