

[13P-02]

## HIGH POWER MODEL FABRICATION OF DISK-AND-WASHER CAVITY

H. Ao<sup>1</sup>, Y. Iwashita, T. Shirai, and A. Noda  
 Accelerator Laboratory, NSRF, ICR, Kyoto Univ.,  
 M. Inoue, Research Reactor Institute, Kyoto Univ.,  
 T. Kawakita and K. Nakanisi, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

### Abstract

The high-power model of Disk-and-Washer (DAW) cavity for electron acceleration is under fabrication. Basic dimensions of the cavity were determined from aluminum model measurement and electromagnetic field calculation. We have fabricated model made of OFC five times in total. Some details are optimized and corrected, and then the final brazing are proceeding. These model results and present status are described.

### Disk-and-Washer(DAW) 型加速空洞の実機製作

#### 1 はじめに

京都大学化学研究所では三菱重工業(株)の協力の下、電子加速用 disk-and-washer 型加速器(図1)の製作を進めてきた。これまでの無酸素銅製のモデルを用いた試験による細部寸法の決定、および加速管としての全体仮組測定までの経過を加速器の性能面を中心に報告する。製作に関する技術的課題については別途、本研究会において報告されるのでその項を参照されたい。

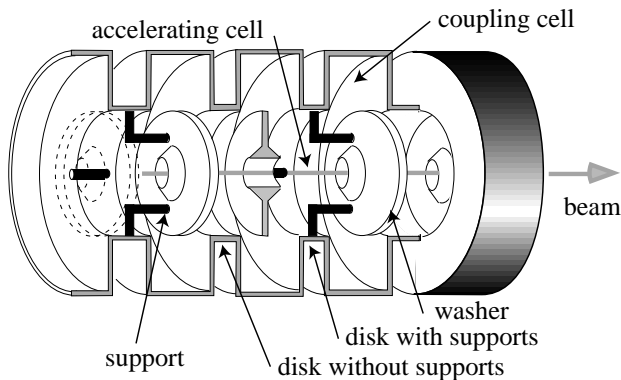


図1: Biperiodic L-support DAW。1枚のワッシャーを2本のL型のサポートで支持している。

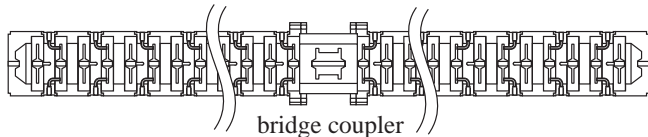


図2: 電子加速用 DAW の全体図。12ユニット(24セル)から成る1.2mの加速管2本を中央の同軸型ブリッジカプラーで連結する。

#### 2 これまでの経緯

DAW ではセル間の高周波的な結合が強いため、個々のセルの周波数を厳密に合わせ込む必要なく、加速管全体の平均的な周波数のみを考慮すればよい。これは多くの加速管を製作する場合には、製作されたセルの平均周波数を考慮して組み合わせることで加速管全体の周波数の調整が可能となり、工作および組立精度の面から有利である。しかし、本研究のような試作段階における少量製作においては、そのような手法をとることは難しい。そこで本製作では、銅製モデルの段階の加工精度を保ったまま細部の寸法の調整を行って、目標とする性能を実現することとした。

本研究では、アルミ製モデルでの測定をベースとして無酸素銅製モデルの寸法決定を行い、製作を進めてきた。アルミモデルの場合に比べ、無酸素銅製モデルでは加工精度が向上したことにより、各加速セル(ユニット)間での形状的なばらつきが減少した。その結果、各ユニットの共振周波数などの性能面ではばらつきが減少した反面、加速管全体で見た場合の周波数がアルミモデルの場合と異なってしまう、その周波数のずれを補正する必要が生じた[1][2]。そのため、後述するように無酸素銅製のモデルは数回にわたって細部の寸法変更を行いながら製作を行っている。

#### 3 無酸素銅モデルの周波数測定

##### 3.1 加工再現性と単体測定

DAW の場合、加速モードと結合モードの二つのモードを考慮する必要がある。これまで無酸素銅製モデルは5回のロットに分けて試作されてきた、それぞれ製作ロットごとに1st、2nd、3rdと区別し、最終ロットが5thである。寸法形状は1st、2nd、3rdと細部の寸法が異なり、3rd以降は同一である。図3はこれらの各モデルの1ユニット(加速セルで2ギャップ分に相当)における単体測定結果を散布図の形にまとめたものである。同一寸法

<sup>1</sup>H.Ao, 0774-38-3286, ao@kyticr.kuicr.kyoto-u.ac.jp

のものについては各製作ロットを通して再現性のある測定データが得られており、製作そのものの再現性も十分に確保できると考えている。

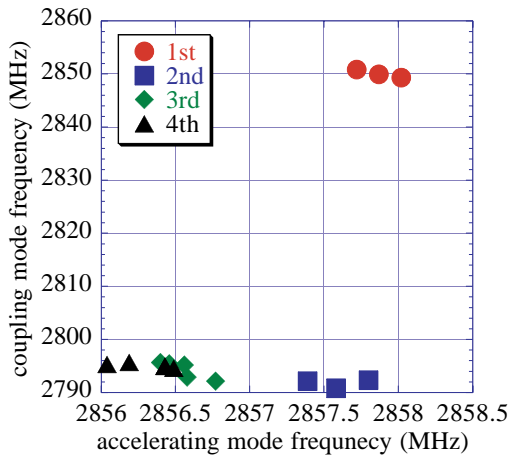


図 3: 1unit における周波数測定の結果

### 3.2 ユニット数に依存した周波数の収束

#### 3.2.1 Fitting

本構造における DAW では、加速モード、結合モードともユニット数の変化に応じた周波数の収束傾向が見られる。加速モードは主として加速管両端の端板の影響、結合モードでは周期的な対称性が原因であると考えている。加速モードについては以下の式を用いている。

$$f_a = \frac{m_1(2N_{unit}) + m_3 \times m_2}{2N_{unit} + m_3} \quad (1)$$

$m_1$  がレギュラー部の周波数、 $m_2$  が端板の周波数、 $m_3$  が端板が何ユニット分に相当するかを表すパラメータである。 $m_3$  については実際にユニット数を変化させた SUPERFISH の計算を行って、端板の影響を評価して得た  $m_3 = 0.7$  の値を用いている。

結合モードの収束についてはサポートの影響も考慮した三次元解析が必要があるので、計算で評価するのは容易でない。そこでアルミモデルの段階から経験的に

$$f_c = m_1 + \frac{m_2}{N_{unit}} \quad (2)$$

の式を用いている。

#### 3.2.2 Squeeze

加速モードの周波数は最終的に正確に調整する必要があるので、加速管本体の加速セル外周部に squeeze 用の肉薄な部分を設けてある。squeeze による補正量に関しては、アルミモデルの測定から押し込みの変形量に対する係数 820kHz/mm を得ている。現状の収束値から運転周波数 2857MHz への調整を行った後の、各モードの周波数変化を見積もってみると以下の表のようになる。

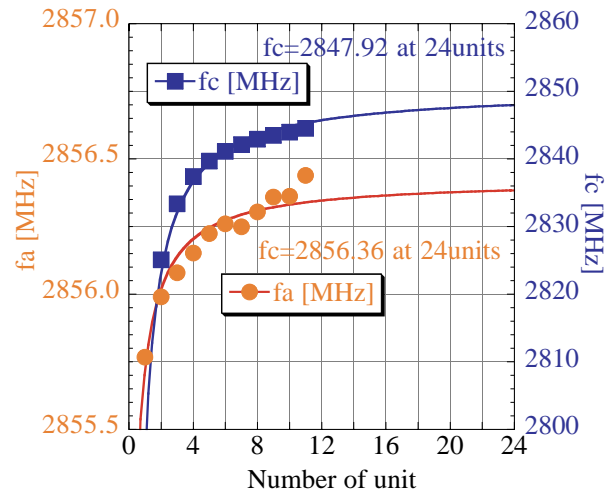


図 4: 11unit までの周波数測定の結果。各点とも運転温度 35 度へ温度補正をした結果を示している。

	修正前	修正後の予想値
加速モード (MHz)	2856.43	2857.0
結合モード (MHz)	2847.92	2847.07

結合モードの周波数は目標としていた範囲を下回ってしまっている。これは初期の寸法補正の際に得ていた 3 ユニットのデータが収束の予想には不十分で、やや低い方向への収束になってしまったためである [3]。結合モード周波数の精度の影響については、加速管全体を組み立てた後 tilt sensitivity などの測定をおこなって評価していきたいと考えている。

## 4 端板周波数の測定

3.2.1 節で述べたように、全体周波数の調整には端板単体での周波数も考慮する必要がある。そこで無酸素銅製の端板についてユニット数を変化させた測定を行い、端板自身の周波数を式 (1) を用いた fitting によって求めた。

測定では無酸素銅製モデル (ユニット単体での周波数は約 2857MHz) と、アルミ製モデル (ユニット単体での周波数は約 2854MHz) の二種類のモデルを用いて 4 ユニットまでの測定を行い、fitting の収束値から周波数を求めた。

得られた結果とこれまでのすべての測定に共通で用いられてきたアルミ製端板とを比較してみると、アルミ製端板の周波数は約 2855MHz であり、無酸素銅製端板は約 2858MHz とやや高くなっていることがわかった。このアルミ製端板も初期の段階で同様の測定を行って周波数調整を行っていたが、この周波数の誤差の要因として

1) 初期の調整に用いたアルミモデルの精度が低く各ユニットごとの周波数にばらつきがあった。2) regular 部の周波数について複数のもので検証されていなかった。などが考えられる。収束を考慮した測定を行う場合には端板単体での周波数と regular 部分の周波数は少し異なっ

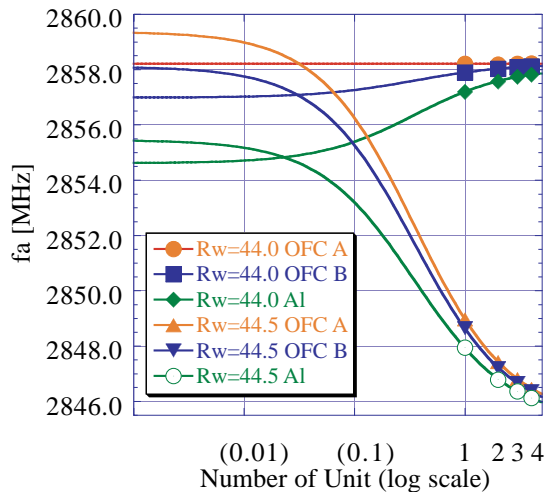


図 5: 端板周波数測定の結果。横軸 log-scale で 0unit 付近を拡大している。異なる  $R_w$  の値に対しても約 1MHz 程度の精度で収束値が一致している。

ている方がむしろ収束の傾向が明らかになり、組み立て誤差による周波数測定精度の影響を受けにくくなると思われる。

これらの無酸素銅製の端板を実機に用いた場合の周波数変化は fitting から約 100kHz の増加が見込まれる。現状、加速管の周波数は 2857MHz を下回る方向であるので、この程度の周波数増加であればむしろ望ましい方向であり、問題なく使用できると考えている。

## 5 全体測定

ユニット毎に分けて製作されてきた加速管は最終的に 12 ユニットずつの 2 本の加速管に組み立てロウ付けを行う。その全体ロウ付けに先立って仮組みの形で電場分布の測定を行った。

これまでのユニット製作の経緯から、2 本の加速管は内部寸法が異なるものとなった。1 本は 1st, 2nd, 3rd の三種類のユニットからなる混成型 (No.1)、もう 1 本は 3rd 以降の同一寸法のユニットで構成 (No.2) されている。先にも述べたように、DAW の場合は加速管全体の平均的な特性さえ考慮すればよい。No.1 加速管のように寸法が少し異なるユニットを組み合わせた場合にも、DAW の Coupling が大きいという特性から、電場分布が大きく偏るなどの問題は起こりにくい。

No.1、No.2 加速管についての電場分布の測定結果を図 6 に示す。電場分布については、当初、数箇所分布にギャップが生じていた。三次元測定による寸法測定から、このギャップの原因はワッシャー位置が主としてビーム軸方向に (最大 0.7mm) 平行移動し、ワッシャー外周部の結合セルを中心とした両側の加速セルとの coupling のバランスを崩していたためであった。これに関してはとワッシャー取り付け位置を手作業で調整を行って、うまく分布の均一性を改善することができた。修正前の電場分布の一例も合わせて図 6 に示しておく。

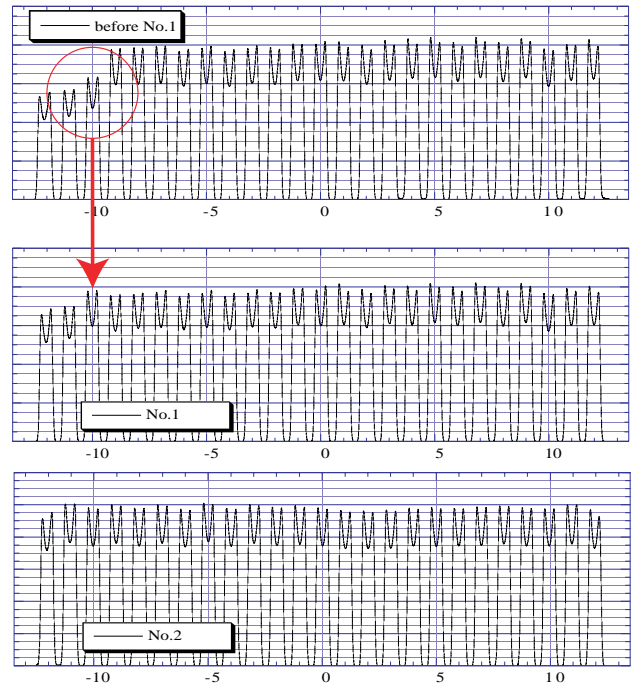


図 6: 電場分布測定の結果

加速モードの周波数についても 12 ユニットの段階で No.1 加速管が 2856.06MHz、No.2 加速管が 2856.58MHz と両加速管とも squeeze による可調範囲に収まっており、全体ロウ付け後の調整によって運転周波数 2857MHz に十分合わせ込めると考えている。

## 6 今後の展開

全体ロウ付けの技術的問題、及びロウ付け前後での性能変化の確認が当面の課題である。全体ロウ付けが性能面に大きな影響を与えないことが確認されれば、本機の製作に方法については、ほぼ確立できたと考えてよいと思われる。その後は squeeze によって微調整を行い、最終的な組立、搬入、研究室での性能試験へと進む予定である。

## 7 参考文献

- [1] H. Ao et al. Fabrication of disk-and-washer cavity. *Proc. of the First Asian Particle Accelerator Conference, KEK, Japan*, page 187, 1999.
- [2] H. Ao et al. Fabrication of disk-and-washer cavity. *Proc. of the 24th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sapporo, Japan*, page 254, February 1999.
- [3] H. Ao et al. Model Test of Biperiodic L-support Disk-and-Washer Linac Structure *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.39, page 651, Part 1, No. 2A, February 2000.