

**Belle II CDC**  
**(Central Drift Chamber)**

谷口七重 (KEK)

# Belle-II CDC

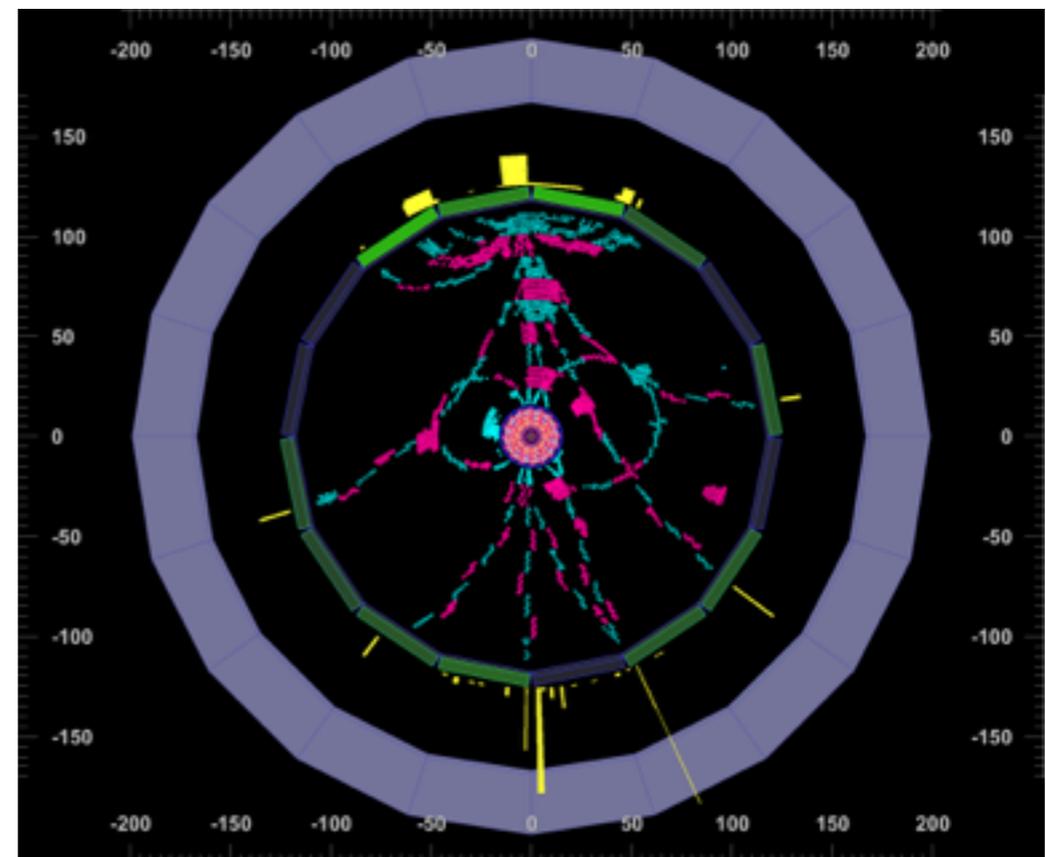
- SuperKEKB/Belle-II

- $e^+e^-$  コライダー実験
- Bファクトリー

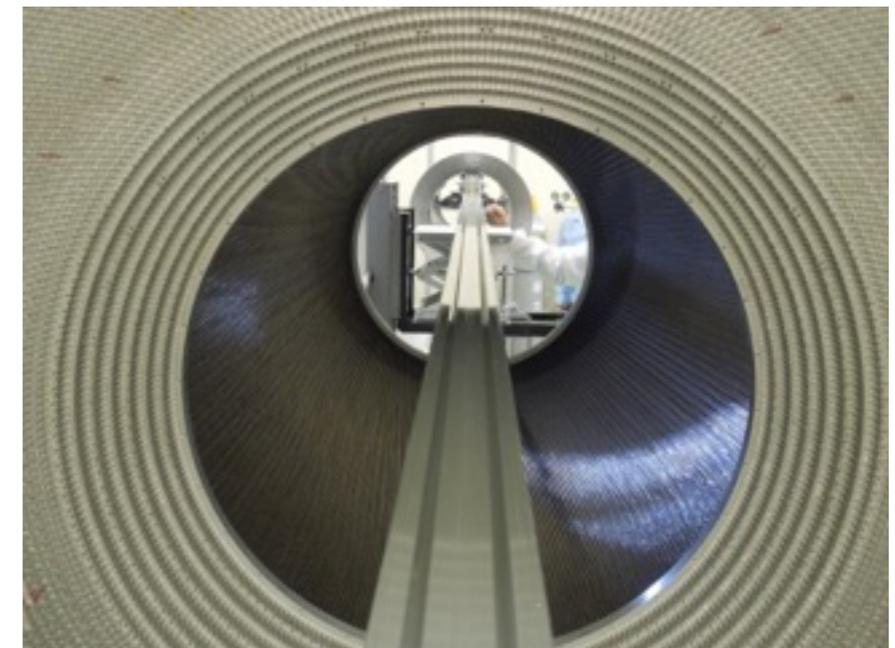
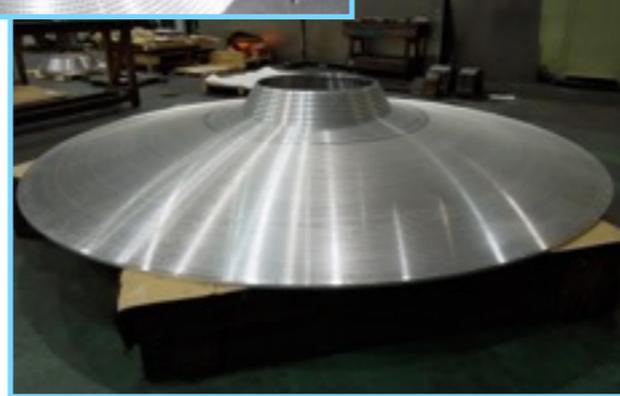
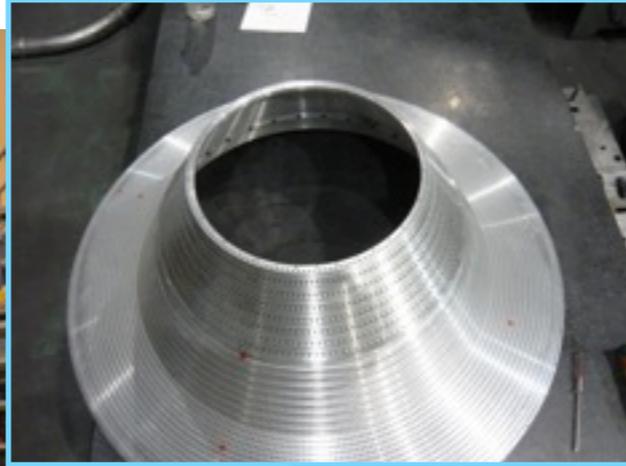


- CDC = Central Drift Chamber (中央飛跡検出器)

- ガス+ワイヤー
- 荷電粒子の運動量を測定する
- 粒子の飛跡の情報を得る
  - 位置分解能  $\sim 100\mu\text{m}$
- トリガー信号を出す
- 粒子識別( $dE/dx$ )



# Belle-II CDC



wire stringing 2012 Dec. - 2014 Jan.

HV side  
(Fwd.)



Apr. 2014



Oct. 2014



Dec. 2014



Jan. 2015

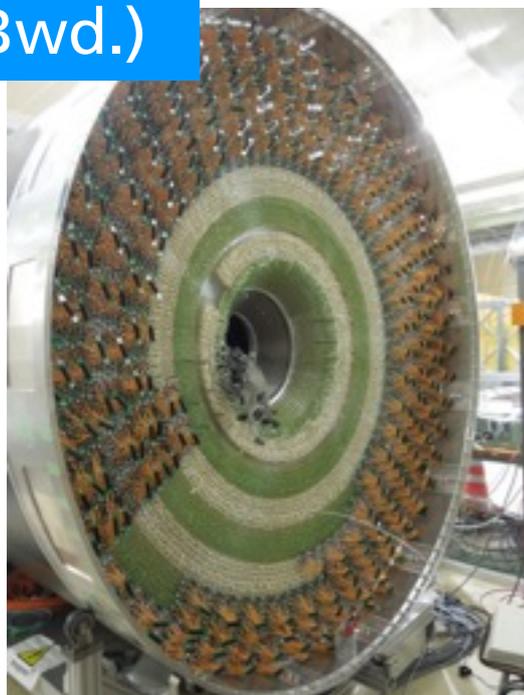
gas leak check

ground cable

HV cable

HV test

Readout  
(Bwd.)



Dec. 2015

signal cable



Jan. 2016

FE installation

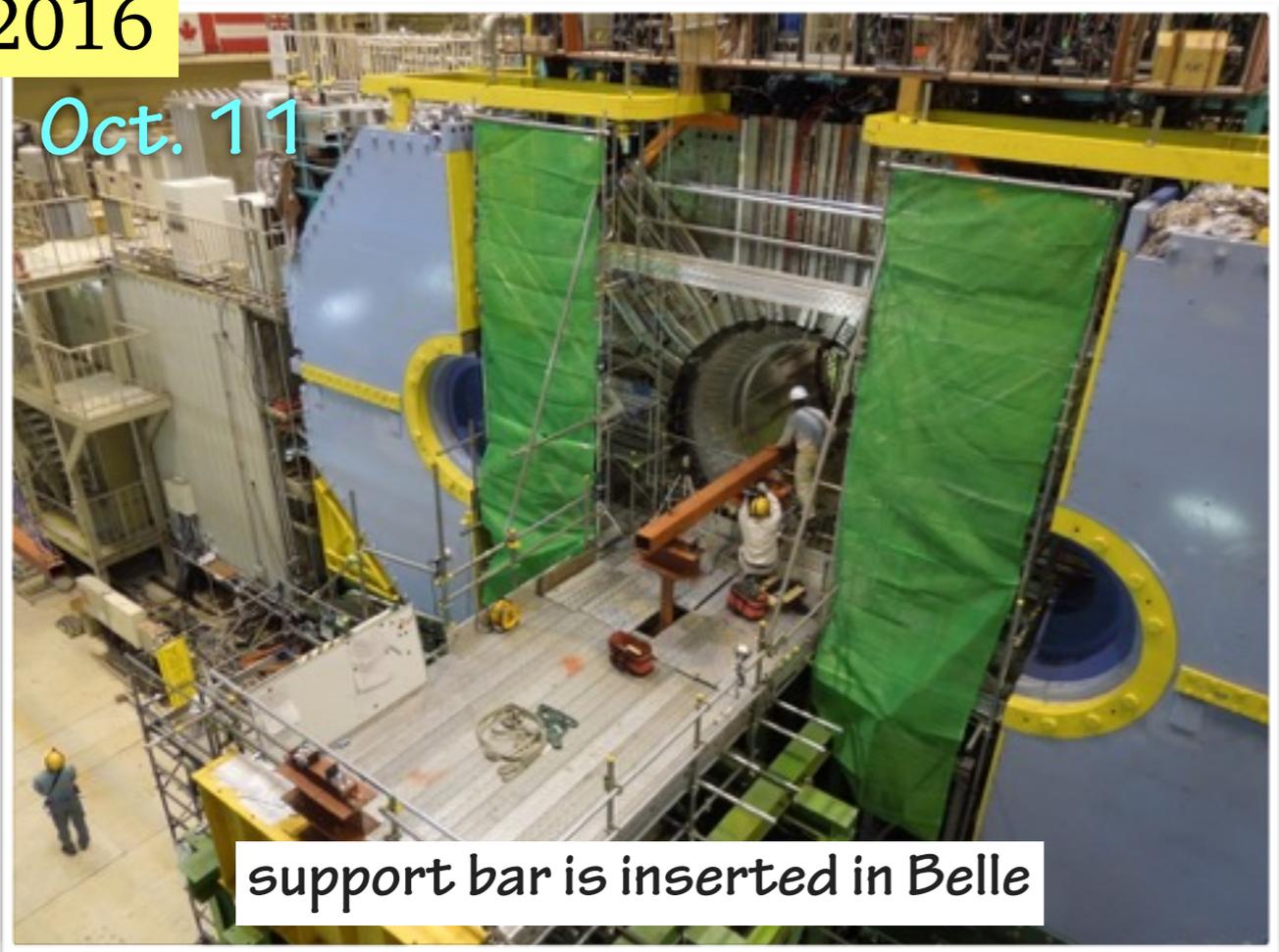


Spring - Autumn. 2016

cosmic ray test@side room

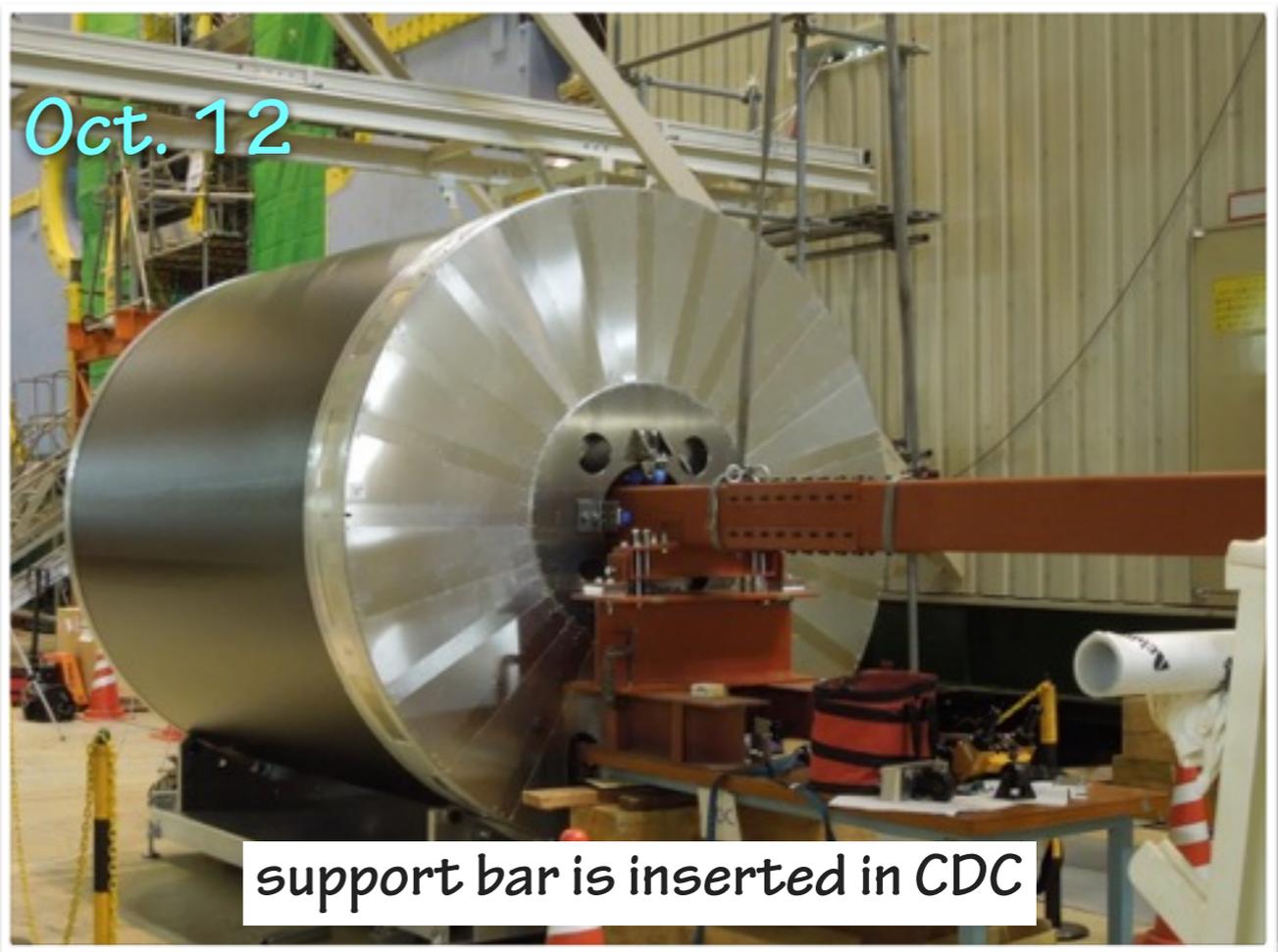
2016

Oct. 11



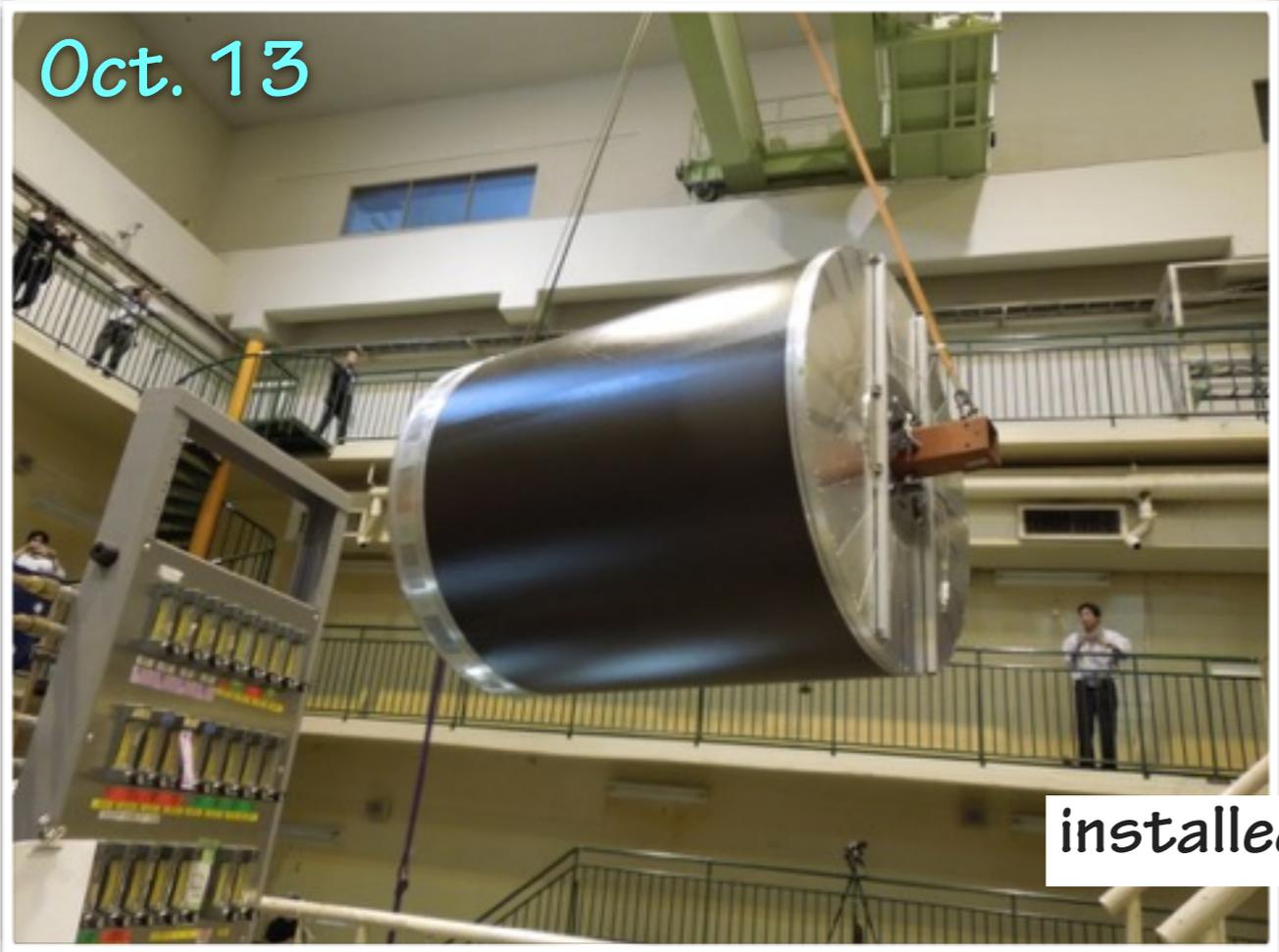
support bar is inserted in Belle

Oct. 12



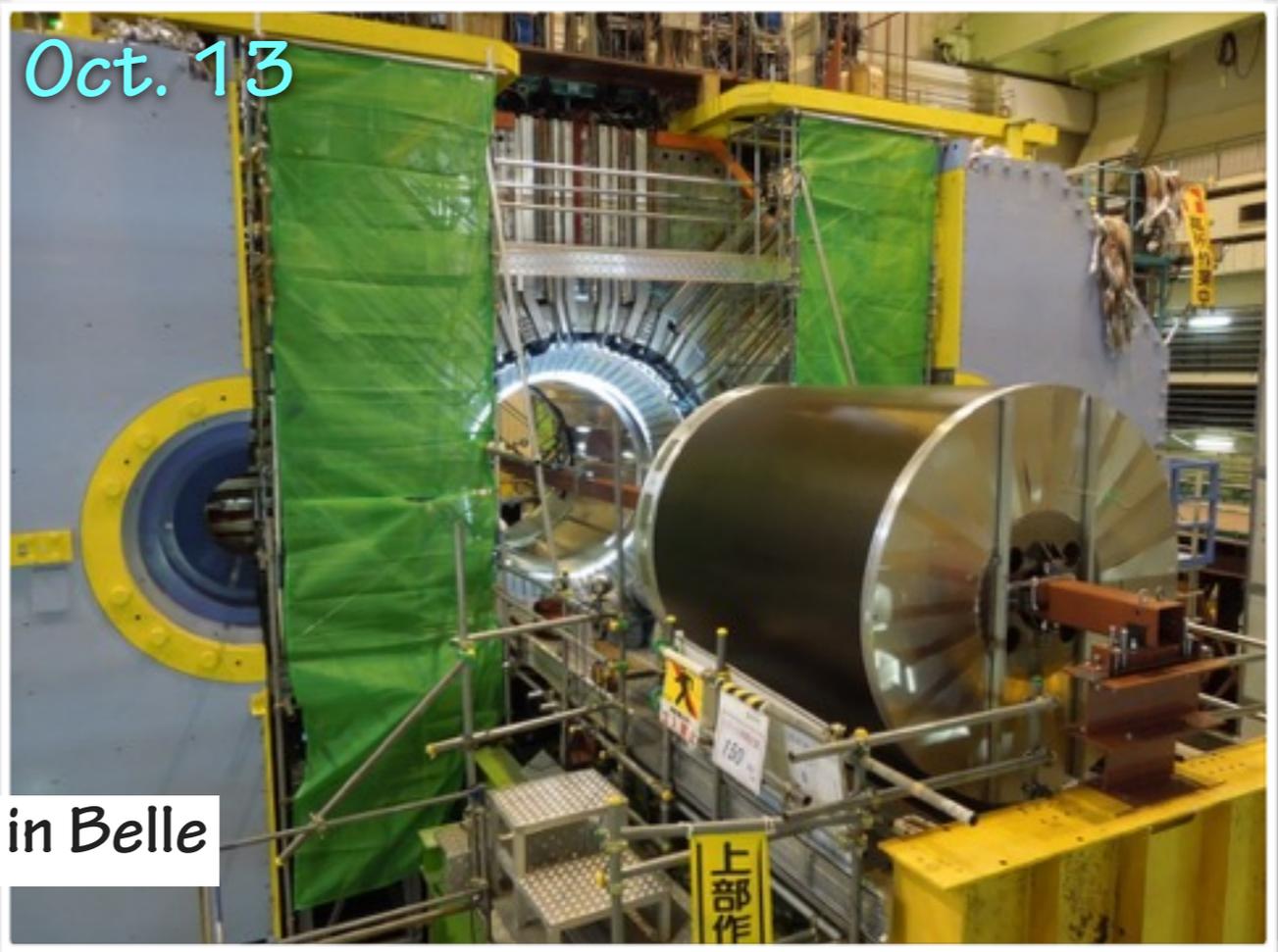
support bar is inserted in CDC

Oct. 13



installed in Belle

Oct. 13

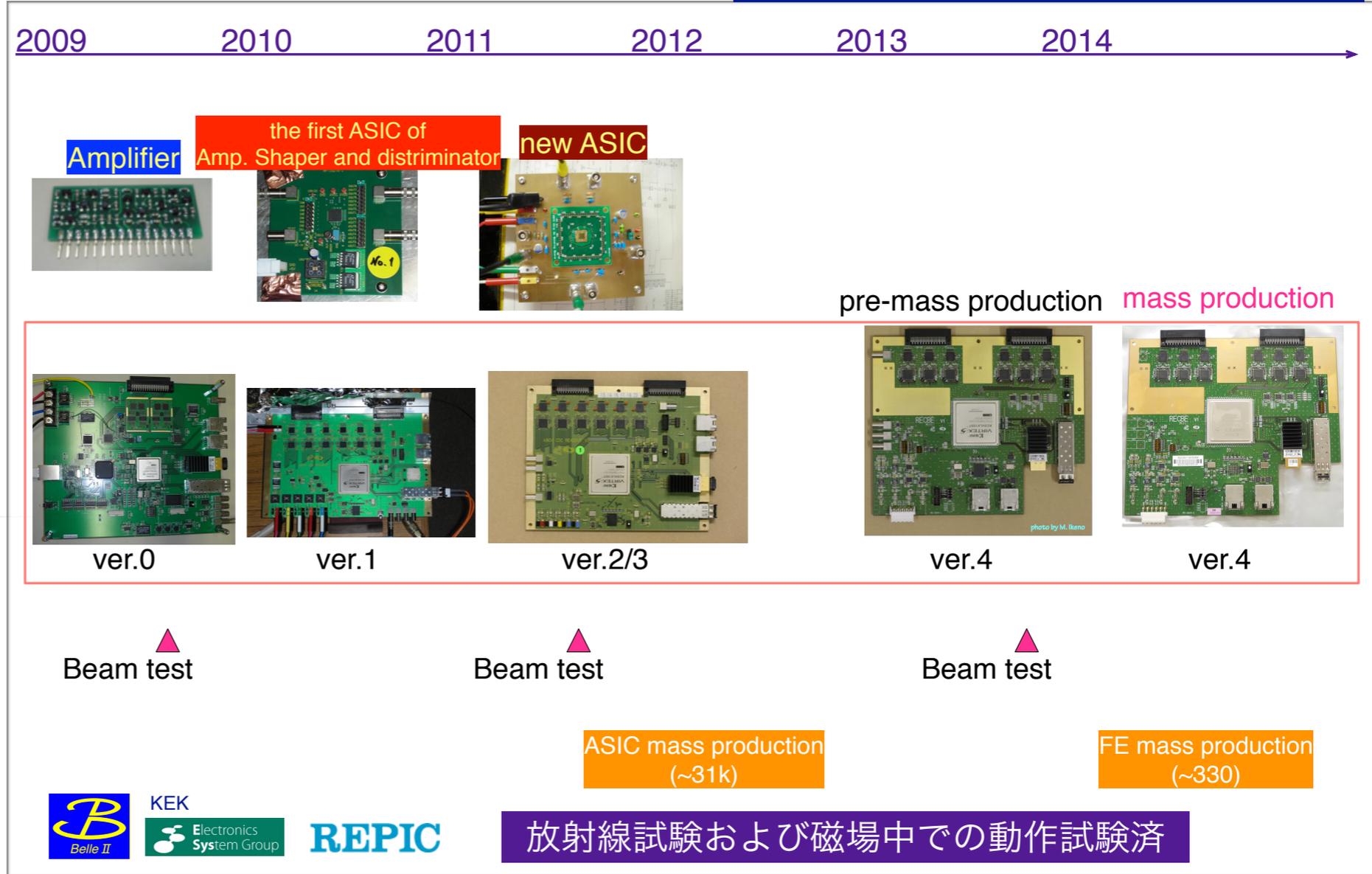
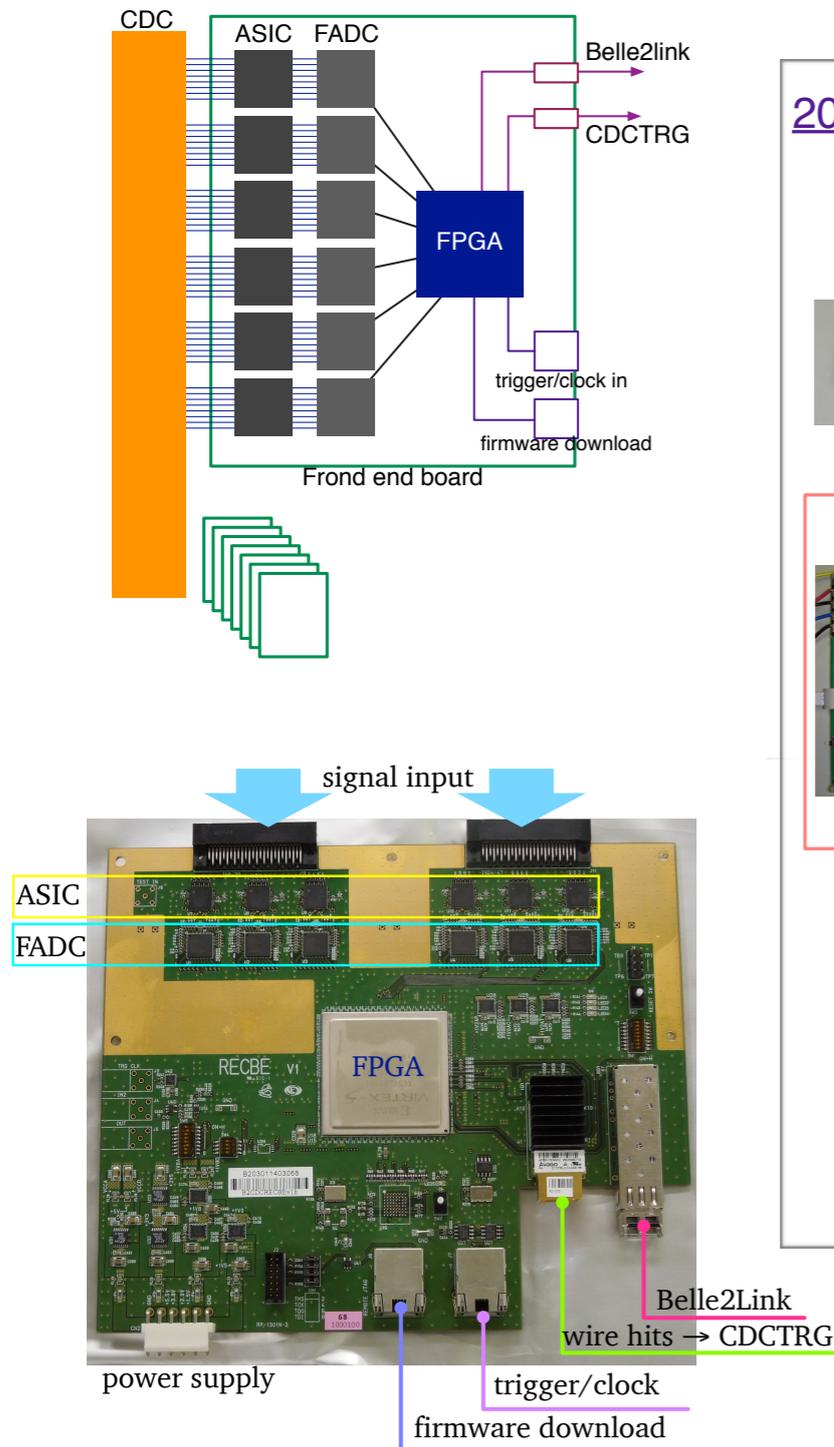


上部作

# Readout

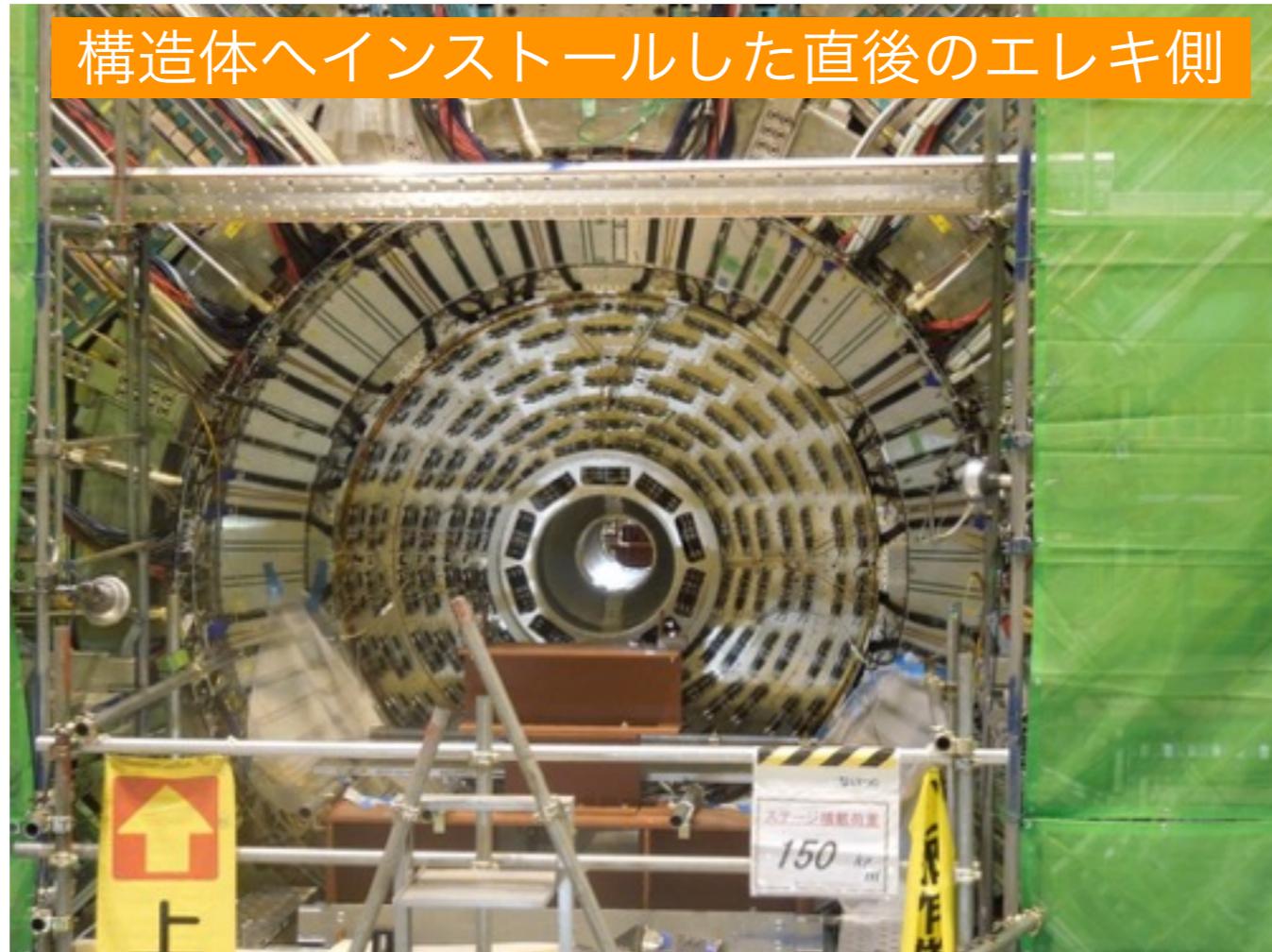
検出器の直近(Belle構造体の中)

量産と quality checkはNTU System一式(hardware, software)や手順や基準は全部こっちが提供



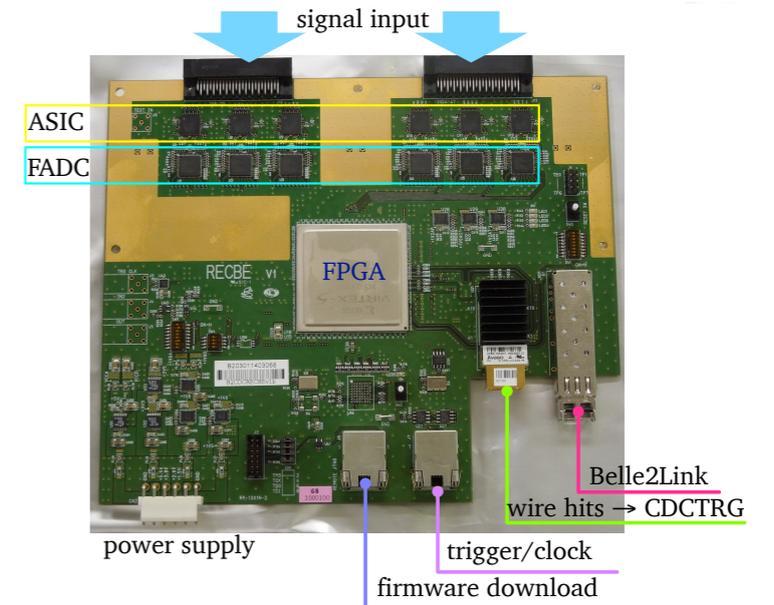
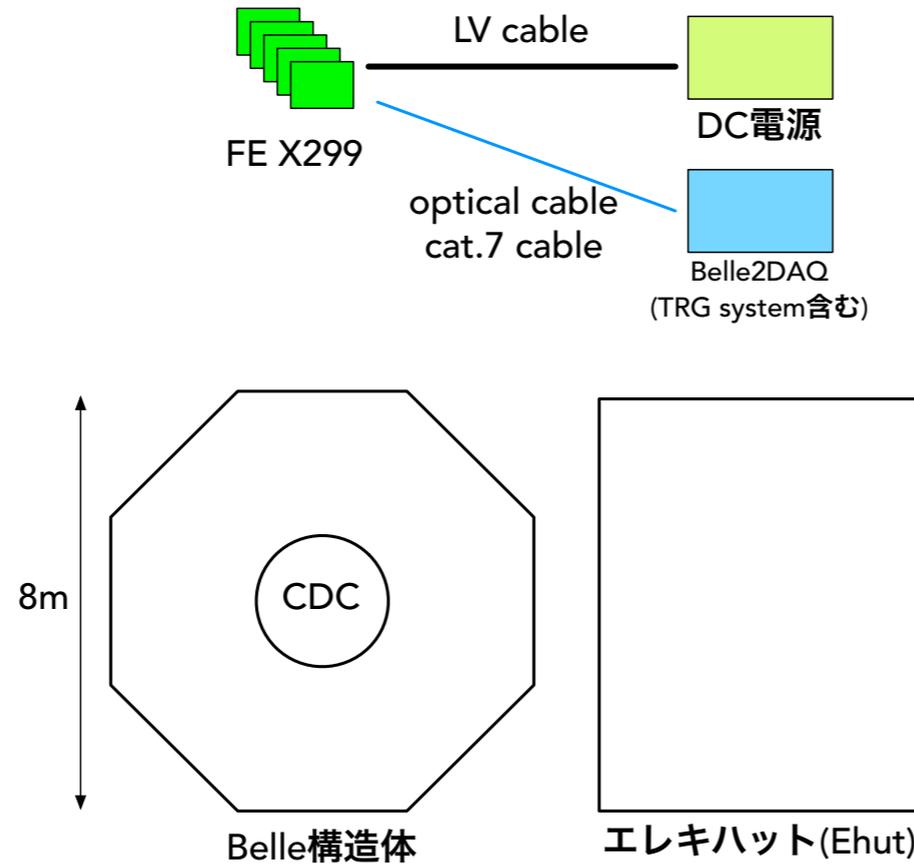
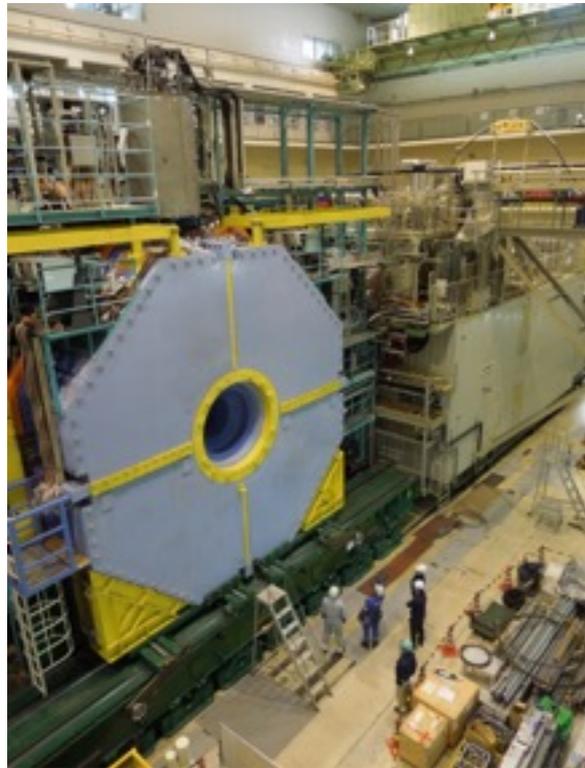
検出器チャンネル数 : 14,336  
 Amp-Shaper-Discriminator : 8ch/ASIC  
 48ch/board X299枚

# (個人的に)苦勞した話



- ・ DC電源とエレキの間
- ・ 冷えない

# DC電源とエレキの間



光ファイバー：2心 X299本 /12心 X299本

cat.7ケーブル: X598本 (10m以下)

LVケーブル：X299本

**DC電源(電圧4種類) ~ 2000A**

1985~86年製  
トリストラン(ヴィーナス実験)  
KEKB(Belle実験)

消耗品交換  
出力電圧改造



# DC電源とエレキの間



+2.0V(80A) X16台  
+2.5V(80A) X12台  
+4.3V(80A) X8台  
+6.0V(50A) X4台  
**合計40台**

出力電圧 = (FE nominal + 0.5V) ± 0.5V

電子負荷装置(レンタル)を用いて  
KEKでも負荷試験(80A operation)を行った

宇宙線のコミッショニング開始時は  
まだインターロックがなかったので  
必ず人がいるときしか運転しなかった  
ボードの温度はFPGAの機能を使って  
光通信(b2link)でモニター(software interlockはなし)

# DC電源とエレキの間

## LVケーブルの選定と全体のレイアウト

Belle構造体のケーブル経路はスペースに制限がある (gap~40mm)  
(当然他の検出器とシェア. 既に敷設されているケーブルあり)

-> ケーブルの太さ、本数、許容電流、電圧降下、熱  
経路は真っ直ぐではない

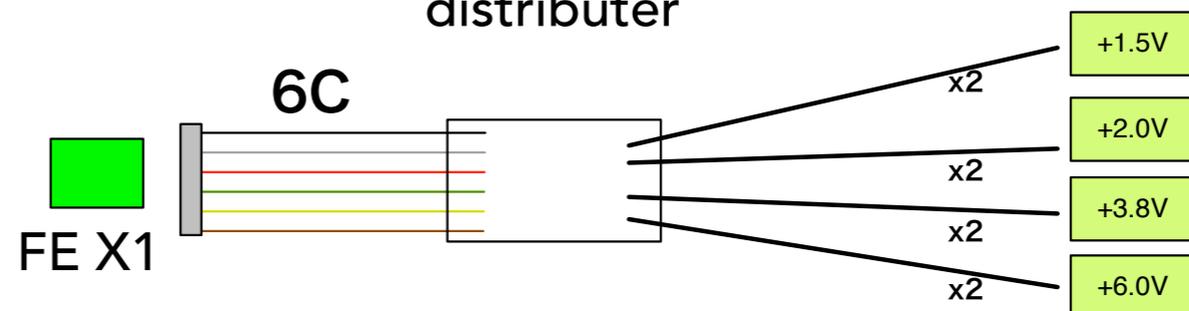
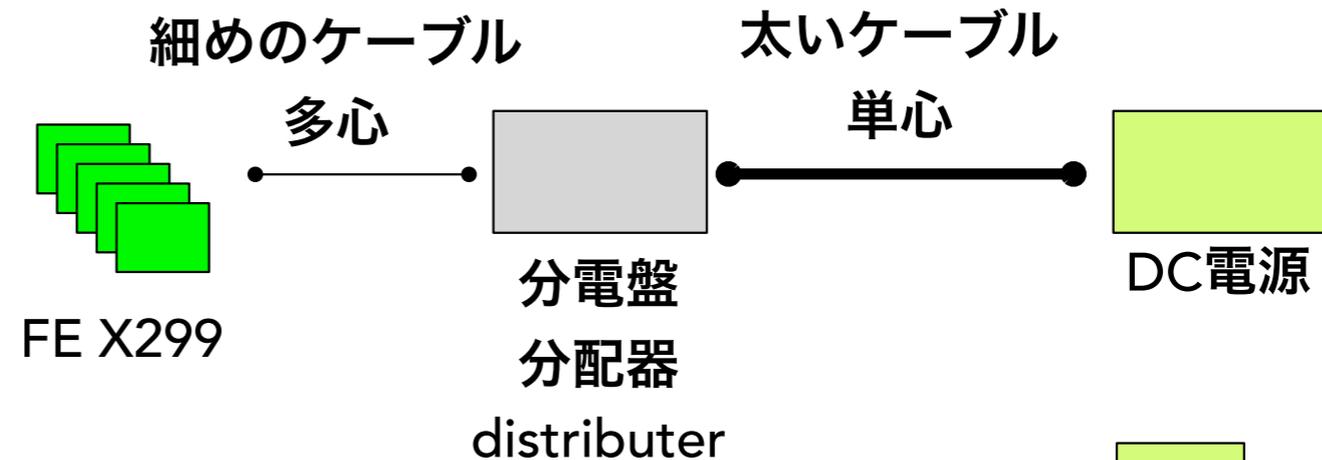
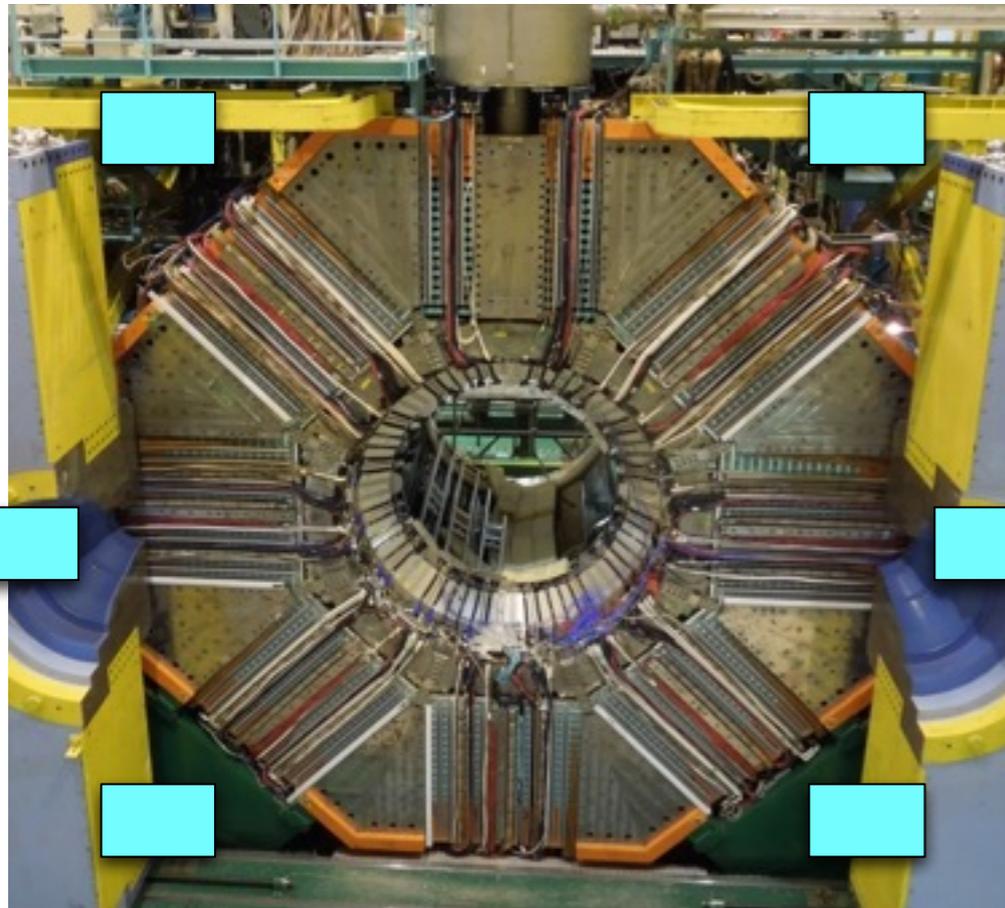
-> 硬いケーブルはだめ(曲げられない、曲げ半径が大きくなる)

### 安全面

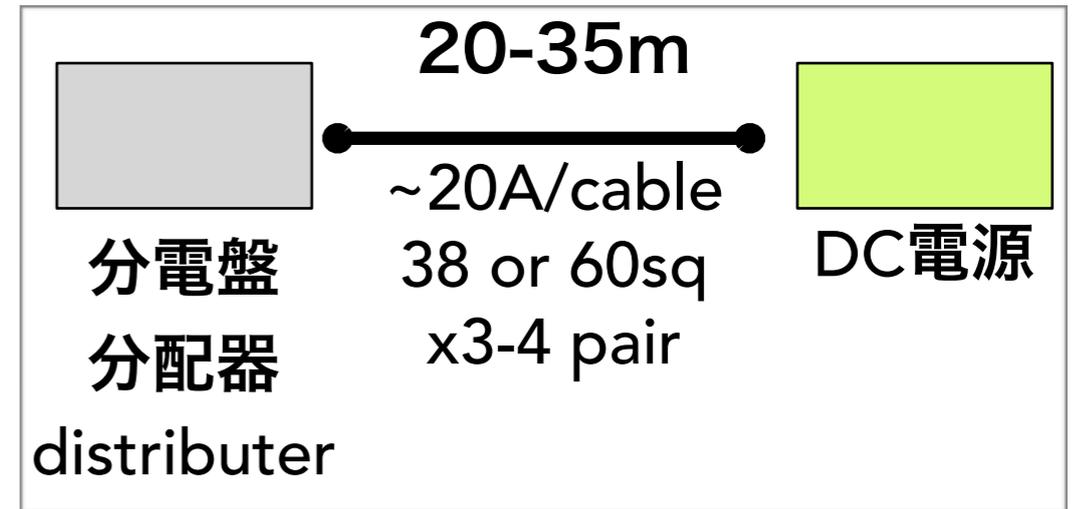
-> ポリエチレン・ノンハロゲン・難燃性

### EMC(electromagnetic compatibility); ノイズ

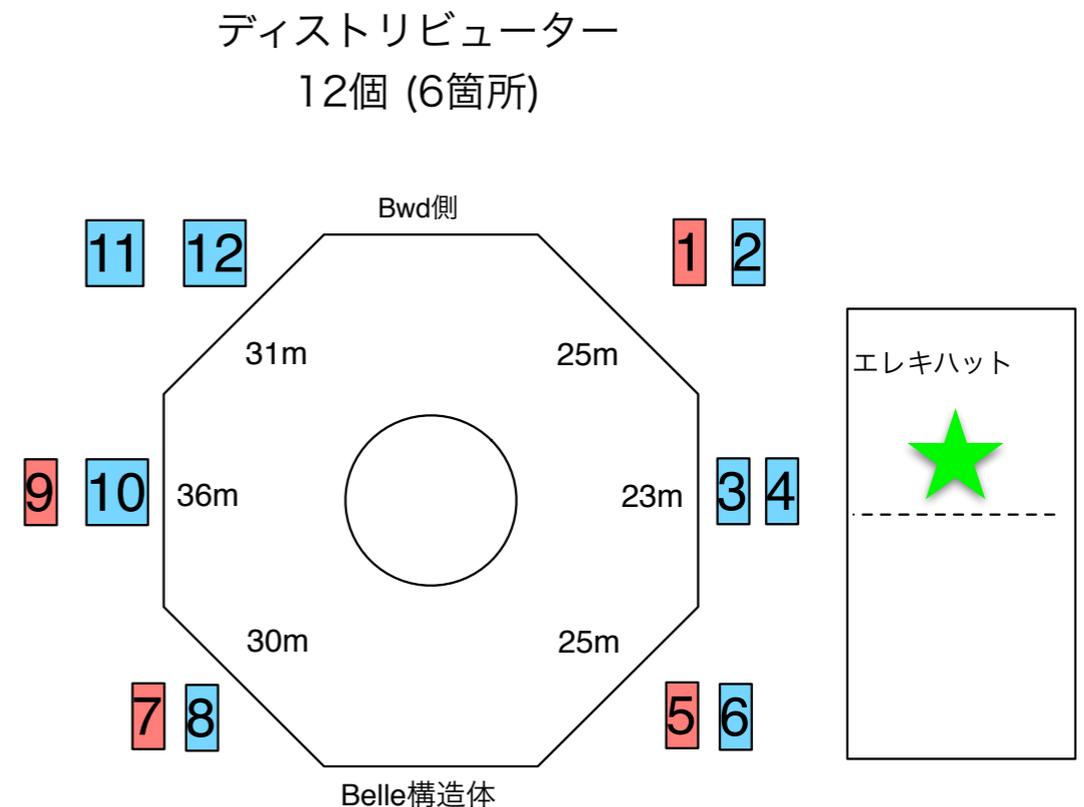
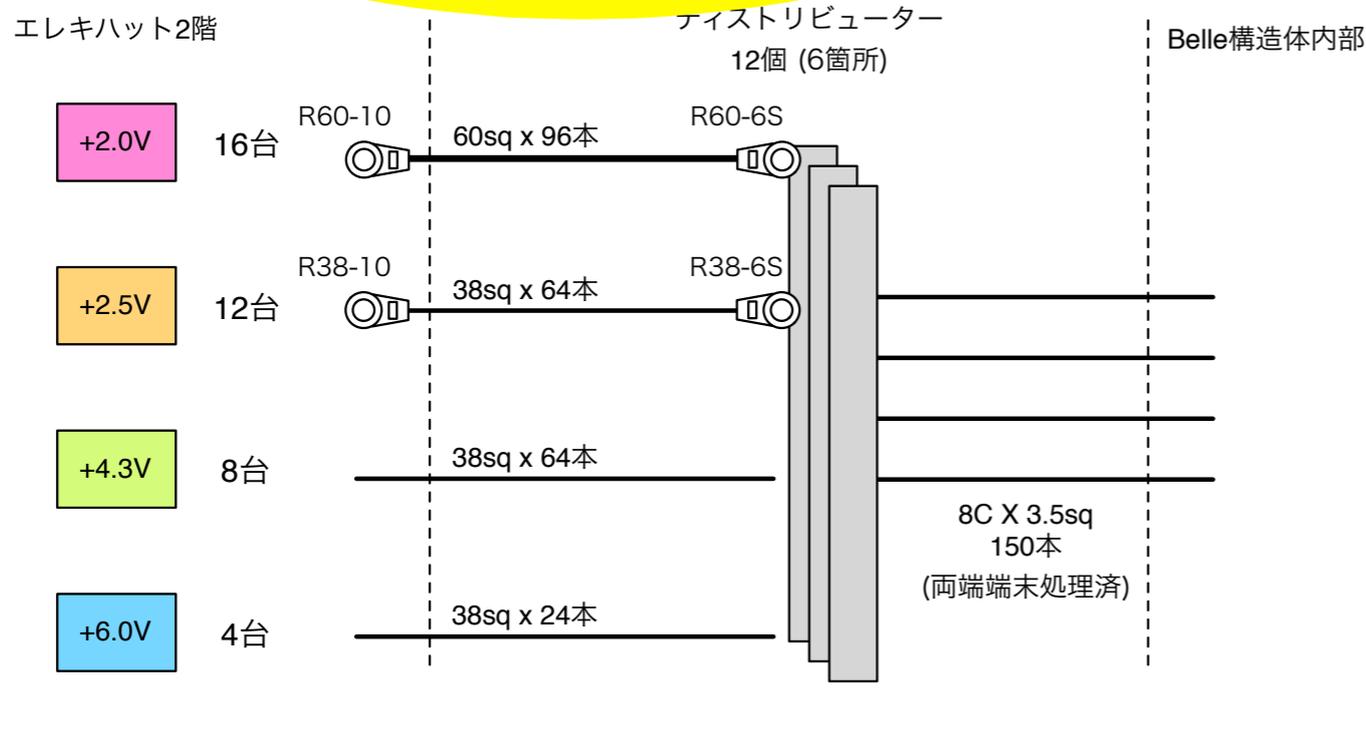
-> 検出器側はシールド付きケーブルを使用(硬い、径が増える)



# DC電源とエレキの間



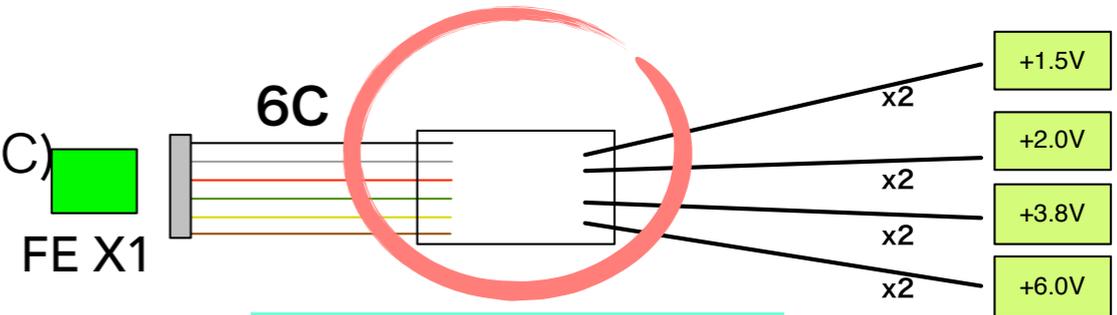
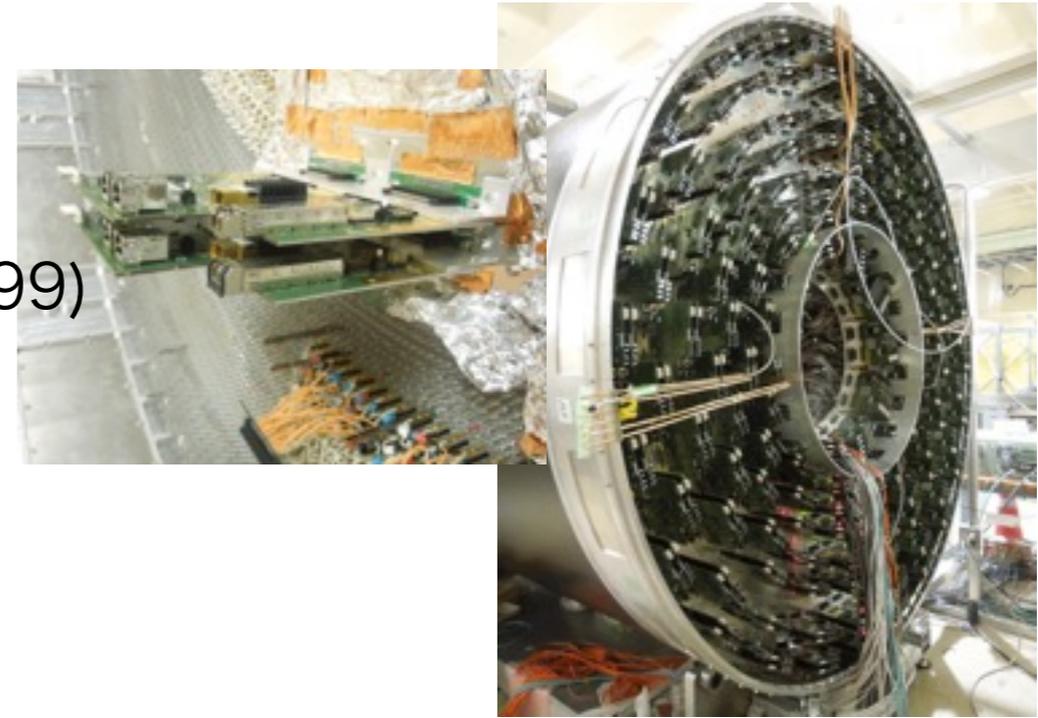
合計:  
60sqケーブル x96本  
38sqケーブル x152本



ケーブル長はG3ラック床から測定  
(参考値)

# DC電源とエレキの間

- ・ LVケーブル エレキ側
  - ・ 3.5sqX6C (シールド付き) x150本(ボードx299)
- ・ 分電盤(分配器、distributer)
  - ・ 電源側
    - ・ 38/60sq ケーブル
  - ・ 検出器(エレキ)側
    - ・ シールドを筐体に落とさなくてはいけない(EMC)
    - ・ # シールドに電線のしっぽづけはだめ



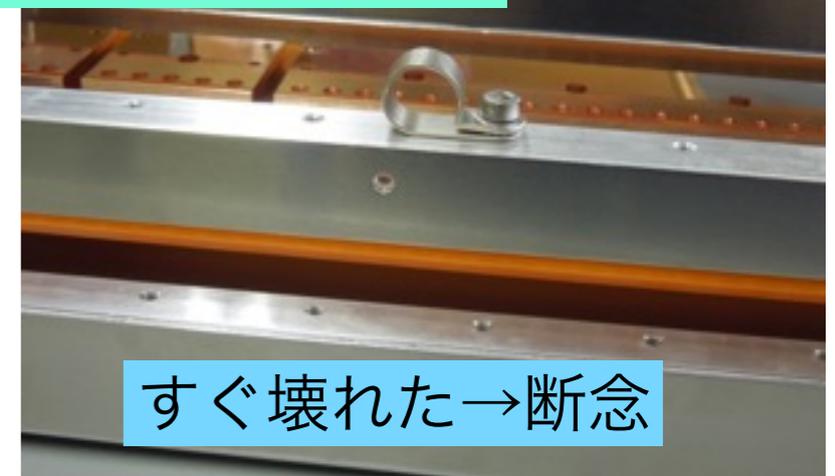
プロトタイプ



プロトタイプ

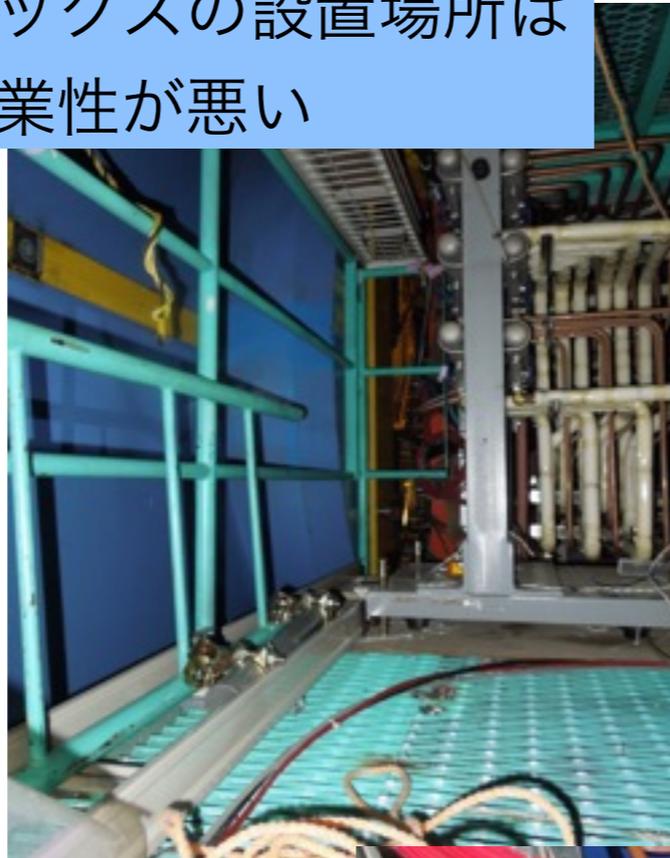
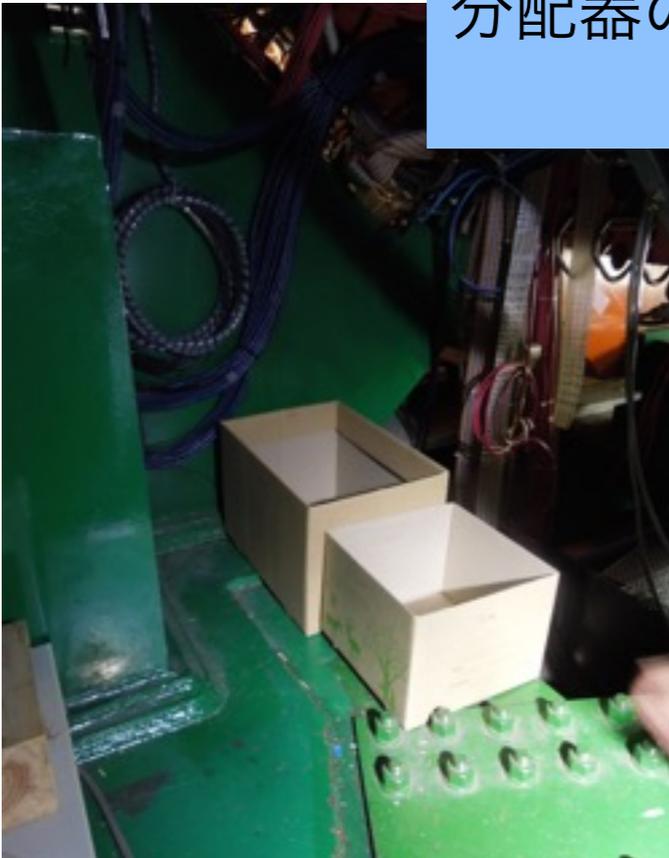


クランプ  
(シールド付ケーブル側)

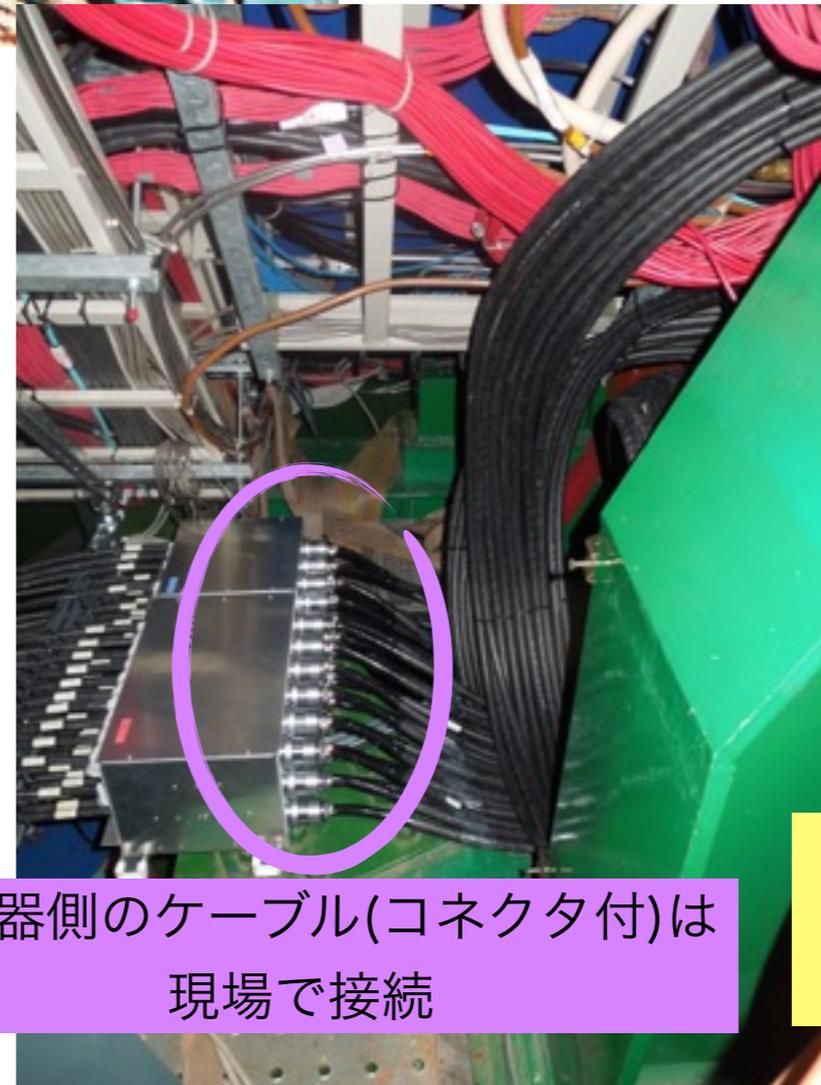


すぐ壊れた→断念

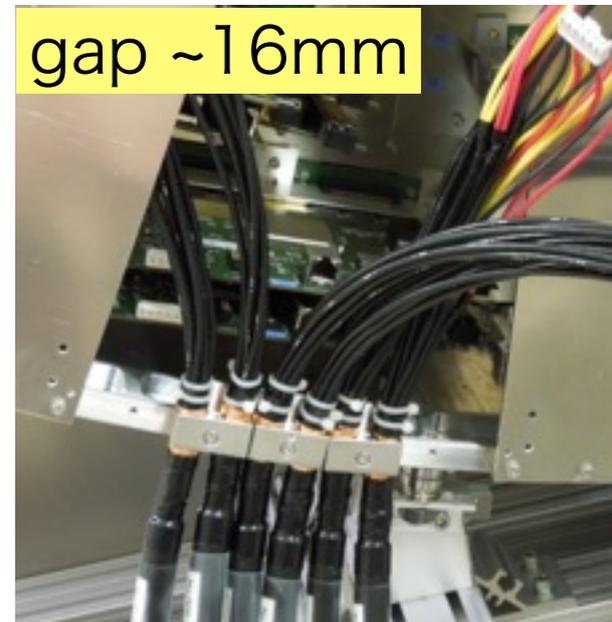
分配器のボックスの設置場所は  
作業性が悪い



38/60sqのケーブルは現場で接続  
検出器側のケーブル(3.5sq)の配線は現場では無理  
→ コネクタ接続にした  
(コネクタと銅板の間の配線はテーブルで)



検出器側のケーブル(コネクタ付)は  
現場で接続



シールドを検出器に  
落とさなくてはいけない  
細くして中に入れられない

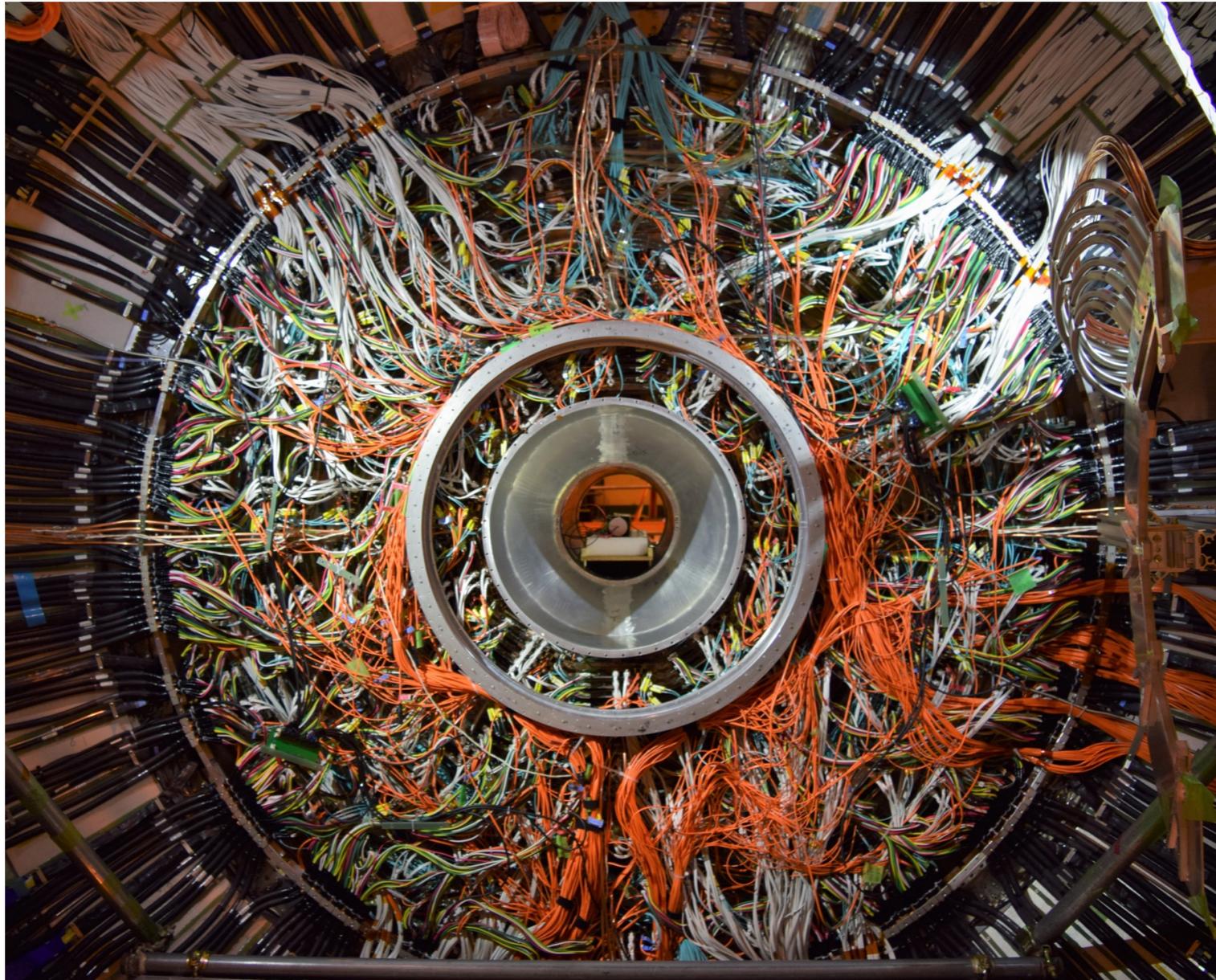
cat.7

光ファイバー(2C)

cat.7

LVケーブル

LVケーブル



LVケーブルとエレキは1対1:  
(シールドをクランプする場所からエレキまでの長さが異なる)

LVケーブル

LVケーブル

光ファイバー(12C)

LVケーブル

LVケーブル

光ファイバー(2C) cat.7

光ファイバー(12C)

光ファイバー : 2心 X299本 / 12心 X299本  
 cat.7ケーブル: X598本 (10m以下)  
 LVケーブル : X150本

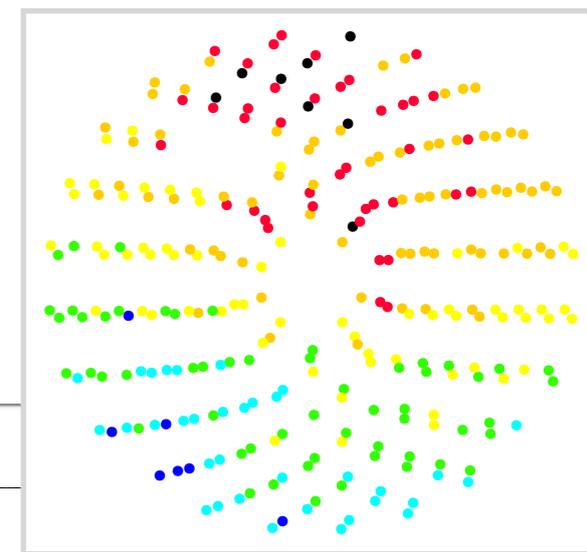
# 冷えない

- ・ 全ての配線をやり終え、配線ミスや読み出しの問題をほぼ解決した
- ・ 別の検出器の作業のためカバーを閉める期限がせまっていた
- ・ 冷却はファン(扇風機X3)を使っていたが、**水冷**の設備が整ったため、カバーを閉めた状態でもエレキを動かしてデータをチェックできるはずだった
- ・ カバーを閉めた状態で冷却試験を行った
  - ・ カバーを閉めた状態でのボード全数動作時の冷却試験は初めてであった
- ・ 消費電力： $\sim 15\text{W}/\text{board} \times 299 = \sim 4.5\text{kW}$

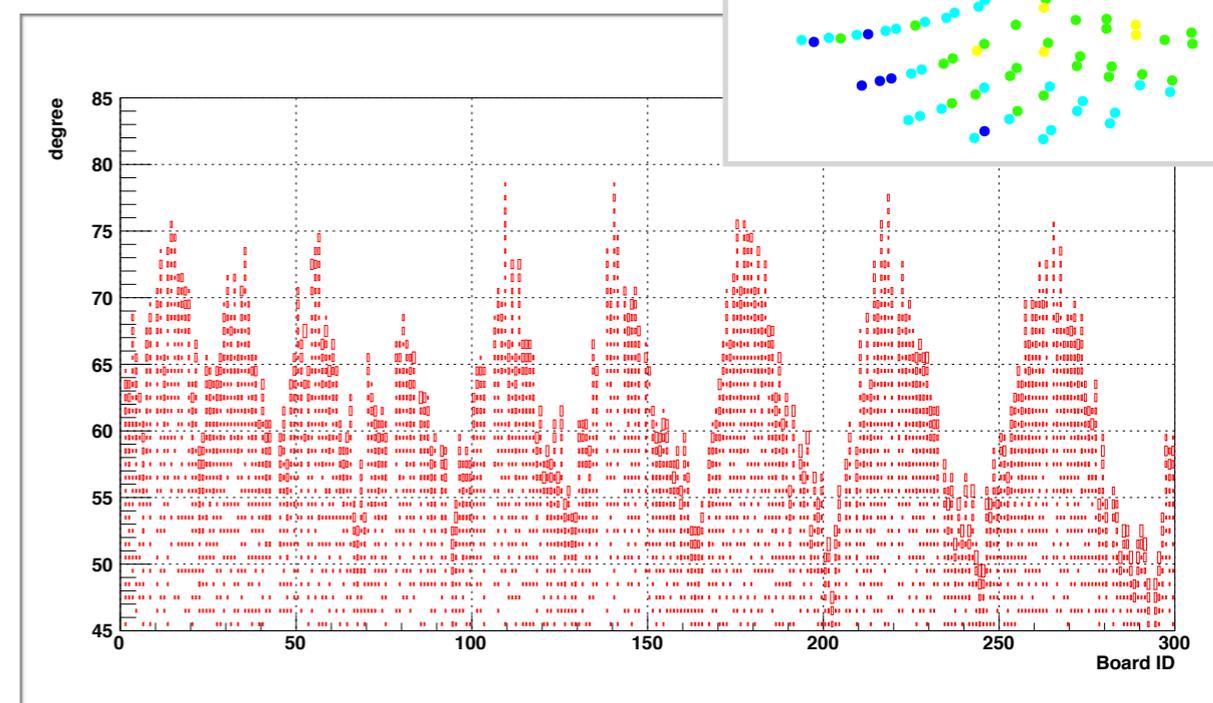
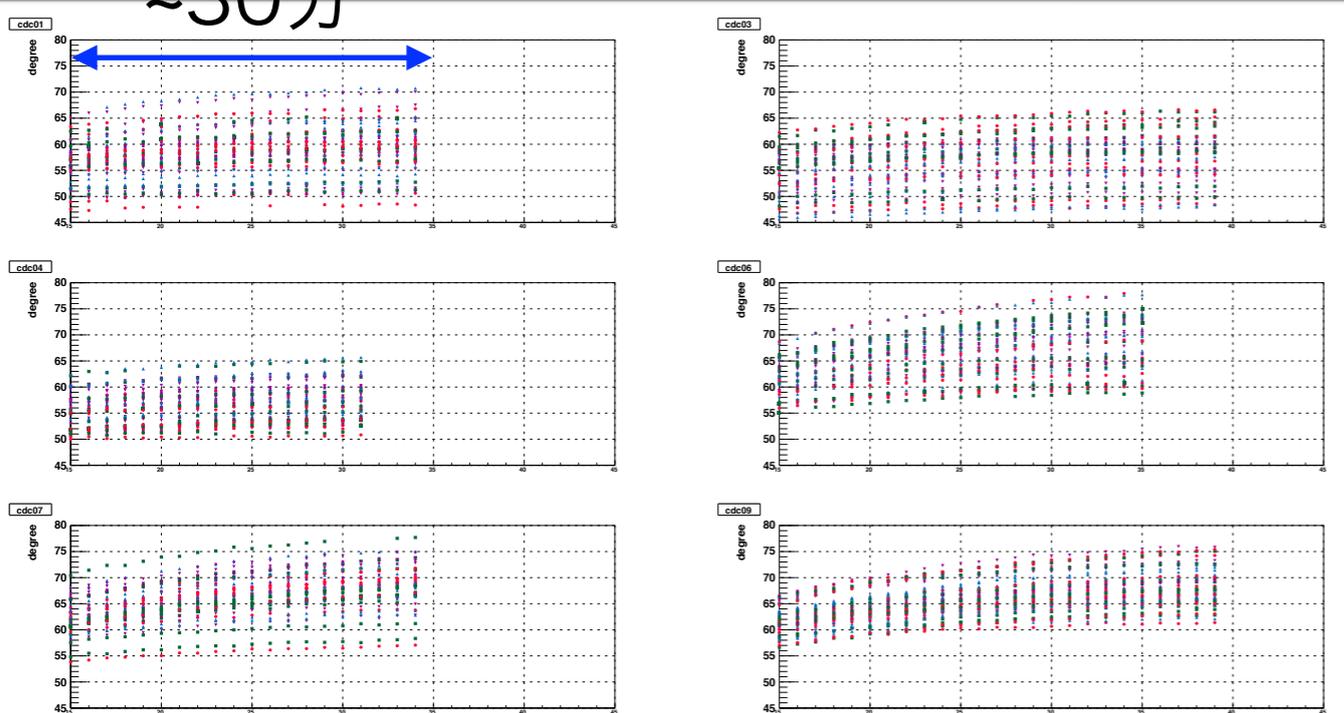
# 冷えない

- ・ 温度はFPGAの機能を使ってモニターできる
- ・ 結果：50~75度
  - ・ エレキ自体は問題ない温度
- ・ 少しずつだが温度は上昇傾向にある
- ・ 平衡状態に達しない = 熱を取りきれていない

温められた空気が上にいくため  
上側のエレキの温度が高い (65-80度)  
下側はそれなりに冷えている (<60度)

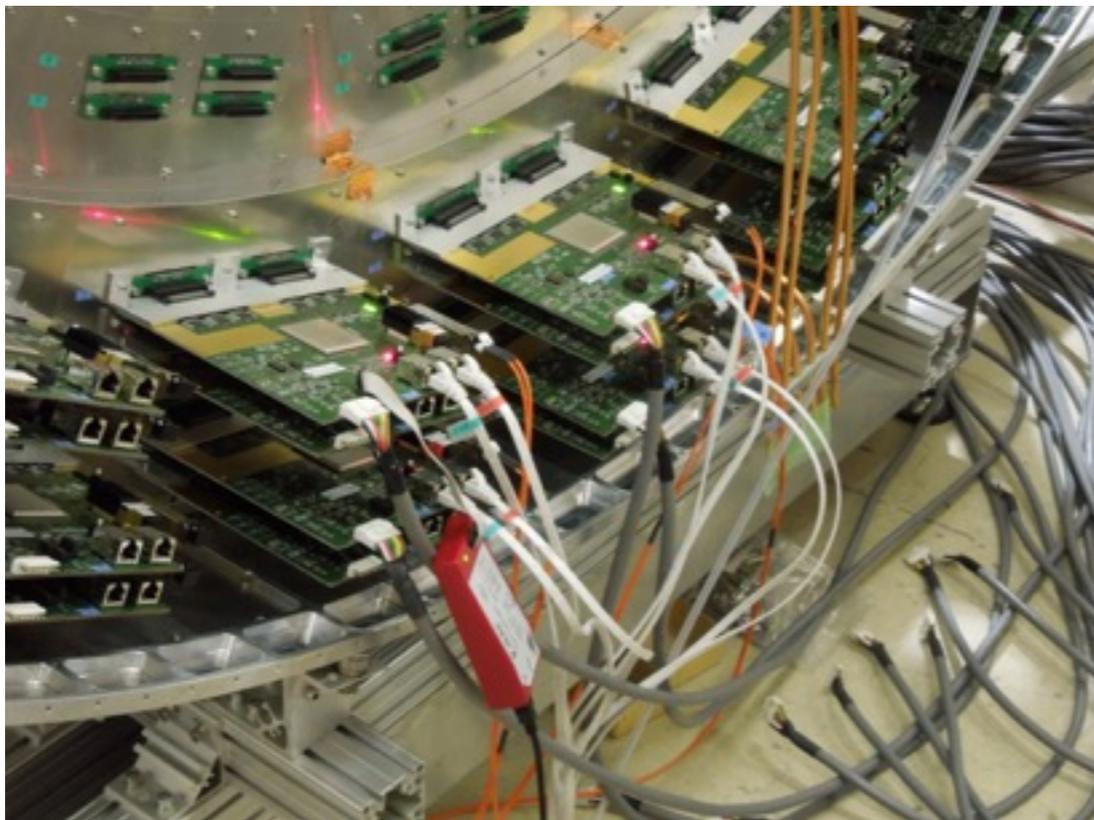


~30分



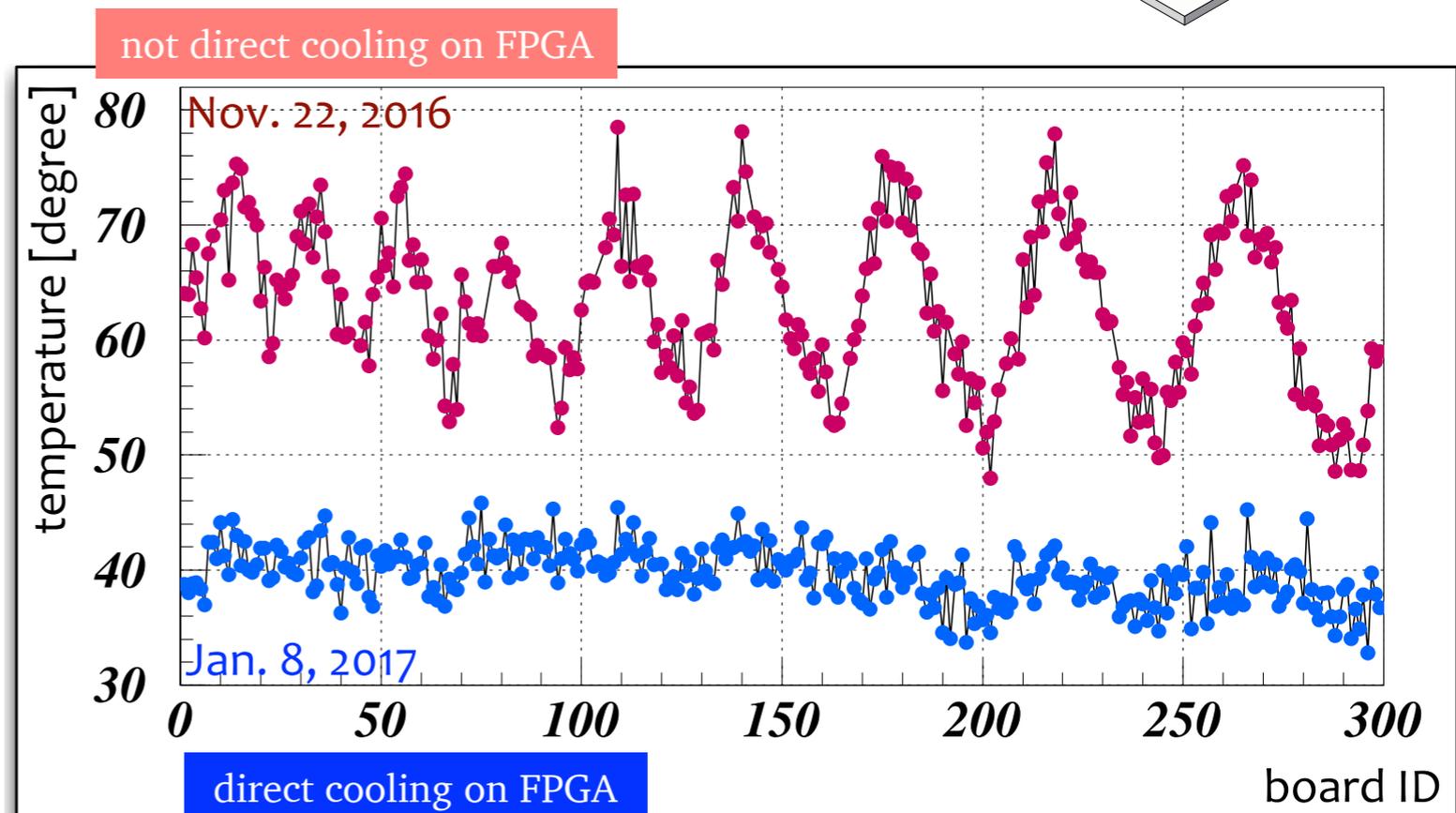
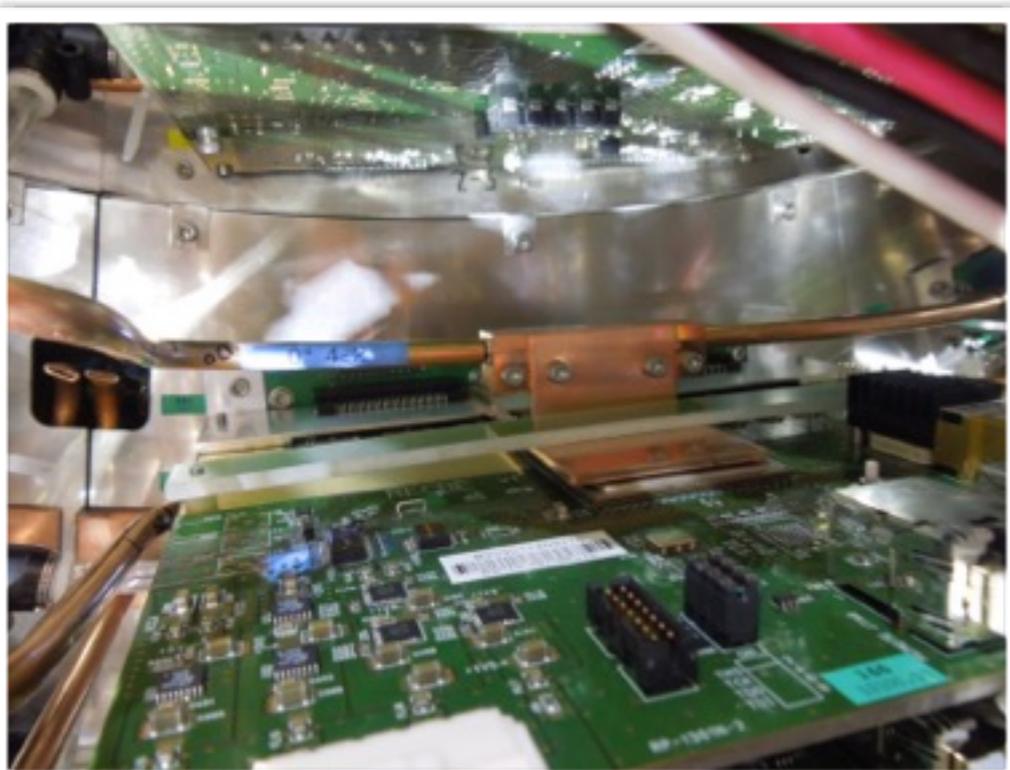
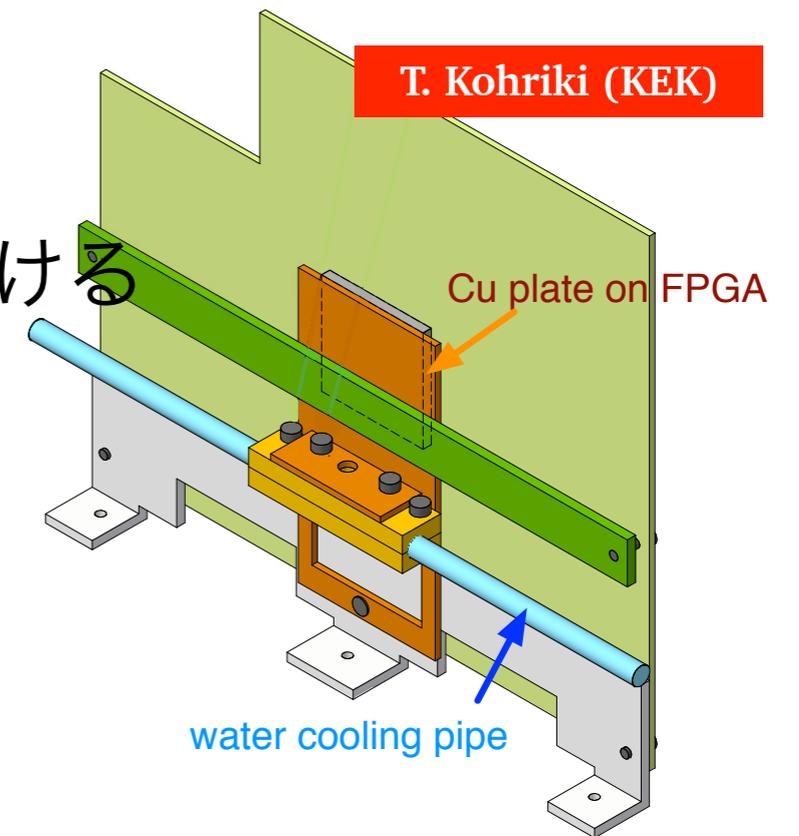
# 冷えない

- ・ 冷却を根本的にやり直すことになった
- ・ 全ての配線、全てのボードを取り外した
- ・ ボードはサポート板にL字のアンクルでとりつけられている
- ・ サポート板に水冷パイプがとりつけられていた
- ・ 問題点
  - ・ 熱源であるFPGAから冷却パイプの距離が遠い
  - ・ サポート板の熱伝導率が良くない(アルミ)



# 冷えない

- ・ FPGAに銅板を放熱シリコンゴムで貼り付ける
- ・ 銅板と冷却パイプを接続
- ・ 再びボードの設置と配線をやりなおし
- ・ 冷却試験 → O.K



# 冷えたけど、、

- ・ 再度全てのボードが問題なく動くようにしなくてはいけない
- ・ 一度全部解決したし大丈夫だろう。。。
- ・ 様々な問題が起こった (20枚以上のボードで)
  - ・ FPGAにfirmwareがダウンロードできない
  - ・ (belle2)link error
  - ・ トリガー信号が受信できない
  - ・ FADCの値が飛ぶ(bit error)もしくは'0000'

ボードを外す作業の際に破損

新たにとりつけた冷却  
パーツと基板が接触

ボード間にカプトンテープを貼った  
(特に間が狭いところのみ)



主にRJ-45のコネクタにぶつけてボードの裏のパーツを破損  
破損箇所を特定して台湾(NTU)へ修理のため送る  
手持ちのスペアと合わせてNTUから戻ったボードを再インストール

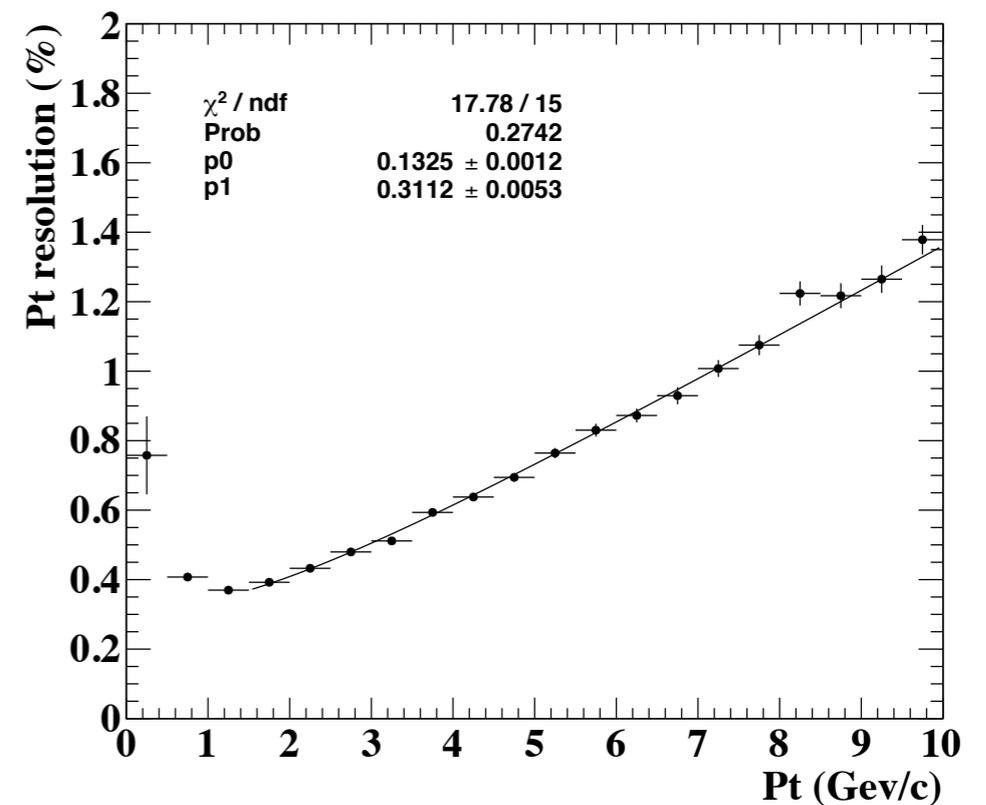
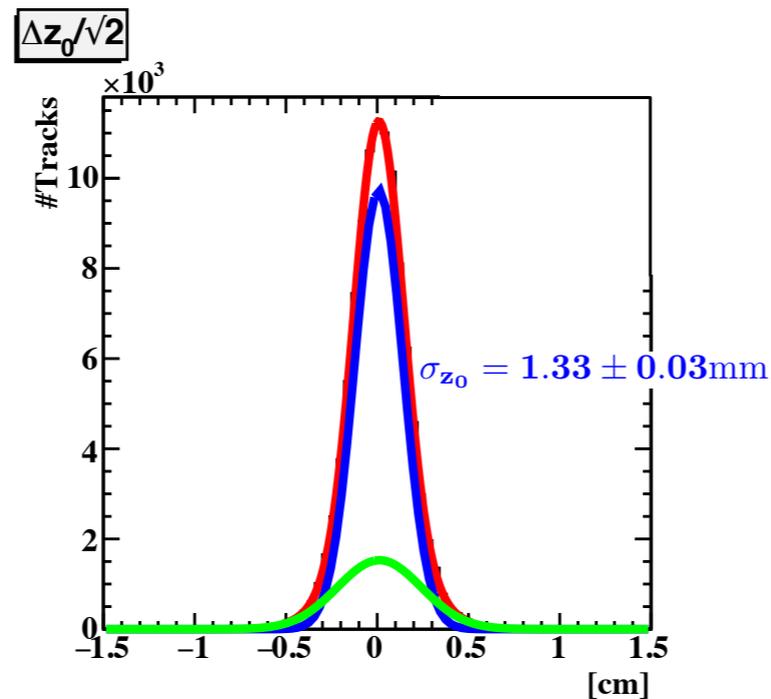
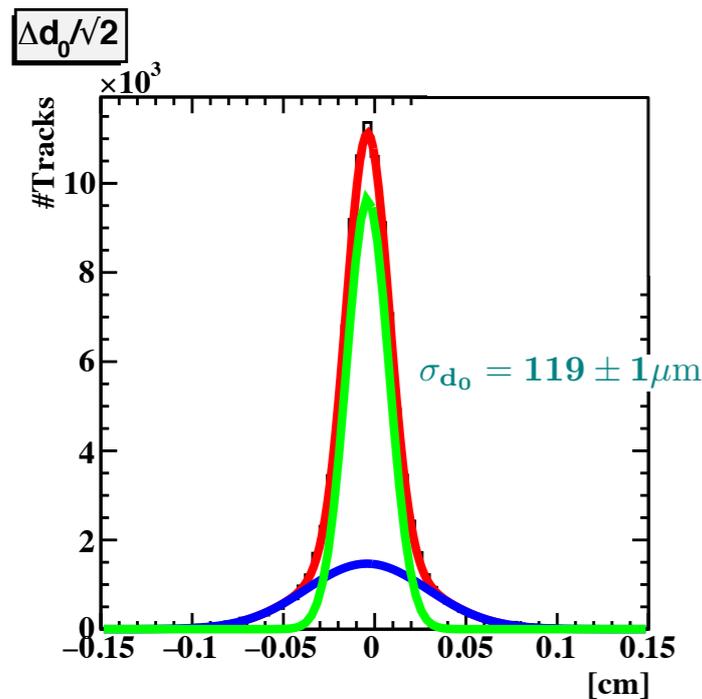
# commissioning with cosmic ray

夏まで宇宙線試験

TRGやDAQのテストとシェア

4月にロールイン(ビームラインにBelle構造体が移動)

7-8月は磁場中での宇宙線試験



性能は概ね得られている

まだ気は抜けない。2018年からcollision

# summary

主観ですが...

- ・ R&Dは楽しいが永遠にはやっけていられない
- ・ 建設は制限がいっぱい
- ・ 真の最適解かどうかは分からないが決断するしかない
- ・ トレードオフになることがある
- ・ 冷却や電源は、物理法則そのものなので、根本的に変えるしかない