

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12486

研究課題名（和文）チェレンコフ回折放射を用いた超高速ビーム位置モニターの研究開発

研究課題名（英文）Development of ultra-fast beam position monitor using Cherenkov Diffraction Radiation

研究代表者

宮原 房史（Miyahara, Fusashi）

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：20532691

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）：高エネルギー電子ビームが誘電体を直接通過せず、近傍を通過するだけでもビームと同じ時間構造をもつチェレンコフ光が発生する。本研究はレーザー技術を用いてこの構造の一部を切り出しビーム位置と時間構造を測定することが目的である。モニターの製作を行い、KEK電子陽電子入射器のビームラインに設置し、エネルギー1.5GeVのビームによる測定を試みたが増幅を行う光の波長帯では十分な強度の信号を得ることが出来なかったため別の測定方法を検討している。研究の過程で複数の荷電粒子が混在したビームから特定の荷電粒子のみを選別してビーム位置とエネルギーを同時に測定できる新しいビーム診断装置が開発可能であることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は荷電粒子が物質を通過せず、その近傍を通過した際に発生するチェレンコフ光を利用して電子ビームに影響を与えることなくその位置と時間構造を測定することが目的であるが、紫外から可視光領域では十分な強度の光を得ることが難しいことが分かった。光の光学系を検討する過程でチェレンコフ光を利用した光速より遅い荷電粒子ビームに粒子識別が可能な位置モニターが実現可能であることが分かり、ミュオン加速器など現在、実現を目指している新しい加速器の開発に必要な装置の基礎技術の開発につながった。

研究成果の概要（英文）：Cherenkov light is generated not only when a high-energy beam directly passes through a dielectric material but also when it passes through the vicinity. This Cherenkov light has the same temporal structure as the beam. This study aims to measure beam position and temporal structure using laser technology. Beam test of this monitor was performed at KEK Linac, but it was not possible to obtain a sufficiently intensity signal in the wavelength range for amplifying light. Therefore, alternative measurement methods are being considered. Through the course of the research, it was discovered that a new beam diagnostic device could be developed to selectively separate specific charged particles from a beam containing multiple charged particles, allowing simultaneous measurement of beam position and energy.

研究分野：加速器

キーワード：加速器 ビーム診断 チェレンコフ光

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

加速器のビーム位置モニターはビーム全体(バンチ)の平均的な位置を測定する。しかし、バンチは有限の長さをもつため、バンチの先頭と後方が同じ位置を通過するとは限らない。荷電粒子ビームは加速空洞の中に誘起される高周波で加速するが、バンチの先頭と後方では高周波に乗る位相が異なり、バンチの前後で受け取るエネルギーに差が生じる。エネルギーの異なる荷電粒子は加速器を構成する電磁石中で異なる軌道を描くため、バンチ内のエネルギー差は横方向のビーム広がりにつながり、ビーム品質を悪化させる。ビームが加速空洞を通過するとバンチ先頭の電子群と周囲の構造体で生成される電磁場(ウェイク場)によってバンチ後方の電子が横方向の力を受け、同様にビーム品質を下げってしまう。特に多数の空洞で構成される加速管ではこの影響が大きくなる。また多数のバンチが連続するロングパルスのマルチバンチビームでは高周波源から供給されるエネルギーが先頭のバンチ列から徐々に奪われる。この場合もバンチ列の先頭と後方で受け取るエネルギーが異なる。時間方向に関して狭い範囲で位置を非破壊で測定できれば、加速器の中でのビームの運動の理解やビーム品質の向上が期待できる。

2. 研究の目的

荷電粒子が屈折率 n の物質を物質中の光の速度 c/n を超える速度で通過するとチェレンコフ光が発生する。チェレンコフ光は荷電粒子が媒質を直接通過せず、近傍を通過するだけでも発生し、チェレンコフ回折放射とも呼ばれている。チェレンコフ光の強度は媒質との距離が近いほど強いため、加速器で使われる電極を用いたビーム位置モニター(ビームがビームダクト内壁に誘起する電流を測定)と同様に上下左右に設置した媒質で発生した光の強度からビームの通過位置が評価できる。チェレンコフ光はビームと同じ時間構造をもつ。本研究はレーザー技術を用いてこの時間構造(ビーム進行方向の分布)に関して特定の部分を選択したビーム位置の測定を行うことが目的である。

3. 研究の方法

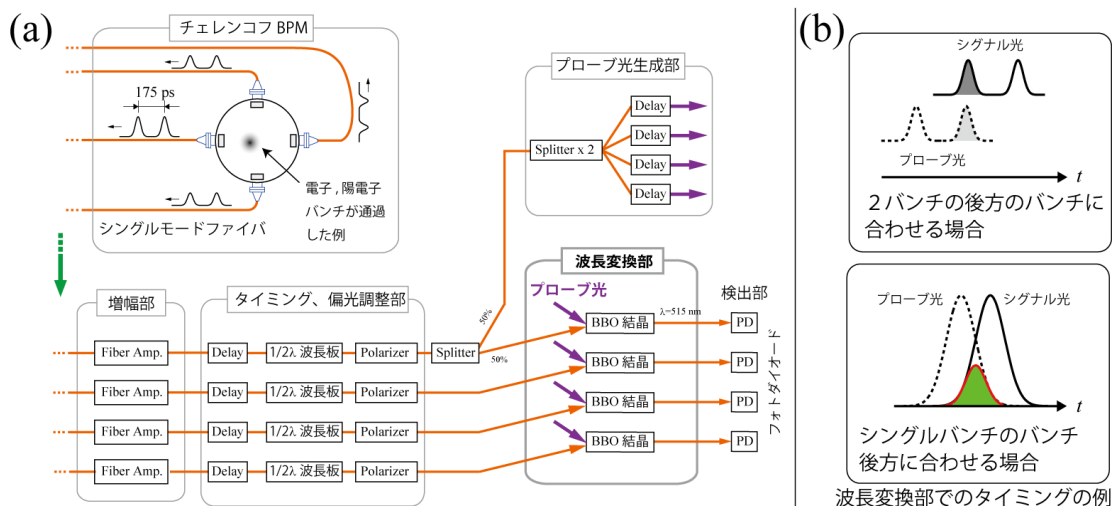


図 1: 実験装置の概略(左図(a))と時間方向の信号切り出しの様子(右図(b))

時間方向の切り出しはレーザー分野で使われる非線形光学効果を利用する。BBO 結晶に特定の 2 方向から光が入射すると時間的に一致した光パルスのみが 2 倍波(波長 1/2)を放出する和周波発生が起こる。図 1 に時間方向を切り出すための実験装置の概略図を示す。上下左右 4 つの媒質で発生したチェレンコフ光はシングルモードファイバーで光学系まで送られる。BBO 結晶の利用のため光の増幅(励起用のポンプ半導体レーザー用いた光ファイバアンプを利用)と偏光方向の調整を行う。波長変換部で共通のプロープ光を用いるために、プロープ光は一つの信号を分岐して用いる。図 1(b)は元の信号と同じ時間構造を持つプロープ光を遅延させて元の信号と時間的に重なる部分の和周波が生成される様子を示している。

4．研究成果

光の検出と増幅、切り出しを検証するためにシリカエアロゲルを媒質とするモニターを製作し、光の検出、増幅部を構築し、KEK 電子陽電子入射器のビームラインに設置した。エネルギー 1.5 GeV の電子ビームによるチェレンコフ光をレーザーで光の切り出し、増幅を行う光の波長帯 1034-1094 nm で測定を試みたが、十分な強度の信号を得ることが出来なかった。これは可視～紫外領域のチェレンコフ回折放射の強度が非常に弱いことと、チェレンコフ光をファイバーに集光する効率が小さいことが原因であった。チェレンコフ回折放射の強度を増やすためにはビーム近傍に近づける必要があるが、ビームの広がりがこの距離よりも大きく、媒質を直接通過するチェレンコフ光の強度がチェレンコフ回折放射に比べて非常に大きいため、これも困難であった。この問題を解決するためにはビームから離れた位置でも大きな強度が得られるテラヘルツ領域の光を用いる必要があるが、その場合はレーザーを用いたパルスの切り出し、増幅が出来ないため、別の方法の検討を続けている。チェレンコフ光を効率的に集める光学系を設計する過程で、チェレンコフ光を用いて複数の荷電粒子が混在したビームから特定の荷電粒子のみを選別してビーム位置とエネルギーを同時に測定できる新しいビーム診断装置が開発可能であることが分かった。現在、実現を目指しているミュオン加速器では電子とミュオンが混在したビームが生成されることからこのビーム診断装置はミュオンを選別可能な位置モニターとしての利用が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宮原房史
2. 発表標題 チェレンコフ光を用いたビーム位置モニター開発
3. 学会等名 ビーム物理研究会
4. 発表年 2024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
研究分担者	周 翔宇 (Zhou Xiangyu) (30462865)	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・研究機関講師 (82118)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------