

FABRICATION OF AN X-BAND ACCELERATING STRUCTURE

T. Watanabe, M. Yamamoto, N. Kaneko, H. Tuchiya, S. Honzawa,

Y. Higashi*, T. Higo*

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd. (IHI)

1-15, Toyosu 3-chome, Koto-ku, Tokyo 135

*National Laboratory for High Energy Physics

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-Ken 305

ABSTRACT

We have been doing R&D for manufacturing JLC X-band accelerating structure. For manufacturing this, it is needed high-accuracy machining process and joining technique. We assembled accelerating-cells with conventional technique, and joined these by diffusion bonding. The change of alignment due to bonding was less than 20[μm], and the change of cell length was around 1[μm]. These results show that this method will be able to applicable for JLC.

X-バンド加速管の製作

1. はじめに

リニアコライダでは、加速管内で生じる横方向ウェーク場によるエミッタンスの増加、これによるルミノシティの低下が解決すべき問題となっている。JLC(Japan Linear Collider) [1]のように、マルチバンチを加速する場合、前方のバンチが誘起した横方向ウェーク場により、後方のバンチが横方向にキックされエミッタンスが増加する。ここで問題となっている横方向ウェーク場は、主に加速管の双極モードから構成されるので、それをコントロールすることによりその影響を緩和した加速構造の開発が行われている。

その1つに、双極モードを適当に分布させることにより、各々をキャンセルさせる周波数分散構造がある。そのためには、加速セルの周波数を 10^4 程度でコントロールすることが必要である[2]。この周波数精度は、加速セルを1[μm]程度の精度で製作することを要求する。

さらに、誘起される横方向ウェーク場は加速管中心に対するビーム軌道の誤差に比例するため、加速セルのアライメントは重要である。ビーム位置モニターの分解能が10[μm]程度と考えられているので、それと同程度に加速セルをアライメントしなくてはならない。

このように精密な加速管を実現するためには、精密加工に加え、組立・接合の技術も重要である。精密加工の技術はある程度確立したが、組立・アライメントはR&Dの途中である。以前、30cmの短い加速管(34加速セル)[3]では、拡散接合を用いて 6×10^{-5} の周波数精度と5[μm]以下のアライメント精度を達成することが出来た。そこで、実機に近い1.3mの加速管(150加速セル)を製作して、これらの技術を確立することにした。

我々は、注意深い組立と、拡散接合を用いて、1.3m加速管を製作した。その結果、加速セルのアライメント精度20[μm]以下が達成でき、リニアコライダの実機のX-バンド加速管の実現性を確認した。

本稿では、この加速管を製作したときの組立・接

合の機械精度について述べる。

2. 加速管の組立・接合

JLCで予定されているX-バンド加速管では、ウェーク場の発生を抑えるために、 μm オーダーで各々の加速セルの軸を一致させる必要がある。セル単体の同軸度の加工精度を1[μm]以下にする事は容易であるが、それを μm オーダーの同軸度で組立・接合する技術を確立するために、種々のテスト・測定を行いながら、実機に近い形状の加速管を製作した。

(1) 加速セルのスタック

μm オーダーの同軸度で各々の加速セルを組み立てるには、セルの外径を基準とし、精度の良いVブロック上で組み立てれば、その精度でアライメントが可能と思われる。このように、精度の良い基準にセルをアライメントする方法は、加速管の製作では一般的な方法で、リニアコライダ用加速管製作のR&Dでは、基準を斜めや縦方向にしてテストが行われている。我々は、軸方向の力が加わらない不安定さはあるが、測定の容易さとVブロックへの押しつけ力を考え、横方向での加速セルのスタックを行った(図-1)。

横方向でのスタックでは、軸方向に力が加わらないので、積んだセルが傾斜するブックシェルフが生じる可能性がある。これを防ぐために、セルの傾斜角を測定しながら、スタックを行った。この測定により、ブックシェルフの少ない組立を行うことができ、良好な結果を得た。加えて、不良セルの発見やセル間に空気を挟んだと考えられる不安定な状態を判別することができた。

ここでは、特別の注意を払ってスタックしたが、通常と同じように、Vブロック上に加速セルを並べる方法をとった。この方法での組立後の加速セルの軸ずれは、図-2の通りで、ほぼVブロックの進直度に沿っていることがわかる。この結果より、Vブロックの精度で加速セルのスタックが可能と判断できる。

スタックは横方向で行ったが、接合は加速管を縦方向に吊った状態で行う。したがって、Vブロック上での組立精度を維持したまま、接合の状態にする必要がある。そこで、このテストを行った。テストでは、Vブロック上の接合前の加速セル(セラミックスバネによる加圧状態)をVブロックとともに垂直にし、そして加速管を吊り(接合の状態)、さらにVブロックに乗せた元の状態にもどした時のアライメント測定を行った。その結果を図-3に示す。この図より、加速管を接合の状態にしても、アライメントの変化はほとんど生じないことがわかる。

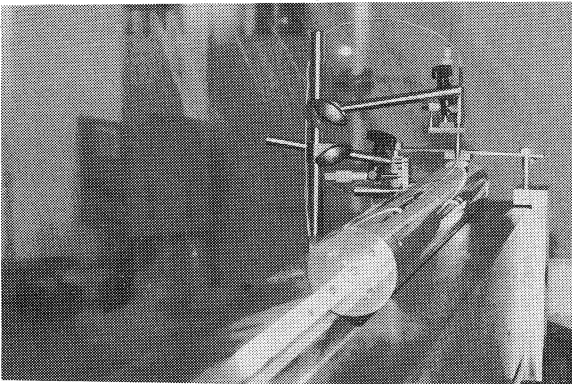


図-1 加速セルの組立。恒温のクリーンルーム内で、精密定盤の上にVブロックを乗せ、その上でスタックを行った。

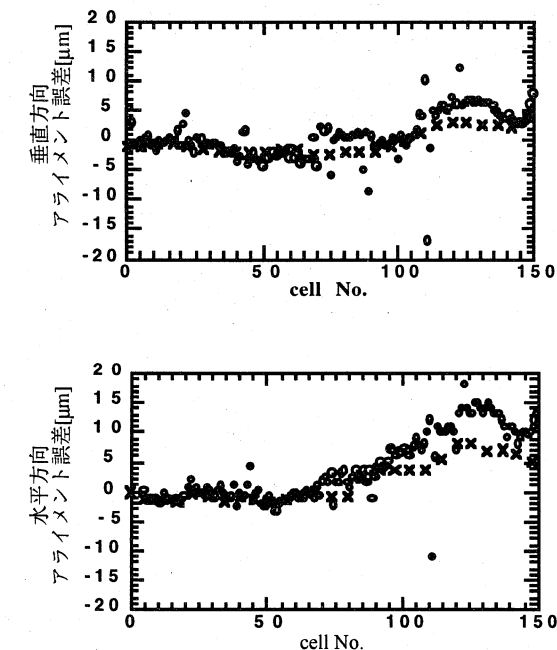


図-2 スタック後(セラミックスバネで加圧状態)の加速セルのアライメント誤差(○印)とVブロックの進進度(×印)。

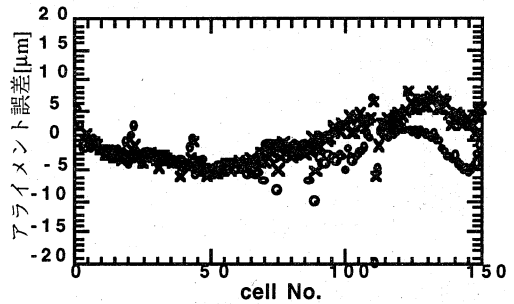


図-3 加速セルを接合の状態にした後、元のVブロックの上に戻した時のアライメント誤差。×印は水平方向、○印は垂直方向。

(2) 拡散接合

以前製作した30cmのXバンド加速管では、接合面に金の薄膜(2 μm)をスパッターして、共晶点での融点の低下を利用した拡散ロー付により接合を行い良好な結果を得た。しかし、この接合方法は、スパッターの工程があるので実機の大量生産に不向きである。くわえて、金を介さない銅/銅の直接の拡散接合のテストを数回を行い、リーク無く接合が出来ることを確認した。これらのことから、今回は、銅/銅の直接の拡散接合でセルの接合を行った。拡散接合は真空炉で行い、拡散ロウ付けと同じ条件にした。

加速管はセラミックスバネにより加圧し、吊り下げた状態で接合を行った。この状態では、上部の接合面は約40[kgf]の力を受け、下部のそれは約100[kgf]で、変形量が上下のセルで異なる可能性がある。このようなことが生じると、セルの変形量のコントロールが複雑になり問題である。後で述べるが、セルの全長の収縮は上下の場所に依存しないことが分かった。しかし、セルの変形の場所依存性については詳細なRF測定を行い判断をすべきで、今後、測定を行う必要がある。

148枚の加速セルと1枚のディスクとカップラーセル2個を拡散接合したが、最初の接合では1つの接合面にリーク(10^{-4} [Torr/l/sec]台)が生じた。リークが生じた原因は不明であったが、再度、拡散接合を行ったところリークは無くなった。このことにより、拡散接合は補修が可能ということがわかるが、補修可能なリークの程度の評価はできていない。

(3) 拡散接合前後の加速管精度測定結果

拡散接合による、加速管の真直度、軸ずれおよび全長の変化を調べるために、全てのセルのアライメント測定および5セル毎のセル長測定を行った。

拡散接合後のアライメント計測の結果を図4に示す。この図から、拡散接合後もアライメント精度は20 μm 以下であった。また、接合によるそれらの変化は、図2との比較から20 μm 程度と判断できる。

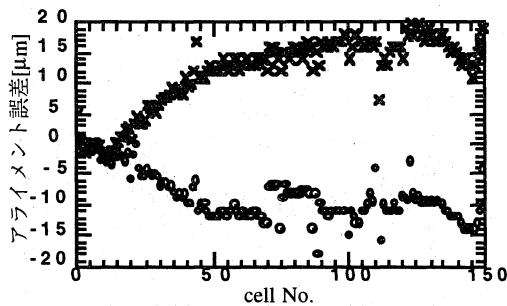


図-4 加速セル接合後の加速管のアライメント。

また、5セル毎のセル長の計測は、顕微鏡による対象物の観測を行う万能測定顕微鏡を用いた。最初の拡散接合では、加速管全長で約130[μm]収縮した。リーク補修のための2回目の拡散接合では、加速管全長で約85[μm]収縮した。さらに、導波管やビームパイプの接合の銀口付けでの収縮は、30[μm]であった。また、いずれの場合でも、各セル間が均等に収縮していた。このことより、縮みの原因として、セル全体の塑性変形による縮みではなく（この場合接合時に荷重の多くかかる下側の方がより多く縮むと考えられるため）、拡散面のセル表面の凹凸により生じる隙間が各セルで平均して存在し、これらが熱および圧力負荷時に均等に消失していく等の原因が考えられる。

このような、接合の機構上、セルおよび加速管全長には必ず縮みが生じるものと思われ、今後、縮み量を減少させる又は縮み量をコントロールするため、セルの平面度および表面粗さと接合方法間の相関性を調査するなど、縮みの正確なメカニズムおよびコントロール方法についてR&Dが必要である。

(4)加速セルのスタック・接合のまとめ

これまで述べた加速管製作の工程を通して以下のことが分かった。

- ・スタック時の精度はVブロックの精度に依存することがわかった。
- ・拡散接合によるアライメントの変化は、20[μm]程度である。
- ・リークが生じた場合、再度の拡散接合で補修が可能である。
- ・拡散接合による加速セルの収縮は、その面圧には依存せず(面当たり40~100[kgf]の範囲で)、接合面当たり1[μm]程度であることが分かった。

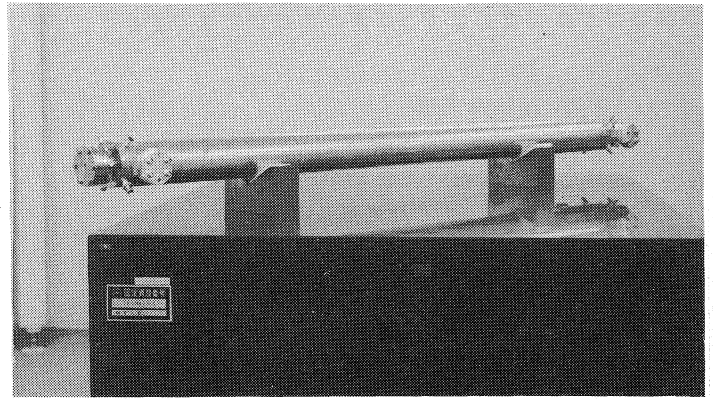


図-5 1.3m 加速管の完成品。

3. まとめ

今回の加速管製作により、いくつかの課題を残しつつも、JLCの実機の製作の見通しがついた。特に、アライメントに関して見通しが付けられたことは、Xバンド加速管の実現性に大きく近づいたと考えている。

今後、課題の検討を行いつつ、実際のJLC用Xバンド加速管の製作方法についてスタディを進める予定である。

参考文献

- [1]JLC-1,KEK Report 92-16,Dec.1992.
- [2]M.Yamamoto et al.,”Detuned Structure(II)”Proc.17th.Linear Accelerator Meeting in Japan,1992.
- [3]A.Yamamoto et al., Fabrication of an X-band Structure by Diffusion Brazing with inserting Sputtered Gold Film,EPAC’94