

## PF 2.5 GeV LINAC ACCELERATOR TUBE FABRICATION

Y. Iino, S. Andoh, S. Fujiwara, K. Takahashi\*

I. Satoh, H. Matsumoto\*\*

\*Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

\*\*National Laboratory for High Energy Physics

### ABSTRACT

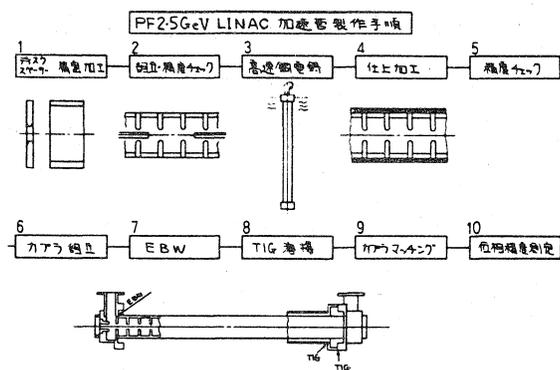
For two years 160 accelerator tubes for the PF 2.5 GeV linac were manufactured. An accelerator tube consists of fine finished disks and spacers which are united by high-speed copper electroforming, so there is no necessity for tuning. Two couplers and an accelerator tube are joined by electron beam welding. The points of mass production, details of fabricating process and structure of an accelerator tube are presented.

### 1. まえがき

PF 2.5 GeV リニアック加速管は、全長約 2 m ( 55 空洞、 $\frac{3}{8}\pi$ モード準定電界型 ) で、ディスク穴径により 5 タイプの加速管に分けられている。両端には、キャビティカブラが直接結合され、加速管外径部には、冷却ジャケットが取付られているコンパクトな構造となっている。加速管本体は、精密に加工されたディスク、スペーサーを、高速銅電鍍で一体化したもので、非常に剛性の高い、取扱い易い構造である。精密に加工されたディスク、スペーサーを、歪なく一体化する事により、チューニングは不要で、精度の高い加速管を製作する事が可能となる。カブラは、加速管本体の両端に EBW で結合し、冷却ジャケットは TIG 溶接する。この様な加速管を 2 年間で 160 本 ( 5 タイプ × 各 32 本 ) 製作した。ここにその製作法の概要と、精密部品の量産のポイントについて報告する。

### 2. 加速管製作法

加速管の概略製作手順は ( 図 - 1 ) の様になっている。作業のポイントは、共振周波数と言う電気量をいかにうまく機械寸法に置き変えるかで、ディスク、スペーサーの大量生産は左右される。我々は、管内法と呼んでいる空洞共振周波数測定法を駆使して、この問題を解決し、短期間に大量の加速管を製作する事を可能にらしめた。ディスク、スペーサーは、ロット生産で、それ以降の作業は、集約化された流れ作業となっている。



( 図 - 1 )

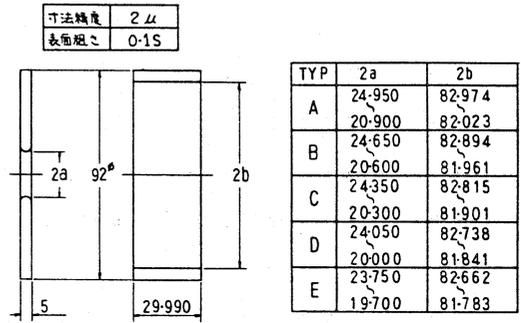
### 3. 加速管本体製作

#### 3-1 ディスク、スペーサーの製作

ディスク、スペーサーの材料は、真空溶解無酸素銅 ( V M C ) で、一次加工は普通の旋盤、仕上げ加工は、特に準備された精密旋盤を使用した。寸法精度は  $2 \mu$ 、表面粗さは  $0.1 S$  で、ダイヤモンドパ

イトを使って加工している。ディスク、スペーサーの寸法を(図-2)に示す。精密旋盤は、流体軸受、流体スベリ面を有する特殊構造のもので、加工寸法コントロールは、マグネスケールを使用した。主軸駆動はDCモーターで、最大3,000RPMとなっている。作動油は温度制御され、機械は25℃に制御された恒温室に設置されている。部品のチャッキングには、ディスクは真空チャック方式、スペーサーはコレットチャック方式を

ディスク・スペーサー寸法

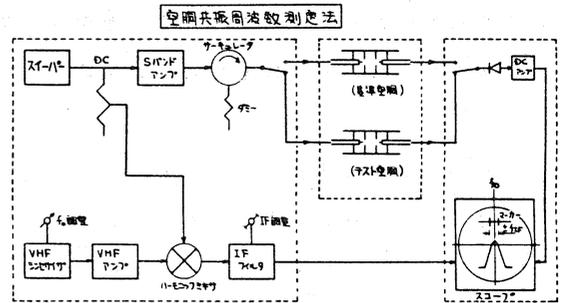


(図-2)

採用している。完成品の寸法検査には、エアーマイクロ(分解能0.1μ)を使用し、共振周波数の確認には、管内法を使った。以上の様な生産設備、生産手順で、最大月産能力10本を確保出来た。

### 3-2 組立、精度チェック

完成したディスク、スペーサーは、所定の組合せを行ない、各空洞の共振周波数を(図-3)に示す方法で測定した。各空洞の共振周波数は、前もって $\frac{3}{8}\pi - \frac{1}{2}$ モードの相関性がつけられていてチェックは $\frac{1}{2}$ モードで行なわれる。規定値を外れる空洞は、ディスク、スペーサーの入れ換え、又は、スペーサーの2b寸法修正加工で手直しされる。ディスク、スペーサーは、所定の面圧で圧着されていて、各空洞共振周波数チェック完了後、



(図-3)

直ちにマンドレルを通し締付けて電鍍する。マンドレルは細い棒状のもので、高い締圧を保持しながら加速管の温度変化に対する熱膨脹を吸収する様になっている。又、内部には表面保護のため、高純度N<sub>2</sub>ガスが封入されている。

### 3-3 高速銅電鍍

加速管の銅電鍍は、マンドレルで締付けられたディスク、スペーサーを、垂直に吊下げ回転させながら行なわれる。電鍍浴は、硫酸銅浴に高電流密度で電鍍出来る様に、添加剤が加えられた組成のもので、電流密度10 A/dm<sup>2</sup>以上が得られ、5mmの電鍍層をつけるのに加工仕上代を入れても、約70時間で完了する高速銅電鍍となっている。電鍍液の管理は重要で、特に不純物の混入により異状結晶(花、しわ)が発生するので注意を要する。

電鍍時に、ディスク、スペーサーの接合面に電鍍液が入るのではないかとする心配は、精度の高いディスク、スペーサーを適度な面圧を与えて接合する事により、非常に気密なメタル接合面となり、高い浸透圧を持つ電鍍液も全く入って来ない。又、精度の高い接合により、接合部の段差も小さく、電鍍結晶の境界面が発生する事もなく、強度の高い電鍍組織が得られている。電鍍表面も非常に滑ら

かで、うまく寸法コントロールが出来たら仕上加工不要な位である。

#### 4. 加速管製作

##### 4-1 カブラ製作

カブラは、無酸素銅を主体とし、水素炉中ロウ付、EBWによって部品結合し、精密加工によって仕上げられる。(図-4)

空洞部の電界偏位に対しては、アイリスと対向する空洞壁を一部削り取り、軸対称電界が得られる様になっている。マッチング要素は、この削り取られた部分に取付けられているダイヤフラムとカブラディスクに対向するブランジャーの2ヶ所である。ダイヤフラムは位相調整、ブランジャー

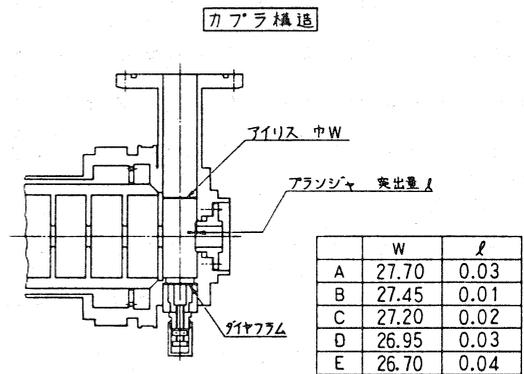
はV調整に使われる。カブラ部の冷却は、本体側面に取付けられた冷却水出入口によって行なわれ、これはカブラ冷却後、加速管側に送り込まれ、加速管の冷却も合わせて行なう様になっている。

##### 4-2 加速管組立

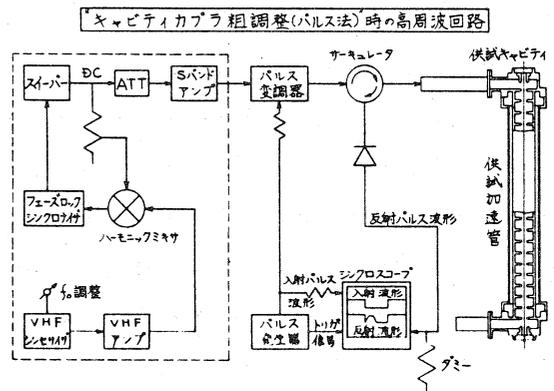
加速管の組立は、加速管とカブラをマンドレルにより所定の圧力で締付け、EBW結合する。EBW部は、溶接応力の過大な集中を避け、適度な接合面圧が得られる様に配慮されている。冷却ジャケット部は、カブラにTIG溶接される。両端は、サブヘッダー構造となっていて、カブラ側より入って来た冷却水は適度に分散され、加速管壁を均一に冷却する様になっている。EBWは、大型のEBWが使用され、同時6本作業が出来る専用治具により、高い生産性を確保している。

##### 4-3 カブラマッチング、精度測定

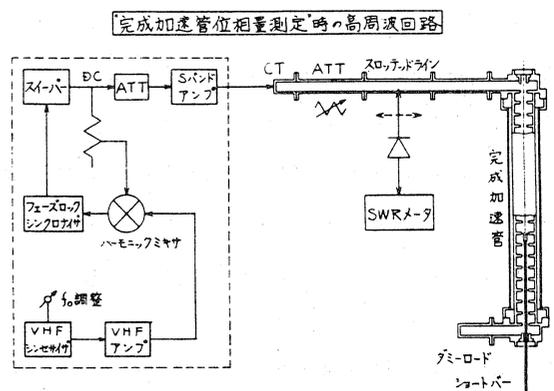
完成した加速管は、カブラマッチング並びに位相精度測定を、(図-5、図-6)に示す方法で実施した。作業時には、加速管冷却ジャケットに室温と同じ水を流し、加速管内部には高純度N<sub>2</sub>ガスを入れ、測定条件を安定化している。完成加速管の特性は、カブラVSWR 1.1以下、位相精度±5°以内となっている。頭初心配していた加速



(図-4)



(図-5)



(図-6)

管タイプごとのカブラ位相差は、非常に小さく、加速管タイプを無視してランダムな組合せでも使える事が確認された。

#### 5. おわりに

2 m 管 160 本を 2 年間で製作する事は、今までに経験した事のない大変な作業であった。ディスク、スペーサーの安定した量産、安定した銅電鋳作業、能率の良い RF 測定作業等、作業管理体制を明確にし、品質のバラツキの少ないコンスタントな生産が出来た事は、加速管製作歴 25 年のキャリアと、高エネルギー研諸先生方の御指導がうまく実を結び、世界に誇れる加速管が出来たものと自負している。今後はこの経験を他の分野にも活用して行くのが我々の責務と考えている。