

[07-P08]

Status of the RIB Linac at KEK-Tanashi

S. Arai, Y. Arakaki, A. Imanishi, K. Niki, M. Okada, Y. Takeda,
E. Tojyo, and M. Tomizawa

High Energy Accelerator Research Organization, Tanashi Branch
3-2-1 Midori-cho, Tanashi, Tokyo 188, Japan

A radioactive-ion-beam (RIB) linac at KEK-Tanashi has been operated to perform the pioneering studies such as nuclear astrophysics and to study the technical problems on the RIB facility. A radioactive beam, $^{19}\text{Ne}^{2+}$, has been accelerated for experiment of the $^{19}\text{Ne}(p,\gamma)^{20}\text{Na}$ reaction. At present, the radioactive beams, $^{18}\text{Ne}^{2+}$ and $^8\text{Li}^+$, are prepared for new experiments concerning the nuclear astrophysics. At the same time, R&D and improvements for the RIB linac have been performed through the linac operation. This linac facility will be shut down this fall. We are proposing to move the linac facility to the JAERI-Tokai tandem facility.

KEK 田無の短寿命核用リニアックの現状

1. はじめに

KEK 田無分室の短寿命核分離加速実験装置は大型ハドロン計画 E-アレナのプロトタイプとして加速器の R&D と短寿命核ビームによる開拓研究を推進するために建設された [1]。本施設は短寿命核を創るための SF サイクロトロン、必要な短寿命核だけを分離するための ISOL (Isotope Separator on Line)、それに短寿命核を加速するためのリニアックからできている。短寿命核はサイクロトロンの陽子ビーム (数 μA , 30 MeV) や He ビーム (数 μA , 70 MeV) を標的に当てて創られ、ECR イオン源や表面電離型イオン源でイオン化された後、ISOL で質量分離され、2 keV/u という低いエネルギーで重イオン・リニアックに入射され、加速される。短寿命核は大量に創る事が難しく大変貴重であるので、創られた短寿命核を効率良く利用するために、小さい価数のイオンを加速できる重イオン・リニアックが短寿命核用リニアックとして開発された。

現在、加速された短寿命核ビームは主に天体核物理の研究に使われている [2, 3]。この 1 年間にを行った加速器の改善や開発研究は、SCRFQ の高周波電源の安定化、自動位相制御システムの実用化 [4]、IH の四極電磁石の非対称励磁によるミスアライメ

ントの補償、SSD による軸方向エミッタンスの測定 [5]、磁場走査型横方向エミッタンス・モニターの磁石の設計・製作 [6] などである。

表 1 短寿命核用リニアックの主な仕様

	RFQ	IH	
Frequency (f)	25.5	51	MHz
Charge-to-mass ratio (q/A)	$\geq 1/30$	$\geq 1/10$	
Input energy (T_{in})	2	172	keV/u
Output energy (T_{out})	172	172-1053	keV/u
Normalized emittance (ϵ_n)	0.6π		mm \cdot mrad
Energy spread ($\Delta T/T$)*	1.03	≤ 2.8	%
Mass number (A)	≤ 100		
RIB intensity	10^7 - 10^{10}		atoms/s
Duty factor	30	100	%
Repetition rate	20-1000		Hz
Total length	8.6	5.6	m

* ΔT is defined by 2-rms of the spectrum containing 90% ions.

2. リニアックの概要

リニアックは 25.5 MHz の SCRFQ (Split Coaxial RFQ) と 51 MHz の IH (Interdigital-H) リニアック

から構成されている。長さ 8.6 m、直径 0.9 m の SCRFQ は荷電質量数比 (q/A) が 1/30 以上のイオンを 2 から 172 keV/u まで加速する。全長 5.6 m の IH は q/A が 1/10 以上のイオンを最高エネルギー 1.05 MeV/u まで加速する。SCRFQ からのビームの q/A が 1/10 以下の時には炭素箔膜で荷電変換し、 q/A を 1/10 以上にして IH リニアックで加速する。

SCRFQ は空洞とベーン電極に次のような特徴を持っている。1) ベーン電極をタンクの外で簡単に、精度良くアライメント出来るように、3 モジュール空洞をユニット化し、約 2.1 m 長の 4 本のベーン電極を支える 4 枚のステム・フランジを 12 本の支柱によって一体構造化した。2) ベーンの先端を加工する際、パンチ形成部分では三次元切削 (横方向の曲率半径 ρ_1 は軸に沿って変化している) を、加速部分では二次元切削 (ρ_1 は平均開口半径 r_0 に等しい) を採用した。3) どちらのベーン切削に於いても、 A_0 補正 (実際の加速電場がカプチンスキーとテプリアコフの二項電位関数によって与えられる加速電場と同じになるように、開口半径パラメータ a と変調パラメータ m を補正する) を行った。

IH リニアックは次のような特徴を持っている。

1) ビームのエネルギーを各空洞の RF 電圧と位相を調節する事によって連続的に変える事が出来る。2) 集束用四極電磁石を空洞タンク間に集中的に配置した、加速と集束の機能分離型リニアック (SDTL: Separated Function Drift-Tube Linac) である。各空洞の軸方向の電圧と電場分布は両端を除いて空洞全域に渡って平らで、加速位相は -25° である。軸方向のアクセプタンスと横方向の規格化アクセプタンスは、それぞれ 200π keV/u \cdot deg と 1.7π mm \cdot mrads である。これらの値は SCRFQ からのビームのエミッタンスの約 3 倍に相当する。

3. リニアック施設での研究

3.1. 進行中の物理実験

宇宙に於ける元素合成過程を調べるために、短寿命核を使った次のような天体核物理の実験が進められている。1) ^{19}Ne (p, γ) ^{20}Na 反応を調べる。この実験では ^{19}F (p, n) 反応を使って創られた半減期

17.2 秒の短寿命核ビーム $^{19}\text{Ne}^{2+}$ が使用される。準備実験で使用されたビーム強度はターゲット上で 5×10^6 atoms/s である。 ^{20}Na は半減期 0.45 秒である。2) ^{19}F ($p, 2n$) 反応を使って創られた半減期 1.67 秒の短寿命核ビーム $^{18}\text{Ne}^{9+}$ と陽子との共鳴散乱から、 ^{19}Na 核の陽子共鳴状態を調べる。3) ^6Li (α, n) ^{11}B 反応を調べる。この実験では ^7Li (d, p) 反応を使って創られた半減期 0.84 秒の短寿命核 $^6\text{Li}^+$ ビームが使用される。

3.2. 加速器の改善と開発研究

IH リニアックは四台の空洞とそれらの間に置かれた三連四極電磁石から構成されている。最初の四極電磁石のミスアライメントによるビーム偏向を補償するために、四極電磁石を非対称に励磁した。運転経験を通じてこの方式が有効である事が実証された。

RF 電源はフィードバック信号が出力電力からピックアップされる AGC (自動ゲインコントロール) と APC (自動位相コントロール) システムを持っている。数分間では、電圧変動は $\pm 0.25\%$ 以内で、位相変動は ± 0.2 から ± 0.4 度であった。しかし、数十分間では、空洞の温度変化による電圧変動や位相変動が大きくビームへの影響を無視する事が出来ない。そこで、空洞の共振周波数のずれを補償するために、パソコンで空洞の反射波が最小になるように自動制御されるピストンチューナーと、電源に内蔵された APC 以外に、空洞間の位相差を一定に保つようにパソコンで制御される位相コントロールシステムを実用化した。その結果、長時間に渡って短時間の安定度を維持できるようになった。更に、電源内蔵のフィードバック回路に空洞を含ませる改造も進めている。

ダブルスリット型エミッタンス・モニターは SCRFQ と IH の入口・出口に配置されている。このモニターの測定スピードは非常に遅く、一つのエミッタンス測定に約 30 分かかる。そこで、ダブルスリット型より約十倍速い磁場走査型モニターを開発している。軸方向のエミッタンスを測定するために、SSD (半導体) を使ったモニター・システムが

開発されている。軸方向の位相空間の中での粒子分布が粒子のエネルギーと RF と SSD 信号の時間差を測定する事によって求められる。

3. 移転計画

KEK 田無分室は平成 12 年度中には閉鎖される予定である。そこで、本リニアック施設の移転計画も現在の研究活動を維持発展させるためにいろいろ検討されて来た。昨年後半になり、KEK と原研との統合計画（大強度陽子加速器計画）の建設が予定されている原研東海研究所のタンデム施設に移転する案が急速に浮上し、両研究所の関係者を中心に具体的計画の詰めが進められている。図 1 にタンデム施設に移設した場合の加速器の配置図が示されている。この案には、将来我々のリニアックをタンデム施設の超伝導ブースター・リニアックに結合できる可能性が有り、実現すれば、短寿命核ビームのエネルギーを原子核のクーロン障壁を越えるエネルギーにまで加速できる。この考え方は E アレナへ

の転換の際にも成り立つもので、研究できる物理の範囲を大きく拡大することが出来る。

超伝導ブースターにつなぐためには幾つかの問題が有る。1) SCRFQ/IH リニアックの基本周波数は 25.5 MHz であるが、ブースターの周波数は 130 MHz である。それ故、SCRFQ と IH の周波数をそれぞれ 26 MHz と 52 MHz に変えなければならない。SCRFQ ではステム・ウインドウの窓の大きさの調整、IH とリバンチャーではドリフト・チューブの交換を必要とする。2) IH の出力ビームのエネルギーは最大 1.05 MeV/u であるが、ブースターの入射エネルギーは 3 MeV/u ぐらい必要である。それ故、1.05-3 MeV/u まで加速する IH2 を建設しなければならない。3) 現在の短寿命核リニアックの伝送効率は約 90% である。貴重な短寿命核を無駄にしないために、この高い伝送効率をブースターとつないだ後でも維持したい。そのためには、ブースターとの間のビーム・ダイナミクスを十分検討しなければならない。加速器技術的に見た場合、これらの問題は原理的には十分解決できると考えられる。

5. まとめ

リニアックの基本的な性能試験はほぼ完了し、その結果は予定通りの性能を示した。加速器の開発研究の面では十分な成果が得られたと思う。短寿命核ビームを使った物理実験の経験も蓄積され、これからその成果が出ると期待される。移転に際し研究活動が約 3 年間中断するが、将来的には今以上の施設ができ、研究活動も発展すると期待される。

参考文献

- [1] S. Arai *et al.*, Beam Test Results of the INS RFQ/IH Linac, Proc. of the 18th Int. Linac Conf., Geneva, 1996, p.575.
- [2] H. Miyatake *et al.*, 98 年 1 月分 SF サイクロトロン共同利用申込書、1997.
- [3] S. Kubono, H. Miyatake *et al.*, CNS-KEK 共同研究提案書、1999.
- [4] Y. Takeda *et al.*, these Proceedings.
- [5] K. Niki *et al.*, these Proceedings.
- [6] M. Okada *et al.*, these Proceedings.

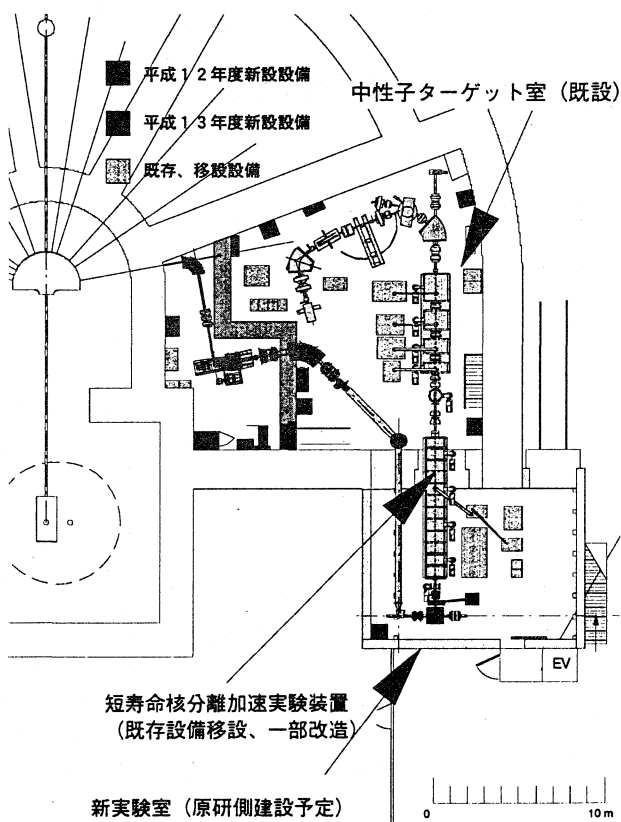


図 1 : 原研東海タンデム施設に設置された KEK 短寿命核用リニアック。