

加速管の冷却

東北大学核理研

小山田 正幸、栗原 亮、高橋 重伸

浦澤 茂一、鳥塚 賀治、次期計画WG

Abstract

It is very important to investigate the cooling system of the accelerating structure for our future plan. The new 1m long accelerating structure with 12 cooling pipes was made and tested. Temperature distribution was calculated using finite element method.

1. はじめに

近年、原子核物理および素粒子物理の進歩に伴って、High energy, High duty cycle の電子加速器の必要性が急速に高まってきた。この加速器を実現するため世界の有力な研究機関から、いくつかの方式が提案されている。なかでも従来の電子ライナックの性能を飛躍的に高め、これにパルス・ビーム・ストレッチャーを組み合わせて100% Duty のビームを得る案が有望視されている。このような電子ライナックは大電力のクライストロンを用いて効率良く電子を加速しようとするため、加速管の中での単位長さ当たりの電力損失が非常に大きくなっている。電子ライナックの性能を高く維持するために、加速管の冷却システムの重要性はますます大きくなってきた。かつて東北大学 300 MeV 電子ライナックの建設に際して、冷却システムの検討がなされたが、それより1桁高い電力の加速管を設計するにあたり、冷却方式の慎重な検討が必要である。

2. 加速管冷却方式のいろいろ

冷却方式を大別すると、水冷銅パイプを加速管にロー付けする方法 (SLAC, MIT, NIKHEF, CEBAF等) と水ジャケットを加速管に被せる方法 (核理研、原研、電総研高エ研等) がある。前者のメリットは加速管製作後、周波数の調整が比較的容易であること。後者のメリットは加速管と水との接触面積が大きく取れることである。

3. 冷却テスト用加速管の試作

次期計画の加速管は大電力のマイクロ波が入力されるので、エージング後に周波数調整の必要性が高い。そこで我々は水冷管方式の加速管を試作して実際にマイクロ波を入れてテストを行った。第1図にこの加速管の外観を示した。加速管の型式は連続定勾配型で長さ1 m (3 1加速空洞+2結合空洞) である。ディスクの2 aのサイズは次期計画の加速管の最も細い部分に相当する。水冷管は12本で、1本おきの6本ずつ、2群に分けた。夫々のパイプ群は独立に前から後ろへ、または後ろから前へ自由に水の流れの方向を変えることが出来る。パイプと加速管の接触は前後端共、第3空洞の半ばからである。

4. テスト実験

今回の実験は300 MeV電子ライナックの4番目の加速管の所へ試作加速管を入れて、

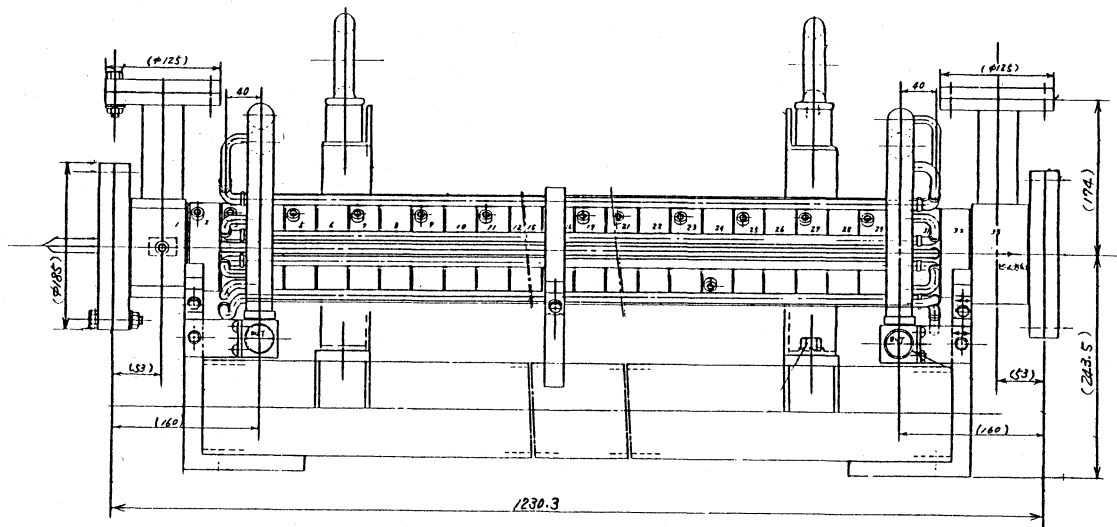
冷却水の流れは6本は前から後ろへ、残りの6本は後ろから前へ合計60l/mの水を流し、平均4kWのマイクロ波入力でおこなった。冷却水の温度は40°Cである。測定は分解能0.01°C 確度0.1°Cのサーミスタを20個用いた。測定結果を第2図に示す。下の方の実線はマイクロ波の入力の無い時で、両端の入力結合器で3°C温度が低くなっている。上の実線はマイクロ波を入れた時で第1空洞の温度が水温より13°C高くなった。中央部の温度上昇は1.4°Cであった。そこで入出力の結合器に対して水冷を行った結果、図の点線のようにかなり改善が見られた。

5. 計算

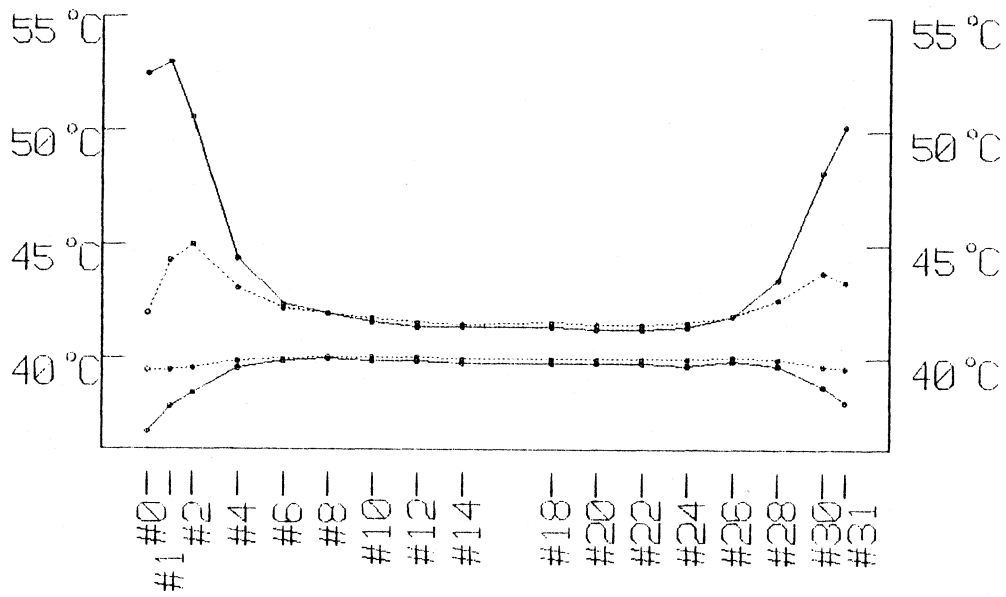
水冷パイプ方式の加速管の断面での温度分布を、有限要素法を用いて計算した。結果を第3図に示す。加速管でのマイクロ波の損失を1空洞当たり45Wとし、加速管内面で均一に熱を発生するとしてディスクの影響は無視した。図の1/8円周の加速管の等温度曲線は、水冷パイプが接触している面を基準にして最高温度迄を20等分したものである。サーミスタで温度を測定している部分は0.50°Cの上昇である。

6. 考察

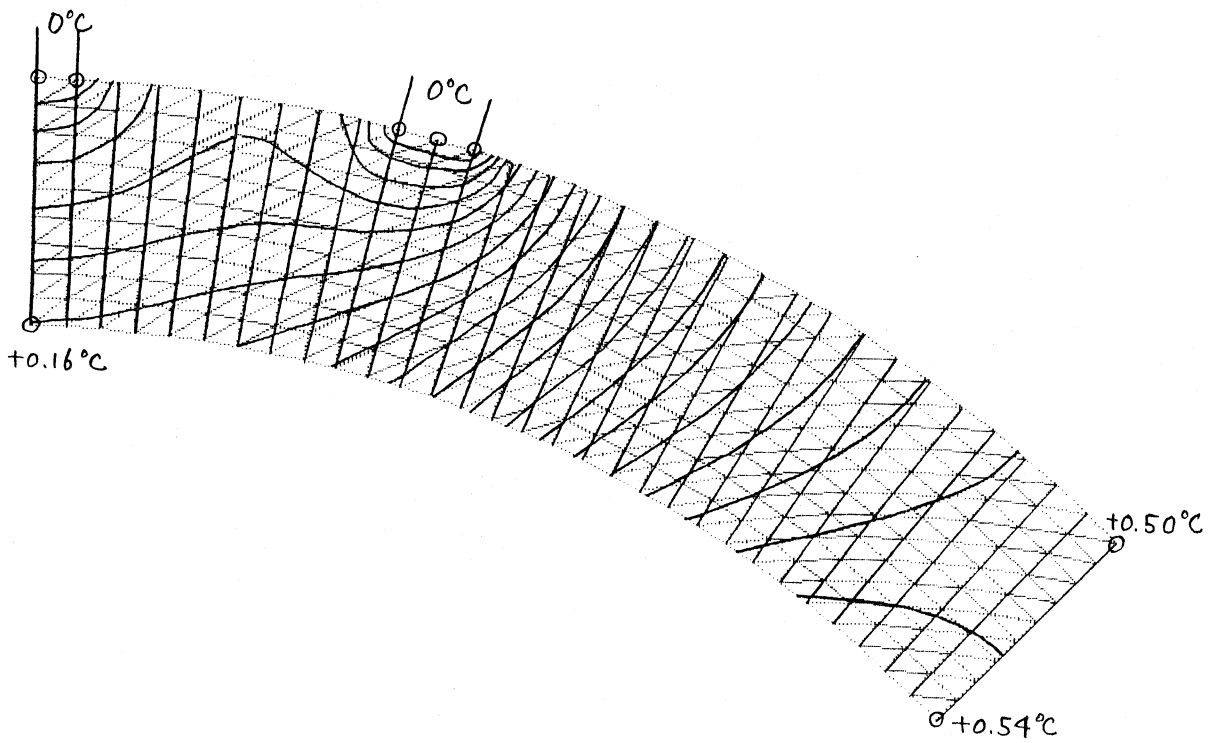
加速管中央部の温度上昇、1.4°Cの内容について考えてみる。水冷パイプから一番離れた部分の温度上昇は有限要素法での計算結果から0.5°C。水温の上昇による寄与が0.18°C。残りの0.7°Cがパイプ接触面と水との温度差になる。この値は3分割ストレートフィン水ジャケット方式の場合では0.2°Cなので、実効的に水との接触面積が3.5分の1に減ったことに相当する。次期計画の加速管では1空洞当たりのマイクロ波のロスが300W程度になるので事情は更に厳しい。供給水の温度を一定にする方法では加速管の温度を一定に保つことは不可能であり、加速管の温度を測定してフィードバックしなければならない。また測定結果は、結合器を含めて総ての空洞の冷却が不可欠であることを示している。



第1図 試作加速管の外観 12本の冷却パイプをロー付けした。



第2図 加速管軸方向の温度分布 マイクロ波入力のある場合とない場合



第3図 有限要素法による加速管断面の温度分布