

## Status of the KEK 12GeV-PS

H. Sato

High Energy Accelerator Research Organization  
Accelerator Laboratory  
1-1 Oho Tsukuba-shi Ibaraki-ken, 305-0045, Japan

### Abstract

The KEK 12GeV-PS is scheduled of the shut down on the summer 2005 with the J-PRAC construction. However, in order to dedicate the long-baseline neutrino oscillation experiment, intensity upgrade has been successfully running since April 1999 and achieved the intensity more than designed value. For NML utilities, the beam intensity reach as new record. Several accelerator studies is now in progress and fruitful results have been generated. On the other hand, some of accelerator equipments are highly radiated, especially the injection and the extraction equipments. Then, the circumference of the maintenance work has become severe. Further, almost equipments have deteriorated. Status of the operation and maintenance of the KEK 12GeV-PS are presented.

## 高エ研12GeV-PSの現状

### 1. はじめに

KEK-12GeV PSはJ-PARC加速器の建設に伴いシャットダウンという予定であるが、現在ビーム強度、ビーム質とも設計値をはるかに超える最高性能を出している。一方で機器の老朽化に伴う故障も多く、スタッフはJ-PARC建設協力と平行しつつ、限られた予算と人員の元で献身的に保守運転業務を行っている。こうしたことを踏まえての運転と保守維持の現状を報告する。

### 2. 運転の状況

長基線ニュートリノ振動実験（K2K実験）が始まった1999年以前の運転は、コンディショニングが必要な前段加速器の保守スケジュールに合わせて2、3週間毎に短期日のシャットダウンを設けていた。しかし、K2K実験が本格化して以降、できるだけ実験にビームを供給すべく連続して運転を行うようになっている。前段加速器については1号機のコンディショニング中に2号機を用いてビームを連続して供給するようにしている。1年間の運転のうち、約75%がK2K実験用として速い取り出しを行っている。後の25%程度を遅い取り出しビームを用いた実験とインターナルターゲットからの2次粒子を利用した実験が行われている。継続的に行われたスタディの成果により、最大ビーム強度 $8 \times 10^{12}$ ppbを凌駕した。平均で $6.5 \times 10^{12}$ ppbのビーム強度で供給し、K2K実験に関しては当初予定した $1.0 \times 10^{20}$ の陽子数（on target）をほぼ満足するビーム供給ができてい

る。ブースターでのビーム強度も向上し、2004年1月には瞬間最大 $3 \times 10^{12}$ ppbを記録した。平均ビーム強度では $2.5 \times 10^{12}$ ppb程度で運転されている。

このような高強度ビームの長期連続運転にあたっては、ビームロスを抑制しよい加速効率を維持した

運転を継続するため、週1回定期的にチューニングをしながらの運転スケジュールを組むようになっている。もちろん不調時には臨時的に再調整することは言うまでもない。

実際の運転ではビームラインの放射線モニター および加速器内でのビームロスについては残留放射線レベルを押さえるように留意し、先に述べたような平均ビーム強度となっている。図1に主リングでのビーム強度増強の履歴を示す。

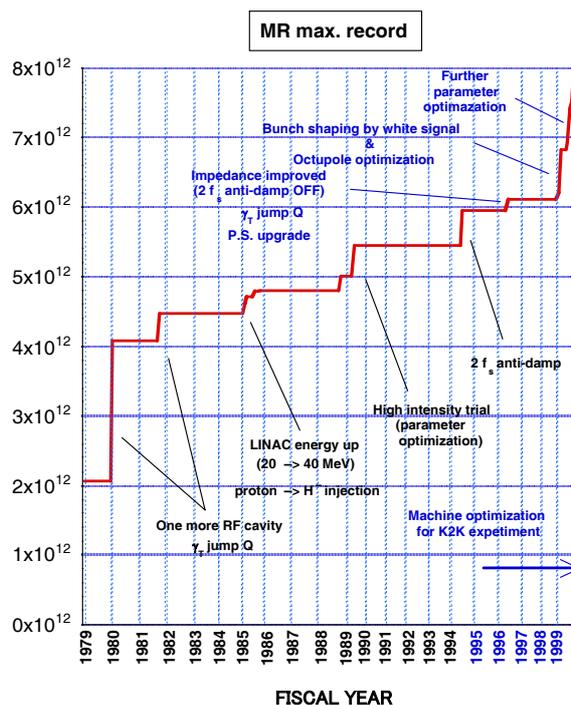


図1：KEK 12GeV-PS 主リングビーム強度の履歴

### 3. 速い取り出しシステム建設、 ビーム強度増強と機器更新

K2K実験がPACにより採択され、1996年から1998年の3カ年に渡り、加速器側では北カウンターホールへの遅い取り出しライン（EP1）へ速いビーム取り出しを可能にするべくキッカーの建設・設置、セプトン電磁石電源の改造等を行った。特に、EP1へのビーム取り出しを速い取り出しと遅い取り出し運転を短時間で切り替えできるよう、大型の真空チャンバーにキッカーと静電セプトンを設置し、真空を破ることなく取り出しシステムの変更を行えるようにした<sup>[1]</sup>。同時期にビームチャンネルグループではニュートリノ専用のビームライン、標的と発生した $\pi$ 中間子収束用レンズの建設が行われた<sup>[2]</sup>。

加速器側では速い取り出しを可能にすると同時にビーム強度増強の課題に取り組み、様々なスタディが行われ最大ビーム強度 $8 \times 10^{12}$ pppを凌駕した。これらは、他にも取り組まれたビーム物理上制約のあった諸要因に対する対症療法の構築と機器に起因する制約の除去、ビーム診断法の充実等々の改善・努力の成果である。いくつかの例を挙げると、主リングビーム入射期間での空間電荷効果、加速開始時のヘッドテイル不安定性、トランジションエネルギー通過、等々の克服がある<sup>[3]</sup>。特に、制限されたバンド幅の高周波ノイズでRF空洞を励起することによりビームのバンチ形状を制御し空間電荷効果を抑制する手法は、まずブースター加速ビームに適用し主リング入射期間における空間電荷効果の緩和に寄与し、かつ主リングにおいてトランジションエネルギー通過前に行い通過時のビームロスを低減する等の効果があった<sup>[4]</sup>。トランジションエネルギー通過についてはガンマジンプ4極電磁石電源の更新も効果があった。

遅いビーム取り出しに関しては、従来アナログ制御によるスピルフィードバック制御を行っていたが、DSPを用いたデジタル制御のスタディ<sup>[5]</sup>を行い、その成果に基づき最近の運転ではDSP制御に置き換えてきている<sup>1</sup>。図2に2004年春の東カウンターホールへの取り出し（EP2）運転におけるビームスピル等を示す。取り出し開始から速い立ち上がりで一定の取り出し強度になり、スピル変動も抑制されていることが分かる。

ブースターにおいては2001年10月に電磁石電源がIGBT素子を用いた共振電源に更新され、2003年10月にはRF空洞が無同調型加速空洞に置き換えられた。

この他、現在行われているビームスタディとしてはJ-PRAC建設に関する開発研究のための実験や、誘導加速シンクロトロンの実証研究<sup>[6]</sup>等が行われている<sup>2</sup>。

<sup>1</sup> この開発研究は機構の共同開発研究の支援の元に、武蔵工業大学との共同研究にて行っている。

<sup>2</sup> 学術創成研究プロジェクトによる。

### 4. 保守維持の現状

保守作業については、特に主リングに集中して悲惨な状況となっている。

K2K実験においては主リングの繰り返しは2.2秒周期で運転される。このため、従来5年程度の寿命であった取り出しセプトン電磁石の寿命が短くなり故障があいついだ。1993年に絶縁不良による地絡故障を起こし放射化物保管棟に安置しておいたセプトンD電磁石を4年後の1997年に解体調査した。この結果、パルス励磁により繰り返しかかる電磁力に対する機械設計に弱点が見つかり、その後の予備品製造ではその結果を反映したものとした。また、交換作業がしばしば行われるにも関わらず、交換作業の省力化を考慮した設置の手法設計となっていなかったため、セプトン電磁石の架台をスライドベースにしハンドル操作でビームラインから脱着できるようにした。

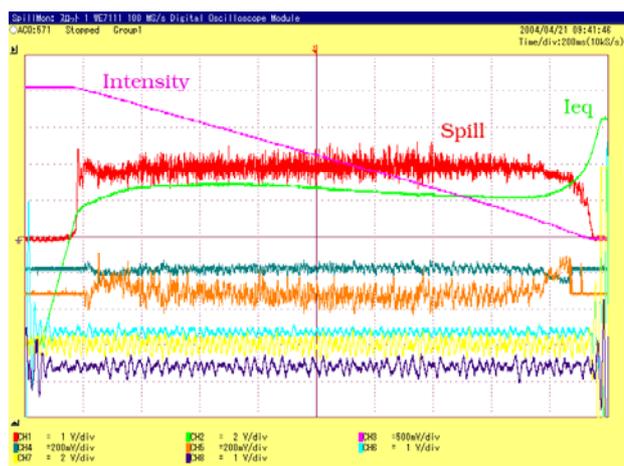


図2：EP2取り出しビームスピル他（上から、周回ビーム強度、ビームスピル、EQ（取出制御4極）電流値、RQ（リップル制御4極）1,2、主リング電源 Qf、B、Qd リップル

冷却水システムについても様々な故障があいついだ。

冷却水配管中に異物が多く、詰まることにより流量スイッチや定流量弁の誤動作を頻繁に起こしている。これらの異物の発生源はまだ特定されていないが、樹脂や油等の有機物、金属の破片、針金、等々多岐にわたっている。毎年夏のシャットダウン中の作業として洗浄を行っているが、1年保たないで運転中に問題が発生している。特に頻繁に問題を発生する偏向電磁石について往路側、還路側双方にストレーナーを付けたが、還路側のストレーナーに銅の酸化物等の粉末状ゴミが溜まる。このことは電磁石のコイル（ホローコンダクター）の内壁が腐食していることを示している。

4極電磁石の各コイル間の接続配管用の短管が腐食浸食により破損し、これらについて2000年と2001

年の2回の夏のシャットダウン作業として全数交換を行った<sup>[7]</sup>。

主リング内の冷却水母配管から各電磁石に配管する部分に取り付けられているバルブの多数から水漏れしているが、これらの交換作業には冷却水系統全体の水抜きをしなければならず、通常の夏のシャットダウン期間ではできない作業であり、放置されている。

電磁石側の配管系統では様々な水漏れ故障を起こしており、その都度対応に追われている。今までに、セプタム電磁石、6極電磁石、8極電磁石、主リング4極電磁石、RFキャビティ等々からしばしば水漏れを起こしている。また、水圧、流量等の測定器が付いてなかったため、必要などころには取り付けないようにした。

最近では、偏向電磁石の往路側フレキシブルホースの破損が多発し対応に難渋している。これは、P11系統（PSの冷却水系統）の制御システムの異常か、圧力の異常上昇やホースの脈動が発生し、寿命が短くなったとも考えられる。脈動を抑制するために水圧を下げたが、一部の機器で流量インターロックが働き、インターロックをはずしたり、バルブが全開でなかったものはバルブの開度を上げたりして運転を行っている。

2004年の2月に主リング運転モードが速い取り出しからEP2遅い取り出しに変更された。それに伴い、冷却水の熱負荷が増え、水温が上昇し温度スイッチが動作する機器がでた。しかしながら、従来がそうであったように本来は水温制御ができてはいるはずのものである。調査の結果、熱交換機の効率が悪くなっていることがわかり、5月のシャットダウン時にオーバーホールを行った。冷却能力は復帰したが、復水時に水圧の異常上昇が起きた。また、同時に水温の異常低下が起き、電磁石が結露した。

脈動や水圧異常が熱交換機オーバーホール後に、起きていることからP11系統の制御系になんらかの不具合がある可能性もあり調査している。

先に述べたような保守作業は場所によっては高残留放射線環境下での作業となる。特にビーム増強後の運転で主リング内は入射・取り出し付近と大きなディスパージョンの所でのビームロスによる放射化が強い。従って、PS内の取り決めにより保守を直接担当する職員以外でもある方式に従った順番付けにより、作業協力を行うことにしている。

機構の基準では、1日あたりの被曝線量を0.5mSvとし、0.3mSvで鳴動するアラーム線量計を携帯して作業をすることになっている<sup>[8]</sup>。主リング内には10mSv/hを越す場所がいくつかあるが、こうしたところでの作業は数分しかできなく、人海戦術をとらざるをえない。あるいはアラームが鳴らないまでも何度も繰り返す作業により限られた個人に被曝が集中することを避けるためにも必要な処置である。

また、先に述べたセプタム電磁石の例のように故障が起きて表面線量が下がるまでは解体して故障原因を調査することすらすぐにはできないということになる。

## 6. まとめ

主リングの運転はJ-PARCの建設開始当初では2002年度で、2001年の6月段階では2003年度で終了ということになっていた。現時点では2005年の夏を持って主リングの運転を停止し、その後しばらくブースターのみを運転を続けてシャットダウンへ、というスケジュールとなっている。しかし、これも確定ではなく、J-PARCの建設進行状況によっては見直しもあると思われる。また、物理実験の予定が無くてもビームチャンネルの負担を無くしビームダンプを北実験室とEP1下流との境界に移設するなどして、加速器にとじた運転でスタディを行う案も検討されている。困難な状況にはあるが可能な限り保守を行い、日本における貴重な高エネルギーハドロン加速器にとって空白のないようにしたいものである。

## 参考文献

- [1] H.Sato et. Al., "Status of the 12-GeV KEK-PS Upgrade Project for the Long-Baseline Neutrino Oscillation Experiment", Proceedings of the 12th Symposium on Accelerator Science and Technology, Oct. 27-29, 1999, Wako, Japan, p.10
- [2] M.Ieiri et. al., "Neutrino Beam Line for a Long-baseline Neutrino Oscillation Experiment at KEK", Proceedings of the APAC98, KEK, Japan, p.579
- [3] I.Yamane and H.Sato, "Accelerator Development for K2K Long-Baseline Neutrino Oscillation Experiment", Jan. 2000
- [4] T.Toyama et.al., "Bunch Shaping by RF Voltage Modulation with a Band-limited White Signal", Proceedings of the 12th Symposium on Accelerator Science and Technology, Oct. 27-29, 1999, Wako, Japan, p.96
- [5] H.Nakagawa et. al., "Slow Extraction Control Using the Digital Feedback Systems", EPAC2000, Austria Center Vienna, p.1921
- [6] K.Takayama et. al., "Induction Synchrotron", Nucl.Inst.Meth.,A451/1(2000)304
- [7] H.Sato et. al., "Experience of the Erosion Corrosion Problems in the Main Ring Cooling Water System at the KEK-PS", PAC2001, Chicago, p.1426
- [8] 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター "放射線安全の手引き"