

Feasibility study of an RF system for SSTR - the 150MeV pulse stretcher.

Ryukou KATO, Masumi SUGAWARA, Masayuki OYAMADA, Tadaaki TAMAE, Shigekazu URASAWA
Osamu KONNO, Toshiharu NAKAZATO, Satoshi NIWANO and Takeshi EGUCHI

Laboratory of Nuclear Science, Tohoku University

ABSTRACT

The CW RF system and the standing-wave RF cavity installed in SSTR were designed to compensate for synchrotron radiation and parasitic losses while heavily beam loaded. This is a test study for large pulse stretcher of the future project in Tohoku University.

150MeVパルスビーム・ストレッチャーへのRF系の導入

1. はじめに

東北大核理研のパルスビーム・ストレッチャー（以下SSTRと略）¹⁾は、現在、ビームエネルギー130MeVで運転されている。このときのデューティー・ファクターは約85%であり、これ以上のエネルギー領域ではビームエネルギーの増加にともないデューティー・ファクターは急速に低下する。これはシンクロトロン放射によるエネルギー損失率がリングのエネルギー・アクセプタンスを越えるためであり、SSTRのリングにRF系を導入することにより、更に高いエネルギーの電子ビームの直流化も可能となる。

東北大核理研ではこれまで、SSTRを用いてストレッチャー・リングの諸特性の研究を続けるとともに、次期計画の大型パルスビーム・ストレッチャーに必要とされるRF系の研究を行ってきた²⁾。我々はこれらの研究の次のステップとして、SSTRリングにRF系を導入し、実際に加速試験を行なうための準備を進めている。ここではRF系導入に伴うSSTRのリング・パラメータの変更とRF系パラメータの最適化、および加速空洞形状について報告する。

2. リング・パラメータの変更

現在のSSTRはRF加速を前提とせずに設計されている。ゆえにRF系の導入にはリング・パラメータの変更が必要となる。SSTRの周長は15.484m、RF周波数2856MHzの波長の整数倍とはほぼ半波長の差がある。そのため粒子軌道を外側に8mmずらすことにより、周長を波長の整数倍とする。これに伴いベータトロン振動数等も変更を受ける（表1）。

3. RF系パラメータ

SSTR内の蓄積電流は取り出し電流が1 μ Aのとき、ビーム

表1 リング・パラメータ

周長	15.535 m
自由空間長	1.329 m
曲率半径	0.780 m
エネルギー	150 MeV
ベータトロン振動数 ν_x	1.305
ν_y	1.226
ディラレーション係数	0.65
RF加速周波数	2856 MHz
ハーモニック数	148

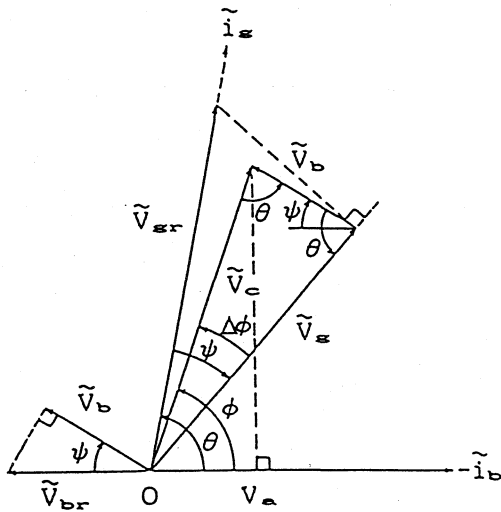


図1 $V_c = V_s$ の条件を課した場合のフェイザー図表。このとき蓄積電流の変化に対し、空洞内電圧 V_c の変化が最小になる。これにより、位相空間でのセパトリティクスの安定領域の大きさはほぼ一定となるが、負荷変動に伴い、シンクロトロン位相角 ϕ の変化 $\Delta\phi$ だけ、セパトリティクス全体が平行移動する。

V_{sr} : 空洞に入力される RF によって励振される電圧
 V_{br} : 空洞を通過するビームによって励振される電圧
 V_c : 空洞内の正味の加速電圧 V_s : 実際の電圧利得
 ψ : チューニング角 ϕ : シンクロトロン位相角
 θ : ビームの通過する位相と入力 RF との位相差
(V_{sr} , V_{br} の r は on resonance の意味)。

入射時の $1.1\mu\text{sec}$ の間に 0mA から 100mA まで増加し、次のパルスビーム入射までの 3.3msec の間に 0mA まで減少する。このような負荷変動に対して空洞内の加速電圧や位相の変動が充分小さいことがストレッチャー用 RF 系の性能として要求される。これを解決するために以下にあげる 2 つの方法を考えた。

- 1) 加速空洞のシャント・インピーダンス R_a を小さく、RF 入力結合器の結合定数 β を大きくとる。これにより RF 源により励振される電圧 V_{sr} に対する蓄積ビームの励振する電圧 V_{br} の比が小さくなる。
- 2) 空洞内に励振される正味の加速電圧 V_c の大きさが V_s のそれに等しくなるような他のパラメータを選択する (図 1)。これにより位相空間上でのセパトリティクスの大きさをほぼ一定に保つことができる。

これらふたつの方法を組み合わせることにより加速電圧の変動は無視し得るが、 $10^\circ \sim 20^\circ$ 程度のシンクロトロン位相角変動が残る。この方法に基づき、最適と考えられるパラメータを表 2 に示す。

4. 加速空洞の設計

本設計の特色はビーム口径が非常に大きいことである。これは現在の SSTR が入射・取り出しの際に水平方向にビームの軌道を大きく変化させることと、リング内でのビームサイズが大きいことによる。この空洞の形状を図 2 に、また URMEI-T による計算結果を表 3 に示す。

5. 今後の課題

本研究で用いた負荷変動対策はクライストロンの出力変調をせずに、パラメータの選び方だけで実現できるという利点をもつ。このことを実験的に証明することが本研究の目的である。

しかし現在すでに存在するリングに RF 系を導入するため、RF 系を設計する上で多くの制約があり、次期計画の大型ストレッチャーの RF 系を設計する以上の困難を抱えている。そのひとつは、RF バケットのエネルギー・アクセプタンスが小さいという問題である。これは

表 2 RF 系パラメータ

RF 加速周波数	2856 MHz
ビーム電流	100 mA
シャント・インピーダンス	0.25 MΩ
超過電圧比	50
加速電圧	2.87 kV
シンクロトロン位相	88.9°
シンクロトロン振動周波数	0.33 MHz
TWT 最大出力	500 W
空洞損失電力	32.9 W
放射光損失	57.4 eV
空洞数	1 台
RF 入力結合器の結合係数	27.5
空洞への入力電力	250 W
チューニング角	-10°
位相変動	17°

リングのディラレーション係数が非常に大きいことによる(表1)。そのため超過電圧比を表2のように大きくとる必要があるが、それでも±0.035%のアクセプタンスしかない。その対策として現在ECS³⁾の使用を検討している。もうひとつの問題はビームの取り出しである。SSTRは現在放射光損失を利用したモノクロマティック取り出しを行っているが、RF加速を行った場合にはその方法が使えなくなる。そのため、現在の限られたスペースで実現できるアクロマティックな取り出しを検討中である。

表3 空洞性能 (URMEL-Tによる計算結果)

共振周波数	2856.2 MHz
シャント・インピーダンス*	0.33 MΩ
R/Q	12.0 Ω
Q _o **	27900
通過時間因子	0.106

*) 試作空洞の結果から製作後の値はこの75%を仮定している

***) 空洞の材質は無酸素銅を仮定

参考文献

- 1) T. Tamae, M. Sugawara, K. Yoshida, O. Konno, T. Sasanuma, M. Muto, Y. Shibasaki, T. Tanaka, M. Hirooka, K. Yamada, T. Terasawa, S. Urasawa, T. Ichinohe, S. Takahashi, H. Miyase, Y. Kawazoe, S. Yamamoto, and Y. Torizuka : Nucl. Instr. and Meth. A 264 (1988) 173.
- 2) R. Kato, M. Oyamada, S. Urasawa and T. Nakazato : PROCEEDINGS OF THE 14th LINEAR ACCELERATOR MEETING IN JAPAN, Sep. 7~9 (1989) 62.
- 3) M. Sugawara, T. Ichinohe, S. Urasawa, M. Oyamada, T. Kubota, A. Kurihara, O. Konno, Y. Shibasaki, T. Terasawa, K. Nakahara, S. Nemoto, M. Muto, K. Shoda and Y. Torizuka : Nucl. Instr. and Meth. 153 (1978) 343.

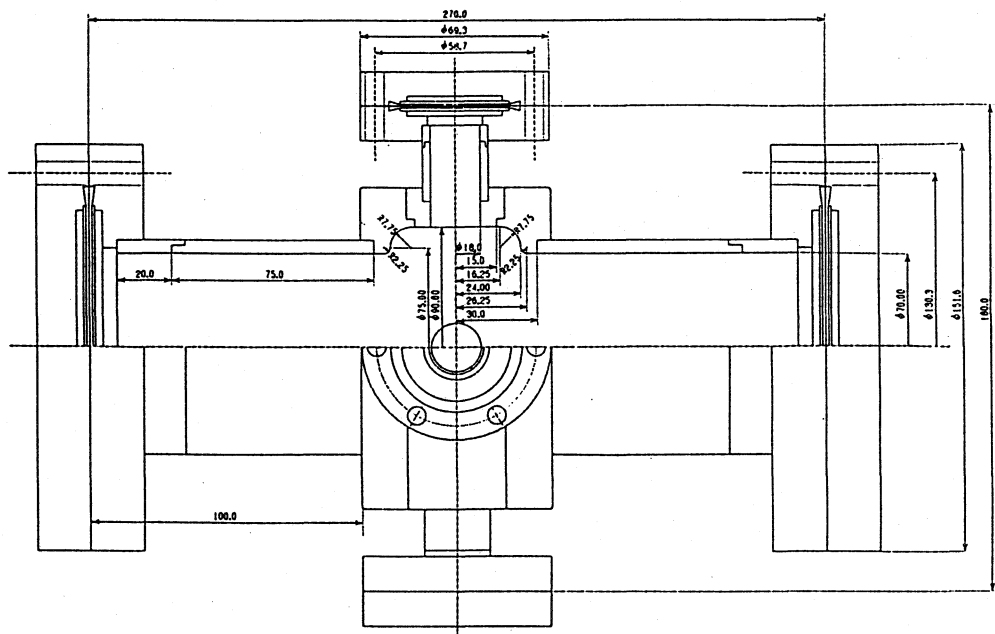


図2 加速空洞の形状

既に存在するリングSSTRに挿入するため、ビーム口径は小さくできない。ビーム口径は直径70mm、空洞部の最大内径は直径90mm、加速ギャップは52.5mm(2分の1波長)である。