

# A STATUS REPORT OF THE PROTON-THERAPY ACCELERATOR AT SHIZUOKA CANCER CENTER

Hiroki Nakagawa <sup>#,A)</sup>, Satoshi Adachi<sup>A)</sup>, Masahiro Ikeda<sup>A)</sup>, Kazuhiro Yamaji<sup>A)</sup>, Shinji Miyazaki<sup>A)</sup>,  
Yuki Kase<sup>B)</sup>, Haruo Yamashita<sup>B)</sup>, Shigeyuki Murayama<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Mitsubishi Electric Corporation

1-1-2 Wadamisaki-cho, Hyogo-ku, Kobe 652-8555

<sup>B)</sup> Shizuoka Cancer Center

1007 Shimonagakubo, Nagaizumi-cho, Suntou-gun, Shizuoka, 411-8777

## Abstract

Proton cancer therapy has been performed at Shizuoka Cancer Center since 2003. The purpose of this study is to summarize the data measured in the routine checks for accelerator operating conditions. We evaluated the stability of the beam intensity, beam spill structure and beam position. We obtained the good result.

## 静岡がんセンター陽子線治療装置における加速器運転の現状報告

### 1. はじめに

静岡県立静岡がんセンターにおいて 2003 年に三菱電機社製陽子線治療装置の運転が開始されてから間もなく 10 年という節目を迎える。これに際し、加速器運転状況の総括として、日常点検、週例点検などで測定、記録してきたデータを整理し、加速器の安定性について評価した。

### 2. 装置概要

本装置の加速器は大別して 3 MeV 入射器、低エネルギービーム輸送系(LEBT 系)、235 MeV 主シンクロトロン(SYN)、高エネルギービーム輸送系(HEBT 系)から構成されている。

入射器はイオン源と RFQ 線形加速器から成る。

HEBT 系は基幹コース (KC) と、基幹コースから枝分かれした水平治療室コース(HC)、回転ガントリ 1 コース(G1C)、回転ガントリ 2 コース(G2C)から成る。LEBT 系には 2 台のビームアッテネータを備えており、出力ビーム強度を 1/9 または 1/81 に低下させる機能を有している。治療運転ではこの低強度ビームを用い、少ない使用線量で基幹コース(KC)のビーム軸を自動調整しており、本加速器の特徴の一つとなっている。

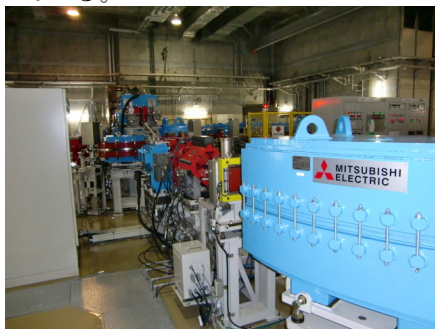


図 1: 加速器

### 3. 評価内容

#### 3.1 ビーム強度

ビーム強度の調整は、SYN に設置した DCCT にて出射時電荷量を測定し、それが 3 V(14 nC)強程度となるようイオン源のアークガス圧を調整することで行っている。

SYN でのビーム強度が 14 nC 程度を大きく下回った場合、治療照射時間の長大化などの悪影響が懸念される。このため加速器には各種の状態変動に対応可能なビーム強度調整尤度が確保されている必要がある。今回その確認を行うとともに、ビーム強度が真空度や冷却水温度の変動に影響されていないか、波形の比較確認を行った。

図 2 に、SYN、LEBT、HEBT で測定したビーム強度 (電荷量) を、図 3 にイオン源のフィラメント電流値とアークガス圧値を示す。図 4 に各系一箇所ずつの真空度を、図 5 には電磁石系冷却水温度の変化を示す。結果、イオン源アークガス圧の調整により、DCCT-FT 値を 14 nC 程度以上に保つ事が出来ていることが確認できた。また、真空度や冷却水温度の変化によるビーム強度の変動は確認できなかった。以上より、安定的に十分な強度のビームを供給できていることが確認された。

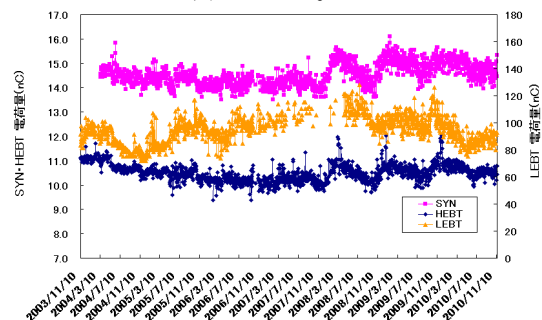


図 2: ビーム強度(SYN 220MeV)

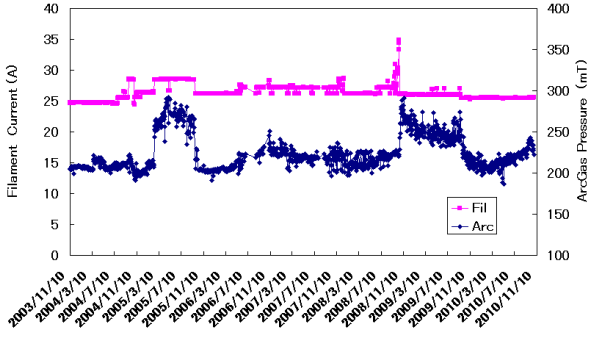


図3 イオン源の状態：方形の変動はフィラメント交換に伴う特性変化。2008年後半の急変は水素配管のリークによる。

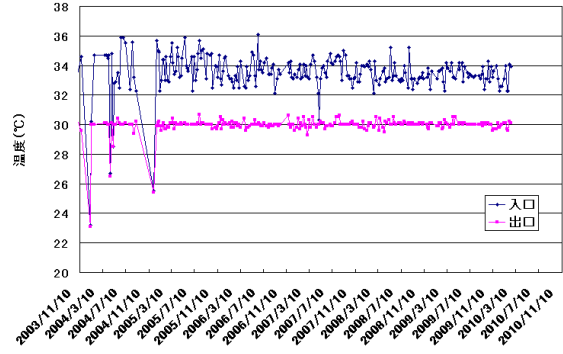


図5 冷却水温度：2005年までの変動は、加速器停止中と運転中の測定結果が混在しているため。

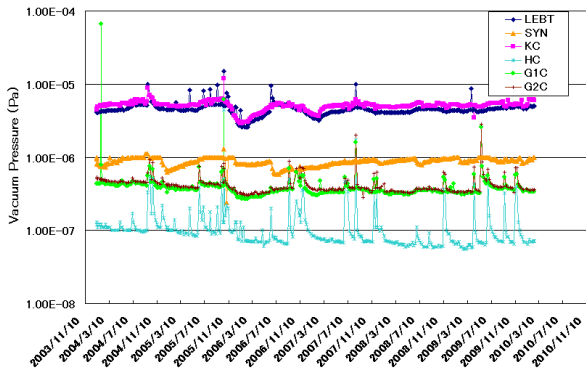


図4 真空度：各スパイク波形は、停電による真空悪化や、真空機器の物品交換に伴う大気開放などによる。

### 3.2 ビームスピル波形

一ヶ月毎に採取したビームスピル波形を同一軸上にプロットし、大きな差異が無いことを確認した。測定箇所は G1C の主線量モニタ出力、ビームエネルギーは 190MeV、測定時間は朝としている。

波形に大きな差異や異常は無く、安定している。

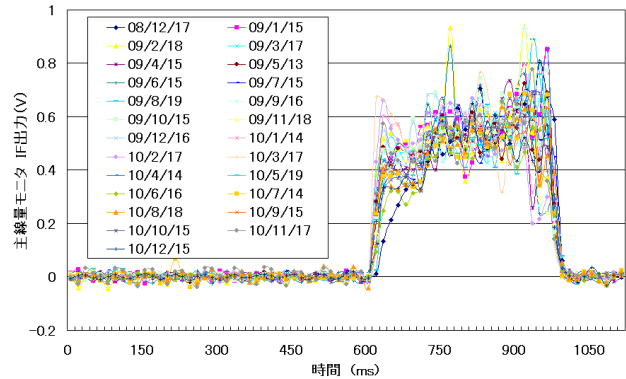


図6：G1C スピル波形

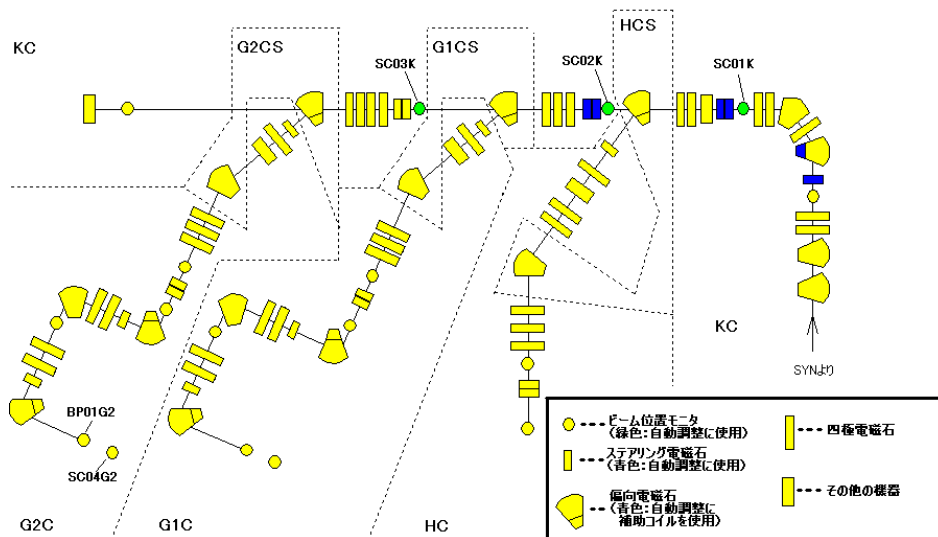


図7：HEBT系機器配置図

### 3.3 コース末端でのビーム軸の安定性について

#### 3.3.1 基幹コースのビーム軸を自動調整した場合

図7(前頁)にHEBT系機器配置図を示す。コース末端でのビーム位置を安定させるため、SC01K~03Kでのビーム位置が所定の範囲内となるよう、それぞれその上流に配置されたステアリング電磁石等の励磁値を自動で調整するという処理が、基幹コースのビーム軸自動調整である。今回はG2Cのコース末端のビーム位置モニタBP01G2、SC04G2の測定結果が、自動調整結果の影響をどのように受けているかを確認した。エネルギーは220 MeV、ガ

ントリ角度は $90^\circ$ と $0^\circ$ とした。図8にその結果を示す。結果、SC03Kの変動に伴い、BP01G2、SC04G2も変動している事が確認された。

よって自動調整精度が、コース末端のビーム位置にも影響を与えていることが確認できた。自動調整範囲は、目標値 $\pm 0.3$  mmとしている。この調整範囲を狭める事で、より高精度なビーム調整が可能になると考えられる。ただし、自動調整にかかる時間が増えるというデメリットがある。また、コース末端での変動幅は最大1.0 mmであり、運用に支障は無いため、これ以上の高精度化は不要としている。

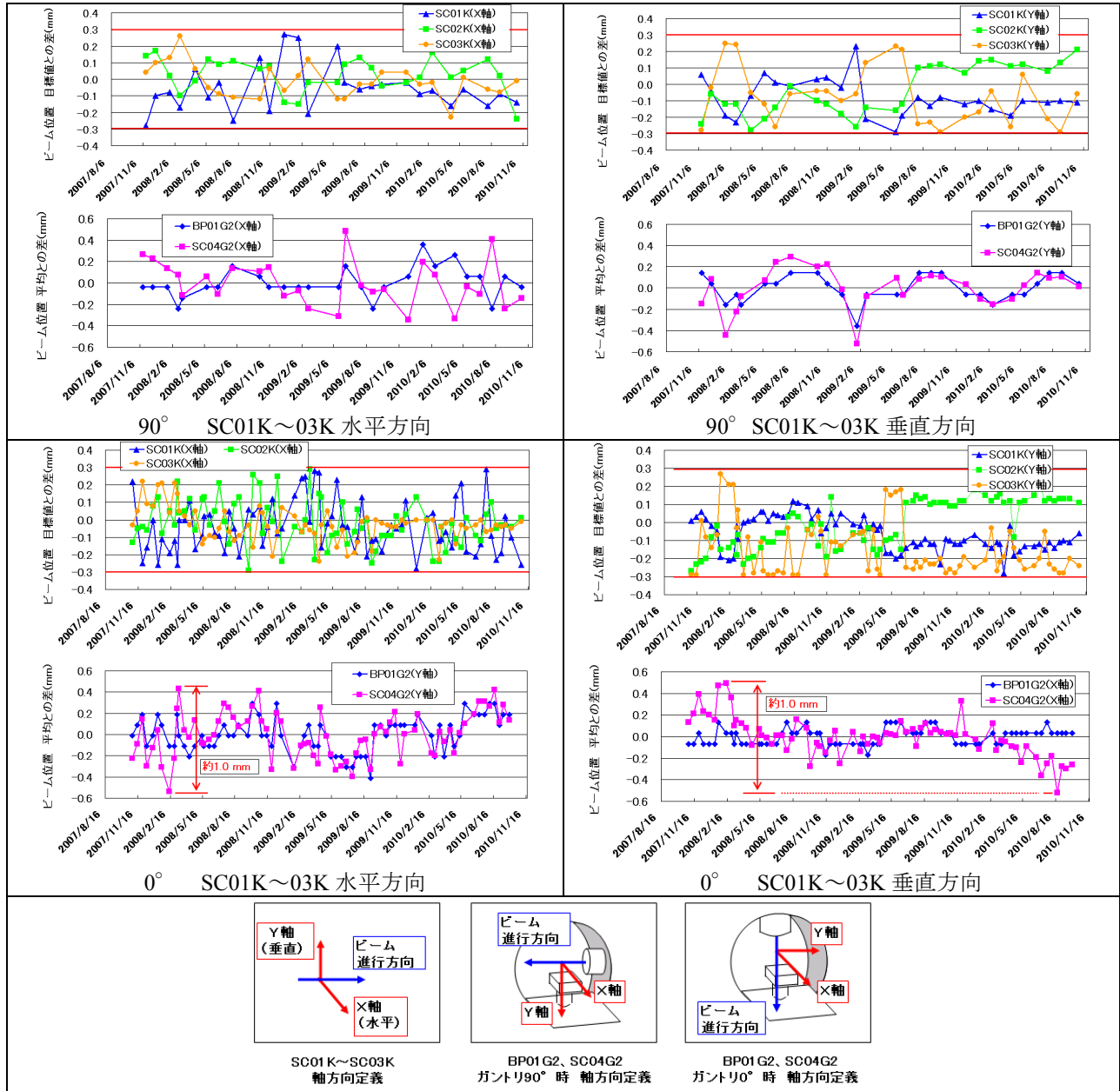


図8 KC自動調整時のビーム位置 : SC01K~03Kは1/9の低強度ビームで測定。調整目標値を0 mmに換算して、オフセット表示している。BP01G2、SC04G2については通常強度ビームで測定。測定結果の平均値を0 mmとして、オフセット表示している。

3.3.2 基幹コースのビーム軸を手動調整した場合

アッテネータは挿入せず、通常強度のビームで基幹コースのビーム軸を調整し、コース末端でのビーム軸の安定性を確認した。条件は 3.3.1 項同様 220 MeV G2C で測定角度は 90°、0° とした。結果を図 9 に示す。このときの SC01K、SC02K、SC03K の調整範囲はそれぞれ 0 mm±1 mm としている。

自動調整時との違いは、調整に用いるビーム強度が 9 倍以上となるためビーム位置測定結果のバラツキが小さいこと、また、自動調整では 1 回の測定結果が調整範囲内となれば調整を完了してしまうが、

手動では数回連続で測定し、全て調整範囲内であることを確認していることである。

結果、最大で変動幅は 0.5 mm 程度であり、自動調整を行った場合よりも、ビーム位置の安定性は高いことが確認された。ただし、手動の調整では使用線量が大きくなること、調整の時間が長くなることといったデメリットも予想されるため、自動調整による運用で問題ないものと判断する。

装置の実力としては KC のビーム軸をしっかりと調整することでコース末端のビーム位置を大変安定させられることが分かった。

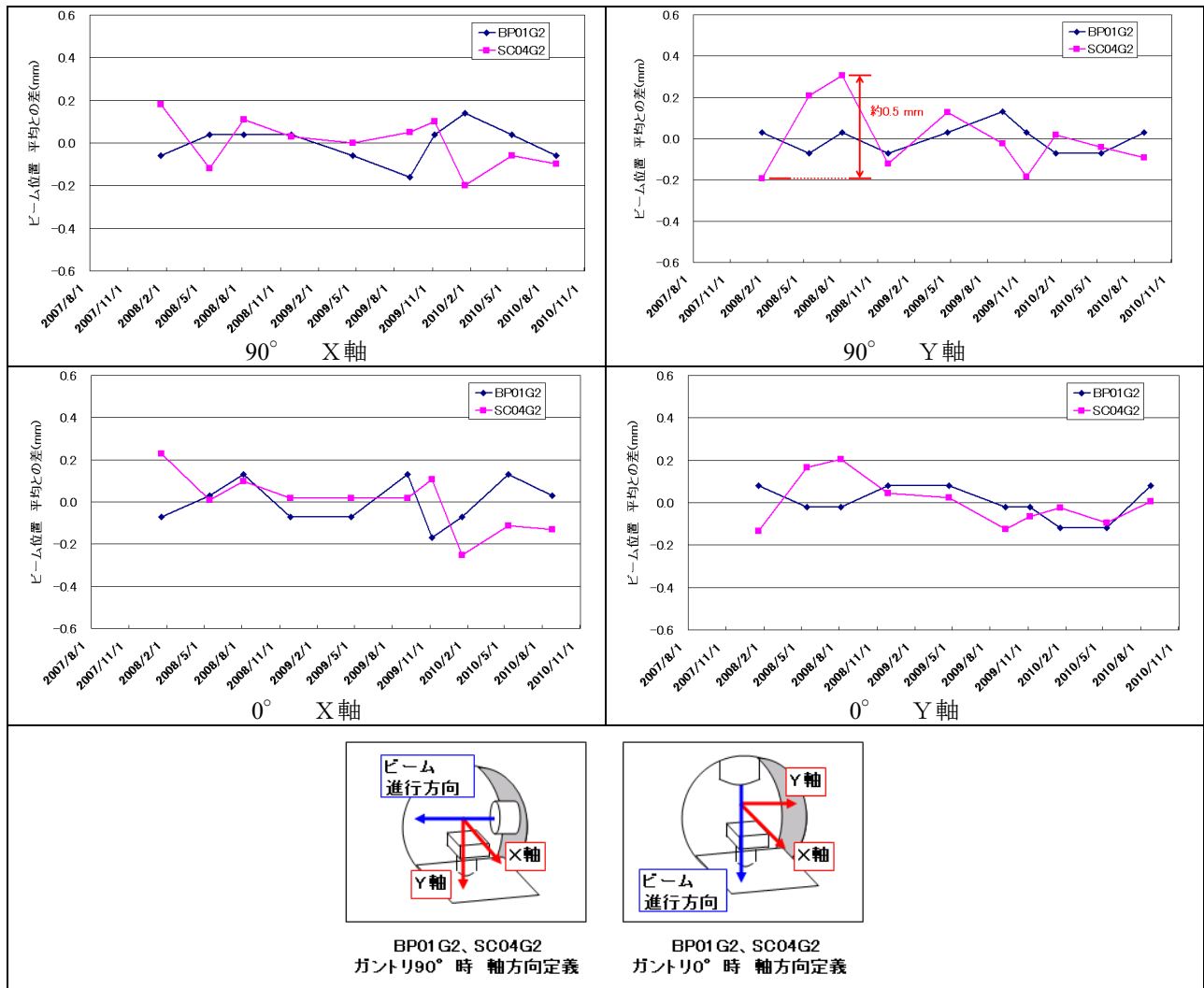


図 9 KC 手動調整時のビーム位置 : 測定結果の平均値を 0mm として、オフセット表示している。

#### 4. まとめ

運用開始前に若干懸念していた事項としては、一年の中でビーム強度、ビーム軸などが大きく変動し、それを安定させるために電磁石励磁値などのパラメータを季節ごとに切り替えながら運用する必要が生じてしまうことであった。

これまでの運用ではそのような必要性は確認されておらず、また今回まとめたデータからもそのことを改めて確認する事ができた。

また、経年の変動によるビーム強度の悪化や、ビーム軸のずれも今のところ確認されておらず、従来通りの日常のビーム調整や、定期点検などの適切なメンテナンスにより、今後とも長期的に安定した運用が可能であると考えられる。