

社 団 法 人
日本造船研究協会報告

第 37 号

昭 和 39 年 2 月

舶用ボイラのボイラ水処理の自動制御に関する研究 第57研究部会

Researches Concerning Automatic Control Systems for

Treatment of Boiler Water for Marine Boiler

.....The 57th Research Committee

The Report
of the
Shipbuilding Research Association
of Japan,
TOKYO, JAPAN
NO. 37
Feb 1964

第 57 研究部会 委員名簿

主　　查	金　森　政　雄		
幹　　事	福　井　三　郎	福　永　靖　夫	
委　　員	赤　松　貞　雄	牛　田　正　夫	江　口　治
	笠　間　義　郎	久　米　幸　男	兒　島　康　夫
	佐々木　民　部	杉　野　茂	鈴　木　三　郎
	瀬　尾　正　雄	泊　谷　公　人	富　田　幸　雄
	中　西　敏　一	西　岡　正　美	野　口　悌　三
	福　島　保	松　本　和　夫	松　本　通　雄
	松　本　儀　郎	村　越　重　光	山　下　和　夫
	山　本　昌　彦	若　松　一　夫	脇　川　忠　彦

Membership of the 57 Research Committee

Chairman	Masao KANAMORI		
Secretaries	Saburo FUKUI	Yasuo FUKUNAGA	
Members	Sadao AKAMATSU	Masao USHIDA	Osamu EGUCHI
	Yoshiro KASAMA	Yukio KUME	Yasuo KOZIMA
	Minbu SASAKI	Shigeru SUGINO	Saburo SUZUKI
	Masao SEO	Kimito TOMARIYA	Yukio TOMITA
	Toshiichi NAKANISHI	Masami NISHIOKA	Teizo NOGUCHI
	Tamotsu FUKUSHIMA	Kazuo MATSUMOTO	Michio MATSUMOTO
	Yoshiro MATSUMOTO	Shigemitsu MURAKOSHI	Kazuo YAMASHITA
	Masahiko YAMAMOTO	Kazuo WAKAMATSU	Tadahiko WAKIKAWA

舶用ボイラのボイラ水処理の自動制御に関する研究

Researches Concerning Automatic Control Systems for Treatment of Boiler Water for Marine Boiler

Introduction:

With the research subject "Researches Concerning Automatic Control Systems for Treatment of Boiler Water for Marine Boiler", the 57th Research Committee was set up within the Shipbuilding Research Association of Japan in April, 1962, and this research was put in charge of Nagasaki Works of Mitsubishi Shipbuilding & Engineering Co., Ltd. and has been developed by the same works since.

Although the boiler water treatment system for the marine boiler is manually operated at the present stage, it requires a special technique. Accordingly automation of this system would not only contribute to alleviation of engine crew's labor and to ship's economy but also make it possible to control the treatment of boiler water with ease and accuracy; this is why the above theme was taken up as the research subject of the said Committee.

While automation of the entire operation of automatic control systems for treatment of boiler water is desirable, this is very difficult, for proper automatic control system and detector for each component of boiler water are still to be developed.

Accordingly this research was aimed at tentative manufacture of the automatic control systems for treatment of pH, PO_4^{3-} and dissolved solid in boiler water, which are deemed typical ones of the present boiler control systems, fitting them on the marine two-drum type watertube boiler at Mitsubishi Nagasaki Works and at confirming the performance of these automatic control systems thereby obtaining the fundamental data for such systems and the data for practical use of those on actual ships.

The experimental apparatuses used in this research are divided into the following three parts as shown in Figures 5 & 12 attached hereto.

1. Boiler system:

The marine two-drum type water tube boiler, installed for the purpose of steam test in the Fitting Shop of Nagasaki Works of Mitsubishi Shipbuilding & Engineering Co., Ltd., was equipped with condensate system including reducing valve with automatic pressure controller, atmospheric pressure condenser, cooler, etc. as shown in the attached Fig. 5, thereby providing the circulating circuit which makes it possible to operate the boiler even separately for the purpose of this research.

2. Sampling water line:

Three sampling nozzles were fitted in the steam drum as shown in the attached Figures 12,

13 & 14, for taking sample water from them as well as existing surface blow nozzle in steam drum and bottom blow nozzle in water drum, totalling five sampling nozzles, which were all provided with sampling tube and cooler. Stop valve was provided for each sampling tube so that supply of sample water to the automatic control system and blowdown of boiler water through the above five nozzles can be optionally switched over to each other. Velocity of sample water and quantity of boiler water blow-down were measured by means of the messcylinder, blowdown quantity measuring vessel, etc.

3. Automatic control system :

Automatic control systems for treatment of pH, PO_4^{3-} and control of boiler water blow quantity tentatively manufactured for use in this research were fitted on the above-mentioned test boiler as shown in the attached Figures 1, 2 & 3. Control method adapted for each of these automatic control systems is given below.

3-1. Automatic control system for treatment of pH :

For this system was adapted the closed circuit control method in which the detector continuously detects the pH value and electrically signals the detected value to the pH controller which sends the deviation signal against the pre-set pH value to the chemical feed pump for controlling chemical charge to boiler. pH controller with proportional actuator and reset was used.

3-2. Automatic control system for treatment of PO_4^{3-} :

For this system was adapted the cascade control method in which the detector electrically signals the detected values of concentration of PO_4^{3-} and boiler water feed flow quantity to the controller and the controller sends deviation signal to chemical feed pump for enabling it to give proper chemical charge to boiler. Changeover switch was provided to make respective circulating circuits for control by concentration of PO_4^{3-} and boiler water flow quantity controllable separately from each other; and automatic phosphate analyzer, which functions every twenty minutes, was used as the PO_4^{3-} detector and further the PO_4^{3-} controller with the PI(proportional integration)conditioner was used.

3-3. Automatic control system for controlling boiler water blow quantity :

As concentration of dissolved solid in boiler water is in approximately proportional relation to conductivity of boiler water, conductivity detector was used as the detector of the above system, which is aimed at treatment of dissolved solid in boiler water. Control method adapted for this system is the open circuit control type as shown in the attached Fig. 3 and the boiler water blow controller with PID conditioner was used for this system.

Tentative manufacture of the above automatic control systems for treatment of pH, PO_4^{3-} and control of boiler water blow quantity, provision of condensate system on the test boiler were completed early February, 1963. The experimental research by using the test boiler started early February, 1963 and completed at the end of March, the same year.

Conclusion:

This experimental research is divided into two parts of preliminary and principal tests as explained below.

1. Preliminary test:

A. Concerning the following three items, laboratory tests were performed and the concerned data from actual ships were investigated in preparation for the principal test.

A-1. Test for selection of PO_4^{3-} conditioning chemical:

Comparative test of Na_2HPO_4 and Na_3PO_4 was performed to confirm whether PO_4^{3-} conditioning chemical affects pH in boiler water, and the test results were obtained as shown in the attached Figures 6& 7. As it was confirmed from the test results that Na_2HPO_4 hardly affected pH, it was decided to use Na_2HPO_4 as the PO_4^{3-} conditioning chemical in principal test.

A-2. Determination of performance conditions for automatic control systems:

Limitative values of boiler water established by many domestic boiler manufacturers are shown on the attached Table 1. As, however, there is a more or less difference between these values and it is hard to judge which of them is adaptable for the performance conditions of the abovementioned automatic control systems, the limitative value for the 50-70 kg/cm² class boilers, established by Mitsubishi Three Heavy Industries Technical Research Group in 1963, was adapted for the performance conditions of these automatic control systems in principal test. Performance conditions adapted for respective automatic control systems are shown on the attached Table 7.

A-3. Co-relation between concentration of total solid in boiler water and conductivity of boiler water:

While the conductivity detector was used for the automatic control system for controlling boiler water blow quantity, which is aimed at treatment of dissolved solid in boiler water, the co-relation between total solid in boiler water and conductivity of boiler water on the actual ship, was investigated to confirm whether such a control method was proper, and the results of the investigation are shown on the attached Figures 10-1, 10-2 & 11. It was confirmed from those results that dissolved solid in boiler water was in proportional relation to conductivity of boiler water and thus the control method adapted for this system is the proper one.

B. From the foregoing results of preliminary test was reached the following conclusion.

B-1. Na_2HPO_4 is the proper conditioning chemical for use with the automatic control system for treatment of PO_4^{3-} .

B-2. As concentration of dissolved solid in boiler water is in proportional relation to conductivity of boiler water, it is proper to use conductivity detector for the automatic control system for controlling boiler water blow quantity.

2. Principal test:

A. Experimental research concerning the following five items was performed with the test boiler as shown in Figures 4, 5 & 12.

A-1. Test for confirmation of the distribution of concentration of boiler water was performed for determining the boiler water sampling positions, and the test results are as shown in the attached Figures 18-23. As seen from those test results, the concentration of boiler water at the surface blow nozzle in steam drum is lower in value than those at bottom blow nozzle in water drum and near the boiler water conditioning chemical (boiler compound) charge nozzle. As, however, such a degree of difference in concentration of boiler water is a negligible value, it is considered proper to sample boiler water from surface blow nozzle or its neighborhood partly from the reason of complete prevention of carry-over.

A-2. Study on the method of sampling boiler water:

Test and investigation were performed as to the co-relations between the velocity and contamination of sample water supplied to each automatic control system and each detected value by the automatic control systems and between the sample water temperature and each detected value, and the results of those test and investigation were obtained as shown on the attached Tables 20 & 21 and in Figures 24(1), (2), (3) & 25. Those results indicate that the velocity and contamination of sample water does not affect the detected values of pH and conductivity. Considering, however, the time lag in detection, soil of the detector due to long-time use of the automatic control systems, etc., it would be advisable to prevent contamination of sample water and to keep the velocity of sample water at about 40 liter/hour. On the other hand, as the temperature of sample water much affects the detected values of pH and conductivity, the sample water temperature should be kept constant around the neighborhood of cold status.

A-3. Study on automatic control system for treatment of pH and PO_4^{3-} :

A-3-1. Study on the method of automatic control of pH:

Test was performed for confirmation of the performance characteristics of pH automatic control system, concentration of pH conditioning chemical, characteristics of pH control, etc., and the test results are shown in the attached Figures 26-30. It was confirmed from those test results that there was no problem with practical use of the pH automatic control system and proper concentration of pH conditioning chemical was 2-3% (wt).

A-3-2. Study on the method of automatic control of PO_4^{3-} :

Test for confirmation of the performance characteristics of the PO_4^{3-} automatic control system and phosphate analyzer, etc. was performed and the test results are shown in the attached Figures 31-33. From those test results it was confirmed that phosphate analyzer and PO_4^{3-} automatic control system performed as expected. As,

however, the PO_4^{3-} automatic control test could not be done due to remarkable soil of phosphate analyzer caused by contamination of sample water, such test and study will be continuously done in future. Further that as the phosphate analyzer takes the detecting time of twenty(20) minutes as shown in the attached Figures 31, it is not proper to use it as the detector of this automatic control system.

A-4. Study on the method of automatic control of boiler water blow quantity:

Confirmation test of performance characteristics of automatic control system for controlling boiler water blow quantity and the boiler water blow automatic control test were performed and the results of the tests were obtained as shown in the attached Figures 34 & 35. From those test results it was confirmed that this automatic control system is suited well to practical use.

A-5. Performance test of all automatic control systems:

Attached Fig. 36 shows the results of performance test of each automatic control system. Although it was confirmed from those test results that respective automatic control systems for treatment of pH and control of boiler water blow quantity performed as expected, we regret that satisfactory results could not be obtained from the performance test of automatic control system for treatment of PO_4^{3-} due to remarkable dirts on the phosphate analyzer used as the detector of this system.

B. From the results of the foregoing principal test was reached the following conclusion.

B-1 Sample water to be supplied to automatic control system for treatment of boiler water should be taken from the surface blow nozzle in steam drum and its neighborhood.

B-2. Velocity and temperature of sample water to be supplied to automatic control systems should be kept constant respectively at about 40 liter/hour and at 25°C and contamination of sample water should be prevented as much as practicable.

B-3. In case NaOH is used as the pH conditioning chemical, its proper concentration is 2-3%(wt).

B-4. pH automatic control system is suited well to practical use.

B-5. As the phosphate analyzer used as the detector of the PO_4^{3-} automatic control system is demeritous in its incapability of continuously detecting the concentration of PO_4^{3-} , it is necessary to develop a proper PO_4^{3-} detector for this automatic control system.

B-6. There is no problem in particular with practical use of automatic control system for controlling the boiler water blow quantity.

目 次

1. 目 的.....	(1)
2. 実 驗.....	(1)
2-1 実験方法	(1)
2-1-1 予備試験内容	(4)
(1) PO ₄ ³⁻ 調整剤選定試験.....	(4)
(2) pH、PO ₄ ³⁻ プロー自動制御装置の作動条件の決定	(6)
(3) ボイラ水の溶解固形物濃度と電気伝導度の関係.....	(7)
2-1-2 予備試験結果	(8)
(1) PO ₄ ³⁻ 調整剤選定試験結果ならびに検討.....	(8)
(2) ボイラ水の溶解固形物濃度と電気伝導度の関係.....	(9)
2-1-3 本 試 験	(13)
(1) 試料水採取位置の決定.....	(13)
(2) 試験水採取方法の検討.....	(14)
(3) pH、PO ₄ ³⁻ 制御方法の検討	(15)
(4) プロー方法の検討.....	(17)
(5) 全制御装置の作動状況の確認.....	(17)
2-2 実験装置	(18)
2-2-1 試験用ボイラ及び付設装置	(19)
2-2-2 pH、PO ₄ ³⁻ プロー制御装置.....	(19)
(1) pH 制御装置	(19)
(2) PO ₄ ³⁻ 制御装置.....	(19)
(3) プロー制御装置.....	(20)
2-3 実験結果ならびに検討	(21)
(1) 試料水採取位置の決定.....	(21)
(2) 試料水採取方法の検討.....	(22)
(3) pH、PO ₄ ³⁻ 自動制御方法の検討	(23)
(4) プロー方法の検討.....	(25)
(5) 全制御装置の作動状況の確認.....	(25)
3. 結 論.....	(25)

舶用ボイラのボイラ水処理の自動制御に関する研究

1. 目的

舶用ボイラの運転管理上重要な仕事の一つであるボイラ水の管理は、現在すべて人手を要し、特殊な技術を要している。したがって、これらの操作を全て自動化することにより乗組員の労力軽減、人件費の節約、さらには管理操作を容易かつ確実に行ない、ボイラ性能の向上を図ることは今後の舶用ボイラに残された課題の中、特に早期解決を要する問題である。

しかし、現在実船で行なわれているボイラ水処理操作をすべて自動制御に切換えることは、ボイラ水成分の検出方法、計測機器、制御機器等の関係もあり、非常に困難である。したがって本研究の目的は、さし当り三菱長崎造船所所属の舶用二胴型水管ボイラに試作自動制御装置を設置して、現行のボイラ水管理操作をほぼ代表し、しかも自動化可能と思われるボイラ水の pH、 PO_4^{3-} 、全溶解固体物の処理操作に重点をおいて研究を進め、これら諸項の実船における自動制御の基礎資料ならびに実用化資料を得ることである。

2. 実験

わが国における舶用ボイラのボイラ水、給水の管理例の多くは、日本ボイラ協会やボイラ製作所あるいは給水処理業者の指示する制限値、標準値（以後制限値と略す）などを参考にして手動操作により行なっている。

国内における制限値の例は Table. 1 に示すが、これらの値は Table. 2 のごとくボイラの安全管理、経済性等を考慮して制定されたもので、ここに定められた項目はそれぞれ重要な意義をもつものである。舶用ボイラにおいてもこれらの項目に即した管理が望ましいが、海上という特殊性から全部の項目に亘って計測管理することは非常に困難であり、Table. 3 に示すごとくほとんどが pH、 PO_4^{3-} 、溶解固体物その他 1.2 の項目を計測し、その結果制限値の最も安全側をとって Table. 4 のような給水処理業者の推奨する清缶剤の投入あるいは溶解固体物のボイラ外ブロー等の操作を行なっている。

しかし、これらの操作も長期航海における計測試薬の不良化、分析技術の問題から正確は期し難く、ボイラ水管理の不良に起因する必要以上の清缶剤注入、ボイラ水のブローなどの経済的損失、あるいはボイラ、タービンの事故も多いのが実情のようである。

我々は本研究の計画にあたり実船におけるボイラ水管理面での重要度、研究結果の実用性、などを考慮してさきにのべたごとく現行の管理操作の中から pH、 PO_4^{3-} 、溶解固体物の 3 項目をえらび、Fig. 1～2～3 に示す試験用自動制御装置を製作して Fig. 4 の長崎造船所所属の舶用二胴体水管ボイラ（以後試験用ボイラ）に Fig. 5 の要領で取り付け、これら処理操作の自動化上の問題点を実験解明することとした。

2.1 実験方法

我々は本研究を実施するにあたり下記順序による研究実施計画をたて最終的な全制御装置の作動状況を確認するに必要な問題を逐次実験解明することにした。

Table 1 Standard & Limitative Values of Boiler Water

区分 分 项 目	J I S B 8 2 2 3 (1)			日本ボイラ協会 (2)			三菱重工技術研究会 (3)		
	ボイラの種類 丸ボイラー	水管ボイラ(原動機なし)	水管ボイラ(原動機つき)	丸ボイラー	水管ボイラ	30をこえ50以下	丸ボイラー	水管ボイラ	16をこえ30以下
圧力 kg/cm ²	10をこえ20以下 下	20をこえ30以下 下	20をこえ30以下 下	10以下	10をこえ20以下	20をこえ30以下	10以下	16以下	16をこえ30以下
PH(25°C)	7以上	7以上	7以上	7以上	8.0~8.0~9.0	7以上	7以上	7以上	8.0~8.6~9.0
硬度 CaCO ₃ (PPm)	60以下	60以下	10以下	5以下	0	60以下 (10以下)	10以下	5以下	0
油水溶存酸素 O ₂ (PPm)	0に近く保つ く保つ 保つ	0に近く保つ く保つ 保つ	0に近く保つ く保つ 保つ	0.1	0.03	0.007	0.5以下	0.5以下 (0.5以下)	0.1以下 (0.5以下)
PH(25°C)	10.5~10.5~11.3	10.5~10.5~11.3	10.5~10.5~11.3	10.5~10.5~11.0	10.5~10.5~11.0	10.5~10.5~11.0	10.5~11.3	10.5~11.3	10.5~11.3
Mアルカリ度 CaCO ₃ (PPm)	500~800	500~350	300~200	500~300	200~150	120~800	500~700	500以下 (10.5~11.0)	10.5~11.0
Pアルカリ度 CaCO ₃ (PPm)	300~500	300~200	200~150	—	—	—	300以下 (11.0)	300以下 (11.0)	10.5~11.0
水酸イオン OH ⁻ (PPm)	—	—	—	—	—	—	350以下 (11.0)	300以下 (11.0)	10.5~11.0
全固形物 (PPm)	4000~3500	2500~2000	1500~1000	500~400	3500以下 (2000以下)	2500以下 (2000以下)	1500以下 (2000以下)	1000~500	2000以下 (1500以下)
塩素イオン Cl ⁻ (PPm)	800~800	500~300	200~100	—	800~800	500以下 (400以下)	300以下 (400以下)	100~100	—
リン酸イオン PO ₄ ³⁻ (PPm)	20~40	20~40	20~40	5~15	20~40	20~40	20~40	5~15	20~40
シリカ SiO ₂ (PPm)	—	—	—	—	150~100	100以下 (10以下)	150以下 (10以下)	50以下 (10以下)	150以下 (10以下)
亜硫酸イオン SO ₃ ²⁻ (PPm)	—	—	—	—	10~20	10~20	10~20	5~10	10~30
ヒドロジン N ₂ H ₄ (PPm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注 1. ()内数値は過熱器、原動機の一方または双方がある場合の標準値を示す。

2. 溶解酸素、濃度の単位換算、cc/l、mg/l、PPm(mg/kg)

1 1.43 1.43/d

3. 丸ボイラの水処理は必要に応じて水管ボイラの制限値から適当に判断することで充分と考え削除したものである。

Table. 2 Object of Establishment of Limitative Value

pH	給水系統ボイラおよびその関連系統の腐食防止する。
アルカリ度	ボイラ水のアルカリ成分の濃度およびある程度のアルカリ成分の組成を規定する標準を設けてキャリオーバを防止し全固体物およびシリカの濃度増加をおさえる
硬度	ボイラ内面特に伝熱面へのスケール付着およびボイラ内部のスラッジ堆積を防止する
リン酸イオン	ボイラ水中の硬度成分としてカルシウムイオンを沈殿となしスケールとしてボイラ内面に付着することを防ぐとともにカセイゼイ化防止およびある程度の防食効果が期待される
溶存酸素	ボイラおよび関連系統の腐食防止
全固体物	キャリオーバの防止
塩素イオン	ボイラ水中の全固体物の濃度をイオン濃度によって推定し間接に管理するとともに腐食を促進させる性質のある塩素イオン自体の濃度を標準以下に保つ
シリカ	蒸気に溶解した状態でキャリオーバすることを防ぐとともにボイラ内面にシリカを含む硬質スケールの付着防止
油脂	キャリオーバ、ボイラ内部を主として伝熱部で起る油脂の炭化およびスケール付着促進の諸原因となる油脂をなるべく低く限定する。

Table. 3 Example of Marine Boiler Water Control

船名	屯数 D.W.T	ボイラ仕様				ボイライラ水									
		過熱器 出口圧 力(kg/cm ²)	過熱器 出口溫 度(°C)	最大蒸 発量 T/H	pH	アルカリ度 (CaCO ₃ ppm) Mアルカリ度 カリ度	Cl Pアルカリ度	PO ₄ ³⁻ (ppm)	全固体 物(ppm)	硬度 (ppm)	SO ₃ ²⁻ (ppm)	電気伝 導度 (μv)	SiO ₂ (ppm)	Fl ₂ (ppm)	Cu ²⁺ (ppm)
(1)	46,700	42.2	454	41	0	0	0	0	0	—	—	0	—	—	—
(2)	46,000	42.2	454	41	0	0	0	0	0	—	—	0	—	—	—
(3)	32,200	42.2	454	33	0	0	0	0	0	—	—	0	—	—	—
(4)	45,000	42.2	454	42.6	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—
(5)	40,500	42.2	454	41	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—	—

Note: Items under measurement control are marked with 0

Table. 4 Chemical Compositions of Boiler Compounds

清缶剤製 作者名	成 分 種類	形 状	pH	Na	NaOH	PO ₄	Cl	NaCl	CO ₂	Na ₂ CO ₃	SO ₄	水分	有機物
A	104 号	(5g/l) 12.3	—	50.7	22.9	1.5					0.0		
	108 号	(5g/l) 5.6	—			0.3					0.0		
B	Alkali #850	淡黄色糊状		27.76	P ₂ O ₅ 0		1.50	0			69.76	0	
	Non Alkali #850	灰白色糊状		0	P ₂ O ₅ 0		1.17	0			81.00	4.14	
C	Phosphate Glassy (A)	白色板状	17.5		82.70					0			
	Na ₂ CO ₃ (B)	白色粉状	—		0					98.0			
D	Metephadium A	黑色糊状		23	—							68	
	P	〃		—	51						0.26	40	

2-1-1 予備試験項目

- (1) PO₄³⁻ 調整剤選定試験
- (2) pH、PO₄³⁻、プロー自動制御装置の作動条件の決定
- (3) ボイラ水の溶解固形物濃度と電気伝導度の関係

2-1-2 本 試 験

- (1) 試料水採取位置の決定
- (2) 試料水採取方法の検討
- (3) pH、PO₄³⁻、制御方法の検討
- (4) プロー方法の検討
- (5) 全制御装置の作動状況の確認

2-1-1 予備試験内容

ボイラにおける本試験に先立ちあらかじめ PO₄³⁻ 調整剤選定試験、pH、PO₄³⁻ 溶解固形物自動制御装置の作動条件決定及び溶解固形物と電気伝導度の関係資料調査を実施した。

(1) PO₄³⁻ 調整剤選定試験

舶用ボイラに使用されている清缶剤の組成は Table. 4 に示したごとく清缶剤製造者により多少相違する。現在清缶剤として使用されている薬剤を作用上から分類すると Table. 5 のとおりであり、pH 調整剤としては水酸化ナトリウム、炭酸ナトリウム、磷酸ナトリウムを主成分とする磷酸塩、PO₄³⁻ 調整剤としては前記磷酸塩が使用されている。

我々にはボイラ水の pH、PO₄³⁻ 処理操作の自動化研究にあたり Fig. 1~2 のごとくボイラ水の pH 値、PO₄³⁻ 濃度を個々に検出し各々の調整剤を個々にボイラに注入する自動制御方式を採用し、pH 調整剤には水酸化ナトリウム、PO₄³⁻ 調整剤としては第二磷酸ナトリウムまたは第三磷酸ナトリウムのいずれかを使用することにした。

しかし第二、第三磷酸ナトリウムはいずれもボイラ水の PO_4^{3-} と pH を同時に変化するので PO_4^{3-} 調整剤の選定如何によっては本試験における pH、 PO_4^{3-} 制御を困難にすることが予想される。

以上の理由から Table. 6 の試験条件にて pH と水酸化ナトリウム、第二、第三磷酸ナトリウムの量的な関係を実験室的に確かめ、適正 PO_4^{3-} 調整剤を選定することにした。

Table. 6 Conditions for Selection Test of PO_4^{3-} Conditioning Chemicals

実験 No.	PO_4^{3-} 添加濃度 (ppm)	pH 値 NaOH により 調整	6.8 (NaOH · Oppm)	9.011 (0.41)	10.011 (4.1)	10.55 (14)	11.11 (52)
			10	10	10	10	10
1	$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	20		20	20	20	20
		30		30	30	30	30
		40		40	40	40	40
		50		50	50	50	50
2	$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	—	—	—	10	10	10
		—	—	—	20	20	20
		—	—	—	30	30	30
		—	—	—	40	40	40

注 (1) 化学用一級 $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ により PO_4^{3-} 1000ppm 原液を調整しこれを各濃度の相当量だけ分取使用した。

(2) PO_4^{3-} 原液濃度は JIS モリブデン青色法によりチェックした。

Table. 5 Classification of Boiler Compounas by Chemical Action

作 用	薬 剤	
	名 称	分 子 式
pH アルカリ度調整 (給水、ボイラ水の pH、アルカリ度を調整し、腐食、スケールを防止する。)	水酸化ナトリウム（カセイソーダ） 炭酸ナトリウム（ソーダ灰） リン酸 3 ナトリウム（第 3 リン酸ソーダ） リン酸 2 ナトリウム（第 2 リン酸ソーダ） リン酸 1 ナトリウム（第 1 リン酸ソーダ） ヘキサメタリン酸ナトリウム	NaOH Na ₂ CO ₃ Na ₃ PO ₄ Na ₂ HPO ₄ NaH ₂ PO ₄ (NaPO ₃) ₆
軟化 (ボイラ水の硬度成分を不溶性の沈殿、すなわちカマドロとしてスケールの付着を防止する。)	水酸化ナトリウム（カセイソーダ） 炭酸ナトリウム（ソーダ灰） リン酸 3 ナトリウム（第 3 リン酸ソーダ） リン酸 2 ナトリウム（第 2 リン酸ソーダ） リン酸 1 ナトリウム 重合リン酸塩	NaOH Na ₂ CO ₃ Na ₃ PO ₄ Na ₂ HPO ₄ NaH ₂ PO ₄

	アルミニン酸ナトリウム（アルミニン酸ソーダ） ケイ酸ナトリウム（ケイ酸ソーダ）	$\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ Na_2SiO_3
カマドロ調整 (物理的作用により、カマドロをボイラ水中に分散、懸濁させてブローによる排出を容易にし、スケール付着を防止する。)	タンニン リグニン デンプン 海草抽出物 高分子有機合成化合物	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{OS})_n$
脱酸素 (給求中の溶存酸素を還元し) (腐食を防止する)	亜硫酸ナトリウム 重々 ヒドラジン タンニン	Na_2SO_3 NaHSO_3 N_2H_4
カセイゼイ化抑制	硝酸ナトリウム リン酸ナトリウム類 タンニン リグニン	NaNO_3
フォーミング防止	ポリアミド 高級脂肪酸の エステル アルコール	

(2) pH、 PO_4^{3-} ブロー自動制御装置の作動条件の決定

船舶に装備するボイラはタービン船の主ボイラとディーゼル船の補助ボイラに大別されるが、後者は 16k/gcm^2 級以下程度の低圧ボイラである。我々は本研究実施にあたり、タービン船のボイラとして近い将来 60kg/cm^2 級の出現が予想されることから Table. 1 の三菱重工技術研究会ボイラ給水委員会制定の $50\sim70\text{kg/cm}^2$ 級水管ボイラ制限値を対称として本試験におけるボイラ水の pH、 PO_4^{3-} 、ブロー制御を行なうこととした。Table. 6 に本試験における自動制御装置の作動目標値を示す。

Table. 7 Desirable Performance Value of Automatic Control Apparatus for pH, PO_4^{3-} and Dissolved Solids.

pH 制御装置	PO_4^{3-} 制御装置	ブロー制御装置
pH 10.5~11	PO_4^{3-} (ppm) 10~20	溶解固形物 400 以下

注) このように高圧ボイラを対称とした理由は一般的な傾向として低圧ボイラの技術は高圧ボイラにおける技術の反映をうけて進歩することと、近時ボイラのボイラ水制限値が諸般の事情により益々厳格になる傾向にあることによる。

(3) ボイラ水の溶解固体濃度と電気伝導度の関係

実船におけるボイラ水の溶解固体物は、ボイラ水を中和後電気伝導度を測定しこの値に適当な factor を乗じて溶解固体濃度を算出し、溶解固体物が制限値、標準値をこえる場合はボイラ水を船外にブローするか、ボイラ水をスチーム・コンバーターに連続ブローして溶解固体物の行過ぎを抑えるか、Cl⁻ を測定することによりブローの時期や量を推定すること等により管理するのが実情である。

我々はボイラ水の溶解固体物処理操作の自動化研究にあたり Fig. 3 に示すとく電気伝導度を検出端とする自動制御方式を採用した。

水溶液の電気伝導度は稀薄電解質塩類の濃度が一定の場合には濃度と比電導度は比例する。濃度と比電導度の関係は Table. 8~9 及び Fig. 6 に示すとく塩類の種類によって異なるので、水処理管理基準すら一律化されていない各船舶の溶解固体物管理を我々の電気伝導度方式により一元化することは非常に危険であるが、一応水処理条件、管理基準等を統一することを前提とすれば、ボイラの定常状

Table.8 Specific Conductivity of Aqueous Solutions by each Solute.

溶 質	温 度	0.1	1.0	5.0	10	50	100	500	1000
HCl	meg/l	2.74×10^{-3}	2.74×10^{-2}	0.137	0.274	1.37	2.74	13.7	27.4
	18°C	1.043	10.42	52.03	103.9	515.8	1026	5036	9949
	25°C	1.167	11.65	58.14	116.0	576.4	1147	5621	11100
NaOH	meg/l	2.5×10^{-3}	2.5×10^{-2}	0.125	0.250	1.25	2.50	12.5	25.0
	18°C	0.543	5.425	29.05	54.00	267.8	532.2	2596	5115
	25°C	0.619	6.183	30.84	61.58	305.5	607.3	2963	5820
NaCl	meg/l	1.71×10^{-3}	1.71×10^{-2}	8.55×10^{-2}	0.171	0.855	1.71	8.55	17.1
	18°C	0.1860	1.850	9.251	18.45	91.14	180.7	837.8	1713
	25°C	0.2161	2.156	10.75	21.44	106.0	210.3	1018	1996
Na ₂ SO ₄	meg/l	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-2}	7.6×10^{-2}	0.152	0.76	1.52	7.6	15.2
	18°C	0.1689	1.683	8.352	16.63	8.124	159.6	746.3	1426
	25°C	0.1970	1.964	9.751	19.41	94.92	186.5	870.2	1667
Na ₃ PO ₄	meg/l				0.203	1.02	2.03	10.2	20.3
	18°C								
	25°C				25	125	250	1210	2260
Na ₂ CO ₃	meg/l				0.189	0.944	1.89	9.44	18.9
	18°C				20	106	205	913	1700
	25°C				23	110	227	1020	1960

注 I.C.T および Landolt Tabelle の当量電導度の値より算出した。

Table. 9 Equivalent Conductivity of Ions in Infinite Dilution

イオン	1 ∞		イオン	1 ∞	
	18°C	25°C		18°C	25°C
H ⁺	315	349.8	OH ⁻	174	200
Na ⁺	42.6	50.1	Cl ⁻	66.3	76.32
K ⁺	63.65	73.50	Br ⁻	68.25	78.4
NH ₄ ⁺	63.6	73.7	NO ₃ ⁻	62.6	71.42
1/2. Mg ²⁺	44.6	53.06	HCO ₃ ⁻		44.5
1/2. Ca ²⁺	50.4	59.50	H ₂ PO ₄ ⁻	28	36
1/2. Cu ²⁺	45.3	56	HS ⁻	57	65
1/2. Fe ²⁺	44.5	53.5	HSO ₃ ⁻		50
1/2. Ni ²⁺	45	53	1/2. CO ₃ ²⁻	60.5	72
1/3. Fe ³⁺		68	1/2. HPO ₄ ²⁻		57
1/3. Cr ³⁺		67	1/2. SO ₃ ²⁻		72
1/3. Al ³⁺		63	1/2. SO ₄ ²⁻	68.7	79.8

注：稀釀水溶液の $K = 10^{-3} \Sigma n_i$ 但し K : 比電導度 ($\mu\text{m}/\text{cm}$)

n : 水溶液構成イオンの規定濃度 (g 当量/1)

1 : 水溶液構成イオンの当量電導度 ($\mu\text{cm/g 当量}$)

態におけるボイラ水の溶解塩類割合もほぼ一定の幅に管理されると思われる所以この制御方式は成立つと予想される。

このような見地から実船における二、三の例について溶解固形物と電気伝導度の関係について調査し、我々の制御方式の適否を確認することにした。

2-1-2 予備試験結果

(1) PO₄³⁻ 調整剤選定試験結果ならびに検討

Table. 6 の試験条件にて pH 値に及ぼす水酸化ナトリウム、第二第三磷酸ナトリウムの量的な関係について試験し、Table. 10~11 及び Fig. 7~8 の結果を得た。

Table. 10 Relation between pH and Concentration of NaOH and Na₃PO₄ · 12H₂O

pH 実測値	PO ₄ ³⁻ (ppm)	10	20	30	40
6.8*	10*	10.35*	10.6*	10.78*	
9.0	10.16	10.5	10.7	10.86	
10.0	10.48	10.7	10.84	10.94	
10.55	10.84	10.98	11.08	11.16	

Table. 11 Relation between pH and Concentration of NaOH and Na₃PO₄ · 12H₂O Na₂HPO₄

pH 実測値	PO ₄ ³⁻ (ppm)	10	20	30	40
6.8*	10	10	10.10	10.10	10.05
9.0	10.5	10.45	10.55	10.55	10.45
10.0	11	10.9	11.03	10.95	10.90

注 * 印は NaOH : O

Fig. 9 は強塩基によるリン酸の適定に対する pH 曲線であるが、この図から分るごとく Na_3PO_4 及び Na_2HPO_4 0.1mol 溶液の pH 値は Na_3PO_4 12.1 Na_2HPO_4 9.6 程度である。このことからも我々の実測結果に示すごとく Na_3PO_4 はボイラ水の pH を上昇させ、 Na_2HPO_4 はボイラ水程度の pH 範囲ではほとんど pH 値に影響を及ぼさないことが結論される。

実際には Na_2HPO_4 の場合でもボイラ内において硬度成分、鉄分などにより、 PO_4^{3-} が消費されると NaOH を生じて二次的に pH 上昇を来たすものと思われるが、これを実験的に確認することは非常に困難であるので本研究では割愛した。

なお市販されている磷酸ナトリウムを主成分とする磷酸塩の Na と PO_4 のモル比は一定でないものが多いため第三磷酸ソーダのように pH 値に大きな影響を持つものの使用についてはあらかじめ Na と PO_4 のモル比をチェックする必要がある。

(2) ボイラ水の溶解固形物濃度と電気伝導度の関係

実船調査結果ならびに検討

タービン船の航海時におけるボイラ水の中和前の電気伝導度と溶解固形物濃度の関係を調査し Table. 12~13 及び Fig. 10~11 に示す結果を得た。

(注)1. 船名(6)の資料はボイラ製作後の性能試験時に得たものである。

2. 船名(6)の資料は長期航海中のログブックより得たものである。

ここに得た資料を電気伝導度と溶解固形物について整理すると下記のごとくである。

(イ) 溶解固形物濃度と電気伝導度の比

船名(3)の場合：1号ボイラの平均値0.30 2号ボイラの平均値0.29

船名(6)の場合：1号ボイラの平均値0.37 2号ボイラの平均値0.41

等であり船名(3)(6)の平均値の誤差は Table. 12~13 の記録からも分るごとく $\pm 10\%$ である。

(ロ) 溶解固形物濃度、電気伝導度、Pアルカリの間には一定の比例関係がある。

(ハ) pH は前記3項目の濃度変化にはあまり支配されない。

(イ)の結果は船舶に搭載するボイラで給水処理及び管理基準を同じくする場合はボイラ水の溶解固形物と電気伝導度の間には一定の比例関係があり、しかもその比は同一であることを意味するものと解釈される。ただし船名(3)の場合平均値0.04にの差を生じているが、これは性能試験の都合でボイラ水管理が1、2号ボイラにより異なるためと思われる。

(ハ)のpHが溶解固形物濃度、電気伝導度、Pアルカリの変化に大きく影響されない様な傾向を示している事実はボイラ水中に存在する緩衝作用を示すイオン（たとえば磷酸イオン）の影響並びに pH がイオン濃度の対数で示されることによるものであろう。

現在までに得た実船資料は都合によりここに掲げる2例にとどまった。この程度の資料で船用ボイラのボイラ水中の溶解固形物濃度と電導度の関係について結論を求めるることは早計のきらいもあるが、以上の調査結果からさきに述べた我々の推論はほぼ妥当性を持つものと思われる。

なお本項については将来さらに多くの実船ボイラについて調査を行ない、種々の給水処理条件下におけるボイラ水の溶解固形物濃度と電導度の関係を求める予定である。

Table. 12-1 Relation between Conductivity and Concentration of Dissolved Solid.

船名(3) 屯数 D.W.T. 32,200

ボイラ要目 過熱器出口圧力、過熱器出口温度、最大蒸発量

42.2kg/mm² 454°C 33T/H

1号缶										分析または清缶剤投入		清缶剤種類及び投入量(kg)		備考	
pH	PO ₄ ppm	アルカリ度 ppm		Cl ppm	電気伝導度 μv		溶解固形分 ppm(B)	B/A	年月日	時間	Alkali #850	Non Alkali #850			
		P	M		中和前(A)	中和後									
									S.33 7.19			1.0	1.0	Na ₂ SO ₃ 0.2	7.26 7°00' 松山発
10.5	10.0	44.8	86	6.0	380	195	117	0.32	7.30	5°00'					
10.5	9.0	44.8	77	7.0	370	185	111	0.30	8. 2	17°00'					
10.6	9.0	44.6	81	7.0	390	195	117	0.30	8. 3	17°00'					
10.5	9.0	48.0	77	7.0	375	185	111	0.29	8. 4	17°00'					
10.5	9.0	48.0	77	7.0	375	185	111	0.29	8. 5	17°00'					
10.5	9.0	43.2	76	8.0	350	180	108	0.31	8. 6	17°00'					
10.5	9.0	45.6	77	8.0	345	172	103	0.30	8. 7	17°00'					
10.4	9.0	38.4	70	8.0	320	165	99	0.31	8. 8	17°00'					
10.4	9.0	38.4	72	6.0		160		平均値 0.30	8. 9	17°00'					
									8.14	13°00'	0.152	0.112	0.022		
10.7	12.0	64.8	104	9.0	490	232	139	0.28	8.15	17°00'					
10.7	12.0	63.2	102	6.0	490	226	136	0.27	8.16	17°00'					
10.7	12.0	60.8	98	6.0	485	220	132	0.27	8.17	17°00'					
10.7	12.0	60.8	100	6.0	483	225	135	0.28	8.18	17°00'					
10.7	12.0	60.0	97	6.0	472	225	135	0.29	8.19	17°00'					
10.7	12.0	58.4	97	6.0	468	225	135	0.29	8.20	17°00'					
10.7	12.0	55.4	98	6.0	465	220	132	0.28	8.21	17°00'					
10.7	12.0	53.6	95	8.0	470	220	132	0.28	8.22	17°00'					
10.7	12.0	56	98	12.0	475	235	141	0.30	8.23	17°00'					
10.7	12.0	54.4	96	10.0	475	235	141	0.30	8.24	17°00'					
10.7	12.0	56.0	96	10.0	475	235	141	0.30	8.25	17°00'					
10.7	12.0	55.2	91	11.0	475	235	141	0.30	8.26	17°00'					
10.7	10.0	56.8	92	12.0	480	236	142	0.30	8.27	17°00'					
10.7	10.0	55.2	95	12.0	480	236	142	0.30	8.28	17°00'					
							平均値 0.29								
														8.28 下津着	

Table. 12-2 Relation between Conductivity and Concentration of Dissolved Solid.

2号缶										分析または清缶剤投入		清缶剤種類及び投入量 (kg)			
pH	PO ₄ ppm	アルカリ度 ppm		Cl ppm	電気伝導度 μv		溶解 固形分 ppm	B/A	年 月日	時間	Alkali #850	Non Alkali #850			
		P	M		中和前	中和後									
									S.33 7.19		1.0	1.0	Na ₂ SO ₃ 0.2	7.26 7°00' 松山発	
10.6	10.0	47.2	88	7.0	385	200	120	0.31	7.30	5°00'					
10.6	9.0	44.8	80	7.0	379	185	111	0.29	8. 2	17°00'					
10.6	9.0	48.0	80	8.0	398	195	117	0.29	8. 3	17°00'					
10.5	9.0	48.0	77	8.0	390	187	112	0.29	8. 4	17°00'					
10.6	9.0	48.0	77	8.0	390	187	112	0.29	8. 5	17°00'					
10.5	9.0	47.2	80	8.0	365	185	111	0.30	8. 6	17°00'					
10.5	9.0	49.2	80	8.0	372	180	108	0.29	8. 7	17°00'					
10.5	9.0	46.2	80	7.0	400	190	114	0.28	8. 8	17°00'					
10.6	9.0	46.2	80	8.0	400	190	114	0.28	8. 9	17°00'					
									8.14	13°00'					
10.5	8.0	48	80	7.0	360	166	99	0.27	8.15	17°00'					
10.5	8.0	48	78	9.5	365	170	102	0.28	8.16	17°00'					
10.7	12.0	54.4	98	9.5	425	200	120	0.28	8.17	17°00'					
10.7	12.0	57.6	100	10.0	450	212	127	0.28	8.18	17°00'					
10.7	12.0	56.0	98	10.0	450	212	127	0.28	8.19	17°00'					
10.7	12.0	56.0	91	10.0	450	210	126	0.28	8.20	17°00'					
10.7	12.0	51.2	88	10.0	475	200	120	0.25	8.21	17°00'					
10.7	12.0	53.6	95	12.0	455	200	120	0.26	8.22	17°00'					
10.7	12.0	54.4	92	15.0	445	200	132	0.30	8.23	17°00'					
10.7	12.0	52.8	92	15.0	425	220	132	0.31	8.24	17°00'					
10.7	12.0	55.2	94.0	15.0	425	220	132	0.31	8.25	17°00'					
10.7	12.0	54.4	90.0	15.0	425	220	132	0.31	8.26	17°00'					
10.7	10.0	56.8	91.0	16.0	485	230	138	0.29	8.27	17°00'					
10.7	10.0	55.2	92.0	16.0	485	230	138	0.29	8.28	17°00'					
														8.28 下津港	

Table. 13 Relation between Conductivity and Concentration of Dissolved Solid.

船名(6)　屯数 D.W.T. 70,000

ボイラ要目 過熱器圧力(42kg/cm²) 過熱器出口温度(454) 最大蒸発量(48T/H)

1号缶									備考	
pH	PO ₄ ppm	アルカリ度 ppm		Cl ppm	電気伝導度 μv		溶解固形物 ppm (B)	B/A		
		P	M		中和前(A)	中和後				
10.85	30	76	108	6.7	462	277	166	0.36	清缶剤投入時間不明 使用清缶剤 Metaplrodium	
10.9	25	74	106	7.8	455	270	162	0.35		
10.85	20	76	108	6.8	515	275	165	0.32		
11.0	20	54	90	7.6	330	232	139	0.42		
10.9	20	72	94	6.7	394	249	149	0.38		
10.9	25	68	102	7.7	400	258	155	0.39		
11.0	25	68	98	7.7	406	261	157	0.38		
11.0	25	66	98	6.7	400	261	157	0.39		
									平均値 0.37	
2号缶										
10.7	25	72	102	4.8	447	298	179	0.40		
10.8	25	68	100	7.8	447	293	176	0.39		
10.8	20	76	106	6.7	507	300	180	0.35		
10.85	20	46	74	6.7	360	232	139	0.39		
10.9	20	50	78	5.8	363	240	144	0.40		
10.6	30	46	80	6.7	336	250	150	0.44		
10.85	25	54	80	6.7	340	250	150	0.44		
10.7	25	50	80	6.7	338	258	155	0.46		
									平均値 0.41	

2-1-3 本 試 験

(1) 試料水採取位置の決定

ボイラ水処理におけるボイラ水採取位置は重要な意味をもつものである。すなわち三菱重工技術研究会ボイラ給水委員会制定のボイラ水試料採取方法によると、ボイラ水試料採取位置は給水及びボイラ水の管理が最も安全側において行なわれるようにするためボイラ内で最も濃縮され、かつキャリオーバーに直接関与するボイラ水を取出せる位置として、連続プローブ装置より分岐管により採取するか、連続プローブ装置がない場合はこれに代る内管装置を蒸気ドラム内に取り付けてボイラ水を採取す

Table. 14 Experimental Methods for Determination of Sampling Point of Boiler Water.

項目	内容
試験項目	(1)ボイラ水溶解塩類の濃度分布確認：ボイラ負荷、薬注方法を変えた場合のボイラ水濃度分布を実測する。
試料水採取位置	(1)薬注内管近傍 (2)水ドラムプローブ内管 (3)蒸気ドラムプローブ内管
試験用ボイラ運転条件	(1) $\frac{3}{4}$ 負荷バーナ2本 (2) $\frac{3}{4}$ 負荷バーナ3本 (3) $\frac{4}{5}$ 負荷バーナ3本、各圧力25kg/cm ² G
試料水採取速度、温度	30l/H 20~25°C
使用薬液	(1)NaOH (2)Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O (3)Na ₂ SO ₄
計測項目	(1)pH (2)PO ₄ ³⁻ (3)電導度
実験番号	<p>1 ボイラを$\frac{3}{4}$負荷 25kg/cm²G バーナ2本にて運転し、Na₂HPO₄·12H₂O 0.9% Solu 及び Na₂SO₃ 1% Solu を連続注入及び薬注停止時における試料水を10分毎に採取し電導度を計測、(注)連続プローブ量 (0.65%、500l/H) 給水 pH</p> <p>2 ボイラ負荷$\frac{4}{5}$、圧力27kg/cm²G、バーナ3本、給水 pH 8.5、電導度2.7μv 連続プローブ (0.19%、210l/H) NaOH 50g、Na₂HPO₄·12H₂O 250g、Na₂SO₃ 300g を給水内管より1時に投入し10分毎に pH、電導度を計測</p> <p>3 ボイラ負荷$\frac{3}{4}$、圧力27kg/cm²G、バーナ3本、給水 pH 6.9、電導度3.8、連続プローブ (0.21%、200l/H) Na₂HPO₄·12H₂O 1500g 給水内管より投入、pH PO₄³⁻ 電導度計測、計測開始25分後 pH 設定値11として NaOH 1%、Solu を auto 注入</p> <p>4 ボイラ負荷$\frac{3}{4}$、圧力 26kg/cm²G、バーナ3本、給水 pH 7.2、電導度 6.0μv で運転。電導度を計測、計測開始20分後に NaOH 3.5% Solu 薬注ポンプより注入。薬注と電導度の変化状況を確認。(注)連続プローブ-0.25% (228l/H)</p> <p>5 ボイラ負荷$\frac{3}{5}$、圧力 26kg/cm²G、バーナ3本、給水 pH 7.2、電導度 60μv、連続プローブ (0.38%、300l/H) Na₂HPO₄·12H₂O 4% Solu、NaOH、3.5% Solu 注入における電導度変化を計測。</p>

るよう規定している。

この規定はボイラ水処理を自動化した場合にも適用できると思われるが、ボイラ水試料採取位置決定は基本的な問題でもあるので、ボイラ内の各位置におけるボイラ水溶解塩類の挙動を実験的に確かめ pH、 PO_4^{3-} 、プロー自動制御における最適試料水採取位置を決定することにした。

試験条件ならびに方法は Table. 14 に示す。

(2) 試験水採取方法の検討

一般的にボイラ水の濃度は経時変化を常に示しているものである。したがってボイラ水の管理を自動的に行なう場合にはボイラ内の濃度変化に充分追随し得る試料水の採取方法が必要である。実際に試料水取出位置より検出部に達するまでの時間遅れや検出部以降より操作部の動作開始までの時間遅れ等が生ずるので、万全の処置を講じたとしても、この時間遅れを完全に除去することは不可能である。しかしボイラが定常の状態、すなわちボイラ給水が制限値以内の一定条件下にあり、ボイラ内におけるボイラ水成分が急激な化学変化等を示さない場合にはこの経時変化も非常に緩慢であると予想されるので、検出部に提出する試料水がボイラ水の組成を代表し、しかも検出部の検出条件（たとえば試料水の温度、汚染度、流速等）を満足するならば充分な制御効果が期待できる。

このような見地から pH、 PO_4^{3-} 、プロー自動制御における最適試料水採取方法を Table. 15 の方

Table. 15 Experimental Methods for Determination of Sampling Conditions of Boiler Water.

項目	内容	
試験項目	(1)試料水流速と検出値の関係 (2)試料水汚染度と検出値の関係	
試料水採取位置	蒸気ドラムプロー内管	
試験用ボイラ運転条件	負荷 $\frac{3}{4}$ 、圧力 $26\text{kg}/\text{cm}^2$ G、バーナ 3 本	
試料採取流速	Base $36l/\text{H}$ (1) $36l/\text{H}$ (2) $72l/\text{H}$ (3) $86l/\text{H}$	
試料水汚染度	(1)試料水採取のまま (2)No. 5 A 沔紙にて済過 (3)No. 6 沔過	
試料水汚染度表示	光電比色計のフィルタ47にて純水の透過率を 100% とした場合の上記項目の透過率比較値により表示する。	
計測項目	pH 電導度	
実験番号	1	蒸気ドラムプロー内管に同一の試料水取出管を 2 本取りつけ 1 本を $36l/\text{H}$ 一定に流し、他の 1 本の流速を上記のごとく変えた場合の pH、電導度の値を同時計測する。 この場合試料水は済過しないまま計測する。
	2	同一試料水の汚染度を上記 3 段階に分けて pH、電導度の値を計測比較する。

注、光電比色計は東京光電 7 型を使用した。

法により実験的に確かめることにした。

なお本試験におけるボイラ水の汚染度は後述するごとく非常に激しかったので、試料水はスポンジフィルターを用いて濾過し純水に対して70~80%の透過率になるように保持して全試験を行なった。

(3) pH、 PO_4^{3-} 制御方法の検討

(i) pH 制御方法の検討

ボイラ水の pH はボイラおよびその関連系統の腐食を防止するために制御される。ボイラ材料は pH があまり低い側にあると腐食が起り易くまた pH 値が11を超えてあまり高い側にあると、一般に境膜層の濃度はかなり大きくなり極端な場合にはアルカリ腐食、苛性脆化等特異な腐食現象を惹き起す恐れがある。このような意味からボイラ水の pH は定められた制限値内で管理することが望まれる訳である。

Table. 16 Experimental Methods as to Confirmation of Performance of the pH Control Apparatus.

項目	内 容
試 験 項 目	(1)pH 自動制御装置の作動特性の確認 (2)薬注濃度と pH 制御特性の確認
試 料 水 採 取 位 置	蒸気ドラムブロー内管
試験用ボイラ運転条件	(1)負荷 $\frac{4}{5}$ 、圧力 $26\text{kg}/\text{cm}^2$ 、バーナ 3 本、給水 pH 7.35、電導度 $2.13\mu\text{mho}$ 、Blow $210\text{l}/\text{H}$ (2)負荷 $\frac{4}{5}$ 、圧力 $26\text{kg}/\text{cm}^2$ 、バーナ 3 本、給水 pH 7.8、電導度 $1.35\mu\text{mho}$ 、Blow $190\text{l}/\text{H}$
薬 注 濃 度	(1)NaOH 8 % Solu (2)NaOH 3.5 % Solu
pH 調節計設定値	(1)pH 11 (2)pH 10.8 (3)pH 10.7 (注)比例帶 5 %、手動セット 0 ,
試 料 水 条 件	温度 $15\sim25^\circ\text{C}$ 、流速 $30\sim50\text{l}/\text{H}$ 、汚染度 70~80% 透過率
1	(i)薬注ポンプ動作特性試験：pH 調節計よりの出力信号 $0\sim16\text{mA}$ 変化させた場合の薬注ポンプの吐出量変化を測定する。 (ii)pH 調節計動作特性試験：pH 指示記録計の設定値と指示値の偏差と調節計出力変化を測定する。
2	ボイラ運転条件①、pH 設定値 11 NaOH 3.5 % Solu、調節計比例帶 5 % 手動リセット 0 にてボイラ水 pH 10.8 より自動制御
3	ボイラ運転条件②、pH 設定値 11 NaOH 3.5 % Solu、調節計比例帶 5 % 手動リセット 0 にて、ボイラ水 pH 10.8 より自動制御
4	ボイラ運転条件②、pH 設定値 10.7、NaOH 3.5 % Solu、調節計比例帶 5 % リセット 0 にてボイラ水 pH 10.1 より自動制御

我々は現行の舶用ボイラにおける pH 管理操作を Fig. 1 のごとき制御装置により自動的に行なうよう計画した。pH 制御は一般に困難なものとされ給水処理の極度な厳重さを要求する陸上の新鋭火力発電用ボイラでさえボイラ水の pH 制御を完全自動で行なっていないのが実情である。ボイラ水の pH 制御を複雑困難としている理由は pH 検出部にかかる問題がほとんどと思われるが、これらの問題も含めて舶用ボイラにおけるボイラ水 pH 制御の自動化上の問題点を Table. 16 の方法により実験検討することにした。

(ロ) PO₄³⁻ 自動制御方法の検討

さきに述べたごとくボイラ水の PO₄³⁻ 管理は給水硬度成分による缶石生成、苛性脆化防止、防食等の目的で行なうものである。我々が本研究を計画するにあたり制御上最も当惑したのは適正な検出器が開発されていない PO₄³⁻ 管理操作の自動化である。

Table. 17 Experimental Methods as to Confirmation of Performance of the PO₄³⁻ Control Apparatus.

項目	内 容
試 験 項 目	(1)PO ₄ ³⁻ 分析計の作動特性の確認 (2)PO ₄ ³⁻ 制御装置の作動特性の確認 (3)薬注濃度と PO ₄ ³⁻ 制御特性の確認
試 料 水 採 取 位 置	蒸気ドラムプローブ内管
試験用ボイラ運転条件	(1)負荷 $\frac{4}{5}$ 、圧力 26kg/cm ² バーナ 3 本、給水 pH 7.8 電導度 1.35 μv Blow 190l/H (2)負荷 $\frac{3}{4}$ 、圧力 26kg/cm ² バーナ 3 本、給水 pH 7.3 電導度 1.6 μv Blow 280l/H
薬 注 濃 度	(1)Na ₂ HPO ₄ ・12H ₂ O 4 % Solu (1)Na ₂ HPO ₄ ・12H ₂ O 2 % Solu
PO ₄ ³⁻ 分析計チェック液	(1)PO ₄ ³⁻ 9.6 (ppm) (2)PO ₄ ³⁻ 19.6 (ppm)
1	PO ₄ ³⁻ 分析計性能試験：標準液 9.6、19.6 ppm により PO ₄ ³⁻ 分析計の性能試験を行なった。
実 験 番 号 2	(イ)薬注ポンプ動作特性試験：PO ₄ ³⁻ 調節計よりの出力信号 0 ~ 16mA 変化させた場合の薬注ポンプの吐出量変化を計測する。
3	(ロ)PO ₄ ³⁻ 調節計の動作特性試験：PO ₄ ³⁻ 調節計の設定値と指示値の偏差と調節出力計変化を測定する。
4	PO ₄ ³⁻ 調節計の比例帯 %、リセット率、PO ₄ ³⁻ 設定 Na ₂ HPO ₄ ・12H ₂ O 4 % Solu における PO ₄ ³⁻ 自動制御
	PO ₄ ³⁻ 調節計の比例帯 %、リセット率、PO ₄ ³⁻ 設定値、Na ₂ HPO ₄ ・12H ₂ O 2 % Solu における PO ₄ ³⁻ 自動制御

しかし現状においては PO_4^{3-} 管理を除外した船用ボイラのボイラ水処理は考えられないで、一応研究対象として PO_4^{3-} 制御を選定した。幸いにも我々の計画とほぼ時を同じくして、イオン交換水や高圧汽缶の給水、缶水等の PO_4^{3-} 監視計器として自動磷酸分析計が国内の某メーカーにより開発され実用され始めたので、これを自動制御の検出端に改造して使用することにした。本分析計は後述するごとく1回の分析に20分を要し、しかも実船における自動制御の検出端として搭載使用できない構造上の欠点はあるが、現段階では適当な PO_4^{3-} 検出器もないので Fig. 2 に示すごとく本分析計を検出端とした制御回路を組み、これを手掛りとして船用ボイラの PO_4^{3-} 自動制御における諸問題の解決を計ることにした。

Table. 17 に PO_4^{3-} 制御に関する試験項目及び実験方法を示す。

(4) ブロー方法の検討

ボイラ水のブロー制御はボイラ内の溶解固体物のキャリオーバー防止とボイラ内に沈殿したスラッジの除去を目的とする場合の二つに分けられる。しかし後者の場合ブロー時期決定を機械装置により自動的に行なうことは困難であり、またブローの頻度も少ないので主として前者のブローを対称とした自動制御の研究を行なうこととした。ブロー自動制御の実験方法は Table. 18 のごとくである。

Table. 18 Experimental Methods as to Confirmation of Performance of the Blow Control Apparatus.

項目	内容
試験項目	(1)ブロー自動制御装置の動作特性の確認 (2)ブロー方法と pH、 PO_4^{3-} 制御の関係
試料水採取位置	蒸気ドラム内管
ブロー水取出位置	水ドラム内管
試験用ボイラ運転条件	(1)負荷 $4/5$ 、圧力 $26\text{kg}/\text{cm}^2$ 、バーナ 3 本、給水 pH 7.8、電導度 $1.35\mu\text{v}$ (2)負荷 $3/4$ 、圧力 $26\text{kg}/\text{cm}^2$ 、バーナ 3 本、給水 pH 7.3、電導度 $1.6\mu\text{v}$
実験番号	1 ブロー自動制御装置の動作特性の確認：設定値 $90\mu\text{v}$ 、比例帶 10%、リセット 0.1、レート 1、の場合のパワードライブユニットの作動確認 2 ブロー方法と pH、 PO_4^{3-} 制御の関係：設定値 $400\mu\text{v}$ 、比例帶 10%、リセット 0.1、レート 1 とし pH 設定値 $11.0 \text{NaOH } 3.5\% \text{ Solu}$ 、 PO_4^{3-} 設定値 $11\text{ppm Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O } 2\% \text{ Solu}$ における pH、 PO_4^{3-} 、ブローの制御状況の確認

(5) 全制御装置の作動状況の確認

実船における pH、 PO_4^{3-} 、ブロー自動制御の適否はこれに使用する各制御機器の長期間に亘る航海中の正確な作動如何による。かかる意味から本研究に使用した制御装置の長期作動試験を Table. 19 の要領にて行なうこととした。

Table. 19 Test for Confirmation of Performance of all Control Apparatuses.

項 目	内 容
試 料 水 採 取 位 置	蒸気ドラム内管（試料水採取速度 40l/H）
プロー水取出位置	水ドラム内管
試験用ボイラ運転条件	(1)負荷 $\frac{4}{5}$ 、圧力 26kg/cm ² 、バーナ 3 本、給水 pH 7.8、電導度 1.35 μv (2)負荷 $\frac{8}{4}$ 、圧力 26kg/cm ² 、バーナ 3 本、給水 pH 7.3、電導度 1.6 μv
実 驗	(1)プロー制御装置、設定値 400 μv 、比例帯 10% リセット 0.1、レート 1 (2)pH 制御装置、設定値 11.0 NaOH 4 % Solu 比例帯 5% 手動リセット、0 (3)PO ₄ ³⁻ 制御装置、設定値 15ppm Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O 2 % Solu 比例帯 20%、リセット 1、の状態における各制御装置の作動状況を確認する。

2-2 実験装置

本研究に使用した実験装置を系統的に分類すると下記の項目および内容である。

2-2-1 試験用ボイラ及び付設装置

- (1) 試験用ボイラ
- (2) 試料水取出用内管装置及び試料水採取配管
- (3) 試料水冷却器
- (4) プロー配管及びプロー量計測容器
- (5) 蒸気減圧装置
- (6) 大気圧コンデンサー

2-2-2 pH、PO₄³⁻、プロー制御装置

- (1) pH 制御装置

(イ) pH 検出部	(エ) pH 記録調節計
(ロ) 中間接続	(ホ) 薬注ポンプ
(ハ) pH 変換器	(ヘ) 薬注タンク
- (2) PO₄³⁻ 制御装置

(イ) 磷酸分析計	(ト) オリフィス
(ロ) 記録計 (発信スライド付)	(チ) 流量変換器
(ハ) 信号変換器	(リ) 流量指示計
(ニ) 調節計	(ヌ) 流量積算計
(ホ) 薬注ポンプ	(ル) 調節計
(ヘ) 薬注タンク	(オ) 切換器
- (3) プロー制御装置

(イ) 電導度検出器	(エ) 調節計
(ロ) 記録計	(エ) パワードライブユニット (プロー弁付)

2-2-1 試験用ボイラ及び付設装置

前掲 Fig. 4、Fig. 12~14 及び Photo. 1 に試験用ボイラ及び付設装置の概略を示す。

2-2-2 pH、PO₄³⁻、プローブ制御装置

前掲 Fig. 1~3、Photo. 2~4 及び Fig. 15~17 に pH、PO₄³⁻、プローブ制御装置の構造概略を示す。なお自動制御装置の要目は下記のとおりである。

(1) pH 制御装置

(イ) 検出器	硝子電極、比較電極、温度補償電極
(ロ) 中間接続函	
(ハ) pH 変換器	出力 0~16mA
(ニ) pH 記録調節計	目盛 0~14pH 記録 1点ペン書
	調節動作 P動作
入 力	0~16mA DC
出 力	0~16mA DC
電 源	AC 100V AC 60㎐
(ホ) 薬注ポンプ	
型 式	ミルトンロイポンプ
吐出量	0~5.2l/H
吐出力	310kg/cm ²
電 源	AC 200V 60㎐
モーター	1/2HP
入 力	0~16mA DC
	サイラトコントロール方式

(ヘ) 薬液タンク

容 量	100l
-----	------

(2) PO₄³⁻ 制御装置

(イ) 磷酸分析計

本体構成	制御部 測定部 電源部 取付台
出 力	記録保持信号回路

(ロ) 記録計

目 盛	0~15mV DC、0~30ppm
出 力	発信スライド付、0~150mV DC

(ハ) 信号変換器

入 力	記録計の発信スライドよりの信号を入力とする。
-----	------------------------

	出 力	0~16mA DC
(=) 調 節 計		
入 力	0~16mA DC	
出 力	0~16mA DC	
調節動作	PI 動作	
(+) 薬注ポンプ		
型 式	ミルトンロイポンプ [®]	
吐出量	0~5.2l/H	
吐出圧	310kg/cm ²	
電 源	AC 200V 60∞	
モーター	1/2 HP	
	サイラトロンコントロール方式	
(-) 薬液タンク		
容 量	100l	
(+) オリィフィス		
(+) 流量変換器		
出 力	0~16mA PC	
(+) 流量指示記録計		
目 盛	0~16000 kg/H	
(+) 流量積算計		
5桁現字式		
(+) 調 節 計		
入 力	0~16mA	
出 力	0~16mA	
カスケード設定付		
調節動作	PI 動作	
電 源	AC 100V 60∞	
(3) プロー制御装置		
(+) 電導度検出器、電導度検出電極、温度補償電極		
(+) 電導度指示記録計		
目 盛	0~1000 μ v	
記 録	1点ペン書	
発信スライド付		
電 源	AC 100V 60∞	
(+) 調 節 計		
制御方式	PID 3項動作	
出 力	機械的位置(ただしパワードライブユニットと結合して)	

電 源 AC 100V 60㎐

(二) パワードライブユニット(ブロー弁付)

注、(1) pH、 PO_4^{3-} 、自動制御装置は薬注ポンプを除き日立製作所製を使用

(2) 薬注ポンプは日本機械計装製を使用

(3) ブロー自動制御装置は大倉電気製を使用した。

2-3 実験結果ならびに検討

(1) 試料水採取位置の決定

Fig. 18~22 に Table. 14 の条件により実験した結果を示す。Fig. 23 はボイラの運転条件、薬注方法等を変化した場合のボイラ水濃度分布を比較する意味でこれらの結果を纏めたものである。以下実験番号順に結果の要約ならびに検討を行なうこととする。

実験番号 (1) (イ) ボイラ水電気伝導度は薬注しない場合蒸気ドラムブロー内管が最も低く、水ドラムブロー内管及び薬注内管近傍の電気伝導度の平均的な値との差は $40\mu\text{v}$ 程度である。

(ロ) 水ドラムブロー内管と薬注内管近傍の値はこのデータでは交錯しているので断定し難いが前者の方が稍高い。

(ハ) $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O} 0.9\% \text{Solu}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_3 1\% \text{Solu}$ を $5.2l/\text{H}$ の速度で注入した場合薬注近傍、蒸気ドラム、水ドラムブロー内管のいずれもほぼ同一の傾斜で上昇する。この場合も薬注なしの状態とほぼ同様の分布を示す。計測開始より薬注開始まで全体的に電気伝導度低下を示しているが、これは 0.65% の連続ブローによるものである。

実験番号 (3) (イ) 電気伝導度は薬注内管近傍、蒸気ドラムブロー内管がほぼ等しくボイラ水濃度整定後も水ドラムブロー内管より $25\mu\text{v}$ 程度高い。

(ロ) pH はボイラ水濃度整定後は、0.1 の範囲でほぼ一致する。

(ハ) 薬液投入より三点の pH、電気伝導度整定までの時間は 45 分であるが、薬注近傍、蒸気ドラムブロー内管は、15 分程度でほぼ整定する。

このように水ドラムより蒸気ドラムの濃度整定が早いのは、給水内管が Fig. 13 に示す如く蒸気ドラム内に配置され、しかもドラム長手方向に 50mm のピッチで 8ϕ の穴が上向に設けられているため、給水内管より薬液注入を行なった場合、蒸気ドラム内の濃度分布が短時間で均一化されるものと思われる。

実験番号 (4) (イ) 電気伝導度は薬注内管近傍が他の 2 点より平均的に $10\mu\text{v}$ 程度高い。

(ロ) PO_4^{3-} は薬注内管近傍が平均して高く、水ドラムブロー内管は他の 2 点より数 ppm 低い。

(ハ) pH は 3 点とも 0.2 の範囲内にあるが、水ドラムが平均的に高い。

(二) 電気伝導度、 PO_4^{3-} 、pH の三者を比較すると、電気伝導度と PO_4^{3-} はほぼ同様の傾向を示しているが、pH は逆の傾向を示している。即ち水ドラムを例にとると電気伝導度、 PO_4^{3-} は低く、pH は高い。

実験番号 (5) (イ) 電気伝導度は薬注内管近傍が平均的に $20\mu\text{v}$ 程度高い。

(ロ) 薬注開始 5 分後より電気伝導度は上昇し始めるが、薬注前とほぼ同様の関係を保持しながら上昇する。

実験番号 (6) (イ) 電気伝導度は薬注近傍、水ドラム内管が蒸気ドラムより平均的に高い。

(ロ) 電気伝導度は薬注に敏感であるが、三点ともほぼ一定の関係を保持しながら変化する。

Fig. 24 は以上の実験結果を総括検討する意味で電気伝導度について纏めたものである。この図からも分る如く薬液注入の方法、ボイラの運転条件等により多少の相違はあるが、総合的にみて電気伝導度は蒸気ドラムブロー内管が他の二点より $20\mu\text{v}$ 程度低い。

電気伝導度は、さきに述べた如く溶解固体物濃度と比例関係にあるのでこの値を仮に Factor 0.4 として溶解固体物に換算すると 8 ppm 程度の濃度になり、一般的な常識を裏切り 蒸気ドラムブロー内管の濃度は我々の実験した薬注内管近傍、水ドラムブロー内管の三点の中最も低い結果を示すことになる。しかしこの程度の濃度差はボイラ水管理上何等問題にならない数値であり、一方薬注後のボイラ水濃度も薬注以前の関係を保持して変化し、しかも自動制御装置による清缶剤注入が局部的に急激な pH、 PO_4^{3-} の濃度変化を示さないこと等から、ボイラ水中の溶解固体物キャリオーバー防止等の管理操作を安全側に保つ意味からも自動制御装置に提供する試料水の採取位置は蒸気ドラムブロー内管又はこの近傍に決定することが妥当と考える。

付 記 (1) 本項に掲載した資料の他にボイラ水中の Cl^- 、アルカリ度分布についても計測したが、三点とも殆んど差異が認められなかった。

(2) pH、 PO_4^{3-} の挙動は、ここに掲げた程度の資料では不足であるので38年度の給水処理に関する研究等爾後の実験に於て更に検討を加える予定である。

(2) 試料水採取方法の検討

Table. 20 は試料水、流速、汚染度と pH、電気伝導度の検出値の関係について試験した結果である。試料水温度の問題は特に pH 検出部に対して大きな影響を与えるのが一般の常識であるが、pH 検出用電極個々の特性上の問題もあり複雑な要素を含むので、本実験では最も安定した測定精度を示す 25°C を目標として pH 計測を実施した。

Table. 20~21 の結果から分る如く pH、電気伝導度に及ぼす流速、汚染度の影響は認められなかった。 PO_4^{3-} 分析計については特にこれらの関係をチェックしなかったが、試料水流速は分析計の洗浄行程に於て最少 $20\sim 30\text{l/H}$ 以上を要求されるので pH、 PO_4^{3-} 、ブロー 自動制御装置の試料水流速

Table. 20 Relation between Sampling Velocity, pH and Conductivity.

実験番号	1			2		
	試料水流速 (l/H)	pH	電気伝導度 ($\mu\text{v}/\text{cm}$)	試料水流速 (l/H)	pH	電気伝導度 ($\mu\text{v}/\text{cm}$)
1	36	10.1	308	36	10.3	307
2	〃	10.3	375	72	10.3	375
3	〃	10.2	390	86	10.2	390
4	〃	10.1	413	100	10.1	405

Table. 21 Relation between Contamination of Sample Water, pH and Conductivity.

試料水汚染度		pH	電気伝導度 (μv)
試料水条件	純水を100とした場合の透光率フィルター $47\mu(\%)$		
沪過なし	13	10.7	285
沪紙 No. 5 A にて沪過	97	10.7	284
〃 No. 6 〃	98	10.7	285

は以上の結果を総合して $40l/H$ 程度で良いと思われる。

試料水汚染度は pH、電気伝導度に限りさきの実験方法の項にものべた如く我々の全実験行程に於て70%以上の透光率に於ては何等支障を生じなかつたが、極端な汚染試料水を連続測定する場合には計測値の誤差を生ずる惧れがあり、 PO_4^{3-} 分析計に於ては Fig. 16 の如く一応ダストキャンセル用セルを内蔵するにもかかわらず試料水中の汚れが発色槽、セル等の壁に洗浄工程に於て除去されない程度に付着し分析不可能な状態になったことから pH、 PO_4^{3-} 、プローブ自動制御の三者について考える場合には試料水の汚染を極力避け我々の表示する汚染度の透光率 100% 近くに保持することが望ましい。

試料水温度は pH、 PO_4^{3-} プローブ自動制御装置の動作を正しく行なわせる意味に於て重要な問題である。

PO_4^{3-} については分析計の操作が $40^{\circ}C$ 恒温にて行なわれるので一応これ以下の温度に保持すれば問題はないが、pH 電気伝導度の検出値は数度の温度変化に於ても Fig. 24~25 に示す如く誤差を生ずる。

自動制御装置の場合 pH、電気伝導度検出部には一応温度補償電極を挿入し自動温度補償を行なう構造になっているが、被検液の温度変化が激しい場合温度補償電極による被検液の温度検出おくれが生じ、これが計測誤差となって現れるので試料水温度は常温附近で出来るだけ一定に保持すべきである。

以上のことからボイラに於ける pH、 PO_4^{3-} 、プローブ自動制御装置の試料水採取方法としては流速 $40l/H$ 、温度 $25^{\circ}C$ 程度に保持し試料水の汚染は出来るだけ零にすることが望まれる。

附 記 (1) pH 検出用電極の標準液とのチェックは我々の研究期間中毎日 1 回標準液 pH 9.22 にて行なつたが 1 週間乃至 10 日程度の連続使用で pH 0.1 程度の誤差を生じた。

また電導度検出部については携帯式電導度計にてチェックを行なつたが殆んど差異は認めなかつた。

(2) pH 検出部のチェックは 1 週間に 1 回行なうようメーカーから指示されている。

(3) pH、 PO_4^{3-} 自動制御方法の検討

(4) pH 自動制御方法の検討

pH 自動装置の作動特性及び薬注濃度の問題について実験した結果を Fig. 26~30 に示す。

以下実験番号を追って結果の検討を行なうこととする。

実験番号 (1) (4) Fig. 26 は自動制御時に於ける pH 調節計出力と薬注ポンプの吐出量の関係を示す。

この図から分る如く pH 調節計の出力信号 0.8mA 以上に於ては出力信号と薬注ポンプ吐出量の間には直線的な関係がある。

出力信号零より 0.8mA の間では出力信号の増加により僅ながら吐出量増加する。また信号出力零に於ても吐出量零を示さない。

実際の自動制御に於ては調節計出力と薬注ポンプの吐出量の間には全制御範囲に於て直線的な関係を持つことが望ましいが、ボイラ水の pH 値が高いこと、薬注濃度が適当に選べること、本薬注ポンプの最大吐出量が 5.2l/H であること等から判断して本薬注ポンプは pH 自動制御に於て充分実用性をもつと思われる。尚出力信号零に於ける薬注ポンプ停止の問題は記録計に警報接点をつけ Emergency 対策として処置すべきであろう。

実験番号 (1) (ロ) Fig. 27 は pH 設定値と指示値の偏差による調節計出力信号の関係を示すものである。pH 設定値 10.95 にした場合調節計出力は pH 10.2 より 11.0 の範囲で最大より零に変化し設定値よりの行過ぎは pH 0.05 である。

この結果から本調節計の制御動作は比例帶 5 % 手動リセット 0 に取った場合 pH 0.8 の範囲で出力信号は 0 より 16mA(最大) 変化することが分るが、後述する pH 制御実験例に示す如くボイラ水の pH 自動制御に於て充分なる適応性を持つと判断される。

附 記 (1) 本 pH 調節計は比例動作付のものであるが、ボイラ水制御の場合、如何なる調節動作をもつものが適當であるか今後実船搭載時の問題と併せて更に検討する予定である。

実験番号 (2) Fig. 28 は pH 設定値 11、NaOH 8 % Solu に於ける pH 自動制御曲線である。
薬液注入ポンプはボイラ水 pH が設定値の 0.02 度程の行過ぎで停止し設定値 11 までの pH 上昇所要時間は約 20 分である。

実験番号 (3) Fig. 29 は設定値 pH 11、NaOH 3.5 % Solu に於ける pH 自動制御曲線である。
薬液注入ポンプはボイラ水 pH が設定値と重なった所で停止し設定値 11 までの上昇所要時間は 40 分である。

実験番号 (4) Fig. 30 設定値 pH 10.7、NaOH 3.5 % Solu に於ける pH 自動制御曲線である。
薬注ポンプはボイラ水 pH が設定値と重なった所で停止し設定値までの上昇所要時間は 50 分である。

実験(2)～(4)の結果から薬注濃度と設定値までのボイラ水 pH 上昇所要時間は薬注濃度に比例することが分る。

また薬注濃度 8 % の例に見られる如く濃度が高い場合ボイラ水 pH が設定値より多少行過ぎを生ずるが、これは自動制御行程に於ける応答特性の問題と、Fig. 27 の pH 調節計の作動特性に示す如くボイラ水 pH が設定値を越えても薬注ポンプが動作を停止しない為この間の濃厚薬液による pH 上昇と解釈すべきであろう。

薬注濃度 3.5 % の場合 pH 設定値 10.7 及び 11 で制御を行なってもボイラ水 pH 値の行過ぎを生じないことからも薬注濃度はこの程度のもので制御上何等問題はないと思われるが、制御対称となるボイラの pH 制限値、保有水量等の問題とも併せてボイラ個々に決定すべきであろう。

然し我々の実験結果及び一般的ボイラ水の pH 制御例等から判断して pH 自動制御に於ける薬注

濃度は NaOH の場合 2 ~ 3 % が妥当な数値と思われる。

以上の実験結果を総括すると、pH 自動制御に於ける制御装置は、pH 検出部の 1 週間程度の過期による検定を正しく行ない、試料水採取条件を一定に保持するならば装置的に何等問題はなく、また pH 自動制御に於ける薬注濃度は NaOH 2 ~ 3 % 程度が適当と考える。

附 記 (1) 我々の実験的な経験は実船条件と比較して期間的にも短いので、今後長期試験を行ない検出部の問題、制御装置の作動状況について検討する予定である。

(2) PO_4^{3-} 自動制御方法の検討

さきに述べた如く PO_4^{3-} 自動制御装置は試料水汚染度の問題により検出部に採用した PO_4^{3-} 分析計を使用出来なかつたので現在までに得た資料は Fig. 31~33 に示す PO_4^{3-} 分析計の作動特性の確認、及び PO_4^{3-} 制御装置の作動特性の確認試験結果程度である。

PO_4^{3-} 分析計については前記の如く一回の分析操作に 20 分間を要するので連続制御の検出端としては適当でなく、また船舶のような振動の激しい場所では構造的にも実用不可能であるが、試験用ボイラの P_4^{3-} の挙動を確認するには Fig. 31 の性能試験結果からも分る如く性能上の問題は残していない。

尚また PO_4^{3-} 調節計及び薬注ポンプ動作特性も pH 制御装置の場合と同様実用上の問題はないので、試料水の適当な浄化方法を確立した上で PO_4^{3-} 制御に関して残された問題を実験検討することにする。

(4) プロー方法の検討

Fig. 34 は電導度調節計の設定値と指示値の偏差に対するプロー弁の動作の関係を試験した結果である。この図から分る如く調節計の偏差と弁開度の間は直線的な関係があり、プロー自動制御装置として本装置の実用性を裏書きする結果を示している。

Fig. 35 は全制御装置の作動状況確認試験時に於けるボイラ水電気伝導度とプロー弁の作動状況確認結果であるが、プロー弁の動作はボイラ水の電導度に良く追随し良好な制御結果を示している。

実験の都合上プロー制御に関する詳細な検討は出来なかつたが今後の研究過程に於て制御装置の問題も含めて本項に係る問題点を更に解明する予定である。

(5) 全制御装置の作動状況の確認

Fig. 37 は全制御装置の作動状況確認結果を示す。

pH、電気伝導度制御は略々目的を満足する結果を得たが PO_4^{3-} 制御についてはさきに述べた分析計の問題からボイラ水の PO_4^{3-} を手動分析により定量しその結果を分析計の指示値に与え自動制御操作により薬注制御を実施した結果、 PO_4^{3-} 制御も試料水浄化の問題が解消するならば制御可能と思われる見通しを得た。

本項も僅かな期間の確認結果に終っているのでさきの残された問題と併せ爾後の研究過程において更に長期の資料を求め、制御装置の問題点を更に検討する予定である。

3. 結論

舶用ボイラのボイラ水処理の自動制御に関する研究を行ない下記の結論を得た。

(1) PO_4^{3-} 調整剤は第二磷酸ソーダが自動制御に適している。

- (2) ボイラ水中和前における電気伝導度と溶解固形物濃度の間には比例関係がありプロー自動制御の検出端に電気伝導計を使用することには妥当性がある。
- (3) ボイラ水の濃度分布は蒸気ドラム吹出管付近が水ドラム、清缶剤注入内管附近よりやや低いが、ボイラ水管理上問題にならない程度であるので、ボイラ水処理の総合的な見地から試料水採取位置は蒸気ドラム水面附近にとるべきである。
- (4) pH、 PO_4^{3-} 、プロー自動制御における試料水採取条件は、汚れを極力さけ、流速40l/H、温度20～25°C附近で一定に保持する必要がある。
- (5) pH調整剤の注入濃度はNaOHの場合2～3%溶液が適當である。
- (6) 試験用pH自動制御装置は検出部の検定の問題が多少障害となるが、船舶における実用性を充分備えている。
- (7) 試験用 PO_4^{3-} 自動制御装置は制御上から考えた場合検出部に根本的な欠点があるので、現段階では舶用ボイラのボイラ水処理における PO_4^{3-} 自動制御を単独で行なうことは不可能であるので適當な検出部の開発を計る必要があるが、舶用ボイラにおける PO_4^{3-} 制御の重要性から過渡的な対策を別途考慮すべきである。
- (8) プロー自動制御装置は自動制御上の問題点を特に残していないようである。

以上

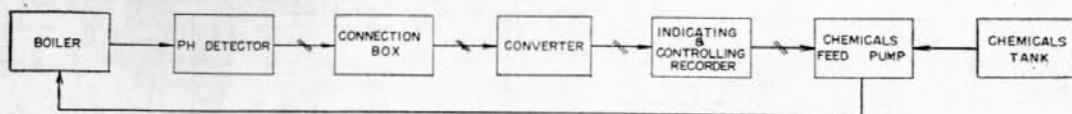


Fig. 1 Automatic Control System for Treatment of pH

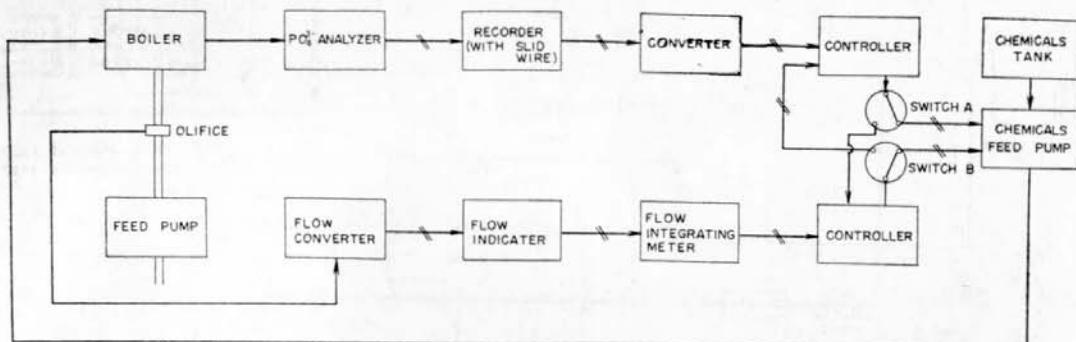


Fig. 2 Automatic Control System for Treatment of pO_4^{3-}

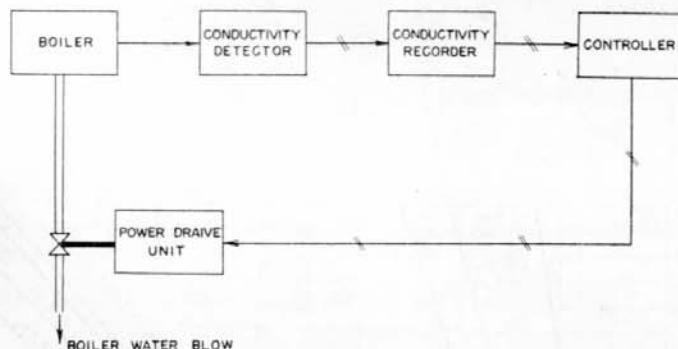
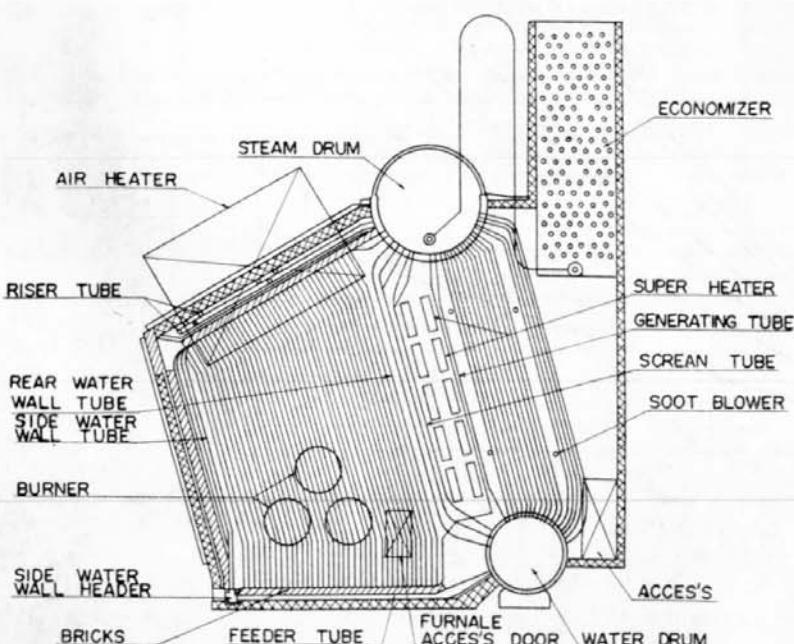


Fig. 3 Automatic Control System for Controlling Boiler Water Blow Quantity



Boiler Specification

Type	Marine Two Drum Water Tube Boiler
Evaporation	Maximum
Steam Pressuer	Normal
Steam Temperature	Design Pressuer Working Pressuer (Super Heater Outlet)
Total Cold Water to fill Boiler to Normal Level	Super Heater Outlet (at Normal)

Fig. 4 Schematic Drawing of Test Boiler

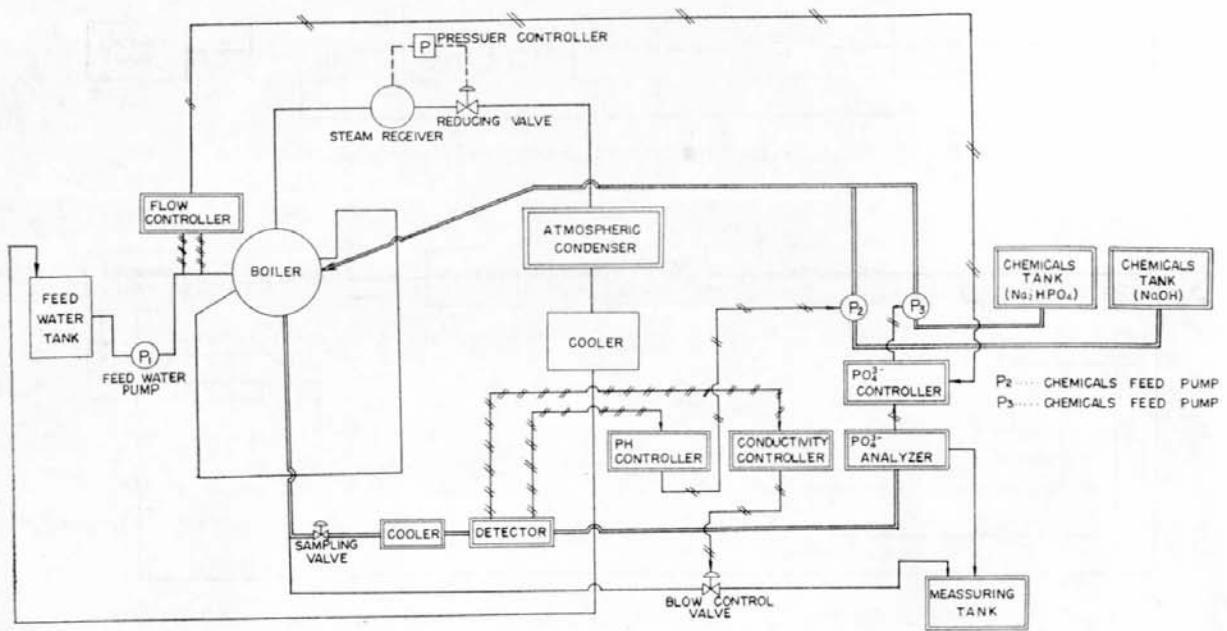


Fig. 5 Schematic Diagram of Automatic Control System for Controlling Boiler Water (pH, μv & PO₄³⁻)

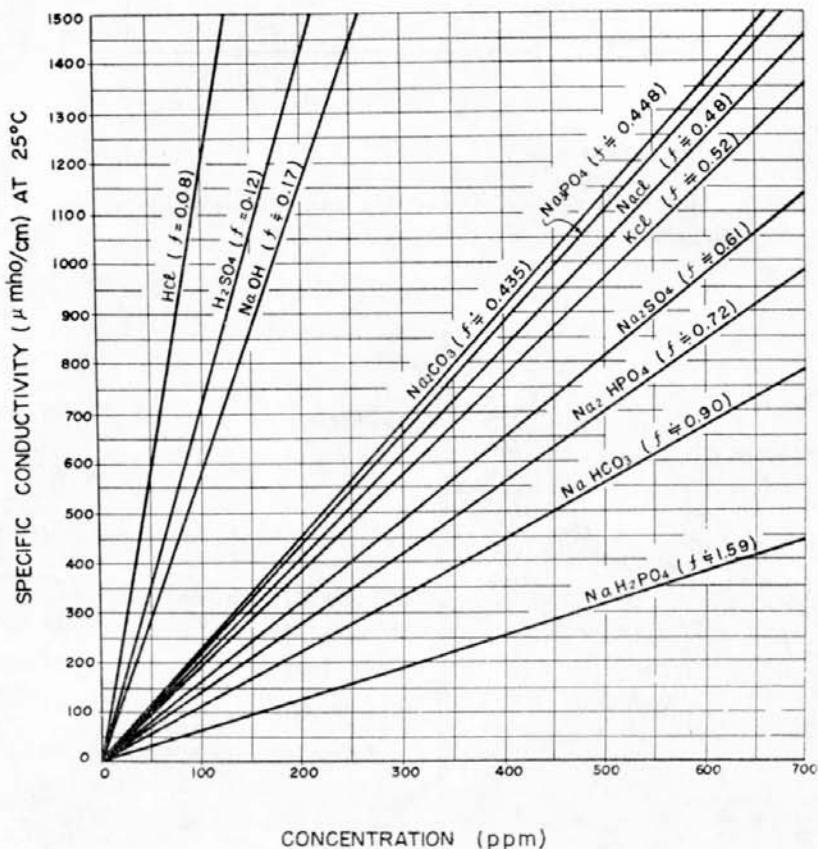


Fig. 6 Correlation between Concentration and Specific Conductivity (μ mho) of In-Organic Compound Aqueous Solution

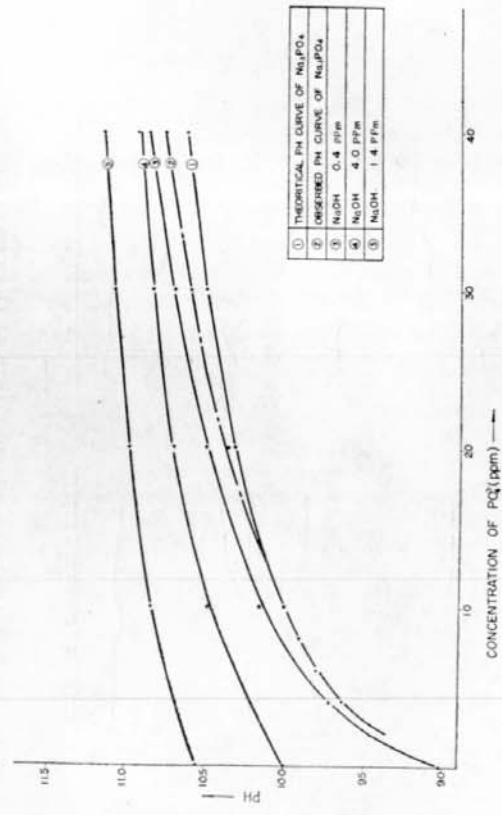


Fig. 7 Effect of Concentrations of PO_4^{3-} and NaOH on pH
 PO_4^{3-} - Conditioning Chemicals: $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

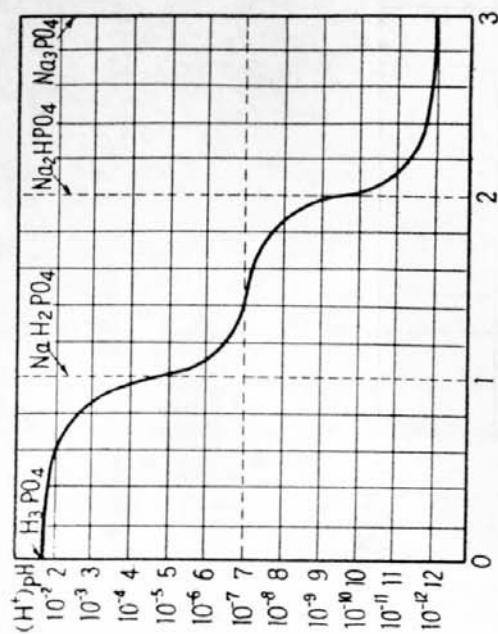


Fig. 9

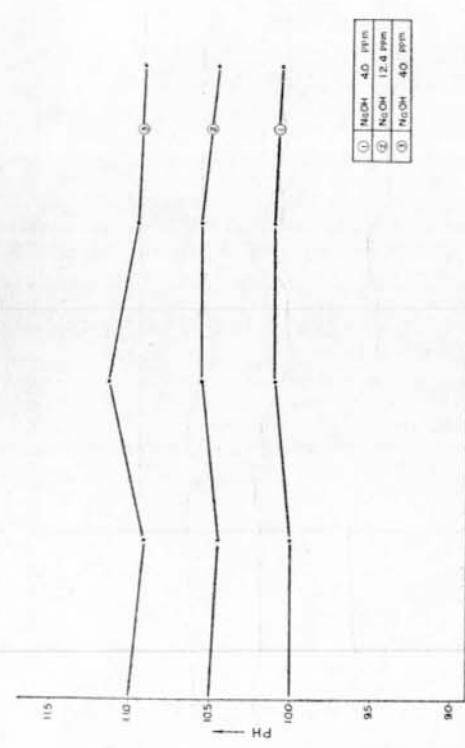


Fig. 8 Effect of Concentrations of PO_4^{3-} and NaOH on pH
 PO_4^{3-} - Conditioning Chemicals: $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

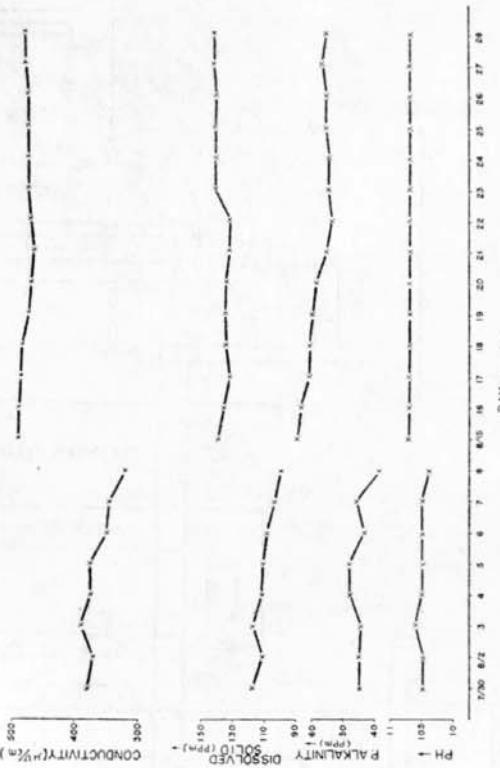


Fig. 10-1 Relation of Concentration of Dissolved Solid and
 Conductivity(Starboard Boiler)

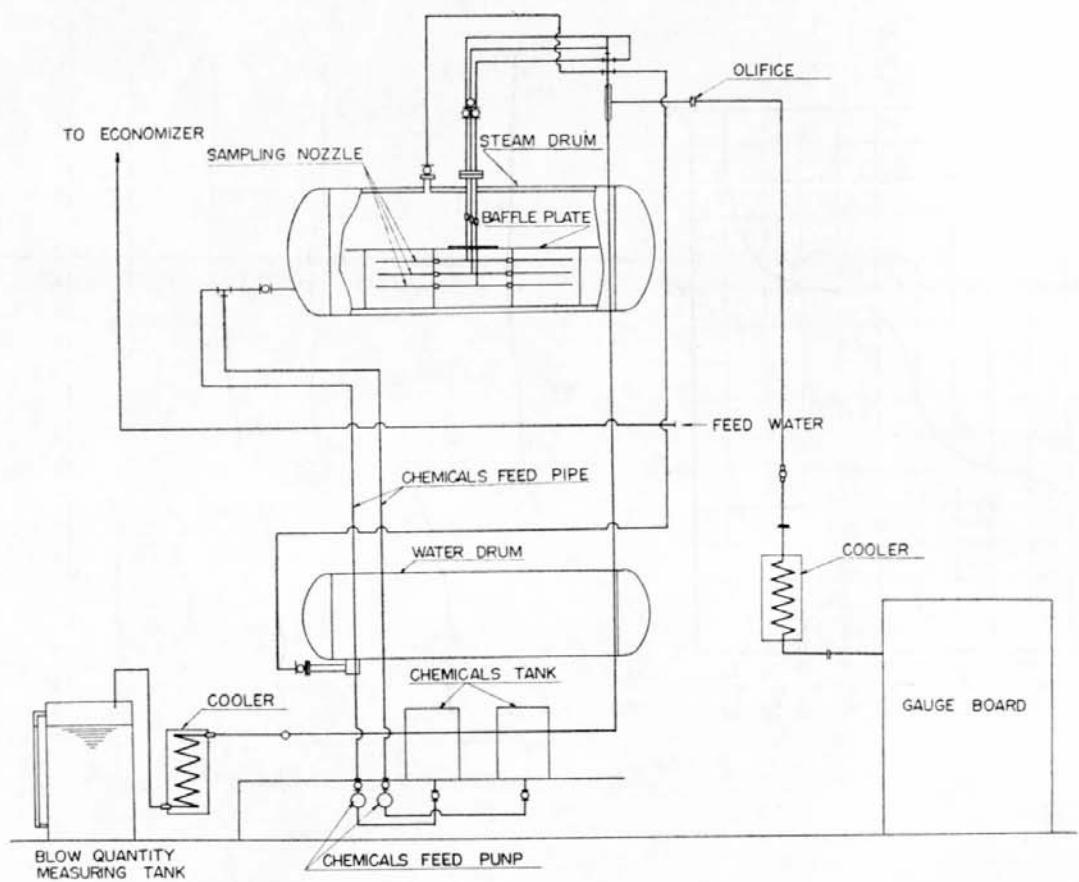


Fig. 12 Schematic Diagram of Experimental Apparatus

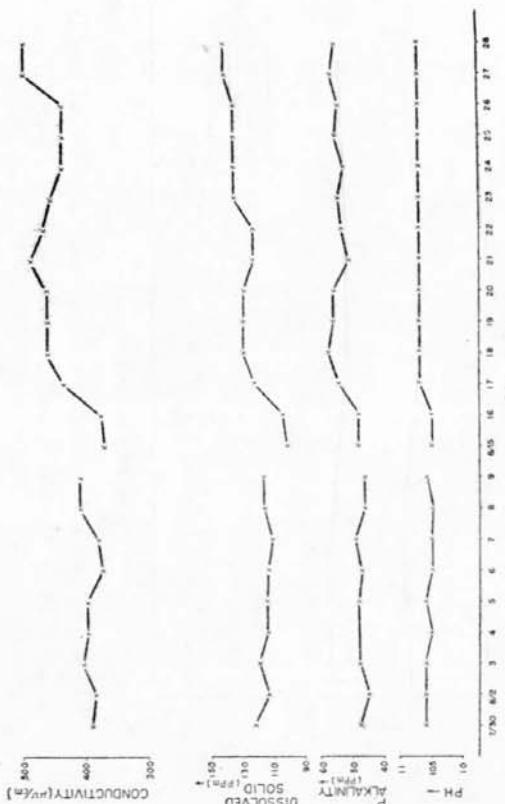


Fig. 10-2 Correlation of Concentration of Dissolved Solid and Conductivity(Poat Boiler)

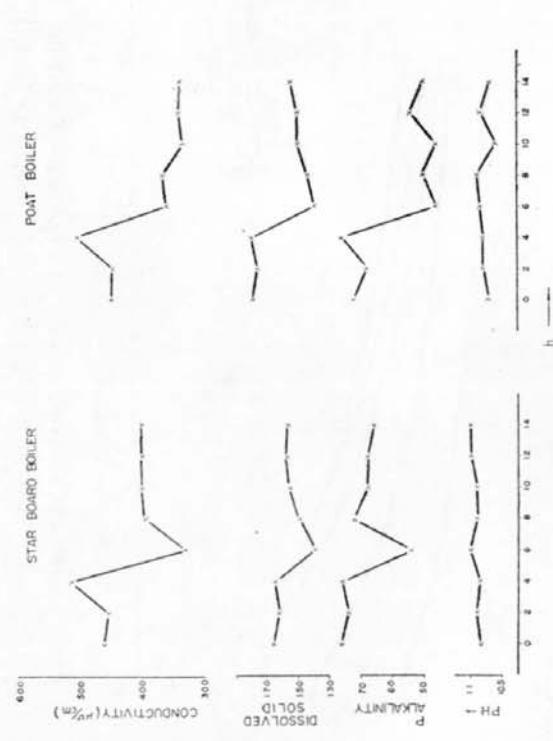


Fig. 11 Correlation of Concentration of Dissolved Solid and Conductivity

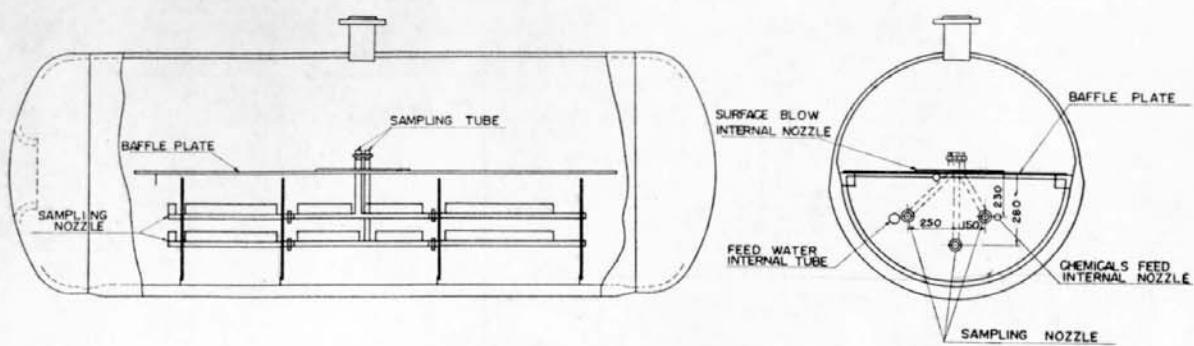


Fig. 13-1 Fitting Diagram of Sampling Nozzle in Steam Drum

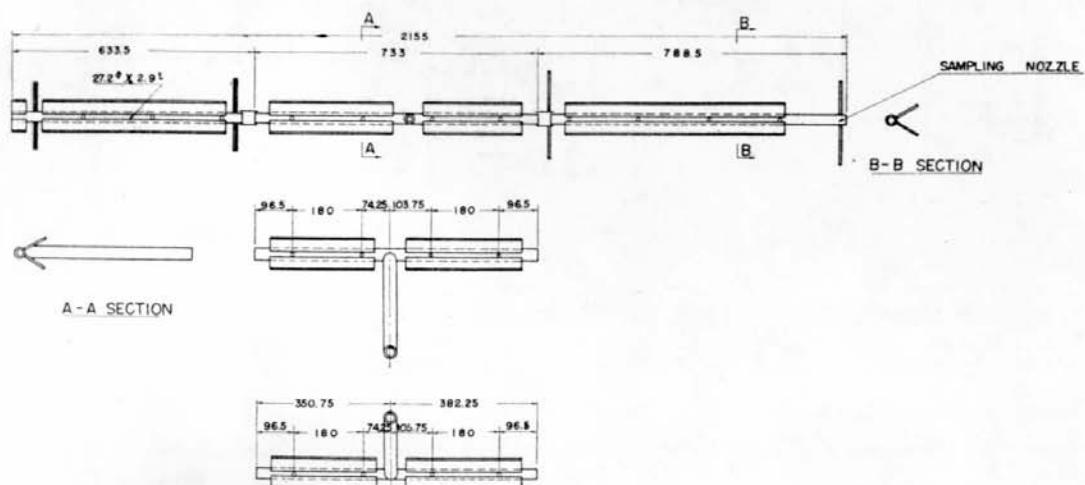


Fig. 13-2 Detail of Sampling Nozzle

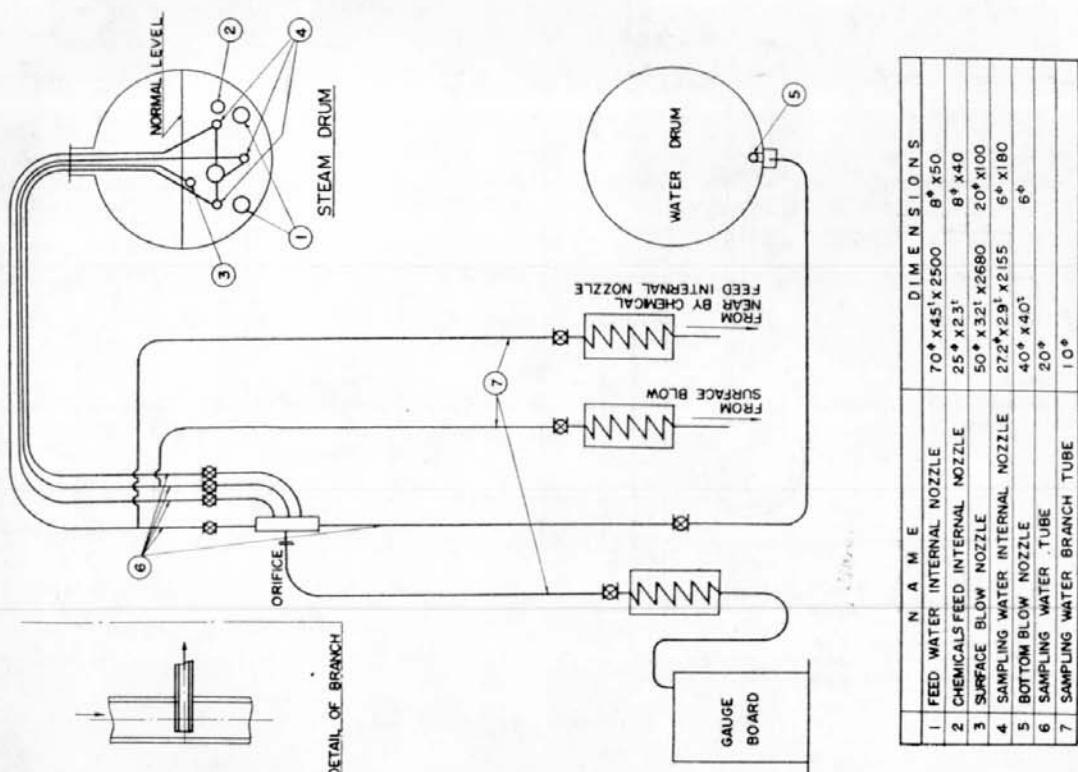


Fig. 14 Boiler Water Sampling System

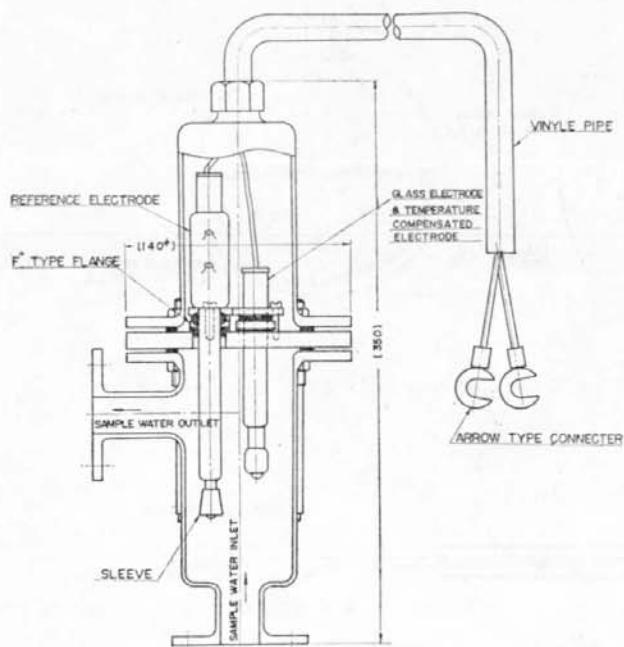


Fig. 15 Flow Type pH Electrode (Scale : 1/2)

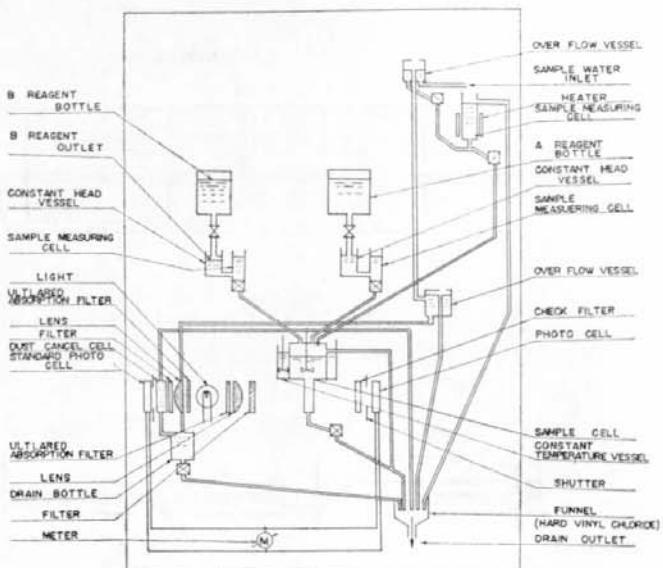


Fig. 16 PO₄³⁻ Analyzer

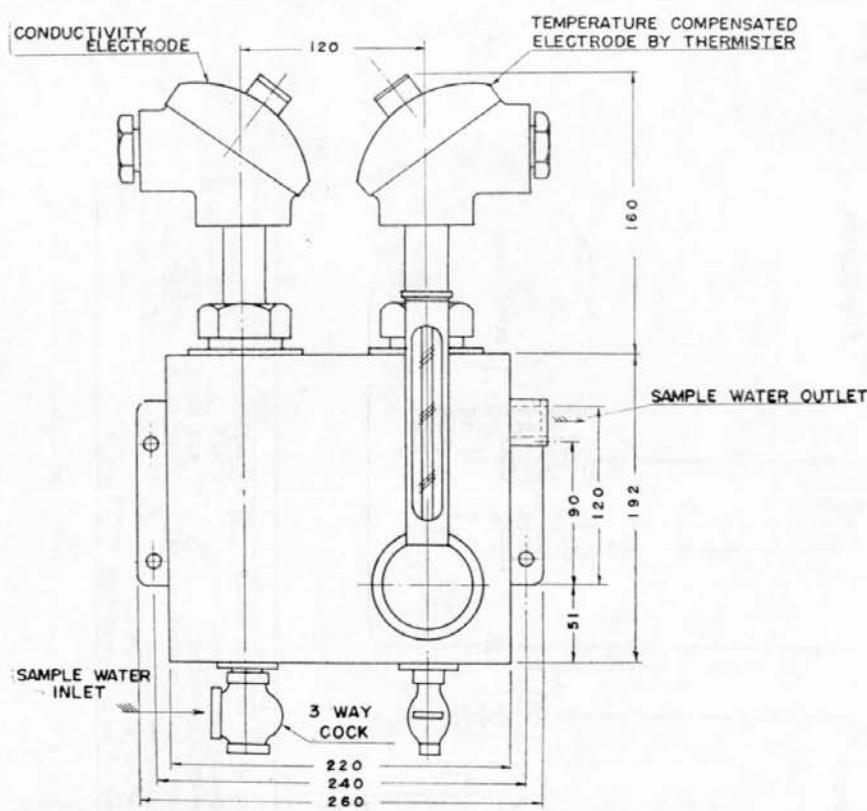
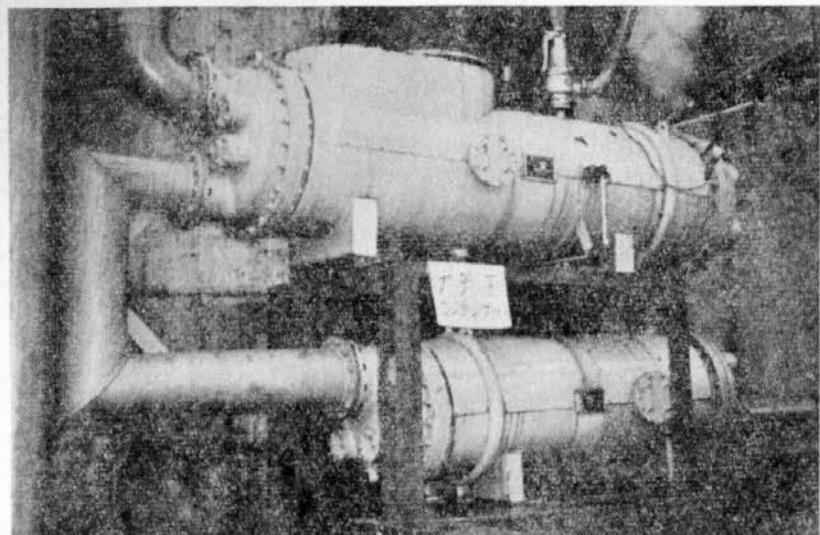
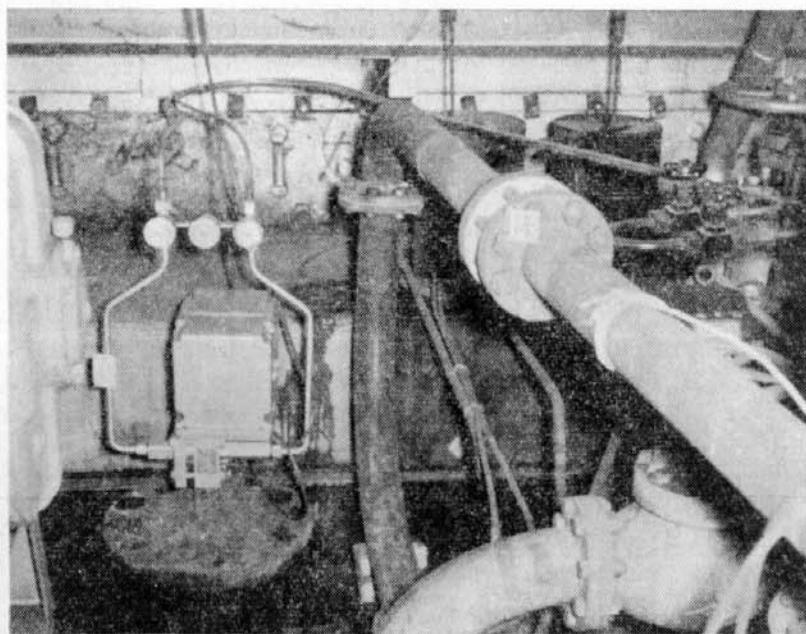


Fig. 17 Conductivity Detector



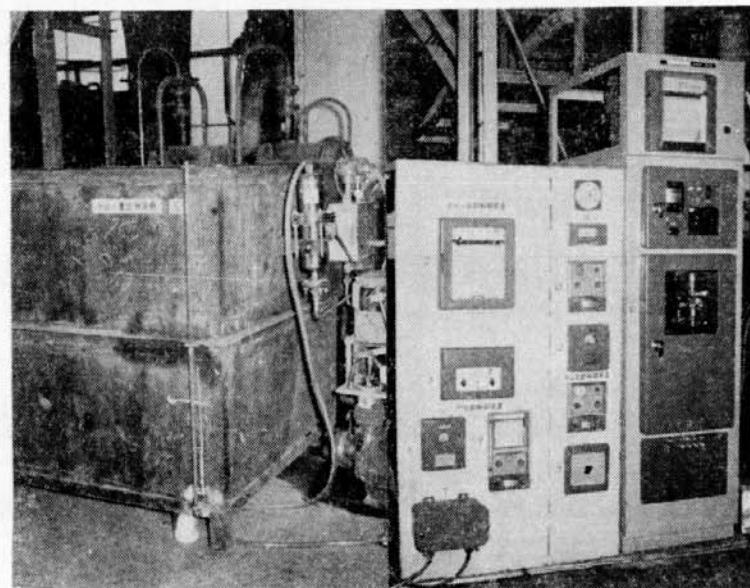
Photograph. 1 Atmospheric Condenser



Photograph. 2 Feed Water Flow Detector

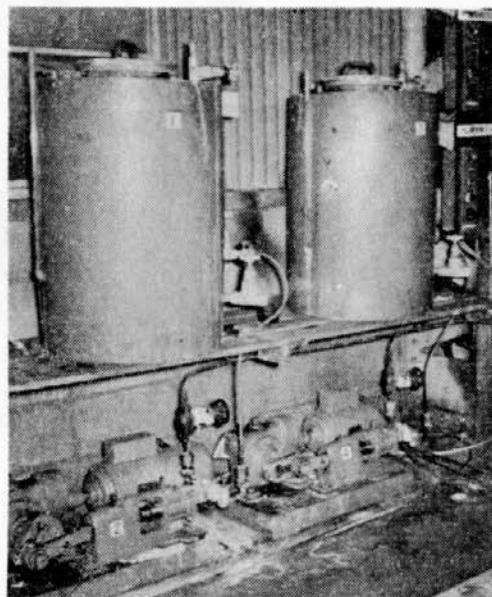
14. Orifice

15. Flow Converter



Photograph. 3 Automatic Control Apparatus

- | | |
|--|--|
| 1. Conductivity Ditecter | 10. PO ₄ ³⁻ Analyzer |
| 2. Conductivity Recoader | 11. PO ₄ ³⁻ Recorder (with Slide Wire) |
| 3. Blow Controller | 12. PO ₄ ³⁻ Signal Converter |
| 4. Power Drive Unit (Blow Valve) | 13. PO ₄ ³⁻ Controller |
| 5. Blow Qantity Measuring Tank | 14. Feed Water Flow Indicater |
| 6. pH Detector | 15. Feed Water Flow Integrater |
| 7. Connection Box | 16. Flow Controller |
| 8. pH Converter | 17. Switch |
| 9. pH Indicating & Recording
Controller | |



Phtograph. 4 Chemicals Feed Apparatus

1. Chemicals Tank of NaOH Solution
2. Chemicals Feed Pump for NaOH Solution
3. Chemicals Tank of PO₄³⁻ Solution
4. Chemicals Feed pump for PO₄³⁻ Solution

MEASURING TIME	0	10	20	30	45	60	80	90	100	110	120	130	140	170	190	198	212
NEAR BY CHEMICALS FEED INTERNAL NOZZLE	670	672	686	676	670	650	593	595	595	610	584	570	573	545	585	608	590
WATER DRUM BLOW-OFF INTERNAL NOZZLE	685	690	648	635	630	623	615	603	611	591	597	587	582	570	610	625	600
STEAM DRUM BLOW-OFF INTERNAL NOZZLE	610	629	629	606	597	583	577	567	567	550	553	550	552	520	550	570	530

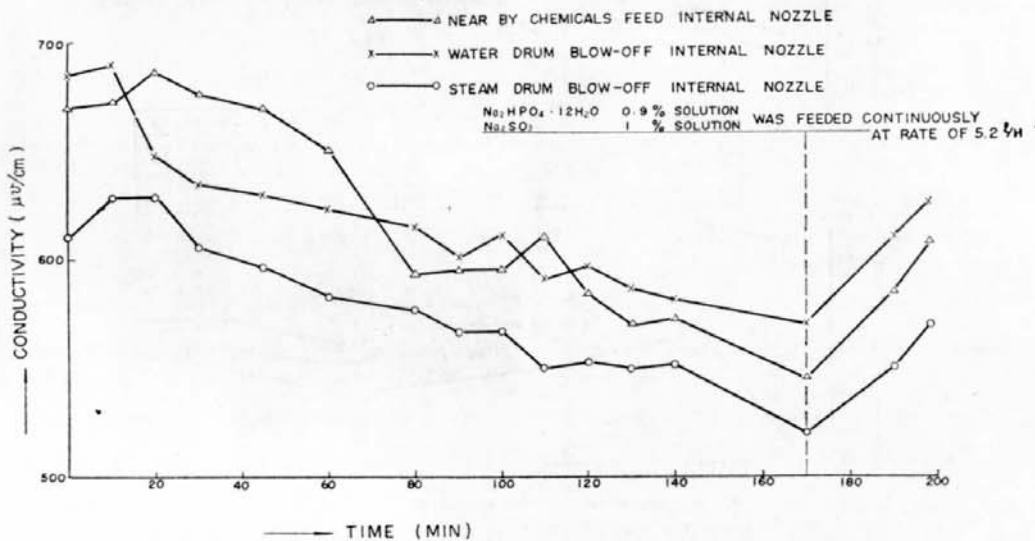


Fig. 18 Concentration Distribution of Boiler Water in Water Drum and Steam Drum (Run No. 1)

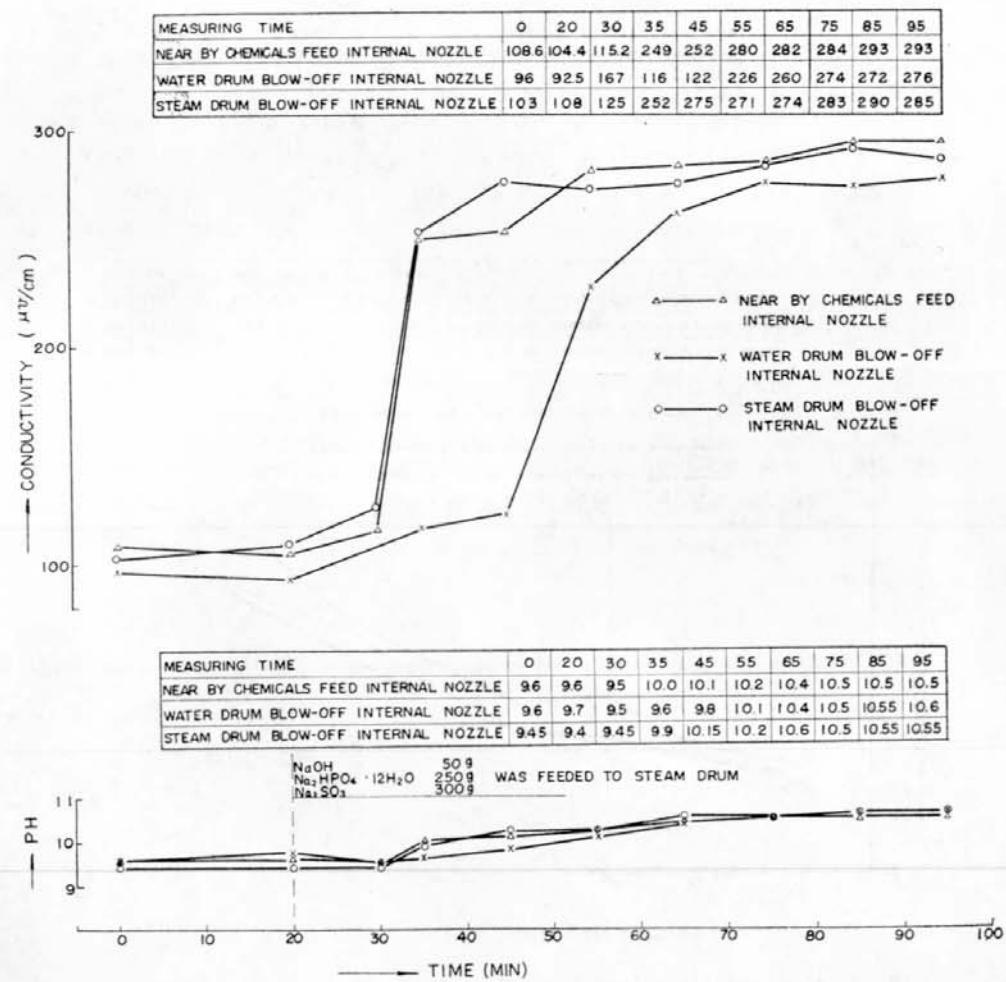


Fig. 19 Concentration Distribution of Boiler Water in Water Drum and Steam Drum (Run No. 2)

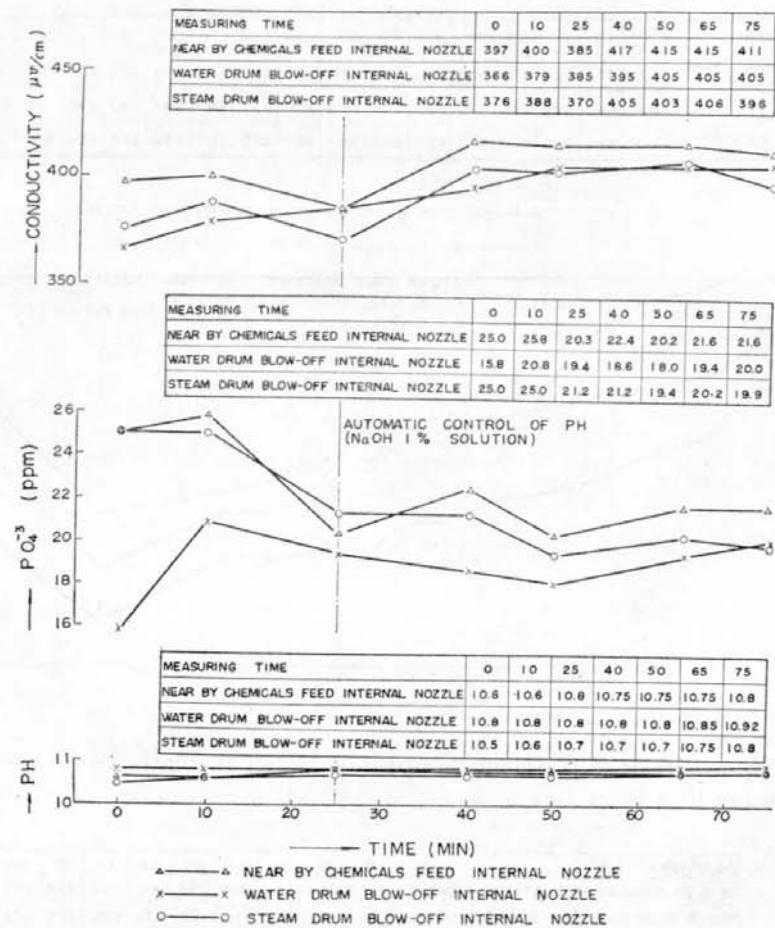


Fig. 20 Concentration Distribution of Boiler Water in Water Drum and Steam Drum (Run No. 3)

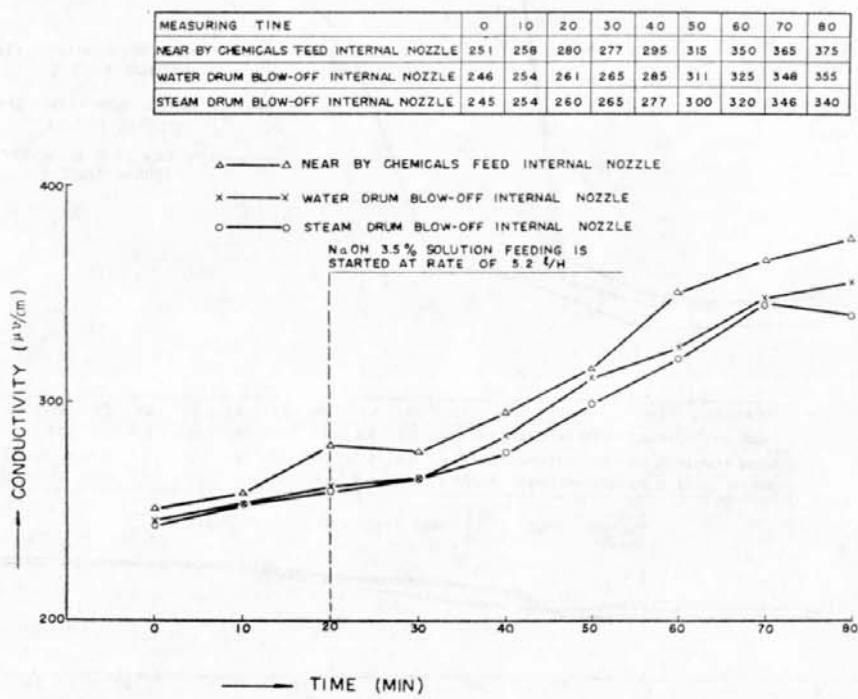


Fig. 21 Concentration Distribution of Boiler Water in Water Drum and Steam Drum (Run No. 4)

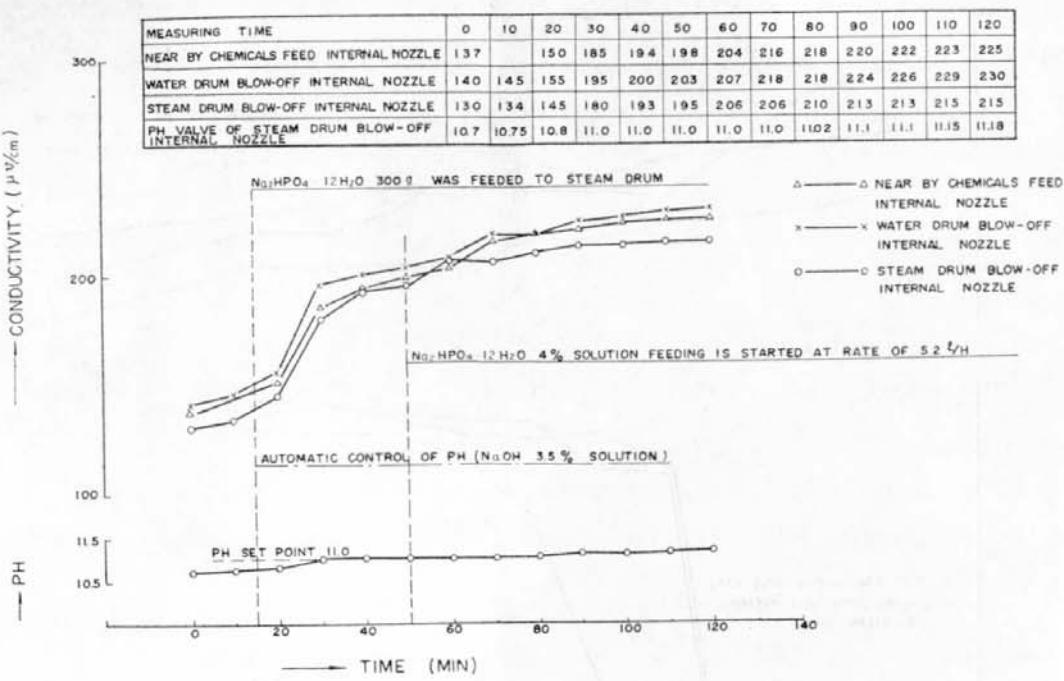


Fig. 22 Concentration Distribution of Boiler Water in Water Drum and Steam Drum (Run No. 5)

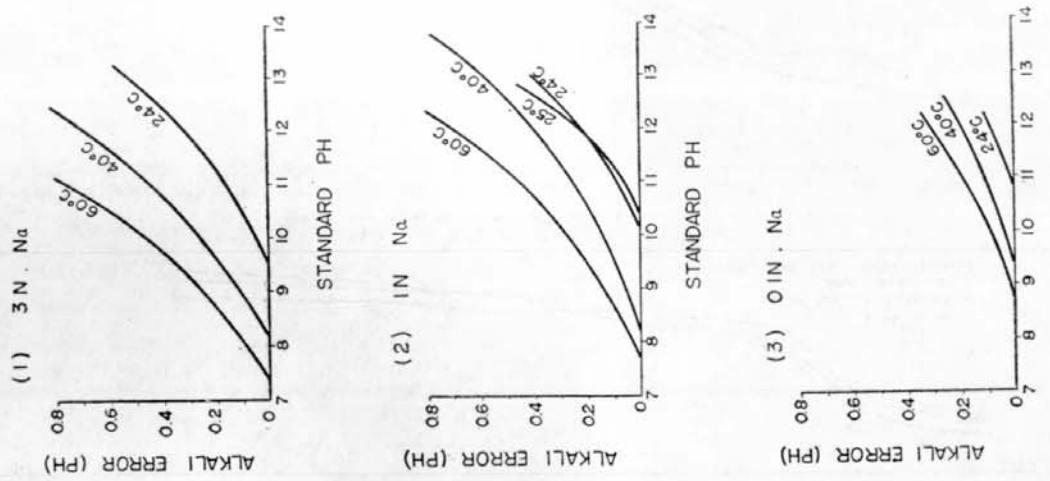


Fig. 24 Correlation between Temperature and Alkali Error on the pH Electrode

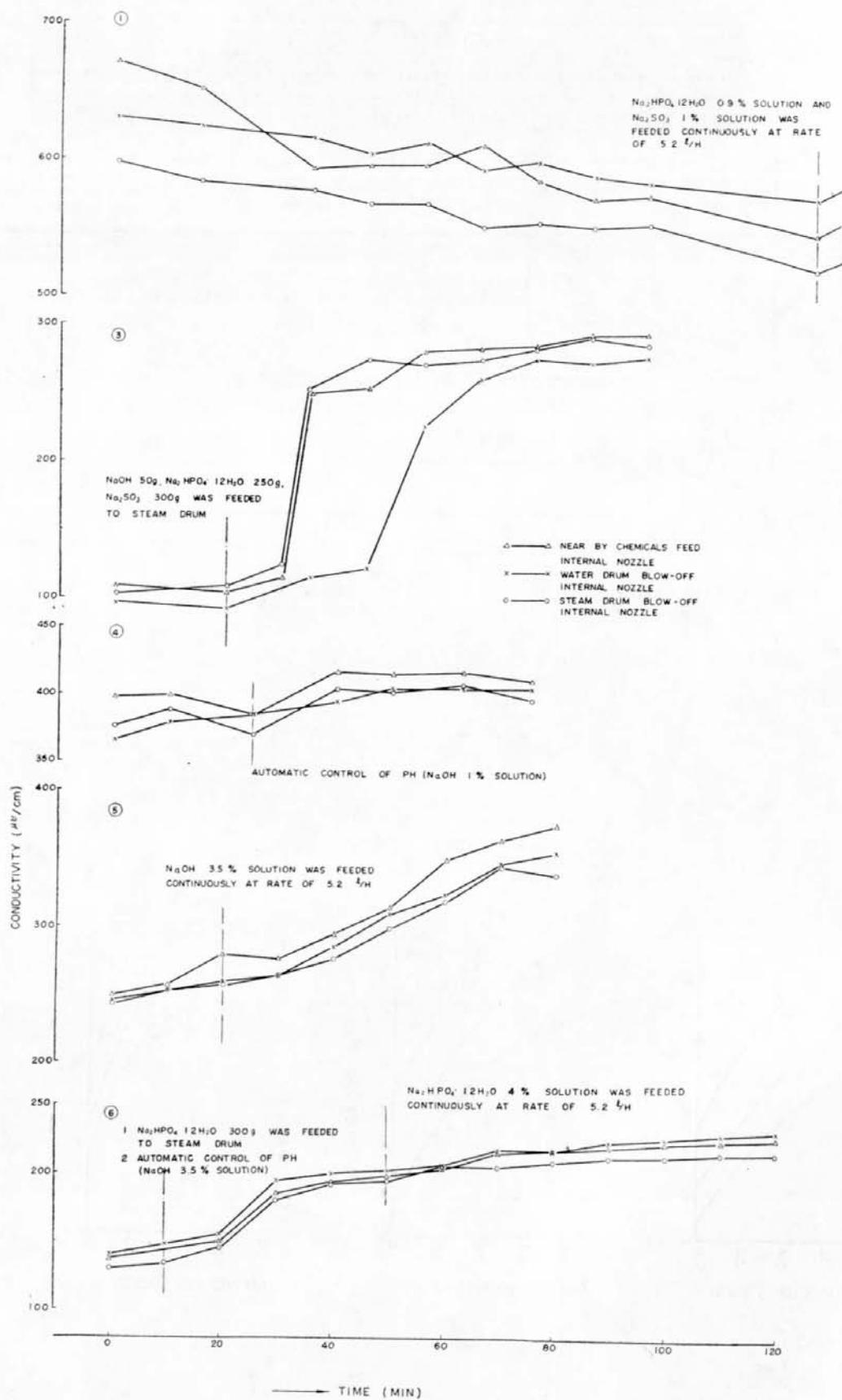
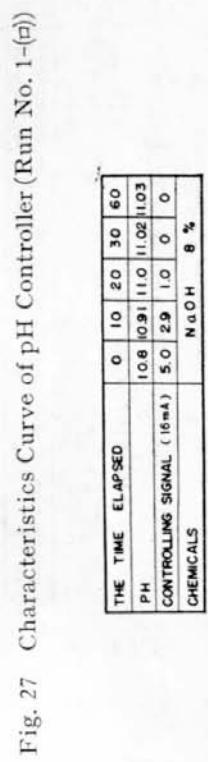
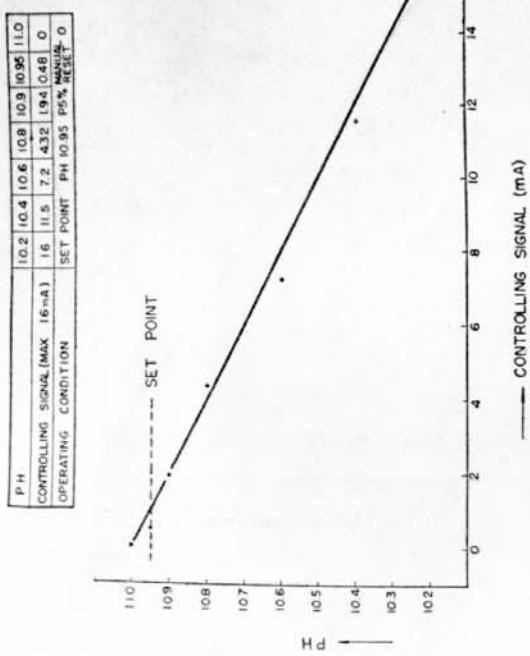
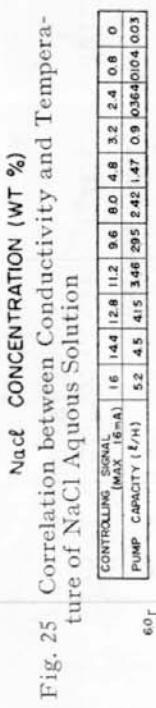
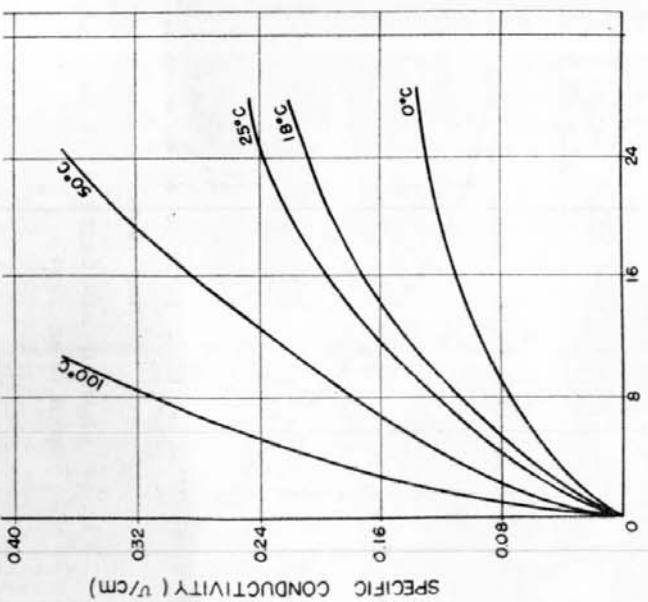


Fig. 23 Results of Conductivity Measurement of Boiler Water in Water Drum and Steam Drum



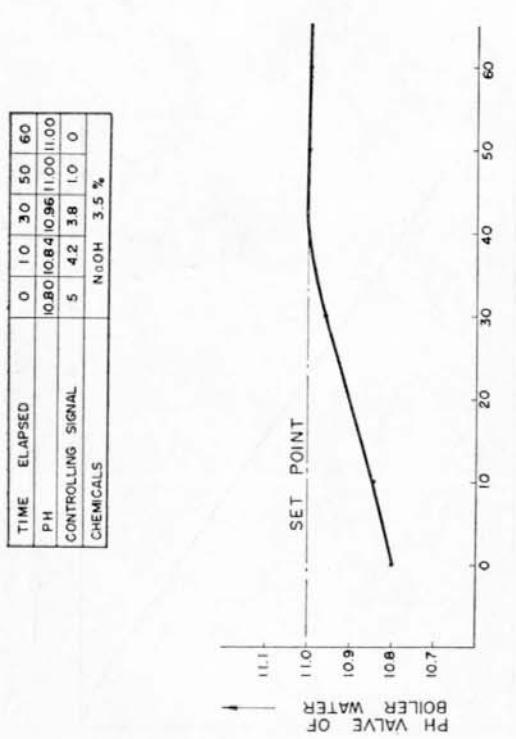


Fig. 29 Characteristic Curve of pH Automatic Control System (Run No. 3)

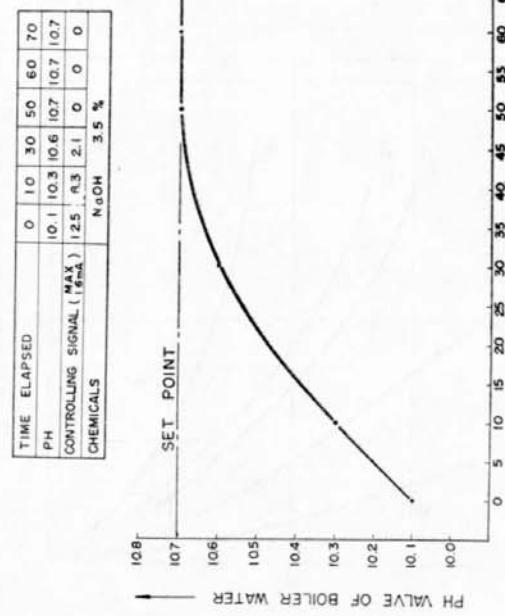


Fig. 30 Characteristic Curve of pH Automatic Control System (Run No. 4)

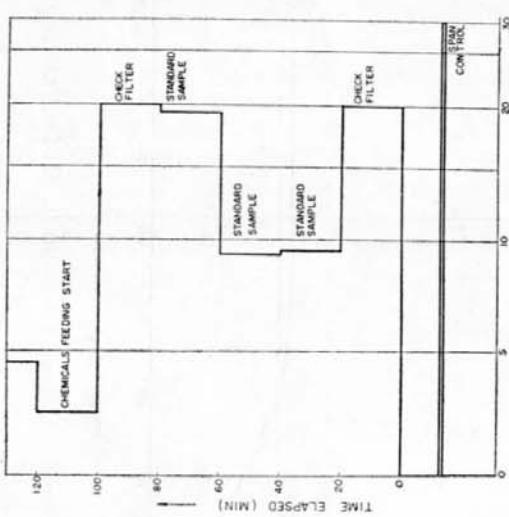


Fig. 31 Results of Performance Test of PO_4^{3-} Analyzer (Run No. 1)



Fig. 32 Performance Characteristics of PO_4^{3-} Conditioning Chemical Feed Pump (Run No. 2-(A))

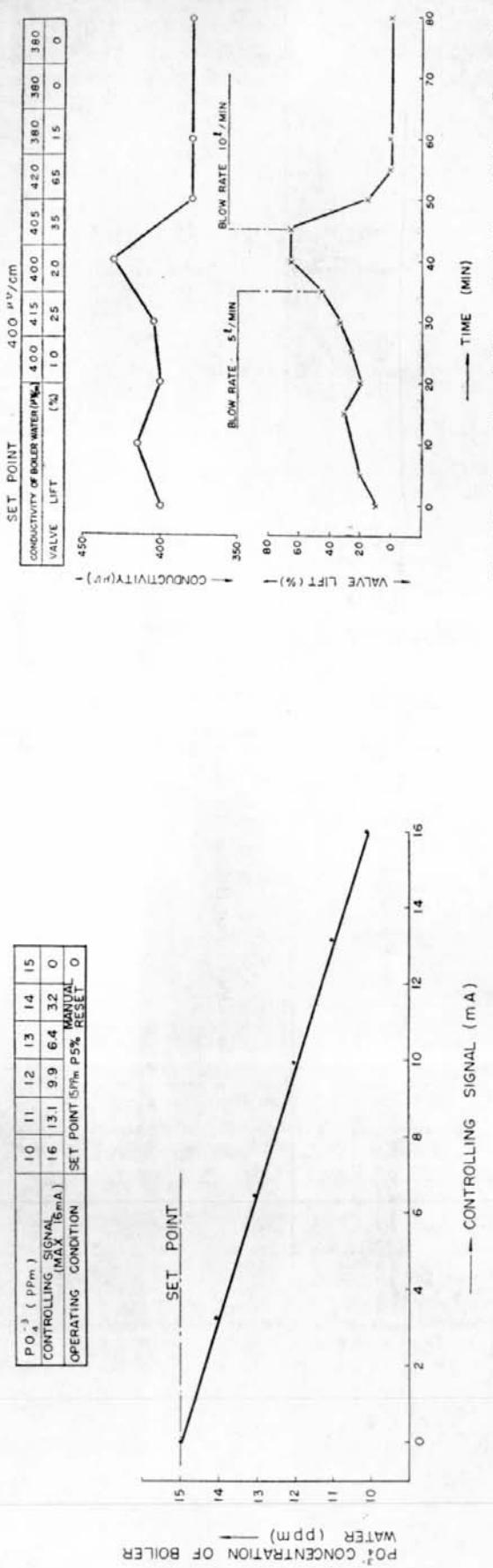


Fig. 33 Performance Characteristics of PO₄³⁻ Controller
(Run No. 2-(2))

SET POINT	900 μV
CONDUTIVITY OF BOILER WATER (%)	8.40
VALVE LIFT (%)	4

Fig. 35 Operational Characteristics of Blow Control System



Fig. 34 Performance Characteristics of Conductivity Controller

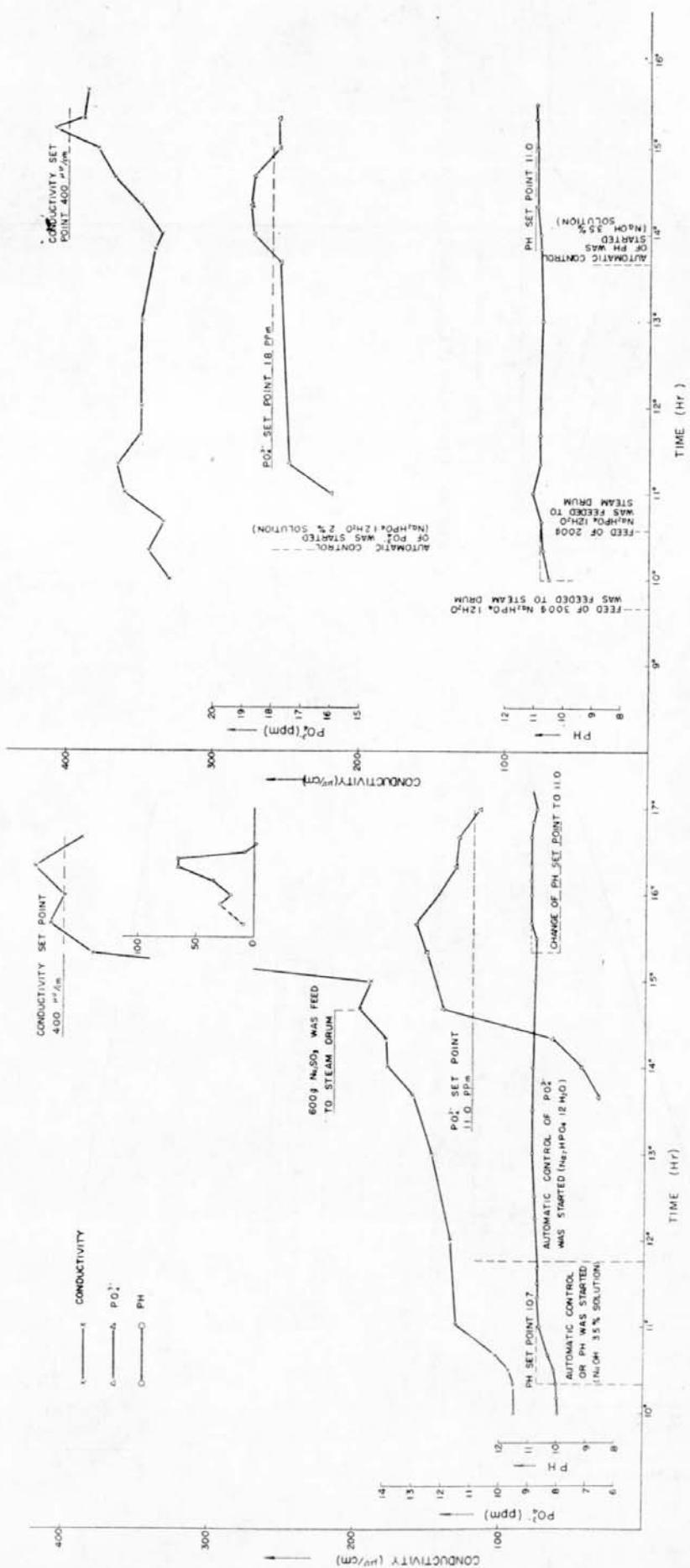


Fig. 36 Operating Results of Control Systems

昭和39年2月25日 印刷
昭和39年2月29日 発行

日本造船研究協会報告 第37号

発行人 菅 四 郎

発行所 社団法人日本造船研究協会

東京都千代田区九段4の15

ニユースケ谷ビル 6階

電話 (272) 0611 ~ 8

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