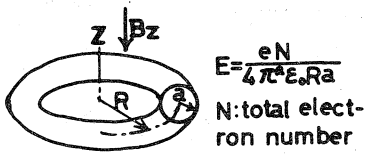


# 電子リング加速器に於ける電子リングの圧縮

名大プラズマ研 金沢大理A 小林則幸 久保田雄輔 川崎温<sup>A</sup> 宮原昭

## 1. まえがき

荷電粒子の collective な効果を利用する加速器の可能な形態の一つとして Veksler により始められた ERA がある。原理的には陽子やその他の陽イオンを内部に捕獲している電子群を加速することにより質量比だけ電子よりイオンのエネルギーが高くなることを用いて効率良く加速を行なおうとする方式である。そのためには十分強い内部電界を持ち一定時間安定に存在できる電子群が必要であり、Veksler の着想の優れた点はこの電子の器として closed Budker beam を用いたところにある。電子リングは MeV 級のエネルギーの電子ビームをミラー磁場中に入射して作られるが、普通そのままでは十分強い内部電界が得られないため磁界を強めることによる電子リングの断熱圧縮を行なう。図1に於いて圧縮により R と a を縮めリングの表面電場 E を少なくとも 1 オーダ上げる事ができる。リングを空洞で加速する場合、加速電界として標準的な 10 MV/m を考えると E はこれより多少大きい必要がある。例えば R ~ 5 cm, a ~ 1 mm



$$E = \frac{eN}{4\pi\epsilon_0 R a}$$

N: total electron number

Fig.1 Electric field of ring

のリングでは  $N \sim 10^{13}$  個となる。各国の ERA はこの値を目指して研究が進められています。

## 2. Compression coil の磁場計算と設計

プラズマ研の ERA では Compression coil が真空容器内部に置かれることが特徴であり、これにより高速圧縮が可能になる。コイルに流れる電流の立ち上がりは約 1 μs で容器の壁は 3 mm 以上の厚さがあるため磁場は外部に浸み出ることができず、自由空間の場合と異ってくる。計算に際し容器は図2の如く pill-box とし壁の導電率は無限大とする。境界条件は

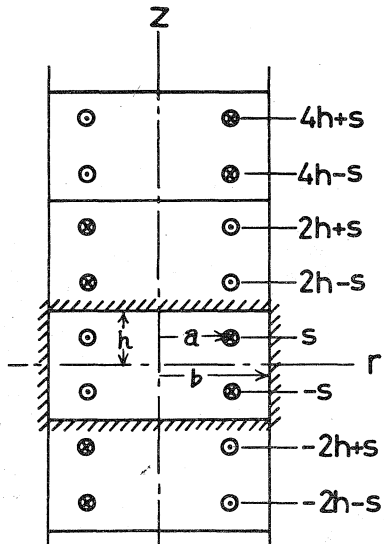


Fig.2 The arrangements of the image currents

計算の内容の詳しいことは参考文献に譲り結果のみを記すと、コイルの内側と外側での vector potential は 4), 5) のようになる。この結果で注目さ

縮を行なう。図1に於いて圧縮により R と a を縮めリングの表面電場 E を少なくとも 1 オーダ上げる事ができる。リングを空洞で加速する場合、加速電界として標準的な 10 MV/m を考えると E はこれより多少大きい必要がある。例えば R ~ 5 cm, a ~ 1 mm

$$B_r = 0 \text{ at } r = b \text{ and for } -h \leq z \leq h$$

$$B_z = 0 \text{ at } z = \pm h \text{ and for } 0 \leq r \leq b \quad 1)$$

ようにする。但し a, b は各々コイルと容器の半径、また h, s は各々容器中央平面から壁とコイルまでの距離である。このような条件を満たすには容器の壁面の影電流を考えればよく、例えば 2

番目の条件は  
図2のような  
無限個の影電流を考えて

$$A_\phi = \frac{\mu_0 a i}{2h} \sum_{m=1}^{\infty} I_1\left(\frac{\pi m a}{2h}\right) \left[ K_1\left(\frac{\pi m r}{2h}\right) - K_1\left(\frac{\pi m b}{2h}\right) \frac{I_1\left(\frac{\pi m r}{2h}\right)}{I_1\left(\frac{\pi m b}{2h}\right)} \right] \\ \left[ \cos\left(\frac{\pi m(z+s)}{2h}\right) + \cos\left(\frac{\pi m(z-s)}{2h}\right) - \cos\left(\frac{\pi m(z-2h+s)}{2h}\right) - \cos\left(\frac{\pi m(z+2h-s)}{2h}\right) \right] \text{ for } a \leq r \leq b \quad 4)$$

$$A_\phi' = \frac{\mu_0 a i}{2h} \sum_{m=1}^{\infty} I_1\left(\frac{\pi m r}{2h}\right) \left[ K_1\left(\frac{\pi m a}{2h}\right) - K_1\left(\frac{\pi m b}{2h}\right) \frac{I_1\left(\frac{\pi m a}{2h}\right)}{I_1\left(\frac{\pi m b}{2h}\right)} \right] \\ \left[ \cos\left(\frac{\pi m(z+s)}{2h}\right) + \cos\left(\frac{\pi m(z-s)}{2h}\right) - \cos\left(\frac{\pi m(z-2h+s)}{2h}\right) - \cos\left(\frac{\pi m(z+2h-s)}{2h}\right) \right] \text{ for } r \leq a \quad 5)$$

れるのは homogeneous 項がないことである。  $h=12\text{cm}$ ,  $S=6\text{cm}$ ,  $b=30\text{cm}$  としていくつかのコイル半径について中央平面での磁場を数値計算した結果を図3に示す。また図4は2つのコイルを並列に

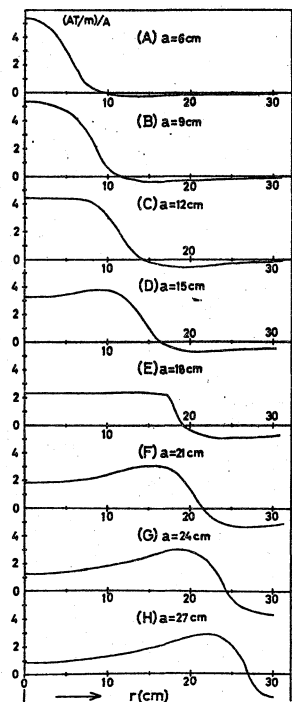


Fig. 3 The magnetic field on the meJian plane for various values of the coil position in the radial direction.

接続した場合の相互インダクタンスを数値計算して求めたものである。総合インダクタンスはこの値に自己インダクタンスを加えれば求めるこ

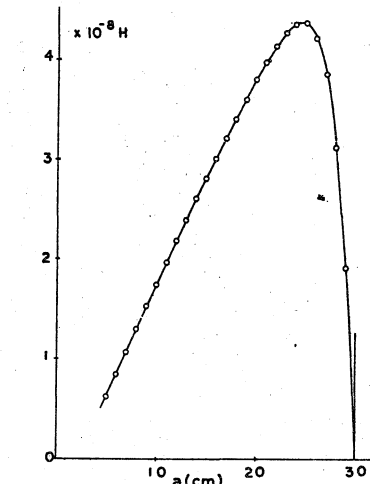


Fig. 4 The inductance of the coil pair shown in Fig. 2 for various values of a.

とができる。プラズマ研のERAでは Compression 用コイルを2段にし1段目として半径26cm, 2段目として半径18cmにした。2段階に分けたのは2つを適当に組み合わせリングの圧縮に於いて  $n=0.2$  等の betatron resonance をさけるためである。

### 3. Compression coil system

容器内部の磁場計算の結果から図5に示すようなコイルをERA容器内に取り付けた。容器外部のコイルは steady なミラー磁場を発生するためのもので、最初電子ビームは中心から22cmの中央平面に接線方向に入射される。そこでの磁場の

インデックスは  $n \approx 0.3$  である。表Iはコイルのパラメータをまとめたものである。カッコ内の数値は測定値と実際に使用した値である。この装置により半径20cmのリングを約6cmまで圧縮し、ビームのエネルギーを10倍程度上げることが可能である。

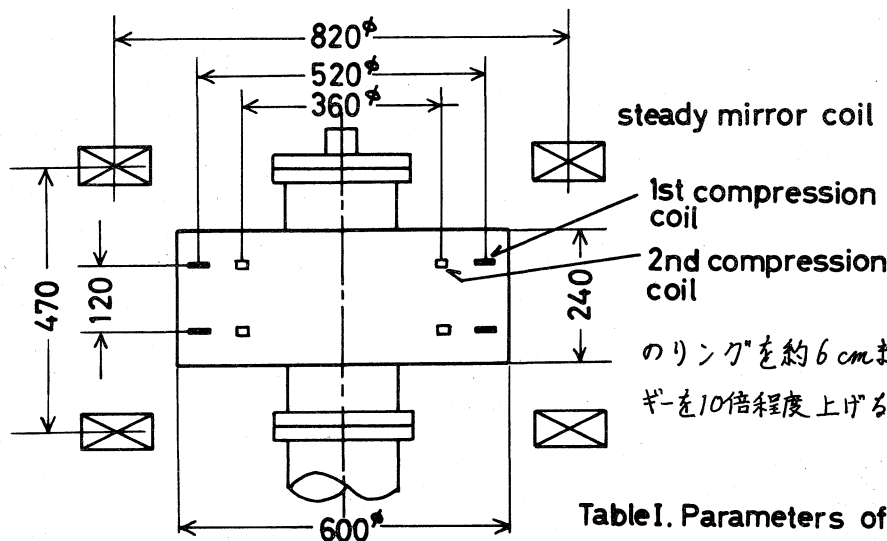


Fig. 5 ERA coil system

Table I. Parameters of compression coils

	Coil 1	Coil 2
Inner radius	240 mm	170 mm
Outer radius	280 mm	190 mm
Axial width	5 mm	10 mm
Total inductance	0.5 $\mu\text{H}$ (0.56)	0.45 $\mu\text{H}$ (0.44)
Max. field	400 gauss	2 kgauss
Max. current	11.4 kA	69 kA
Capacitor	0.15 $\mu\text{F}$ (1.0)	2.97 $\mu\text{F}$ (20)
Charging voltage	20 kV (16)	20 kV (37)

### 参考文献

- J.J.A.P. vol.14 no.6 June 1975.  
 Proc. of the 1975 Particle Accelerator Conference. IEEE Transaction NS 22 (1975) 992.