U.D.C. 621.395.64 : 621.318.50.013.08

電子管特性の検討に対する実験計画法の応用

——6CB6陰極効率の変動の解析——

Application of the Experimental Design for The Electron Tube Characteristics.

安岡修一* 鈴木健治*
Shuichi Yasuoka Kenji Suzuki

内容梗概

電子管特性は日常業務化した試作実験によつて検討せられることが多い。実験は一連のルールに従つて直交計画されてあることが望ましく，解析は検定，推定について実施されるべきことを述べた。実験の一例として高周波増幅5極管6CB6の陰極効率の解析をとり上げ，直交多項式による因子効果の検討を行つた。その要点は要因を自由度1なる成分に分解し，回帰式を作成することにある。実験は計量5因子，3水準としたが，有意なる因子として炭酸塩密度，スリーブ重量などを認め，その効果，変動の数値解析による説明を試みた。

〔I〕 緒　　言

工場における実験計画法の応用については，すでに広く実用化の途が開かれ，その目的効果についてはいまさら他言を要しないであろう。電子管はその製造に際して工程の原理はほかの工業製品と同様であるが，設計は微細な精度をもつ多くの部品と，物理化学的な反応まで含めた工程とを総合して，この多因子の集合よりある条件を選定し最終の電気的特性をいかに推定するかということがその主眼となる。そしてこの間に確定した法則の決定されている分野が意外に少く，通常，設計製造条件の決定は実験，試作によつて確認されることがきわめて多い。さらに生産に際してこれらの決定を，短時間で求める必要の多いことも一つの特長であろう。したがつて電子管特性の検討に際して実験の利用は日常業務というべく，情報の多い効率の高い実験をいかに実施してゆくかがその工場の一つの政策となるであろう。

本報においては直交配列実験の応用例として，筆者らが数年前に行つた高周波増幅5極管6CB6の陰極効率変動の問題をとり上げ，解析結果について説明を加えることとした。

〔II〕 実験の解析の方針

実施例の説明に先立ち，本報に応用した解析の方針をのべれば次のごとくである。

まず実験はいうまでもなく実験の計画から始まる。因子の多様性と，結果としての特性の複雑多岐にわたる点で，電子管における試作実験は直交配列実験で一貫することが望ましい。その意味で本例は可能な限り必要な多因子をとり上げ，その因子間の関係をより明白にするため3水準とした。いずれにしても直交計画のもつ特長は実験の基本となるであろう[1]。

* 日立製作所茂原工場

また実験結果の解析として通常用いられるのは分散分析による検定であつた。しかしながら設計上，管理上直接に役立つ情報はむしろ推定によつて得られることが多く，それは実験の計画が適切であれば直交多項式を利用することによりいちじるしく簡単な操作で解析が可能である。分散分析の一般的な手法は主効果および交互作用の変動を，その自由度で平均して誤差変動と対照することにあつた。しかしながら本報では実験結果をより見透しよく，有効な推定まで展開するために，各変動を自由度1なる成分に分解する方針とした。上述のごとくこれは電子管における各種の特性変化を固有の実験式としてとらえ，さらに実験領域外の効果の推定，有効な追加実験を行うことを可能にする。そして必要に応じ実験値が示す曲面全体から最高点や最低点を指摘し，所望の条件を狙うことが実施できるのである。

その具体的方法は田口氏[2]，あるいは Anderson, Bancroft[3] 氏らにより解説せられ，特に宮城博士の方法によれば[4]二元配置実験において整然とした計算が可能である。

直交多項式とは各水準の間隔が等間隔であるとき，一般に $k \times l$ の二元実験では $k \times l$ 個の回帰係数を有する二元多項式として次のように展開できることをいう。

$$
\begin{aligned}
y = {} & b_0 + b_1 x_1 + b_{11}\left\{x_1^2 - \frac{(k^2-1)}{12}\right\} \\
& + b_{111}\left\{x_1^3 - \frac{(3k^2-7)}{20}x_1\right\} \\
& + \cdots\cdots + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{112}\left\{x_1^2 - \frac{(k^2-1)}{12}\right\}x_2 \\
& + b_{1112}\left\{x_1^3 - \frac{(3k^2-7)}{20}x_1\right\}x_2 + b_{22}\left\{x_2^2 - \frac{(l^2-1)}{12}\right\} \\
& + b_{122}x_1\left\{x_2^2 - \frac{(l^2-1)}{12}\right\} + b_{1122}\left\{x_1^2 - \frac{(k^2-1)}{12}\right\} \\
& \times\left\{x_2^2 - \frac{(l^2-1)}{12}\right\} \\
& + b_{11122}\left\{x_1^3 - \frac{(3k^2-7)}{20}x_1\right\}\left\{x_2^2 - \frac{(l^2-1)}{12}\right\} + \\
& \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)
\end{aligned}
$$

そしてこれら回帰係数の推定のために，計算された直交多項式の表が与えられている。

〔III〕 実験の計画

6CB6はかつてテレビ用高周波増幅に多く用いられた5極管であつて，当時製造現場ではこの球の陰極効率の変動が比較的大きく，問題として陰極効率の変動に大きく影響する因子を摘出し，設計，工程の改善点を定めたいということであつた。

陰極効率とはこの場合ヒータ電圧6.3Vと5.7Vにおける相互コンダクタンスの値の比であつて，工場ではこれをGmAKあるいは単にAKと略称して特性の重要な目安としている。要するにGmAKとは真空管の一つの優劣を表わし，AKの変動が大きいことは陰極活性度の変動が大きいことを意味し，とくに低AKのものは低電圧時には使用上問題の起ることが考えられる。相互コンダクタンスを支配する因子は大ざつぱにいつて電子放射と電極寸法ということになるが，電極寸法の影響がほぼ明確であるのに対し，電子放射の影響の内容はかなり複雑であると考えられている。しかしながら電子放射もまた結局は炭酸塩分解の化学反応，陰極の熱効率，温度分布の問題に帰することができるようである。従来の知見ではまずスリーブ重量が増し，マイカの枚数が増すとAKが下ることが知られている。また分解電流によつてAKは上下しOptimum pointのあるらしいことは実験があり，炭酸塩密度が減少するとAKはよいように思つている。分解電流と密度などには交互作用があるであろう。しかし定量的にこの実体は明白にされていないようである。

以下の実験ではこれらの因子の選択に当つて，各担当者の意見を総合し**第1表**の計量5因子をとり上げることとした。水準数は3で，これは通常の3^5型実験に相当することとなる。

各水準はなるべく等間隔に配置したが必ずしも完全ではない。個々の因子の性格について説明を省略するが，スリーブ重量は各水準とも電解研磨をほどこしてあり，解析に当つては電解の効果との混同を注意することとし，間隔は全体の幅の平均をとり$h_3=4$ mgとした。

さて上記因子は島田氏の直交配列$H_{3\cdot27}$表[5]にわりつけることとした。この場合主効果A，B，C，D，Eおよび交互作用A×B，B×Cを検出する方針としたが，各列における配置は**第2表**のごとくなつている。

実験の繰返し数は欠測値を考え各組8個，総計8×27＝216個とした。AKのσは従来の管理図より推定せられ差の検出に十分な数として，直交配列による216個の実験は通常の多元配置実験$3^5\times8=1{,}944$個の実験に相当し，実験量は1/9となる。

第1表　GmAK実験の因子

	因子＼水準	0	1	2
1	A：カソード分解電流（mA）	530	510	490
2	B：炭酸塩密度（mg/mm³）	0.9～1.0	0.7～0.8	0.5～0.6
3	C：スリーブ重量（mg）	38.7	35.7	30.7
4	D：マイカ枚数	上1，下1	上2，下1	上2，下2
5	E：リボン寸法（mm）	0.13t×0.5×12	0.08t×0.5×12	0.05t×0.3×8

第2表　直交配列表による因子のわりつけ

効果	A×B, C×D	A	B	A×B, D×E	C, A×E	D	B×E, C×D	E, A×C	A×D, B×C	B×D	A×C, A×E, B×D	A×D, B×E	B×C, D×E
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2
5	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	0	0	0
6	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1
7	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	1	1	1
8	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2
9	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0
10	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
11	1	0	1	2	1	2	0	1	2	0	1	2	0
12	1	0	1	2	2	0	1	2	0	1	2	0	1
13	1	1	2	0	0	1	2	1	2	0	2	0	1
14	1	1	2	0	1	2	0	2	0	1	0	1	2
15	1	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0
16	1	2	0	1	0	1	2	2	0	1	1	2	0
17	1	2	0	1	1	2	0	0	1	2	2	0	1
18	1	2	0	1	2	0	1	1	2	0	0	1	2
19	2	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1
20	2	0	2	1	1	0	2	1	0	2	1	0	2
21	2	0	2	1	2	1	0	2	1	0	2	1	0
22	2	1	0	2	0	2	1	1	0	2	2	1	0
23	2	1	0	2	1	0	2	2	1	0	0	2	1
24	2	1	0	2	2	1	0	0	2	1	1	0	2
25	2	2	1	0	0	2	1	2	1	0	1	0	2
26	2	2	1	0	1	0	2	0	2	1	2	1	0
27	2	2	1	0	2	1	0	1	0	2	0	2	1

第3表　実験データ

実験No.	測定値（GmAK %）				
1	96.1	96.8	92.3	95.6	96.5
2	98.4	94.9	97.9	98.2	97.2
3	97.0	97.8	97.5	95.2	96.5
4	96.2	97.0	97.5	98.1	97.2
5	98.7	98.0	97.7	97.5	98.2
6	97.6	97.8	97.1	98.1	97.5
7	97.8	98.0	97.3	96.7	96.8
8	96.3	97.7	97.2	96.3	96.0
9	96.9	98.0	97.4	97.5	97.4
10	97.8	96.4	95.4	94.4	95.0
11	96.6	97.1	97.5	97.4	96.5
12	95.6	95.0	97.2	90.8	94.7
13	98.8	98.9	97.6	97.3	96.6
14	97.9	97.4	97.0	97.3	96.5
15	96.9	96.8	97.5	96.7	95.9
16	93.9	94.7	95.9	95.5	93.1
17	93.4	93.2	94.3	92.4	93.5
18	94.6	95.8	97.0	97.2	95.4
19	97.3	96.5	97.3	97.4	96.3
20	97.7	98.0	97.4	97.4	96.7
21	98.0	97.5	97.5	96.5	96.8
22	94.8	87.5	90.3	93.2	92.3
23	96.1	96.0	97.4	96.0	96.8
24	96.6	95.2	95.9	95.5	95.3
25	96.1	97.8	97.3	92.6	94.8
26	97.8	95.9	96.7	96.0	96.8
27	93.5	94.8	97.1	96.1	96.3

〔IV〕 実験結果および分散分析

(1) 実験結果

実験は計画者が監視を遂行し，実験順序をランドマイズして排気，エージングも全数同日に行つた。予期せるごとくところどころに欠測値を生じたが，乱数表によつて各組5個に切りそろえ**第3表**のごとき結果を得た。

さて分散分析は前述のように各主効果および交互作用A×B, B×Cについて自由度1の成分に分解する方針であつた。

(2) 主効果の分解

まず全データを10倍し，仮りの平均960を差引いて整理し，各組の和を示すと**第4表**のようになる。

各因子の水準は3であるので自由度は2となり，これを一次の成分と二次の成分に分ける。いまAが連結変数で等間隔ならば，この場合水準 $k=3$ に対応する**第5表**に示す直交多項式の表を用い，効果の変動を次式のように分解することができる。

$$S\,Al=\frac{1}{r(\lambda^2S)}(Al)^2=\frac{1}{2r}(-A_0+A_2)^2 \quad \ldots\ldots(2)$$

$$S\,Aq=\frac{1}{r(\lambda^2S)}(Aq)^2=\frac{1}{6r}(A_0-2A_1+A_2)^2 \ldots(3)$$

Al, Aq とは上式であきらかなように一次 (linear), 二次 (quadratic) 効果を表わすものである。

主効果A：カソード分解電流については**第4表**の値より

$$S\,Al=\frac{1}{(2)(45)}\left\{-(206)+(-32)\right\}^2=629.37$$

$$S\,Aq=\frac{1}{(6)(45)}\left\{(206)-(2)(222)+(-32)\right\}^2=270.00$$

以下同様に Bl, Bq, Cl, Cq, Dl, Dq, El, Eq を算出する。

(3) 交互作用の分解

交互作用成分とはこの場合 $AlBl$, $AlBq$, $AqBl$, $AqBq$ の4成分をいう。計算順序はつぎのごとく行つた。まずA(2)列とB(3)列のデータを対応する水準ごとに**第6表**のように並べる。

このAB各水準の対和を縦に並べ一次，二次の係数を乗じてこれを対比1とし，ふたたびこの値い一次，二次係数をかけて対比2を作ればこれが各交互作用成分となる。**第7，8表**のごとくである。

かくして求めた各成分より変動は次の公式によつて求められる。

$$S\,AlBl=\frac{1}{r(\lambda^2S)_{Al}(\lambda^2S)_{Bl}}(AlBl)^2 \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

$$=\frac{1}{(15)(2)(2)}(240)^2=760.00$$

第4表　各組測定値の和 ($r=5$)

実験 No.	組和	実験 No.	組和	実験 No.	組和
1	−57	10	−10	19	48
2	66	11	51	20	72
3	40	12	−67	21	63
4	60	13	92	22	−219
5	101	14	61	23	23
6	81	15	38	24	−15
7	66	16	−69	25	−14
8	35	17	−132	26	32
9	72	18	0	27	−22
			総和		396

第5表　直交多項式係数表 ($k=3$)

	b_0	b_1	b_2
W_1	1	−1	1
W_2	1	0	−2
W_3	1	1	1
λ^2S	3	2	6
λS	3	2	2
S	3	2	2/3
λ	1	1	3

第6表　A　B　原　表

		B_0	B_1	B_2
A_0		−57	−10	48
		66	51	72
		40	−67	63
	和	49	−26	183
A_1		−219	60	92
		23	101	61
		−15	81	38
	和	−211	242	191
A_2		−69	−14	66
		−132	32	35
		0	−22	72
	和	−201	−4	173

第7表　対　比　1

	b_0	b_1		b_2	
A_0B_0	49	−1	−49	1	49
A_1B_0	−211	0	0	−2	422
A_2B_0	−201	1	−201	1	−201
			−250		270
A_0B_1	−26	−1	26	1	−26
A_1B_1	242	0	0	−2	−484
A_2B_1	−4	1	−4	1	−4
			22		−514
A_0B_2	183	−1	−183	1	183
A_1B_2	191	0	0	−2	−382
A_2B_2	173	1	173	1	173
			−10		−26

$$S\,AlBq=\frac{1}{r(\lambda^2S)_{Al}(\lambda^2S)_{Bq}}(AlBq)^2 \ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

$$=\frac{1}{(15)(2)(6)}(-304)^2=513.92$$

$S\,AqBl$, $S\,AqBq$ についても同様であり，B×Cもまた各4成分に分解せられる。一括して各成分の計算は次のようになつた。

$Al=-238$,	$Aq=-270$
$Bl=910$,	$Bq=-240$
$Cl=293$,	$Cq=-531$
$Dl=-179$,	$Dq=109$
$El=184$,	$Eq=120$
$AlBl=240$,	$AlBq=-304$
$AqBl=-296$,	$AqBq=1,272$
$BlCl=-403$,	$BlCq=277$
$BqCl=425$,	$BqCq=489$

また通常の分散分析においては求める交互作用以外の交互作用はすべて誤差変動の中に含まれるが，これをそのほかの交互作用としてさらに分離するために計算を行つた。すなわち各測定値級和27個の変動を求めて，これよりA～E主効果変動およびA×B，B×Cの効果変動を差引いたのである。

（4） 分散分析表

以上述べた手順により各成分の変動を計算して一括すれば**第9表**のごとき分散分析表が得られる。

以上の分散分析結果より，主効果についていえば分解電流 Al，炭酸塩密度 Bl については曲線の傾斜は有意で，スリーブ重量については特に二次の放物線的変化をすることがわかる。交互作用については $AqBq$，$BlCl$ が特に大きく，またそのほかの交互作用の中に有意なものがある。

〔V〕 効果の検討

（1） 回帰係数の推定

曲線の係数は分散分析の計算においてすでに各効果を算出してあるからこれを用い次の公式で計算する。

$$b_0=\frac{1}{\text{全実験数}}\Sigma y \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

$$=\frac{1}{135}(396)=2.93$$

$$b(Al)=\frac{1}{r(\lambda S)}(Al) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

$$=\frac{1}{(45)(2)}(-238)=-2.64$$

同様に $b(Bl)=10.11$，$b(Cl)=3.26$ となる

二次の項についても

$$b(Cq)=\frac{1}{r(\lambda S)}(Cq) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

$$=\frac{1}{(15)(2)}(-531)=-5.90$$

また交互作用の項は

$$b(AlBl)=\frac{1}{r(\lambda S)_{Al}(\lambda S)_{Bl}}(Al\,Bl) \cdots\cdots (9)$$

$$=\frac{1}{(15)(2)(2)}(240)=4.00$$

第8表　対　比　2

	b_0	b_1		b_2	
b_1	−250 22 −10	−1 0 1	250 0 −10	1 −2 1	−250 −44 −10
		$AlBl$	240	$AlBq$	−304
b_2	270 −514 −26	−1 0 1	−270 0 −26	1 −2 1	270 1,028 −26
		$AqBl$	−296	$AqBq$	1,272

第9表　分散分析表

因子	変動	自由度	F
Al	629.37	1	4.21*
Aq	270.00	1	1.80
Bl	9,201.11	1	61.60**
Bq	213.33	1	1.43
Cl	953.88	1	6.38*
Cq	1,044.30	1	7.00**
Dl	344.90	1	2.30
Dq	396.03	1	2.65
El	376.17	1	2.51
Eq	53.33	1	0.36
$AlBl$	960.00	1	6.40*
$AlBq$	513.92	1	3.43
$AqBl$	487.87	1	3.25
$AqBq$	2,996.26	1	20.00**
$BlCl$	2,706,82	1	18.10**
$BlCq$	426.27	1	2.85
$BqCl$	1,003.47	1	6.70*
$BqCq$	442.82	1	2.96
その他の交互作用	4,860.95	8	4.05*
級和間変動	27,880.80	26	
誤差	16,147.60	108	MS　149.51
全	44,028.40	134	

$$b(AqBq)=\frac{1}{r(\lambda S)_{Aq}(\lambda S)_{Bq}} \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

$$=\frac{1}{(15)(2)(2)}(1.272)=21.20$$

同様に $b(BlCl)=-6.71$，$b(BqCl)=7.08$ となる。

この実験結果より主効果のみについていえば次のようになる。

（A） カソード分解電流の一次効果は $b(Al)=-2.64$ となつたからこれをもとのケタに戻して水準の間隔 $h_1=20$ mA として

$$\frac{2.64}{(10)(2)}=0.13\%/10\text{mA}$$

すなわち分解電流を 10 mA 増すと AK は 0.13% 増大するということになる。

（B） 炭酸塩密度の一次効果　$b(Bl)=10.11$，$h_2=0.2$

同様に

$$\frac{10.11}{(10)(0.2)}=0.5\%/0.1$$

密度を 0.1 増すと AK は 0.5%ずつ減少する。

（C） スリーブ重量は二次の効果が著しい。いま公式によつて二次式を推定すると次のようである。

$$y=b_0+\frac{b(Cl)}{h_3}(z_3-\bar{z})+\frac{b(Cq)}{(h_3)^2}$$

$$\times\left\{(z_3-\bar{z})^2-\frac{k^2-1}{12}(h_3)^2\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

$$=(96+0.29)-\frac{0.326}{4}(z_3-34.7)-\frac{0.59}{4^2}$$
$$\times\left\{(z_3-34.7)^2-\frac{(3^2-1)}{12}(4)^2\right\}$$

$$=96.29-0.082(z_3-34.7)-0.037\{(z_3-34.7)^2$$
$$-10.67\}\ \cdots\cdots(12)$$

すなわち当初に示した仮定において上式が成立することとなる。さてこの場合，3水準の間隔は正しい等間隔ではなかつた。計画が必ずしも適正でなかつたことになるがとくに正しい平均を用い，便宜的に連立方程式を作つて順次これを解くと次のようになる。

$$y=96.78-0.111(z_3-35)-0.044$$
$$\times(z_3-35)^2\ \cdots\cdots(13)$$

すなわちこの実験の測定範囲においてはスリーブ重量の増大によつてAKは急激に悪くなるようである。ただこの実験は3水準ともスリーブを電解してあり，もし表面状態の変化が大きければ全体としてそのレベルが変ることが考えられる。いずれにしてもほかの要因を無視して重量のみでいえば**第1図**のごとき関係となり，34 mg 附近に極大点を有する形となる。

（2）　交互作用ある要因についての考察

第9表の分散分析表よりA×Bについては *AlBl*，*AqBq* が有意であることが判明している。*A*，*B*の関係を示すために，**第6表**の効果の値をもとの単位に戻して図示すれば**第2図**のようになる。

第2図をみて定性的には次のことがいえるであろう。分解電流が高ければ密度大であつても AK は低下しない，分解電流低く密度大ならばAKは下るであろうということになる。これらの関係はまた (12) 式を作成したときと同じ原理で曲面の式として表わすことができる。すなわち

$$y=96.29+0.013(z_1-510)-5.05(z_2-0.75)$$
$$+0.10(z_1-510)(z_2-0.75)+0.133$$
$$\times\{(z_1-510)^2-266.67\}\{(z_2-0.75)^2$$
$$-0.027\}\ \cdots\cdots(14)$$

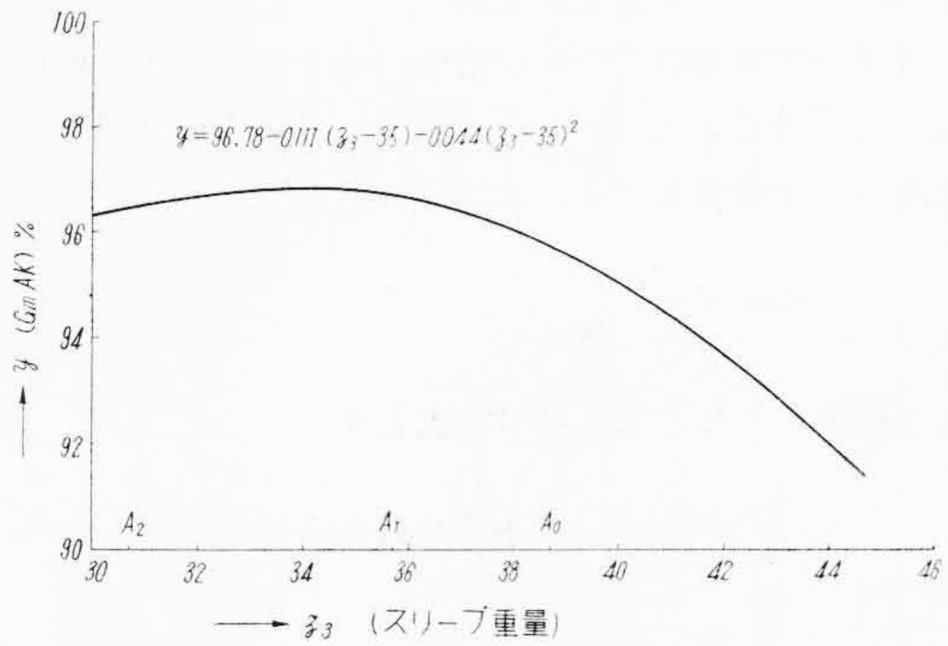
なる式が得られる。この式を z_1，z_2 について微分すれば最高点の得られることはもちろんであり，ある密度に対してある排気方法を採用するといつた方法が可能になるであろう。

交互作用B×Cについても同様に検討することができる。スリーブ軽く，炭酸塩密度が小になるほどAKは増大するようであり，またスリーブ重量が重くても密度が小になればAKは上るといえるようである。

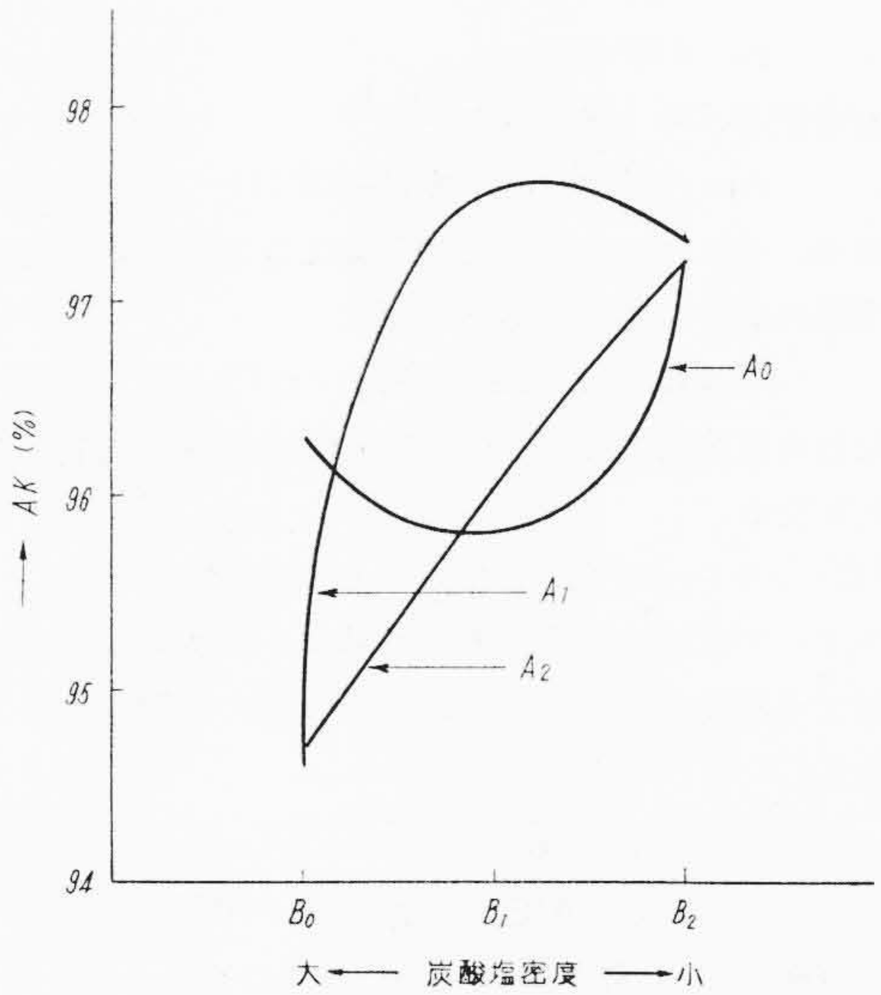
〔VI〕 諸　考　察

（1）　日常変動に対する考察

電子管の製造現場では原因の明らかでない変動にしば



第1図　スリーブ重量と AK との関係



第2図　A×B　図　　解

しば遭遇する。しかしながらこの変動の実態は本実験のごとき方法でかなり明白になるものと思われる。いま有意な因子について説明を試みると次のようである。

（A）　炭酸塩密度の変動

密度は *Bl* が有意であつたから，密度の毎日の変動を σ_d^2 とすれば，AK の変動 σ_{AK}^2 は

$$\sigma_{AK}^2=b(Bl)^2\sigma_d^2\ \cdots\cdots(15)$$

のように書き表わされる。

当時の $\bar{d}$ と $\hat{\sigma}_d$ とを算出したところ次のようであつた。

$$\bar{d}=0.67$$
$$\sigma_d^2=0.005,\ \hat{\sigma}_d=0.07$$

よつて

$$\sigma_{AK}^2=\left(\frac{1.01}{0.2}\right)^2(0.005)=0.125$$
$$\sigma_{AK}=0.35\%$$

となる。すなわち毎日の密度の変動は AK で0.35%の変動となつて現れているはずである。

(B)　スリーブ重量の変動

スリーブ重量はたびたび前述したように二次で有意であつた。すなわち z_3 のある点における変動は傾斜を考えることを必要とする。よつて σ_{AK} は

$$\sigma_{AK}=\sigma_S\left(\frac{\partial y}{\partial z_3}\right) \cdots\cdots (16)$$

なる関係にある。前述の(13)式より

$$\frac{\partial y}{\partial z_3}=0.111-(0.044)(2)(z_3-35) \cdots\cdots (17)$$

いまスリーブ重量の S と $\hat{\sigma}_S$ とを算出すると次のようになる。

$$S=41.44\ \mathrm{mg}$$
$$\hat{\sigma}_S=0.69\doteqdot 0.7$$

σ_{AK} を計算すると絶対値を考えて

$$\sigma_{AK}=0.7\{0.111+(0.044)(2)(41-35)\}=0.45\%$$

となる。これはいわゆる級内変動となるが，もしも規格上下限に重量が動けば級間変動は

$$\triangle AK=(2)(2.9)(0.645)=3.7\%$$

すなわち規格内で4％近くのAKの増減の可能性あることとなる。

(C)　スリーブ重量と密度の変動の合成

スリーブ重量は級内変動で0.45％，密度も同じく級内変動で0.35％であつたから，この合成の変動は次のようになる。

$$\sigma_{AK}=\sqrt{\sigma_{AK(d)}^2+\sigma_{AK(s)}^2} \cdots\cdots (18)$$
$$=\sqrt{(0.35)^2+(0.45)^2}=0.57\%$$

ほぼ0.6％近い。第9表の分散分析表において

$$S^2_{AK}=\frac{149.51}{100}$$
$$S_{AK}=\sqrt{1.495}\doteqdot 1.2$$

すなわち $0.6<1.2$ であるから本実験の要因以外に分解温度，エージング(コンタクトポテンシャルの変化)なども まだかなり変動にあずかつていることとなる。

以上のような考察で，われわれは管理点の目標をかなり明白にしてゆくことができるであろう。

(2)　実験の補足

以上は数値解析によつてAK変動の現象を説明したが，結果の物理的解釈が十分でなければ実験結果の確認としては満足でない。本研究はそのあと陰極温度の測定，スリーブ表面処理の効果，寿命試験を実験の補足として進めた。これらの結果は大略次のようになつている。

(A)　同試料についての陰極温度測定結果はカソード分解電流を除いてほかの因子に有意差を認め，ふたたび回帰分析を行つて温度とAKとの関係を明かにした。これは現象としてのAKの解析に際し，最も基礎的な問題である。

(B)　引続き寿命試験結果を検討したところ炭酸塩密度について約1,000時間に至る間，一貫した効果を認めた。

(C)　実験の補足によつてスリーブ重量効果は電解研磨効果と交絡していることが認められ，上記重量効果の結論は修正された。スリーブ表面の汚染層に関する問題のようである。

これら経過の詳細は省略するが，各因子のもつ主として熱的効果についてはさらに理論的検討が加えられた。これらは事前知識と相反することなく，その定量的関係もほぼ十分な説明を得た。

〔VII〕 結　　言

以上を総括すれば電子管特性検討のための応用について述べ，その実施例として6CB6の陰極効率の変動の解析をとり上げてみた。

本例は数値解析を主体として説明したもので，途中の計算過程は逐一分解して示してあり，実験によつてはこれらの手法はさらに簡潔に表現できる。ただ現象の理論的追求としてはなお不完全な点多く，本実験ですべてが解明しうることは考えていない。

問題は有効な情報を得るための実験手法の活用，実験の場の統計的な把握は電子管特性の検討に絶対に必要な事柄である。これらの解析手法と基礎的研究による洞察とが相伴つて始めて製品の改善に効率のよい進歩が期待されるであろう。

本実験の内容については数年前のもので，現在はその事情も変化したが，上述の根本思想はすべての実験に反映され，担当者の協力によつて電子管特性の検討に効果を上げている。

本研究は日立製作所中央研究所宮城博士の御指導を得て行つたもので，また日立製作所茂原工場久保工場長，清家課長より御懇篤な教示を賜つた。厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

(1)　宮城：品質管理，7 P. 461 (昭 31)
(2)　田口：実験計画法テキスト，P. 144 日本規格協会 (昭 29)
(3)　R. L. Anderson, T. A. Bancroft: Statistical Theory in Research, P. 153 Mc Graw Hill. (1952)
(4)　宮城：二元配置実験における効果の曲面方程式の推定，日本規格協会 (昭 32)
(5)　島田：推計学入門，VII-13 電気書院 (昭 30)