

# Evaluation for the Test of a Disk-and-Washer Structure

Yoshiharu TORIZUKA

Atomic Energy Research Institute

Nihon University

## ABSTRACT

Construction of a 35MeV double-sided microtron is about to complete at Nihon University. The rf system of this machine employed a disk- and-washer structure with 2 tubes of 2 m length at the injector and 2 tubes of 4 m length for each arm of the microtron. Designed value of energy of 10MeV for the first turn of the orbit was achieved demonstrating many advantages of the disk- and-washer structure.

## DAW構造加速管の評価

### 1. はじめに

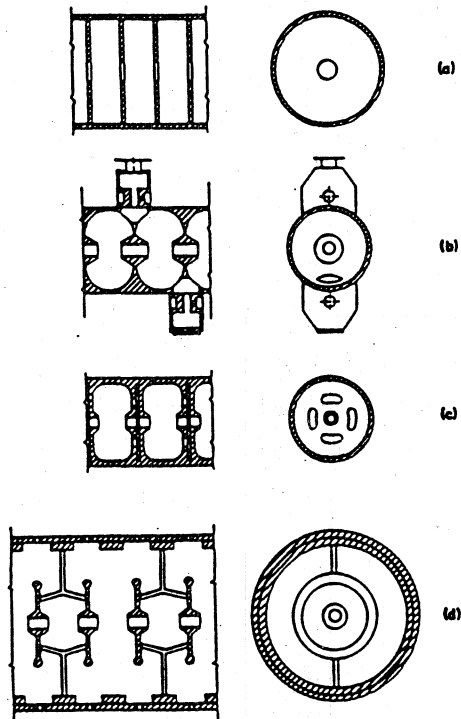
high- $\beta$  即ち光速に近い粒子を加速するライナックのタイプには進行波型 (TW) と定在波型 (SW) とがある。電子の例をあげると disk loaded 構造の TW 加速管は既にその技術と評価が確立しており、SLAC、東北大学、電総研、KEK 等世界の主要施設のライナックはこのタイプである。然し一方 SW 型も医用、産業用の小型ライナックに使われている。TW では数 m の加速管があるが SW では 1~2 m である。DAW (disk-and-washer) 構造の定在波加速管は隣接する空洞間の結合係数が非常に大きいので TW 管のように長くすることが可能であり、また工作精度の許容誤差もゆるくなっている。

これからの科学・技術においては相対論的大電流電子ビームが大きな役割を果すものと考えられている。自由電子レーザー、陽電子ファクトリー、電子ビームを用いた同時計数原子核実験等がある。cw (100% duty-factor) の連続ビーム、大電流、高品質 (低 emittance ~0.01  $\pi$  mm $\cdot$  mrad, I $\beta^2$ -幅 0.1% 以下) が今後の課題である。電子加速器は新時代を迎えており、CEBAF (米) に代表される 4 GeV の超伝導リサイクロトロン、Mainz 大学 (西独) のカスケード・レストラック・マイクロトロン (RTM)、日本大学が開発した 35 MeV ダブルサイデッド・マイクロトロン (DSM) がある。

### 2. SW 加速管構造

第 1 図に各種の加速管構造を示した。図の (a) は前述の disk loaded TW 加速管である。(b) は SW 型で LAMPF の 800 MeV 陽子ライナックの side coupled  $\pi/2$  構造である。(c) は biperiodic on-axis coupled 構造 SW 型、Chalk River で開発し Mainz RTM で採用した。rf 電力はアーク型の穴を通して隣の空洞と結合する。加速空洞に対して結合空洞を薄くしてシャント抵抗を稼せぐ。(d) DAW 構造加速管、ビーム軸に沿ってワッシャー (日本の感覚ではディスク) を並べたもの、Y はワッシャーの支持具である。

LINEAR ACCELERATORS



第1図 各種加速管構造

- (a) はTW型disk-loaded
- (b) はSW型side-coupled
- (c) はbiperiodic on-axis coupled
- (d) はdisk-and-washer (DAW) 構造

DAW構造はソビエトのAndreevによって1972年に最初に提案された。円筒空洞（大口径のディスクを内臓）にワッシャーを $\lambda/2$ 毎に並べただけの非常にシンプルな構造である。空洞間の結合係数が50%位で他の構造に較べて10倍以上大きいのが非常に重要な特長である。当初シャント抵抗が他の構造より30%位高くなると考えられた。LAMPFでとりわけ熱心に研究した。塚田甲子男さん（日大）も飛びついた。

残念ながら世間の評価はそのように進まなかった。ワッシャーを支柱で支えるとシャント抵抗が並のものに下がった。DAWは基本モードではなくハイブリッド・モードであることがいやがられた。ビームを横方向（加速管軸に直角）に振るBBUモードの周波数が加速周波数の近くに存在した。（日本大学では外側パイプの内径を約5%縮小することでこのBBU周波数が避けられた）。NBS・LAMPFで共同開発の180 MeV RTマイクロトロン（目的は自由電子レーザー）ではDAWをやめside-coupled空洞の改良型にした。KEKはDAWを開発し、ARリングに取り付けテストしたが、Main RingではAPS（alternate periodic structure）を採用した。

### 3. DAW構造加速管のテスト

日本大学におけるDAW加速管のテスト結果について述べる。以下のテストは科学技術庁の補助金および一部は学内の研究補助のもとに行われた。先ず1mのDAW加速管を製作し、3MWのrf電力（パルス）で8MeV、150mAのビームを加速した。それから計算した実効的シャント抵抗は65M $\Omega$ /mで、他の構造と比較して平均的な値であった。前述の日本大学マイクロトロンはビームを5回リサーキュレートして35MeVが得られる。加速周波数は2450MHz、クライストロンは50kWcw4台を使用する。入射器のエネルギーは4.5MeVで、DAW構造の長さ2mのパンチャー加速管1台と同じ2mの予備加速管1台およびそれぞれに電力を送るクライストロン2台から構成されている。マイクロトロン本体

は4台の偏向電磁石、それぞれ両側のビーム径路に沿って設置された4 mの加速管2台およびクライストロン2台から構成されている。例えば4 mの加速管は70個の空洞から構成されているが、設置前の調整で各空洞に取り付けられたチューナーで周波数を調整し固定された。ビーム加速の際にはrf電力の発熱による寸法変化等に対して加速管の両端に設けたチューナーにより共振条件をあわせた。その結果入射器では4.5 MeV、本体の第1加速管では2.3 MeV、第2加速管は3.2 MeV、1周した場合の目標の10 MeVが得られた。ビーム加速が容易に達成できたことはDAW構造では結合係数が非常に大きいことが大きなメリットになっている。

#### 4. DAW加速管の評価

DAW構造を他の加速管構造と比較し評価すると次のようになる。

	DAW	side-coupled, on axis	disk-loaded TW
結合係数	50%	~5%	—
シャント抵抗	◎	◎	○
真空	◎	○	○
冷却	◎	○	○
工作の容易さ	◎	○	◎
加速管長 (Sハント) 10m以上		1~2 m	5 m

最後にBBUとも関係がある加速電流の限界について述べよう。

NIKHEFのライナックで40 μsのパルス・ビームを用いてエネルギー幅の測定が行われた。

ピーク電流	エネルギー幅
10mA	0.3%
30mA	0.6%

ライナックではピーク電流10mA以上でビームの品質が低下することを示している。一方Mainzで現在2段目の180 MeVのマイクロトロンが働いているが、周回数52回で電流値は80 μAである。エネルギー幅は0.02%、エミッタンスは0.01 π mm·mradが得られている。加速管電流は80 μA × 52 = 4.2 mAである。BBU開始電流は加速管電流で考えてよい。室温マイクロトロンでは10mAまで大丈夫と考えてよい。ちなみにCEBAFの超伝導リサイクロトロンでは1mAを上限と考えている。

加速初期のエネルギーの低いビームのふるまいが最終的にビームの品質を左右すると考えられる。マイクロトロンやリサイクロトロンでは入射電流は加速電流の1/n (nは周回数) になっていることが高品質ビームが得られる理由である。

日大マイクロトロンではrf電力を増強すれば2mA、cw、20Aバンチビームが可能と考えている。