

Precise fabrication of X-band accelerating cell for JLC

H. Sakai, Y. Higashi, S. Koike, T. Takatomi, S. Koizumi,
M. Yamamoto and T. Higo

National Laboratory for High Energy Physics
1-1, Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

Abstract

A precise fabrication is necessary for realizing an accelerating structure for Japan Linear Collider (JLC). In order to tune higher mode frequencies of cells of the structure within a tolerance of about 10^{-4} level, each accelerating cell is designed to be fabricated without tuning with the precision of a few 10^{-5} level. The precision of the machining as of today is that the flatness is less than $0.5\mu\text{m}$ and the diameter control is a few 10^{-5} . The measurements of the frequencies of the machined cells show a possibility for obtaining again a few 10^{-5} level. These measurement results on dimensional properties and also RF frequency characteristics are described in this paper. Preliminary brazing were also performed and described, indicating a possible precise joining method.

X-バンド加速管の精密製作技術の現状

1) はじめに

JLC (Japan Linear Collider) の主ライナックでは、加速周波数としてX-バンド (11.424GHz) が予定されている。この主ライナックではウェークフィールドを抑えるために高次モードまでチューニングをとった精密な加速管を、高精度でアライメントしなければならない。この高次モードの周波数精度は 10^{-4} 程度必要であるため、加速管を構成する各セルの精度は、それより十分良い 10^{-5} 程度を目標としている。このことは、加速セルの内部形状精度が $0.1\mu\text{m}$ オーダーのものを同程度の精度で接合することにより実現可能と考える。

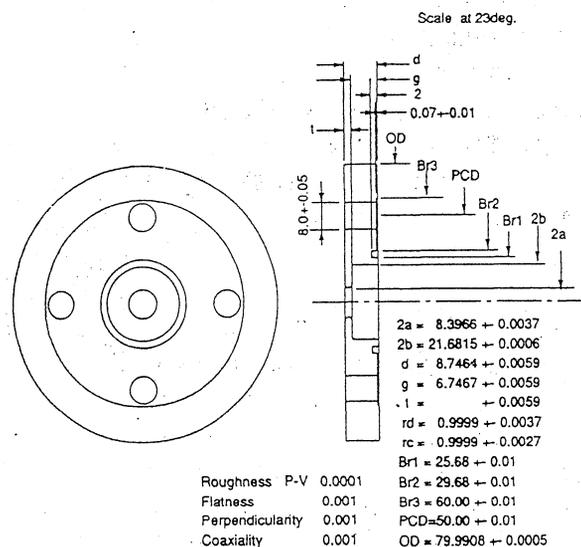
前回の報告ではレギュラーセルの加工のみ報告したが、今回はレギュラーセルの加工とその寸法測定・高周波測定について述べるとともに、ロー付もあわせて現在の状況について報告する。

2) レギュラーセルの加工、測定

加工

精密旋盤を使用してレギュラーセル (図1) の加工テストを行なっている。このセルの加工で平面度を許容値 $1\mu\text{m}$ 以内に収めることが最も困難であった。現在は、この2年のR&Dの結果、平面度 $0.5\mu\text{m}$ で安定して加工できるようになった。

次のことに注意することによりこの平面度 $0.5\mu\text{m}$ のレギュラーセルを安定に供給する事ができるようになった。第一に加工物の残留応力を熱処理によって加工毎に除去すること。第二に加工室の温度を一定に保つことである。図2に平面度、図3に加工室の温度を示す。これらより加工室の温度は 2°C 以内に保たなければならないことがわかる。



X-band accelerating cell a/ λ =0.16

図1 レギュラーセル

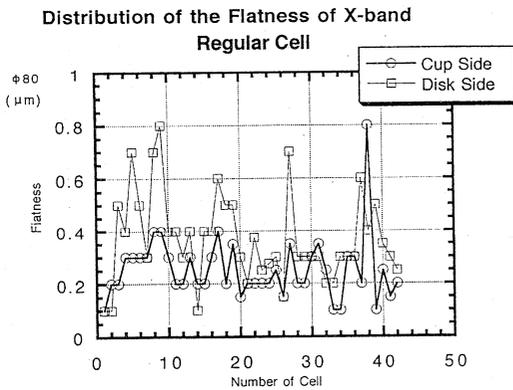


図2 平面度

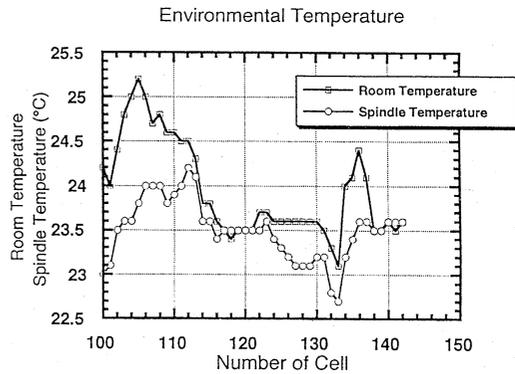


図3 温度

内径の測定方法 (SEMと3次元測定器の比較)

これまで、セルの内径の測定はSEMで行なってきたが、SEMでの測定の場合、1つのセルを測定するのに約半日かかり、多数測定するのは困難である。もし、SEMのかわりに3次元測定器が使用できればこの困難は解決できる。そこで、接触式3次元測定器とSEMで内径を測定し両方を比べその可能性を調べた。図4に測定結果を示す。図4より双方の測定に約4 μmのシステマティックな差があることがわかるが、3次元測定器を用いてもセルの内径のばらつきはSEM同様測定できると判断できる。3次元測定器のような接触式の測定器で精密測定を行なう場合、その接触するプローブにより測定物が変形することを考慮に入れる必要があるが、今回の測定系の場合、計算によるとその弾性変形は0.5 μm程度である。よって、約4 μmのシステマティックな差はプローブが接触することによる弾性変形によって生じたものではなく他の要因によるものであると考えられる。

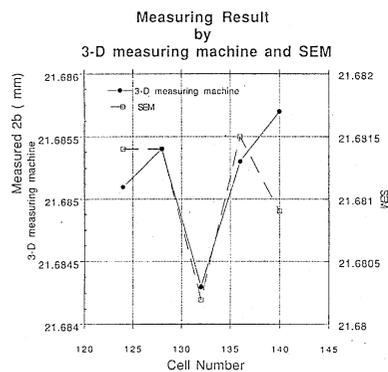


図4 SEMと3次元測定器の比較

共振周波数と内径の測定結果

精密加工された42枚の加速セルについて共振周波数とその内径を測定した。各セルの共振周波数の測定は超精密Vブロック上で、レギュラーセル両端をハーフセルで挟み込み、面圧が一定になるように荷重を加え、両端板より挿入したプローブにより測定した。図5に各セルの真空・温度補正を行なった共振周波数の測定結果を示す。同じものの内径を3次元測定器により測定し結果を図6に示す。セルナンバー100~114の加工精度が著しく悪いのは切れの悪いバイトを使用したためであり、セルナンバー115で新しいバイトに交換した。又、セルナンバー120を境にしてセルの周波数は大きく変化しているが、セルの内径測定ではそれに対応する変化があらわれていない。この原因については現在のところ不明である。その後加工したセルについては 10^{-5} の精度で安定して加工されていることがわかる。

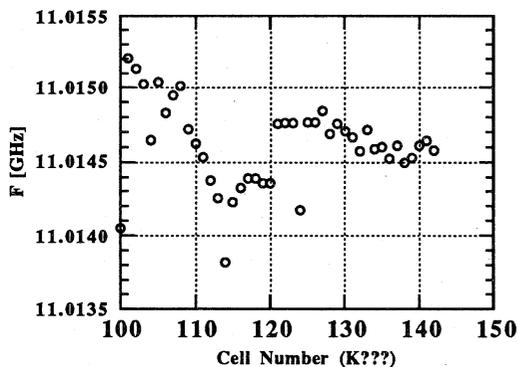


図5 セル周波数

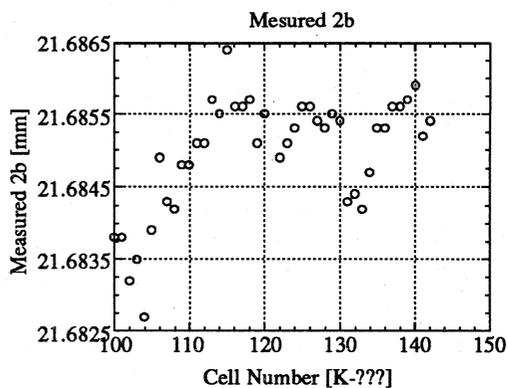


図6 セルの内径

3) 加速管の接合

従来、加速管の接合は電子ビーム溶接や電鍍法等によって行われてきた。しかし、JLC用X-バンド加速管では形状精度 $0.1\ \mu\text{m}$ オーダーで仕上げられた加速セルを同程度の精度で接合する必要があり、これらの方法では熱による変形、内部の汚染等が大きく、 μm オーダーでの接合は非現実的である。そこでこれらに替わる手段として、精密ろう付けのテストに着手した。

ろう付けは、共試体の溶解を防ぐために、 10^{-5} 台の真空度でヒーターを入れ、共試体温度が $805\text{ }^\circ\text{C}$ （銀ろうの場合）に到達したときヒーターを落とす条件で行っている。シートろうが表面でうねり等変形している場合や、ワイヤー（線材）が溝に対して十分クリアランスがなく溝壁面に接触し固定されている場合、ろうがセル内部に流出したり、コンタクト面がろう付けされずに巣が生じたり（図7）、セル全体が傾く（図8）等様々な問題が生ずることがわかった。これらを防ぐために、シートろう（厚さ $50\ \mu\text{m}$ ）については表面のうねりや傷を含めた厚さを $50\ \mu\text{m} + 20\ \mu\text{m}$ に押さえる必要がある。そのため我々は、平面度 $10\ \mu\text{m}$ のセラミック板にろうをはさみ、真空炉で $300\sim 400\text{ }^\circ\text{C}$ 60分の熱処理を行なっている。又、ワイヤーは常温では非常に硬く成型が困難なため、適当な熱処理（図9）を行ない溝に接触しないよう成型している。このように成型したシートろうとワイヤーを使用してろう付したものを図10に示している。この場合、接合による境界面は見られず非常に良く接合されていることがわかる。

以上のような方法により、美しいろう付面が得られることがわかったが、形状変化については測定していない。今後ろう付け前後のセルの寸法・共振周波数の変化を測定し、形状変化を調べる予定である。

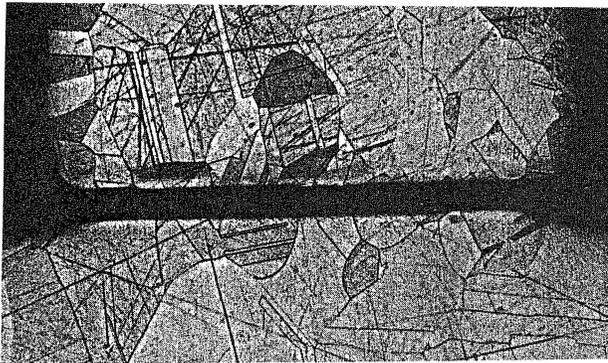


図7

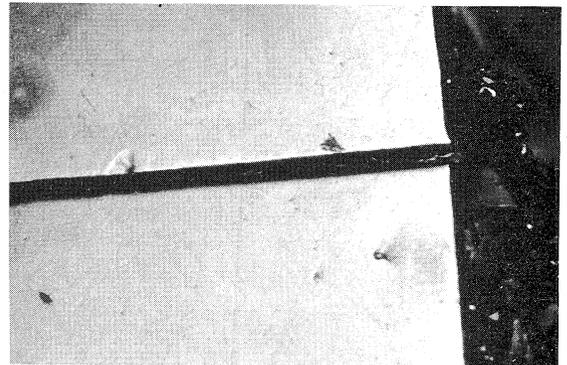


図8

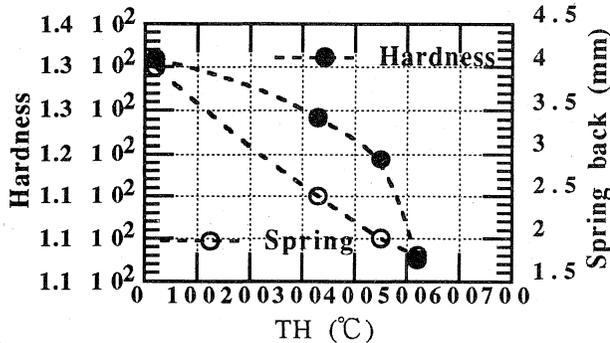


図9 熱処理による変化

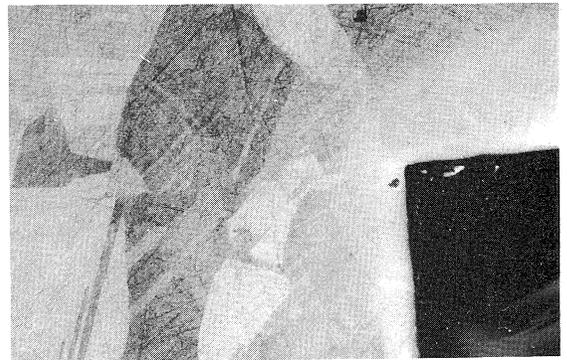


図10

5) まとめ

レギュラーセルの加工R&Dを行ってきた結果、 10^{-5} 程度でセルを供給できる見通しがついた。現状では、加工と測定は別々に行なっているが、今後量産化に向けて加工中にセルの寸法変化を測定するシステムを開発する予定である。また、精密フライス盤によるカプラーセルの加工テストにも着手する予定である。

接合については、今回は精密ろう付けを行ないその接合面を観察したにとどまったが、今後は、寸法変化の測定を行なう予定である。また、常温拡散接合等、様々な接合方法について検討を行なっていきたい。