

Precise fabrication of X-band accelerating cell for JLC (3)

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 all the cells within a tolerance of about 10^{-4} , each accelerating cell is designed to be fabricated without tuning within the precision of a few 10^{-5} . The precision of the machining as of today is as follows; the flatness is better 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 precision of a few 10^{-5} . These measurement results on dimensional properties and also RF frequency characteristics are described in this paper. Some R&D's on brazing and diffusion bonding 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 (3)

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 (1.424 GHz) 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セルを、高精度でアライメントした加速管でなければならない。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サブミクロン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⁽¹⁾ではレギュラーセルの加工とその寸法測定・高周波測定とろう付について報告したが、今回は主にカプラーセルの加工と接合、そして接合前後の高周波測定について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

現在レギュラーセルは実機製作を目標に量産体制で加工され、加工されたセルは接合試験・洗浄試験等に使用されている。レギュラーセルの加工は、加工基準を外周におき、基準セルの外周に対する相対測定を測定精度 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ で加工毎に行なっており、必要であればフィードバックかけられるようにして行

なっている。Fig-1 に量産されたセルの外周 (OD) の測定結果を示しているが、途中でマシンを止め再立ち上げを行なったセルを除き、 $\pm 0.3 \mu\text{m}$ 程度に安定して加工されていることがわかる。更に向上させる R&D 中である。

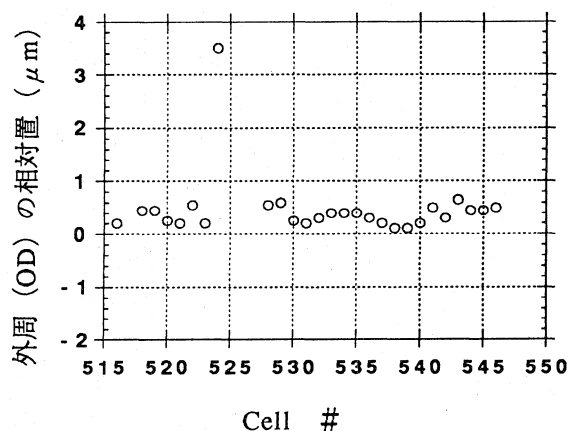


Fig-1 外周 (OD) の測定結果

3) カプラーセルの加工、測定

精密フライス盤と精密旋盤を使用してカプラーセル (Fig-2) の加工テストを行なっている。このセルの加工は精密フライス盤でスロット部を、その他の部分を精密旋盤で加工し、全体の寸法精度を許容値 $1 \mu\text{m}$ 以内に収めることを目標としている。フライス盤は、真直度を $0.5 \mu\text{m}/100\text{mm}$ に、直角度を X 軸 Y 軸については $0.15 \mu\text{m}/80\text{mm}$ 、Z

軸については $1.5\ \mu\text{m}/80\text{mm}$ 、スピンドルの振れは、バイトの根元で径方向 $0.5\ \mu\text{m}$ 、軸方向 $0.1\ \mu\text{m}$ に調整を行なった。加工時にマシン上でマイクロスコープによるOD・2b・アイリス巾等の測定を $\pm 1\ \mu\text{m}$ の精度で行ない、また、静電容量型非接触式変位計によりフライス加工と旋盤加工の段差の測定を $0.1\ \mu\text{m}$ オーダーで行なうことにより、寸法精度 $1\ \mu\text{m}$ を実現できることがわかった。ただし、旋盤加工した面とフライス加工した面の段差については、フライスでの後加工を行なった場合、 $1\ \mu\text{m}$ の段差では切粉等のスジが入ってしまい、段差は $1.6\ \mu\text{m}$ とした。加工後の測定の結果、旋盤加工した面とフライス加工した面の段差は許容値 $\pm 0.2\ \mu\text{m}$ に収まっており、アイリス巾も $\pm 1\ \mu\text{m}$ に仕上げられていることがわかった。しかし、1枚の加工に要する時間が2.5時間と長いことや、マシン上で測定が作業者の見方によって変わってしまうことなど、今後さらに改良していく必要がある。

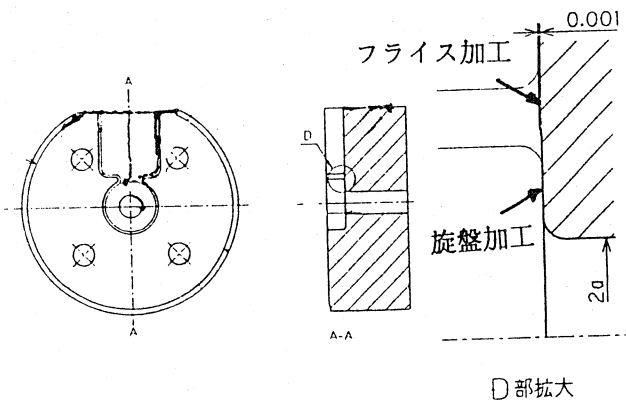


Fig-2 カプラーセル

4) 接合 ロー付

ろう付けの方法については前回報告したが、加速管のろう付けテストを行なった結果、Fig-3のようにろう付けされずに隙間が生じてしまったり、ろうがうまく流れずに残ってしまう等の問題が生じた。原因としては、熱によるセルの変形やセル間にはさむシートろうの悪影響が考えられ、一般的に超精密加工した面に対するろう付け特性を知っておく必要があると考えた。そこで、ワイヤーろうのみを使用し、ギャップが $-1\ \mu\text{m}$ 、 $0\ \mu\text{m}$ 、 $1\ \mu\text{m}$ 、 $5\ \mu\text{m}$ 、 $10\ \mu\text{m}$ 、 $30\ \mu\text{m}$ の6種類のセル (Fig-4) を同一条件 (800°C 5分、重り 15kg) で銀ろう付けする

テストを行なった。その結果ギャップが $30\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ の範囲であればセル間のギャップはそのまま保存され、ろうも非常に良く流れていることがわかった。(Fig-5) しかしギャップがそれ以下の場合には、セルのギャップに不均一が生じてしまい、ろうがうまく流れずボイド等も生じてしまうことがわかった。(Fig-6) 熱サイクル自身によるセルの変形も関係しているとも考えられ、ミクロンオーダーのギャップに対するろう流れ特性については、今後更に調査する必要がある。

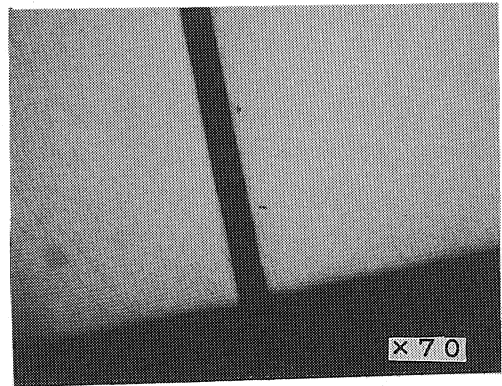


Fig-3 ろう付面の隙間

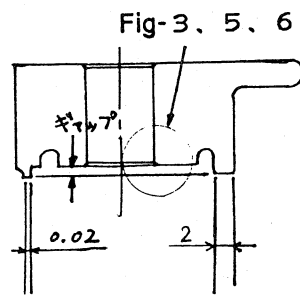


Fig-4 ギャップテスト

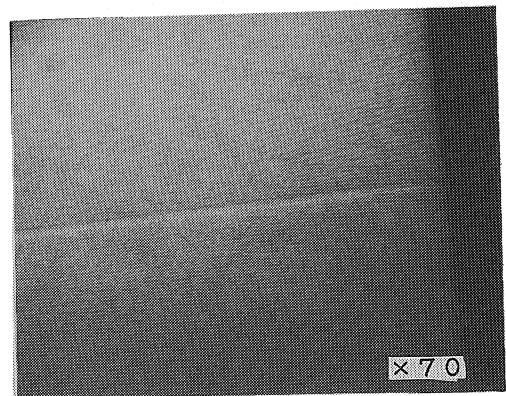


Fig-5 ギャップ $30\ \mu\text{m}$ のろう付面

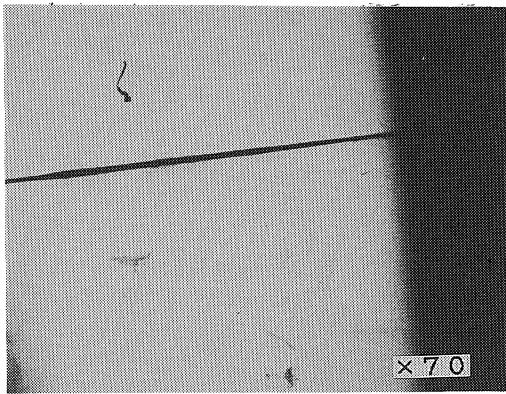


Fig-6 ギャップ1 μmのろう付面
拡散接合

今回我々はろう付以外の接合の手段として、拡散接合についてもテストを行なった。拡散接合は、接合時の温度がろう付けより低くすることも可能で、ギャップ等のない平面当たりでの接合であるため精度の向上が考えられるためである。接合方法は、仕上加工後のセルに金・銀等の蒸着やメッキを行ない、700~900℃、10~60分で加圧し接合している。Fig-7に初期テストで得られた接合面の反射電子像写真を、Fig-8にX線マイクロアナライザー (EPMA) による接合面の成分分析結果を示す。このセルは、金を5 μm蒸着し、890℃10分、面圧0.01 kg/mm²で接合されているが、接合面に1 μmのポイドが見られる以外は、真空リークもなく、拡散状態も良好であり非常に良い接合面と言える。(2)

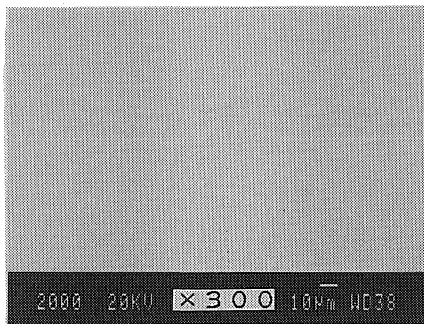


Fig-7 接合面

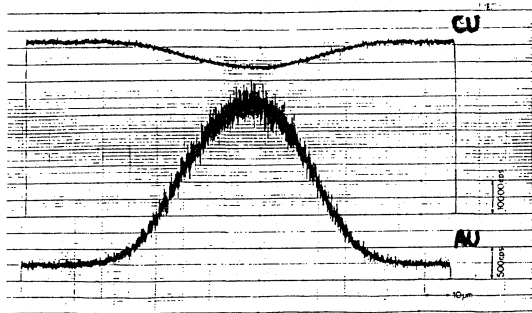


Fig-8 EPMAの結果

5) セルの洗浄

これまで行なってきたセルの接合試験において、接合面に治具の後がかならず残っていることが判明した。そこでこの原因の一つがセルの表面状態にあると考え、確定エッチング量0~0.12 μmの酸洗処理を行なったセルに900℃1時間、荷重無しで熱処理を行ない、表面の違いを調べるテストを行なった。ただし洗浄には3%の希硫酸を使用し、洗浄時間を変えて洗浄を行なったセルと、アセトン洗浄しか行なっていないセルを用いた。ただし、結果に大きな差はなく、今後荷重を加えた条件での調査もする必要があると考える。

6) まとめ

レギュラーセルの加工は現在量産体制に入っており、サブミクロンの精度で安定してセルを供給している。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や、ダンピング、真空ポート付きのセルの加工R&Dも行なう予定である。

接合については、Fig-9に示したような加速管のすべてのコンポーネントを含んだ構造を製作し、低電力的には良好な特性が得られたので、現在この経験をもとに30cm級の実機を製作中である。

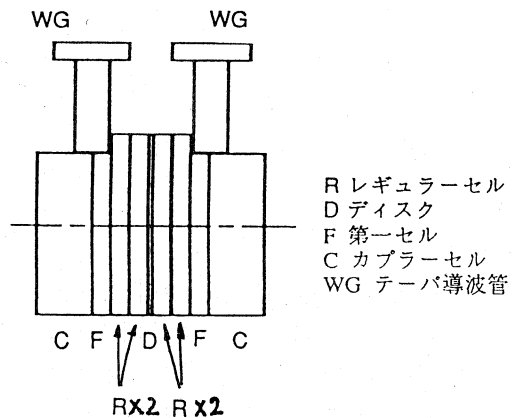


Fig-9 試作された加速管

7) 参考文献

- (1) H.Sakai et al., Proc. 17th. Linear Accelerator Meeting in Japan, 1992.
- (2) T.Higo et al., proc. 9th. Symp. Accel. Science Tech., 1993, KEK, Japan.