

K.Satoh, T.Hattori and E.Arai

Nuclear Reactor Research Laboratory
Tokyo Institute of Technology

Abstract

The Tokyo Institute of Technology Heavy Ion Linac has started its regular operation in November 1984. This machine is designed for cw operation up to 100 kW. In order to achieve the design value of the RF input power we had to overcome many technical problems including the overheating of components in the accelerating cavity. Experiences of the cw operation are described in the present paper.

1. はじめに

東京工業大学のインターディジタルH型重イオン線型加速器は、1984年11月に完成して以来、C, O, Cl 等のイオンを核子当り2.4MeVに加速し、それらのビームを用いた核物理等の実験が行われている。図1に加速空洞内部の写真、表1に主なパラメーターを示す。加速エネルギー、シャントインピーダンス、ビーム透過率等の測定結果は、設計値を十分満足している。ref.1) しかし入力電力は設計値の cw-100 kW に対し運転開始初期には cw-8 Kw (pulse-60 kW) に過ぎず、パルス運転で加速される重イオンビームは不安定で非常に微弱であった。その後改善を重ね入力電力の上限は除々に上昇し、1986年2月には cw-55 kWに達した。より強いビーム強度を得るため、現在も改良を続けている。

以下に、入力電力の上昇の過程において生じた問題と、その対策、原因について報告する。

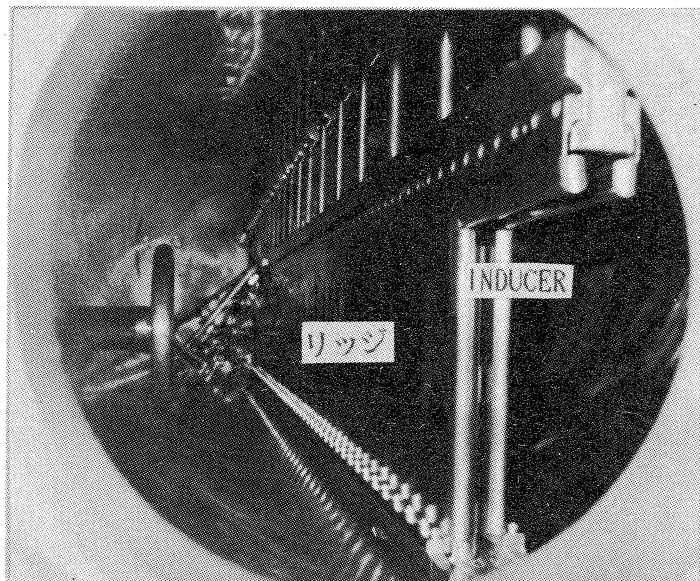


図1 空洞内部の写真（出射側より撮影）

表1 主なパラメーター

| | |
|---------------|---------------|
| 加速イオン | H-C l (可能な元素) |
| イオンの荷電数/質量数 | 1/4 以上 |
| 入射エネルギー | 0.24 MeV/u |
| 出射エネルギー | 2.4 MeV/u |
| ビーム透過率 | DCビームの 40 % |
| 実効シャントインピーダンス | 179 MΩ/m |
| 共振周波数 | 48 MHz |
| 最大入力電力 | 100 kW |
| 加速ギャップ数 | 44 |
| 空洞長、直径 | 7 m , 1.4 m |

2. 入力電力の推移

図2に、入力電力の上限値の推移を示す。各段階における、入力制限要因、加速イオン、及び対策は以下のようなものである。

1) 最大 8 kW

制限要因 - リッジを空洞に固定しているステンレス製のボルトの頭部が高周波の場にさらされていたため、タンク出射側の数本が赤熱する。(図1参照)

加速イオン - p:cw-5 kW、 $^{12}\text{C}^{4+}$ 、 $^{16}\text{O}^{5+}$ 、 $^{35}\text{Cl}^{9+}$:pulse(1/15)-50 kW

対策 - ボルトをステンレス製から鉄製に変更し、頭部に銅メッキを施す。

2) 最大 20-25 kW

制限要因 - 1)と同様の位置でボルト頭部が赤熱する。(ボルト頭部が出ていたため。)

加速イオン - p:cw-5-20 kW、 $^{16}\text{O}^{5+}$:pulse(1/3)-50 kW

対策 - ボルト頭部をざぐり穴に沈める。

3) 最大 35-40 kW

制限要因 - 空洞出射側のリッジと空洞の間の、ヘリコフレックスタイプ-RFコンタクトが、熱変形によりはみだす。

加速イオン - $^{16}\text{O}^{5+}$:cw-40 kW, pulse(1/2)-50 kW、 $^{35}\text{Cl}^{9+}$:pulse(1/2)-55 kW

対策 - RFコンタクトのつぶし圧を高くする。

4) 最大 55 kW

制限要因 - 空洞出射側のリッジの切りかき部(図1中にINDUCERと記す部分)が赤熱する。

加速イオン - $^{16}\text{O}^{5+}$:cw-50 kW

対策 - 冷却系の改良。

図3に、実機のシャントインピーダンス(Z_{sh})より計算した、入力電力(P)と加速イオンの荷電数と質量数の比(q/A)の関係を示す。ビームの透過率を考慮すると、加速安定位相(ϕ_s)は -30° 付近が望ましい。55 kWでは、 $q/A > 1/3$ のイオンが加速される。より q/A の小さなイオンが加速可能になれば、ビーム強度はさらに増加する。約80 kWで $q/A = 1/4$ のイオンの加速が可能になる。

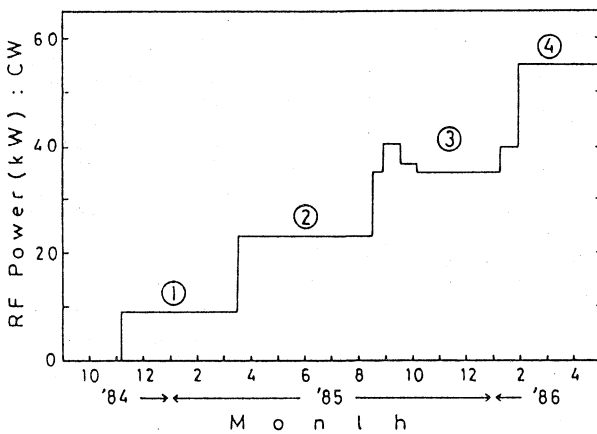


図2 入力電力の推移

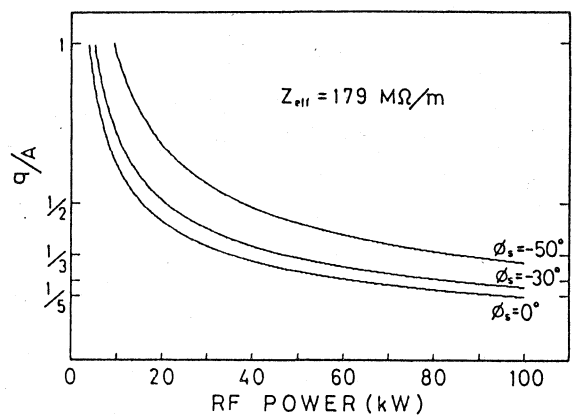


図3 入力電力と加速イオンの q/A

3. 空洞内構造物の過熱の原因

これまで入力電力の制限要因となってきたものは、主に空洞内構造物の過熱であった。問題の生じる箇所は、加速電界分布調整用の INDUCER 付近に集中している。その原因としては、以下のことが上げられる。

1) INDUCER の機能上の性質

INDUCER は空洞出射側の加速ギャップの電界を持ち上げるために、リッジを切りかきその部分に多くの磁束を引き込むものである。ref.2) そのため、この付近の構造物上の表面電流密度及び発熱は増大する。図4に、摂動法により測定した INDUCER 付近のリッジ表面の磁場の測定結果を示す。磁場の絶対値は、入力電力 50 kW を想定した値である。切りかきの端部の磁場は、空洞内の磁場の平均値のおよそ 5 倍となっている。

2) 冷却系の不備

INDUCER 付近の冷却系は、図5に示す通りである。リッジの側板は厚さ 3mm の無酸素銅板であり、裏側に冷却管が銀ろう付けされている。冷却水の流量は 12 l/min である。冷却管のターン部が銀ろう付けされていなかったため、リッジ切りかき部から冷却部までの距離が長く、大きな温度差を生じてしまう。

図5に、温度ペイントを用い測定したリッジ側板上の温度分布を示す。入力電力は60 kW である。銅の電気伝導度、熱伝導度は温度と共に悪化する。この非線形性のため、入力電力が増すと温度は加速的に上昇する。

4、冷却系の改善

既存の冷却系では安全に 55 kW 以上入力することは、ほぼ不可能である。そこで、リッジ切りかき部に新しく冷却管を設置することとし、7月現在工事を進めている。これにより 80 kW 入力が可能になる予定である。

5、まとめ

CW 運転での入力電力上昇の過程でいくつかの熱的問題が生じ、対症的な対策を施して来たが、今後は空洞内の電磁場を解析し、構造物上での過熱の原因を理論的に究明する予定である。

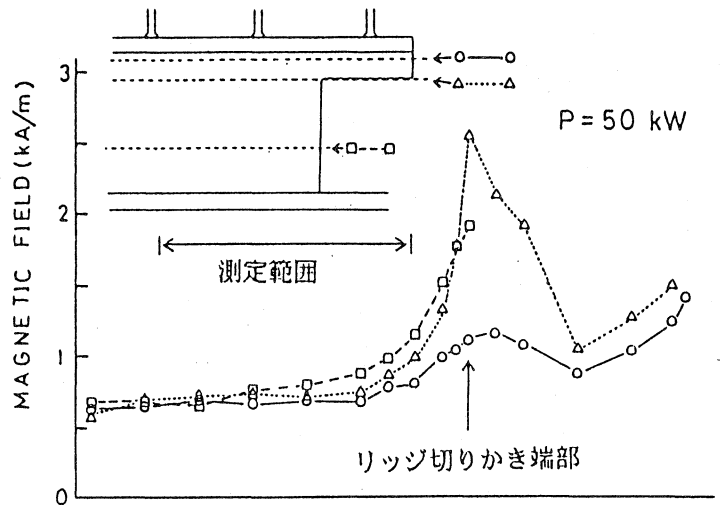


図4 リッジ切りかき部付近の磁場分布

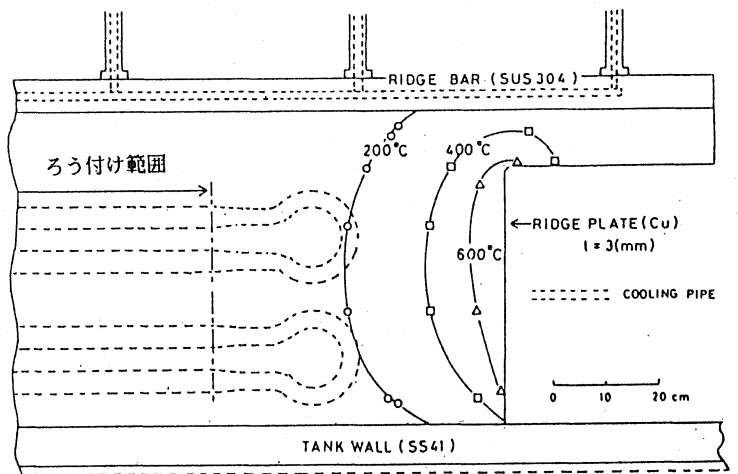


図5 リッジ切りかき部付近の冷却系及び 60 kW 入力時の温度分布

REFERENCES

- 1) T.Hattori, et al., Proc. 10th Meeting on Linear Acc. Tohoku Univ. (1985) 99
- 2) S.Yamada, et al., Proc. Int'l Ion Engineering Congress, Kyoto (1983) 635