

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 20日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21604011

研究課題名（和文） ミリ波領域の電磁波計測を応用したバンチ長モニターの研究

研究課題名（英文） Study of New Bunch Length Monitor Utilizing a Detection of Electromagnetic Fields in Millimeter-Wave Region

研究代表者

諏訪田 剛（SUWADA TSUYOSHI）

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・准教授

研究者番号：20236061

研究成果の概要（和文）：荷電粒子ビームが間隙を有する真空パイプを通過するとき電磁放射がその間隙から放射される。シミュレーションに基づいた数値解析により、自由空間に放出される放射電磁波の空間分布、強度分布、スペクトル分布のバンチ長依存性を解析した。本解析に基づき検出器設計のための基本パラメータの最適化を行ない、広帯域かつ高感度なファブリーペロー型電磁放射検出器を試作した。試験結果によると10-50 GHzの周波数帯域で高感度な検出性能（-50dBm）を有することを確認した。検出性能は、入射器の単バンチ電子ビームのバンチ長計測に充分応用可能であることを確認した。

研究成果の概要（英文）：When a charged-particle beam passes through a gap of a vacuum pipe, an electromagnetic field of the beam is radiated into free space out of the vacuum pipe. The frequency spectrum of the radiation spreads over microwave to millimeter wave region depending on the bunch length of the beam. These radiation spectrum, intensity, and spatial distributions in free space have been numerically investigated in detail depending on the bunch length. Based on the systematic calculations, the fundamental parameters have been optimized in order to fabricate a prototype detector, which is based on a Fabry-Perot resonator type interferometer with a wide band (10-50 GHz) and high sensitivity. The detector was successfully calibrated and it could be confirmed to fully meet the bunch length measurement for a single-bunch electron beam delivered from the KEKB injector linac.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	300,000	90,000	390,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：高エネルギー加速器科学

科研費の分科・細目：量子ビーム科学

キーワード：加速器、バンチ長計測、量子ビーム、粒子測定技術

1. 研究開始当初の背景

(1) 電子線形加速器における電子ビームを破壊すること無くバンチ長を簡便に計測することは、一般に容易ではなく高価な装置を必要とする。このことが本研究の基本的な

背景である。

(2) ストリークカメラを利用する一般的なバンチ長計測では、ビームを適当な物質に照射し物質との相互作用を通して光放射へと変換させる。この光放射を高速に計測する

ことでバンチ長が推定できる. 従って基本的にこのようなバンチ長計測は破壊型の計測となる (図 1 (a)).

(3) 加速器のパイプ間隙から放射する電磁放射のスペクトルはビームバンチ長に強く依存する. 本原理をバンチ長計測に応用できれば高価なストリークカメラを必要とすることなく簡便で安価な装置(原理的に非破壊計測となる(図 1 (b))の構築が可能になることが期待できる.

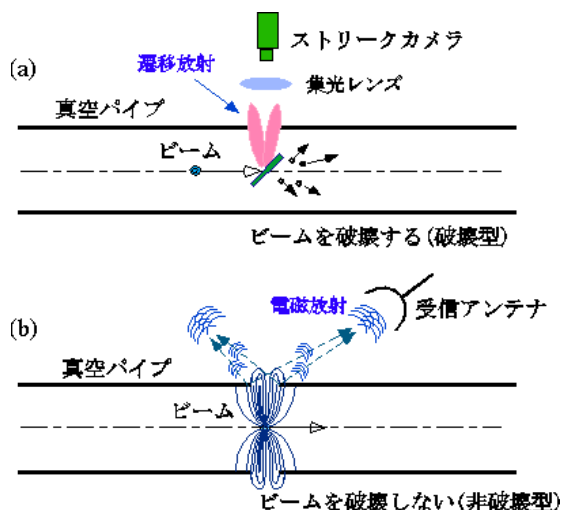


図 1. バンチ長計測の原理、(a)金属板から放出する遷移放射を検出する方法と(b)パイプ間隙から放出する電波を検出する方法。

(4) ストリークカメラを用いた従来法では、超短バンチ長計測に対して限界がある. 本研究で提案する新しいバンチ長モニターの利点は、従来法に比べてはるかに優れた時間分解能 (< 100 フェムト秒) をもつバンチ長計測が原理的に可能になる.

(5) 本研究におけるバンチ長モニターは、大型の高エネルギー加速器のみならず、広範な産業基盤を支える小型加速器にも応用可能である. 今後の高品質かつ高輝度ビームの生成技術とすそのの広い加速技術の進展に大きな貢献を果たすと期待される.

2. 研究の目的

本研究は、従来法に代えて時間分解能を損なうことなく安価で簡便な非破壊型のバンチ長モニターを提案するものである. 電子線形加速器における非破壊型の診断装置は、電子ビームのみならず広くは量子ビームのバンチ長を簡便かつ高性能に計測する新しいバンチ長モニターとなる可能性がある. 将来的には、研究用のみならず工業・医療等の広範な分野に展開している線形加速器の高輝度化に応用可能な高性能ビーム診断装

置へと発展させることを目指している.

3. 研究の方法

(1) ビームが真空パイプの間隙を通過すると電磁場の境界条件を満たすべく、ビームがもつ自己電磁場の一部が、電磁放射として間隙から自由空間へ放射することが知られている. 提案するバンチ長モニターは、パイプ間隙から漏れでるビームに起因する電磁放射を周波数領域で計測するものである.

(2) 電磁放射スペクトルのシミュレーションに基づいた数値解析により、放射電磁波の空間分布、強度分布、スペクトル分布のバンチ長依存性を解析し、電磁放射検出器設計のための基本パラメータを算出した. 特に、パイプ間隙の最適化計算は、フェムト秒バンチ長計測には必要な解析である.

(3) ピコ秒以下の時間分解能でバンチ長を計測するには、マイクロ波からミリ波領域 (< 50GHz) に渡る広範なスペクトルを計測する必要があり、広帯域かつ高感度な電磁放射検出器の開発が重要なテーマとなる.

(4) 広帯域かつ高感度な受信アンテナとして、フェルミアンテナを候補の1つとして取り上げ、マイクロ波及びミリ波領域 (10-50GHz) の周波数帯域で高感度なファブリーペロー型の電磁波検出器の最適設計を行った.

4. 研究成果

(1) 加速器のパイプ間隙から放射する電磁放射スペクトルはバンチ長に強く依存し、電磁放射の周波数領域はマイクロ波からミリ波にまで及ぶ. 広範な周波数領域で高精度にスペクトル計測を行うために数値解析に基づいたシミュレーション計算により、放射電磁波に関する幾つかの諸物理量(電子ビームバンチ長に対するパワースペクトル(図 2)、ビームエネルギーに対するパワースペクトル(図 3)、ビームエネルギーとバンチ長の2次元空間におけるパワースペクトル(図 4))を詳細に解析した.

(2) 本解析に基づきミリ波領域の電磁波検出器の設計検討を行い、広帯域かつ高感度なファブリーペロー型電磁放射検出器の最適設計と試作を行った. 試験結果によると 10-50 GHz の周波数帯域で高感度な検出性能 (-50dBm) を有することを確認した(図 5). 得られた基本性能は、KEK 電子陽電子入射器の単バンチ電子ビームのバンチ長計測に充分応用可能であることを確認した.

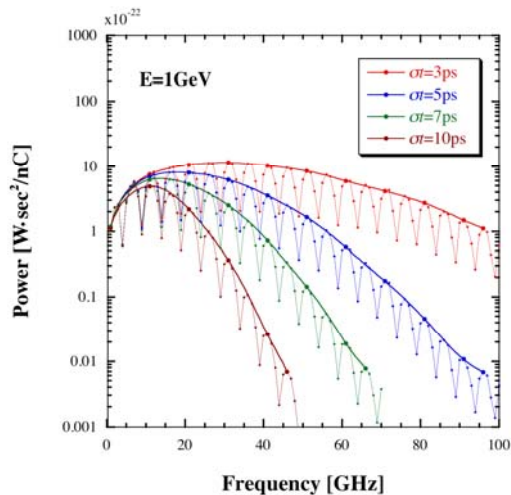


図 2. バunch長の変化に対するパイプ間隙から放射する電磁波のパワースペクトル.

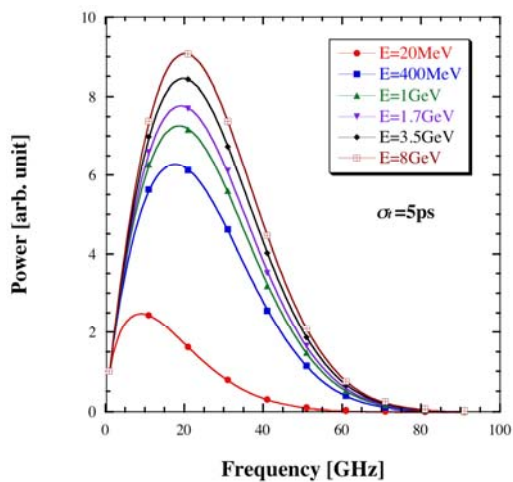


図 3. ビームエネルギーの変化に対するパイプ間隙から放射する電磁波のパワースペクトル.

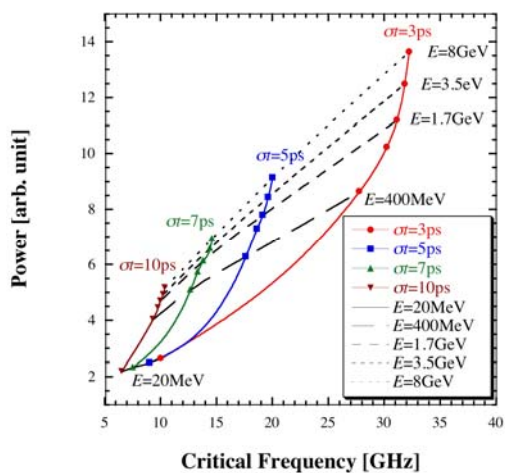


図 4. ビームエネルギーとバunch長の変化に対するパイプ間隙から放射する電磁波のパワースペクトル.

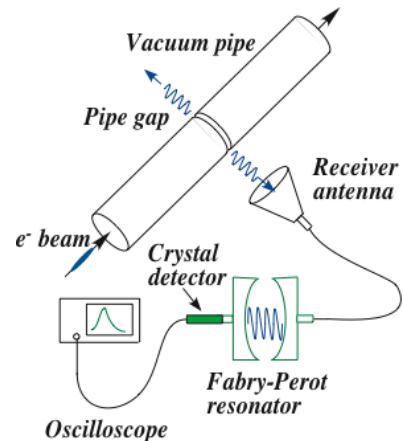


図 5. 新しいバunch長計測モニターの実験セットアップ.

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)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① T. Suwada, M. Staoh (KEK), S. Telada, K. Minoshima (AIST), Experimental Investigation on Focusing Characteristics of a He-Ne Laser Using Circular Fresnel Zone Plate for High-Precision Alignment of Linear Accelerators, Rev. Sci. Instrum. **83**, 053301 (2012) [DOI: 10.1063/1.4709497] (査読付).
- ② T. Suwada, M. Satoh, and E. Kadokura, Experimental study of new laser-based alignment system at the KEK B-factory injector linear accelerator, Rev. Sci. Instrum. **81**, 123301 (2010) [DOI: 10.1063/1.3504370] (査読付).

〔学会発表〕(計 18 件)

- ① 諏訪田 剛, 佐藤 政則 (KEK), 寺田 聡一, 美濃島 薫 (AIST), KEKB 入射器におけるフレネルレンズを用いた高精度レーザーアライメントシステム開発の現状, 日本物理学会第 67 回年次大会(口頭発表)、関西学院大学、3 月 26 日 (2012).
- ② 佐藤 政則, 諏訪田 剛 (KEK), 寺田 聡一, 美濃島 薫 (AIST), KEK 電子陽電子入射器におけるレーザーアライメントシステム, 日本物理学会第 67 回年次大会(口頭発表)、関西学院大学、3 月 26 日 (2012).
- ③ T. Suwada, M. Staoh (KEK), S. Telada, K. Minoshima (AIST), EXPERIMENTAL STUDY ON NEW LASER-BASED ALIGNMENT SYSTEM UTILIZING A SEQUENTIAL THREE-POINT METHOD AT THE KEKB INJECTOR LINAC, *the 2nd International Particle Accelerator*

- Conference (IPAC' 11), Spain, September 5, 2011.
- ④ M. Staoh, T. Suwada, N. Iida (KEK), S. Telada, K. Minoshima (AIST), LASER-BASED ALIGNMENT SYSTEM AT THE KEKB INJECTOR LINAC, *the 2nd International Particle Accelerator Conference (IPAC' 11)*, Spain, September 5, 2011.
- ⑤ T. Suwada, M. Satoh (KEK), S. Telada, K. Minoshima (AIST), New Laser Alignment with Fresnel Lenses at the KEKB Injector Linac, *the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba*, August 1, 2011.
- ⑥ M. Satoh, T. Suwada (KEK), S. Telada, K. Minoshima (AIST), LASER BASED ALIGNMENT SYSTEM FOR THE KEKB INJECTOR LINAC, *the 8th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Tsukuba*, August 1, 2011.
- ⑦ T. Suwada and M. Satoh, Laser-Beam Propagation Characteristics in New Laser-Based Alignment System at the KEKB Injector Linac, *the XXVth International Linac Conference (LINAC10)*, Tsukuba, September 16, 2010.
- ⑧ M. Satoh and T. Suwada, DESIGN OF COLLIMATED LASER BEAM OPTICS FOR THE KEKB INJECTOR LINAC ALIGNMENT SYSTEM, *the XXVth International Linac Conference (LINAC10)*, Tsukuba, September 16, 2010.
- ⑨ T. Suwada, M. Satoh and E. Kadokura, LASER -BASED ALIGNMENT EXPERIMENT AT THE KEKB INJECTOR LINAC, *the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan*, Himeji, Aug. 5, 2010.
- ⑩ M. Satoh, T. Suwada and E. Kadokura, LASER PROPAGATION CHARACTERISTICS IN LASER-BASED ALIGNMENT EXPERIMENT AT THE KEKB INJECTOR LINAC, *the 7th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan*, Himeji, Aug. 5, 2010.
- ⑪ T. Suwada and M. Satoh, NEW LASER- BASED ALIGNMENT SYSTEM FOR THE 500-M-LONG KEK ELECTRON/ POSITRON INJECTOR LINAC, *the 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10)*, Kyoto, May 26, 2010.
- ⑫ M. Satoh, T. Suwada, and E. Kadokura, Experiments on Laser-Based Alignment at the KEKB Injector Linac, *the 1st International Particle Accelerator Conference (IPAC' 10)*, Kyoto, May 26, 2010.
- ⑬ T. Suwada and M. Satoh, LASER-BASED ALIGNMENT SYSTEM FOR THE 500- M-LONG KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC: DESIGN OF THE OPTICAL SYSTEM, *the 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan*, Tokai, Aug. 7, 2009.
- ⑭ T. Suwada and M. Satoh, LASER-BASED ALIGNMENT SYSTEM FOR THE 500- M-LONG KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC: DESIGN OF THE MEASUREMENT SYSTEM, *the 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan*, Tokai, Aug. 7, 2009.
- ⑮ M. Satoh, T. Suwada, E. Kadokura, K. Furukawa (KEK), T. Kudou, S. Kusano, Y. Mizukawa, K. Hisazumi (Mitsubishi), LASER-BASED ALIGNMENT SYSTEM FOR THE 500- M-LONG KEK ELECTRON/POSITRON INJECTOR LINAC, *the 6th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan*, Tokai, Aug. 7, 2009.
- ⑯ T. Suwada and K. Furukawa, Operational Performance of Positron Production from Tungsten Single-Crystal Target at the KEKB Injector Linac, *the 2009 Particle Accelerator Conference (PAC' 09)*, Canada, May 6, 2009.
- ⑰ T. Suwada, Development of a New Bunch-Length Monitor for Detection of Electromagnetic Fields in Millimetre-Wave Region, *the 1st International Conference on Technology and Instrumentation in Particle Physics (TIPP' 09)*, Tsukuba, March 13, 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

諏訪田 剛 (SUWADA TSUYOSHI)
 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・准教授
 研究者番号：20236061

(2) 研究分担者

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・准教授
 研究者番号：90353367

(3) 連携研究者

なし