



社 団 法 人

日本造船研究協會報告

第 55 号

昭 和 40 年 12 月

舶用ボイラの給水処理の自動制御に関する研究 第66研究部会

Researches concerning Automatic Control Systems for
Treatment of Feed Water for Marine Boiler

.....The 66 th Research Committee

The Report
of the
Shipbuilding Research Association
of Japan
Tokyo, Japan
NO. 55
December, 1965

第 66 研究部会委員名簿

部会長	金森政雄		
幹事	福永靖夫	吉井徹	
委員	井上治一郎 小笠一郎 工藤良夫 鈴木勝利 松本和夫 田井虎一 為季賢治 中西敏一 浜野清彦 宮崎義夫 脇川忠彦	岡本連 笠間義郎 久米孝男 鈴木三郎 杉山兼章 高木勝美 富田幸雄 西岡正美 福井三郎 矢敷百合太郎 脇本励	小関成太郎 菊池義次 児島康夫 鈴木弘行 瀬尾正雄 田嶋忠志 豊福進 橋本芳三 三沢禎 吉田和夫 渡辺清

Membership of the 66th Research Committee

Chairman	Masao KANAMORI		
Secretaries	Yasuo HUKUNAGA	Tōru YOSII	
Members	Ziitirō INOUE Itirō OZASA Yosio KUDŌ Katutosi SUZUKI Kazuo MATUMOTO Toraiti TAI Kenzi TAMEKI Tosiiti NAKANISI Kiyo hiko HAMANO Yosio MIYAZAKI Tadahiko WAKIGAWA	Murazi OKAMOTO Yosirō KASAMA Takao KUME Saburō SUZUKI Kaneaki SUGIYAMA Katuyosi TAKAGI Yukio TOMITA Masayosi NISIOKA Saburō HUKUI Yuritarō YASIKI Hagemu WAKIMOTO	Seitarō OZEKI Yositugu KIKUTI Yasuo KOZIMA Hiroyuki SUZUKI Masao SEO Tadayosi TAZIMA Susumu TOYOHUKU Yosizo HASIMOTO Tei MISAWA Kazuo YOSIDA Kiyosi WATANABE

Researches concerning Automatic Control Systems for Treatment of Feed Water for Marine Boiler

1. Introduction

With the research subject 'Researches concerning Automatic Control Systems for Treatment of Feed Water for Marine Boiler', the 66th Research Committee was set up in the Shipbuilding Research Association of Japan in April, 1963, and the subject research was performed in a series of the researches concerning automatic control systems for treatment of boiler water for marine boiler which had been equipped at both laboratories at the Head Office and the Nagasaki Works of the Mitsubishi Shipbuilding & Engineering Co., Ltd. during the 1962 fiscal year. This research was mainly aimed at obtaining the fundamental and practical data concerning the automatic control system for treatment of pH in feed water of the marine boiler and concurrently at establishing the countermeasure against sea water leakage into the feed water system.

2. Test Equipment

2.1. Testing Apparatus

The test boiler used in the above research was equipped with the deaerator, the heater, etc. on the feed water line for simulating the feed water system of marine boiler. The systematic diagram of this testing apparatus is shown in Fig. 2-1.

2.2. Automatic Control System

The automatic pH control equipment of feed water as shown in Fig. 2-2 was tentatively manufactured and was fitted on the testing apparatus shown in Fig. 2-1 for the automatic pH control test in feed water. The control method adopted for this test was the cascade control system, in which pH in feed water was controlled by two control media of pH conditioning chemical and feed water flow.

3. The Contents of Subject Research

This research consisted of three tests as described below.

3.1. Automatic Control Test for Boiler Feed Water

3.1.1. Mass-balance Test

It was decided to use, in this test, hydrazine as the pH conditioning chemical and concurrently as an oxygen remover. But hydrazine goes to thermal decomposition in the 20kg/cm² class and over boilers, and creates volatile-alkaline ammonium, then such volatile-alkaline ammonium enters with steam into both the condensate system and the feed water

system thereby causing an increase of pH value in these systems; and this makes pH control in feed water difficult according to the quantity of hydrazine charge. Further, since both hydrazine and ammonium are volatile matter, their atmospheric diffusion at the condenser and at the deaerator is assumable. Therefore, mass-balance and action of these volatile matters were confirmed by using the testing apparatus shown in Fig. 2-1, the results of this confirmation test served as the data for determination of the hydrazine charging points and method including selection of the concentration of hydrazine.

3.1.2. Selection of pH Detecting Positions & Conditioning Chemical in Feed Water

In the automatic pH control in feed water, the control effect depends on the relative location of the pH detecting positions and the pH conditioning chemical charging positions. Therefore, both the hydrazine charging nozzles and the pH detecting nozzles were fitted respectively near the outlet of the condenser, before and behind the deaerator on the testing apparatus in an attempt to determine these positions most suitable for this automatic control system.

3.1.3. Test of Automatic pH Control System of Feed Water

This test was carried out in the experimental pursuit of the automatic pH control method of feed water as best-suited to the marine boiler based on the cascade control system (See Fig. 2-2) as mentioned in paragraph 3.3.

3.1.4. Performance Test of Automatic pH Control Testing Apparatus

The optimum conditions for automatic pH control were selected from the results of foregoing tests, and on these selected conditions the long-run performance test of the automatic pH control testing apparatus was carried out to confirm the practicability of this testing apparatus.

3.2. Countermeasure against Sea Water Leakage

Sea water leakage into the boiler feed water line was simulated in the testing apparatus and the controlling conditions of PO_4^{3-} and dissolved solids in boiler water were confirmed with varied concentrations of sea water in boiler feed water, and the results of this test served as the data for establishing the countermeasure against sea water leakage in the actual boiler.

4. Conclusion

It may be concluded as follows from the results of foregoing research.

4.1 Use of hydrazine as pH conditioning chemical in feed water and concurrently as an oxygen remover causes no hindrance to automatic control for treatment of boiler water in marine boiler.

4.2 Loss of ammonium at the deaerator is almost negligible in the case of deaerator temperature being 150 °C or less.

- 4.3 Consumption of hydrazine in the boiler system is considerably large in the early stage, therefore, a rather high concentration of hydrazine in proportion to feed water flow should be charged through the hydrazine charging nozzle fitted near the outlet of the condensate pump, and after pH in feed water has settled in the proximity of the lower limit of the aimed control value, automatic pH control should be started.
- 4.4 Detecting positions of pH in feed water should be located where even mixture of charged chemical is obtainable and time lag in detection can be minimized, between chemical charging point and joining point of bypass line.
- 4.5 Charging point of conditioning chemical for automatic pH control in feed water should be positioned near the outlet of condensate pump.
- 4.6 Performance of automatic pH control equipment tentatively manufactured has been proved generally good and is considered well serviceable in actual ship.
- 4.7 Even in case of approximate, $30\mu v$ sea water leakage into boiler feed water, it is considered possible to prevent a noxious scale formation by means of automatic control of PO_4^{3-} in boiler water, but as dissolved solid in boiler water becomes excessively high in this case, a proper alarm system with sea water leakage limited to around $10\mu v$ should be provided to immediately detect an excessive sea water leakage thereby allowing to take appropriate preventive measures as promptly as possible.

船用ボイラの給水処理の自動制御に関する研究

目 次

第1章 目的	(1)
第2章 実験装置	(2)
2.1 モデルプラント	(2)
2.2 給水 pH 自動制御装置	(3)
第3章 試験研究の内容	(4)
3.1 給水 pH 自動制御装置	(4)
3.1.1 物質収支計測試験	(4)
3.1.2 給水 pH 検出点、pH 調整剤注入点選定試験	(4)
3.1.3 pH 自動制御方法の検討	(4)
3.1.4 pH 自動制御装置の作動状況の確認	(4)
3.2 海水導入対策	(4)
第4章 成果	(5)
4.1 給水 pH 自動制御試験	(5)
4.1.1 物質収支計測試験結果	(5)
4.1.2 給水 pH 検出点、pH 調整剤注入点選定試験結果	(9)
4.1.3 pH 制御方法の検討	(12)
4.1.4 制御装置の作動状況の確認	(13)
4.2 海水導入対策試験結果	(14)
第5章 実船における給水、ボイラ水処理の自動制御方法(試案)	(17)
第6章 給水、ボイラ水処理の自動化に関する経済性の検討	(18)
6.1 経済性の向上に寄与する事項	(18)
6.2 経済性の面で不利益と思われる事項	(18)
第7章 結論	(19)

第1章　目的

本研究は、昭和37年に度実施した「船用ボイラのボイラ水処理操作の自動制御に関する研究」* の継続研究として、ボイラ水処理と表裏の関係にある給水処理の自動化についてモデルプラント試験を実施したものである。

その主たる目的は、復水、給水およびボイラ水関係系統の防食対策として現在行なわれている給水のpH調整ならびに溶存酸素除去処理操作の自動化にかかる基礎資料、さらには実用化資料を求めると共に、給水中~~を~~の海水漏込時の処理対策を図ることにある。

* 日本造船研究協会報告 第37号 昭和39年2月 第57研究部会

第2章 実験装置

2.1 モデルプラント

昭和37年度研究「船舶用ボイラのボイラ水処理操作の自動化研究」に使用した実験装置に、復水ポンプ、低圧給水加熱器、脱気器、疎水タンク等の復水、給水系統機器を設備し、実船条件に近い実験装置回路を構成せしめた。

Fig. 2.1 に実験装置系統図、Fig. 2.2 に自動制御装置の系統図、Fig. 2.3 に自動制御装置の外観写真を示す。

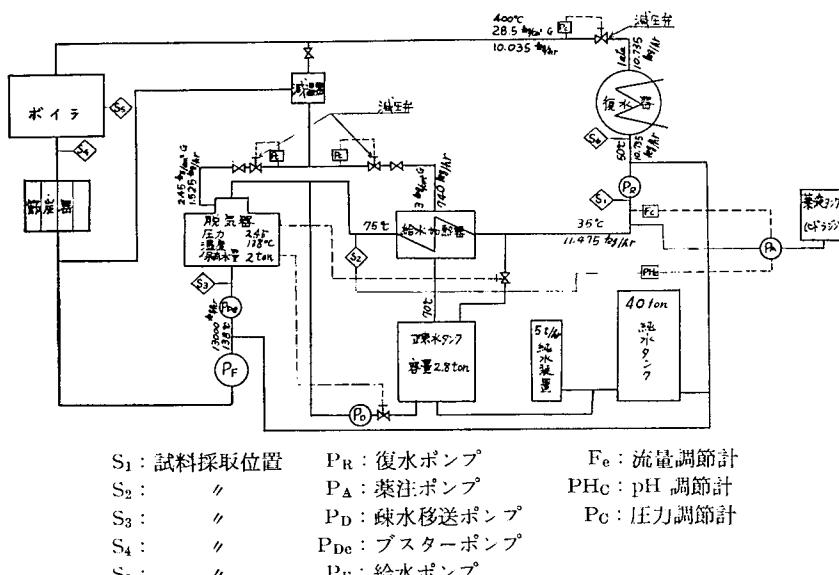


Fig. 2.1 Schematic Diagram of Test Plant

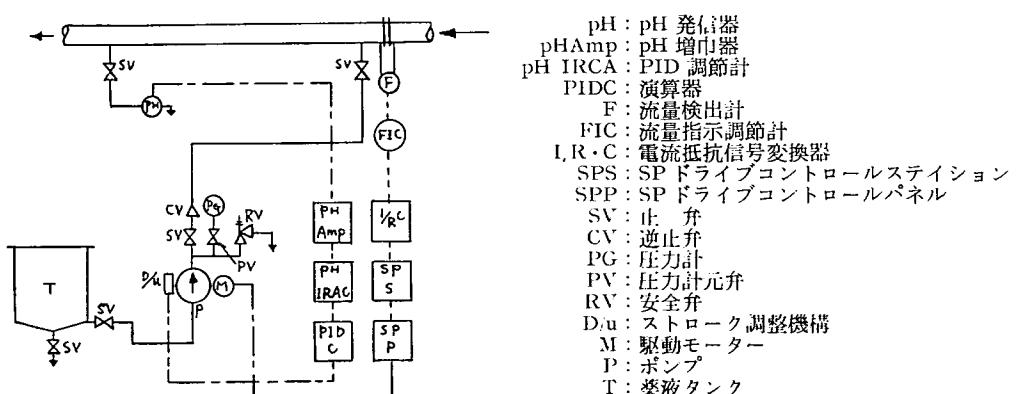
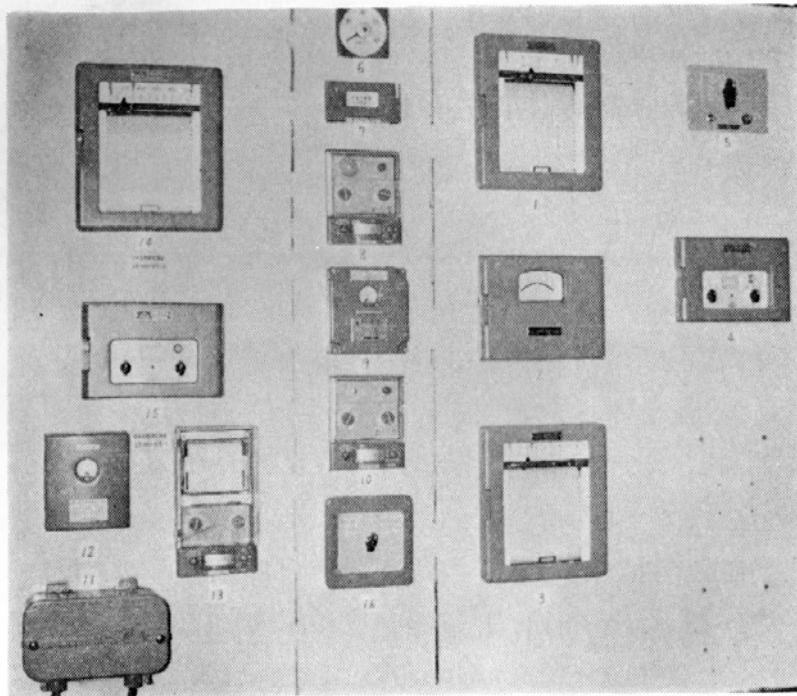


Fig. 2.2 Automatic Control System for pH Treatment

ボイラ水処理自動制御装置

給水処理自動制御装置



1. 純水電導度記録計
(海水導入試験用)
2. 純水 pH 増巾器
3. pH 記録計
4. pH 調節計
5. PO₄³⁻ 注入比率設定器
(海水導入試験用)

Fig. 2.3 Automatic Control Apparatus

2.2 純水 pH 自動制御装置

試作 pH 自動制御装置の制御方法は Fig. 2.2 に示したごとく、純水流量および純水 pH の 2 要素によるカスケード制御方法を採用した。本装置のモデルプラント設置状況は Fig. 2.1 を参照されたい。

第3章 試験研究の内容

本研究の内容は大別して次の3部門に分類される。

3.1 給水 pH 自動制御試験

本試験はさらに次の4項目に分類される。

3.1.1 物質収支計測試験

本研究におけるpH調整剤には、溶存酸素除去作用も行なうヒドラジンの使用を決定した。

しかし、ヒドラジンはボイラの高温領域で熱分解を起こしアンモニアを生成するので、ヒドラジン注入量によっては給水pH管理を困難にするおそれも生ずる。

また、ヒドラジン、アンモニアはいずれも揮発性物質であり、復水器、脱気器等からの系外逃散も考えられる。従って、モデルプラント試験によりボイラおよび復水器、給水系統におけるヒドラジンおよびアンモニアの挙動を確認し、給水pH自動制御の場合のヒドラジン注入場所、注入方法および注入濃度等の決定資料に役立てることにした。

3.1.2 給水 pH 検出点、pH 調整剤注入点選定試験

一般に、ヒドラジンの脱酸素反応は非常に遅いといわれており、給水のpH調整と脱酸素とを同時に行なう場合、特に脱酸素反応を十分行なわせるための考慮が必要と思われる。

また、pH検出点と薬液注入点の関係位置によっては良好な制御結果が得られないおそれも生ずる。従って、モデルプラントの復水器出口、脱気器前後の3点に、それぞれヒドラジンの注入点およびpH検出点を設けて自動制御に適した薬注点、pH検出点の選定を行なうこととした。

3.1.3 pH 自動制御方法の検討

本研究ではFig. 2.2に示したごとく給水流量およびpHの2要素によるpH制御方式を採用した。

本法によるモデルプラント試験結果から、実船における最適pH自動制御方法を求ることにした。

3.1.4 pH 自動制御装置の作動状況の確認

実船における自動制御実施の第一条件は、自動制御装置が長期にわたって正常な制御性を示すことである。従って、前項までの試験結果より最適制御条件を選定し、試験用pH自動制御装置の長期間作動試験を行ない作動状況を確認することとした。

3.2 海水導入対策

モデルプラントの給水系統より海水を種々の濃度に導入した場合の、ボイラにおける PO_4^{3-} 制御ならびに溶解固形物制御の状況を確認し、実船における海水漏込時の処理対策を確立する資料に役立てることにした。

第4章 成 果

4.1 給水 pH 自動制御試験

4.1.1 物質収支計測試験結果

(a) アンモニアの脱気器における系外逃散試験結果

モデルプラントにおける試験条件ならびに結果は Fig. 4.1～Fig. 4.3 に示すごとくである。

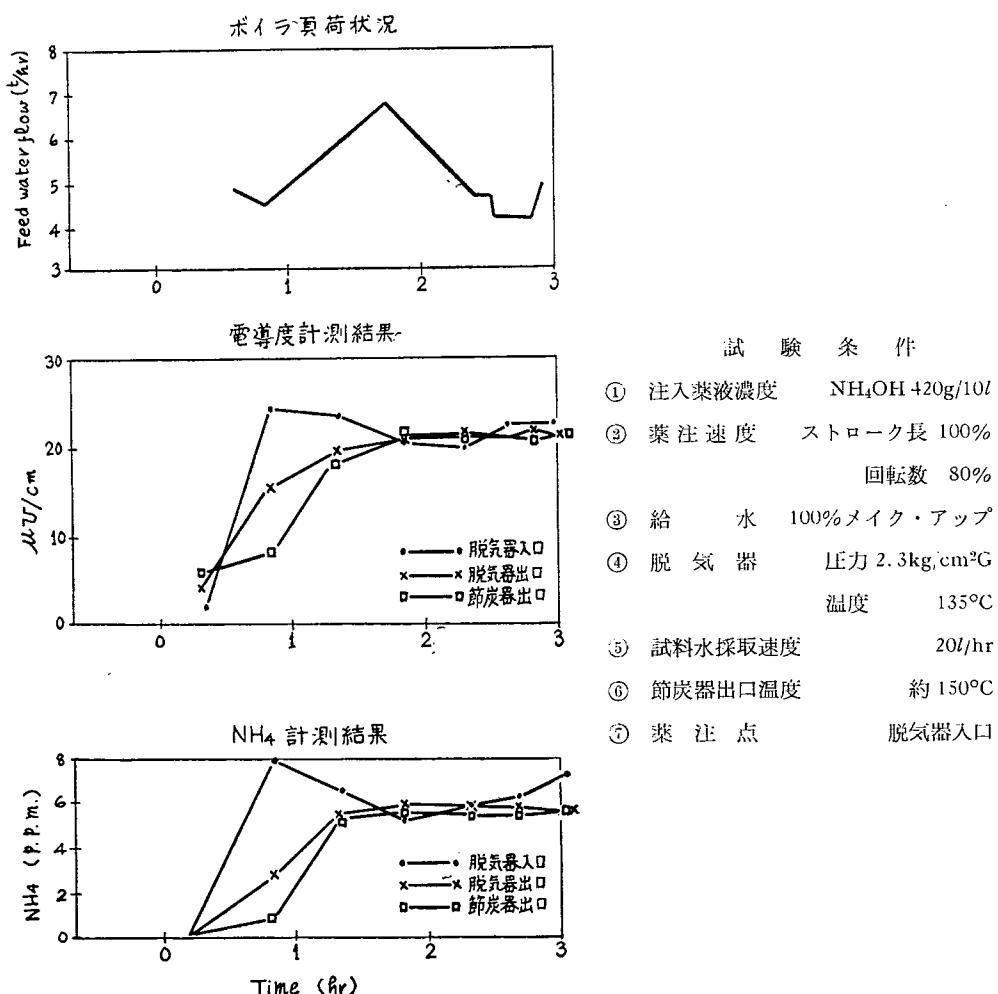
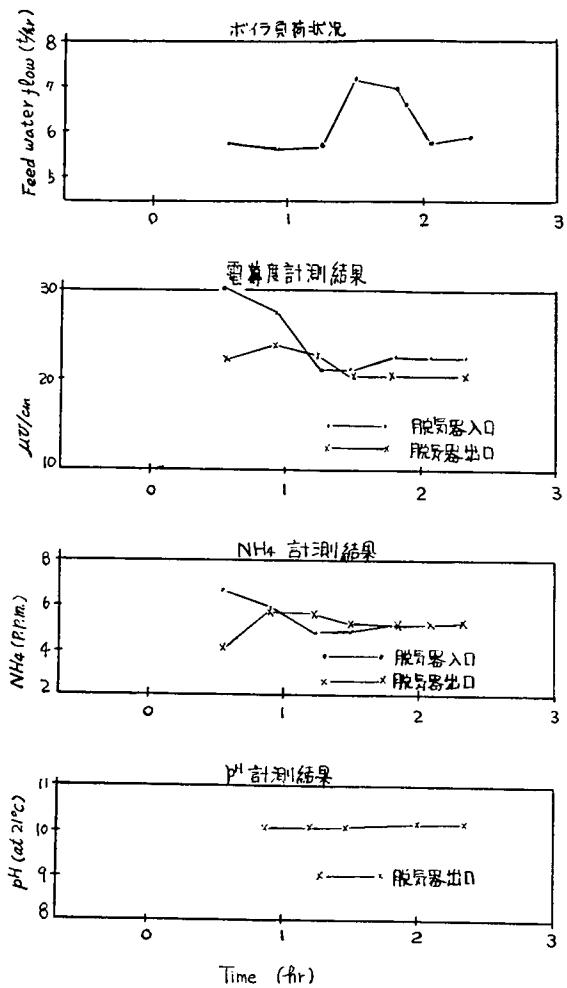
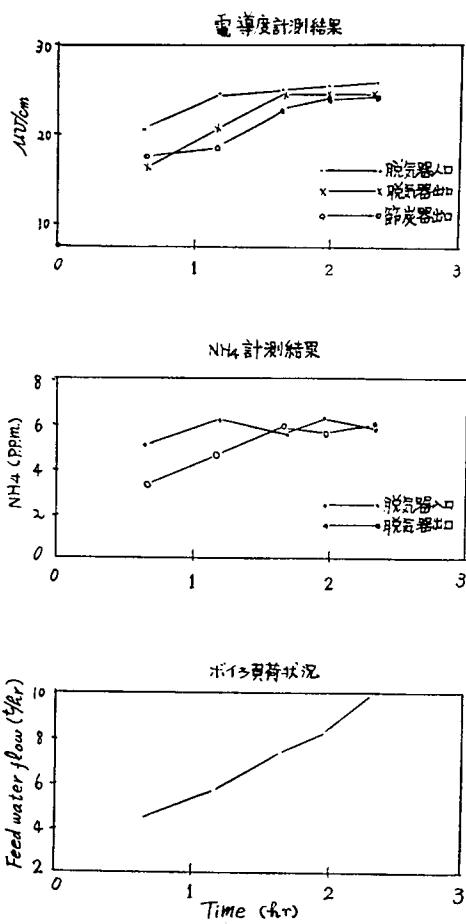


Fig. 4.1 Measurement of Boiler Feed Water Concentration Distribution in Feed Water Line



試験 条件

- ① 注入薬液濃度 $\text{NH}_4\text{OH} + 20\text{g}/10\text{l}$
- ② 薬注速度 ストローク長 100%
回転数 自動制御
- ③ 薬注点 脱気器入口
- ④ 脱 気 器 圧力 $2.3\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$
温度 135°C
- ⑤ 節炭器出口温度 約 150°C
- ⑥ 試料水採取速度 $20\text{l}/\text{hr}$
- ⑦ 給 水 100%メイク・アップ

Fig. 4.2 Measurement of Boiler Feed Water Concentration Distribution in Feed Water Line

試験 条件

- ① 注入薬液濃度 $\text{NH}_4\text{OH} + 20\text{g}/10\text{l}$
- ② 薬注速度 ストローク長 100%
回転数 自動制御
- ③ 薬注点 脱気器入口
- ④ 脱 気 器 圧力 $2.3\text{kg}/\text{cm}^2\text{G}$
温度 135°C
- ⑤ 試料水採取速度 $20\text{l}/\text{hr}$
- ⑥ 給 水 100%メイク・アップ

Fig. 4.3 Measurement of Boiler Feed Water Concentration Distribution in Feed Water Line

これらの結果からわかるごとく、脱気器におけるアンモニアの系外逃散量は無視できる程度に微量である。この事実を Fig. 4.4¹⁾ および Fig. 4.5²⁾ のデータから検討すると、脱気器温度 150°C におけるアンモニア濃度 1 p.p.m の pH^t は Fig. 4.4 より約 6.4 であり、その分配常数は Fig. 4.5 より約 3 である。これに対し酸素の気液分配常数は Fig. 4.6³⁾ から約 2×10^4 で、きわめて大きい値である。

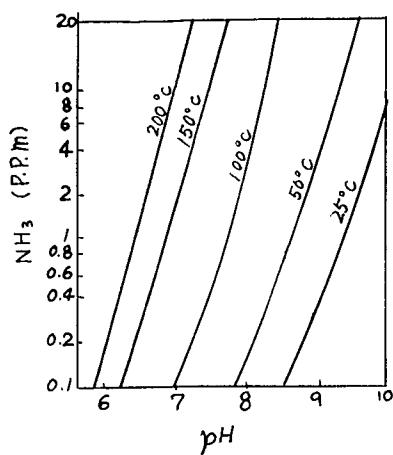


Fig. 4.4 Relation of Temperature & pH in Dilute Ammonia Solution¹⁾

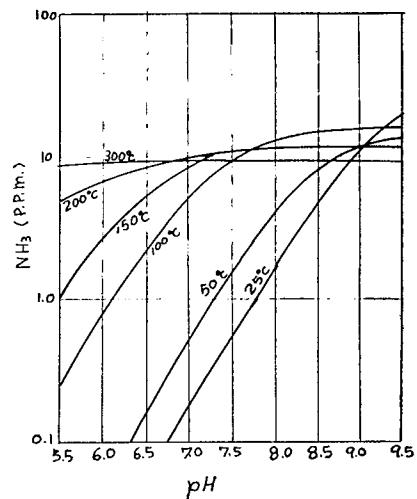


Fig. 4.5 Equilibrium between NH₃ (Solution) and NH₃ (Vapor) for 1 p.p.m. in Solution of Ammonia²⁾

一方脱気器のエヤーベントからの蒸気排出量は給水量と比較してきわめて少ない。

以上を総合すると、脱気器における系外逃散ガスはほとんど酸素であり、従って、アンモニアの脱気器における系外逃散量はほとんど無視できる値であることが容易に推定される。

(b) アンモニアの復水器における系外逃散に関する検討
復水器におけるアンモニアの系外逃散は、復水器に付設されている空気抽出器に起因する。船用ボイラにおけるヒドラジン、アンモニアの使用データは、今回の試験期間中入手できなかったので、復水器におけるアンモニアの系外逃散量について定量的な数値を求めることはできないが、使用実績の多い陸上ボイラのデータと船用ボイラの給水バランスの両者から検討すると Table 4.1 のようになる。

空気抽出器ドレンは最終的に給水系統に回収されるので Table 4.1 にあげた 13.6 % のアンモニアを系外逃散量と考えるのは誤りであるが、この量は復水器より脱気器までの給水系統をバイパスする場合が多いので、この間においては事実上系外逃散の形をとると考えるべきであろう。

(c) ヒドラジンの挙動確認試験結果

タービン船の 42.5 kg/cm²G 級ボイラサイクルにおけるヒドラジンの挙動確認試験を実施した

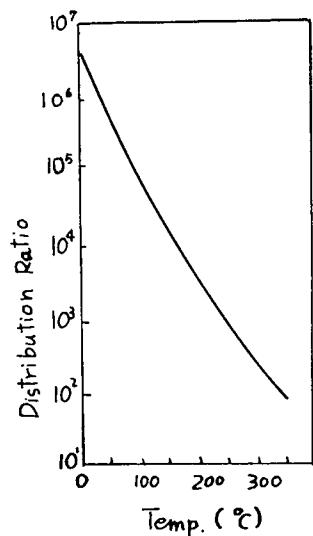


Fig. 4.6 Distribution Ratio of Oxygen between Gas Phase & Liquid Phase³⁾

(1) D. C. Weir: J. Appl. Chem. 7, (1957) 505

(2) D. C. Weir: J. Appl. Chem. 7, 9, (1957) 505

(3) 阿部、奥村、丹野、川島: 日立評論 45, 136, (1963)

Table 4.1 Research Data concerning Atmospheric Diffusion of Ammonia at Condenser

陸上ボイラ実績		船用ボイラ給水バランス	
空気抽出器ドレンアンモニア (p.p.m.)	10	復水ポンプ出口復水流量 (kg/hr)	47,500kg
復水ポンプ出口アンモニア (p.p.m.)	0.2	空気抽出器ドレン流量 (kg/hr)	150kg
復水ポンプ出口 (pH)	8.7		
復水器のアンモニア収支計算			
タービンより復水器に供給される全アンモニア量 (mg/hr)		$0.2 \times 47,500 + 10 \times 150 = 11,000$	
ドレンタンクに回収されるアンモニア量(mg/hr)		$10 \times 150 = 1,500$	
空気抽出器により抽出されるアンモニア比率(%)		$1,500 / 11,000 \times 100 = 13.6$	

結果を Fig. 4.7 に示す。

本試験における薬注方法は、アトモスドレンタンクにヒドラジンを連続注入し、アトモスドレンは脱気器入口において復水と合流させるようにした。

注入薬品はヒドラジンであるが、ボイラ起動前にボイラ水え高濃度のヒドラジンが注入されていたため、これが分解によるアンモニアが本試験開始時より検知された。

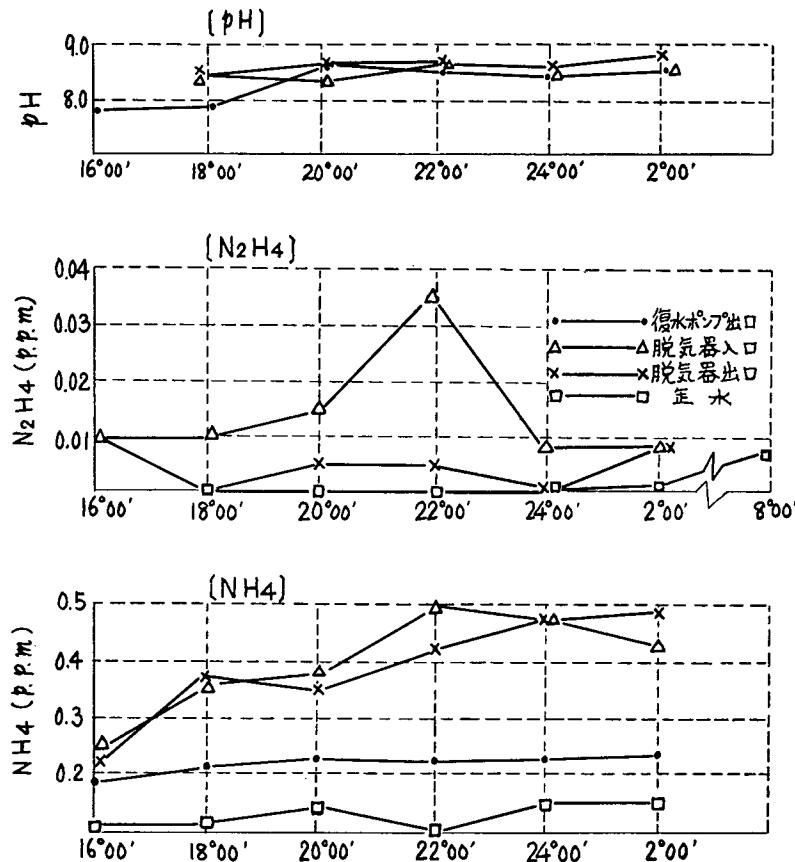


Fig. 4.7 Concentration Distribution of Boiler Water and Boiler Feed Water in Marine Boiler Plant

本試験結果を要約すると下記のようである。

- (i) 脱気器におけるアンモニアの損失はほとんど認められない。
- (ii) 建設初期のボイラでは、ヒドラジン注入濃度 0.01~0.03 p.p.m. の場合相当長時間連続注入しなければボイラ水中に残留ヒドラジンは検知されない。
- (iii) ボイラ水中に残留ヒドラジンが検知された後でも復水中にヒドラジンは検知されない。
- (iv) pH は復水ポンプ出口および脱気器出入口のいずれも 8.5 前後に保たれている。

この実験ではヒドラジン注入開始より約 1 昼夜後にごく微量のヒドラジンがボイラ水に検知された。またボイラ水中に残留ヒドラジンが検知された後でも、復水中のヒドラジンは認められなかった。これらの事実は、注入開始初期のヒドラジンのはほとんど全量が脱酸素および酸化性物質の還元等に消費されること、またこの級のボイラでは、ボイラおよび過熱器においてヒドラジンが完全に分解することなどを裏書きしている。

4.1.2 給水 pH 検出点、pH 調整剤注入点選定試験結果

(a) 給水 pH 検出点選定試験結果

モデルプラントにおける pH 検出点選定試験条件ならびに結果は、Fig. 4.8 および Fig. 4.9 に示すとくである。この試験結果から下記のことがわかる。

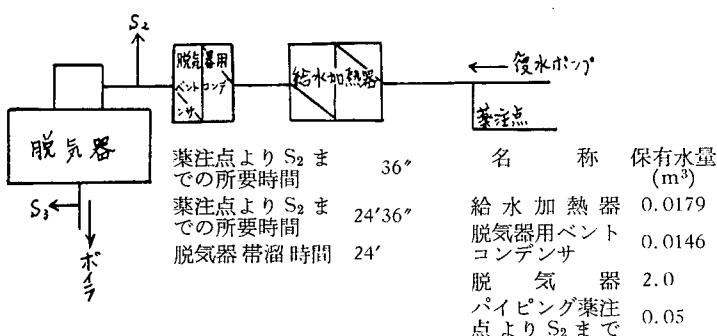


Fig. 4.8 Conditions for Selection Test of Boiler Feed Water pH Detecting Positions

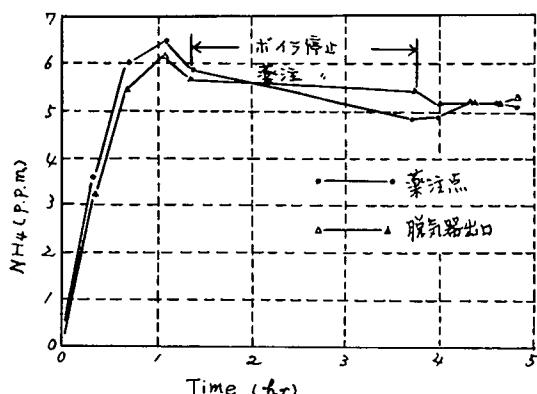


Fig. 4.9 Results of Selection Test of Boiler Feed Water pH Detecting Positions

(i) 薬注点後および脱気器出口の濃度は、薬注開始よりほぼ同程度の値を示す。従って薬注点後および脱気器出口の時間遅れはほとんど認められない。

以上の事実は Fig. 4.8 の条件と一見矛盾するが、計測間隔がほぼ薬注点より脱気器出口までの給水通過所要時間と一致することと、脱気器内におけるアンモニア濃度の均一化が比較的速いことによると思われる。

脱気器内におけるアンモニア濃度均一化が速いことは Fig. 4.9 のボイラ停止前後の濃度がほぼ同一であることからも良く理解されよう。

以上のモデルプラント試験結果から、pH 検出点は脱気器前後のいずれを採用しても制御上なんら支障がないように思われるが、実船の場合アトモスドレンタンクにバイパスされるアンモニアが 4.1.1(b) 項に述べたように相当量あるので、pH 検出点の決定については実船条件を考慮しなければならない。

かかる意味から、実船における pH 検出点の決定に必要と思われる事項を、42.2 kg/cm² 級のボイラについて纏めた結果を Table 4.2 に示した。

今このボイラに復水ポンプ出口からヒドラジンを注入すると、ヒドラジンの分解生成物であるアンモニアが注入点に帰還するに要する時間は、Table 4.2 より約 37.7 分となる。

この場合 0.2 p.p.m. のアンモニアが復水器に運ばれると、その約 1 割がアトモスタンクにバイパスするので、復水器より脱気器までのアンモニア濃度は 0.18 p.p.m. となり、この場合の理論

Table 4.2 Research Data concerning Selection of Boiler Feed Water pH Detecting Positions

船の種類		油	送	船
船	屯数 (D.W.T.)	46,000		
ボイラ	型式および基數	2 ドラム水管式 ボイラ 2 基	タービン保有水量	(運転時) 3.6kg
	常用圧力 (kg/cm ² G)	42.2	復水器 Hot-Well	
	蒸気温度 (°C)	454	保有水量	1,900kg
	給水温度 (°C)	138	復水ポンプより脱気器までの保有水量	(運転時) 600kg
	航海時の蒸発量	57t/hr	脱気器保有水量	(運転時) 18,600kg
	ボイラおよび節炭器保有水量	(冷時) 18,880kg(2缶) (運転時) 15,000kg	脱気器よりボイラまでの保有水量	(運転時) 530kg
	ボイラ過熱器および蒸気部保有水量	(運転時) 152kg	アトモスタンク保有水	6,000kg
	過熱器出口よりタービンまで保有水	(運転時) 20.5kg	アトモスタンクドレン	1,360kg
	ボイラサイクル所要時間	約37.7分	エゼクタードレン	
	アトモスタンク滞留時間	約186分	至アトモスタンク	130kg
復水ポンプより脱気器までの所要時間		約24.2秒	補給水	570kg
			ボイラサイクル全保有水量 (運転時)	35,906kg
			アンモニア濃度復水器入口 0.2 p.p.m., エゼクタードレン 10 p.p.m. と仮定した場合の給水系統バイパスアンモニア% = 11.6%	
			復水ポンプより合流点までの所要時間	約36秒

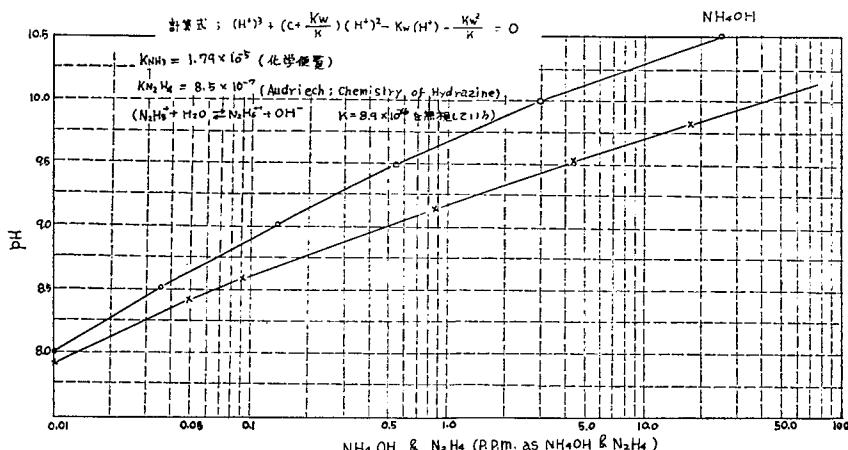


Fig. 4.10 pH of Ammonia and Hydrazine

pH は Fig. 4.10 より約 8.9 度になる。しかし、実際には復水器以降の酸性物質の中和反応にアンモニアがある程度消費されるので、pH は Fig. 4.7 に示したごとく 8.5 前後の値に落着くものと思われる。

エゼクタや各部の抽気ラインよりアトモスタンクに運ばれるドレンは、補給水と共に脱気器入口において復水と合流するので、この合流点以降のアンモニア濃度は復水器より合流点までの値より若干高くなり、従って、pH も前記値よりも多少上昇するはずである。

またアトモスタンクにアンモニアの滞留する時間は、Table 4.2 に示すごとく相当大きいので、脱気器以降に pH 検出点をおいた場合、良好な制御結果を期待できないおそれも生ずる。

ここで舶用ボイラの給水 pH 制御および溶存酸素除去の目的を、舶用ボイラの実情に照らして検討すると下記のごとく要約される。

- (i) 復水器、復水ポンプ、グランドコンデンサ、低圧ヒータ、および脱気器入口までのラインは、溶存酸素濃度が割合に高く、かつ銅合金材料も使用されているので、pH 制御は厳重に行なう必要がある。
- (ii) 脱気器よりボイラまでのラインは溶存酸素濃度も相当低いので、pH が若干目標値からはずれてもそれほど支障はないと考える。ただし脱気器以降の溶存酸素は、ヒドラジン等の脱酸素剤により除去することを前提とする。

以上の実験結果および舶用ボイラの給水系統の実情を考慮して、舶用ボイラの給水 pH 検出点は、給水バイパスラインの合流点前に求めるのが妥当と考える。

(b) pH 調整剤注入点選定に関する検討

ヒドラジンの使用実績を多く持っている陸上ボイラの場合、ヒドラジンの注入点は復水器出口に求めるのが最近の傾向である。この点にヒドラジン注入点を求める理由は、注入点以降の脱酸素反応を直接期待するものではなく、関連系統の酸化性物質を還元することで該系統材料の溶出を防止することと脱気器以降の溶存酸素除去を十分行なわせるためであり、陸上ボイラでは復水ポンプ出口附近に注入することで十分な成果を収めた例も多い⁽⁴⁾。

(4) A. Robinson Editor: Hydrazine and Water Treatment Chap. 8. p. 77~97

さきに述べたごとく、本研究ではpH調整剤として溶存酸素除去効果も期待できるヒドラジンの使用を決定した。しかしながら、ヒドラジンによって直接pH調整を期待するものではなく、ヒドラジンがボイラ、過熱器等で熱分解して生成するアンモニアによって復、給水のpH調整を行なわしめるものである。従って、ヒドラジンの注入点は、陸上ボイラ同様給水系統材料の溶出防止ならびに溶存酸素除去を十分行なわせるために、復水ポンプ出口附近に求めるのが妥当と考える。

4.1.3 pH制御方法の検討

本研究におけるpH制御方法は、前述のごとく給水流量およびpHの2要素によるカスケード制御方式を採用したが、実船の場合もこの制御方式がそのまま適用できると思われる。ただし、実船の場合、ヒドラジンによるpH制御は制御開始初期の制御遅れが相当あることと、アンモニア濃度が比較的高くなる復水器のエゼクタドレンがアトモスタンクにバイパスされ、さらに脱気器入口附近に回収される等の問題があるので、pH制御開始に当っては給水のpHが設定値を超えないようヒドラジンの注入濃度には十分な考慮を払う必要がある。

われわれの実験的な経験によれば、給水pHの低い状態から制御を行なう場合は、制御目標値より0.1~0.2pH低い点までアンモニアによって上昇させ、その後ヒドラジンを使用して自動制御に切換える方法も良好なpH制御結果を得るための便法と思われる。

Fig. 4.11は前述の実船条件およびモデルプラントにおけるpH制御試験による試作装置の使用経験から、実船におけるpH自動制御装置を試設計したものである。試設計装置と試作装置の相異点および試設計にあたり特に注意した点は下記のごとくである。

(a) サンプリング系

(i) 消泡器新設：検出部への気泡混入を防ぎ気泡による検出誤差を抑制する。ただし給水系統に気泡を含まないボイラの場合は設置する必要がない。

(ii) 検出部遠隔標定装置：pH検出器を計器盤に設置し簡単に標定が行なえるようにした。

(b) 計器系

(i) pH指示調節計(P動作付)：実船におけるpH管理上連続記録は不必要と思われる所以指

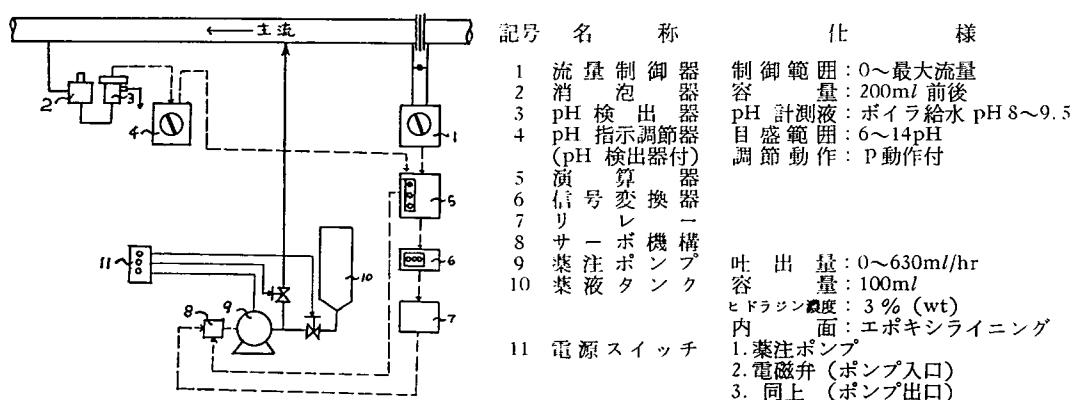


Fig. 4.11 Tentative Design of Automatic Control System for Boiler Feed Water

示計に変更した。調節動作を P 動作のみとしたのは被制御体の時間遅れが大きいことによる。

- (ii) 演算器新設：試作装置の薬注ポンプは給水流量信号により回転数を制御し、pH 信号によりストローク長制御を行なう方式を採用したが、薬注ポンプの故障原因を少なくする意味から、演算器により pH および流量信号を積算し、この積算信号により薬注ポンプのストローク長を制御することにした。ただし薬注ポンプの吐出量制御は回転数制御によっても特に支障はない。
- (iii) 薬液タンクおよび薬注系：薬注タンク出口弁および薬注ポンプ出口弁は電磁弁を使用し電源スイッチはポンプや計器類の電源と同じ場所に設置することにした。

4. 1. 4 制御装置の作動状況の確認

Fig. 4. 12 は試作 pH 自動制御装置によるモデルプラント試験結果を示したものである。

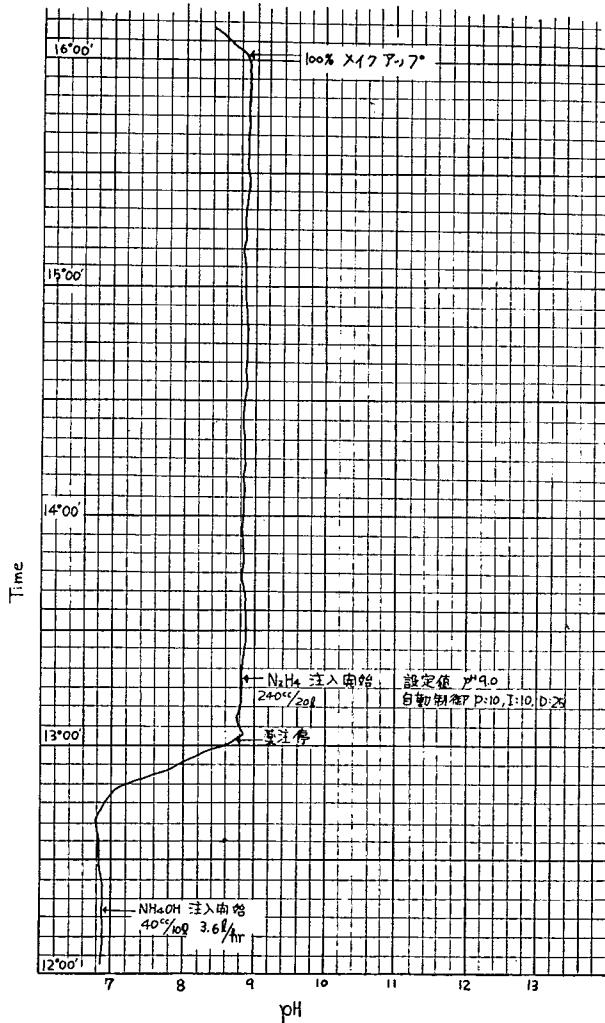


Fig. 4. 12 Operating Results of pH Automatic Controller

Table 4.3 Operating Test Results of pH Automatic Controller

計測時刻	復水		薬注点後		脱気器出口		節炭器		ボイラ水		ボイラ蒸気		脱気器		給水量 (t/hr)
	NH ₄ (p.p.m.)	N ₂ H ₄ (p.p.m.)	圧力 (kg/cm ² G)	温度 (C°)											
13°15'					0.39										8
30'	0.24														
14°00'	0.22				0.33								1.9	130	8
15°00'	0.27			0.00	0.24	0.00	0.30	0.00	0.00	0.58	0.00				
16°00'	0.13			0.00	0.13	0.00	0.24	0.00	0.00	0.27	0.00	1.9	133	8	

Table 4.3 は Fig. 4.12 の試験の際計測したアンモニア、ヒドラジンの各部濃度を示したものである。これらの結果から次のことがわかる。

- (a) pH は設定値より約 0.1pH 低い値で制定し、良好な制御性を示している。
- (b) アンモニア濃度は時間とともに逐次低下の傾向を示しているが、pH にはほとんど影響を与えない程度の値である。これはサイクルにおける蒸気リークに起因する。
- (c) ヒドラジンは 0.1pH のオフセット信号により連続注入されているにもかかわらず、モデルプラントのサイクル内では検知されなかった。これはモデルプラント内の酸化性物質の還元、溶存酸素除去に全量が消費されたためと思われるが、陸上プラントの使用例から判断すると、モデルプラントにおいてもある程度連続注入を行なえば注入点よりボイラ水までのラインでヒドラジンが検出されるようになるはずであり、(b) 項のアンモニア濃度低下の問題も解消されると思われる。

試作装置の長期間連続試験は諸般の事情により実施できなかったが、以上のごとく良好な制御性を示すことと、数カ月間の自動制御実施期間中においても制御装置は正常な作動を示したことから、装置的には特に問題はなく、実船においても十分実用に耐えうるものと思われる。

4.2 海水導入対策試験結果

都合により実験用ボイラが使用できなかつたので、Fig. 4.13 に示すオートクレーブを使用して、海水漏込時のボイラにおける PO₄³⁻ 消費の傾向を確認し、実船における海水漏洩と PO₄³⁻ 自動制御の関係を求めることにした。

本試験に使用した海水組成および試験条件は Table 4.4～Table 4.5 に、試験結果は Fig. 4.14 に示

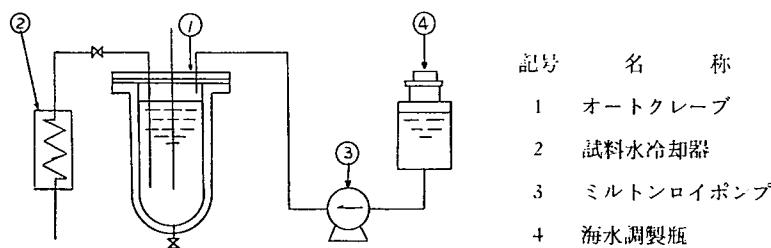


Fig. 4.13 Schematic Diagram of Sea Water Leakage Simulator (Testing Apparatus)

Table 4.4 Composition of Sea Water

pH	Cl ⁻ (p.p.m.)	SO ₄ ²⁻ (p.p.m.)	CaO (p.p.m.)	MgO (p.p.m.)	NH ₄ (p.p.m.)	H ₂ S (p.p.m.)	電導度 (μv)	溶解固形分 (p.p.m.)
8.0	19,076	2,714	598	2,167	—	—	約46,000	24,556

Table 4.5 Test Conditions for simulation of Sea Water Leakage

オートクレープ			試験						1				
温度	圧力	試料水注入量	1			2			3				
(C°)	(kg/cm ²)	(l)	初期 注入 量	昇温後 注入 量	pH	PO ₄ ³⁻ (p.p.m.)	海水 添加 (ml)	PH 電導度 (μv)	海水 添加 (ml)	pH	PO ₄ ³⁻ (p.p.m.)	海水 添加 (ml)	PH 電導度 (μv)
250	42.5	2.2	(1)	(1)	2.2	0.3	11	(2)	(2)	2	0.3	11	(3)
						20	0	4	20	136	20	6	260
								(3)					

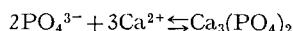
註 (1) 昇温後注入 0.3l 溶液は pH11, PO₄³⁻ 20p.p.m. の溶液に海水 0, 海水 2ml/l-H₂O, 海水 6ml/l-H₂O の割合でそれぞれ調整したものである。
(2) 海水添加量は実船の給水における海水リーク時の電導度上昇10および30μv を目標とし、かつ実船ボイラの定常水位までの保有水量と蒸発量との比が 1:9 として計算により決定した。
(3) 電導度は蒸溜水に海水 0, 海水 2ml/l-H₂O, 海水 6ml/l-H₂O 添加して計測した値である。

したとおりである。

Fig. 4.14 に示した試験結果は下記の事実を示している。

(a) PO₄³⁻ の消費はオートクレープ材料によるものと海水中の Ca²⁺ によるものであり、前者は消費量僅少であるのに対し後者による消費は海水導入量すなわち Ca²⁺ 濃度に比例している。

海水導入時における PO₄³⁻ 消費は主として海水中の Ca²⁺ によるとする理由は、一般にいわれてゐる下記反応式より求めた PO₄³⁻ 消費量とわれわれの実験値とが良く一致していることによる。



(b) 海水導入による Ca²⁺ と PO₄³⁻ の反応は最初の30分間でほとんど完了する。

なお試験後のオートクレープ開放点検においてオートクレープ内のスケール生成は認められなかつた。

以上の試験結果から実船における海水導入量と PO₄³⁻ 制御の関係を求めるとき、給水において 30μv 程度の常識的には比較的大量の海水導入の場合でも、ボイラ水の PO₄³⁻ は制限値の範囲内に保持さ

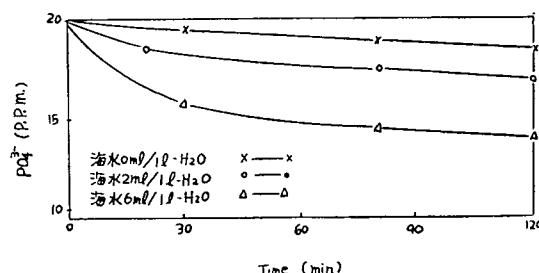


Fig. 4.14 Simulation Test Results of Sea Water Leakage

れていることと、 PO_4^{3-} と Ca^{2+} との反応は比較的短時間で終了するのでボイラスケール生成の危険はないこと、この程度のボイラ水中の PO_4^{3-} 消費は PO_4^{3-} 自動制御により十分回復し得ることなどから、 $30\mu\text{v}$ 程度の海水リークの場合でもボイラ水の PO_4^{3-} 制御は十分安全側で実施できると思われる。

ただし海水導入が給水系統において $30\mu\text{v}$ の場合、ボイラで約 9 倍に濃縮されると仮定すると、ボイラの溶解固形分濃度は約 150p.p.m./hr 増大するのでこの制限値を 400p.p.m. 以下とすると、ボイラ保有水量の約 38% を連続ブローする必要があり、これによる熱損失は膨大なものとなる。

従って、実船における海水漏洩量の上限は給水系統で $10\mu\text{v}$ 程度におさえ、これをこえて漏洩した場合は適当な警報装置でこれを検知し、漏洩原因の調査ならびに漏洩防止措置を可及的速やかに行ない、もし適切な処置がとれない場合は、ボイラ負荷の低減あるいは復水の廃棄、補給水量の増大等の応急処置を行ないボイラに大量の海水が運び込まれないようにするべきである。

第5章 実船における給水、ボイラ水処理の自動制御方法（試案）

「舶用ボイラの給水、ボイラ水処理の自動制御に関する研究」により得られた資料ならびに舶用ボイラのサイクル特性から、実船における自動制御方法を試設計した。Fig. 5.1～Fig. 5.2 にその結果を示すが、実船における水処理の制御はここに示した方法で十分目的を達し得るものと考える。

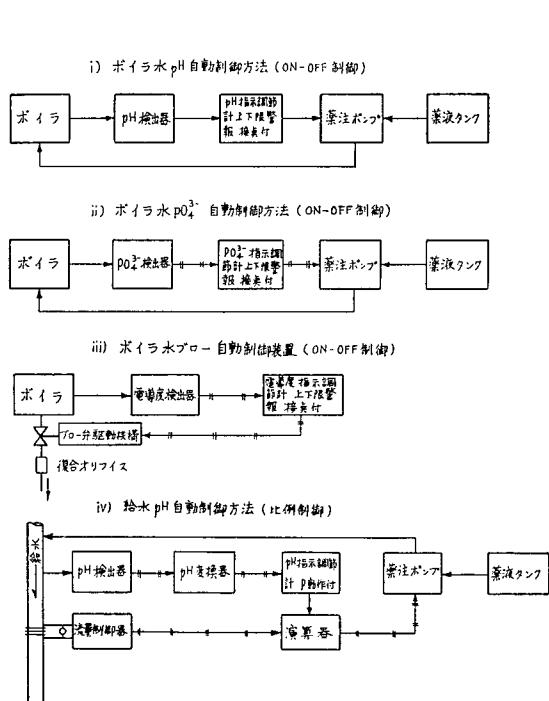


Fig. 5.1 Automatic Control System for Treatment of Boiler Water and Boiler Feed Water

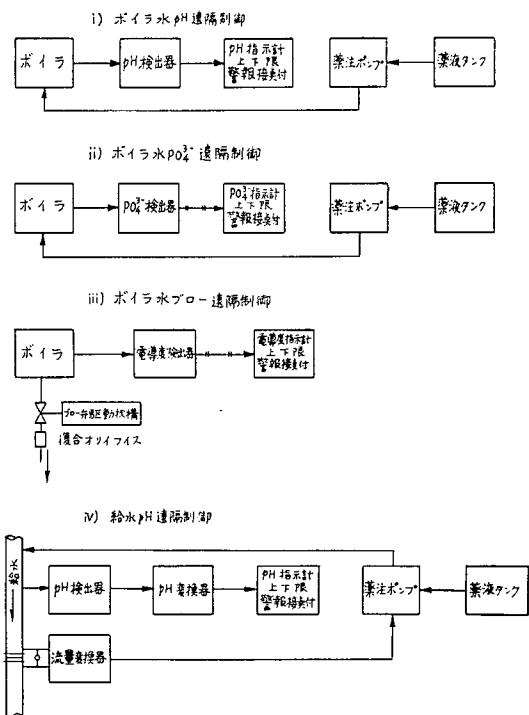


Fig. 5.2 Remote Control System for Boiler-Water and Boiler Feed Water

第6章 給水、ボイラ水処理の自動化に関する経済性の検討

6.1 経済性の向上に寄与する事項

- (a) 自動化により水まわりの管理が確実に行なわれるようになり、従来の水処理の不良から発生していたボイラおよび関係系統装置の事故もほとんど完璧に近く防止できるので、ボイラの稼動率が向上する。
- (b) 自動化により従来これらの処理操作に必要とした人手および特殊管理技術も不用となる。
- (c) 給水、ボイラ水処理薬品も必要十分な消費量にとどめられる。
- (d) 自動化により確実な水まわりの管理ができるので、従来の処理方式に比較して、ボイラ水のプローラー量も極度に減少し、ボイラの熱効率も向上する。

6.2 経済性の面で不利益と思われる事項

- (a) 自動化に伴なうイニシアルコストの増加

本研究において、自動制御装置の試作に要した費用は下記のごとくであり相当高価についている。

ボイラ水関係 (pH, PO ₄ ³⁻ , プロー制御)	4,372千円
給水関係 (pH, 溶存酸素制御)	1,958千円
計	6,330千円

しかしながら、実船における自動制御装置は第5章に述べた程度のもので目的を達すると考えられるので、これに要する費用も下記のごとくになり、試作装置よりイニシアルコストは相当低減できる。

第5章 第1案、ボイラ水関係 (pH, PO₄³⁻, プロー制御)

給水関係 (pH, 溶存酸素制御)

計 約4,500千円

第5章 第2案、ボイラ水関係 (pH, PO₄³⁻, プロー制御)

給水関係 (pH, 溶存酸素制御)

計 約4,500千円

第7章 結論

舶用ボイラの給水処理の自動化研究を行ない下記結論を得た。

- (a) 舶用ボイラの給水 pH 調整剤としては、脱酸素剤を兼ねて、ヒドラジンを使用しても管理上なんら支障はない。
- (b) ヒドラジンの分解により生成するアンモニアの脱気器における損失は、脱気器温度が150°C以下の場合はほとんど無視できる程度の量である。
- (c) ヒドラジンのボイラ使用初期における消費量は相当大きいので、給水の pH 自動制御開始に先立って、アンモニアにより給水の pH を制御目標値附近まで上昇させるが、比較的高濃度のヒドラジンを使用し、ヒドラジンの分解により生成するアンモニアで復水の pH が制御目標値に達した後、原液濃度 3% 程度のヒドラジンを使用して pH 自動制御に切換えるべきである。
- (d) 給水 pH の自動制御を行なう場合の pH 検出点は、薬注点よりバイパスラインの合流点の間で注入薬品の均一混合、さらには pH 検出おくれの最も短縮できる位置に求めるべきである。
- (e) 給水 pH の自動制御を行なう場合の pH 調整剤注入点は復水ポンプ出口附近に求めるべきである。
- (f) 試作 pH 自動制御装置の作動性はおおむね良好であり、実船においても十分使用に耐え得るものと思われる。
- (g) 給水中の海水漏込量は 30 μv 程度でも、ボイラ水の PO_4^{3-} 自動制御により悪質のスケール生成防止は可能と思われるが、ボイラ水の溶解塩分濃度が過大となるので、給水における漏洩限界量を 10 μv 程度におき、過大な漏洩量については適当な警報装置で早急に検知し可及的速やかに適正な措置を施すべきである。

昭和 40 年 12 月 20 日 印刷

昭和 40 年 12 月 30 日 発行

日本造船研究協会報告 第55号

発行人 菅 四 郎

発行所 社団法人日本造船研究協会

東京都港区芝琴平町 35

「船 舶 振 興 ビ ル」 8 階

電 話 (502) 2371~80

内 線 (421~426)

印刷所 株式会社 青 光 社

東京都品川区五反田 1 の 249

電 話 (441) 0006, 4444, 2020