

## あいち SR 光源加速器周辺の放射線分布測定システムの開発

### DEVELOPMENT OF RADIATION DISTRIBUTION MEASUREMENT SYSTEM AROUND AICHI SR ACCELERATORS

田部圭悟<sup>#A)</sup>, 高嶋圭史<sup>B), C)</sup>, 真野篤志<sup>B)</sup>, 石田孝司<sup>B), C)</sup>, 郭磊<sup>A), B), C)</sup>

Keigo Tanabe<sup>#A)</sup>, Yoshifumi Takashima<sup>B), C)</sup>, Atsushi Mano<sup>B)</sup>, Takashi Ishida<sup>B), C)</sup>, Lei Guo<sup>A), B), C)</sup>

<sup>A)</sup> Graduate School of Engineering, Nagoya University

<sup>B)</sup> Synchrotron Radiation Research Center, Nagoya University

<sup>C)</sup> Aichi Synchrotron Radiation Center

#### Abstract

Aichi Synchrotron Radiation Center (Aichi SR) was built as a core facility in Aichi Prefecture's "Knowledge Hub Aichi" project, which is part of the prefecture's science and technology policy, with the cooperation of universities, research institutes, industry, and Aichi Prefecture, and has been operated by Aichi Science and Technology Foundation. The light source accelerator at Aichi SR consists of a 50 MeV linear accelerator, a 1.2 GeV booster synchrotron, and a 1.2 GeV electron storage ring. The electron beam orbits in the duct inside the accelerator, and scatters with electrons or residual gas. The electrons in that part deviates from the normal orbit and collides with the beam duct. When scattering occurs, radiation such as electrons, positrons, and gamma rays are generated around the duct. By detecting this radiation and measuring its distribution, we think it is possible to effectively shield the radiation. Furthermore, by adjusting the orbit of the electron beam, we think that the loss of the electron beam can be reduced and efficient accelerator operation can be realized. We report the development of a radiation measurement system using semiconductor detectors, and the test results of that system.

#### 1. はじめに

あいちシンクロトロン光センター(あいち SR)は、愛知県の科学技術政策である「知の拠点あいち」計画における中核施設として、中部地区を中心とする大学、研究機関、産業界、愛知県の協力によって建設され、公益財団法人科学技術交流財団が運営してきた[1]。

あいち SR の光源加速器は、50 MeV 直線加速器、1.2 GeV ブースターシンクロトロン、1.2 GeV 電子蓄積リングで構成されている。これらの加速器で加速される電子ビームは、ビームダクト中の残留ガスとの散乱や、電子同士での散乱などの理由で正常な軌道から外れ、ビームダクトと衝突する。その際に加速器周辺に電子や陽電子、ガンマ線等の放射線が発生する。

この放射線を検出し、加速器周辺での放射線量の分布を測定することにより、加速器の効果的な放射線遮蔽が可能となるとともに、加速器中での電子ビームの軌道等を調整することによって、電子ビームの損失を抑え、効率的な運転につながることを期待できる。本発表では、加速器周辺での放射線量の分布を測定するため、半導体検出器を用いた放射線測定システムの開発について報告する。

#### 2. 電子損失による放射線

蓄積リングの真空パイプ内で電子が散乱する過程として弾性散乱、非弾性散乱、タウチェック散乱が挙げられる。これらによって軌道を外れ、パイプ内の壁に衝突する。

<sup>#</sup> tanabe.keigo@e.mbox.nagoya-u.ac.jp

真空パイプの壁面に衝突した電子は、物質中で制動放射により光子を発生しエネルギーを失う。制動放射によって発生して光子はコンプトン散乱や電子対生成といった反応によりエネルギーを失うが、電子の静止質量の2倍以上の高エネルギー光子の反応では電子対生成が優勢となり、電子・陽電子を発生させる。発生した陽電子は物質中の電子と反応し電子対生成によって2個の光子を生じ、また電子と同様に制動放射によって光子を発生させる。さらに、光子のエネルギーが十分に高い場合、光子が原子核と光核反応を起こして中性子を発生させる。このように、電子ビームが真空パイプと衝突すると、電子、陽電子、光子がシャワーのように増加する電磁カスケードシャワーが発生する。電磁カスケードによって発生した光子、電子・陽電子、中性子が真空パイプの外へ漏れ、放射線となる。このため、電子ビームが真空パイプと衝突する点が放射線源となる。

蓄積リングへ電子ビームを入射するための直線加速器およびブースターシンクロトロンにおいても、設計軌道から外れた電子ビームが真空パイプや加速管等と衝突することによって、蓄積リングの場合と同様に電磁カスケードシャワーを生じ、放射線が発生する。あいち SR では、直線加速器及びブースターシンクロトロンは1 Hz の繰り返して運転が行われている。

#### 3. 実験方法

##### 3.1 測定システム

加速器の真空パイプ内で電子が損失され放射線が発生する。その放射線を測定し、加速器まわりの放射線分布を見積もることが本研究の最終的な目的である。このため、多数の検出器を加速器の周りに設置し、データを

収集する必要がある。小型の検出器を用いて、多数の検出器からのデータを比較的簡単に収集する方法として、Bergoz 社製ビームロスモニター[2]を用い、データ収集にマイクロコンピュータを使用し、無線 LAN を通してパソコンのデータベースにデータを収集するシステムの開発を行った。取り回しを簡単に行うため、放射線検出器およびマイクロコンピュータのバッテリー駆動を目的とした単電源入力(+5V)で+5V・-5V・+24 の 3 電圧を出力する電源回路を製作した。

本研究で開発した測定システムの動作テストをあいち SR において行った。Figure 1 は本研究で開発した放射線測定システムの概略図であり、Fig. 2 は 3 セットの検出器システムを動作テストのためあいち SR 高エネルギービーム輸送路の真空パイプ側面に取り付けた際の写真である。

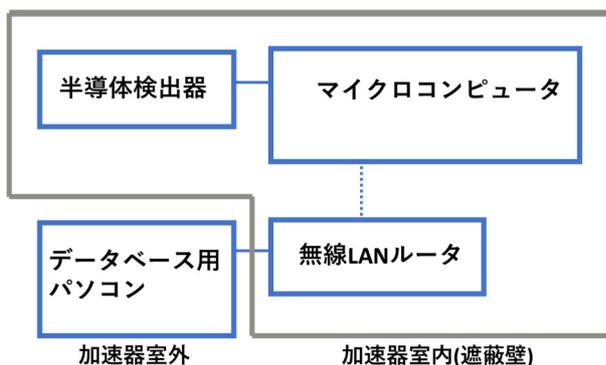


Figure 1: Schematic diagram of the measurement system.

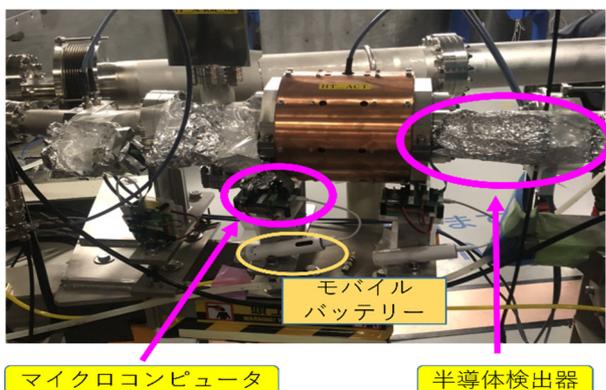


Figure 2: A view of the measurement device.

### 3.2 ビームロスモニター

本実験で用いた Bergoz 社製ビームロスモニターには、一対のシリコン PIN フォトダイオードが向かい合うように配置されており、あらかじめバイアス電圧がかけている。この PIN フォトダイオード中に荷電粒子が通過すると電荷が生成され、バイアス電圧によってこの電荷が電極に引き付けられる。これによって生じるパルスを増幅し、AND 回路によって PIN フォトダイオードから生じるパルスのコインシデンスを検波する。Figure 3 は Bergoz 社製ビームロスモニターの外観である。

荷電粒子が両方の PIN フォトダイオードをイオン化すると、コインシデンスが発生しパルスが出力される。一方、

光子が入射された場合は一方の PIN フォトダイオードのみをイオン化し、他方の PIN ダイオードはイオン化しないため、コインシデンスは発生しない。このため、光子が入射された場合にはパルスが出力されない。ただし、光子が入射し、一方の PIN ダイオードを光電効果によってイオン化するとき光電子が発生し、この電子が双方の PIN ダイオードをイオン化することによってコインシデンスを生じる場合があり、バックグラウンドとして生じることがある。

放射線のエネルギーを測定しようとする大型の検出器が必要となるが、放射線が通過したら信号を発するだけのビームロスモニターは大きさが約  $2 \times 4$  cm ほどで小型であるため、場所ごとの放射線分布の見積もりとして大小の比較を目的とする本研究の測定システムに適していると言える。



Figure 3: Beam loss monitor.

### 3.3 マイクロコンピュータ

本研究で用いたマイクロコンピュータ(型番 ESP32-devkitC)はビームロスモニターから出力された信号の回数をカウントする。これは 2.4GHz 帯無線 LAN (IEEE802.11b,g,n) に無線接続が可能で、データベースサーバーMySQL の直接操作も可能である。ソフトウェア Arduino を用いてビームロスモニターから出力された信号の回数をハードウェアカウンタにてカウントし、10 秒間にカウントした回数をデータベースサーバーMySQL へ蓄積させていく設定で測定を行った。Figure 4 はマイクロコンピュータの外観写真である。

計測したデータは無線 LAN を介してデータベースへと蓄積されていくため、セットを増やせば複数箇所の同時測定にも対応できる。

マイクロコンピュータには、データ登録を行う MySQL テーブル名を自身の MAC アドレスとし、登録対象となるテーブルの存在確認機能、及び、テーブル不在時のテーブル新規作成機能を持たせている。これにより、マイクロコンピュータのプログラムコードや MySQL の設定を、特に設定を書き換えることなく、単に新たな半導体検出器とマイクロコンピュータのセットを稼働させるだけで、増設したセットを既存システムへの組み込むことができる。

また、データ登録処理の前には MySQL との接続を確認・切断時再接続処理を組み込むことでシステムの安定性を高めている。

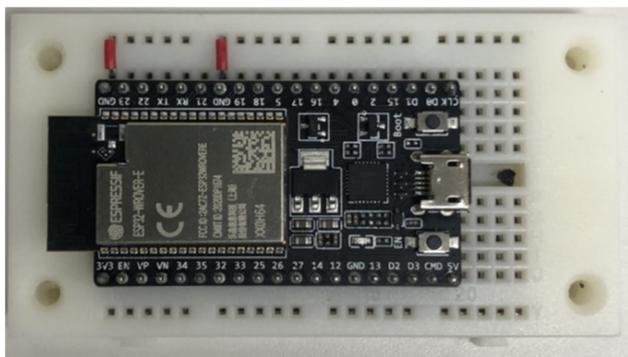


Figure 4: Micro computer.

## 4. 結果及び考察

### 4.1 あいち SR における放射線測定

あいち SR において、作成した放射線検出器システムを用いて放射線計測を行った。測定は、検出器システムを 1 セットだけ用い、検出器とマイクロコンピュータを AC 電源で動作させた場合と、バッテリー駆動の検出器システムを 3 セット用いた場合の 2 回行った。第 1 回目の測定結果を Fig. 5 に示す。蓄積リングへの入射が行われる 8 時から 9 時までの間のカウント数と電流値の推移についてグラフ化した。

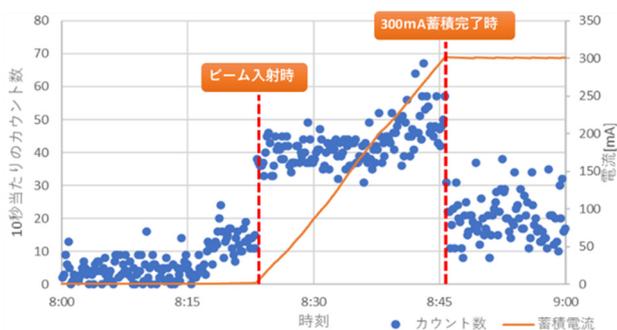


Figure 5: Test measurement results.

10 秒毎のカウント数の推移と電子ビームの蓄積電流値を重ねて見ると、ビーム入射時からカウント数が上昇し、300 mA まで電流が蓄積された後はややカウント数が下がっている事が読み取れる。これは、300 mA に達するまでは 1 Hz で連続的にブースターシンクロトロンから蓄積リングへ電子ビームを入射しており、入射中の電子ビーム損失が多いためだと予想できる。蓄積電流値が 300 mA に達したあとは、入射は 1 分間に 10 秒程度行われるだけのため、連続的な入射中に比べて放射線量は下がっている。

### 4.2 3 点同時測定

第 2 回目の測定の様子を Fig. 2 に、結果を Fig. 6 に示す。第 2 回目の測定では、は、加速器運転前から大きなカウント数を計測しており、カウント数のばらつきも大きいため、カウント数を 10 秒毎の積算ではなく、1 分間の平均値を示している。

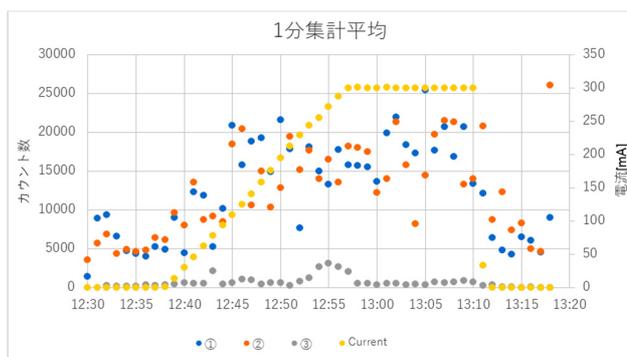


Figure 6: Results of simultaneous measurement of 3 units (Average per minute).

電流値の上昇と共にカウント数の平均が上昇し、また加速器の稼働を終了させ蓄積電流値をゼロまで下げた時にカウント数の平均も下降している。このため、加速器の運転に関係した何らかの信号を検出していることが考えられるが、パルスマグネット等からの電磁波の影響も考えられるため、放射線による信号のみを測定するための対策が必要である。

## 5. まとめ

あいち SR 加速器周辺の放射線分布を計測するため、半導体検出器 (Bergoz 社 BLM) とマイクロコンピュータ (ESP32-devkitC) を用いて、バッテリーで動作し、無線 LAN によってデータを収集する検出器システムの開発を行った。

AC 電源による 1 台の検出器システムを用いた測定において、電子ビーム損失による放射線を検出することができた。バッテリー駆動による 3 セットの放射線検出器システムを同時に稼働し、無線 LAN を用いたデータ収集では、放射線ではないと考えられる多数の信号がカウントされているが、電子ビーム入射中は平均的なカウント数が上昇しており、加速器の運転に関連した何らかの信号を検出していると考えられる。

今後は放射線による信号のみを測定するための対策を施し、半導体検出器とマイクロコンピュータのセットを増やして多点同時測定を行う。

## 参考文献

- [1] あいちシンクロトロン光センター;  
<http://www.astf-kha.jp/synchrotron/>
- [2] <https://www.bergoz.com/products/blm/>