

RF CAVITY FOR PULSE BEAM STRETCHER

Ryukou Kato, Masayuki Oyamada, Shigekazu Urasawa and Toshiharu Nakazato
Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University

ABSTRACT

In Tohoku University we have proposed a common ring project which has two accelerating modes; one is a pulse beam stretcher mode for the nuclear experiments and the other is a storage ring mode for the synchrotron radiation source. In the stretcher mode, the beam loading in RF cavities changes rapidly and therefore it is difficult to accelerate the electron beam by the ordinary method. As a solution to this problem we have designed a test cavity with low shunt impedance of $R_s = 2 \times 0.6 \text{ M}\Omega$ and large coupling coefficient of $\beta = 10$.

パルスビーム・ストレッチャー用RF加速空洞

1. はじめに

共用リングは、パルスビーム・ストレッチャーの機能と、放射光用蓄積リングの機能を兼ね備えたリングである。(図1) パルスビーム・ストレッチャーは、電子ライナックで加速されたパルス状のビーム(図2の上段)を入射、蓄積し、次のパルスビームが来るまでの時間、少しずつ取り出すことによって、図2の中段の様な直流に近いビームに変換する装置である。これにより、パルスビームでは難しかった同時計数の原子核実験を可能にする。

図2の下段はリング内に蓄積されているビーム強度の時間変化である。リングの電子が一定の割合で取り出されている時、蓄積ビームの強度は図の様に一定の割合で減少する。このように急激な負荷変動を伴うRF系は他に例がなく、開発的要素が多い。

本稿では、共用リングのストレッチャー・モードにおけるRF系の諸定数とそれに基づいて設計・試作した加速空洞について報告する。

2. RF系の諸定数

ストレッチャー・モードのRF加速において最も重要な点は、入射時の $1.1 \mu\text{sec}$ の間にリング内のビーム電流がゼロから 200mA に増加し、次のビーム入射までの 3.3msec の間にビーム電流がゼロとなることである。このビーム負荷の変動に対して、空洞内の加速電圧と位相が変動しないようにするためには、シャント・インピーダンス R_s を小さくし、加速モードの結合定数 β を大きくすればよいが、それに伴って必要なRF電力が増加する。最適運転条件は、 $R_s = 1.2\text{M}\Omega$, $\beta = 10$, チューニング角 $\psi = -30^\circ$, 超過電圧比 $q = 3.0$ で、

このとき200mAの負荷変動に対して空洞内の電圧変動2%、位相変動0.3°である。ただし、クライストロンのRF電力 P_g は一定で15kWである。

次に問題となるのは、シャント・インピーダンスを小さくとることによって、空洞損失 P_c が増加し、冷却が困難になることである。上の条件で運転した場合は $P_c=3.7$ kWとなる。そこで1台のクライストロンからシャント・インピーダンス 0.6 M Ω の空洞2台にRF電力を供給し、1台当りの空洞損失電力を1.85kWにしている。

表1 共用リング(ストレッチャー・モード) RF系の諸定数

名 称	数 値
ビームエネルギー	1.0 GeV
ビーム電流	200 mA
RF加速周波数	2856 MHz
ハーモニック数	1572
シャント・インピーダンス	1.2 M Ω
超過電圧比	3.0
加速電圧	66.3 kV
量子寿命	0.5 sec
シンクロトロン位相	70.5°
シンクロトロン振動周波数	18.8 kHz
クライストロン最大出力	30 kW
空洞損失電力	3.7 kW
シンクロトロン放射損失	22.1 keV
空洞数	2

3. 加速空洞の設計

本設計はURMEL-Tを用いて行った。設計目標としては、

- 1) Q値を下げずにシャント・インピーダンスを低く抑えること
- 2) 局所的な発熱のない冷却しやすい形状であること
- 3) チューナーや入力カップラーによる空洞内電磁場の乱れが、ビーム軸上にまで及ばないこと
- 4) ビーム口径が大きいこと

の4点が挙げられる。1), 2) を考慮するため、加速ギャップを π モード空洞よりも長めにとり通過時間因子を小さくし、また内部にノーズ・コーンのような突出物をもたない形状とした。(図3) 表2に空洞の主なパラメータを示す。

表2 加速空洞のパラメータ (URMEL-Tによる)

名 称	仕 様 値
加速周波数	2856 MHz
シャント・インピーダンス(*)	0.594 M Ω
Q値(**)	26900
R/Q	22.1 Ω
空洞損失 (Vc=33.2kVでの値)	1.85 kW
通過時間因子	0.172

(*),(**)はCu,300Kでの値

4. 今後の課題

2節で述べたように結合定数 β を大きくとった場合には、空洞内部の電磁場の歪を考慮しなければならない。だが空洞内部の電磁場を乱す原因となるのは入力カップラーだけではない、チューナーもその一要因たりうる。

共用リングの蓄積リング・モードは476MHzの加速周波数で運転され、この周波数はストレッチャー・モードのその1/6である。そのため蓄積リング・モードの際には、ストレッチャー用の加速空洞は共振周波数からデチューンされていなければならない。しかし、この空洞を $\beta=10$ で使用した場合、loaded Q=2450となり、デチューンのためにはチューナーの挿入体積を大きくとらなければならないことになる。したがって β を大きくとった場合には3節の3)に挙げたように、空洞内電磁場へのチューナーとカップラーの両方の影響を見積らなければならない。そのため、現在我々は上記のテスト空洞を用いて、実際に空洞内部の電磁場の分布を測定する準備を進めている。

次に残された課題は加速空洞の冷却の問題である。表2にあるようにこの空洞を用いてRF加速を行った場合の空洞損失は1.85kWとなり、単位面積当りにして9.0W/cm²となる。この値での冷却が可能かどうかは、さらに検討を重ねる必要がある。

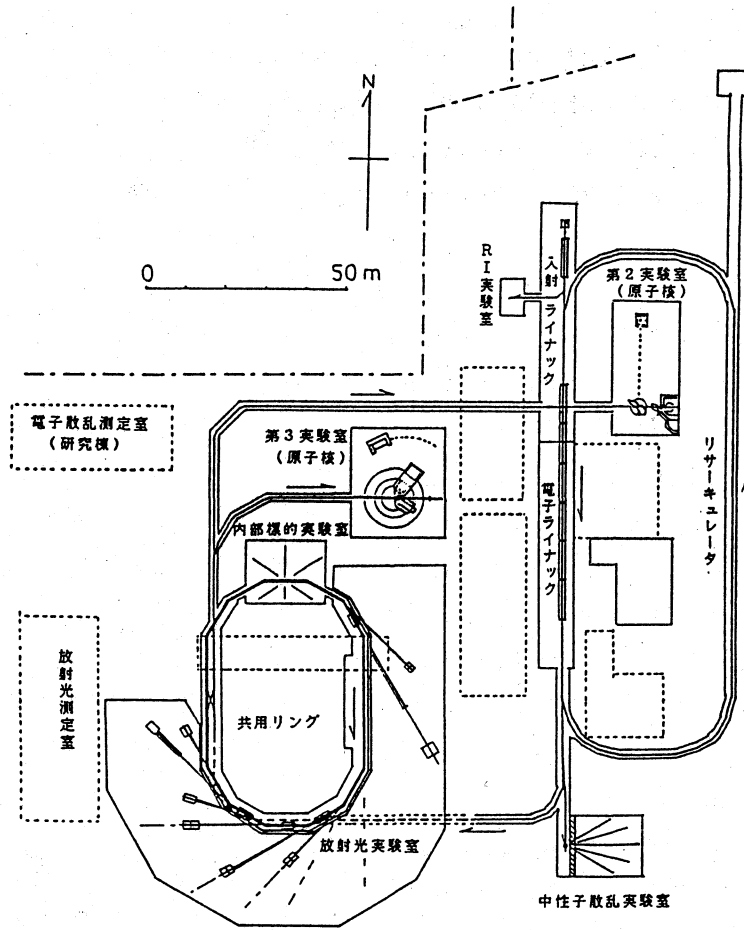


図1 東北大学共用リング計画

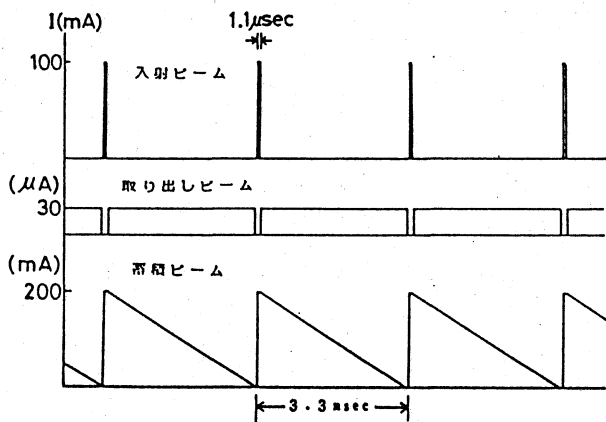


図2 (上) ライナックからの入射ビーム。
(中) 取り出しビーム
(下) 蓄積ビームの時間変化。

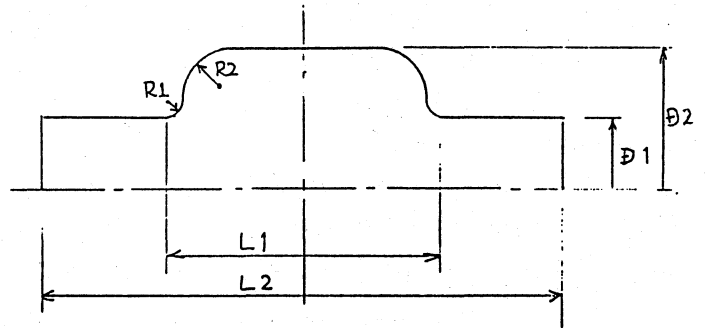


図3 パルスストレッチャ用加速空洞
 $D1 = \phi 45.00$ $L1 = 86.00$ $R1 = 5.00$
 $D2 = \phi 85.92$ $L2 = 160.00$ $R2 = 15.46$