

Development of the Detuned S-band Structure

Tatsuomi Hashirano^{1,A)}, Sadao Miura^{A)}, Tsumoru Shintake^{B)}, Takahiro Inagaki^{B)}, Hiroyasu Ego^{C)}

^{A)} Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

1-1-1 Itozaki-minami, Mihara, Hiroshima, 729-0393

^{B)} RIKEN Harima Institute / Spring-8

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148

^{C)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute / Spring-8

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5148

Abstract

We report the developed result about the detuned S-band structure for X-FEL project of RIKEN (Spring-8). The main linear accelerators are the C-band(5712MHz) structures. The S-band structures are used at the part of injector. The accelerating electric beams are single-bunch, but this project assume multi-bunch for increase of the average power in the future. Therefore we newly developed the detuned S-band structure considering the effect of the wakefield.

離調型Sバンド加速管の開発

1. はじめに

加速管には、加速モード (TM01モード、 $2\pi/3$ 、2856MHz) よりも周波数の高い側に、ビームをキックするモード (TM11モード、 ~ 4.3 GHz) が存在する。先行するビームバンチがこのキックモード (ウェークフィールド) を誘起し、一般にウェークフィールドは後続のバンチが加速管に入射するまでに十分減衰しない為、後続のバンチがビーム軸と直角方向にキックされる。しかし、加速管の各空胴のキックモードの周波数をガウス分布させる事により、ビームから見たウェークフィールドを急速に減衰させる事ができる。本報告ではこれを離調型と呼ぶ。

また加速管両端の結合空洞(カップラー)は、径方向に導波管開口部を1ヶ所有し、そこから高周波をフィードする。カップラー内部の電界はこの開口部側に引かれて非対称分布となる。さらに今回は離調型

とした事によりカップラー内部形状の対称性が大きく崩れてしまい、電界の分布に歪みが生じた。そこで、開口部の逆側へ $\lambda/4$ 波長の導波管と同形状の開口部を設ける事で、結合空洞を高周波的に対称とした。図1にその外観および各部の断面を示す。

2. 離調型

2.1 TM11モード

図2に2a径が24[mm]の時のTM01モード、および、TM11モードの分散曲線を示す。TM01モードが $2\pi/3$ モードで位相速度 V_p が光速 c に十分近い時、TM11モードのウェークフィールドは π モードが支配的である事が分かる。18~30[mm]の各2a径においても同様の傾向が見られ、本加速管のウェークフィールドとしてはTM11モードの π モードについてのみ考慮すれば良い事が分かった。

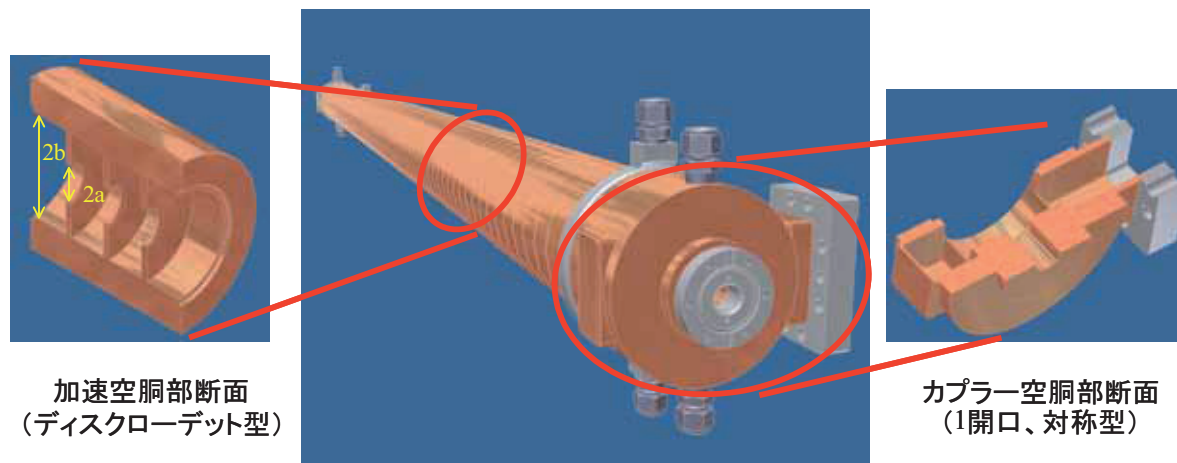


図1 外観および各部断面

¹ E-mail: tatsuomi_hashirano@mhi.co.jp

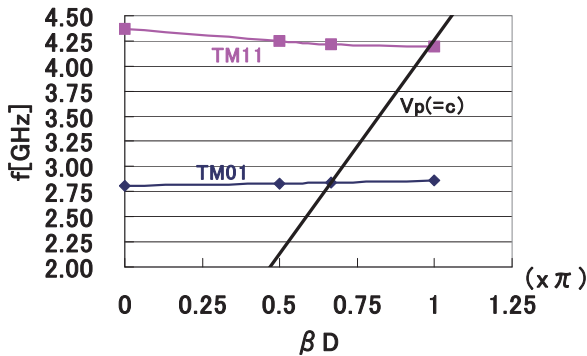


図2 分散曲線(2a=24[mm])

2.2 重ね合わせ

微小に周波数の異なる2つの波を重ね合わせると、その合成波は周波数がそれぞれの平均となるビードをもち、周波数がそれらの周波数差の半分となる包絡線をもつ。これは、

$$f_1 = A \cdot \cos(1 + \Delta)x$$

$$f_2 = A \cdot \cos(1 - \Delta)x$$

とした時に

$$f_1 + f_2 = 2A \cdot \cos(x) \cdot \cos(\Delta x)$$

となる事からも分かる。

図3はHFSSを用いて計算した周波数の異なるウェークフィールドを重ね合わせた結果である。周波数の差を適切に選ぶ事により任意の周期でウェークフィールドを減衰させる事が出来る。しかし、現実的には誤差等により周波数が多少ずれてしまう事が考えられる。この場合、狙った周期でのウェークフィールドは急激に大きくなってしまふ。

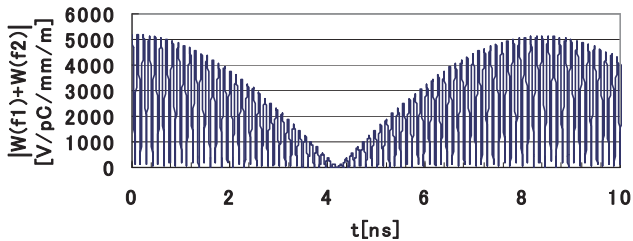


図3 重ね合わせ

2.3 ガウス分布

より急激な減衰を得る事のできる手法としてガウス分布が知られており、離調型と呼ばれている^[1]。今回我々が開発する86セルの加速管において、隣り合うウェークフィールドの周波数差をガウス分布となるようにした(図4)。この時のウェークフィールドを重ね合わせた結果を図5に示す。包絡線により

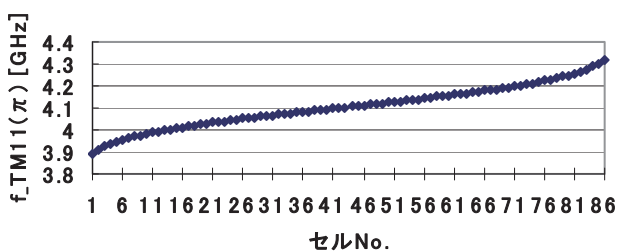


図4 ガウス分布

急激な減衰が得られている事が分かる。また、本計画のバンチ周期である4.2[ns]付近(バンチ周波数238[MHz])を拡大してみると図6の様になっており、ガウス分布の中心周波数と等しいCI管のウェークフィールド(図7)と比較すると振幅が1/1000以下程度と十分小さくなっている事が分かる。

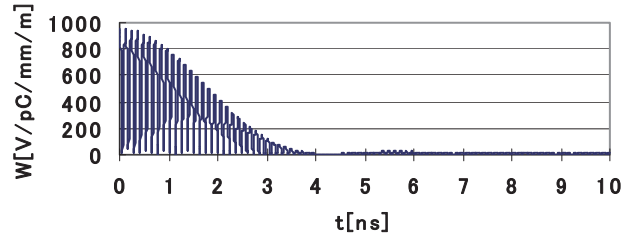


図5 全セルのウェークフィールドの重ね合わせ

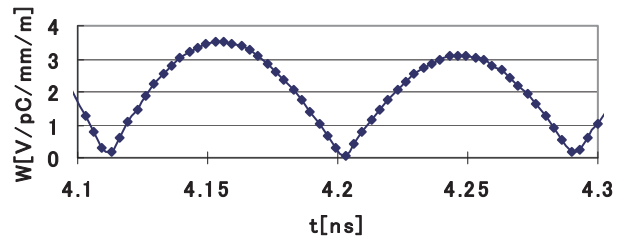


図6 4.2[mm]付近拡大

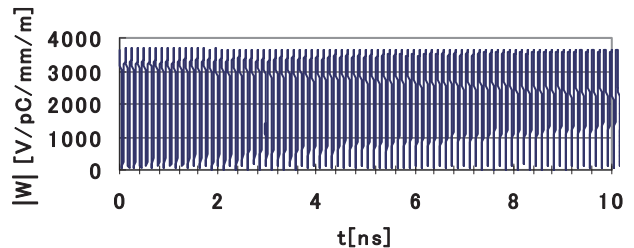


図7 CI管のウェークフィールド

2.4 試作機の測定

図4に示したセルの中から4ヶ所についてCI管を試作し、TM11モードの周波数測定を行った。その結果を表1に示す。HFSSと実測値が良く合っている事が分かる。この結果から各セルの2a径の寸法を決定する。

表1 測定結果

試作タイプ	2a径 [mm]	TM11周波数[GHz]	
		HFSS	実測
A	33.132	3.898	3.903
B	28.162	4.062	4.065
C	25.647	4.148	4.150
D	20.547	4.312	4.312

2.5 2a径の差による周波数誤差の補正

ガウス分布を用いてウェークフィールドの周波数から2a径を決定した為、特に両端側のセルでは隣り合う2a径の差が大きくなった。このままではTM01モードの周波数が2856[MHz]とならず誤差が生じてしまう。そこで、2b径に対して2a径の差に従った補正をかける。図8にsuperfishにより求めた2a径の差($\Delta 2a$)に対する周波数の誤差を示す。これより $\Delta 2a$

による周波数補正量 Δf は次式に示す様な関係式にて与えられる。

$$\Delta f = (\alpha \times 2a - \beta) \times \Delta 2a$$

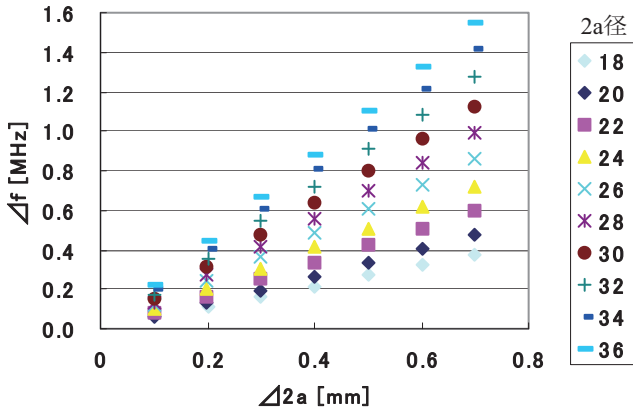


図8 2a径における周波数誤差と2a径の差

3. 対称型カプラー

3.1 対称型

これまで電界分布の非対称性へは、カプラー内径(2b径)の中心を開口部とは逆側へオフセットするといった対策を行ってきた。しかし、今回のカプラーにおいては特に上流側ではディスクの2a径がこれまでに製作した物に比べて非常に大きいのでカップリングを合わせる為には開口部のアイリス幅が大きくなり、分布が非対称なだけで無く、波形に歪みが生じた(図9)。HFSSでの解析により2b径のオフセットでは電界の分布波形の形状を補正する事は困難である事が分かった。そこでカプラーを高周波的に対称とする為に $\lambda/4$ にて共振する導波管に相当する空腔を開口部とは逆側へ設ける事とした(図1右参照)。HFSSによる解析により、電界の波形の歪みを補正可能である事を確認した。

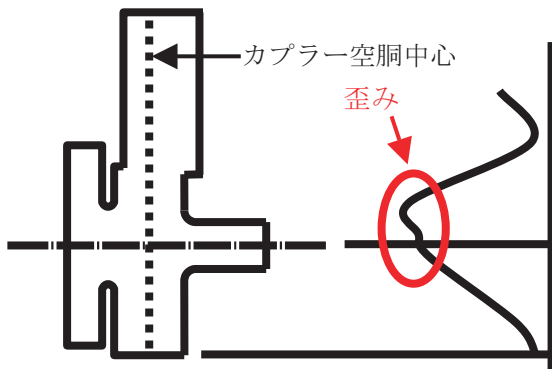


図9 カプラーにおける電界分布の歪み

3.2 $\lambda/4$ 導波管

$\lambda/4$ となる導波管長はカプラー空腔への引き込みがある為、実測にて決める必要がある。そこでカプラー空腔をディチューンした状態でムーバブルショートを用いてS11にて測定を行った(図10参照)。

実際に加速管を使用する環境に換算した周波数が2856[MHz]となる位置を2ヶ所探し、それらの中間が“ $n\lambda + \lambda/4$ ”となる位置である。

3.3 カプラー寸法

カプラーの2b径および開口部のアイリス幅はカプラーに近接の2つの加速空腔をディチューンする事により決める事が出来る(図10参照)。2b径はカプラーの周波数から決まるので、チューニング棒を用いてカプラー周波数を変えていき、第1および第2空腔ディチューン時のそれぞれ位相が等しくなる周波数がカプラーの周波数となる。またアイリス幅は第1空腔および第2空腔ディチューン時の位相が 120° ($\pm 2^\circ$)となる寸法となり、実際に試作品を加工し少しずつ広げて行く事により決めた。

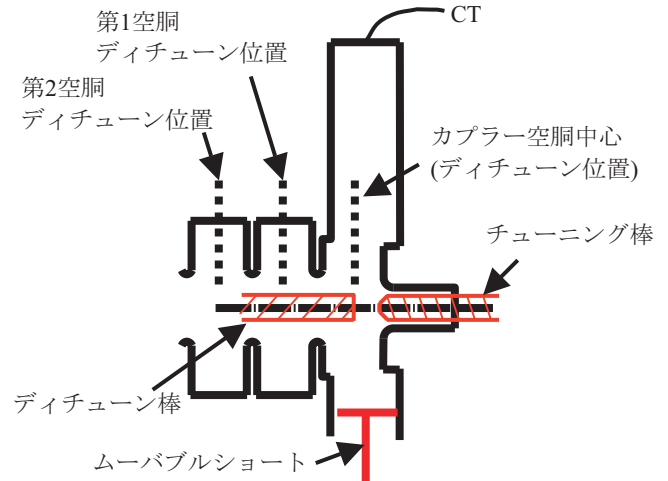


図10 カプラー測定

4. まとめ

本加速管は現在、MHI三原にて製作中である。

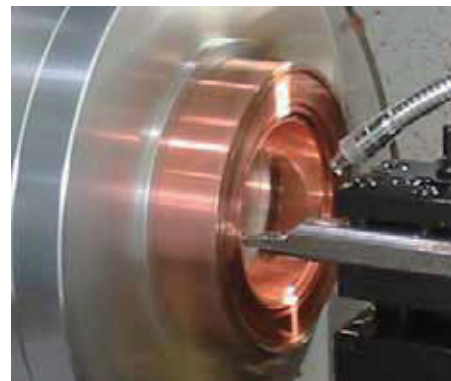


図11 スペーサ加工

参考文献

- [1] R.H.Miller, et al., “A damped detuned structure for the next linear collider”, LINAC96