

## Present Status of the KEK 40MeV Proton Linac

Zenei IGARASHI, Masato KAWAMURA, Chikashi KUBOTA, Kesao NANMO,  
 Eiichi TAKASAKI and Tateru TAKENAKA  
 National Laboratory for High Energy Physics, KEK  
 1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken 305, Japan

### ABSTRACT

The 40MeV Proton Linac has supplied the H-beam of about 5mA with the beam pulse width of about  $80 \mu s$  to the Booster Synchrotron for the BSF. In April, 1992 and 1993, the deuteron beam of about 2.5mA was accelerated with the  $4\pi$ -mode. In FY 1993, the  $\alpha$ -particles will be accelerated.

In FY 1992, we had many electric and mechanical troubles with the RF-sources, the cooling system of the drift-tubes and the RF-exciting of the 20MeV tank and so on.

In this report, details of troubles experienced in FY 1992 and some improvements of monitor system are described.

## KEK 40MeV陽子リニアックの現状

### 1.はじめに

KEK40MeV陽子リニアックは、1985年の40MeV用加速タンクの増設以来、順調に運転されている。1990年度から営業運転として3週間モードが導入され、1991年度及び1992年度の運転時間は、それぞれ、約4800時間、約4500時間であった。また、1991年より、重陽子の加速テストも行われ、1992,1993年4月には、重陽子加速も営業運転として行われた。KEK-PSでは、1993年度中に、 $\alpha$ 粒子の加速が試みられる予定である。

一方、40MeV陽子リニアックは、建設以来約18年以上という長期間にわたり運転されている。そのため、もろもろの機器に関して、“部品の寿命”との戦いが激しくなってきた。

本稿では、ここ2~3年の故障及び対策について述べ、KEK40MeV陽子リニアックの各部を如何に改善・維持しているかを示す。また、モニター系の現状及び将来に向けての重陽子加速について簡単に述べる。

### 2.ここ2~3年の故障状況

1985年の40MeV加速タンクの増設以来、RF源の安定な動作を確保するため、各部品の改善を行ってきた。その結果、ここ数年、リニアックのRF源の故障率も低下した。図1に、リニアック関連のダウン回数及び故障時間の変遷を示す。図1から明らかなように、1992年度には、トラブルが異常に増加した。その主な原因は、リニアック・タンク内の放電、ドリフト・チューブ冷却水

量低下、及び4616Ep電源の大放電である。図2に、各部門の1990,91,92年度のトラブル分布を示す。この節では、図2に従い、各年度の故障原因と対策を述べる。

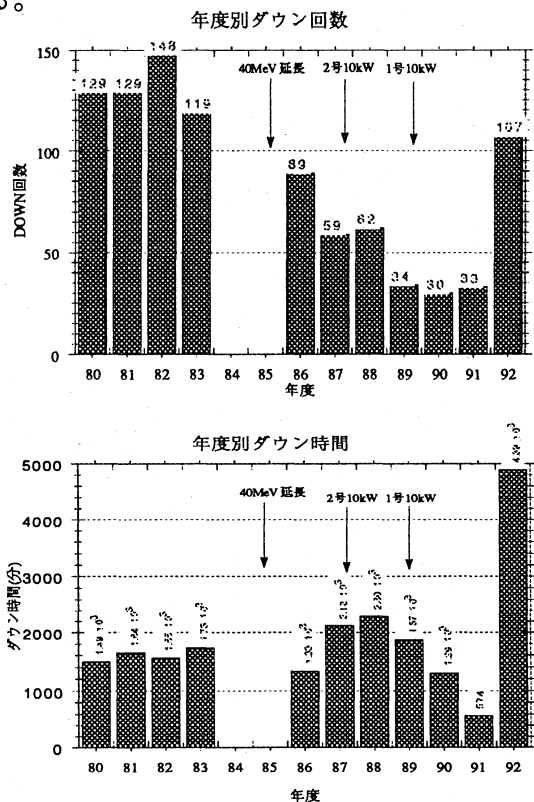


図1 ダウン回数と故障時間の変遷

故障原因の詳細は本文中に記述されている。

a)4616関係<sup>2)</sup>

図2-A,Bの分布から明らかなように、1992年度の故障回数は平年度と同じであるが、故障時間が大幅に増加している。この主な原因は、4616Ep電源(25kV,パルス電流24A)の部品であるフィラメント・トランス(仕様耐圧; AC-35kV,9個)の劣化であった。図3に、4616Ep電源の回路図を参考に示す。このトランスの耐圧テストの結果、全てのトランスで耐圧低下が進行していた。放電電圧が約20kVと低いトランスもあった。電源系のコト発生電圧も非常に低かった。不安定な電源運転の継続は、この耐圧低下に起因するが、電氣的に結線されていない周辺部が、放電開始電圧に達するまで帯電するのに時間を要し、放電場所の推定が難しかったことによると思われる。夏、これら9個のフィラメント・トランスを分解し、目視・点検した。いくつかの放電痕が見つかった。そこで、急遽トランスの絶縁対策(油の交換、絶縁シールテープの巻き直し等)を行い、絶縁耐圧(DC30kV)を確保した。また、周辺部との耐圧も調べ、対策(カプトンシートによる覆い、全ての金属部の電圧を明白にする)を施した。その結果、電源系として、コト開始電圧30kV以上が得られた。また、放電電流(大電流の流れ)にともなう誘導電圧が低くなるように、配線経路の一部も変更され、アース板も適宜追加された。

平年度のトラブルは、電子管4616の特性変化(主に経年変化)にともなうRF-tuningに起因するものも含まれていると考えている。

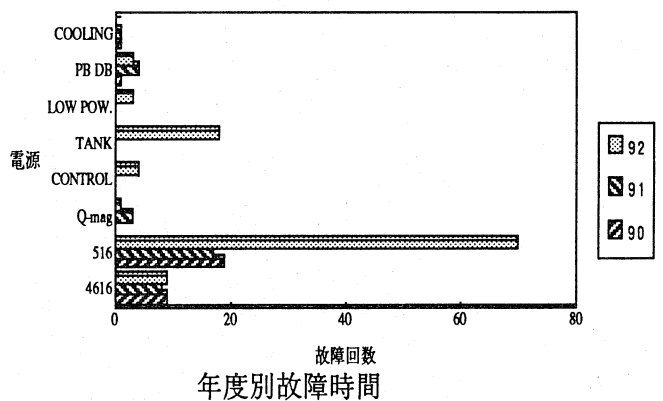
b)516関係

1990年度、故障時間が多かった原因は、TH516蒸発冷却水系<sup>3)</sup>のトラブルである。純水路への未処理水の混入(熱交換部の1次冷却水の水漏れ;約数cc/min.)、泡の発生・滞留による水の流れの停止(長期運転により、水温が上昇し、水中に溶けていた空気が泡となった。)等がトラブルの原因である。そのため、熱交換部の改善(多管式熱交換、未処理水路の無接続パイプの使用等)により、復水器からの戻り水の水温を低くすることが出来た。その結果、長期運転(3週間モード)にも充分たえられるようになった。

故障回数のほとんどは、TH516ep電源のH.V.-OCPの動作による。この主な原因は、PFNの放電に使用されているサイトロン(F-175)の状態に関係している。即ち、サイトロンの周辺温度の上昇またはリガ电压の上昇等による自爆、サイトロンの劣化による

no-fire(リガ电压を上げることで一時的に避けられる)である。これは、現在、定期的監視により故障を少なくすることにしている。一方、1992年度の故障回数の多かった原因は別にあった。TH516増幅器の入出力キャビテ内の放電とサイトロン・トリガ回路の部品(コンデンサの短絡)の寿命である。放電を誘発しているのは、タンクからの反射電力であり、サーキュレタ内のフェライト放電破壊(出力電力の過度な高調波成分による)とダミー抵抗の水漏れが直接の原因であった。また、TH516内の水位の上昇(地震により、水位調整にも使えるニードルバルブが開いた)により、陽極部での放電が起こった。

年度別故障回数



年度別故障時間

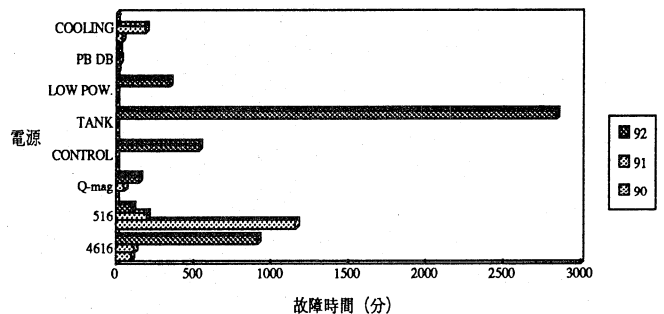


図2-A,B 90,91,92年度 故障回数と時間の分布

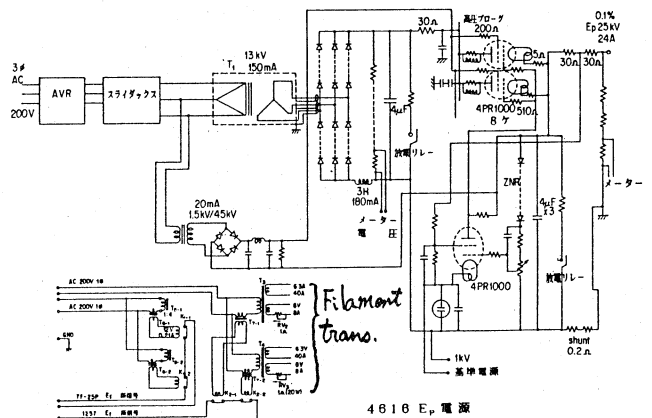


図3 4616Ep電源の回路図

### c)Q-mag.関係

これは、四極電磁石電源の内部回路の故障（トリガ回路部品の劣化、特に、SCRの破損、電解コンデンサの容量低下）に起因する。故障時間が長いのは、インロック系に組み込まれていない回路で発生した故障であり、発見に時間がかかった。そのため、新たにインロック系に組み込まれた。

### d)control関係

この故障の原因は、インロック・モジュールの破損である。破損原因は、4616関係の故障の節で述べたように、4616Ep電源放電により、インロック・モジュールの入力に過電圧が入り込み「イート」を短絡させるためである。配線経路変更後、インロック・モジュールの破損は発生していない。

### e)タンク関係

1992年度の故障は夏の長期shut・down後に生じたものである。

我々は、TH516増幅器の出力電力、反射電力、ip、ep等をモニターしているが、1990年頃からタンク内の放電と考えられるデータが増えてきていた。そこで1991年夏タンク内に入り、目視・点検した。ドリフト・チューブ表面の放電痕が1982年交換時より汚れていることがわかった。その結果、1992年度夏に、ドリフト・チューブ NO.1-10を交換することにした。交換されたドリフト・チューブの放電表面を図4に示す。この交換作業は、他部門の作業の遅れの影響を受け、非常に強行なものとなった。作業時間が午前9時から翌朝午前2-3時になることがしばしばあった。このような強行軍にもかかわらず、KEK-PSの加速器立ち上げ時までは、タンクのコンデショニングを充分に行う時間がとれなかった（aging不足）。特に、水分の排気が充分でなく、所定の電力でタンクを励振すると、タンク内の放電が非常に多く発生した。そのため、通常の励振電力（275 $\mu$ s）を下げ、ビーム補償用RF（90 $\mu$ s）でタンクを励振し、ビームパルス巾も短くし、ビーム加速を行った。

この交換作業時、ドリフト・チューブの冷却水のホース交換も平行して行われた。上記のような強行軍下の作業であったため、いくつかのミスがあり、秋以降の営業運転中にホースが抜けるトラブルも発生した。

今回、更に不幸なことに、ドリフト・チューブ NO.10の冷却水路にゴミ（いつ混入したか不明）が入り、流量が低下した。通常約3l/min.以上の流量が1l/min.以下になった。ゴミ除去のため色々な処置をしたが、ゴミを取り出すことが出来ず、現在、冷却水の

流れの方向を、流量を測定しながら、時々変更することで対処している（ドリフト・チューブの出入口の狭い空間にゴミが来ると流量が減り、1l/min.以下になる）。流量の低下は、当然、ドリフト・チューブの温度上昇をもたらし、タンク共振周波数を下げた。電磁石のコイル温度を上げ、耐地絶縁までも低下させた。その結果、ドリフト・チューブ NO.10の交換は余儀なくされた。

今夏、昨夏のような強行軍作業でなく、ゆとりを持って、ドリフト・チューブ NO.10の交換、冷却水ホースの交換、イオンポンプ素子の交換等を行う予定である。

### f)低電力及びP.B.とD.B.関係

低電力関係のトラブルは、10kW全固体化増幅器本体でなく、周辺部の低電力部である。我々は、この故障の直接の原因も、制御関係の故障同様に、4616Ep電源の放電に誘導されたノイズ電圧による部品劣化によると考えている。放電を起こしていた4616Ep電源と同じきょう体に収納されている低電力部のみが壊れている。

P.B.とD.B.のトラブルは、電子管RCA7651の寿命が直接の原因である。

### g)cooling関係

1990、1991年度のcooling関係の故障は、タンク等の温度制御の不調である。温度制御のためのバルブの開閉は、圧縮空気により制御されていた。そのため、温度調整器で、電空変換を行っていた。長期使用の結果、圧縮空気用パイプ及び電空変換部に水滴が混入し、バルブ制御が不調となった。1992年夏、この電空変換をやめ、電気によるバルブ制御系に変更した。

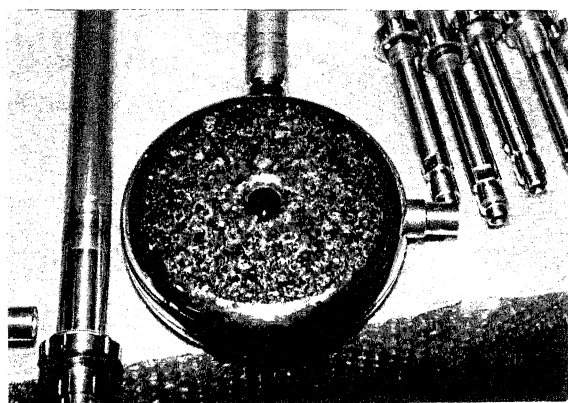


図4 1992年夏取り外したドリフトチューブ放電痕

### 3. ビーム・モニター系<sup>4)</sup>と加速されたビームの特徴

RF源の運転をどのようなに行うかを決定するために、ビームの特徴を詳細に調べなければならない。図5に示すように、現在、色々なビームモニターがビームライン上設置されている。特に、ハンチモニター、速度モニター<sup>5)</sup>、エミッタンスモニター、ロスモニター等が、リアック立ち上げ時に使用されている。ハンチモニター (pick-upモニター) の使用例として、直接ハンチ波形を観測しないで、ハンチ波形の基本波 (201MHz) と高調波 (2次以上) 成分を観測している<sup>6)</sup>。ビームライン上の2箇所での高調波成分の変化は、ビーム巾内の運動量の変化の間接的变化を示す。図6に、通常運転時の波形を示

す。

一方、運動量の広がり、アナライザーの表示方法を変更し、ビーム巾内での変動が観測できるようにした<sup>7)</sup>。

加速されたビームの性質の測定は、リアックでのエミッタンス・クロスは2倍以下であり、規格化エミッタンスは約 $3\pi$  mm·mradであることを示している。また、運動量の広がり (全ビーム幅) も、通常運転時、約±0.35%以下である。

現在、これらのモニターの測定結果とRFの関係調べ、RF運転条件の整備を行っている。

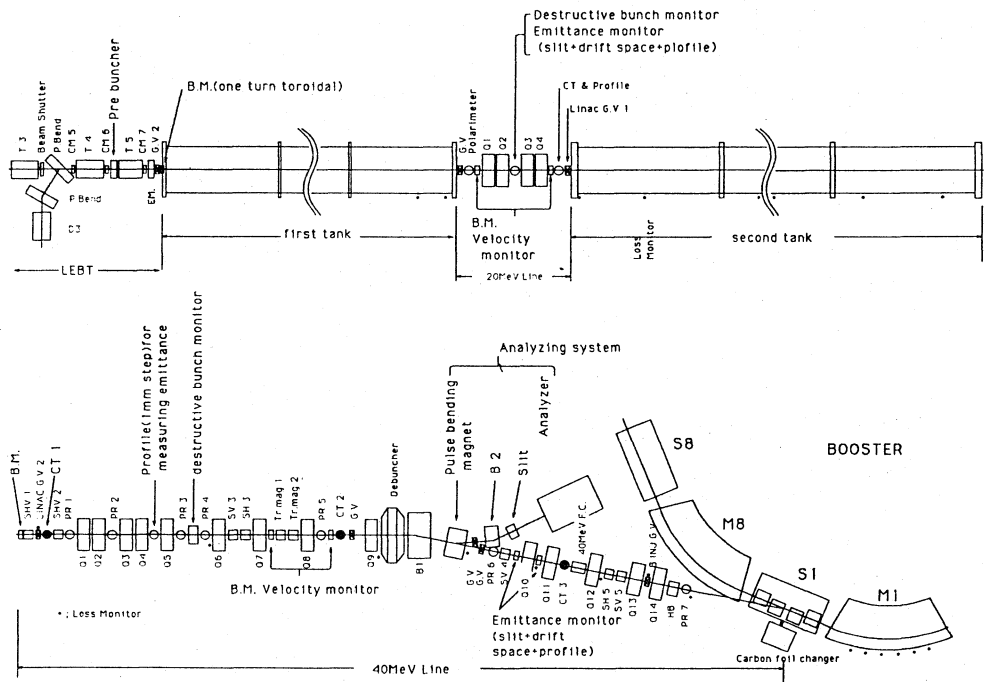


図5 40MeV陽子リアック周辺に配置されたビームモニター

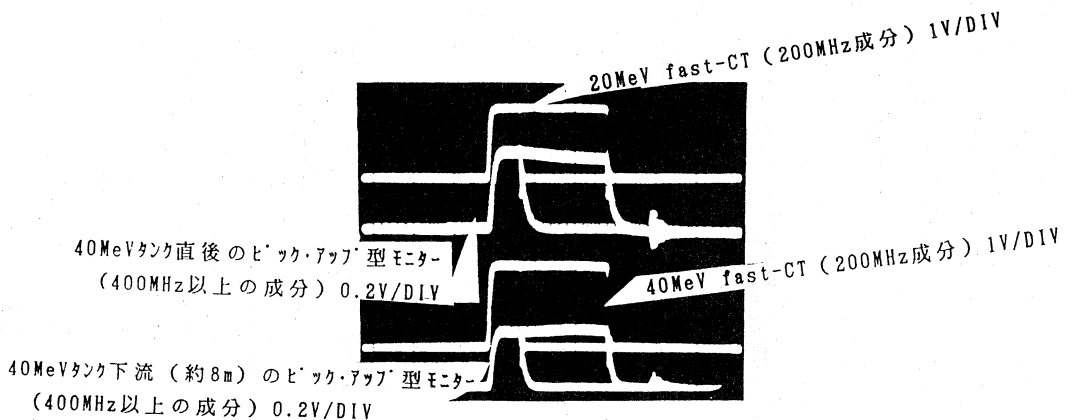


図6 ビームの高調波成分を使ったモニター信号 (ビーム強度=6.2mA)

#### 4.重いイオンを加速するために<sup>8)</sup>

1992、1993年4月に重陽子の加速が行われたが、40MeV陽子リニアックで加速された重陽子の運動量は、当然 通常運転の陽子の運動量と約3%違っている。我々はパルス毎の加速粒子の変更を目指しているが、運動量の違いは後段加速器（ブースター）の捕獲に問題を生じる。我々は、これを解決する案として、40MeVタンクの下流に数個の加速用キャビティを設置し、RF制御で加速粒子の運動量の違いを補正することを検討している。一方、更に重い粒子を加速するために、タンクの励振電力を増加しなければならない。そのため、4616増幅器のEp電源をパルス化し、Ep電圧を上げ、グリッド電圧等に充分余裕を持った増幅器にする予定である。

#### 参考文献

- 1) K.Nanmo et al., 第14回本研究会(1989), p.270、  
第15回本研究会(1990), p.14、  
Z.Igarashi et al., 第17回本研究会(1992), p.7.  
KEK-PS-LINAC MAINTENANCE REPORT  
NO.52.
- 2) KEK-PS-LINAC MAINTENANCE REPORT  
NO.40, NO.41.
- 3) K.Nanmo et al., 第17回本研究会(1992), p.252.
- 4) Z.Igarashi et al., 第18回本研究会.
- 5) Z.Igarashi et al., 第17回本研究会(1992), p.198.
- 6) KEK-PS-LINAC MAINTENANCE REPORT  
NO.48, NO.49.
- 7) H.Someya, 第17回本研究会(1992), p.201.
- 8) Y.Mori et al., 1991 IEEE Particle Accelerator  
Conference, San Francisco, KEK Preprint 91-57.