

話 題

やっと越えた Transition Energy

家入 孝夫*

Transition Energy, It Was a Hard Barrier!

Takao IEIRI*

長年高工研に勤めていると、いろいろなデータや資料、写真などがたまってくる。その中で、私にとって捨てるに捨てられない一枚の貴重な写真がある。その写真は、F. M. Gardner の“Phaselock Techniques”という本の裏表紙に貼られている。写真(図1)は少しハレーションがかかり、もやもやとして不鮮明であるが、よく見るとパルス的な波形に山のようなものが見える。写真を撮った日付は1976年3月4日午前3時頃となっている。この日がKEK-PSにとって記念すべき日となった。

KEK-PSの主リングは、ブースターから入射された0.5 GeVビームを12 GeV(8 GeV)まで加速する陽子シンクロトロンである。バンチしたビームは、加速電圧のサイン波のある位相に乗ってリングを周回している。バンチ内にある多くの粒子で、運動量が少しずれた粒子は到達時間差、又は位相差となって表われる。このエネルギーゲインのわずかな違いが収束力となって、粒子を安定位相角に戻すことができる。これが位相安定原理で、(1)式で表される。しかし、ビームのエネルギーが上がるに伴って、(1)式の比例係数がゼロになってしまう。これをTransition Energyという。主リングのTransition Energyは、5.4 GeVである。ここでは位相安定原理が成り立たない極めて危険な場所である。Transitionを越すためには、加速周波数を精密に制御しなければならない。さらに、Transition Energyの前後で(1)式の係数の符号が変わるため、Transitionで加速電圧の安定位相角をシフトさせなければならない。

$$\frac{\Delta T}{T} = \left(\alpha - \frac{1}{\gamma^2} \right) \frac{\Delta p}{p} = \eta \frac{\Delta p}{p} \quad (1)$$

ここで、 α はモーメントムコンパクション、 γ はロー

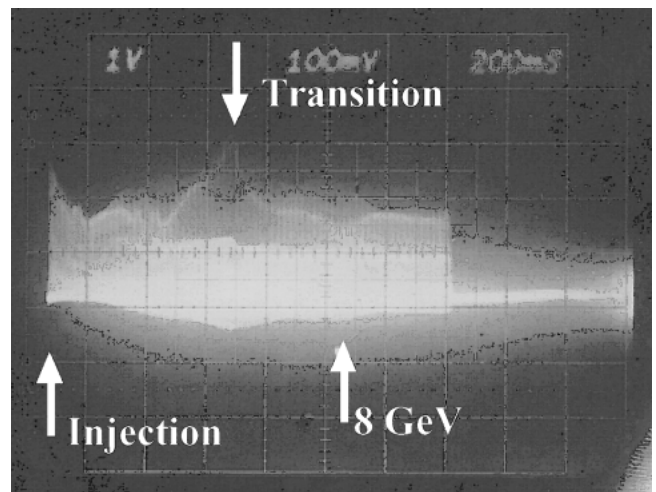


図1 主リング入射から8 GeVトップエネルギーまで到達したビーム信号。縦軸：速いビーム強度モニターで得たビームパルスの包絡線、横軸：入射からの時間、200 ms/div. 速いビーム強度モニターはバンチ波形を見ることができるので、バンチ長によって観測されるビームパルスの波高値が変わる。Transition付近でバンチ長が非常に短くなるため、波高値が高くなる。写真では、入射から600 ms付近で最も波高値が高くなっている、これがTransition。8 GeVに到達したビーム強度は 2×10^{10} ppp程度であった。

レンツ因子、 p ビームは運動量、 T は周回時間を表す。

主リングへの入射は1975年11月頃から始まった。始めは、加速なしの入射テストで、12月からいよいよ加速テストが始まった。加速テストは12月26日まで続けられたが、加速開始から4 GeVぐらまでしかビームを加速できなかった¹⁾。年末の打合わせでは、重苦しい雰囲気があったように感じた。目標とするエネルギーまで加速させるには、ビー

* 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 KEK, Accelerator Laboratory
(E-mail: ieirit@post.kek.jp)

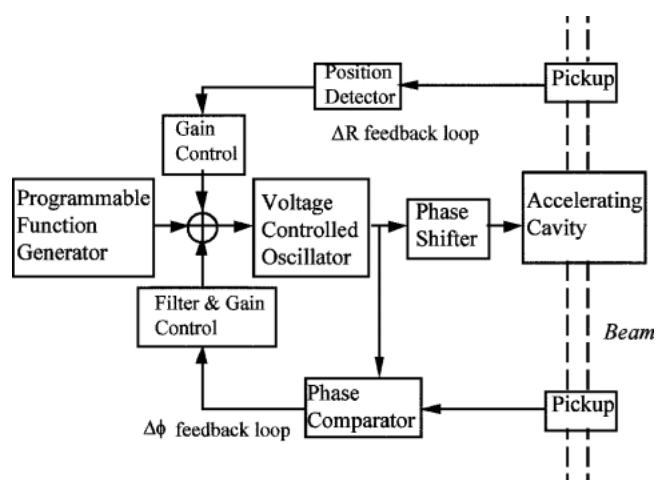


図2 当時の Low-Level RF System の概略図

ムフィードバックコントロールを整備しなければ無理であると言われた。

当時のローレベル RF システムは図2のようになっていたと思う。周波数制御は、当時としては斬新な計算機プログラムで制御されていた。ビームフィードバックコントロールとして、ビーム水平軌道信号 (ΔR feedback) とビームと RF との位相差信号 ($\Delta\phi$ feedback) が電圧制御型発振器 (VCO) に入力されていた。 ΔR フィードバックは加速周波数のゆっくりした変化を、 $\Delta\phi$ フィードバックは周波数の速い変化を補正する役割を担っていた。 ΔR フィードバックはうまく働いていたが、 Phase-Lock の方には問題があった。私の手作りの回路は不安定で、少しゲインを上げると Lock がはずれてしまう代物であった。翌年1月13日から運転が再開されたものの、依然として加速はうまくいかなかった。加えて、前段加速器にトラブルが発生し、2週間程加速器の運転ができない状態になってしまった。このトラブルは私にとってかえって幸いとなり、この期間実験室で Phase-Lock 回路をゆ

っくり調整することができた。運転再開後、ビームを Transition 手前まで加速することができた。3月3日(水)から始まったビーム加速テストでは、たまたま ΔR フィードバックが不調であったので、加速周波数のビーム制御は Phase-Lock のみであった。 Phase-Lock のゲインを変えるつまみを回していると、ビームがすすると Transition を越えていくのが見えた。当時、RF 制御は M4 という狭い部屋で行われていたが、中央コントロール室でもビーム加速が確認された。3月4日午前0時32分のことであった²⁾。その後、 ΔR フィードバックも直って軌道変位が小さくなり、安定に加速できるようになった。

3月4日の加速成功によって、 KEK-PS も高エネルギー加速器の仲間に入ることができ、高エネルギー物理学研究所は晴れて開所式をむかえることができた。しかし、加速に成功したものの、 Phase-Lock に問題を抱えていたため、私の心は晴れなかった。当時、加速は不安定で、 Transition でビームを失う割合は、全サイクルの5%もあった³⁾。その後、ビーム信号検出処理を含めた Phase-Lock 回路は武藤さんたちによって整備改良され、安定に加速できるようになった。

最後に、当時からいろいろと御指導して頂きました竹田繁・高エネルギー加速器研究機構名誉教授、水町芳彦・高エネルギー加速器研究機構名誉教授にこの場を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Operations Log Book, No. 1, May 21, 1975–Feb. 2, 1976.
- 2) Operations Log Book, No. 2, Feb. 19, 1976–July 17, 1976.
- 3) Y. Mizumachi and T. Ieiri, Accelerator Study Note, ASN-4, July 5, 1976.