3. 大型放射光施設の現状と高度化 3-1 加速器

1. 運転・軌道解析グループ

1-1 加速器の運転

図1にユーザー運転開始以来の運転時間の推移を示す (脚注)。2008年のSPring-8加速器総運転時間は5078.5時 間であった。この時間には、加速器立上げ調整時の入 射器系加速器の先行運転なども含まれている。2008年 の蓄積リングの運転時間は5063.4時間、ユーザータイム は4037.8時間であった。2006年および2007年と比べると、 蓄積リング運転時間がほぼ変わっていないのに対して、 ユーザータイムは毎年100時間以上の増加を達成してい る。

2008年のユーザータイムは蓄積リング運転時間の 79.7%、トラブルによりユーザータイムを停止しなけれ ばならなかった時間は計画ユーザータイムの0.76%に当 たる30.7時間であり、ユーザータイム達成率は計画ユー ザータイムに対しては99%の高い値を達成した。また、 トラブルとして、30回のビームアボートあるいは計画 外のビーム廃棄が発生している。最も長い中断時間は 落雷による瞬時電圧低下によるもので4時間22分、ほ とんどのものが1時間程度でユーザータイム再開を果 たしている。ユーザータイム中断には至らないが、トップ アップ入射の中断が39回発生した。入射系のトラブルに起 因するものがほとんどであるが、地道な対策を施しており、 トップアップ中断の減少に努力をしている。また、加速器 およびビームラインの調整は1010時間であり、ユーザータ イムが増加した分だけ年々約100時間程度づつ減少してい る。

以前より減少傾向にあるマルチバンチモードの運転の割 合は、2008年はユーザータイムの18.7%であり、2007年と 同程度であった。セベラルバンチモードでの運転の割合は 44.2%で、2007年の51.9%より減少した。セベラルバンチモ ードの中では、例年は際だって多い203バンチモード(1 バンチ当たりの電子数1.5×10¹⁰:電流換算0.5mA)での運 転がユーザータイムの24.1%(2007年は32.4%)に減少して、 その分11バンチトレインを全周に均等に29配置したモード (1つのバンチには9.5×10⁹:電流換算0.3mA)が18.9%実 施された。マルチバンチモードとセベラルバンチモードが 共存するハイブリッドモードは37.1%(2007年は31.3%)と 多少増加した。マルチバンチモードの運転時間の減少の原



図1 1997年の供用開始以来の運転時間の推移

因は、2004年以来のトップアップ運転の導入により、高電 流バンチの短いビーム寿命を気にする必要が無くなったた めに、パルス放射光利用実験がいつでも実施できる様にな ったためである。この傾向は今後も続くと思われる。2008 年は、8つのフィリングモードでの運転が実施されている。 前述した均等203バンチ、11バンチトレインを全周に均等 に29配置したモード等が実施された。

表1に、蓄積リングの主要なパラメータを示す。 (大熊)

1-2 蓄積リングの線形共鳴結合補正の改善

高輝度放射光光源リングにとって垂直ビーム拡がりは重 要なパラメータである。垂直ビーム拡がりは誤差磁場など による水平垂直振動の結合(線形共鳴結合)や垂直ディス パージョンなどで生じるが、光源リングではこれを抑える ため様々な対策が取られている。SPring-8蓄積リングでは 精密な電磁石アライメントと適正な軌道補正により、垂直 ビーム拡がりは運転開始当初より非常に小さいものであっ た。垂直ディスパージョンは、1999年秋のオプティクス変 更により大きくなったため、スキュー四極電磁石を導入し て補正を実施している。線形共鳴結合も、近年の経年的な アライメント誤差の増加などにより大きくなってきたの で、スキュー四極電磁石を増設して2007年春より補正を開

脚注:SPring-8年報は年度ごとのまとめであるが、運転統 計は従来通り1月~12月で集計する。

表1 蓄積リングの主要パラメータ

| Table I. | Beam | parameters | of SPring-8 | storage | ring |
|----------|------|------------|-------------|---------|------|
| rable r. | Duam | parameters | or or mg-o | Storage | 1 |

| | Energy [GeV] | 8 | | |
|--|--|--------------------|--|--|
| | Number of buckets | 2436 | | |
| | Tunes $(\mathbf{v}_x / \mathbf{v}_y)$ | 40.15 / 18.35 | | |
| | Current [mA]: | | | |
| | single bunch | 12 | | |
| | multi bunch | 100 | | |
| | Bunch length (o) [psec] | 13 | | |
| | Horizontal emittance [nm·rad] | 3.4 ^{\$1} | | |
| | Vertical emittance [pm·rad] | 6.8 ^{\$1} | | |
| | Coupling [%] | 0.2 | | |
| | RF voltage [MV] | 16 | | |
| | Momentum acceptance [%] | ±3 (±240 MeV) | | |
| | Beam size $(\sigma_x / \sigma_y)^{s1}$ [µm] | | | |
| | Long ID section | 294 / 10 | | |
| | ID section | 301 / 6 | | |
| | BM section | 107 / 13 | | |
| | Beam divergence $(\sigma_x^2 / \sigma_y^2)^{1}$ [µrad] | | | |
| | Long ID section | 13 / 0.7 | | |
| | ID section | 12 / 1.1 | | |
| | BM section | 56 / 0.6 | | |
| | Operational chromaticities (ξ_x / ξ_y) | $+2/+6^{82}$ | | |
| | Lifetime [hr]: | | | |
| | 100mA (multi bunch) | ~200 | | |
| | 1mA (single bunch) | ~20 | | |
| | Horizontal dispersion [m]: | | | |
| | Long ID section | 0.103 | | |
| | ID section | 0.107 | | |
| | BM section | 0.032 | | |
| Fast orbit stability (0.1 – 200Hz) [µm]: | | | | |
| | horizontal (rms) | ~4 | | |
| | vertical (rms) | ~1 | | |
| | | | | |

^{\$1} Assuming 0.2% coupling for "Low Emittance Optics"
^{\$2} With bunch-by-bunch feedback

始した^[1,2,3]。

線形共鳴には差共鳴と和共鳴があり、図2に示すとおり チューンマップ上で格子を構成している。当初、線形共鳴 補正は最近接共鳴 ($v_x - v_y = 22$) についてのみ行ってい たが、これを改善するため運転点(40.15, 18.35)を囲む4 本の共鳴に対して補正を行うことにした。

摂動理論単共鳴近似^[4,5]によれば、垂直ビームサイズ は線形共鳴強度に比例しているので、これをモニタとして その極小点からスキュー四極電磁石による共鳴結合補正量 が求められる。各共鳴モードは直交しているので、スキュ 一四極電磁石の組み合わせによりそれぞれ独立に調整を行 うことができ、運転点に近い共鳴から順に補正を行ってい る。その過程を図3に示す。共鳴強度は複素量なので、実 部、虚部の2自由度があるが、スキュー四極電磁石を適当 に組み合わせることにより独立に強さを変えることができ る。図3において、フィッティング曲線は共鳴強度に対す る垂直ビームサイズの応答を2次曲線で近似したものであ る。無補正の点からその極小点を繋いでいったものが水色 の折れ線で、共鳴結合補正の過程を表している。図3から、 最近接共鳴だけを補正するよりも垂直ビームサイズが改善 していることが分かる。

蓄積リングのオプティクス調整では、上述の共鳴結合補 正後に垂直ディスパージョン補正を行っている。垂直ディ スパージョン補正は近傍の共鳴を励起しない条件を課して 行っているので、共鳴結合補正を損なうことはない。これ らのオプティクス調整により最終的にエミッタンス結合比 0.2%を達成しており、蓄積リング運転開始当初の性能を回





復している。

(高雄)

1-3 水平キッカー電磁石による蓄積ビームの入射振動抑制

蓄積リングへのビーム入射時には4台のバンプ電磁石が パルス励磁され、バンプ軌道が水平面内に生成される。こ のバンプ軌道が閉じていないと、トップアップ入射時に蓄 **積ビームが振動してしまうなど、ユーザー運転に悪影響を** 及ぼす。これまで、バンプ電磁石の磁場波形の相似性の改 善や励磁タイミングの調整など、様々な取り組みが行われ てきており、入射に伴う蓄積ビームの水平振動は、概ねビ ームサイズの1/3以下に抑制されている^[6]。しかし、バン プ電磁石の磁場の立ち上がり付近では、磁場波形や励磁タ イミングを完全に調整することが難しく、スパイク的なビ ーム振動が残ってしまっている。このため、ある特定のセ ベラルバンチモード運転時には、シングルバンチ部が振動 して、そのバンチへの安定なビーム入射が妨げられるとい う問題が生じている。これを解決する1つの方法は、発生

するビーム振動を打ち消すための、速いキッカー電磁石を 導入することである。これができれば、セベラルバンチモ ード運転の幅が広がり、また、より安定なトップアップ入 射が実現される。このために、速い立ち上がりのキッカー 電磁石および電磁石電源の開発を進めている。

ビーム振動を打ち消すためには、蹴り角50µrad、4.7mT 相当の磁場を、パルス幅1µs以内(目標600ns以内)で発 生させる必要がある。またキッカー電磁石を挿入できる空 間は限られており、磁場長150~300mmにおいて上記の大 強度磁場を発生できるキッカー電磁石を製作する必要があ る。要となるのは、短い時間で強い磁場を発生させる電源 の開発であり、1µsの短パルスで700Aの励磁電流を発生で きる電源システムの構築である。試作した電源の回路図を 図4に、また、これを用いてビーム試験を行った際のキッ カー電磁石システムの概略を図5に示す。

電磁石本体は、インピーダンスを極力下げるため1ター ンコイルのデザインとし、磁場誤差を低減するためにコイ ル端部を30mmほど立ち上げた。これを、渦電流による減 磁を防ぐために5µm厚のTi-Moコーティングを施したセラ ミックスチェンバーに据え付けた。また励磁電流ラインの インダクタンスを下げるため、電磁石近傍にドライブ電源 を据え付けられるよう極力コンパクトな設計とした。 400Vの高電圧をマシン収納部外からかけることにより並 列接続のMOSFET 2 個を駆動し、低インダクタンス特性



図4 ドライブ電源回路



とあわせて短パルス大電流の生成を可能にした。

試作電源を用いたビーム試験では、シングルバンチ 1mAを蓄積し、シングルパスBPMを用いて、励磁タイミ ングの調整、パルス幅を合わせるための回路素子の調整、 ビーム振動の測定などを行った。振動データの解析やサー チコイルの出力などから、磁場出力0.62mTをパルス幅1µs で実現できたことを確認した。

ビーム試験により、水平キッカーによる振動抑制の効果 の可能性を示すことができたが、磁場強度は振動を抑制す るのに十分な強さとは言えず、更なる短パルス・大電流化 に向けたドライブ回路の開発や、磁場強度を高めるための キッカー電磁石の形状最適化を予定している。またキッカ ーの効果を高めるため、ベータトロン関数や振動の位相も 考慮した設置場所の選定も行う予定である。

(満田、早乙女)

1-4 垂直キッカー電磁石を使った短パルスX線の生成

近年、放射光ユーザーからは、より時間分解能の高い短 パルスX線が望まれている。XFELの建設などにより100 ~数10fsの短パルスX線の生成は現実的なものとなってい るが、1psオーダーの短パルスX線についても、十分な需 要があると考えられている。例えば物質構造科学における 格子歪の過渡的状態の観測や、生体分子のダイナミクスの 電荷移動現象の観測などに1psオーダーのX線の需要があ る。これまで提案されてきた短パルスX線生成スキームは 複雑で、新たな技術開発の要素が多いものであった。これ に対し、蓄積ビームに垂直パルスキックを与えてバンチを 傾け、短パルスX線を生成するスキームがW. Guoらによ り提案された^[7]。この方法では、クロマティシティが0 でない場合にバンチにヘッド・テール振動が誘起され、シ ンクロトロン振動の半周期後にはその傾きが最大となるこ とを利用する。この方法では、その単純なスキームから複 雑な技術開発要素が少なく、また空間的な制限も少なく済 むため、既存の蓄積リングへの組み込みが容易である。 SPring-8では蓄積ビームの垂直エミッタンスが小さいた め、この方法でpsオーダーの短パルスX線を生成できる可 能性が十分にあると考えられる。

短パルスX線生成のためには、0.1mrad程度のキックを、 ビーム周回時間4.8µsよりも短い時間で8GeV電子ビームに 与える必要がある。このために、小型空芯コイルを用いた 垂直キッカーと短パルス大電流ドライブ電源を試作し、シ ングルバンチ1mAの蓄積ビームを用いてその性能評価試 験を行った。図6が短パルスX線生成試験用に構築したシ ステム概略図である。試験では、バンチの通過に合わせて 1Hzの繰り返しでビームを蹴り、加速器診断I(BL05SS) の可視光ストリークカメラ、および加速器診断I(BL05SS) のX線ストリークカメラで観測を行った。可視光ストリー クカメラでは、シンクロトロン振動の半周期の50ターン後



にヘッド・テール間にて2mm程度の偏差に相当する最大 ビーム傾きを観測した。またX線ストリークカメラでは、 Taスリット(開口角:水平3.5µrad、垂直1.4µrad)で切り 出した短パルスX線の観測を行った。図7は、このとき切 り出されたX線を二重掃引モードで観測したものである。 バンチの長手方向(縦軸)の様子が、周回ごとに(横軸) 示されている。左図がキック前後での様子、右図がキック 後50ターン前後での様子である。この左図において、光軸 が大きくずれてX線が見えなくなった時が、垂直キッカー オンのタイミングにあたる。キッカーオフの状態では、パ ルス幅は36ps(FWHM)であったが、キック後50ターン 前後では、最短で7psの短パルスX線を観測した。ここで 観測された7psのパルス幅は必ずしも十分な値とは言えな いが、バンチの傾きを誘起させ、スリットによって短パル スX線を切り出せることが実験的に示された。今後は、ク



図7 X線ストリークカメラにより観測された短パルスX線。左 図はキック前後、右図はキック後50ターン前後での様子。 右図内の数値は、スリットで切り出されたX線のパルス 幅(FWMH)を示す

ロマティシティとキック量の最適化、キック量の増大を目 指した電磁石デザインの最適化、ドライブ電源の更なる大 電流化、X線光学系の最適化、電源の繰り返し周波数の 100Hz化、試験的な利用実験などを計画・検討している。 (満田、早乙女)

1-5 ビームロスモニタの開発

2003年、SPring-8蓄積リングにおいて、アボートされた 周回電子ビームが真空チェンバーに衝突し、チェンバーの 損傷により真空漏れを引き起こした^[8]。また、蓄積リン グ内を周回している電子ビームが真空封止型挿入光源用の 永久磁石に衝突すると永久磁石を減磁し、挿入光源から発 生する光の特性が変わる可能性がある^[9]。蓄積リングの 機器への電子ビームによる照射ダメージを抑制する為に、 ビームロスを監視する必要がある。

ビームロスモニタはいつ・どこで・どの程度、ビームを 損失したかを予測することができるので、(1) ビームロス の監視、(2) ビームロスメカニズムの解明、および(3) ビームロスハンドリング(ビームロスの抑制、または適切 な廃棄点へのビームの誘導)に対し、非常に有用である。 以上の目的のために、蓄積リングの機器への電子ビームに よる照射ダメージを抑制する為に、PINフォトダイオード を用いたビームロス監視システムを開発中である^[10]。

ビームロスモニタは、「ビームがチェンバー等に当たっ た時に生じる2次粒子を検出するビームロス検出部」と、 「パルス磁石からの誘導電圧やクロッチ・アブソーバーか らの散乱放射線等のバックグラウンドノイズを検出する為 のノイズ検出部」で構成されている^[10]。それぞれの検出 部には、安価でメンテナンスフリーとする為、PINフォト ダイオードを、ゼロバイアスモード(逆バイアス電圧を使 用しない、いわゆる太陽電池) で使用することとした。そ れぞれの検出部は50×80×34mm³のアルミシャーシに内 蔵され、入射点、廃棄点、電子ビーム損傷試験装置の設置 されているセル48の直線部(以下、SS48)など、蓄積リ ングトンネル内の主要な11カ所に22個インストールされて いる。それぞれの検出部からの信号は、シールド付きツイ スト4芯線を用いてトンネルの外に引き出され、処理回路 に入力される。処理回路において、ビームロス検出部から の信号とノイズ検出部からの信号がノイズ補償の為に差分 増幅(×100)される。処理回路からのアナログ信号はデ ジタルレコーダーでデジタル信号に変換され、中央制御室 に送信される。

蓄積リングでは、状況に応じ2種類の入射スキーム、す なわち「通常入射」と「トップアップ入射」が行われる。 ビームが無い状態から蓄積リングにビームを蓄積する場合 は、シンクロトロンから出射される全ての電子を、ビーム 輸送部(SSBT)を通じて入射する、「通常入射」が行わ れる。一方で、ユーザー運転中、挿入光源のギャップを閉



じた状態で電子減少分をつぎ足し入射する際は、「トップ アップ入射」が行われる。

蓄積リング入射時におけるビームロスメカニズムの解 明、およびビームロスハンドリングの為に、通常入射時の 蓄積リング各点でのビームロス信号を測定した。結果を図8 に示す。入射直後に、入射点およびSS48においてビーム ロス信号が観測されたが、SS48の方が入射点よりも信号 強度が約10倍大きくなった。

蓄積リングでは、周回ビーム軌道に対して入射ビームを オフセンターに入射する、オフセンター入射方式が採用さ れている。入射ビームは閉軌道の周りを振動しながら周回 するので、振動振幅が大きくなって入射ビームが真空チェ ンバーに衝突した場合、そこでビームロスを生じる。そこ で、ビームロス信号が観測された場所にローカルバンプ軌 道を作り、入射ビームがチェンバーに当たることを回避で きれば、入射ロスが減少し、結果的に蓄積リングへの入射 効率が上昇するものと思われる。

図8から、通常運転時のチューン(40.15, 18.35)において、SS48におけるビームロスが支配的なので、ここでは

SS48のx方向およびy方向にローカルバンプ軌道を作り、バ ンプ高さを変えながら入射を繰り返すことで入射効率を測 定した。結果を図9に示す。y方向に関し、正の向きにロー カルバンプを作ることで、入射効率の平均値が上昇した。

今後、効率よくビームロスを監視する為に、戦略的にビ ームロスモニタを増強すると共に、入射ロスが観測されて いる他の場所に関しても入射ロスを回避する事で、入射効 率が改善されないか調査する予定である。

(下崎)

1-6 不安定性抑制

ハイブリッドフィリングにおいて、10mA/bunchを越え る大電流のシングルバンチ部と、低電流からなるトレイン 部をもつフィリングの蓄積を目標として、その際に問題と なるシングルバンチ部およびトレイン部の双方が引き起こ すビーム不安定性を同時に抑制可能とするため、bunchby-bunchフィードバック装置の高度化を進めている。フ ィードバック無しの場合、大電流シングルバンチでは、水 平および垂直方向に発生するモード結合不安定性が、バン チ電流の上限値を3mA/bunch程度に制限している。この 不安定性は非常に強く、それに対抗してフィードバック用 のキッカー台数およびアンプの増強を行い、現在、 12mA/bunchまで蓄積することが可能となっている^[11]。 しかし、ビーム入射時のバンプ軌道形成に伴い励起される 水平のビーム振動がシングルバンチ部においてフィードバ ックを飽和させ、入射バンチ位置によってはシングルバン チの損失をもたらし、任意のフィリングを達成することが 困難となっている。これに対して、図10に示す水平方向の 高効率キッカーを開発し、水平方向のキック力をより高め て、フィードバックの振動による飽和を抑制することに成 功した。また、大電流シングルバンチが蓄積されている状 況下において、任意のバンチ位置への入射をフィードバッ クの飽和なしに実現し、目的のフィリングでの入射を可能



図9 セル48直線部の(a)x方向および(b)y方向にローカルバンプ軌道を作って通常入射したときの入射効率



図10 高効率水平方向キッカー。ビーム軸に対して1/4 の象限 のみを示しており、手前の面および上面が交差するところがビーム軸である。水平キッカー電極(中央のU型電 極)、垂直方向キッカー電極(中央下の棒状)について は全体が描かれている

とした。このキッカーでは、大きな水平方向の電極により、 水平方向に強い電磁場を生成することが可能となってい る。ただし、水平方向のキック力を一割程度犠牲にして、 垂直方向のキッカー電極を設置している。今後、目的のフ ィリングにおけるバンチ電流の違いを吸収して、ビームを 安定させるため、現状のバンチ電流感応型自動アッテネー タをさらに高度化し目標のフィリングを実現する予定であ る^[12]。

また、低エネルギー運転時に問題となる縦方向マルチバ ンチ不安定性を抑制するため、新しい概念による縦方向キ ッカー(エネルギーキッカー)を製作した(図11)。SPring-8 のような高エネルギー大型リングでは、縦方向キッカーが 多数台必要となるので、単位長さあたりのキック効率の向 上は非常に重要である。従来、このようなキッカーの形状 として、多数のポートを持った空洞形状が用いられてきた が、今回、これを共振型ストリップライン形状とすること により、空洞型よりも高効率で、かつ、全長が短く、周波 数の選択幅の広いキッカーを実現した。また、このエネル ギーキッカーにより、大電流バンチで観測されているシン クロトロン振動やバンチ長の伸縮を抑制することにも適用 可能と考えている。

これまで蓄積リングにおいてビーム不安定性を抑制する ために用いられてきたbunch-by-bunchフィードバックの 技術を、シンクロトロンに適用し、チューン変動追随型 RFKO装置の開発を行っている(図12)。シンクロトロン では、RFKOを用いてシングルバンチの純化を行い、蓄積 リングでの高純度バンチを実現している。RFKOは、チュ ーンの周波数で不純電子をキックすることによりベータト ロン振動を励起し蹴り落とす手法である。これに対して磁 石電源リップルに起因すると思われる早いチューン変動が 観測されており、さらに、省エネルギーに不可欠なシンク ロトロンの間欠運転の際には、温度変化等による大きなチ ユーンの変動がみられる。このようなチューン変動がある と、RFKOの周波数がチューンの周波数からずれ、ベータ トロン振動の励起効率が低下し、バンチ純度の悪化につな がる。このため、現在、蓄積リング利用運転時は、常時運 転を行い、チューンの変動を抑えているが、今後の間欠運 転の実現に向けてチューンの変動に強いRFKOシステムを 構築する必要がある。これを解決するものとして、 bunch-by-bunchフィードバックの技術を用いて、主バン チに正のフィードバックを行ってベータトロン振動を励起 し、その周波数をRFKOに用いるシステムを開発している。 これによりチューンの変動が生じてもRFKOの周波数は追 随していき、不純電子を効率よく励起することが可能であ る。このフィードバックでは、10ターン程度(~10µs) の過去のバンチ位置情報をFIRフィルタに送り、励起キッ ク信号を生成しているので、チューンの変動の速度より十 分早く、変動に追随できる。主バンチのチューンは、不純 電子のチューンに比べ、ウェークの効果によって若干、低 下しているが、フィードバックはチューンシフトを引き起 こすことも可能であるので、FIRフィルタの位相を、主バ ンチのベータトロン振動を励起すると同時にチューン低下 をフィードバックのチューンシフトにより引き上げてキャ ンセルするように最適化を行おうとしている。これまでの







図12 チューン変動追随型RFKO装置。左側のフィードバック ループにより主バンチを励起し、その信号を用いて右側 のRFKOシステムを駆動する

大型放射光施設の現状と高度化

予備試験では、目標の純度10⁻¹⁰に対して、10⁻⁸から10⁻⁹が 得られている^[13]

(中村)

1-7 加速器診断

(1) 加速器診断 I

蓄積リングでは、電子ビームの垂直エミッタンスを向上 させるために線形共鳴結合の補正^[14]や垂直ディスパージ ョンの補正等のビーム調整が、また、バンチ長を短くして 短パルスX線放射光を生成させるためにモーメンタムコン パクションファクターαを低下させた低アルファ・オプテ ィクスでの試験運転^[15]等が進められている。これらのビ ーム調整や試験運転において、ビームのエミッタンスを診 断するために、加速器診断 I のX線プロファイルモニタを 用いてビームサイズ測定を行った。図13に、低アルファ・オ プティクスでの試験運転時に測定したビームプロファイル を示す。また、X線プロファイルモニタを常時モニタとして 稼働させることを目指して、電子ビームのX線像の検出に 用いているX線ズーミング管の入力光電面の長寿命化のた めの研究を、製作メーカーと共同で進めた。

放射光の高度利用のための短パルスX線の生成を目指 し、上で述べた低アルファ・オプティクスでの試験運転に 加え、2008年度新たに、電子ビームをパルスキッカーを用 いて垂直方向にキックし有限のクロマティシティによりバ ンチにヘッドテイル振動を起こさせ、垂直方向に傾いたバ ンチからの放射光をスリット等で切り出して短パルス放射 光を得る方法の試験が行われた^[16]。加速器診断Iでは、 可視光ストリークカメラを用いて、低アルファ・オプティ クスでのバンチ長の測定や、パルスキッカーで励起された バンチのヘッドテイル振動の測定を行い(図14)、短パル スX線生成に向けた試験の進展に貢献した。



図13 加速器診断 IのX線プロファイルモニタで測定 した低アルファ・オプティクスでのビームプロ ファイル。水平ビームサイズ(σ_x)は216µmで あり、エミッタンス(ε_x)が低アルファ・オプ ティクスでのデザイン値どおり25nm・radとな っていることが確認された



図14 加速器診断 I の可視光ストリークカメラで観測したバン チのHead-Tail振動。キック後50周回目前後でのバンチ 振動の様子が、周回毎に図の上から下に向かって示され ている。バンチを進行方向に向かって右側から見た配置 に相当し、図の右側がバンチの前方に、図の上側が垂直 方向の上向きに対応する。バンチの垂直方向の傾きが周 回毎に変化している様子がわかる

(2) 加速器診断Ⅱ

加速器診断Ⅱでは、既に稼働している光学ハッチ1に加 えて2008年度は新たに光学ハッチ2を稼働させた。これに より、リングの直線部に設置した挿入光源装置からの白色 放射光を光学ハッチ1および2に導入して加速器の機器開 発のための放射光照射実験等に利用することが可能となっ た。光学ハッチ2には、SPring-8標準型に準拠した構造の 二結晶分光器とそこから出射される単色X線を大気中に取 り出すためのベリリウム窓が設置されている。挿入光源か らの放射光を用いて二結晶分光器の立上げ調整を行い、以 下で述べる挿入光源の性能評価並びに挿入光源の放射光を 用いたビーム診断の試験を進めた。フロントエンドに設置 したアブソーバおよびX・Yスリットでは、放射光受光体 が挿入光源装置からの高出力放射光を受光した際に、受光 体表面で散乱されたX線が真空チェンバーの壁面を局所的 に加熱する現象が観測された。この対策として、水冷機構 を設けた真空チェンバーを2008年度に新たに製作した。

遠赤外線レーザー光子を蓄積リング電子ビームにより逆 コンプトン散乱させることにより大強度の10MeV領域ガン マ線を生成させる計画を、昨年度に引続き進めている^[17]。 2008年度はレーザーシステムを構成する真空ポンプ、冷却水 系統、電源系統などのユーティリティ設備の整備を行った。

加速器診断 II では、挿入光源の放射光のエネルギースペ クトルや角度分布等を精度良く測定し、単一電子に対して 理論的に予測される分布と比較することにより、電子ビー ムのエミッタンスやエネルギー広がり等のビーム診断を行 うことを計画している。このためには、単一電子の放射光 のエネルギースペクトルの幅や角度発散が小さくなる、い わゆる高次光を観測することが重要となる。加速器診断Ⅱ の挿入光源は、高い次数の高次光の発生が誤差磁場により 抑制されることの無いよう、装置の組立調整の段階で磁場 の精度として位相誤差2度以下を目標とし磁場調整を実施 した。調整後に最小の磁極ギャップ(20mm)の条件で測 定した磁場データから評価した位相誤差の値は1.6度(rms 値)であった。この挿入光源の性能を評価するために、最 小磁極ギャップでの放射光を光学ハッチ2に設置した二結 晶分光器で単色化してエネルギースペクトルを測定した (図15)。この磁極ギャップでのK値は5.82、1次光の光子 エネルギーは0.446keVであるが、70次程度の高い次数ま で高次光のピークが明瞭に観測された。実測した放射光の スペクトルを、電子ビームのエミッタンスとエネルギー広 がりとを考慮して理論的に計算したスペクトルと比較した ところ、装置磁場の位相誤差の値として1.8度を仮定する と実測値を概ね再現できることがわかった。この放射光ス ペクトルの測定から評価した位相誤差の値1.8度は、装置 の組立調整時に測定した磁場データから得た値1.6度と良 い一致を示し、磁場の目標精度であった位相誤差2度以下 を達成したことを、稼働後の光源性能の面からも確認した。

挿入光源の高次光を観測して電子ビームのエネルギー広 がりを診断する方法の試験を進めた。蓄積リングの高周波 加速電圧にシンクロトロン振動数(2.2kHz)での位相変 調をかけてバンチのエネルギー振動を励起することにより ビームの実効的なエネルギー広がりを変化させながら、19 次光の空間プロファイルをX線CCDカメラを用いて観測し た(図16)。バンチに励起したエネルギー振動が時間積分 により実効的なエネルギー広がりの増大として観測される ように、カメラの露光時間は30msに設定した。ビームの 実効的なエネルギー広がりの変化に応じて、高次光の垂直



図16 加速器診断 II 挿入光源の19次光の空間プロファイル。 ニ結晶分光器を用いて8.3keVの光子エネルギーで測定 した結果である。水平方向(X)の広がりは、フロントエ ンド部のXスリットの開口4mradにより制限されている。 電子ビームの実効的エネルギー広がりの増加とともに、 垂直方向(Y)の広がりが増大していることが分かる

方向の角度発散が変化することが、実験的に確認された。 今後は、バンチ電流増強時のビーム不安定性、計画されて いるXFELのCバンドライナックからの入射ビームなど、 非平衡状態のビームをバンチ毎、周回毎に測定できる高速 のシステムの開発を進める計画である。

加速器診断 I の項で述べた短パルスX線放射光の生成試 験において、X線パルスの幅を精度良く実測することが非 常に重要である。このために必要なX線ストリークカメラ を加速器診断 II に導入した。挿入光源からの放射光を二結 晶分光器で分光した単色X線を用いて、時間分解能等のX 線ストリークカメラの基本性能の定量的な評価を進めると ともに、低アルファ・オプティクスでのバンチ長測定の試 験等を進めた。X線ストリークカメラを用いた測定や、上 で述べた電子ビームのバンチ毎、周回毎での高速な診断シ



図15 加速器診断Ⅱ挿入光源の放射光エネルギースペクトル。赤丸は、磁極ギャップ20mm(K値5.82 に対応)での測定結果。青色の実線は、位相誤差1.8度を仮定し電子ビームのエミッタンスとエ ネルギー広がりとを考慮して計算したスペクトルである

ステムの開発には、ビームに同期した基準タイミング信号 が必要となる。RF中央位相調整室から高精度の光ケーブ ルを敷設し、高精度の基準高周波信号(508MHz)とビー ム周回信号(208kHz)、また、蓄積リングへのビーム入射 に同期したシンクロトロンの出射タイミング信号と線型加 速器電子銃トリガーの信号を、加速器診断Ⅱに配信するシ ステムを、2008年度整備した。

(高野)

参考文献

- [1]高雄勝、他:第4回日本加速器学会年会・第32回リニアック技術研究会(和光市),2007年8月,p.622.
- [2] SPring-8年報 (2006) p.19.
- [3] M. Masaki, M. Takao, K. Soutome and S. Takano : Proc. of EPAC'08 (2008), Genoa, Italy, p.3035.
- [4] G. Guignard : Phys. Rev. E **51** (1995) 6104.
- [5] M. Takao : Phys. Rev. ST Accel. Beams 9 (2006), 084002.
- [6] SPring-8 年報 (2003) p.23; SPring-8 年報 (2005) p.20.
- [7] W. Guo et al.: Phys. Rev. ST Accel. Beams **10** (2007) 020701.
- [8] M. Shoji, et al.: "Development of SPring-8 vacuum system", to be published in Vacuum.
- [9] T. Bizen : Nucl. Instr. and Meth. A **574** (2006) 401.
- [10] 下崎義人、他: "SPring-8蓄積リングにおける、PIN フォトダイオードを用いたロスモニターの開発",第 5回日本加速器学会年会・第33回リニアック技術研究 会(東広島),2008年8月,p.698.
- [11] T. Nakamura, et al.: Proc. of EPAC'08, (2008), Genoa, Italy, p.3284.
- [12] K. Kobayashi and T. Nakamura : to be presented at ICALEPCS'09 (2009).
- [13] T. Nakamura, T. Aoki and K. Kobayashi : to be presented at ICALEPCS'09 (2009).
- [14] SPring-8年報 (2007) p.19.
- [15] SPring-8年報 (2007) p.20.
- [16] 田村和宏、他:"短パルス放射光生成のためのHead-Tail振動励起",第5回日本加速器学会年会・第33回リ ニアック技術研究会(東広島),2008年8月,p.695.
- [17] 持箸 晃、他: "SPring-8直線部を用いたレーザー逆コンプトン散乱によるMeV領域ガンマ線ビーム計画,第5回日本加速器学会年会・第33回リニアック技術研究会(東広島)、2008年8月, p.713.



- 2. 加速器第1グループ
- 2-1 線型加速器の運転状況[1]

SPring-8 Top-up運転のビーム入射間隔は、2007年の11 月よりインターバル優先モードから電流値優先モードへの 移行を行い、SPring-8では1分間隔または5分間隔であっ たものから、電流値を一定にするような不定間隔となり、 約20秒~5分に1回となっている。この変更により蓄積リ ングの蓄積電流の安定度は0.1%p-pから0.03%p-pとなった。 NewSUBARUでは蓄積電流によるが6、7秒に一度の入射 を行っている。Top-up入射中の線型加速器の入射ビーム エネルギーの安定度は、0.01%rmsであった。NewSUBARU での1.5GeV運転時には必要に応じて、1日1、2回の入射 を行っている。

両蓄積リングに入射するビームの種類とその質は、基本 的に2007年度と同様である^[2]。両蓄積リング同時Top-up 運転の際、入射経路切換における加速器パラメータの変更 を最小限にするため、Top-up入射専用の共通1nsビームを 用意している。ただしNewSUBARU入射時は、入射路途 中のスリットでビーム電流を約1/3に削減する。

2008年における線型加速器総運転時間は、5078.5時間で あった。図1に2008年度のサイクル毎のインターロックフ ォールト統計を示す。左のグラフは1日あたりの回数で、 平均すれば1日1回以下となっている。フォールトの原因 のほとんどはクライストロンモジュレータによるものであ るが、13台のモジュレータで1日に1回程度まで下がって いる。2007年夏にサイラトロンスタンドの更新を行ったお かげでモジュレータ筐体内での放電がなくなり、そうした 放電によるノイズが誘発していたと思われるフォールトが 減って、全体のフォールト数は更に減少傾向である。右の グラフは線型加速器のフォールトを原因とするTop-up運 転の中断時間の比率であるが、前半のサイクルでは電子銃 用高圧デッキ内での、回路トラブルや電子銃モジュレータ PFNコンデンサーのパンクおよびサイラトロン交換など が重なり、多大な修理時間を要した。そのため、例年の2、 3倍のダウンタイムとなっている。しかし後半の第3サイ クル以降では、中断時間がかなり減少している。第4サイ



大型放射光施設の現状と高度化-

クルの後半に、第1電子銃付近の真空悪化が多発したが、 第4サイクルと第5サイクルの間のマシンスタディ期間に 第2電子銃への切替を行い、運転に大きな影響を及ぼさな かったのは電子銃二重化の成果である。

(鈴木)

2-2 加速器の改良

2-2-1 電子銃システムの二重化

電子銃カソードの交換には、真空排気作業、カソード活 性化などを含め、約3日運転を停止しなければならなかっ た。この時間を大幅に短縮するために、電子銃システムの 二重化を進めている。

図2は第2電子銃用の電源(パルストランスタンクと高圧 デッキ)を設置した電子銃部の写真である。第2電子銃から のビームは90度偏向磁石(青色のヨークのみが少し見えて いる)により手前に曲げられて、バンチャ部に入射される。

電子銃本体は2007年春に機器の製作を完了し、2007年の夏 期停止期間に設置を行った。2008年の中間停止期間にエミッ ション試験を行い、第1電子銃と同程度のビーム電流値が確 認され、シンクロトロンへのビーム輸送も問題なく行われる ことを確認した。2008年10月に第1電子銃付近での真空悪化 が多発したため、10月28日のマシンスタディ期間中に第2電 子銃への切替を行い、11月、12月の運転は第2電子銃を用い て行った。切替に要した時間は約3時間であった。

2008年度時点では、第1電子銃のトラブルにより第2電 子銃を使用する時は、第1電子銃用のモジュレータ及び高 圧デッキを第2電子銃につなぎ替えて使用している。しか し、2008年度に専用の電源や高圧デッキを製作し、2009度 末のシステム完全二重化完成に向けて整備を進めている。

2-2-2 PLC用通信装置の更新^[3]

建設時はクライストロンモジュレータと上位計算機との リモート制御はPLCとVMEとの間で個別のAI/O、DI/O で取り合っていた。2000年にVMEとの通信をRS-232C経



図2 第1および第2電子銃とそれらの電源

由で取り合うように変更し、その後VMEと直接ではなく HPのワークステーションと通信を行いTCT/IPで上位計 算機に取り込むようになった。このワークステーションは、 新機種への更新のために使用されなくなったものを、いわ ばRS-232C - TCT/IP変換器として再利用したものである。

しかし、HPのワークステーションもすでに老朽化し、 しかもハードディスク内蔵のため、動作の信頼性が懸念さ れていた。そこで、ディスクレスの小型Linuxマシン(ア ルマジロ:(株)アットマークテクノ社製)に置き換えた (図3参照)。



図3 アルマジロ外観

2-2-3 サイラトロンスタンドの改良[4]

線型加速器のトラブルの多くがクライストロンモジュレ ータに起因するものである。そのため、建設当初から継続 的にモジュレータの改良に取り組んできたが、2008年度は サイラトロンスタンドの改良を行った。

従来のスタンドの場合は、スタンドとモジュレータ筐体 との電気的接触が不十分なために、スタンドと筐体間で放 電が起こっており、それによるノイズが不正なフォールト を誘発したと推測されていた。また、スタンドからパルス トランスまでのアースラインの距離が長く、これもノイズ レベルを高くする原因と考えられた。そこでそれらの問題 に注意し、さらにメンテナンス性を向上させるよう、スタ ンドの再設計を行った。

スタンドのアースについては、変調器筐体内底面に新た にアースプレートを敷き、その上にスタンドをしっかりと 固定することでアースの確実性を大幅に強化するととも に、サイラトロン周りでの作業性を改善した。

サイラトロングリッド用の分圧回路はサイラトロン本体 を囲む形で配置されていた円筒型から、サイラトロン側方 に配置するオープン型に変更し、サイラトロン本体の脱着 を簡単に行えるようにした。また旧型ではスタンドに内蔵 され下から送風していた冷却ファンを、外部ユニットに変 更し、長寿命冷却ファン4台を用いてスタンド側面から冷 却するようにした。これにより、サイラトロンヒータ部、 コントロールグリッド部、コレクタ部が冷却されるように なり、安定度が向上すると思われる。図4に新サイラトロ

大型放射光施設の現状と高度化

ンスタンドの外観を示す。

以上の改造により、サイラトロンの交換時間も、従来は30 分程度要していたのが10分程度に短縮をすることができた。



図4 新サイラトロンスタンドの外観写真

2-2-4 トリガー監視システムの増強

線型加速器のビームが、稀に1発だけ失われてしまう現 象がある。この事象そのものによって運転に大きな影響を 及ぼすことはないが、機器の異常予測のためにはこのよう な事例を注意深く観察することが重要である。

ビームが失われる原因は様々であり、電子銃からビーム が出射されない、クライストロンモジュレータの出力電圧 が低い(または出力されなかった)などでビームエネルギ ーが低すぎる等である。そのような不具合の中には、トリ ガー伝送系モジュールの不調によりトリガーが途切れる、 あるいは遅延する場合もしばしばである。特定のトリガー モジュールで常時不調が発生しているわけではないので、 その対策は即座に行えるものではないが、トラブル発生時 にどの部分の故障かを調査しやすいようにするために診断 装置を導入するのは、ビーム停止時間をできるだけ少なく するためには重要な対策である。

その診断用として、トリガーを計数するカウンターおよ び時間差を測定するTDC (Time to Digital Converter) を設置し、それらの測定値をデーターベースに取り込むよ



図5 制御機器室に設置されたトリガーカウンターモジュール

うにした。図5にあるようにカウンターモジュール (SPring-8内製) 6chを用いて、どこでトリガーが消失した かの判断ができるようにした。TDCにはCAEN社製 V1290V(分解能25ps, 21bit, 全幅52µs, スタート共通15ch) 2台を使用し、ディレイ時間のジャンプ、ドリフトなどを 測定できるようになった。

(鈴木)

2-3 低暗電流加速管の開発^[5]

SPring-8蓄積リングに単バンチを蓄積するときのバンチ 純度は、シンクロトロンのRFノックアウトにより10⁻¹⁰程度 と、きわめて小さな値を維持しているが、そのためには線 型加速器からシンクロトロンに入射される暗電流も出来る 限り小さくしておく必要がある。線型加速器の主な暗電流 源の一つに加速管内の電界放射を原因とする電流があり、 加速管を大気開放した後に著しい。そこで、電界放射によ る暗電流そのものが少ない加速管の開発を行っている。

本研究で開発した加速管の特徴は以下の通りである。

- (1)暗電流源となりやすい結合孔でのパルスヒーティング をさける、電界結合型カプラーを採用
- (2)加速管ディスクのアイリス部断面形状を楕円化することにより、最大表面電界強度を下げて暗電流を低減

開発した低暗電流加速管の主なパラメータを表1に示す。 RF設計では、まずMICROWAVE STUDIO (MWS) によ るシミュレーションを行い概略寸法を決定した。その後、 低電力モデルによる測定を行い、最終寸法を決定した。導 波管端面の位置は、導波管内電磁場の中心が加速管中心軸 と一致するよう加速管中心軸から38mmとした。また、カ プラー部の最適化は MWSによるKyhl法シミュレーショ ンにより行った。

空洞はCLASS1無酸素銅(日立電線C1011)を超精密旋 盤にてダイヤモンドバイト加工した。加工後のアイリス断 面楕円形状について原子間力プローブによる形状計測を行 い、寸法精度および面粗度を確認した。楕円部の面粗度は

表1 低暗電流加速管のパラメータ

| Frequency | 2856MHz | |
|----------------------------|-----------------------------|--|
| Phase shift / cell | $2\pi/3$ constant impedance | |
| Iris diameter (2a) | 20mm | |
| Coupler iris diameter | 36.4mm | |
| Disk thickness | 5mm | |
| Iris shape (cross section) | Ellipse | |
| (Major / minor radius) | (4.0mm / 2.5mm) | |
| Group velocity vg/c | 0.01 | |
| Total length | 1050mm | |
| Number of cells | 24 (22regular + 2coupler) | |
| Filling time | 302ns | |
| Operation temperature | 30°C | |



図6 ロウ付け後の低暗電流加速管



概ね、Ra:0.09µm、Ry:1.4µm、Rz:0.4µmであった。加工後 の空洞セルは真空ロウ付けにより接合した。図6はロウ付 け後の低暗電流加速管である。

ロウ付け後の加速管は、各加速セルに4カ所ずつ設けら れたディンプリング穴から押しボルトにて共振周波数(位 相)調整を行った。VSWRが入力側1.14、出力側1.12と若 干悪く、図7に示すように位相プロットでは60°位置にお いて入力側13°、出力側7°位相回りが小さくなっている。 原因は調査中であるが、カプラー部でのマッチングが不十 分であるためと推測される。また、ディンプリング中にデ ィンプリングしていない近傍セルの共振周波数が100~ 200kHz低下するという現象が発生している。共振周波数 低下の原因は不明で、現在、機械強度やロウ付け等の観点 から調査中である。

今後は本加速管の大電力試験を行い、暗電流の測定を行 う。さらに、RF電子銃で実績のあるエッチング法により 加速管内表面を改質し、さらなる低暗電流化を目指す予定 である。

(鈴木)

2-4 フォトカソードRF電子銃の開発

2-4-1 Z偏光フォトカソード電子銃の開発

コンパクトレーザ光源によるCW運転可能な超高輝度電 子源の実現のために、今まで利用されていないレーザのコ ヒーレント性に着目し、カソード面に垂直な高強度レーザ 電場(Z偏光)の研究を進めている^[6]。ラジアル偏光レー ザを集光すれば小型のフェムト秒レーザオシレータでも約 1~2GV/mのZ偏光電場が生成できる。このZ偏光電場で 銅カソードの仕事関数がショットキー効果により約2eV下 がるため、赤外レーザを照射した場合でも光電子を真空中 に取り出せる。また、Z偏光電場強度を任意に制御し、カ ソードの実効的な仕事関数をレーザ光子エネルギーに合わ せ込み、熱エミッタンスを極小化できる。

2008年度に行った活動は以下の通りである。

カソード面上にZ偏光レーザ電場を実現するラジアル偏 光発生光学系を完成させた。Ti:Saレーザの3倍高調波 (263nm)のラジアル偏光の基本モードをカソード面上に 集光させるための光学トランスポートも整備し、ラジアル 偏光円環ビーム生成にも成功した(図8)。

また、このラジアル偏光素子(Radial polarizer)をア キシコンレンズペアとMeV電子ストッパー付きホロービ ーム集光レンズで構成するホロービーム入射光学系(図9) とともに使用し、ラジアル偏光からアジマス偏光へと自由 に切替え可能なことを確認した。

金カソードと白金カソードを用意し、放射光を用いて、 それらの金属の表面不純物をオージェ電子分光で、仕事関 数を光電子分光でそれぞれ計測した。これらは重要な基礎 物性データである。

ラジアル偏光発生光学系の波長板の破壊テストを、フェ ムト秒紫外パルスを照射して行った。一週間程度の連続照 射では、光電子生成に必要な光強度でも波長板は何の問題 もないことを確認した。

カートリッジ型カソード方式RF電子銃装置に、各種金 属カソードを組み込んでRFコンディショニングを実施し、 カソード表面最大電界が130MV/mに達することを確認し



図8 生成された円環ビームのプロファイル



図9 ホロービーム入射光学系模式図

た。現在は、各種金属カソード計11個(銅、金、白金、銀、 アルミ、ニッケル、ロジウム)と蛍光面カソード(紫外レ ーザの集光状況を確認するため)をカートリッジ型RF電 子銃に組み込んだところで、今後は、Z偏光レーザビーム を照射して電子ビーム生成の実験を行う予定である。

2-4-2 水平垂直エミッタンス非対称性の改善

RF電子銃において水平垂直(XY)エミッタンスの非対称性が存在し、その原因を追及してきたが、2007年までの 実験結果から、エミッタンスの非対称性を生じているのは RF電子銃カソード面へのレーザを入射するための垂直入 射ミラーがビーム軸に近すぎる(約6mm)事が原因であ ることがほぼ断定された^[7]。そこで垂直入射ミラーをビ ーム軸から遠ざけるために、図10に示すような穴開きミラ ーを垂直入射ミラーの代わりに導入した。

本ミラーは中心に電子ビームが通過するための穴が開け られており、レーザはドーナツ状ミラーの一部に反射され て入射される。電子ビーム通過用の穴は、この部分での平 均的電子ビームサイズを考慮して φ 20mmとすることによ り、ウェークの影響低減を狙った。また、ビームが下流の 加速管中心軸上を通過できるように、加速管直前および直 後にBPMを設置し、加速管前のステアリングで軌道調整 できるようにした。

穴開きミラーを用いて様々なパラメータで測定したXY エミッタンスの対称性を図11(赤丸)に示す。非対称性は



図10 レーザ垂直入射用穴あきミラー



図11 XYエミッタンス対称性(黒:旧垂直入射ミラー、赤: 穴あきミラー、青:3.6°入射)



改良前(白四角)に比べて大幅に改善されたが、若干Yエ ミッタンスの方が大きい傾向がある。この要因として、穴 開きミラーが45度斜めに設置されているために、ウェーク が電子ビームに与える影響が非対称となること、加速管カ プラーの非対称性の影響が見えてきた可能性などが考えら れた。

次に、ミラーを図12のように真空チャンバから追い出し、 外から3.6°の角度で入射する方式へ変更した。図11に示 される測定結果(青菱形)によれば、穴開きミラーによる 入射方式から新入射方式に変更してもXYエミッタンスの わずかな差は変わらず、穴開きミラーが45度斜めに設置さ れていたのが原因ではないことが分かった。

今後、シミュレーションコードにより加速管カプラーに おけるビーム挙動などの解析を進め、エミッタンスのさら なる改善につなげる予定である。

2-4-3 バンチ圧縮に関する検討

フォトカソードRF電子銃と既存の3m加速管のシステム



より生成される30MeV、パルス幅約10psのビームをバンチ 圧縮する検討を進めている。3m加速管後方に1mのエネルギ ーモジュレーション用加速管を設置し、エネルギー勾配を かけたものを図13に示す90°ベンド系に導くことにより圧 縮する。基本的には、2台の偏向電磁石とその間にある四極 電磁石でアクロマートな系を組む。これだけでは行路差に 非線型成分が生じ十分にバンチ圧縮できないので、2次の 成分までを補正するために六極電磁石を2台導入する。

RF電子銃の低エミッタンスビームを生かすために、バ ンチ圧縮時のエミッタンス増大を出来るだけ抑えたいの で、シミュレーションによる検討を行った。ベンド軌道で のエミッタンス増大はCSRの効果を考慮する必要がある。 elegant等の既存コードが良く用いられるが、radiationに よる寄与以外の空間電荷効果を考慮していない。このため、 RF電子銃用に開発したビームトラッキングコード^[8]を、 ベンド軌道でもこれら双方を計算できるように改良し、検 討を行った。

上記のようにアクロマートな系を用いることによって圧 縮が可能であるが、本システムではエネルギーが低く空間 電荷効果によってベンド系を通過する途中で各電子のエネ ルギーが変化する。これによってアクロマートな系が崩れ てしまうので十分な圧縮が難しい。アクロマートな系を保 つためには、空間電荷効果で電子エネルギーが変化する程 度よりも大きな初期エネルギー勾配を持たせてやれば良 い。このためには90°ベンド系での行路差を小さくする必 要があり、すなわち、曲率半径を小さくしたほうが良い。

図14に示すように、1nC、10ps、初期エミッタンス0の ビームを圧縮した場合、偏向電磁石の曲率半径を0.4mし た場合にバンチ圧縮の最適解があることが分かった。シミ ュレーションによれば更に曲率半径を小さくすればもっと 圧縮可能であるが、エミッタンスが増大する。

曲率半径0.4mでは、バンチ幅が0.53ps (1 σ)、水平エミ

ッタンスが10.9π mm・mradとの結果が得られた。開発し たコードは電子の遅延位置を計算する必要があり、そのた めに計算時間がかかるので粒子数を増やすのが難しい。こ の計算では粒子数が8100個であり、計算時間は12.3日間も かかっているが、バンチ幅はまだ粒子数に依存していて収 束していない。実際にはもっと圧縮されると考えている。 今後は計算ルーチンの改良、計算機の増強等によって粒子 を増やして計算を行い、更に検討を進める予定である。



図14 シミュレーションによるバンチ圧縮計算結果

(出羽)

2-5 フェムト秒パルスX線の生成

フェムト秒パルスX線生成のためには超伝導クラブ空洞 を使用し、電子ビームを偏向する高周波電界の位相を高精 度で制御する必要がある。これまでその実現に向けた要素 技術の開発を続けてきた。2008年度はこれまで原因不明だ った機械振動数70~80Hzにおける位相振動の原因究明、 チューナ系の剛性計算とクライオスタット端板の設計、お よび低次モード周波数における立体回路系の特性を測定し た。以下それらを報告する。

2-5-1 機械振動数70~80Hzにおける位相変動の原因究明

クラブ空洞は機械的固有振動を有し、固有振動のモード に従って空洞の形状が変形する。この変形によって電気的 共振周波数が変化し、高周波電界の位相変動が発生する。 空洞の変形量に対する位相変化の大きさは固有振動のモー ドによって異なる。そこで、実際の空洞の振動特性を知る ため、KEKのクラブ空洞を用いて実験を行ってきた。

これまでの空洞の固有振動の測定とシミュレーションに よる解析結果によると、固有振動数50Hzの振動モードが 最も位相変化に影響を与えることが知られていた。これに 対して、クラブ空洞を外部から機械的に加振すると、加振 周波数70~80Hzで位相振動が最大になるという実験結果 があり、上記の解析による予測と大きく異なるのが謎だっ た。この原因として有力だったのは解析不十分のため重要 な固有振動が見逃されているという空洞の固有振動説だっ た。そこで、解析対象の固有振動モードを測定で検出され ている全振動モードに広げ、これまで周波数に影響しない と推定されていた「ねじれモード」を含め、固有振動周波 数の範囲も3kHzまで広げて解析を行った。この結果、位 相変動に影響する振動モードは70~80Hzには存在しない ことが明らかになった。これにより、空洞の固有振動説は 加振による最大位相振動の原因から除外された。

空洞の固有振動説に代わる説として、クライオスタット 内部の音の共鳴説が有力になった。クライオスタットは空 洞を液体ヘリウムに浸けて極低温に保つための低温容器で ある。液体ヘリウムの音速180m/secを考慮し、クライオ スタット内部における音の共振周波数を計算すると約70~ 80Hzになる。空洞を外部から加振する際に、その反力は クライオスタットの端板に伝わるため、空洞と同時にクラ イオスタットも加振する。クライオスタットの振動が音の 振動、即ち内部の圧力振動を励起して空洞を変形させ、位 相変動を発生させている、というのが音の共鳴説である。 圧力変動と位相変動の観測値から、定量的には音の共鳴で 十分に説明可能である。音の共鳴説は仮説の段階であるが 検証は容易なので、KEKで実施する機会があれば検証実 験を行う予定である。

2-5-2 SPring-8型チューナ

周波数チューナはクラブ空洞を外部から機械的に変形さ せて電気的共振周波数を調整する装置である。チューナや 空洞に加えられる力はクライオスタットの端板で受け止め られるので、空洞の剛性に比較してチューナだけでなくク ライオスタットの剛性も十分に大きくする必要がある。ク ライオスタットを含むSPring-8型チューナ系全体の剛性を 計算した結果、KEKで採用しているクライオスタット端 板では剛性が不十分であることが分かった。そこで端板に 補強リブなどを付けて剛性を計算し、十分な剛性を確保で きる端板の概念設計を行った。

2007年度は高剛性空洞に対応したチューナを試作した^[9]。 試作チューナの静的動作試験により試験治具の剛性に問題 があることが分かった。この結果を反映させて試験治具の 改良を行った結果、十分な剛性が得られていることが判明 した。また、2008年現在の試作チューナ本体の剛性は十分 と考えられるが、全体の剛性を決定している部品があり、 この部品の改良が大幅に剛性を増加させることが判明して いる。試作チューナの動的動作試験結果から、チューナが 駆動方向と垂直方向や鉛直軸に対して回転方向に周波数 50Hz以下の振動モードを持っていることが分かった。こ の振動モードが実際のSPring-8型チューナの動作にどのよ うな影響を与えるか、SPring-8型チューナをどのように改 良するべきか、などは今後の課題である。

2-5-3 低次モード周波数における立体回路系の特性

クラブ空洞が電子を偏向するモードはクラブモードと呼 ばれ、その周波数は508.58MHzである。クラブモードより 高い(または低い)周波数の電磁場モードを高次(または 低次)モードと呼ぶ。高次モードは全てビームパイプを通 過して空洞外に放出されるので、周回する電子を不安定に することはない。一方、1つだけ存在する低次モード (413MHz)は、ビームパイプから外部に放出されること はなく、放置すれば電子が不安定になる原因となる。

クラブモードの電磁場(508.58MHz)を励振するための 入力結合器と立体回路があるため、これらを利用して低次 モードを空洞外部に取り出すことを考えている。そこで既 存の立体回路、特に同軸導波管変換器とサーキュレータの 413MHzにおける透過率を測定した。同軸導波管変換器の 透過率-3.6dBで、実用上は問題ないことが分かった。一 方、サーキュレータの透過率は-50dB以下であるため、 取り出した413MHzの高周波電磁場はクライストロンには ほとんど影響を与えないことが分かった。同時に電磁波解 析コードで求めた透過率と測定値を比較して結果が一致す ることを確認し、将来の立体回路系の設計手法を確立した。 (中里)

参考文献

- S. Suzuki, et al.: "SPring-8 線型加速器の現状", 第6回 加速器学会, 2009, 東海.
- [2] SPring-8年報 (2007) p.25.
- [3] T. Matsumoto, et al.: "SPring-8 加速器制御系における小型組み込み機器のRS-232C制御への適用",第6回加速器学会,2009,東海.
- [4] H. Hirayama, et al.: "SPring-8 線型加速器サイラトロン スタンドの改良",第6回加速器学会,2009,東海.
- [5] T. Taniuchi, et al.: "SPring-8 線型加速器における低暗電 流加速管の開発", 第6回加速器学会, 2009, 東海.
- [6] H. Tomizawa, et al.: "Review of Advanced Laser Technologies for Photocathode High-Brightness Guns", LINAC08, Victoria (2008) pp. 1090-1094.
- [7] A. Mizuno et al.: "フォトカソードRF電子銃における 水平垂直エミッタンス非対称性の原因究明",第5回 日本加速器学会年会・第33回リニアック技術研究会 (東広島),2008年8月,p.133.
- [8] A. Mizuno et al.: "Three-dimensional simulation code for SPring-8 RF gun system", Nucl. Inst. And Meth. A528 (2004) pp. 387-391.
- [9] SPring-8年報 (2007) pp.30-31.

加速器部門 加速器第1グループ 花木 博文 3. リング加速器グループ

3-1 省電力化のためのブースターシンクロトロンの間欠 運転

トップアップ運転時の蓄積リングへのビーム入射は蓄積 電流値を一定に保つように数10秒~1分毎に行われてい る。ブースターシンクロトロンでは電力使用量の削減を目 的として、蓄積リングへのビーム入射時以外には電磁石電 源の8GeVパターン励磁を停止する運転(間欠運転)の試 験運用を行っている。これによりブースターでの使用電力 量は従来の約1/5と大幅に削減できることが確認されてい る。ただし、間欠運転をユーザー運転に適用するには問題 が残されている。加速器調整運転時や100mAまでの蓄積 電流の積み上げ入射時の連続運転からトップアップ運転時 の間欠運転ヘモード変更することにより、電磁石通電時間 が変わり、電磁石のコイル温度や電磁石電源の内部温度が 変化する。その結果、励磁電流が変動することによりベー タトロンチューン値が変化する。蓄積リングでの高いバン チ純度を達成するために、ブースターではベータトロン周 波数に共鳴した高周波を用いて不要なバンチの除去 (RFKO) を行っているが、ベータトロン振動周波数の変 動はRFKOの効率を低下させ、バンチ純度を悪化させてし まう。このため、2008年度以降は高いバンチ純度を必要と しないマルチバンチのトップアップ運転時にのみ間欠運転 を行っている。

2008年度は連続・間欠の運転形態に影響されることなく 励磁電流を安定化する対策の一つとして、電磁石・電磁石 電源系の冷却水温度を一定に保つ冷却設備温度調整システ ムの導入を行った。冷却塔により熱除去を行う二次冷却系 の熱交換器において流入量とバイパス流量を制御すること により、一次系の冷却水温度を一定に保つシステムである。 これにより、連続/間欠運転の切り替えによる偏向電磁石、 四極電磁石の励磁電流値の変化量はシステム導入前と比較 して半分以下となることが確認された。図1に冷却設備改 造前後の収束四極電磁石電源の出力電流の変化の様子を示 す。今後は間欠運転時のチューンとバンチ純度の長期的変 化を調査し、実用運転に適用可能であるか否かを確認する 予定である。

さらに、チューンの変動を抑えるための手段として、ビ ームエネルギーが1GeVフラットボトム区間においても COD補正を検討中である。現在のステアリング電磁石は ビーム出射軌道の安定化を目的とし、主に8GeVフラット トップでのCOD補正を行っているため、全80台中25台が 未だ単極型のままである。フラットボトムでも確実に COD補正を行うため、2009年度に全ての電源を双極型へ 変更する予定である。

他にもバンチ純度の悪化を防ぐ方法として、ベータトロ ン周波数の変動に追随してRFKOの共鳴周波数を変更する フィードバックシステムの開発を行っている。メインバン チの振動をリアルタイムで観測し、RFKO周波数に反映さ せることにより、確実に不純バンチの除去を行うものであ る。2009年度はフィードバックに用いるチューン測定用の キッカーとビーム位置モニタを設置してスタディを行う予 定である。

(青木)

3-2 SSBT系の軌道安定化、蓄積リングへの入射効率改善

トップアップ運転時にビームによる挿入光源の損傷等を 防ぐため、蓄積リングへの高いビーム入射効率を安定に保 つ必要がある。さらに蓄積する個々のバンチ電流の均一性 を保つため、入射ビーム電流値の変動をできるだけ少なく する必要がある。入射効率低下やビーム電流値変動の原因 の一つとして、ブースターからのビーム出射軌道変動やビ



図1 冷却設備温調化による連続・間欠運転時の収束四極電磁石電源出力電流の変化。冷却設 備改造前は連続運転から間欠運転に切り替えることにより出力電流平均値が-0.021 [A] 変化していたが、改造後の変化量は-0.003 [A] に減少することが確認された

ーム輸送系 (SSBT系) でのビーム軌道の変動が考えられる。 SSBT系の上流部には水平方向のビームサイズを小さくし、 蓄積リングへの入射軌道を周回軌道に近づけることで入射 効率を高めるためのコリメータが設置してある。ブースタ ーの出射軌道変動はコリメータ入射位置のずれとなり、ビ ームの通過率を大幅に減少させるため、蓄積リングへの入 射電流値を安定化させるためには非常に重要である。この 軌道変動を抑制するため、SSBT系電磁石用電源、およびブ ースターの出射パルス電磁石用電源の安定化を行ってきた。 現在のSSBT系電源は故障頻度が高いこと、メンテナンス 性の悪さ、出力変動が大きいことから新規電源へリプレー スを進めている。これにより、動作の安定化によるトップ アップ中断時間の減少、メンテナンス性の向上、台数の増 加による磁石の単独励磁などのビーム性能に寄与する改善 が期待できる。

これ以外に、垂直偏向電磁石の端部磁場による六極成分 の影響や垂直方向のディスパージョン補正が不完全であっ たことなどにより、蓄積リング入射部においてビームプロ ファイルの傾きが見られていた。これを補正するために、ス キュー六極電磁石の設置と励磁量の最適化、さらに傾斜部 において複数が直列励磁されていた四極電磁石を単独励磁 に変更し垂直ディスパージョンの補正を行う予定である。 (青木)

3-3 OTRモニタの改良

ブースターシンクロトロンのビームダンプ部にはスクリ ーン型ビームプロファイルモニタが6箇所設置されてお り、各々の場所でビーム径を計測することによってエミッ タンス等のTwiss parameterが取得可能である。

ブースター・SSBT系のプロファイルモニタにはアルミ ナ蛍光板を多く用いているが、深さ方向にも発光して像が にじむため、数10μm程度の高い空間分解能が必要である 場合にはOTRモニタを使用している。OTRモニタでは金 属の表面で発光し、像がほとんどにじまないため、ダンプ 部ではアルミターゲットを配置してビームプロファイルが 計測されてきた。しかしながら、今までの計測では図2に見 られるような横縞模様が観測されている。

今までダンプ部に用いられてきたOTR放射体は、アル ミバルクの削り出しで製作され、表面精度(あるいは表面 粗度)は1µm程度であり、表面に残った切削痕がOTR像 に空間干渉を起こす現象が頻繁に起きる。精度1µmは OTR像を観測する際に用いられる可視光(400~750nm) よりも大きいため、可視光にとって十分に「でこぼこ」し ている。図2に見られる縞模様も、この干渉パターンだと 考え、アルミバルクの削り出しから、アルミ蒸着ミラーへ の改良を行った。アルミ蒸着の場合、一般に量産されてい る光学部品で容易に60~200nm程度の表面精度に到達する ことが出来る。表面精度が約60nmと可視光の波長の10分 の1程度であり「なだらか」であるため、有意な干渉パタ ーンは見られないと期待できるアルミ蒸着ミラーを入手 し、ブースター用ビームダンプ部のOTRモニタの1つに 設置してOTR像を取得した。この結果を図3に示す。

図3を見てわかる通り、図2に見られたような縞模様が消 えていた。つまり、予想通り図2に見られる縞模様はバル ク削り出しの際に出来た切削痕による空間干渉パターンで あり、これが蒸着ミラーによってなくなったことがわかる。 (青木)

3-4 ブースターシンクロトロンの経年劣化と対策

以下に示すようなトラブルが発生している。ほとんどが 機器の経年劣化によるものと思われるため、保守部品の数 を増やすことで対応している。



図3 改良後のOTR像。縞模様がきれいに消えている

- (1) セプタム電磁石電源のメーターリレー故障
- (2) キッカー電源のサイラトロン高圧デッキ内の基板異常
- (3) RFキャビティ用チューナーのエンコーダー故障
- (4) クライストロン・ヒーター電源のモニタ用V/F変換器 故障
- (5) RFKOアンプ故障
- (6) SSBT系偏向電磁石電源のトランジスター加熱異常

(青木)

3-5 BPMフィリング依存性対策用バンドパスフィルター 設置

2006年夏期停止期間中にビーム位置モニタ (BPM)の信 号処理回路を更新し、測定分解能・速度について顕著な向 上が見られた。しかし、フィリングパターンの変更にとも なう大きな位置測定誤差が生じてしまうことが判明した^[1]。 また、2007年度はそれに対する対策についての調査を行い 対処法を確認した^[2]。2008年度にはこの対策を全BPMに 施した。その結果ユーザー運転に供しているいずれのフィ リングパターンにおいてもビーム位置測定再現性の範囲内 で測定値が一致することを確認した。

フィリングパターン依存性への対処は高周波加速周波数 である508.58MHzを中心周波数とするバンド幅20MHz程 度のバンドパスフィルター (BPF) を信号処理回路の最前 段に取り付けることでよいということがわかった。ただし、 フィルターに対する中心周波数温度依存性、通過帯域内透 過率の平坦度等に対する要求が厳しいため3種類のフィル ターを試作し、比較テストを行って採用機種を2007年度中 に決定した。2008年度の前半に約1200個の量産(これは全 周のBPMの電極数に対応する)、試験・検査を実施した。 検査済みのBPFを2008年10月から11月にかけての秋期停止 期間に全てのBPMに実装し実用に供している。2008年12 月のマシンスタディ期間中にユーザータイムに用いられて いるフィリングパターンの中から代表的なものを選びフィ リングパターン変更にともなう影響の評価を行った。影響 評価方法の再現性の範囲内でフィリングパターンの変更に ともなう位置測定値への影響は認められなかった。

フィリングパターンの変更のためには蓄積されているビ ームの廃棄、新パターンへの切替、再入射・蓄積という手 続が必要であるが、廃棄・再入射には10分程度の時間を要 する。その間に軌道ドリフト等の影響でビーム位置の測定 値は異なった値を示す。フィリングパターンを変更せずに 廃棄・再入射した場合のビーム位置測定値の差異を再現性 と考え、フィリングパターンを変更した場合の差異と比較 し、フィリングパターンの影響の有無を評価した。

図4にマシンスタディ時のデータを示す。フィリングパ ターンをマルチバンチ、203バンチ、1/12+10s、1/14+12s の順に変更してBPMのデータを収集した。各フィリング パターンは2回ずつ繰り返した。図4には水平、鉛直各方向 についてのRMS値を示している。このRMS値は式(1)に

$$RMS_{x}(A-B) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{BPM}} (x_{i}^{A} - x_{i}^{B})^{2}}{N_{BPM}}}$$
$$RMS_{y}(A-B) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_{BPM}} (y_{i}^{A} - y_{i}^{B})^{2}}{N_{BPM}}}$$
(1)

示すように測定開始時のBPMデータと各測定時点のBPM のデータの差を各BPMについて求め、その差の2乗を全 BPMについて平均した上で平方根をとった値である。

ここで、*RMS_x*は水平方向の、*RMS_y*は鉛直方向のRMSであ る。上付きのAと Bは2回の別々の測定を示す:測定A、 測定B。iは1からBPMの個数N_{BPM}までの値を順にとる。 *x_iとy_i*はそれぞれi番目のBPMの水平、鉛直方向のビームー 測定値である。横軸は測定開始時からの経過時間である。 図4からわかるように同一フィリングパターンでの廃棄・ 再入射の間でのRMS値の差とフィリングを変更した際で のRMS値の差は同程度である。フィリングパターンの変 更の影響は再現性の評価誤差程度以下であることが確認で きた。



図4 フィリングパターン変更の影響評価のためのマシンスタ ディ時のRMS値の時間変化。スタディ開始時を基準とし たBPM位置測定値の差のRMS値の時間依存性。縦軸: RMS/µm、青:水平方向、赤:鉛直方向。横軸:基準デ ータ取得時からの経過時間。マルチバンチ、203バンチ、 1/12+10s、1/14+12sの順に2回ずつフィリングを変更し てBPMのデータを収集した。データ点がない部分はビー ム廃棄・再入射に要する時間に対応する。フィリングパ ターン変更をともなう場合と、ともなわない場合の廃 棄・再入射前後のRMS値の差はほぼ同じであり、フィリ ングパターン変更による影響はこの評価方法の測定誤差 以内であることがわかる。

大型放射光施設の現状と高度化

この対策を行ったことによりフィリングパターンの変更 を跨いだ軌道補正の連続性が改善し、その結果ユーザー運 転時の軌道安定度が向上した。

(佐々木)

3-6 カップラー・エージング専用空洞の製作

2006年度にカップラーのエージングに使用する空洞とし てKEKで開発されたエージング専用空洞を用いた試験を 行い300kWまでのエージングに使用できることを確認し た^[3]。この空洞の長所は構造がシンプル、小型・軽量と いう点にある。しかし、この空洞はカップラーの製作誤差 を原因とする共振周波数のずれをカップラー取付けポート のガスケットの厚さで調整しなければならない構造となっ ている。このため実際のエージングは非常に効率の悪い作 業をともなった。このエージング専用空洞の構造がシンプ ル、小型・軽量という特長を生かしつつ、周波数調整を容 易に行えるようなエージング専用空洞を開発・製作した。

今回製作した空洞の外観を図5に構造を図6に示す。2台 のカップラーを直結して使用する構造はKEKタイプと同 様であるが、周波数調整用のチューナー・スタブを取付け て共振周波数が調整可能な構造とした。

シミュレーションによると-20dB帯域幅はKEKタイプ の1/7程度に狭くなってしまうが、チューナーによって 100MHz以上の周波数調整が可能であるので帯域幅が狭い ことはエージング作業に影響しない。また熱・構造解析の 結果からも300kWまでのエージングに対して温度、応力 ともに問題がないことを確認している。この空洞の完成に よりガスケットを用いた煩雑な調整作業が必要なくなるの で、効率的にカップラーのエージングを行うことが出来る ようになる。

2008年度はこの改良型カップラー・エージング専用空洞 の製作を行った。2009年度に付帯機器を整備してハイパワ ー試験を行い300kWでのエージングに使用可能なことを 確認した上で実用に供する予定である。

なお、高周波加速系においては供用開始後10年以上を経 て経年劣化に起因する可能性のある事象が散見している。 一例として加速空洞に電力を供給するための導波路に組込 まれたマジックTのダミーロード冷却水の流量計が誤作動 と思われるインターロック信号を発報し、ビームアボート にいたったことが挙げられる。これを機に長期にわたり交 換していない部品等を洗い出し予防的措置として順次交換 を行って安定運転を継続していく予定である。

(恵郷、佐々木)

3-7 環境測定の整備

3-7-1 地盤微小振動測定系の測定器整備およびオンライ ンデータベース化

160m井戸^[4]における地盤の歪み、傾斜および地温など



図5 カップラー・エージング専用空洞の外観



図6 カップラー・エージング専用空洞の構造。上下のポートに それぞれカップラーを接続する構造となっている。また、 手前のポートにはチューナー・ロッドを取付け共振振周波 数を調整する

の測定をオンラインデータベース化した。2002年11月から 現場に設置したパソコン上でLabVIEW/GPIBを用いて2 方向の傾斜(NS、EW)と6成分の歪み(0°、120°、240° 各方位の長短周期成分)、および井戸内の地中温度などの 測定を始め、データはローカルハードディスクに溜めてき た。2008年9月以降はこれらの測定データはVMEを経由 してオンランデータベースにアップロードされ、リアルタ イムでデータが見えるようになった。それを用いて地盤変 動が原因となるビーム軌道の変動の即時究明や、さらに軌 道変動へのフィードバックが可能になった。データベース 化整備後の測定系を図7に示す。

歪みおよび傾斜の測定は、8台の測定器の値をEMが小 型組み込み計算器E059を通じて1秒ごとに読み取り、その



図7 160m井戸地盤微小振動測定系測定器構成図

値をデータベースに転送している。地下温度および大気圧 の測定はサーバー計算機の仮想ホストEMによってLAN機 能を有する測定器を通じて、60秒間隔でデータベースに転 送している。地震計については1秒計およびV907サーボ 型速度計のデータ収集は、100Hzサンプリングで行ってい て毎秒600データが生じる。高速のデータ保存が必要なた め今までの通りローカルでデータを収集している。光モジ ュールと高速インターフェイスeSATAを通じてデータを パソコンのハードディスクにリアルタイムで保存し、その 後毎月1回外付ハードディスク(2TB)にバックアップす る。

3-7-2 環境測定データ整理

環境測定は蓄積リングの電子ビーム軌道に影響すると考 えられる以下の内容となる:収納部床の亀裂変位、架台ベ ースプレートの傾き、屋根の風向風速、地下水位、実験ホ ールの温度など。これらの測定およびデータ収集はリング 全周に分散していてローカルで行っている。蓄積したデー タを有効に利用するため、これまでの過去数年間のデータ (160m井戸測定系を含め)の整理を行った。日付時刻をデ ータベースの書式に合わせ、データを月または年単位に区 切り、1分間隔に整えたCSV形式のファイルを作った。 それを加速器ウェブページ(Acc-web)にアップロードし、 測定項目、年月別に整理保存してデータサーバーとして利 用されている。また、環境測定における各種測定器のデー タ収集用データロガーはハンドル型を除いて新規作成の LabVIEWデータロガーに統一した。これによって、様々 な測定器のデータ記録形式を同一にでき、測定ごとにデー タをディスクに保存するなどのメリットがあり、データ整 理作業の効率化ができた。

(張)

参考文献

- [1] SPring-8年報 (2006) p36-37.
- [2] SPring-8年報 (2007) p35-37.
- [3] SPring-8年報 (2006) p.34.
- [4] SPring-8年報 (2003) p.33.

加速器部門

加速器第2グループ 米原 博人