

## J-PARCリニアックACS加速空洞増強におけるモニターシステムの設計

三浦 昭彦<sup>1,A)</sup>、佐藤 進<sup>A)</sup>、佐甲 博之<sup>A)</sup>、吉川 博<sup>A)</sup>、長谷川 和男<sup>A)</sup>、  
五十嵐 前衛<sup>B)</sup>、池上 雅紀<sup>B)</sup>

A) 日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方2-4

B) 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設  
〒305-0801 茨城県つくば市大穂1-1

### 概要

J-PARC線形加速器(リニアック)は、現在181MeVのビームエネルギーにて運転を行っているが、より高エネルギーの粒子を下流のシンクロトロンに入射するため、平成20年度末より、ACS加速空洞の増強を行う計画が開始した。これに伴い、ACS加速空洞におけるビームコミッショニングを行うためのモニターシステムの設計を開始し、製作を進めている。本稿では、ビームコミッショニングに用いられるモニター類について紹介するとともに、ACS加速区間におけるモニターシステムの設計について言及する。また、縦方向のミスマッチを診断するための縦方向プロファイルモニターの導入について紹介する。

### はじめに

現在のJ-PARC線形加速器(リニアック)では、イオン源で生成した負水素のイオンを、高周波四重極型リニアック(RFQ)、ドリフトチューブ型リニアック(DTL: Drift Tube Linac)、分離型ドリフトチューブリニアック(SDTL: Separated type Drift Tube Linac)により、181MeVまで加速している[1]。また、ここから400MeVまでの加速には環状結合(ACS: Annular Coupled Structure)型リニアックが使用されることが検討されている[2]。J-PARCセンターでは、ACS加速空洞を用いたエネルギー増強を平成20年度末より開始した。これに伴って、ビーム計測系がより高いエネルギーの診断に対応していることなどを確認し、

安定した計測が実現できるシステムを設計する必要がある。また、作製した計測系でビームの診断を行い、設計に合致した十分なエネルギーが得られることを確認する必要がある。また、エネルギーを増強したビームの縦方向のミスマッチを診断するため、縦方向プロファイルモニター(BSM: Bunch Shape Monitor)の導入の検討を開始した。

### J-PARCリニアックのビームモニター

J-PARCリニアックのビームコミッショニングには、電流モニター(SCT: Slow Current Transformer)、位相モニター(FCT: Fast Current Transformer)、ビーム位置モニター(BPM: Beam Position Monitor)、ビームプロファイルモニター(Beam Profile Monitor, WSM: Wire Scanner Monitor)、ビームロスモニター(BLM: Beam Loss Monitor)などを用いている[3], [4]。これらのモニターの概略及び今後の開発計画の概略を以下に説明する。

#### ビームモニターの配置

現施設における各種ビームモニターの配置を図1に示す。全てのサブセクションでは、ビームの電流、エネルギー(位相)、ビーム位置、ビームロスが測定されており、横方向のビーム形状は、各加速空洞を出た次のセクションの上流で測定される。

MEBT1及びDTLのセクションでは、現施設のモニター配置と大きな変更はないが、現在15台の

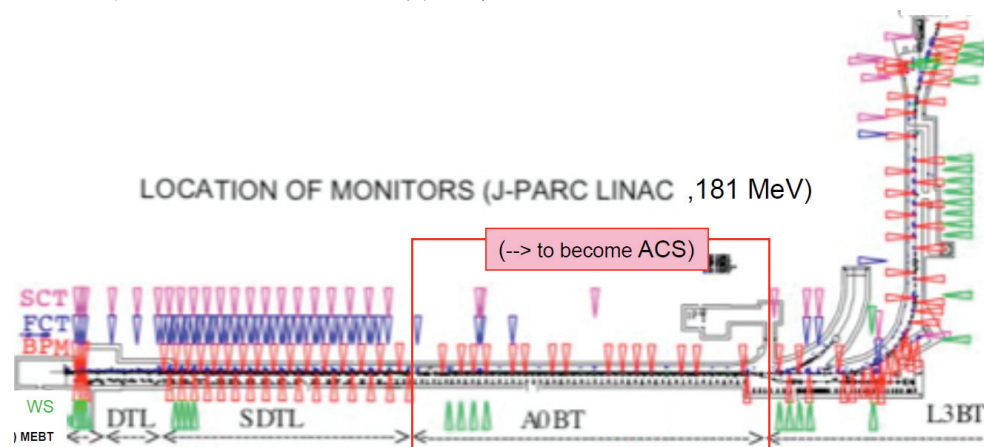


図1 リニアックのビームモニター配置

<sup>1</sup> E-mail: miura.akhiko@jaea.go.jp

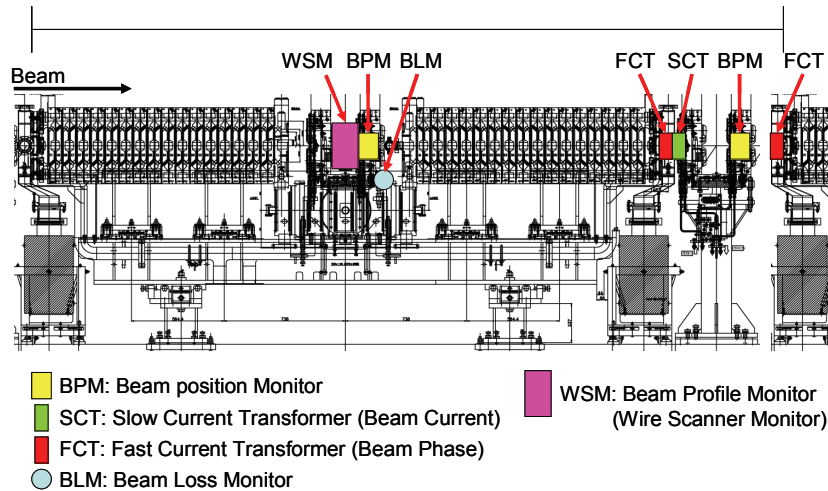


図2 ACS加速空洞に設置するビームモニター類の配置

SDTLを使用し、1台をバンチャーとして使用しているが、16台全てを加速空洞として使用し、この後にバンチャー、ACSセクションに続く。現在のSDTLセクションでは、各空洞(AとB2つのタンクが結合された空洞を1台とする)にSCT1台、FCT3台、BPM1台が設置されているが、図2に示すように、追加されるACSセクションの空洞には、SCT1台、FCT2台、BPM1台とする計画であり、SDTLから出射されるビームは、MEBT2及びACS上流部分に設置されるWSMにてプロファイルを測定する予定となっている。

### 電流モニターと位相モニター(SCT/FCT)

電流モニターと位相モニターには、透磁率の高いファインメットのコアを採用し、コイルの巻き数は電流モニターが50ターン、位相モニターでは1ターンである。リニアックの各セクションにはSCTは1台設置されているが、FCTはエネルギー測定などを行うため、1つのセクションに複数台設置されている。このため、コイル外側のチャンバーはSCTとFCTで共有した複合型のモニターを開発し(図3)、使用している。SCTの測定レンジは0~50mAで精度0.1mA以下、パルス幅200ns~500 $\mu$ sで応答速度が50ns以下である。また、FCTの位相分解能は $\pm 1^\circ$ 以下で、TOF(Time of Flight)でのビームエネルギーの測定においては、エネルギー分解能0.1%以下である。

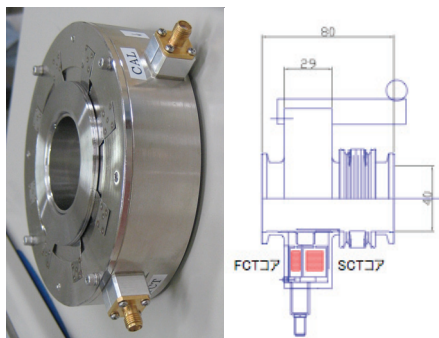


図3 SCT/FCT検出部

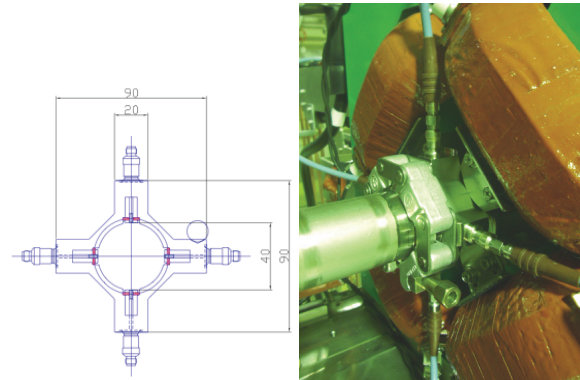


図4 BPM検出部

### ビーム位置モニター(BPM)

ビーム位置モニターの検出部には、ストリップ・ライン型電極を採用し、スペース的な制約から全て四重極電磁石の内部に設置した(図4)。このモニターは、ダイナミックレンジ30dB以上で、ビームの位置を $\pm 0.1\text{mm}$ 以下の精度で測定できる。ACSセクションでは、ビーム輸送配管の径が比較的小さなことから、ストリップ・ラインは、湾曲の無い平面構造を採用する予定である。また、加速するエネルギーの大きさによって長さを調整する必要があることや、測定された信号のケーブルコネクタ部での反射や、電極間の信号のバランスをとるためにスト

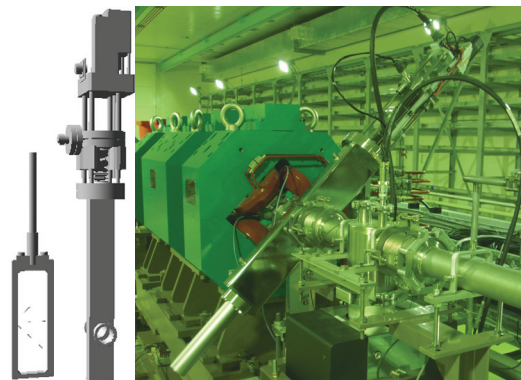


図5 WSM検出部

リップ・ラインからコネクタ部までのインピーダンスの整合を取ることが設計上重要視される部分である[5], [6]。

### ビームプロファイルモニター(WSM)

横方向(x軸、y軸方向)ビームプロファイルを測定するために、カーボンワイヤーを用いたワイヤースキャナを使用している。低エネルギーの部分では、ビームによって受ける発熱の観点から、 $\phi 7.0 \mu\text{m}$ のカーボンワイヤーを採用している。WSMは空間的なスペースの関係上、チャンバーは $45^\circ$ 傾けた状態で設置され、水平(x方向)及び鉛直(y方向)のプロファイルを測定するために、検出部には $\pm 45^\circ$ 傾けた状態で2本のワイヤーを張り、パルスモーターを使用して、 $0.1\text{mm}$ 刻みで、検出部をビーム軸に向かって挿入し、測定を行う(図5)。また、1セクションに4台のWSMを設置し、これらで測定されるデータを組み合わせることで、ビームのエミッタンスを算出することが出来る[7]。ACS上流に設置されるWSMはSDTLから出射されるビームを測定するため、従来のワイヤー径でよいが、L3BTセクションに設置されるWSMのワイヤー系は、そのビームエネルギーに応じて約 $80 \mu\text{m}$ が妥当であると考えられる[8]。

### ビームロスモニター(BLM)

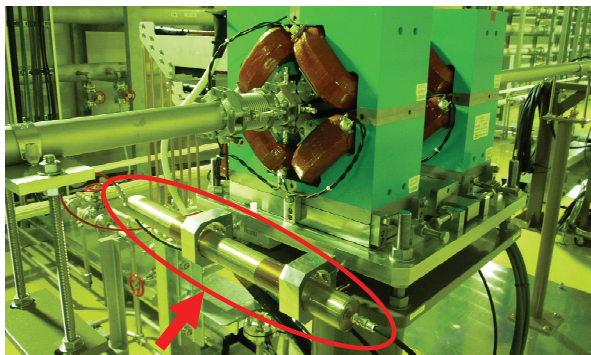


図6 BLM検出部

J-PARCリニアックでは、ビームロスが生じる際の放射線の測定に、アルゴン-メタンを封入したガス封入型比例計数管(東芝電子管デバイス(株)製E6876 - 600)を採用している。放射線検出部は、図6のように設置し、ビーム運転中逐次監視・記録できる。この測定管は、ステンレスの二重構造になっており、 $\phi 60 \mu\text{m}$ のタングステンワイヤーを芯線としている。Co60によるガンマ線の照射により比例計数管の感度特性を測定した結果では、長期の使用において、感度の低下が指摘されている。したがって、よりエネルギーの高い環境下で使用する場合には、感度低下に配慮する必要がある[9]。また、より高エネルギーに加速される粒子によって、中性子が生成される可能性がある。したがって、中性子計測管を用いて計測する予定である。

### ビームモニターの開発

SDTL空洞で加速されたビームについて、加速構造間の整合を取り、大強度でもロスを少なくするために縦方向のビームプロファイルを測定する。諸外国の加速器施設で採用されているロシア製のBSM(Bunch Shape Monitor)[10]をJ-PARCのリニアックに適用し、運用する方法を検討している。このモニターはACSの上流に設置し、SDTLで加速されたビームのプロファイルを測定することを目的とする。しかしながら、本モニターもビーム破壊型のモニターであるため、レーザーを用いた非破壊型のモニターの開発も視野に入れ、開発を進めている。

### おわりに

ACS加速空洞増強に関するビームモニターの機器設計及び配置、新しく導入するモニターについて説明した。機器の詳細なR&D等については成果が得られ次第報告する。

### 参考文献

- [1] Y. Yamazaki ed., "The Joint Project for High-Intensity Proton Accelerators", KEK Report 99-4, JAERI-Tech 99-056 (1999)
- [2] 内藤富士雄ほか、「直接給電型ACS線形加速器の検討」、第6回日本加速器学会年会、FPACA39、2009年
- [3] 五十嵐前衛ほか、「統合計画リニアックMEBT1用ビーム・モニターとそのビームテスト」、第27回リニアック技術研究会、8P-23、2002年
- [4] 富沢哲男ほか、「J-PARCリニアック用ビームモニター」、第28回リニアック技術研究会、TP-43、2003年
- [5] S. Sato et al., "Systematic Calibration of Beam position Monitor at J-PARC Linac", 第1回日本加速器学会年会、6C08、2004
- [6] T. Tomisawa et al., "Design of 4-Stripline Beam position Monitors of the J-PARC Linac SDTL", 第1回日本加速器学会年会、6C07、2004
- [7] H. Akikawa, "Emittance Measurement with Wire Scanners at J-PARC Linac", 第1回日本加速器学会年会、6C06、2004
- [8] H. Akikawa, "Wire Profile Monitors in J-PARC Linac", Proceedings of Linac 2006, TUP021, 2006
- [9] M. Tanaka et al., "Development of Beam Loss Monitor and Data Acquisition System for J-PARC Linac", 第1回日本加速器学会年会、5P27、2004
- [10] A. V. Feschenko et al., "Study of Beam Parameters of the CERN Proton Linac Using a Three Dimensional Bunch Shape Monitor", Proceedings of Linac 96, PP. 196-198, 1996ほか
- [11] H. Sako et al., "Configuration of Beam Profile Monitors for Energy Upgraded J-PARC Linac", Proceedings of PAC09, 2009

