

特殊化学処理による黒化純鉄陽極の研究

伊 地 山 昇*

Studies on the Blackened Pure Iron Anode of Radio Tubes, Prepared by the Special Chemical Treatment

By Noboru Ichiyama
Mobara Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

For the purpose of finding a proper substitute for the carbonized nickel anode of high wattage receiving tubes, the writer conducted an exhaustive research on the blackened pure iron anode and found it to be an ideal substitute. The writer had to begin his study with devising a new method of chemical treatment for preparing blackened iron, in which pure iron coated with metallic nitrate was heated in the air and then reduced in hydrogen to blacken.

The article relates of the above, followed by the detailed description of the life test of the radio tubes equipped with the pure iron anode manufactured in the above manner. It is mentioned that the carbonization of iron anode is feasible after the blackening treatment of the iron surface, and, finally it is reported that the results of the life test testify to the excellent performance of the tubes with carbonized iron anode permitting its substitution for those with nickel carbonized anode.

〔I〕 緒 言

国際情勢の危機に端を発したニッケル輸入の杜絶はニッケル製品を主要構成材料とする我国真空管製造工業に深刻な脅威を与えた。この為にニッケル代用材料の選定は重要緊急の問題となりこれに関する研究は急速な進展が要望されるに至つた。

由来ニッケルはその外観、耐酸化性、耐熱性及び高温に於けるガス放出特性に関し真空管電極材料としては殆んど理想的の金属であつた関係上これに比肩する材料の発見に当つては容易ならぬ困難に遭遇した。純鉄はその物理的・化学的性質が比較的ニッケルに近似し、且入手の容易さから云つても代替材料として最も期待されたけれども当時の純鉄に対してはなお材質上及び処理上に関し種々の難点や不安が存在し、純鉄真空管は一般に短寿命の評を免れなかつた。特に陽極損失の大きい高ワット真空管の炭化ニッケル陽極に代る黒化純鉄陽極の製作に関しては意外の難関に逢着した次第である。

* 日立製作所茂原工場

即ち一部で試みられた如く純鉄面を酸化した Fe_3O_4 の黒色被膜を作る法は最も安易であるが、このような酸化物は真空管の作動中に於て陰極からの電子衝撃によつて分解し酸素を分離せしめる。遊離した酸素は陰極に到達して陰極の活性度を害するためかゝる真空管の寿命は一般に短いことが判明した。一方ニッケルに対する如く純鉄表面を炭化して着炭させることは滲炭層が内部に進行すること及び滲炭のみで遊離炭素の着炭は困難であるという理由から実現は容易でなかつた。

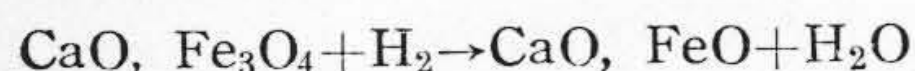
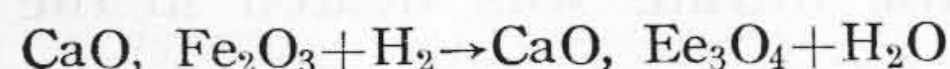
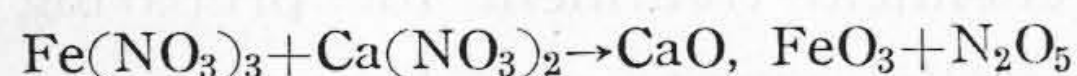
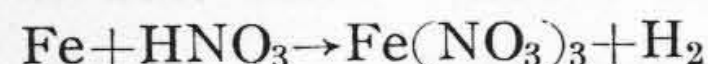
第二次大戦中独逸に於て発明せられたアルミニウム被覆純鉄⁽¹⁾⁽²⁾は着想の卓抜、ガス放出の少いこと及び加熱のみによつて表面が黒化されること等の特長によつて注目を惹いたが、未だ我国に於ては製作加工整形及び性能上種々の問題があつて早急の実用は困難の状況にあつた。

こゝに於て筆者は従来の純鉄黒化法と異なる新規な処理でしかも真空管の使用中に於て陰極の電子放射機能を妨害することのない良好な熱輻射面を得る方法を探求しようとした次第である。

〔II〕 純鉄陽極面の黒化

純鉄黒化法は既に述べた酸化法及びアルミニウムクラッド法の外に一二を数えるのみで余り見当らない。筆者は先ず水素中の加熱によつても容易に還元せられる従来の Fe_3O_4 被膜の欠点を改善するため、更に水素中及び真空中の高温に於ても安定な黒色酸化物被膜を作ることを考慮した。この目的に対し単なる鉄酸化物の代りに金属フェライトを利用することを試みた。

即ち純鉄面に遊離の硝酸を含む金属硝酸塩を作用させこれを空气中で加熱焼付すると茶褐色又は赤褐色を主体とする種々の色を有する金属と鉄の酸化複化合物が生ずる。これを次に水素中適当な温度で加熱すると始めて黒色化合物が生成する。例えば金属硝酸塩として硝酸カルシウムを用いた場合の反応経過は略々次の如くなるものと思われる。

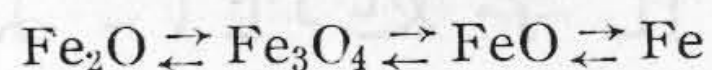


還元によつて生成した物質が CaO , Fe_3O_4 であるか或いは CaO , FeO であるか或いは又その混合物であるかは $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 溶液中の遊離硝酸の濃度、焼付温度及び還元温度等の各条件によつて複雑な変化を見せる。標準溶液によつて処理された陽極面の色状還元温度によつて変化する状況は第1表の如くである。

一般に鉄の酸化物に就いては Fe_2O_3 は赤色 Fe_3O_4 は黒色 FeO も又黒色であり、 FeO は 570°C 以上で安定でこれ以下では Fe_3O_4 に移行することになる。従つて高次の酸化物から水素還元によつて FeO を作るには 570°C 以上に加熱しなければならないことが知られている。しかし乍ら $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理の場合の黒色生成物は単なる FeO 又は Fe_3O_4 でないことは明らかであつてX線廻折試験の結果⁽³⁾によれば焼付後の茶褐色物質の多数の廻折線は CaO , Fe_2O_3 の線に一致し常磁性である。水素還元後の黒色物質は強磁性となる。

以上を総合して $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理の黒色物質の主成分は

CaO , Fe_3O_4 及び CaO , FeO であつて、純鉄に於ける



の変化は CaO 分子の添加によつて一層の高温を必要とする。この結果酸素の分離も又困難になるものと考えられる。かくの如く $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理による黒化機構は略々明らかになつたが鉄と作用して黒化を行うものは $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ のみに限らない。 Al , Mg , Be , Mn 等の硝酸塩を使用しても類似の黒色化合物が生成する。しかし Fe , Ni , Co 等の硝酸塩によつて黒化されず、 Ba , Sr の硝酸塩を使用すれば褐色物質を得るのみである。

〔III〕 黒化純鉄陽極からのガス放出

特殊化学処理による黒化表面は粗面化して表面積が増大しているのでガス吸着も多く、従つて加熱によつてガス放出が大であることが予想される。排気時の放出ガスを試験するためにガス流量試験とガス成分の分析が行われた。

(1) ガス流量試験

真空管部品から排気時に放出されたガス量を測定するには種々の方法が提出されている。ガス溜に捕集して計量する方法やピラニゲージの示差によつて流量を測定する方法⁽⁴⁾が従来主として行われて来たが、こゝでは山本徳太郎氏のフローメーター式ガス流量測定法⁽⁵⁾による結果を第1図に示した。試料は水素還元を行つた黒化純鉄陽極(6ZP1)をとり加熱温度は 700°C , 800°C 及び 900°C の3つを選んだ。同時に非処理純鉄陽極からの放出ガス流量を附記した。

第1図によつて明らかな如く $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理純鉄から放出するガス量は素材である純鉄から放出するガス量に較べて格段に大である。しかしガス放出は僅々20秒程度の短時間でその大部分の放出が終了して排気に長時間を要しない。従つてこれ等のガスは恐らく黒化物質表面に軽く吸着したガスであつて加熱によつて容易に分離されるものと考えられる。

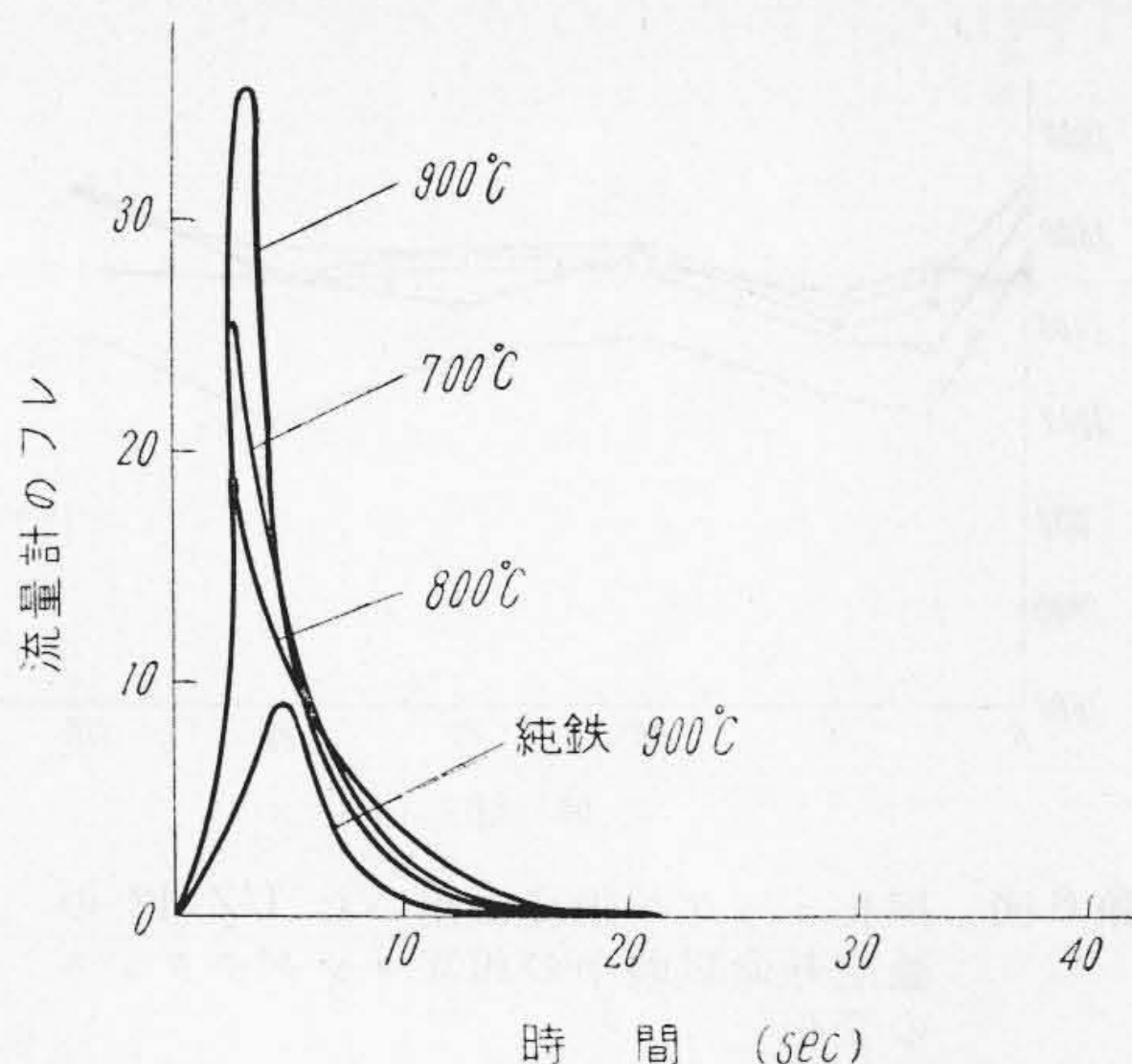
(2) 質量分析量によるガス分析

ニッケル陽極、純鉄陽極及び $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極からの高温における放出ガス成分を質量分析器によつて測

第1表 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理純鉄の水素還元温度と生成物の色

Table 1. Colour and Chemical Composition of the Hydrogen-reduced Substance of the $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -Treated Pure Iron at Various Temperature

還元温度 ($^\circ\text{C}$)	300	400	500	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200
色	茶	茶緑	茶緑	緑黒	黒	黒	黒	黒灰	黒灰	灰
化学成分	$\text{CaO}, \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}, \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}, \text{Fe}_3\text{O}_4$		$\text{CaO}, \text{Fe}_3\text{O}_4$			$\text{CaO}, \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CaO}, \text{FeO}$		CaO, FeO	



第1図 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極及び純鉄陽極から放出するガス流量の比較

Fig. 1. Comparison of the Exhausting Gas Flow from Pure Iron Anode and $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -treated Iron Anode at Various Temperatures

定⁽⁶⁾した。試料は 6ZP1 陽極を用い各々 1,000°C 15 分間の水素焼鈍又は水素還元を行つたものである。ガスの定量分析は 90°C 型ガス分析計⁽⁷⁾によつて行つた。放出ガス量の測定はガス溜法を用いて測定圧力から算出した。以上の結果は第2表に示した。

第2表の結果から見ると純鉄はニッケルに較べて多量のガスを放出するが $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理純鉄は更に純鉄の数倍のガス量を放出する。ガスの組成としては $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理純鉄は CO が少くて CO_2 が多いこと、 H_2O 及び CH_4 が比較的多いことが特長であるが特に異種ガスの放出は認められない。

〔IV〕 黒化純鉄陽極真空管の寿命試験

既に $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極の寿命特性が有望なることを知り且つ特殊な $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理によつて純鉄面の黒化が実現されて陽極の温度低下が可能となつた。そこで次に黒化純鉄陽極を有つ真空管 UZ-42 を試作しその寿命試験を行つた。

(1) 強制寿命試験

UZ-42 に関し陽極過負荷強制寿命試験の条件は第3表の通りである。

試験の結果還元を行つた $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極真空管の電子放射 I_s の変化を第2図に示し $\text{Ca}(\text{NO}_3)_4$ 処理後 1,000°C 1 時間の真空処理を行つた陽極の真空管 I_s の変化を第3図(次頁参照)に、同じく相互コンダクタンス g_m の変化を第4図(次頁参照)に示した。これに対し比較のためニッケル炭化陽極真空管の I_s 及び g_m の

第2表 各種陽極から放出するガスの分析(日立製作所中央研究所神原研究室測定)

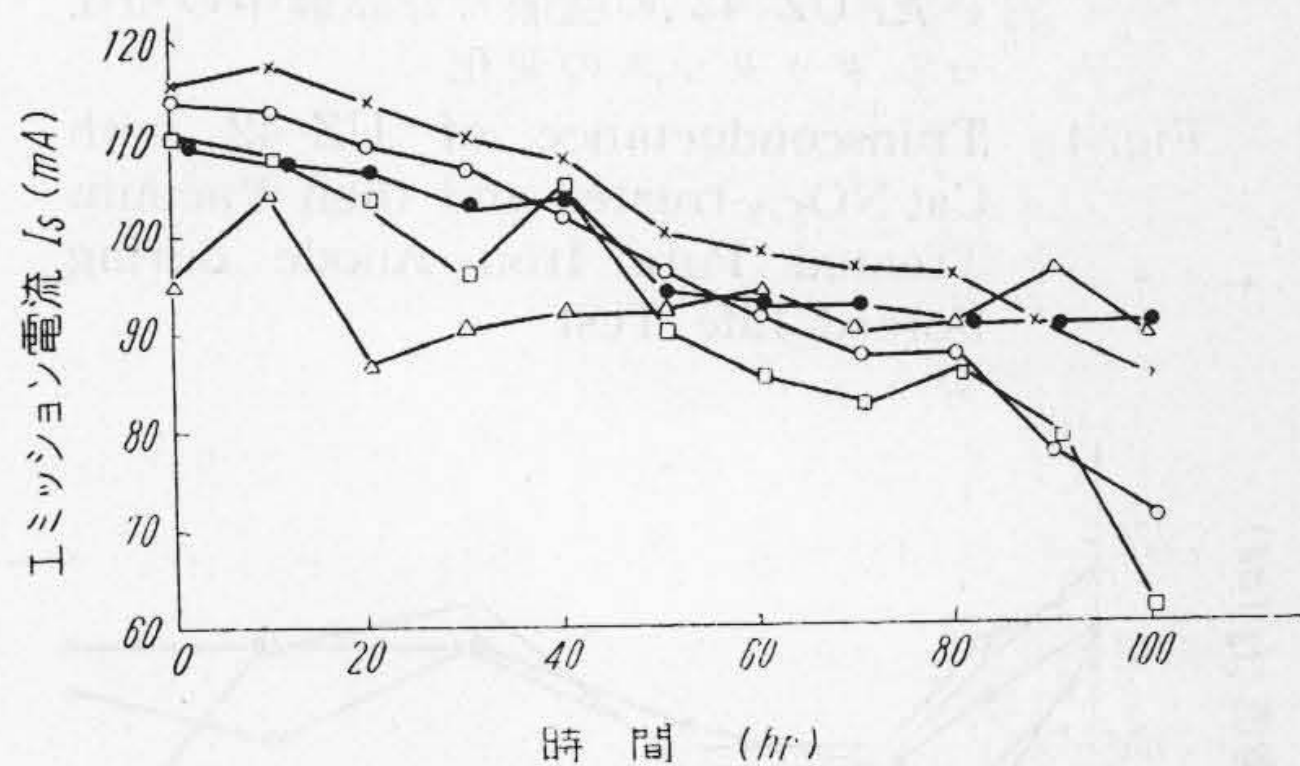
Table 2. Analysis of Exhausted Gas from Various Anode

		Ni 陽極	Fe 陽極	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極
加熱試料数		3	3	3
加熱温度(°C)		1,200	1,200	1,100
加熱時間(sec)		10	10	10
放出ガス量 mmHg. c.c./1.43 gr		57	91	710
組成	H_2 (%)	48.5	41.6	40.7
	H_2O (%)	1.0	—	3.7
	CO (%)	28.8	38.2	18.7
	N_2 (%)	13.5	13.6	8.6
	CO_2 (%)	8.2	6.6	28.3
	炭化水素(%)	0.1	1	0.5

第3表 UZ-42 寿命試験条件

Table 3. Condition of the Life Test for UZ-42

試験法	E_p (V)	I_p (mA)	E_{g_2} (V)	I_f (mA)	陽極損失 (W)
定格	300	34	250	700	10.2
強制	500	50	250	700	25.0

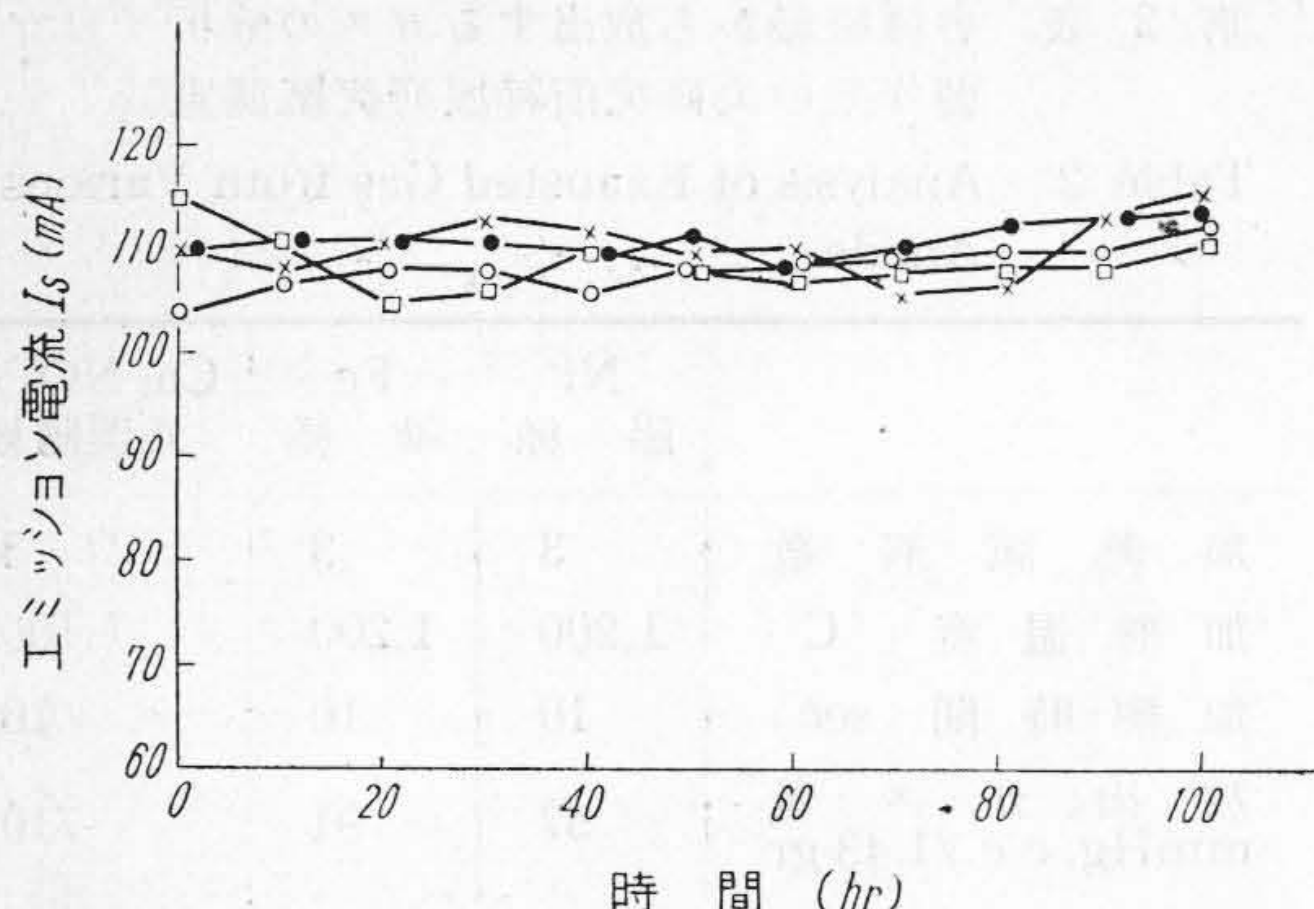


第2図 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極を用いた UZ-42 の強制寿命試験中のエミッション電流の変化

Fig. 2. dc Emission Current of UZ-42 with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -treated Iron Anode during Forced Life Test

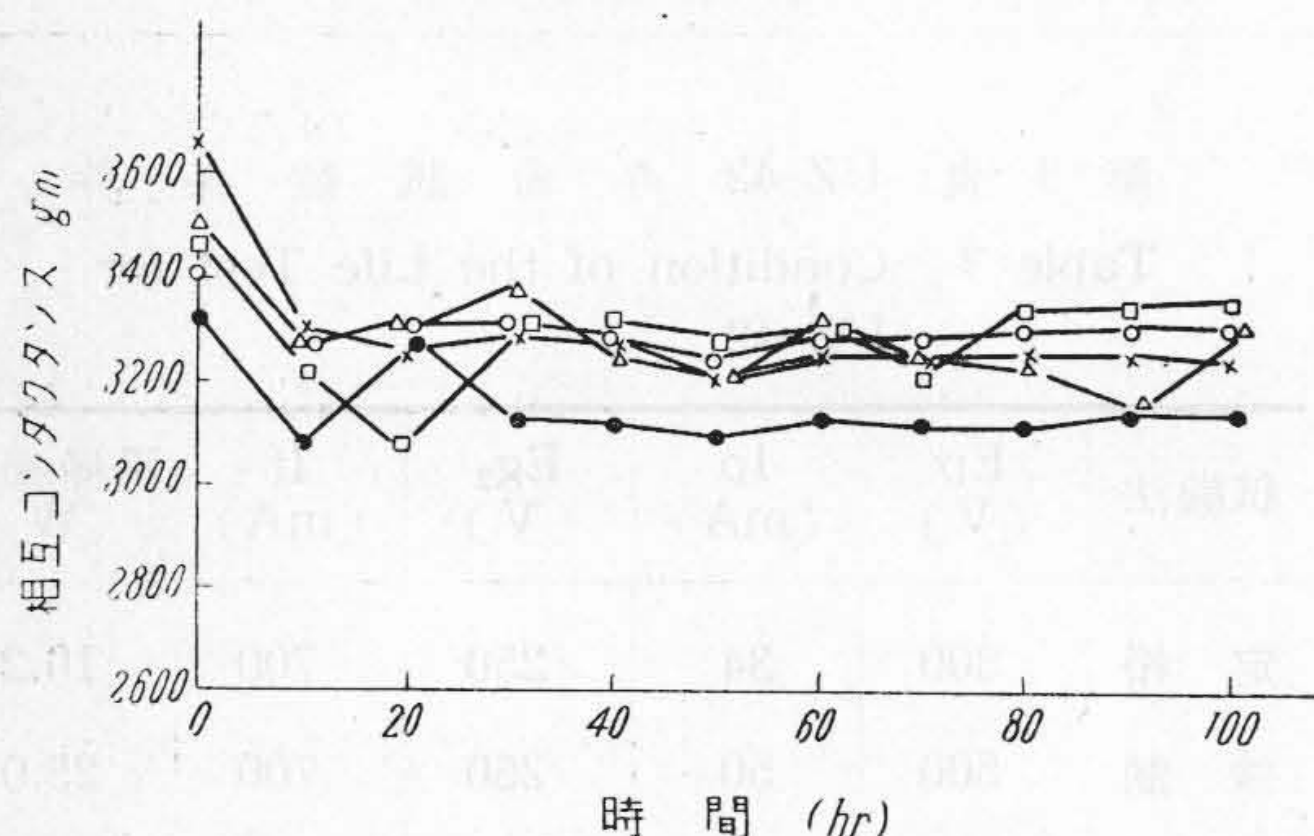
変化を第5図(次頁参照)及び第6図(次頁参照)に示した。

これ等の比較によつて水素処理のみの $\text{Ca}(\text{NO}_3)_4$ 処理陽極では試験時間の経過につれて電子放射の低下が見られるのに対し真空処理を行うならばこの低下は改善され



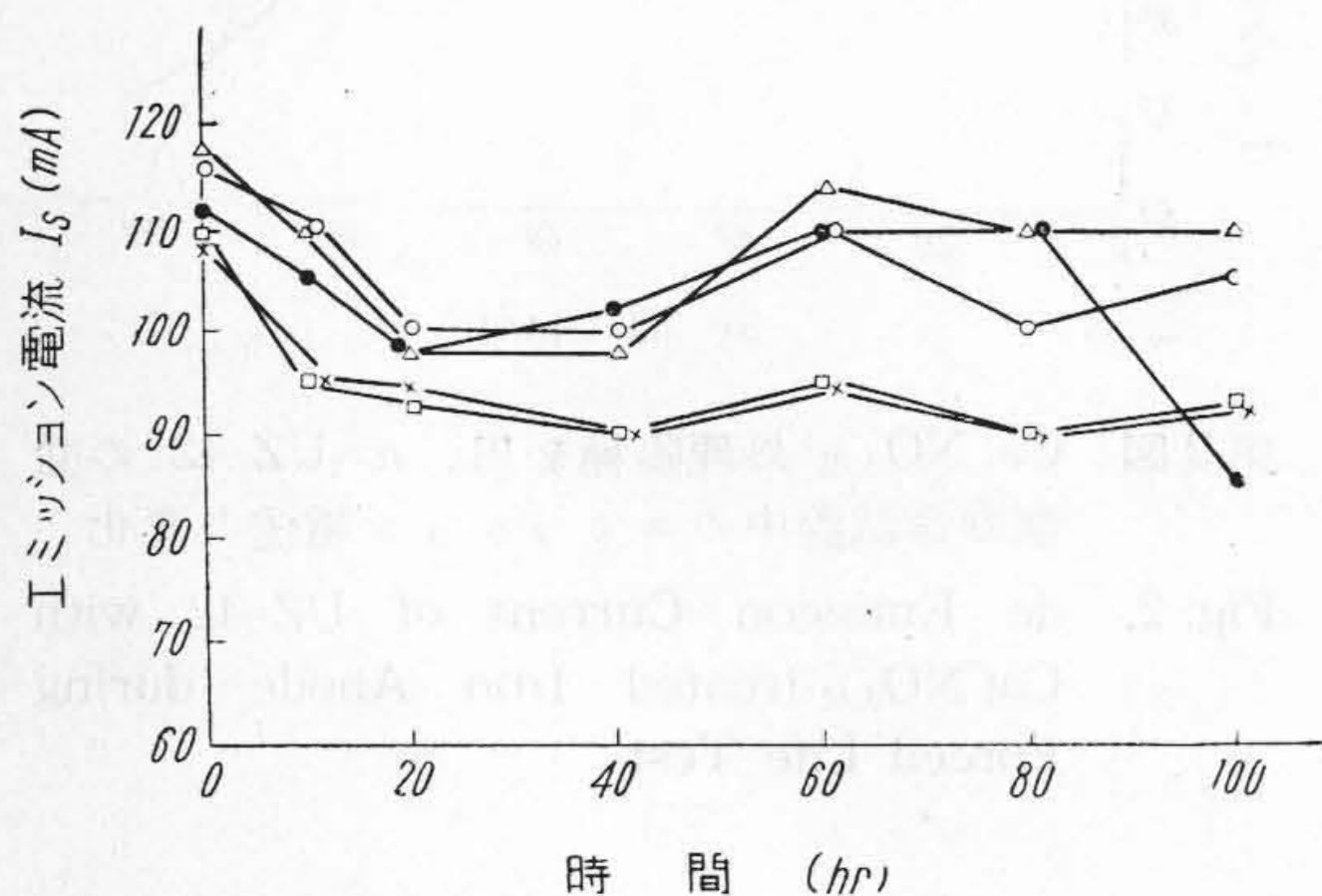
第3図 真空処理をした $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極を用いた UZ-42 の強制寿命試験中のエミッション電流の変化

Fig. 3. dc Emission Current of UZ-42 with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -treated and then Vacuum Treated Pure Iron Anode during the Forced Life Test



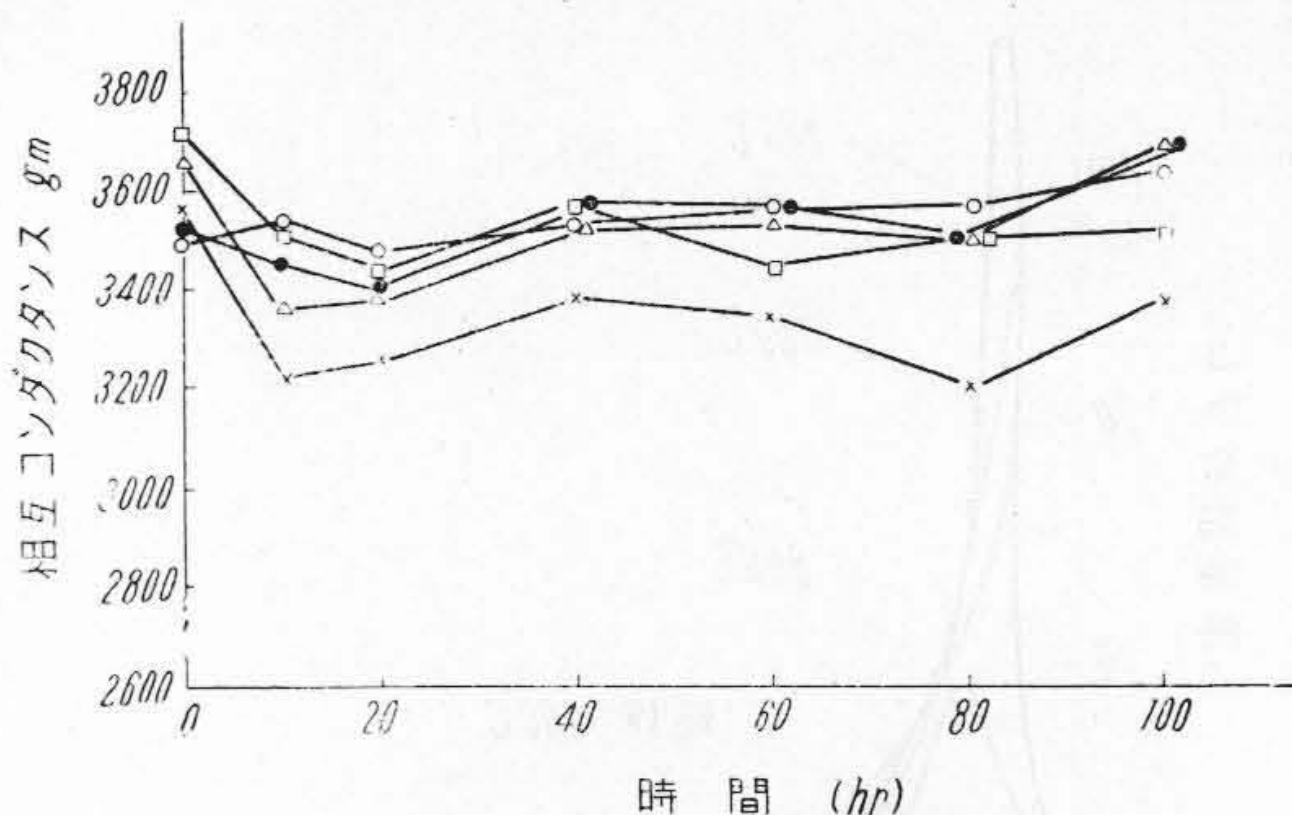
第4図 真空処理した $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極を用いた UZ-42 の強制寿命試験中の相互コンダクタンスの変化

Fig. 4. Transconductance of UZ-42 with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -treated and then Vacuum Treated Pure Iron Anode during Forced Life Test



第5図 炭化ニッケル陽極を用いた UZ-42 の強制寿命試験中のエミッション電流の変化

Fig. 5. dc Emission Current of UZ-42 with Carbonized Nichel Anode during the Forced Life Test



第6図 炭化ニッケル陽極を用いた UZ-42 の強制寿命試験中の相互コンダクタンスの変化

Fig. 6. Transconductance of UZ-42 with Carbonized Nichel Anode during the Forced Life Test

得ることを知る。なお真空 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理黒化陽極と炭化ニッケル陽極の相違は少くとも 100 時間程度の強制寿命試験では認められない。第7図は水素処理のみ及び更に真空処理をした $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極真空管の試験途中の陽極電圧放射電流特性の変化をブラウン管オシログラフによつて観測した図形の比較であるが真空処理によつて陰極効率が改善されていることが明らかに看取することが出来る。

(2) 定格寿命試験

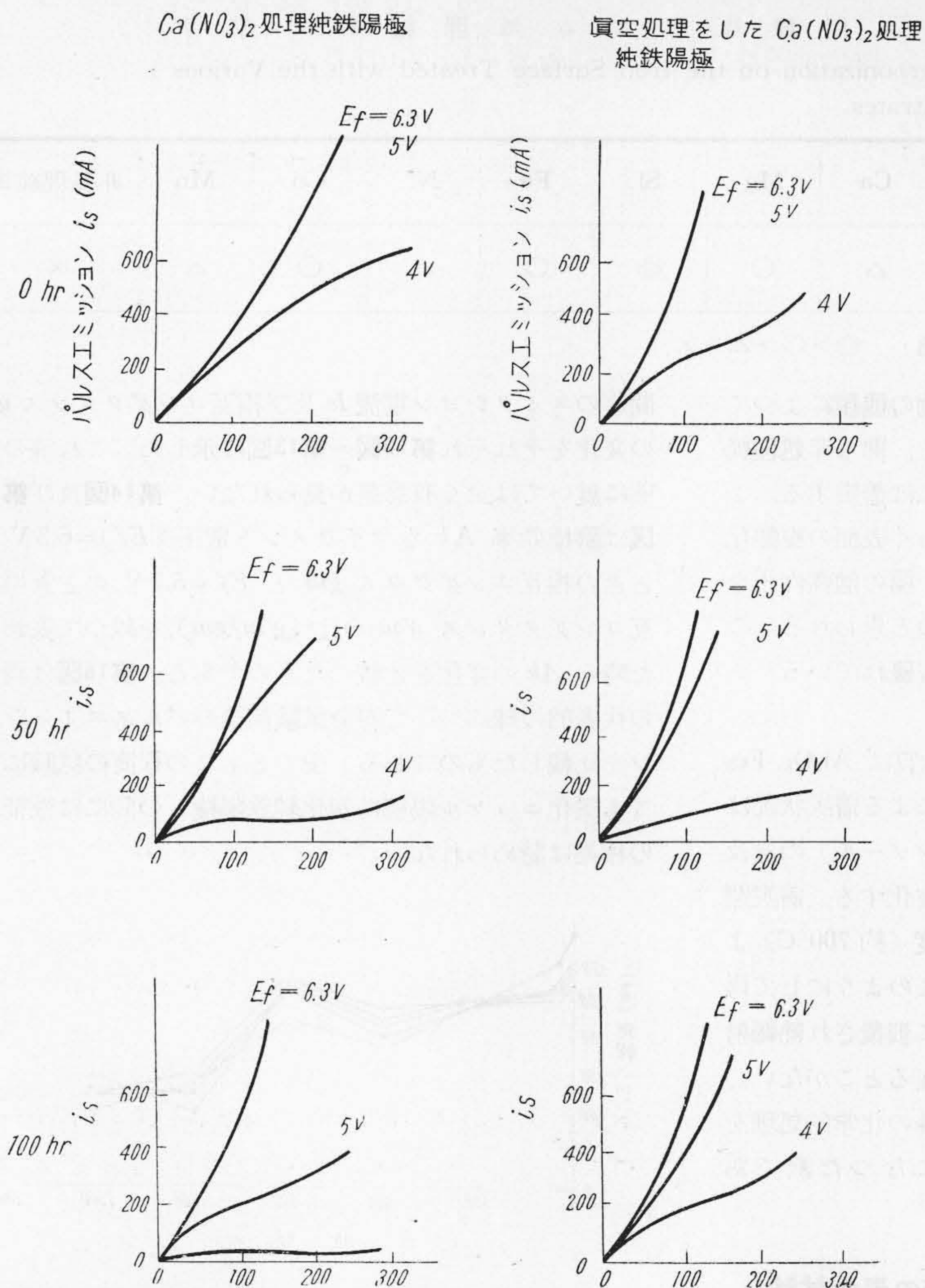
第3表の定格寿命試験条件で水素処理のみの $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極真空管の寿命試験を行つた結果を第8図及び第9図に示した。これ等によれば略々 2,000 時間程度の試験では陽極電流及び相互コンダクタンスの低下は少い。しかし同様な寿命試験に於けるゲッター膜の消耗状況から判断して真空処理陽極の方がガス放出が少く従つて寿命時間も延長されることは確かである。

[V] 特殊化学処理純鉄面の炭化

種々の実験の結果 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理純鉄陽極は出力管 UZ-42, 整流管 KX-80K 及び KX-80BK 等の高ワット受信管に炭化ニッケル陽極の代替として使用し得ることが判明した。しかしながら処理純鉄陽極の性能を一層向上させるためには次の諸項がなお検討さるべく残されている。

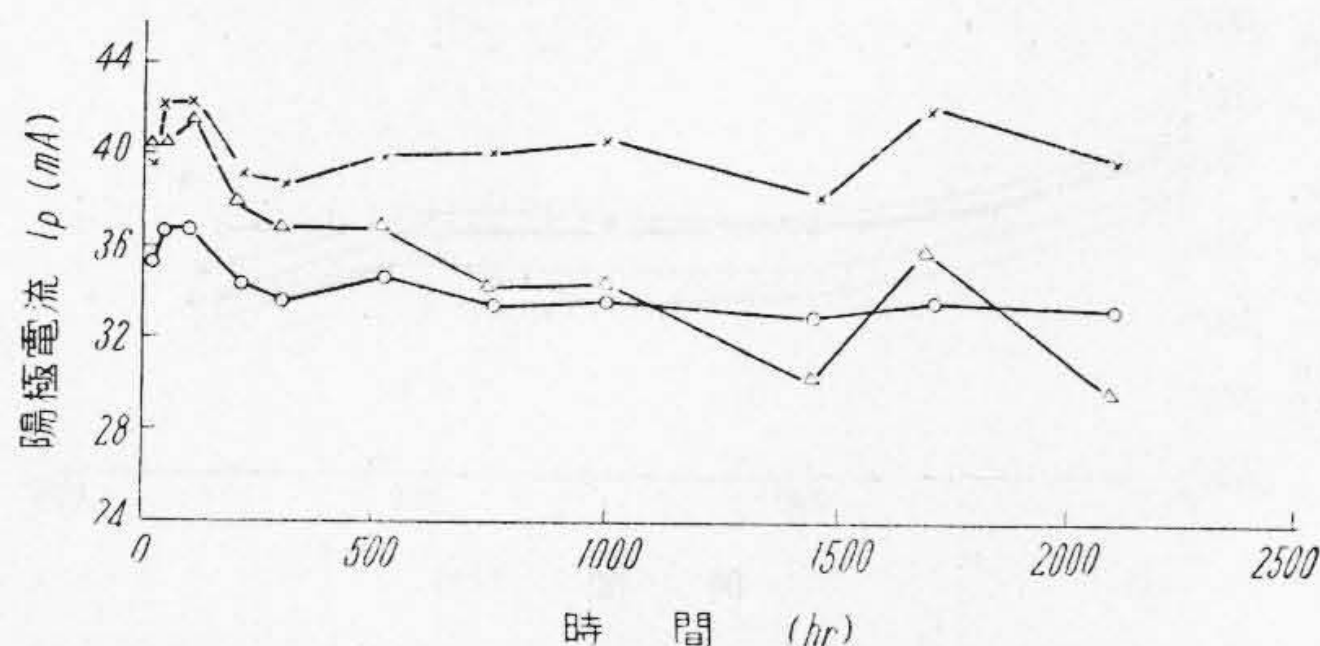
- (1) 黒色複酸化化合物の被膜を更に電子衝撃に対して安定な高沸点の単体元素によつて被覆すること。
- (2) 陽極面の熱輻射率を更に高めて陽極温度の一層の低下を図ること。
- (3) 陽極表面被膜の電気抵抗を減ずること。

以上の各項に対する改良策として種々の事実を考慮して次の事柄が考えられる。



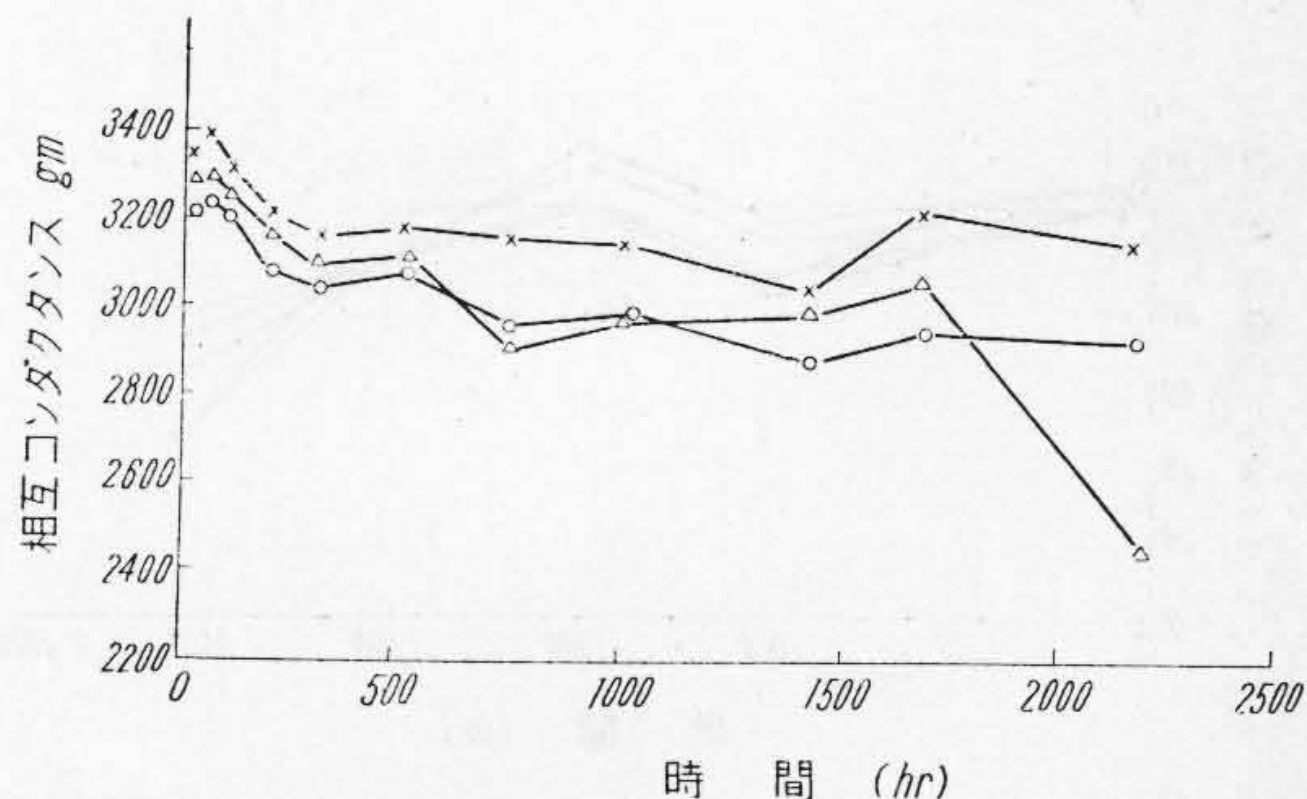
第7図 ブラウン管観測による UZ-42 の強制寿命試験中の陽極電圧尖頭エミッション電流曲線 (E_f はフィラメント電圧)

Fig. 7. Peak Emission Current versus Anode Voltage of UZ-42 with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -treated Anode (Left) and then Vacuum Treated Anode (Right) during the Forced Life Test



第8図 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極を用いた UZ-42 の定格寿命試験に於ける陽極電流の変化

Fig. 8. Anode Current of UZ-42 with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -treated Iron Anode during the Normal Load Life Test



第9図 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 処理陽極を用いた UZ-42 の定格寿命試験に於ける相互コンダクタンスの変化

Fig. 9. Transconductance of UZ-42 with the $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -treated Iron Anode during the Normal Load Life Test

(a) (1)に対しては陽極表面は単体の炭素で被覆すること。

(b) (2)に対しては完全黒体に近い微粒炭素で被覆すること。

(c) (3)に対しては半導体の酸化複化合物を減じてより電導度の高い炭素或いは炭素化合物に替えることが有効である。

即ち以上は可れも純鉄面の炭素被覆の有効なることを示している。従つて特殊化学処理に対しては何等かの方法によつて炭素被覆を行うことが出来れば都合がよい。

しかるに純鉄表面の炭化は技術的に中々困難であることは既に述べたところであるが、筆者の特殊化学処理純鉄上の着炭の成否は全く不明である。そこで早速次の如き実験を試みた。

(A) 各種金属硝酸塩による処理表面上の着炭

純鉄を Ba, Sr, Ca, Mg, Al, Fe, Ni, Co 及び Mn 等の硝酸塩の硝酸酸性水溶液に浸漬後空气中 $400\sim 600^\circ\text{C}$ に於て焼付した。これを水素中にベンゾールの蒸気を含む 900°C の炭化炉に於て 15 分間加熱した時の表面の着炭状況を第4表(次頁参照)に示した。

第4表 各種金属硝酸塩による処理純鉄の着炭
Table 4. State of Carbonization on the Iron Surface Treated with the Various Metallic Nitrates

金属	Ba	Sr	Ca	Mg	Sl	Fe	Ni	Co	Mn	非処理純鉄
着炭状況	×	△	△	○	◎	○	△	○	△	×

◎....着炭良好 ×....着炭不能 ◎>○>△>×

第4表が示す如く処理面の生成化合物の種類によつて着炭状況に非常な差があることが判る。即ち非処理純鉄は依然として着炭しないが処理純鉄には着炭する。この原因は未だ明瞭ではないけれども恐らく表面の複酸化化合物がベンゾールの熱分解に対して一種の触媒作用を行い且分解炭素が該物質に密着するものと思われる。この目的のためには $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 処理が最も優れている。

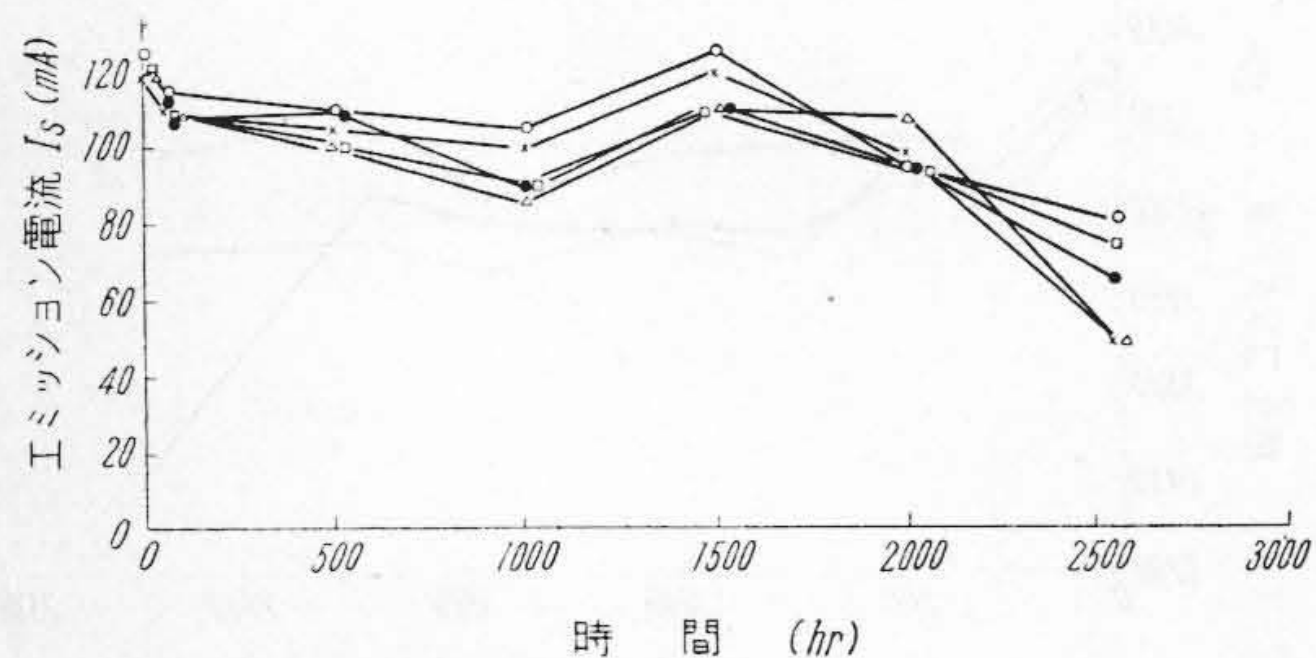
(B) $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 処理純鉄の着炭

$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 処理によつて出来た黑色物質は Al_2O_3 , Fe_3O_4 又は Al_2O_3 , FeO である。炭化炉による着炭状況は黑色表面層の厚さ、使用炭化水素（ベンゾール）の量及び純度、炭化温度及び時間等によつて変化する。着炭開始温度は概して純ニッケル着炭開始温度（約 700°C ）より若干高い（約 800°C ）。しかしながらこのようにして得られた処理面は微粒炭素によつて強固に被覆され熱輻射率優秀で従来のニッケル炭化面と何等変るところがない。

かくて純鉄面の炭化は予め表面に特殊の化学的処理を施すことによつて容易に得られるようになった訳である。

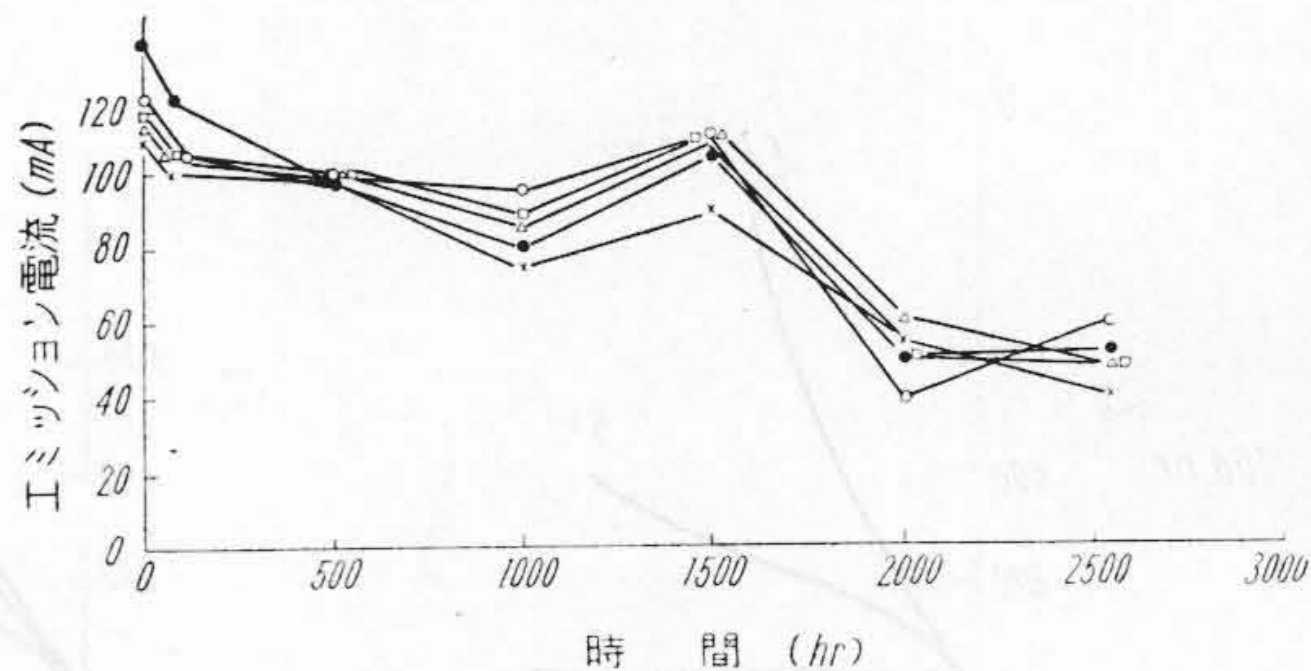
〔VI〕炭化処理純鉄陽極真空管の寿命試験

特殊処理による炭化純鉄は炭化ニッケルと略々類似の性能が予期されるのでそれぞれの電極を有つ真空管 UZ-42 を再び試作してその定格寿命試験を行つた。2,500時

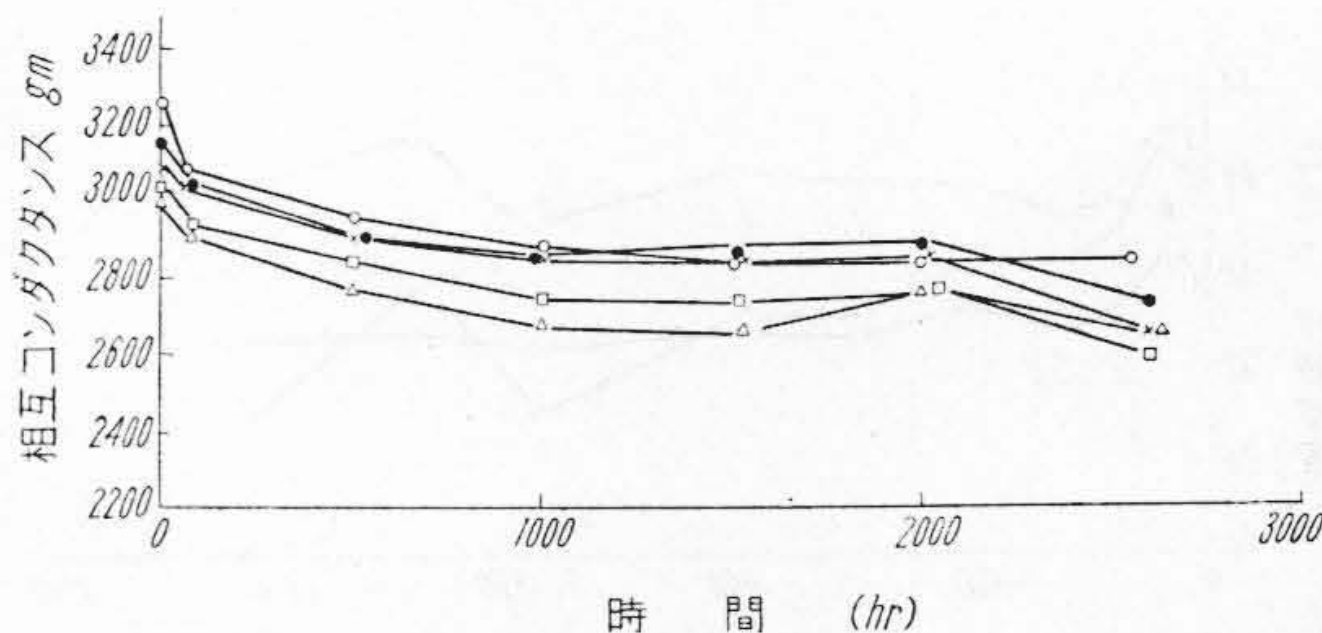


第10図 炭化純鉄陽極を用いた UZ-42 の定格寿命試験に於けるエミッション電流の変化
Fig. 10. dc Emission Current of UZ-42 with the Carbonized Iron Anode during the Normal Load Life Test

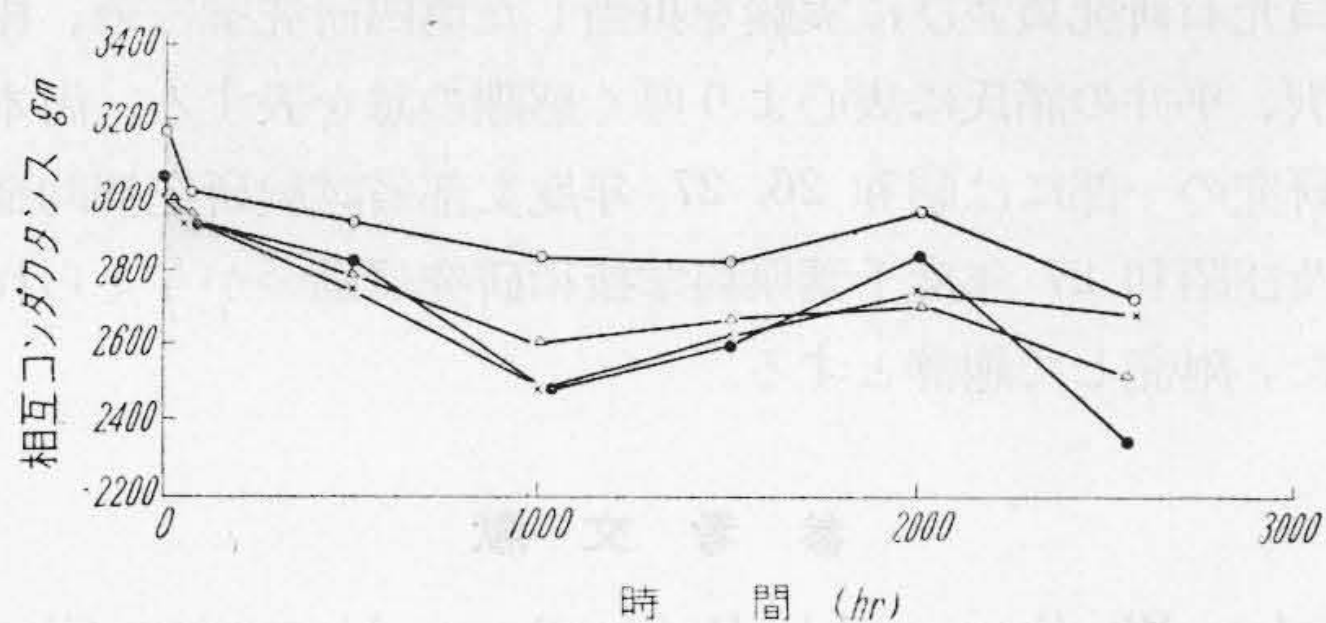
間迄のエミッション電流 I_s 及び相互コンダクタンス gm の変化をそれぞれ第10図～第13図に示した。これ等の性能に就いては全く有意差が見られない。第14図及び第15図は陰極効率 Ak をフィラメント電圧 (E_f) = 6.3 V のときの相互コンダクタス gm と E_f = 5.7 V のときの相互コンダクタンス $g'm$ の比 ($g'm/gm$) を以つて表わした時の Ak の変化を比較したものである。第16図は両種の代表的の球について寿命試験前後のパルスエミッションを比較したものである。少くともこの程度の試験に於ても炭化ニッケル陽極に炭化純鉄陽極との間には性能上の相違は認められない。



第11図 炭化ニッケル陽極を用いた UZ-42 の定格寿命試験に於けるエミッション電流の変化
Fig. 11. dc Emission Current of UZ-42 with the Carbonized Nickel Anode during the Normal Load Life Test

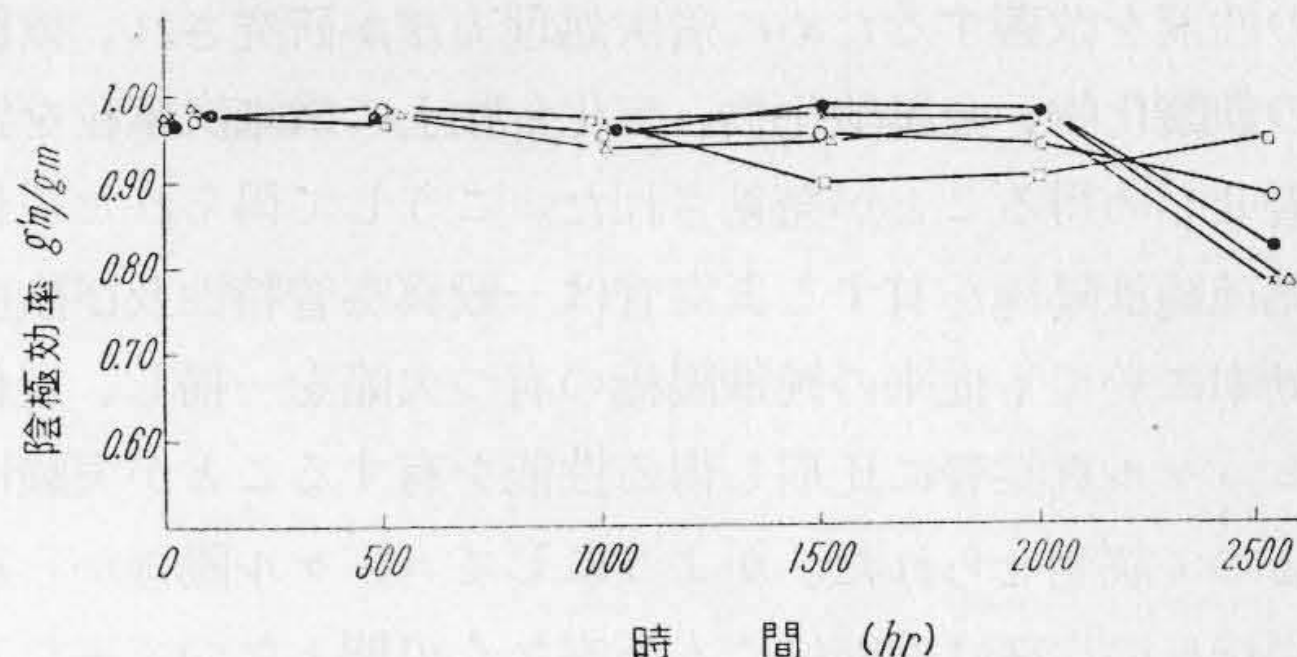


第12図 炭化純鉄陽極を用いた UZ-42 の定格寿命試験に於ける相互コンダクタンスの変化
Fig. 12. Transconductance of UZ-42 with the Carbonized Iron Anode during the Normal Load Life Test



第13図 炭化ニッケル陽極を用いた UZ-42 の定格寿命試験

Fig. 13. Transconductance of UZ-42 with the Carbonized Nickel Anode during the Normal Load Life Test

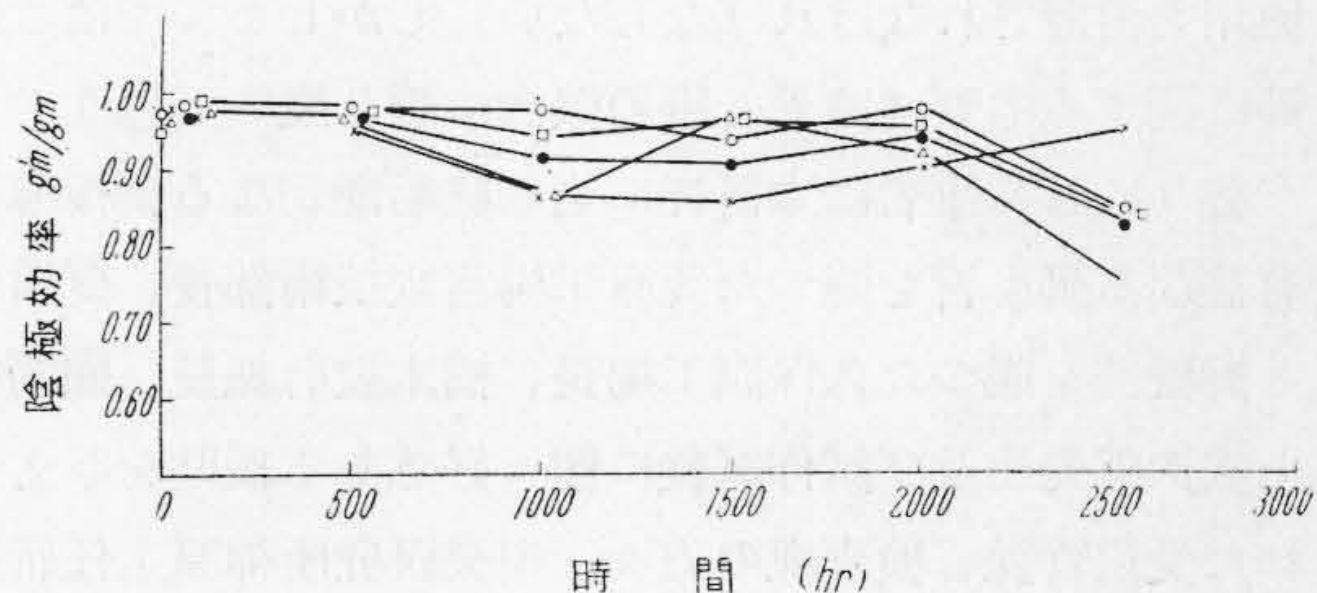


第14図 炭化純鉄陽極を用いた UZ-42 の定格寿命試験中に於ける陰極効率 $g'm/gm$ の変化

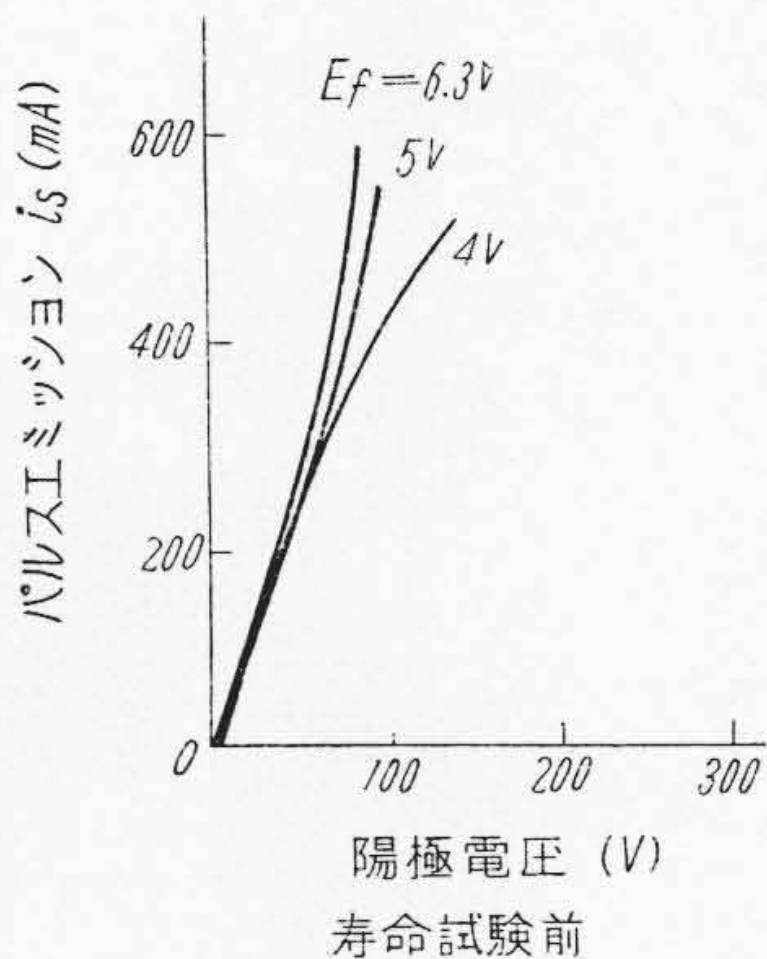
Fig. 14. Cathode Activity of UZ-42 with the Carbonized Iron Anode during the Normal Load Life Test

第15図
炭化ニッケル陽極を用いた UZ-42 の定 →
格寿命試験中に於ける陰極効率 $g'm/gm$
の変化

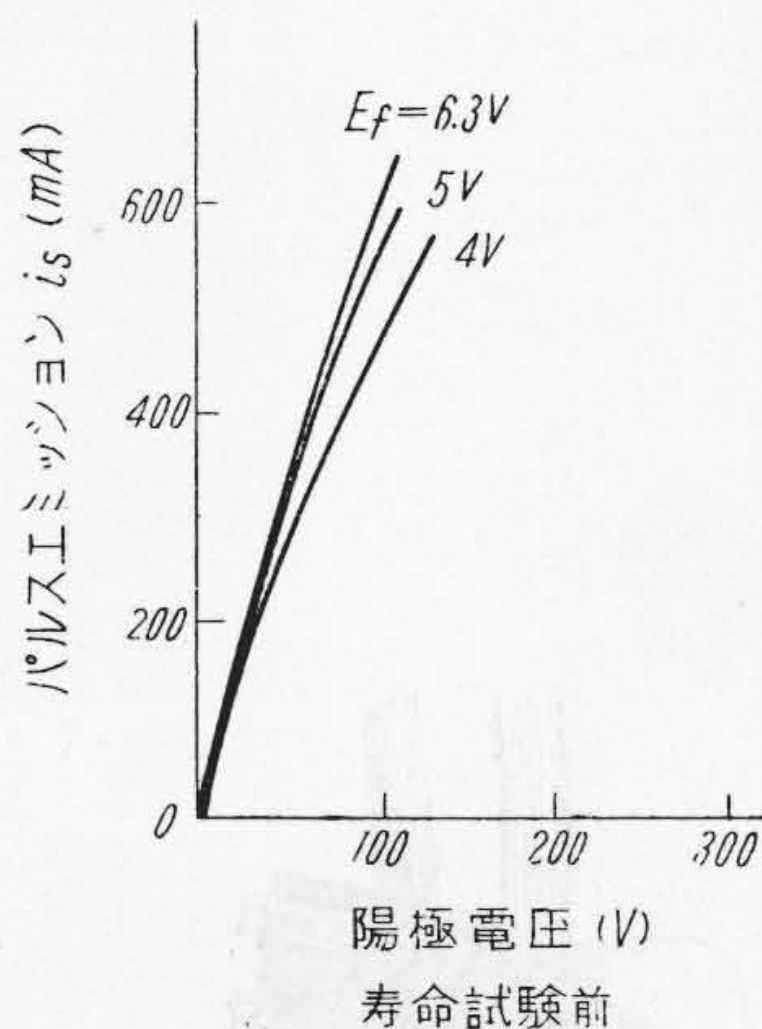
Fig. 15.
Cathode Activity $g'm/gm$ of UZ-42
with the Carbonized Nickel Anode
during the Normal Load Life Test



炭化ニッケル陽極

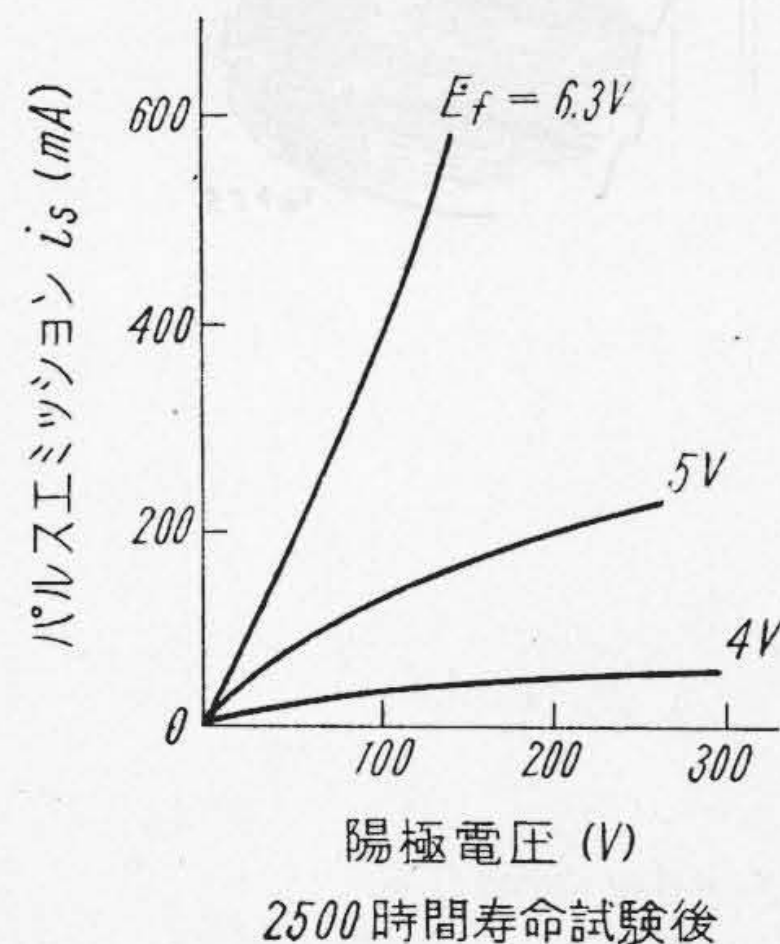
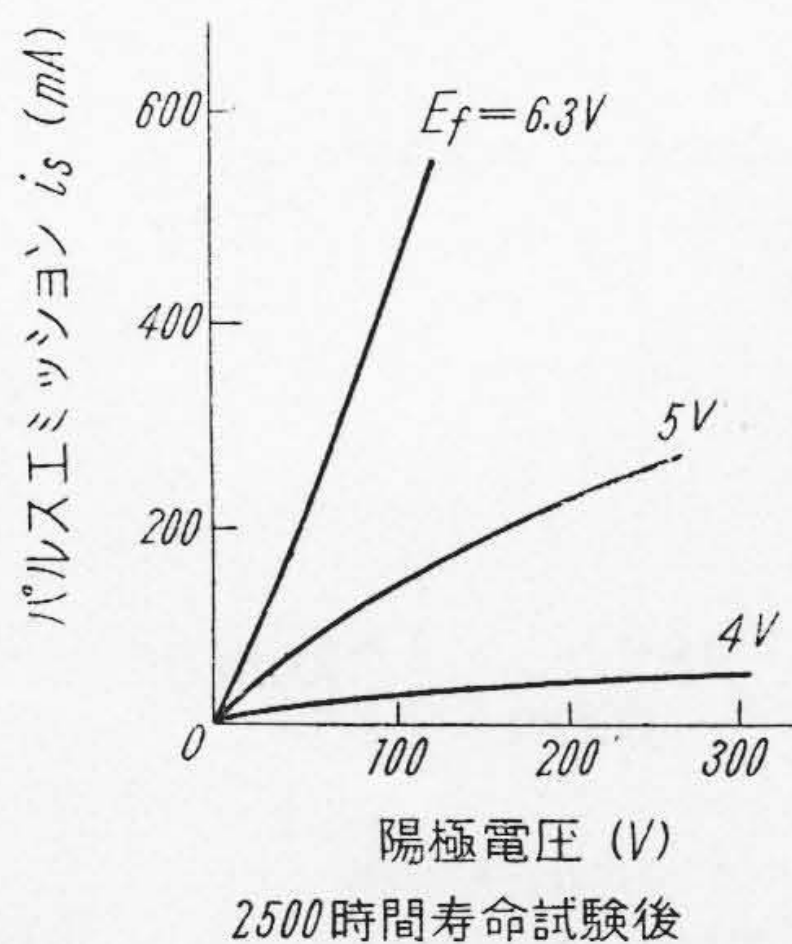


炭化純鉄陽極



〔VII〕 結 言

ニッケル代用黒化陽極材料として純鉄面を特殊金属の硝酸塩を以て処理する黒化法は全く新規な材料処理法であつたが、実験の結果多くの高ワット真空管の陽極として使用し得ることが判明した。処理の結果得られた黒色物質は M_2O , Fe_3O_4 又は M_2O , FeO の如き分子式を有し水素中及び真空中に於て陽極金属のガス抜処理工程の高温加熱に於ても比較的安定である。しかし更に処理純鉄陽極



第16図

UZ-42 の定格寿命試験前後の陽極電圧パルスエミッション電流曲線の比較

Fig. 16.

Peak Emission Current versus Anode Voltage of UZ-42 with the Carbonized Nickel Anode (Left) and the Carbonized Iron Anode for Various Filament Voltage before and after 2,500 hr Normal Load Life Test

の性能を改善するために着炭処理方法が研究され、或種の鉄酸化物、金属酸化物、複化合物上に微細炭素粒を密着せしめ得ることが発見された。こうして得られた炭化処理純鉄陽極を有する真空管は一般真空管特性及び陰極効率に於ても従来の純鉄陽極の有つ欠陥を一掃し、炭化ニッケル真空管に比肩し得る性能を有することが実験によつて証明せられた。かようにしてニッケル陽極から鉄陽極への代替は性能的にも不安なく可能となつて来た次第である。

本研究は専ら市販純鉄を使用して処理方法の改善にのみ主眼を置いて来たが、同時に純鉄自体の材質も亦真空管陽極に適応する如く選定されねばならない。又本処理法の特殊な作業や特長に対処して独自の陽極用鉄合金の使用も考慮されなければならない。しかしこゝではこれ等に関する考察は割愛し別の機会に譲り度いと思う。

終りに臨み筆者は本研究に当り終始懇切なる御指導や有益なる御忠言を賜つた茂原工場宮城技術部長、御指導と御鞭撻を賜つた久保副工場長、橋本設計課長、顧問村上武次郎先生及び試作試験に種々好意ある援助を与えられた受信管課、検査課の方々、中央研究所神原主任研究

員光石研究員並びに実験を担当した第四研究室吉野、相沢、平井の諸氏に衷心より厚く感謝の意を表する。尙本研究の一部には昭和 26, 27 年度文部省試験研究補助金及び昭和 27 年度千葉県科学技術研究奨励金が与えられた。附記して謝辞とする。

参考文献

- (1) W. Espe and E. B. Steinberg, Aluminium Clad Iron for Electron Tubes. Tele. Tech. Feb. 1950
- (2) A. P. Haase and E. B. Fehr, New Vacuum Tube Materials II. Tele. Tech. July, 1951
- (3) 中央研究所光石研究員の測定による
- (4) 真空管材料規格 (VMS) 58 (6-17) ガス放出試験 太田芳雄: マツダ研究時報 Vol. 16 No. 3
- (5) 山本徳太郎: 真空技術 (真空技術研究会) No. 4 Dec. 1950 P. 1
- (6) 中央研究所神原主任研究員海老原研究員の測定による
- (7) 神原豊三: 日立評論 33 (12) P. 1067 (昭 27)

