

[P8-18]

RF Phase Control and Beam Stability for the KEK-Tanashi RIB Linac

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

High Energy Accelerator Research Organization, Tanashi Branch
Midori-cho 3-2-1, Tanashi-shi, Tokyo, 188-8501, Japan

ABSTRACT

The radioactive-ion beam (RIB) linac at KEK Tanashi consists of a 25.5MHz-split coaxial RFQ, a 25.5MHz-rebuncher and a 51MHz-interdigital H linac which has four cavities. It is very important to stabilize rf phases of these cavities in order to keep the output beam stable. A phase control system has been developed. In this system, the measured phase stability was ± 0.12 - 0.40 degree. The effect of the phase stability on the output energy and beam transmission efficiency has been examined. As a result, the output energy was sensitive to the phase deviation of the last operating tank. The transmission efficiency of the output beam was also very sensitive to the phase stability. These measurements show the phase control system we developed is very effective to stabilize the output beam.

KEK田無 短寿命核リニアックにおける 位相のコントロールと出力ビームの安定性

1.はじめに

高エネルギー加速器研究機構田無分室の不安定核
ビーム加速用リニアックは、Split Coaxial RFQ
(SCRFQ)、Rebuncher、4台のInterdigital H (IH1~4)
空洞で構成され、荷電対質量数比1/30までの核子
を2 keV/uから最高1 MeV/uまで加速することができ
る。

ビームを安定に加速するためには、各空洞間の位相
の安定性が重要である。しかし、実際の運転では、
冷却水、気温の温度変化などに伴って位相が変化
し、ビームに影響を与えるため、位相のふらつきを
できるだけ押さえる必要が生じる。我々は、ビーム
を安定に加速するため、空洞間の位相を制御するシ
ステムを開発し、位相の安定化を行った。さらに、
位相のふらつきやずれがビームエネルギー、強度に
与える影響を測定により確かめた。

2.位相コントロールシステム

このリニアックでは6台の空洞を使用しており、
各々の空洞の正規位相差に精度よく粒子を乗せ、加
速しなければならない。このためには、空洞間の高
周波の位相をできるだけ安定にする必要がある。
我々のシステムでは、高周波電源から空洞に供給さ
れた高周波電力は、ピックアップモニタにより検出
される。この信号を位相比較器 (phase comparator)
を使い、隣り合う空洞間の位相比較を行い、位相の
ふらつきを監視している。以前のシステムでは、高
周波電源内の位相調整器 (phase shifter) を外部から
制御していた。しかし、このシステムでは、フェイ
ズロックループ内で位相を変化させるため、長期間
の運転では、温度変化等によりフェイズロックが外
れる場合があった。今回、我々は、システムを見直
し、SGと高周波電源の途中で位相調整器を入れ、位
相を変化させることにした。そして、空洞間の位相

差を監視しているコンピューターが位相差を一定にするように位相調整器にフィードバックをかける。このシステムでは、高周波電源に入る高周波の位相を変化させており、前もってフェイズロックがかかる範囲内に高周波電源内の位相を設定しておくことでフェイズロックが外れる心配はない。また、位相調整器は外部制御電圧を高く設定しているため、外部電圧のノイズによるふらつきが最小限に抑えられ、安定した高周波出力が得られる構造となっている。制御スピードはコンパイルしたQuick-BASICで書かれたプログラムで最高0.2秒/6空洞である。

3.測定及び結果

3-1.位相の安定度の測定

位相制御システムを動作させ、各空洞間の位相差を示す位相比較器の出力をデジタルボルトメーターで読むことで、位相の安定度を測定した。図1に示すように安定度はSCRFQ-Rebuncher間で $\pm 0.12^\circ$ 、Rebuncher-IH1間は $\pm 0.2^\circ$ 、IH1-IH2間は $\pm 0.40^\circ$ 、IH2-IH3間は $\pm 0.32^\circ$ 、IH3-IH4間は $\pm 0.30^\circ$ となった。また、長期的な位相の変動もSCRFQ-Rebuncher間で $\pm 0.15^\circ$ と前件とさほど変わらないことが確認できた(図2)。

3-2.位相の安定度が加速エネルギーに与える影響

位相が不安定であるとその度合いに応じて加速エネルギーの幅も広がる可能性がある。位相の安定性が、加速エネルギーにどの程度、影響を与えるのか測定によって確かめた。まず、位相を空洞間の正規位相差を中心にランダムに振らつかせ、加速エネルギーの広がりを調べた。加速エネルギーはIH3までの加速の726 keV/uで行ない、加速エネルギーのスペクトラムはIH4下流約1.5 mに取り付けられたSSDによって測定した。測定は、各空洞間の位相をすべて $\pm 1^\circ$ 、 $\pm 2^\circ$ 、 $\pm 3^\circ$ 、 $\pm 5^\circ$ の範囲で振らつかせて通常時(位相を振らつかせない場合)とのスペクトラムの差を調べた(図3)。

この結果、位相のふらつきによるエネルギーの広がり、顕著に見られなかった。これは、正規の位相差を中心にランダムに位相を変化させたため、中心にエネルギーが集まってしまったせいだと考えられる。

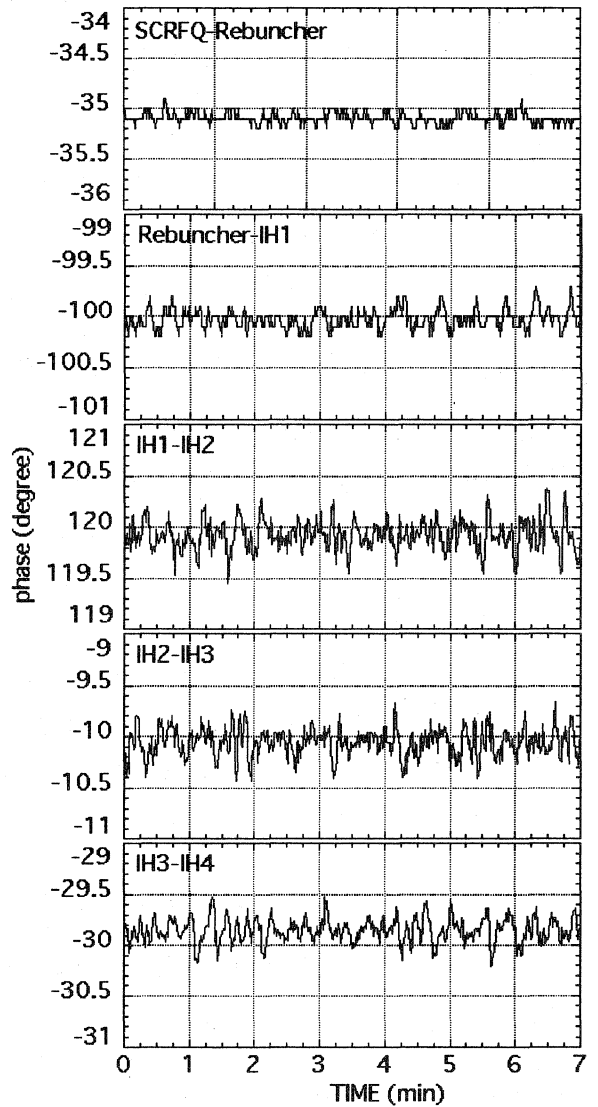


図1 システムを動作させた時の位相のふらつき

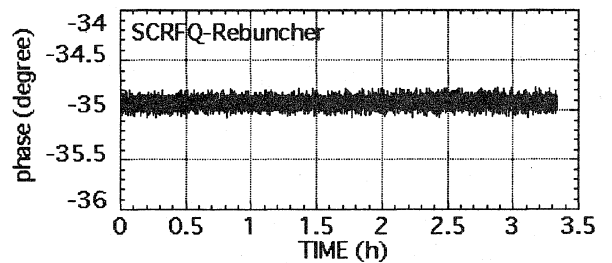


図2 長時間にわたる位相の変化

次に正規の位相差を完全にずらしてしまった場合に、加速エネルギーがどう変化するか調べた。測定はSCRFQ-Rebuncher間とIH2-IH3間の正規の位相差をそれぞれ $\pm 10^\circ$ と -10° ずらさせて行った(図4)。

この測定では、SCRFQ-Rebuncher間、IH2-IH3間の正規の位相差をずらした場合、共に明らかに加速エネルギーのピークが移動した。この測定から終段加速器であるIH2-IH3間の位相がずれた場合、6.55 keV/u/degreeのエネルギーのずれを生じることを確認した。

3-3. 位相のふらつきがビーム強度に与える影響

位相が不安定であるとその程度に応じてビーム強度がふらつく。位相のふらつきがどの程度、ビーム強度に影響を与えるかを測定により確かめた。測定はIH4直後に取り付けられているファラデーカップで強度を計測することで行い、全ての位相を $\pm 5^\circ$ にランダムに振った(図5)。位相のずれによる強度への影響は $\pm 10\%$ であった。これに対して、位相を制御した時の位相のふらつきは $\pm 2.5\%$ に激減した。

4. まとめ

測定の結果、ビームエネルギーの広がりに関しては、最終段として運転される空洞間の位相の安定度が一番影響することがわかった。また、位相のふらつきは、出力ビームの強度に著しく影響することがわかった。

今回、我々が開発した制御システムでの位相の安定度は、 $\pm 0.12 \sim \pm 0.40^\circ$ となった。また、ビーム強度への影響もイオン源などの他の要因のふらつきを考えるとこのシステムによる位相安定度は、満足のいくものであることが確認できた。

参考文献

Y.Takeda et.al., "RF control in the RNB Linac" proc. of the 23th Linear accelerator Meeting in Japan

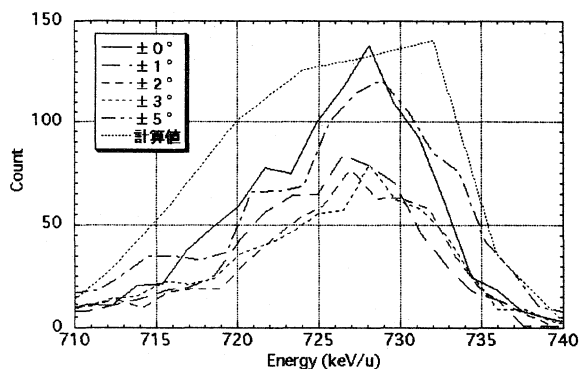


図3 空洞間の正規位相差を振らせた時の加速エネルギーの変化

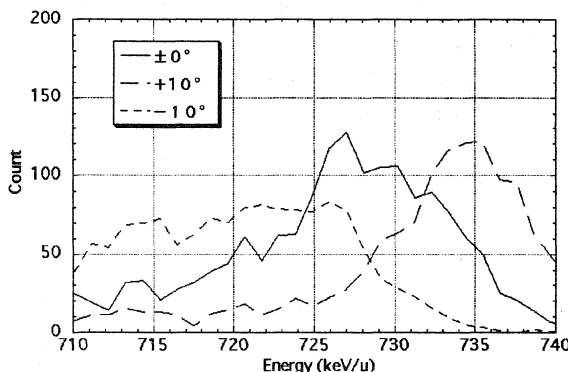
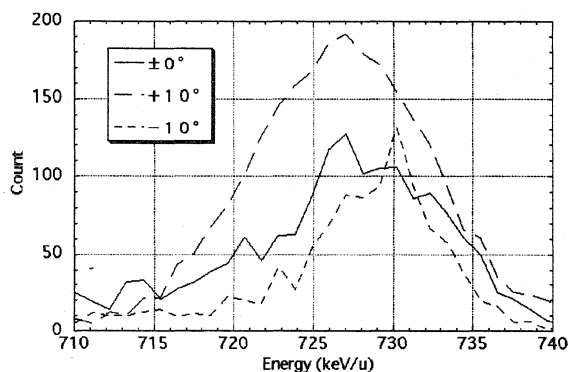


図4 空洞の正規位相差を完全にずらした場合の加速エネルギーの変化
(上:SCRFQ-Rebuncher間 下:IH3-IH4間)

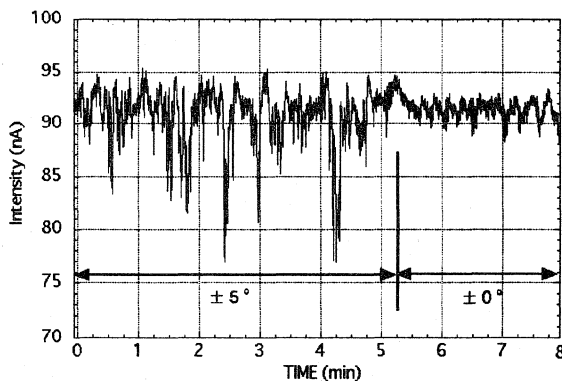


図5 位相のふらつきとビーム強度との関係