

HOM-damping of RF cavity for storage ring at SAGA-LS

H.Suzuki^{1,A)}, T.Yoshiyuki^{A)}, K.Satoh^{A)}, H.Kamikubo^{A)}, Y.Hirata^{B)}, Y.Nobusada^{B)}, S.Koda^{C)}, K.Yoshida^{C)},
Y.Iwasaki^{C)}, Y.Takabayashi^{C)}, T.Tomimasu^{C)}, H.Ohgaki^{D)}, M.Izawa^{E)}, T.Koseki^{F)}

^{A)} Toshiba Corporation, Industrial and Power Systems & Services Company, Kehin Product Operations
2-4 Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama, 230-0045

^{B)} Toshiba Corporation, Industrial and Power Systems & Services Company, Isogo Nuclear Engineering Center
8 Shinsugita-cho, Isogo-ku, Yokohama, 235-8523

^{C)} Kyushu Synchrotron Light Research Center
8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-0005

^{D)} Institute of Advanced Energy, Kyoto University
Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011

^{E)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{F)} The Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)
2-1 Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198

Abstract

The HOM (Higher-Order-Mode) damped cavity which had been developed at KEK-PF was installed at Saga Light Source. SiC ducts are connected on the both sides of this cavity. This cavity also has two movable tuners and one fixed tuner. We adjusted the impedance of HOM's to avoid the coupled bunch instabilities. The results of the low power RF measurement are shown in this paper.

SAGA-LS 蓄積リングRF空洞の高次モード対策

1. はじめに

佐賀県立九州シンクロトロン光研究センターは、シンクロトロン光を用いた産業利用・各種研究を目的とした施設で、平成16年度末の運用開始を予定している。

光源装置は、電子エネルギーが1.4 GeVの中型装置で、電子リニアックと、電子リニアックで加速した電子を蓄え、加速し、シンクロトロン光を発生させる電子蓄積リングで構成されている。

電子リニアックにより250 MeVまで加速された電子は、周長約75.6 mの電子蓄積リングに一旦蓄えられた後、1.4 GeVまで加速される。蓄積電流は約300 mA、蓄積寿命は5時間程度の予定である。

電子蓄積リングには、1台の高周波加速空洞が据え付けられており、蓄積電流300mAを確保するために、空洞の高次モード(HOM)によるビーム不安定性を抑えるタイプの空洞が採用されている。

2. RF空洞の特徴

本HOM dampedタイプの空洞は、元来KEK-PF(フォトンファクトリー)と東大物性研が共同で、高次モード抑制のために開発した空洞で^[1]、KEK-PFのほかに兵庫県立大学のニュースバルリングに

使用されている。図1にSAGA-LSの高周波加速空洞の構成図を、表1にその主な特性を示す。空洞の両側にはSiCダクトと、排気ポートを備えたテーパ形状の真空排気ダクトが接続されている。SiCダクトは銅製ジャケットの内側にSiC(東芝セラミックス製)がはめ込まれており、加速空洞ビームポートからしみだした高次モード成分を吸収する為に用いられている。

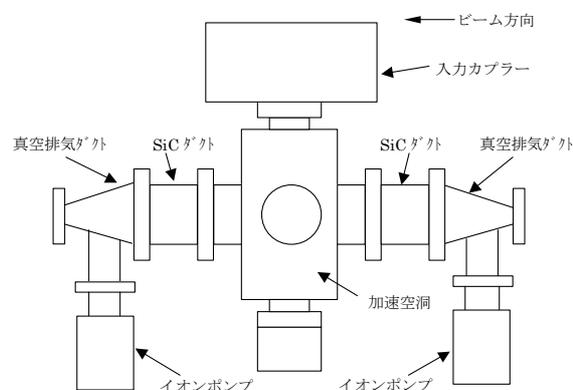


図1: 高周波加速空洞の構成

表1: SAGA-LS 高周波加速空洞の特性

Resonant frequency	Fr[MHz]	499.8
Shunt impedance (calc.)	Rsh[MΩ]	7.68
Unloaded Q (calc.)	Q	44000
RF Voltage	Vc [kV]	500
Maximum wall loss	Pc [kW]	90
Coupling coefficient	β	2.0
Cavity gap length	[mm]	220
Beam duct diameter (SiC part)	[mm]	140

3. 高次モード対策

本空洞は空洞の構造をできるだけシンプルにし、長期にわたる安定した運転を目指している。このため、空洞本体部分には高次モードの減衰機構をいっさい設けておらず、空洞に接続するビームダクトの口径を広げることにより、周波数の高い高次モードがビームダクト内を伝播して空洞中心から取り出されるようにする。そしてビームダクトの一部に高抵抗の電磁波吸収体であるSiCを装着し、空洞外に出た高次モードを吸収体部分で減衰させている。これによりビームダクトの遮断周波数より高い周波数を持つ高次モードについては、そのインピーダンスを許容インピーダンス（ビーム不安定性がおこらない最大のインピーダンス）以下に低下させることができる。しかし周波数がビームダクトの遮断周波数よりも低いモードは、空洞内に留まって吸収体部分まで到達できないため吸収体で減衰させることは不可能である。そこで、以下の方法でSiCで吸収しきれない高次モードを避ける。

ビーム不安定性が発生するのは、加速器のパラメーターで決まる周波数と高次モードの周波数が一致もしくは非常に接近した場合である。Q値の高い高次モードは周波数の広がり狭くシャープなピークを持つので、わずかに共振周波数をずらすだけで、不安定性を劇的に減じることができる。この共振周波数は3ヶのチューナーの空洞内に突き出す長さを適当に選ぶことによって、微調整することができ、この方式だと加速モードに影響を与えずに、高次モードによるビーム不安定性を避けることができる。

本空洞は加速モード調整用のチューナーのほかに垂直用の可動チューナーおよび水平の固定チューナーを取り付け、高次モードの周波数をずらすことでビーム不安定性を避けることのできる構成としている。固定チューナーは、ローパワー試験時にSiCで吸収しきれない高次モードを測定した上で、高次モードを避けることのできる長さを決定し、加工・取り付けを行う。

4. 高次モードの測定および結果

図2に高次モード測定ブロック図を示す。本空洞には無酸素銅製のチューナーが合計3台設けられている。このうち1台（Tu3）は基本モードの周波数を

決定するための可動式チューナーで、運転時には空洞の信号をフィードバックし、空洞が共振状態を保つように制御されている。水平方向の固定チューナー（Tu1）と垂直方向の可動チューナー（Tu2）は高次モードの共振周波数を制御するためのチューナーであり、Tu1は高次モードの共振周波数を測定した上で長さを決定し加工・取り付けを行った。高次モードの測定はTu1、Tu2を一定ピッチで動かし、各条件においてTu3の長さを調整して加速モードの共振周波数をあわせ、その時にSiCダクトで吸収しきれない高次モードをネットワークアナライザーを用いて測定した。

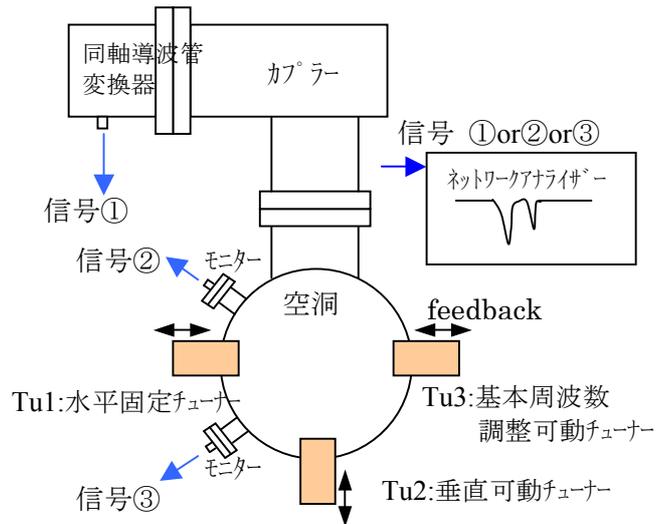


図2: 高次モード測定ブロック図

表2に各高次モードの測定結果を、図3にTE111Hの共振周波数-チューナー位置依存性を示す。図3より水平、垂直用のチューナーを動かすことで高次モードの周波数が移動し、チューナーによる微調整が可能であることがわかる。

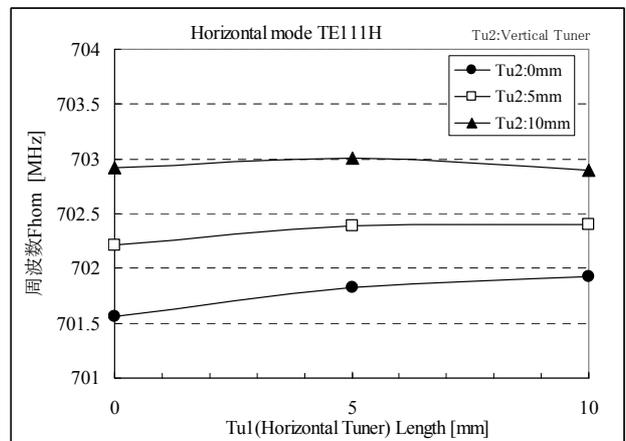


図3: 高次モードの共振周波数-チューナー位置依存性

表2: 各高次モードの特性

Mode Type	F_{hom} [MHz] (meas.)	Q (meas.)
Longitudinal		
TM011	793.6	29000
TM012	1311.1	9500
TM021	1372.2	15000
Transverse		
TE111H	701.9	32000
TE111V	706.4	34000
TM110V	788.5	5700
TM110H	792.8	43000
TM111H	987.9	20000
TM111V	990.8	18000

5. チューナー長の決定

各高次モードが以下 (2),(4)式の値に近づかない範囲となるTu1、Tu2のチューナー長の組み合わせを決定した。

(a) Longitudinalモードの場合

$$F_{\text{hom}} = nF_{\text{rev}} + F_{\text{sync}} \quad (1)$$

になるとき不安定性が極大となる。

F_{hom} : 高次モードの共振周波数

F_{rev} : 電子の周回周波数

F_{sync} : シンクロトロン周波数

n: 整数

ここで F_{sync} は F_{hom} 、 F_{rev} に比べ非常に小さいので無視し、

$$F_{\text{hom}}/F_{\text{rev}} = N \quad (N \text{ は整数}) \quad (2)$$

に近づかないようなチューナー長を選択した。

(b) Transverseモードの場合

$$F_{\text{hom}} = nF_{\text{rev}} - F_{\text{beta}} \quad (3)$$

になるとき不安定性が極大となる。ここで

$F_{\text{beta}} = \nu \times F_{\text{rev}}$ で ν はベータトロンチューンである。 ν の小数部をQとすると、

$$F_{\text{hom}}/F_{\text{rev}} = N - Q \quad (N \text{ は整数}) \quad (4)$$

に近づかないようにチューニングしなければならない。

図4～図6に各高次モードのチューナー位置と $F_{\text{hom}}/F_{\text{rev}}$ の関係を示す。図において(1),(3)式のnは各高次モードでもっとも F_{hom} に近づく値を選んでいる。また図4の Q_x はSAGA-LSにおけるx方向のチューンの小数部、図5の Q_y はy方向の小数部である。図4～図6において、帯で示した範囲は高次モードのインピーダンスが許容インピーダンス以上となる範囲であり、これを避けていれば高次モードによるビーム不安定性は引き起こされない。これらのデータより各チューナー長さを決定した。図中の○印は最終条件で測定した結果であるが、高次モードによるビーム不安定性が発生する条件を避けていることが確認できる。

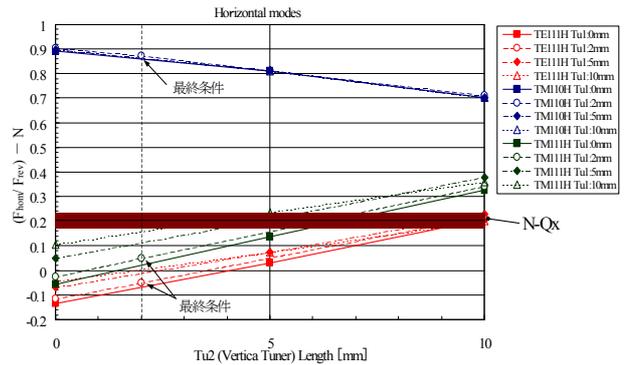


図4: Horizontal modes $F_{\text{hom}}/F_{\text{rev}}$ のチューナー長依存性

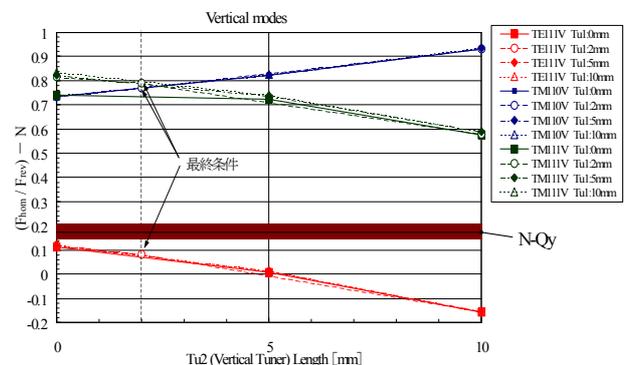


図5: Vertical modes $F_{\text{hom}}/F_{\text{rev}}$ のチューナー長依存性

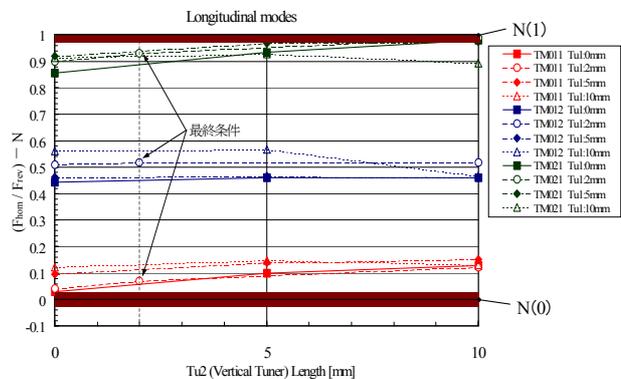


図6: Longitudinal modes $F_{\text{hom}}/F_{\text{rev}}$ のチューナー長依存性

6. まとめ

SiCダクトの取付けおよび高次モード対策用のチューナーの位置を調整することにより、高次モードによるビーム不安定性を引き起こさない対策をとった。また大電力試験を実施し、リング定格のWall Loss 40kWを無事入力することができた。今後リングの安定な運転に貢献することを期待する。

参考文献

- [1] 小関、伊澤、佐藤, "高輝度光源加速器のための高周波加速空洞", 日本放射光学会誌 Vol.10, No.1, Feb. 1997