

研究責任者名 Name	大見 和史 Ohmi Kazuhito	所属機関 Affiliation	高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設
受理番号 Proposal No.	大型 13/14-06	研究課題名 Program title	加速器におけるビームビーム効果、ビーム不安定性の研究

研究を終了しましたので、下記の通り報告します。

成果の概要

Abstract

(和文)

1. ヒッグスファクトリーにおける、ビーム制動放射によるエネルギー広がりを調べ、加速器に要求されるエネルギーアクセプタンスを決めた。エネルギーアクセプタンスは高ルミノシティのための低ベータ光学系では色収差が大きくなり、許容値が小さい。そのためどの程度必要かの見積もりが重要である。ビーム制動放射のシミュレーションはその必要量、達成可能ルミノシティの関係を与える。
2. J-PARC MR における空間電荷効果によるエミッタンス増大を、チューンを変えてスキャンし、その結果をもとに新しい運転チューンの候補を求めた。その結果をもとに J-PARC MR では新チューンでの高強度運転を目指している。

(英文)

1. Energy spread caused by beamstrahlung has been studied by beam-beam simulation. Energy spread is hard to increase in very low beta optics to target high luminosity, because high chromaticity and its correction shrink energy aperture strongly. Relation of achievable luminosity and energy spread is obtained by the simulations.
2. Emittance growth and beam loss are caused by nonlinear Space charge force. The growth and loss depend on tune operating point strongly. The loss is scanned in tune space using Particle in Cell simulation for J-PARC MR. Candidates of new tune points are obtained. High intensity operation is being tried using the new operating tune in J-PARC.

研究成果を公開しているホームページアドレス

研究成果の 公表	口頭研究発表 件数	査読つきの 学術論文数	プロシーディング 論文数	その他 (投稿中を含む)
	2	0	2	2

成果の公表リスト（それぞれの枠に番号をつけて記入願います。）

口頭研究発表 Presentations at scientific meetings concerning the program		
1. The 55th ICFA advanced beam dynamics Workshop on High Luminosity circular e+e- colliders-Higgs factory HF2014, 2. The 54-th ICFA advanced beam dynamics Workshop on High intensity Beam, HB2014.		
査読付きの学術論文(雑誌名等には 巻、頁、発表年を記載) (*) 不足する場合には追加願います。 Refereed Journal Articles (name of journal, volume, page, year)		
1	著者名 Author	
	タイトル title	
	雑誌名 name of journal	
	URL	
2	著者名	
	タイトル	
	雑誌名等	
	URL	
3	著者名	
	タイトル	
	雑誌名等	
	URL	
プロシーディング論文(雑誌名等には 巻、頁、発表年を記載) (*) 不足する場合には追加願います。 International Conference Proceedings (name of journal, volume, page, year)		
1.	著者名 Author	K. Ohmi and F. Zimmermann
	タイトル title	FCC-ee/CepC BEAM-BEAM SIMULATIONS WITH BEAM STRAHLUNG
	雑誌名等 name of journal	Proceedings of IPAC2014
	URL	
2.	著者名	K. Ohmi, S. Igarashi, Y. Sato, H. Harada
	タイトル	Study for Space Charge effect in tune space at J-PARC MR
	雑誌名等	Proceedings of IPAC2014
	URL	
3.	著者名	
	タイトル	
	雑誌名等	
	URL	
その他 (学位論文、紀要、投稿中の論文を含む) (著者、タイトル、論文種別、URL を記載) Others (thesis for a degree, bulletin, papers to be published, etc.)		
1. K.Ohmi,, F. Zimmermann, Study of beam-beam limit in a hadron collider, submitted to Phys. Rev. ST-AB. 2. K.Ohmi, Artificial noise in PIC codes and consequences on long term, Proceeding of HB2014		
特記 (本研究に関係した、新聞記事・著作、受賞など) (過去に遡っても構いません。) Special Notes (newspaper article, literary works, awards, etc.)		
1. 2.		

実施報告書

研究組織 大見和史、Zhou Demin, 多和田正文

1. ヒッグスファクトリーにおける、beamstrahlung とビームエネルギー広がり の研究
 ビーム同士が衝突するとビーム内粒子は相手ビームの電磁場の中で力を受け運動方向を変える。その際シンクロトロン放射光を放出する。放射される光子の数は1以下で、エネルギーも高い。ちなみに衝突時のビーム粒子運動の回転半径は30mほどで、偏向磁石による回転半径10kmにくらべ遥かに小さい。光子の典型的なエネルギーは100MeVでビームエネルギー120GeVの0.1%である。エネルギースペクトルもガウス分布より高エネルギー側に裾を持っている。図1にエネルギースペクトルを示す。1%程度まで裾があることがわかる。そのため beamstrahlung によってできた平衡ビームエネルギー分布は裾が広がっている。その裾のため加速器のエネルギーアクセプタンスからこぼれる粒子が増え、ビーム寿命が短くなる。

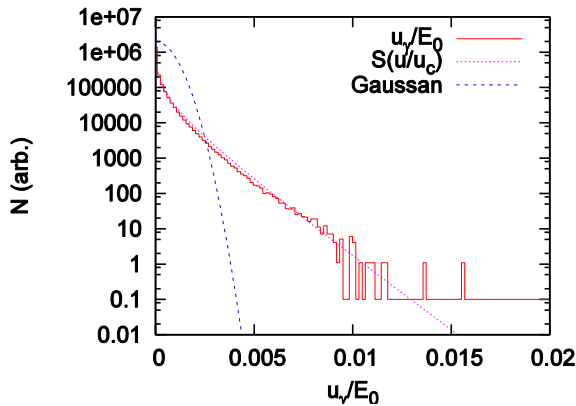


図1 Beamstrahlung による光子のエネルギースペクトル。

一般的な加速器でエネルギーアクセプタンスは2%位であるが、衝突点で極低ベータにしぼった加速器では1%以上を保持するのは難しい。ビームをしぼればルミノシティは上がるが、beamstrahlung は強くなり、要求エネルギーアクセプタンスが大きくなる。しぼればアクセプタンスが小さくなるということで、ヒッグスファクトリーの性能を決めるのは beamstrahlung によるエネルギー広がり と光学系をいかに最適化するかで決まる。図2に中国で提案されているヒッグスファクトリーCEPC におけるビームのエネルギー分布とアクセプタンスに対するビーム寿命を示す。4本の線はビーム強度60%, 80%, design, 120%の場合の結果である。ビーム強度が増えるに従いエネルギー分布が広がっていき、アクセプタンスに対する寿命も短くなることをみることが出来る。ビーム寿命は30分を想定するとデザインビーム強度で1.6%以上のアクセプタンスが必要なことがわかる。

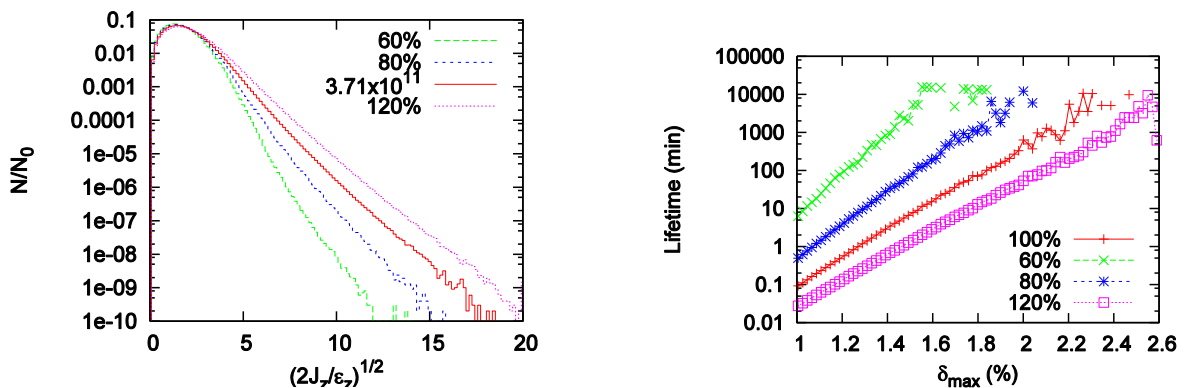


図2 CEPC におけるエネルギー分布とアクセプタンスに対するビーム寿命

2. J-PARC MR における新チューン候補探索

空間電荷効果のシミュレーションは粒子分布によるクーロンポテンシャルを particle in cell で解き、それによる力でビームの運動を変えていく手法で行われている。空間電荷力は振幅に対して非線形なため、ビームの振動はカオス的になり、エミッタンスが広がり、ビームロスが起こる。J-PARC ではこのビームロスをいかに小さくすることができるかで、ビーム強度が決まる。カオスの振る舞いはビームのチューンによって大きく異なる。非線形力によりチューンが広がり、チューンが m/n で共鳴的な運動をするようになると、その周辺でカオスが発生する。シンクロトロン振動によりカオスが引き回されることでエミッタンス増大が起こる。図3にチューンを変えビームロスをシミュレーションした結果を示す。図中青い点が従来 J-PARC の運転で使われていたチューンである(22.4,20.75)。このスキャンにより新たなチューンの可能性がえられた。(21.4, 21.4)、(20.9, 20.9) (22.4, 22.4)周辺である。(22.4, 22.4)は最大エネルギーでの磁石強度が強いのでハードの面で難しい。(20.9, 20.9)は不安定性から心配がある。(21.4, 21.4)が現状で候補となっている。ちなみにこのシミュレーションは Blue Gene の parallel computing が非常に役立った。

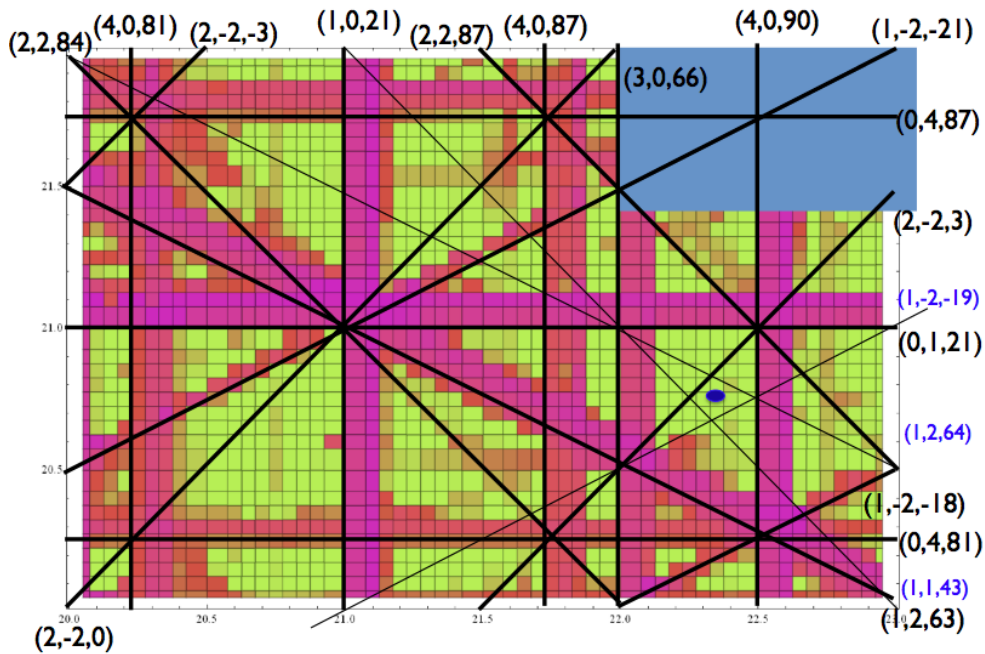


図3 チューン空間でのビームロス。緑はロスが $<10^{-4}/5000\text{turn}$ 。線は共鳴を示す。

図3は加速器磁石のエラーは入っていないが、エラーを考慮すると従来の 22.4,20.75 領域では (1,1,43)の共鳴が現れて、ビームロスが激しくなる。図4にその様子を示す。左図はエラーを考慮した状態で、右図はそのエラーを補正した後のロスで、幾分劣化は解消されたが、完全ではない。同様のエラーを 21.4,21.4 領域でいれても誘起される共鳴がないため、劣化はみられない。その意味で新領域はエラーに強いと言える。現在そのチューンを使ってビームスタディが進行中である。

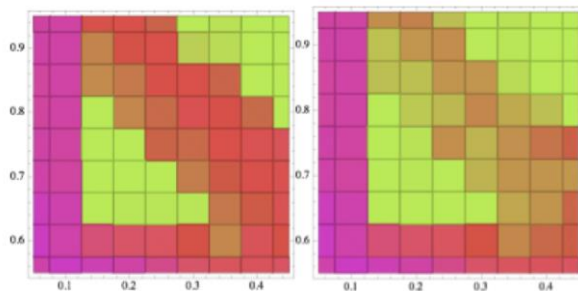


図4 エラーを考慮した場合のビームロス、 $n_x=22.0-22.5$, $n_y=20.5-21$ 領域。右図はエラー補正を行った。