

Injection and dump line monitor system of J-PARC RCS

Kenichirou Satou^{1,A)}, Seiji Hiroki^{A)}, Seishu Lee^{B)}, Naoki Hayashi^{A)}, Kazami Yamamoto^{A)}, Shigenori Hiramatsu^{B)},
Takashi Toyama^{B)}, Dai Arakawa^{B)}, Zenei Igarashi^{B)}, and Riuji Saeki^{A)},

^{A)} Accelerator Division, J-PARC Center, Japan Atomic Energy Agency,

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Ibaraki, 319-1195

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract

At the injection and H0 dump line of J-PARC RCS, different beam monitors have been installed. These are the most essential tools at the first beam commissioning stage where the injection trajectory will be surveyed. The dumped beams should be led into a beam dump (H0 dump). Here, the beam power limitation of the H0 dump is 4 kW, so the system monitoring the dumped beam power is required. The system will supply an alarm signal to the Personnel Protection System (PPS). Beam Induced Heat-flow Monitor (BIHM) and Electro-Static Monitor (ESM) are newly developed for the PPS. These monitors are discussed in detail.

J-PARC RCS入射部およびダンプラインのモニターシステム

1. はじめに

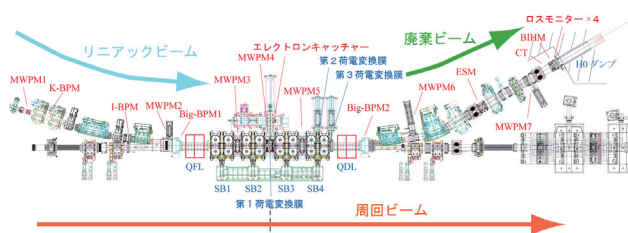


図1 入射部及びダンプラインのモニター配置

整備が進むJ-PARC[1]では、昨年度リニアックにおいて181MeV加速が達成され、RCSおよびMRシンクロトロン、各種実験施設の整備が進んでいる。

RCSではリニアックからの負水素ビームを炭素製の第1荷電変換膜で束縛電子2個を取り去り、陽子ビームへ変換する。第1荷電変換膜で生成される陽子ビームはRCSリング内に入射され、20ms以内に3GeVまで加速される。運転周期は25Hzである。最大平均電流は333 μ A(1MW)である。このような大電流ビームを加速するため、ビームロスによる機器の放射化は深刻であり、ビーム調整の核となるモニター整備は3 GeV加速の成否の鍵を握るといえる。なかでもビーム入射軌道の調整は特に重要である。

第1荷電変換膜では、炭素膜の荷電変換効率と厚みの関係から、陽子ビームへの変換効率は99.7%であり、181MeV入射時に平均電力180Wに相当する0.3%の中性水素、負水素ビームが同時に生成する。これらRCSで加速されない不要なビームは以降の炭素製第2、第3荷電変換膜により再度陽子へ変換され、ビームダンプ (H0ダンプ) へ導かれる。H0ダンプへの廃棄ビーム電力は4 kWに制限されている。廃

棄ビーム軌道についてはSahaらによる報告[2]に詳しい。

RCSでは今年度9月からビームコミッショニングを開始する予定である。ビームコミッショニングでは最初に入射調整がなされる。この調整では第1荷電変換膜を使用せず、第2、第3荷電変換膜を用いてH0ダンプへビームを導く。シフトバンプ電磁石を調整し、入射軌道を確立する。さらにダンプラインの4重極電磁石、ステアリング電磁石の調整によりダンプ軌道の確立を行う。

入射部モニターとダンプラインモニターの一部については、先に李[3]や林[4]らによる報告がある。ここでは入射部モニターについては概要にとどめる。ダンプラインモニターについては、H0ダンプへの廃棄ビーム電力を監視するモニターを新たに開発した。ここでは、それらのモニターの詳細を報告する。

2. 入射部モニターシステム

入射部では4台のBPMと、5台のマルチワイヤープロファイルモニター (MWPM) が設置され、ビーム位置と分布から入射軌道調整が行われる。

上流2台のBPM (K-BPM、I-BPM) は、リニアックのマイクロバンチ構造による324MHzの信号を観測する。下流2台のBPM (Big-BPM) は周回ビームを観測するものである。シフトバンプ電磁石4台が並ぶ入射部では、BPMをインストールできる十分なスペースが確保できないため、MWPMにより、分布とともにビーム位置も測定する。リニアックビームのRMSエミッタンスは約 $0.38 \pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ であり、入射地点でのビーム径はおよそ4mm程度になる。このような微小ビームの位置を正確に測定するため、

¹ E-mail: kenichirou.satou@j-parc.jp

斜め水平軸、垂直軸に対しそれぞれ 17° にワイヤーを張ったフレームを駆動し、位置分解能の向上を図っている。位置分解能は 0.1mm である。また、入射時のパンプ電磁石からのノイズを考慮し、電荷積分型のプリアンプを採用している。最もノイズ環境が厳しい入射開始から $500\mu\text{s}$ 間に信号を積分することにより高周波ノイズをキャンセルし、その後積分した信号を読み出すことによりS/N比の向上を図っている。

第1荷電変換膜近傍では、エレクトロンキャッチャーを設置する。入射エネルギー 181MeV 負水素ビームの荷電変換の際に発生する 99keV 電子は、シフトパンプ2台からのフリンジ磁場、垂直方向約 120Gauss により、水平面内に 92mm のラーモア周回運動を得、ビーム軸に水平に設置される炭素板で収集される。これによって、剥離電子が再度荷電変換膜を叩くことによる膜自身の寿命低下を防ぎ、また、電子雲によるビーム不安定性を防ぐ。

3. ダンプラインモニターシステム

H0ダンプラインにはビーム軌道調整用として2台のMWPM、廃棄ビーム電力監視用途として、静電誘導型モニター(ESM)、ビーム誘導熱流量モニター(BIHM)、電流モニター(CT)が、さらに、ダンプ入り口にロスモニターが4台設置される。

ダンプラインのモニターには、

- 1) 廃棄ビーム軌道を調整し、H0ダンプまで導く
- 2) H0ダンプへ入射するビーム電力を監視し、制限量 4kW を超過した場合には直ちに人的安全保護システム(PPS)[4]へアラーム信号を送る

ことが求められている。ダンプラインではリニアックビーム(ピーク電流 50mA)の 0.3% から 6.7% のビームを測定することが求められる。さらに、パンプ電磁石からの距離が近いため、ノイズ環境が厳しいことが予想される。このためS/N比の向上が重要となる。ダンプラインのMWPMは、ワイヤーのかわりにチタン製短冊を使用し、ビームに対する検出面積を広くとることにより、シグナル量を増強している。

しかしながらMWPMは破壊型のプロファイルモニターであるため、ビームロスを減らすという観点から、常時使用には向かない。そこで2)の対策としてESM、BIHMが新たに開発された。CTについてはRCSリング用CTのシャント抵抗を変え、代用している。ダンプライン用CTについては今後開発予定である。

2)のPPS用のモニターは加速器運転上もっとも重要なモニターといえる。①メンテナンスの頻度が少ない堅牢なシステムで、かつ②PPSシステムへ確

実に安定した信号を送ること、が必要である。現在PPS用のモニターとしては、CT、BIHMが有力ではあるが、今後の状況によってはESM、ロスモニターも使用できるように開発を進めている。ロスモニターは上流約 200mm にあるBIHMからの散乱粒子を観測することにより、廃棄ビーム電力を推定する。このように2重3重の監視システムを引くことにより、確実に廃棄ビーム電力を監視できるシステムとなっている。

3.1 ESMについて

ESMは 400ϕ の円筒電極3枚(中心電極長 300 、両端電極長 40)からなる(写真1参照)。ビーム通過時にチャンバー・電極間の静電容量Cに誘起する電荷を測定することにより、ビーム電流を観測する。中心電極は信号測定用であり、両端の電極は電圧を印加することにより、外部からの二次電子が中心電極に入ることを防ぎ、二次電子由来のノイズを抑える用途である。



写真1 ESM内部

中心電極の静電容量は 219pF である。廃棄ビームは第2第3荷電変換フォイルを通過することにより、リニアックビームのマイクロバンチが消え、 1.23MHz のバンチ構造になる。電荷量は荷電変換効率を 99.7% と仮定すると、1バンチ当たり 67pC であり、電極端での信号強度は 0.3mV 程度でしかない。ヘッドに誘起される信号は、比較的耐放射線性があると見込まれる真空管を用いたプリアンプをモニター直下に設置し、信号を約 3.8 倍に増幅する。その後さらにサブトンネルに設置する半導体アンプで増幅する。ESMではビームバンチ測定を目指している。

3.2 BIHMについて

ダンプラインには廃棄ビーム電流を測定するESM、CTが設置されるが、これらのモニターの性能はノイズ環境に左右されることになる。言うまでもなくノイズレベルを事前に正確に知ることは不可能である。つまり、最悪の状況を想定した場合、ノイズに強いモニターの導入が必要不可欠である。そ

ここでビームを炭素板1.5mm（密度1g/cm³）に透過させ、相互作用による発生熱を測定するモニターを開発した。発生熱はビーム電流に比例し、181MeV4kW時にはおよそ15W発熱する。

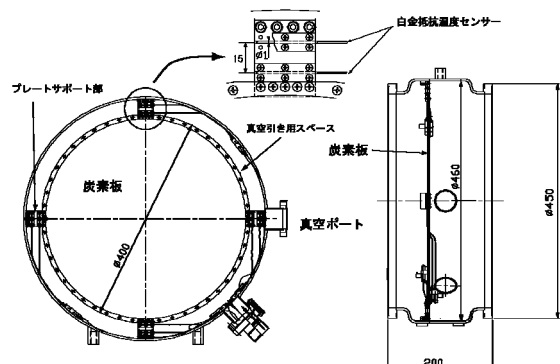


図2 BIHM外形図

BIHMの外形図を図2に示す。発生する熱は4箇所Ti-6Al4V合金製プレートサポートを通過してモニターチャンバーへ逃げる。各々のサポートには内側及び外側に15mmの間隔を空けて白金抵抗温度センサーが埋め込まれており、温度差からサポートを伝う熱流量が推定できる。つまり温度差はビームによる発熱量に比例する量である。熱流量（2点間の温度差）を測定することにより、大きな熱容量をもつチャンバー自身の温度変化に影響を受けなくなるため、速いレスポンスが得られる。動作原理は文献[6]に報告がある。図3に、炭素板をセラミックヒーターで加熱し、4箇所の温度差を観測した例がある。試験中はモニター内部を 2×10^{-2} Paまで真空引きし、空気への熱伝達を抑えている。試験によってレスポンスが約7分であることがわかった。温度センサーを使用しているため、電磁ノイズに強く、堅牢なシステムであり、安定した観測システムになると期待される。

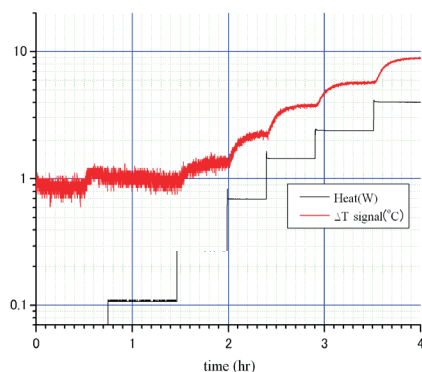


図3 セラミックヒーターによる動作試験。下方実線はヒーター発熱量、上方実線は4箇所の温度差信号の和を示し、横軸は経過時間である。

BIHMはH0ダンプ入り口の上流200mm地点に設置する。これは炭素板がビームを散乱するために、ダンプ入り口の直前に据え、散乱粒子の影響を低減するためである。H0ダンプは入り口のコンクリート遮蔽体から約1.2m下流に設置されており、BIHMから遮蔽体までの1.4mの平均ビームロス量は5W/mと評価されている。RCS内のロス量の基準が1W/mであることを考えると、許容できるレベルであると考えられる。

4. まとめ

今年度9月からのビームコミッショニングに向け、RCSモニター機器が整備されてきた。入射部モニターはRCSへの入射軌道調整に使われるため、もっとも重要な機器群である。これまでにBPM、MWPM、エレクトロンキャッチャーが整備されてきた。

ダンプラインモニターは廃棄ビームをH0ダンプへ導くとともに、ダンプビーム電力を監視し、制限値を超えた場合にPPSへアラーム信号を送るという役割がある。ビーム軌道調整にはMWPMが使用されるが、ビーム電力の常時観測には向かないため、PPS用モニターとして新たにESM、BIHM、CTが整備された。これらのモニターに加えてダンプ入り口のロスモニター信号を活用することにより、2重3重の監視システムが可能である。これらのモニターを適切に運用することにより、より堅牢な監視システムを構築することが今後の課題である。

参考文献

- [1] Y. Yamazaki, *et al.*, JAERI-Tech 2003-044 Accelerator Technical Design Report for High-intensity Proton Accelerator Facility Project, J-PARC.
- [2] P. K. Saha, *et al.*, Realistic Beam Loss Estimation from the Nuclear Scattering at the RCS Charge-exchange Foil, Proceedings of the EPAC'06 (2006) 333.
- [3] S. Lee, *et al.*, The Beam Monitor System of J-PARC RCS, Proc. of the 3rd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 31th Linear Accelerator Meeting in Japan (August 2 - 4, 2006, Sendai Japan).
- [4] N. Hayashi, *et al.*, Proc. of PAC2005, 299. <http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/p05/papers/toad003.pdf>.
- [5] F. Hiroki, *et al.*, Personal Protection System in J-PARC Linac, Proc. of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 29th Linear Accelerator Meeting in Japan (August 4 - 6, 2004, Funabashi Japan).
- [6] K. Satou, *et al.*, Development of a Beam Induced Heat-Flow Monitor for the Beam Dump of the J-PARC RCS., Proc. of PAC2007.