

Bellell トリガー

2022/11/17

KEK 古賀太一郎

自己紹介

-古賀太一郎

-2013-2018: T2K @ 東大

- ニュートリノ振動
- ニュートリノ前置検出器 開発

-2018-2022: BelleII @ KEK

- B中間子のsemileptonic decay
- トリガー 開発

-2020年の研究会:

[BelleIIトリガー全般](#)の発表

-今回:問題点をピックアップ

-入射ビームによる背景事象

-~~荷電粒子トリガーレート増加~~

ニュートリノ検出器



トリガー装置

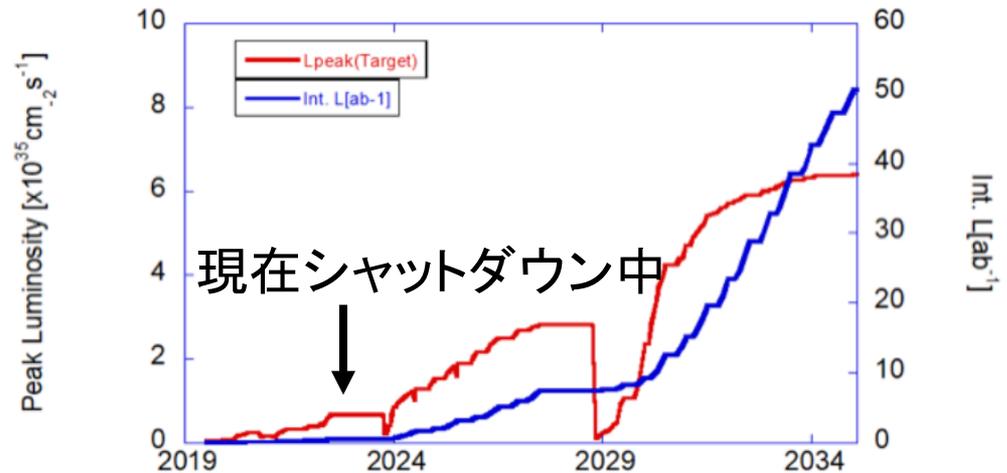
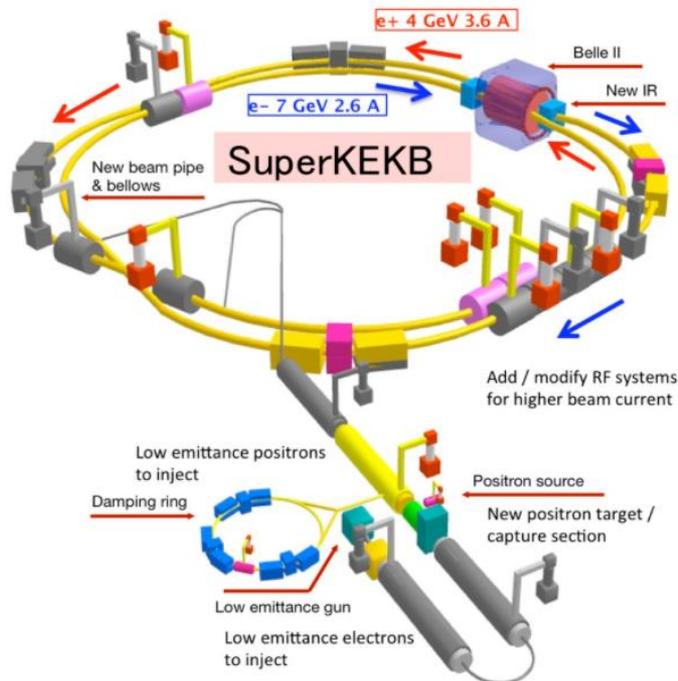


BelleII実験

-電子・陽電子 衝突型加速器(SuperKEKB) + 複合検出器(BelleII検出器)

-Belleの50倍のBデータ収集

	Belle	BelleII 設計値	BelleII 現在値
ビームサイズ(σ_y)	~940nm	55nm	200nm
ビーム電流 e^+/e^-	1.8/1.3A	3.6/2.6A	1.3/1.1A
ルミノシティ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	2.1×10^{34}	6×10^{35}	4.7×10^{34}
積分ルミノシティ	1040fb^{-1}	50ab^{-1}	424fb^{-1}



Level1 trigger

-2段階のトリガー

- Hardware trigger (Level1, TRG)
- Software trigger (High level, HLT)



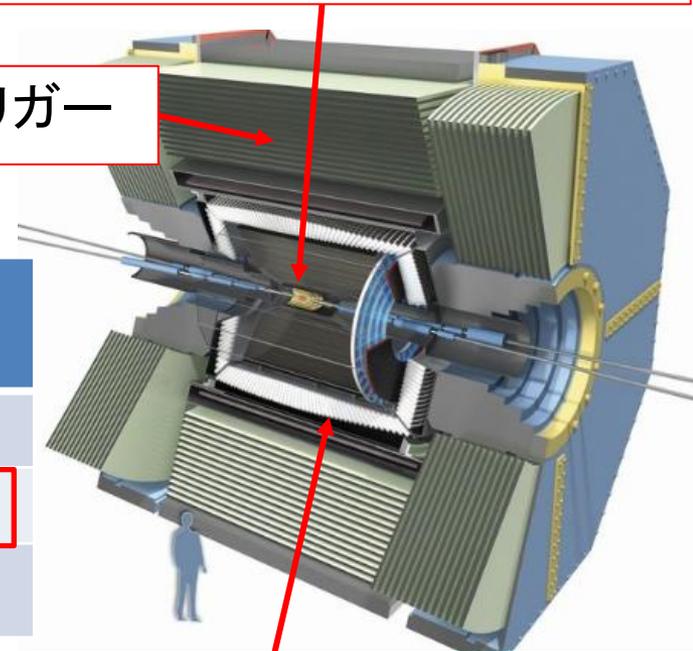
-Level1 トリガーへの要請

- 物理事象(B,D, τ ,dark,...)への高効率
- トリガーレート < 30kHz
- 遅延 4.4 μ sec

中央飛跡検出器(CDC)トリガー
荷電粒子

ミューオン(KLM)トリガー

	Belle	BelleII 設計値	BelleII 現在値
ルミノシティ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	2.1×10^{34}	6×10^{35}	4.7×10^{34}
トリガーレート(B,D)	0.5kHz	30kHz	4.8kHz
トリガーレート(τ ,dark)	--	--	6.7kHz

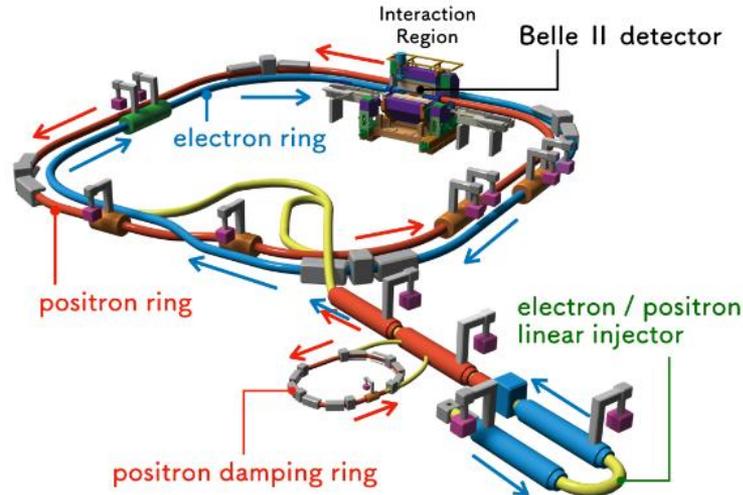


電磁カロリメータ(ECL)トリガー
荷電粒子・光子

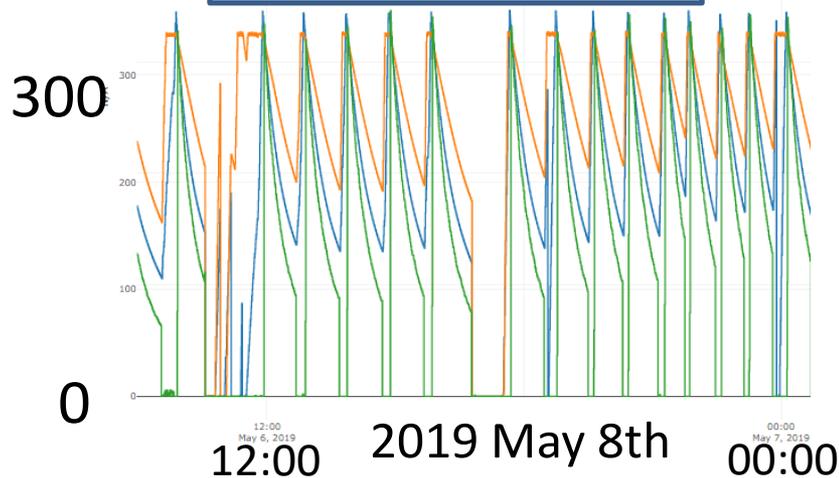
設計値の~2倍
今後レートを~半分に削減する必要

連続入射(continuous injection)

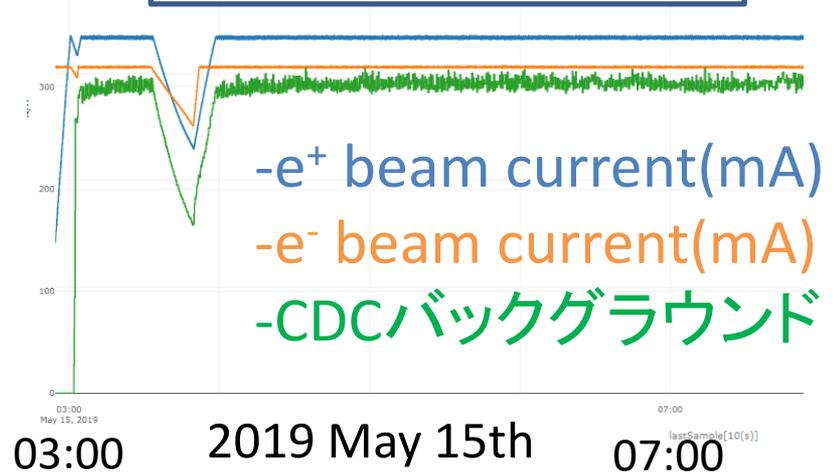
- 物理データを取得している間も、ビームをメインリングに連続的に入射する
- ビーム電流を一定に保つことが可能. 積分ルミノシティ~40%増加.



不連続入射

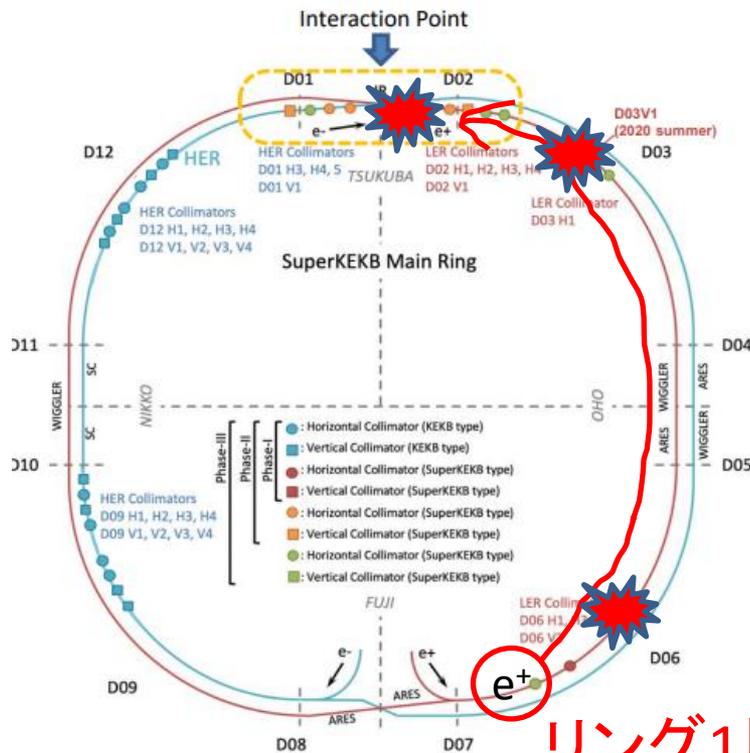


連続入射



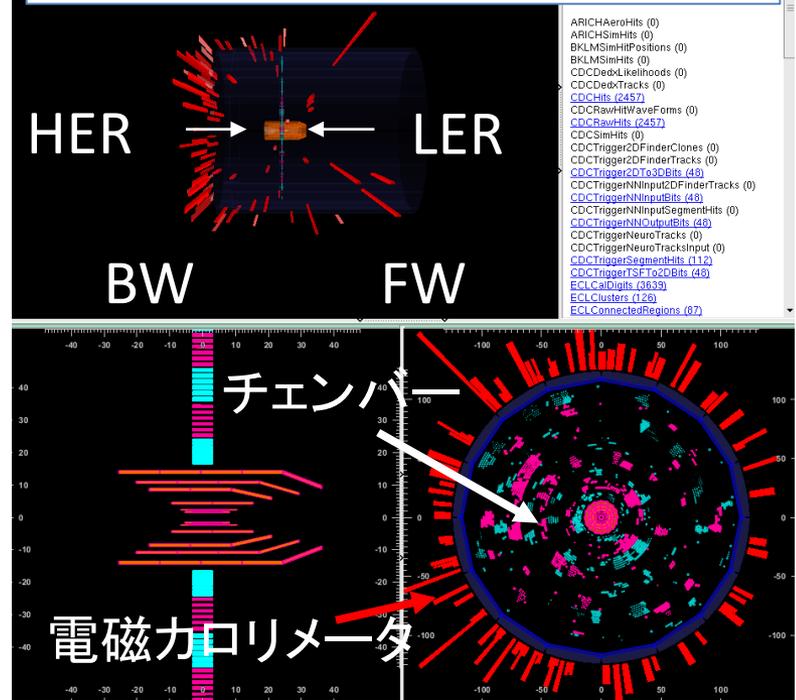
入射バックグラウンド(Injection BG)

- 入射直後のビームは、位置・運動量が蓄積ビームと異なり、不安定。
1割~数割の粒子は軌道から外れ、バックグラウンドを引き起こす。
- 入射直後のビームがBelleII付近を通ると、
トリガーレートが瞬間的に30kHzを超え、データが取得できない。



リング1周10μs

e+ 入射バックグラウンド例



Injection veto

-Injection veto: 入射キッカーの信号に同期してトリガー信号をveto

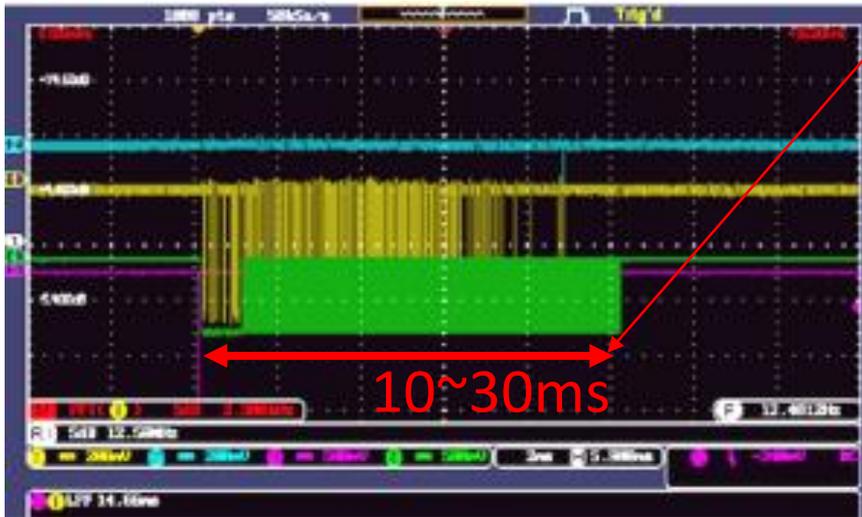
○瞬間的なトリガーレートを増大を防ぐ

× DAQ dead timeが生じ、積分ルミノシティが下がってしまう

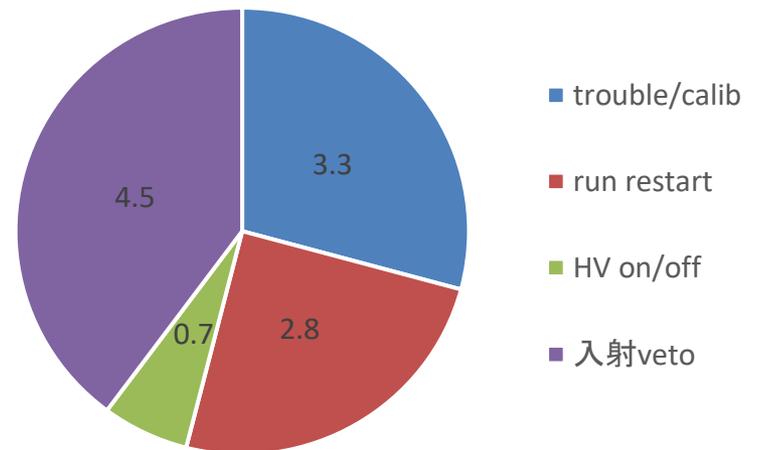
-DAQ dead timeが非常に大きいのが問題

-入射ビームが安定せず、入射後10~30ms(1000~3000周!)vetoをかける。
Belleだと~1ms程度。こんなに長いBGの持続は予想されていなかった。

-BelleII DAQで最も大きいdead timeの要因になっている



DAQ deadtime (%) 2022



-電磁カロリメータトリガー

-キッカー

-電磁カロリメータトリガー veto後

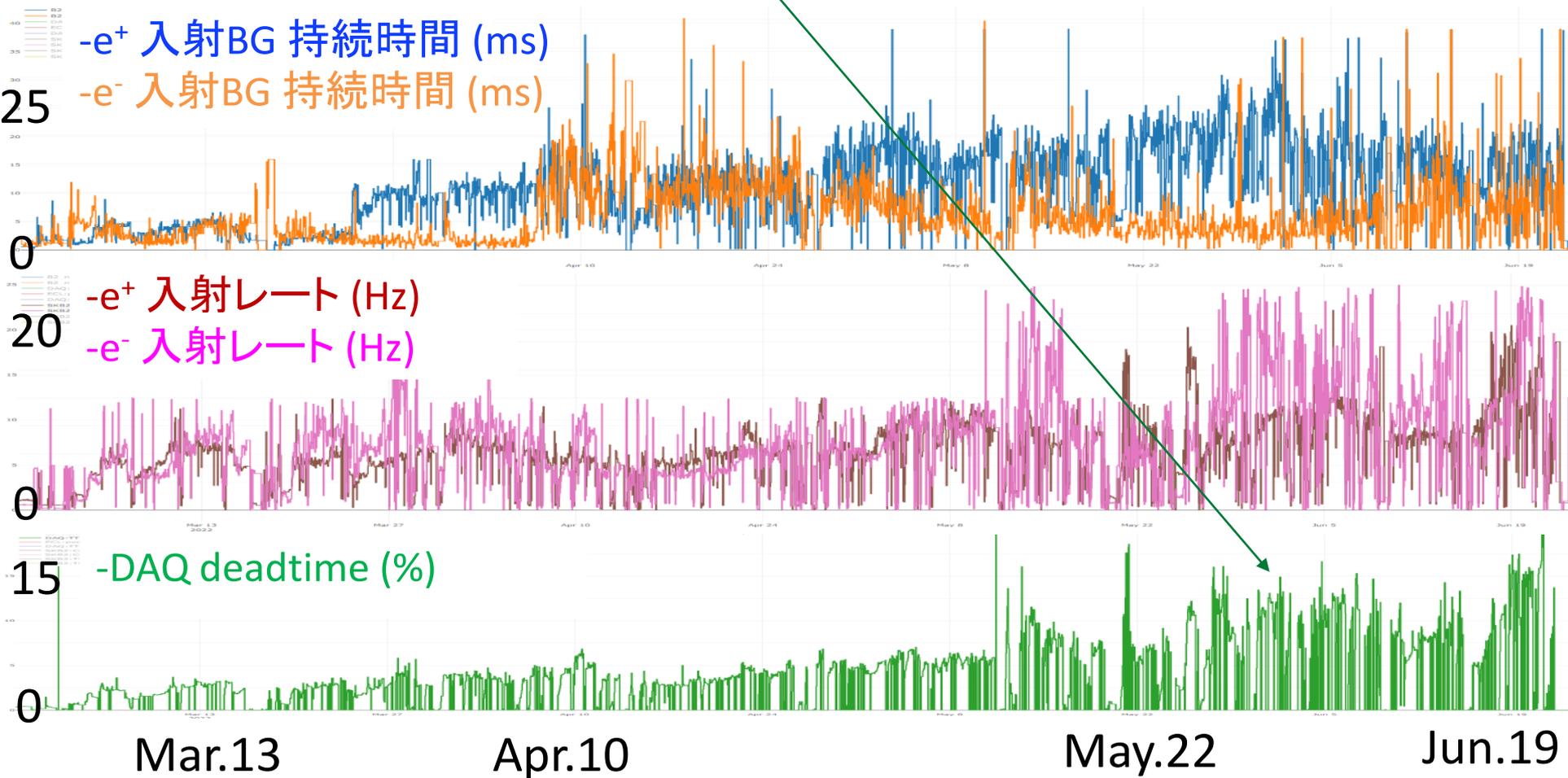
-Veto

Injection BGとDAQ deadtime @2022

-DAQ dead time \propto (入射BG 持続時間) \times (入射レート)

-2022bの後半では~15%ものdeadtime

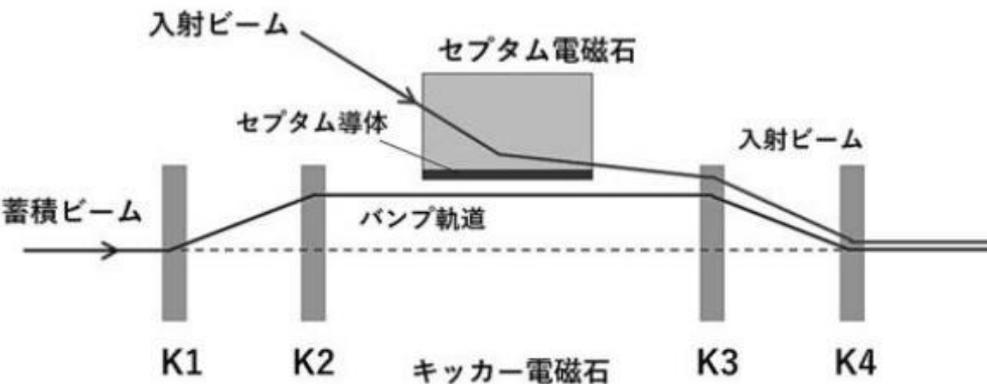
-持続時間が運転中に数倍変化するが原因がわからない→調査(2019-2021)



BG原因調査: 空うち

- Injection BGが長く持続する原因をSuperKEKBと協力して調査
- 空うち: 入射ビームなしでキッカーだけ起動する

空うち



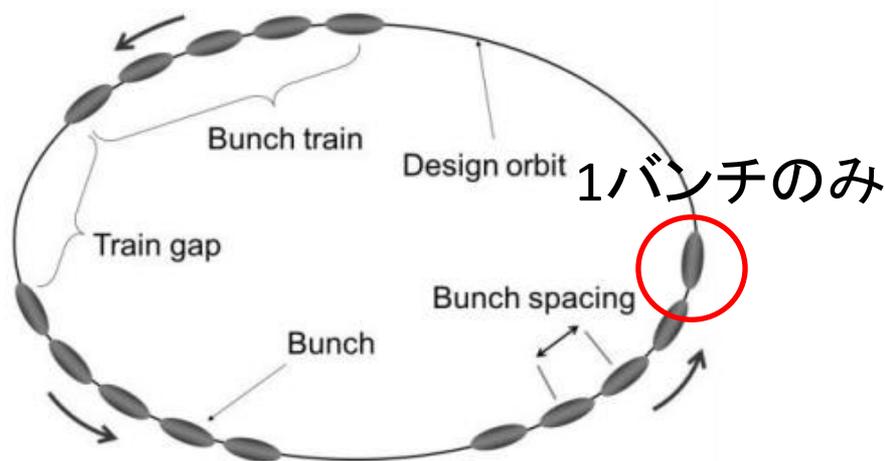
- 電磁カロリメータトリガー
- 電磁カロリメータトリガー veto後
- キッカー
- Veto

- BG持続なし:蓄積ビームのキックが原因ではない
入射ビームのキックに関連

BG原因調査: 1バンチ運転

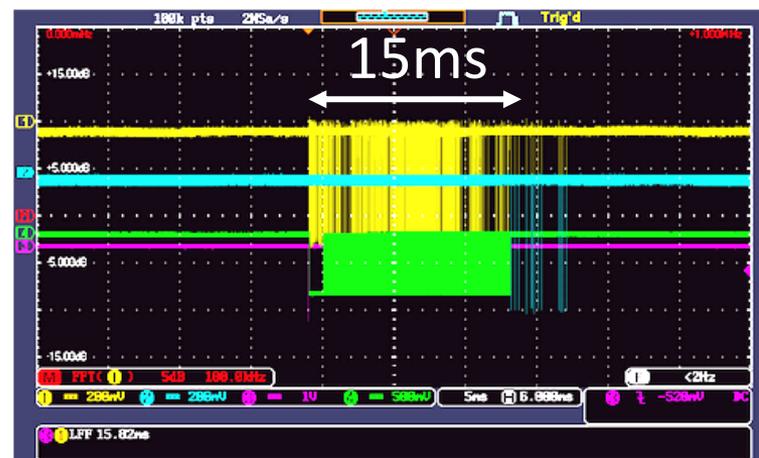
- Injection BGが長く持続する原因をSuperKEKBと協力して調査
- シングルバンチ: リングに1バンチだけ入射

シングルバンチ



最大~2500バンチ

Injection BG monitor

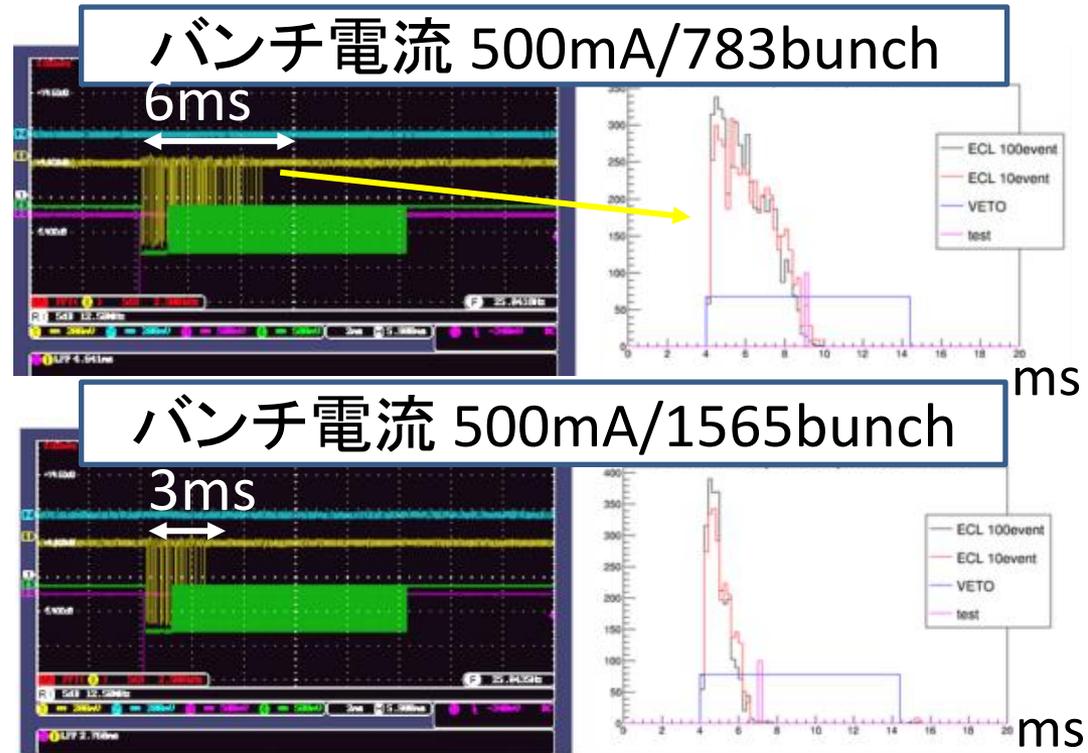
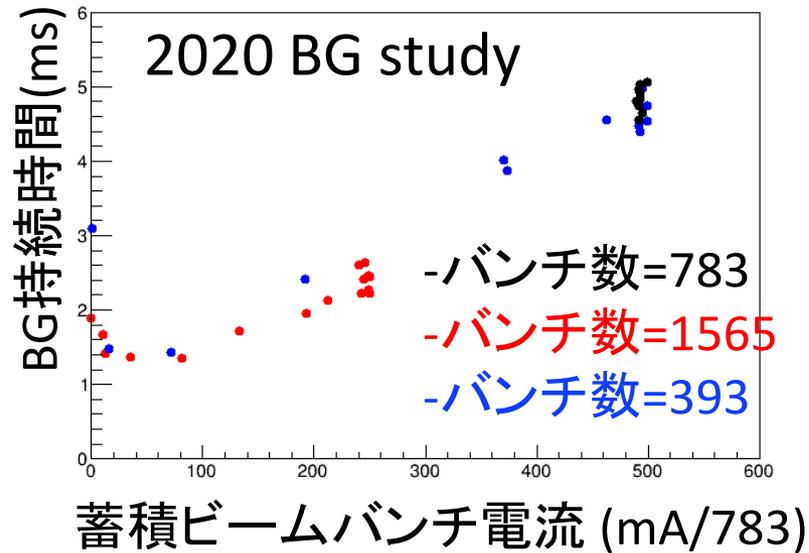


- 電磁カロリメータトリガー
- 電磁カロリメータトリガー veto後
- キッカー
- Veto

- BG持続あり: 複数バンチではなく単一バンチの効果

BG原因調査: バンチ電流依存性

- Injection BGが長く持続する原因をSuperKEKBと協力して調査
- バンチ電流依存性: 蓄積ビームのバンチあたりの電荷量を変化



- 電磁カロリメータトリガー
- 電磁カロリメータトリガー veto後
- キッカー
- Veto

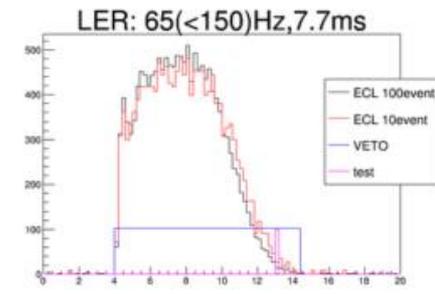
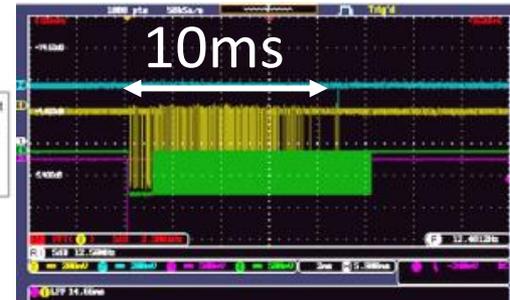
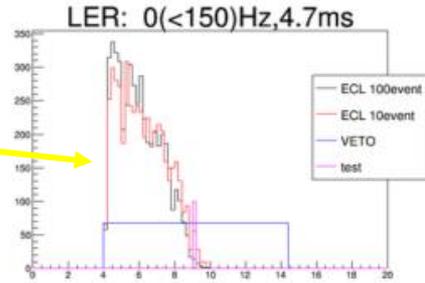
- 電荷量に比例してBGが長く持続する
- 入射ビーム粒子と、同一リングの蓄積ビーム粒子の相互作用？

BG原因調査: 衝突依存性

- Injection BGが長く持続する原因をSuperKEKBと協力して調査
- e^+e^- 衝突ありなし

衝突なし

衝突中



ms

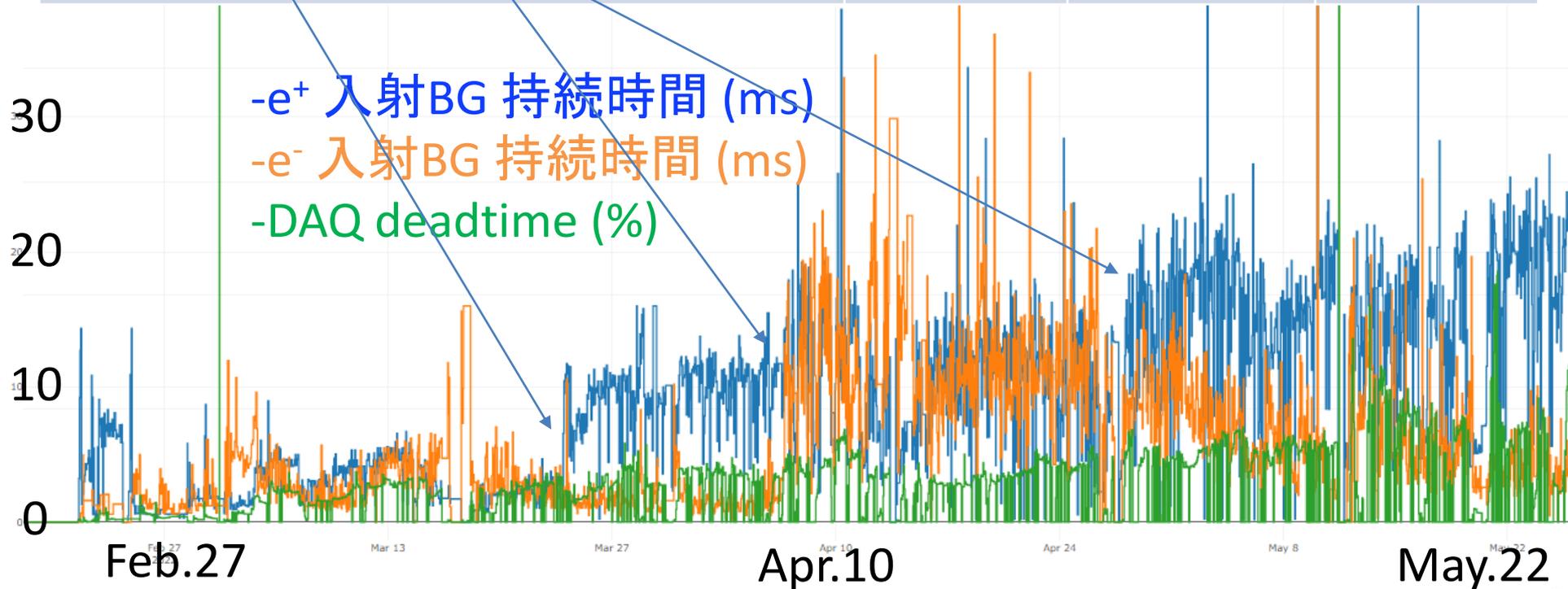
-電磁カロリメータトリガー -キッカー
-電磁カロリメータトリガー veto後 -Veto

- 衝突中はBG持続時間が倍くらいになる
- 入射ビーム粒子と、反対リングの蓄積ビーム粒子の衝突？

BG原因調査: 運転中の変動

- 特にBG持続時間が変化したとき、加速器のパラメータ変化を調査
- 様々なパラメータがその時々で効く(私の目視チェック)
- コリメータ損傷/位置、ビーム光学、QCSクエンチ、衝突調整、入射調整、

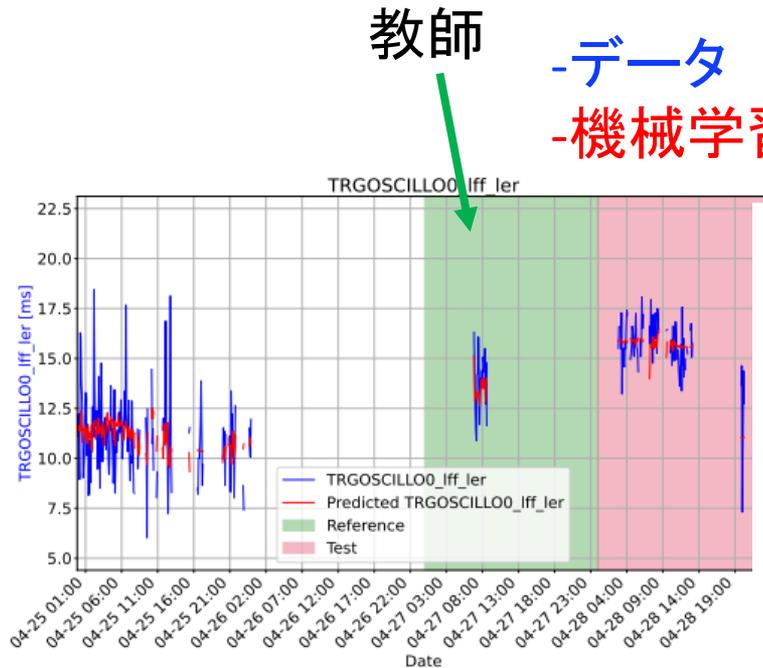
Date	Change	LER (ms)	HER (ms)	deadtime
2022 Mar.24-	D6V1 コリメータ損傷、開	~10ms	~2ms	3~5%
2022 Apr.6-	D9V1 コリメータ開	~15ms	~15ms	~5%
2022 Apr.27-	メンテナンス後	15->25ms	15->5ms	5~15%



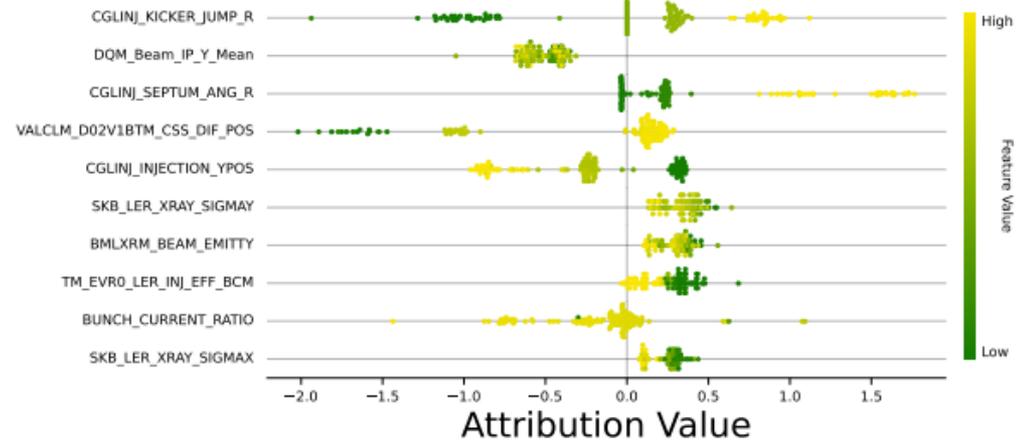
BG原因調査: 機械学習

- 特にBG持続時間が変化したとき、加速器のパラメータ変化を調査
- 機械学習でもパラメータの相関を調査
 - 入力:加速器のパラメータ(~千個)出力:BGの継続時間
 - 目視チェックとコンシステントな結果 細かい変化も調査が可能

入射BG継続時間(ms)



重要度が高かった
上位10個の加速器パラメータ



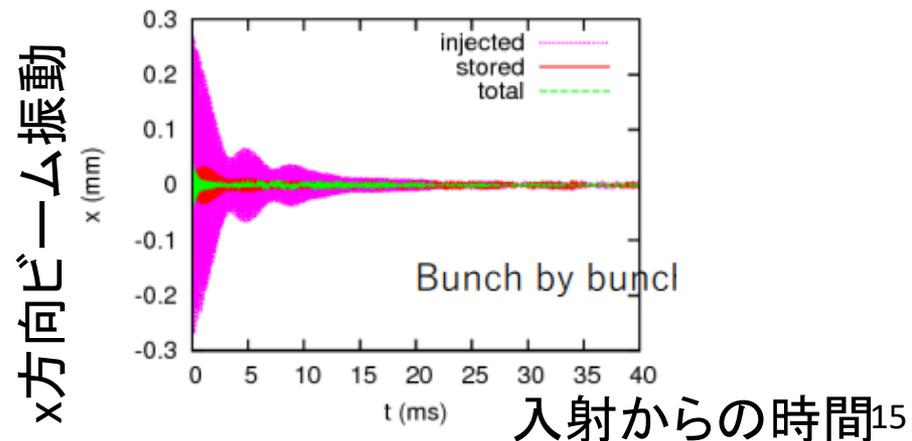
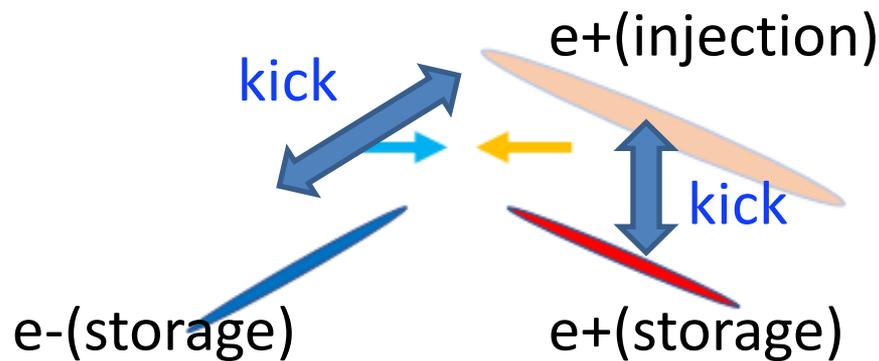
BG原因調査:まとめ

-Injection BGが長く持続する原因をSuperKEKBと協力して調査

- 空うち →蓄積ビームのキックが原因ではない
- シングルバンチ →複数バンチのせいではない
- バンチ電流依存性 →入射ビーム粒子と蓄積ビーム粒子の相互作用？
- e^+e^- 衝突ありなし →入射ビーム粒子と、反対リングの蓄積ビーム粒子の作用？
- 運転中の変化 →様々なパラメータが影響

-入射ビームと蓄積ビームの相互作用が怪しいのでシミュレーション

- x方向にビーム振動が数~10ms持続することが再現できた
- x-y couplingなどで、振動がy方向に回り込むと、バックグラウンドを説明可
- もしこれが原因だとすると、劇的な改善が困難。。
- 常時BGをモニターし、運転調整でできる範囲で最適化している(対処療法)。



検出器FE, veto調整の改良

-2019-2020年: 入射バックグラウンドがinjection vetoからはみ出ると、DAQがcrashしてしまうという問題があった

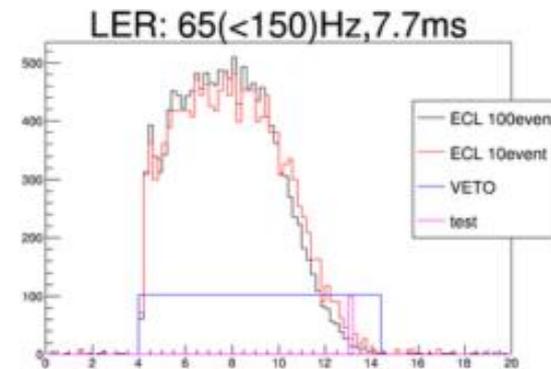
-hit occupancyが高い → データ量多い → DAQのキャパシティを超える → ランのリスタートが必要となり数分間DAQ停止

-電磁カロリメータ、TOPカウンターで頻発

-2020年から対策

-データ量が多いときは、DAQがcrashする前に busy信号を送信して、トリガーを受け付けないように検出器FEを改良

-自動的にinjection vetoを調整できるようにモニターを改良



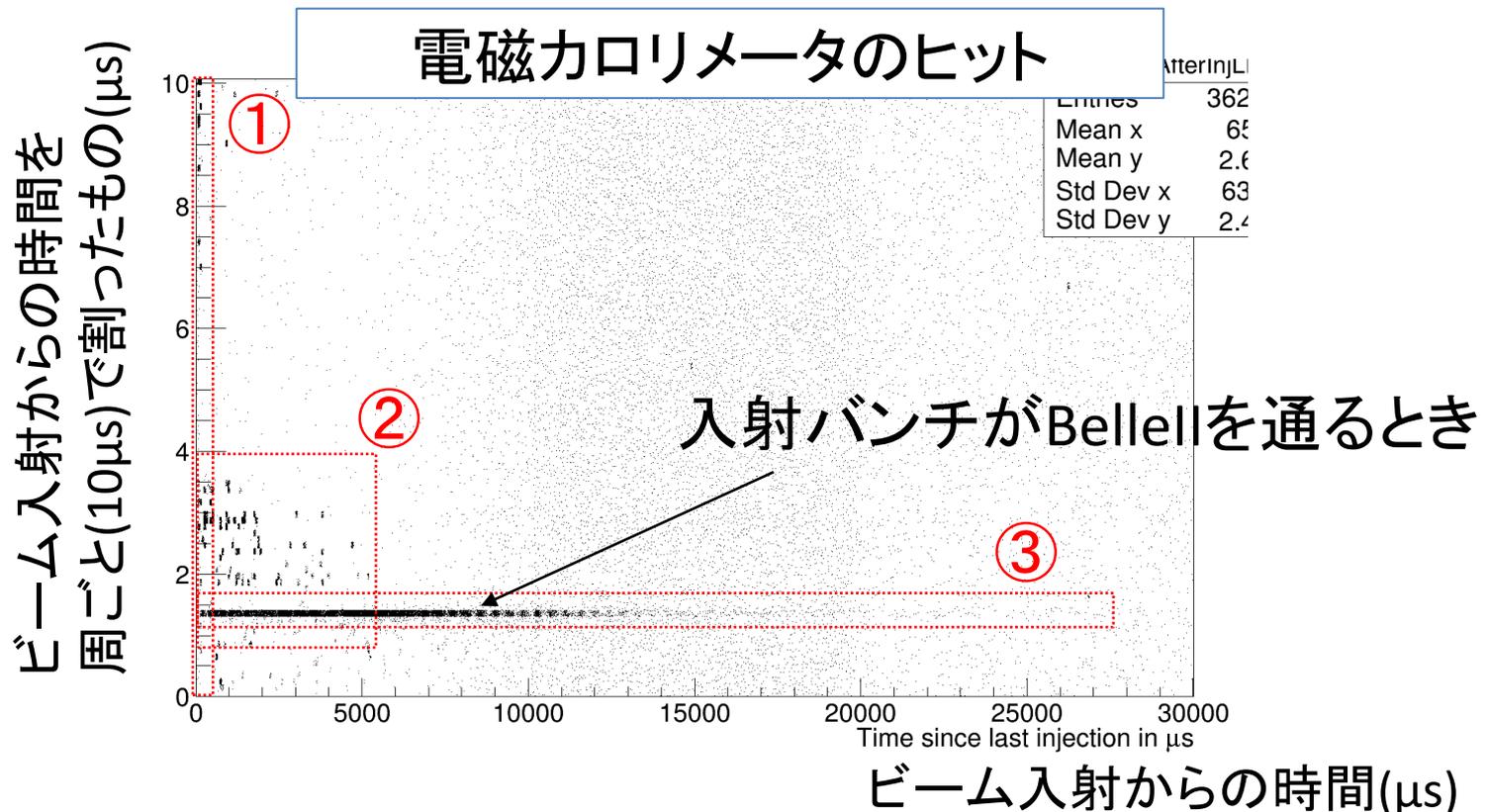
veto幅自動調整

Injection vetoの改良:2020

-Injection vetoの構造

- ①ビーム入射後~0.5ms: トリガーを完全にveto (Belleから)
- ②ビーム入射後0.5~10ms: 入射バンチ周辺の3~4 μ sをveto (2019年から)
- ③ビーム入射後10~30ms: 入射バンチ周辺の1~2 μ sをveto (2020年から)

-構造の改善によって、DAQ deadtime を~半分に改善できた

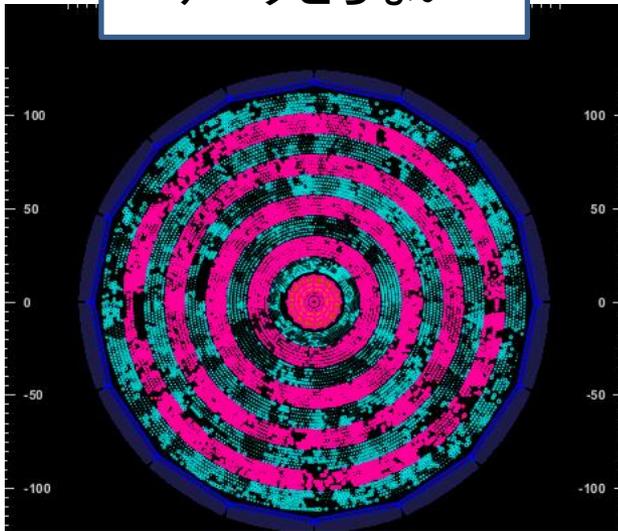


Injection vetoの改良:2022

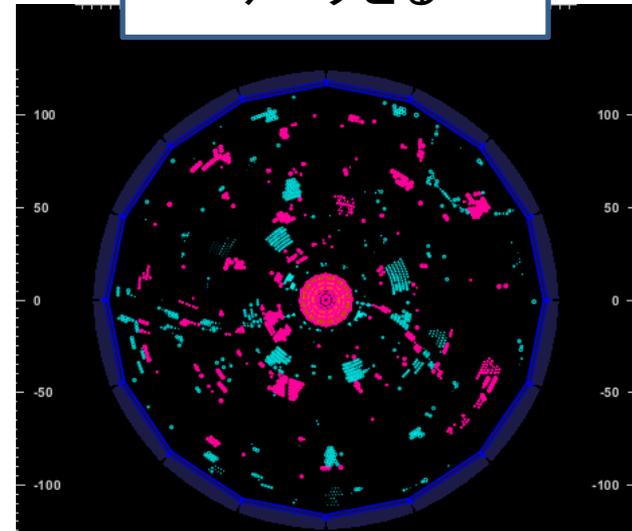
-シャットダウン期間中に、さらにInjection vetoを改良

- 検出器のoccupancyをトリガー装置でイベントごとに評価。
Injection veto中であっても、occupancyが低ければトリガーを出す
- DAQ deadtimeを~4割程度削減できる可能性

データとらない



データとる



- 物理モードごとに、efficiencyにバイアスがかからないように注意が必要。
- 来年のラン再開に向けて、ロジックを最適化中。(人が足りていない)

まとめ

- BelleII Triggerの問題点を1つピックアップして発表しました

- 入射ビームによる背景事象とDAQ deadtime
- 氷山の一角です。。

- 加速器グループと協力し、バックグラウンドのstudyを進行中。
トリガー・DAQ側も、deadtime削減のために改良中。

- BelleII トリガーはまだまだ開発途上。

レート削減のためのアップグレードが色々進行中。

- 興味のある方/institute、ぜひお願いします

	Belle	BelleII 設計値	BelleII 現在値
ルミノシティ($\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	2.1×10^{34}	6×10^{35}	4.7×10^{34}
トリガーレート(B,D)	0.5kHz	30kHz	4.8kHz
トリガーレート(τ ,dark)	--	--	6.7kHz

backup

L1 trigger system

-パイプライン デジタル回路

-専用VMEボード Universal trigger board (UT) を主に使用
(CDC/ECLTRG hit merger部分は別ボード)

□:ボード
—:光通信

system clock
127MHz

検出器フロントエンド

Level1 トリガー

DAQ

