

# EFFECTS OF THE LINAC TUNING ON THE TRANSVERSAL MOTION OF PROTON BEAMS

Eiichi TAKASAKI, Zenei IGARASHI, Fujio NAITO, Kesao NANMO and Tateru TAKENAKA

High Energy Accelerator Research Organization, KEK  
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan

## ABSTRACT

The KEK-40MeV Proton linac has worked very well to supply beams to the 500MeV-Booster Synchrotron since 1985, at that time, upgrading from the accelerating energy of 20MeV to 40MeV had been completed. Recently, increase of a beam intensity of the 12GeV proton synchrotron is required for the experiment for a neutrino oscillation. So, it is very important to supply beams with the good quality and the high intensity from the Booster to the Main Ring. In particular, it is important how to inject beams ejected from the linac into the Booster. Therefore, we have improved a control system of the 40MeV Proton linac, the RF-sources for a prebuncher and a debuncher system and a beam monitor system. Otherwise, effects of tuning/controlling of the linac have been measured onto the transversal motion.

In this paper, we describe effects of a prebuncher-tuning and adjustment of the phase between two tanks on the transversal motion of beams and the field induced in the 40MeV-tank by a chopped beam, which would be used to paint a linac-beam onto the longitudinal phase-space at the injection of the Booster.

## Linac調整の横方向の運動への影響

### 1.はじめに

KEK-40MeV陽子Linacは、1976年以来、又、1985年40MeVにエネルギー増強完成後、順調に運転されている。最近、KEK-陽子加速器は、ニュートリノ振動実験のためのビーム強度の増強が要求され、主リング取り出し機器の新設及びビーム改善が行われている。一方、LINACグループでは、主リングビーム改善にはブースタから主リングへのビームの質を良くすることが重要であり、

そのためには、ブースタの入射方法並びにLINACのビーム特性の詳細な把握が重要であるという認識に立ち、40MeV-LINACの制御系の改善<sup>1)</sup>、プロリバンチャー系のRF源<sup>2)</sup>並びにデバンチャー系のRF源の更新<sup>3)</sup>及びLINAC周辺のビームモニター整備<sup>4)</sup>等を積極的に実施してきた。図1に、現在のLINAC周辺に設置されているビームモニターの種類と設置場所を示す。

他方、大型陽子加速器計画(JHF)では、ビーム損失が非常に少ない加速器系の建設が計画されている。200MeV陽子linac<sup>5)</sup>も当然その要求を満たさなければならない。

我々は、現PS-LINACで、linac調整過程でのビームの横方向の運動への影響を観察し、将来のLinac運転に役立てるつもりである。このレポートでは、特に、プロリバンチャー並びにタンク間の位相調整によるビームへの影響を述べる。また、将来計画では実施されるであろう choppedビームによるタンクの誘起fieldの測定結果を与える。

### 2.プロリバンチャーによる影響<sup>6)</sup>

通常、プロリバンチャーの調整は、供給電力と20MeVタンクの捕獲効率、プロリバンチャーと20MeVタンク間の許容位相範囲、20MeV加速後の運動量等の測定により、実施される。

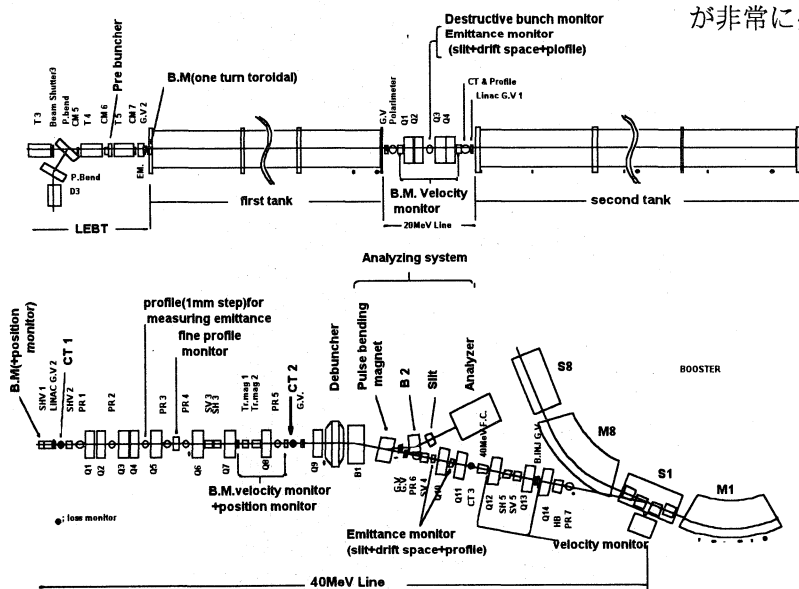


図1: KEK-40MeV-LINAC周辺のビームモニターの配置。  
B.M.と速度モニターが特にRF-tuningに重要である。

特に、20MeVタンの最上流（真空端板とRF端板間）に取り付けられているバンチ・モニターは、 $7^\circ$ リバンチャーの効果を実直接観測できる。図2に測定例を示す。供給電力約5.5kWで、200MHz成分の強さに変位点が見え、over-bunching過程（加速電圧=約20kV）に入ったことを示している。

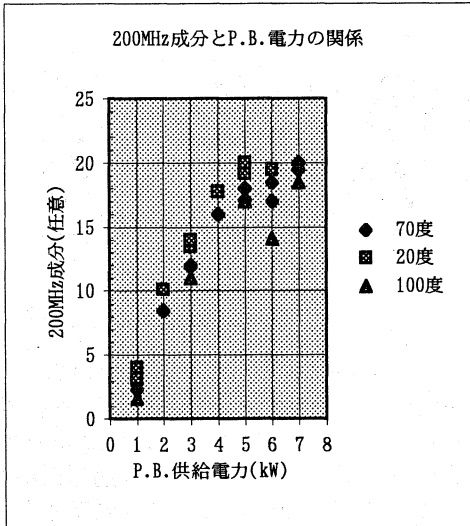


図2：バンチ・モニターによる $7^\circ$ リバンチャーの効果。

約5.5kWの変位点は、 $7^\circ$ リバンチャー系のover-bunching過程への通過電力に対応している。

$7^\circ$ リバンチャーの調整は、縦方向のビームの特性を変えることは言うまでもないが、横方向の運動にも微妙な影響を与える。 $7^\circ$ リバンチャーへの供給電力を増やすと、約4kWまでタング入口でのH-方向のエミッタンスが大きく変化する。バンチング過程（ $7^\circ$ リバンチャーとタンク間）でのH/V-方向の $\beta$ -関数の違いによる空間電荷力の差によると考えられる。その差は、20MeV加速後、更に拡大される。20MeVタンク下流にあるエミッタンス・モニターで、更に詳細に調査すると、 $7^\circ$ リバンチャー供給電力が4kW以上では、V-方向の位相空間内の粒子分布並びに位相空間の外側（裾野）の変化が観測される。しかし、H-方向のエミッタンスでのこの変化は小さい。

$7^\circ$ リバンチャーとタンク間の位相又は入射エネルギーの変化（縦方向のアクセル内の入射点の変化）は、V-方向のエミッタンスにのみ同様の変化をもたらす。図3に $7^\circ$ リバンチャー供給電力の違いによるエミッタンス（V-方向）の変化例を示す。

### 3. タング間位相調整による横方向の運動への影響<sup>7)</sup>

KEK-陽子Linacでは、昔から、タング励振電力を変えると加速直後のビーム位置が変動することが観測されている。

図1に示すように、40MeVラインには、位置モニター（ポタ型）が取り付けられている。40MeVタンク直後（P1）とQ8下流47cm（P3）の位置モニターを使用し、40MeVタングの捕獲許容位相範囲内でタング間の位相を変え（加速エネルギーの変化も意味する）、位置の変動を測定した。図4に測定結果を与える。

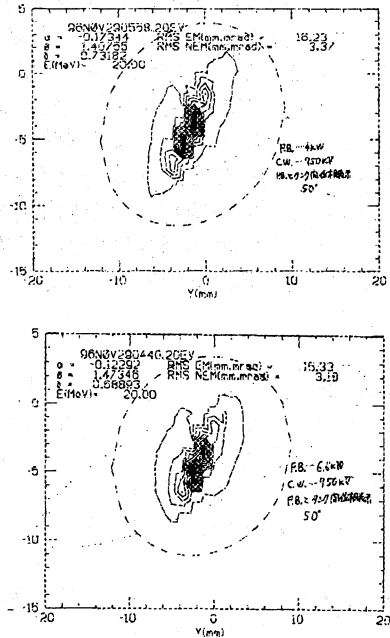


図3： $7^\circ$ リバンチャー供給電力の違いによるV-方向エミッタンスの変化。

条件；入射エネルギー=750kV、位相調整済み。上図；約4kW（加速電圧=約17kV）、下図；約6.6kW（加速電圧=約22kV）である。rmsエミッタンスはほぼ同じであるが、位相空間内の粒子分布並びに裾野に $7^\circ$ リバンチャー供給電力（運動量の拡がり、タンク入射後の空間電荷力の差）の影響が見える。

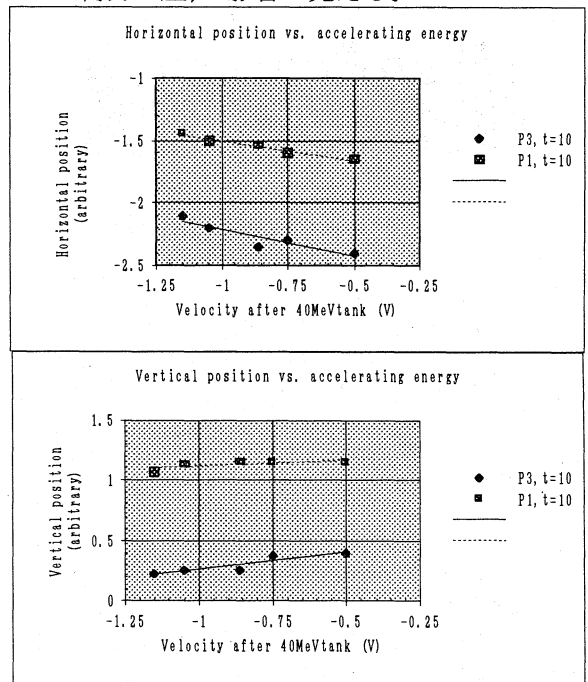


図4：タング加速後のエネルギーとビーム位置の変動。

測定点間のtransfer matrixの計算無しでも、40MeVタンク直後のビームは、H-方向には $\eta$  ( $\eta'$ は不明)、V-方向には $\eta'$ を持っているように見える。40MeVラインの調整の難しさを示す。

このような分散関数の発生は、入射ビームの6次元位相空間への入射誤差によると考えられる。ミックス増加の要因である。ビームにとっては、横方向の入射誤差は、ドリフトチューブの据え付け誤差(Q-mag.並びに加速電場のR-方向の変化)により避けられない。如何に誤差を小さく出来るかが問題となる。縦方向の入射誤差は、LINACの場合、加速電場分布の設計値からのズレ(タック製作時の精度並びに分布調整)、加速電場の強さと位相調整(RF源である程度調整可能)で決定される。

4. chopped-beam<sup>8)</sup>により誘起されるfield<sup>9)</sup>  
 将来計画(JHF)の200MeV Linacでは、chopped-long pulse-high intensity beamが、ビーム損失 $10^{-3}$ 以下で加速される。当然、Linacは多くのタックで構成され、色々なresonance-modeで且つ異なった周波数を持つと思われる。

chopped-beamは、ビーム自身が励振周波数並びに高次の周波数の周辺に色々な周波数成分を持っている。図5に、chopped-beamの高調波成分の分布例を示す。

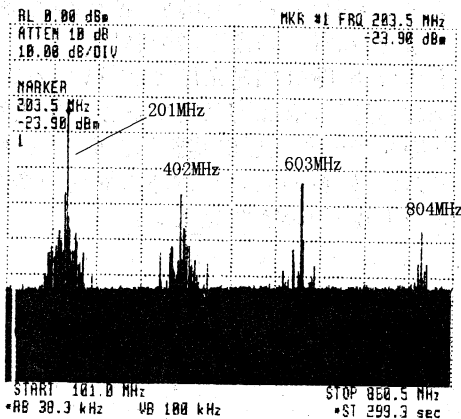


図5 : choppedビームの高調波成分。  
 モーター、ケーブルの特性を補償していないので、周波数成分のみを見る。nominalビームより非常に多くの成分がある。この成分とタックの共振モードとの結合によるビーム運動への影響が懸念される。更に、3.で述べた入射誤差が存在する。加速電場(TM01-like)の高次モードは、第一近似として、ビームのタック通過中に平均化が行われ、加速特性には大きな影響を与えないと考えられる。しかし、1次は位相変化として影響する。そこで、ビーム強度は8mAと弱い、40MeVタック(post-stabilizer付き)に誘起されるfieldを調査した。field測定用モーターは、モーターの設置理由(タック内の加速電場の分布測定用)から、TM01n-likeなmodeとの結合が強い。  
 タックに誘起されるfieldは、chopping周波数を変えて、測定された。観測された周波数(モード)は、40MeVタックでは198.8MHz(post-2), 199.9MHz(post-1), 202.6MHz(TM011)であり、20MeVタックでは202.7MHz(TM013)であった。モードの同定は、タック軸

に沿ったfield分布の測定により行われた。測定例を図6に示す。測定された誘起fieldの強さは、励振周波数(201.06MHz)の強さより約-50dB小さいが、choppedビームの形成方法に強く従属する。

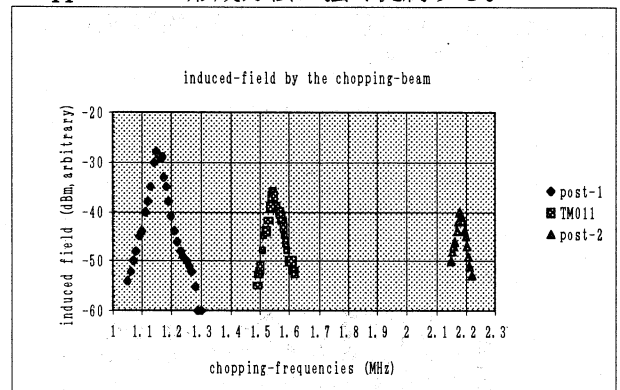


図6 : chopping周波数を変えて、40MeVタックに誘起されたfield.

各成分の強さは、choppedビーム形成過程に関係している。KEKでは、chopping周波数2.2MHz近傍で運転される。各誘起fieldのモードはタック内のfield分布により同定された。今夏、加速電場以外のモードを調べるため、新たに40MeVタックに、アンテナを取り付ける予定である。

参考文献

- 1) E.Kadokura et al.: Proc. 20th Linear Accelerator Meeting in Japan, Osaka, 1995, p.215.
- 2) K.Nigorikawa et al.: Proc. 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, 1997, to be published.
- 3) K.Nanmo et al.: Proc. 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, 1997, to be published.
- 4) T.Takenaka et al.: Proc. 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, 1997, to be published.
- 5) Z.Igarashi et al.: Proc. 21st Linear Accelerator Meeting in Japan, Tokyo, 1996, p.195.
- 6) Z.Igarashi et al.: Proc. 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan, Sendai, 1997, to be published.
- 7) Z.Igarashi et al.: Proc. 28th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tsukuba, 1993, p.123.
- 8) T.Kato : KEK Report 96-17.
- 9) T.Kato : KEK Report 91-10.
- 10) E.Takasaki et al.: SR-357, 374, 377, 382.
- 11) E.Takasaki et al.: SR-388.
- 12) 神籬氏のPH.D.並びにその引用文献
- 13) E.Takasaki et al.: SR-379, 385, 405.