



TOHOKU  
UNIVERSITY

# Belle II 実験におけるシリコンストリップ 崩壊点検出器用読み出しボードFTB の開発と性能評価

齋藤 智之(東北大学)

石川明正、山本均 (東北大学)

原康二、坪山透 (KEK)

Waclaw Ostrowicz (Inst. of Nuclear Phys. PAN)

他Belle II SVDグループ

# 目次

- 1、 Belle II 実験と崩壊点検出器
- 2、 Finesse Transmitter Board(FTB)の試験
  - ・ FTBについて
  - ・ RocketIOの実装
  - ・ 光リンクの試験
- 3、 FTB-COPPER(中央DAQシステム)間の通信試験
  - ・ Belle2linkについて
  - ・ リンク確立
  - ・ トリガー信号の試験
- 4、 まとめと予定

# Belle II 実験と崩壊点検出器

# Belle II 実験

Belleからのアップグレードでルミノシティ40倍にし、 $50\text{ab}^{-1}$ のデータをため、 $B$ や $\tau$ を通じて新物理の探索する。

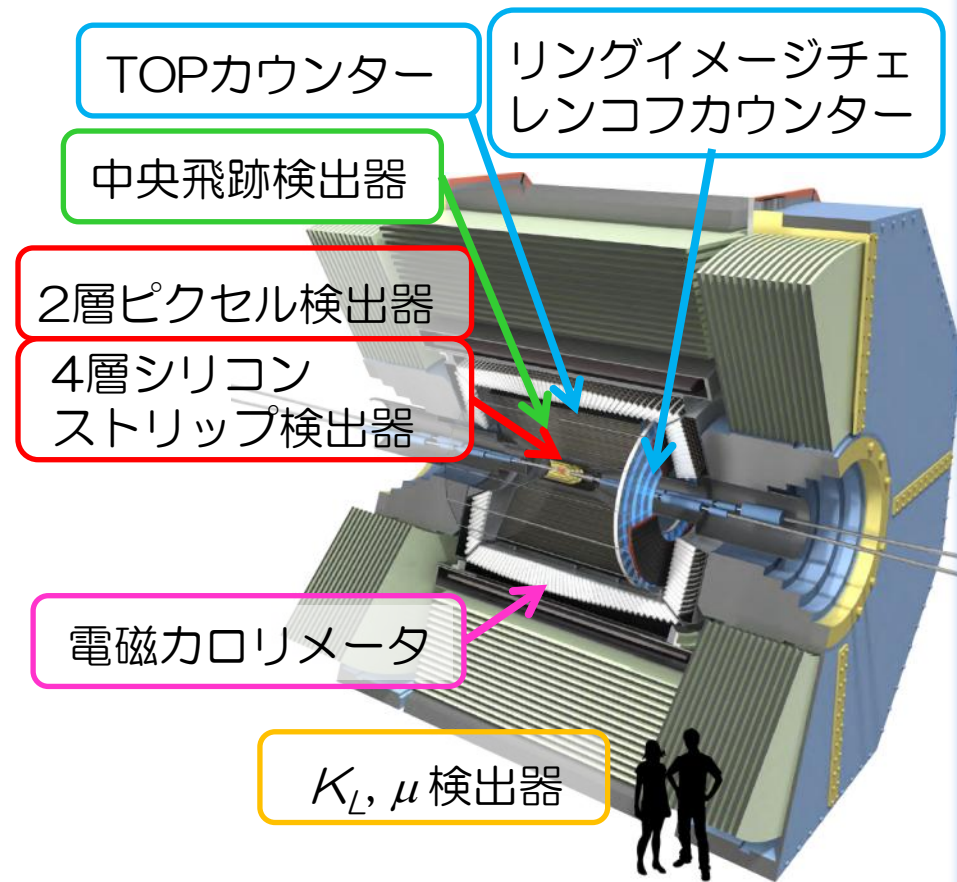
## ● Super KEKB加速器

- ▶  $7.0\text{GeV}$ の電子と $4.0\text{GeV}$ の陽電子の衝突型加速器
- ▶ ナノビーム、電流倍増

## ● Belle II 検出器

- ▶ 高いバックグラウンド対策のためカロリメータと $K_L, \mu$ 検出器の一部を除き全入れ換え

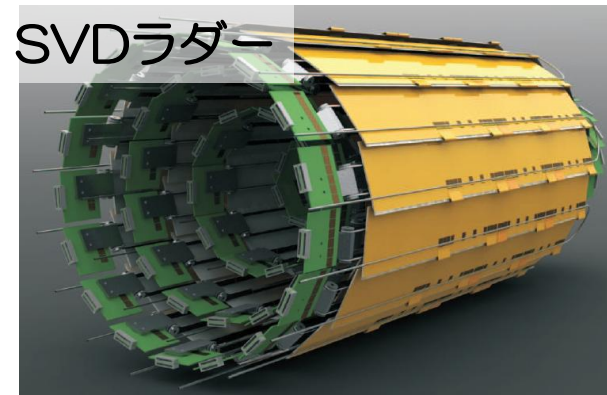
2015年末物理ラン開始を  
目指して準備中



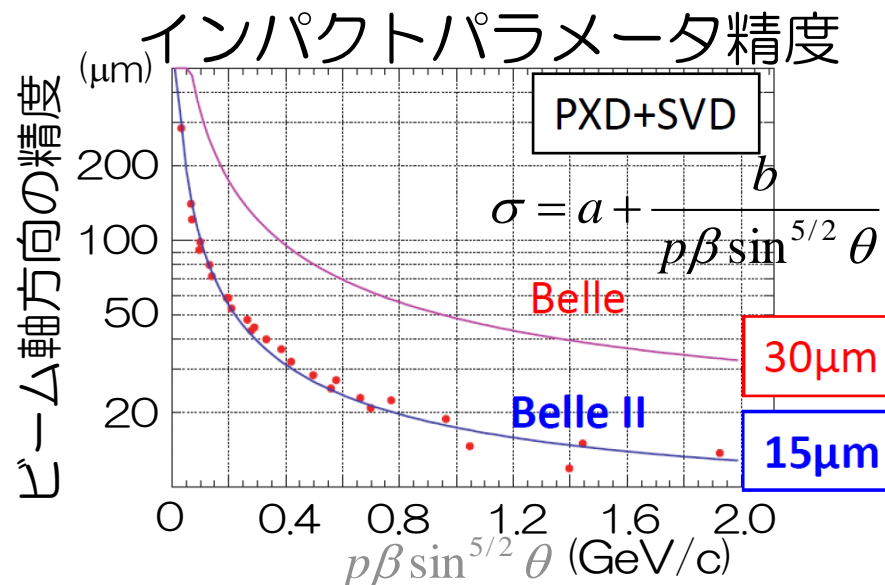
# Belle II の崩壊点検出器

Belleの崩壊点検出器との比較

- 4層SVD → 6層 PXD+SVD
  - ▶ 2層ピクセル検出器 (PXD[DEPFET])
  - ▶ 4層ストリップ検出器 (SVD)
- 内径20 mm → 13 mm
  - ▶ 崩壊点精度アップ
- データレート(SVD):上限20MB/s程度 → 平均 555 MB/s

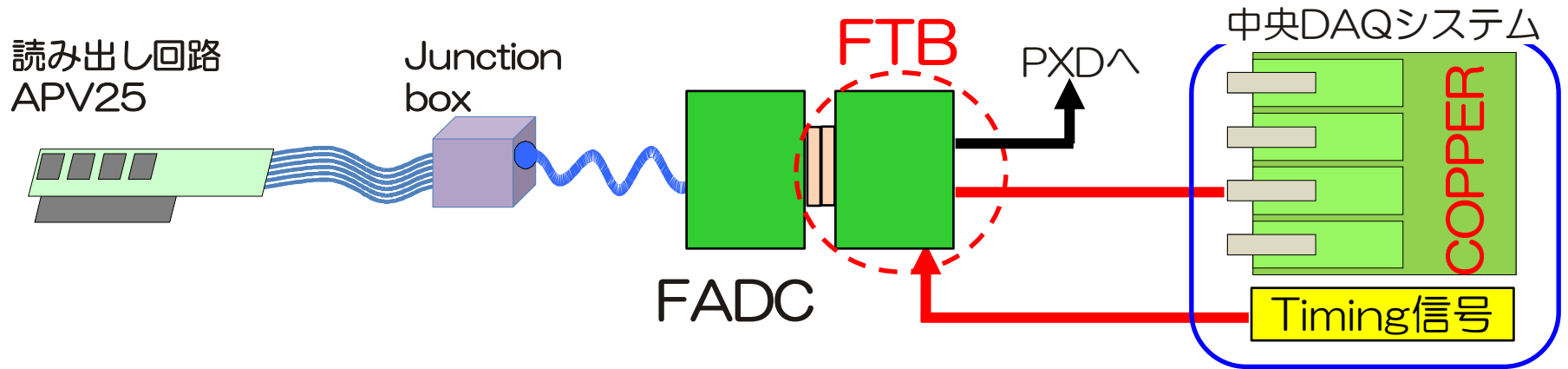


	層	半径(mm)	ラダー数
PXD	1	13	8
	2	22	12
SVD	3	38	7
	4	80	10
	5	105	12
	6	135	16



# SVD 読み出しシステム

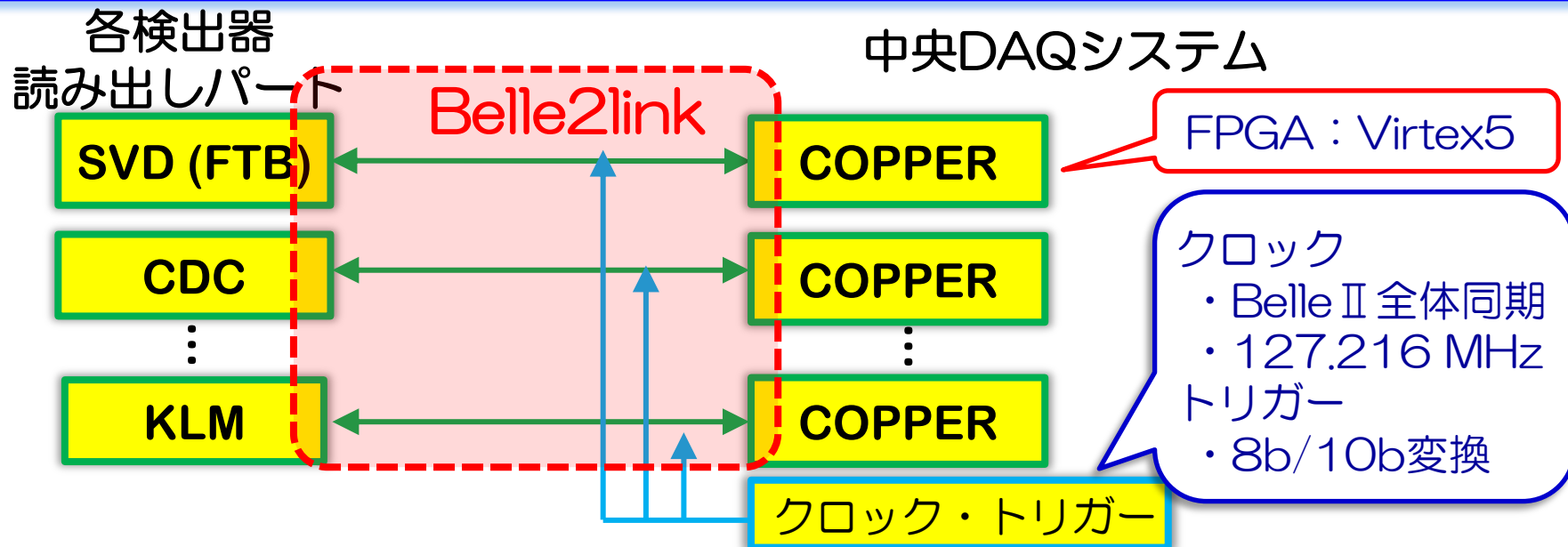
読み出し回路 → Flash ADC → FTB → COPPER



- ▶ APV25 : CMSのために開発された。アナログ読み出し。  
放射線耐性 > 30 MRad (50ab<sup>-1</sup>では4.5MRad程度)
- ▶ FADC : A/D変換、ペDESTAL差引、ゼロサプレッション等
- ▶ FTB : 信号をFADCから受けCOPPERへ送信。後で説明。
- ▶ COPPER : Belle IIの中央DAQシステム。  
KEKで開発された汎用読み出しプラットフォーム。

本発表：FTB-COPPER間の通信の確立

# FTB-COPPERの通信 ～Belle2link～



## ● Belle2link : Belle II 用共通データプロトコル

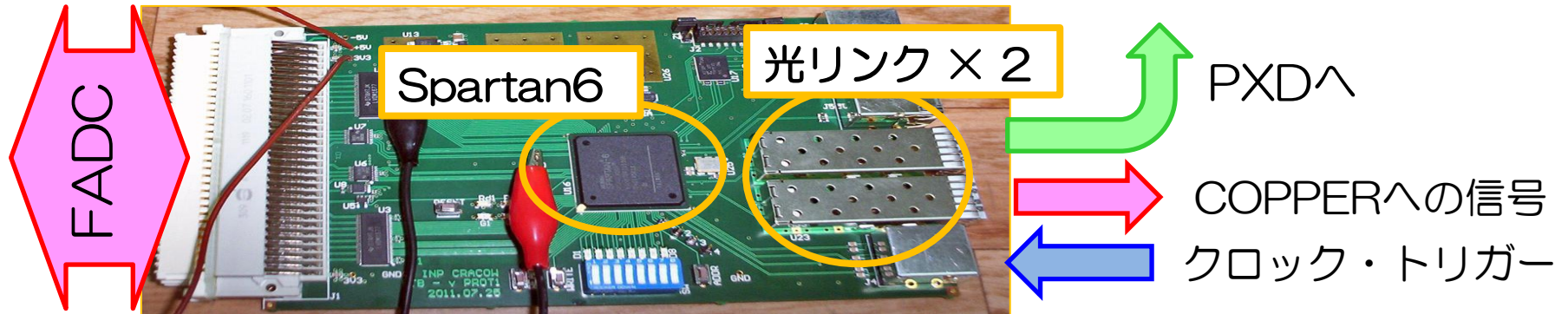
- ▶ Rocket IOで高速シリアル通信
- ▶ KEKとIHEP(中国)で開発中
- ▶ CDCのシステムで実装試験済み(Virtex5同士の通信)  
→ SVDではできればより安価なSpartan6を使いたい。

初めて「Spartan6-Virtex5」でBelle2linkを実装試験を行う。



# FTB -- Finesse Transmitter Board --

## ● Spartan6を搭載したFTBプロトタイプを製作



→ハードウェアの試験、ファームウェアの開発

## ● 役割：データの流れの司令塔

- ① FADCから信号を受け、COPPERへ送信
- ② 中央DAQからクロック、トリガーを受ける
- ③ PXDへ情報送る(PXDではSVDのヒット情報を使って、イベントビルディング前のデータ削減をする)

Belle2link  
で行われる



# FTBのハードウェア試験

# Rocket IOの実装

FTBとCOPPER(中央DAQ)間の通信はRocket IOを使用

## ● Rocket IO

- ▶ 高速シリアル通信(~3 Gbps)
- ▶ 8b/10b方式によるデータ変換
- ▶ FPGA内でシリアル化するため、外付けIC不要。

## ● 試験セットアップ

- ▶ Rocket IOを実装したFTBとXilinx SP605評価ボード (Spartan6同士)を光リンクケーブルでつなぐ。
- ▶ 127MHzの外部クロック



クロック  
(127MHz)

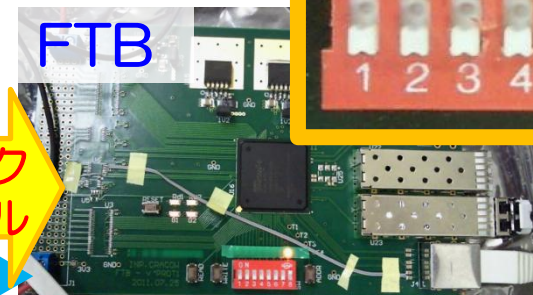
SP605  
(Spartan6)



2と4をON



FTB



2,4がON

1 2 3 4

光リンク  
ケーブル

# FTBの光リンク試験

試作FTBの光リンクがRocket IOの性能に耐えるか試験

- 方法：疑似乱数ビットシーケンスを用いたリンクの質の検証
  - 疑似乱数を送信し、受信側でエラーをチェック
  - ▶ 通信速度：2.54、3.175 Gbps
  - ▶ 測定時間：24時間以上
  - ▶ 入力電圧・電流を常時モニター
  - ▶ ボード上の各部品(FPGA、光リンク等)の温度をモニター
- 結果：エラーなし → 試作FTBの光リンクの信頼性を確認

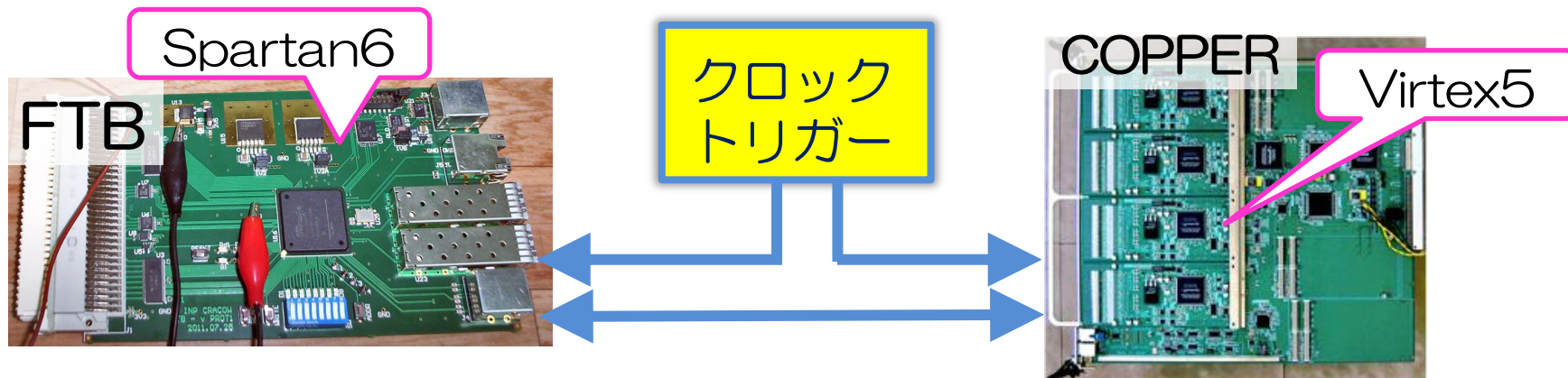
FTB光リンク		2.54 Gbps		3.175 Gbps	
		測定時間(h)	エラー数	測定時間(h)	エラー数
リンク1	RX	24	0	71	0
	TX		0		0
リンク2	RX	24	0	24	0
	TX		0		0

約100日分の  
実験のデータ量

# FTB-COPPERの通信試験

# FTBとCOPPERの通信試験

- 目標：中央DAQシステムからのトリガー信号に合わせてFTBからCOPPERへダミーデータを送信
  - ▶ 異なるFPGA同士間でBelle2linkを実装
    - リンク確立が正常にできるかから始める
  - ▶ 試験項目
    - ① リンク確立
      - ・ リンク確立信号の送受信
    - ② トリガー信号に合わせたダミーデータの送信
      - ・ COPPER上での受信データ



# ① リンク確立

- 目標：FTBとCOPPERで正常にリンク確立ができるか検証
- 方法
  - 1、 COPPERでリンク確立を実行
  - 2、 COPPERからFTBへリンク確立信号がいく
  - 3、 リンク確立が成功したら、FTBがCOPPERへその合図となる信号がいく → **リンク確立成功**

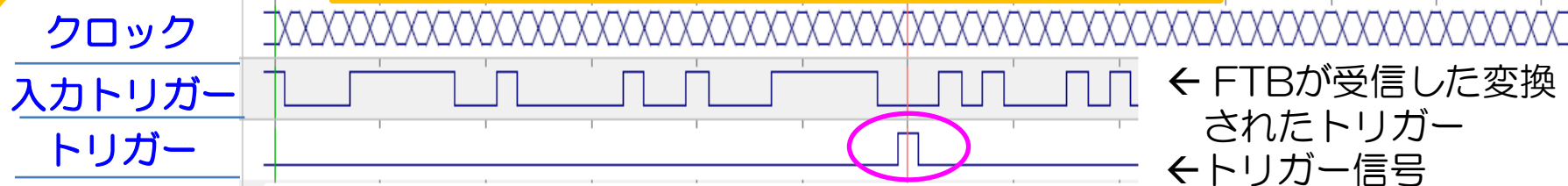
リンク確立時の信号のやり取りの検証 (FTBの信号)



## ② ダミーデータの送信試験

- 目標：中央DAQからトリガー信号を受けてダミーデータをCOPPERへ送信
- 方法
  - 1、中央DAQからトリガー信号を出し、FTBで受信。  
このときトリガー信号は8b/10bで変換されている。
  - 2、入カトリガーを変換し、実際のトリガー信号を得る。
  - 3、ダミーデータをCOPPERへ送信

トリガー信号を1つ入れた時の信号波形



トリガー信号に合わせてCOPPER  
でデータ受信→

```
00000000 7fff0008 00000013 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 fffffafa
00000008 00000109 00000102 00000000 00000000 00000000 ffaa0013 01020304 05060708
00000016 090a0b0c 0d0e0f10 11121314 15161718 191a1b1c 1d1e1f20 21222324 25262728
00000024 292a2b2c 2d2e2f30 31323334 35363738 393a3b3c 3d3e3f60 41424344 45464748
```

トリガー信号に合わせて、COPPERへのデータ送信に成功



# まとめと予定

- Belle II 検出器の崩壊点検出器(SVD)用DAQシステムに使うFTBの開発を行っている。
  - ▶ SVDからの信号はFTBを介してBelle II 中央DAQシステム(COPPER)へ送られる。
  - ▶ 試作FTBにRocket IOを実装し、長時間の通信試験をよって正常に機能することを確認
  - ▶ FTBのSpartan6にBelle2linkを実装し、COPPERのVirtex5と通信し、COPPERへデータの送信に成功した。
- 予定
  - ▶ トリガーレートとデータレートの上限のチェック
  - ▶ FADC側の開発
  - ▶ PXDへの情報送信部の開発

# バックアップ

# SuperKEKB

$$L = \frac{\gamma_{\pm}}{2e\gamma_e} \left( 1 + \frac{\sigma_y^*}{\sigma_x^*} \right) \frac{I_{\pm} \xi_{y\pm}}{\beta_{y\pm}^*} \frac{R_L}{R_{\xi_y}}$$

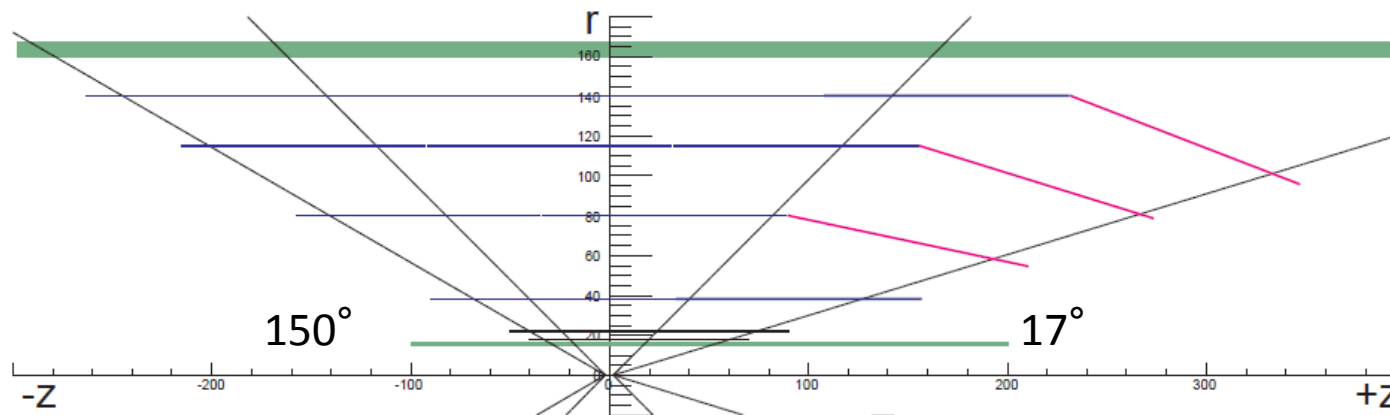
	KEKB		SuperKEKB	
	LER	HER	LER	HER
$I_{\text{beam}}$	1.6	1.2	3.6	2.6
$\beta_y$ [mm]	5.9	5.9	0.27	0.30
Luminosity [cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ]	2.1 × 10 <sup>34</sup>		8.0 × 10 <sup>35</sup>	

約2倍

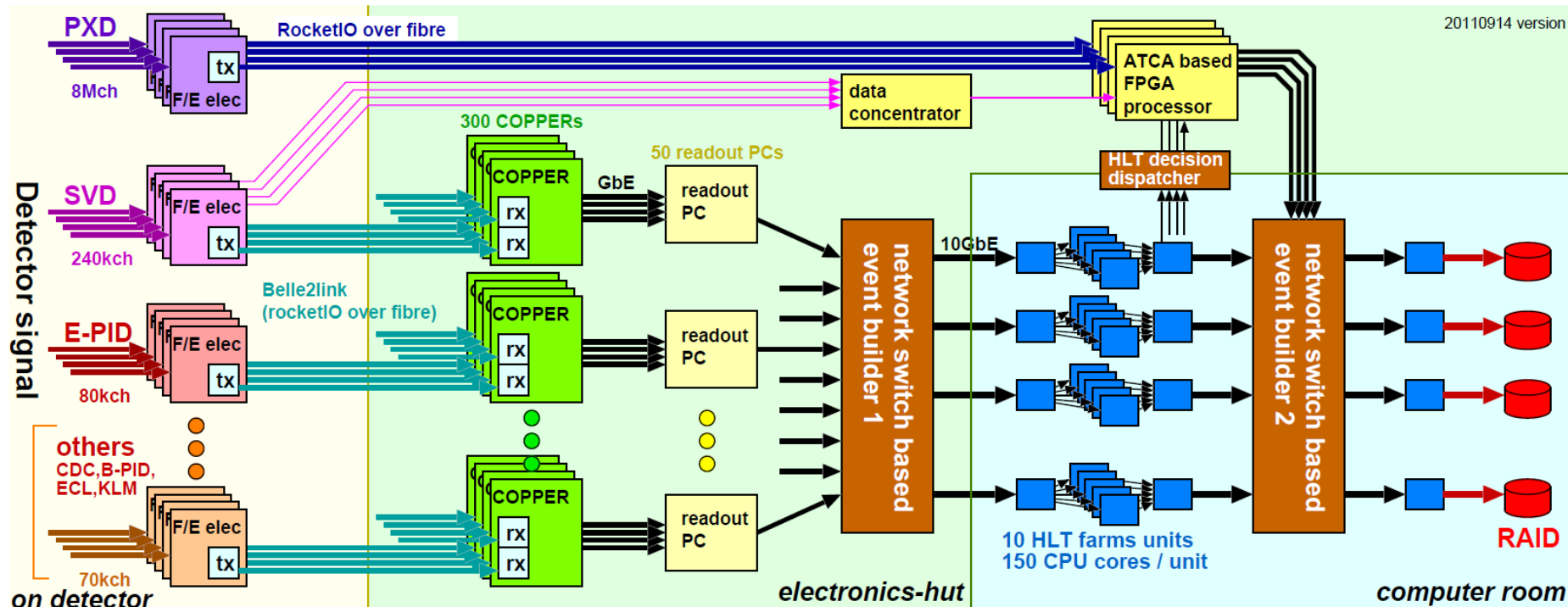
約20倍

# SVD

	センサー(mm)	ピッチ	
		n-side	p-side
3層目	122.8 × 38.4	160	50
4~6層目	122.8 × 57.6	240	75
Slant部	122.8 × 57.6 ~ 38.4	240	75 ~ 50



# Belle II DAQ



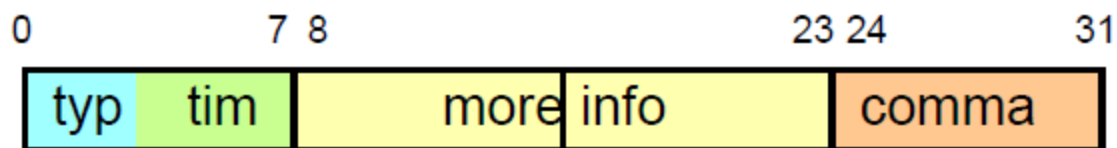
クロック：20ps 以下のジッター  
トリガー：600ns程度の遅延

# シリアルトリガー信号

## ▶ FPGAでシリアル化

- 8b/10bのエンドーディングの後=254Mbps
- 分配するだけのときは復元せずにそのまま配れる

## ▶ データ構造



- 先頭8ビットにトリガー情報  
→32ビット全部待たなくてもトリガー情報復元可能
- 最後の8ビットは8b/10bのカンマで同期に使用

# Belle II DAQ

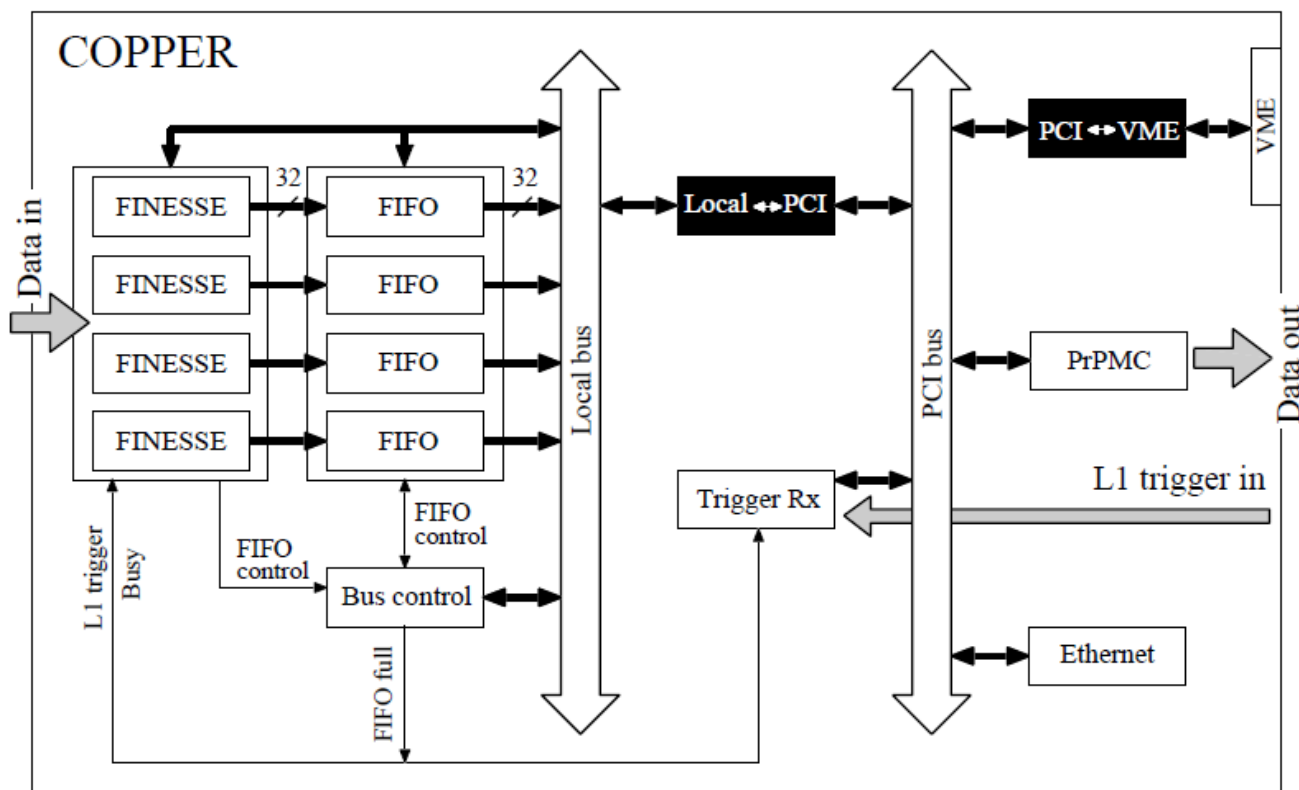
$$18.5 \text{ kB} * 30 \text{ kHz} = 555 \text{ MB/s}$$

	#ch	occ [%]	#link	/link [B/s]	FNS	#CPR	ch sz [B]	ev sz [B]	total [B/s]	/CPR [B/s]
PXD	8M	2	40	455M	—	—	4	800k	18.2G	—
SVD	243456	1.9	48	11.6M	HSLB	48	4	18.5k	555M	11.6M
CDC	14336	10	302	0.6M	HSLB	75	4	6k	175M	2.3M
BPID	8192	2.5	128	7.5M	DSP	16	16	4k	120M	8M
EPID	65664	1.5	78	1.1M	HSLB	20	2.8	2.8k	84M	4.2M
ECL	8736	33	52	7.7M	HSLB	26	4	12k	360M	15M
BKLM	19008	1	16	9.7M	HSLB	6	8	2K	60M	10M
EKLM	16800	2	66	19.5M	HSLB	5	4	1.4k	42M	5.3M
TRG					HSLB	10				

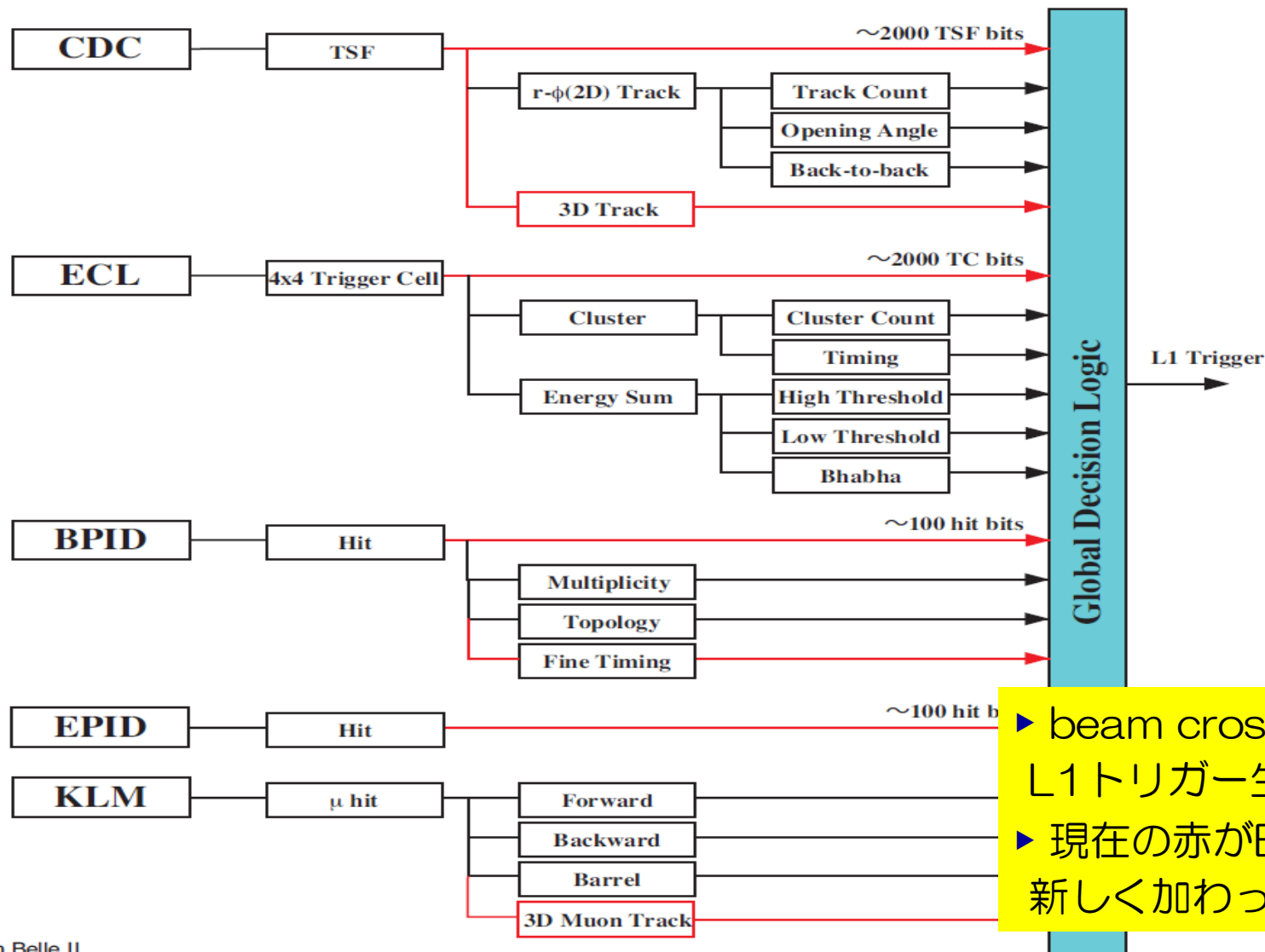
Ocuupancyは平均の値。最大の3層目(6.7%)で計算すると、  
$$/CPR = 11.6M * 6.7/1.9$$
$$= 40.9 \text{ [B/s]}$$



# COPPER --Common Pipelined Platform for Electronics Readout--



# レベル1 トリガー



▶ beam crossing から  
L1トリガー生成まで5 $\mu$ m  
▶ 現在の赤がBelle IIで  
新しく加わった