

FABRICATION OF DISK-AND-WASHER CAVITY

Ao H., Iwashita Y., Noda A., Okamoto H., Shirai T., Inoue M.,
Kawakita T.*¹, Matsuoka M.*² and Koyama K.*³

Accelerator Laboratory, NSRF, ICR, Kyoto University,
Gokasho, Uji, Kyoto 611, Japan

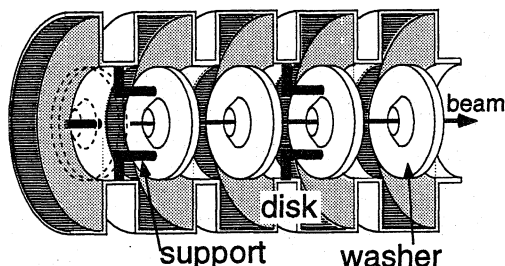
ABSTRACT

The biperiodic DAW cavity for electron acceleration is under fabrication and test. The operating frequency is designed at 2857MHz so that it can replace one of the existing disc-loaded waveguide accelerating tubes. The injection energy for the acceleration test is intended to be about 60MeV. It consists of two of 1.2-m long accelerating tube and a coaxial bridge coupler that connects the two tubes. The bridge coupler has an RF coupler, a vacuum port, and three frequency tuners. All of the parts are made of OFC. The detailed mechanical design and the fabrication technique will be described.

Disk-and-Washer (DAW) 型加速器の製作

1. はじめに

京都大学化学研究所原子核科学研究施設では、電子加速用 Disk-and-Washer (DAW) 型リニアックの研究を進めている。まずDAW加速管断面の模式図を下に示す。



ワッシャーを支えるサポートには様々な形状が考案されてきたが、上図は、我々が開発した二重周期L型サポートの形状を示したものである。サポートの形状については、MAFIAによる三次元電磁場計算によって、さまざまなサポート形状、配置を比較検討を行った結果から、二重周期L型サポート構造を用いている。これによりサポートによる加速電場への影響を最小限にとどめ、かつ全体

の加速電場が均一となる理想的な構造を実現している。

DAWはその開放的な構造から良好な真空特性が得られ、セル間の結合が強く加速電場が安定であり、また高い加速効率が実現できることから、高エネルギー陽子加速器の高β領域の加速管として有力な構造であるといえる。

現在開発を進めているDAWは、当研究施設で既に稼働中のDisc-load型リニアック後段に接続し、加速実験を行うことを考慮して設計されている。加速管全体の構成は以下のようなものである。同軸型のブリッジカプラーが片側1.2mの加速管の中央に配置されており、RF、真空の各ポート、周波数微調整用のチューナーを備えている。DAWの運転周波数は、施設内で稼働中のDisc-load型リニアックと同じ2857MHzとしてある。次ページ上部に加速管全体の構成図を示す。

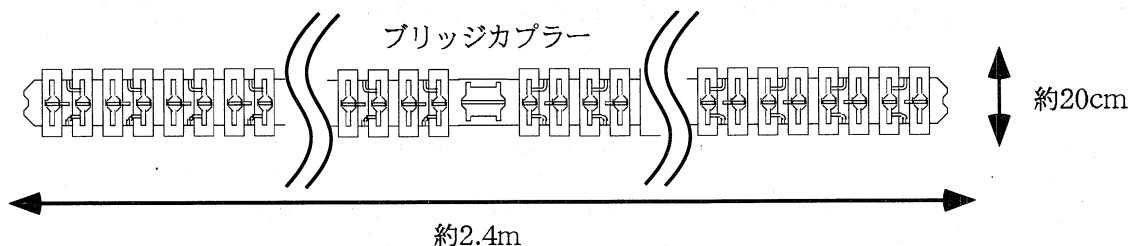
性能としては、20MWのクライストロンで60MVの加速電圧（施設内のDisc-load型の約2倍の加速電場勾配）を得ることを目標としている。

細部の寸法の決定に際しては、アルミ製の試作モデル（コールドモデル）を製作し、測定を行っている。コールドモデルを用いた各種測定から寸法の微調整を行い、運転周波数(2857MHz)付近にダイポールモードなど他の支障をきたすモードが存在しないこと、ほぼ均一な加速電場が実現されたこと、などをモデルで最終的に確認している。

*1 Core Engineering Department, Nuclear Energy Systems Engineering Center, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

*2 Electronic Systems & Space Systems Engineering, Department, Kobe Shipyard & Machinery Works, Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

*3 Research and Development Department, Nuclear Development Corporation



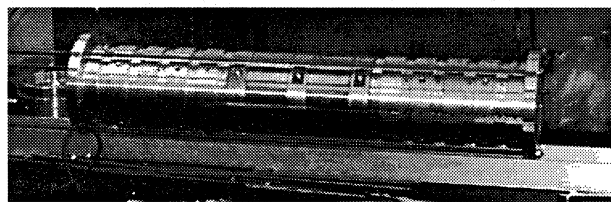
2 クロム銅での試作

実機では真空特性、冷却水路、ロウ付けなどを考慮した構造でなければならず、解決すべき技術面での問題は多い。特にサポートにはワッシャーを支持するために十分な強度を確保しておく必要がある。そこで材質としてクロム銅を用い、構造上の強度を確保することを試みた。

実機の製作に先だて、加工精度、ロウ付けの仕上がりなどの確認の目的も含め、6セル分（3ユニット）のクロム銅製モデルを実機同様の方法で試作し、周波数、電場分布などの測定を行った。しかしこの際、新たにロウ付け後のクロム銅表面が変色するという問題が現れた。そこで、この問題点を詳しく調べるためクロム銅試験片による焼鈍試験を実施し、ロウ付け前後のクロム銅表面の変化を詳しく調べることにした。

2.1 クロム銅での測定

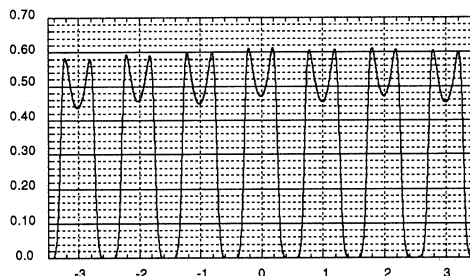
実機同様の方法で試作したクロム銅製モデルを用いて、周波数、Q値、電場分布の測定を行った。測定の際には、コールドモデルと接続できる連結部分をあわせて製作し、端板などはコールドモデルから流用して測定している。下の写真は測定の様子を示したもので、中央の3ユニットが試作された実機の加速管、その両側にはアルミ製のコールドモデルが接続されている。



測定の様子。中央3ユニットが試作したモデルである。

次の表は周波数測定の結果を、グラフは電場分布を示したものである。

Serial Number	Frequency[MHz]	Q value
1	2860.167	14100
2	2860.887	13900
3	2859.385	13900



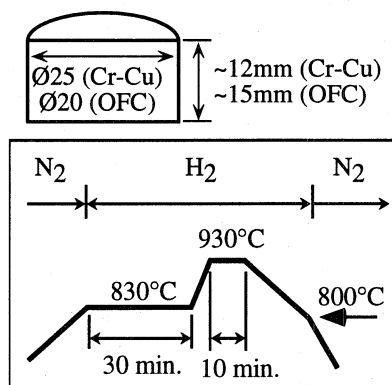
クロム銅製モデルの電場分布

周波数は設計値よりやや高めの数値となっているが、電場分布はほぼ均一である。測定のQ値（2セル分）に対応する計算値をSUPERFISHを用いて求めると、約21000（サポートは省略して計算）である。この計算値より小さくなっている原因としては、サポートの影響に加え、表面の変色（酸化物の生成）の影響も大きいのではないかと考えられる。

2.2 クロム銅での問題点

ロウ付けの工程でクロム銅表面が変色することがわかったため、別途クロム銅の焼鈍試験を実施し、クロム銅を加熱した際の表面の変化について詳しく調べることにした。

焼鈍試験の概要は次の通りである。下の図に示すような無酸素銅、クロム銅についての試験片を準備し、グラフに示したような過程で焼鈍した後、試験片表面の組成、生成物について調べた。



焼鈍試験における試験片と温度変化の過程

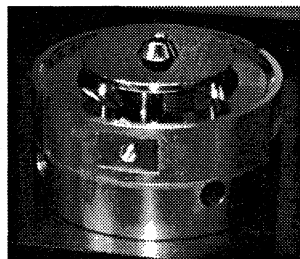
焼鈍後、無酸素銅には変化が見られなかったのに対し、クロム銅には表面の変色が認められた。変色したクロム銅の表面組成を調べた結果、表面の変色は、クロムの酸化物と判明した。これはクロムが、ロウ付け雰囲気中の微量酸素と反応したものである。

さらにクロム銅自身からの放出ガス（水素）などについても、無酸素銅と比較分析を進めた結果、積算でクロム銅は無酸素銅の約3倍のガス放出があることも明らかとなった。

3 無酸素銅での試作

クロム銅製モデルの試作において、ロウ付けの段階に酸化の問題が発生し、クロム銅自身の放出ガスも無酸素銅に比べて多いことがわかった。そこで、これらの問題点をすぐに解決することは難しいと判断し、加速管などの製作で実績ある無酸素銅を用いることで加工、ロウ付け時の問題点を無くし、工作を容易に進められるよう方針を改めることにした。

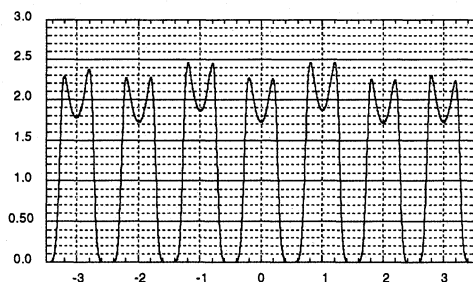
クロム銅製モデルの試作と測定から得た結果を基に、構造上の見直しなども行い、新たに無酸素銅で試作モデル（下の写真）を製作した。



無酸素銅製モデル

クロム銅の場合と同様に無酸素銅モデルにおいても周波数、電場分布の測定を行った。結果は以下のとおりである。

Serial Number	Frequency [MHz]	Q value
1	2858.221	14100
2	2858.927	14200
3	2858.089	14400



無酸素銅製モデルの電場分布

4 考察と今後の課題

無酸素銅でのQ値（2セル分）はクロム銅に比べ大きな変化が無いようにみられるが、測定の際にコールドモデル（アルミ）の占める割合がクロム銅製の場合に比べ、全体として多くなっているため、実質的にはやや向上しているといえる。一般的な無酸素銅による加工、組立とすることでクロム銅固有の問題を避け、材質の電気伝導度も向上した結果と思われる。無酸素銅を用いた場合の強度面については、加工、ロウ付け後の仕上がり精度や外観から判断する限り、現段階では大きな問題はないと考えている。

周波数について見てみると、2回の実機の試作において、いずれも周波数はやや高い。このずれの主たる原因は、サポートの曲線形状の微妙な違いではないかと考えている。コールドモデルの場合のサポートは、アルミの棒材を曲げ加工することにより製作したのに対し、実機ではサポート内部に冷却水路を設ける必要から、中空のパイプを曲げ加工することにより製作している。このためサポートの曲線形状に微妙な違いが生じ、これが結果的に測定の際の周波数のずれにつながっているのではないかと考えられる。

電場分布については、クロム銅の場合には見られなかった電場の不均一性が無酸素銅の場合に周期的に現れている。電場分布の均一化は主にディスクの内径を調節することで行うことができる。しかし、先の加速モードの周波数と同じく、サポートの影響も考慮する必要があり、全体として最適な寸法の確定にはまだ問題が多いと考えている。DAWではその特徴としてセル間の結合定数が大きく、各セル毎の周波数は厳密に合わせなくてもよい。しかし、Qが高いため、全体の共振周波数はかなりの正確さが要求される。このため、全体平均として共振周波数を運転周波数に合わせ込むことが製作上重要となる。

これらの結果から、現在、サポートの影響を十分に評価することが必要であると考えている。サポートの影響の評価にあたっては、計算によって各部の寸法を変化させた時にどの程度、周波数や電場分布に影響を与えるのかを概算して、実機に対しておおよそのフィードバックを与える方法や、より正確には、実機同様の加工方法で作られたサポートを用いたコールドモデルテストなどを行う方法などが考えられるが、実機製作の工程面などもあわせ、現在再検討を進めているところである。