

DETUNED STRUCTURE FOR JLC

*¹M.YAMAMOTO, *²T.TANIUCHI, K.KUBO, T.HIGO and K.TAKATA

¹The Graduate University for Advanced Studies

²Tohoku University

National Laboratory for High Energy Physics

Oho 1-1, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan

Abstract

In order to increase the luminosity of Japan Linear Collider(JLC), we are planning to adopt a multi bunch operation. In this operation, wake field effect becomes a serious problem in X-band structure. There are two possible solutions to the problem, damped structure and detuned structure. In this paper we deal with detuned structure. Taking an equivalent circuit model, we evaluated a time dependence of the wake field in the structure between bunches. We present a structure with its TM₁₁₀ mode frequencies spreading over a region greater than 10% while maintaining cylindrical symmetry.

周波数分散構造

1.はじめに

Xバンド加速管をメインリニアックとして採用したJapan Linear Collider(JLC)[1]は次世代の衝突型加速器として、1TeVのe/e⁺ビームの加速と10³⁴(1/cm²/sec)のルミノシティを目指している。高エネルギーを得るためにリニアコライダーは、リングコライダーに比べ有利ではあるが、衝突回数が格段に減少するためルミノシティは小さくなる。ルミノシティは、ビームサイズに反比例し、電荷数の2乗とパルスの繰り返し(f_{rep})とパルス内のバンチ数(b) ($f_{rep} \times b$ =衝突回数)に比例する。JLCではルミノシティを増加させる手段の一つとして、パルス内のバンチ数を複数にするマルチバンチ運転(b=10~20)が考えられている。

マルチバンチ運転を行なう場合、ビームホールの小さいXバンド加速管では Wake Field の影響が顕著になってくる。この Wake Field はエミッタンスの増加を招き、それに伴いビームサイズが増大し最終的にはルミノシティが低下する。現在、long-range Wake Field の緩和がXバンド加速管の1つの重要な課題となっていて、以下の2通りの構造が考えられている。

(1) Damped Structure [2]

誘起された Wake Field を加速管外に出すことによりビームに影響を与えないようにする。

(2) Detuned Structure [3]

各セルの Wake Field がベータートロン波長に比べ短い距離で十分キャンセルされると、実効的に Wake Field を小さくすることができる。これはキャビティ毎に周波数を変えることにより実現可能であろう。

この論文では後者に限り、各セル間の Wake Field のキャンセリングの可能性と可能な加速構造について報告する。

2. Wake Field の計算

JLCを実現するためには、後続バンチの到着までにWake Fieldを少なくとも2桁減少させなくてはならない[4]。そのため、JLC用の加速管を設計する場合Wake Fieldの計算は精度良く行なう必要がある。まず考えられるのは‘TBCI’等のTime Domainの計算コードを用いて、先行バンチにより空洞内に励起されるWake Fieldを直接計算することである。しかしDetuned Structureを‘TBCI’で計算することは、以下の2つの理由により現状では不可能に近い。

(1) Detuned Structureは構造が μm オーダーで変化する100ヶ程度の加速セルで構成されるが、それを表現するには膨大なメッシュが必要となる。

(2) マルチバンチのビーム長である27 nsec間Wake Fieldを計算する必要があるが、これだけ計算するには膨大な時間がかかる。

ところで、問題となるWake Fieldが主に100GHz以下のいくつかのモードから構成されていると見なすことはよい近似である[5]。従って、その各モードの誘起された強度を‘URMEL’等の共振モードを解くコードを用いて評価し、後続バンチが来るまでの時間的変化は各モードに対する回路モデルをTime Domainで解くことにより評価でき、実際のWake Fieldは各モードを合計すればよいであろう。この方法を用いると、‘TBCI’では扱えない導波管とのカップリング、セル内の壁損失、何らかのダンピング構造を有する加速管等の計算が可能になる。手始めにFig-1のような回路モデルを仮定して計算を進めている。

カップリングが無い場合と6%の場合について、Fig-2のような周波数分布をした100セルで構成されるDetuned Structureについて、Wake Fieldを計算した結果をFig-3,4に示した。これから、カップリングの有無によってオーダーが変わるほどの差は生じないことが判った。今後、周波数分布の最適化及びこれを用いてビームシミュレーションを進めていく予定である。

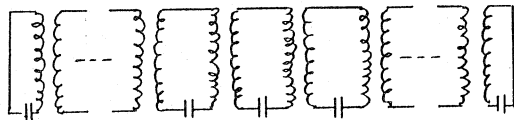


Fig-1 等価回路モデル

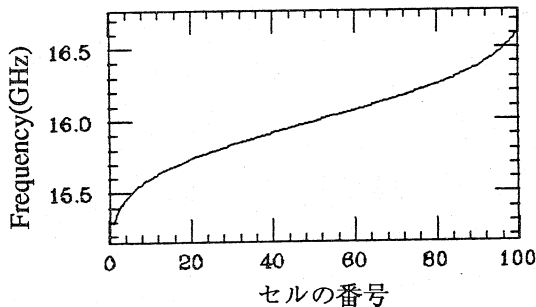
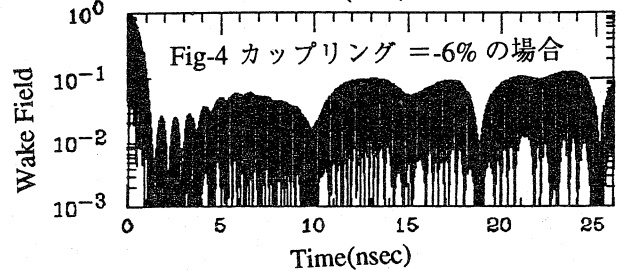
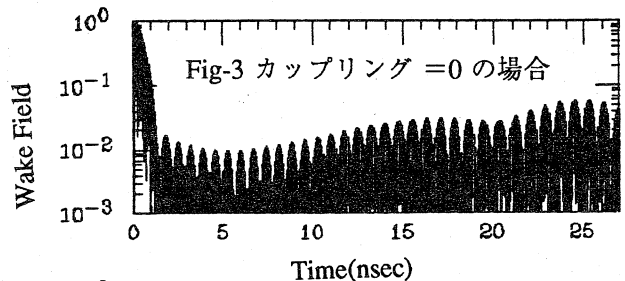


Fig-2 周波数分布



3. 加速管の例

セル間のカップリングが無い場合では、Wake Fieldの最も強いTM110の周波数を10%程度変化させる必要がある[3][4]。Fig-3,4で示したようにカップリングが有る場合でも同程度の分散が必要と考えられる。そこで、加速モード周波数を一定として、軸対称型の加速管の形状とTM110- π の周波数の関係をURMELにより計算した。

TM010-0, π とTM110- π の $\Delta f/f$ (単位体積当たりの周波数変動)の差の大きな部分の形状を変えれば効果的にTM110- π の周波数を変えることができる。標準的なディスクロード型加速管の各モードの $\Delta f/f$ 分布はFig-5のようになる。シリンダーの内径部分は $\Delta f/f$ の差が小さいため加速モードのチューンに使用し、

加速モードもTM110も同様に動くと考えてよい。逆に、ディスクの先端部分は $\Delta f/f$ の差が大きいためTM110周波数の分散には有利である。

実際、ビームホール径を変えた場合TM110モードの周波数が大きく変わることを計算結果 Fig-6,7 は示している。ビームホール径を小さくするとWake Fieldの増大を招き、反対に大きくするとシャントインピーダンスの低下を招きあまり大きく変えられない。このような理由で、シャントインピーダンスの低下が少ないと思われるノーズ付きの構造について計算を行なった。ノーズが有る構造でも、無い構造でもビームホール半径を4.0 mm から4.5 mm に変えた場合シャントインピーダンスが10%低下し、同時にTM110の周波数も5%低下する。ノーズが有る構造の穴径4.5mmと無い構造の4.0mmの周波数が等しいため、この2種類の形状を組み合わせることによって、ビームホール半径4.0 mm~4.5 mmに於てシャントインピーダンスの低下を10%程度に抑えつつ、軸対称構造で10%程度TM110- π の周波数が変えられることが判った。

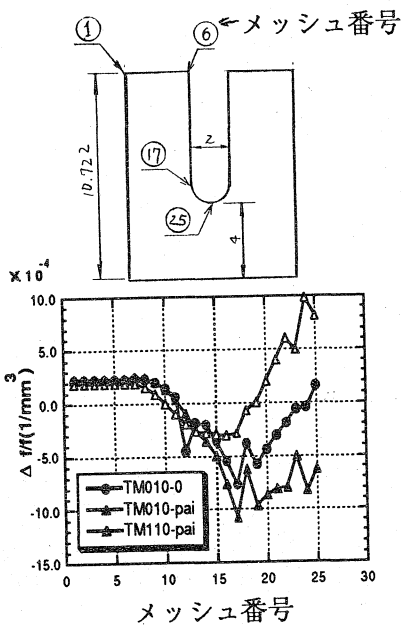


Fig-5 Δf の分布とその形状

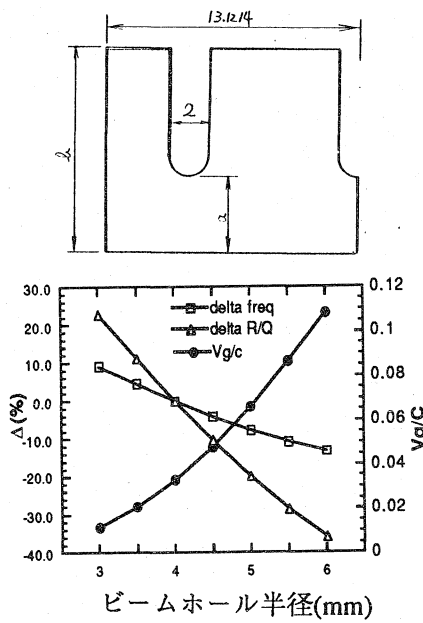


Fig-6 ノーズがない場合

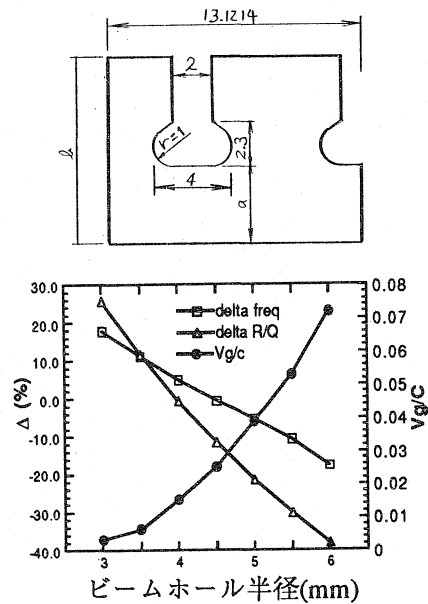


Fig-7 ノーズがある場合

4. まとめ

数%のカップリングのあるマルチセル空洞に対して、Wake Fieldの計算を行なって、カップリングの有無で多大な差異は生じないことが判った。また、軸対称構造の加速管で10%程度TM110モードの周波数を変えられることを示した。今後、以下のことを行なう必要があると考えている。

(1) 回路モデルの精密化を行なうことが必要である。とくに、回路モデルで用いるパラメーターやカップラー部の取り扱いなどの検討を進める必要がある。

(2) 3次元電磁場解析コードによって、軸対称を破った構造まで含めた加速管構造の最適化を行なう必要がある。

参考文献

- [1] K. Takata, Proc.of the1990 Linear Accelerator Conference, Albuquerque, 1990.
- [2] R. B. Palmer, SLAC-PUB-4542,1989.
- [3] H. Deruyter et al., Proc.of the1990 Linear Accelerator Conference, Albuquerque, 1990.
- [4] T.Higo et al., X-Band Accelerating Structure for Japan Linear Collider, KEK Preprint 91-32, 1991.
- [5] T.Higo et al., Proc.of the1990 Linear Accelerator Conference, Albuquerque, 1990.