

KEKBアップグレードに向けた

ビームバックグラウンドの シミュレーション研究



東北大学 素粒子実験研究室

修士2年

中野浩至





KEKBアップグレードについて
ビームバックグラウンドとは



研究の手順・方法



現在の成果



まとめ・今後

KEKBのアップグレードについて

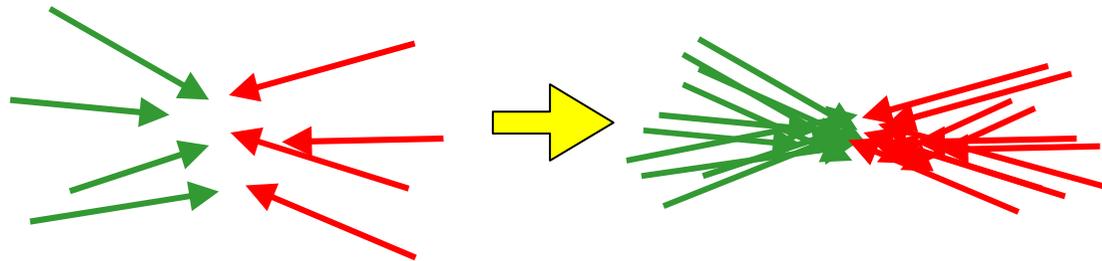
2

標準理論を超える物理に迫るため
積分ルミノシティ 50000fb^{-1} を目指す

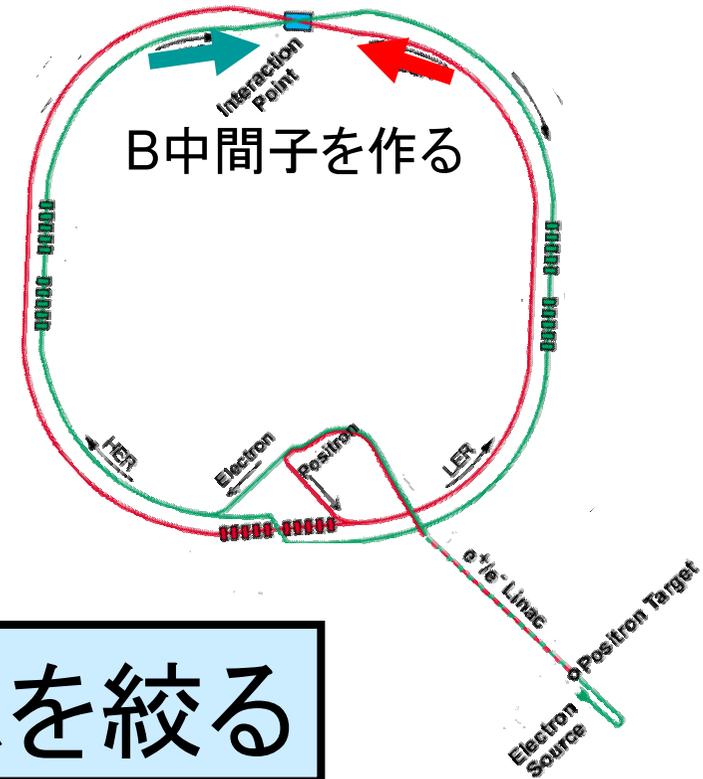
1000fb^{-1} の50倍！

ルミノシティは電流に比例
ビームサイズに反比例

ビームを増やす・ビームを絞る



HER e^- (High Energy Ring) LER e^+ (Low Energy Ring)



アップグレードの内容

3

電流 (ビーム粒子数) が、

1.2A (電子リング)

1.6A (陽電子リング)

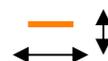


2.6A

3.6A

およそ2倍!

衝突点ビームサイズが、



147um x 0.94um (電子リング)

170um x 0.94um (陽電子リング)

10.2um x 60nm

6.8um x 61nm

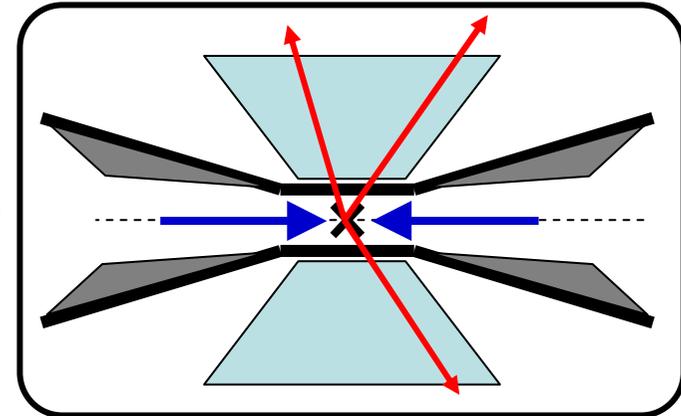
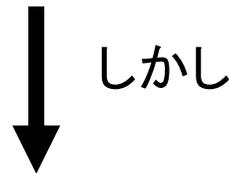
1/10 以下!

ルミノシティが $2.1 \times 10^{34} [\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}]$ から
 $80 \times 10^{34} [\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}]$ に!

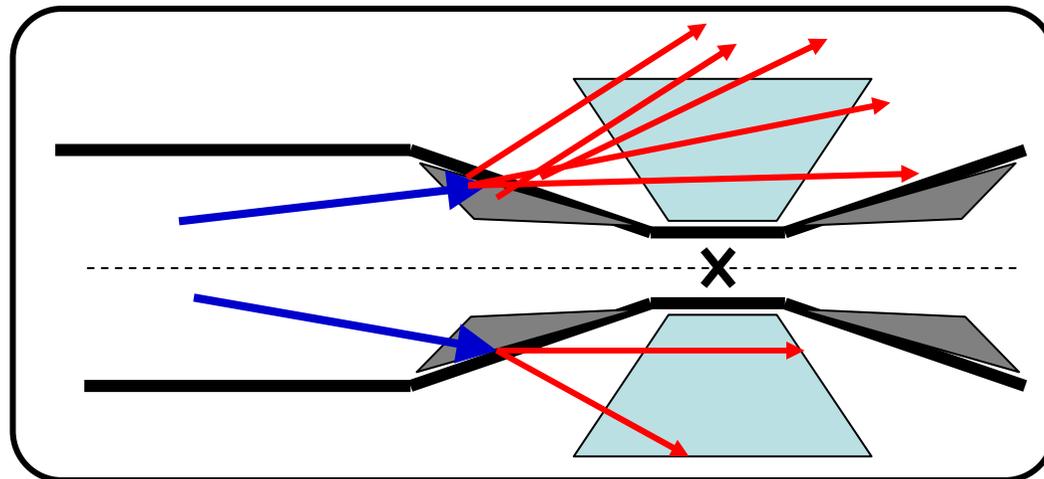
1秒間あたり ~20対のBBペア → ~800対

ビームバックグラウンドとは

検出器が見たいのは、B中間子の崩壊



ビームの中には軌道を外れてシャワーを作るやつがいる。



こいつらがつくるのが
ビームバックグラウンド

KEKBでは、1秒あたり
B中間子になれる e^\pm : ~20個
軌道はずれる e^\pm : $10^9 \sim 10^{10}$ 個

軌道をそれる過程は2種類ある

- ガス散乱** : 残留ガスによって散乱
- Touschek効果** : バンチ内の e^\pm 同士で散乱

覚えてください！

それぞれの説明

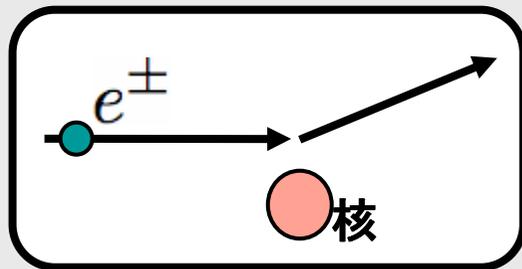


ビームバックグラウンドの種類

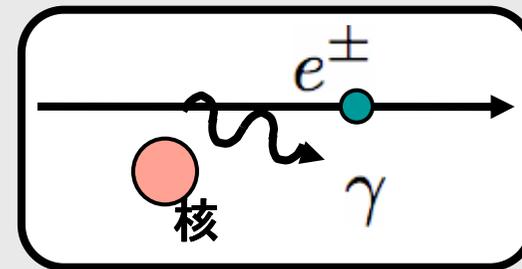
2種類ある

- ガス散乱：残留ガスによって散乱
- Touschek効果：バンチ内の e^\pm 同士で散乱

向きが変わる



エネルギーが低下



主に、ビームパイプ内のCOによって散乱される

散乱の頻度はガスの密度(圧力)に比例

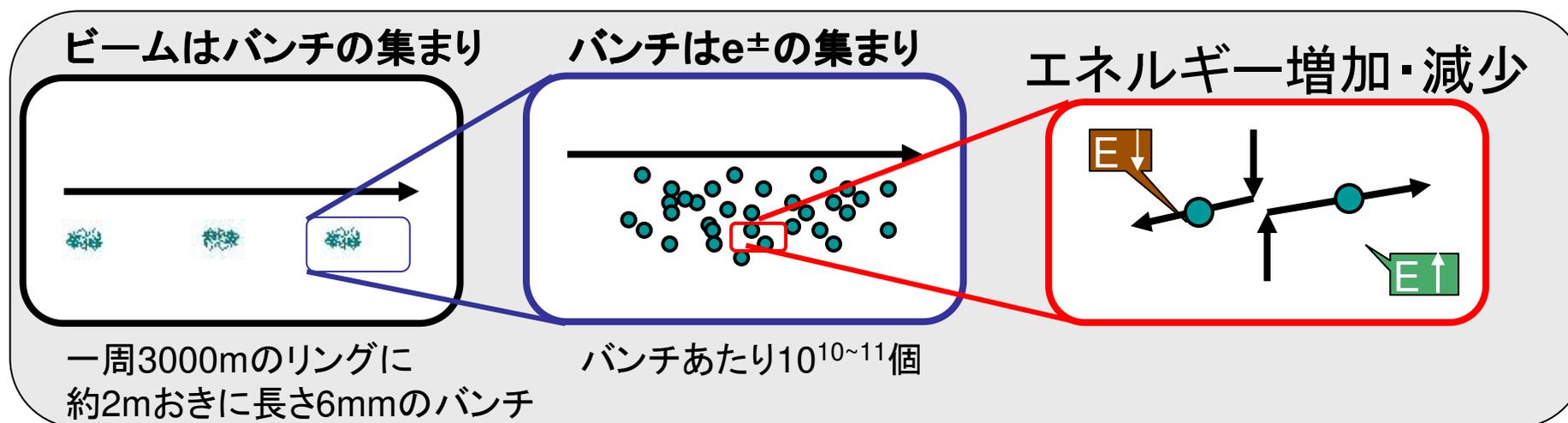
ビームバックグラウンドの種類

7

2種類ある

ガス散乱：残留ガスによって散乱

Touschek効果：バンチ内の e^\pm 同士で散乱



高密度・低エネルギーのビームほど散乱率大

アップグレードで増えるビームバックグラウンド

8

アップグレードによって 電流が、2倍以上！

散乱される粒子も2倍

ビームサイズが、小さくなる！

Touschek効果が増加

LERビーム寿命が2時間だったのが、たった数分に！

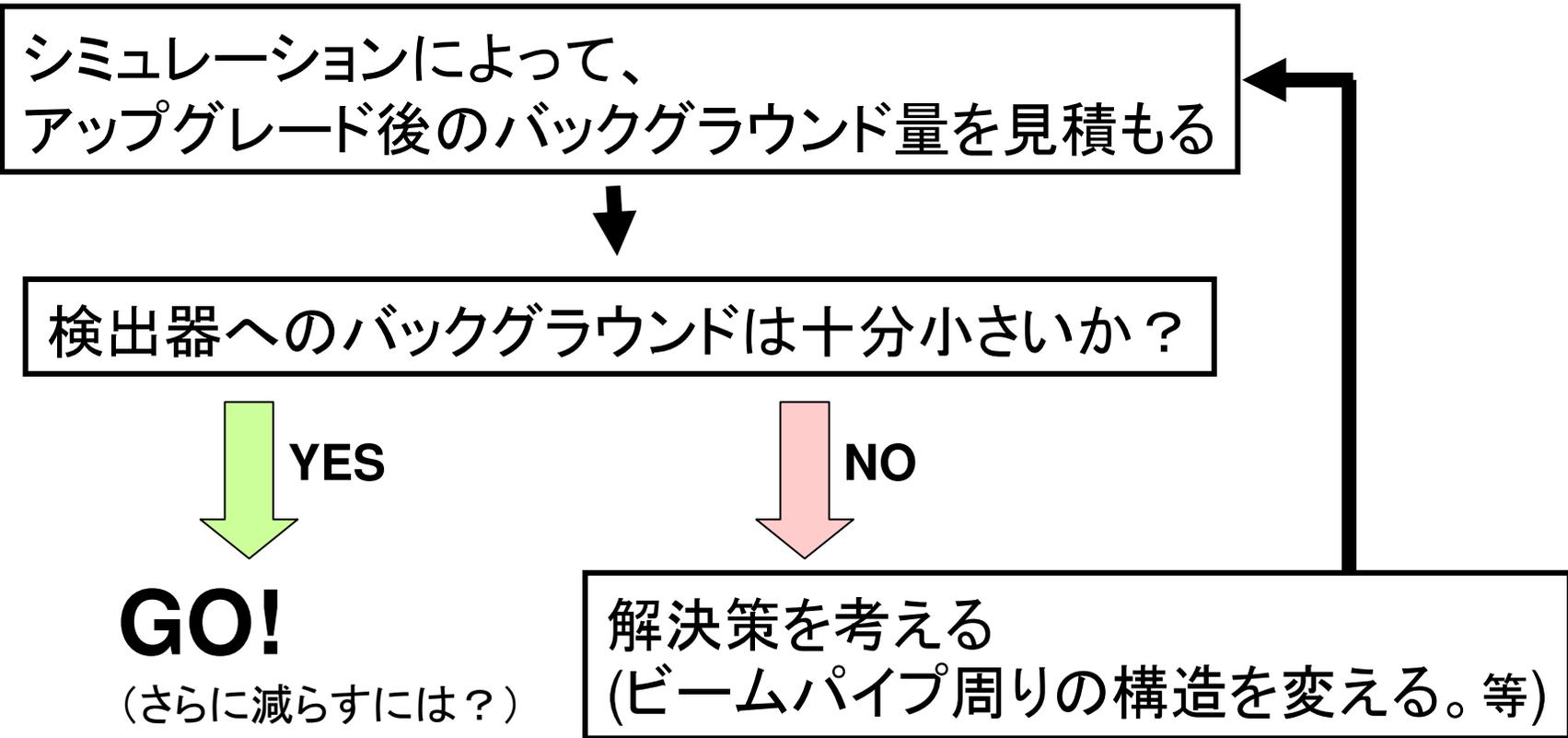
対策: 3.5 x 8.0 GeV を 4 x 7 GeV に

それでも散乱粒子は現在の20~30倍程になると予想されている

Super KEKBではビームバックグラウンドがかなり増加する

研究の目的・手順

アップグレード後のバックグラウンドを見積もる必要がある。

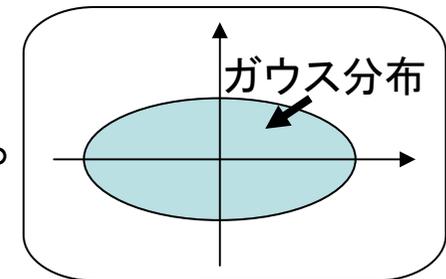


まず、シミュレーションでバックグラウンドがどの程度再現できるのか確認する。

散乱された粒子をシミュレーションする手順

0、ビーム粒子生成

ビーム粒子は軌道を中心にガウス分布している。
乱数でスタート位置座標をきめてやる。

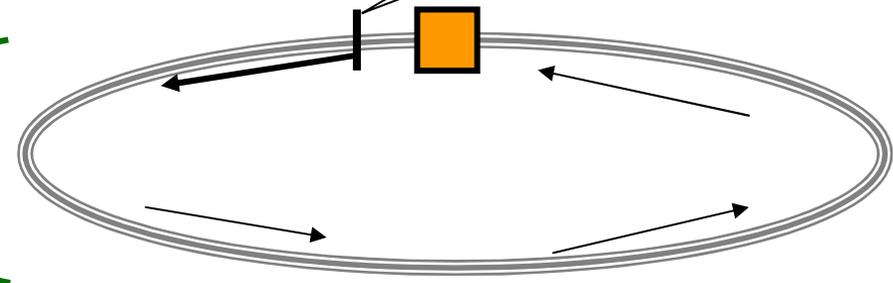


1、リング部分 **TURTLE**

・行列計算で軌道を計算

$$\left(x, \frac{dx}{dz}, y, \frac{dy}{dz}, z, \delta\right) \quad \delta = \frac{p - p_0}{p_0}$$

・散乱されたビームを生成



例) 磁場がない空間を距離Lだけ飛ぶ

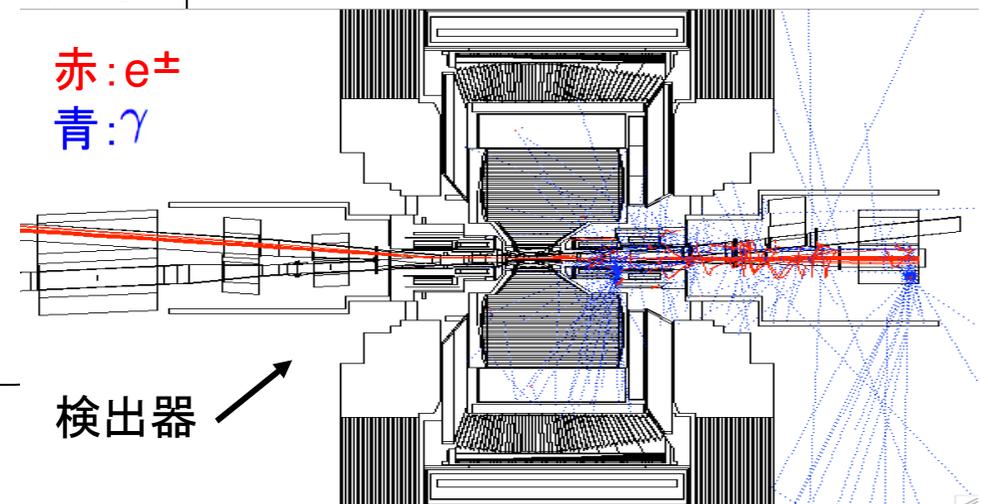
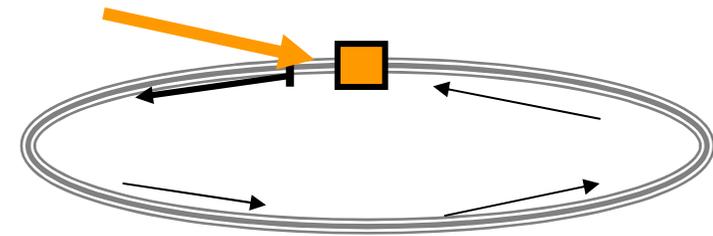
$$x \rightarrow x + \frac{dx}{dz} L$$

$$\frac{dx}{dz} \rightarrow \frac{dx}{dz}$$

2、検出器付近 gsim(GEANT3)

- ・解析のシミュレーションにも使われる
- ・ビームパイプ、検出器の再現
(衝突点から約10m前後)
- ・バックグラウンド量を計算する

3、一周したら計算をやめる



これを 100万回繰り返し、1秒当たりの散乱率で規格化してやる。

シミュレーションの際の仮定

12

散乱率を計算するためには、いくつかの仮定が必要になる。

真空計で圧力を測定しているが、COの分圧を正確に知ることは困難。

仮定: 1nTorr の圧力で一様分布している
(実際はこの1/10くらいまでの可能性がある)

ビームのパラメーターはルミノシティの記録を達成したときの値を使用

年間運転時間は 10^7 秒を仮定



様々な不確定要素から、シミュレーション結果は数倍程ずれる

現在のKEKBのビームバックグラウンドをシミュレーションで再現。

SVD (Silicon Vertex Detector)

- ・崩壊点を測定する位置検出器
- ・2重のストリップ構造 × 4層

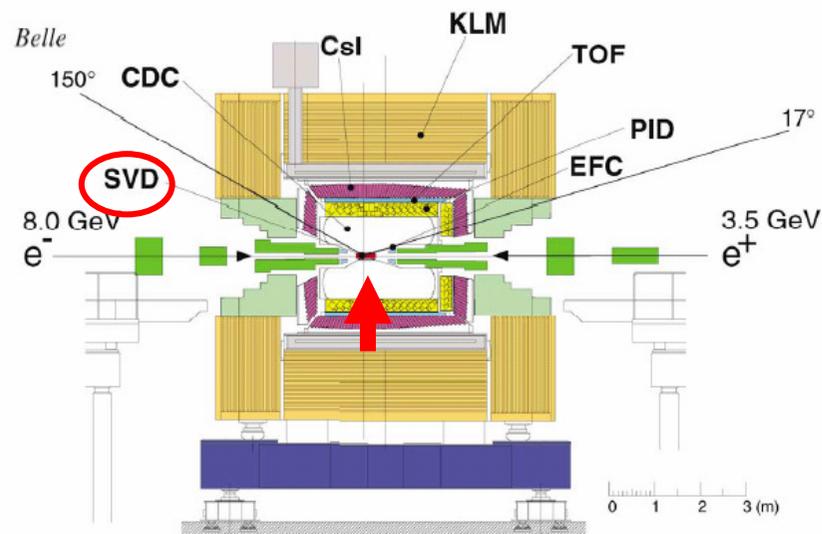
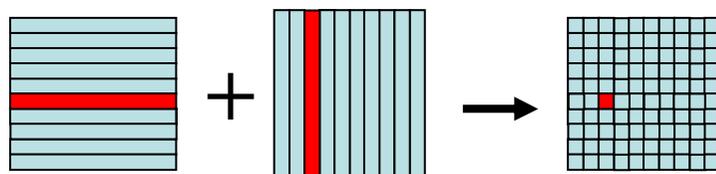


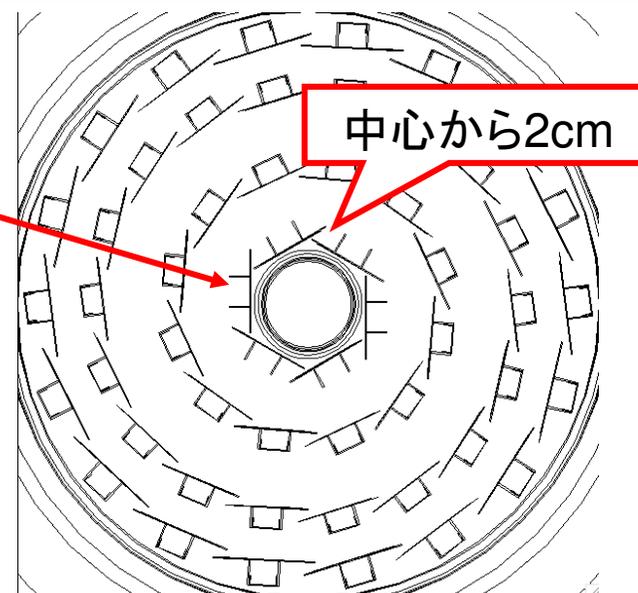
Fig. 1. Side view of the Belle detector.

SVD検出器の一番内側の層の

1 Occupancy

2 Dose量

のシミュレーション値を実際の値と比較



① Occupancyのシミュレーション

14

Occupancy:

全体のチャンネルのうちいくつが鳴っているか
(要請: ~10%以下)



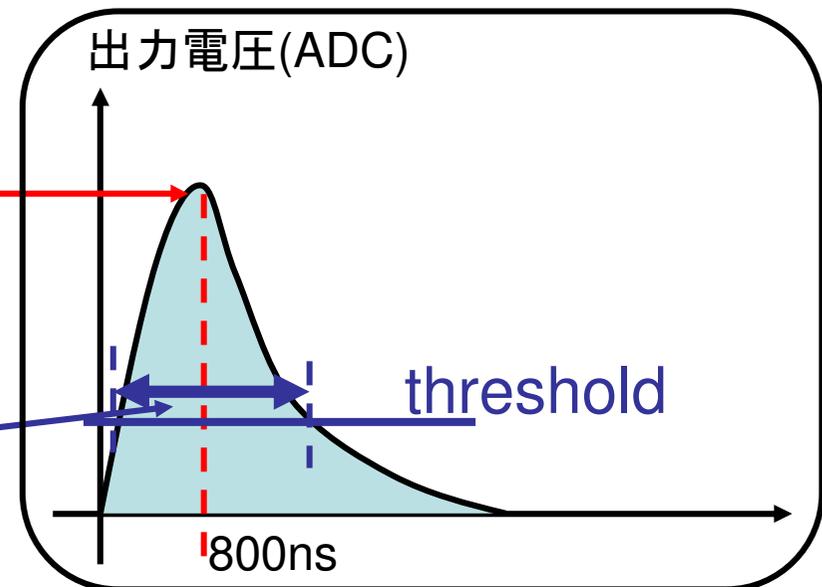
例)
1/10=10%

シミュレーションではSVDの出力値を再現することができる

パルスの形:

$$f(t) \propto te^{-t/800ns}$$

鳴っている時間を求める



単位時間当たりに”鳴っている”割合をoccupancyとして計算

② Doseのシミュレーション

Dose量 [krad]:

粒子が落としたエネルギー量[J] / 検出器の質量[kg] / 10

Belleの最も内側のDose量は、
1年当たり、だいたい**100~200krad**(RADFETモニターより)

検出器の寿命に深くかかわってくるので、
シミュレーションで評価する必要がある！

シミュレーション結果へ 

シミュレーション結果

16

	① Occupancy 計算		② Dose 計算[krad/yr]	
	シミュレーション	実際の値	シミュレーション	実際の値
HER				
Touschek	0.53%	0.19±0.06%	8.5	
ガス散乱	1.73%	1.02±0.04%	28	
LER				
Touschek	1.08%	2.01±0.22%	17	
ガス散乱	2.41%	0.26±0.11%	39	
HER+LER	5.74%	3.49±0.26%	93	100~200

↑
杉原君の解析結果をもとに導出

シミュレーションはKEKBをよく再現できているように見える

→ シミュレーションプログラムには本当に間違いがないか？
誤差の評価は？ 確認すべき事項は残っている

KEKBアップグレードではTouschek効果、ガス散乱による
ビームバックグラウンドがかなり増えると予想される。

そのためのシミュレーションを行う。

現在のKEKBのシミュレーションを行った結果、
シミュレーションはバックグラウンドを再現できているように見える。

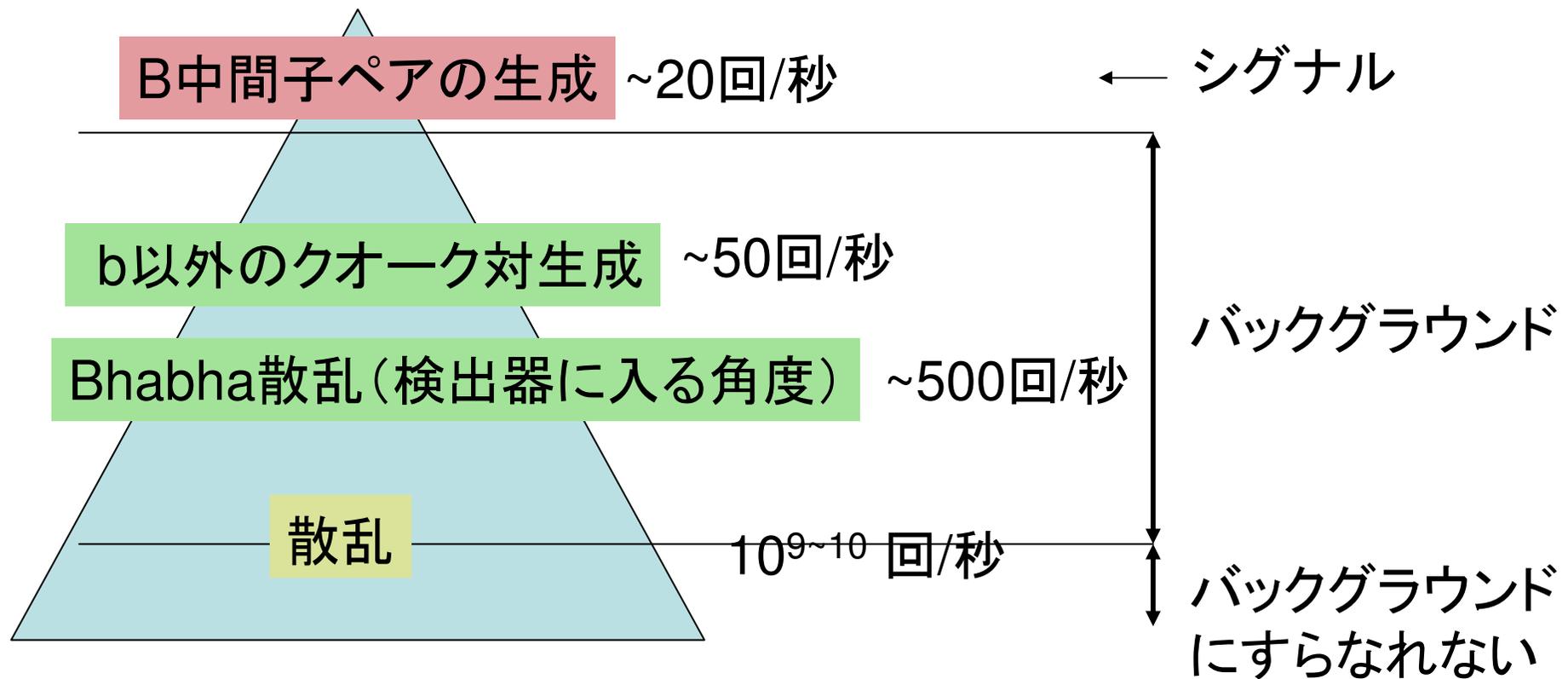
誤差を評価すること、
ミスがないか等、十分な確認が必要である。

↓ 今後、入念なチェックを行い

そして、
Super KEKBのビームバックグラウンドを求める。

ありがとうございました

ビームの衝突とリング上の散乱どっちがおおい？



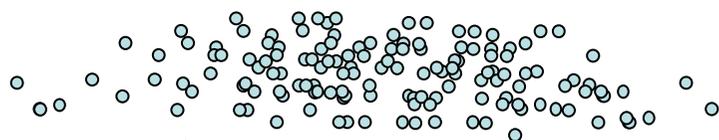
※ここで挙げたイベントは一部です。
他にも様々な反応があります

ビーム粒子どうしの散乱

バンチ(ビーム粒子の集団)

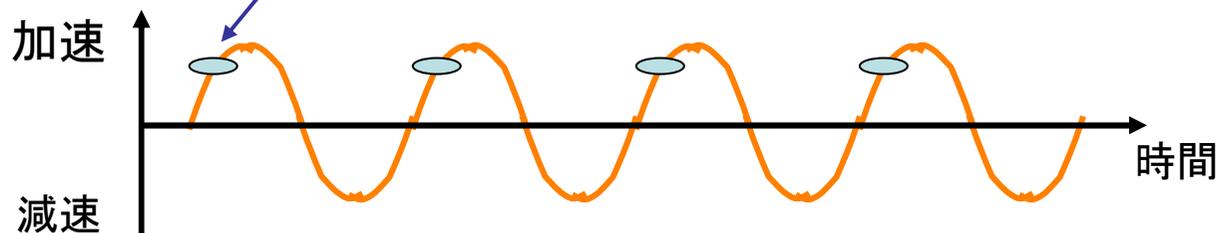
ベータトロン振動

ビーム粒子は加速の際にバンチという塊になる



1バンチに
 10^{10} 個くらいの e^{\pm}

加速のタイミングが決まっているから



ビーム粒子どうしの散乱

バンチ(ビーム粒子の集団)

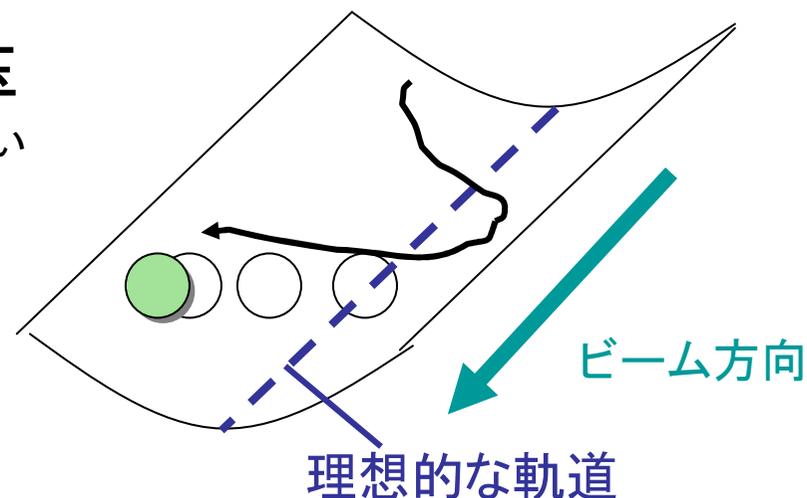
ベータトロン振動

軌道を回るビーム

→ ハーフパイプを転がる玉

だと思って下さい

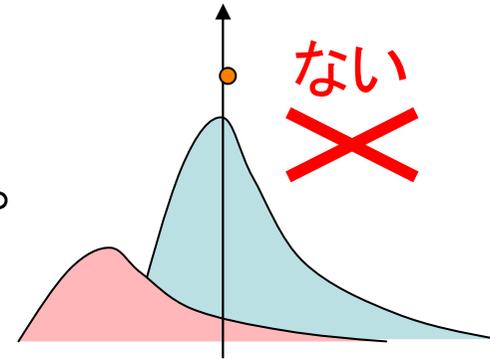
進行方向と垂直な運動を
ベータトロン振動という



8GeV電子リングも、3.5GeV陽電子リングも
1周あたり、およそ40回のベータトロン振動をしている。

仮定

同じチャンネルに同じタイミングでヒットしない。
→ 信号が重なることはないと仮定



小さな信号が重なって、thresholdを超えることはない

1) 3000 e/h (10.8keV dose)相当以下の信号は無視

→ 10keV以下の粒子はシミュレーションに含めなくてよい。

信号と信号が重なって、合計の”鳴っている”時間が短くなることはない

2) Occupancy は以下のように計算できる

$$\frac{\sum t_{\text{signal}}}{\# \text{ of channel}}$$