

令和 2 年 7 月 13 日現在

機関番号：82118

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K17545

研究課題名(和文) 現実加速器における測定をリアルタイムで反映する仮想加速器システムの構築

研究課題名(英文) Virtual Accelerator System Reflecting Measured Beam Parameters

研究代表者

清宮 裕史 (Seimiya, Yuji)

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・特別助教

研究者番号：20756720

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ビーム軌道を制御する電磁石、ビーム加速を加速するためのRF空洞について、それぞれshot by shotのデータ、ワイヤースキャナで測定されたビームオプティクスを用いて現実のビームの軌道、エネルギーを測定誤差の範囲内ではほぼリアルタイムに再現することが可能となった。同時に非破壊にエネルギー分散数測定、ビームロス場所の推定、エネルギージッタの原因調査が可能なシステムを構築し、加速器の運転において着実な成果を挙げた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

最先端の加速器では高い性能、安定性が要求されるが、建設直後に設計性能を満足することは稀である。そのため、性能のボトルネックの早期発見が重要となる。本研究はその早期発見のためのシステム開発を行ったものであり、最先端の加速器の早期性能向上に対して重要な役割を果たせることを示した。早期性能向上により全ての加速器を利用した研究、そして利用のさらなる広がりにより、社会全体の技術力の発展につながる。

研究成果の概要(英文)：I succeeded that beam orbit and energy were reconstructed by magnetic field, RF cavity power&phase, and optics parameters measured by wire scanner about shot by shot beam within measured errors. At the same time, I developed some nondestructive measurement system: energy dispersion, beam loss position, energy jitter source. These systems gave steady results for advanced accelerator, SuperKEKB LINAC.

研究分野：加速器

キーワード：加速器 ビーム制御

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

先端加速器には、大強度、低エミッタンス、高い安定性が要求されるため、ビームビーストな制御システムの構築が必要不可欠である。このとき、現状の加速器と想定している加速器との差をどのように埋めるかが重要となる。

### 2. 研究の目的

仮想加速器を PC 内で構築し、現実の加速器で測定された軌道、オプティクスのパラメータをリアルタイムに反映させることで、短時間で現実加速器と同等の性能を持つ仮想加速器の構築を目指す。これが実現すれば、劇的な加速器チューニング時間の短縮、ボトルネックの早期発見、信頼性の高いシミュレーションが可能である。本研究は、現在の先端技術を導入したビーム位置モニター (BPM)、オプティクス測定を使い、仮想加速器がどこまで現実の加速器に迫ることができるか検証を行うことが目的である。

### 3. 研究の方法

高エネルギー加速器研究機構の LINAC で測定されたビームパラメータを元に、リアルタイムで仮想加速器に反映させていくソフトウェア開発を行う。まず、軌道、オプティクスといった測定量を仮想加速器のセッティングに落とし込むソフトウェア構築を行い、それを加速器運転中にリアルタイムで反映させ現状の加速器の理解に役立てる。

### 4. 研究成果

ビーム軌道を制御する電磁石(較正係数含め)、ビーム加速を加速するための RF 空洞について、それぞれ shot by shot のデータ、ワイヤースキャナで測定されたビームオプティクスを用いて現実のビームの軌道、エネルギーを測定誤差の範囲内でほぼリアルタイムに再現することが可能となった。ほぼリアルタイムと記述したのは反映に数秒かかるためであるが、主にデータファイルの更新時間に依存するものであり時間を短縮することは容易である(計算自体は全 shot by shot のビームに関して行われている)。高エネルギー加速器研究機構の LINAC に関しては秒単位以下で頻繁に変動することは少ないため、数秒の更新で十分と判断した。

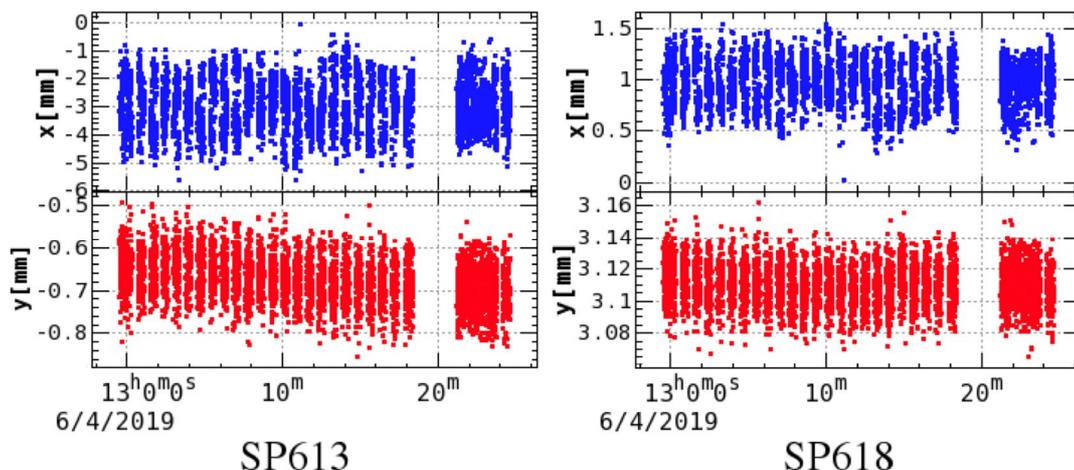


図 1. 設計エネルギー分散関数大きい場所 (左図) と設計エネルギー分散関数がゼロ (右図) の水平(x), 垂直(y) の方向のビーム位置の計算値。軌道、エネルギーは測定誤差の範囲内で実測値と一致。

同時に、リアルタイムで非破壊に(1)エネルギー分散関数測定、(2) ビームロス場所の推定、(3)エネルギージッタの原因調査、が可能なシステムを構築した。(1)はエネルギー分散関数大きい場所の BPM と下流の BPM の shot by shot の相関をとることによって、(2)は隣り合う BPM の電荷量の shot by shot の相関をとることによって、(3)はクライストロンの振幅、位相とエネルギー分散関数大きい場所の BPM との shot by shot の相関をとることによって実現される。(1)は射影エミッタンスの抑制、(2)はビームロスの低減、(3)はエネルギージッタの低減やクライストロンの健全性チェックとして加速器の運転において重要な役割を果たしている。

# KBE

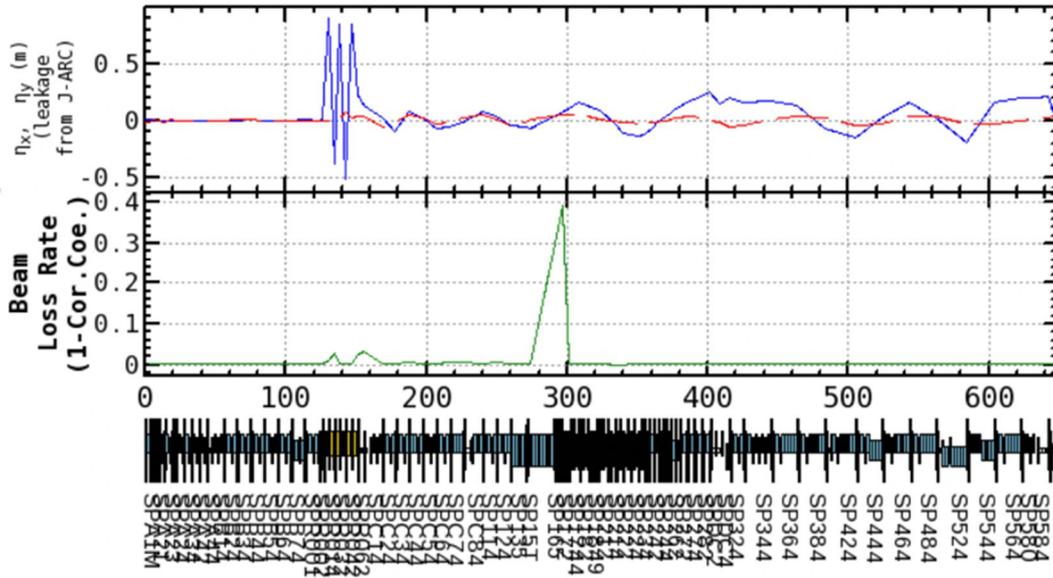


図 2. リアルタイム且つ非破壊のエネルギー分散関数測定(1 段目)とビームロス場所(2 段目)

LINAC のエミッタンスは主に加速空洞で生じるビーム航跡場、ビームを大きく曲げたときに生じるエネルギー分散関数の漏れ、その分散関数が加速空洞に入ることによって生じる水平-進行方向のカップリングの影響が大きいが、電子生成に用いるレーザーの状態も大きく関係することが分かってきた。今後の課題となるが、バンチ長測定から進行方向の分布を、レーザーの強度分布からビームの二次元分布を推定し、ビームトラッキングを行うことでエミッタンスの再現性を向上させたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Y. Seimiya
2. 発表標題 Beam Phase Space Jitter and Effective Emittance for SuperKEKB Injector Linac
3. 学会等名 IPAC'18 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Seimiya
2. 発表標題 Low Emittance Beam Transport for e-/e+ LINAC
3. 学会等名 eeFACT2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Seimiya, K. Furukawa, T. Higo, F. Miyahara, M. Satoh, T. Suwada
2. 発表標題 Investigation of Beam Variation and Emittance Growth Simulation With Both Misalignments and the Beam Jitter for SuperKEKB Injector Linac
3. 学会等名 The 8th International Particle Accelerator Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 清宮 裕史, 佐藤 政則, 肥後 寿泰
2. 発表標題 SuperKEKB入射器におけるビーム変動とエミッタンス成長シミュレーション
3. 学会等名 第14回日本加速器学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuji Seimiya, Naoko Iida, Takuya Kamitani, Masanori Satoh
2. 発表標題 Beam Phase Space Jitter and Effective Emittance for SuperKEKB Injector Linac
3. 学会等名 The 9th International Particle Accelerator Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 清宮裕史
2. 発表標題 EMITTANCE GROWTH BY MISALIGNMENTS AND JITTERS IN SUPERKEKB INJECTOR LINAC
3. 学会等名 IPAC (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 清宮裕史
2. 発表標題 SuperKEKB入射器におけるミスアラインメント、ジッターによるエミッタンス増大
3. 学会等名 日本加速器学会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----