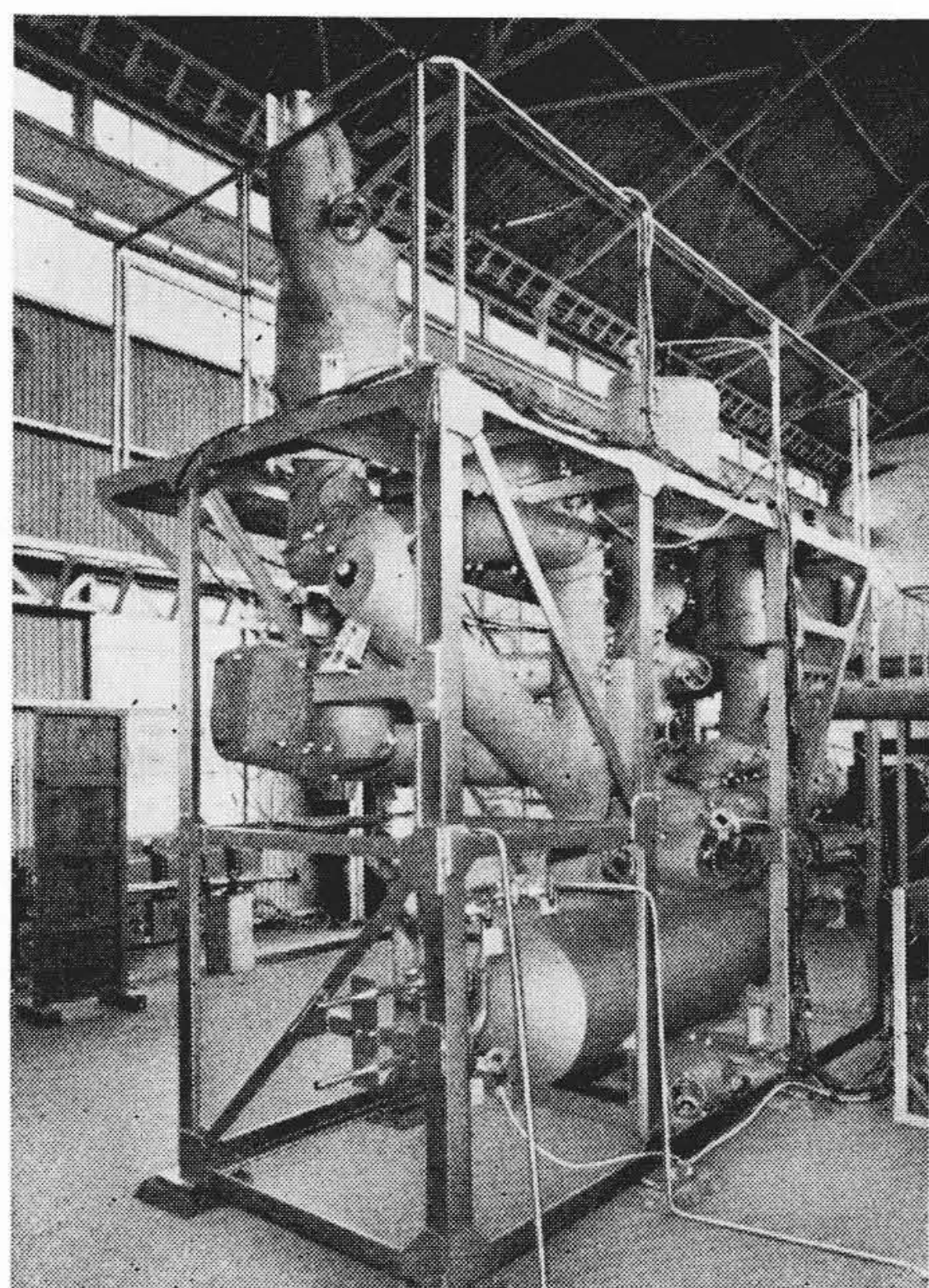
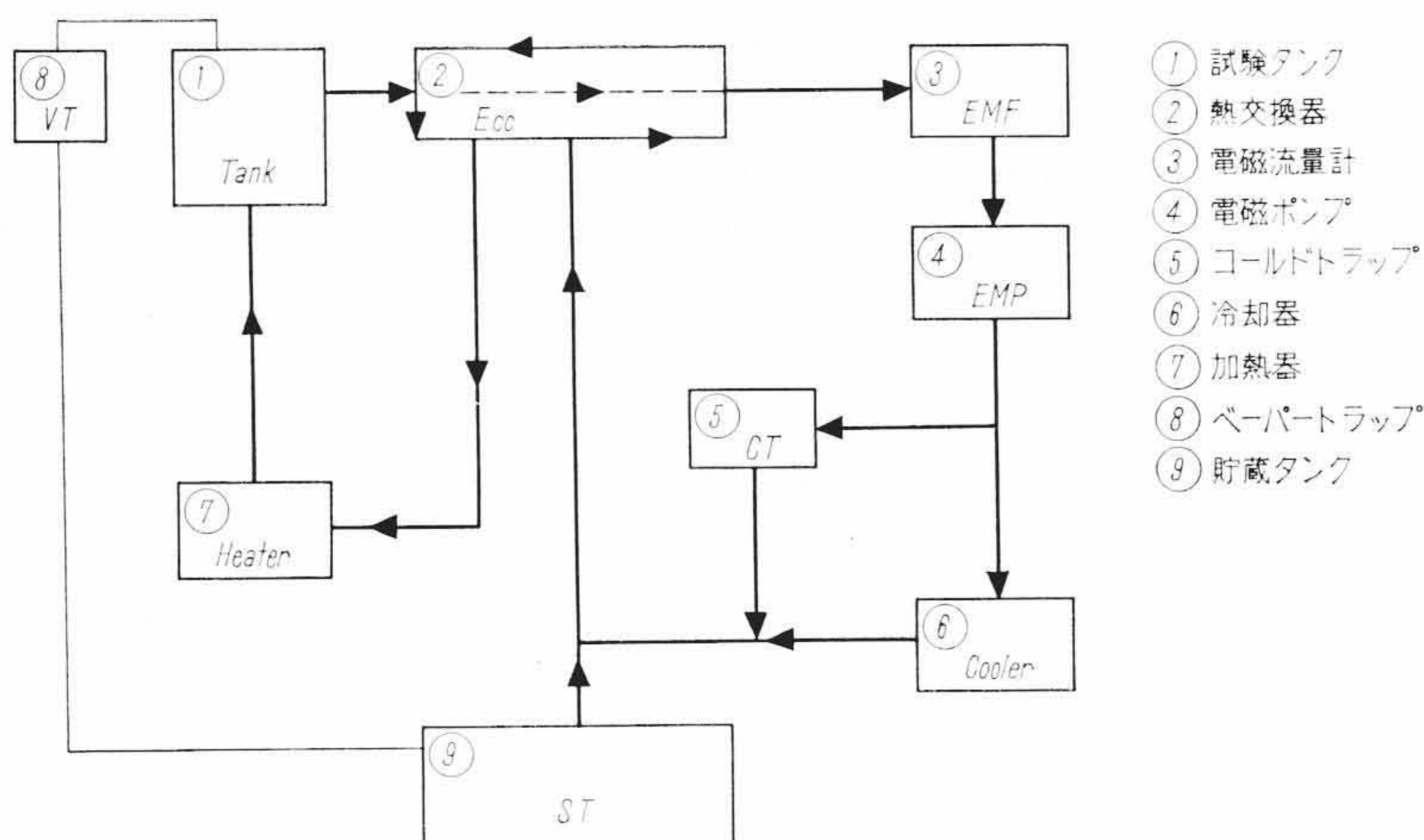




第2図 動的(高流速)腐食試験装置の外観

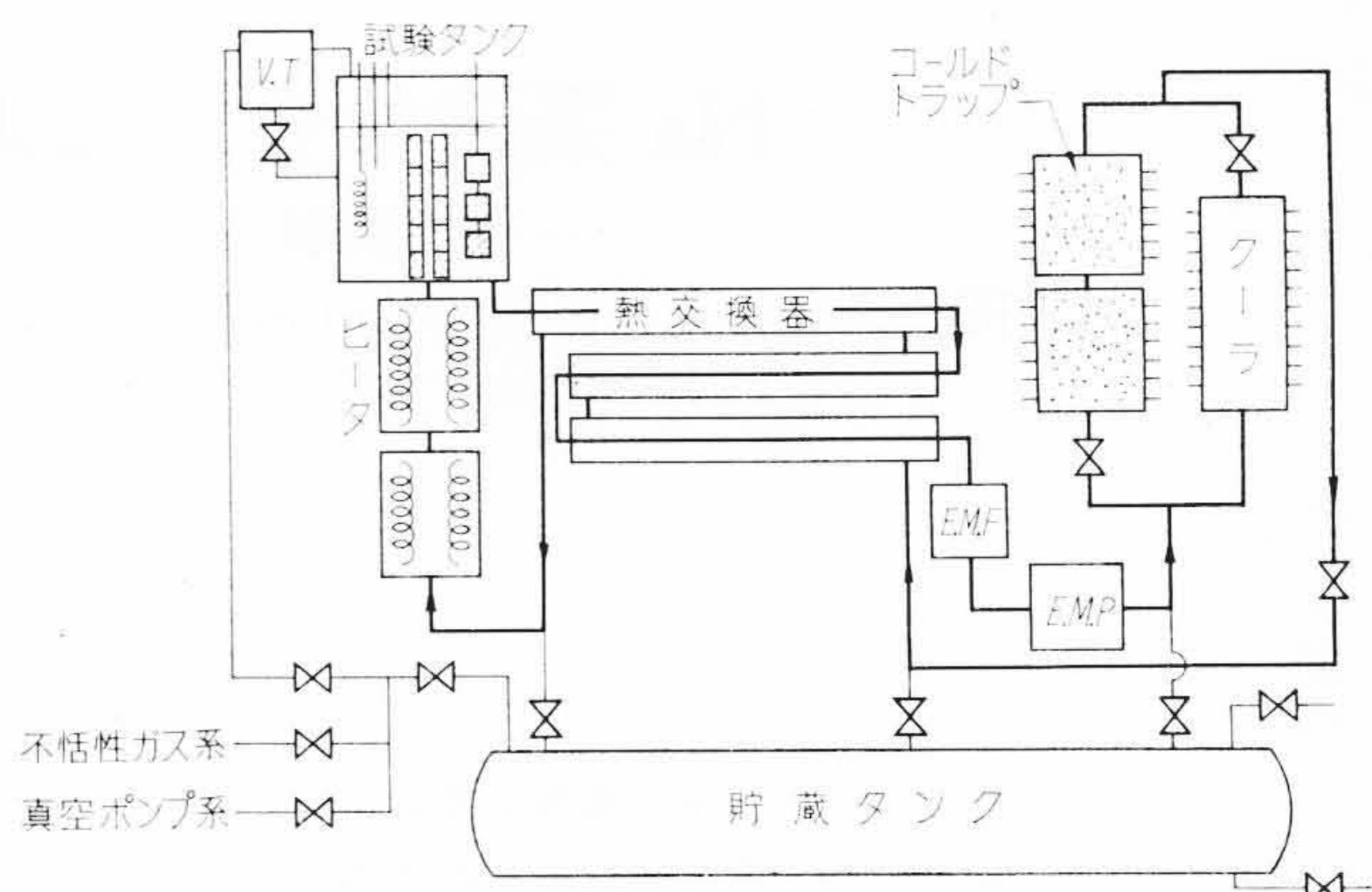


第3図 機器配置の概念図

循環させ高温高流速下における構造用鋼の耐食性を長時間にわたって試験することである。そのためこの装置を企画し、設計製作した。構造上の特長としてはつぎの二点である。第一は高温高流速を得るために試験室に特殊な工夫を施し、最高流速約 10 m/s(温度600℃)で試験できるように作られた。また、ほかの条件(試験温度、試験時間など)を等しくして流速変化の影響のみを検討できるように試験室内には静的試験片も同時にそう入できるようになっている。さらにこの装置のもう一つの使命は一般的な Na 技術の習得および訓練に供することである。すなわち、回路全体の熱特性、流動特性などを測定できるほか、電磁ポンプ、コールドトラップなどの個々の性能を試験できるように作られている(ただし、主目的は腐食研究用であり伝熱研究上からみれば不備な点があることはまぬかれない)。

2.2 フローシートおよび循環流路

第1図は試験装置の配線および配管系統の詳細なフローシートである。説明は図中に記載されている。第2図は装置本体の外観写真である。機器の配置および流路を模型的に示したのが第3図である。以下、電磁ポンプをEMP、電磁流量計をEMF、コールドトラップをCT、エコノマイザをE_cと略記する。第3図にしたがってNaが一循環する経路を示せばつぎようになる。まず、Naは貯蔵タンク(ST)から試験室の所要レベルまで張り込まれたものとする。



第4図 試験装置の機器配置の模式図

試験タンク①ではNaは試験温度、たとえば、600℃に加熱されているが、これが熱交換器(E_c)②の一次側(内管)を通して次第に冷却されていく(二次側(外管)からは低温のNaが循環してくるので冷却される)。途中3個所に膨張タンクを設けたがここでは測温もできる。EMP出口では約300℃まで冷却されねばならない(350℃以上になるとステンレス鋼と銅板とを結合している部分が溶融する危険性がある)。

ここで、ベローシールバルブを適宜開閉することにより(CT)⑤へまたは冷却器(クーラ)⑥へ、あるいは両系へ同時に流すことができる。CTまたはクーラを出たNaはかなり低温となっているが、E_cの二次側(外管)を通過する間に一次側の比較的高温Naによって次第に加熱されていく。これが、主加熱器(シーズパイプヒータ内蔵)⑦によって十分に加熱されて、たとえば目標温度600℃付近となって再び試験タンクに環流され、ここでさらに内そうシーズパイプヒータによって加熱される。以上の経路によってNaは一循環を終了することになる。この間に試験タンク①内に装入された供試試料は所定の試験条件下で試験される。本回路を設計するについての各部における⁽⁸⁾⁽⁹⁾熱計算については省略する。また、EMP, EMF, CTおよびE_cなどについての詳細な説明もすべて省く。

2.3 装置の運転法

試験回路は数回の予備実験の結果、増設および改造したが現在の回路、機器の配置は第4図のようにになっている。以下装置の運転法について述べる。

まず、Na貯蔵用ドラム缶から装置の最下端にある貯蔵タンク中に必要量(約180 l)のNaを貯蔵する。貯蔵タンクにはシーズパイプヒータが内蔵されていて、Naを融点以上に保つことができる。Naを全回路内に張り込む際には、回路内をあらかじめ負圧にし、貯蔵タンクのNa液面をArガスで加圧すると同時にタンク上端のバルブを開いてNaを押し上げる。この際、試験タンクの液面をプラグ式液面計で監視し、所定の位置において貯蔵タンクのバルブを閉じる。Naはあらかじめコールドトラップ回路を循環させて酸化物などの不純分を除去するが、これがまた配管系各部のぬれをよくする。一定時間循環させた後に主加熱器(20 kW)をはじめ各部加熱器を除々に稼動させて温度をあげる。所定の試験条件にしたがって試験タンク、主加熱器出入口、EMP出口、冷却器およびCT出入口などの温度を記録する。試料表面における流速はEMFの読みを記録し、これから算出する。

あらかじめ決められた試験条件により所定時間運転後にはEMPを停止し、各部加熱器のスイッチを切り、各測温個所の温度を調整しつつ、貯蔵タンク内を負圧にし、試験室の上部を加圧すると同時

にバルブを開いて一挙に回路中の全 Na を貯蔵タンク内に集める。試料はあらかじめ調整され専用のホルダにおさめて試験室内に装入され上記の方法で試験される。試験終了後の試料は Ar ガスふん囲気中で取り出して手早く表面を洗浄して乾燥後秤量（ひょうりょう）、検鏡そのほかの試験に供する。

3. 予 備 実 験

Na と NaK では物理的あるいは化学的性質⁽⁴⁾⁽⁵⁾において若干の差はあるが腐食侵食を論ずる限り致命的な差はないと考えられる。しかしながら、これまで述べてきたような試験回路を取り扱うことになる Na と NaK とではたとえば融点および熱伝導率の差（融点は Na 98°C, NaK 18°C, 熱伝導率は Na 56.1, NaK 24.3 kcal/mh°C）が操作上致命的な問題となることをわれわれは体験した。すなわち、NaK の場合にはほとんど留意するに及ばなかった配管系の加熱ということが Na の場合きわめて重要な要素となる。換言すれば、全回路中のいずれの一個所といえども万一 Na の融点（実際は融点上約 20~30°C）以下に下がれば回路が閉塞され実験全体が失敗したことになる。したがって、われわれは予備実験、本実験を問わず、最初は融点が低く取扱法に慣れている NaK を使用し、そのつぎに Na を使用するという二段構えで慎重に行なった。予備実験は主として熱特性、流動特性を知るために行なったが回路内各部の温度測定には最も留意した。

3.1 NaK の熱特性試験

(1) 損失熱量の測定、熱伝導率の算出

回路内に NaK を入れて温度を上げた場合、保温層外部がかなり熱くなり保温層を通しての損失熱量が大きいので各部の熱損失を熱流量計（Heat Flux Meter）によって測定した。第 1 表にその値を示す。また、これらの値から各部の熱伝導率を計算した。すなわち、保温材としてはステンレス鋼管の外側に珪藻土（けいそうど）、さらにその外側にバーミキュライトを同心円状に配してあるので計算式により熱伝導率を求めた。これらの関係をわかりやすくするために横軸に温度差をとり、縦軸に損失熱量および熱伝導率をとってプロットしたのが第 5 図である。

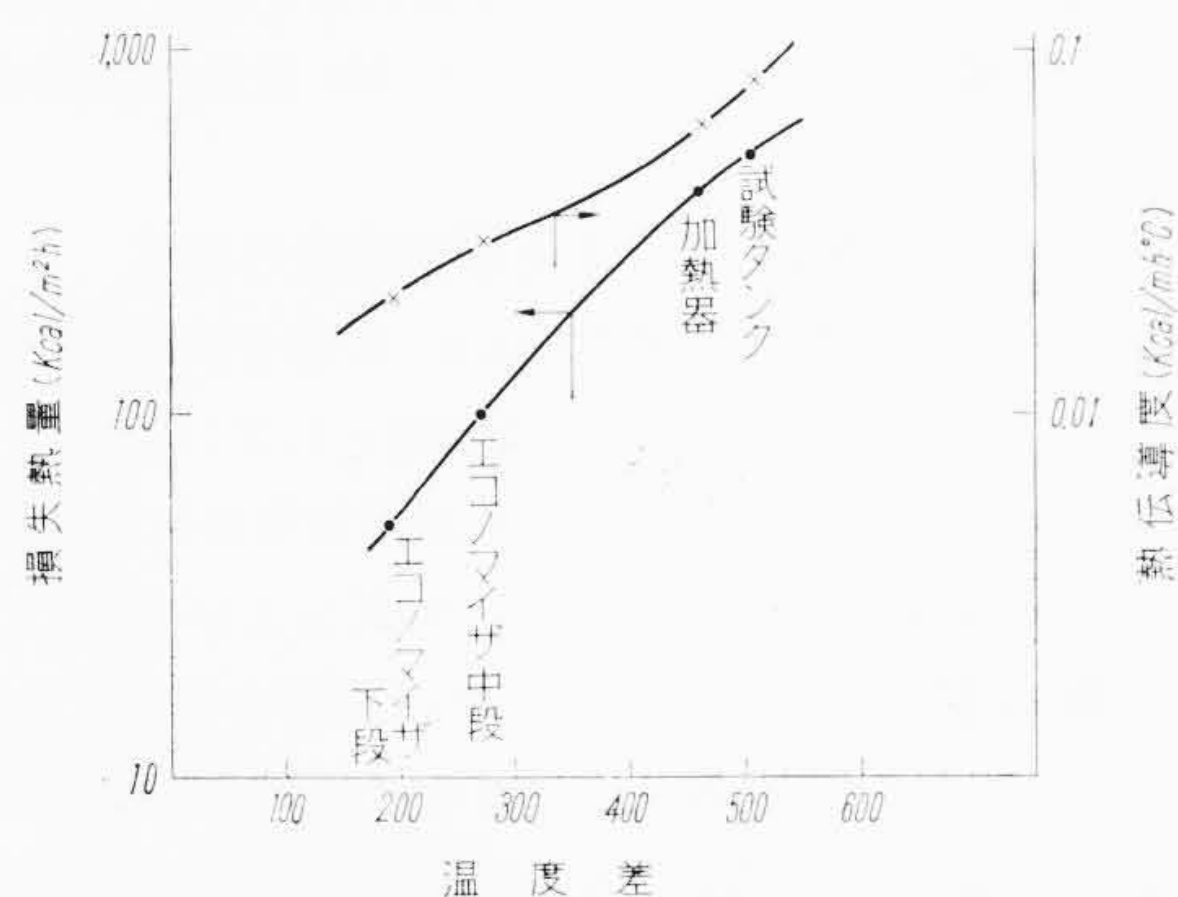
3.2 NaK 流量と各部温度

全回路について考えると、流量変化に最も大きな影響を与えるのはクーラおよび CT である。今、クーラおよび CT のおのおのを

(1) 強 制 冷 却

第 1 表 主要保温部の損失熱量および熱伝導率 (K)

	厚 さ (mm)	温 度 (°C)	電位の読み (mV)	損失熱量 (kcal/m ² h)	熱伝導率(K) (kcal/mh°C)
試験タンク	80	540→35	2.55	530	0.084
主加熱器	70	490→30	2.2	410	0.0624
Ecc 中段	80	300→30	0.55	100	0.0296
Ecc 下段	80	220→30	0.35	50	0.021



第 5 図 温度差に対する損失熱量および熱伝導率の関係

(2) 自 然 冷 却

(3) 加 熱 保 温

の場合につき NaK 流量と各部の温度との関係を調べた。

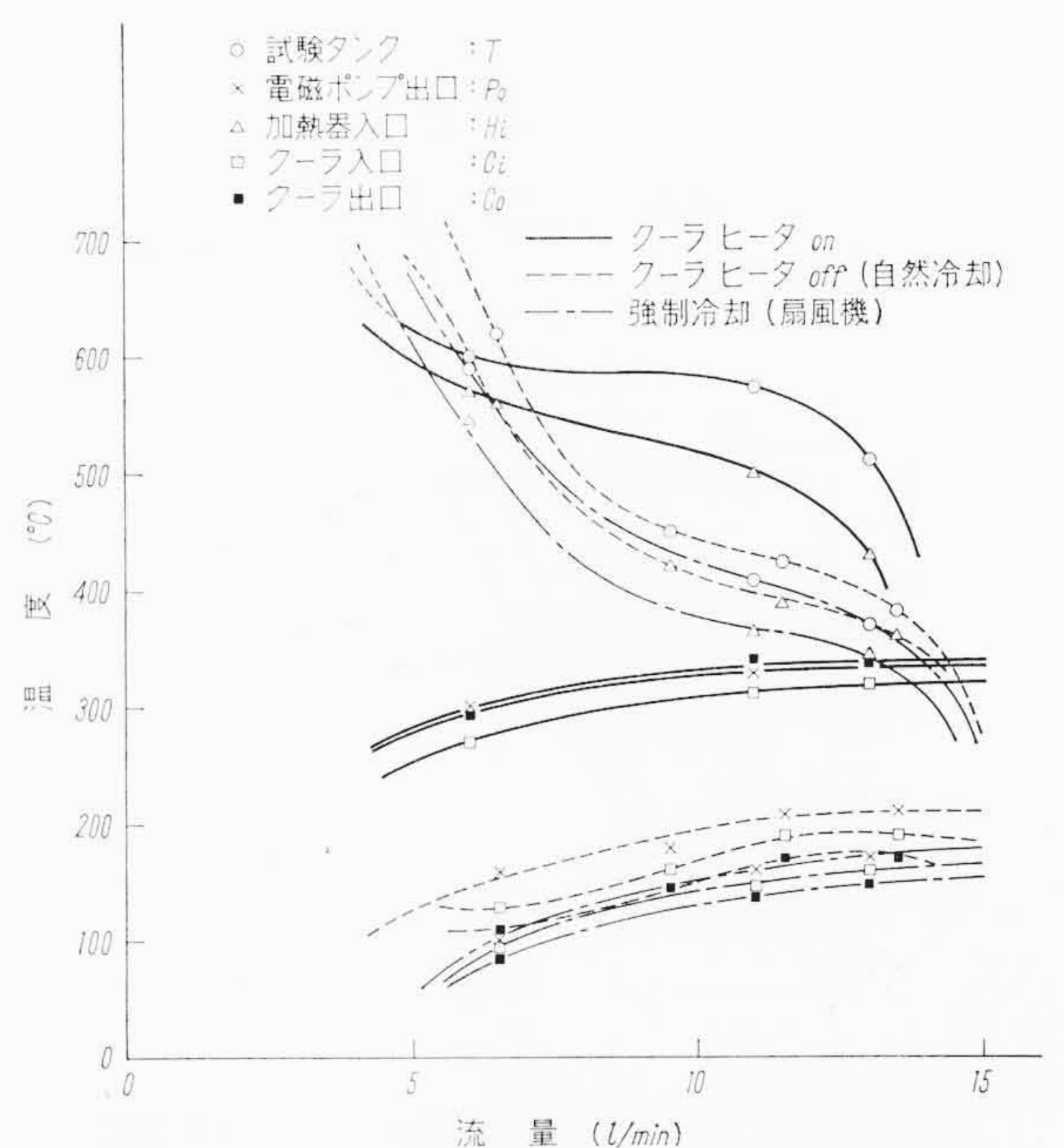
(1) クーラについて (CT は閉じる)

第 6 図は CT 回路は閉じてクーラのみ NaK を流した場合である。すなわち、横軸に流量 (l/min), 縦軸に温度 (°C) を取っている。たとえば、試験タンクについて、クーラを加熱した場合は流量 6 l/min で 600°C, 11 l/min で 570°C, 13 l/min で 510°C であるがクーラを自然冷却または強制冷却した場合には流量の増大につれて急激に温度が低下することがわかる。加熱器出口の温度も大体同様な傾向を示す。

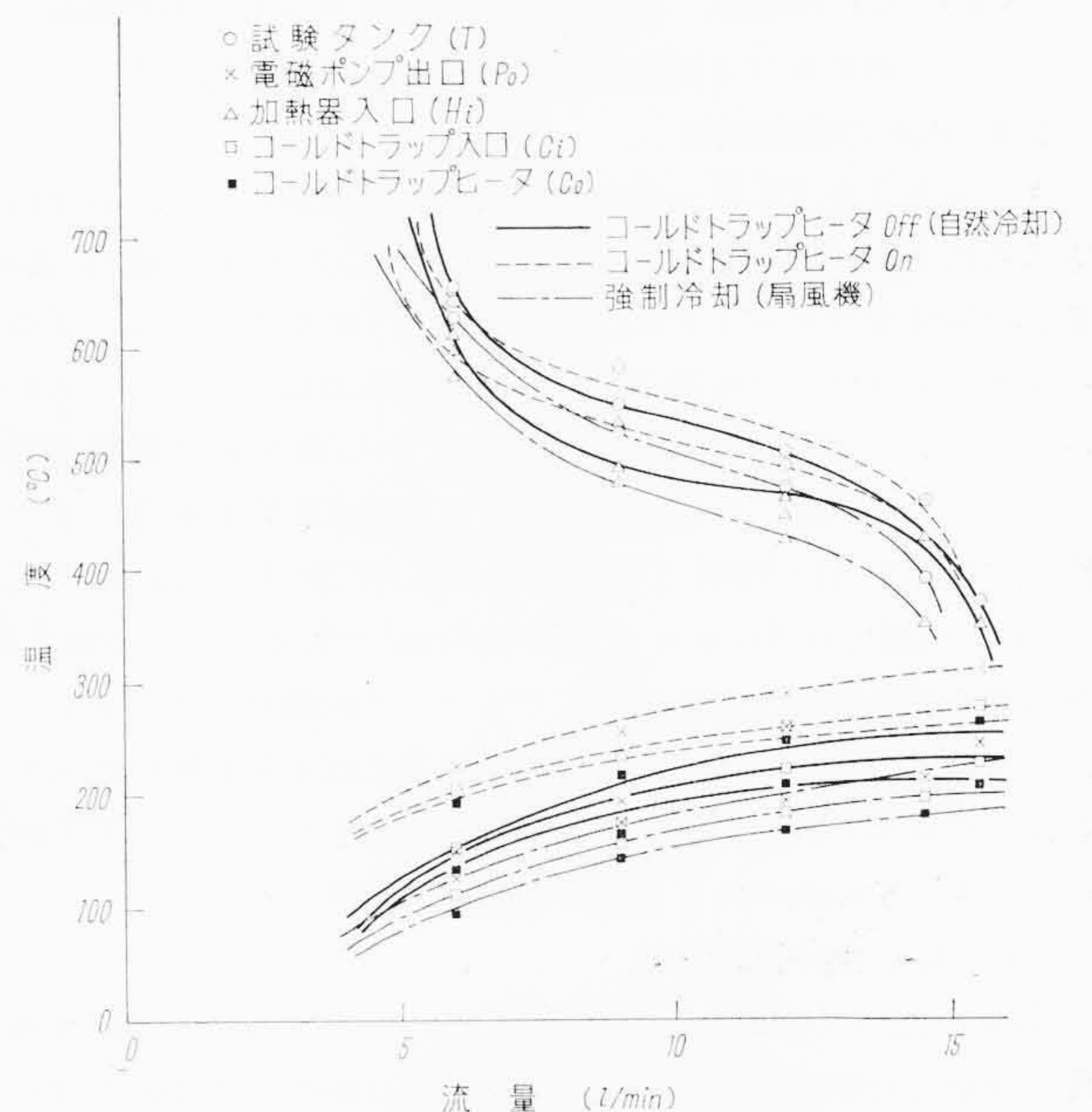
(2) CT について (クーラは閉じる)

第 7 図は第 6 図と全く同様な方法でプロットしたものである。両者を比較すればつぎのようなことがわかる。

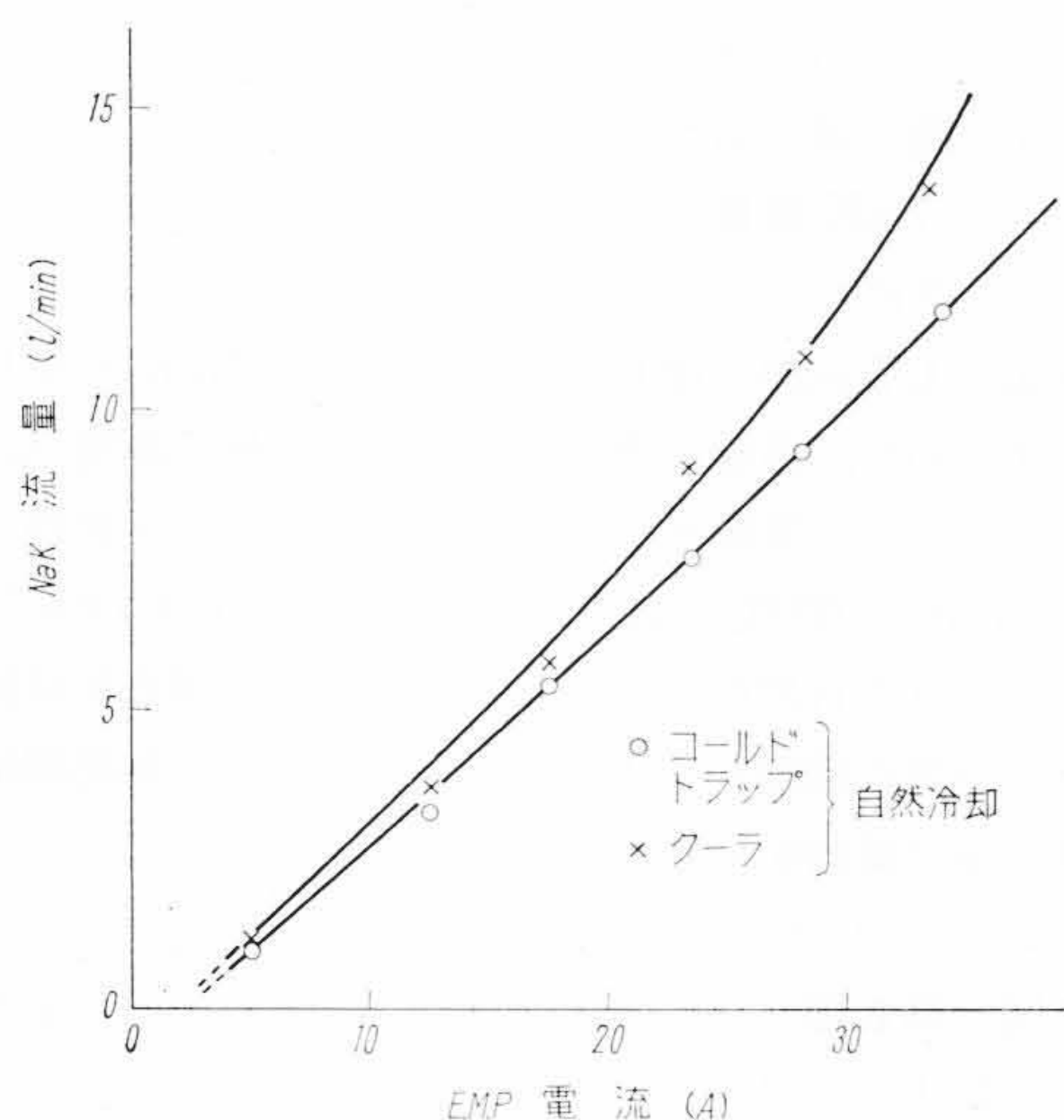
(a) 試験タンク部および加熱器入口における変化と EMP 出



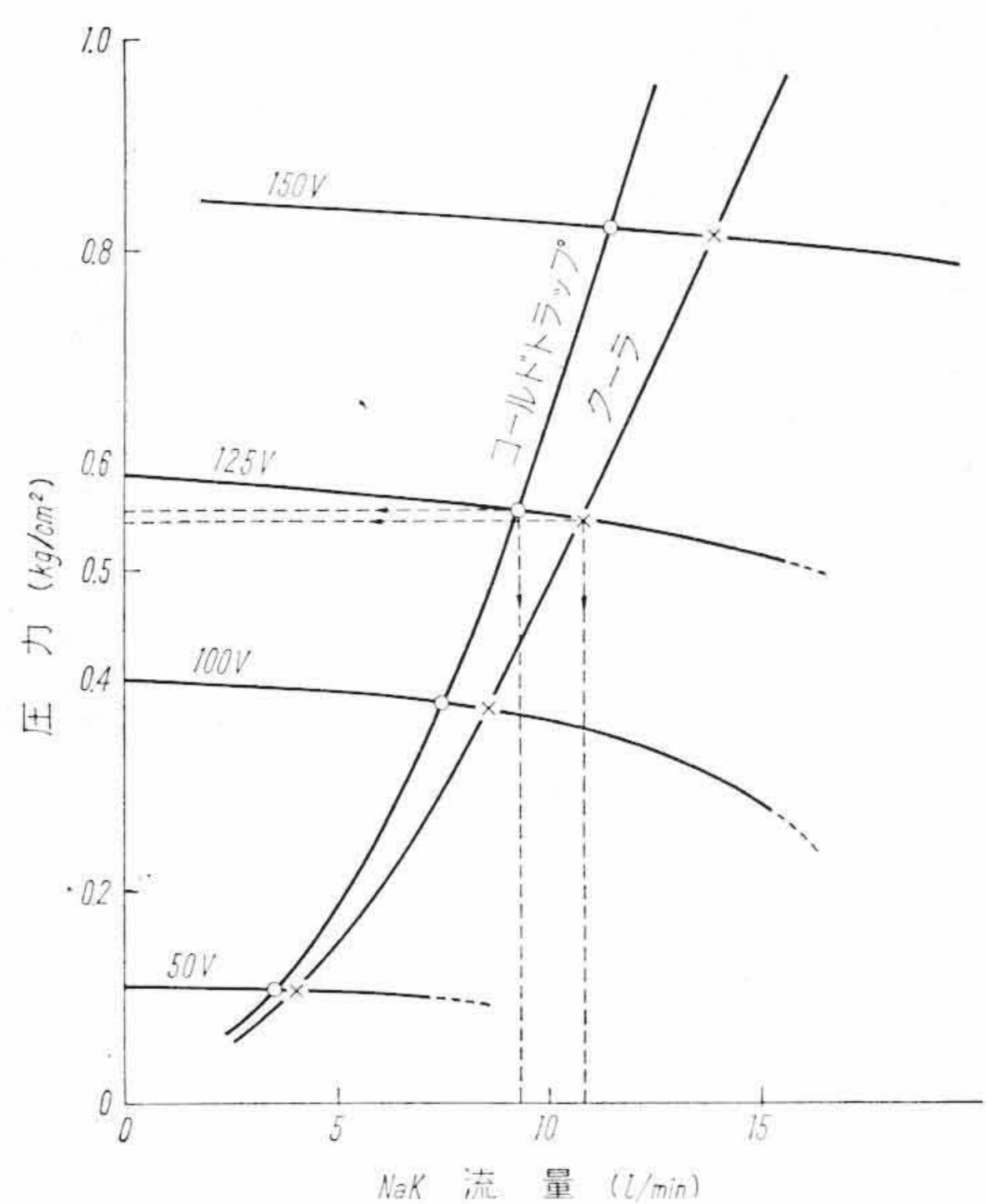
第 6 図 クーラ流路における流量と温度との関係



第 7 図 コールドトラップ流路における流量と温度との関係



第 8 図 クーラおよび C T における EMP 出力と NaK 流量の関係



第 9 図 クーラおよび C T 流路における流動抵抗

口、クーラ出入口における変化の状況は似ている。

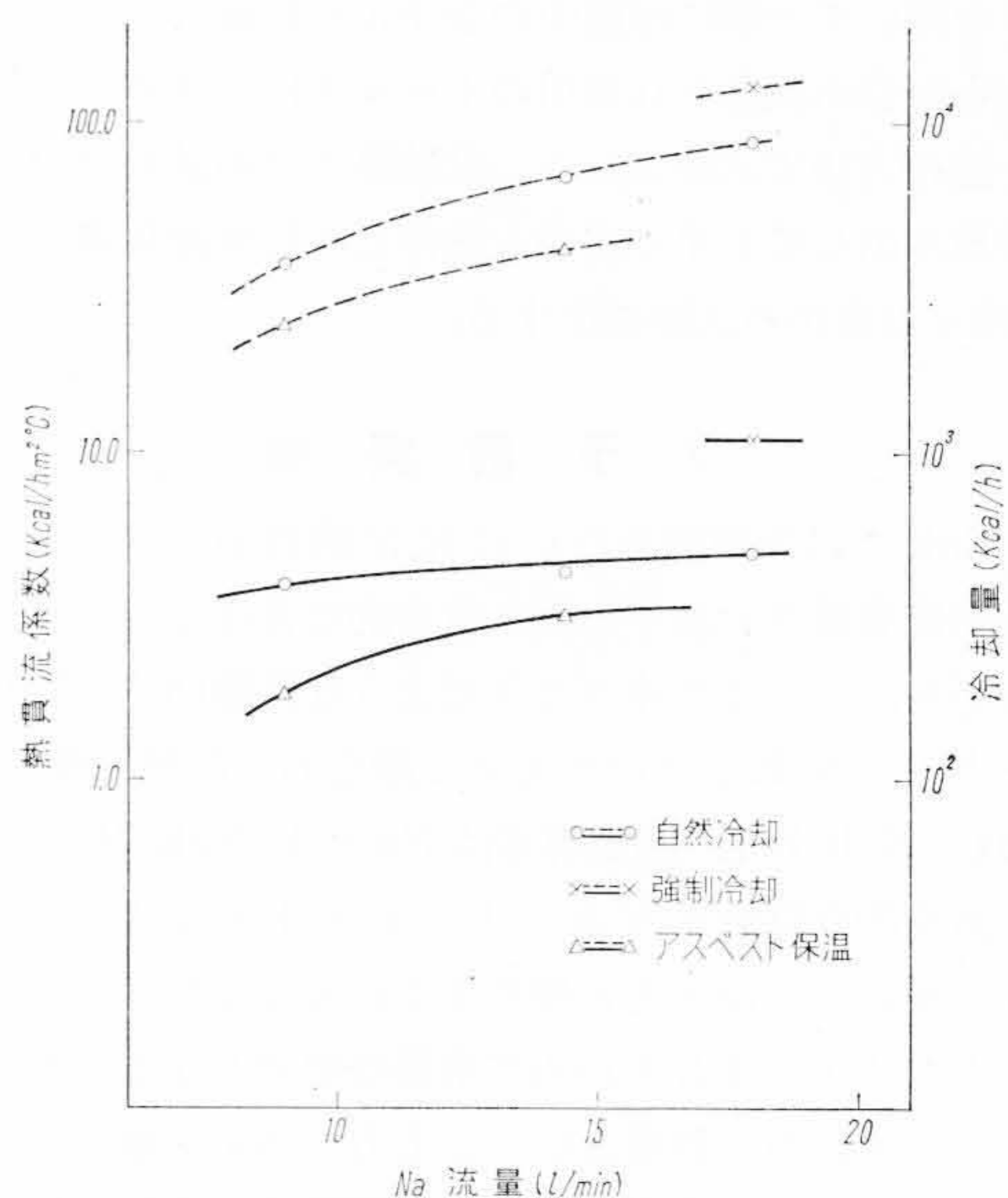
- (b) CT の場合、強制冷却、自然冷却および加熱保温した場合における流速による温度変化は比較的小さい。

3.3 NaK の流動抵抗

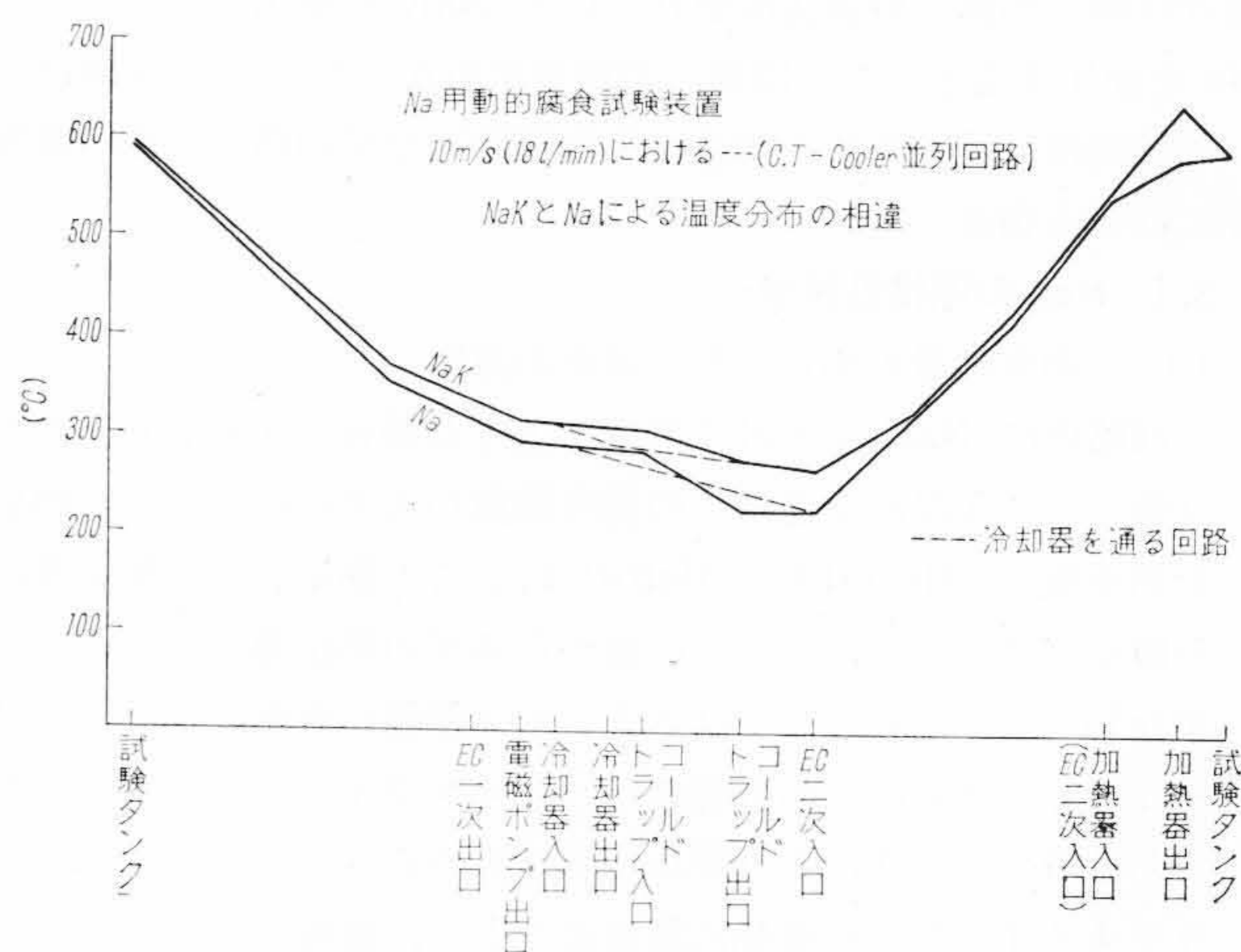
クーラおよび CT はおのおのを自然冷却状態にして、いずれか一方のみに NaK を流動させた場合の EMP の入力(電流値)と NaK 流量との関係をプロットすれば第 8 図のようになる。これにより、同一条件下ではクーラを通過する方が流動抵抗が小さいことがわかる。また、上記の関係とポンプ特性とから第 9 図の関係が得られる。これによれば、たとえば、ポンプ電圧 125V の場合、クーラ回路では流量が 11 l/min でそのときの圧力は約 0.55 kg/cm² であるが、CT 回路では 9 l/min で 0.56 kg/cm² である。以上の結果から、全回路の流動抵抗は CT 回路よりもクーラ回路の方が小さいことがわかった。したがって、回路を運転するには定常状態になってからしばらくは CT 回路を通して不純物を除去したならば、CT 回路を閉じてクーラ回路のみを循環させた方が得策である。

3.4 Na における諸特性

NaK に比べて Na の方が融点が高いことは回路を運転する上で最も致命的な問題となる。熱伝導率そのほかの点で Na がすぐれ、したがって原子炉冷却体としても Na のほうが賞用されている。われわれも Na による試験を考えているから、回路運転上主として熱



第 10 図 Na 流量に対する冷却量および熱貫流係数



第 11 図 回路内主要個所における Na および NaK の温度比較

的な予備試験だけは Na について別に行なっておく。ただし、腐食性はむしろ NaK のほうが強いはずなので NaK による試験結果を十分に検討しておけば実用上は満足されることになる。

(1) 冷却量および熱貫流係数

すでに NaK の場合について求めたが、Na についてあらためてこれらの関係を求めてみる。いま Na の流量は 9, 14.4 および 18 l/min とする。コールドアップの冷却方法として (1) 強制冷却法、(2) 自然冷却法および (3) アスベスト布保温法の三種類を考えた。クーラのみに流した場合の一例を示す。第 10 図は横軸に Na 流量をとり、縦軸には冷却量および熱貫流係数をとってプロットした図である。これによって Na 流量の制御を容易に行なうことができる。

(2) NaK および Na における主要部温度の変化

流量 18 l/min (試料面流速 10 m/s) の場合すでに NaK の場合については述べてあるが、ここでは横軸として回路の全長をとり、試験タンク出口、E_c 入口などの主要测温個所の位置を明確にして各点における温度をプロットした。NaK および Na について比較したのが第 11 図である。これによれば回路の全長は約 23m あることがわかる。Na と NaK では Na のほうが熱伝導率が大きいのので、E_c および CT 付近では明らかに温度差を生じている。たとえば、試験タンクを 600°C に保つとすれば EMP 出口では Na : 295

℃, NaK: 315℃であり, CT出口ではNa: 225℃, NaK: 275℃となり, 約50℃の差を生ずる。そのほかの個所ではNaKのほうが10~20℃の高温を示している。

以上の予備実験によりNaKについての熱特性を知り, またNaKとNaとの違いを体験し, 観察することができた。これによりNaKによる試験はもちろんのこと融点の高いNaに対しても安心して試験を継続できる見通しがついた。

4. 供試材および試験条件

ナトリウム冷却炉用の構造材料は従来から18-8ステンレス鋼が使用されている。これに対して最近ではフェライト系Cr-Mo鋼も次第にこの分野に進出せんとする傾向⁽⁶⁾⁽⁷⁾にある。その理由はCr-Mo鋼は18-8鋼に比べて(イ)低廉である。(ロ)熱処理性がすぐれている。(ハ)塩化物応力腐食に強い。(ニ)すでに火力機器材料として実績があるなどのためと考えられる。

われわれはできるだけ低廉な材料を開発することに目標を置いて, すでにCr-Mo鋼のNa (NaK) 中浸漬後の諸性質を検討している。

今回はとくに高温高流速のNa, (NaK) による腐食侵食を検討するため下記のような三種のCr-Mo鋼試料を用いて行なった腐食試験結果についてのみ報告する。なお, 18-8ステンレス鋼についての結果は省略する。

以下の供試材において2¼Cr-1Mo鋼を2CR, 5Cr-½Mo鋼を5CRおよび9Cr-1Mo鋼を9CRという符合を用いて記載する。

供試材の化学組成は第2表のとおりである。調質鋼はおのこの表記のような熱処理を施した。

試験条件としてはつぎのように考えた。この装置では最高600℃の高温下で長時間の運転が可能であり, しかも試験室中では最高流速10m/sまでとれることになっている。しかし最初から過酷な条件で行なうことは実験計画上不適当なので, 前記予備実験の結果を十分に検討したうえつぎのような順序で行なった。

(1) 第1回試験

試験温度 600℃, 流速 4m/s

試験時間 150時間 (焼鈍)

(2) 第2回試験

試験温度 600℃, 流速 8m/s

試験時間 150時間 (焼鈍)

(3) 第3回試験

試験温度 600℃, 流速 4m/s

試験時間 720時間 (調質)

(4) 第4回試験

試験温度 600℃, 流速 8m/s

試験時間 63時間 (調質)

5. 実験結果および考察

前記のような試験条件にしたがって浸漬した試料は, これを取り出してつぎのような諸試験を実施した。すなわち, 外観の観察, 秤量, あらさ, かたさおよび検鏡試験などである。ここでは主として

秤量および検鏡結果について述べる。かたさおよび機械的性質の変化は脱炭現象と関係が深いのであらためて討議したい。

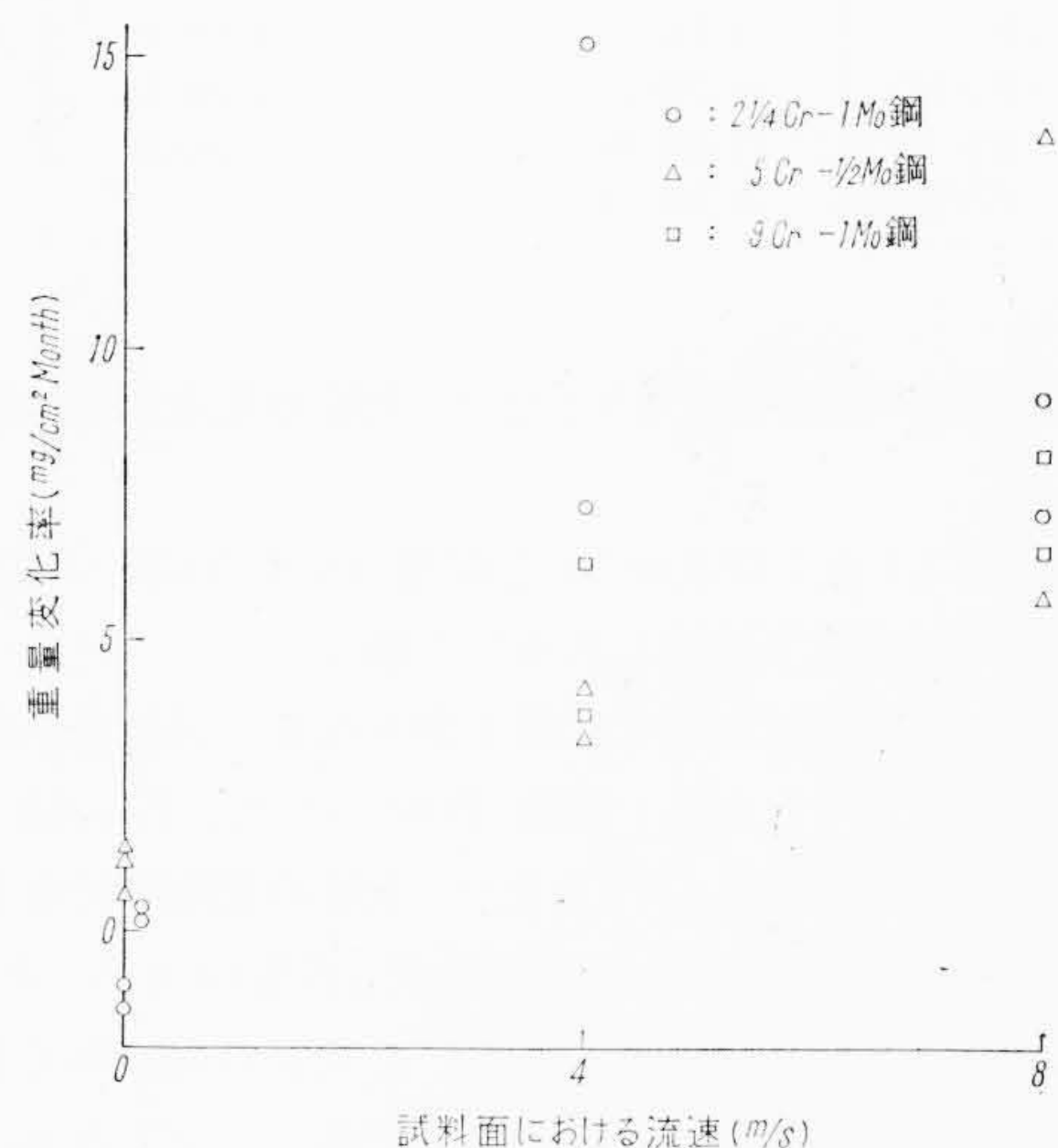
5.1 重量変化

5.1.1 焼鈍鋼の場合

動的試験において腐食量はNa流速によってかなり影響されることは予想された。静的試験部における流速はほとんど零なることを確かめたので, ここに入れた試験片の流速は0m/sとした。第12図は流速(m/s)を横軸にとり重量変化率(mg/cm², Month)を縦軸にとってプロットしたものである。この図から流速による重量変化率が大いことは一応認められるが各鋼種による差はわからない。そこでこれらの関係を明らかにするために⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾分散分析法による有意差検定を試みた。以下にその結果を示す。

(1) 流速(0, 4および8m/s)と鋼種(2CRおよび5CR)の二元配置(繰返しある)の場合

測定値を整理すれば第3表のようになる。これから分散分析表を求めれば第4表が得られる。鋼種(B)については $F_{OB} = 2.44 < F_{12}^2(5\%) = 4.75$ (F分析表より)となり5%の危険率でも有意差がない。一方, 流速(V)については $F_{OV} = 19.06 > F_{12}^2$



第12図 三鋼種の流速による重量変化率

第3表 整理された測定値(その1)

		流 速 (V)			行 和	行 単 位
		V ₀	V ₄	V ₈		
鋼 種 (B)	B ₁	4.0	63.6	85.6	515.6	9
	(2CR)	4.3	83.1	95.3		
	小 計	3.3	105.0	71.4		
	小 計	11.6	251.7	252.3		
	B ₂	16.5	25.8	55.9	372.6	9
	(5CR)	13.4	21.7	60.3		
	小 計	7.5	34.0	137.5		
	小 計	37.4	81.5	253.7		
列 和		49.0	333.2	506.0		T=888.2
列 単 位		6	6	6		N=18

流速: V₀=0 V₄=4 V₈=8m/s
鋼種: B₁=2CR B₂=5CR

第4表 分散分析表 (その1)

要 因	変 動	自 由 度	不 偏 分 散	分 散 比
鋼 種 (B)	1,136.06	1	1,136.06	2.44
流 速 (V)	17,748.81	2	8,874.41	19.06
交 互 作 用 (B×V)	3,803.24	2	1,901.62	4.08
残 差 (E)	5,588.27	12	465.69	
全 変 動 (BVR)	28,276.38	17		

第2表 供試材の化学組成および熱処理

鋼 種	元 素	C	Si	Mn	Cr	Mo	熱 処 理	略 号
2¼Cr-1Mo		0.16	0.48	0.60	2.22	1.16	900℃(1h)空冷後 700℃(5h)焼戻し	2CR
5Cr-½Mo		0.17	0.50	0.64	5.15	0.57	950℃(1h)空冷後 750℃(5h)焼戻し	5CR
9Cr-1Mo		0.16	0.60	0.64	9.03	1.18	970℃(1h)空冷後 770℃(5h)焼戻し	9CR

第 5 表 整理された測定値(その 2)

K = 2 $l = 3$		流 速 (V)		行 和	行 单 位
		V ₄	V ₈		
鋼 種 (B)	B ₁ (2 C R) 小 計	63.6	85.6	504.0	6
		83.1	95.3		
		105.0	71.4		
		251.7	252.3		
	B ₂ (5 C R) 小 計	25.8	55.9	335.2	6
		21.7	60.3		
		34.0	137.5		
		81.5	253.7		
	B ₃ (9 C R) 小 計	26.5	81.2	316.2	6
		14.1	57.4		
		64.1	72.9		
		104.7	211.5		
列 和		437.9	717.5		T = 1,155.4
列 单 位		9	9		N = 18

流速: V₄=4 V₈=8 m/s
鋼種: B₁=2 CR B₂=5 CR B₃=9 CR

第 6 表 分散分析表 (その 2)

要 因	変 動	自由度	不 偏 分 散	分 散 位
鋼 種 (B)	3,947.04	2	1,973.52	3.34
流 速 (V)	4,727.75	1	4,727.75	8.01
交 互 作 用 (B×V)	10,790.28	2	5,395.14	9.14
残 差 (E)	7,085.65	12	590.47	
全 変 動 (BVR)	20,550.72	17		

(1%)≒6.93(F分析表より)となり、1%の危険率で有意差が認められる。

(2) 流速(4および8 m/s)と鋼種(2 CR, 5 CR および 9 CR)の二元配置(繰返しある)の場合

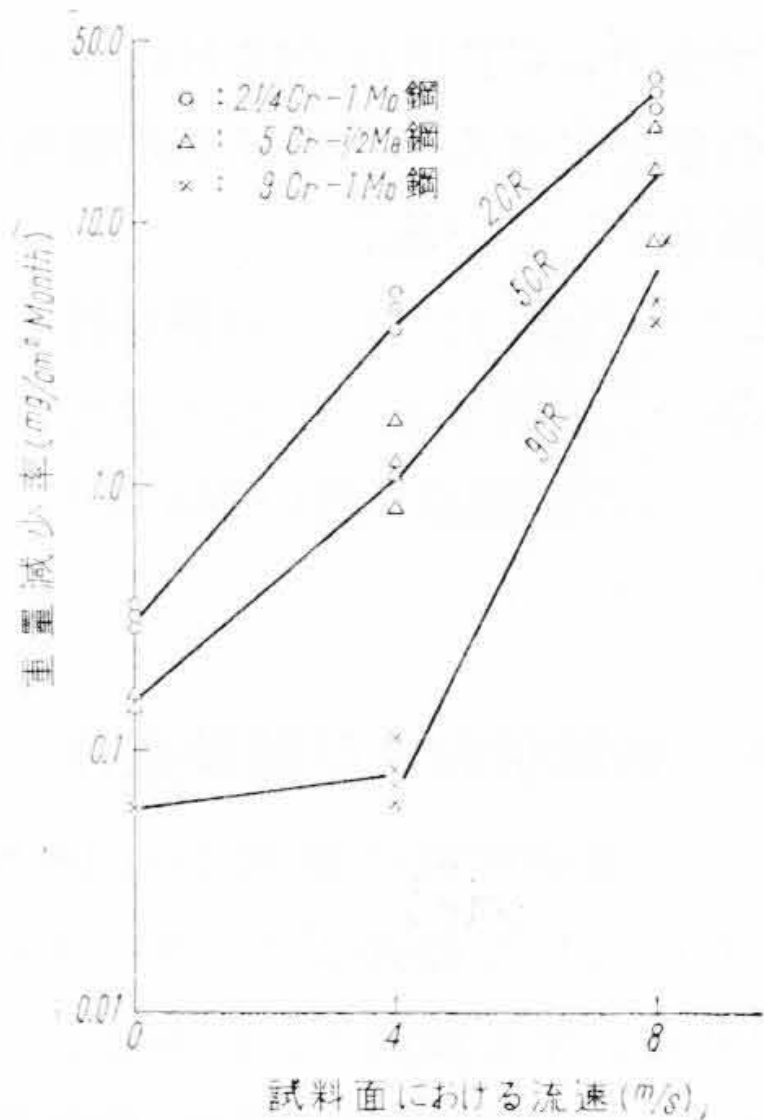
整理された測定値を示せば第 5 表となる。分散分析表をつくれれば第 6 表のようになる。鋼種(B)について、 $F_{OB}=3.34 < F^2_{.12}$ (5%)≒3.89(F分析表より)となり、5%の危険率でも有意差がない。また、流速(V)については $F'_{12}(5%) \equiv 4.75 < F_{OV}=8.01 < F'_{12}(1%) \equiv 9.33$ (F分析表より)で 5%の危険率で有意である。以上の結果からつぎのように考えることができる。腐食減量に及ぼす影響は鋼種については 5%の危険率でも有意とはいえないが、流速については 5%の危険率で明らかに有意差があることが確かめられた。

5.1.2 調質鋼の場合

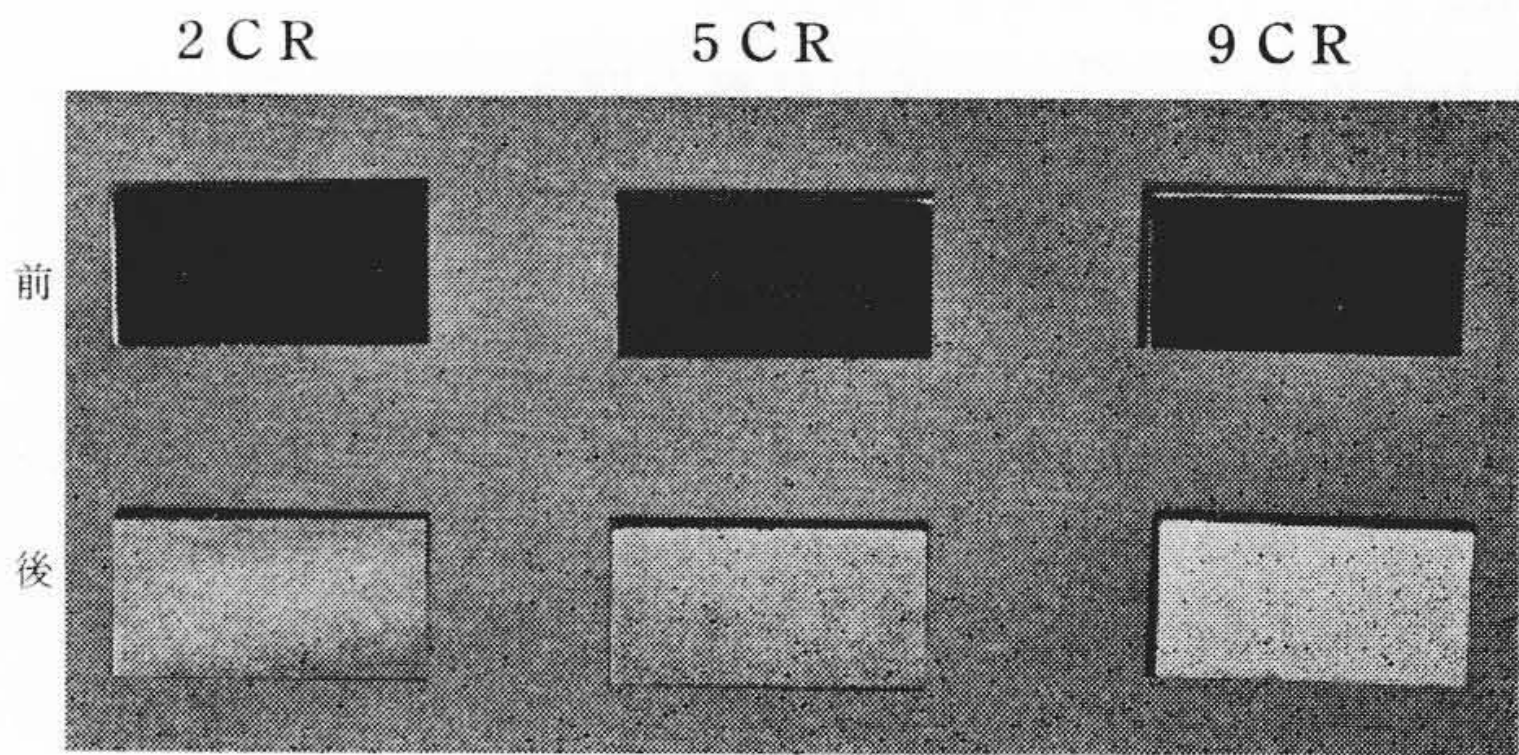
試験条件が異なるので便宜上、重量変化率(mg/cm²・Month)の単位で表わした。すなわち、横軸には試料表面の流速をとり、縦軸に重量減少率(mg/cm²・Month)を対数目盛でとってプロットしたのが第 13 図である(流速については、さらに 2~6 m/s を観測する必要がある)。

図において 2 CR はほとんど直線的な関係を示す。すなわち、静的試験(流速はほとんど 0 m/s)に比して 4 m/s の場合はこの約 10 倍の減量を、また 8 m/s の場合はさらに 10 倍の減量を示している。これにより 2 CR では流速の影響がきわめて大きくきくことがわかる。5 CR もこれに近い傾向を示すが 9 CR の場合はこの関係がなくなる。9 CR では流速 4 m/s までは流速の影響は少ないが 8 m/s 以上になるとその影響が著しくなることを示している。

焼鈍鋼と調質鋼を比べると重量変化率の絶対値に差がないようであるが調質鋼においては各鋼種間の差は歴然としている。これは調質により各鋼の組織が均一となるため秤量値のバラツキがなくなったためと考えられる。

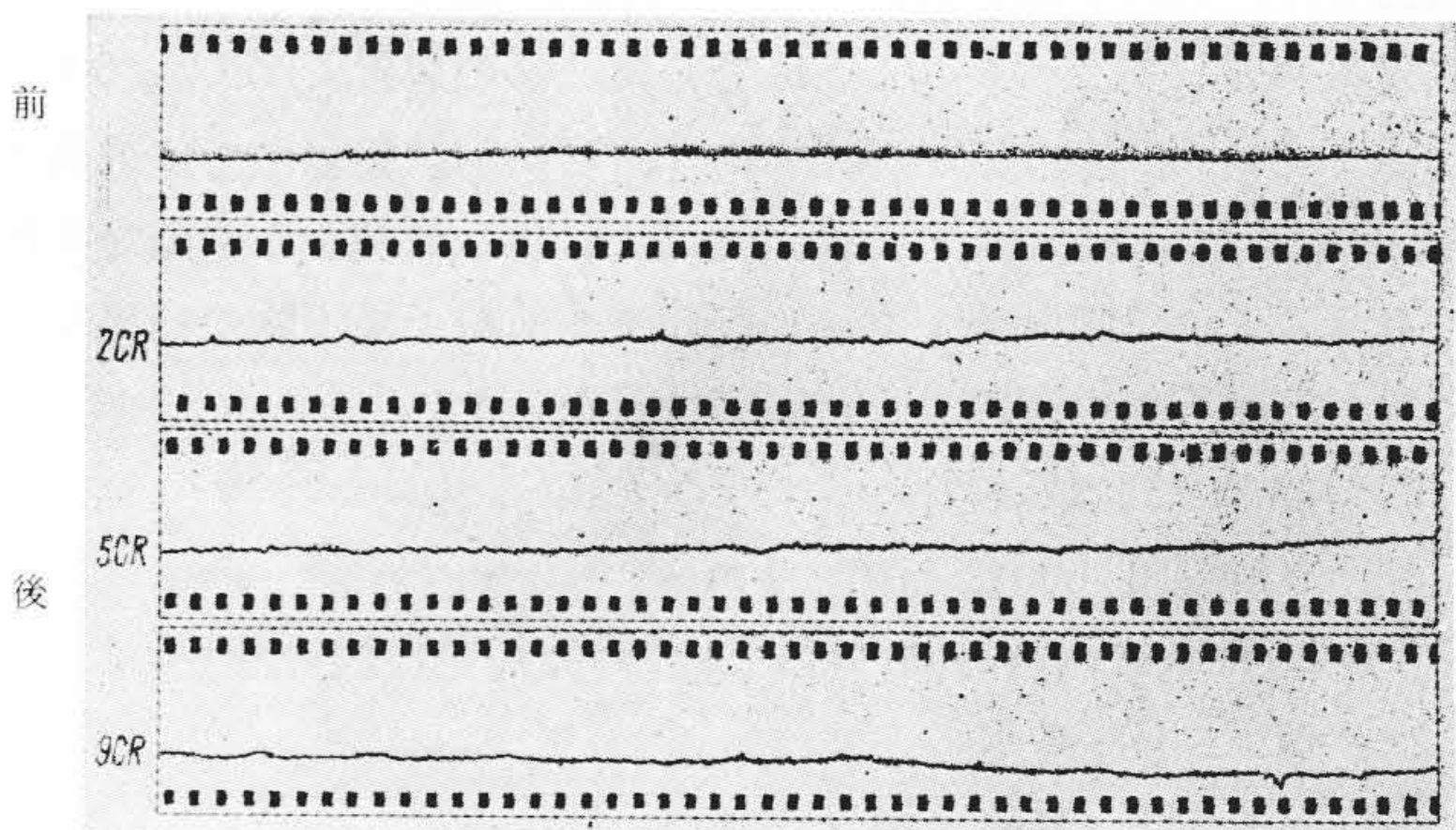


第 13 図 各鋼種の流速による重量変化率



(流速 4 m/s, 600°C, 720 時間の場合)

第 14 図 試験前後の試料外観変化の一例



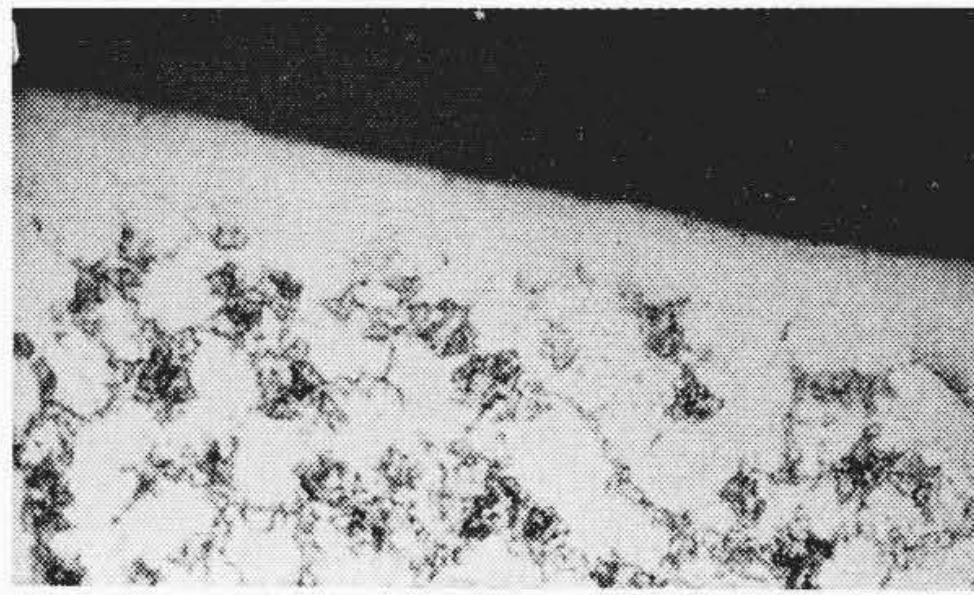
(流速 4 m/s, 600°C, 720 時間の場合)

第 15 図 試験前後の表面粗さの比較

5.2 試料の外観およびあらさ変化

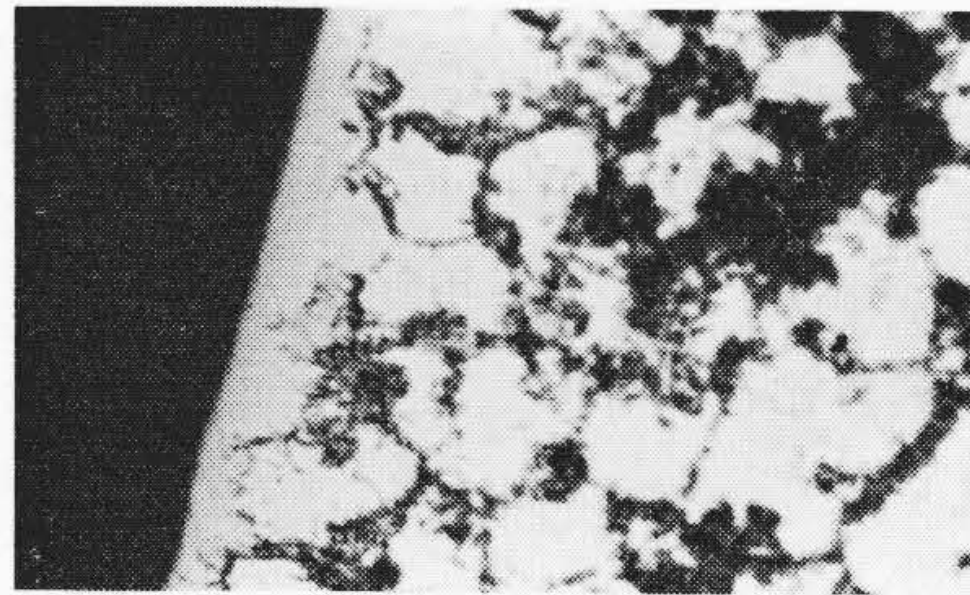
浸漬試験後の試料はホルダから取りはずし慎重に洗浄乾燥した。ここに一例として流速 4 m/s で 720 時間試験後の場合につき説明する。

浸漬前および後の動的腐食試験片の外観写真を示したのが第 14 図である。光線の採り方により写真にすると白黒が逆に見える場合があり、この写真の色だけでは判断しにくい。試験前は各試料とも鏡面のような金属光沢をもっているが、浸漬後には表面状況がかなり変化することはわかる。すなわち、2 CR は灰白色に変化し、5 CR および 9 CR では変化は次第にうすれている。これはこれら鋼中に含まれる Cr および Mo などの特殊元素量に関係があり、とくにこれらが鋼中の C と化合した炭化物の挙動に左右されるものと考えられる。さらに鋼表面のあらさによっても変化する。試験前後における表面あらさは大越式表面あらさ検査機によって測定した。第 15 図は試料表面を流速に直角方向に針を動かし、触針法によってオシロペーパー上にペン書きさせた結果を比較のためにならべた写真である。すなわち、第一段は試験前のもの、第二~四段はそれぞれ



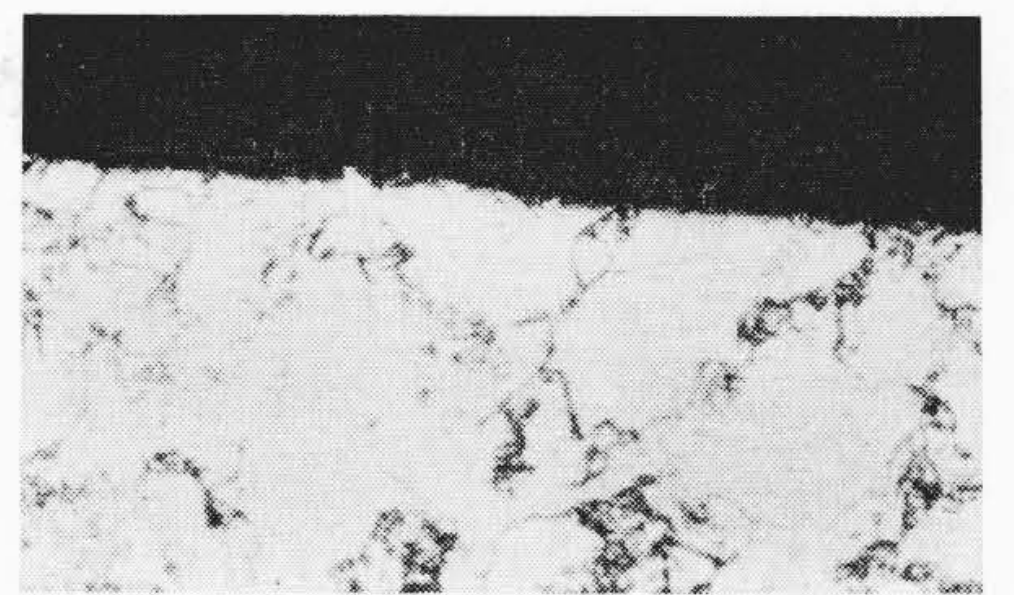
(0 m/s, 600°C, 150 時間)

第 16 図 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の組織



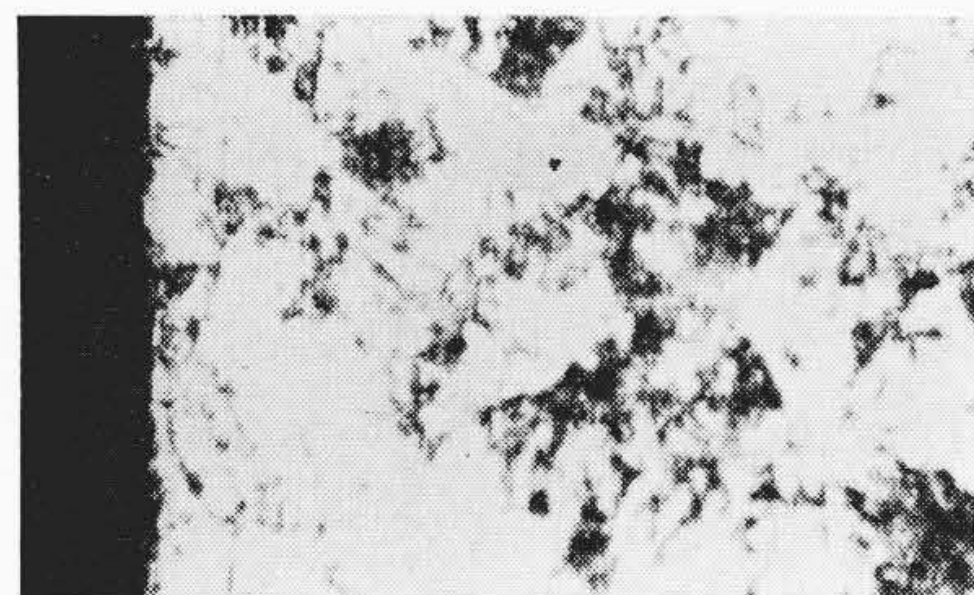
(0 m/s, 600°C, 150 時間)

第 17 図 5 Cr-1/2 Mo 鋼の組織



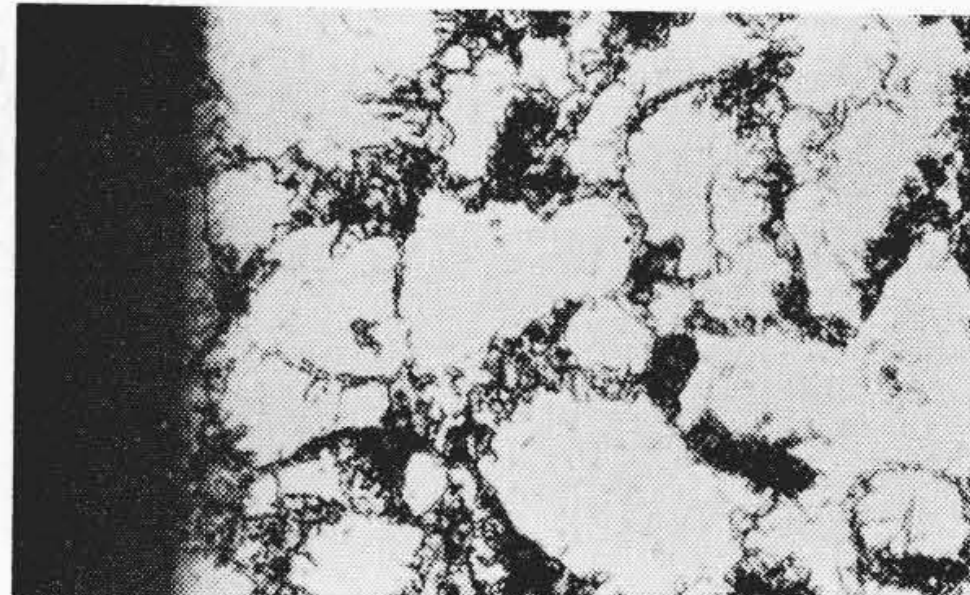
(4 m/s, 600°C, 150 時間)

第 18 図 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の組織



(4 m/s, 600°C, 150 時間)

第 19 図 5 Cr-1/2 Mo 鋼の組織



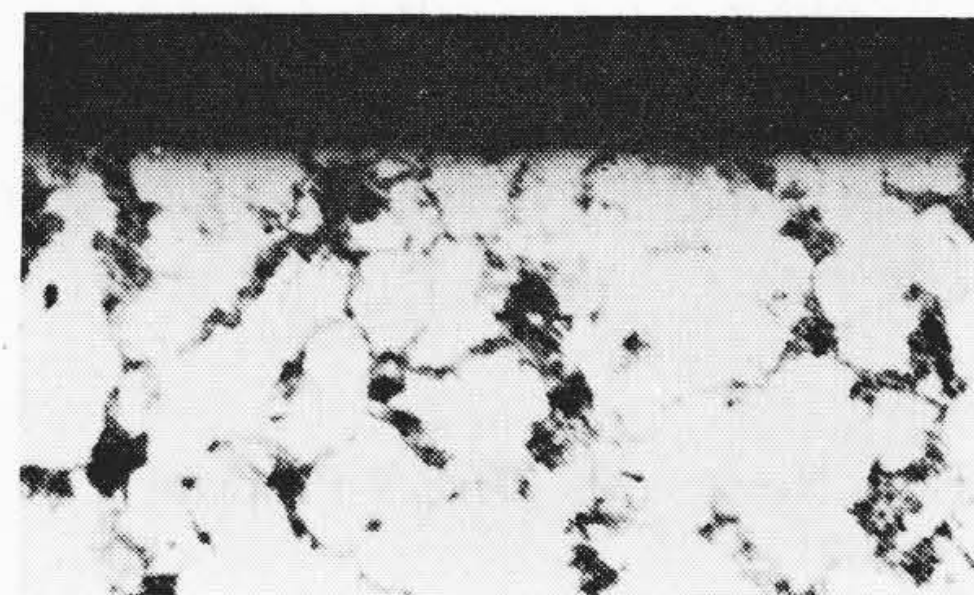
(4 m/s, 600°C, 150 時間)

第 20 図 9 Cr-1 Mo 鋼の組織



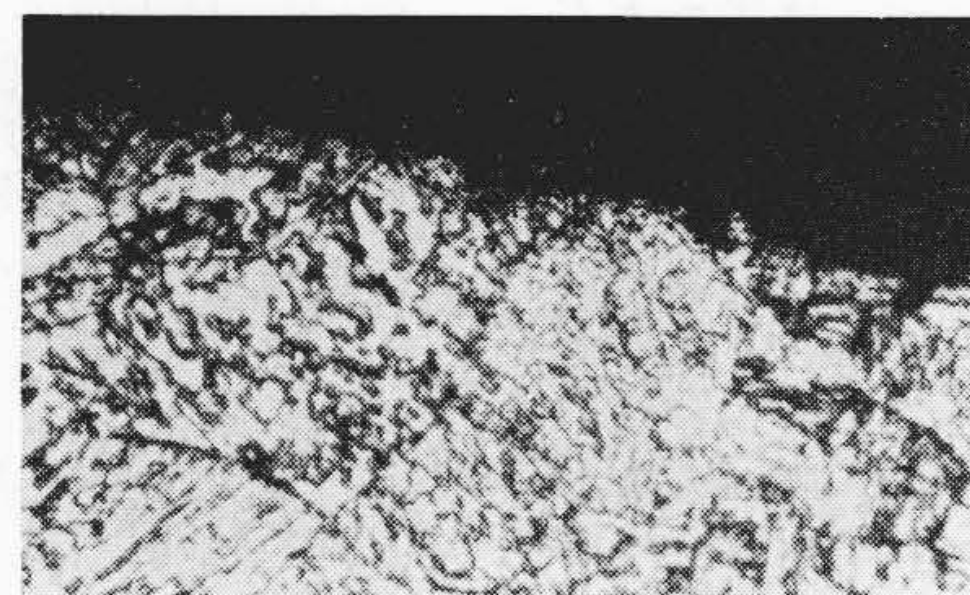
(8 m/s, 600°C, 150 時間)

第 21 図 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の組織

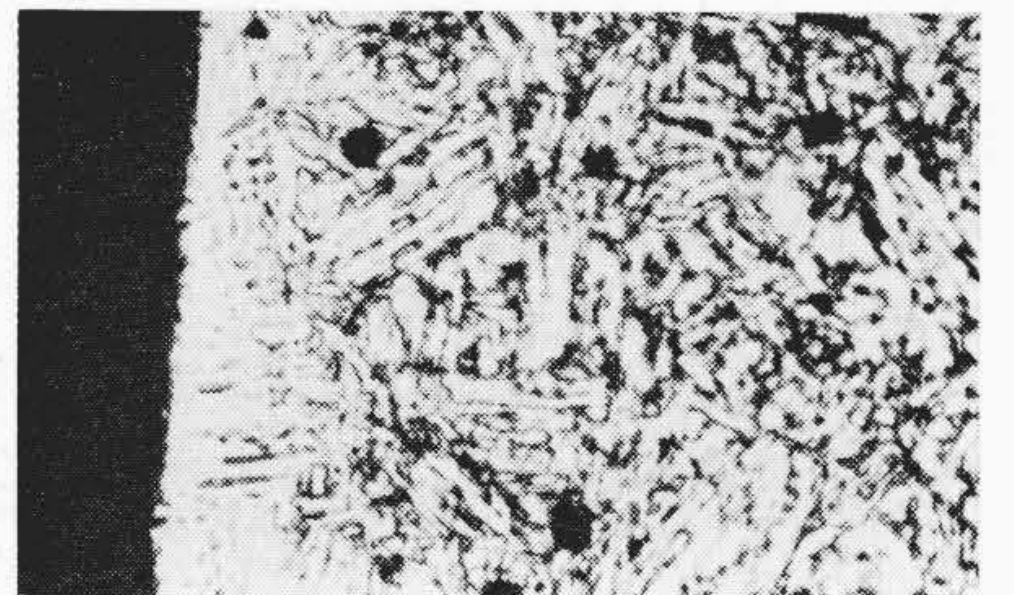


(8 m/s, 600°C, 150 時間)

第 22 図 9 Cr-1 Mo 鋼の組織



(8 m/s, 600°C, 63 時間)

第 23 図 9 Cr-1 Mo 鋼の組織
(調質)

(4 m/s, 600°C, 720 時間)

第 24 図 9 Cr-1 Mo 鋼の組織
(調質)

2 CR~9 CR²の試験後の代表的な測定例である。この図ではあまり差がないようにみられるが、第 14 図の外観写真と同様に全体的に見れば 2 CR が最も荒れが激しく 5 CR および 9 CR の順にやわらいでいることが認められた。以上は一つの試験条件についてであるが、いずれの場合も大体同様な傾向が得られた。

5.3 顕微鏡組織の変化

まず、焼鈍鋼における静的試験(流速 0 m/s)の場合について述べる。第 16 図および第 17 図はそれぞれ 2 CR (×100) および 5 CR (×100) の組織である。2 CR は明らかに脱炭層が認められ、5 CR も脱炭の傾向を示している。つぎに流速 4 m/s の例をあげる。第 18 図は 2 CR (×100) であり、第 19 図および第 20 図はそれぞれ 5 CR (×200) および 9 CR (×150) の接触面の組織である。2 CR は脱炭層があり、5 CR は表面に荒れが認められ、9 CR はほとんど変化がなく、ほとんど均一組織を示し、また表面荒れも認められない。さらに流速 8 m/s の場合を調べる。第 21 図は 2 CR (×100) であるが脱炭層および荒れが認められる。第 22 図は 9 CR (×150) であるが組織は均一であり、脱炭層はなくまた表面荒れも認められない。以上代表的な数例について述べたがこれらをまとめて観察すればつぎのようになる。

- (1) かたさの小さい 2 CR は高流速下では表面の荒れが著しい。
- (2) 流速がほとんど零の場合は 2 CR の NaK 接触面は脱炭されやすい。
- (3) 9 CR はかたさが大きいために流速による表面荒れは認められずまた組織的にも安定している。

この場合の重量変化の主因が流速によることは以上述べた実験的事実から推察できるが、流速がほとんどない場合の表面脱炭現象お

よびかたさの変化についてはさらに検討を要する。

つぎに調質鋼の代表的な二、三の例について述べる。第 23 図は流速 8 m/s, 63 時間浸漬後の 9 CR の組織である。また、第 24 図は 4 m/s, 720 時間浸漬後の 9 CR である。2 CR などに比べれば変化は少ないが、それでも第 24 図の NaK 接触面は脱炭している。また第 23 図では接触面で表面荒れの状況が観察される。すなわち、流速の影響が大きいことを物語っている。

以上の結果に対して考察を加える。まず、熱処理の影響であるが、常識的に考えて熱処理を施した試料は引張り強さ、降伏応力およびかたさは若干低下するが靱性(じんせい)は増加して構造材料としてはすぐれた性質をもつことになる。したがって、これらの性質をすべてにわたって比較検討すれば、当然、調質鋼のほうがすぐれた性質を有することは実証されるはずであるが、現在実施中の実験においては流速による腐食侵食についてのみ検討しているのでこれらの機械試験についてはここでは論じない。以上の機械的諸性質は主として、Cr および Mo などの特殊元素による炭化物の挙動に依存するため NaK 接触面における表面現象には直接的な影響は少ないと考えることができる。しかし、接触面における脱炭現象についてはこれらの炭化物あるいは炭素の挙動が大いに重要となってくる(これについては別に論ずる)。

重量減少率についてはさきにも述べたように調質鋼と焼鈍鋼ではほとんど差がないことがわかった。また、ポット形静的試験における重量変化率の値も 0.1~1 (mg/cm²・Month) 程度であり、今回の試験結果はこれとあまり差がないことが確かめられた。また、調質鋼においては各鋼種間の差がかなりはっきりとしている。すなわち、各流速に対してすべての場合において、2 CR はその減量が最

も大きく、5CRがこれにつき9CRが最も小さいことが確認された。これは熱処理により組織が均一化されたことおよび表面かたさの差によるものと考えられる。要するにNa(NaK)の流速による影響は最も大きいことがすべての試験結果によって実証された。

他方、Na中に浸漬した鋼の腐食減量と鋼中の炭素含有量との間に一定の関係があることをわれわれは認めている。したがって、今回の実験を通して表面脱炭と腐食減量およびNa(NaK)流速の間にこのような関係があると推論できる。すなわち、流速8m/sまたはこれ以上の場合の重量減少の主因はNaの流動による機械的な腐食であり、低流速または静的な場合におけるそれは酸素、炭素そのほか元素の関与する化学反応による腐食である。したがって、静的状態においては化学的腐食のみを考慮すればよいが、高流速の場合は機械的な腐食にさらに化学的腐食が加味されるものと見るべきである。

今回の結果だけからでは最終的な結論は得られないが、Na(NaK)の流速による腐食量はかなり大きいことが確認された。腐食量だけを考えれば高クロム鋼に適宜熱処理を施した材料を使用することがよいが、そのほかの機械性および経済性なども十分考慮せねばならない。われわれの今回の試験目的はあくまでも腐食量の検討であったが、今後は上記の諸条件を勘案したうえ最も低廉で、性能のすぐれた材料の開発に進みたいと考えている。

6. 結 言

高温高流速Na(NaK)による構造材料の腐食現象を調べるためにまず、試験装置をつくり、これを使って諸特性を知るための予備実験を行なった。さらにこれらのデータを基として二、三の試験条件で腐食試験を実施した。Na系液体金属に対して毎秒数メートル以上の高流速腐食試験が行なわれた例は少ないので今後さらに系統的な試験を続行せねばならない。以上の結果を要約するとつぎのようになる。

- (1) われわれの体験を基にして設計および製作した高流速腐食試験装置は所期の試験条件を満足するものであることが確認された。
- (2) 調質鋼においては鋼種間の差が顕著である。
- (3) 供試材料の重量減少はNa(NaK)の流速によって著しい影響をうける。
- (4) 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼は減量が著しいが、流速が大きい場合は

表面層から侵食され、また静止状態では表面層の脱炭が認められる。

- (5) とくに 2 1/4 Cr-1 Mo 鋼の検鏡およびかたさ試験ではNa(NaK)との接触面付近で脱炭層を認めるが、この機構および減量との関係についてはさらに検討を要する(脱炭については別に検討中である)。
- (6) 予備実験、腐食試験を通して各部の機能を知るとともに回路の操作技術を習得することができた。
- (7) とくに、高融点のゆえにその円滑な運転が心配されていたNaについても慎重な予備実験の結果、不安なく運転できることが確認された。

以上の高流速腐食試験を通して、高温高流速のNaK(Na)による腐食機構の一端を知ることができたことは今後の研究に一指針を与えたことになる。またこの試験のもう一つの目的である、Na技術の習得に大きく一步踏み出すことができたことは大いなる収穫と考えられる。

この研究は日本原子力研究所と共同で行なっているものの一部であり、日本原子力研究所川崎次長、上田室長はじめ野村、古川氏等関係各位に対し厚くお礼申し上げる。この装置の計画は河原誠二氏(現在、日本原子力研究所へ出向中)により行なわれたものであることを記して深謝の意を表する。なお、試験研究の遂行に当たっては日立製作所日立研究所西堀部長および斉藤主任研究員から終始ご指導を賜った。衷心感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) V. S. Lyashenko & B. A. Nevzorov: IAEA Preprint CN-13/41 (in Russian) (1962)
- (2) F. J. Van Anteverpen: "Liquid Metals Technology", Part I., (1957, A. I. Ch. E.)
- (3) 厚母栄夫: 日本原子力学会誌, 4, 281 (昭37-5)
- (4) R. N. Lyon et al: Liquid Metals Handbook., (1955, USAEC)
- (5) 金属ナトリウム協会編: 金属ナトリウム (昭37, 南江堂)
- (6) W. C. Hayes et al: NAA-SR-2973 (1958)
- (7) W. C. Hayes et al: NAA-SR-4832 (1960)
- (8) 伝熱工学資料調査分科会: 伝熱工学資料 (1959, 日本機械学会)
- (9) 日本機械学会編: 機械工学便覧 (昭30, 日本機械学会)
- (10) 田口玄一: 実験計画法(上) (昭32, 丸善)
- (11) 奥津 恭: 推計学の問題とその解き方 (昭26, 共立出版)



登録新案第714472号

新 案 の 紹 介



大 岡 宏・大 西 和 夫
大 島 修 三

油 切 り 装 置 を 有 す る 電 動 機

マイクロモータのように整流子を有する超小形の電動機に於いては微弱な圧力で刷子が整流子に押圧されて整流作用を行っているので整流子の摺動面が何らかの原因で汚損すると整流が阻害されアークが発生し、性能が悪化するばかりでなく刷子及び整流子の寿命が著るしく短縮される。整流子表面の汚損の最大の原因は軸受けより飛散する油であって、この油は空中を飛散し或いは軸を伝って拡散し整流子の表面や刷子に付着するものである。油は微量であってもこの種超小型電動機の整流子では整流に与える影響が大きいのでこの油は完全に防止しなければならない。軸受けから出る油を防止するためには油切りを回転軸に嵌めて油の移動を阻止することが行なわれているが超小型電動機に於いてはその特殊性からシャフト及び整流子の外径と関連して油切りの径を決定することが重要である。

本考案は、整流子外径(D_c)に対する油切り外径(D_A)の比 $\sigma = \frac{D_A}{D_c}$

を2.5以上とした。そしてこの油切り1を整流子2と軸受け3間の回転軸4に嵌めることによって軸受け3から整流子2に行く油を完全に遮断した。

(仙 波)

