

電流滴定法によるボイラ給水中の溶解酸素定量法

佐 藤 信 次*

Determination of Dissolved Oxygen in Boiler Feed Water by Amperometric Titration

By Shinji Satō
Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

For the quantitative analysis of minute quantity of oxygen dissolved in boiler feed water the writer, applying Schwartz Gurney Method, freed iodine equivalent to that oxygen, then determined the quantity of iodine by amperometric titration. In the course of this determination process, the writer tried several methods for performance test for deaerator and found one, as introduced herein, which was completed on the study of measuring conditions such as the current-voltage characteristics, the concentration of sulphuric acid and potassium iodide, the stirring time and speed, etc. Using this method, the writer carried out the performance test of the deaerators Hitachi delivered to the Ushioda Thermal Power Station, Tokyo Electric Power Co., and Ube Soda Manufacturing Co. which ended in both cases in success.

Since the titration end point is extremely precise, its utilization is expected to be very helpful in the feed water control as well.

〔I〕 緒 言

火力発電所におけるボイラは急速に高温、高圧化されてきたので、これにともない機器保全の見地から給水中の溶解酸素量の制限は次第に厳密さを加えて来た。日立製作所ではすでに東京電力鶴見第二発電所 66,000 kW 用 260t 脱気器を始め数箇の大型脱気器を製作したが、本器の脱気性能は給水中の残留酸素量 0.005 cc/l 以下が保証されている。かくのごとき機器の性能確認および運転管理の正鵠を期するには、微量の溶解酸素定量を常に実測する必要があり、その定量法を確立することが必要である。欧米では比較的早くから微量酸素測定に関する研究が行われ、最近種々の方法が発表されているが、本邦においてはいまだ寡聞にして報文を見出しえない。

従来ボイラ給水中の溶解酸素の定量は一般にウインクラ法を改良したシュワルツガーネ法(Schwartz Gurney Method)が採用され、その原理は密閉容器中に採取した検水にウインクラ試薬を加えて溶解酸素を固定し、ヨウ化カリウムとの反応によつてヨウ素を遊離させる。このヨウ素は溶解酸素に当量であるからこれを定量すれば

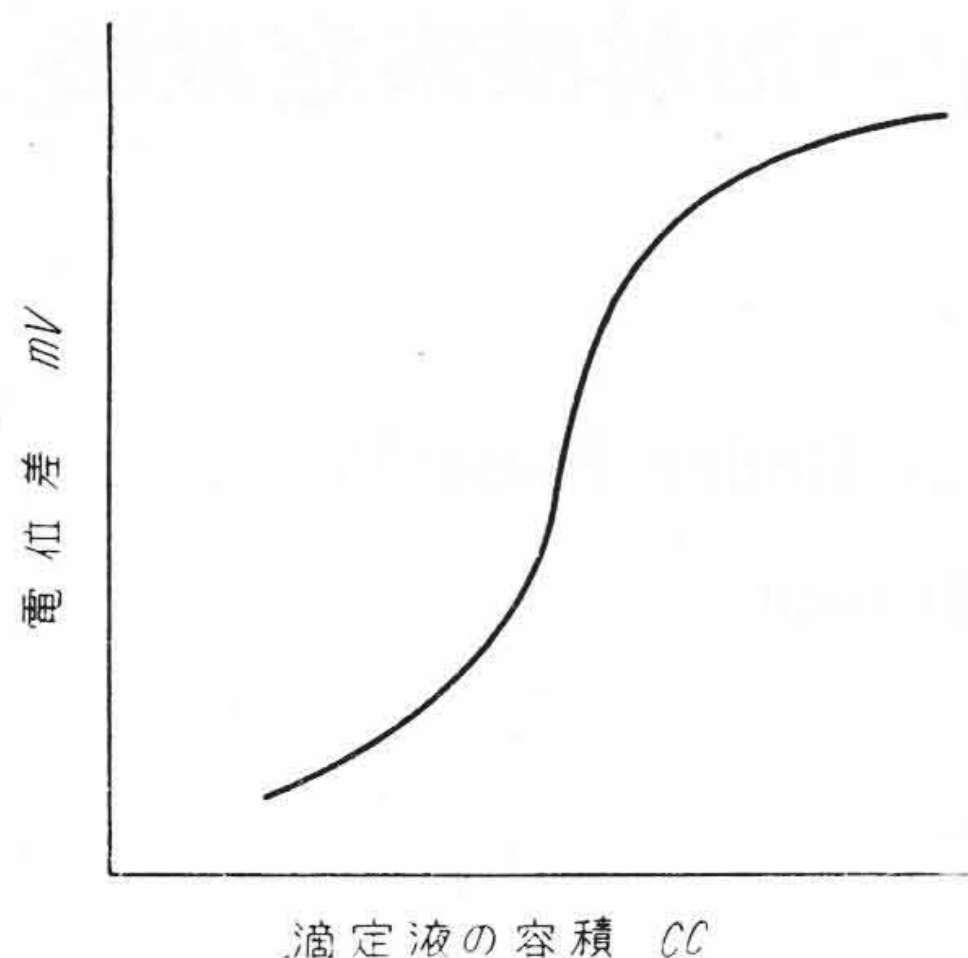
酸素量が求められる。

現在行われているこれらヨウ素の定量法を大別すると

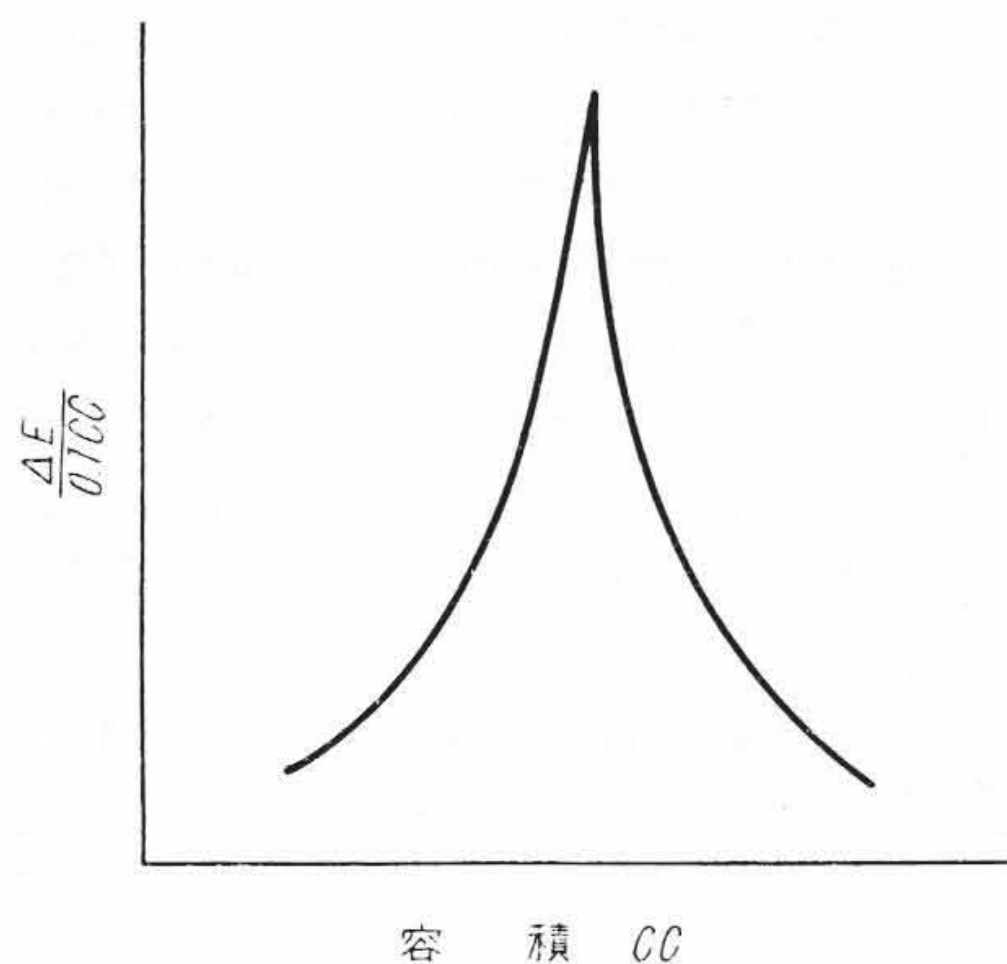
- (1) 澱粉を指示薬とする容量法
- (2) 吸光光度法^{(1)~(2)}
- (3) 電気滴定による容量法

などがある。(1)は最も簡単でしかも迅速に滴定できる方法であるが、酸素量が 0.1 cc/l 以下の場合には滴定終点が不正確で微量の測定には適しない。(2)は少量の試料で定量ができる利点はあるが、水質による妨害物質の影響などがあるので操作が煩雑になるばかりでなく、測定装置が複雑なため持ち運びに不便な点も多い。給水中の微量の酸素定量法として広く欧米で実用されているのは(3)の電気滴定法で、このうちには電位差法と分極終点法(Polarization End-Point)、一名死止終点法(Dead-Stop End-Point)ともいわれる方法がある。前者は ASTM⁽³⁾に採用され、滴定曲線から反応終点を求める方法である。しかし溶解酸素量 0.01 cc/l 程度の給水分分析に適用する場合は滴定曲線の勾配がゆるやかで、反応終点に相当する最大傾斜点を読みとることが困難である。したがって滴定曲線からさらに滴定液の容積に対して単位容積あたりの電位差変化をプロットして、示差

* 日立製作所日立研究所



第1図 電位差滴定曲線
Fig.1. Potentiometric Titration Curve

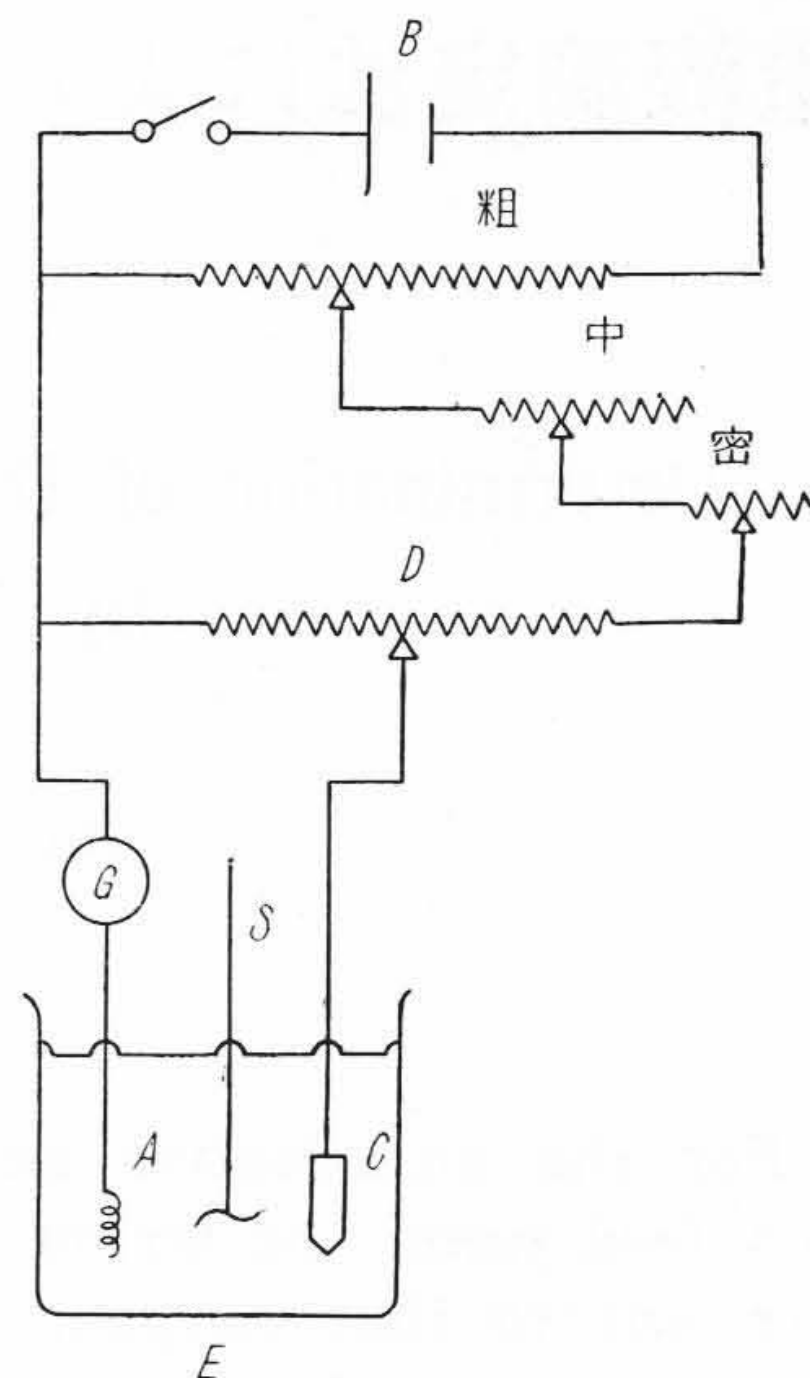


第2図 電位差滴定の示差曲線
Fig.2. Differential Plot Data of Potentiometric Titration

曲線を求めなければならない不便がある。(第1図および第2図参照) 後者による滴定終点は、電解の分極反応に基づいて流れる両極間の電流変化が直ちに検流計に指示されるから迅速に当量点がえられる利点がある。しかし両者ともに一定の加電圧の下で行われるため電池、電位差計などを必要とし装置、操作が複雑になるきらいがある。

一方現地において脱気器の性能試験を行うためには、装置、操作ができるだけ簡易で、持ち運びが容易なことで、溶解酸素量 0.01 cc/l 以下の給水分析に対しては、少なくとも ± 0.001 cc/l 以下の精度がえられるような方法を選ばなければならない。

最近 G. Nowles & G. F. Lowden⁽⁴⁾ らは溶解酸素定量とは無関係に、非常にうすい濃度の $I_2-Na_2S_2O_3$ 滴定法として澱粉指示薬法、死止終点法および電流滴定法の比較実験を行い、電流滴定法は最も精度がすぐれ、装置も死止終点法よりも簡単であると述べている。



B: 蓄電池 (2V) 粗, 中, 密: 可変抵抗器
D: ポテンシオメータドラム G: マイクロアンメータ
A: 白金指示電極 C: 飽和甘汞電極
E: 電解セル S: 電動攪拌器

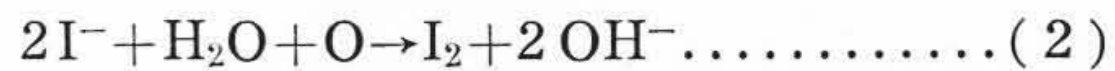
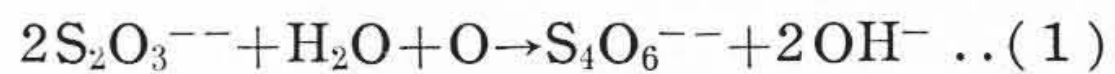
第3図 電流—電圧測定回路
Fig.3. Circuit for Obtaining Current-Voltage Curve

そこで筆者は脱気器の性能試験を行うに当り、給水中の微量酸素定量に電流滴定法を応用するため、滴定条件および精度の検討を行つたので、その経過を報告し、御批判を仰ぐ次第である。

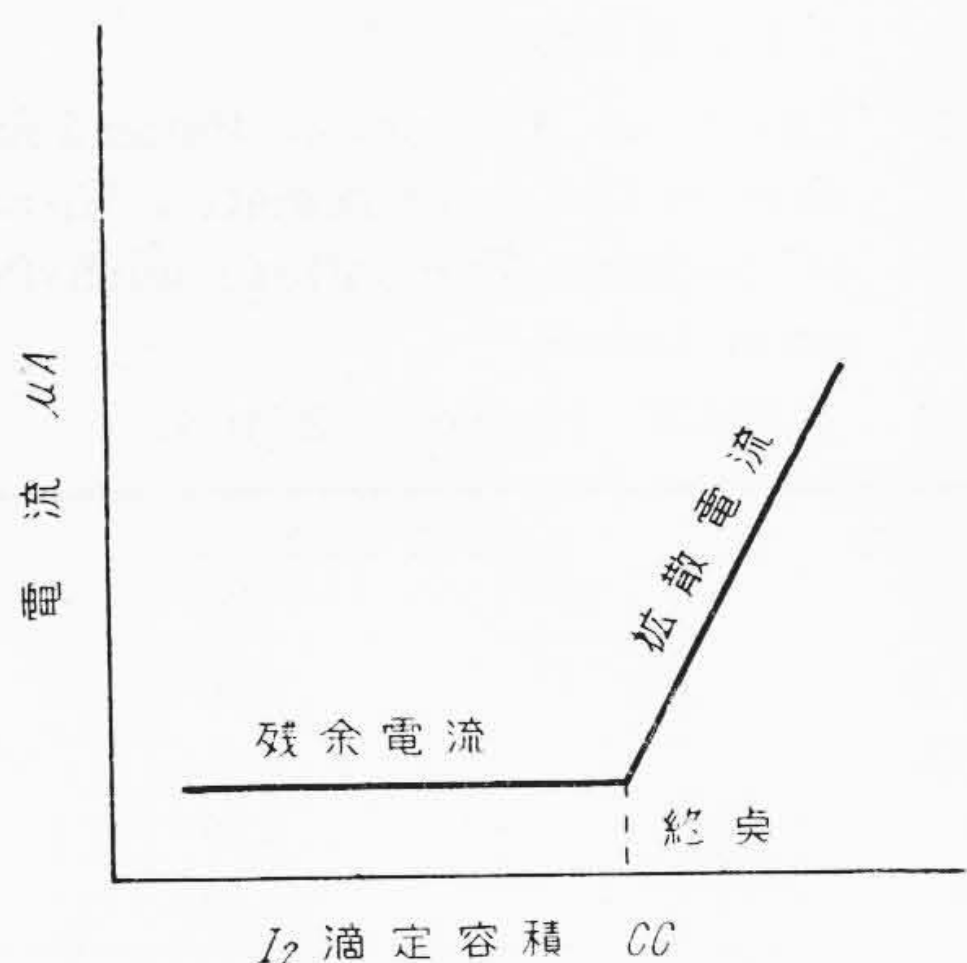
〔II〕電流滴定法の概略

電流滴定法は前述の Foulk & Bawden⁽⁵⁾ らの考案した死止終点法と理論は同一で、ここには $I_2-Na_2S_2O_3$ 滴定の実際について述べる。第3図に装置全体の回路を示す。

今電解セル(E)に硫酸およびヨウ化カリウムを含んだ $Na_2S_2O_3$ 溶液を入れ、両極間に適当な電圧を加えて I_2 溶液で滴定すると終点までは陰極においては分極を起すが、陽極は(1)(2)式に示されるように滴定中は還元剤の存在のため消極状態を持続し、電解液には僅かな残余電流 (Residual Current) が流れるだけである。しか

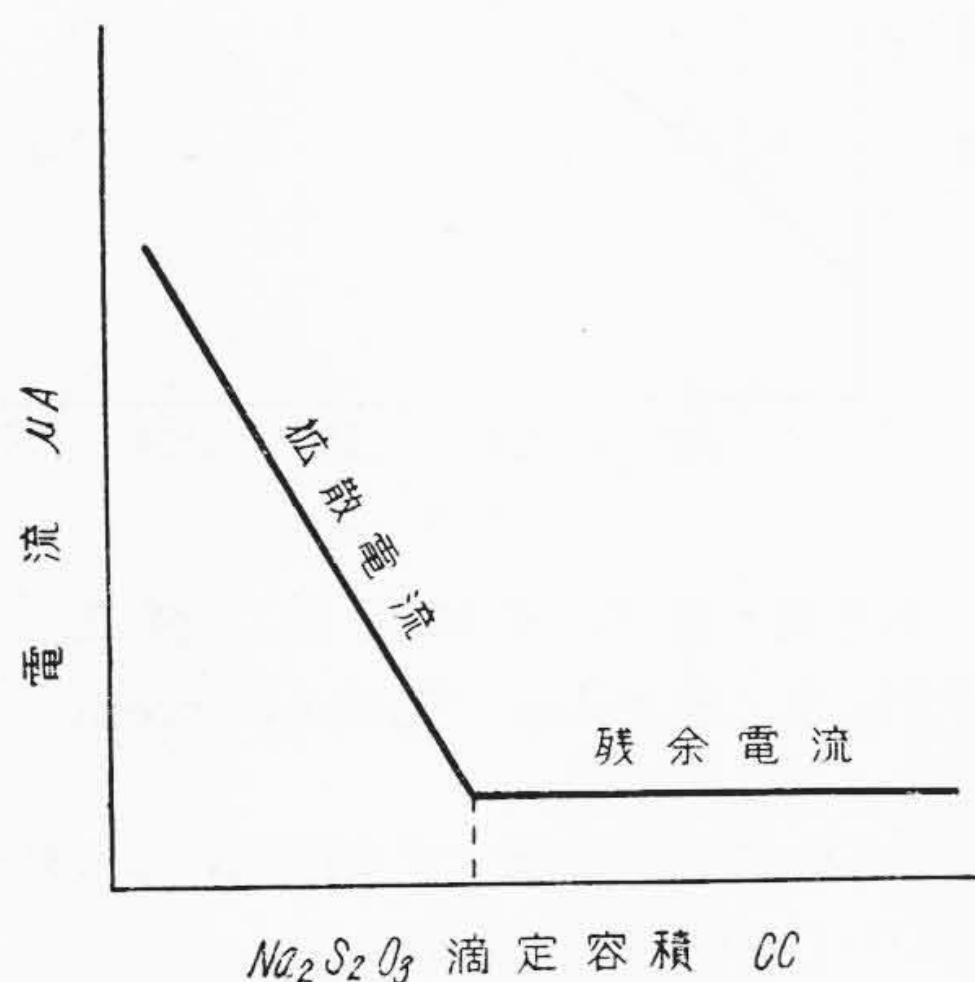


し当量点に達すれば僅かな過剰の I_2 のため陰極は消極され、拡散電流 (Diffusion Current) をうることができる。適当な加電圧のときは測定される拡散電流は滴定液の容量の函数になる。したがって残余電流と拡散電流の変化を示す2本の直線の交点が滴定終点として求められる。また逆に I_2 を $Na_2S_2O_3$ で滴定する場合は最初に



第4図 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ を I_2 で滴定した場合の電流滴定曲線

Fig. 4. Amperometric Titration of Sodium Thiosulfate with Iodine



第5図 I_2 を $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ で滴定した場合の電流滴定曲線

Fig. 5. Amperometric Titration of Iodine with Sodium Thiosulfate

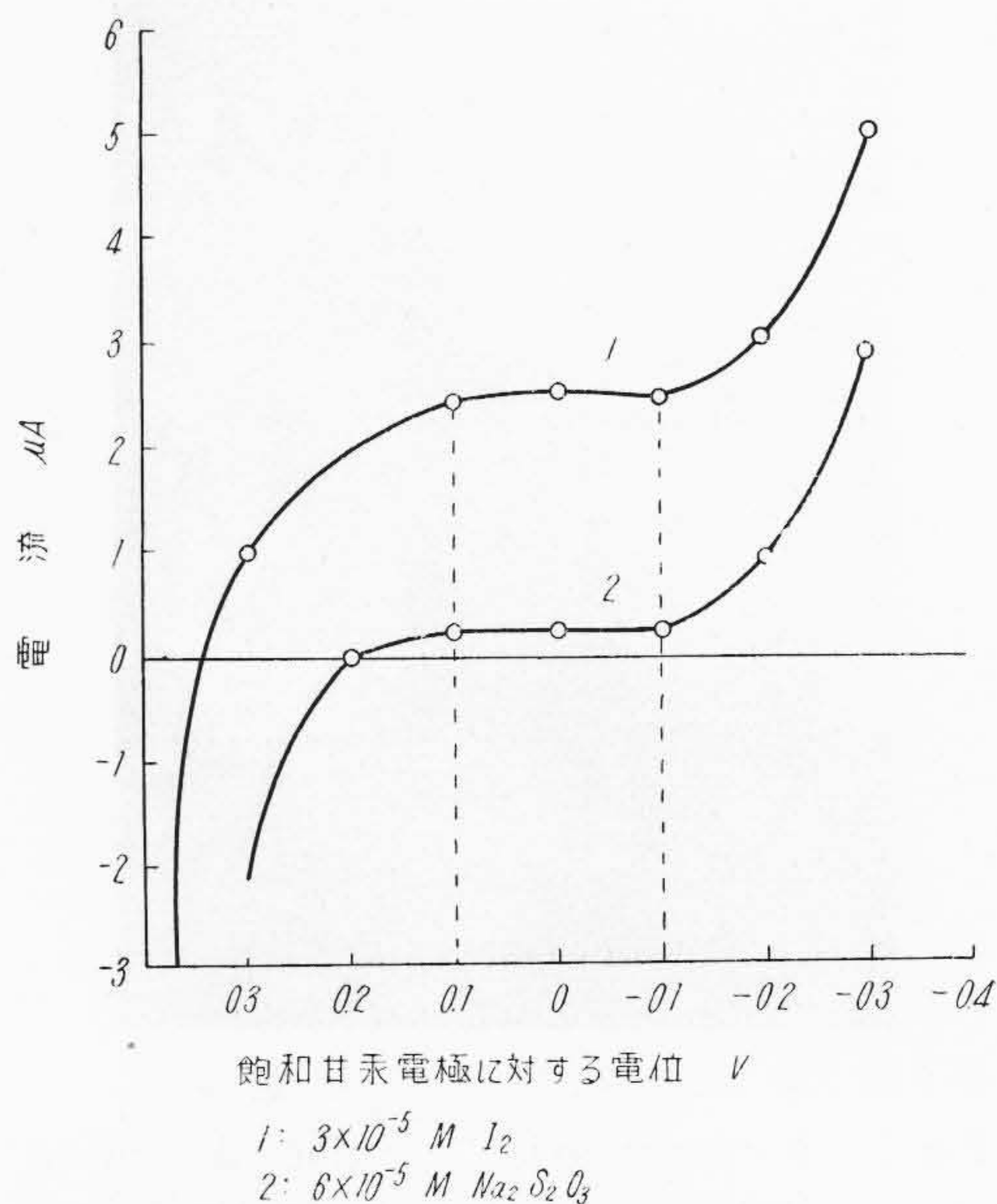
拡散電流が流れ、終点で残余電流がえられる。第4図および第5図は両者の場合の電流滴定曲線である。

〔III〕 実 験

(1) 電流—電圧特性

第4図および第5図に示す型の滴定曲線をうるためには、溶解酸素を定量する場合と同じ条件の下で電流—電圧特性を求めて、飽和甘汞電極に対する適当な加電圧を決定しなければならない。

硫酸濃度を 0.1N, ヨウ化カリウム濃度を 0.1% にしたヨウ素およびチオ硫酸ナトリウム溶液 500 cc づつを別々に電解セルに入れ、第3図の回路を用いて種々の加電圧における電流変化を求めた。第6図中 (1), (2) は I_2 および $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液のポーログラムで +0.1 ~ -0.1V の加電圧により I_2 溶液は完全に拡散電流が、



第6図 I_2 および $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液の電流—電圧曲線
Fig. 6. Current-Voltage Curve of Iodine and Sodium Thiosulfate Solution

第1表 ヨウ素酸カリウム溶液の拡散電流

Table 1. Diffusion Current of Potassium Iodate Solution

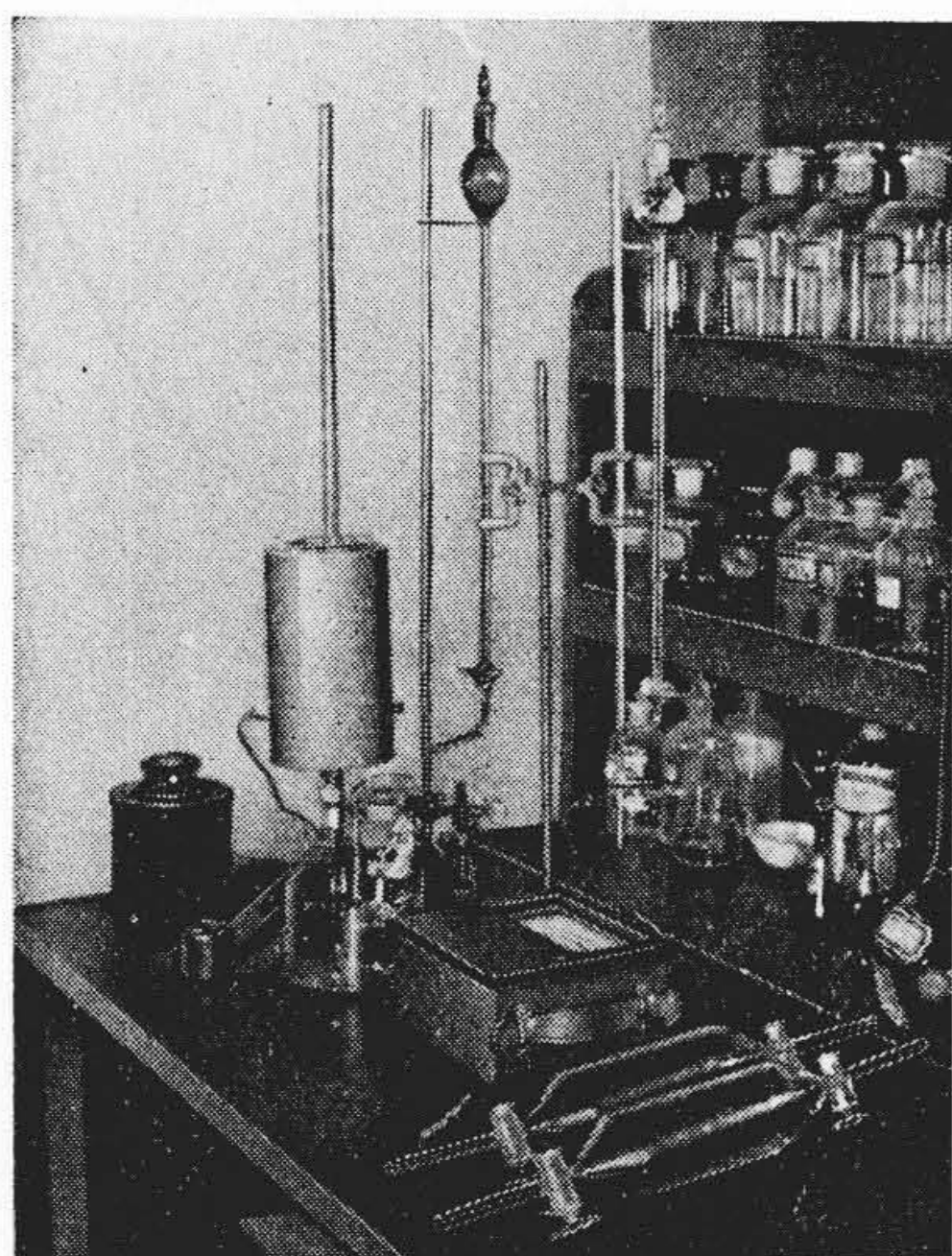
$\text{H}_2\text{SO}_4=0.1\text{N}$, $\text{KI}=0.1\%$

飽和甘汞電極 に対する電位 (V)	I_2 濃度 (C) $M \times 10^7$	拡散電流 (i_d) μA	$i_d/C \times 10^7$
零 加 電 圧	30	3.85	0.128
	20	2.55	0.128
	10	1.29	0.129
+0.1	20	1.75	0.088
	10	0.90	0.090
	5	0.45	0.090
-0.1	15	1.10	0.073
	10	0.70	0.070
	5	0.35	0.070

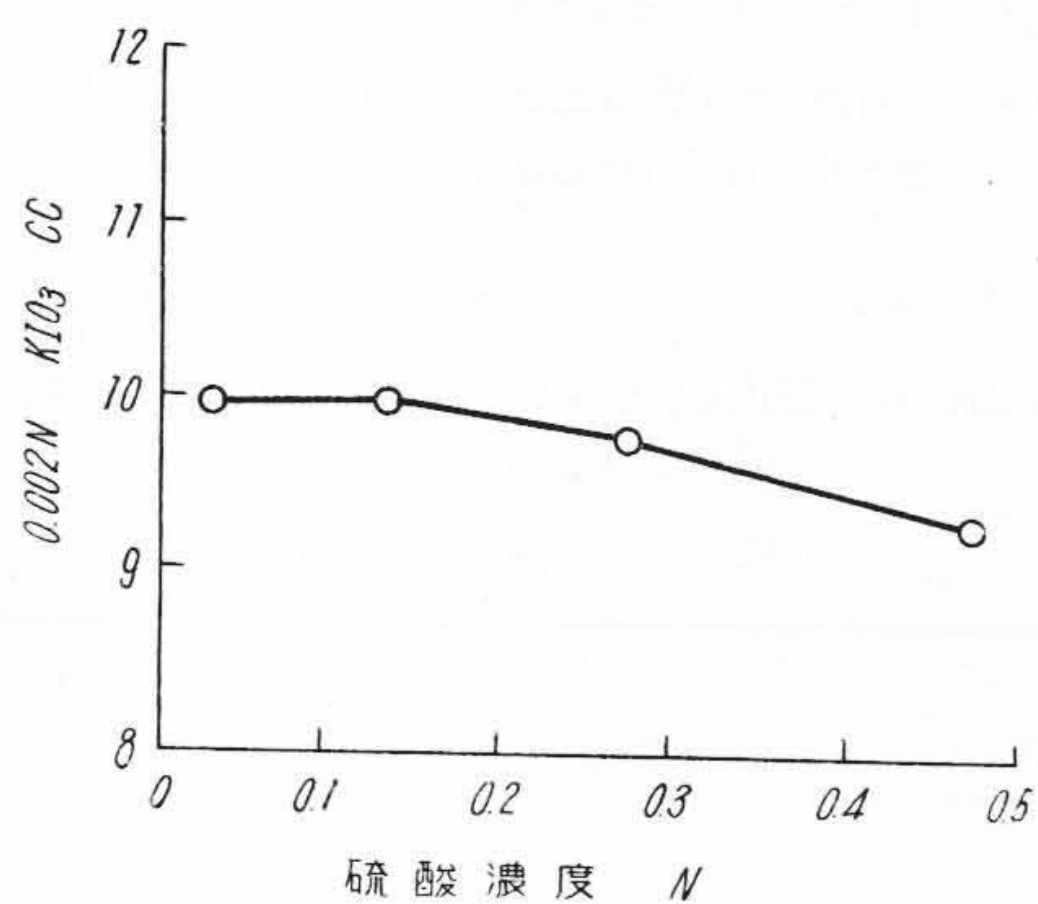
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液は残余電流がえられることがわかった。加電圧を +0.1V, 零, -0.1V にした場合の I_2 濃度と拡散電流との関係は第1表のように拡散電流は I_2 濃度によく比例することを示した。したがって溶解酸素定量は第3図に示したような電池, 電位差計などの必要がなく, 白金指示電極と飽和甘汞電極をマイクロアンメータを通して短絡してえられた加電圧のみで滴定が可能である。以後の実験はすべて零加電圧で滴定を行つた。

(2) 滴定条件の検討

検水にウインクラ試薬を加えたとき遊離する I_2 は直接 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 標準液で滴定するか, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ で I_2 を還元

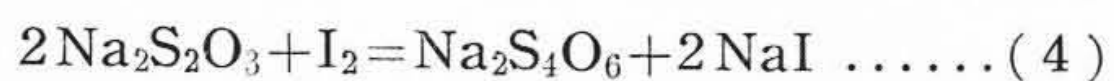
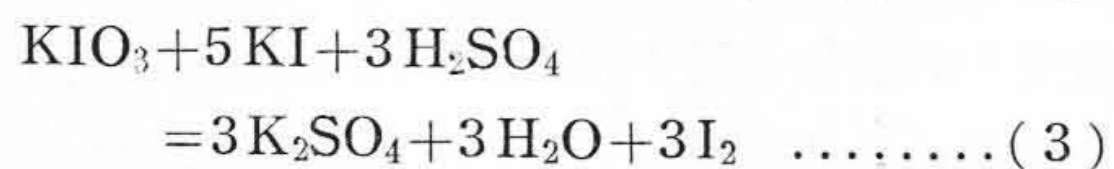


第7図 電流滴定装置の外観写真
Fig.7. Amperometric Titration Assembly for Dissolved Oxygen Determination



第8図 硫酸濃度の影響
Fig.8. Effect of Concentration of Sulfuric Acid

し過剰の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ を KIO_3 標準液で滴定するかいづれでもよいが、前者は滴定中に I_2 の一部が揮散するともいわれ⁽³⁾ている。故に本実験は後者の方法を用いた。その化学反応は (3), (4) 式に示されるので、適当な硫酸濃度とヨウ化カリウム添加量を決定するためつぎの実験を行つた。第7図は電流滴定装置の外観写真である。



(A) 酸濃度

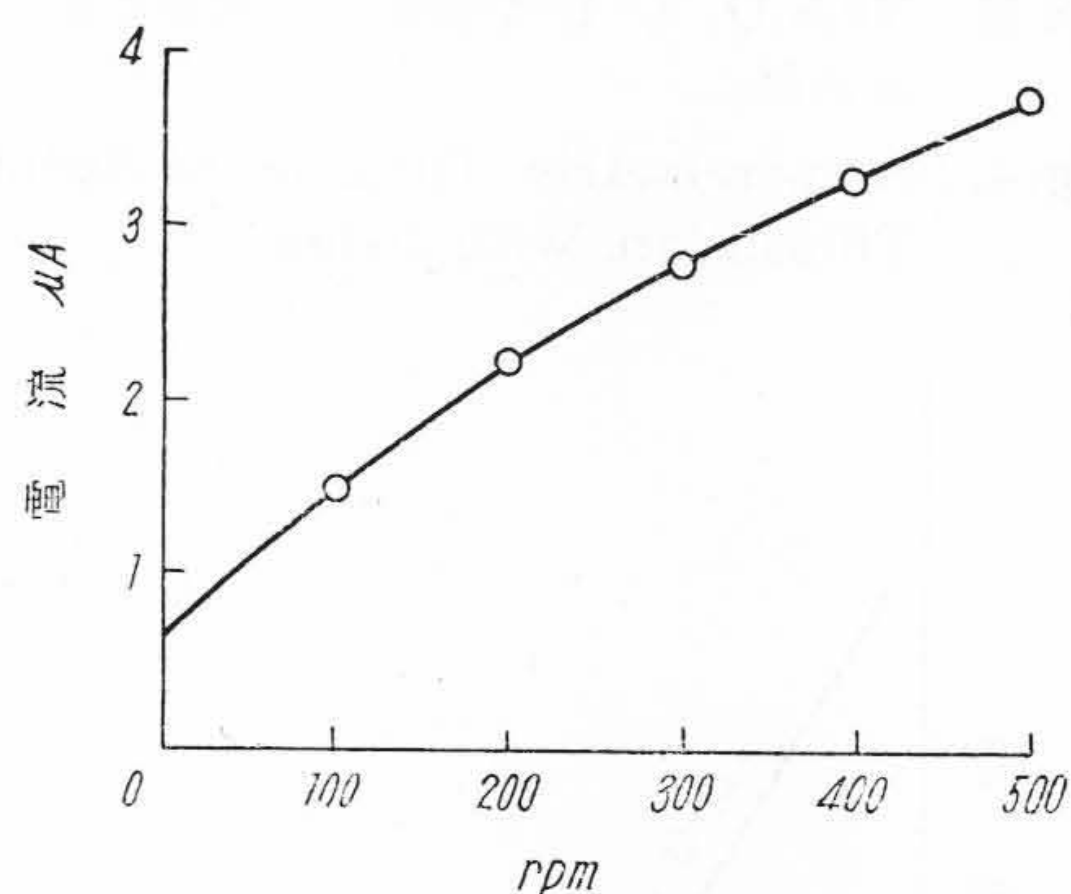
ヨウ化カリウム 3g を水にとかし、全容を 300 cc となし、これに 0.002N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 標準液 10 cc を加え、このときの硫酸の濃度を種々変化させ、 KIO_3 標準液で電流滴定を行つた。酸の濃度は第8図に示すように 0.03 ~ 0.13N が適当で、それ以上の濃度では $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の分

第2表 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ - KIO_3 滴定におよぼすヨウ化カリウム添加量の影響

Table 2. Effect of Additional Potassium Iodide on the Amperometric Titration of Sodium Thiosulfate with Potassium Iodate

0.002N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 2.00$ cc

KI 添 加 量 (%)	0.002N KIO_3 滴 定 量 (cc)
0.05	2.00
0.1	2.01
1	2.00
2	1.99



第9図 攪拌速度と電流変化
Fig.9. Stirring Speed-Current

解のため KIO_3 滴定量が減少する傾向が見られる。

(B) ヨウ化カリウム所要量

ヨウ化カリウムの不足は滴定の終点附近で陽極の分極作用を引き起し、正確な当量点を求めることが困難になる。(2) 式参照)

酸濃度を 0.08N とし、全容 500 cc 中に 0.002N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 2.00 cc を加え、このときのヨウ化カリウムの濃度を種々変化させ、0.002N KIO_3 標準液で電流滴定を行い、その結果を第2表に示す。第2表からヨウ化カリウム濃度は 0.1% で十分であることがわかった。

(C) 攪拌速度の影響

第9図のように滴定液の攪拌速度は電流値に非常に影響するから一定の速度で滴定を行う必要がある。あまり速度が早いと液中に気泡が入りやすいから 200 ~ 300 rpm が適当である。

[IV] 給水中の溶解酸素定量法

ASTM 法は、酸素定着のさいの試薬添加量から求めた硫酸濃度は 0.08N、ヨウ化カリウム濃度は 0.1% に相当し、この濃度は電流滴定の最適条件とよく一致している。したがって電流滴定法で終点を求める場合も酸素

定着操作は ASTM 法と全く同様に行われる。

(1) 試薬

(a) アルカリ性ヨウ化カリウム溶液

水酸化カリウム 700 g およびヨウ化カリウム 150 g を別々に溶かし、1 l メスフラスコに移して混合し蒸留水を加えて標線までうすめる。

(b) 昇華精製せるヨウ素 6,346 g をヨウ化カリウム 75 g を含む 60 cc の水溶液に溶かし、これを 500 cc メスフラスコに移し入れて標線までうすめる。

(c) アルカリ性ヨウ化カリウム-ヨウ素溶液

250 cc メスフラスコに (a) 液を約 150 cc 移し入れ、この中に (b) 液約 10 cc (検水に含有する還元性物質と反応するに十分な量) を正確に測って入れ、混合した後 (a) 液で標線までうすめる。

(d) 硫酸マンガンを溶液

硫酸マンガン ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 480 g を水に溶かし、メスフラスコに入れて 1 l にうすめる。

(e) 硫酸

水 250 cc に硫酸 750 cc を注ぎ、室温に冷却した後 1 l メスフラスコに移し入れ標線までうすめる。

(f) 0.05 N チオ硫酸ナトリウム標準液

チオ硫酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 12.42 g を水に溶かし、1 l メスフラスコに移し入れ標線までうすめる。

(g) 0.005 N チオ硫酸ナトリウム標準液

標準液 (f) 25 cc をメスフラスコに移し入れ、安定剤として 1 l につきホウ砂 3.8 g を加えた後水で標線までうすめる。標定はヨウ素酸カリウムで行う。

(h) 0.005 N ヨウ素酸カリウム標準液

ヨウ素酸カリウムを 120°C で 2 時間乾燥してデシケータ中で冷却した後、0.1783 g を重炭酸ナトリウム 0.5 g を含む水に溶かし蒸留水で 1 l にうすめる。

(2) 試料採取方法

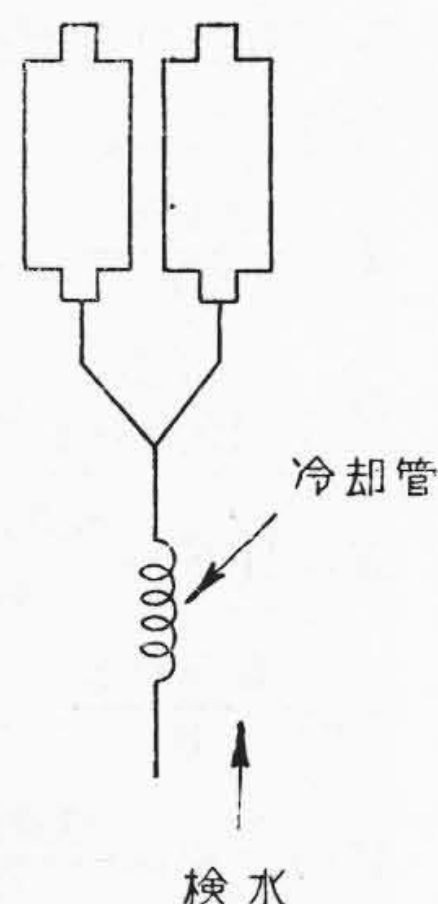
第10図の試料採取器を第11図のようにガラス Y 字管で 2 本を垂直に連結し、空気が入らないように注意しながら同時に採取する。試料採取のときの流速は 2 本の採取器を 40~60 秒で充すよう調節し、少なくとも 10 回ぐらい新しい水が入れ変つてから試料とし、一方を酸素定量用、他方を空実験用にする。

(3) 酸素の定着

試料中の酸素は不安定で動揺、温度の変化などで遊離しやすいから、直ちに試薬を添加して酸素を定着しなければならない。まず採取器の A からおのおの試薬 (C) 液 2 cc を加えたのち、酸素定量用には B から (d) 液、A から (e) 液の順におのおの 2 cc を加える。空実験用には (e)(d) の順におのおの 2 cc を加えて混合する。酸



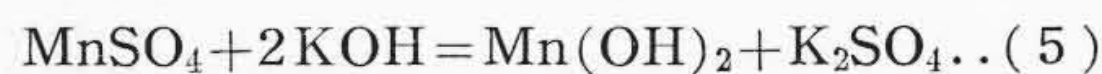
第10図 試料採取器
Fig.10. Sample Bottle



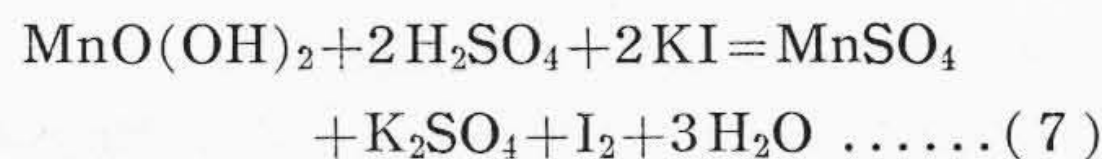
第11図 試料採取方法
Fig.11. Sampling Method

素定着の化学反応は次式に示すように酸素 1M からヨウ素 2M を遊離する。

(c)(d) 液添加



(e) 液添加

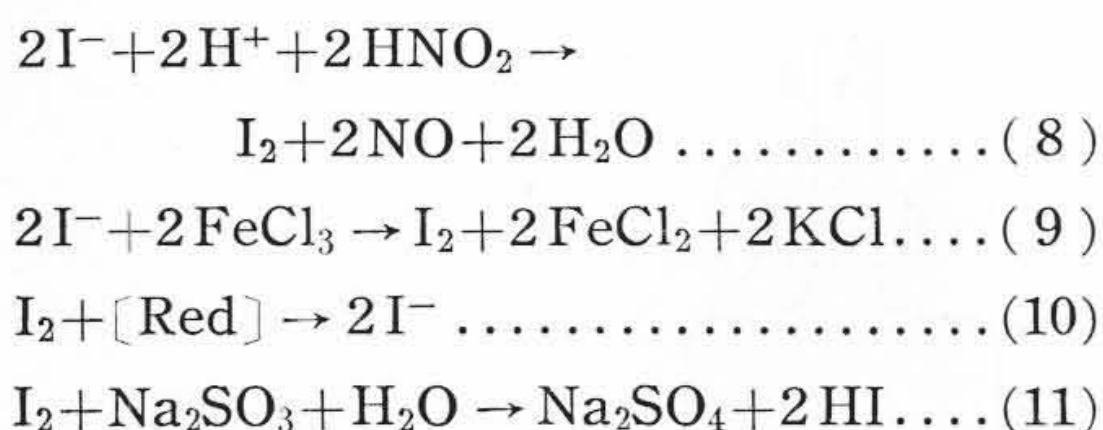


(4) 電流滴定

酸素定着液をビーカーに移し、よくみがいた白金電極と飽和甘汞電極を連結して極間距離を約 50 mm とし、かきまぜながら 0.01 cc 刻度のマイクロビュレットから 0.005 N チオ硫酸ナトリウム標準液を加えてヨウ素を還元し、さらに少しく過剰になるように加える (電流が安定するから推測できる) 0.005 N ヨウ素酸カリウム標準液で過剰のチオ硫酸ナトリウムを滴定し、毎回の滴定量と電流値から滴定曲線を描いて終点を決定する。

(5) 計算

上述の方法で求めた値は酸素定量用においては (イ) 試料中の溶解酸素のほかに (ロ) 試料中に含まれていた酸化、還元性不純物および (ハ) 添加試薬中に含まれていた溶解酸素と反応して遊離したヨウ素および (ニ) 最初に添加した (C) 液中のヨウ素が含まれている。たとえば (ロ) においては試料中に亜硝酸、鉄、有機物質、亜硫酸ナトリウムなどが含有している場合は、酸性溶液で次式のように酸化性物質はヨウ素を遊離し、また還元性物質は反対にヨウ素を分解消費する。一方空実験用においては (ロ) の反応だけ行われるから試料中の溶解酸素量は次式



によつて計算される。

$$I = \frac{2VN}{Cn} \dots\dots\dots (12)$$

$$D = \frac{6.5}{10,000n} \dots \text{ASTM 法の実験値} \dots (13)$$

$$X = \left\{ \left(S - \frac{0.005K}{n} \right) - (I + D) \right\}$$

$$\times \frac{8,000n}{V_s} \dots\dots\dots (14)$$

$$Y = \left\{ \left(S' - \frac{0.005K'}{n} \right) - I \right\}$$

$$\times \frac{8,000n}{V_b} \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{溶解酸素量 (ppm)} = X - Y$$

$$\text{溶解酸素量 (cc/l)} = \text{ppm} \times 0.7$$

上式中

I = 添加せる (c) 液中のヨウ素に当量の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (cc)
 V = (c) 液調製に用いたヨウ素溶液の容量 (cc)
 N = 0.1 N ヨウ素溶液の規定度 (N)
 C = (c) 液調製に使用したメスフラスコの容量 (cc)
 n = $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 標準液の規定度 (N)
 D = 添加試薬中の溶解酸素に当量の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ の容量 (cc)
 X = 試料中の見掛の溶解酸素量

Y = 空実験値
 S = $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 標準液添加量 (cc)
 K = 滴定に要した 0.005 N KIO_3 の容量 (cc)
 S' = 空実験の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 標準液添加量 (cc)
 K' = 空実験の滴定に要した KIO_3 の容量 (cc)
 V_s = 試料の容積 (cc)
 V_b = 空実験試料の容積 (cc)

(6) 分 析 結 果

溶解酸素 0.006 cc/l, 0.056 cc/l に当量のヨウ素を添加し, 前述の空実験の操作にしたがつて定量した結果と, このときの滴定曲線は第3表および第12図のようである。
 ASTM 法は酸素量 0.1 ppm 以下の場合の測定誤差は

第 3 表 分 析 結 果

Table 3. Results of Analysis

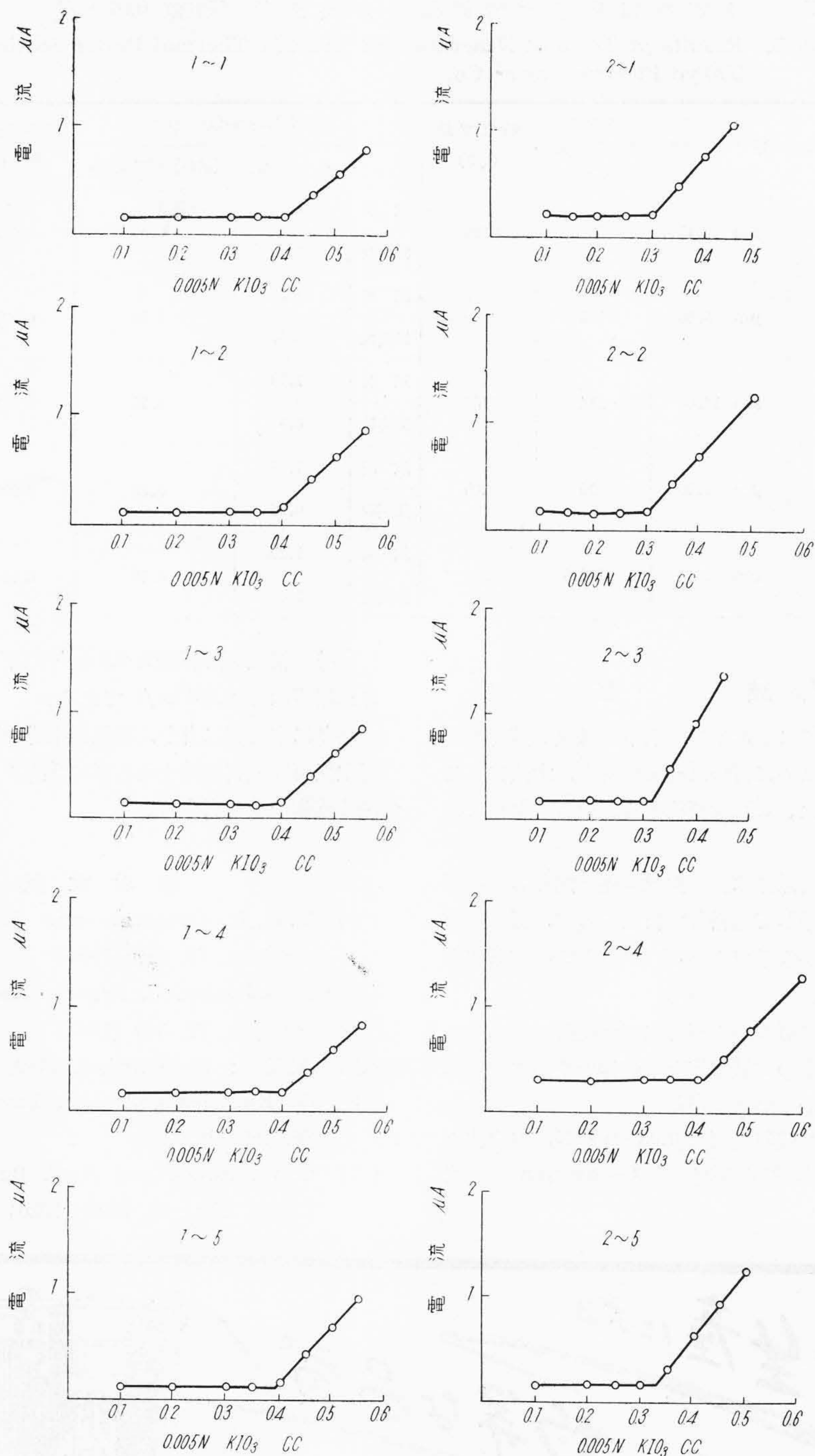
*0.005 N KIO_3 (F=1.000) 添加量 $\begin{cases} 1: 0.12 \text{ cc} \\ 2: 1.00 \text{ cc} \end{cases}$
 0.005 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (F=1.050) 添加量 $\begin{cases} 1: 0.50 \text{ cc} \\ 2: 1.26 \text{ cc} \end{cases}$

番 号	*添加した I_2 に 当量の溶解酸素 (cc/l)	KIO_3 滴 定 量 (cc)	溶 解 酸 素 値 (cc/l)	誤 差 (cc/l)
1~1	0.0067	0.40	0.007 ₀	+0.000 ₃
1~2		0.39	0.007 ₅	+0.000 ₈
1~3		0.39	0.007 ₅	+0.000 ₈
1~4		0.40	0.007 ₀	+0.000 ₃
1~5		0.39	0.007 ₅	+0.000 ₈
2~1	0.056	0.30	0.057 ₃	+0.001 ₃
2~2		0.30	0.057 ₃	+0.001 ₃
2~3		0.32	0.056 ₂	+0.000 ₂
2~4		0.31	0.056 ₇	+0.000 ₇
2~5		0.33	0.055 ₆	-0.000 ₄

第 4 表 宇 部 曹 達 株 式 会 社 納 脱 気 器 の 実 測 値 保証値 0.05 cc/l

Table 4. Results of Tests of Deaeration for Ube Soda Manufacturing Co.

No.	月 日	時 間	脱気器出口 温 度 (°C)	処 理 水 量 (t/h)	0.005 N $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (cc)			溶 解 酸 素 (cc/l)	備 考
						滴 定	(試料) - (空実験)		
1	1954 5.29	am 10.30	107	87	試 料 空実験	1.06 0.87	0.19	0.004	試料採取は脱気 器出口より
2	1954 5.29	12.00	107	87	試 料 空実験	1.10 0.87	0.23	0.006	試料採取は脱気 器出口より
3	1954 5.29	pm 2.00	108	84	試 料 空実験	1.20 0.93	0.27	0.008	試料採取は脱気 器出口より
4	1954 5.29	4.00	107	80	試 料 空実験	1.24 0.99	0.25	0.007	試料採取は脱気 器出口より
5	1954 5.29	4.50	108	78	試 料 空実験	1.21 0.96	0.25	0.007	試料採取は脱気 器出口より
6	1954 5.30	am 1.00	111	74	試 料 空実験	0.67 0.48	0.19	0.004	試料採取は脱気 器出口より
7	1954 5.30	2.50	110	78	試 料 空実験	0.68 0.51	0.17	0.002	試料採取は脱気 器出口より
8	1954 5.30	4.30	110	78	試 料 空実験	0.73 0.56	0.17	0.002	試料採取は脱気 器出口より



第12図 電流滴定曲線

Fig.12. Amperometric Titration Curve

±0.003 ppm 以下に規定されているが、本法も上述のようにこれに匹敵する精度がえられる。なお第4表に宇部曹達株式会社納脱気器(型式 DQT-100, DHS-138 特殊

散気板方式) および第5表(次頁参照)に東京電力潮田火力発電所納脱気器(型式 DQ-200, DHC 直触多段加熱圧力型)について実施した試験結果を掲げる。

第5表 東電潮田発電所納脱気器の実測値 保証値 0.01 cc/l

Table 5. Results of Tests of Deaerator for Ushioda Thermal Power Station, Tokyo Electric Power Co.

No.	月 日	時 間	脱気器出口 温 度 (°C)	処 理 水 量 (t/h)	0.005 N Na ₂ S ₂ O ₃ (cc)			溶 解 酸 素 (cc/l)	備 考
						滴 定	(試料)-(空実験)		
1	1954 7.19	pm 3.45	103	210	試 料	1.20	0.25	0.007	試料採取は脱気器出口より
					空実験	0.95			
2	1954 7.19	pm 5.00	103	210	試 料	1.22	0.25	0.007	試料採取は脱気器出口より
					空実験	0.97			
3	1954 7.20	am 10.00	114	180	試 料	1.18	0.25	0.007	試料採取は脱気器出口より
					空実験	0.93			
4	1954 7.20	pm 3.10	115	200	試 料	1.18	0.22	0.005	試料採取は脱気器出口より
					空実験	0.96			
5	1954 7.20	pm 3.45	110.5	250	試 料	1.20	0.20	0.004	試料採取は脱気器出口より
					空実験	1.00			

〔V〕 結 言

本報は電流滴定によるボイラ給水中の微量の溶解酸素定量法を確立するために行つた実験経過と、本法による分析結果を報告した。これを要約するとつぎのようになる。

(1) 装置：滴定操作は白金指示電極と飽和甘汞電極とをアンメータを通して短絡して行えるので、従来の方法に比較して装置が簡単でしかも持ち運びが容易である。

(2) 終点：滴定曲線から直ぐにチオ硫酸ナトリウムの残余電流とヨウ素の拡散電流との直線の交点で求められるから鋭敏でしかも迅速である。

(3) 滴定条件：硫酸濃度は 0.03~0.13N, ヨウ化カリウム濃度は 0.1%, 攪拌速度は 200~300 rpm が適当である。

(4) 精度：溶解酸素 0.1 cc/l 以下の給水分析に適用され精度は ± 0.001 cc/l である。

終りに本研究に当り、終始御指導を賜つた日立研究所主任研究員高橋博士ならびに綿森タービン設計課長に深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

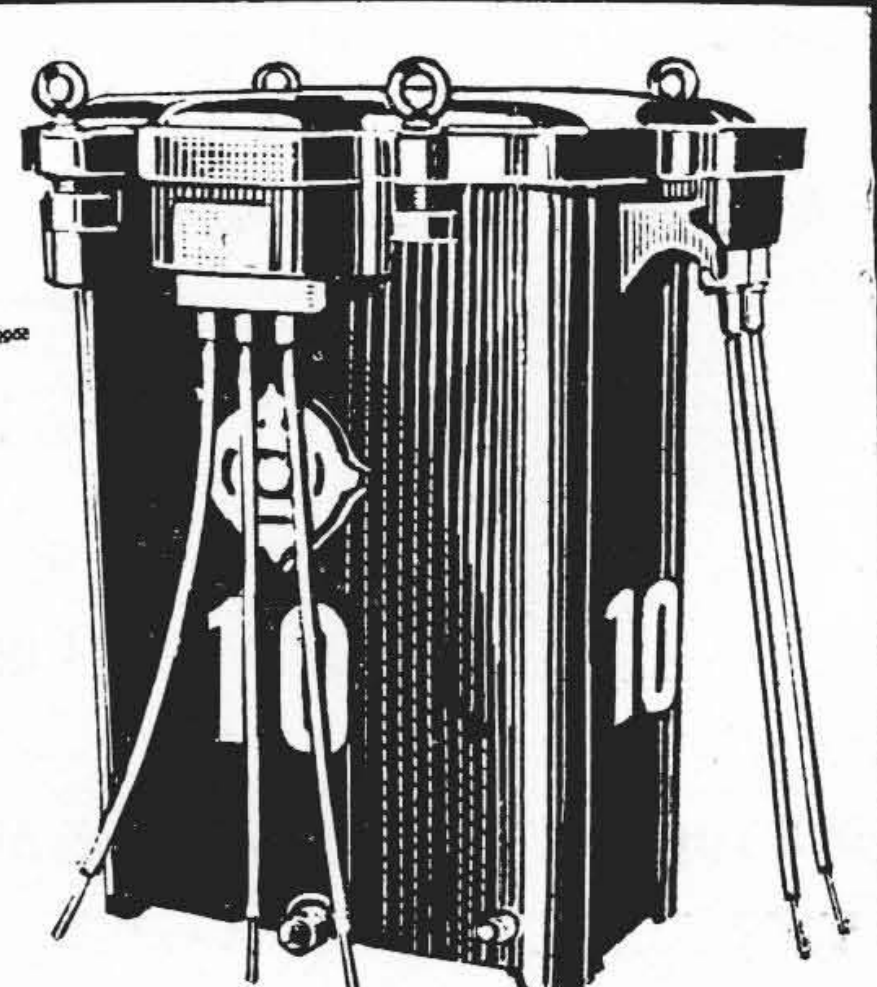
- (1) T. C. J. Ovenston and J. H. E. Waston: Analyst, 79, 383 (1954)
- (2) S. Bairstow, J. Francis and G. H. Wyatt: Analyst, 72, 340 (1947)
- (3) ASTM: Standard, 5, 1489 (1949)
- (4) G. Knowles and G. F. Lowden: Analyst, 78, 159 (1953)
- (5) C. W. Foutk and A. T. Bawden: J. Am. Chem. Soc., 48, 2044 (1926)

大量生産による
均等な品質!



日立トランス

日立製作所



最寄の日立商品特約店又は販売店に御用命下さい。