

給水加熱器用銅ニッケル合金の腐食について

Corrosion of Copper-Nickel Alloys for Feed Water Heaters

浦田 星* 川島 夏樹** 浅井 治**
 Hoshi Urata Natsuki Kawashima Osamu Asai

内 容 梗 概

最近国内二、三の新鋭火力発電所に発生して問題となった高圧給水加熱器用加熱管材 7:3 キュプロニッケルのうろこ状腐食に関連して、各種の銅ニッケル合金の耐食性について、実験室的ならびに実際のプラントにおいて腐食の研究を行い、その原因を究明するとともに、銅とニッケルの割合と耐食性の関係を明らかにして、今後の火力発電所用給水加熱管の材料選択に有力な指針を与えた。従来はアメリカの実績に基づいて直輸入的に7:3キュプロニッケルが用いられたが、本研究の結果、日本のような起動停止のひんぱんな発電所に使用するには不適當であることが明らかになったので、各電力会社では今後7:3キュプロニッケルの使用を停止し、モネルあるいはモネル相当品たる Ni-Cu 合金または9:1キュプロニッケルに変更しつつある。この点で本研究はきわめて大きな影響力を持った結果をもたらしたものである。

1. 緒 言

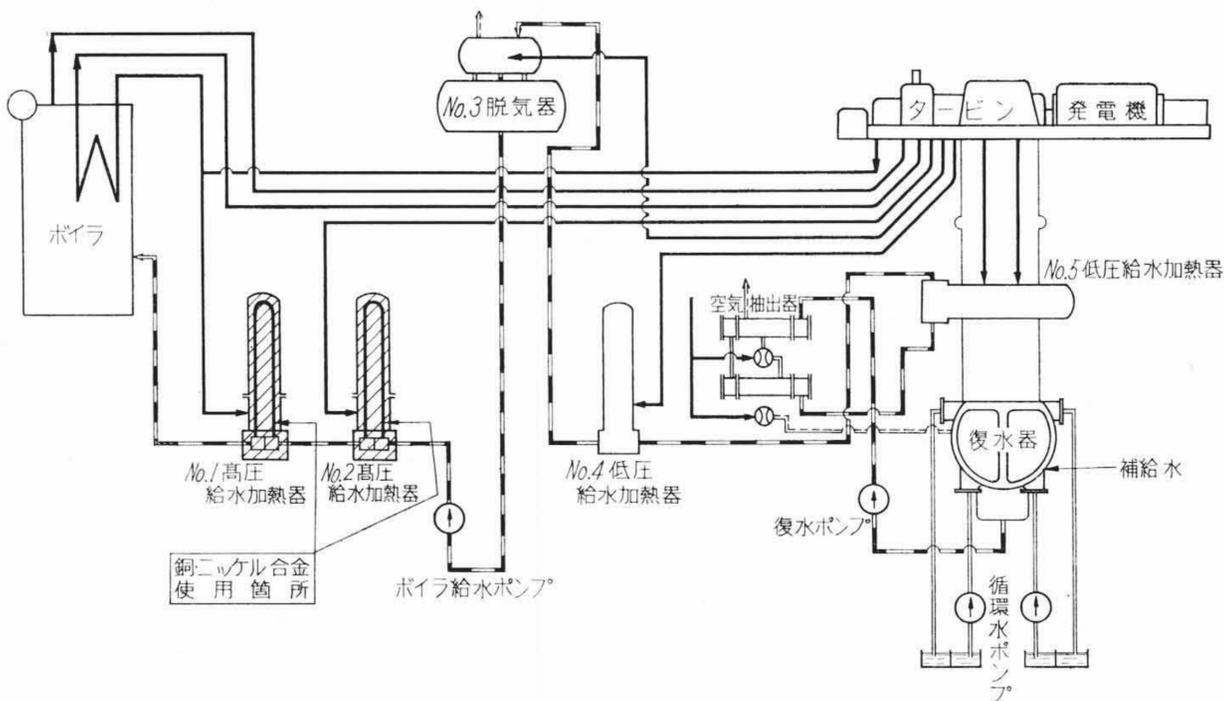
最近の国内火力発電所においては腐食の問題がきわめて重要になってきている。その理由は発電所が高温高圧大容量になるに従って、材料が過酷な条件で運転されることと、特に日本の特殊条件として急速な起動停止がひんぱんに行われることなどから予期せざるに腐食が発生するためである。従来から腐食に関する数多くの研究あるいは論文が発表されているが、実際に腐食が発生した場合にその原因を究明することはなかなか困難である。それは一に腐食を起す金属が耐食性のある材料であり、腐食を発生させるものが純度の高い水または水蒸気であるために、実際に発生した腐食を試験的に再現することが困難であり、発生過程をたどって解明することができなかつたためである。

最近二、三の発電所に起って火力発電界に問題を投げた7:3キュプロニッケルのうろこ状腐食に関しても、発生当時はその原因についていろいろな想像や推定がなされた。あるいは材料メーカーの製作上の欠陥といわれ、あるいは異種金属の接合による電気化学的腐食などともいわれたが明確な解答が得られなかつた。このために某電力会社では各メーカーと協同研究会を組織してその究明に乗り出すなど早急な解決を望む声が出た。

ここにおいて筆者らは外国の材料メーカーあるいは機器メーカーに意見を求めたが満足な解答を得られなかつたので、独自の立場から研究を始めることとし、まず下記の2点を想定して研究に着手した。

- (1) 腐食は主として加熱器中の酸素に関係があること。
- (2) 銅とニッケルの混合割合により耐食性が著しく異なること。

実験室におけるオートクレーブそのほかによる実験のみでは明確な結論をうることは困難であった。なぜならば実際の現象とあまりにかけはなれており、かつ再現性がないことと実験室内の数百時間



第1図 銅ニッケル合金を使用する場所

第1表 高圧給水加熱器仕様例

出 力		MW	75	125			
タービン入口蒸気圧力	atg		102	126			
タービン入口蒸気温度	°C		538	538			
再熱蒸気温度	°C		538	538			
給水温度	°C		232.2	232.2			
高圧給水加熱器	加熱器番号		第1	第2	第1	第2	第3
	加熱蒸気圧力	atg	30.3	14.7	29.9	13.7	7.86
	加熱蒸気温度	°C	374	453	346	445	380
	給水入口温度	°C	199	150	195	172	150
	給水出口温度	°C	232.2	199	232.2	195	172
	加熱面積	m ²	220	235	465	490	465

以下のごく微量の腐食から実際のプラントにおける数千時間に起る現象を定量的に解析することが困難なためである。そこで実際の加熱器内に試料を入れて長時間運転し、腐食を起させる方法を行うとともに運転中の高圧加熱器内蒸気の純度を測定し、腐食発生の原因となるものを捜すなどいろいろな研究を行って総合的に判断しようとした。

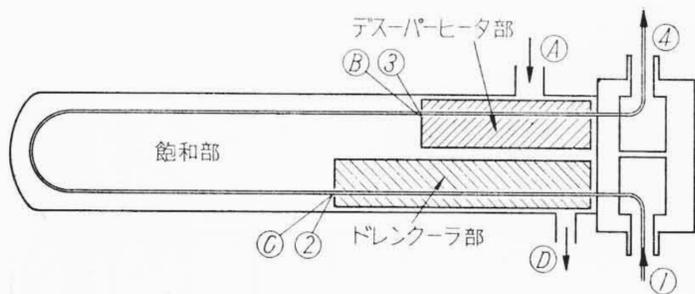
2. 加熱管材の使用状況

火力発電所において銅、ニッケル合金を使用するのは第1図に示すとおり、高圧給水加熱器の加熱管としてである。普通はU字管で

* 日立製作所日立工場
 ** 日立製作所日立研究所

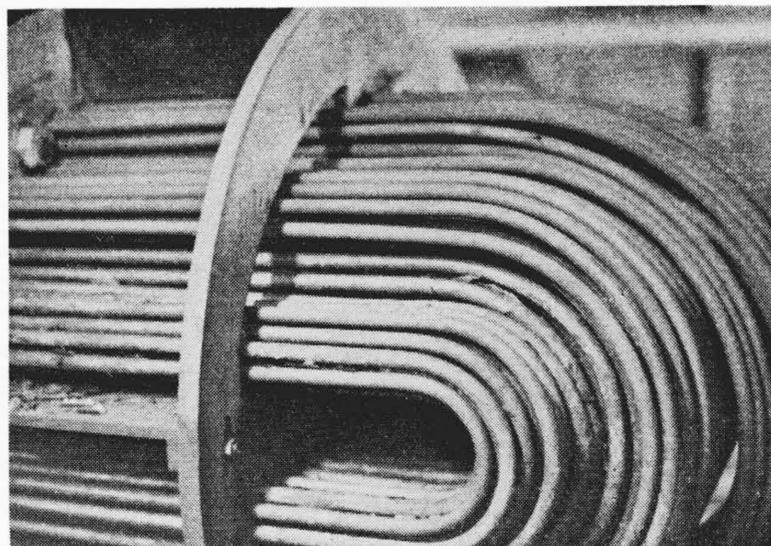
第2表 材料規格表

名称	規格種類	記号	化学成分%								引張試験				
			Cu	Zn	Ni	Mn	Pb	Fe	Si	S	引張強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸び%	硬 度 ロックウエル	
9:1 キュプロニッケル	JIS 復水器用継目 無白銅管一種	CNTF 1-0	残部	1.0以下	9.0 ~ 11.0	1.0以下	0.05以下	0.5~2.0				30以上		30以上	
8:2 キュプロニッケル	JIS 復水器用継目 無白銅管二種	CNTF 2	残部	1.0以下	19.0 ~ 23.0	1.0以下	0.05以下	0.4~1.0				30以上		30以上	
7:3 キュプロニッケル	JIS 復水器用継目 無白銅管三種	CNTF 3	残部	1.0以下	29.0 ~ 33.0	1.0以上	0.05以下	0.4~1.0				30以上		30以上	
Ni-Cu 合金	ASTM Ni-Cu Alloy stress relieved	B-163-58T	残部		63~70	1.25以上	C 0.3以下	2.5以下	0.5以下	0.024 以下		63以上	38.5	20以上	B85~B97

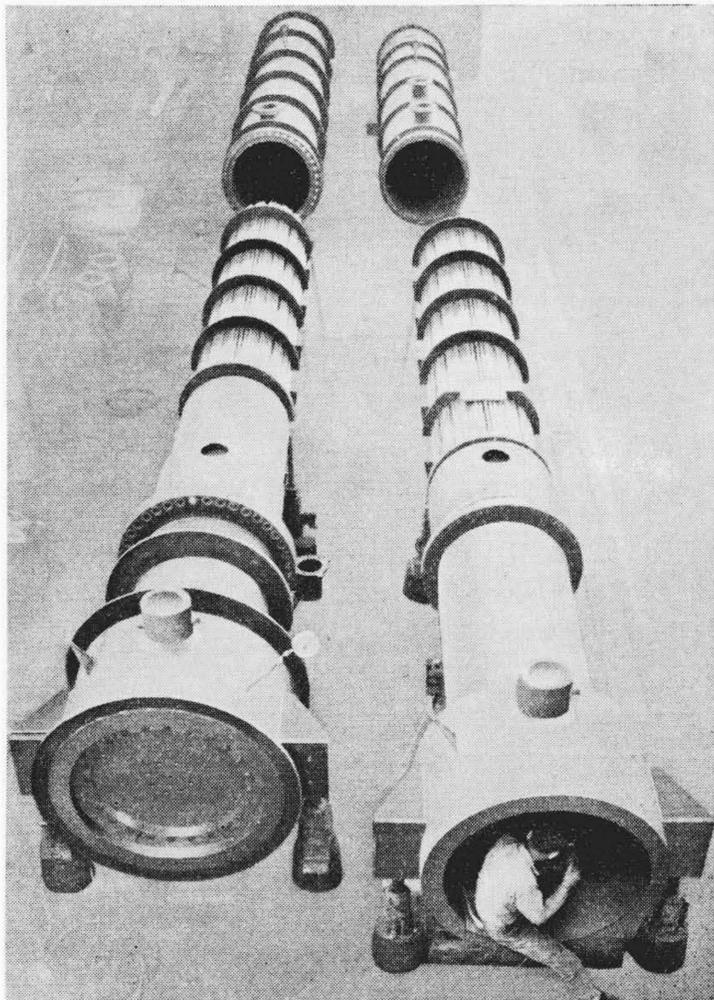


- ① デスパーヒータ部入口
- ② デスパーヒータ部出口
- ③ ドレンクーラ部入口
- ④ ドレンクーラ部出口
- ⑤ デスパーヒータ部給水入口
- ⑥ デスパーヒータ部給水出口
- ⑦ ドレンクーラ部給水入口
- ⑧ ドレンクーラ部給水出口

第2図 高圧給水加熱器内部図



第4図 7:3 キュプロニッケル管の腐食状況



第3図 組立中の高圧給水加熱器

ロニッケル, 7:3 キュプロニッケル, あるいはモネル (またはその相当品) などが主で, 第2表にその規格を示す。この使用区分は主として高温強度によって決定されている。第3図に組立中の高圧給水加熱器を示す。

3. 7:3 キュプロニッケルの腐食

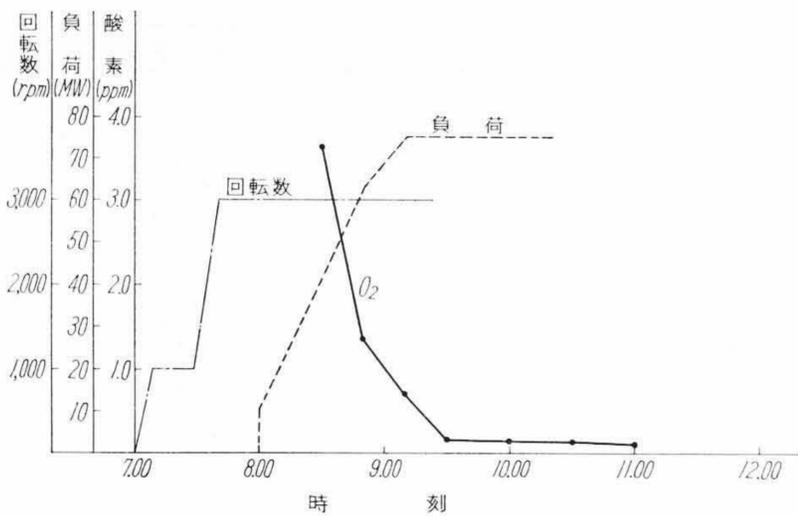
7:3 キュプロニッケルを使用した二, 三の発電所においてある期間運転したのちに外面に腐食が発見された。内面の給水側は全然腐食なく, 外面で軽いものは薄い皮膜状の腐食生成物が生じ, ひどいものは一面にスケールが付着し, うろこ状に脱落しているのが認められた。第4図にその状況を示す。腐食の発生した場所はデスパーヒータ部にはほとんどなく, 飽和部およびドレンクーラ部と逐次ひどくなっていった。また同一材料を使用しても器内温度が低い場合は腐食はみられなかった。たとえば同一発電所において器内飽和温度が147°Cである加熱器には腐食が見られず, 180°C以上のものには腐食が発生した。腐食の度合は発電所の起動停止のひん度によって異なるものようで, 起動停止のひんぱんな発電所ほど腐食が激しかった。起動停止がごくまれな発電所においては同一条件の発電所でもほとんど腐食の発生が見られなかった。

4. 発電所における給水処理の状況

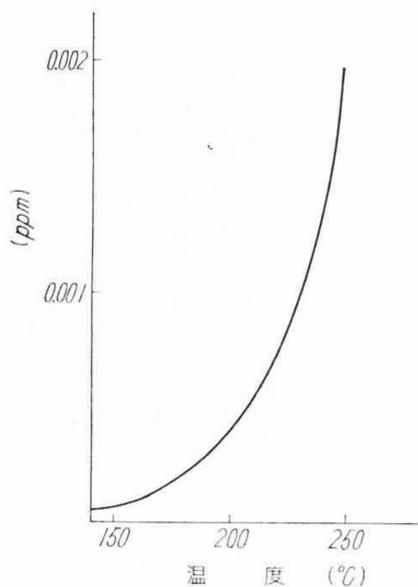
腐食発生の原因としてまず第一に問題となるのは給水処理が十分に行われていたかどうかであるが, 前述のように加熱管の外部が腐食する場合はタービンの抽気段からの加熱蒸気あるいはそのドレンによって腐食を起すことになるため蒸気の純度が問題となってくる。そこで腐食を起した発電所の給水処理状況を調査するために, 運転中ならびに起動, 停止時の各部純度を測定し異常の有無を確かめた。実際に測定したのは各部1, 2箇所, PH, Fe, Cu, NH₄, N₂H₄, SiO₂, O₂ および電気伝導度について一定時間ごとに測定し

外径 16 mm (5/8"), 厚み 1.245 mm (BWG 18) ~ 2.108 mm (BWG 14) 程度で管内を高圧給水が流れ管外は加熱蒸気あるいはドレンが流れる。おもなる仕様を第1表に, 内部構造を第2図に示す。加熱器内はデスパーヒータ部, 飽和部, およびドレンクーラ部にわかれ, それぞれ蒸気および給水温度が異なるため加熱管の表面温度も異なるが, その腐食性は飽和部の温度により大きく影響される。

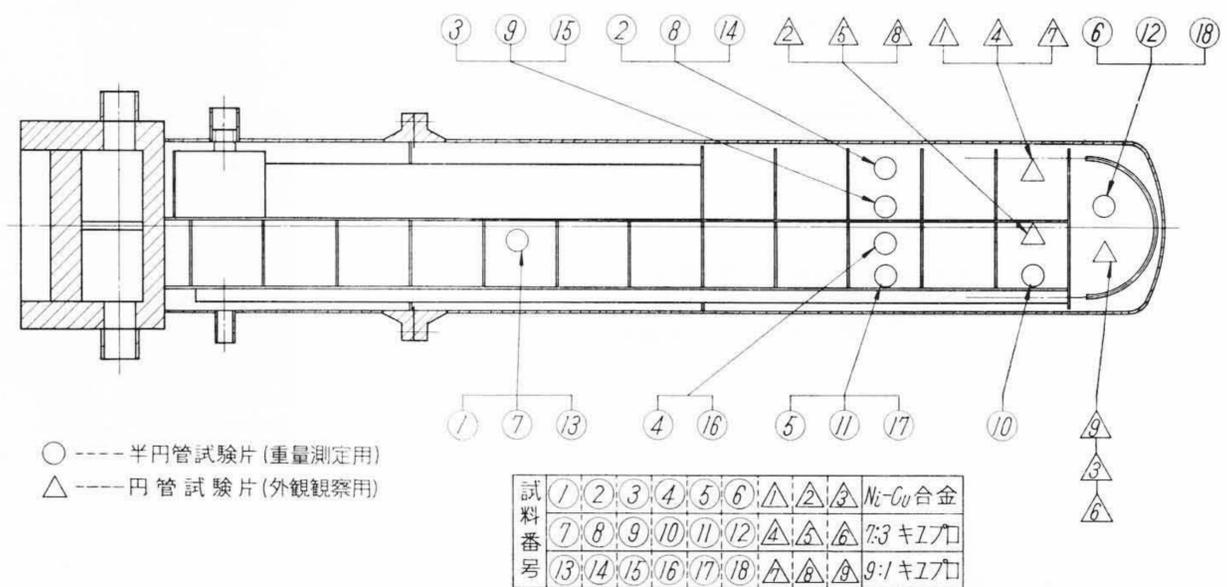
実際に使用されている材料は9:1 キュプロニッケル, 8:2 キュブ



第 5 図 起動時の加熱器内蒸気の酸素含有量



第 6 図 1 PPM の酸素を含む飽和蒸気と平衡にある水の酸素含有量



第 7 図 加熱器内試料取付図

第 3 表 給水純度測定結果

時刻	7.00	7.30	8.00	8.30	8.50	9.10	9.30	10.00	10.30
試料出力			併入	40	63	7.5	75	75	75
脱気器出口	0.0000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
高圧加熱器入口給水		0.000	0.002	0.009	0.010	0.005	0.005	0.006	0.004
高圧加熱器出口給水	0.0001	0.001	0.001	0.002	0.009	0.006	0.010	0.009	0.004
高圧加熱器内蒸気				3.63	1.35	0.070	0.015	0.014	0.014
高圧加熱器ドレン	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

たが各部の純度は比較的良好に保たれ、給水処理が適切に行われていることが認められた。しかし第 3 表に示すとおり起動中の加熱器内蒸気の酸素含有量がきわめて多いことがわかった。第 5 図は酸素の減少状況を線図で示したものである。これによって起動時に相当量の酸素が胴体内に運びこまれることがわかる。もちろん短時間停止中には高圧加熱器内の圧力は大気圧以上に保持されるため、外部から酸素が侵入することはないので、測定された酸素はタービンから抽気弁に至る配管中に停止時に侵入した空気が、起動後復水器に持ち去られると同時に高圧加熱器にも運びこまれたものと考えざるを得ない。第 3 表において加熱器内のドレンの酸素含有量が常に 0 を示している点に不審が抱かれるが、これは飽和蒸気と平衡にある水中の溶解酸素は蒸気相の酸素の分圧とブンゼンの吸収係数の積によって定まるため⁽¹⁾⁽²⁾第 6 図に示すとおり水中の酸素はきわめて微量になる。本件に関し詳しくは巻末の文献を参照されたい⁽³⁾。

5. 腐食試験

銅・ニッケル合金の腐食に関しては従来も二、三発表^{(4)~(8)}されているが、元来耐食性大なる材料で腐食の再現が困難であるため、

第 4 表 各試料の組成

(1) Ni-Cu 合金 (モネル相当品) (ASTM B 163-58 T)

	Ni	Cu	Fe	Mn	C	Si	S	その他
規格	63.0~70.0	残	<2.5	<1.25	<0.3	<0.5	<0.024	—
試料	65.56	31.30	1.92	0.88	0.02	0.30	0.005	P. Mg

(2) 7:3 キュプロニッケル (JIS CNTF-3)

	Cu	Zn	Ni	Mn	Pb	Fe	その他
規格	残	<1.0	29.0~33.0	<1.0	<0.05	0.4~1.0	—
試料	67.73	Tr	30.61	0.25	Tr	0.80	Mg. C. P. Si. S

(3) 9:1 キュプロニッケル (JIS CNTF-1-0)

	Cu	Zn	Ni	Mn	Pb	Fe	その他
規格	残	<1.0	9.0~11.0	<1.0	<0.05	0.5~2.0	—
試料	87.03	Tr	10.87	0.25	Tr	1.75	Mg. Si. C. S. P

必ずしも要点を射ていないものもあり、また記述が納得しにくいものが多い。したがって今回の事故の究明に当っては同種の腐食を再現することに主眼をおいた。

5.1 実地腐食試験

実際稼動している 88 atg, 510°C, 60 MW 火力発電所の高圧給水加熱器内に各種加熱管用材料をそう入し、約 5 箇月間運転して実際の条件のもとに腐食試験を行った。

5.1.1 使用した給水加熱器の仕様

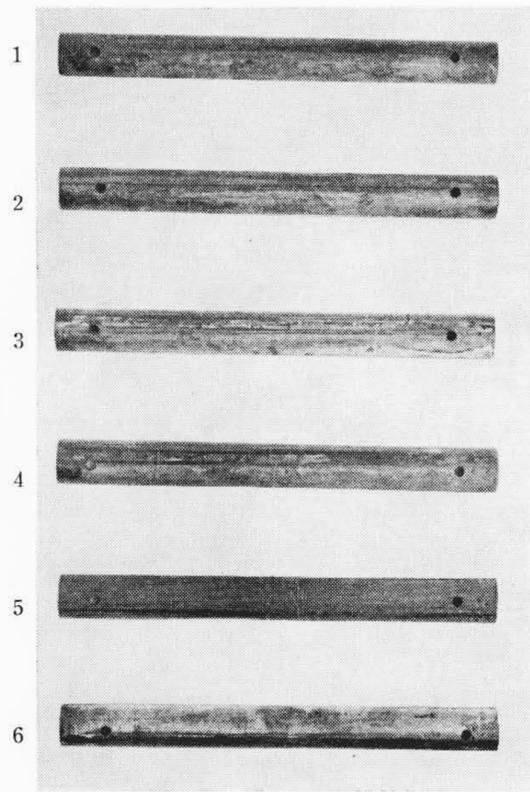
形式	横形 U チューブ式
加熱面積	238 m ²
加熱蒸気圧力	23.75 ata
同上温度	349°C
同上飽和温度	220.2°C

5.1.2 供試材料および試験片の取付け

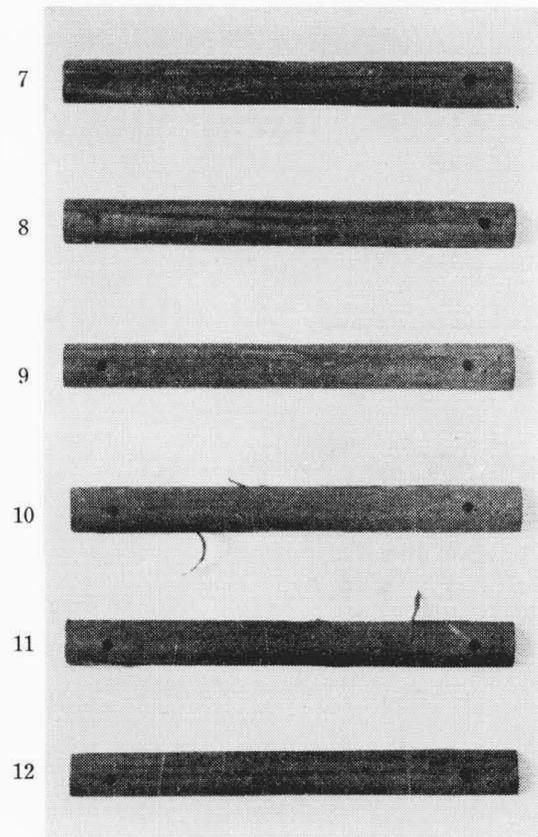
供試材料は次の 3 種類で、同一メーカー製である。第 4 表に成分を示す。

- (1) Ni-Cu 合金 (モネル相当品) (15.88 φ×1.65 t)
- (2) 7:3 キュプロニッケル (15.88 φ×1.83 t)
- (3) 9:1 キュプロニッケル (16 φ×1.8 t)

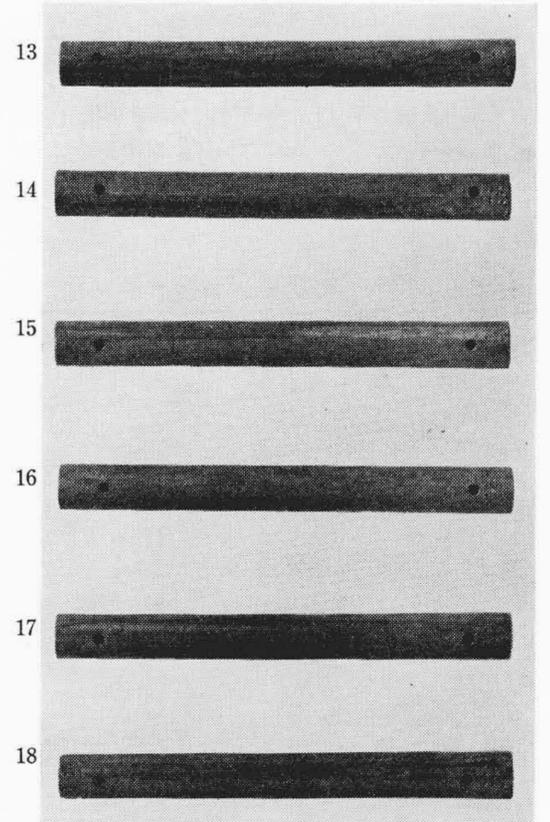
試験片は各材質について円管のまま長さ約 300 mm のもの各 3 本およびこれを縦に切断して半円形とした長さ 150 mm のもの各 6 本、合計 27 本を作り、これを第 7 図に示すように各材質 1 本ずつ 3 本を 1 組として加熱器内に配置し、加熱管に銅線でしばりつけた。300 mm のものは腐食の外観を見るためのもので 150 mm のものは腐食減量を測定するため正確に秤量したものである。



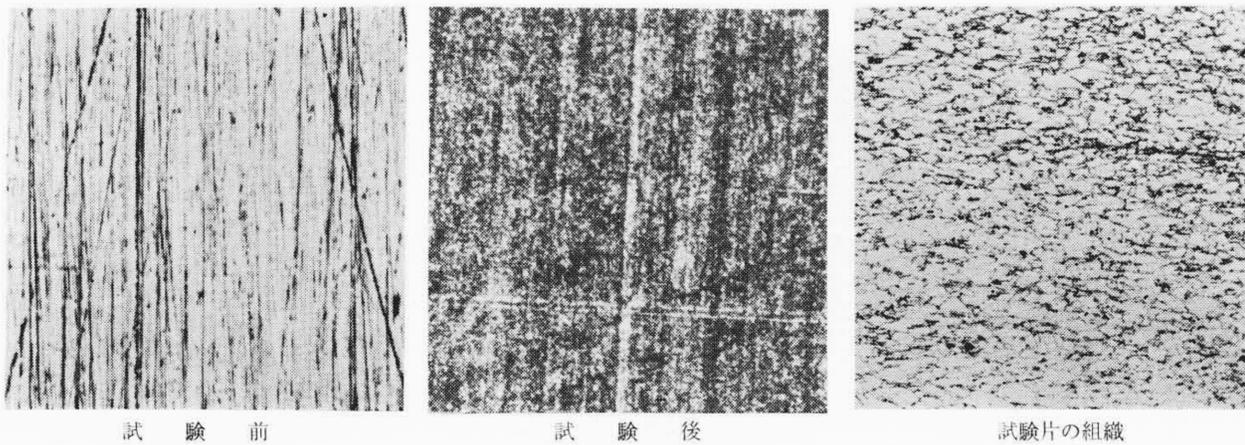
第8図 Ni-Cu合金(モネル相当品)試験片の外観



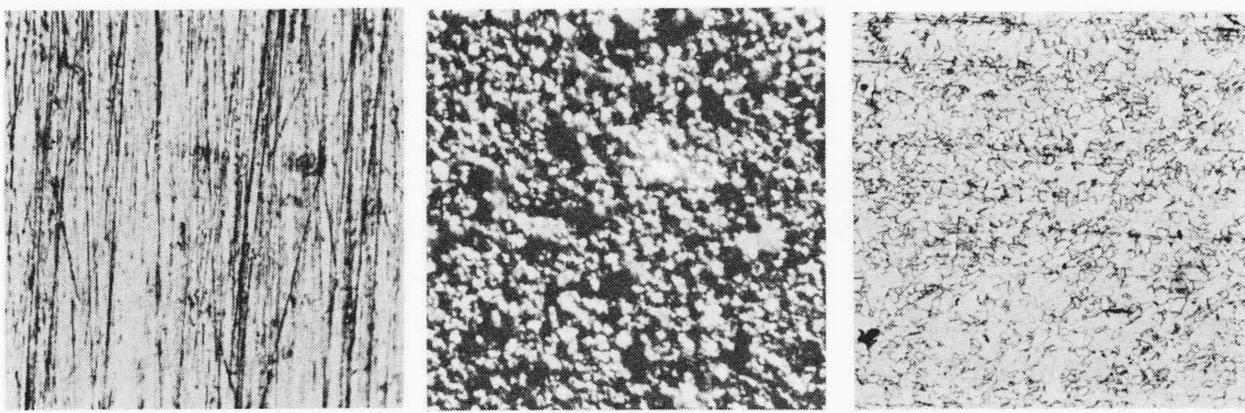
第9図 7:3 キュプロニッケル試験後の外観



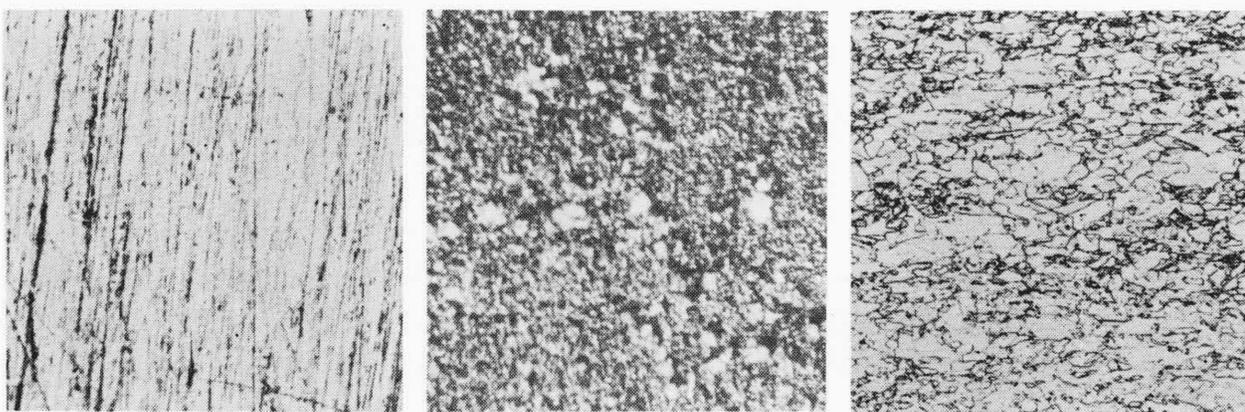
第10図 9:1 キュプロニッケル試験後の外観



第11図 Ni-Cu合金の顕微鏡写真(×100)



第12図 7:3 キュプロニッケルの顕微鏡写真(×100)



第13図 9:1 キュプロニッケルの顕微鏡写真(×100)

した。本プラントは負荷の性質上ほぼ毎日起動停止を行いながらこの間約 2,230 時間運転された。

5.1.4 試験結果

(1) 外観

第8, 9, 10 図にそれぞれ Ni-Cu 合金, 7:3 キュプロニッケル, 9:1 キュプロニッケルの試験後の外観を示す。

Ni-Cu 合金は表面がわずかに灰黒色に変色した程度で光沢があり, 変色皮膜も非常にち密である。写真の表面の模様は色だけのもので腐食により生じた溝ではない。

7:3 キュプロニッケルは全表面に比較的厚い赤紫色またはかっ色の皮膜が発生し, これらは第9 図に見られるとおり容易にはく離する。さらにこれが進行すればよろこ状に脱落するものと思われ, 明らかに実際に起った現象の再現であることが認められた。皮膜をはぎ取った下地は青黒色である。

9:1 キュプロニッケルはなめらかな皮膜でほぼ一様におおわれている。色は大部分かっ色で一部紫色の部分もある。しかしその皮膜は比較的ち密であり, 7:3 キュプロニッケルのように容易にはく離することがない。

(2) 表面の顕微鏡写真

第11~13 図に 3 種の試験片の試験前, 試験後および組織の顕微

5.1.3 試験

上記試験片を取付後, 正常運転にはいつてから約 5 箇月間放置

鏡写真を示す。

Ni-Cu 合金は当初の金属面がほぼそのまま残っており, 研磨き

第 5 表 X 線, 電子線回折結果

	X 線	電子線
Ni-Cu 合金	NiO[Cu, Ni]	Cu ₂ O, その他不明線あり
7:3 キュプロ	Cu, [Cu ₂ O, NiO]	Cu ₂ O[CuO, NiO]
9:1 キュプロ	Cu ₂ O [CuO, Cu, NiO]	Cu ₂ O, [CuO]

第 6 表 腐食試験結果, 腐食量比較

Ni-Cu 合金			7:3 キュプロ			9:1 キュプロ		
No.	腐食量		No.	腐食量		No.	腐食量	
	mg	mg/cm ²		mg	mg/cm ²		mg	mg/cm ²
1	32.3	0.565	7	154.9	2.905	13	84.0	1.460
2	25.6	0.434	8	54.3	0.903	14	29.8	0.508
3	41.9	0.705	9	112.6	2.000	15	53.2	0.933
4	47.8	0.780	10	348.0	5.825	16	72.8	1.336
5	58.0	0.974	11	319.5	5.800	17	136.3	2.332
6	35.6	0.621	12	84.3	1.504	18	47.3	0.801

ずが認められるところが多い。最も激しい部分でもわずかに金属面の荒れが認められる程度である。

7:3 キュプロニッケルの皮膜は図に示すように網目状にあらく、銅色をした粒子が点在している。皮膜をはがした下地には激しい肌荒れが生じ、凹凸が認められて腐食の跡がはっきりとしている。

9:1 キュプロニッケルの皮膜は顕微鏡的には 7:3 キュプロニッケルと類似であるが、比較的粒子がち密であって肌荒れは両者の中間程度である。

すなわち皮膜のち密さは Ni-Cu 合金, 9:1 キュプロ, 7:3 キュプロの順と考えられる。

(3) X線および電子線回折による分析結果

腐食生成物の組成を調べるため、皮膜をはがして粉末にし、X線回折を行った。また皮膜の表面について電子線回折を行った。その結果を第 5 表に示す。

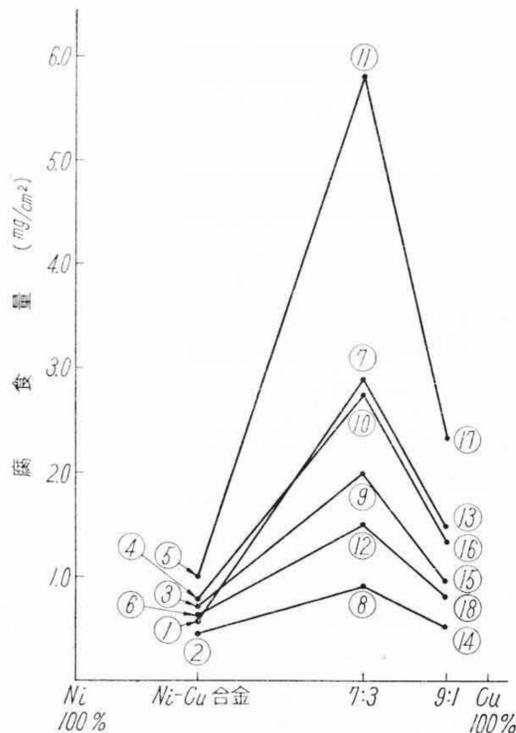
皮膜の組成を概括的にいえば、X線回折結果に示されているように Ni-Cu 合金の皮膜は Ni 化合物、7:3 キュプロニッケルの場合は金属銅、9:1 キュプロニッケルの場合は銅の酸化物が主体であるが、電子線回折結果はいずれもその表面には Cu₂O が多く存在していることを示している。

(4) 腐食量

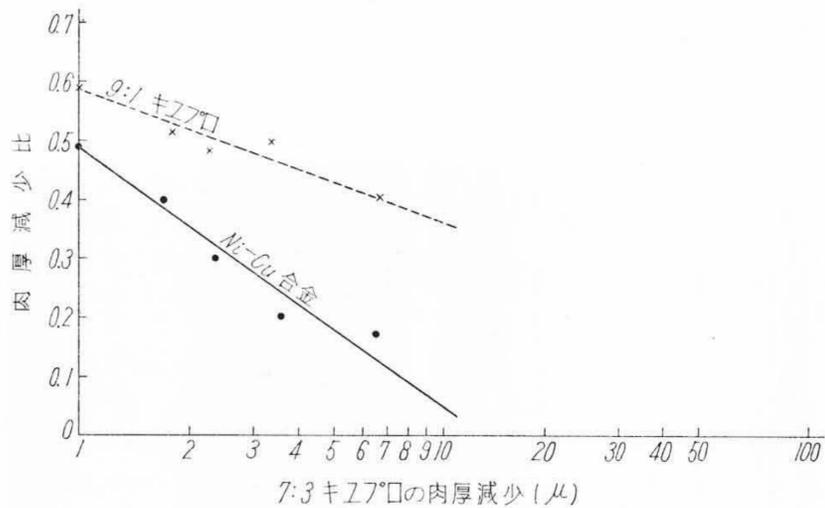
150 mm の試験片については前に述べた試験前後に重量を測定し、腐食減量を算出した。第 6 表に腐食量の比較を示す。第 14 図は横軸に銅とニッケルの割合をとり、縦軸に腐食量をとって、同一場所に取り付けた 3 種の材質の試料を線で結んだもので、腐食量は 7:3 キュプロ, 9:1 キュプロ, Ni-Cu 合金の順であるが、場所によって腐食量に差が生じており、腐食の多いのは液滴の多く存在する下部であることを示している。腐食量の多いところは各材質とも多くなっているが、各位置について 7:3 キュプロニッケルの腐食量に対する 9:1 キュプロニッケルおよび Ni-Cu 合金の腐食量の比をとると第 15 図のとおりほぼ直線関係がある。さらに腐食が進行する場合この直線に沿って進行すると仮定すれば、この 3 種の材質を使用したときの寿命を比較することができる。なおこの図は試験前後の円管の寸法から求めたものであるが、第 6 表から計算してもほぼ同じ結果が得られる。

5.2 実験室における試験

前述の実地試験を裏付けするために、これと併行して実験室におけるオートクレーブによる腐食試験を行った。供試材料は前述の材料の一部を使用し、試験はすべて 230°C 飽和蒸気圧下の水中にて行った。



第 14 図 腐食量比較図



第 15 図 7:3 キュプロに対する 9:1 キュプロと Ni-Cu 合金の腐食割合の変化

試験項目は次のとおりである。

- (1) 酸素飽和純水による連続試験
- (2) 同上による繰返し試験
- (3) 脱酸素純水による連続試験

(1)は連続運転による腐食を再現しようとするものであり、(2)は起動停止の繰返しによる腐食を再現しようとするものである。(3)は酸素の影響を確認するために、酸素のない水を使用して(1)、(2)の場合と比較しようとするものである。

5.2.1 試験結果

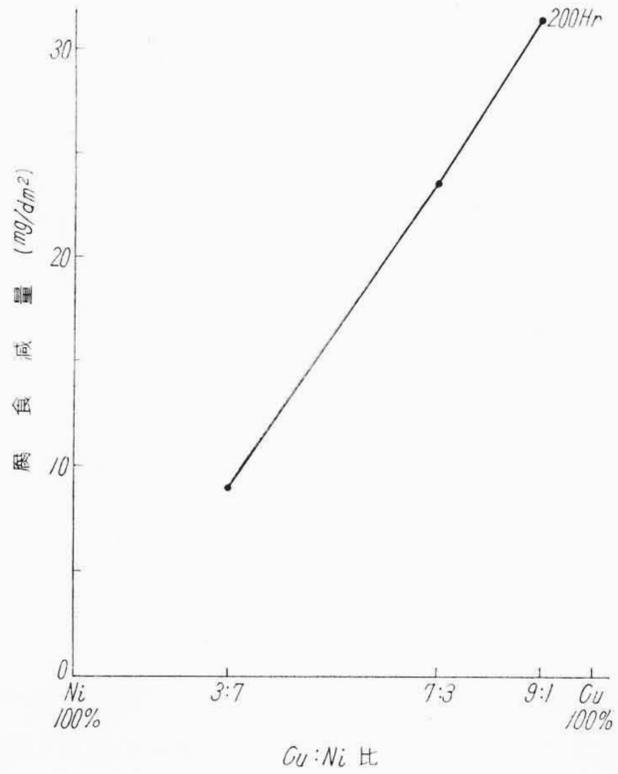
(1) 酸素飽和純水による連続試験結果

第 16 図に酸素飽和純水による連続試験の腐食量を示す。

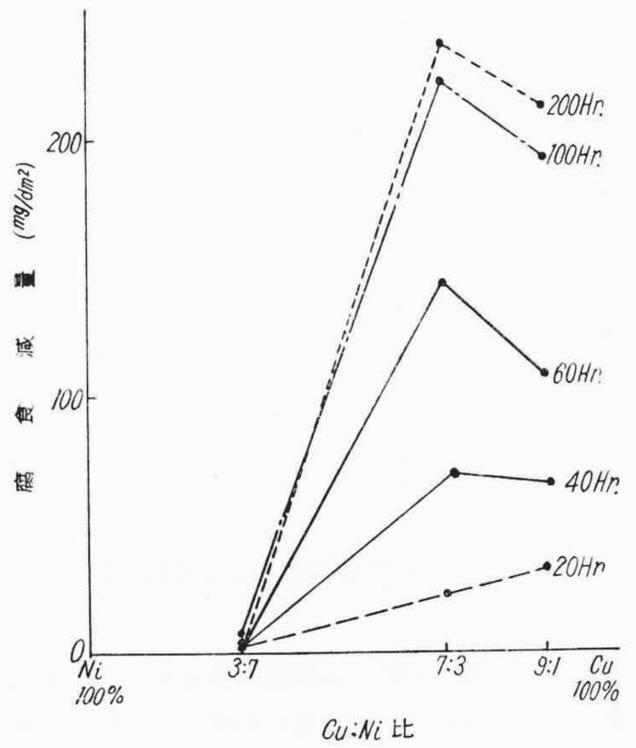
腐食量の順位は 9:1 キュプロニッケル, 7:3 キュプロニッケル, Ni-Cu 合金の順であり“Ni 量が多いほど耐食性が良好”という従来の常識どおりで前述の実地試験結果とは異なった結果となっている。したがって研究室における実験結果が実地試験、あるいは実際の現象と異なることが明らかで、このことが従来より本問題解決の障害となっていたと思われる。オートクレーブで連続試験をする場合は試験の初期には酸素が多量にあるが、時間の経過につれて酸素が消費されるため、実際の場合とは異なった条件となる。すなわち生成する酸化皮膜の保護作用の影響が少なく、主として金属地肌そのものの耐食性によって腐食量が決定されてしまうためと考えられ、実際の場合と同じ条件で実験するためにはなんらかの方法で酸素を補給してやる必要がある。

(2) 酸素飽和純水による繰返し試験結果

第 17 図に前項同様の水による繰返し試験の結果を示す。本試



第16図 酸素飽和純水による連続試験の腐食量



第17図 酸素飽和純水による繰返試験の腐食量

	Ni-Cu 合金	7:3 キュプロニッケル	9:1 キュプロニッケル
20時間×1回			
20時間×5回			
20時間×10回			

第18図 繰返試験における各種材料の顕微鏡写真 (×100)

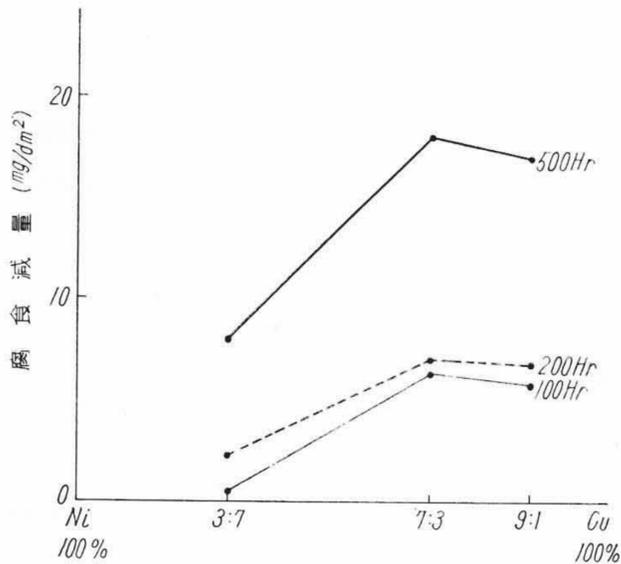
験は20時間連続試験後、水を更新し、これを何回も繰返したのち腐食量を測定したものである。当初腐食量の順位は9:1キュプロ、7:3キュプロ、Ni-Cu合金の順で前項の結果と同じであるが、繰返せば7:3キュプロニッケルの腐食量は、9:1キュプロニッケルを超越することが示されている。この試験結果は前述の実地試験の結果と定性的に一致するものであり、7:3キップロニッケルの酸

化皮膜は保護作用が少ないことが明らかとなった。

第18図に3種の材料の各回ごとの皮膜の顕微鏡写真を示す。7:3キュプロニッケルが回数を経るに従って皮膜の粒子が粗雑化して行くことがわかる。

(3) 脱酸素純水による連続試験結果

腐食に対する酸素の影響を調べるために酸素のない水による連



第19図 脱酸素純水による連続試験

連続試験を行った。第19図に本試験の結果を示す。腐食量は前2回の試験に比べて各材料とも非常にわずかで、酸素の腐食に対する影響がきわめて大きいことを示している。

6. 試験結果の総括

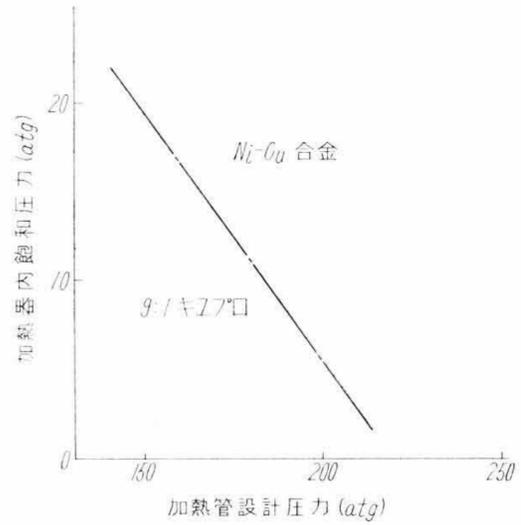
以上実地試験および実験室における試験など一連の研究の結果を検討すると次のような結論が得られる。

- (1) Ni-Cu合金はいずれの試験においても格段にすぐれた耐食性を示した。
- (2) 少量の酸素を含む水に対する金属自体の耐食性は9:1キュプロニッケルより7:3キュプロニッケルのほうがすぐれているが生成皮膜の保護作用が少ない。
- (3) したがって酸素が周期的に補給されるような条件下における耐食性は7:3キュプロニッケルが最も劣る。

すなわち火力発電所において、起動停止がひんぱんに行われる場合は7:3キュプロニッケル管は急速に腐食するので、今後モネル相当品であるNi-Cu合金、あるいは9:1キュプロニッケルを使用すべきである。しかしいずれを使用するかは使用圧力と温度により決定すべきである。すなわち圧力と温度が一定値以上になると9:1キュプロニッケルは肉厚が厚くなり拡張作業その他に不適當になるのでNi-Cu合金を使用したほうが良い。中間的に8:2キュプロニッケルを使用することも考えられるが、火力発電所にとってきわめて重要な部分である高圧給水加熱器の管材としては腐食に対してほかよりも格段にすぐれているNi-Cu合金を使用するほうが無難であると思われる。第20図に高温強度から算出した材料使用区分の目安を示す。もちろんその境界点付近は若干重なりあっても良い。

なお起動停止の少ない発電所、たとえば一箇月一回ぐらいの程度であれば7:3キュプロニッケルを用いてもなんらさしつかえなく、強度の点からはこのほうが好ましい。

またすでに7:3キュプロニッケルを使用して運転にはいった発電所において起動停止をひんぱんに行う場合に腐食を防止する方法としては、要するに起動時抽気塞止弁とタービン間の空気を排除すれば良いのであるから、弁の前にスチームブローを行うための配管を付し、復水器へ連絡する。起動時に抽気弁を閉じておき、蒸気を復



第20図 管材使用区分

水器に流し、その中の空気を排除すれば良い。前にも述べたように起動時にはすでにこの部分が真空となり、タービンより復水器へ空気が持ち去られているとはいえ、なお残りの空気がこの部分に残留しているのでこれを排除するためである。なおこの場合加熱器は停止中も外部と遮断して外気が侵入しないように、大気圧以上に保持されている必要がある。短時間停止の場合は保持されるのが普通である。

さらに根本的な問題として加熱器に銅系統の材料を使用することの可否が論じられなければならない。ごく微量の銅イオンがボイラに運ばれても、ボイラチューブに腐食を起すといわれるため、今後加熱管材としては、ステンレス鋼管あるいは鋼管を使用することを考える必要がある。ただしこの場合熱伝達率が問題となるのでまだ結論をうるに至っていない。

7. 結 言

加熱管の腐食は国内火力発電所の特殊事情として発生したもので、外国一流メーカーといえどもいまだ十分な研究を行っていないが、今後ますます高温高圧となり特に超臨界圧力にはいった場合あるいは原子力発電所が実用される場合においては、きわめて重要な問題となるであろう。したがって今回の研究が単に事故対策にとどまらず、広く火力発電所の銅腐食の問題を解明する足がかりとして、さらに今後研究を続けたい。

本研究に関し非常なご協力をいただいた関係発電所の各位に対し深甚なる謝意を表したい。

参 考 文 献

- (1) 化学便覧 p. 571 丸善 (昭 33)
- (2) H. A. Pray, C. E. Schweickert, B. H. Minnich: Jnd. Eng. Chem. 44, 5, 1146 (1952)
- (3) 川島: 火力発電所給水処理に関する講習会前刷
- (4) W. Z. Friend: Proc. Am. Power Comf. 18, 623-624 (1959)
- (5) Corrosion Handbook (1948) p. 85, 266, 542
- (6) 大津, 佐藤: 防食技術 8, 308 (1959)
- (7) P. T. Gilbert: Eng. and Boiler House Review Jan. 12 (1959)
- (8) A. H. Roebuck: Symp. on High-Purity Water Corr. ASTM Special Tech. Pub. No. 179