

真空管工業に於ける低圧ガス流量計とその応用

(第 3 報)

— 各種真空管部品及び材料よりのガス放出 —

山 本 徳 太 郎*

Gas Flowmeter and Its Application in Electron Tube Industry (Part 3)

— The Investigation of the Outgassing Characteristics
of Vacuum Tube Parts and Materials —

By Tokutarō Yamamoto
Mobara Works, Hitachi, Ltd

Abstract

In the previous reports (Vol. 35, No. 9 and Vol. 35, No. 12) the writer introduced the characteristics of the flowmeter with an example of its applications in the determination of the exhausting schedules of both large and small tubes.

In the present article, the writer treats of an another application of the flowmeter, which he tried in the investigation of outgassing characteristics of several tube materials...binders, graphites, micas and treated anodes. In the end of the article he mentions that the results of the above experiment and others had proved so encouraging that he came to recommend the wider adoption of the flowmeter in the electron tube industry as a dependable means for practical study, in quick determination of outgassing characteristics or amounts in exhausting tubes and materials.

〔I〕 緒 言

第1報,第2報⁽¹⁾⁽²⁾に於て,真空管工業に於ける最も重要な問題の1つであるガスの放出,排気スケジュールの問題をとりあげ,新しくこれに流量計(Flowmeter)を適用する方法を提案した。結果として,現場の排気作業の検討乃至合理化に役立つデータが得られ,エミッションの変動或は減衰,短寿命等の種々な問題の解明の端緒となりうることが示唆された。

そこで今回は,これが活用面を更に拡大し,各種の真空管材料の問題に応用し,その効果を試験してみることにした。即ち現在ブラウン管に用いられている螢光物質用バインダー並びに黒鉛塗布膜のガス放出特性の測定,或種のミニチュア管の排気スケジュールの検討及び各種純鉄プレートのガス放出特性の比較検討等に応用したものを,ここに纏めて報告する。

* 日立製作所茂原工場

〔II〕 測定装置

上記の各種試料に就いて,ガス放出特性を測定するため用いた装置は,ほぼ第2報⁽²⁾第1図と同様であるが,その概略を再記すると第1図(次頁参照)の如きもので,徳田製ブスター付3"油拡散ポンプ(OP-40型)を使用し,試料とポンプ間に流量計を取付けたものである。但し試料及びP管部はそれぞれの場合に応じ,実際に最も近いものをえらぶよう留意した。例えばブラウン管用バインダー及び黒鉛試料に就いては,それが実際使用されるブラウン管のバルブに,バインダー或は黒鉛を塗布し,3mmφ(内径)×50mm(長)のP管を使用した。

ミニチュア管のスケジュールの検討では,実際に球を作り,現状で比較的良好な排気度が得られる別品種を同時に試験し,両者の放出特性を比較する方法をとつた。又純鉄の場合は,特定の真空管のバルブ内にメーカーを異にするプレートを封入し比較する方法及び純鉄とニッ

ケルプレートを用いた球を作り、それぞれに現行のスケジュールを適用し相違を求めた。但しこれらの内最後の場合に就いては、このような一連の流量計による測定精度の再チェックの意味で、第1図の装置に於けるブスター、ロータリーポンプ間に第2図の如き十分な容量を有するリザーバー（約 8l）ともう1台のブスターポンプ（第2図の B₂）を挿入した。即ち放出開始と同時にコック C₄ をとぢることにより、流量計による今迄通りの記録と共に、工程中に放出された Total ガス量がリザーバーに完全に溜められ、正確に測定出来るように工夫した。このようにすることにより、溜められたガス量は、少量の場合であっても予め測定されたリザーバーの容量と抵抗真空計の圧力目盛とから正しく算出出来る。

従つて第2図の装置では、放出特性及びガス量の大概の値を流量計によつて求め、比較検討するだけでなく、

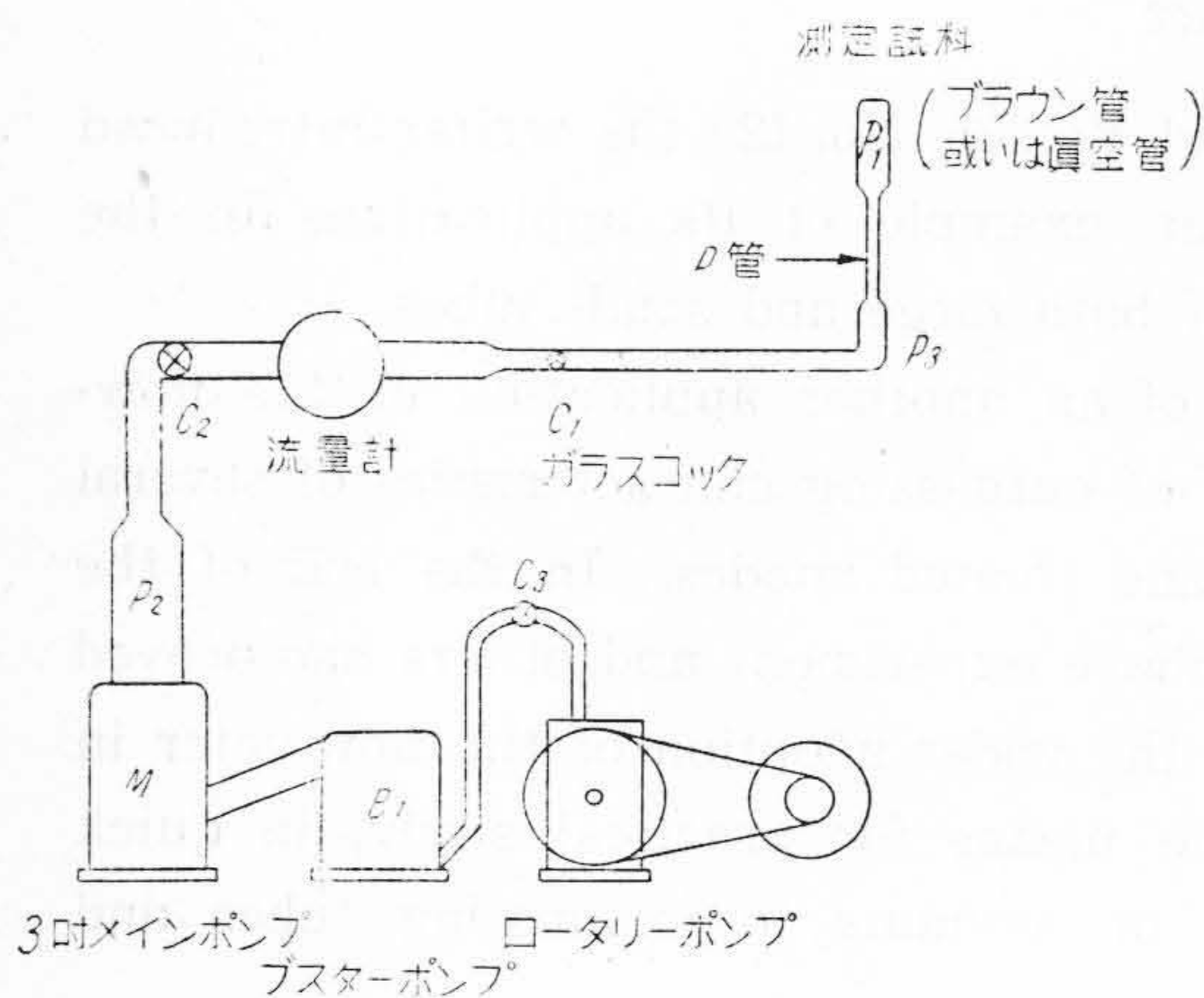
工程中に放出された Total ガス量を、現場作業とほぼ同一の条件で、非常に正確に求めることが出来る訳である。以下各場合に分けて、その内容と結果の概略を報告する。

〔III〕 ブラウン管用バインダーのガス放出特性

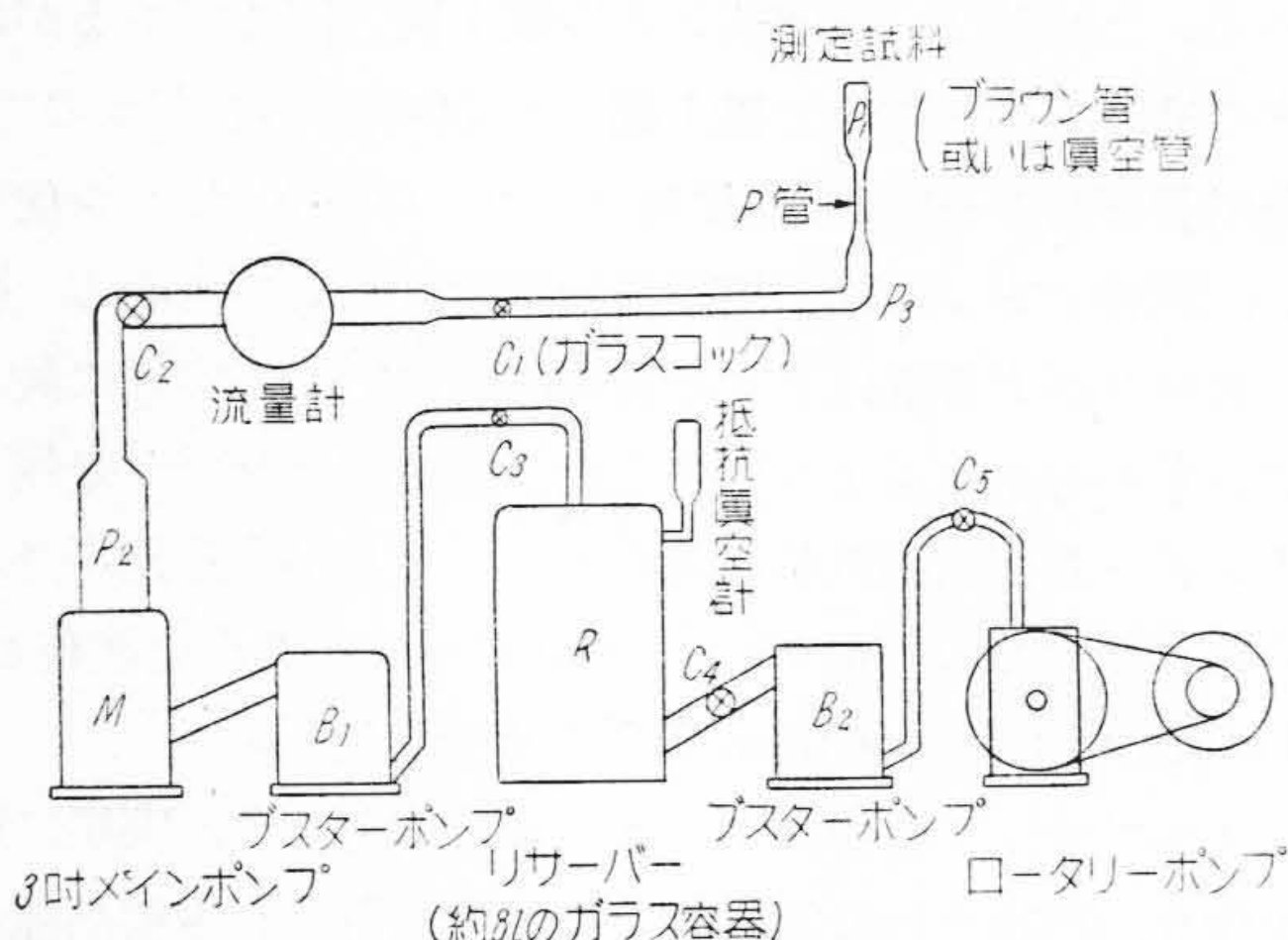
現行の残光性ブラウン管に於ては、螢光膜を硝子面に附着させるため水硝子を用いているが、これに代つてほぼ同程度の附着力を有する珪酸エチル液を使つたらどうかということが考えられた。そこで先づこの場合のガス放出特性の優劣が問題となり、測定された。

即ち実際使用するブラウン管のバルブに水硝子 (K₂-SiO₃ 2% 溶液) 及び醋酸アンモニウム (CH₃COONH₄ 10% 液) を用い、先づ残光性螢光体を塗布し、この上にバインダーとして水硝子 (K₂SiO₃ 10% 液) 或は珪酸エチル液を用い、乾燥後、更に青色螢光体 ZnS/Ag を同様の方法で塗布した。

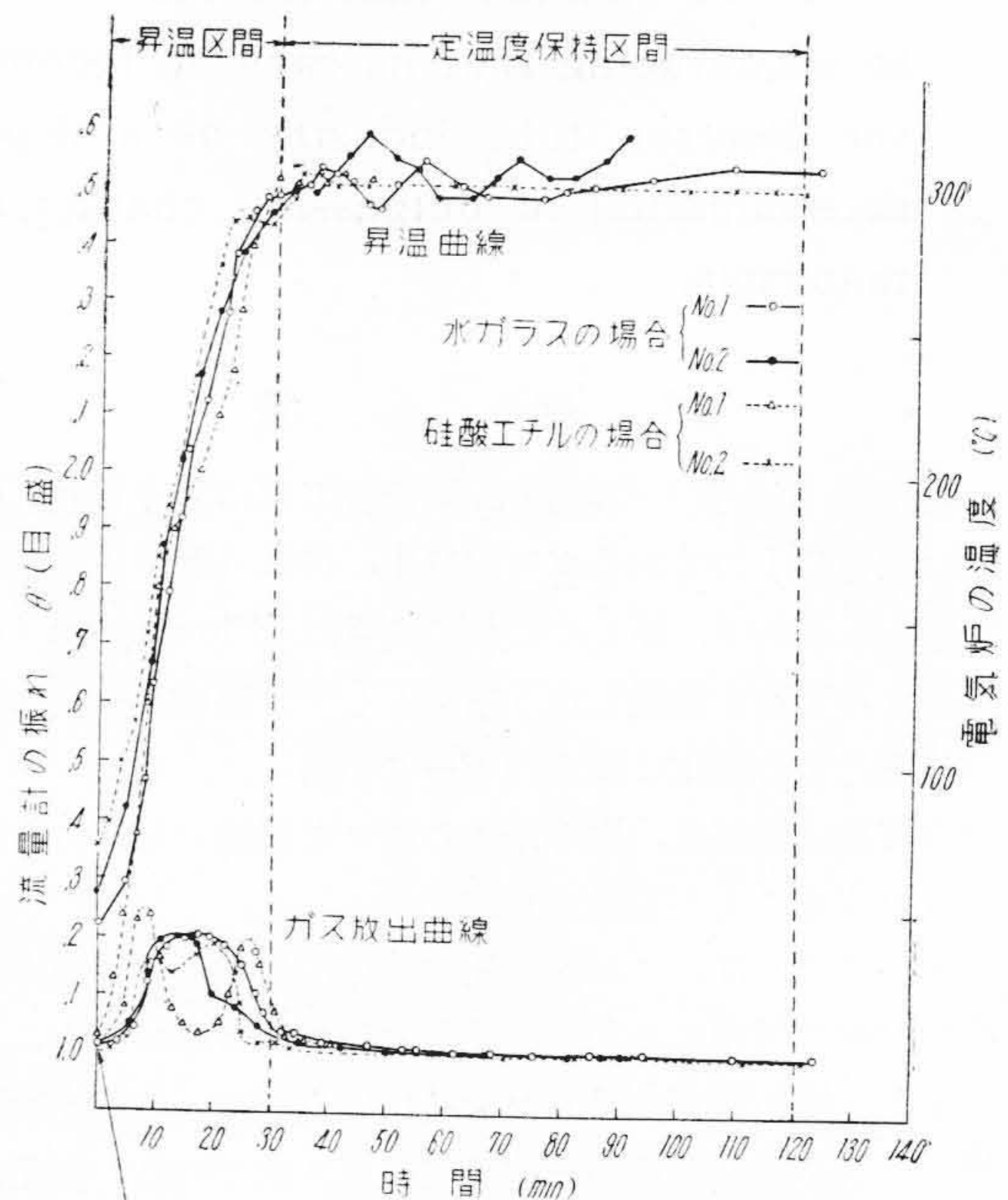
試料は塗布後 300°C で 1 hr 乾燥し、仮排気しておく。これらの試料各 3 箇を第1図の装置に取付け、300°C 電気炉で加熱した場合のガス放出特性を求めると、第3図の如くなつた。なおこの図に於て、珪酸エチルの曲線に2つの山がみられるが、これは何等本質的な事柄では



第1図 ガス放出測定装置 (その1)
Fig.1. Apparatus for the Measurement of Outgas (No. 1)



第2図 ガス放出測定装置 (その2)
Fig.2. Apparatus for the Measurement of Outgas (No. 2)



(注意) オノ報 Page 72~73 において述べたように、零点をメーターの 10 目盛にした方が放出量と流量計の振れとの Linearity が良くなるので予めそのように調整しておく

第3図 バインダーのガス放出曲線
Fig.3. Time Variation of Outgas of Binders

第1表 水ガラスと珪酸エチルのガス放出量 $Q \times t$ (単位 mmHg·l)

Table 1. Outgassing Quantities of Water-Glass and Ethyl Silicate $Q \times t$ (unit: mmHg·l)

試料	試料番号			平均値	
	No. 1	No. 2	No. 3*	(mmHg·l)	(cc at 760mmHg)
水ガラス	$\times 10^{-3}$ 3.0	$\times 10^{-3}$ 2.3	$\times 10^{-3}$ 1.5	$\times 10^{-3}$ 2.3	.0030†
珪酸エチル	1.7	2.3	2.4	2.1	.0028†

(註) * 図面の煩雑化をさげるため、第3図に於て試料 No. 3 の曲線は省略した。

† 第2報の実験によれば、普通の真空管の排気全工程中に放出されるガス量は 0.65cc, オキサイドからは 0.44cc at 760mm Hg である。これらの数値と本表のバインダーからの放出量とを比較参照されたい。

なく、各場合に於ける炉の昇温速度を成可く一定化するよう留意し、エチルの場合には温度が上りすぎる傾向にあつたため、途中で電流を一時的に切つたためである。なおこの図は流量計の目盛 (θ') 対時間 (t) の関係曲線であるから、これを数値積分し、流量計の感度 $6.45 \times 10^{-4} \frac{\text{mmHg} \cdot \text{l}}{\text{sec} \cdot \text{目盛}}$ を掛ければ、各場合に放出された Total ガス量が与えられることは、第2報⁽²⁾に説明した通りであり、この場合の結果は第1表である。

従つて第3図並びに第1表より得られる結論は、

(i) 10% 水ガラス液と珪酸エチル液の放出特性には殆ど差違がない。

(ii) 何れの場合にも、ガスは 300°C, 1 hr でほぼ出尽している。

の2つであろう。従つてこれを要約するならば、エチル液を新たに採用することは、ガス放出の点からは特に優劣がないこと及び脱ガス操作は 300°C, 1 hr でほぼよいことが明かにされたといえよう。

〔IV〕 黒鉛(グラハイト)膜のガス放出特性

現在製造している受信管及びブラウン管の殆ど全部が二次電子の放射を防止するため、管壁に黒鉛(グラハイト)膜を塗布し、これを大気中で焼成後、排気している。そこでこのような黒鉛膜からどれ位のガスが出るか、又適当な焼成条件はどこにあるか等に就いて検討してみた。即ちブラウン管のバルブに実際通り膜をつけ試験し、ガス放出量の測定並びに現行の作業の合理化を求めた。試験に使用した塗布膜の量は、最小のもので 64, 最大 90, 平均 76 mg であつた。

なおこの場合の焼成条件に就いては、

(1) 緑色螢光膜の場合

予備焼成... 空気中にて 450~500°C 1 hr

最終焼成... 真空排気にて 450°C 1 hr

第2表 黒鉛膜のガス放出量 $Q \times t$ (単位 mmHg·l) 但し塗布膜の平均量=76 mg

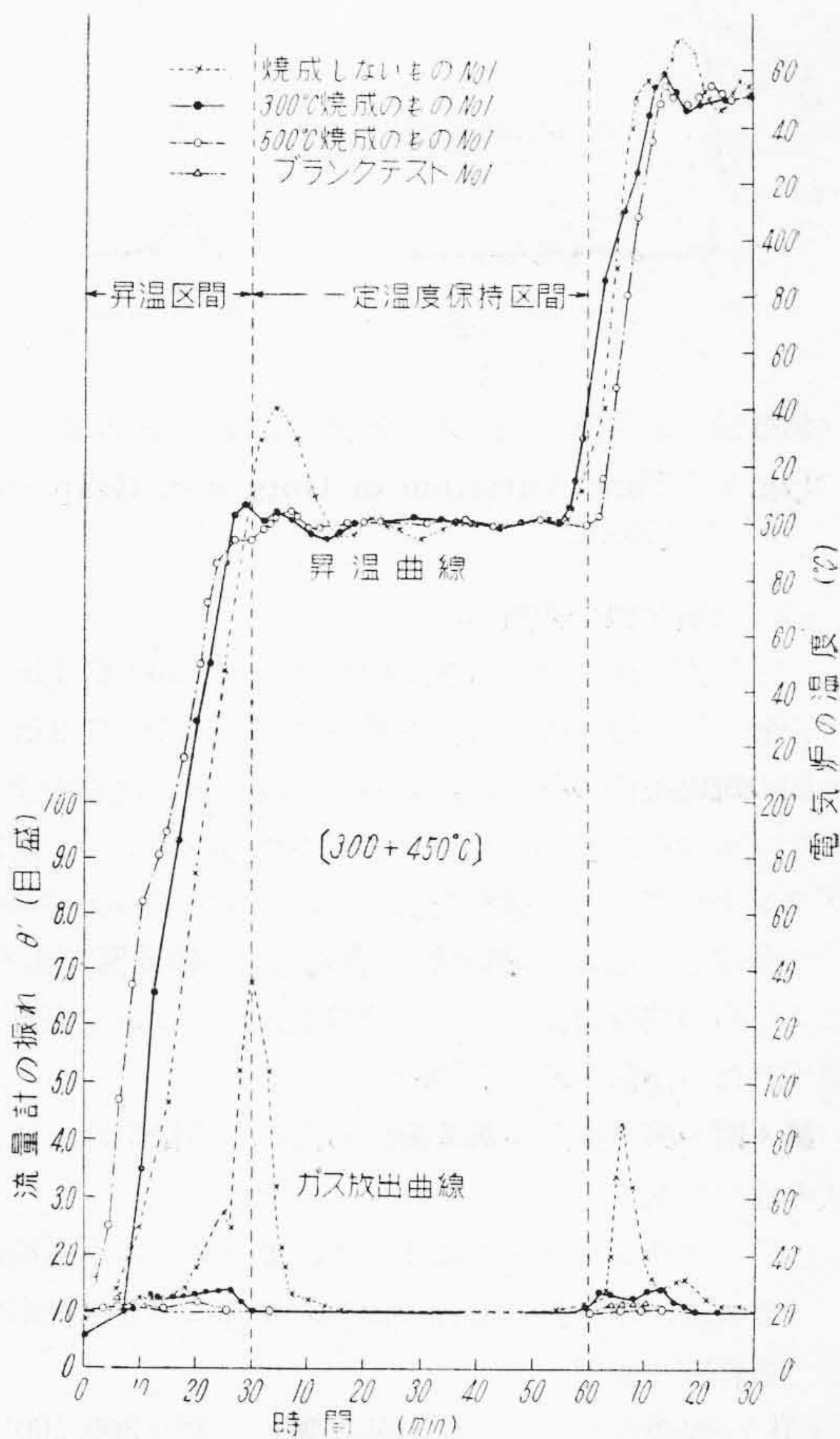
Table 2. Outgassing Quantity of Graphite Diaphragm $Q \times t$ (unit: mmHg·l)

A表 [300+450°C] に於ける全放出量=第4図, 第5図

予備焼成条件	試料番号		平均値	
	No. 1	No. 2	(mmHg·l)	(cc at 760mmHg)
ガラスのみの場合 (ブランクテスト)	$\times 10^{-3}$ Neg.	$\times 10^{-3}$ Neg.	$\times 10^{-3}$ Neg.	Neg.
無焼成の場合	46.	55.	51.	.067
300°C の場合	7.6	8.2	7.9	.010
500°C の場合	2.0	1.6	1.8	.0024

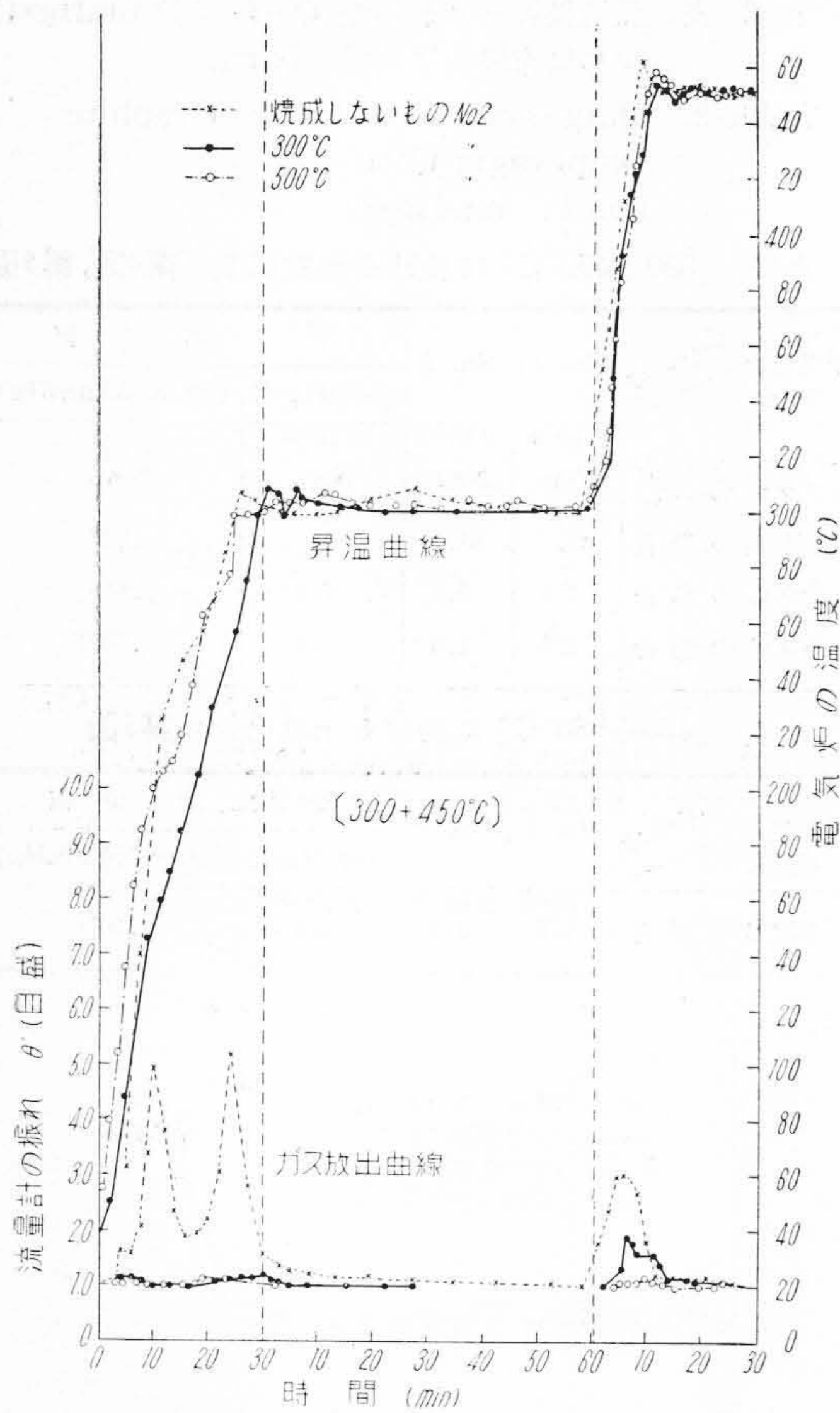
B表 [450+550°C] に於ける全放出量=第6図

予備焼成条件	試料番号		平均値	
	No. 1	No. 2	(mmHg·l)	(cc at 760mmHg)
500°C の場合	$\times 10^{-3}$ 1.6	$\times 10^{-3}$ 1.2	$\times 10^{-3}$ 1.4	.0018

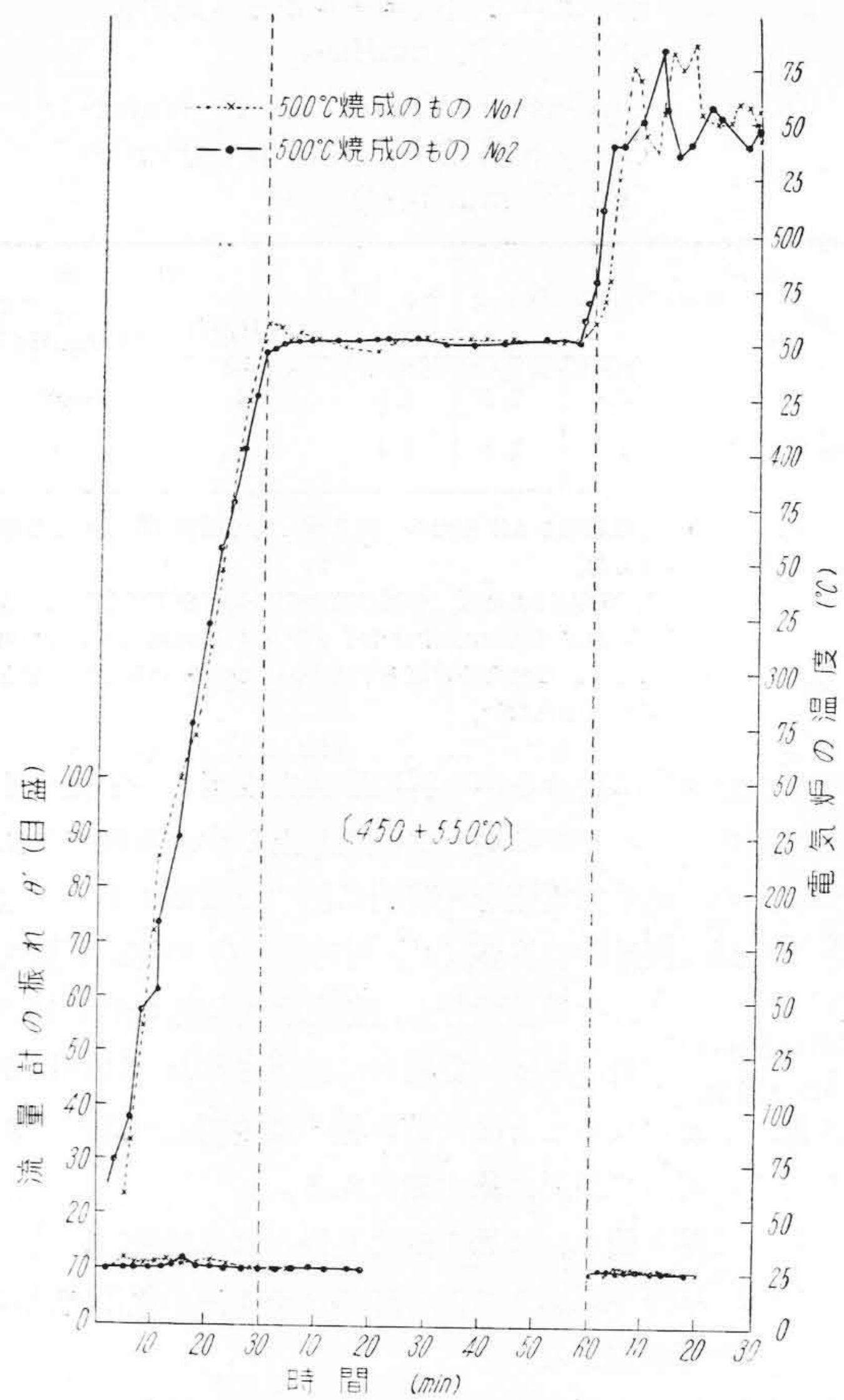


第4図 黒鉛のガス放出曲線 (その1)

Fig. 4. Time Variation of Outgas of Graphites (No. 1)



第5図 黒鉛のガス放出曲線 (その2)
Fig. 5. Time Variation of Outgas of Graphites (No. 2)



第6図 黒鉛のガス放出曲線 (その3)
Fig. 6. Time Variation of Outgas of Graphites (No. 3)

(2) 残光性蛍光膜の場合

予備焼成... 空気中にて 300°C 1hr
最終焼成... 真空排気にて 300°C 2hr

上記の焼成条件の外に、空気中に於ける予備焼成を全くしないもの及び膜がなくガラスバルブのみのもの、所謂ブランクテストの2種類を加えて、計4種類の条件に就いて測定した結果が、第4図(前頁参照)~第6図である。又これらの曲線を積分して、焼成温度別のガス放出量を算出したのが第2表(前頁参照)である。

第4図~第6図及び第2表から得られる結論は、ほぼ次の通りである。

- (i) ブランクテストによつて、ガラスのみから出るガスは、黒鉛膜の場合に比し、非常に少く無視出来る程度である。
- (ii) 無焼成のもの放出量は著しく大で 300, 500°C の予備焼成によつて激減する。なお 300, 500°C では温度の高いもの程少い結果となつていることも明らかである。

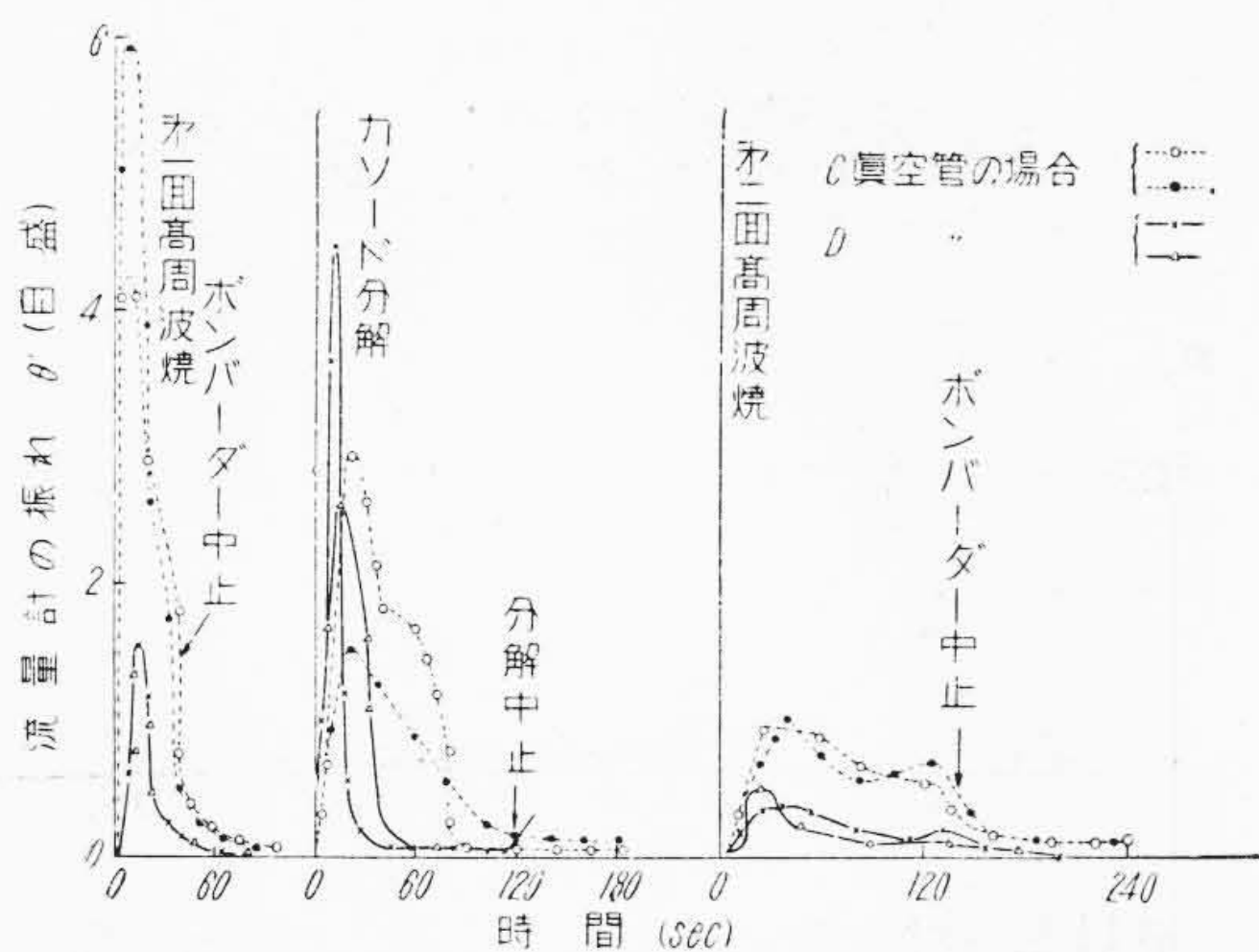
(iii) 300°C に於て放出し終つたものも、450°C に昇温すれば再びガスが出る。なお何れの場合も放出は 40~50 min でほぼ完結している。

(iv) 500°C にて予備焼成したものからのガス量が、前章に報告した同じブラウン管に用いられているバインダー用水ガラス及び硅酸エチルからの量とほぼ同程度である。

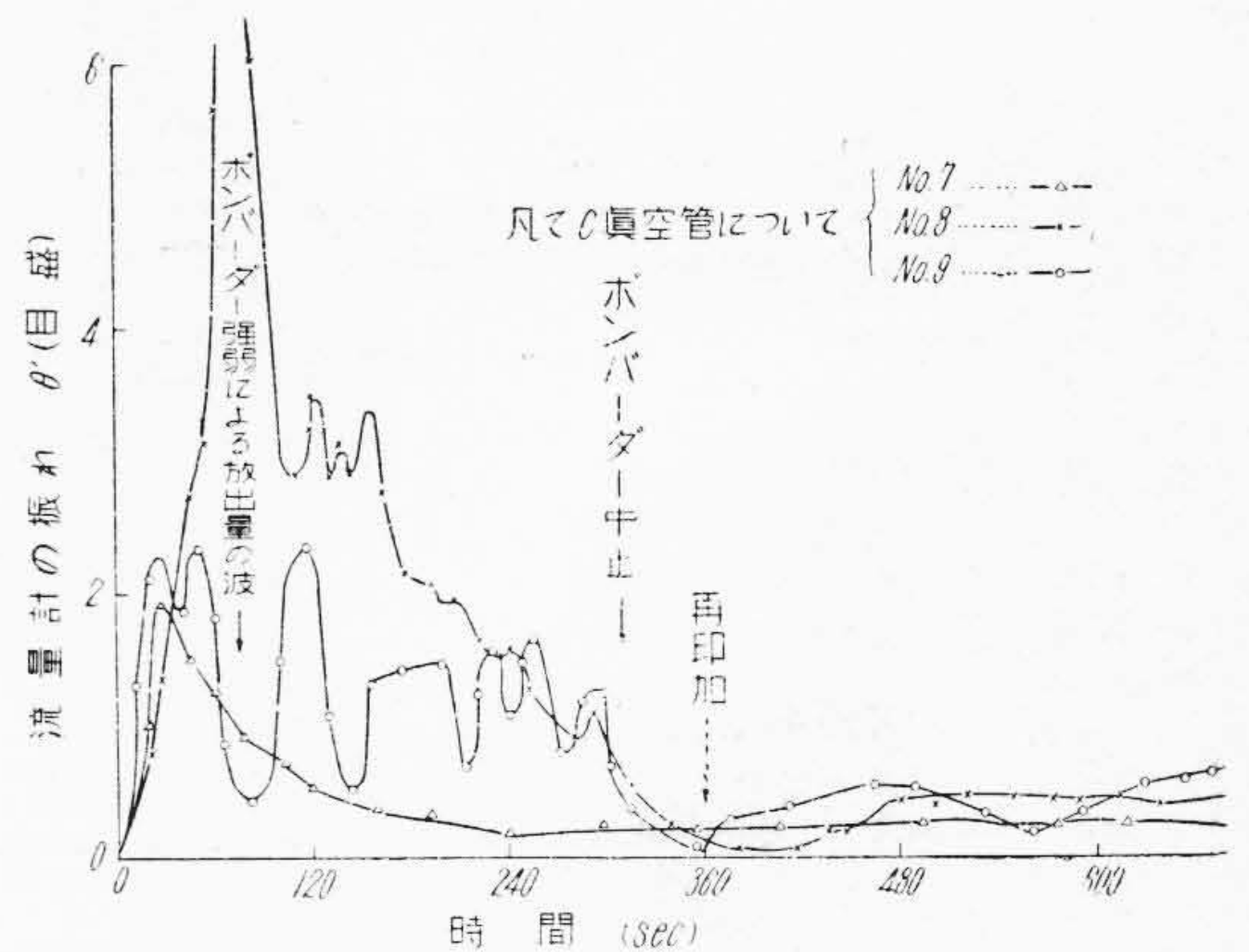
[V] ミニアチュア管の排気スケジュールの検討

現在工場にて生産されている多数のミニアチュア管中或特定の品種のもの(以下C真空管という)がエミッションランプ、真空度不良等のため、歩留悪く仲々巧く出来なかつたので、先ず排気スケジュールの不備を検討し、ガス放出特性を明確化し、この面に於けるトラブルを解決する必要が生じた。

そこで歩留の比較的安定した別の一品種をえらび(以下D真空管という)、両者を第1図の流量試験装置に取附



第7図 各排気工程に於けるガス放出特性の比較
Fig.7. Time Variation of Outgas During Each Exhausting Process



第8図 徹底的なガス出しを試みた場合の放出特性
Fig.8. Outgassing Characteristics During Thorough-going Exhausting Process

け、比較する方法をとり差違を求めてみた。

結果は第7図で、図に於ける2品種の放出曲線を較べると、容易に次の差異に気付く。但しこのような差異を結論するまでには、なお数多くの類似の結果が得られているが同図には煩雑をさけるために、それぞれ2箇の代表曲線しかのせなかつた(以下同様)。

(i) 加熱排気最終工程であり、この意味に於て最も注目すべき第2回高周波焼に於て、Cは未だガスが出ている。途中 130sec 附近でボンパードーリングをやめているため、曲線は零に近づくが、これはD真空管並みの減衰とはいえない。

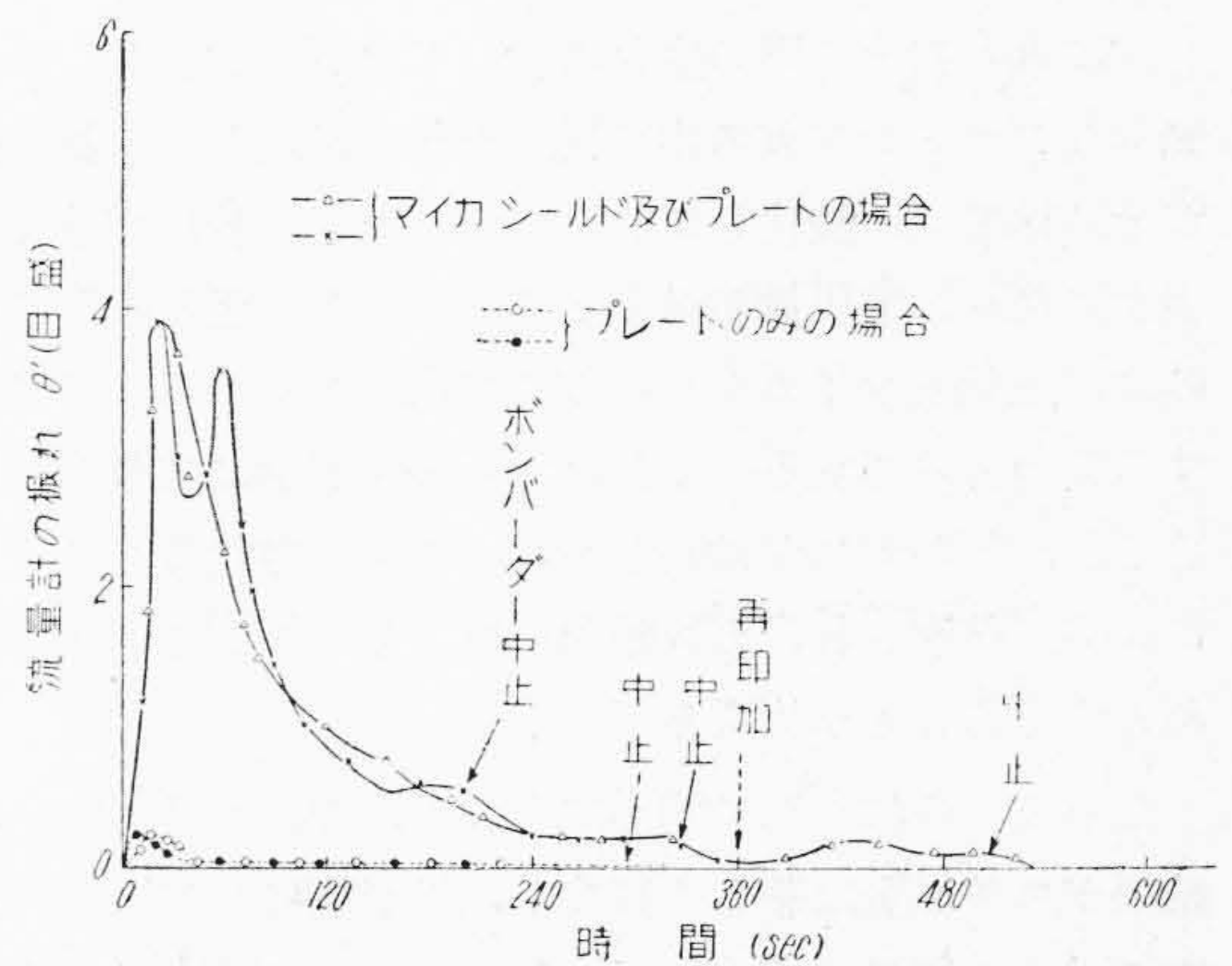
(ii) カソード分解工程においても、Cはガスの抜けが悪い。

それでは、これらの原因は何かというと、

- Ⓐ 先ずCではマイカが、シールド板に完全に接触しているため高温となり、ガス放出をつづける。
- Ⓑ 又Cはガラス封止に際し、リード線、サポートワイヤー、グリッド及び電極等の酸化が甚だしい。
- Ⓒ オキサイド量がDの約2倍である。

等が考えられる。

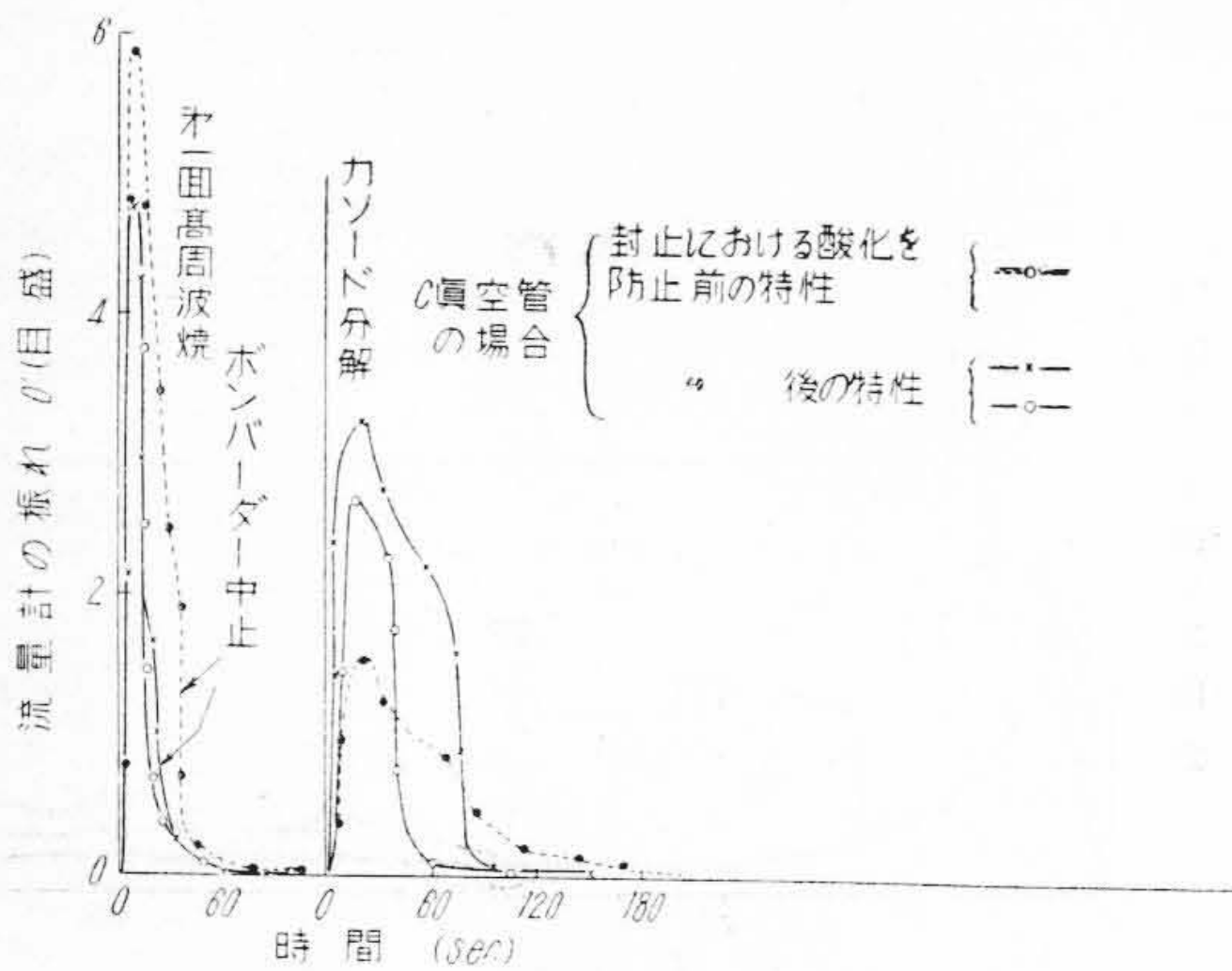
この内Ⓐのマイカからのガス放出を立証するため、なお次の2つの実験を行つた。先ず通常通りC真空管を作り、これがガス放出を徹底的に遂行してみた。結果は第8図で、殆ど際限なくガスが出ること及びその量が普通のスケジュールの場合に比し、数倍に達していることが判つた。このような多量のガスが際限なく出て、それがボンパードーリングの強弱によつて激しく変化するのは何かといえば、シールド板に相当の幅(面積)をもつて完全接触しているマイカの結晶水と先ず考えられる。即ちその他の電極或はオキサイドから出るガスであつたら、このように際限なく出ることは先ずないものと思われる。



第9図 C真空管の部品のガス放出量の比較
Fig.9. Comparison of Outgas of Tube Parts (Tube C)

そこでマイカ及びシールドのないプレートのみと3者が揃つた球とを作り、放出特性を比較したところ、第9図の結果を得た。これよりマイカ及びシールドの揃つた球から出るガス量はプレートのみ数十倍であり、第7図に記録された第1、第2回高周波焼工程に於けるガスの殆ど全部がプレートではなく、マイカであつたことが明瞭となる。即ちC真空管ではニッケルのシールドが上、下2枚あり、これが相当の大きさを持つており、且つ上下のマイカに完全に接触(相当広い面積で)している。従つてボンパードーリングを行えば、シールド板が焼け、マイカは吸蔵ガスのみならず、結晶水を際限なく出す結果となる。

これに反しDでは、シールド板は殆ど接触していない。従つて早速このようなC真空管特有の構造を修正したものを試作したところ、放出特性は非常に改善され放出量も著しく減少した。



第10図 酸化防止後のガス放出特性
 Fig.10. Outgassing Characteristics after Preventing Electrode Oxidation

次に⑧の封止の際の酸化に就いては更に改良し、ほぼ完全なフオミングガス中の封止を行い試験した。第10図がその結果で、酸化しているものに比し、放出特性は相当よくなり、放出量の減衰が速められた。但し同図のものは、上記のマイカからのガス放出をなくするよう工作する前のものである。これは使用金属表面に酸化膜がないと、内部のガスが放出しやすいこと、酸化膜がイオンによつて破壊され、ガス放出の源とならないこと等のためと考えることができる。

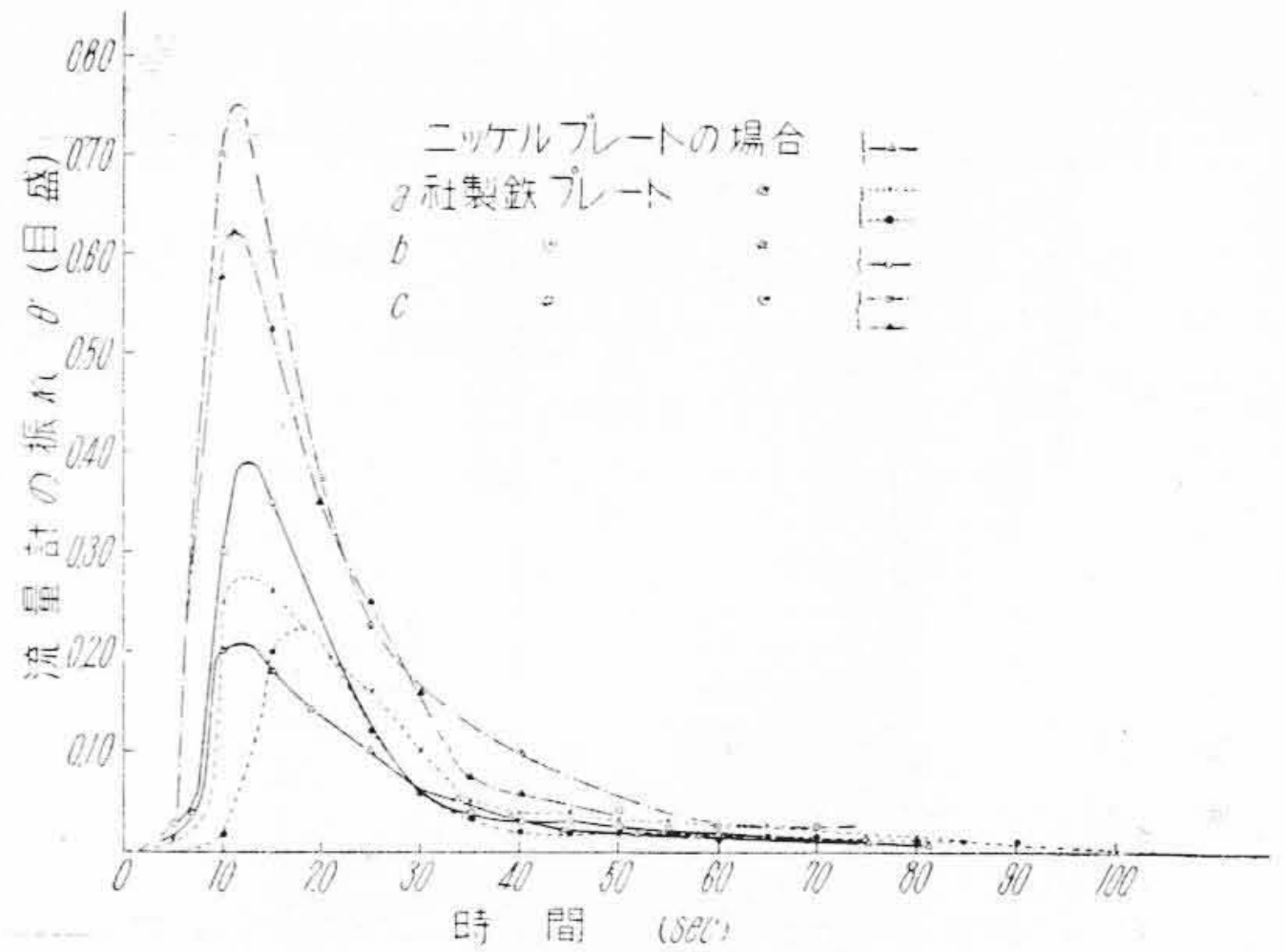
なお上記の如くして明かにされた諸要因を凡て除いた結果ガス放出量は著しく減少し、放出特性は良くなり、現場に於ける製品の Cathode Activity が改善され、エミッションランプが著しく減少する効果もたされた。

〔VI〕 各種の陽極材料よりのガス放出特性

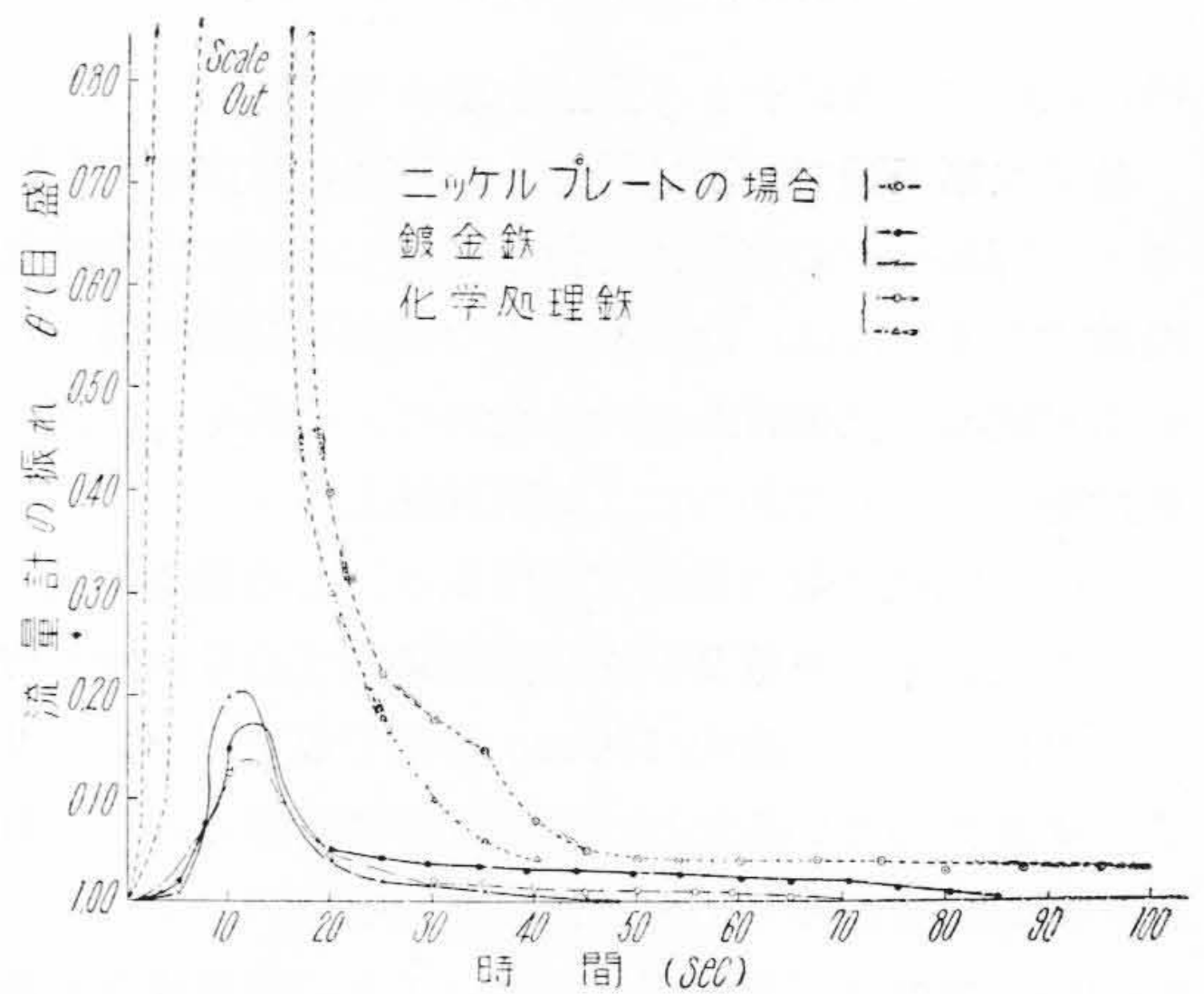
既に各管球メーカーに於てはそれぞれの立場から、真空管並びに電球用材料として種々な代用金属の使用を鋭意研究し各種の結果が発表されている(3)~(7)。

これらの内で、陽極材料としてニッケルの代りに鉄を用いることに就いて、これがガス放出量並びに放出特性を本試験法にて検討してみた。このために a, b, c 等のプレート材料メーカーより、純鉄、鍍金鉄及び化学処理鉄等入手し、先ずニッケルと比較試験することにした。即ちこれらの材料で真空管のプレートを作り、水素炉中で予備処理した後、バルブ内に封止し、プレートのみの真空管を作り、第1図の装置でプレート温度が約900°Cになるようボンバーダ-を加減し、このときの放出特性をしらべた。

代表的な結果の一例をかゝげると、それぞれ第11図及び第12図で、これを次の如く総合することができる。



第11図 材料別ガス放出特性
 Fig.11. Outgassing Characteristics of Various Plates



第12図 処理別ガス放出特性
 Fig.12. Outgassing Characteristics of Various Treated Plates

(i) 純鉄では a 社のものが最も放出量少く、c が多く、他のものの3倍近くである。なおこのことは、当時現場で作られた球で、a 社のものを用いた場合が、最も排気し易く結果が良く、c 社が悪かつた事実とよく符合している。

(ii) 鉄にニッケル鍍金したものはやはり少く、ニッケルと殆ど変わらないが、処理鉄は 10~10 数倍と桁違いに多量のガスを含んでいる。

但し前者(i)の結論は、当然のこと乍ら納入の時期時期により、メーカーの製作条件も多少違つてくることが考えられるので、なお十分な資料が得られるまでは、引続き試験しなければならないであろう。何れにしてもこのように同一種類の品物にも、メーカーによつて放出量に著しい差違があることは、自動式の排気ユニットで量産する工場の形態として、十分注意しなければならない事柄である。

第3表 各種プレートを用いた真空管(E)のガス放出量 但し仮排気しておいた場合で、単位は mmHg・l である。

Table 3. Outgassing Quantity of Vacuum Tube (E), Various Plates Were Used (unit: mmHg·l)

類別	試料番号	工程別	第1回高周波焼	カソード分解	第2回高周波焼	ゲッターとばし	全放出量	動作時のプレート温度(°C)
処理鉄	No. 1		.41	.57	.23	.080	1.29	380
	No. 2		.55	.33	.16	.13	1.17	390
	No. 3		.45	.40	.29	.082	1.22	395
	平均		.47	.43	.23	.097	1.23	388
スニッチング	No. 1		.08	.58	.27	.073	1.01	325
	No. 2		.05	.50	.29	.18	1.03	365
	No. 3		.08	.64	.27	.10	1.10	350
	平均		.07	.57	.28	.118	1.05	347
裸ニッケル	No. 1		.06	.54*	.11	.10	.81	515
	No. 2		.04	.75	.054	.068	.92	565
	No. 3		.03	.47	.067	.15	.72	545
	平均		.04	.55	.077	.11	.82	542

なお以上の外に従来通りニッケルを用い、これにスーチングを施し、熱輻射率をよくして動作時にプレート温度が昇らないようにしたいいわゆるスーチングニッケルとスーチングをしない裸ニッケル及び上記の化学処理鉄を用いた3種類の真空管E (Eは普通の受信管の中でも最も放出量の多いと見做されるものである) を作り、先ずガス放出特性を調べてみた。但しこの場合は従来の流量計による測定精度の再チェックの意味で、装置としては特に第2図のものを用い、流量計法の外に、リザーバーによるガス溜方法を併用して、放出した Total ガスをここに溜め、抵抗真空計の圧力変化からガス量を正確に求めらるよう装置した。

次に上述のような排気の際のガス放出量の大小の外

第4表 各種プレートを用いた真空管(E)のガス放出量但し約 20 hr 大気圧下に放置しておいた場合で、単位は mmHg・l である。

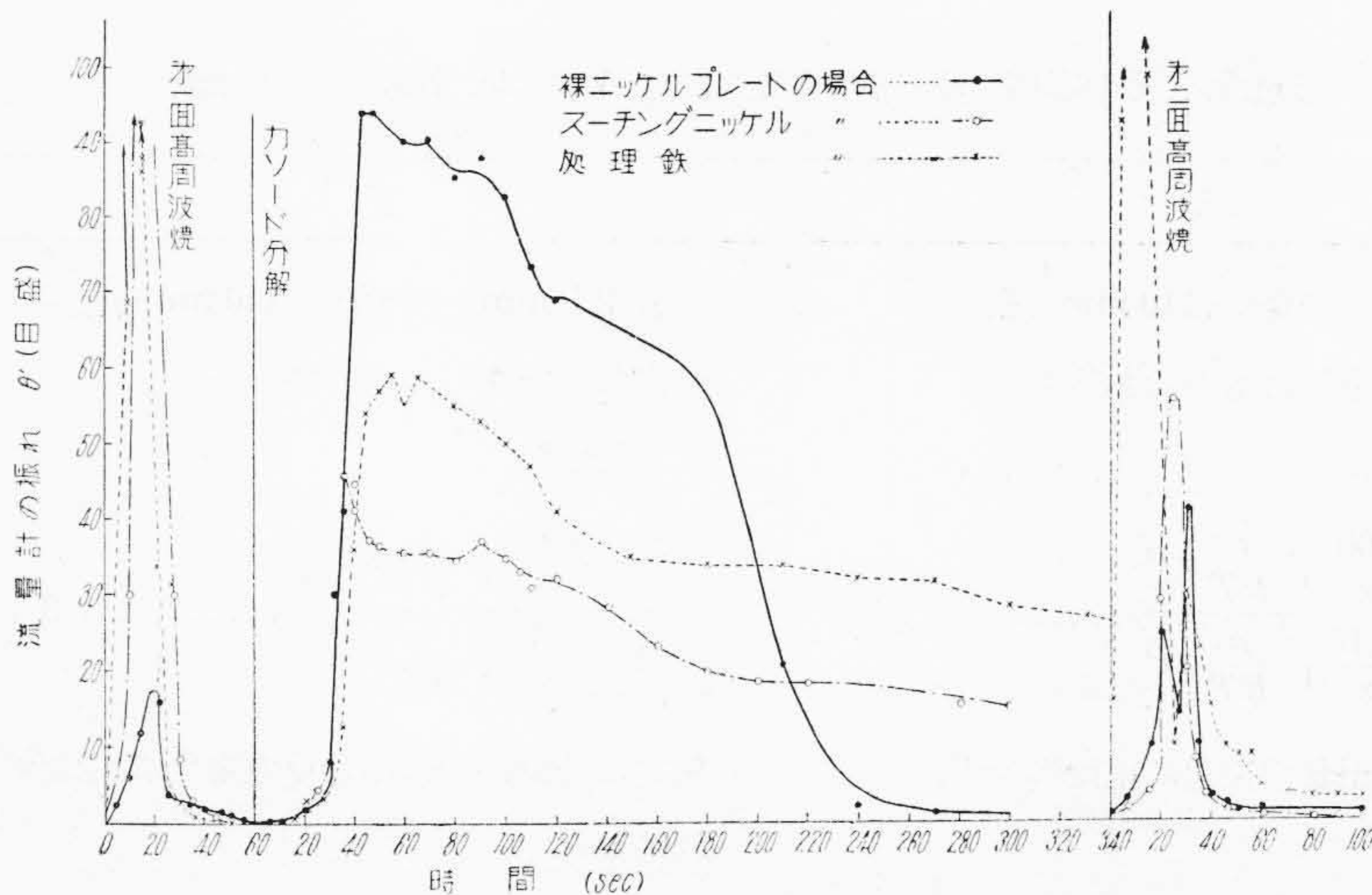
Table 4. Outgassing Quantity of Vacuum Tube (E), Left under Atmospheric Pressure for 20 hr Various Plates Were Used (unit: mmHg·l)

類別	試料番号	工程別	第1回高周波焼	カソード分解	第2回高周波焼	ゲッターとばし	全放出量	動作時のプレート温度(°C)
処理鉄	No. 1		1.00	.43	.24	.053	1.72	
	No. 2		.61	.36	.18	.026	1.18	
	平均		.81	.40	.21	.040	1.45	
スニッチング	No. 1		.088	.56	.32	.12	1.09	
	No. 2		.058	.60	.18	.12	.96	
	平均		.073	.58	.25	.12	1.03	
裸ニッケル	No. 1		.053	.68	.075	.11	.92	
	No. 2		.11	.60	.056	.084	.85	
	平均		.082	.64	.066	.097	.89	

に、この場合にはそのプレートを実際に使用した際に、どの位まで昇温するかということが、これ又甚だ重要な数値である。そこで上記の放出試験と同時に、予めプレートに熱電対温度計を溶接しておき、動作時の温度上昇度を比較検討してみることにした。

結果をガラス封止後、仮排気しておいた球と約 20 hr 大気中に放置しておいたものとは別けて整理すると、それぞれ第3表及び第4表となり、プレート温度は第3表の最右欄の如くなつた。なおこれらの球の排気におけるガス放出特性は、前述通り流量計によつて画かれたが、その内の1例を第13図に示す。

そこで、[III] 及び [IV] に述べた如く、この図を積分して得られる全放出量を、ガス溜法の結果である第3表及び第4表とを比較検討することが必要である。但しこれに就いては、箇々の数値を対照させることを止め、



第13図 各種プレートを用いた真空管(E)のガス放出特性 (1例)
Fig. 13. Outgassing Characteristics of Tube E with Various Plates

例えば最もガス放出量の多かつた部類の 1 つである裸ニッケルプレートを用いた場合の No. 1 試料のカソード分解工程 (第 3 表中の * 印) で比較すると、流量計法とガス溜法の結果がそれぞれ 0.59, 0.54 mmHg·l となり、非常によく一致することが実証された。

従つてこれらの表の示すところを総合するならば、

- (i) 第 1 高周波焼工程のみを考へて、ここへ出るガス量の大部分がプレートからのものと考えると、処理鉄よりのガス量は非常に多く、他の場合の 6~7 倍である。
- (ii) 空気中に放置しておいた場合、鉄の放出量は増すが、スーチングニッケル及び裸ニッケルでは殆ど差がない。
- (iii) 動作時の昇温度は裸ニッケル、鉄、スーチングニッケルの順で、スーチングニッケルが最も温度が昇らず良い特性である。

[VII] 結 言

これまで 3 回にわたつて報告したところを総合すると第 1 報及び第 2 報に於て、真空管工業に於ける最も重要な事柄の 1 つであるガスの放出、排気の問題をとりあげ、これに流量計を適用する方法が、従来の方法より優れているところが多いことを示唆し、且つこのことを実例を以て示した。次いで本報に於て、これを材料の問題、エミッションランプ等の現場に於ける種々な問題の解決に応用し、前報同様にその効果が得られること及びこの方法による Total ガス量の測定も、ほぼ正しいものであることを立証したといえよう。

然し乍ら以上は工場に於て解決しなければならない沢山の問題、或は更に一般的にいつて真空技術上の諸懸案

の一部に適用してみたにすぎず、なお試験に供した管球数も少く、正鵠をかく点があつたと考えられる。

従つて今後に於て、これを更に広範囲且つ多数の問題に応用すると共に、方法をも一段と改良し、例えば自動記録式にするとか、放出ガスの分析を併行的に行う等を実施に移し、より完全なものとし、標準化したいと考えている。

又幸にこれを機会にかような方法と結果に対する各位の忌憚ない御批判と御叱正を頂ければ、今後の改善に十二分に活用し、更に高度の効果と多方面に於ける利用を行いたいと考えている。

終りに本研究を実施するにあつて、終始熱心な御教示を賜つた名古屋大学理学部教授上田良二博士並びに真空技術研究会の方々、更に日立製作所茂原工場久保副工場長、宮城技術部長、橋本設計課長に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 山本: 日立評論 35 No. 9 (1953. 9)
- (2) 山本: 日立評論 35 No. 12 (1953. 12)
- (3) 日本金属学会真空用金属研究委員会: 真空管用純鉄材料の研究 (1950)
- (4) 日本金属学会真空用金属研究委員会: 真空用金属研究委員会研究報告 (1951)
- (5) 日本金属学会真空用金属研究委員会: 真空用金属材料研究報告 (1953)
- (6) W. Espe and E. B. Steinberg: Tele.-Tech. 10 No. 2 (1951)
- (7) A.P. Hasse and E.B. Fehr: Tele.-Tech. 10 No. 6 (1951)

真空管工業に於ける低圧ガス流量計とその応用 (第 2 報) (日立評論 Vol. 35, No. 12) 正誤表

頁	行	誤	正
1760	右側 第 1 図	P 管 25φ (内径)×110 mm (長さ)	P 管 2.5 mmφ (内径)×110 mm (長さ)
1761	左側 28	の逆数を乗じたものである。	の逆数) を乗じたものである。
1763	左側 34排気量....放出量....
1763	右側 34	$\times \frac{1 + \frac{200}{\eta} \sqrt{\frac{\mu}{RT} a \bar{P}}}{1 + \frac{2.47}{\eta} \sqrt{\frac{\mu}{RT} a \bar{P}}} \dots\dots\dots(3)$	$\times \frac{1 + \frac{2.00}{\eta} \sqrt{\frac{\mu}{RT} a \bar{P}}}{1 + \frac{2.47}{\eta} \sqrt{\frac{\mu}{RT} a \bar{P}}} \dots\dots\dots(3)$
1764	右側 27	圧力は放出量の変化に正比例せず、	圧力は流量計の放出量 Q の変化に正比例的ではなく、