

平成22年 5月31日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20740157
 研究課題名 (和文) 次世代大強度多目的加速器のための超高速ビーム診断・運転システムに関する開発研究
 研究課題名 (英文) Study of ultra-fast beam diagnostic and operation system in next generation high intensity and multi-purpose accelerators
 研究代表者
 佐藤 政則 (SATO MASANORI)
 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・助教
 研究者番号：90353367

研究成果の概要 (和文)：本研究では、次世代大強度多目的加速器のための超高速ビーム診断・運転システムに関する開発研究をおこなった。高速・高精度なオンラインビームシミュレーションに基づいたフィードバックによる高効率なビーム運転システムの開発に取り組み、実ビーム運転に応用した場合の有用性に関する知見を得た。

研究成果の概要 (英文)：In this research, the ultra-fast beam diagnostic and operation system for next-generation high intensity and multi-purpose accelerators has been studied. We get the knowledge related to the feasibility of the application of the high-efficient feedback operation using the on-line beam simulation and fast diagnostic system to real beam operation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：加速器、フィードバック、高速シミュレーション、線形加速器、同時入射

1. 研究開始当初の背景

近年の加速器科学は、物性・生命科学・医療応用のための小型加速器から、2008年に稼働を始めた Large Hadron Collider (LHC) 及び次世代計画である International Linear Collider (ILC) 等に代表される超大型加速

器による素粒子・原子核実験まで、その装置規模・利用目的は非常に多岐に渡っており、基礎及び応用科学に於ける最重要分野と考えられる。とりわけ大規模加速器に於いては、その建設費のみならず運転・維持に関わる費用も莫大に上るため、安定なビーム運転を長期間持続し、ビームロスタイムを極限まで低

減するための運転システム構築がプロジェクトの成否を決定づけることとなる。

また、とりわけ線形加速器の効率的な運用のためには、単一加速器を同時に複数の目的のために運用することが望まれる。例えば、近年 KEK の電子陽電子入射器では、三リング (KEKB 電子・陽電子及び PF) 同時トップアップ運転をおこなっている。これは、入射器の最大ビーム繰り返し 50 Hz (20 ms 間隔) 毎に異なる性質のビーム (電荷量・エネルギー) を独立した下流蓄積リングへ供給するものである。従来は、PF リングへのビーム供給は定時入射であり (1 日 2 回)、それ以外の時間は KEKB 電子・陽電子リングへのビーム供給を数分おきに切り替えておこなっていた。この様なビーム運転形態に於いては、入射器の機器パラメータ (ビーム制御パラメータ) を切り替える時間はビーム入射が中断されるため、下流リングの実験効率を制限することとなる。三リングトップアップ運転の実現により、リング側での実験効率が飛躍的に向上したと言える。

しかしながら、この様な複雑な運転形態に於いては、入射器のビームクオリティー低減が即座に複数リングへの入射効率低下をもたらす、ひいては下流リングでの実験効率の劣化を引き起こすこととなる。この様な事態を避け、長期間に亘ってビームロスタイムを最小化することが望まれている。

2. 研究の目的

加速器のビーム運転に於いては、電磁石磁場・高周波加速位相及び各機器へのタイミング信号などの機器パラメータを、加速するビームの特質 (電荷量、エネルギー、エネルギー広がり等) を考慮して最適化することが要求される。これにより、ビームライン途上でのビームロスひいては放射化を最小限に抑制し、下流リングへの入射効率を最大限に高めることが可能となる。

加速器の主要構成要素である高周波加速空洞及び電磁石は、安定に設計性能を実現するため、冷却水温や環境温度を一定に保つ必要がある。これらの温度が変動した場合、高周波加速位相のずれがビームエネルギー及びエネルギー広がりの変動を引き起こす。また、ビーム軌道変動の要因ともなり、ビームクオリティーの劣化をもたらすと共に、リングへの入射効率低減を招くこととなる。

これらの変動は、ビーム軌道やエネルギーのフィードバック制御をおこなうことにより、抑制することが可能である。しかしながら、通常のフィードバック制御では、制御量であるビーム情報 (軌道・エネルギー・エネルギー広がり等) の情報を基に、アクチュエーター (ステアリング電磁石、高周波位相)

の設定値を PID 制御により調整している。単純なフィードバック機構を用いた場合、大型加速器に於いては、制御量の異なるフィードバックループを多数動作させる必要がある。この様な運転形態では、外乱の作用量によっては互いのフィードバックが干渉し、かえって制御の目標値から大きく外れる可能性がある。

上述の様な状況を避けるためには、より高度かつ拡張性の高いフィードバック機構が望まれる。近年の加速器科学に於いては、ビーム物理学の深い理解に伴い、ビーム動力学現象を精密に再現・予測可能な種々の計算機コードが発達してきた。例えば、KEK の KEKB 加速器では、Strategic Accelerator Design (SAD) と呼ばれる計算機コードを独自開発し、KEKB 加速器の設計のみならず、日々の運転や数々のオンラインビームシミュレーションに大きな威力を発揮している。ビームの軌道やエネルギー変動の要因となる全てのパラメータを常時監視し、これらの変動傾向を事前に予測することが出来れば、計算機コードを用いたオンラインビームシミュレーションによって、時間発展する最適運転パラメータの解を予め得ることが可能である。この様なシステムを構築できれば、より高度かつ高精度なビーム安定化運転が実現できる。本研究の目的は、上述のような高精度ビーム安定化システムを構築することである。

3. 研究の方法

本研究目的のためには、ビームクオリティーの高速監視が要求される。ビームクオリティーの中でも最も重要な指標は、ビーム軌道・エネルギー及びエネルギー広がりである。これらを高速かつ高精度に測定するための、全パルス計測可能なビーム位置モニター (BPM) 用データ収集システムの構築をおこなう。また、ビーム運転に関わる膨大なパラメータ (機器設定値及びビーム位置などの測定情報) を高速蓄積可能な高性能ロギングシステムの構築をおこなう。

線形加速器に於いては、入射部から下流ラインにかけた統一的なオンラインビームシミュレーションをおこない、最適なビーム運転パラメータを演算することが望まれる。しかしながら、線形加速器のビームに関する高速オンラインビームシミュレーションの実現は非常に困難である。この要因の一つは、低エネルギー部 (入射部) での空間電荷効果を考慮した高速計算アルゴリズムが存在しないためである。線形加速器の場合、入射部に於けるビームシミュレーションを高精度におこなわなければ、下流ラインでの計算結果が現実から大きくずれることとなる。この

ため、既存及び新規開発の計算機コードを組み合わせた、高速・高精度オンラインビームシミュレーション環境を構築する。これらのシステムは、すべて、KEK 電子陽電子入射器のビームを用いて試験する物である。

4. 研究成果

本研究に於いては、高速オンラインビームシミュレーションに用いるための高性能計算サーバーを導入し、ソフトウェア開発及び運用環境の構築をおこなった。さらに、高精度なシミュレーションをおこなうためには、大規模な運転パラメーター及び測定値の蓄積が必要となるため、大容量データ蓄積用の高速ネットワークディスクを導入した。これらの装置上に、データ蓄積用ソフトウェアを構築し、KEK 入射器の実ビーム運転環境下に於いて、30000 点以上のパラメーターを常時監視し、Log システムへの安定なデータ蓄積を実現した。

また、BPM 用高速データ収集システムを開発し、ビーム軌道・電荷量をパルス毎 (20 ms 間隔) に測定可能とした。本システムは、Windows ベースのデジタルオシロスコープ上に、高速データ収集ソフトウェアを構築した物である。図 1 は、20 ms 毎に加速したビームを本システムによりビーム位置計測した場合の測定時間間隔を示した物である。本測定結果より、測定時間間隔は $20 \text{ ms} \pm 5 \text{ ms}$ であり、Windows OS のタイムスタンプ揺らぎが 10 ms であることを考慮すると、すべてのビームパルスについて位置測定が可能であることを示している。また、別途実施した長時間測定の結果より、測定ミスは 3 日間に 1 パルス程度 (約 1/1300 万) という高い測定安定性も確認された。

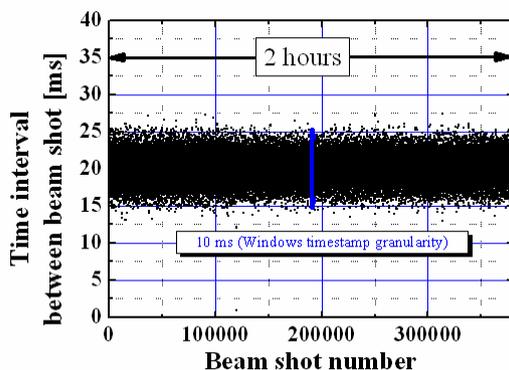


図 1 : ビーム電荷量のパルス毎測定

図 2 は、3 種類のビームモード (異なる電荷量) を 20 ms 毎に切り替えて加速した場合に、KEK 電子陽電子入射器のアーキ部 (エネルギー分散あり) に設置した BPM を用いて電

荷量を計測した結果である。この測定結果より、測定されたビーム情報は、パルス毎のビームモードを正確に反映していることが分かる。さらに、パルス毎の変動及び長期的な変動の両方を測定可能であることが確認出来た。

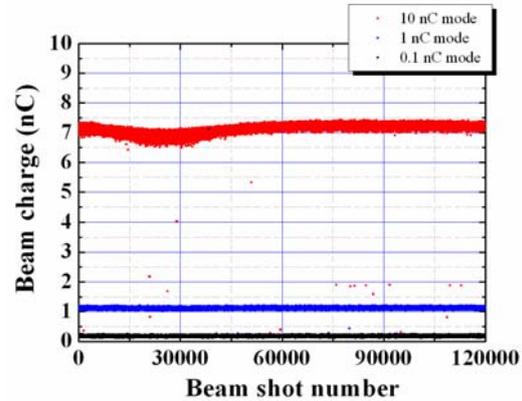


図 2 : ビーム電荷量のパルス毎測定

また、申請者は以前、8 電極ビームモニターによるビームエネルギー広がりモニターシステムを構築し、エネルギー広がり計測の原理実証及びエネルギー広がりフィードバックシステムを開発した。本システムは、20 ms 毎にビームモード (電荷量及びタイミング) が変化した場合の計測には対応していない。このため、データ処理システムをアップグレードし、エネルギー広がりパルス毎測定の実現を目指している。

さらに、高周波位相・振幅及びタイミングのパルス毎測定システムは、別グループによって開発が進行中である。これらの高速測定システムが完成すれば、上述の高速 BPM システムの測定結果と併せて、ビームクオリティー及びそれに寄与するパラメーターを全て高速に収集することが可能となる。

今年度は、システム全体の完成には至らなかったが、高速ビーム位置情報の収集、大規模運転パラメーターの蓄積及びこれらの解析結果から、本研究目的のビーム安定化システム実現性に関する大きな知見を得ることが出来た。総合的な高速・高精度オンラインビームシミュレーションシステムの構築及び試験をおこない、実ビーム運転での運用をおこなう予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 政則 (SATO MASANORI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速
器研究機構・加速器研究施設・助教

研究者番号：90353367