

20-P24

## Proton Acceleration Test of New Deuteron IH Linac for PET

Toshiyuki HATTORI, Herman SCHUBERT<sup>1)</sup>, Haruhiko MORINAGA<sup>1)</sup>, Yoshiyuki OGURI, Dorin DUDU<sup>2)</sup>, Masahiro OKAMURA, Takashi ITOU, Seiji SEKI<sup>3)</sup>, Kouhei FURUNO<sup>4)</sup>, Yoshijirou SIDA<sup>5)</sup>, Takashi FUJISAWA<sup>6)</sup>, E. IVANOF<sup>2)</sup>, V. ZORAN<sup>2)</sup>, G. Pascovici<sup>2)</sup>, Takashi NAKAMURA, Masashi OKADA and Shinichi YAMAKI<sup>7)</sup>

Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology,  
2-12-1 Oh-okayama, Meguro-Ku, Tokyo, 152 Japan

- 1) Technischen Universitat Munchen
- 2) Institute for Atomic Physics, Rumania
- 3) Nihon Shinkuu, Ltd.
- 4) Tandem Accelerator Center University of Tsukuba
- 5) Institute for Nuclear Study, University of Tokyo
- 6) Denki kogyou, Ltd.
- 7) Nihon Seikousyo, Ltd.

## ABSTRACT

We are studying IH type linear accelerator for application as international co-operative research. Acceleration of deuteron and triton by IH linac were planned for making of useful radio-isotopes. First plan is accelerate deuteron to 3.2 MeV by an IH linac for PET ( Positron-Emission Tomograph ). The linac was designed to accelerate deuteron from 0.2 MeV to 3.2 MeV by T.U.M. and T.I.T. And the accelerator cavity was constructed in Rumania. Beam acceleration test stand is under construction at Research Laboratory for Nuclear Reactors, Tokyo Institute of Technology in Japann. 2nd plan is accelerate triton to 7 MeV by two IH linacs at Institute for Atomic Physics in Rumania.

## PET用重陽子専用IH型線形加速器の陽子加速試験

## 1. はじめに

格段に加速電力効率が優れた、IH型線形加速器の基礎研究から高、中エネルギー領域のイオン加速が、ドイツ及び日本で成功し、基礎研究用のIH型イオン線形加速器がほぼ完成した<sup>1-3)</sup>。これら基礎研究用で大電流加速が可能なIH型線形加速器の医療用や半導体生産用など民生用のための小型で信頼性の高い実用機に発展させることを研究目的としている。

実用型線形加速器の象徴として医療用有用放射性同位元素生成用重陽子、3重陽子加速専用の実用IH型線形加速器を設計、製作し加速特性テストを行い、実用機を完成させることを考え日欧の共同研究を行って

いる。7 MeV 3重陽子加速はルーマニア原子物理研究所で加速テストを行うことになっている。

一方O<sup>16</sup>等のPET用アイソトプ生産のための3.2 MeV重陽子を加速するIH型線形加速器を計画した<sup>4)</sup>。加速空洞はミュンヘン工科大学が設計し、ルーマニア原子物理研究所と共同でルーマニアで製作して93年秋に日本に輸送した。加速空洞の諸電磁特性テスト、電圧分布調整を完了し、東京工業大学原子炉工学研究所の重イオン加速器システムの加速設備を利用して、イオン源、高周波電源をはじめとするビーム加速特性試験装置の整備を行い加速テストを行った。以下にその結果について報告する。

### 1. IH型線形加速空洞の設計、製作と高周波特性テスト

軌道の収束は加速空洞に入る前のパンチャーとアイソケルレンズのみで、線形加速器中のドリフトチューブの位相を変えることで行い、APF収束を駆使することで3.2 MeVまで安定に加速できることが計算された。又入、出射の比が16倍と非常に大きいことより加速空洞のタンク直径を3段階に分ける事で、電圧分布の平坦化を行った。タンク径を決定する為の基礎データはトリトン加速用IH線形加速器

Table-1

Design Parameters of Deuteron IH Linac

Charge-to-Mass Ratio	≥1/2
Energy Input (MeV/u)	0.1
Output (MeV/u)	1.6
Cavity Inner D. (cm)	56, 64, 70
L. (cm)	189
Wall thickness (mm)	5
Frame thickness (mm)	30
Number of Drifftubes	31
Stem thickness (mm)	30
Drifftube inner radius (mm)	12~22
thickness (mm)	4/5
Operation Frequency (MHz)	96
Synchronous Phase	~0°
Shunt Impedance (MΩ/m)	300
RF Power (wall loss)(kW)	14

の第2加速空洞のモデルテストの結果を使用した。

表-1に重陽子専用IH線形加速器のデザインパラメータを示す。

加速空洞とステム及びドリフトチューブはルーマニア、ブカレストのジェットエンジンメーカーTURBOMECHANIC社で製作した。加速空洞の直径は56、64、70cmの3段階として、5mm厚の一般鋼(ST52)で製作した。フランジ、リッジ部は30mm厚みの鋼材を溶接接合してある。

加速空洞内部は50μm以上硫酸銅メッキが施されている。メッキ槽の制限で直径70cmの空洞は2分割してメッキを施した。

ステム、ドリフトチューブは無酸素銅をフライスと旋盤加工で製作を行った。

完成した加速空洞は日本に空輸されて、原子炉工学研究所、原子科学実験室にセットされた。ドリフトチューブ、ステムを加速空洞リッジに結合後、4空洞を組み立てた。電場分布はパーターピングボール法で測定した。ドリフトチューブの直径、ギャップを調整することで、前後を除いてほぼ電圧一定分布に調整することができた。容量性チューナは160mm角銅製でストローク100mmで0.5MHz周波数調整可能である。全体調整後の共振周波数は約3kW投入時で103.4MHzで、Q値は16000で有った。

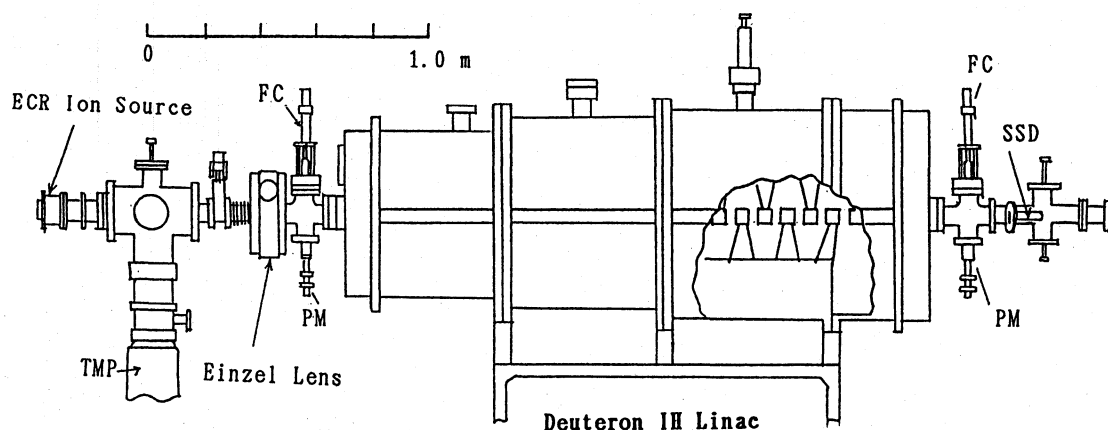


図-1 ビーム加速テスト装置の立面図

## 2. 加速テスト装置の設計、製作

加速テストは陽子で行うことで、イオン源は100 kV必要であり、100 kVの高圧ターミナルで電源が少なく済むコンパクトなECRイオン源を採用した。図-1にビーム加速テスト装置の立面図を示す。

高圧ターミナルで25 kVで加速された陽子はターミナル電圧75 kVでさらに加速される。ビームは3個のアルミナ絶縁管を5ギャップに分けた加速電極で収束加速される。加速されたイオンは分析せずに約70 cm輸送されIH線形加速器入射位置より約30 cmのインツェルレンズで収束されて加速空洞に入射される。入射前にビームのプロファイルモニターとファラデーカップモニターが設置されて、ビームのプロファイルと電流を測定する。加速後のビーム分析は半導体検出器でRBS法で行うことにした。

加速空洞の共振周波数が設計値の96 MHzに対して103 MHzと成ったため、高周波電源の特性を103 MHzに調整しなおした。その結果出力パワーはダミーロードで測定した結果約最大6 kWであった。高周波源から77 D同軸管で加速空洞にRFパワーを導入した。

4個の加速空洞はアルミワイヤーパッキングで結合し、真空と高周波コンタクトを兼ねている。加速空洞、イオン源をそれぞれ5201/sの分子ポンプで排気した。負荷が無い場合で加速空洞は $2 \times 10^{-6}$ 、イオン源は $6 \times 10^{-7}$  Torrであった。

加速空洞ドリフトチューブの軸上にイオン源及び入射系をセットして、各種装置の性能チェック後加速テスト装置を完成させた。

## 3. 予備陽子加速試験

100 kV加速管のエイジングの平易さのために、コンパクトECRイオン源のアノードの穴を0.5 mmとして数 $\mu$ Aに減らして加速テストを開始した。ECRイオン源の直流マイクロ波電源が故障したため、家庭用電子レンジの整流回路系を流用した。そのため平均100 W入力イオン源は50 Hzでデューティー10%のバル

スビームイオン源と成った。その結果加速空洞直前で平均電流は約0.3~0.5  $\mu$ Aであった。

入射直前の収束インツェルレンズの故障とイオン源、加速管の放電ノイズ等で加速後の電流測定が困難であった。しかし金薄膜をターゲットとして、RBS法によりSSD検出器で加速陽子のスペクトルを測定した。図-2に入力高周波電力が3 kW以下の時と3.3 kW以上の時のエネルギースペクトルを示す。このことから陽子がほぼ1.55 MeVに加速されていることがほぼ分かる。予備的結果として加速電力効率は337 M $\Omega$ /mであった。

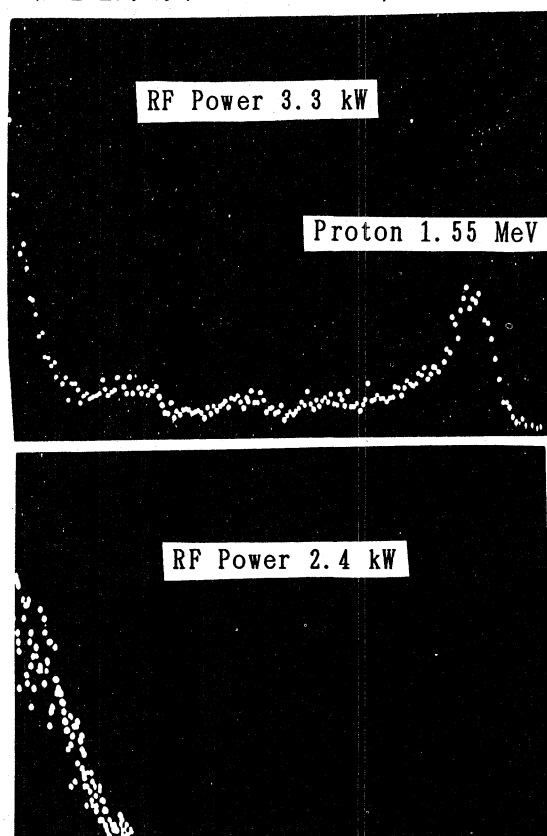


図-2 出射イオンのエネルギースペクトル

## REFERENCES

- 1) T.Hattori et al., Proc. 1986 Int. Conf. Linear Accelerator, (1986)377
- 2) T.Hattori et al., Proc. 1989 IEEE Part. Acc. Conf., CH2669-0(1989)944
- 3) U.Ratzinger, Proc. 1990 Int. Conf. Linear Accelerator, (1990)525
- 4) T.Hattori et al., Proc. 18th Linear Acce. Meeting in Japan 18(1993)38