

# SuperKEKB における Touschek バックグラウンドの シミュレーション研究

東北大理、高工研<sup>A</sup>、MPI<sup>B</sup>、  
中野浩至、山本均、  
中山浩幸<sup>A</sup>、大西幸喜<sup>A</sup>、田中秀治<sup>A</sup>、原隆宣<sup>A</sup>、  
Andreas Moll<sup>B</sup>、Christian Kiesling<sup>B</sup>、Susanne Koblitz<sup>B</sup>、  
他 Belle MDI Group

# 目次

## KEKB アップグレードの課題と対策

## シミュレーションの内容

## 結果

# KEKB と SuperKEKB

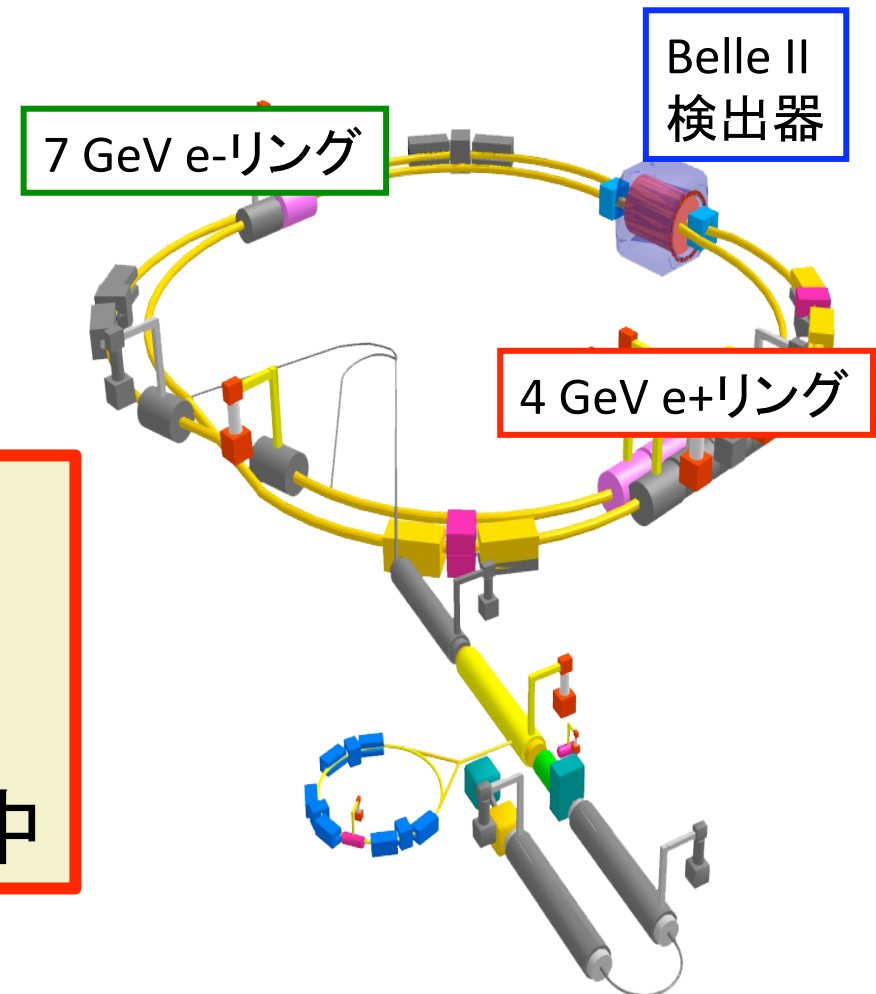
KEKB : e-e<sup>+</sup> の非対称衝突器。  
B中間子を作り、CP対称性の破れを検証した。

小林・益川理論の検証から



標準理論を超える物理の探索へ

ルミノシティが  
現在の40倍になる、  
SuperKEKB への  
アップグレード計画が進行中



# アップグレードによる変化

## KEKB

### ビーム電流:

1.2 A (e-)

1.6 A (e+)

### 衝突点ビームサイズ:

170 $\mu$ m × 0.94 $\mu$ m (e-)

147 $\mu$ m × 0.94 $\mu$ m (e+)

### ビームエネルギー:

8.0 GeV (e-)

3.5 GeV (e+)

## SuperKEKB

### ビーム電流:

2.6 A (e-)

3.6 A (e+)

### 衝突点ビームサイズ:

10  $\mu$ m × 0.063 $\mu$ m (e-)

10  $\mu$ m × 0.048 $\mu$ m (e+)

### ビームエネルギー:

7.0 GeV (e-)

4.0 GeV (e+)

2倍以上

1/10以下

ビーム電流、密度が増加



ルミノシティが増加するが、

ビーム由来のバックグラウンドも増加。

特に、Touschek 効果による散乱が深刻！

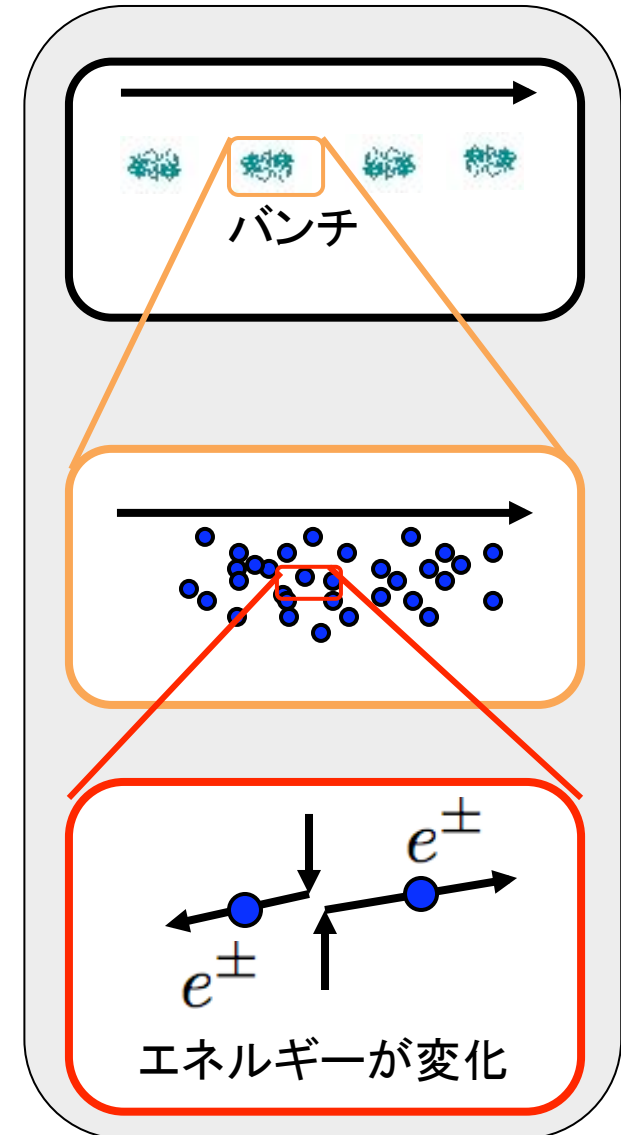
# Touschek 効果

- ・バンチ内の粒子同士の散乱
- ・エネルギーが増加 or 減少

$$(\text{散乱率}) \propto (\text{電流}) \cdot (\text{密度}) / (\text{エネルギー})^3$$

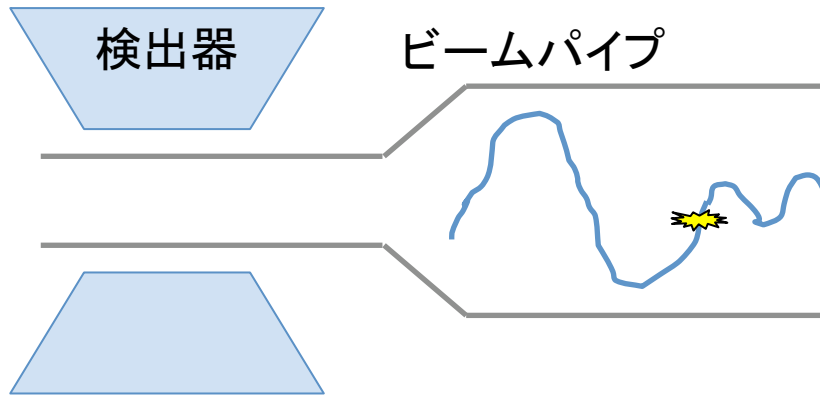
アップグレードによって  
さらに増加する。

低エネルギーの  
e+ビームで深刻

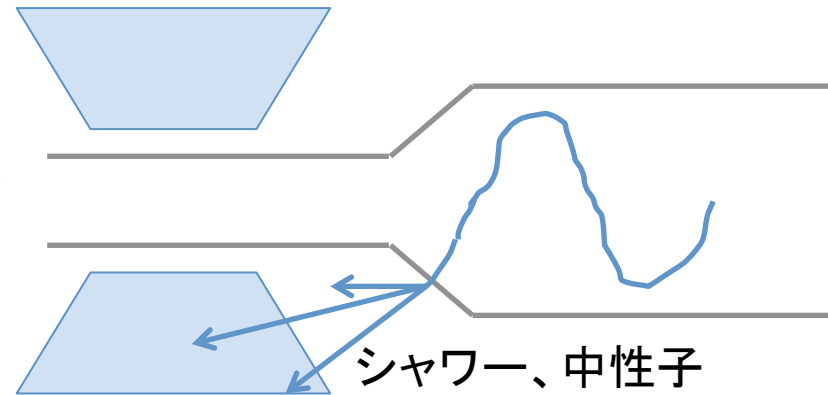


# バックグラウンドの発生過程と止め方

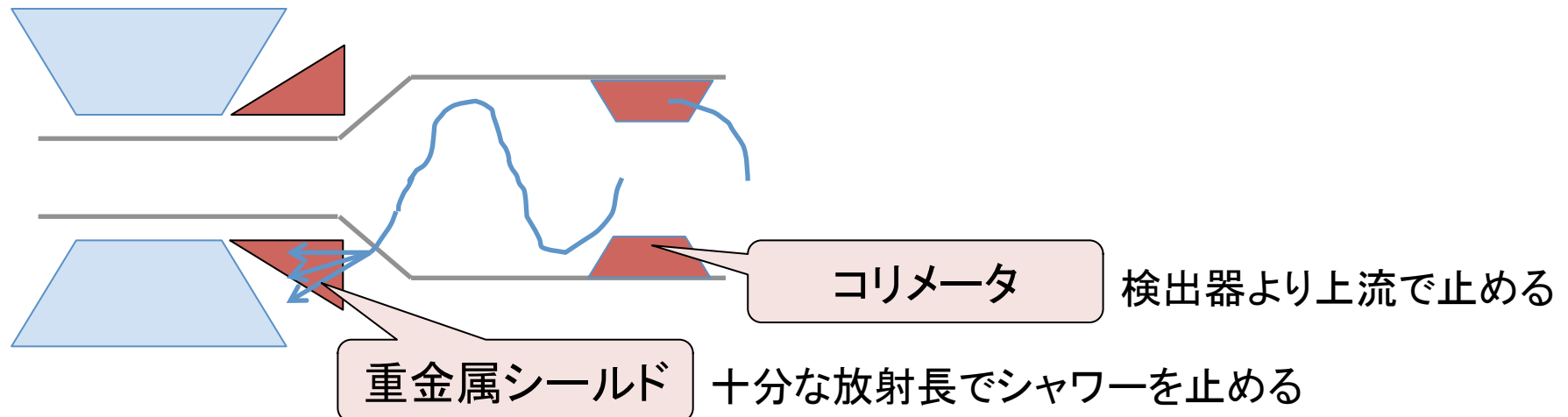
[1] 軌道をそれる



[2] 検出器付近でロスする



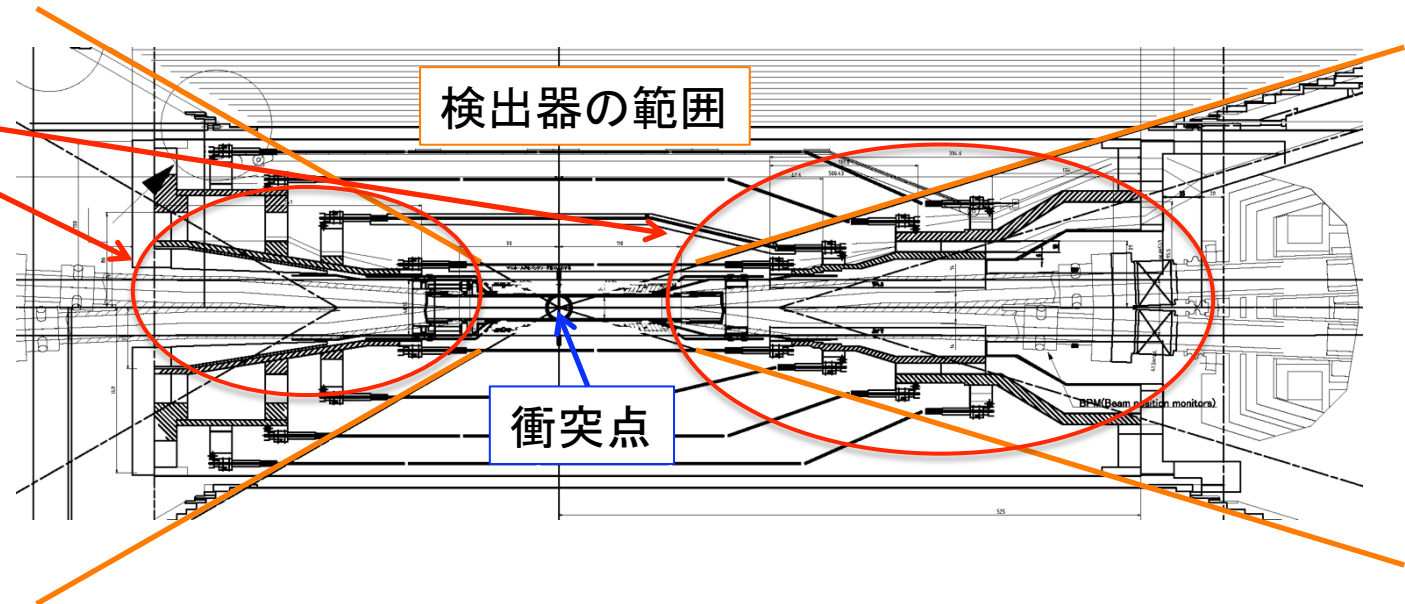
いかにしてBGを低減するか



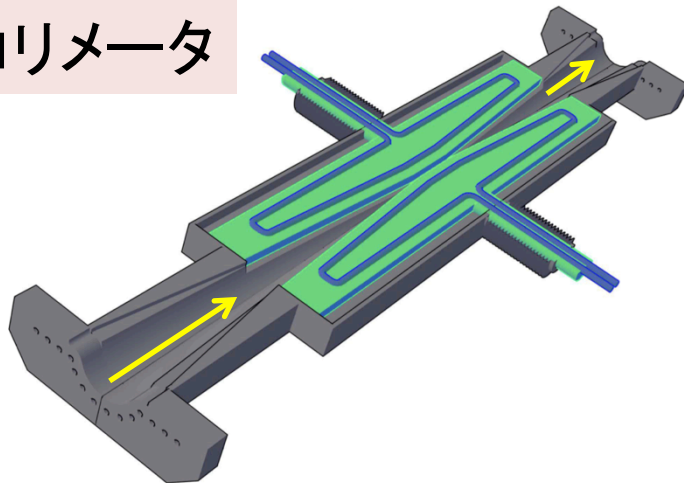
# 重金属シールドとコリメータ

## 重金属シールド

厚さ ~1cm  
タンゲステン製  
( $X_0 \sim 0.35\text{mm}$ )



## コリメータ



Arc 部分の bend で水平方向に軌道がずれる  
エネルギーの高い物は外側、低いものは内側

水平コリメータを外側、内側の両方に設置

# シミュレーション計算

シミュレーションによって  
e+リングの Touschek 効果による  
ロス位置と頻度を計算し、  
コリメータの働きを評価した。

次ページで説明

シャワー、中性子  
が発生する位置

次次ページで説明

- ・ ビームのパラメータはデザイン値を使用。
- ・ 散乱率はリングでの位置に依存していて、

$$\frac{1}{\sqrt{\beta_x(s)\beta_y(s)}}$$

に比例と仮定。

$\beta_{x,y}(s)$  : ベータ関数  
↑  
ビームの大きさを表す値

s はビーム軌道に沿った座標



## 環境

TURTLE : 散乱粒子の生成 & 光学トラッキング  
GEANT4 : 検出器付近のトラッキング

検出器シミュレーションに必要な  
ジオメトリを用意した。

重金属シールド

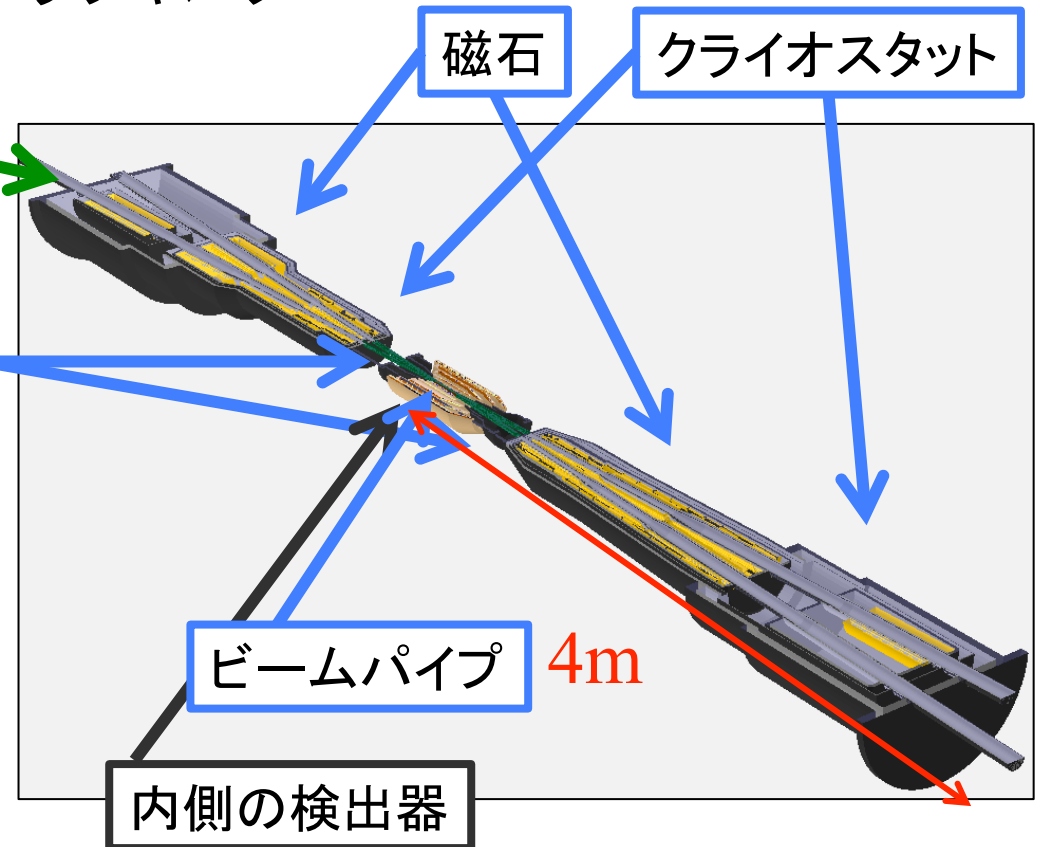
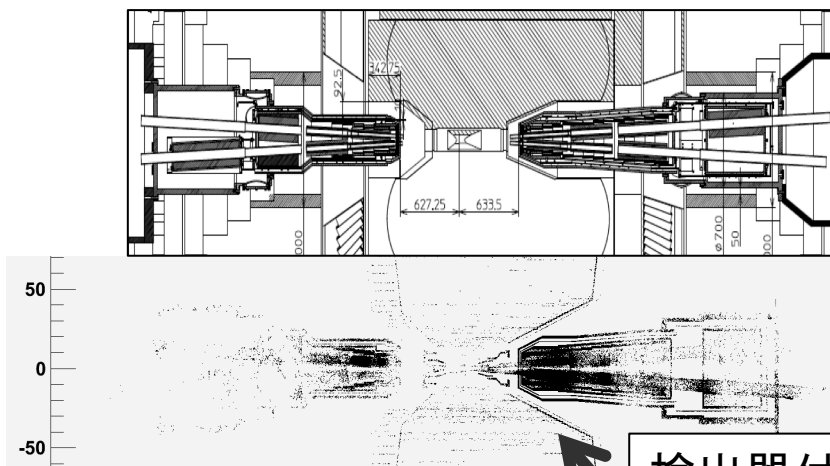
磁石

クライオスタット

ビームパイプ 4m

内側の検出器

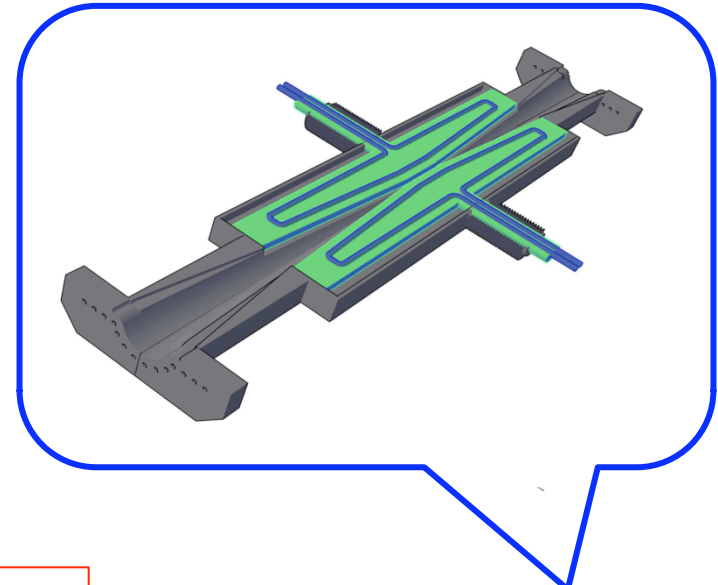
検出器付近にてビームが当たり、  
シャワーが生成された位置のプロット。



# 可動コリメータの設置

リング周上に  
コリメータを設置

水平コリメータ  
外側、内側の両方



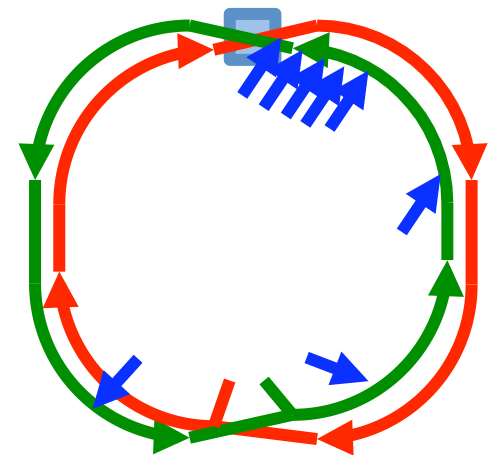
エネルギーのずれによる、  
軌道のずれの大きさを表す値

ビームの大きさ  
を表す値

コリメータの位置は  
dispersion 又は  
beta が  
大きい位置を選択。

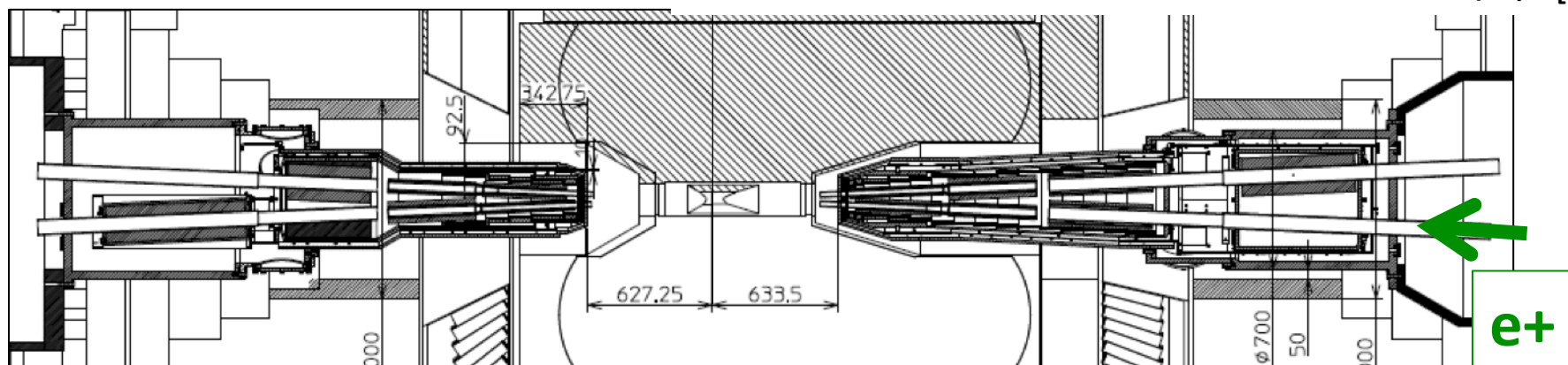
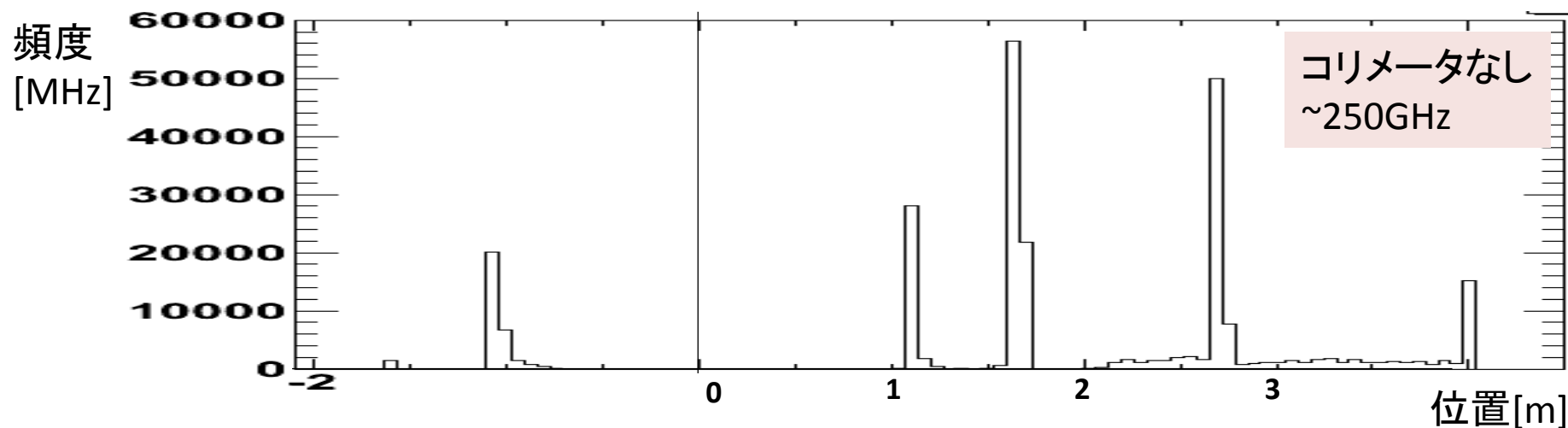
深さはビーム寿命を  
縮めないように設定。

検出器



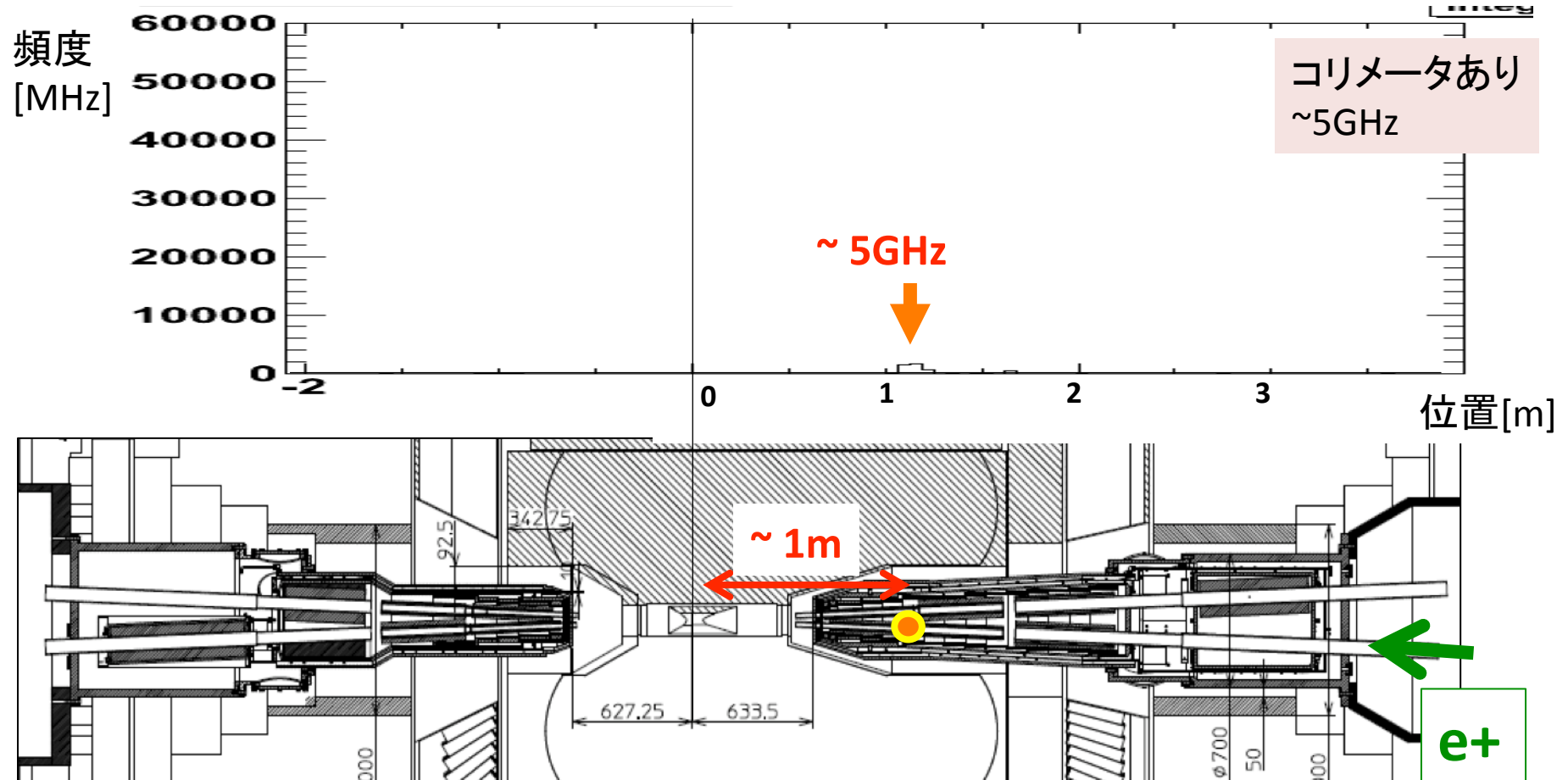
# ロス位置と頻度

## 検出器付近のロス位置と頻度のシミュレーション結果



# ロス位置と頻度

## 検出器付近のロス位置と頻度のシミュレーション結果



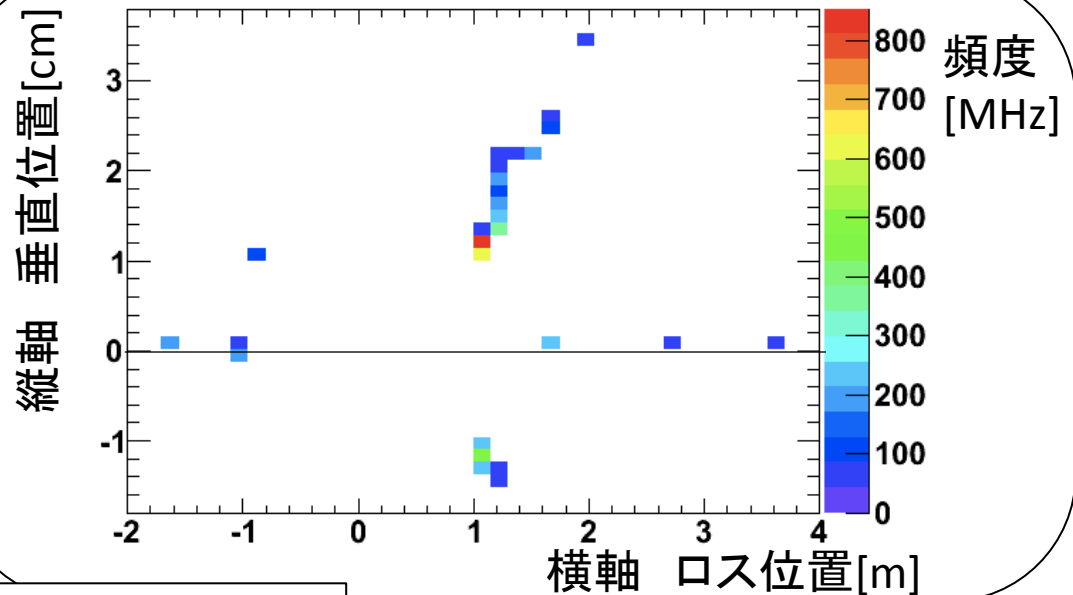
コリメータによって大幅に低減

~1m 上流の位置に ~5GHz のロス

## 残りのロスに関する考察

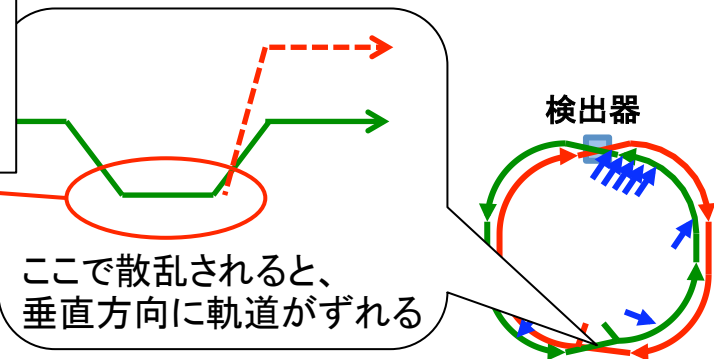
コリメータで止められなかったロスについて調べた

ロス位置に関して、  
ビーム進行方向 vs  
垂直方向の座標  
をプロットすると、  
**大半のロスが垂直方向**  
であることがわかった。



ロスした粒子が散乱された位置を  
調べると、e-リングと交差するために  
唯一**垂直方向の bend がある場所**であった。

垂直方向のコリメータを置く場合**TMC**  
(径の絞め過ぎでビームが不安定になる効果)  
の影響を考慮する必要がある。



# ピクセル検出器のシミュレーション結果

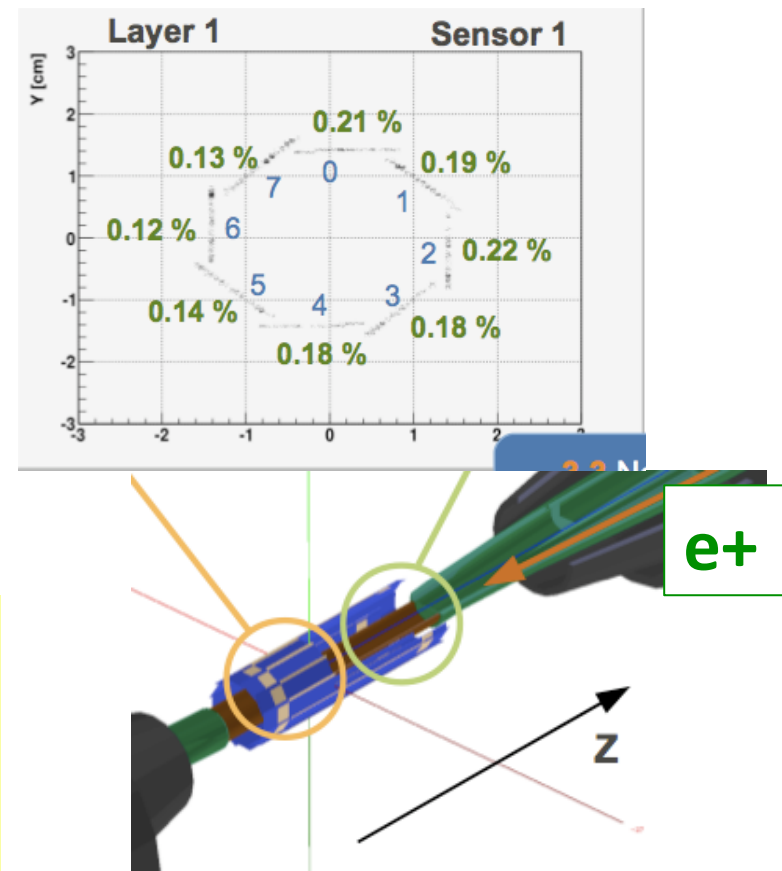
SAD, GEANT4 を用いた検出器シミュレーションが行われた

大西幸喜  
Andreas Moll

- ・ 検出器付近でのロスはい上流 ~1m の部分に ~1 GHz
- ・ DEPFET検出器の 20 $\mu$ s window で平均占有率 0.18 %.

ピクセル検出器の要求 (2-3 % 以下) が達成されている。

- ・ 検出器付近でのロスは位置が同じでTURTLEの結果が5倍大きい。
- ・ SADの結果の平均占有率を5倍しても要求を満たしている事に変わりない。



## まとめ

- SuperKEKB アップグレード計画が進行中
- 電流、ビーム密度の増加により、ビーム由来の背景事象の増加が問題となる
- シミュレーションを行い、e+ ビームの Touschek 散乱に対するコリメータの働きを評価した。

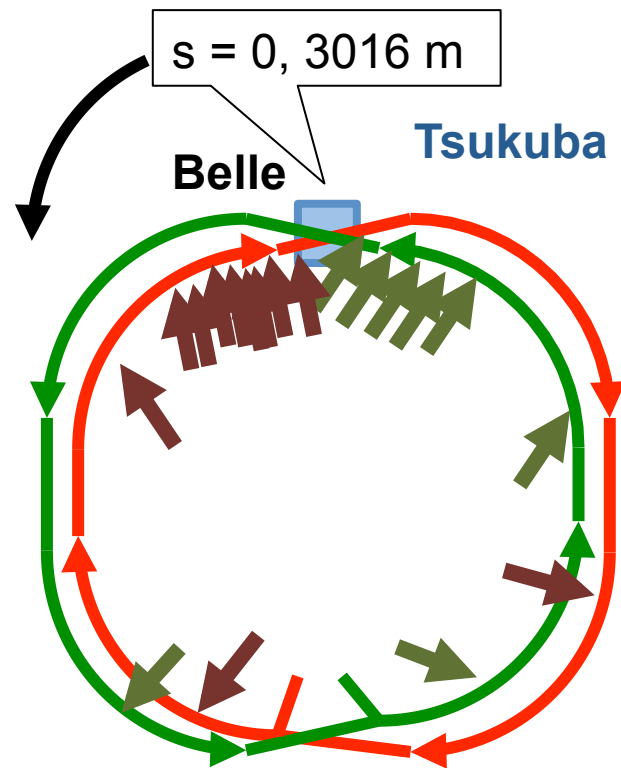
### 水平コリメータ

- 検出器付近でのロスを低減させる。  
250GHz → 5GHz
- 最内層のピクセル検出器の要求を満たす。  
占有率 2~3% 以下

Back up



# コリメータの位置と深さ



↑ LER collimators	
s[m]	depth[mm]
956.17	12.34
1710.94	12.31
2463.72	12.34
2813.88	12.28
2872.80	12.98
2927.91	16.70
2947.61	17.60
2998.47	12.34

↑ HER collimators	
s[m]	depth [mm]
2057.56	8.97
1302.98	8.97
549.89	8.97
202.34	8.97
156.64	8.97
126.67	12.53
91.16	14.35
74.55	14.35
48.35	6.21
34.15	6.21
17.7	10.82

# KEKB SVD と シミュレーションの比較について

※シミュレーション値の誤差は乱数の統計誤差のみ。

最内層の占有率

		シミュレーション値	ビームテスト値
LER	Touschek	0.52±0.03 %	0.47±0.07 %

# 他のバックグラウンド源について

中山浩幸

- Touschek ( $\propto 1/\text{beam size}$ ), **beam-gas**
  - EM shower (all detectors), neutrons (all detectors+readout)
- **Synchrotron radiation**
  - Gamma (~~Few~~ Small enough by toy MC, need GEANT4 simulation ~~few tens of keV~~) (PXD/SVD)
- Radiative Bhabha process ( $\propto L$ )
  - EM shower/neutrons from spent  $e^+/e^-$  (Loss position is far from IP all detectors)
  - Neutrons from emitted gamma (EKLM, etc..) Need additional shield in tunnel
- **2-photon process**
  - $e^+/e^-$  (PXD) Small enough for PXD
- **Beam-beam**
  - Non-Gaussian beam shape

Impact on detectors:

1. Radiation dose  
(Neutron, gamma, etc..)
2. Performance degradation  
(momentum, energy)