

# バリウムフェライト磁石を用いたスピーカ磁気回路

## Magnetic Circuit for Speaker with Barium Ferrite Magnet

二 見 二 郎\*  
Iirō Futami

### 内 容 梗 概

スピーカの特性のうちコーンのピストン運動領域における、出力音圧レベル、振幅ひずみ特性、過渡特性に対してはその磁気回路の空けき磁束密度、磁極空けきの大きさが重要な量となる。Ba. フェライト磁石を用いた軸対称、外磁石形磁気回路において、中心磁極の径と空けき長を一定とし、磁石の内径、外径、高さを3要因、3水準にとった。空間をラプラス方程式、磁石内部を階段積分法を用いて数値計算し、空けき磁束密度に対する3要因の設計式を求める過程を解説し、その計算結果を3元配置の組合せで示した。

計算結果から磁石の厚さ 3, 6, 9 mm と内径 18.5, 20, 21.5 φ の各組合せを基準にして外径を 30, 36, 42 φ と変えたらどのような磁石の動作点になるかを図示し、各要因と水準に対する磁極空けき磁束密度  $B_g$  (ガウス) と漏えい係数を一覧表にまとめた。

これにより動作点を見ながら  $B_g$  を 7,000 ガウスから 12,000 ガウスまで得る適当な磁石の形状が決定されることを示し、最後に実験計画の組合せを用いて数値計算をすると  $B_g$  に関する設計式が得られることを示した。

$$B_g = 8,140 + 382(A-6) - 287(B-20) + 469(C-36) + 40(A-6)(C-36) \quad (\text{ガウス})$$

ここに A: 磁石の高さ 3~9 mm, B: 磁石の内径 18.5~21.5 φ, C: 磁石の外径 30~46 φ

### 1. 緒 言

現在の永久磁石材料 JIS-C 2502 は 1954 年制定されたものであるが、当時に比べて業界の技術的進歩が著しく、通産省の依頼により昨年 12 月マグネット工業会技術委員会が JIS 改訂原案をまとめた。それによれば 2 種乙 (鋳造磁石異方性) と 3 種乙 (Ba. フェライト磁石異方性) とに重点がおかれたと判定できる。磁石使用の大きな分野であるスピーカにおいても逐次 Ba. フェライト磁石使用の傾向が見られる。

鋳造磁石を用いた内磁石形スピーカ磁気回路については文献 1 にて詳論してあるので、ここには Ba. フェライト磁石を用いた磁気回路の磁界分布を数値計算することにより、解析する手段とその結果の一例をもって磁石の使用状態を紹介する。

### 2. スピーカ特性と磁気回路特性との関係

磁気回路の特性は出力音圧レベル、振幅ひずみ特性、過渡特性に関係し空けき磁束密度  $B_g$  とボイスコイルの体積  $V_v$  を入れる磁極空けきの体積  $V_g$  が問題である。

#### 2.1 出力音圧レベル<sup>(2)</sup>

無限大バッフル内で振動する実効半径  $a$  cm のスピーカが低音域でスピーカの軸上  $d$  cm の点に生ずる出力音圧の絶対値  $p$  は

$$p = \frac{E_v}{\sqrt{R_v}} \sqrt{\frac{\omega_0}{m_0} 10^9 \left( \frac{1}{Q_0} - \frac{1}{Q_m} \right) \cdot \frac{\rho a^2}{20 d}} \quad \mu\text{bar} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $E_v$ : スピーカに加わる電圧 (V)  
 $R_v$ : スピーカの電氣的抵抗 ( $\Omega$ )  
 $m_0$ : 振動系の等価質量 (g)  
 $\omega_0$ : 振動系の共振角速度  
 $Q_0$ : 振動系の等価的な  $Q$   
 $Q_m$ : 振動系の機械抵抗による  $Q$   
 $\rho$ : 空気の密度  $\text{g/cm}^3$

(1)式を書きかえると

$$p = \frac{E_v}{m_0} \sqrt{\frac{B_g^2 V_v}{\rho v \sigma}} \cdot \frac{\rho a^2}{20 d} \quad \mu\text{bar} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $B_g$ : 磁極空けきの磁束密度 (ガウス)  
 $V_v$ : ボイスコイルの体積 ( $\text{cm}^3$ )  
 $\rho v$ : ボイスコイルの密度 ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $\sigma$ : ボイスコイルの比抵抗 ( $\Omega/\text{cm}$ )

(2)式から出力を増すためには有効磁気エネルギー  $B_g^2 V_v$  の値を大にすればよいことがわかる。ボイスコイルの体積  $V_v$  の磁極空けき中占有率  $c$  はボイスコイルの変形をある程度見込んで設計する必要があるため、あまり大きな値をとることができない ( $C=0.1 \sim 0.2$ )。

したがって  $B_g$  をあげることが有効である。

#### 2.2 振幅ひずみ特性<sup>(3)</sup>

振幅ひずみの原因は主として駆動力と支持部のステイフネスの非直線性であるが、ここでは駆動力についてのみ着目すると、磁極空けき中の磁束密度の不均一性によりひずみが発生すると考えられる。

簡単なためにボイスコイルが分布の中心に位置すると仮定すればスピーカのひずみは第二、第三高調波が主であることから音圧に換算したひずみは、 $f_0$  より高い周波数でピストン運動領域における第二、第三高調波をそれぞれ  $D_2, D_3$  とすれば

$$D_2 = \frac{|\alpha - \alpha'| B_0}{8h^2 m_0^3 \omega^6} (I)^3 \quad \% \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$D_3 = \frac{(\alpha + \alpha') B_0}{16hm_0^2 \omega^4} (I)^2 \quad \% \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 $B_0$ : 磁束分布の平坦部の磁束密度  
 $h$ : 磁束分布の平坦部の長さ  
 $\alpha, \alpha'$ : 磁極空けき左右端の磁束密度減少率  
 $l$ : ボイスコイルの長さ  
 $I$ : ボイスコイルを流れる電流  
 $m_0$ : スピーカの等価質量

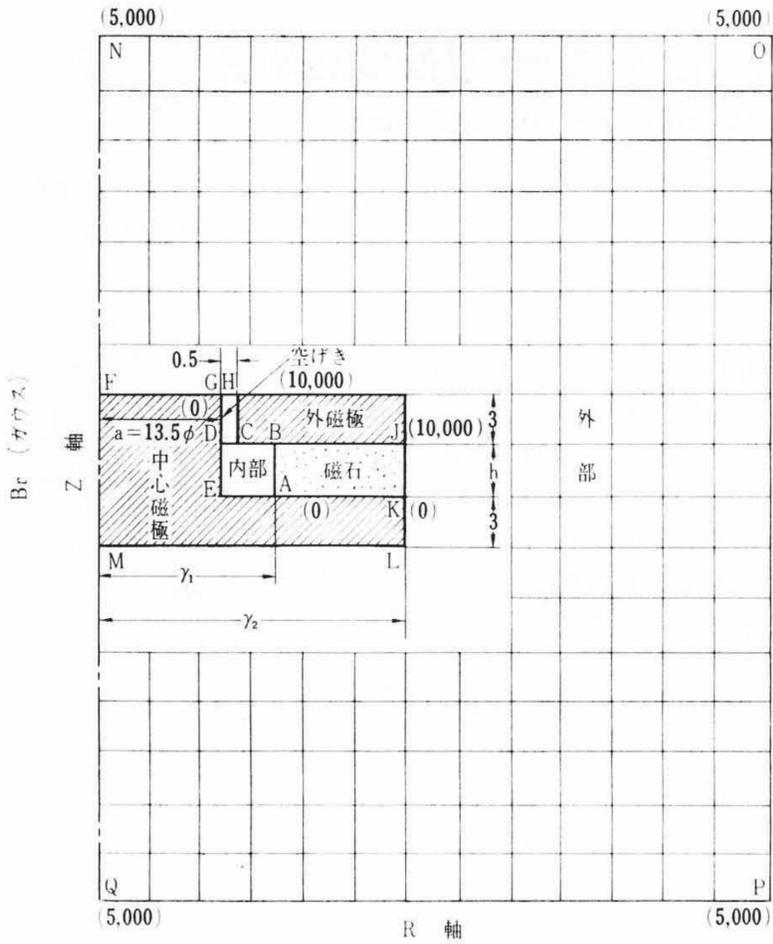
となる。(3)(4)式から磁束の分布としては左右の傾斜がなるべくゆるく、かつ平坦部の長いものがひずみが少ないことがわかる。また、分布が左右対称の場合は

$$D_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

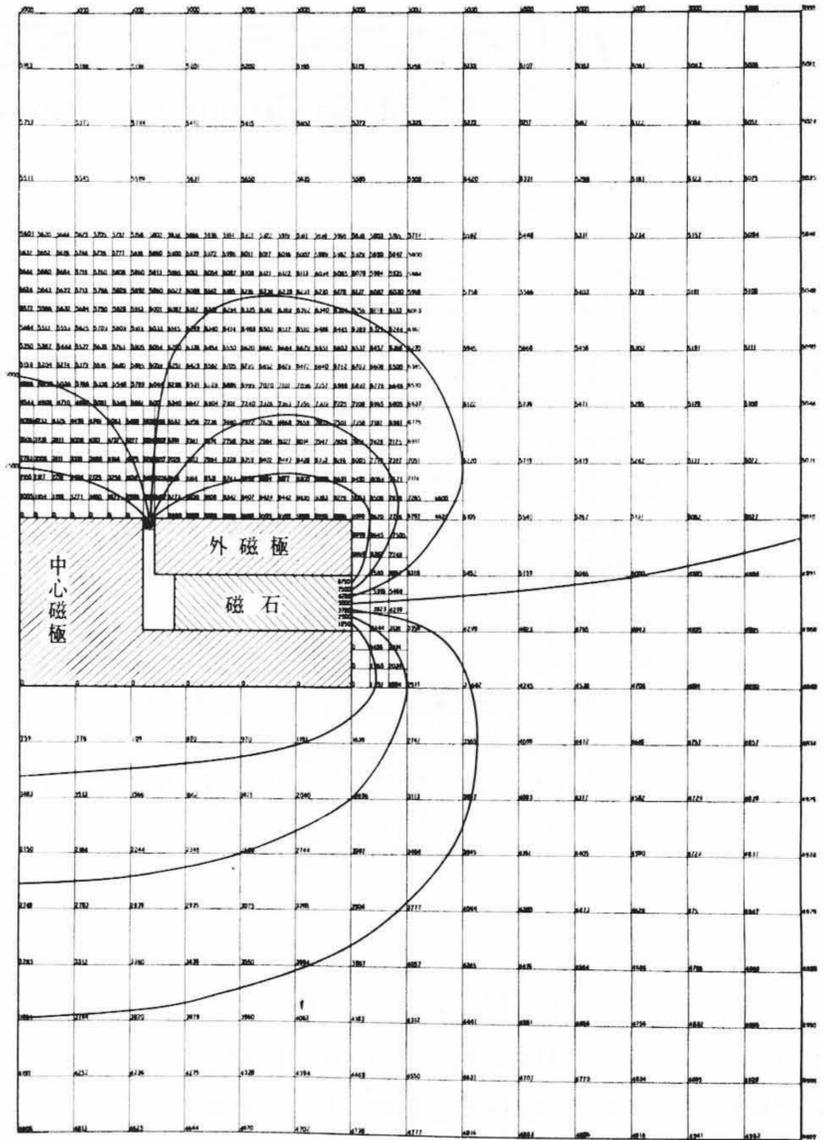
$$D_3 = \frac{\alpha B_0}{8hm_0^2 \omega^4} (I)^2 \quad \% \quad \dots\dots\dots (6)$$

となり第二高調波は発生しない。

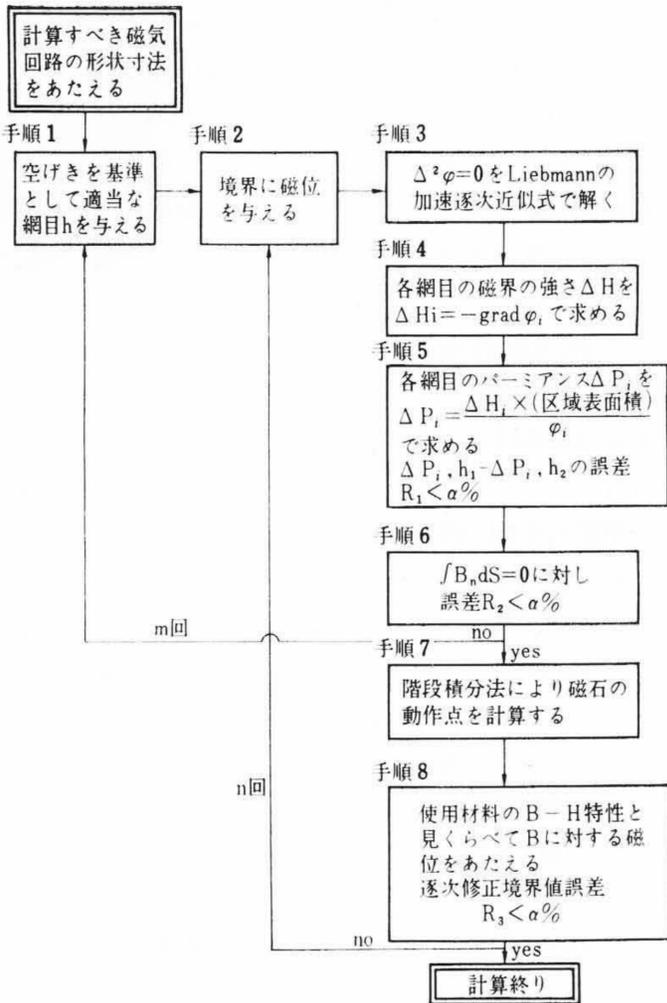
\* 日立製作所横浜工場 工博



第1図 Ba. フェライト磁石スピーカ磁気回路



第3図 磁石6×42φスピーカ外部の磁位分布



第2図 磁気回路計算のフローチャート

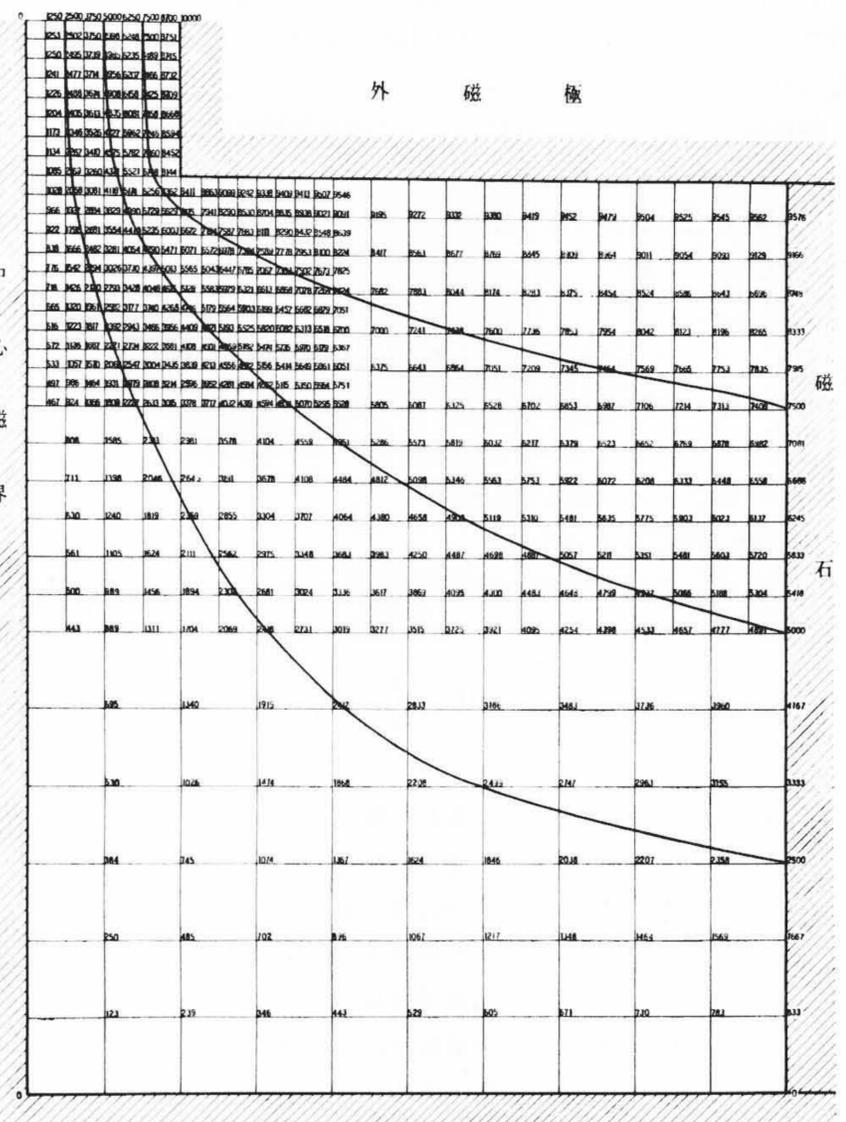
2.3 過渡特性<sup>(4)</sup>

スピーカを単一共振回路として考えれば、その過渡特性も比較的簡単に電気回路と等価的に表現できる。その減衰率βは

$$\beta = \frac{R_{mi}}{2(m+ma)} \dots \dots \dots (7)$$

ここで

$$R_{mi} = \frac{i^2}{R_i} \left( 1 + \frac{n^2 R_v}{R_0} \right) + \frac{R_v}{\omega^2 L^2} \cdot \frac{A^2}{10^7} \dots \dots \dots (8)$$



第4図 磁石3×18.5φ(内径)内部の磁位分布

ただし、 $R_v$ : ボイスコイルの抵抗

- A: 力係数 =  $\frac{B_g l v}{10}$
- R<sub>0</sub>: 真空管の内部抵抗
- L: 出力トランスのインダクタンス
- n: トランスの巻線比

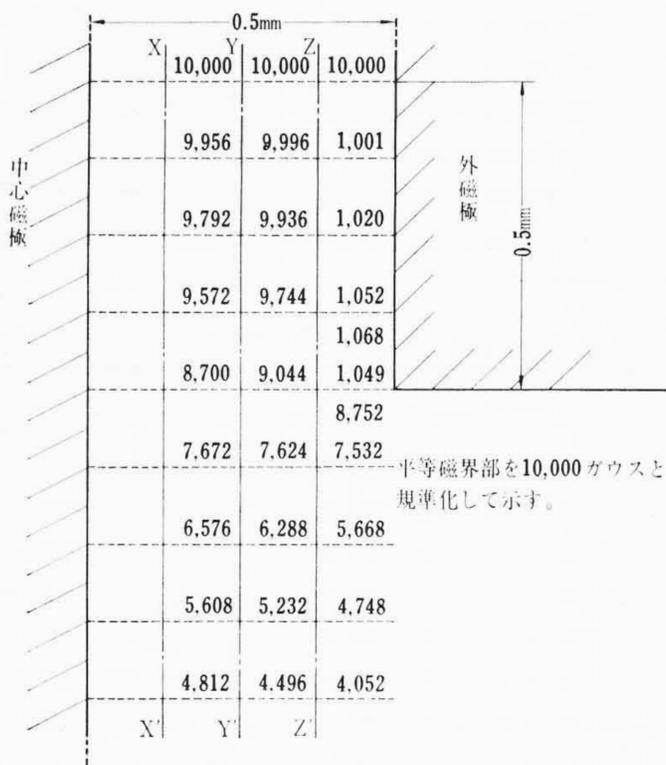
となり、R<sub>mi</sub>の大きいほうが望ましい。したがってf<sub>0</sub>で過渡特性を改善するためには磁束密度B<sub>g</sub>を大にすることが最も有効な手段といえる。これは等価的Q<sub>0</sub>からも容易に推定される。すなわち

$$Q_0 = \frac{\omega_0 m_0}{\gamma_m + \frac{(B_g l v)^2 \cdot 10^{-9}}{R_0 + R}} \dots \dots \dots (9)$$

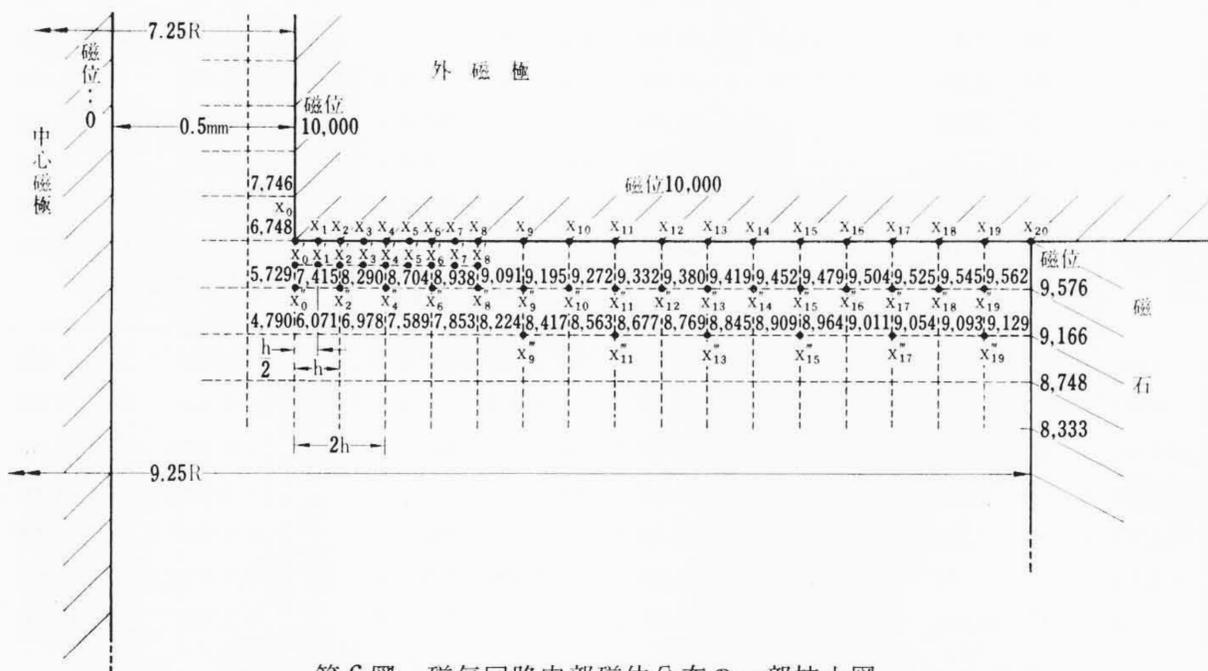
- ここに、 $\gamma_m$ : 振動系の機械的抵抗
- R: ボイスコイルの電気抵抗

3. 磁気回路の磁束分布計算<sup>(1)</sup>

磁極空けきの磁界分布の状況、空けき磁束密度B<sub>g</sub>を知るためには、磁気回路空間に対し境界の磁位を想定しスカラーポテンシャルφの場としてLaplaceの方程式を解けばよい。磁石内部の磁化に関しては磁石を適当の区域に分け、等価平均磁化を考えて階段積分法を用いて計算するとよい。Ba.フェライト磁石を用いた磁気回路は



第5図 磁極空けき下端部の磁束密度



第6図 磁気回路内部磁位分布の一部拡大図

第1表 磁石厚さ3mm内径18.5φmm磁気回路の上部磁極パーミアンス

区域点	$\varphi_x - \varphi_{x'} = U_x$	区間x <sub>i</sub> -x <sub>i+1</sub> の平均磁位差 $U(x_i - x_{i+1})$	区域長	$JP_{xi} = \frac{U(x_i - x_{i+h})}{10,000 \times h} \times \frac{\pi}{4} (r_{i+h}^2 - r_i^2)$	$JP_{xi}$
x <sub>0</sub>	10,000-8,411=1,589				
		1,363	h/2	1.559	P <sub>(x1-x0)</sub>
x <sub>1</sub>	10,000-8,863=1,137				
		1,019	h/2	1.175	P <sub>(x2-x1)</sub>
x <sub>2</sub>	10,000-9,099=901				
		829	h/2	0.964	P <sub>(x3-x2)</sub>
x <sub>3</sub>	10,000-9,242=758				
		710	h/2	0.833	P <sub>(x4-x3)</sub>
x <sub>4</sub>	10,000-9,338=667				
		626	h/2	0.741	P <sub>(x5-x4)</sub>
x <sub>5</sub>	10,000-9,409=591				
		589	h/2	0.703	P <sub>(x6-x5)</sub>
x <sub>6</sub>	10,000-9,413=587				
		540	h/2	0.649	P <sub>(x7-x6)</sub>
x <sub>7</sub>	10,000-9,507=493				
		474	h/2	0.575	P <sub>(x8-x7)</sub>
x <sub>8</sub>	10,000-9,546=454				
		854	h=0.125 mm	1.048	P <sub>(x9-x8)</sub>
x <sub>9</sub>	10,000-9,195=805				
		767	h=0.125 mm	0.956	P <sub>(x10-x9)</sub>
x <sub>10</sub>	10,000-9,272=728				
		678	h=0.125 mm	0.859	P <sub>(x11-x10)</sub>
x <sub>11</sub>	10,000-9,332=628				
		624	h=0.125 mm	0.803	P <sub>(x12-x11)</sub>
x <sub>12</sub>	10,000-9,380=620				
		601	h=0.125 mm	0.787	P <sub>(x13-x12)</sub>
x <sub>13</sub>	10,000-9,419=581				
		564	h=0.125 mm	0.750	P <sub>(x14-x13)</sub>
x <sub>14</sub>	10,000-9,451=540				
		534	h=0.125 mm	0.718	P <sub>(x15-x14)</sub>
x <sub>15</sub>	10,000-9,479=521				
		508	h=0.125 mm	0.693	P <sub>(x16-x15)</sub>
x <sub>16</sub>	10,000-9,504=496				
		486	h=0.125 mm	0.673	P <sub>(x17-x16)</sub>
x <sub>17</sub>	10,000-9,525=476				
		465	h=0.125 mm	0.653	P <sub>(x18-x17)</sub>
x <sub>18</sub>	10,000-9,545=455				
		447	h=0.125 mm	0.636	P <sub>(x19-x18)</sub>
x <sub>19</sub>	10,000-9,562=435				
		431	h=0.125 mm	0.622	P <sub>(x20-x19)</sub>
x <sub>20</sub>	10,000-9,576=424				

$$\sum_{i=1}^n P_{xi} = 16,397$$

第1図のように軸対称の外磁石形である。以下第1図について第2図の計算フローチャートにしたがって行なった計算例を示す。

3.1 磁位分布の計算手順

境界の磁位は第1図において外磁極を10,000、中心磁極を0とおき、磁石の内側BA、外側JKの磁位降下は10,000から0まで線形に降下するとおいた。磁極鉄心の飽和を考えなければこの仮定は実用上支障はない。もし精度を上げたければ手順8から手順2に磁性体磁化に対応した磁位降下の修正磁位をあたえればよい。

3.2 磁位分布の計算

軸対称であるから Laplace の方程式は(10)式となる。

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial Z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0 \dots \dots \dots (10)$$

数値計算式は(11)式となる。

$$\varphi_{(r,Z)}^n = \frac{1}{4} \left\{ \begin{aligned} &\varphi_{(r-h,Z)}^n \\ &+ \varphi_{(r,Z-h)}^n + \varphi_{(r+h,Z)}^{n-1} \\ &+ \varphi_{(r,Z+h)}^{n-1} + \frac{1}{2R} \left( \varphi_{(r+h,Z)}^{n-1} \right. \\ &\left. - \varphi_{(r-h,Z)}^n \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (11)$$

この計算結果の磁位分布の一例を第3, 4図に示す。

3.3 空けき部の磁界分布

たとえば第4図で磁極空けき内部の磁位分布が求まったのでその磁界の強さ、すなわち空けき磁束密度はH = -grad φ の関係から求められる。

計算例は厚さ3mm、内径18.5mmの磁石の場合である。第5図にその計算

第2表 磁石3×18.5φ×(30φ, 36φ, 42φ)の動作点の決定

寸法	区 域	磁 束 φ	断面積 A	磁束 密度 B <sub>m</sub>	B <sub>m</sub> に 対する 保磁力 H <sub>m</sub>	磁石の 長さ l <sub>m</sub>	V <sub>i</sub> = ΔH <sub>m</sub> l <sub>m</sub>	区域パ リアンス ΔP <sub>m</sub>	V×ΔP =Δφ	φ <sub>i</sub> ×Δh ΔH <sub>m</sub> l <sub>m</sub> V
マグネット の高さ h=3mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 18.5φmm 外径 r <sub>2</sub> = 30φmm	1	11,900	4.381	2,720	960	0.025	24.0	-5.758	-138	910
	2	12,040	4.381	2,750	930	0.05	46.5 70.5	-6.411	-452	2,690
	3	12,490	4.381	2,850	830	0.05	41.5 112.0	-0.657	-74	4,270
	4	12,570	4.381	2,870	820	0.05	41.0 153.0	+0.542	83	5,830
	5	12,480	4.381	2,850	840	0.05	42.0 195.0	+0.981	191	7,430
	6	12,290	4.381	2,810	880	0.05	44.0 239.0	+0.166	279	9,110
	7	12,010	4.381	2,740	940	0.025	23.5 262.0	+0.557	146	10,000
		11,870	4.381	2,710	$P' = \frac{11,870}{262.5} = 45.21$		$P = 45.38$			
マグネット の高さ h=3mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 18.5φmm 外径 r <sub>2</sub> = 36φmm	1	17,530	7.491	2,340	1,300	0.025	32.5	-6.558	-213	880
	2	17,740	7.491	2,370	1,280	0.05	64.0 96.5	-7.507	-724	2,630
	3	18,470	7.491	2,470	1,190	0.05	59.5 156.0	-0.946	-148	4,250
	4	18,610	7.491	2,490	1,170	0.05	58.5 214.5	+0.831	178	5,840
	5	18,440	7.491	2,460	1,190	0.05	59.5 274.0	+1.076	295	7,460
	6	18,140	7.491	2,420	1,230	0.05	61.5 335.5	+1.332	447	9,130
	7	17,640	7.491	2,360	1,280	0.025	32.0 367.0	+0.679	250	10,000
		17,440	7.491	2,330	$P' = \frac{17,440}{367.5} = 47.47$		$P = 47.63$			
マグネット の高さ h=3mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 18.5φmm 外径 r <sub>2</sub> = 42φmm	1	21,890	11.166	1,960	1,544	0.025	38.6	-8.173	316	860
	2	22,200	11.166	1,990	1,530	0.05	76.5 115.1	-9.263	1,066	2,570
	3	23,270	11.166	2,080	1,480	0.05	74.0 189.1	-1.179	223	4,220
	4	23,490	11.166	2,100	1,460	0.05	73.0 262.1	+0.458	120	5,850
	5	23,370	11.166	2,090	1,470	0.05	73.5 335.6	+1.120	376	7,490
	6	22,990	11.166	2,060	1,490	0.05	74.5 410.1	+1.469	602	9,150
	7	22,390	11.166	2,010	1,520	0.025	38.0 448.1	+0.775	347	10,000
		22,050	11.166	1,970	$P' = \frac{22,050}{448.1} = 49.20$		$P = 49.23$			

第3表 磁石3×20φ×(30φ, 36φ, 42φ)の動作点の決定

寸法	区 域	磁 束 φ	断面積 A	磁束 密度 B <sub>m</sub>	B <sub>m</sub> に 対する 保磁力 H <sub>m</sub>	磁石の 長さ l <sub>m</sub>	V <sub>i</sub> = ΔH <sub>m</sub> l <sub>m</sub>	区域パ リアンス ΔP <sub>m</sub>	V×ΔP =Δφ	φ <sub>i</sub> ×Δh ΔH <sub>m</sub> l <sub>m</sub> V
マグネット の高さ h=3mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 20φmm 外径 r <sub>2</sub> = 30φmm	1	10,960	3.927	2,790	890	0.025	22.3	-5.811	-130	950
	2	11,090	3.927	2,820	860	0.05	43.0 65.3	-6.763	-442	2,770
	3	11,530	3.927	2,940	760	0.05	38.0 103.3	-0.969	-100	4,380
	4	11,630	3.927	2,960	730	0.05	36.5 139.8	+0.314	44	5,920
	5	11,580	3.927	2,950	740	0.05	37.0 176.8	+0.771	136	7,490
	6	11,450	3.927	2,920	770	0.025	38.5 215.3	+1.071	231	9,120
	7	11,220	3.927	2,860	830	0.05	20.7 336.0	+0.545	129	10,000
		11,090	3.927	2,820	$P' = \frac{11,090}{236.0} = 46.98$		$P = 47.10$			
マグネット の高さ h=3mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 20φmm 外径 r <sub>2</sub> = 36φmm	1	16,890	7.037	2,400	1,250	0.025	31.3	-6.611	-207	900
	2	17,100	7.037	2,430	1,220	0.05	61.0 92.3	-7.859	-752	2,670
	3	17,820	7.037	2,530	1,120	0.05	56.0 148.0	-1.258	-187	4,280
	4	18,010	7.037	2,560	1,100	0.05	55.0 203.3	+0.603	123	5,870
	5	17,890	7.037	2,540	1,120	0.05	56.0 259.3	+0.866	224	7,490
	6	17,660	7.037	2,510	1,140	0.05	57.0 316.3	+1.237	391	9,130
	7	17,270	7.037	2,450	1,200	0.025	30.0 346.3	+0.667	231	10,000
		17,040	7.037	2,420	$P' = \frac{17,040}{346.3} = 49.20$		$P = 49.34$			
マグネット の高さ h=3mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 20φmm 外径 r <sub>2</sub> = 42φmm	1	21,750	10.713	2,030	1,510	0.025	37.8	-8.23	-311	870
	2	22,060	10.713	2,060	1,490	0.05	74.5 112.3	-9.615	-1,080	2,590
	3	23,140	10.713	2,160	1,430	0.05	71.5 183.8	-1.491	-274	4,240
	4	23,410	10.713	2,190	1,410	0.05	70.5 254.3	+0.230	+58	5,860
	5	23,350	10.713	2,180	1,420	0.05	71.0 325.3	+0.910	+296	7,500
	6	23,060	10.713	2,150	1,440	0.05	72.0 397.3	+1.374	+546	9,150
	7	22,510	10.713	2,100	1,470	0.025	36.7 434.0	+0.763	+331	10,000
		22,180	10.713	2,070	$P' = \frac{22,180}{434.0} = 51.11$		$P = 50.95$			

第4表 磁石3×21.5φ×(30φ, 36φ, 42φ)の動作点の決定

寸法	区 域	磁 束 φ	断面積 A	磁束 密度 B <sub>m</sub>	B <sub>m</sub> に 対する 保磁力 H <sub>m</sub>	磁石の 長さ l <sub>m</sub>	V <sub>i</sub> = ΔH <sub>m</sub> l <sub>m</sub>	区域パ リアンス ΔP <sub>m</sub>	V×ΔP =Δφ	φ <sub>i</sub> ×Δh ΔH <sub>m</sub> l <sub>m</sub> V
マグネット の高さ h=3mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 21.5φmm 外径 r <sub>2</sub> = 30φmm	1	9,930	3.428	2,890	800	0.025	20.0	-5.854	-117	970
	2	10,050	3.428	2,920	770	0.05	38.5 58.5	-6.845	-400	2,830
	3	10,450	3.428	3,040	660	0.05	33.0 91.5	-1.041	-95	4,420
	4	10,540	3.428	3,070	640	0.05	32.0 123.5	+0.208	26	5,970
	5	10,520	3.428	3,060	640	0.05	32.0 155.5	+0.703	109	7,510
	6	10,410	3.428	3,030	670	0.05	33.5 179.0	+1.028	194	9,130
	7	10,210	3.428	2,970	720	0.025	18.0 207.0	+0.550	114	10,000
		10,100	3.428	2,940	$P' = \frac{10,100}{207.0} = 48.78$		$P = 48.91$			
マグネット の高さ h=3mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 21.5φmm 外径 r <sub>2</sub> = 36φmm	1	16,290	6.548	2,490	1,170	0.025	29.3	-6.654	195	910
	2	16,480	6.548	2,520	1,140	0.05	57.0 86.3	-7.941	685	2,680
	3	17,170	6.548	2,620	1,050	0.05	52.5 138.8	-1.330	185	4,310
	4	17,350	6.548	2,650	1,020	0.05	51.0 189.8	+0.497	94	5,890
	5	17,260	6.548	2,640	1,030	0.05	51.5 241.3	+0.866	192	7,490
	6	17,060	6.548	2,610	1,060	0.05	53.0 294.3	+1.194	351	9,140
	7	16,710	6.548	2,580	1,110	0.025	27.7 322.0	+0.672	216	10,000
		16,500	6.548	2,520	$P' = \frac{16,500}{322} = 51.23$		$P = 51.15$			
マグネット の高さ h=3mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 21.5φmm 外径 r <sub>2</sub> = 42φmm	1	21,570	10.224	2,110	1,460	0.025	36.5	-8.269	-302	870
	2	21,880	10.224	2,140	1,440	0.05	72.0 108.5	-9.697	-1,052	2,600
	3	22,930	10.224	2,240	1,380	0.05	69.0 177.5	-1.563	-277	4,250
	4	23,200	10.224	2,270	1,350	0.05	67.5 245.0	+0.124	30	5,870
	5	23,170	10.224	2,270	1,360	0.05	68.0 313.0	+0.842	263	7,500
	6	22,910	10.224	2,240	1,380	0.05	69.0 382.0	+1.331	616	9,150
	7	22,300	10.224	2,180	1,420	0.025	35.5 417.5	+0.768	320	10,000
		21,980	10.224	2,150	$P' = \frac{21,980}{417.5} = 52.63$		$P = 52.75$			

第5表 磁石6×18.5φ×(30φ, 36φ, 42φ)の動作点の決定

寸法	区 域	磁 束 φ	断面積 A	磁束 密度 B <sub>m</sub>	B <sub>m</sub> に 対する 保磁力 H <sub>m</sub>	磁石の 長さ l <sub>m</sub>	V <sub>i</sub> = ΔH <sub>m</sub> l <sub>m</sub>	区域パ リアンス ΔP <sub>m</sub>	V×ΔP =Δφ	φ <sub>i</sub> ×Δh ΔH <sub>m</sub> l <sub>m</sub> V
マグネット の高さ h=23mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 21.5φmm 外径 r <sub>2</sub> = 30φmm	1	13,730	4.381	3,140	570	0.05	28.5	-17.268	-492	960
	2	14,230	4.381	3,250	470	0.1	47.0 75.5	-4.018	-303	2,550
	3	14,530	4.381	3,320	400	0.1	40.0 115.5	+0.732	85	3,900
	4	14,430	4.381	3,300	420	0.1	42.0 157.5	+1.717	270	5,320
	5	14,160	4.381	3,230	470	0.1	47.0 204.5	+2.224	455	6,910
	6	13,710	4.381	3,130	570	0.1	57.0 261.5	+2.123	555	8,830
	7	13,150	4.381	3,000	690	0.05	34.5 296.0	+0.961	284	10,000
		12,870	4.381	2,940	$P' = \frac{12,870}{296.0} = 43.48$		$P = 43.02$			
マグネット の高さ h=6mm スピーカ 内径 r <sub>1</sub> = 18.5φmm 外径 r <sub>2</sub> = 36φmm	1	21,460	7.491	2,870	820	0.05	41.0	-20.885	-856	930
	2	22,320	7.491	2,980	710	0.1	71.0 112.0	-5.079	-569	2,550
	3	22,890	7.491	3,060	640	0.1	64.0 176.0	+0.560	99	4,000
	4	22,790	7.491	3,040	660	0.1	66.0 242.0	+1.997	483	5,500
	5	22,310	7.491	2,980	710	0.1	71.0 313.0	+2.367	739	7,110
	6	21,570	7.491	2,880	810	0.1	81.0 394.0	+2.291	903	8,960
	7	20,660	7.491	2,760	920	0.05	46.0 440.0	+1.073	472	10,000
		20,190	7.491	2,700	$P' = \frac{20,190}{440.0} = 45.89$		$P = 45.51$			

第6表 磁石6×20φ×(30φ, 36φ, 42φ)の動作点の決定

寸法	区	磁束	断面積	磁束密度	$B_m$ に対する保磁力	磁石の長さ	$V_i = \Delta H_m l_m$	区域パーミアンス	$V \times \Delta P = \Delta \phi$	$\phi_i \times \Delta h$ $\frac{\Delta H_m l_m}{V}$
	域	$\phi$	$A$	$B_m$	$H_m$	$l_m$	$\Delta H_m l_m$	$\Delta P_m$	$= \Delta \phi$	$\frac{\Delta H_m l_m}{V}$
マグネットの高さ $h=6\text{mm}$ スピーカ内径 $r_1=20\phi\text{mm}$ 外径 $r_2=30\phi\text{mm}$	1	12,310	3,927	3,140	580	0.05	28.5	-17.696	-504	1,050
	2	12,820	3,927	3,260	450	0.1	45.0 73.5	-4.551	-335	2,720
	3	13,150	3,927	3,350	370	0.1	37.0 110.5	+0.190	21	4,090
	4	13,130	3,927	3,340	380	0.1	38.0 148.5	+1.338	199	5,490
	5	12,930	3,927	3,290	420	0.1	42.0 190.5	+1.668	318	7,040
	6	12,610	3,927	3,210	500	0.1	50.0 240.5	+1.717	413	8,890
	7	12,200	3,927	3,110	600	0.05	30.0 270.0	+0.835	226	10,000
		11,970	3,927	3,050			$P' = \frac{11,970}{270.5} = 44.26$	$P = 44.33$		
マグネットの高さ $h=6\text{mm}$ スピーカ内径 $r_1=20\phi\text{mm}$ 外径 $r_2=36\phi\text{mm}$	1	20,130	7,037	2,860	820	0.05	41.0	-21.313	-874	970
	2	21,000	7,037	2,980	710	0.1	71.0 112.0	-5.612	-629	2,660
	3	21,630	7,037	3,070	620	0.1	62.0 174.0	+0.018	3	4,130
	4	21,630	7,037	3,070	630	0.1	63.0 237.0	+1.441	342	5,630
	5	21,280	7,037	3,030	670	0.1	67.0 304.0	+1.806	549	7,220
	6	20,740	7,037	2,950	750	0.1	75.0 379.0	+1.885	714	9,000
	7	20,020	7,037	2,850	840	0.05	42.0 421.0	+1.015	427	10,000
		19,590	7,037	2,780			$P' = \frac{19,590}{421.0} = 46.54$	$P = 46.82$		
マグネットの高さ $h=6\text{mm}$ スピーカ内径 $r_1=20\phi\text{mm}$ 外径 $r_2=42\phi\text{mm}$	1	27,800	10,713	2,600	1,070	0.05	53.5	-23.351	-1,249	940
	2	29,050	10,713	2,110	960	0.1	96.0 149.5	-6.851	-1,024	2,630
	3	30,070	10,713	2,810	870	0.1	87.0 236.5	+0.179	-42	4,160
	4	30,120	10,713	2,810	870	0.1	87.0 323.5	+1.495	484	5,690
	5	29,630	10,713	2,770	920	0.1	92.0 415.5	+2.102	873	7,300
	6	28,760	10,713	2,680	990	0.1	99.0 514.5	+2.205	1,135	9,040
	7	27,620	10,713	2,580	1,090	0.05	54.5 569.0	+1.151	655	10,000
		26,970	10,713	2,520			$P' = \frac{26,970}{569.0} = 47.40$	$P = 47.38$		

第7表 磁石6×21.5φ×(30φ, 36φ, 42φ)の動作点の決定

寸法	区	磁束	断面積	磁束密度	$B_m$ に対する保磁力	磁石の長さ	$V_i = \Delta H_m l_m$	区域パーミアンス	$V \times \Delta P = \Delta \phi$	$\phi_i \times \Delta h$ $\frac{\Delta H_m l_m}{V}$
	域	$\phi$	$A$	$B_m$	$H_m$	$l_m$	$\Delta H_m l_m$	$\Delta P_m$	$= \Delta \phi$	$\frac{\Delta H_m l_m}{V}$
マグネットの高さ $h=6\text{mm}$ スピーカ内径 $r_1=21.5\phi\text{mm}$ 外径 $r_2=30\phi\text{mm}$	1	10,830	3,438	3,150	560	0.05	28.0	-17.959	-503	1,170
	2	11,330	3,438	3,300	420	0.1	42.0 70.0	-4.885	-342	2,930
	3	11,680	3,438	3,400	320	0.1	32.0 102.0	-0.144	-15	4,270
	4	11,690	3,438	3,400	320	0.1	32.0 134.1	+1.057	142	5,610
	5	11,550	3,438	3,360	360	0.1	36.0 170.0	+1.497	255	7,110
	6	11,290	3,438	3,290	430	0.1	43.0 213.0	+1.564	333	8,910
	7	10,960	3,438	3,190	520	0.05	26.0 239.0	+0.875	209	10,000
		10,750	3,438	3,130			$P' = \frac{10,750}{239.0} = 45.00$	$P = 45.21$		
マグネットの高さ $h=6\text{mm}$ スピーカ内径 $r_1=21.5\phi\text{mm}$ 外径 $r_2=36\phi\text{mm}$	1	18,890	6,548	2,890	800	0.05	40.0	-21.576	-863	1,020
	2	19,750	6,548	3,020	680	0.1	68.0 108.0	-5.946	-642	2,750
	3	20,400	6,548	3,120	590	0.1	59.0 167.0	-0.316	-53	4,240
	4	20,450	6,548	3,120	580	0.1	58.0 225.0	+1.160	261	5,720
	5	20,190	6,548	3,080	620	0.1	62.0 287.0	+1.634	469	7,290
	6	19,720	6,548	3,010	680	0.1	68.0 355.0	+1.732	615	9,020
	7	19,100	6,548	2,920	770	0.05	38.5 393.5	+0.987	388	10,000
		18,720	6,548	2,858			$P' = \frac{18,720}{393.5} = 47.70$	$P = 47.70$		
マグネットの高さ $h=6\text{mm}$ スピーカ内径 $r_1=21.5\phi\text{mm}$ 外径 $r_2=42\phi\text{mm}$	1	26,790	10,224	2,620	1,050	0.05	52.5	-23.614	-1,240	960
	2	28,030	10,224	2,740	940	0.1	94.0 146.5	-7.185	-1,053	2,680
	3	29,080	10,224	2,840	850	0.1	85.0 231.5	-0.513	-119	4,240
	4	29,200	10,224	2,860	830	0.1	83.0 314.5	+1.214	382	5,760
	5	28,820	10,224	2,820	860	0.1	86.0 400.5	+1.930	773	7,340
	6	28,040	10,224	2,740	940	0.1	94.0 494.5	+2.052	1,015	9,060
	7	27,030	10,224	2,540	1,030	0.05	51.5 546.0	+1.123	613	10,000
		26,420	10,224	2,580			$P' = \frac{26,420}{546} = 48.38$	$P = 48.26$		

第8表 磁石9×18.5φ×(30φ, 36φ, 42φ)の動作点の決定

寸法	区	磁束	断面積	磁束密度	$B_m$ に対する保磁力	磁石の長さ	$V_i = \Delta H_m l_m$	区域パーミアンス	$V \times \Delta P = \Delta \phi$	$\phi_i \times \Delta h$ $\frac{\Delta H_m l_m}{V}$
	域	$\phi$	$A$	$B_m$	$H_m$	$l_m$	$\Delta H_m l_m$	$\Delta P_m$	$= \Delta \phi$	$\frac{\Delta H_m l_m}{V}$
マグネットの高さ $h=9\text{mm}$ スピーカ内径 $r_1=18.5\phi\text{mm}$ 外径 $r_2=30\phi\text{mm}$	1	14,520	4,381	3,320	400	0.05	20	-22.176	-444	650
	2	14,970	4,381	3,420	300	0.1	30 50	-7.863	-393	1,630
	3	15,360	4,381	3,510	220	0.1	22 72	-0.854	-62	2,350
	4	15,420	4,381	3,520	210	0.1	21 93	+1.101	102	3,030
	5	15,320	4,381	3,500	230	0.1	23 116	+1.233	213	3,780
	6	15,110	4,381	3,450	270	0.1	27 147	+2.188	313	4,660
	7	14,790	4,381	3,380	240	0.1	34 177	+2.378	421	5,770
	8	14,370	4,381	3,280	430	0.1	43 220	+2.372	522	7,170
	9	13,850	4,381	3,160	540	0.1	54 274	+2.036	558	8,930
	10	13,290	4,381	3,030	660	0.05	33 307	+0.773	237	10,000
		13,060	4,381	2,980			$P' = \frac{13,060}{307} = 42.54$	$P = 42.03$		
マグネットの高さ $h=9\text{mm}$ スピーカ内径 $r_1=28.5\phi\text{mm}$ 外径 $r_2=36\phi\text{mm}$	1	23,220	7,491	3,100	600	0.05	30	-25.291	759	630
	2	23,980	7,491	3,200	510	0.1	51 81	-9.385	760	1,700
	3	24,740	7,491	3,300	410	0.1	41 122	-1.605	196	2,570
	4	24,940	7,491	3,330	380	0.1	38 160	+1.160	186	3,370
	5	24,750	7,491	3,300	410	0.1	41 201	+1.809	364	4,230
	6	24,390	7,491	3,260	460	0.1	46 247	+2.195	542	5,200
	7	23,850	7,491	3,180	520	0.1	52 299	+2.447	732	6,290
	8	23,110	7,491	3,090	610	0.1	61 360	+2.491	897	7,570
	9	22,220	7,491	2,970	730	0.1	73 433	+2.211	957	9,110
	10	21,260	7,491	2,840	850	0.05	42.5 475.5	+0.884	420	10,000
		20,840	7,491	2,780			$P' = \frac{20,840}{475.5} = 43.83$	$P = 43.58$		
マグネットの高さ $h=9\text{mm}$ スピーカ内径 $r_1=18.5\phi\text{mm}$ 外径 $r_2=42\phi\text{mm}$	1	32,330	11,166	2,900	790	0.05	39.5	-28.593	-1,129	620
	2	33,460	11,166	3,000	700	0.1	70.0 109.5	-10.880	-1,191	1,720
	3	34,650	11,166	3,100	600	0.1	60.0 169.5	-1.755	-291	2,660
	4	34,940	11,166	3,130	580	0.1	58.0 227.5	+0.813	186	3,570
	5	34,760	11,166	3,110	590	0.1	59.0 286.5	+1.750	501	4,490
	6	34,260	11,166	3,070	640	0.1	64.0 350.5	+2.229	781	5,490
	7	33,480	11,166	3,000	700	0.1	70.0 420.5	+2.510	1,055	6,590
	8	32,420	11,166	2,900	780	0.1	78.0 498.5	+2.578	1,285	7,810
	9	31,140	11,166	2,790	890	0.1	89.0 587.5	+2.401	1,411	9,210
	10	29,720	11,166	2,660	1,010	0.05	50.5 632.0	+1.012	646	10,000
							$P' = \frac{29,08}{638.0} = 45.58$	$P = 45.51$		

結果を示す。YY'線が空けきの中央部でボイスコイルの中心がくる位置である。数値は目視を便ならしめるため平等磁界部分を10,000 Gaussと基準化してある。これにより磁界分布の傾斜を明確に知ることができ振幅ひずみの検討が可能である。

3.4 パーミアンスPの計算

計算方法の一例として磁石厚さ3mm, 内径18.5mmの場合の外磁極から中心磁極に対するパーミアンスを第6図により計算してみる。

パーミアンスの計算式は(12)式となる。

$$\Delta P_{ij} = \frac{\Delta \phi_{ij}}{\phi_{ij}} = \frac{\text{grad } \phi_{ij}}{\phi_{ij}} \times \text{区域表面積} \dots \dots \dots (12)$$

ここに、 $\Delta \phi_{ij}$ は区域  $x_{ij}$ における漏えい磁束

$\phi_{ij}$ は  $ij$ 点における磁位

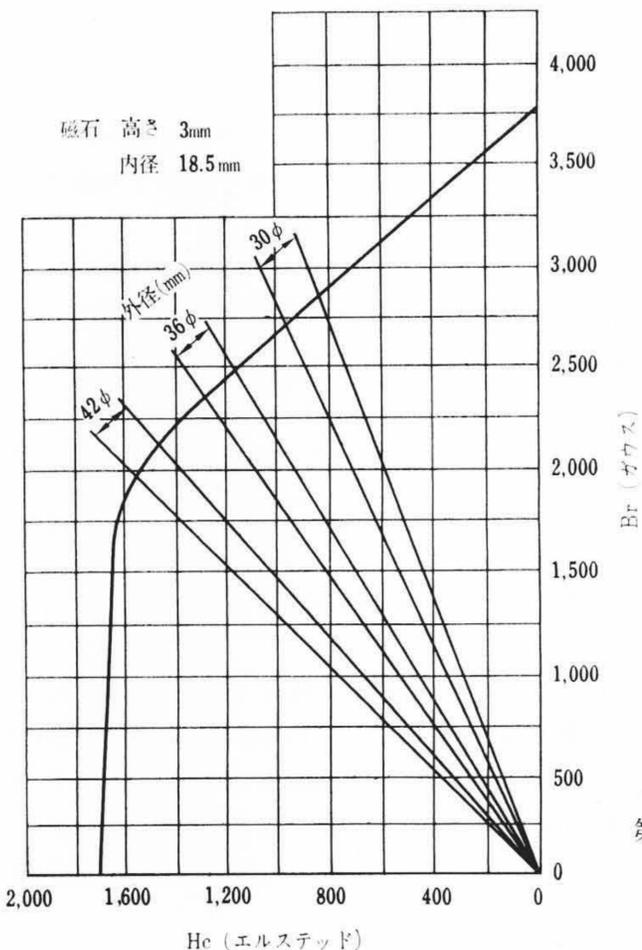
第6図において磁極空けき付近は磁位降下が急しゅんであるから、それに対応して網目も小さくする。すなわち磁極端  $x_0$ 点から0.5mmぐらゐまで  $x_8$ の点まで網目は0.0625mmとし、 $x_8$ から  $x_{20}$ までは網目  $h=0.125\text{mm}$ として磁位分布を計算した。これより各微小区域に分けて各部のパーミアンスを(12)式により求めれば第1表のようになる。

第 9 表 磁石  $9 \times 20\phi \times (30\phi, 36\phi, 42\phi)$  の動作点の決定

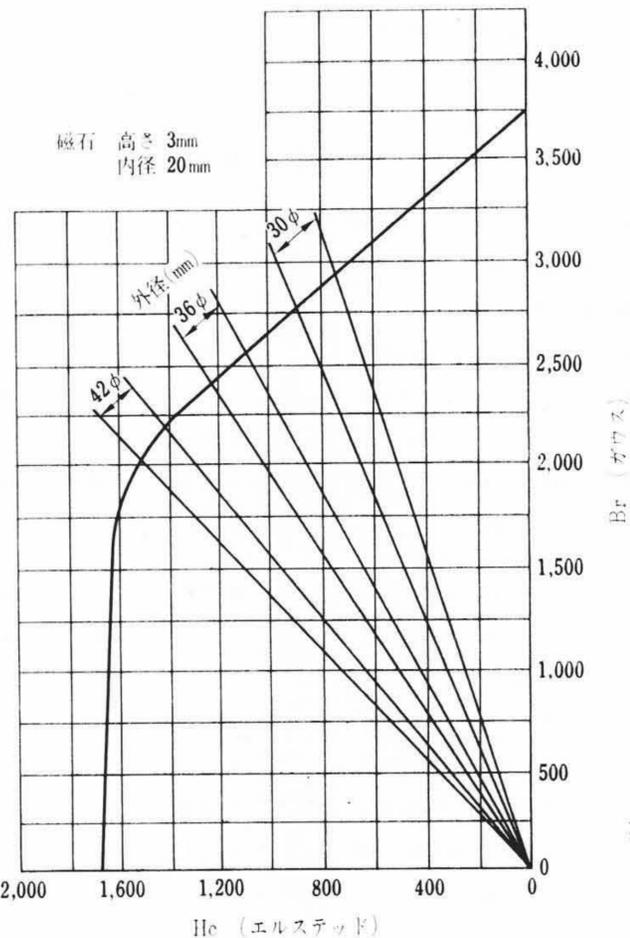
寸法	区域	磁束 $\phi$	断面積 $A$	磁束密度 $B_m$	$B_m$ に対する保磁力 $H_m$	磁石の長さ $l_m$	$V_i = \Delta H_{mlm}$	区域バーミアンス $\Delta P_m$	$V \times \Delta P = \Delta \Phi$	$\frac{\phi_i \times Jh}{\Delta H_{mlm} V}$
マグネットの高さ $h=9mm$ スピーカ内径 $r_1=20\phi mm$ 外径 $r_2=30\phi mm$	1	13,040	3.927	3,320	390	0.05	19.5	-21.762	-424	700
	2	13,460	3.927	3,430	290	0.1	21.0 48.5	-6.791	-329	1,730
	3	13,790	3.927	3,510	210	0.1	21.0 69.5	-0.815	57	2,480
	4	13,850	3.927	3,530	200	0.1	20.0 89.5	+0.688	62	3,200
	5	13,790	3.927	3,510	210	0.1	21.0 110.5	+1.387	153	3,950
	6	13,630	3.927	3,470	250	0.1	25.0 135.5	+1.720	233	4,840
	7	13,400	3.927	3,410	310	0.1	31.0 166.0	+1.877	313	5,950
	8	13,090	3.927	3,330	380	0.1	38.0 204.5	+1.879	384	7,300
	9	12,700	3.927	3,240	470	0.1	47.0 251.5	+1.634	411	8,980
	10	12,290	3.927	3,130	570	0.05	28.5 280.0	+0.707	198	10,009
		12,090	3.927	3,080			$P' = \frac{12,090}{280} = 43.19$	$P = 43.12$		
マグネットの高さ $h=9mm$ スピーカ内径 $r_1=20\phi mm$ 外径 $r_2=36\phi mm$	1	21,820	7.037	3,100	600	0.05	30	-24.877	-746	660
	2	22,560	7.037	3,210	500	0.1	50 80	-8.313	-665	1,760
	3	23,230	7.037	3,300	410	0.1	41 121	-1.566	-189	2,670
	4	23,420	7.037	3,330	380	0.1	38 159	+0.747	119	3,500
	5	23,300	7.037	3,310	400	0.1	40 199	+1.363	271	4,380
	6	23,030	7.037	3,270	440	0.1	44 243	+1.727	420	5,350
	7	22,610	7.037	3,210	500	0.1	50 293	+1.946	570	6,450
	8	22,040	7.037	3,130	570	0.1	57 350	+1.988	699	7,710
	9	21,340	7.037	3,030	660	0.1	66 416	+1.809	753	9,160
	10	20,580	7.037	2,930	760	0.05	38 454	+0.818	371	10,000
		20,210	7.037	2,870			$P' = \frac{20,216}{454.0} = 44.52$	$P = 44.67$		
マグネットの高さ $h=9mm$ スピーカ内径 $r_1=20\phi mm$ 外径 $r_2=40\phi mm$	1	31,070	10.713	2,900	790	0.05	39.5	-28.179	-1,113	640
	2	32,180	10.713	3,000	690	0.1	69.0 108.5	-9.808	-1,064	1,760
	3	33,250	10.713	3,100	400	0.1	60 168.5	-1.716	-289	2,740
	4	33,530	10.713	3,130	580	0.1	58 226.5	+0.405	92	3,680
	5	33,440	10.713	3,120	580	0.1	58.0 284.5	+1.304	371	4,620
	6	33,070	10.713	3,090	610	0.1	61.0 345.5	+1.761	609	5,610
	7	32,460	10.713	3,030	670	0.1	67.0 412.0	+2.009	829	6,700
	8	31,630	10.713	2,950	740	0.1	74.0 286.5	+2.085	1,014	7,900
	9	30,620	10.713	2,860	830	0.1	83.0 569.5	+1.999	1,139	9,250
	10	29,480	10.713	2,750	930	0.05	46.5 616.0	+0.873	538	10,000
		28,940	10.713	2,700			$P' = \frac{28,940}{616} = 46.98$	$P = 46.60$		

第 10 表 磁石  $9 \times 21.5\phi \times (30\phi, 36\phi, 42\phi)$  の動作点の決定

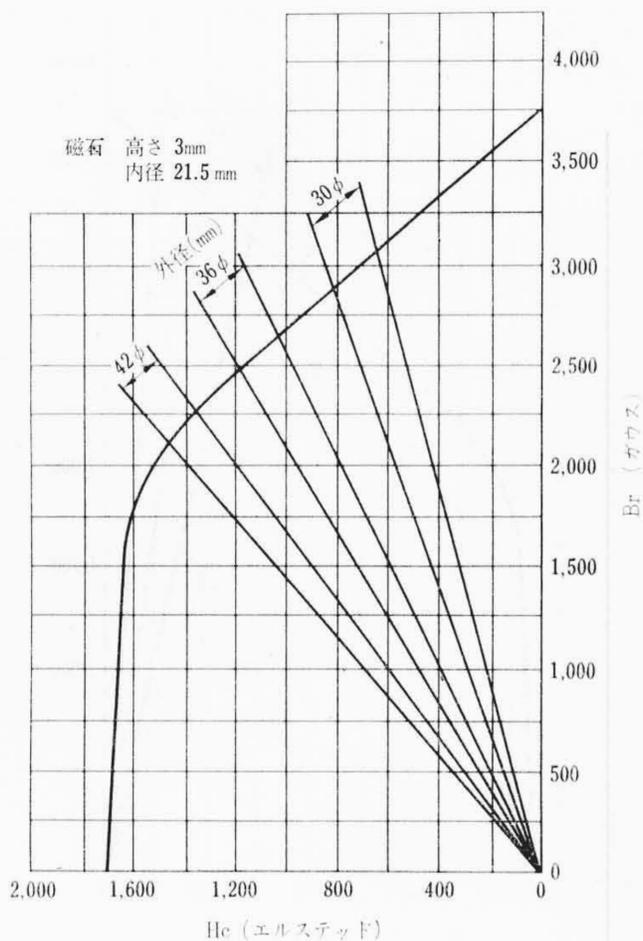
寸法	区域	磁束 $\phi$	断面積 $A$	磁束密度 $B_m$	$B_m$ に対する保磁力 $H_m$	磁石の長さ $l_m$	$V_i = \Delta H_{mlm}$	区域バーミアンス $\Delta P_m$	$V \times \Delta P = \Delta \Phi$	$\frac{\phi_i \times Jh}{\Delta H_{mlm} V}$
マグネットの高さ $h=9mm$ スピーカ内径 $r_1=21.5\phi mm$ 外径 $r_2=30\phi mm$	1	11,550	3.438	3,360	360	0.05	18.0	-21.855	-393	720
	2	11,950	3.438	3,480	250	0.1	25 43	-6.144	-264	1,730
	3	12,210	3.438	3,550	180	0.1	18 61	+0.419	26	2,450
	4	12,180	3.438	3,540	190	0.1	19 80	+0.858	69	3,210
	5	12,110	3.438	3,520	200	0.1	20 100	+1.031	103	4,020
	6	12,110	3.438	3,490	230	0.1	23 123	+1.166	143	4,940
	7	11,870	3.438	3,450	270	0.1	27 150	+1.555	233	6,020
	8	11,640	3.438	3,380	330	0.1	33 183	+1.540	282	7,350
	9	11,350	3.438	3,300	410	0.1	41 224	+1.433	321	9,000
	10	11,030	3.438	3,210	500	0.05	25 249	+0.679	169	10,000
		10,860	3.438	3,160			$P' = \frac{10,860}{249} = 43.63$	$P = 43.82$		
マグネットの高さ $h=9mm$ スピーカ内径 $r_1=21.5\phi mm$ 外径 $r_2=36\phi mm$	1	20,570	6.548	3,140	570	0.05	28.5	-24.970	-712	670
	2	21,290	6.548	3,250	460	0.1	46 74.5	-7.666	-571	1,760
	3	21,860	6.548	3,340	380	0.1	38 112.5	-0.332	-37	2,650
	4	21,890	6.548	3,340	380	0.1	38 150.5	+0.917	138	3,550
	5	21,760	6.548	3,320	390	0.1	39 189.5	+1.007	191	4,670
	6	21,570	6.548	3,290	420	0.1	42 231.5	+1.173	272	5,460
	7	21,290	6.548	3,250	460	0.1	46 277.5	+1.624	451	6,550
	8	20,840	6.548	3,180	520	0.1	52 329.5	+1.649	543	7,770
	9	20,300	6.548	3,100	600	0.1	60 389.5	+1.608	626	9,190
	10	19,670	6.548	3,000	690	0.05	34.5 424	+0.790	335	10,000
		19,340	6.548	2,950			$P' = \frac{19,340}{424} = 45.61$	$P = 45.37$		
マグネットの高さ $h=9mm$ スピーカ内径 $r_1=21.5\phi mm$ 外径 $r_2=42\phi mm$	1	29,890	10.224	2,920	770	0.05	38.5	-28.272	-1,088	650
	2	30,970	10.224	3,030	670	0.1	67 105.5	-9.161	-966	1,770
	3	31,940	10.224	3,120	580	0.1	58 163.5	-0.482	-79	2,750
	4	32,020	10.224	3,130	570	0.1	57 220.5	+0.575	127	3,710
	5	31,890	10.224	3,120	580	0.1	58 278.5	+0.948	264	4,680
	6	31,630	10.224	3,090	610	0.1	61.0 339.5	+1.207	410	5,710
	7	31,220	10.224	3,050	640	0.1	64 403.5	+1.687	681	6,780
	8	30,540	10.224	2,990	700	0.1	70 473.5	+1.746	826	7,960
	9	29,710	10.224	2,910	780	0.1	78 551.5	+1.798	992	9,270
	10	28,720	10.224	2,810	870	0.05	43.5 595	+0.919	547	10,000
		28,170	10.224	2,760			$P' = \frac{28,170}{595} = 47.35$	$P = 47.30$		



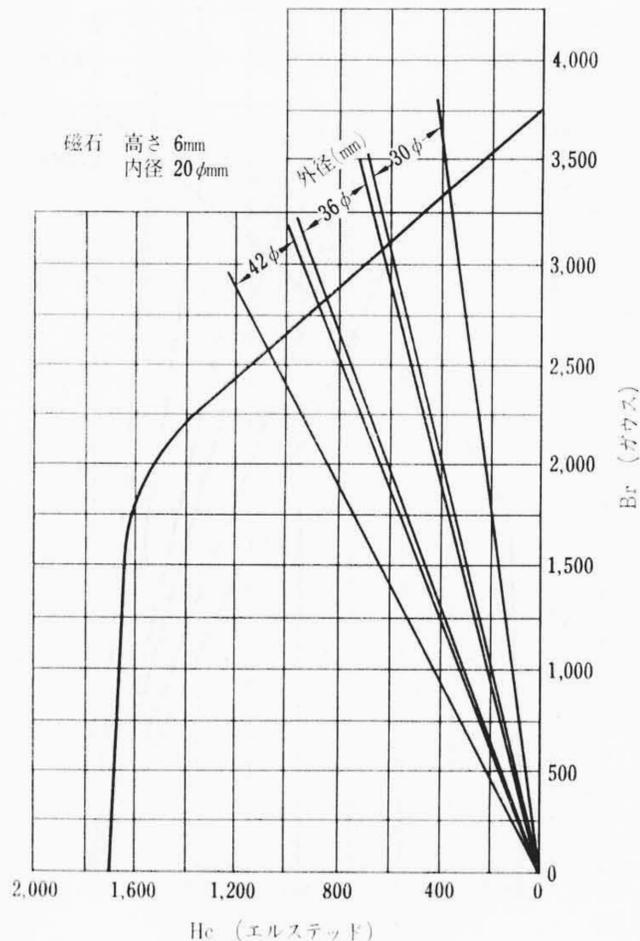
第 7 図 磁石  $3 \times 18.5\phi \times (30\phi, 36\phi, 42\phi)$  の動作範囲



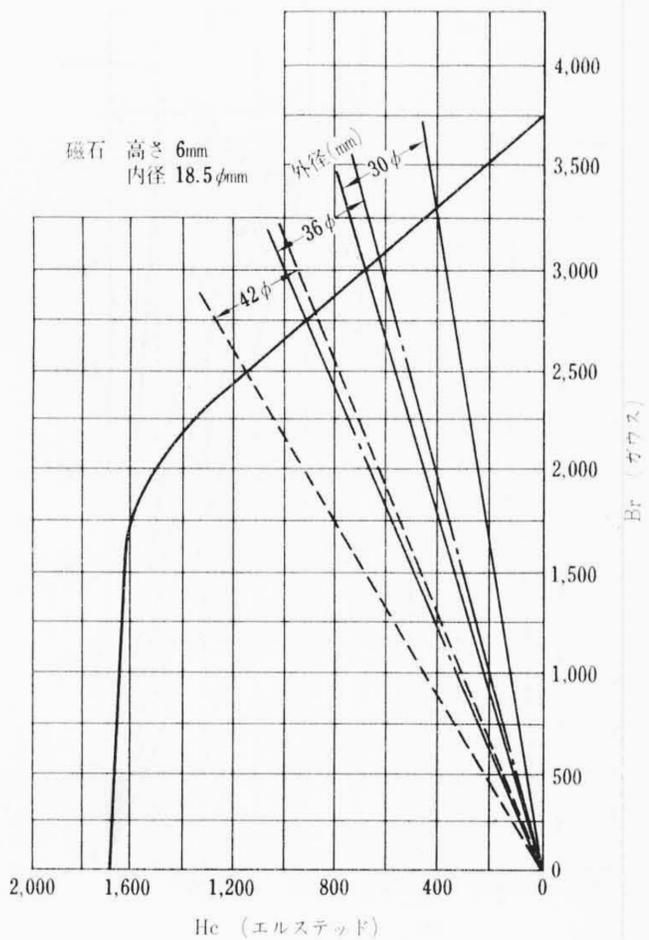
第 8 図 磁石  $3 \times 20\phi \times (30\phi, 36\phi, 42\phi)$  の動作範囲



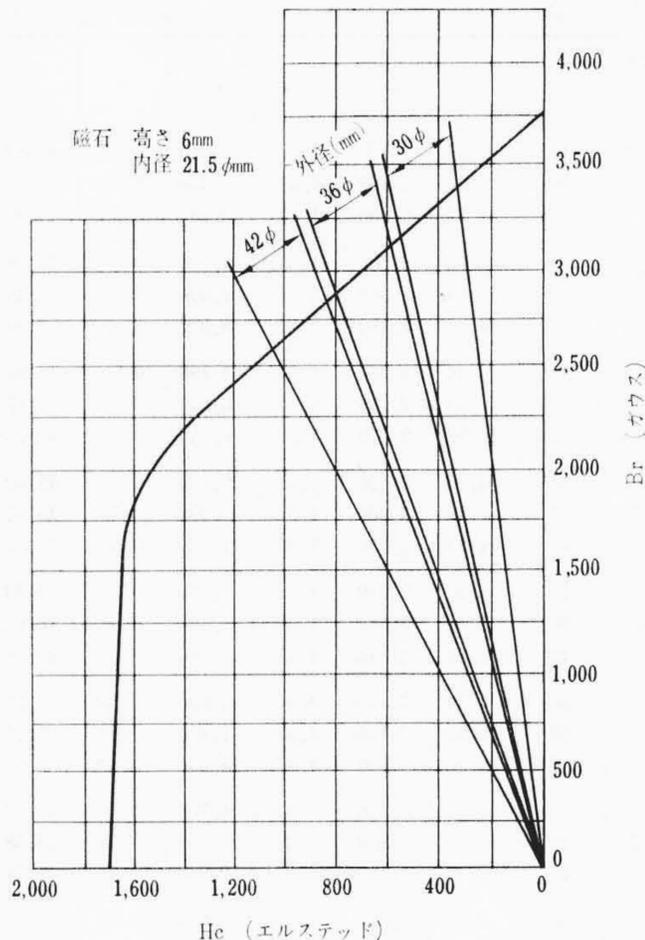
第9図 磁石  $3 \times 21.5\phi \times (30\phi, 36\phi, 42\phi)$  動作範囲



第11図 磁石  $6 \times 20\phi \times (30\phi, 36\phi, 42\phi)$  動作範囲



第10図 磁石  $6 \times 18.5\phi \times (30\phi, 36\phi, 42\phi)$  動作範囲



第12図 磁石  $6 \times 21.5\phi \times (30\phi, 36\phi, 42\phi)$  動作範囲

このようにして各磁極空げき間と各磁石区域の漏えいパーミアンスを求めておき次章のように階段積分法により磁石の動作点を求める。

#### 4. Ba. フェライト磁石を用いた磁気回路の計算

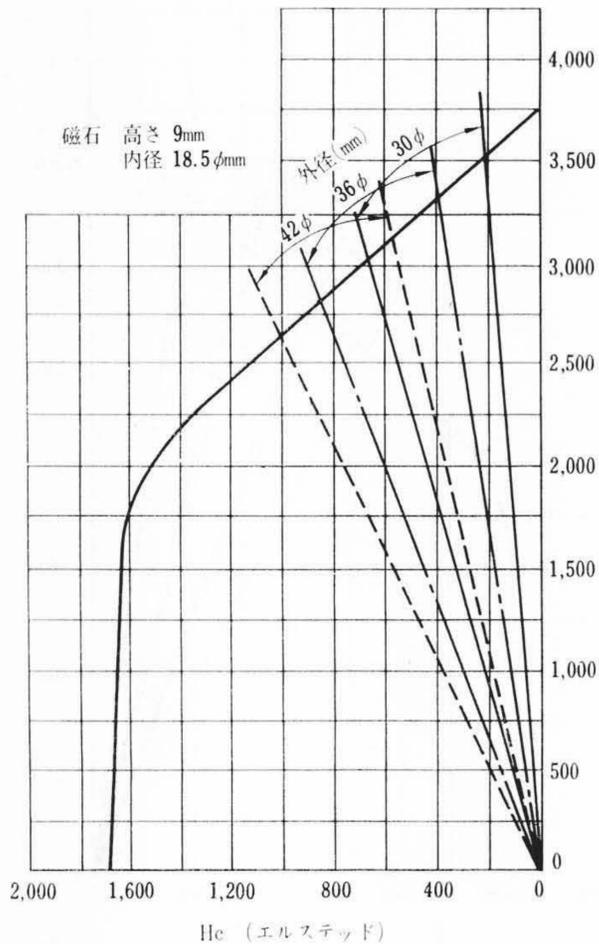
磁気回路計算の要因は磁石の厚さ、内径、外径の三つである。いま磁石の内径を 18.5, 20, 21.5 φ, 外径を 30, 36, 42 φ, 高さを 3, 6, 9 mm に変えて計算する。中心磁極を 13.5 mm φ 一定とし、外磁極の厚さを 3 mm, 空げき長を 0.5 mm とする。これらの組合せは 27 通りとなる。

#### 4.1 階段積分法による動作点の決定

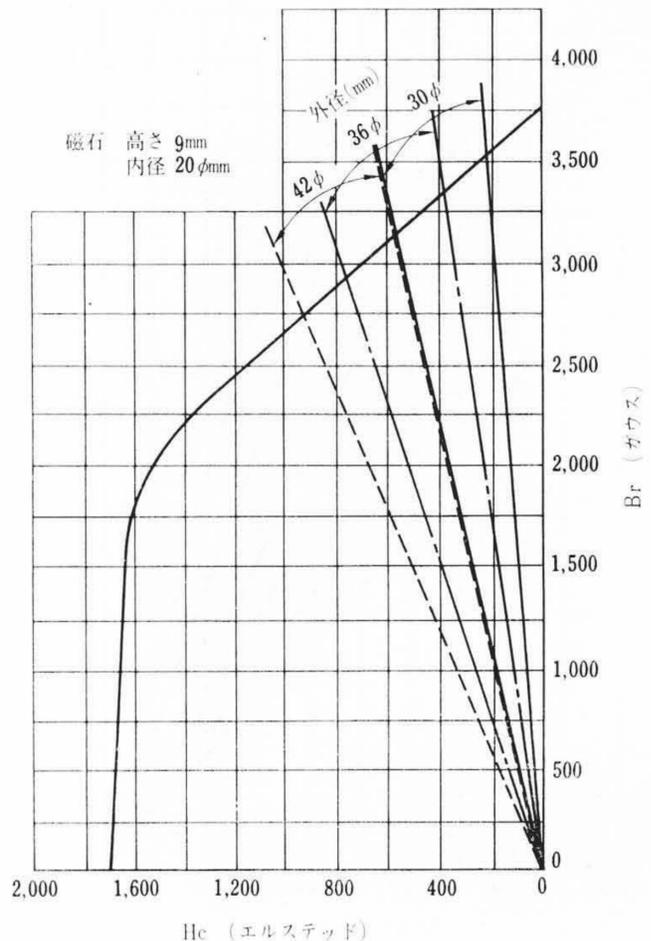
JIS 改訂案の特性より、スピーカ磁石用としては Br: 3,760 ガウス, Hc: 1,680 エルステッド,  $B \times H: 3.07 \times 10^6$  程度が実用上標準と考えられる。第3章3.4の手段により求められた漏えいパーミアンスを用い要因3, 水準3の組合せ磁気回路の計算結果を第2~10表に示す。表の区域は磁石を等分に分割したもので底面よりの番号である。

区域パーミアンス  $\Delta P_m$  の数字に (-) 符号のある区域は磁束の流入する区域であることを示している。

第2~10表により磁石減磁曲線上に動作点の範囲(各区域で磁束



第13図 磁石9×18.5φ×(30φ, 36φ, 42φ) 動作範囲



第14図 磁石9×20φ×(30φ, 36φ, 42φ) 動作範囲

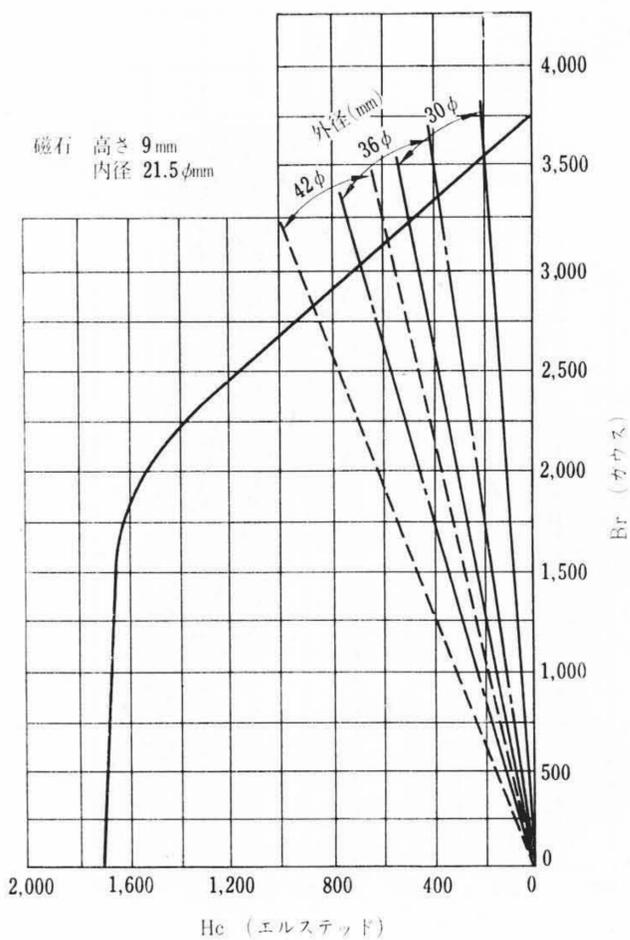
第11表 Ba. フェライト磁石スピーカの磁気回路計算結果

磁石寸法 (mm)			Sm	Bm	Sg	Bg	σ	P	Pg
高さ	内径 (φ)	外径 (φ)							
3	18.5	30	4.38	2,870	1.37	5,300	0.58	45.83	27.72
		36	7.49	2,490	1.37	7,430	0.55	47.63	27.72
		42	11.17	2,100	1.37	9,080	0.53	49.23	27.72
	20	30	3.93	2,960	1.37	4,770	0.56	49.10	27.71
		36	7.04	2,560	1.37	7,000	0.53	49.34	27.71
		42	10.71	2,190	1.37	8,830	0.52	50.95	27.71
	21.5	30	3.44	3,070	1.37	4,190	0.54	48.91	27.71
		36	6.55	2,650	1.37	6,540	0.52	51.15	27.71
		42	10.22	2,270	1.37	8,450	0.50	52.75	27.71
6	18.5	30	4.38	3,320	1.37	6,060	0.57	43.02	27.68
		36	7.49	3,060	1.37	8,990	0.54	45.51	27.68
		42	11.17	2,790	1.37	11,920	0.52	46.07	27.68
	20	30	3.93	3,350	1.37	5,480	0.57	44.33	27.71
		36	7.04	3,070	1.37	8,490	0.54	46.82	27.71
		42	10.71	2,810	1.37	11,540	0.52	47.38	27.71
	21.5	30	3.44	3,400	1.37	4,800	0.56	45.21	27.56
		36	6.55	3,130	1.37	7,910	0.52	47.70	27.56
		42	10.22	2,860	1.37	11,040	0.52	48.26	27.56
8	18.5	30	4.38	3,520	1.37	6,280	0.56	42.03	27.70
		36	7.49	3,330	1.37	9,690	0.53	43.58	27.70
		42	11.17	3,130	1.37	12,950	0.51	45.51	27.70
	20	30	3.93	3,538	1.37	5,680	0.56	43.12	27.67
		36	7.04	3,330	1.37	9,160	0.54	44.67	27.67
		42	10.71	3,130	1.37	12,580	0.51	46.60	27.67
	21.5	30	3.44	3,550	1.37	5,000	0.56	43.82	27.56
		36	6.55	3,340	1.37	8,600	0.54	45.37	27.56
		42	10.22	3,130	1.37	12,010	0.51	47.30	27.56

備考 Sm, Sg: 磁石, 空げきの断面積 cm<sup>2</sup>  
 Bm, Bg: 磁石, 空げきの磁束密度 Gauss  
 σ: 利用率有効空げき磁束/全磁束  
 P: 磁極間全パーミアンス  
 Pg: 有効空げきパーミアンス

密度が異なるため) を求めると第7~13図となる。

これにより磁石の厚さと磁石の直径により動作点がどのように変わるかがよくわかる。Bgを中心とした計算結果の総まとめを第11表に示す。



第15図 磁石9×21.5φ×(30φ, 36φ, 42φ) 動作範囲

#### 4.2 結果の検討

この数値計算は3要因, 3水準で27個の組合せであるから三元配置の形で分析できる。また各変数の関係式も求めることができる。要因分析結果を第12表に示す。この表は空げき磁束密度を増す要因としては磁石外径を増すことが一番効果があることを示している。

この分析結果からBgを得る各変数の関係式を求めると(13)式となる。

$$B_g = 8,140 + 382(A-6) - 287(B-20) + 469(C-36) + 40(A-6)(C-36) \text{ Gauss} \dots (13)$$

第12表 磁石寸法の空げき磁束密度に関する要因分析表

要因			SS	f	mS	F	寄与率 (%)
A 高さ	一次	S <sub>a1</sub>	23,024,898	1	23,024,898	57,850	12.8
	二次	S <sub>a2</sub>	1,462,898	1	1,462,898	3,676	0.8
B 内径	一次	S <sub>b1</sub>	4,681,800	1	4,681,800	11,760	2.6
	二次	S <sub>b2</sub>	12,210	1	12,210	31	0
C 外径	一次	S <sub>c1</sub>	143,600,404	1	143,600,404	360,800	80.0
	二次	S <sub>c2</sub>	51,094	1	51,094	128	0
交互作用	S <sub>A×B</sub>		44,383	4	11,096	28	3.6
	S <sub>A×C</sub>		6,429,437	4	1,607,359	4,040	0.1
	S <sub>B×C</sub>		123,364	4	30,841	77	0
S <sub>e</sub>			3,184	8	398		
ST=179,433,669							

備考: 危険率 1%  $\begin{cases} F_{8^4}=7.01 \\ F_{8^1}=11.26 \end{cases}$

ただし, A: 磁石の高さ 3~9 mm  
 B: 磁石の内径 18.5~21.5 mm  
 C: 磁石の外径 30~46 mm

5. 結 言

中心磁極の径を 13.5φ, 空げきを 0.5 mm 一定とした磁気回路に Ba. フェライト磁石の大きさをどう変えたら空げき磁束密度 B<sub>g</sub> とその動作点がどうなるかを知る目的で計算した結果から次のことがわかった。

- (1) 第12表より B<sub>g</sub> (空げき磁束密度 Gauss) を大きくする要因は断面積(外径)が 80%, 高さが 12% 程度の寄与で内径はほとんど影響しない。内径は 18.5 mmφ にしておけばよいことを示している。
- (2) 第7~15図の使用範囲から, 磁石の高さは動作点に非常に

影響し, 外径 30φ なら 3 mm, 外径 36φ なら 3~6 mm, 外径 46φ なら 6 mm 必要である。B<sub>g</sub> を 12,000 Gauss 以上出すのでなければ 9 mm は必要ない。

(3) B<sub>g</sub> に関する設計式は(13)式, すなわち

$$B_g = 8,140 + 382(A-6) - 287(B-20) + 469(C-36) + 40(A-6)(C-36)$$

ここに, A: 磁石の高さ 3~9 mm

B: 磁石の内径 18.5~21.5 φ mm

C: 磁石の外径 30~46 φ mm

と第11表より B<sub>g</sub>: 7,000 Gauss 程度なら 3×18.5φ×36φ, 9,000 Gauss 程度なら 6×18.5φ×36φ, 11,000 Gauss 程度なら 6×18.5φ×42φ で得られると判定できる。

以上磁気回路の解析方法を主体として計算例として Ba. フェライト磁石の寸法決定手段を説明した。この計算は第1次近似で境界値は磁極に磁位降下なく, 磁石の磁位降下は直線的であると仮定してある。精度をあげる必要のある場合には第2図フローチャートの境界の磁位修正を n 回操作すればよいが通常の場合第1次近似で実用的判定は可能と考える。

今後の問題として Ba. フェライト磁石が薄くなり磁石区域を等価平均磁束密度で取扱うことが不適當の場合には磁石内部の磁化を階段積分法の手段で計算できないから Poisson 方程式として異方性磁石を取り扱う必要があり非常に困難な計算となる。

参 考 文 献

- (1) 二見, 桜井: 日立評論 43, 1139 (昭 36-9)
- (2) 野村達治, 中島平太郎: 音響機器, 209 (昭 38 日本放送出版協会)
- (3) 吉久, 西見: 日本音響学会講演論文集, 177 (昭 35-5)
- (4) 二村, 城戸: 電気三学会連合大会, 202 (昭 29-11)



特 許 の 紹 介



特許第421333号

辻 三 郎・根 本 隆 治

電 気 集 じん 方 法

本発明は, 比抵抗の高いダスト(排じん)を包含し, かつ亜硫酸ガスを含む焼炉排ガスから除じんする電気集じん器において, 集じん効率を高めるため, 煙道中においてあらかじめ焼炉排ガスの成分を改質して, しかる後電気集じんする方法に関する。

周知のごとく火力発電所の微粉炭燃焼排じんなどのような電気比抵抗の高いダストを電気集じん器で捕集せんとした場合は, 集じん極側において逆電離現象を誘発し, このために吸着されるべきダストが再飛散して集じん効率を低下する結果となる。

本発明は, 上記の欠点を解消するために, 煙道内において流通するガス中に過酸化水素(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)などの強力なる酸化剤を混入することにより, ガス中に含んでいる亜硫酸ガス(SO<sub>2</sub>)と反応させ, SO<sub>2</sub>+O=SO<sub>3</sub>となる。この無水硫酸(SO<sub>3</sub>)をガス中のダスト(排じんと

して, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) が吸着している水分(H<sub>2</sub>O)に反応せしめて, SO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O=H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>のごとくに硫酸とする前処理を行なうことを特長とするもので, この前処理によりダスト粒の表面を硫酸で包囲するため, これらダスト粒の導電性が良くなり, したがって電気比抵抗が低下する。このようにガスの成分を改質してから電気集じん器の静電界内に電気比抵抗を低くしたダストを含むガスを流入せしむることにより, 集じん極側においては, 電気比抵抗の高いダストによる場合のような逆電離現象が発生せず, かくして集じん能率を著しく上昇することができた。

なお硫酸は, 高温(たとえば 130°C)でも蒸発せず, かつ導電性であるため, 集じん処理時のガス温度の高い(130°C)時でも十分にダスト層の電気比抵抗を低下させることができる。(郷古)