

DEVELOPMENT OF BUTTON-TYPE BEAM POSITION MONITOR FOR SuperKEKB

Makoto Tobiyama¹, Hitoshi Fukuma, Shigenori Hiramatsu, Hitoshi Ishii, Kenji Mori, Kyo Shibata, Masaki Tejima
 High Energy Accelerator Research Organization(KEK), Accelerator Laboratory
 1-1 Oho, Tsukuba 305-0801, Japan

Abstract

Button-type beam position monitors for SuperKEKB rings have been designed. The RF characteristics such as beam response, trapped modes or wake functions have been simulated using 3-D E-M codes such as GdfidL and HFSS. The estimated instability threshold from the trapped modes was much higher than the radiation damping time. The prototype units have been tested in the prototype-antechambers installed in Nikko straight section and D6 arc sections. The mechanical reliability and the beam responses are also reported.

SuperKEKB用ボタン電極の開発

1. はじめに

SuperKEKBリングでは、蓄積電流を増加すること、及び陽電子リングで電子雲不安定性を抑制するため、HER、LERともアーク部の真空チェンバーはアンテナチェンバー型になる。このため四極電磁石毎に設置されているビーム位置モニターも新規に製作することになる。

現KEKBのボタン電極は、基本的にN型フィードスルーにφ12mmのボタンがついたもので、特殊区間を除いて真空チェンバーに直接ロー付けしたものである。運転開始以来、大きなトラブル無く使用してきたが、SuperKEKB用として使用する場合、以下のような問題点がある。

1. モニターチェンバー製作の手間
 フィードスルーをチェンバーにロー付けするためには、セラミックスをロー付けしたときよりも低温で、2度目のロー付けをする必要があり、製造工程を確立するまで非常に多くの手間と時間がかかる。
2. 保守性
 電極からの信号に異常があり、ボタン電極自体の異常が疑われる場合でもQチェンバー毎の交換が必要となり、事実上不可能となる。
3. Trapped modeによる不安定
 構造が大きいため、ボタン構造によるtrapped modeが引き起こす進行方向不安定の閾値が低い。

SuperKEKB用のボタン電極は、十分な取り付け精度を持つことは当然として、上記の問題を解決しておく必要がある。また、大電流、長期使用に対して十分な信頼性と、必要な場合容易に交換が出来る構造を持つことが必要でもある。

これらの要請を満たすため、現在フィードバック位置モニターで使用しているSMA型フィードスルーを原型としたボタン電極を設計した。高周波特性、

ビーム応答及びwake functionについては、HFSSやGdfidLといった3次元電磁界計算コードを使い計算した。さらに、試作した電極を、KEKB LERにインストールされた試作アンテナチェンバーの位置モニターとして組み込み、ビーム応答の観測も行った。本報告ではこれらの結果について報告する。SuperKEKBの暫定パラメータは表1の通りである。

表1. SuperKEKB Machine parameter

	LER	HER	
Energy	3.5	8.0	GeV
周長	3016		m
交差角	41.5×2		mrاد
ビーム電流	3.84	2.21	A
バンチ電流	1.9	1.1	mA
バンチ長	6	5	mm

2. 設計方針

先に述べた要請を満たすため、以下の方針で設計を行った。

1. 電極をフランジ結合で真空チェンバーに接続する構造にする。
2. ボタン電極を小さくし、trapped modeの周波数を上げ、インピーダンスを下げ、不安定の成長時定数を放射減衰時間以上にする。
3. RFコネクタとして、SMAの中心割芯をピンに変えた構造を採用し、コネクタ部での接触不良を起こしにくくする。

フィードスルー構造は、KEKBで実績があり、十分広帯域であることが分かっているバンチフィードバック用SMAを用いた。これを、やはりKEKBで実績のあるφ34mmのヘリコフレックス結合フランジに取り付け、中心導体の先に電極を取り付ける。電極サイズとしても、現フィードバック用フィードス

¹ E-mail: makoto.tobiyama@kek.jp

ルーについている直径6mmを基本に、ボタン径、厚さ、インピーダンス整合について、3次元電磁界計算コード(GdfidL、MAFIA)を使ってtrapped mode、ビーム応答を求め評価することで設計を行った。図1にLER用モニターチェンバー概略断面図を示す。円筒部の内径は90mmである。このチェンバーの導波管モードカットオフは980MHzとなる。このチェンバーに取り付けるボタン電極ユニットの断面図を図2に示す。

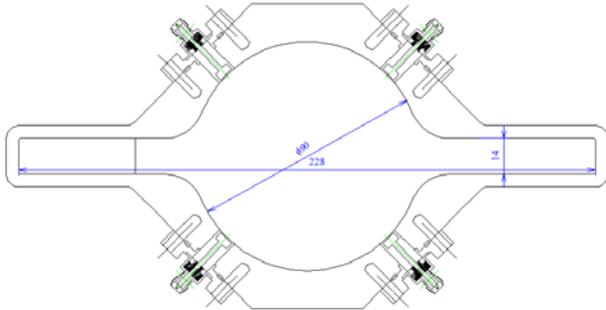


図1 SuperKEKB LERモニターチェンバー断面図

真空シールに使うセラミックスの比誘電率 $\epsilon_r=9.7$ 、コネクタはSMA-Jの中心導体の割芯をピンに置き換えた物である。チェンバーとの組み合わせ精度はフランジ部に着けた突き当て部で決まり、0.1mm以内となる構造である。

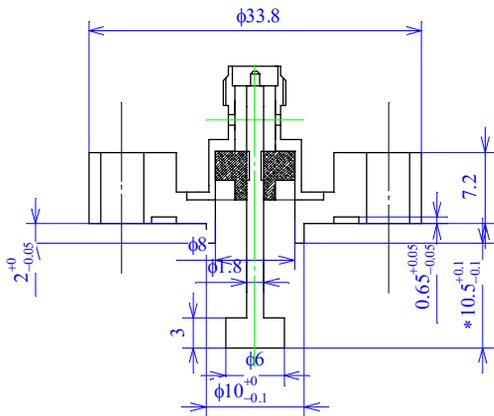


図2 フィードスルー断面図

3. 高周波シミュレーション

3.1 周波数領域シミュレーション

HFSSを使い、ボタン先端とフィードスルー出力を両端インピーダンス整合状態にして通過特性をシミュレートする。図3にS21特性を現KEKBで使用しているN型電極と比較して示す。現KEKB電極と比べ、インピーダンス整合が素直なことで、構造を小型することにより、通過特性が高周波(~12GHz)ま

でフラットであり、TEモードによるボタン先端でのトラップモードも十分高周波に移っていることが分かる。この周波数帯では、ビーム信号成分はす

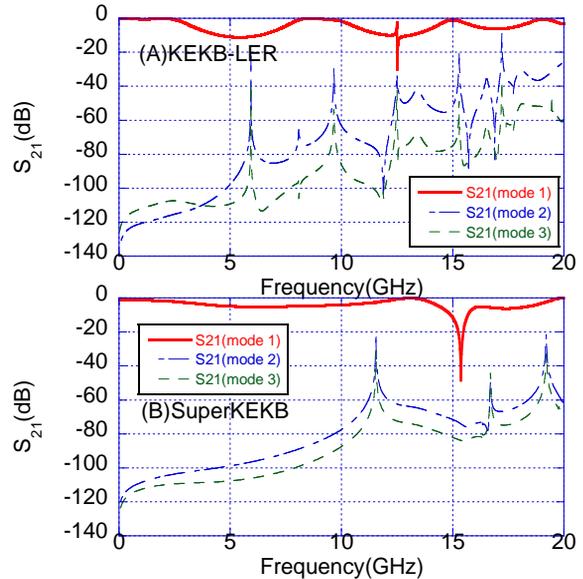


図3 現KEKB電極(A)とSuperKEKB用電極(B)モデルをHFSSで計算したSパラメータ

に相当減衰しているため、フィードスルー自体の発熱などの危険は相当低く、ビーム結合インピーダンスも低いと予想できる。

3.2 時間領域シミュレーション

GdfidLを使い、LERアンテナチェンバー内をバンチ長6mmのビームを走らせ、BPMの出力、Wake function、インピーダンスを推定する。メッシュサイズは0.2mm等方、全長50mmで幅111mm、高さ109mm(1/4モデル)で必要メモリーは750MB程度、Opteron 32コア並列計算でcpu時間は5時間30分程度である。図4にGdfidLモデルを、図5にシミュレーション結果のうち出力の時間応答とその周波数成分を示す。進行方向ロスファクターは0.16mV/pC、

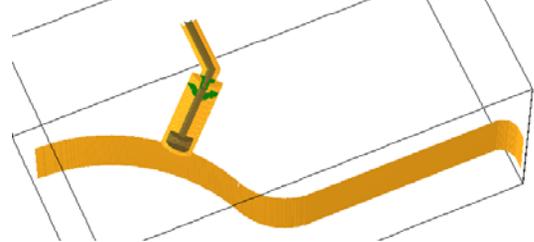


図4 モニターチェンバーのGdfidLモデル(断面)

ビーム結合インピーダンスは図6のようになった。これをfitし、 $R_{sh} \sim 2\Omega$ 、 $Q \sim 38$ 、中心周波数14.8GHzとなる。この値を元に、進行方向不安定の成長時定数を計算すると最悪でも120ms以上で、放射減衰時間より十分長い。現在使用しているN型φ12mmの電

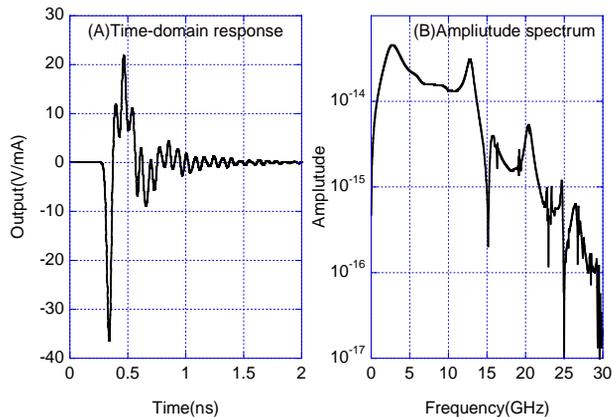


図5 GdfidLで計算したバンチ長6mmバンチに対するBPM出力

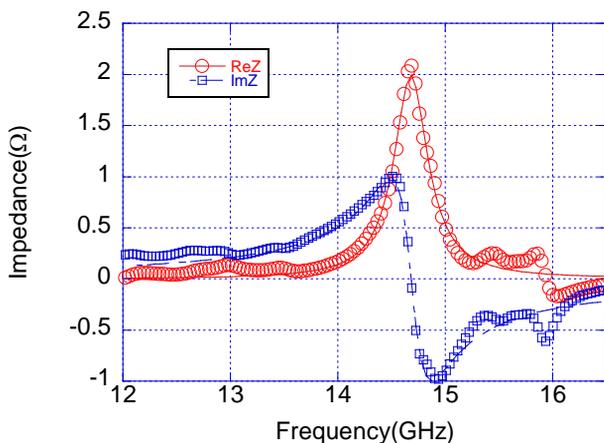


図6 ビーム位置電極によるインピーダンス(4電極分)

極でのMAFIA-T3で求めた $R_{sh} \sim 10\Omega$ 、 $Q \sim 48$ 、中心周波数7.3GHzから[1]推定した成長時定数は最悪7msにもなり、進行方向不安定が発生する可能性が高く、ボタン形状及びフィードスルーを変える効果があると言える。

4. 実際のビーム応答

KEKB-LERリングの日光直線部及び南トンネルアーク部にそれぞれ設置されたアンテナチャンバプロトタイプモニターブロックに設計した電極を取り付け、ビーム信号観察及びビーム位置信号測定を行った。当初、電極間のゲインバランスの差が最大10%程度あり、電極ブロックがガスケット厚さのため正しくチャンバーに突き当たっていないことを疑い、ICF152フランジにボタン取り付け部を加工したテストフランジで締め付けトルクとボタン位置の測定を行った。この結果、6Nmでもガスケットを入れない状態と0.01mm以内の精度で正しくとりつき、リークもしないことが分かった。また、実際のチャンバーの電極は、その後現場で増し締めをおこない、

ゲインのばらつきは減少した。これから、締め付けトルク管理をすれば、正しく設置できると思われる。

図7に1.5GHz帯域のオシロスコープで測定したビーム信号を示す。帯域が大幅に足りないため、GdfidLによるシミュレーション結果との直接比較は困難であるが、ケーブルによる減衰、周波数帯域を考慮すると、信号レベル、波形とも大きな違いは内は無いと判断できる。また、スペクトラムアナライザを用いた周波数領域測定でも、パワー、スペクトラムとも問題ないことも確認した。

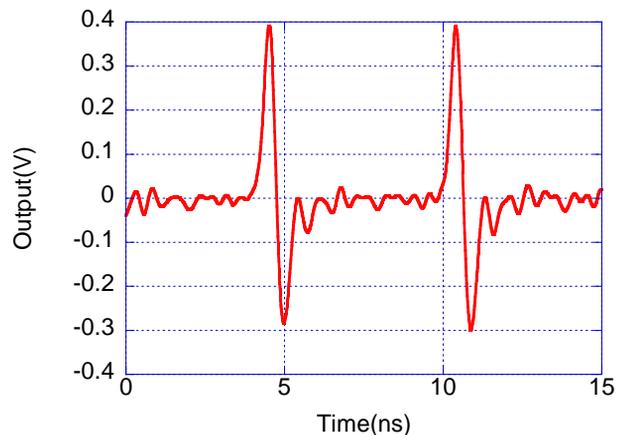


図7 LERアンテナチャンバーにつけたBPM出力測定例。

5. まとめ

SuperKEKB用のビーム位置電極ユニットを設計し、3次元電磁界計算コードを用いて周波数特性と時間応答特性、ビーム結合インピーダンスの推定を行った。この結果、電極ユニットが持つインピーダンスは十分低く、また信号レベルとしても十分な信号が得られることが示された。

製作したボタン電極ユニットをKEKB-LERに設置されたアンテナチャンバプロトタイプモニター部分に取り付け、KEKBリングビームを使い出力と周波数応答を測定し、予想通りであることを確認した。

SuperKEKB計画では、HER、LERのアーク部モニターはすべてこのタイプの電極に置き換わる予定である。また、ダンピングリング、衝突点特殊モニターの一部にもこの電極を使用する予定である。

参考文献

[1] K.Shibata *et.al*, in proceedings of PAC07, Albuquerque, p.4048-p.4050, 2007.