

ref. KEK-73-1

時間的に変化する磁場は、 $\text{rot}E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ により、渦電流をボアチューブに発生させる。この電流は磁石のコアの中にイメージ電流を作り、これも磁場を作る。これらの磁場は励起磁場と同じ型の多極成分を持つが、符号は逆である。

磁場はベクトルポテンシャルで記述される。

$$B(r, \phi, t) = \text{rot}A_z(r, \phi, t)$$

ベクトルポテンシャルは外場、渦電流、イメージ電流からの寄与の加算となる。

$$A_z = A_z^0 + A_z^e + A_z^i$$

ここで、周期 $2T$ の \sin 波の半波で励起すると仮定すれば ($\omega = \pi/T$)、

$$A_z^0(r, \phi, t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n^0 r^n \cos(n\phi + \alpha_n) \sin \omega t$$

と書ける。渦電流の効果により、四極成分は次のように変化する。

$$A_2^0 r^2 \cos 2\phi \sin \omega t$$

----->

$$A_2^0 r^2 \cos 2\phi (\sin \omega t - \varepsilon \cos \omega t) \quad (1)$$

ここで

$$\varepsilon = \frac{\mu_0 \sigma \delta R \omega}{4} \left(1 + \frac{3}{4} \left(\frac{R}{R_g} \right)^4 \right) \quad (2)$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7},$$

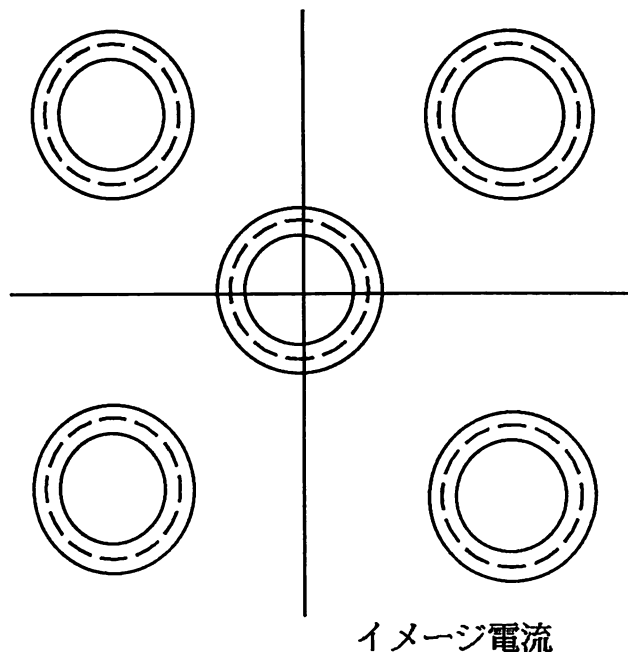
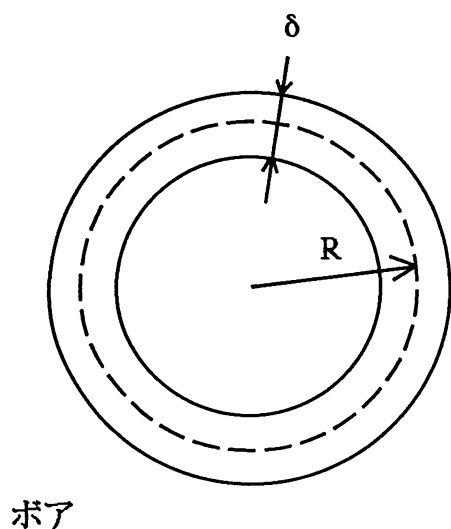
$$\sigma = \text{conductivity} = 1/\rho, \quad \rho = 72 \times 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m},$$

$$R = \text{radius of bore tube (center value)},$$

$$\delta = \text{thickness of bore tube},$$

$$R_g = \text{aperture radius of magnet pole}.$$

式(1)より、渦電流の効果により、得られる磁場には、時間遅れと振幅の変化が生じる事がわかる。渦電流無しの際に、磁場のピークが $\omega t = \pi/2$ で生じる時、渦電流を考慮したときの磁場のピークは



$$\Delta t = \varepsilon / \omega \quad (3)$$

遅れる。その時の四極磁場のピーク値は

$$B_2 = B_2^0 \left(1 + \frac{\varepsilon^2}{2}\right) \quad (4)$$

以上より、渦電流の効果の大きさは

- 1) (2) 式の ε により決まる。時間遅れは ε 、大きさは ε^2 に比例。
- 2) ボアの厚みに比例する。
- 3) ボアの半径に比例する
- 4) 磁場変化の周波数に比例する。
- 5) イメージ電流の効果は $(R/R_g)^4$ に比例する。
- 6) 電気伝導度に比例する。

JHF リニアックのパラメータを Table 1 にまとめた。ps リニアックのパラメータを参考に載せた。採用パラメータを太字で示した。立ち上がりの遅いパルス電源を使用する事により、PS リニアックに比べると、1/10 - 1/5 に減少している (ε で測って)。

Table 1 渦電流効果のパラメータ。

	δ	R	$\frac{\mu_0 \sigma \delta R}{4}$	$1 + \frac{3}{4} \left(\frac{R}{R_g}\right)^4$	ε / ω	ε	ε
	mm	mm	μsec		μsec		
3 MeV	1	7	3.05	1.44	4.39	0.0013	0.011
50 MeV	1	13.5	5.89	1.56	9.21	0.0026	0.022
ps 20	0.8	10.4	3.63	1.60	5.80	0.0017	0.014

T=11 ms T=1.3 ms
f=45 Hz f=385 Hz