

Gap-voltage Calibration at INS IH-Linear

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

Institute For Nuclear Study, Univ. of Tokyo (INS)
3-2-1, Midori-cho, Tanashi-shi, Tokyo 188, Japan

ABSTRACT

First beam acceleration was performed at the Radioactive beam Facilities at INS. A IH-Lineac in this facility consists of four tanks. The energy of the accelerated beam is sensitive to the gap-voltage. Therefore it is very important that the gap-voltage is set to the design value. We obtained the relation between input rf power and the gap-voltage by the following methods. 1) a bead-pull measurement, 2) measurement of the X-ray energy spectrum, 3) the measurement of beam energy. Here we report the results of these measurement.

核研IHリニアックのギャップ電圧校正

はじめに

東大核研では、SFサイクロトロンによって加速された40 MeVのプロトンビームをターゲットにあてて、不安定核ビームを生成し、アイソールで分離し、60 mビームラインを経由して、リニアックによって、核子当たり約1 MeVまで加速し天体核反応やその他の物理実験を行う計画が進行中である。

不安定核ビーム加速用線形加速器施設において、今年の春、IHリニアックの最初のビーム加速テストが行われ、2.45GHz-ECRイオン源によって、生成された N^{2+} (質量電荷比1/7)を、予定どおりのエネルギーまで加速することに成功した。施設全体は、25.5MHz-SCRFQ、51MHz-IHリニアックとその間の荷電変換器とリバンチャーを含むマッチングセクションから構成されている。IHリニアックの主要なパラメータは表1に示す。RFパワーと位相は、タンク1～タンク4までそれぞれ独立に変えられるようになってる。

加速されたビームのエネルギーに対して、ギャップ間電圧が正確にデザインどおりかかっているかを調べるために摂動体を使った電場測定、IHにパワーを入れた時に発生するX線のエネルギーの測定、出射エネルギーの位相依存性の測定を行ったので、その結果について報告する。

表1 IHリニアックの主要パラメータ

	タンク1	タンク2	タンク3	タンク4
共振周波数 (MHz)	51	51	51	51
荷電質量比	$\geq 1/10$	$\geq 1/10$	$\geq 1/10$	$\geq 1/10$
シンクロナス位相 (deg)	-25	-25	-25	-25
タンク長 (m)	0.68	0.90	1.16	1.53
ボア径 (mm)	1.49	1.49	1.49	1.34
タンク径 (m)	20	24	28	32
ギャップ長 (mm)	29	37	45	53
ドリフトチューブ径 (mm)	38	44	46	52
セル数	9	10	11	12
デザインギャップ電圧 (kV)	200	255	315	370
加速エネルギー (MeV/u)	0.170~ 0.294	0.294~ 0.475	0.475~ 0.725	0.725~ 1.05

1. 摂動体を用いた方法

空洞に摂動体を入れていくと、発生している電場に応じて高周波の入力信号と出力信号の間に位相差が生じる。この測定により空洞のシャントインピーダンス Z_s がわかる。一方、ギャップ間電圧 V_g と Z_s との関係は、

$$Z_s = \frac{(\sum_i V_i)^2}{Pl} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、Pは入力電力、lはタンク長である。従って、入力電力が与えられれば、ギャップ間電圧を求めることができる。

2. X線のエネルギースペクトラム測定

空洞にパワーを入れるとその大きさに応じて、X線が発生する。その最大エネルギーは、ギャップ間にかかる電圧に等しい。測定のレイアウトを図1に示す。検出器はGeを使用し、測定の前に ^{57}Co (122.1keV), ^{137}Cs (661.7keV)の線源でエネルギーの校正を行った。X線のエネルギースペクトラムは、半導体検出器からの信号をアンプで増幅して約1000秒かけてコンピュータにデータを取り込んで、解析した。

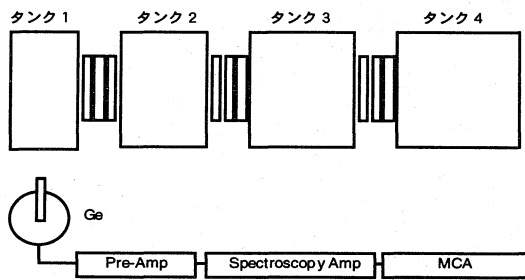


図1 X線エネルギー測定の設定アップ

3. 出射ビームエネルギー測定による校正法

加速ビームエネルギーは、IH下流にある偏向電磁石によってビームを曲げ、 ± 2 mmのスリットを通してそのカレントを見て測定した。計算で求めた出射エネルギーと位相の関係[1]から、エネルギーが最大なる所で、ギャップ電圧と出射エネルギーを多項式フィットし、その関係を求めた。その結果を図2に示す。そして、実測で出射エネルギーのピーク値を求め、この関係よりその時のギャップ電圧を推定した。

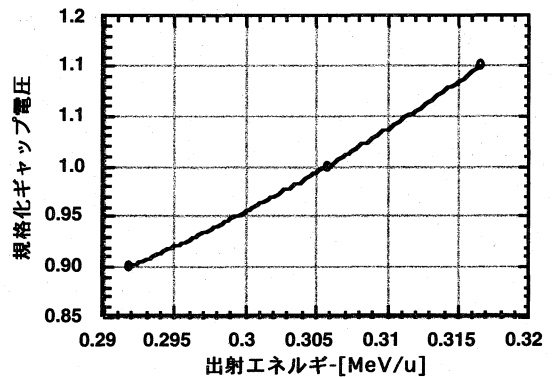
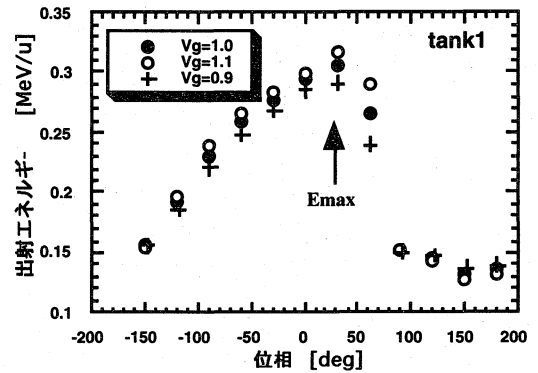


図2 上図が、シュミレーションによる位相と出射エネルギーの関係。下図は規格化ギャップ電圧(ギャップ電圧/デザインギャップ電圧)と出射エネルギーの関係。

4. 測定結果

シャントインピーダンスは、直径2.91mmのアルミ球を1.969mmのステップで動かし測定を行った。表2は、摂動体を用いた測定結果である。

表2 摂動体を使った測定結果

	Z_s [$M\Omega/m$]	P [kw]	V_g [kV]
タンク1	357	10.5	200
タンク2	378	15.5	255
タンク3	344	24.9	315
タンク4	274	39.5	370

図3は測定されたタンク1の典型的なX線エネルギースペクトラムである。タンク1からタンク4まで、それぞれ入力電力を変えてギャップ電圧を測定し、その関係をもとめた。表3は、デザインのギャップ電圧と求めた関係式から得られた入力電力を示す。

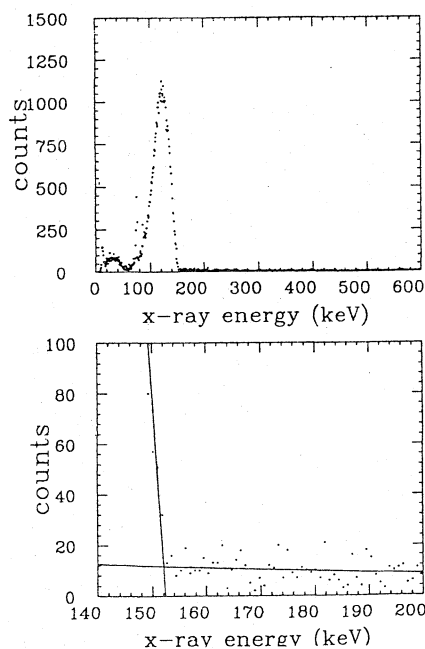


図3 X線エネルギースペクトラム。下図は、上図のエッジの部分の拡大図。

表3 X線エネルギー測定による結果

	$P[kw]$	$V_g[kV]$
タンク1	10.5	197
タンク2	15.5	241
タンク3	24.9	348
タンク4	39.5	389

次に、ビームのエネルギー測定と位相の関係からの得られた結果を表4に示す。タンク1の測定ではタンク1だけある入力パワーを入れ、他のタンクはパワーオフの状態にしておく。SCRFQ、リバンチャーのパワーと位相を一定に保ったままタンク1の位相を変えてその都度IH下流のアナライザーマグネットに出射エネルギーを測定した。以下同様に、タンク2からタンク4まで測定を行った。その典型としてタンク1の測定結果を図4に示す。

表4 ビームエネルギー測定による結果

	$E_{max} [MeV/u]$	$P[kw]$	$V_g[kV]$
タンク1	0.318	10.5	207
タンク2	0.489	15.5	255
タンク3	0.785	24.9	367
タンク4	1.069	39.5	317

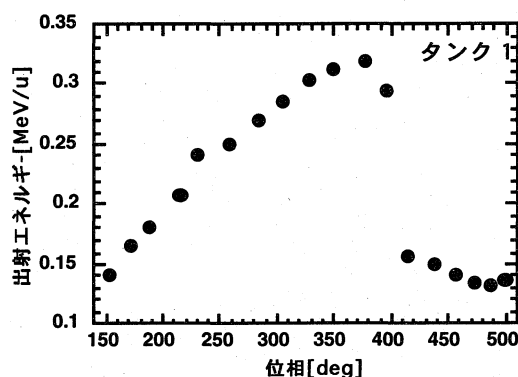


図4 出射エネルギーと位相の実測値

まとめ

摂動体を使った測定を基準にするとタンク1とタンク2はX線エネルギー測定による方法とビームエネルギー測定による方法で、5%以下の違いで一致した。タンク3、タンク4に関しては、あまり良い一致は得られなかった。特にタンク4では、エネルギー測定値に関するエラーが大きかったと思われる。今後、半導体検出器(SSD)を装着し、より正確なエネルギー測定を行う予定である。

参考

[1] M.Tomizawa, et. al, "Progress Report of the Interdigital-HLinac for Radioactive Nuclei at INS", Presented at the 5th European Particle Accelerator Conference, Barcelona, 10 to 14 June 1996.