

火力発電プラントの水質試験とその解析

Tests of Water Conditions in Thermal Power Plants and Discussions of the Results

阿部元志* 奥村英策** 丹野和夫***
Motoyuki Abe Eisaku Okumura Kazuo Tanno

川島夏樹****
Natsuki Kawashima

内 容 梗 概

火力発電プラントの保守および防食対策樹立の一環として行なわれるいわゆる総合水質試験では、ボイラ、タービン、復水器、給水ならびに復水系統の各部から水および蒸気の試料を採取し、酸素、ヒドラジン、アンモニア、銅、鉄、シリカ、リン酸イオン、濁度などを分析する。本報では仙台火力発電所 175 MW 2 号機プラントにおいて行なった試験結果を例として、各成分のプラント内における挙動を考察した。

1. 緒 言

水および蒸気は火力発電の全プラントを循環しながら汚染と純化をくりかえす。ボイラ、タービン、復水器、給水加熱器などの各機器あるいはその中間の配管から試料水を採取分析し、微量成分の消長を調べることが目的とするいわゆる総合水質試験は、各部の腐食ならびにその原因を知る重要な手段である。

火力発電所では、ボイラの腐食、タービン翼へのシリカの析出を防止するため、制限値を設けて、厳重な水質管理を行なっているが、その分析項目は多くなく、かつほとんど給罐水に限られているので、その日常的分析データからプラント全体の模様を知ることはできない。

著者の一人はさきに 75 MW プラントにつき総合水質試験を行ない、その結果を解析した⁽¹⁾。ここでは昭和 36 年 9 月末、仙台火力発電所 175 MW 2 号機プラントにおいて行なった水質試験を例にとり、他のプラントでの測定結果も参考にして、結果の考察を試みた。

2. プラントの概要⁽²⁾

系統図を第 1 図に示し、考察に必要と思われる 175 MW のときの設計温度、圧力および流量をあわせ記入した。

ボイラは B & W 単胴放射形で、最大連続蒸発量は 590 t/h である。このときの給水温度は第 1 高圧給水加熱器出口で 275°C、蒸気の圧力と温度は汽胴で 182.8 kg/cm²g、357°C、過熱器出口で 174 kg/cm²g、571°C、再熱器出口で 35.5 kg/cm²g、543°C である。

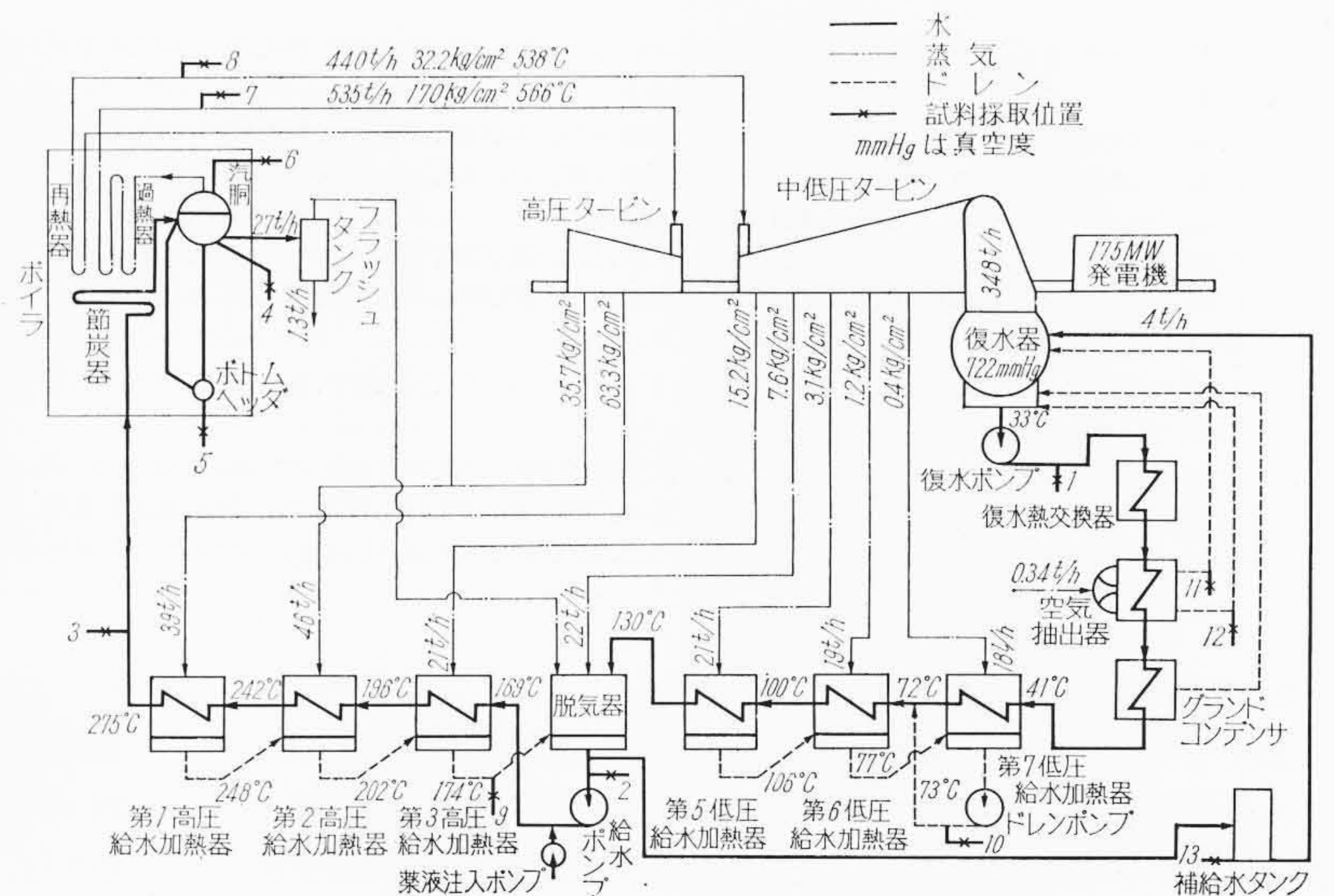
タービンは定格出力 175 MW、3,000 rpm、抽気段数 7 段で、入口蒸気の圧力と温度は第 1 図のとおりである。

復水器は処理蒸気量 348 t/h、冷却海水量 21,350 m³/h、冷却水温度 21.1°C として真空度 722 mmHg、冷却面積 10,220 m²、管材質はアルミニウム黄銅である。給水加熱器と脱気器はボイラに近い方から第 1、第 2、……、第 7 と呼ばれ、第 1～第 3 高圧給水加熱器および第 5～第 7 低圧給水加熱器の加熱管材質はそれぞれニッケル銅合金およびアルミニウム黄銅である。

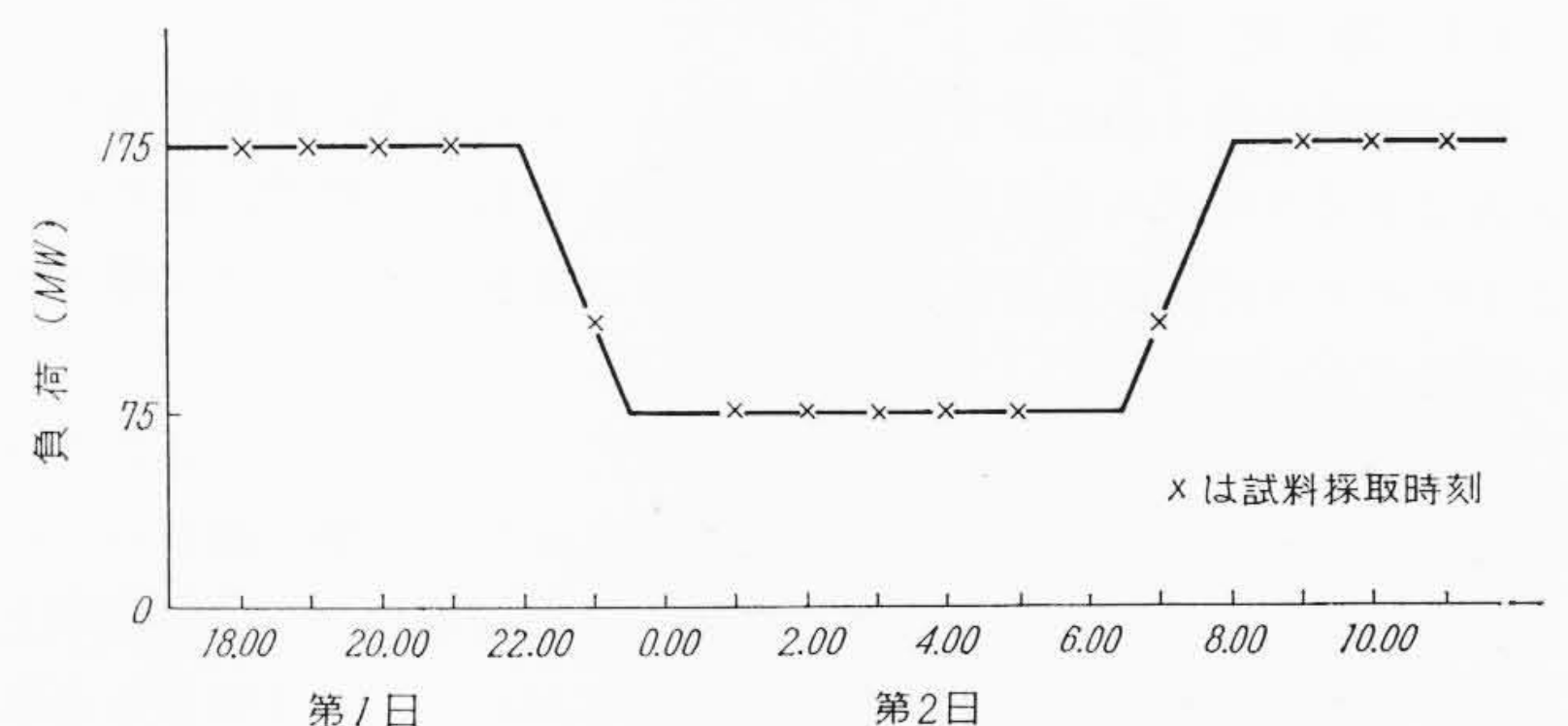
3. 試験の方法と結果

3.1 試験要領

負荷の影響を見ることができるよう、第 2 図のように全負荷、



第 1 図 プラント系統図



第 2 図 試料採取時刻と負荷

低負荷、ならびにその変化の途中で試料採取を行なった。

試験に先だって第 1 日 9 時にブロー弁を閉じ、以後試験終了までブローは全然行なわなかった。また試験中の薬液注入はヒドラジンの連続注入のみとし、低負荷時には注入量を減らした。

試料採取位置は第 1 図に記したとおりで、各採取位置からの試料水についての分析項目は、予想される効果と時間的分析能力とを勘案して取捨した。第 2 表(後述)において数値の記載してない欄は分析しなかったものである。

酸素の分析は、試料採取上の誤差を極力少なくするために、試料採取後ただちに現場で行なった。酸素以外の分析項目の試料は 2 本の 1 l ポリエチレンびんに採取し、1 本を鉄分析用に当て、他の 1 本から、変化しやすい pH、電気伝導度、アルカリ度、ヒドラジンの試料を順次とり、その残りを他の項目の試料とした。

* 東北電力株式会社本社
** 東北電力株式会社仙台火力発電所
*** 日立製作所日立研究所
**** 日立製作所日立研究所 工博

第 1 表 測

成分 試料採取位置 負荷 (MW) 日時	O ₂ (ppb)					N ₂ H ₄ (ppb)				NH ₃ (ppm)												Cu (ppb)													Fe (ppb)												
	①	②	③	④	⑤	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	①	②	③	④	⑤	⑦	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	①	②	③	④	⑤	⑦	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬					
	復水ポンプ出口	給水ポンプ入口	第二高圧給水加熱器出口	第三高圧給水加熱器出口	低圧給水加熱器出口	給水ポンプ入口	第一高圧給水加熱器出口	二次過熱器出口	復水ポンプ入口	給水ポンプ入口	第一高圧給水加熱器出口	汽 汽 飽 和 蒸 気	汽 汽 飽 和 蒸 気	二次過熱器出口	再 熱 器 出 口	第三高圧給水加熱器出口	低圧給水加熱器出口	インタクーラ出口	アフタクーラ出口	復水ポンプ出口	給水ポンプ入口	第一高圧給水加熱器出口	汽 汽 飽 和 蒸 気	汽 汽 飽 和 蒸 気	二次過熱器出口	第三高圧給水加熱器出口	低圧給水加熱器出口	インタクーラ出口	アフタクーラ出口	補給水タンク	復水ポンプ出口	給水ポンプ入口	第一高圧給水加熱器出口	汽 汽 飽 和 蒸 気	汽 汽 飽 和 蒸 気	二次過熱器出口	第三高圧給水加熱器出口	低圧給水加熱器出口	インタクーラ出口	アフタクーラ出口	補給水タンク						
第1日 18.00	13	5	5	4	2	100	0	16	6	0	0.04	0.08	0.09	0.07	0.09	0.10	0.07	0.09	0.06	4.00	6.50	7.2	6.8	4.0	29.6	24.6	6.4	4.0	7.8	21.0	23.6	4.6	3.1	2.7	4.7	3.6	2.5	4.7	13.6	6.0	4.0	2.7	4.5				
19.00	16	7	3	3	7	100	0	16	7	0	0.05	0.08	0.09	0.04	0.06	0.08	0.06	0.09	0.08	4.10	6.80	2.0	10.2	3.0	27.6	15.6	3.8	2.2	2.8	23.2	10.0	3.0	3.2	2.5	3.5	2.3	2.7	4.3	7.0	3.2	6.1	2.8	2.5				
20.00	13	2	7	0	6	99	0	16	7	0	0.05	0.06	0.09	0.05	0.07	0.07	0.06	0.06	3.75	7.00	2.4	12.0	3.4	27.2	24.6	4.0	1.2	4.2	22.8	8.8	2.8	2.9	2.8	2.9	2.3	1.8	3.0	7.5	3.9	3.1	2.7	2.5					
21.00	16	4	6	6	6	124	0	16	8	0	0.05	0.07	0.14	0.04	0.09	0.07	0.08	0.06	0.05	3.60	7.45	3.0	8.4	1.8	23.0	23.2	4.6	5.0	2.8	20.2	4.2	2.0	3.1	2.7	2.7	2.8	3.7	4.1	3.3	5.2	5.6	2.7	3.0				
22.00																																															
23.00	24	8	6	0	5	100	0	38	11	0	0.06	0.10	0.18	0.03	0.09	0.08	0.07	0.11	0.10	4.20	7.60	2.6	7.6	3.2	26.8	19.6	3.8	1.6	5.6	23.4	7.4	2.4	3.2	3.1	3.4	3.0	2.6	3.5	4.5	3.1	5.8	3.1	2.8				
第2日 0.00																																															
1.00	19	6	—	1	5	372	0	32	11	0	0.09	0.11	0.20	0.02	0.10	0.15	0.12	0.08	0.09	3.40	7.20	3.0	7.8	4.4	20.4	25.6	2.6	tr	7.6	14.2	4.4	2.6	3.2	2.9	2.9	2.5	2.3	3.6	3.3	5.4	7.3	2.2	2.2				
2.00	20	6	—	6	3	388	0	25	7	0	0.08	0.10	0.16	0.03	0.12	0.15	0.11	0.06	0.11	3.40	6.85	1.8	4.6	3.8	12.0	22.8	4.1	0.8	6.8	20.4	3.8	2.8	3.5	2.1	2.3	3.3	3.2	7.3	3.2	9.4	4.2	1.2	2.2				
3.00	75 18	8	6	7	8	371	0	28	7	0	0.11	0.09	0.15	0.02	0.11	—	0.12	0.05	0.11	3.60	6.80	1.6	1.6	1.0	28.2	27.8	4.8	tr	7.0	18.8	2.0	3.2	3.5	2.3	2.6	4.4	1.5	2.9	3.3	8.2	9.2	8.2	2.8				
4.00	12	6	6	7	6	389	0	14	4	0	0.09	0.09	0.15	0.02	0.12	0.12	0.10	0.07	0.10	3.60	6.80	1.2	7.2	3.8	13.5	30.2	4.0	tr	8.4	17.9	2.0	2.5	2.5	2.1	3.1	4.2	2.0	3.3	3.3	7.3	6.2	7.3	4				
5.00	15	4	5	7	4	400	0	18	7	0	0.06	0.09	0.15	0.03	0.12	0.07	0.08	0.08	0.13	3.90	7.10	tr	4.6	1.8	18.6	23.4	2.9	tr	7.0	18.1	1.4	1.8	2.6	2.5	2.7	3.0	3.2	5.3	1.4	2.4	9.2	7.5	2.2				
6.00																																															
7.00	22	7	10	10	4	340	0	25	6	0	0.09	0.11	0.17	0.03	0.11	0.12	0.13	0.11	0.11	4.80	8.10	tr	7.4	2.5	22.9	19.8	0.9	tr	12.0	16.4	3.8	3.2	3.4	2.6	4.6	2.6	3.6	2.7	4.2	6.5	3.9	5.4	5.5				
8.00																																															
9.00	24	5	9	8	5	183	0	14	6	0	0.10	0.12	0.17	0.05	0.09	0.10	0.10	0.13	0.10	6.08	14.83	tr	11.6	3.0	25.2	31.6	2.4	8.0	5.6	21.0	4.2	tr	2.9	3.1	4.7	4.5	2.1	2.8	6.6	4.2	3.4	2.8	3.5				
10.00	175 24	6	8	8	5	179	0	13	7	0	0.10	0.09	0.14	0.04	0.12	0.11	0.13	0.11	0.10	6.55	12.50	3.3	8.4	4.8	29.6	40.4	tr	1.1	5.2	14.6	9.0	4.0	3.1	2.9	4.6	5.0	2.1	4.3	4.3	3.2	6.2	2.3	6.6				
11.00	22	5	7	0	2	184	0	15	5	0	0.12	0.09	0.18	0.06	0.10	0.10	0.10	0.11	0.14	7.05	14.25	3.6	8.6	tr	33.6	28.4	2.2	tr	8.4	16.8	1.5	3.8	2.7	2.3	6.1	3.2	2.5	3.1	3.8	6.4	4.3	4.2	8.4	1.1			

3.2 分 析 方 法

銅は 1, 5-ジフェニルカルボヒドラジドを使用する方法⁽³⁾により、その他の項目は JIS 法⁽⁴⁾により分析した。ただし鉄は感度を上げるため試料水を 400 ml とり、また分析時間を短縮するために溶解操作を省略したので、全鉄のうち溶解していない鉄は測定されずイオン状の鉄のみが測定されたはずである。

3.3 測 定 結 果

測定結果は第 1 表に示すとおりである。本発電所の水質管理の考え方はボイラのアルカリ腐食の防護に重点をおくもので、表にみるようにボイラに運び込まれる鉄と銅および罐水の pH とリン酸イオンを低くとしている。

測定が全負荷、低負荷、全負荷の順に行なわれたので、この 3 時期につきそれぞれ平均値を求めて第 2 表に示した。第 1 表にみられる測定値のばらつきは成分自体の変動と分析誤差および試料採取上の誤差から生ずるので、平均値をとることが必ずしも意味をなさない場合もあるが、これを念頭において考えれば、各成分の消長を考察するのに便利である。この表においてたとえばリン酸イオンのように上行と中行がほぼ等しく下行のみが異なるものは負荷に左右される性質を持つ成分であり、またたとえばインタクーラ出口のアンモニアのように、上行と中行が明らかに異なるものは負荷に関係なく変動しやすい成分である。

4. 結 果 の 考 察

4.1 酸 素

第 2 表によると、復水ポンプ出口の酸素濃度はやや高いが、脱気器以降においては一けたの値を示し、また低圧給水加熱器ドレンポンプ出口のみがとくに高い。

(1) 復水ポンプ出口

タービンの排気が大気圧以下であるため、復水器の蒸気 350 t/h には、およそ 20~30 kg/h の空気がもれ込むものと考えられてお

り、これは 10~15 ppm に相当する。この酸素は水および蒸気と分離されて空気抽出器に送られ、復水濃度は第 1 表にみるように 24 ppb 以下となっている。設計保証値は 0.03 ml/l (43 ppb) であるから、この復水器は正常な動作をしているといえることができる。

第 1, 2 表によれば復水濃度には負荷と直接関係のない変動がみられる。これはプラント全体のあらゆる状態変動の結果が、圧力、温度、流量、酸素量の変動の形で復水器へ持ち込まれることによるものと考えられる。

(2) 給水ポンプ入口

脱気器の設計保証値は 0.005 ml/l (7 ppb) であるが、第 1 表の結果は分析精度 2 ppb を考慮すればすべてこれを満足している。低負荷時に脱気能力がとくに低下することなく、よく性能を発揮している。

(3) 第 1 高圧給水加熱器出口

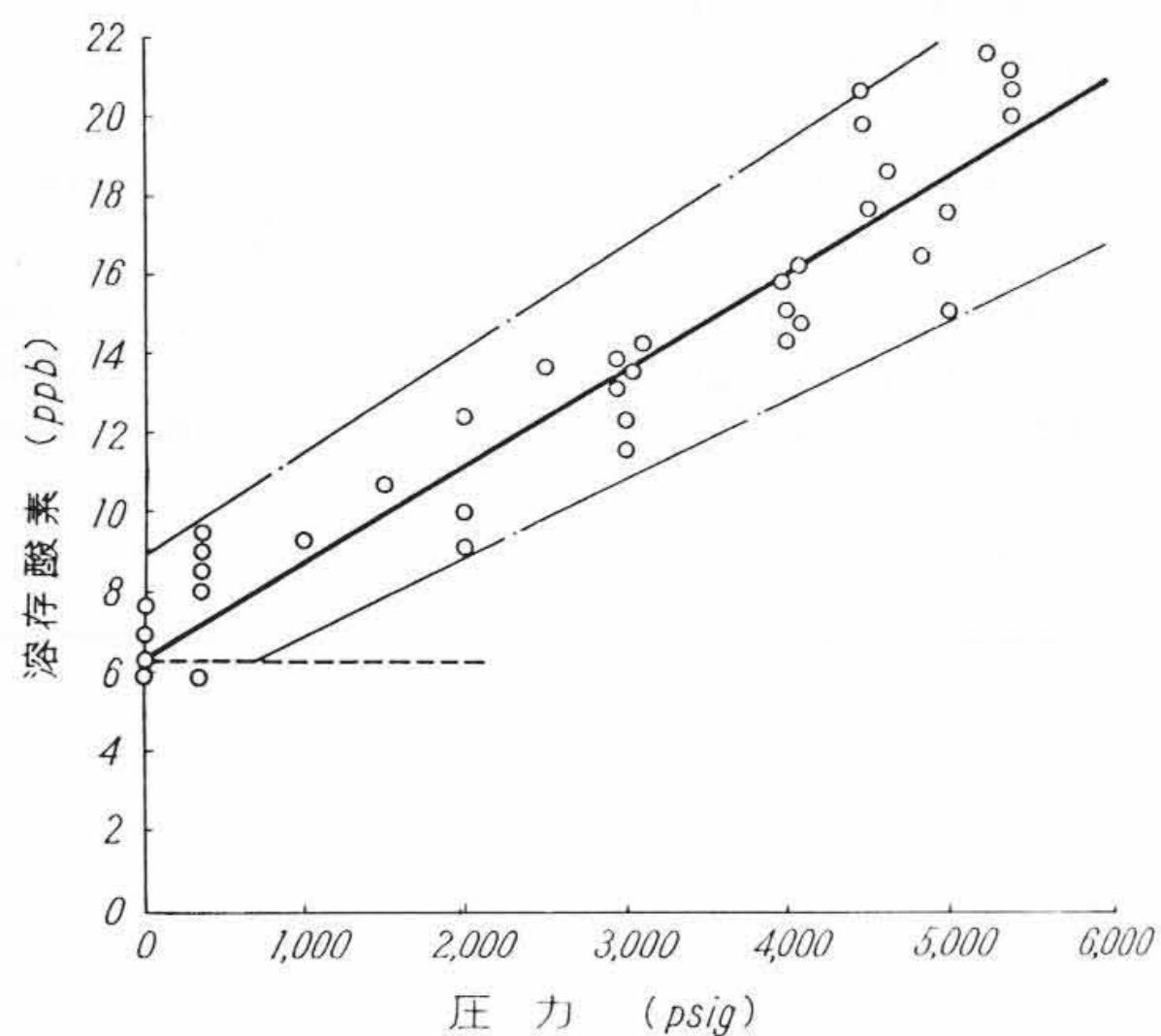
給水ポンプ出口にヒドラジンが注入されているが、第 2 表によれば第 1 高圧給水加熱器出口までの間において酸素は減っておらず、むしろ増加しているかに見える。また二次過熱器出口の測定値にはかなりのばらつきがみられるが、総平均は 5 ppb で第 1 高圧給水加熱器出口の値と大差はない。さらに、その後ヒドラジンを添加したときとしないときの節炭器入口の酸素その他を測定し第 3 表のようにヒドラジンを添加してもしなくても節炭器入口の値は給水ポンプ入口の値と変わらないという結果が得られている。

これらの結果に対してはつぎの二通りの解釈が可能である。その一つは第 1 高圧給水加熱器出口および二次過熱器出口の値が給水ポンプ入口の値と同じであるから、ヒドラジンによる酸素の消費はなく、ヒドラジンは脱酸素にはまったく役にたっていないとする解釈で、他の一つは第 1 高圧給水加熱器出口以降に酸素はないが、試料採取上の定誤差として酸素がでてくるとする解釈である。すなわち、後者はヒドラジンが存在するときにはヒドラジン

第3表 ヒドラジンの効果

成分		O ₂ (ppb)		N ₂ H ₄ (ppb)	
		給水ポンプ入口	節炭器入口	節炭器入口	飽和蒸気
ヒドラジン無添加	*測定回数				
	1	10	6	—	—
	2	5	5	—	—
	3	11	6	—	—
	4	4	5	—	—
	5	6	5	—	—
	6	6	6	—	—
	平均	7	6	—	—
ヒドラジン添加	1'	4	5	17	0
	2'	6	6	17	0
	3'	6	7	16	0
	4'	6	4	15	0
	5'	6	3	15	0
	6'	7	1	15	0
	平均	6	4	16	0

* 2時間ごとに測定



第3図 高圧水の分解による酸素濃度の増加

により、ヒドラジンが存在しないときには給水加熱器の管材質により酸素は消費されてなくなるが、第3図⁽⁵⁾に示したように高圧水を急激に減圧すると水が解離し、たとえば第1高圧給水加熱器出口の圧力 2,900 psig では平均 7 ppb 程度の酸素の増加があるので第2表のような結果が得られたのだとする解釈である。この二通りの解釈のいずれが正しいかこの実験だけではわからないので、別途検討する必要がある。

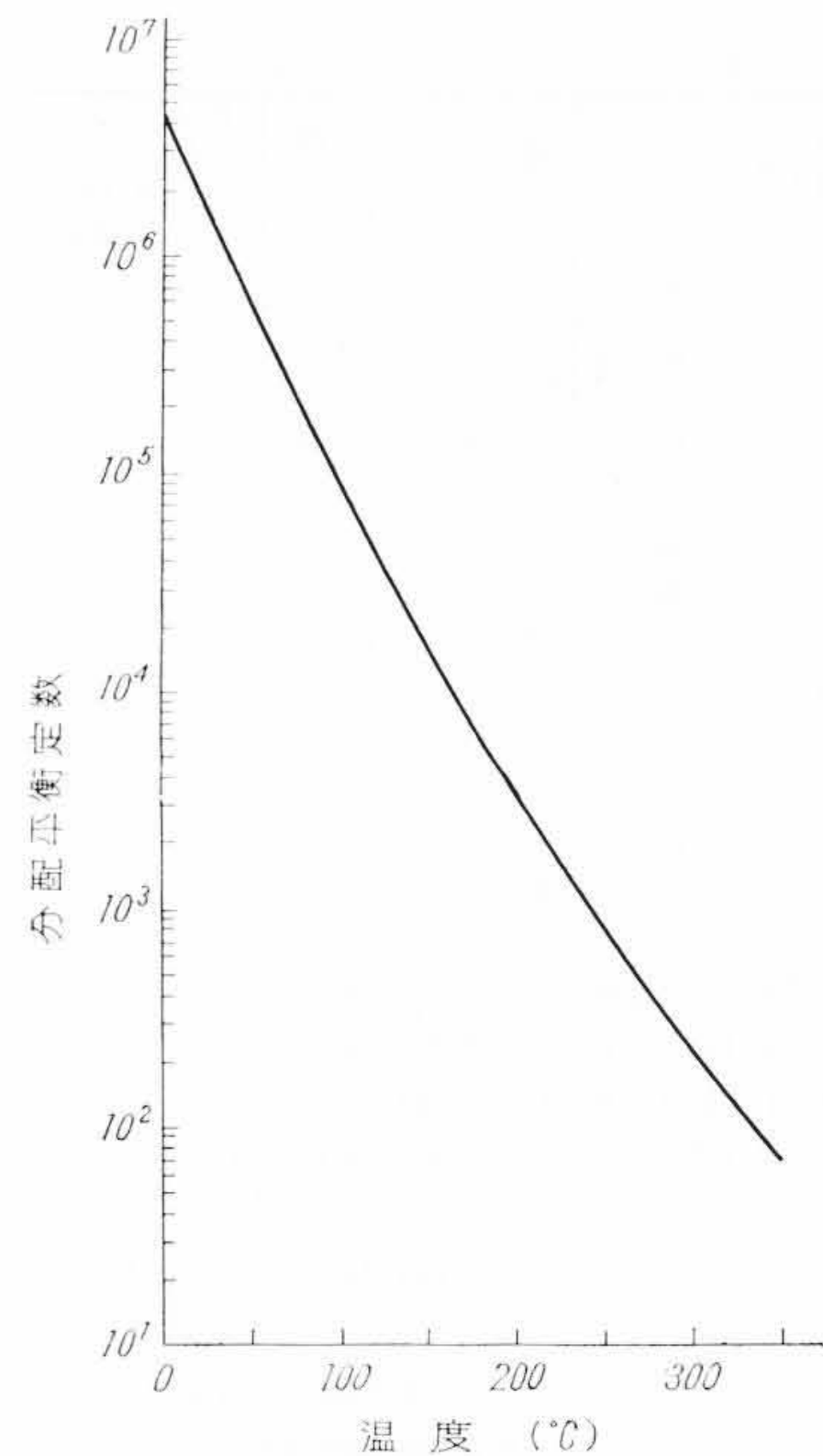
(4) 第3高圧給水加熱器ドレン

第1表の分析値は2～8で、総平均は5 ppb 程度である。酸素の気液分配は第4図に見るように蒸気側にはなほ大であるから、タービンの抽気が凝縮したこのドレンにはほとんど酸素はないはずである。このことはさきに 75 MW プラントについて確認している⁽⁴⁾。しかし、他の 175MW プラントでの測定でもこのドレンに酸素が検出されているので、その原因は今後さらに検討する必要がある。

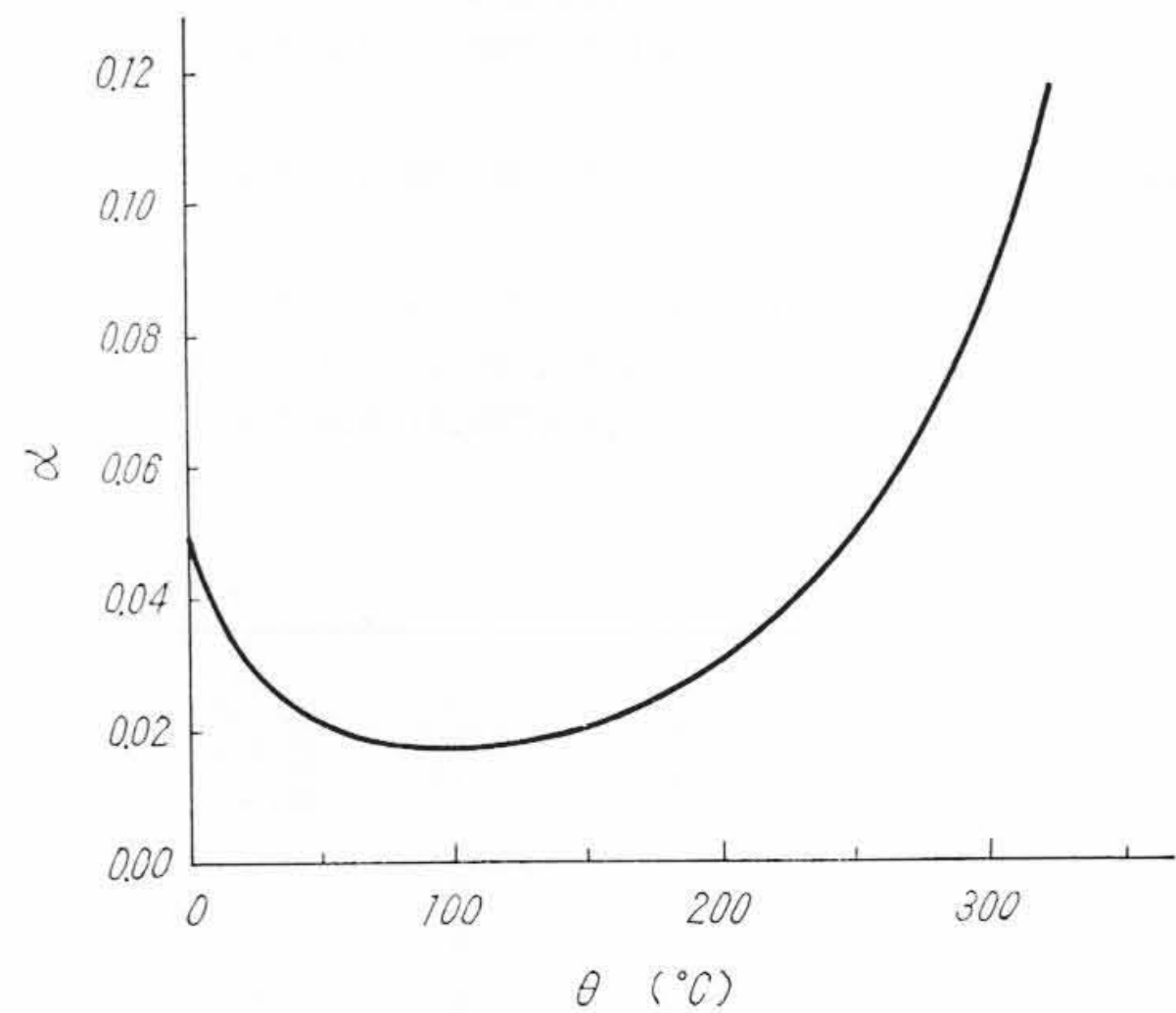
なお、第4図は第5図に示すブンゼンの吸収係数⁽⁶⁾⁽⁷⁾とヘンリーの法則を使用して蒸気中の酸素濃度と水中の酸素濃度との比を求めたものである。

(5) 低圧給水加熱器ドレンポンプ出口

測定値は低負荷時に多くなっているので空気漏えいがあることは明らかである。その後ポンプのグランドシールとバランスパイプのパッキングの改善により 60 ppb 程度まで減少した。この 60 ppb のドレン 60 t/h は 350 t/h の復水の酸素濃度を 9 ppb だけ



第4図 酸素の気液分配平衡定数



第5図 素酸の分圧が 760 mmHg のとき $\theta^{\circ}\text{C}$ の水溶に溶解する酸素の容積 α

高めそれだけ脱気器の負担を増しているわけである。

4.2 ヒドラジン

ヒドラジンは(1)式にしたがって酸素を除去するが、その速度は温度が高いほど大きい。そして 200°C を越すと(2)式のような分解反応も始まり、この反応速度も温度が高くなると加速度的に大きくなる⁽⁸⁾⁽⁹⁾。給水ポンプ出口～第1高圧給水加熱器出口間の温度は全負荷のとき 170～275°C、75 MW のとき 140～230°C であるから分解反応も起こっていると考えられる。

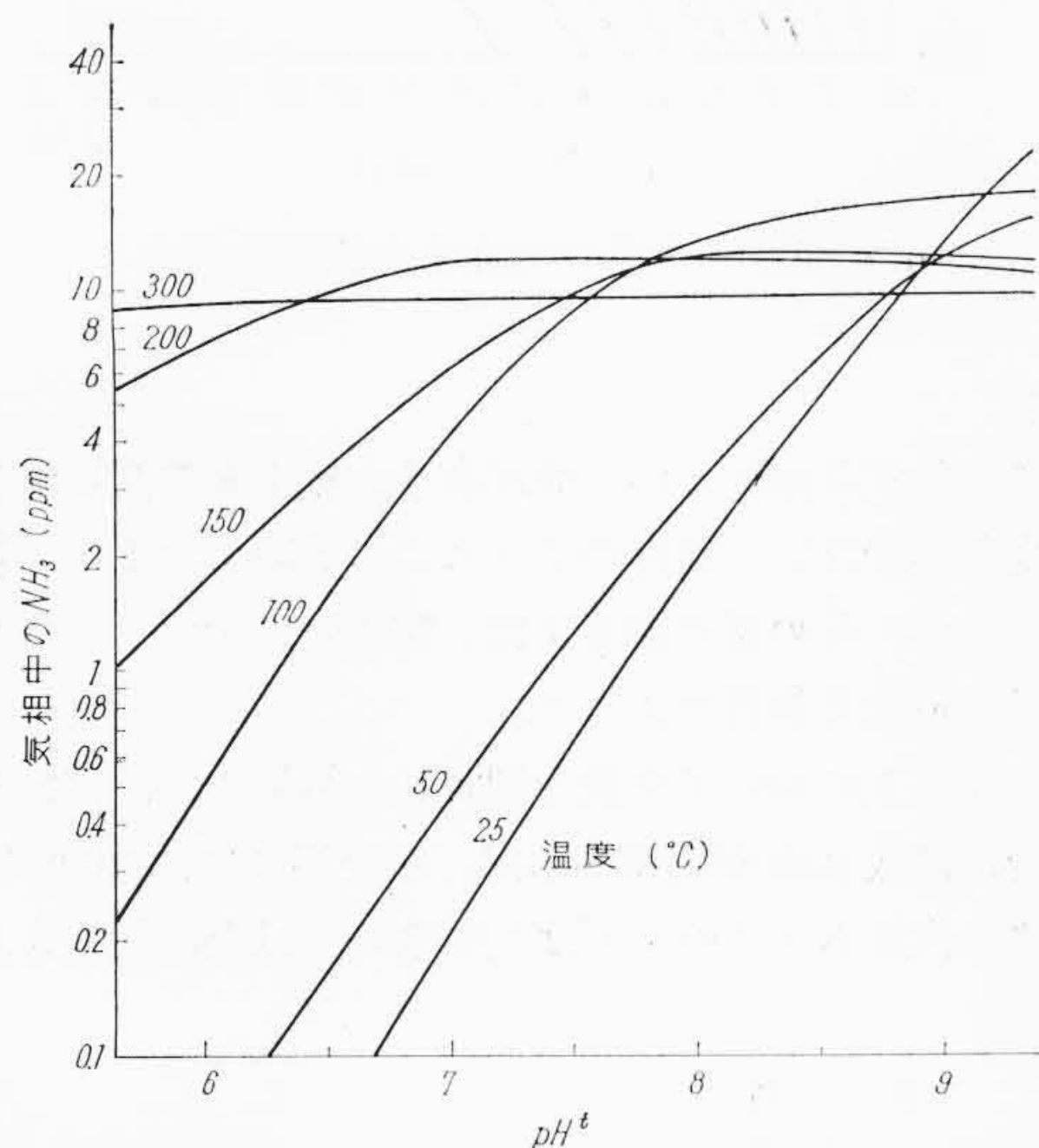


第4表の第1列は薬液注入ポンプのストロークから計算した薬液注入直後のヒドラジン濃度で、第2列はこれと第1高圧給水加熱器出口の濃度との差である。この減少したヒドラジンがすべてアンモニアになったとすると(アンモニアの生成量はこの場合にもっとも多い)(2)式によりヒドラジン1重量からアンモニアが 0.7 重量増加するので、アンモニアの増加量は第3列のようになるはずである。

第1高圧給水加熱器を出た給水が節炭器を通して汽胴へはいるまでの間も、この水がボイラに滞留している間も、ヒドラジンは分解し続け、二次過熱器を出るまでには第1表のように完全に分解してしまう。この間でもヒドラジンはすべて分解してアンモニアになるとすると生成したアンモニアは第3表第4列のとおりのはずである。

第4表 ヒドラジンの分解によるアンモニアの生成

日	時	負荷 (MW)	濃度 (ppb)	ヒドラジン 注入量	薬液注入と第一高圧給水 加熱器出口の間における		第出口モ ーロのニ ア高と二 増給にお 加計算 量アン
					ヒ少 ドラ 量ジ ン減	ア加 ン計 モ算 ニ量 ア増	
第1日	18.00	175	175	30	14	10	11
	19.00			30	14	10	11
	20.00			30	14	10	11
	21.00			30	14	10	11
	22.00						
第2日	0.00	75	75	50	18	13	22
	1.00			38	13	9	18
	2.00			38	10	7	20
	3.00			38	24	17	10
	4.00			38	20	14	13
	5.00	175	175	27	13	9	10
	6.00						
	7.00						
	8.00						
	9.00			27	14	10	9
	10.00			27	12	8	11
	11.00						



第6図 液相にアンモニアが1ppmあるときの蒸気相のアンモニア含有量

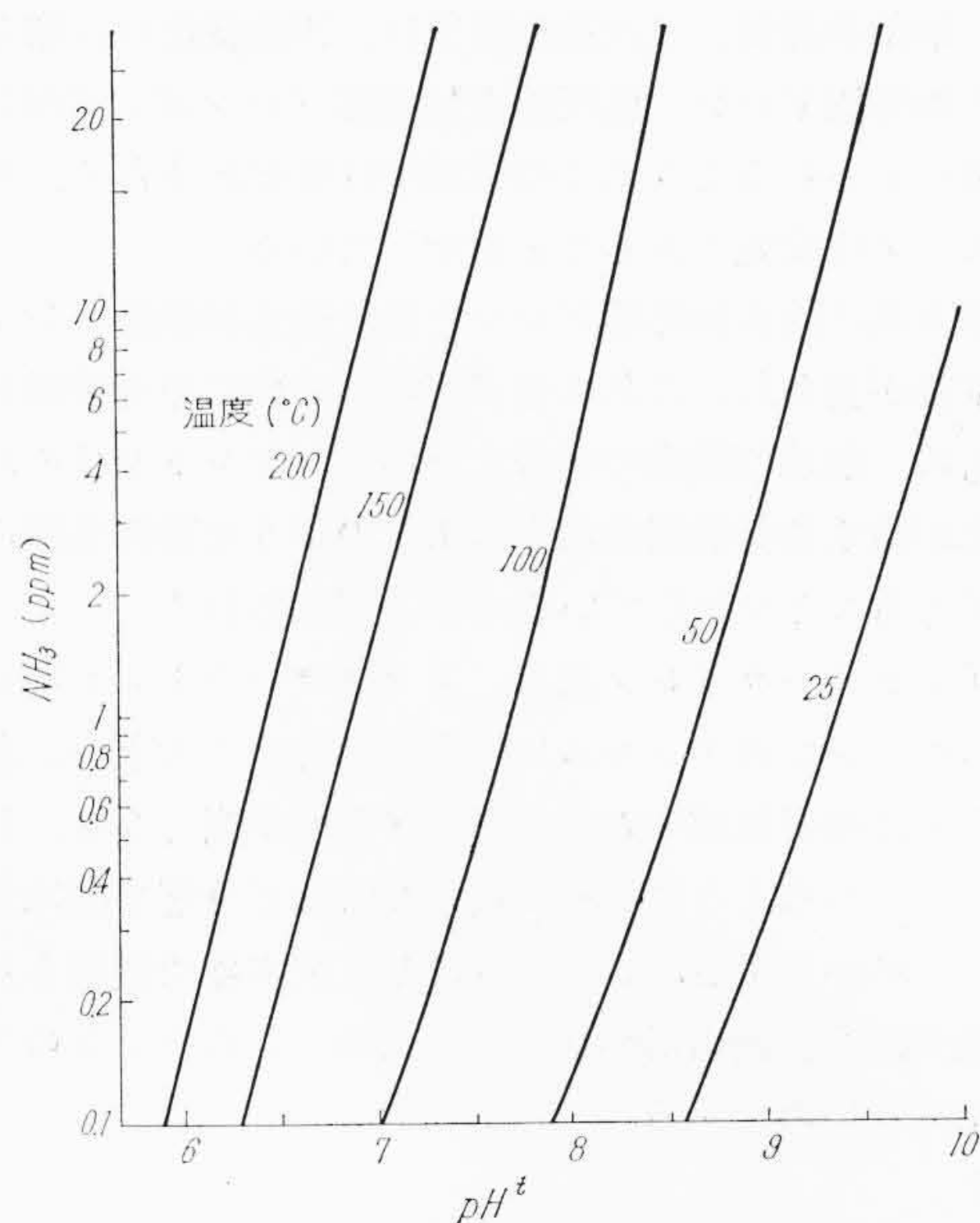
4.3 アンモニア

第2表において目だつことは、空気抽出器ドレンがいずれも濃いことであるが、これを別にすると、汽胴水濃度がやや低い。

(1) 復水ポンプ出口、給水ポンプ入口間

この間で給水は脱気器を通過するが、第2表によれば増加を示しているときと減少を示しているときがあり実質的増減はないと考えられる。

ここでアンモニアの気液分配について考えてみる。アンモニアの気液分配平衡は第6図⁽¹⁰⁾のとおりで、ここにpH'はその温度におけるpHで、このようにアンモニアの場合には酸素と異なり温度のほかに液のpHによっても気液分配平衡は変わる。ところで高温におけるpHを直接測定することも、またこれを常温におけるpHに換算することも簡単にはできないが、アンモニア単液については第7図⁽¹⁰⁾のような関係が求められている。この図によれば、脱気器の温度150℃におけるアンモニア濃度0.1ppmの溶液のpH'は6.3で、第6図からその分配定数は約2.5である。これに対して酸素の気液分配平衡定数は第4図から求まるように



第7図 アンモニア希薄溶液の温度とpH

2×10⁴程度のきわめて大きい値である。このことから脱気器においては酸素のみ脱気され、アンモニアはそのまま残ることが了解できる。

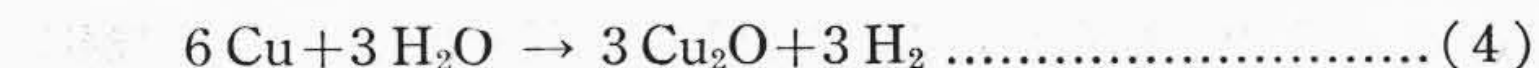
(2) 第1高圧給水加熱器出口

第2表によれば給水ポンプ入口からこの位置へくるまでに0.03, 0.06, 0.06ppmの増加があり、NH₃の分析精度0.01~0.02ppmを考慮しても前節で述べた計算値よりも多い。この区間におけるアンモニアの増加はヒドラジンの分解による以外に原因はないので、薬液注入ポンプによる注入量に問題があったのではないと思われる。

(3) 汽胴水と汽胴飽和蒸気

第6図からアンモニアの気液分配平衡定数は300℃において約9である。汽胴温度は360℃程度であるが、近似的にこの値を流用すると第2表において飽和蒸気が80, 100, 110ppbであるから、汽胴水は約10ppbでなければならず、実測値50, 50, 20ppbは高すぎる。この理由はアンモニアのすべてが自由な形で存在するのではなく、[Cu₂(NH₃)₄]²⁺のような金属錯イオンの形をとっているものがあり、この錯イオン中のアンモニアは気液平衡には直接は関与しないが分析値には出てくると解釈される。

汽胴飽和蒸気のアンモニア含有量は、第1高圧給水加熱器出口に比して明らかに低い。この理由はボイラを通過する間に銅などを触媒として次式のようにアンモニアが分解するものと推定される。



簡単に書けば



触媒として銅を考える理由は(i)第2表に見られるようにボイラ水中には多量の銅が存在し、蒸発管や汽胴における酸化鉄を主成分とする沈積物中にも銅分が含まれており、顕微鏡観察により金属銅もあると推定されていることと(ii)7:3銅ニッケル製高圧給水加熱器が酸化されるように、金属銅は高温水により酸化されてCu₂Oとなるが、酸化銅は還元剤があれば金属銅になりうるものである⁽¹¹⁾ことによる。

なお、汽胴水のアンモニア濃度は低負荷時にとくに低い、これについては後に述べる。

(4) 汽胴飽和蒸気，二次過熱器出口，再熱器出口，第3 高压給水加熱器ドレン，低压給水加熱器ドレンポンプ出口

第2 表に見られるようにこの範囲では変化が少なく，蒸気中ではアンモニアは安定であることを示している。

ただ第3 高压給水加熱器ドレンと低压給水加熱器ドレンにおいてやや変動が見られ，これは復水器出口の値にやや変動があることとともに，前述の酸素の場合と同様，プラント全体のわずかな状態変化が給水加熱器胴体側や復水器のような凝縮装置の動作に現われてくることを示しているものと考えられる。

(5) インタクーラドレン出口，アフタクーラドレン出口

これらのドレンのアンモニア濃度ははなはだ大きい。蒸気が凝縮するときには残留気相中のアンモニア濃度が高くなり，しかも第6, 7 図からわかるように濃度が高くなるほど分配平衡は気相に大になるようにかたよる。このようにして復水器で濃縮されたアンモニア蒸気が空気抽出器へ送られるため，このドレンのアンモニア濃度が大きいのである。

4.4 銅

(1) 復水ポンプ出口，給水ポンプ入口間

この区間で銅濃度が増加しているが，この間に加えられる高压および低压給水加熱器のドレンはたいして濃くないから，この濃度増加は低压給水加熱器のアルミニウム黄銅管内面から溶出した銅によるものである。その増加量が低負荷時に少ないのは，溶出に対して温度の影響がもっとも大きいためと考えられる。

(2) 給水ポンプ入口，第1 高压給水加熱器出口間

高压給水加熱器はニッケル銅合金であるから，この区間では銅量は増加しないだろうと予想され，事実他のプラントではほぼそのようなデータが得られている。しかし本測定では第2 表に見るように逆に減少しており，その後の試験でもこの傾向が見られている。この理由は単に酸化銅微粒子が加熱管内壁に沈着するのではなく，(3)式類似のメカニズムにより酸化銅や銅イオンがアンモニアやヒドラジンにより還元され，金属銅となって沈着するものと思われる。減少量が低負荷時に少なくなっているのは温度の影響と考えられる。

(3) 汽胴水，および二次過熱器出口，復水ポンプ出口間

第1 表によると汽胴水の銅は全負荷時 23~34 ppb で，他のプラントでの測定値に比して多めである。

二次過熱器出口，復水ポンプ出口間ではやや減少の傾向が見られるが，試験前に行なわれた定期検査ではタービンへの銅の析出は認められていない。

(4) 第3 高压給水加熱器ドレン，低压給水加熱器ドレンポンプ出口

高压給水加熱器ドレンは二次過熱器出口より低い値を示しており，これは加熱器胴体内において給水の場合と同じメカニズムで減少したものと推定される。ただしこの傾向は給水側と同様に他のプラントでは見られなかった。

低压給水加熱器ドレンは二次過熱器出口より高いときが多い。これは給水と同じくアルミニウム黄銅が溶出したものと思われる。

(5) インタクーラドレン出口，アフタクーラドレン出口

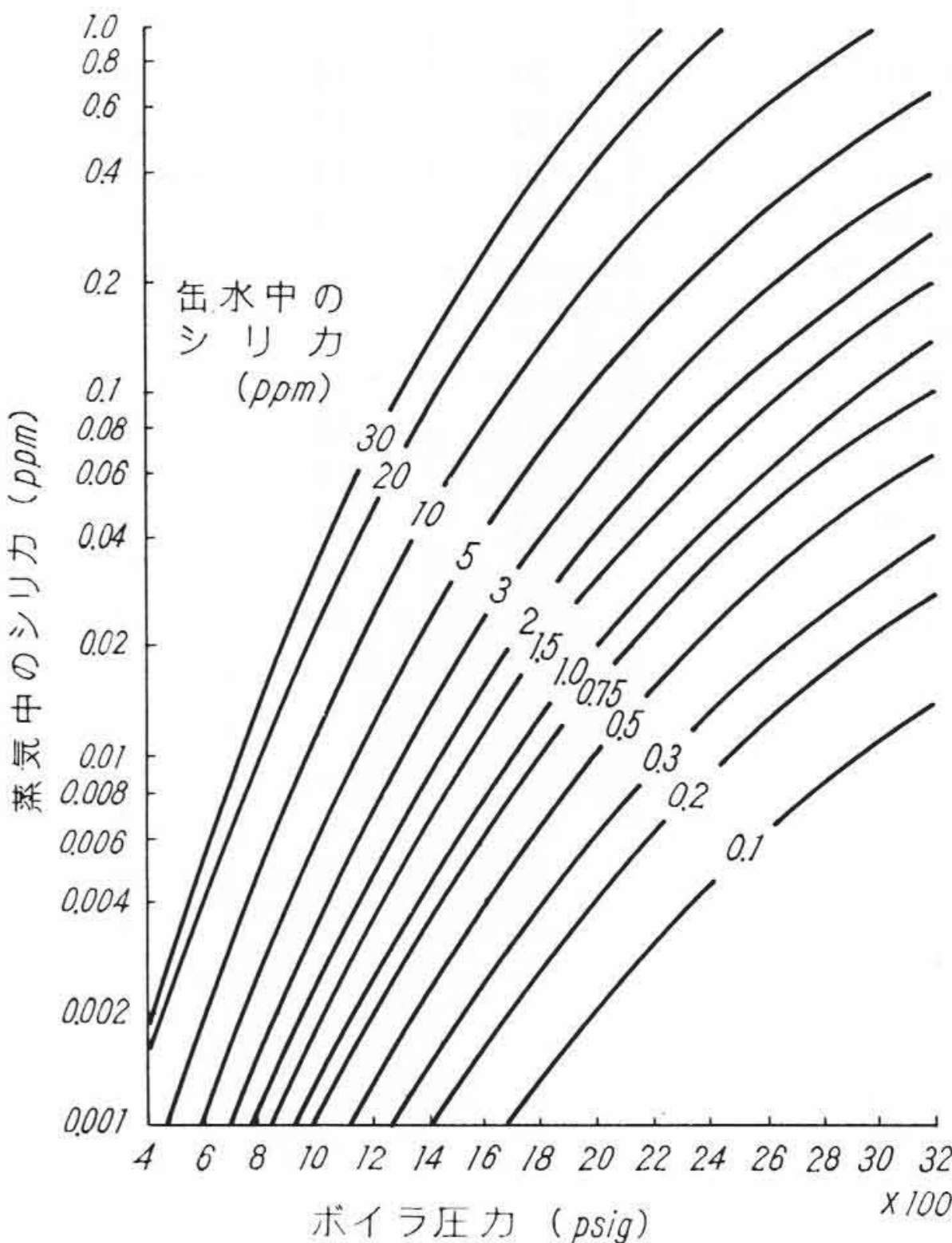
ここに銅が多いのは前述のように酸素およびアンモニアが多量に存在するからである。

(6) 補給水タンク

第2 表の値は他のプラントでの測定値に比して少ない。第1 表においてかなりの変動が見られるのは脱気器からの逆流の影響を受けているためと思われる。

第5 表 イオン状の鉄と全鉄

鉄 (ppb)	測 定 1		測 定 2	
	イオン状鉄	全 鉄	イオン状鉄	全 鉄
復 水 ポ ン プ 出 口	3	5	3	5
給 水 ポ ン プ 入 口	3	5	2	2
汽 胴 水	5	6	3	4



第8 図 シリカの気液中の濃度と圧力

4.5 鉄

第2 表によれば 3 ppb という値が多く，第1 表の測定値もだいたい同様に変化が少ない。前述のようにこの試験ではイオン状の鉄のみを測定したが，その後の調査では，第5 表に示すように全鉄はイオン状の鉄の最大2 倍弱であった。

ほかのプラントにおいて全鉄を測定した結果では，汽胴水濃度は少ない場合には数 ppb 程度であるが，多い場合には 20 ppb を越えており，また汽缶ボトムヘッダは汽胴水の倍以上の鉄を含んでいることが多い。

4.6 シ リ カ

汽胴水および汽缶ボトムヘッダのシリカは 100 ppb 前後で制限値よりもかなり低く，ほかのプラントの測定値に比べても低い。

汽胴飽和蒸気が低負荷時にきわめて高い値を示しているが，これを別にすると，復水ポンプ出口，給水ポンプ入口，第1 高压給水加熱器出口，低压給水加熱器ドレンポンプ出口のような水の流路においては 14 ppb 程度で，汽胴飽和蒸気もまた同程度の濃度である。したがってボイラ水のシリカは収支相つぐなって濃度は変らない。一方，蒸気は二次過熱器，再熱器を通る間に通路内のシリカを溶出して 21 ppb 程度になり，水にもどるまでの間にその増加分を析出してくるような形になっている。しかし，440 t/h の 7 ppb ならば 3 g/h であってこれほど多量のシリカがタービンその他に析出しているとは考えられず事実その後の開放検査結果ではシリカの析出は見られなかった。また他のプラントではこのような傾向は見られないので，サンプリングラインからシリカが溶出したと考える方が妥当である。また上に述べた 75 MW のときの飽和蒸気の異常値も蒸気中の値を示すものではなく，サンプリングラインの不備によりたまたまこの期間だけ別系統のシリカが漏れこんだとしか考えられない。

つぎに，この異常値を除いて汽胴におけるシリカの気液分配について考えてみる。飽和蒸気と汽胴水の濃度は第8 図のとおりであるといわれており⁽¹²⁾，2,400 psig においては約 0.05 である。これに對

して測定値は最初の 175 MW のとき 0.14, 後の 175 MW のとき 0.13 で、文献値の 3 倍近くあることになる。なお、ほかのプラントの測定側もすべて文献値の 2～3 倍の値を示しており、目下のところその原因はわからない。

4.7 汽胴水と汽罐ボトムヘッド

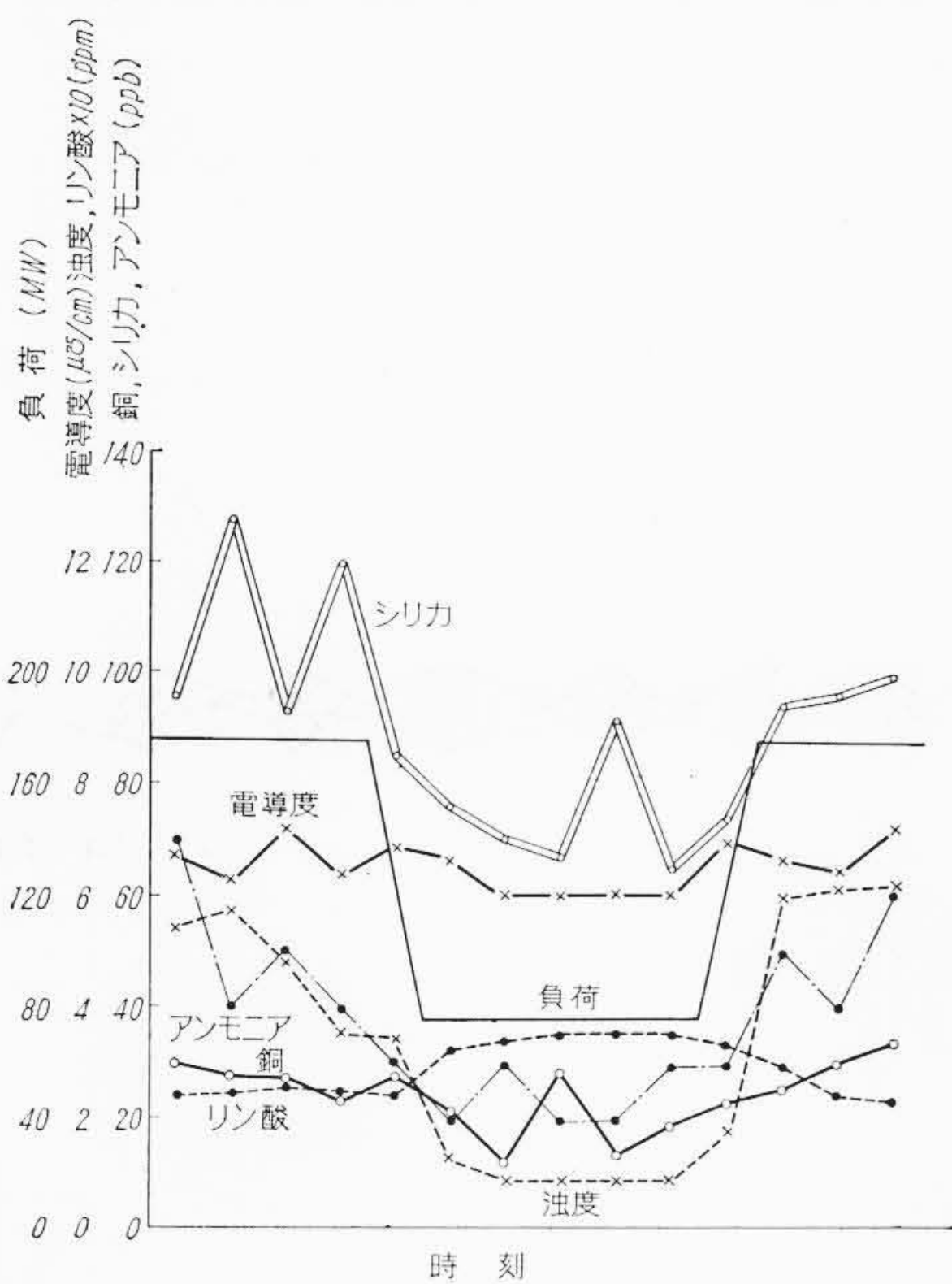
ここでは銅、シリカ、リン酸イオン、濁度、電気伝導度などを一括して取り扱う。第 1 表の汽胴水濃度を図にしたものが第 9 図で、ボトムヘッドにおける濃度と汽胴における濃度との比を計算したものが第 10 図である。また比較のために某 175 MW プラントにおける測定結果を第 11 図および第 12 図に示す。これらの図から次のようなことが考えられる。

(1) 電導度はイオン状になっているものの総合濃度を示し、濁度は溶解していないものの総合濃度を示すはずであるが、第 10 図によればわずかながら両者とも汽胴において大でボトムヘッド

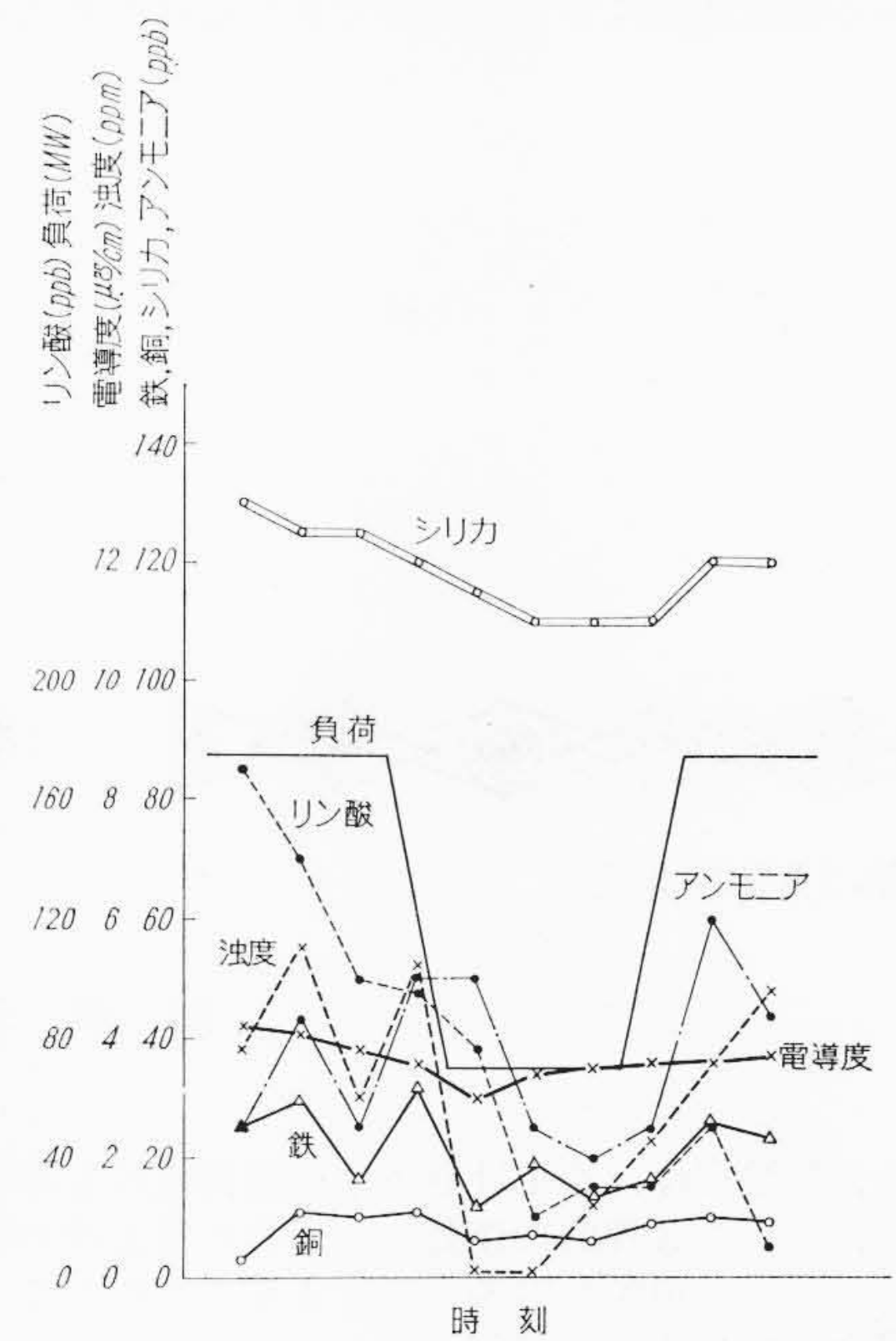
において小である。したがって汽胴水試料は蒸発罐から汽胴へ供給される濃縮された水と節炭器から汽胴へ供給される濃縮前の給水とのよく混合された水ではなく、前者の比率が多い水であり、ボトムヘッドの試料水は、汽胴の試料水よりもよく混合された水である。第 12 図の例ではこれが逆の関係にあり、汽胴水よりもボトムヘッドの方が電導度はわずかに大きく、濁度はずっと大きい。汽胴およびボトムヘッドにおけるサンプリング口の位置によりこのような差異が現われるものと考えられる。

(2) 第 9 図においてリン酸イオンは低負荷時に増しており、わずかにハイドアウト現象の存在を示している(第 11 図の例ではハイドアウト現象は見られず負荷とは関係なく時間の経過とともに減少している)。

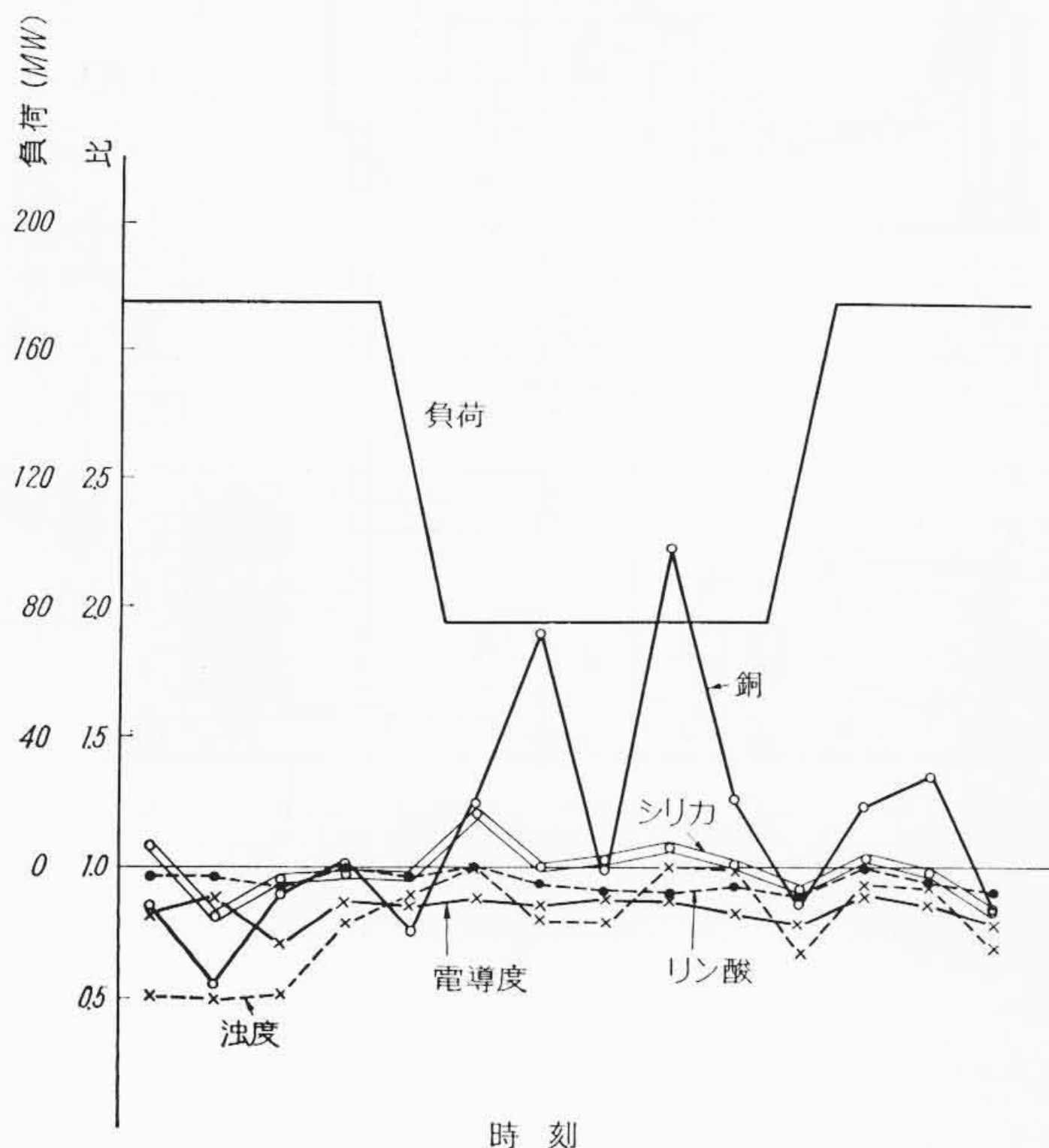
(3) 第 9 図および第 10 図において銅、シリカの曲線の上り下りの傾向は濁度と似ているので、銅は溶けた状態のものより濁度



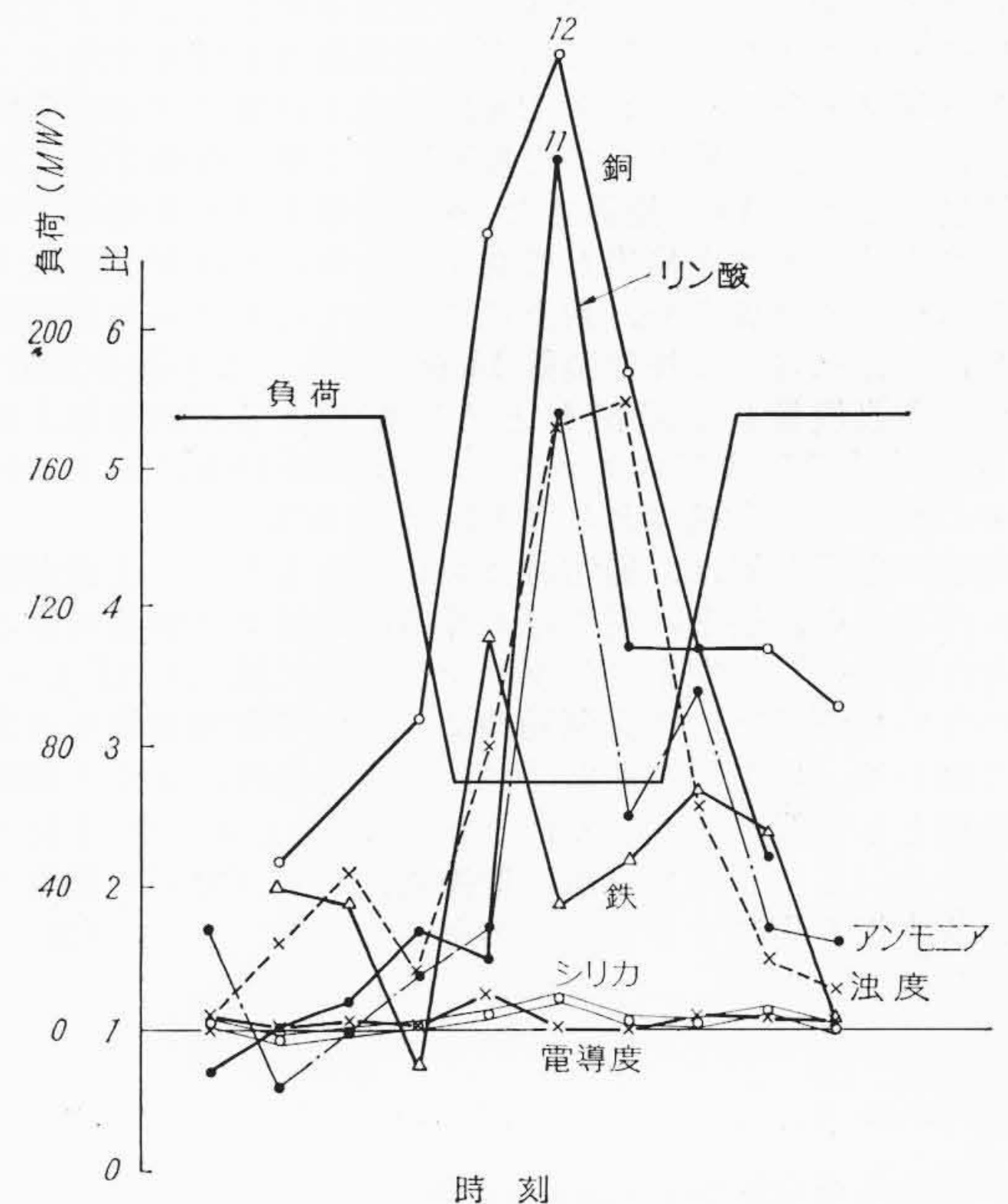
第 9 図 汽 胴 水 の 濃 度



第 11 図 汽 胴 水 の 濃 度



第 10 図 汽罐ボトムヘッドにおける濃度と
汽胴における濃度との比



第 12 図 汽罐ボトムヘッドにおける濃度と
汽胴における濃度との比

成分の一部を成しているものあるいは濁度成分に吸着されているものが多いのではないかと考えられる。またアンモニアも濁度成分に吸着されているものが多いために低負荷時にはヒドラジンの注入量が多かったにもかかわらず濃度が減少しているのではないかと考えられる。

第 11 図および第 12 図においてもこれらの傾向が認められ、鉄およびリン酸イオンも濁度に似た挙動を示している。

(4) 第 10 図において低負荷時すなわちボイラ水の流動速度の小さいときに銅、シリカ、濁度とも増大しており、第 12 図ではさらにリン酸イオン、鉄にもこの傾向が見られ、これらはいずれも沈みやすいことを示している。

5. 結 言

以上、試験結果を解析することにより、プラント内における各成分の挙動をある程度明瞭にすることができたものとする。しかし

まだ不明の点も多く、また推論の誤りもあることと思う。広くご批判を受け、さらに努力したいと考えている。

参 考 文 献

- (1) 川島：火力発電所給水処理に関する講習会前刷，81（1959-9，機械学会）
- (2) 中崎：日立評論 42，297（昭 35-3）
岸：日立評論 42，304（昭 35-3）
- (3) 佐藤，酒井：工化 64，597（1961）
- (4) JIS K 0101；JIS B 8224
- (5) N. L. Dickinson, W. A. Keilbaugh, F. J. Pocock：ASME-Paper, 58-A-267
- (6) 日本化学会編：化学便覧，571（1958，丸善）
- (7) H. A. Pray, C. E. Schweickert, B. H. Minnich：Ind. Eng. Chem., 44, 1146（1952）
- (8) J. Leicester：ASME-Paper, 54-A-123（1954）
- (9) F. G. Straub：Combustion, 28, No. 7, 34（1957）
- (10) D. C. Weir：J. Appl. Chem., 7, 505（1957）
- (11) 浦田，川島，浅井：日立評論，別-37，80（昭 35-7）
- (12) T. Finnegan：Power Eng., 64, May, 58（1960）



特 許 第 297239 号

特 許 の 紹 介



神 尾 昌 史

斜 坑 卷 上 機 の 制 動 装 置

この発明の制動装置は、巻上げ巻下げの通常時にも非常時にも副制動機と主制動機とを合理的に作動させ、特に巻上げの非常制動時における「しゃくり」現象を容易に除きうるようにしたもので、次のように構成されている。

制動ハンドル 3 の位置に相応して制動力が加減される主制動機 1 の制動レバー 1a に検出シリンダ 1d を連結し、この検出シリンダと副制動機 2 の制動シリンダ 2a とを連通させることにより副制動機 2 に制動ハンドル 3 の位置に相応した制動力を付与するようにする。副制動機 2 の制動シリンダ 2a には巻上げ巻下げの非常時にのみ副制動機を非常制動機として主制動機より早く作動させるための非常用補助シリンダ 13 を連通させ、巻上げ巻下げの非常時において自動的に巻上げ巻下げを検出して巻下げにおいては主制動機 1 を副制動機 2 について作動させ、巻上げにおいてはドラムの逆回転により主制動機を作動させる操作装置 14 を設ける。この操作装置は、巻胴軸または電動機軸から回転をとる回転軸、その回転軸と操作軸 14b とをつなぐ電磁式デスククラッチ、操作軸 14b にとりつけた腕 14d、その腕により作動される弁 14e からなる。

この発明の制動装置は、通常時においてももちろん主副制動機を合理的に作動させ、巻上げ巻下げの非常時にはまず容量の少ない副制動機を作動させかつ巻上げ巻下げを自動的に検出して「しゃくり」の心配のない巻下げ時には副制動機につづいて主制動機を非常制動機として働かせ、巻上げの非常時には炭車の逆行により主制動機を非常制動機として働かせるようにしたので、「しゃくり」を防止することができる。したがって機械、運搬物、ロープなどに無理をかけず円滑に巻上機を運転することができる。（富 田）

