

復水器の電気防食法に対する考察

Studies of Electrical Coating for Steam Condenser

佐々木 精 治* 鈴木 一 男*
Seiji Sasaki Kazuo Suzuki

内 容 梗 概

復水器を冷却水の海水から保護するために電気防食法が古くから採用されてきた。しかし復水器はその構造が冷却管のような細径管を擁し、また異種金属によって構成されているため単純でなく、さらに腐食作用の媒体である海水の状態もかなり複雑である。このため復水器の腐食機構は非常に複雑多岐にわたる要素を含んでおり、一概にこの防食条件を決定することは不可能であると考えられる。すなわち防食電流の分布状態に問題が残されており、特に冷却管内の電流分布と短絡異種金属部分の電流配分などが正確に解明され難い。

このため従来からの防食理論を基礎として実験室および実際の復水器について腐食機構の実態をはあくし、復水器の防食電流密度は 0.15 A/m^2 程度で十分効果的な防食条件にあることが確認できた。

1. 緒 言

わが国の火力発電所は冷却水として海水を使用することが多いので、復水器の冷却水接触面を電気化学的腐食から守ることは火力発電所の保守上重要な要素の一つである。

この方法には古くから亜鉛板などを使用した流電陽極法と、外部の直流電源より防食電流を被防食面に供給する外部電源法（一名カンバーランド法）があるが、近年火力プラントの容量増大化にともない復水器も大形化し防食法も必然的に大電流に適した外部電源方式が多く採用されるようになった。

しかしながら復水器の被防食面は小径長大な銅系合金の冷却管群と比較的単調でかつ広い平面よりなる鋳鉄製の水室より構成され、また水室内の冷却水の流動状態が複雑で、適正な防食電流や電極配置などを決定することは非常にむずかしい問題である。

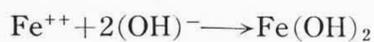
このための実際的な資料をうるため実験室における実験と並行して実際の復水器について各部の電位と腐食減量を測定し、防食電流の適正值ならびに電極の配置などについて検討した。

2. 電気防食法

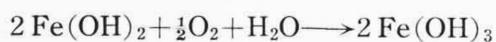
2.1 電気防食法の原理

復水器に採用される外部電源方式の防食法は被防食体の冷却管、管板および水室などを陰極として作用させるため陰極防食法とも呼ばれる。すなわち第1図に示すように水溶液中に浸漬した被防食体を陰極として陽極から陰極内に発生している局部電位差を消滅させるために電流を流して防食する方法である。

局部電位差に基づく腐食の機構を第2図に示す。陰極部の金属は Fe^{++} となり溶液中に溶出し水が電離して生ずる $(\text{OH})^-$ と反応して

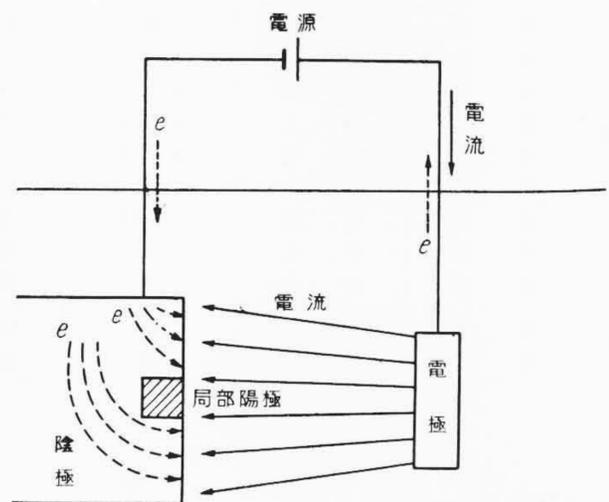


を作り、さらに溶液中に酸素が溶存している場合は次の反応により赤色の錆 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ を生成する。

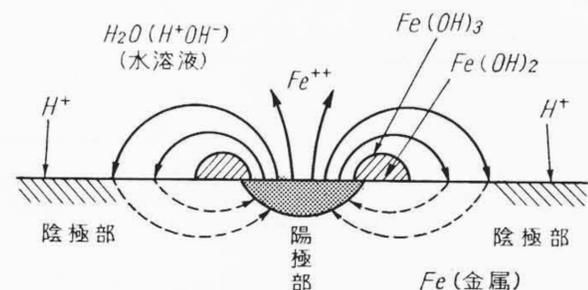


2.2 防食電位

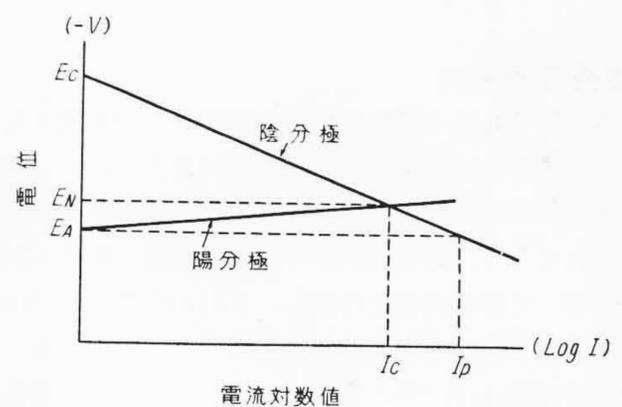
防食電位、すなわち防食を達成できる陰極の電位は陽極開路電位にほぼ等しい。第3図の分極曲線に示すように局部電池における陰極開路電位 E_C と陽極開路電位 E_A の間に腐食電流が流れ陽極電位は上昇し、陰極電位は低下してそれぞれ陽分極あるいは陰分極して双方の極線が交さず。この状態において電流および電位が一定となる。このときの電流 I_C が金属の腐食電流であり、また電位 E_N が自然電位である。この場合外部より電流を供給し陰極部の電位を陽極部の開路電位まで分極すれば局部電池内の腐食電流が消滅し、



第1図 陰極防食法の要領



第2図 局部電池の腐食機構



第3図 分極曲線

完全防食が可能となる。すなわち E_A に相当する電流 I_P (防食電流) を与えればよい。しかし実際には溶液の電気抵抗も考慮して被防食体が開路電位まで分極しない、若干高い電位によって防食が達成できると考えられている。

防食電位は計算により求めることもできるが、実験的にも求められる(2.3項参照)。実験的に求めた海水中の鉄の防食電位は飽和甘コウ電極基準で -0.77 V といわれている。

第1表に海水中での金属の電位例を示す。この順位は自然状態に

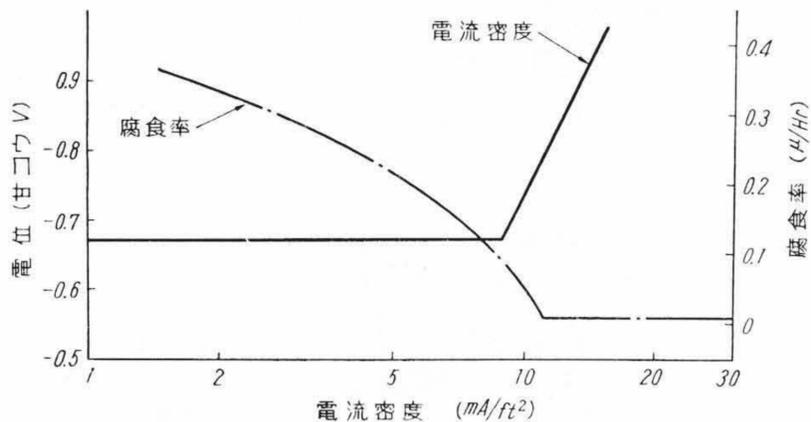
* 日立製作所日立工場

第1表 海水中における金属の電極電位 (飽和甘コウ規準)

金 属	電 位 (V)	金 属	電 位 (V)
マグネシウム	-1.6	水 素	-0.24
亜 鉛	-1.07	黄 銅	-0.20
アルミニウム	-0.78	(70Cu, 30Zn)	
カドミウム	-0.78	銅	-0.17
ジュラルミン	-0.61	青 銅	-0.14
鋼, 鋳鉄	-0.45~-0.65	キュープロニッケル	-0.13
鉛	-0.50	ステンレス鋼	-0.08
錫	-0.46	(18Cr 8Ni)	
ステンレス鋼	-0.28	銀	-0.05
(18Cr 8Ni 活性)		モ ネ ル	-0.05
黄 銅	-0.27	金	+0.18
(60Cu 40Zn)		白 金	+0.33
ニッケル(活性)	-0.24		

第2表 海水中の防食電流密度

金 属	電 解 質		塗 装 状 況	電 流 密 度 (mA/m ²)
	温 度	運 動		
鉄 鋼	常 温	静 止	裸	80~100
	常 温	流 動	裸	120~150
	常 温	静 止	優 良	5~15
	常 温	流 動	優 良	10~25
	常 温	静 止	良 好	10~25
	常 温	流 動	良 好	15~35
	常 温	静 止	やや良好	15~35
	常 温	流 動	やや良好	25~50
	沸 騰	静 止	裸	200~250
沸 騰	流 動	裸	250~350	
銅 合 金	常 温	静 止	裸	100~150
	常 温	流 動	裸	200~1,000



第4図 電流密度と電位および腐食率

における金属のイオン化溶出すなわち腐食の難易の順を表わすものである。

2.3 防食電流密度

防食電位に達せしめるに必要な単位面積当りの電流すなわち防食電流密度は常識的には第2表のような値が発表されているが、復水器のように複雑な構成のものでは実験により電流密度を決定する方法が採用されており、第4図に示すように電流と電位と試験片の腐食減量を計測して腐食曲線を作成し、これから電位のBreak Pointを作図的に見出し防食電流密度を決定している。この点で示される条件での腐食減量はほぼ零に等しくなり、このときの電位を防食電位とすることができる。

海水中で陰極防食法を実施する場合は海水中のCa⁺⁺やMg⁺⁺が陰極の(OH)⁻と反応して電極ならびに陰極(被防食体)にCaCO₃やMg(OH)₂の皮膜を形成し、時間の経過とともに所要電流密度が低下する。このため陰極防食装置の使用状態を設定する基準としては時間の経過によって変化しない電位が多く利用されている。

2.4 電 極

溶液中で外部電源からの防食電流を陰極に向かって流す電極には鉄、鋳鉄、アルミニウムなどの消耗性電極と黒鉛、ケイ素鋳鉄、磁性酸化鉄、鉛銀合金および白金電極などの消耗の少ない電極とがある。

第3表(a) 静止海水中の腐食率

	電流密度 (mA/m ²)	最終電位 (-mV)	腐食度 (g/年cm ²)	腐食率 (mm/年)
鋳鉄試片	0	725	0.076	0.095
	50	795	—	—
	80	943	0.014	0.018
	150	975	0.001	0.001
	200	1,055	0.003	0.004
アルミニウム試片	0	191	0.057	0.072
	20	218	0.038	0.042
	40	235	0.024	0.028
	80	636	0.006	0.007
	150	920	0.002	0.002
	200	1,187	0.002	0.002

第3表(b) 流動海水中の腐食率

	電流密度 (mA/m ²)	最終電位 (-mV)	腐食度 (g/年cm ²)	腐食率 (mm/年)
鋳鉄試片	0	670	0.206	0.261
	80	705	0.057	0.072
	150	740	0.033	0.042
	200	900	0.004	0.005
	300	1,039	0.002	0.002
アルミニウム試片	0	135	0.023	0.026
	50	230	0.025	0.027
	100	380	0.015	0.016
	200	725	0.011	0.007
	300	1,350	0.002	0.002

第3表(c) 短絡試片の腐食率

	電流密度 (mA/m ²)	最終電位 (-mV)	腐食度 (g/年cm ²)	腐食率 (mm/年)
鋳鉄試片	0	717	0.194	0.245
	50	722	0.102	0.129
	100	940	0.035	0.045
	200	1,070	0.009	0.012
	300	1,088	0.004	0.005
アルミニウム試片	0	716	0.002	0.002
	50	721	0.001	0.002
	100	940	0.002	0.003
	200	1,070	0.001	0.002
	300	1,088	0.001	0.001

消耗の早い電極すなわち鋳鉄、鉄およびアルミニウムなどは保守の点で、また鉛銀合金、白金などは高価なため不向きであるが、磁性酸化鉄は耐久性ならびに経済的な点においてすぐれているため多く使用されている。磁性酸化鉄はもろいので復水器に設置した場合冷却水中に混入する木片、小石などの衝撃により破損することがないように適当な保護の被いを設ける必要がある。

電極の設置位置は陰極部の電流分布が均一になるように配置しなければならない。また電極の発生電流密度が不均衡である場合には電流密度の大きい電極だけが早く消耗することになるから注意を要する。

2.5 電 源 装 置

防食用電源としては整流器、電池および直流発電機などによって得られた直流が使用されるが、電池は適宜充電を必要とし、また直流発電機は回転部分の保守などを要する欠点があり、現在は保守管理の容易な整流器、たとえばセレン整流器が最も多く使用されている。最近シリコン、ゲルマニウムなどが急速に発達普及しつつあるので復水器の電気防食装置の電源としても今後、装置の軽量、小容積化の線に沿い大いに囑望されている。

3. 実験室の防食試験

3.1 実験の要領

実験は鋳鉄とアルミニウムプラス試片をそれぞれ静止および 0.5

～1.0 m/s の流動海水中に設置し、鋳鉄試片には50, 80, 150, 200, 300, 400 mA/m² の電流を、またアルミニウムプラス試片には50, 80, 100, 150, 200, 300, 400 mA/m² の電流を与え各試片の分極電位と腐食減量を測定し、防食電位および防食電流密度を判定した。さらに復水器における水室と管板の取付状態を再現するため鋳鉄とアルミニウムプラスの短絡試片を作り50, 100, 200, 300 mA/m² の電流を与え、上記同様に分極電位および腐食減量を測定し、異種金属の接触配置される際に起る腐食性状ならびに防食条件を静止海水中において比較検討した。

3.2 実験結果

鋳鉄とアルミニウムプラスの静止海水中の分極電位および流動海水中の分極電位とも実験開始より2～3日後に電流密度に相応する平衡電位に達する傾向を示した。しかしながら静止海水中におけるアルミニウムプラスの低電流密度試片では通電初期に分極が大きく、時間の経過とともに減少し初期の分極電位より卑の電位に上昇した。これは酸素の拡散速度による金属の酸化被膜の生成の状況とその陰極還元状況の平衡状態の変化に起因するものと考えられる。

第5図(a～c)に各試片の分極電位曲線を示す。この曲線より静止海水中における場合は前述のように金属表面の酸化被膜の影響などを考慮し、一応安定を示してから10日後の電位を、また流動海水中における場合は最後の電位をもって該電流密度における平衡電位とみなして第3表に示した。

第5図および第3表より自然腐食状態下における試片では鋳鉄およびアルブラックとも静止時に比較して流動時の開路電位が卑の値を示しており、アルミニウムプラス試片はその腐食量を減少していることがわかる。

通電条件下における試片について防食電流とそのときの分極電位(本質的には防食電位)を腐食量より計算により求めると次のとおりである。

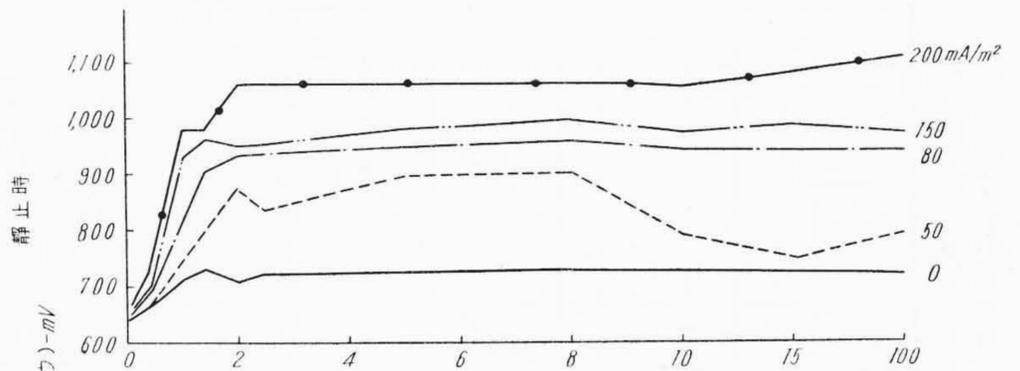
		静止海水中		流動海水中	
		防食電流 (A/m ²)	分極電位 (-mV)	防食電流 (A/m ²)	分極電位 (-mV)
鋳鉄	鉄	0.05	780	0.15	760
アルミニウム	プラス	0.06	415	0.2	680

またこれらを第5図および第3表より作図した第6図(a, b)に示す分極曲線のBreak Pointより求めた場合は次のようになる。

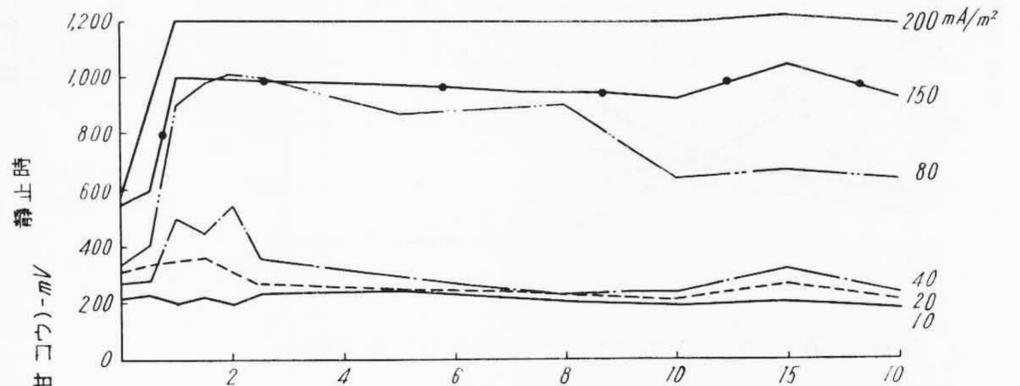
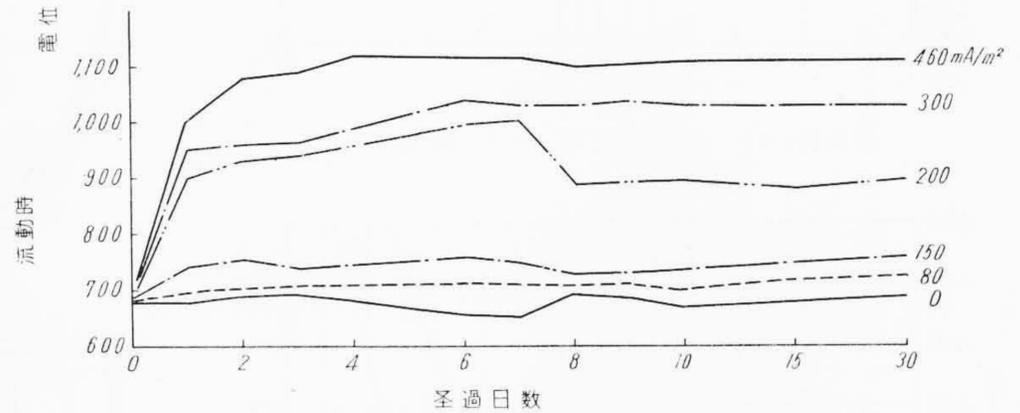
		静止海水中		流動海水中	
		防食電流 (A/m ²)	分極電位 (-mV)	防食電流 (A/m ²)	分極電位 (-mV)
鋳鉄	鉄	0.04	760	0.11	725
アルミニウム	プラス	0.05	360	0.085	350

計算および分極曲線より求めたこれらの値は一般にいわれている鉄系および銅合金系金属の防食条件と比較した場合、鉄系の -770, 銅合金系の -360～-400mV の防食電位および鉄系の 0.05(静止)～0.12(流動), 銅合金系の 0.05(静止)～0.1(流動) A/m² の防食電流と流動時のアルミニウムプラス試片の計算値を除きほぼ一致した。

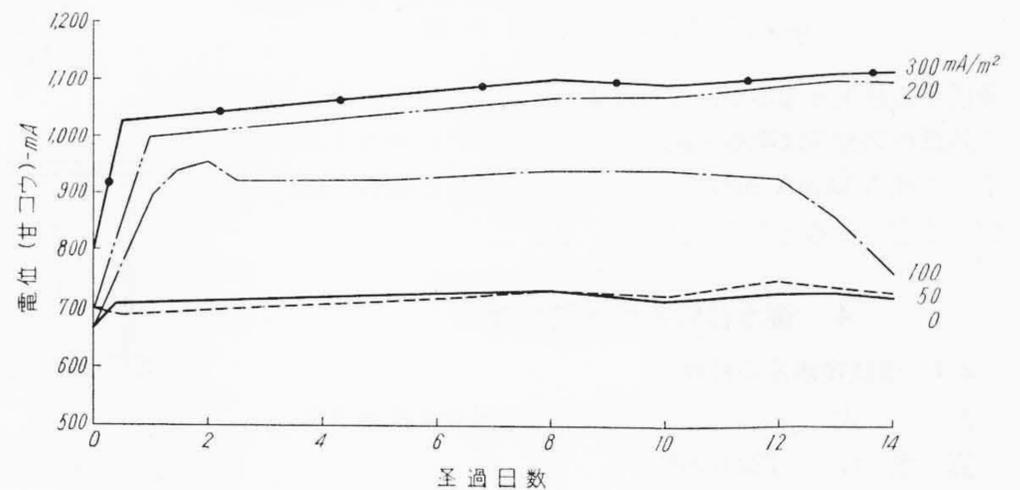
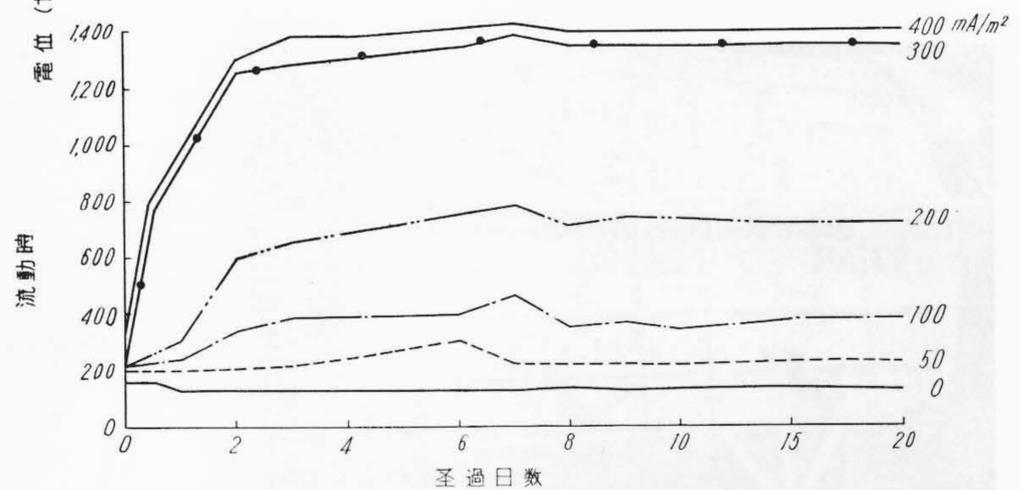
鋳鉄とアルミニウムプラスの短絡試片に関しては不通電試片においてアルミニウムプラスに対して電位の卑な鋳鉄が犠牲陽極となって溶解腐食するのは当然であるが、鋳鉄の単独試片の 0.095 mm/年 に比較し 0.245 mm/年 と顕著な侵食率を示し、またこのときの分極電位は -717 mV となった。さらにこの腐食量より鋳鉄表面の電流密度を計算すると 163 mA/m²



第5図(a) 鋳鉄試片の分極電位曲線

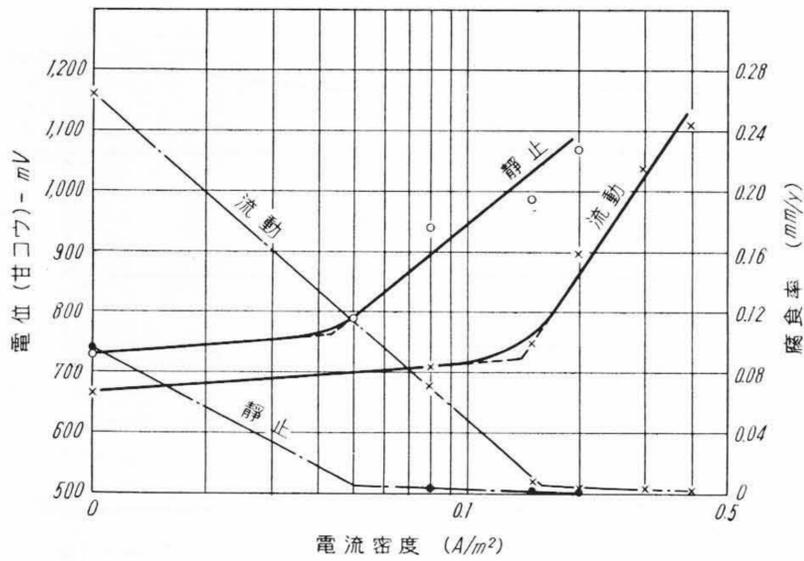


第5図(b) アルミニウムプラス試片の分極曲線

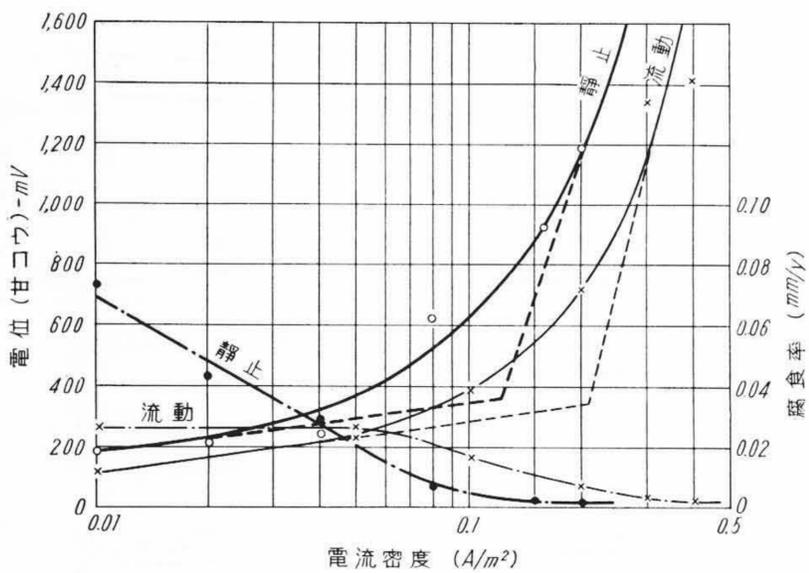


第5図(c) 鋳鉄とアルミニウムプラス短絡試片の分極曲線

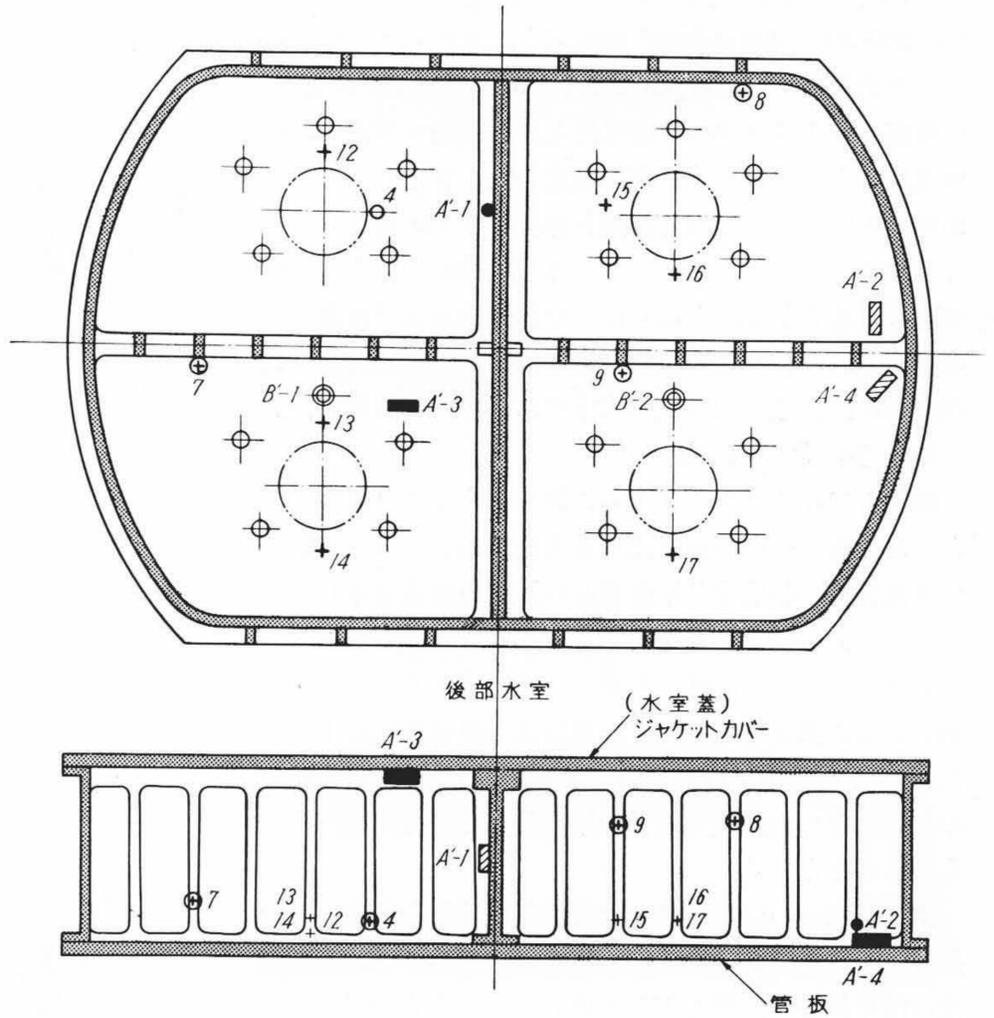
となり、この電流密度は鋳鉄と短絡されている同面積のアルミニウムプラス表面の陰極電流密度となる。第6図(b)からこの電流密度での分極電位を推定すると -950mV となり測定値の -717mV に



第6図(a) 鑄鉄試片の分極曲線

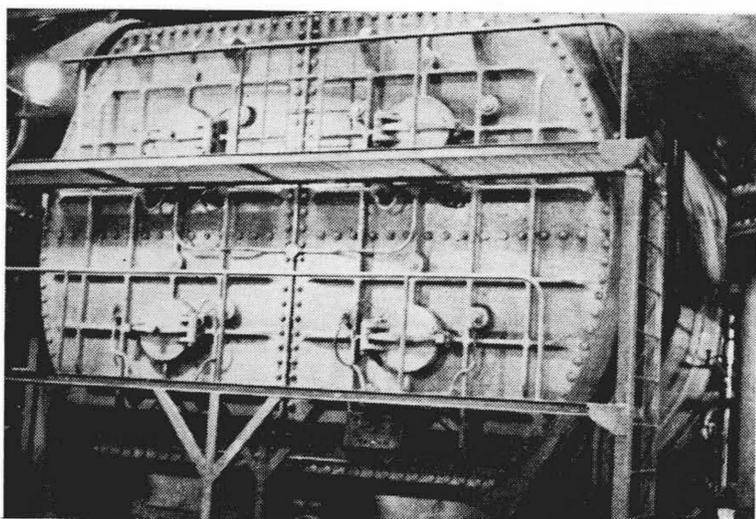


第6図(b) アルミニウムブラス試片の分極曲線



A1~4 海水甘コウ電極 + テストピース鑄鉄
B1~2 白金電極線引出口 ⊕ テストピースアルミニウムブラス

第8図(a) 前部水室試片ならびに電極配置図



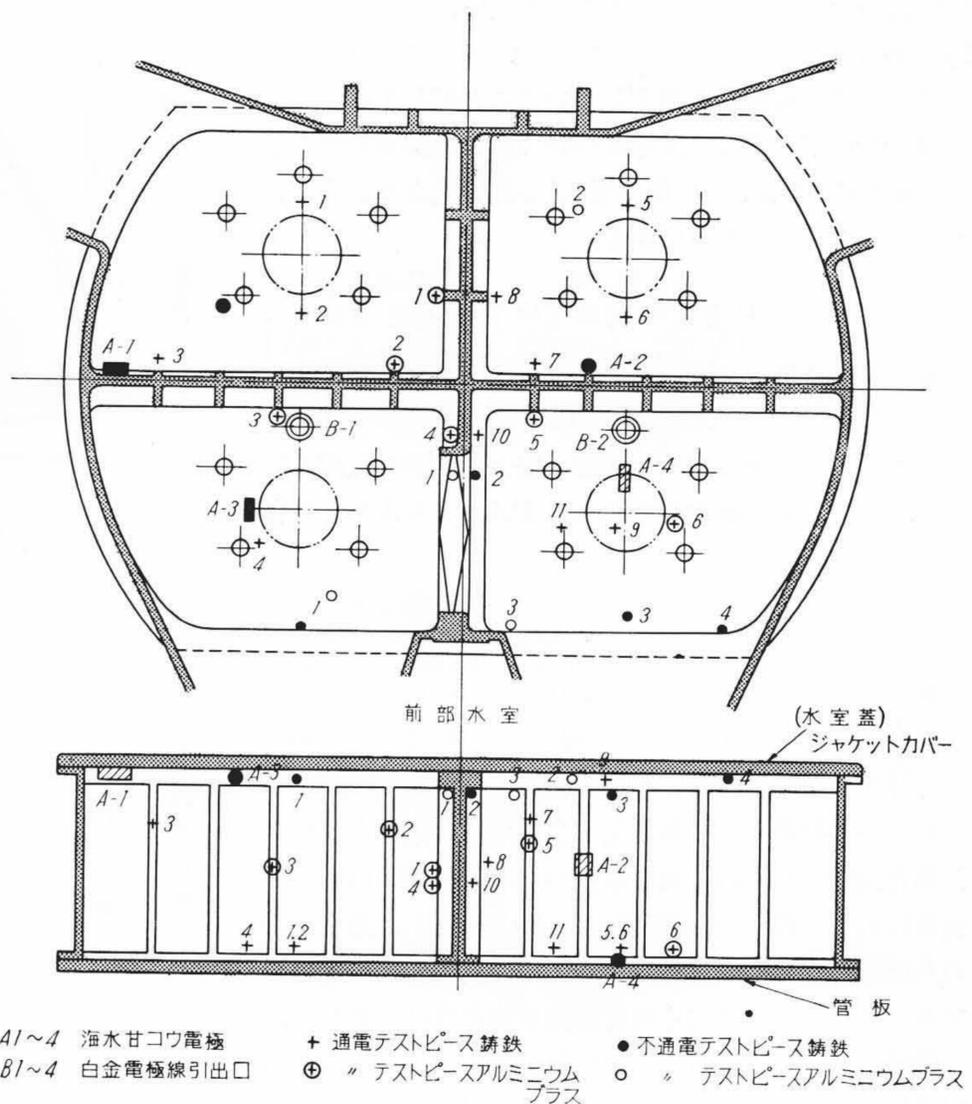
第7図 供試復水器外観

矛盾する結果となるが、これは実際に陽極作用で溶解する鑄鉄の腐食量は陽極電流密度 120 mA/m² に相当するもので残る 43 mA/m² に相当する腐食量は自己腐食に起因するものと考えざるを得ない。

4. 復水器における防食試験

4.1 供試復水器の仕様

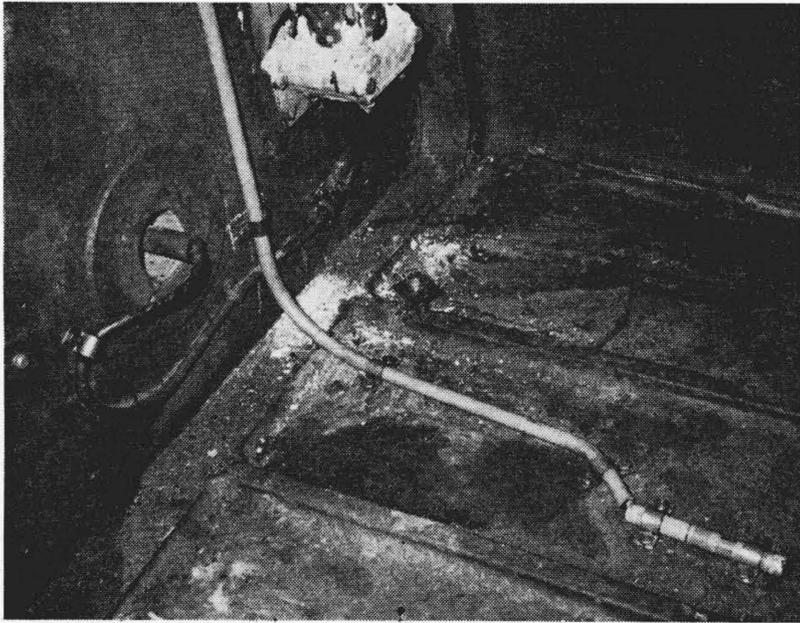
形 式	表面接触複式二折流平区分連続使用形
真 空 度	722 mmHg
冷却面積	5,000 m ²
冷却管寸法	254 mmφ×1 t×7,560 mm l
冷却管総数	8,360 本
被防食体材質および面積	
水 室 鑄鉄	65 m ²



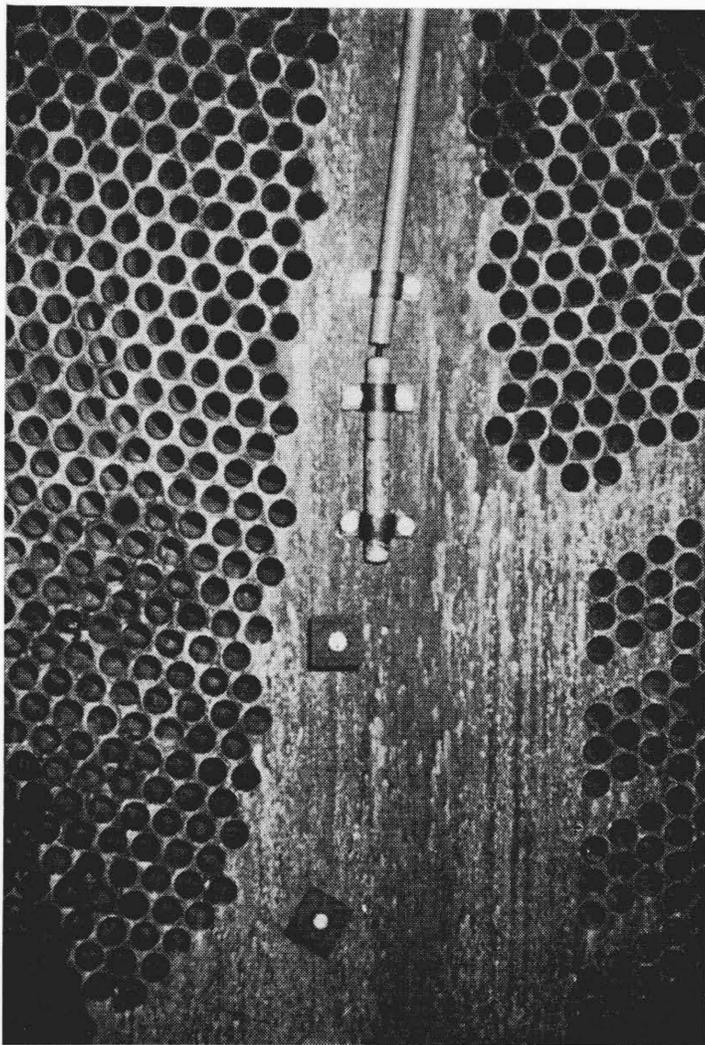
A1~4 海水甘コウ電極 + 通電テストピース鑄鉄 ● 不通電テストピース鑄鉄
B1~4 白金電極線引出口 ⊕ " テストピースアルミニウムブラス ○ " テストピースアルミニウムブラス

第8図(b) 後部水室試片ならびに電極配置図

管 板	ネーバルブラス	34 m ²
冷 却 管	アルミニウムブラス	4,650 m ²



第9図(a) 試片ならびに電極取付要領



第9図(b) 試片ならびに電極取付要領

第4表 試片取付位置詳細

試片#	取付位置	試片#	取付位置
1	前部左上水室管板	1	前部左下水室底部
2	前部左上水室管板	2	前部右下水室縦仕切板
3	前部左上水室水平仕切板	3	前部右下水室ふた
4	前部左下水室管板	4	前部右下水室底部
5	前部右上水室管板	1	前部左上水室縦仕切板
6	前部右上水室管板	2	前部左上水室水平仕切板
7	前部右上水室水平仕切板	3	前部左下水室水平仕切板
8	前部右上水室縦仕切板	4	前部左下水室縦仕切板
9	前部右下水室ふた	5	前部右下水室水平仕切板
10	前部右下水室縦仕切板	6	前部右下水室管板
11	前部右下水室管板	7	後部左下水室水平リブ
12	後部左上水室管板	8	後部右上水室天井壁
13	後部左下水室管板	9	後部右下水室水平リブ
14	後部左下水室管板		
15	後部右上水室管板	1	前部左下水室縦仕切板
16	後部右上水室管板	2	前部右上水室ふた
17	後部右下水室管板	3	前部右下水室底部

第5表 水室内部電位測定値(飽和甘コウ-mV)

電流 (A)	A-1	A-2	A-3	A-4	A'-1	A'-2	A'-3	A'-4	備考
0	516	446	526	314	436	386	456	366	24時間後
70	776	601	956	—	786	—	—	471	
85	786	591	1,061	—	941	276	—	476	
90	876	659	1,063	—	952	356	—	569	
100	886	721	1,076	416	961	727	966	734	平均値
120	946	754	1,140	474	971	741	983	740	平均値

第7図に供試復水器の外観を示す。

4.2 試験の概要および方法

この試験は水室内部および冷却管内の電位分布の状況を測定し、あわせて水室内部の適宜位置に設置した試験片の腐食減量を測定し防食効果の検討を行った。

水室内部の電位測定は前部および後部水室に設置したそれぞれ4個の甘コウ電極を用いて測定した。また冷却管内の電位は水室の下半部の左右それぞれに各1個の可動白金電極を設置して流水に逆行移動しながら長手方向の電位分布を計測した。

試験片には水室および冷却管と同一材質の鋳鉄およびアルミニウムプラスの2種類を採用した。

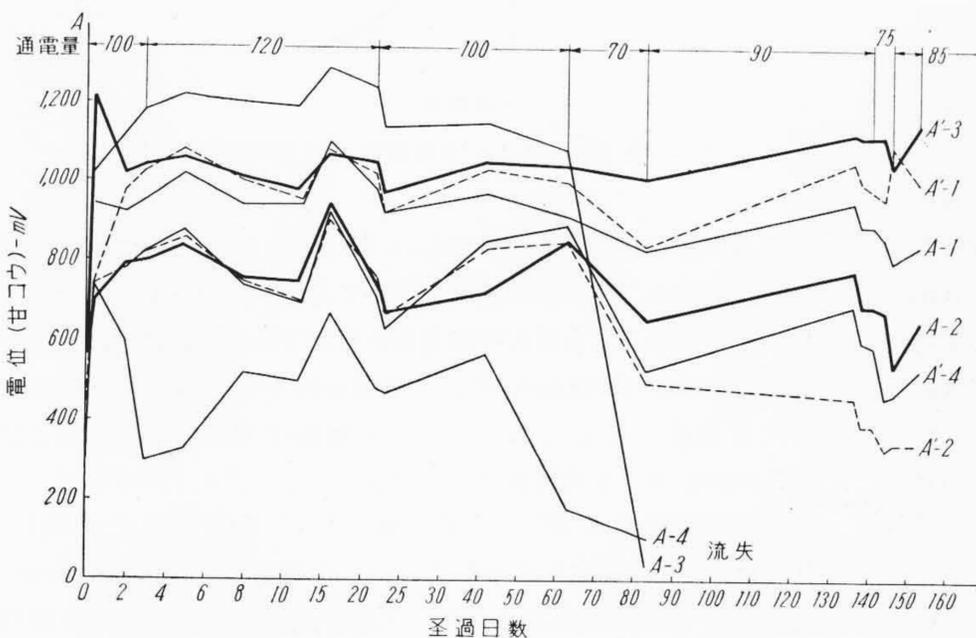
測定用電極および各試験片の取付位置を第8図(a), (b)に示しその取付状態を第9図(a), (b)に示した。なお試験片の取付位置一覧表を第4表に示す。

4.3 実験結果

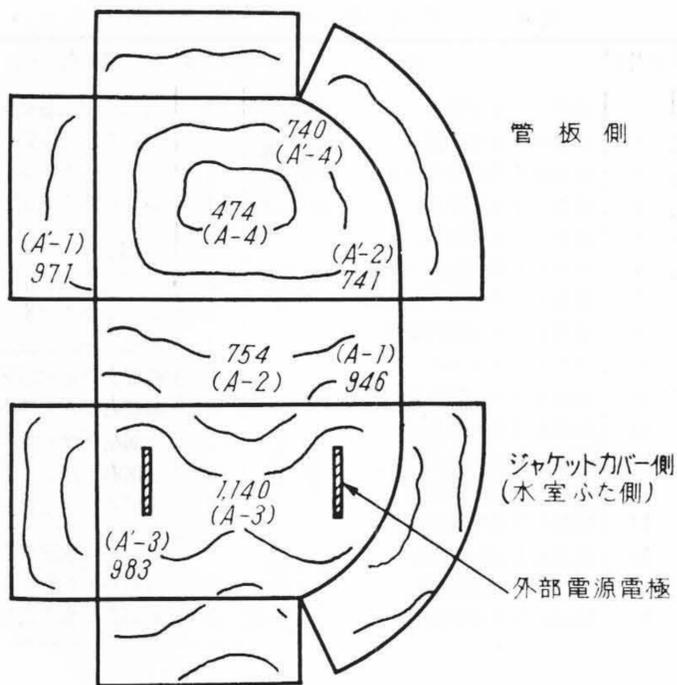
4.3.1 水室内部の電位分布

不通電条件下における管板と水室の境界部は両金属の接触抵抗を0と仮定すればほとんど同電位となり、管板面に近い水室の鋳鉄部は両者が隔っている部分に比較し過酷な電食作用が行われることが予想できる。実際に測定した結果も次のように両金属の境界部に位置した管板部のA'-2, A'-4と比較的管板に近いところに位置した水室部分のA'-1, A-2の電位はそれぞれ-386, -366mVと-436, -446mVと非常に接近した電位を示しており、両金属の位置が比較的離れている部分、すなわち管板部のA-4と水室ふた部分のA-1, A-3, A'-3部の電位は-314 mVと-516, -526, -456 mVと両金属の接近した部分に比較して隔った値を示していることにより裏付けられる。

通電条件下すなわち防食条件下で流入電流を100, 120, 100, 70, 90, 75, 85Aと変えた際の分極電位の測定値は非常にばらついたが、これは水室内部の流速



第10図 水室内電位分布曲線



第11図 水室内電位分布曲線

が常に変化し、かつ時間の経過による分極の変化によるものと考えられる。これらの測定値を第10図に示す。この状態は通電初期の分極の状況から40~60時間後には定安するものと考え、定電位下の測定値の平均をとり、水室内部の各部分の分極電位とみなし第5表に示した。

さらにこれらを考察に便なるように各水室に流入する電流が平均している場合を前提として各部分の電極電位の測定値をまとめて第11図に示した。鋳鉄の開路電位を -600mV とすると鋳鉄の大きく作用するネーバルプラス製管板部のA'-2, A'-4部分の分極電位からこの種の異種金属の接触共存する場合の電食作用を防止するために必要な所要電流は 100A であることが判明した。しかしながら管板設置のA-4部が鋳鉄の開路電位に達していないが、これはこの部分の鋳鉄部の電位が全面にわたって陰分極をしているため、鋳鉄面への影響の少ないことがわかる。しかしこの部分の分極電位は 100A 通電時 -416mV を示しているところからこの通電下では管板は完全防食に近い状態にあることがわかる。一方鋳鉄部においては電流分布の悪いと考えられる水室中央仕切壁のA-2およびA'-1は 100A 通電下においてそれぞれ $-721, -961\text{mV}$ を示しているところから良好な防食状態下にあることが推定できる。しかしA-2部は防食電位に達しておらず、この部分を90%程度の防食状態にするためには 120A 以上の電流が必要であると思われる。

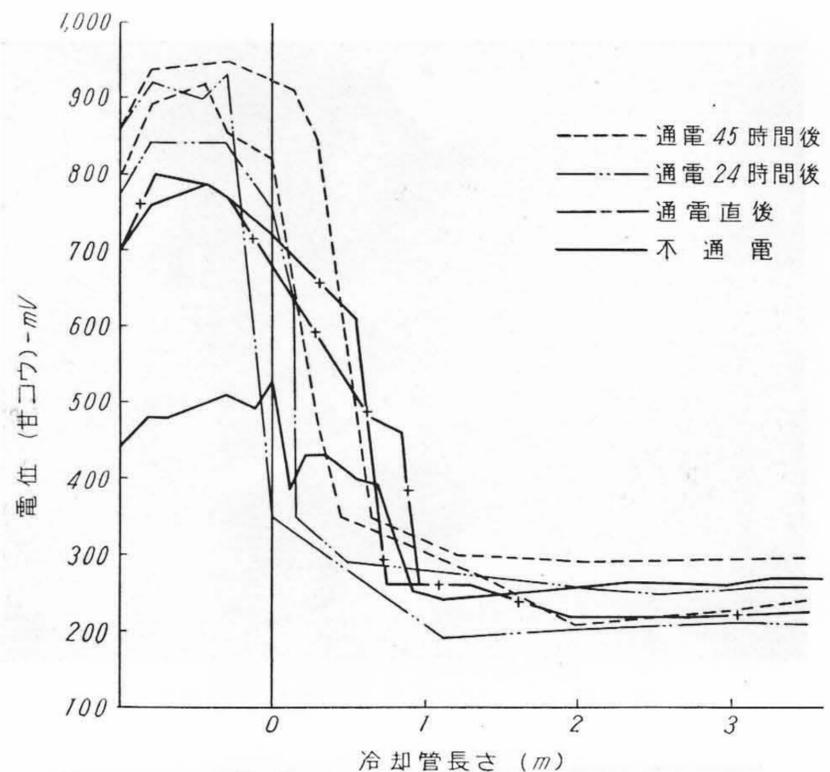
4.3.2 冷却管内の電位分布

冷却管内の電位分布の測定は通電 100A で行った。第12図に示す電位分布曲線は通電後72時間経過した場合のものであるが電流は管端より約 $1,000\text{mm}$ 流入していることが知られる。

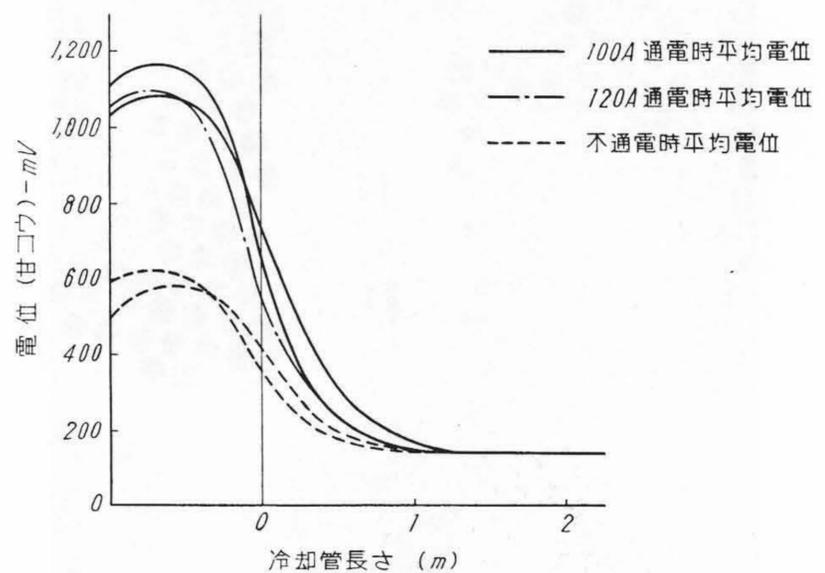
測定に使用した電極が白金のため、海水中の溶存酸素や水素の影響を受けているので、この測定値には若干の誤差が伴っているが、この状態での管内平均電流密度(電流到達距離)を電位分布曲線および第6図(b)の実験室試験のアルミニウムプラス分極曲線より推定すると約 $80\text{mA}/\text{m}^2$ となる。さらに電流が $1,000\text{mm}$ 流入したものと管板と水室に設置した甘コウ電極による平均分極電位と管内電位測定の経験とから管内電位および電流密度曲線を作成すると第13図(a), (b)のようになる。これから管内平均電流密度を算定すると不通電時で $26\text{mA}/\text{m}^2$ 、 120A の防食電流通電時で $41\text{mA}/\text{m}^2$ となる。

4.3.3 試験片の腐食減量

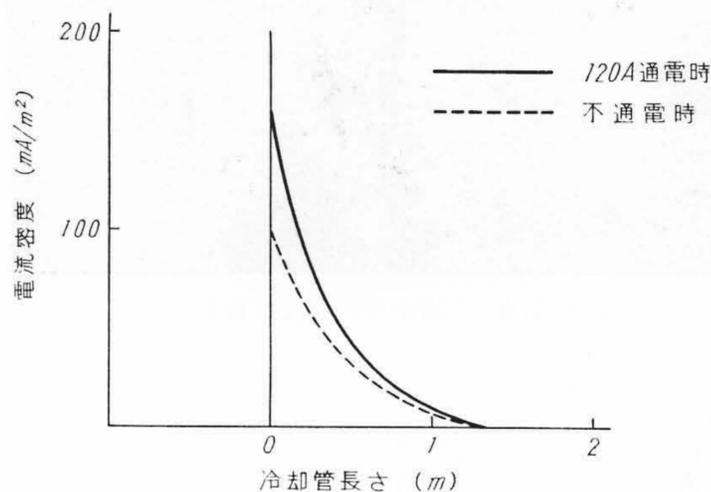
腐食試験は通算して約1箇年間実施した。試片の取付け位置は前述の第8図(a), (b)および第4表のとおりで各試片の腐食量、



第12図 冷却管内電位分布曲線



第13図(a) 冷却管内推定電位



第13図(b) 冷却管内推定電流密度

腐食度および侵食率を第6表(a), (b)に示した。この際の通電量は電位測定の1箇月余の期間を除いて常時 $90\sim 100\text{A}$ を供給していたものである。各試片の腐食量を検討すると鋳鉄試片は通電条件下で $0.003\sim 0.048\text{mm}/\text{年}$ 、不通電条件下で $0.245\sim 0.300\text{mm}/\text{年}$ の侵食度を示しており、その平均値は $0.023\text{mm}/\text{年}$ および $0.274\text{mm}/\text{年}$ で平均防食率は91.6%となる。アルミニウムプラス試片は通電下で $0.0013\sim 0.0032\text{mm}/\text{年}$ 、不通電下で $0.021\sim 0.024\text{mm}/\text{年}$ の侵食率を示しており、その平均値は $0.00198\text{mm}/\text{年}$ および $0.0225\text{mm}/\text{年}$ となり、平均防食率は91%と良好な防食効果を示している。以上を実験室試験と比較すれば鋳鉄試片につ

第6表(a) 不通電時の試片腐食率

	試片 #	腐食量 (g)	腐食度 (g/年cm ²)	腐食率 (mm/年)
鋳鉄試片	1	9.4920	53.50	0.245
	2	9.9201	58.50	0.265
	3	11.3910	65.00	0.300
	4	19.7420	62.50	0.284
アルミニウム プラス 試片	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	0.5638	5.16	0.021
	4	0.6432	5.90	0.024

第6表(b) 通電時の試片腐食率

	試片 #	腐食量 (g)	腐食度 (g/年cm ²)	腐食率 (mm/年)
鋳鉄 試片	1	1.5503	8.75	0.042
	2	0.5912	3.38	0.015
	3	—	—	—
	4	1.8210	10.30	0.048
	5	—	—	—
	6	0.2197	1.20	0.004
	7	1.0090	5.74	0.026
	8	—	—	—
	9	0.9008	5.15	0.024
	10	0.9526	5.44	0.025
	11	0.8120	4.65	0.021
	12	0.1246	7.06	0.003
	13	0.7809	4.48	0.021
	14	—	—	—
	15	—	—	—
	16	—	—	—
	17	0.8100	4.64	0.020
アルミニウム プラス 試片	1	0.0854	0.78	0.0032
	2	—	—	—
	3	0.0401	0.37	0.0015
	4	—	—	—
	5	—	—	—
	6	0.0305	0.278	0.0013
	7	0.0471	0.430	0.002
	8	0.0501	0.46	0.0019
	9	—	—	—

いては不通電状態で 0.261 mm/年、通電状態で 0.002~0.042mm/年とその侵食度は近似している。なおアルミニウムプラス試片は通電状態で 0.002~0.016 mm/年とやや異なっているが、不通電状態では 0.026 mm/年と類似した結果が得られた。

5. 考察

5.1 金属表面の電位変化

実験室試験において静止状態と流動状態とでは同種金属であっても自然電位と腐食量に差異があり、分極状態も相違することが確認できた。この理由は海水中に溶存する酸素が金属面に作用する際の拡散速度に差異があるためと考えられる。すなわち自然腐食状態下では静止時に比較して流動時には金属面に対する酸素の供給が大きいため局部電池の陰極部の分極が減少し電位は貴となり、必然的に両極間の駆動電圧が大きくなり、陽極部の発生電流が増加し、腐食量も増す結果となる。しかしながらアルミニウムプラス試片での腐食度はこれと逆の現象を呈した。これはアルミニウムプラスが酸化皮膜の生成が容易であるため皮膜が破壊しない程度の流速下において裸部の局部陽極部が酸化皮膜におおわれたために生じた現象と考えられる。たとえば静止海水中で 40mA/m² の低電流密度のとき通電初期に -500 mV まで分極したのは酸化皮膜の存在下で行われた分極と考えられ、徐々に酸化皮膜が陰極還元され金属面が裸面になり通電後 5 日目より電位が上昇したものと推定される。以上の現象は極端ではないが鋳鉄試片にもうかがわれる。

5.2 防食電位および防食電流密度

本実験では前述のように腐食量と分極曲線の双方から防食電位お

よび電流密度を算出した。この結果はアルミニウムプラス試片においては腐食量と分極曲線の双方より算出した値に差異を生じたが、腐食量より算出した値は誤差範囲が大きく、一般に実際値より大き目に出るということを前提とし、この値は一応の目安と考え、分極曲線すなわち陰分極曲線の Break Point をもって防食電位および電流密度と決定したほうが合理的と考えて、アルミニウムプラスの防食条件を算出すると、防食電位は -350~-360 mV、防食電流密度は静止時 0.05 A/m²、流動時 0.085 A/m² となる。一方、鋳鉄の場合は双方とも類似した値が得られたためこの防食電位は -770mV、防食電流密度は静止時 0.04 A/m²、流動時 0.12 A/m² と決定できる。

5.3 冷却管内壁の腐食と防食条件

冷却管内壁の腐食の原因は種々あるが、管自体の残留応力の不均一、流体の変化に起因するもの、または管内に堆積する泥状異物や固形物の充塞による侵食などがあげられる。このほかに水室壁より腐食溶出したカーボンの接触腐食も考えられる。しかしいずれの因子による腐食でも本質的には電気化学的腐食に係るものであり、電気防食法により防食可能はずである。

しかしながら管自体小径長大なものであるため防食電流が流入し難く完全な防食が不可能な状態にある。

実験結果より非防食状態でも水室との電位差により防食電流が流入していることがわかるが、平均電流密度は 0.026 A/m² と微弱なため諸因子により誘発される腐食は防止できない。さらに防食電流 120 A を通電した場合も不通電時と同様に防食電流の到着距離は約 1 m であり、この際の電流密度は 0.041 A/m² となる。しかし電位分布を推定した場合、管口部は -500~-600mV まで分極されており過防食状態にあるが、管端より内部に進むにつれ電位は急減し、有効な防食範囲はわずかに 400 mm 程度に限定される。管内の防食電流到着距離は通電量と管径（または断面積）との間に相関関係があるものと推定されるが、本実験において得られた到達距離は概略管内径を耗で表わした数値の自乗値を耗で呼称する長さ程度であった。

5.4 水室内壁の腐食と防食条件

水室内壁の腐食は銅合金系の管板および冷却管に対する電気化学的作用に起因するものがほとんどである。かりに供試復水器の水室の侵食度を前項で算出した不通電時の管内平均電流密度 0.026 A/m² と管板部の平均電流密度 0.098 A/m² より計算した場合は 0.97 mm/年の激しい腐食が生ずることになる。かような状態で腐食が進行する場合はその表面にカーボンが析出し、電位がカーボンの電位を示し、逆に管板や冷却管より電流を受け腐食が停止することが考えられる。實際上このカーボン化現象は局所的に発生するもので腐食機構も複雑なものと考えられる。

水室を防食するためには管板および冷却管の電位が水室の自然電位、すなわち -770 mV まで分極しなければならない。この際は前にも述べたように管板および管口部は過防食状態とならざるを得ないが、これは一時的で防食皮膜の生成とともに減少されるものである。

6. 結 言

本実験結果を総合し復水器の電気防食法に関する諸条件を要約すると次のようになる。

(1) 鋳鉄およびアルミニウムプラスは流速が 0.5~1m/s の流動海水中における場合の防食電流密度は 0.15 A/m² および 0.1 A/m² 程度を要する。

(2) 鋳鉄およびアルミニウムプラスの短絡体についてはアルミニウムプラスの電位が -770 mV まで分極しなければ防食状態になり得ない。この分極電位に達するに要するアルミニウムプラス

表面の電流密度は 0.22 A/m^2 である。

(3) 実際の復水器で短絡条件が最も影響する部分は水室と管板の取合部でこの部分の鑄鉄は非常に分極し難く、大きな電流を必要とし、これに反し管板中央部は端部に比較し電流分布が少なくて済むため管板に対する防食電流密度は $0.15 \sim 0.16 \text{ A/m}^2$ を供給すれば十分と推定される。

(4) 冷却管内の電流到達距離は管端部より約 $1,000 \text{ mm}$ 程度でこの分布表面の平均電流密度は $0.04 \sim 0.05 \text{ A/m}^2$ となり、防食可能範囲は管端から内径を耗で表わした数値の自乗値を耗で呼称する距離程度であって、電気防食法による冷却管深奥部の防食はほとんど期待できない。

(5) 水室内壁の防食電流は 0.15 A/m^2 を要する。しかし実際の場合には水室壁に電極が取付けられる場合が多く、このため水室部分は $0.2 \sim 0.3 \text{ A/m}^2$ の電流分布となる。

(6) 電極の取付位置は短絡部分の防食に効果あるように短絡部に近く設置するとともにできうれば当部に防食塗料を完全に塗布することが推奨される。

最後に本実験にあたり復水器の現場試験に終始絶大なご支援とご協力をいただいた東京電力株式会社新東京火力発電所の各位ならびに実験を担当された中川防食工業株式会社の各位に深甚なる謝意を表するものである。



新案の紹介



実用新案第378204号

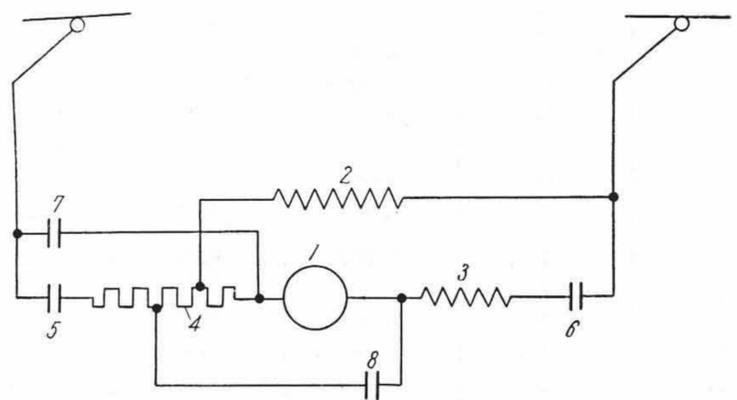
竹村伸一

トロリーバスの制御装置

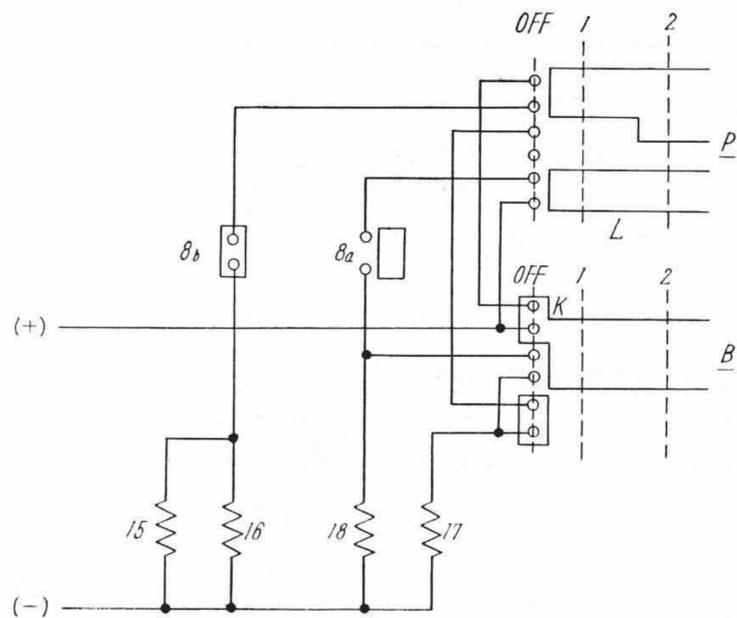
第1図は主回路、第2図は制御回路を示す。図中1は主電動機電機子、2は分巻界磁線輪、3は直巻界磁線輪、4は直列抵抗、5および6は力行運転用接触器、7および8は制動用接触器である。Pは加速用制御器、Bは発電制動用制御器であって、これら各制御器はそれぞれペダルの踏込みによりノッチを進めるものである。

バスを起動すべく加速用ペダルを踏むと、加速用制御器Pは1ノッチで動作線輪15, 16を励磁し、接触器5, 6を閉し主回路を閉成してバスを力行運転することができる。次にバスの停車は、加速用ペダルを踏放し加速用制御器PをOFFノッチにもどし接触器5, 6を開放したのち、制動用ペダルを踏込んで制動用制御器Bを回転し、1ノッチで動作線輪17, 18を励磁し接触器7, 8を閉して主電動機に発電制動をかける。

この考案は前記の制御装置において、第2図に示す。制動用接触器8の補助接点8aおよび8bを制御回路に挿入しかつ制御器PにセグメントLを、制御器BのOFFノッチにセグメントKを付加したことを特長とするもので、このようにすれば、バスの力行中急ブレーキをかけるため発電制動用ペダルを踏込んだ場合、セグメントKによりまず動作線輪15, 16を消磁して接触器5, 6を開放し、次に動作線輪17, 18を励磁して接触器7, 8を閉じ、主回路を発電制動接続に切替えることができる。またいったん発電制動接続に切替わったのちは補助接点8aおよび力行用制御器Pに設けたセグメントLにより動作線輪18の回路を保持し、動作線輪15, 16の回路は補助接点8bにより開放されているから、主回路は依然として発電制動接続のままである。次に加速用ペダルを踏放した時はじめて線輪18は消勢され、すべての接触器は開放状態となる。したがってこの考案によればペダルの踏放し順序を誤ってもバスは意に反して起動することがないから安全である。(滑川)



第1図



第2図

日立評論

金属特集号第5集

別冊第42号

- ◎刃物鋼の諸性質に及ぼすPの影響(第2報)
- ◎合金工具鋼のじん性に及ぼす熱処理の影響(第3報)
- ◎真空鑄造法の研究(II)
- ◎抜型工具鋼の研究(第1報)
- ◎鉄鋼の顕微鏡組織に及ぼす研磨方法の影響
- ◎鉄鋼中セレンの一分分析法
- ◎強力鑄鋼パイプコネクションの製造
- ◎Baフェライト磁石の応用

- ◎ホットストリップミル用ワークロールの表面温度について
- ◎マレブルの機械的性質に及ぼす鑄造条件の効果
- ◎バルブ用鑄物材の衝撃特性の研究
- ◎鑄造クランクシャフトについて
- ◎マレブルのひずみ取り作業に関する基礎的実験
- ◎過共晶 Al-Si 合金の研究

発行所 日立評論社 東京都千代田区丸の内1丁目4番地 振替口座 東京71824番
 取次店 株式会社 オーム社書店 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 振替口座 東京20018番