

LHC-ATLAS実験

SCTシリコン飛跡検出器のコミッショニング - I

筑波大数理, 高工研^A, 阪大^B, 岡山大^C, 京都教育大^D

林隆康, 金信弘, 松隈恭子, 埜慶太, 原和彦, 目黒立真,
池上陽一^A, 海野義信^A, 高力孝^A, 寺田進^A,
花垣和則^B, 中野逸夫^C, 田中礼三郎^C, 高嶋隆一^D,
他アトラスSCTグループ

目次

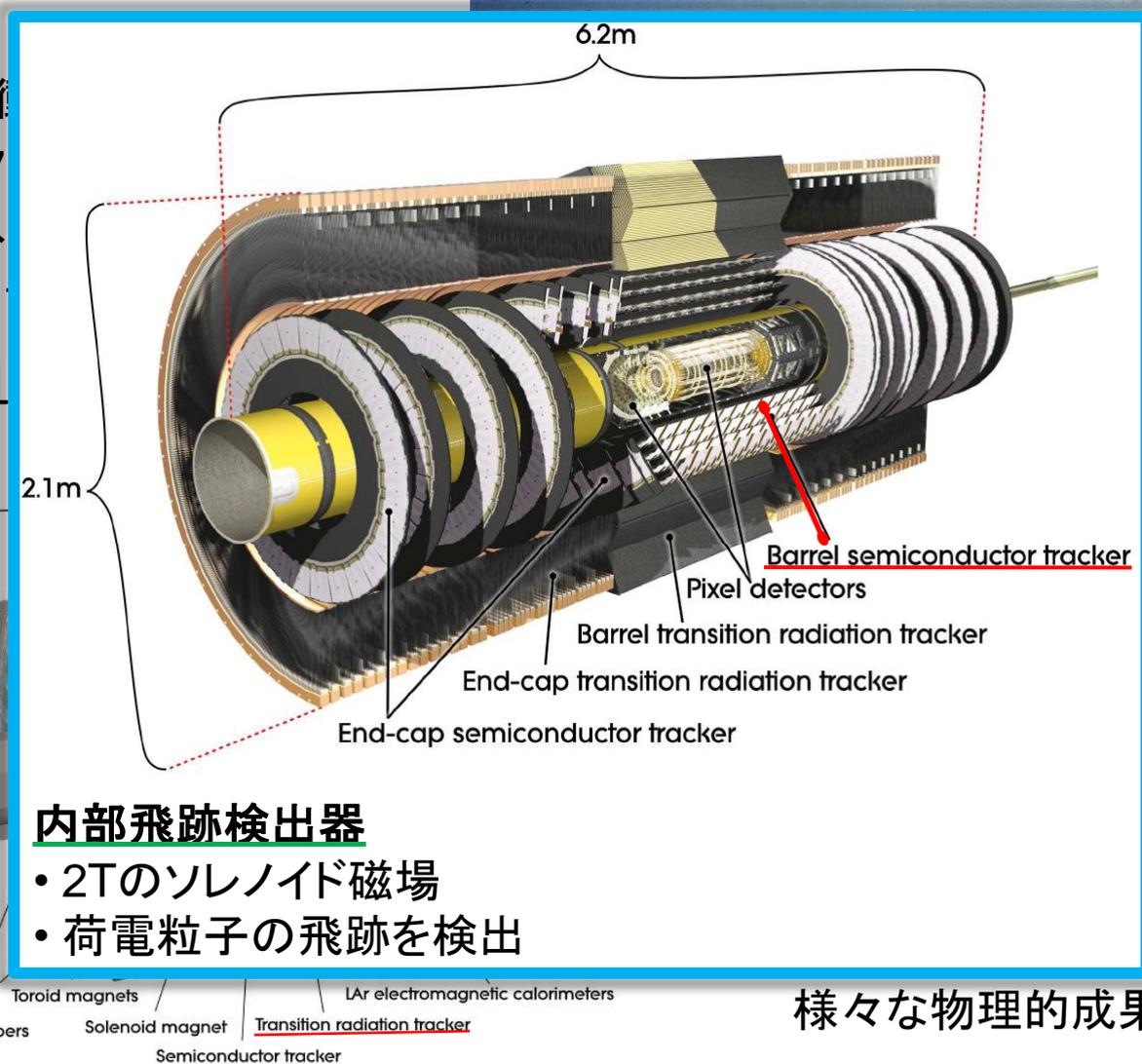
- 研究背景
 - LHC / ATLAS検出器 / 内部飛跡検出器
 - SCT (SemiConductor Tracker)
 - 動作原理
- 研究目的
- 研究内容
 - ノイズ発生率の評価
 - モジュール温度分布
- まとめ / 今後

LHC / ATLAS検出器 / 内部飛跡検出器

LHC

- 陽子・陽子衝突
- 周長: 約27km
- 重心系エネルギー: 4.5TeV
- ルミノシティ: 10³⁴ cm⁻²s⁻¹

2008年9月1日



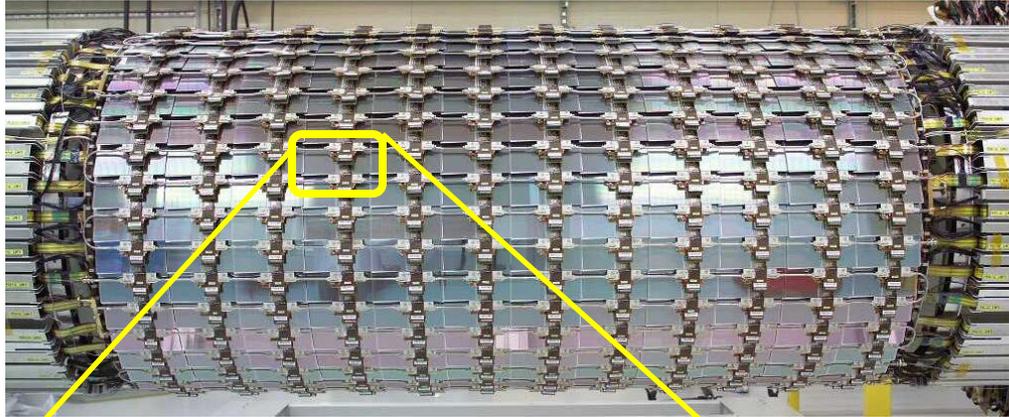
一つに置かれた

器

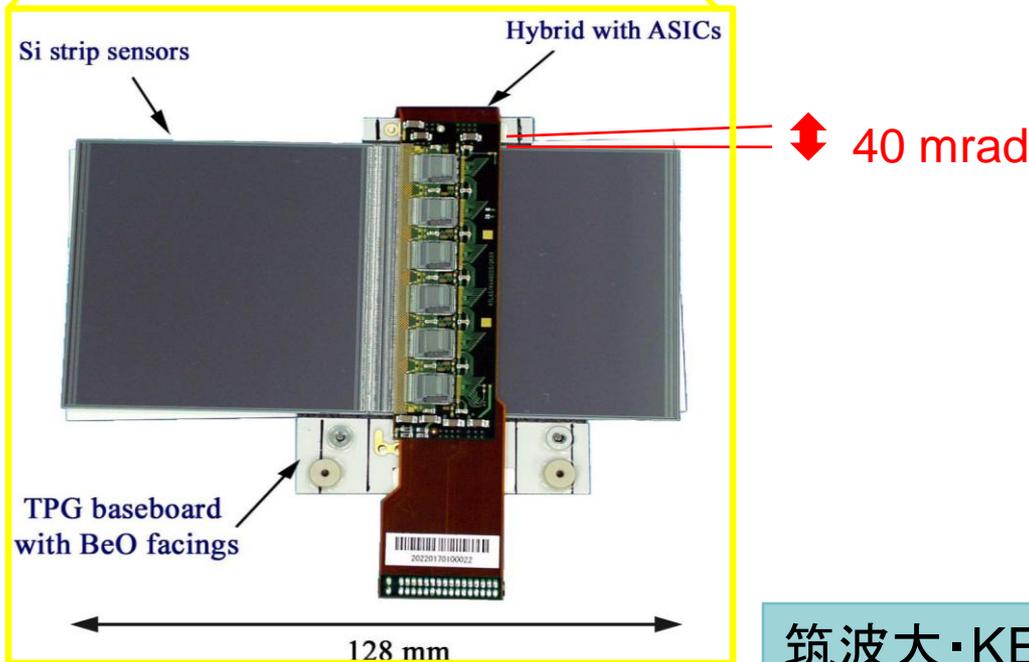
など

様々な物理的成果が期待される

バレルSCT / モジュール



layer	# eta (eta #)	# phi	# modules
0	12 (-6~-1, 1~6)	32	384
1		40	480
2		48	576
3		56	672
total			2112



センサー

- モジュールの片面をリンクという
- 片面に6cm × 6cm × 2枚
- マイクロストリップ
 - ✓ リンク当たり768本
 - ✓ ±20 mrad のステレオ角

読み出しASIC

- 128 ch / chip
- 6 chips × 2面 = 12 chips
- バイナリー読み出し

筑波大・KEK等が開発・建設に携わってきた

SCT の動作原理

アナログ→ON,OFF

読み出し

プリアンプ

コンパレータ

Threshold

- センサー部分は高純度のn型シリコン半導体

- 逆バイアス電圧を印加して、全空乏化して用いる。

- バイアス電圧

- Typical : 150 V

- Max.* : 500 V

- HV current

- Typical : 0.3 μ A

- Max.* : 5 mA

- Threshold

- Typical : 1 fC

*systemの許容値

e : 電子
h : ホール

SiO₂

Al ストリップ電極

Si₃N₄

p⁺インプラント

285 μ m

nバルク

n⁺

Al

荷電粒子

逆バイアス
電圧

研究目的

- SCTは現在地下のATLAS検出器本体にインストールが完了し、現在コミッショニング中である。
- 本研究ではバレルSCTのノイズ、温度のモニター測定に基づき、他の検出器と組み合わされた状態でのSCTが、設計通りの性能を示し、データ収集を開始できる段階にあるか評価する。

Noise Occupancy (NO)

- ストリップ当たり

$$\text{NO} = \frac{\text{ストリップ当たりのヒット数}}{\text{トリガー数}}$$

- リンク(モジュールの片面)当たり

$$\text{NO} = \frac{(\text{リンク当たりのヒット数})}{(\text{トリガー数}) \times (\text{リンク当たりのストリップ数}(768))}$$

- SCT の NO の設計値 $< 5 \times 10^{-4}$ /ストリップ

Bad strip (NO $> 5 \times 10^{-4}$ を含む) $< 1\%$ と品質管理されている。NOが大きなストリップはマスクされ、リンク当りNOは1%を超えない。

※ Threshold $\simeq 1$ [fC]

Noise Occupancy Map

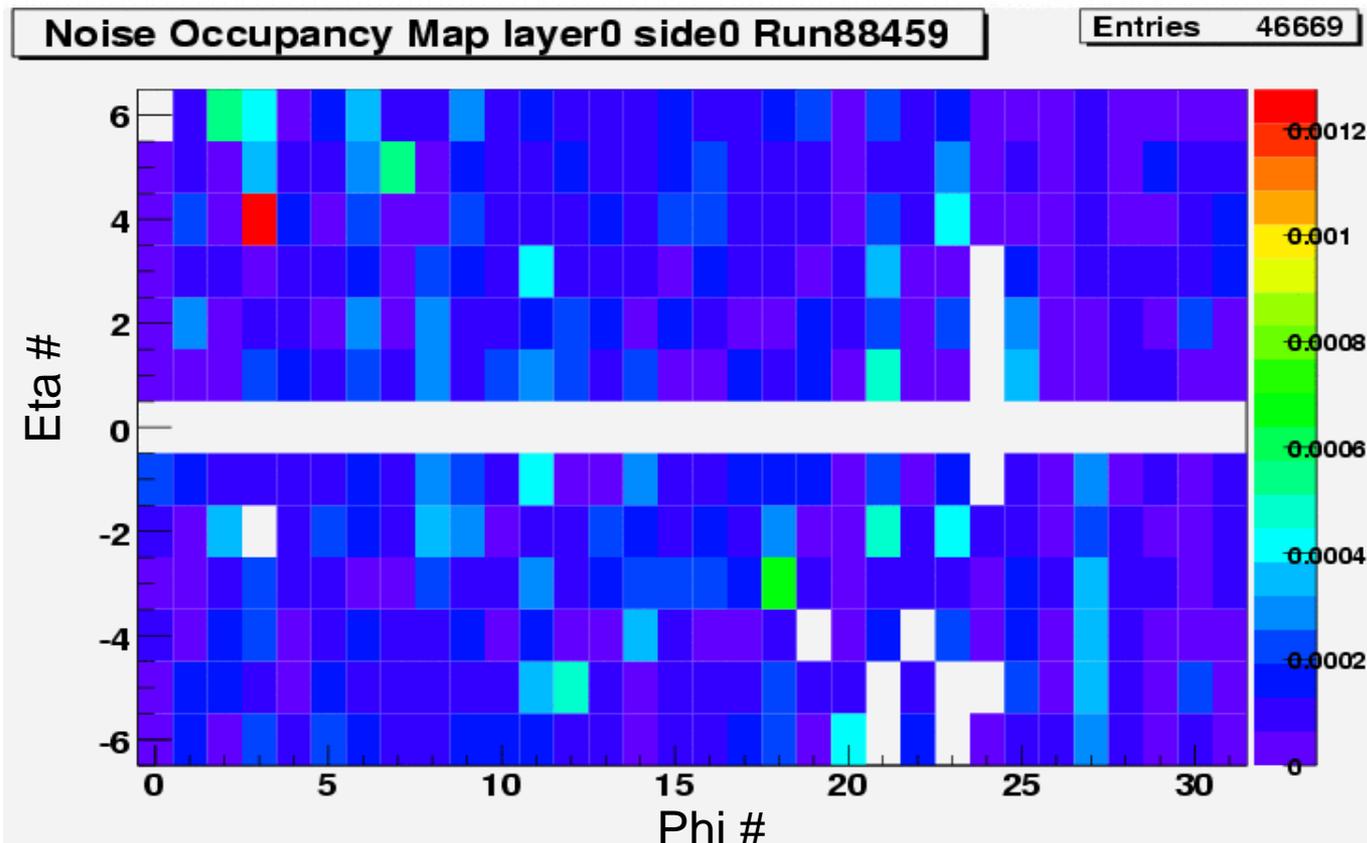
2008年9月14日

Cosmic Run

温度 ~ 7°C程度

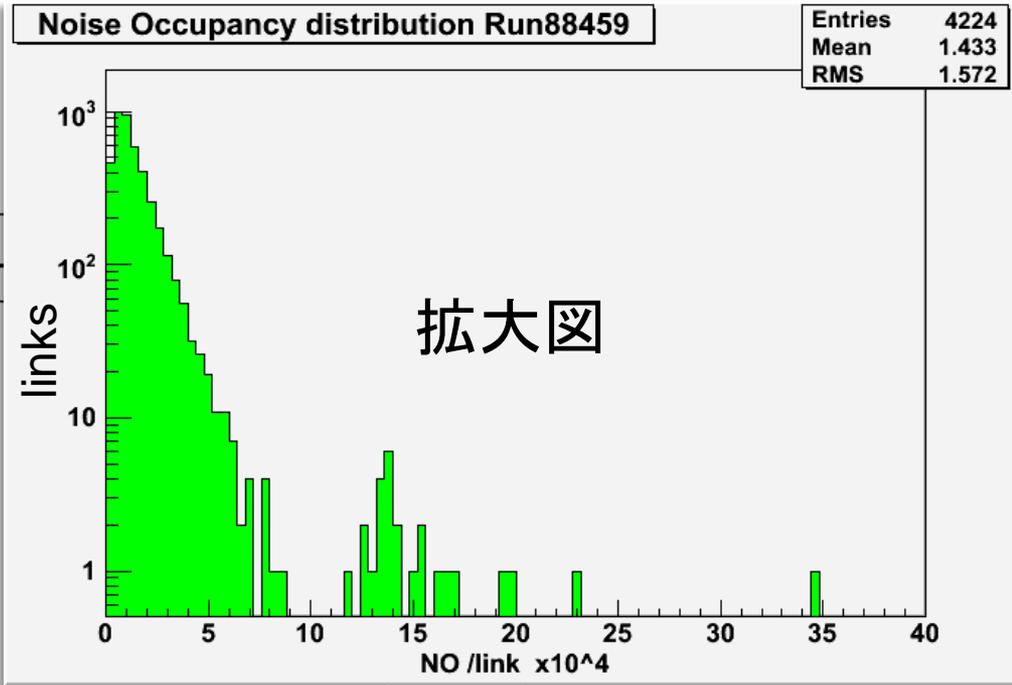
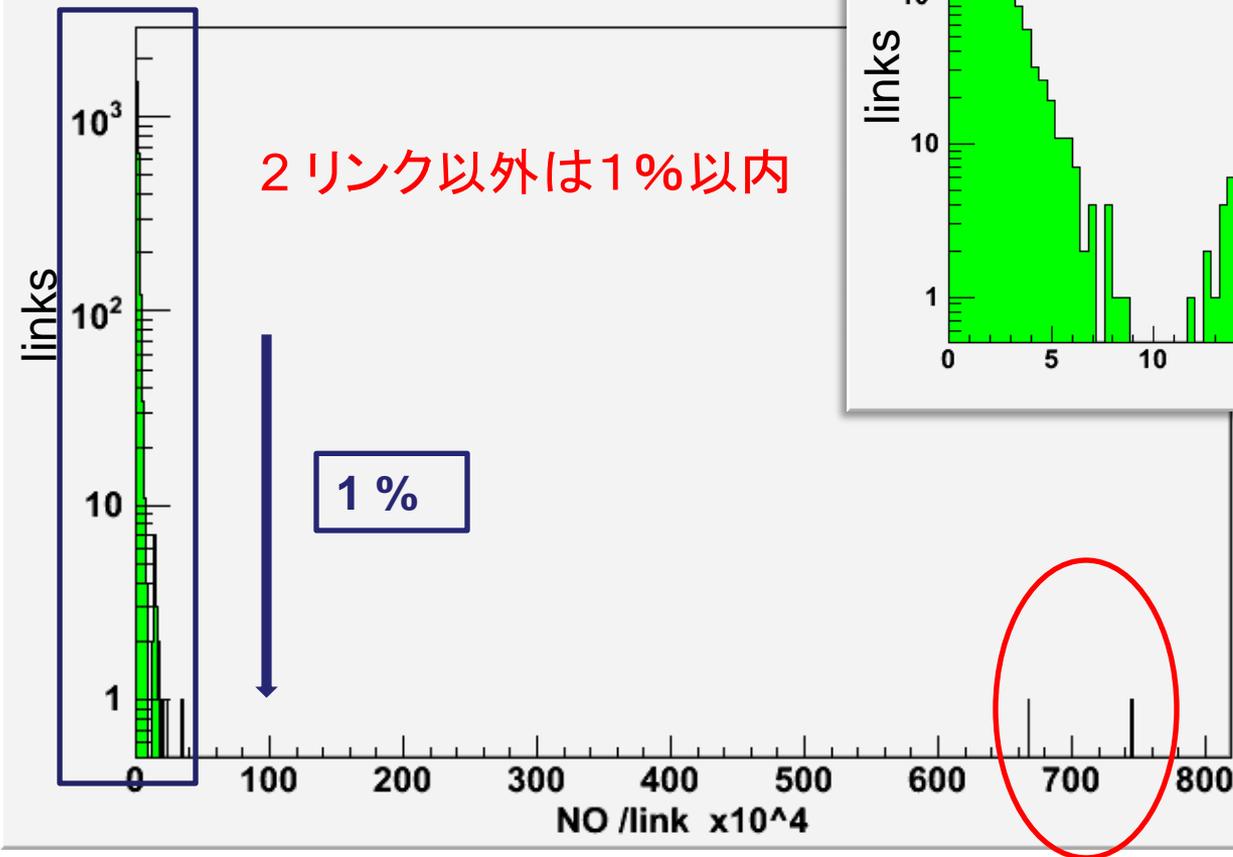
一番内側のlayer 0 side 0について

✓各layerの内側が side 0 ,外側が side 1



リンク当たりのNO の分布

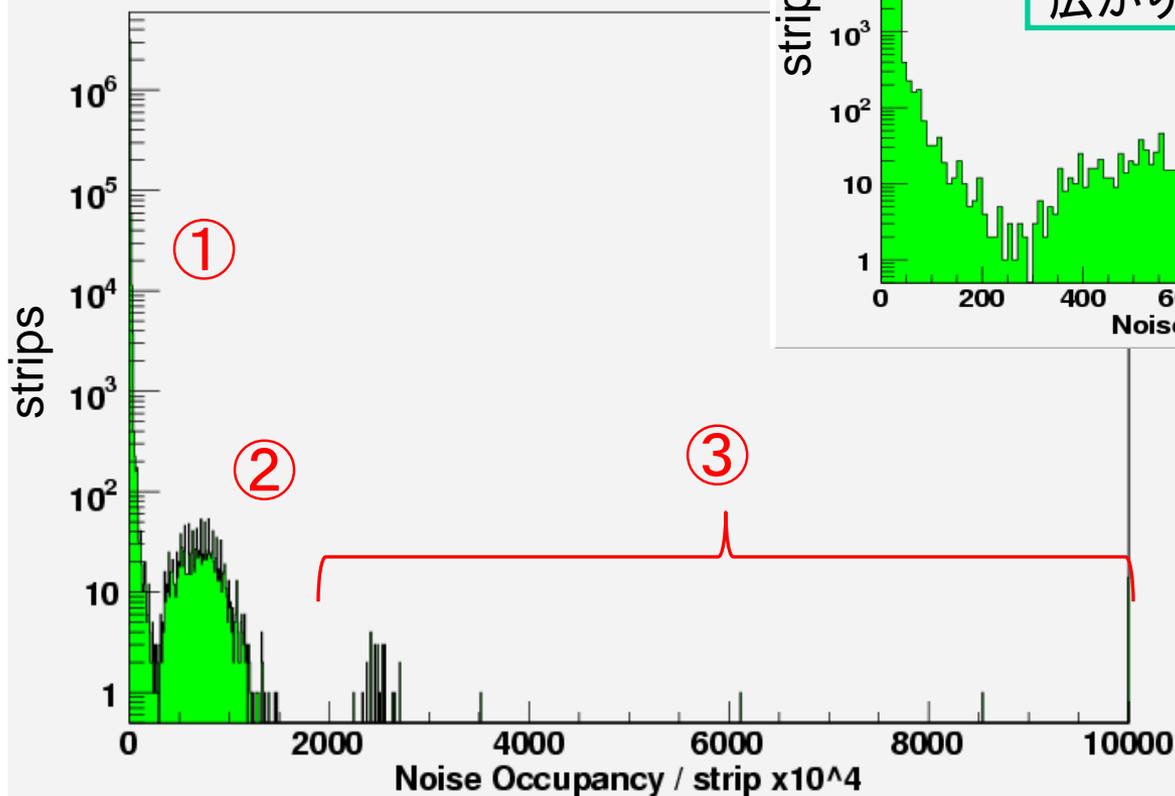
Noise Occupancy distribution Run88459



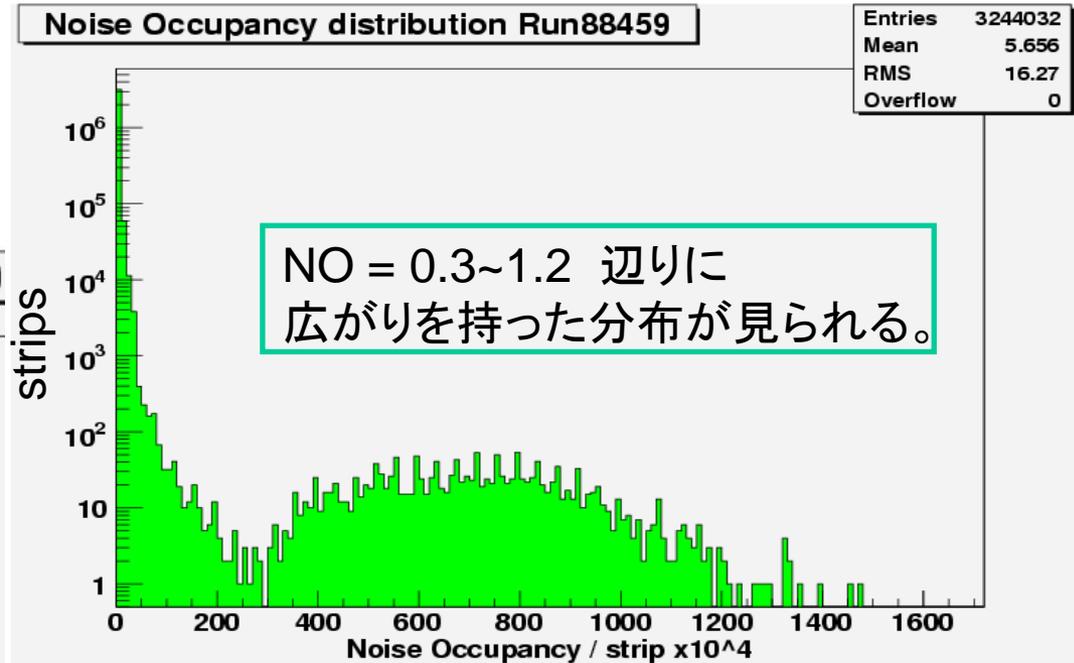
ストリップ当たりのNOの分布

ストリップ当たりのNOを
全てのバレルについて確認

Noise Occupancy distribution Run88459

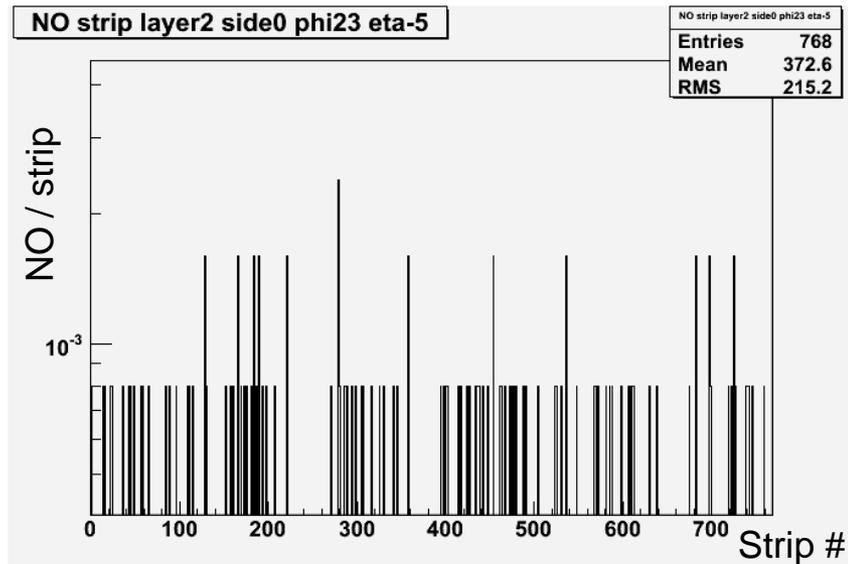
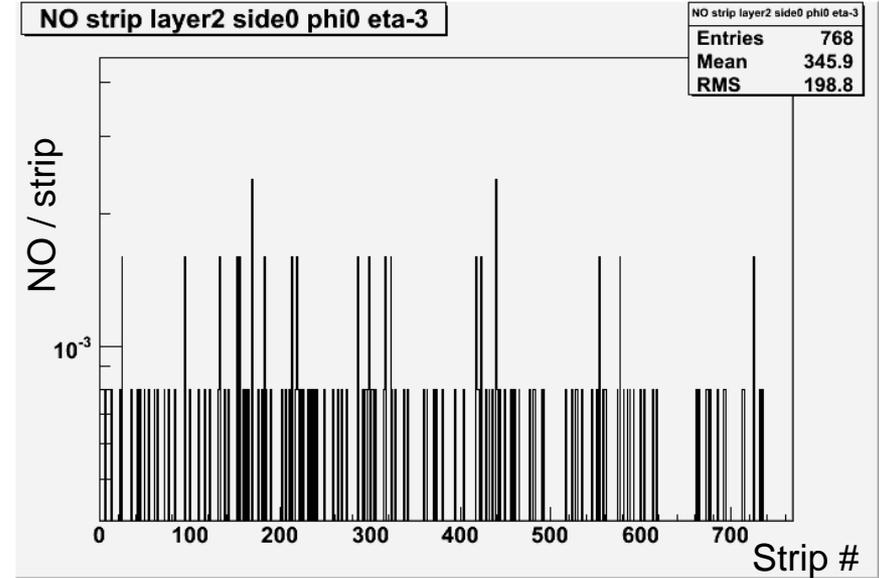
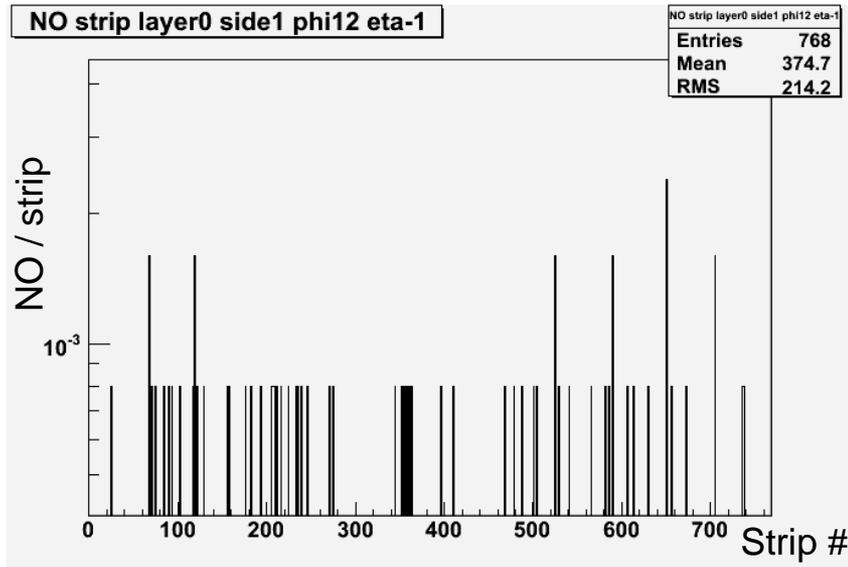


Noise Occupancy distribution Run88459



- ① 一般的な分布
- ② 広がりを持った分布
- ③ 高NO

ストリップ当たりのNO(1)



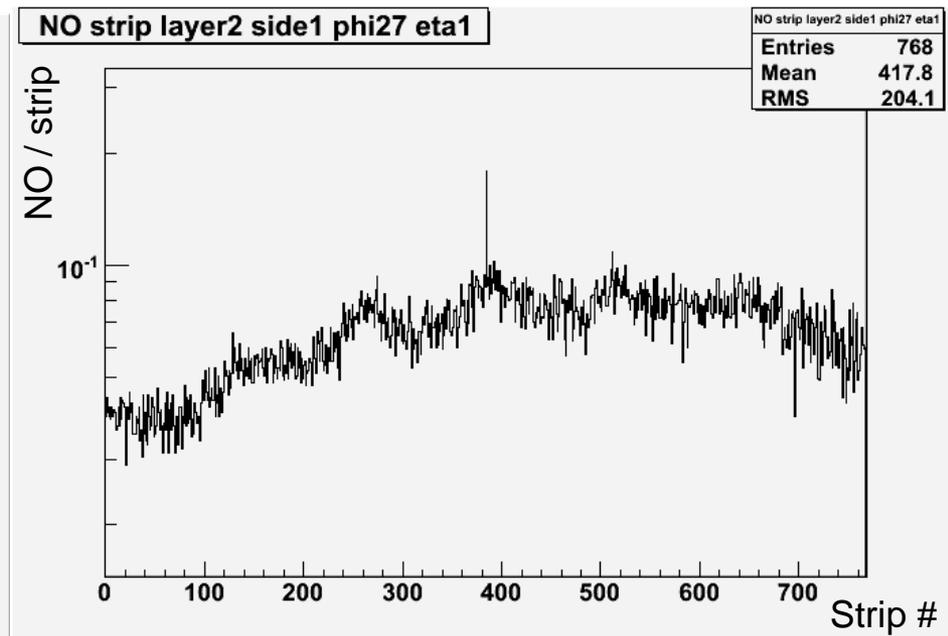
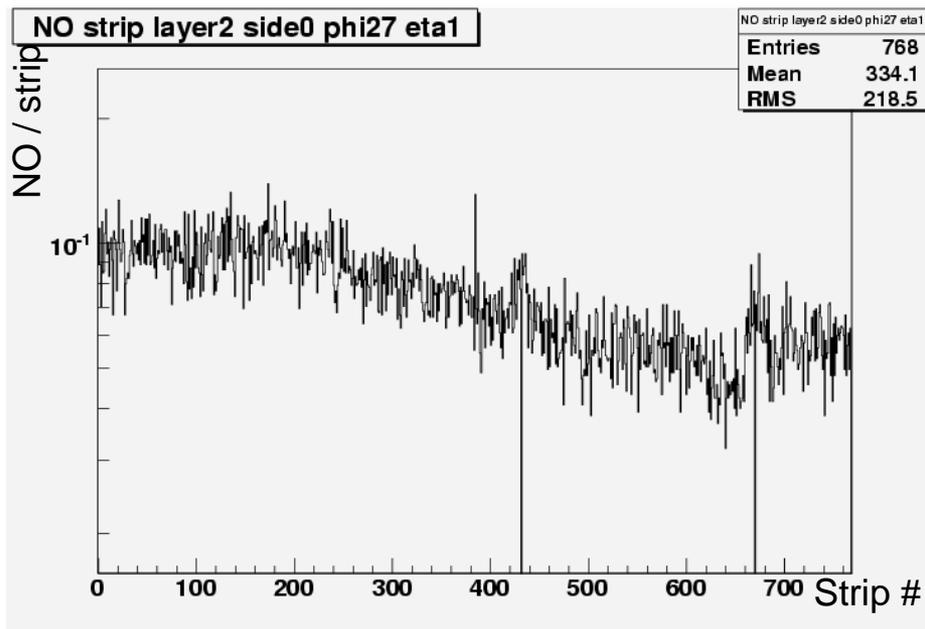
リンクごとに見ている。

通常のストリップのNOは
このような分布をする。

ストリップ当たりのNO(2)

広がりを持ったNO分布内のストリップを含むリンクを調べた。

原因はこの2リンク



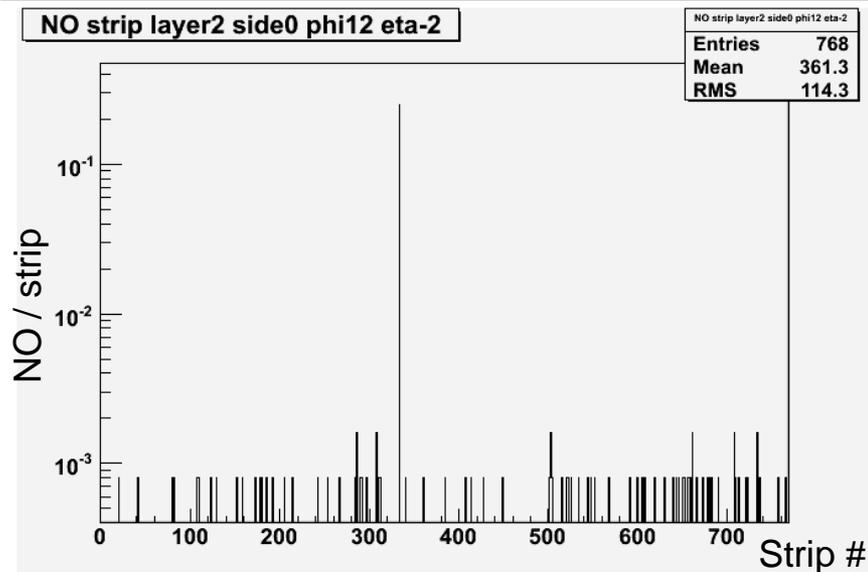
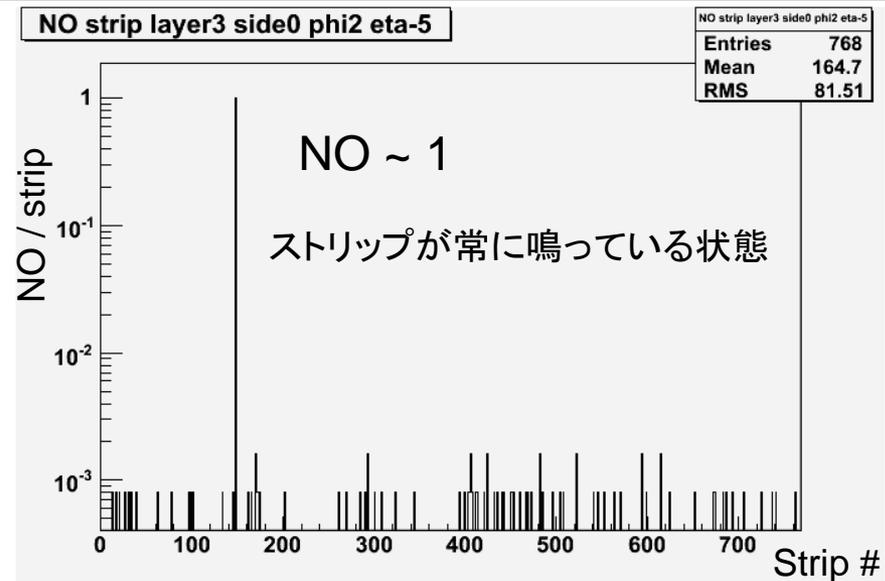
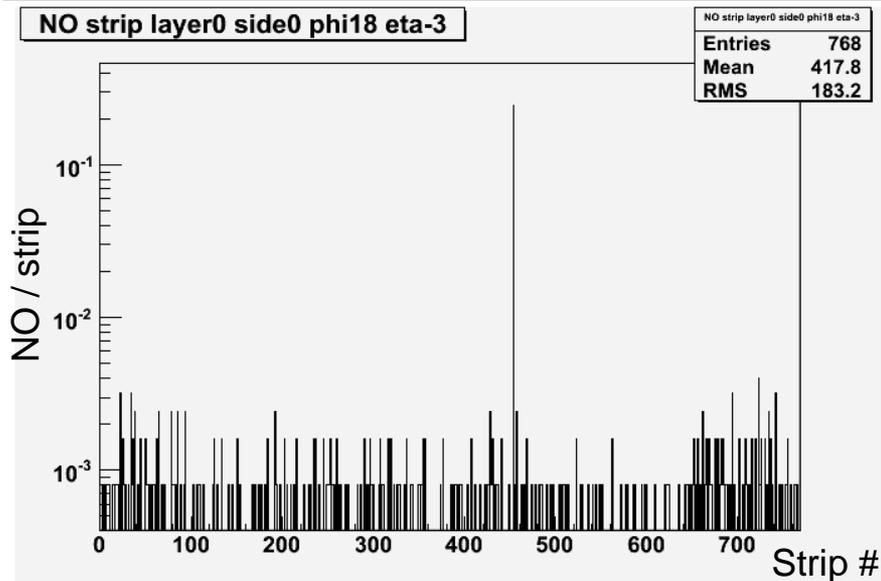
$3 \cdot 10^{-2} \sim 10^{-1}$ 程度のNOのストリップがリンク全体を占めている。

この2リンクは同じモジュールの表と裏



HVをかけていないことが原因と思われる。

ストリップ当たりのNO(3)



NOが高いストリップを特定



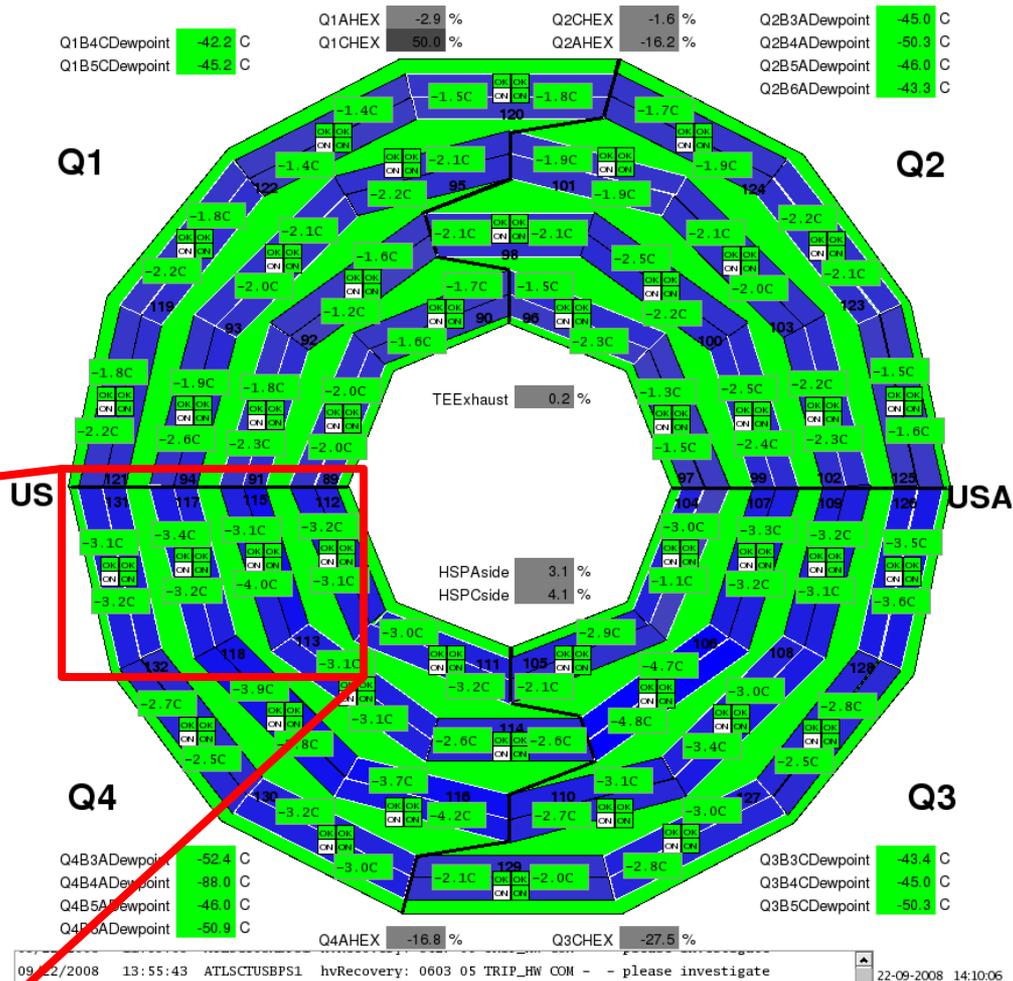
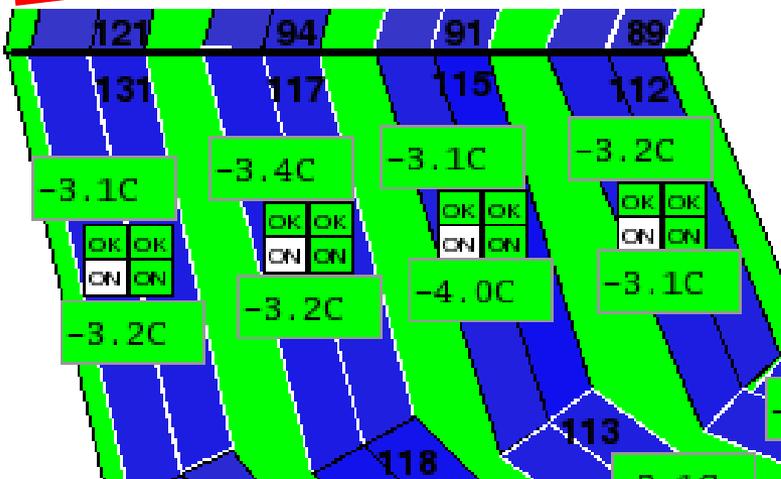
実際にオペレートする際は
読み出さないようにされる。

Detector Control System (DCS)

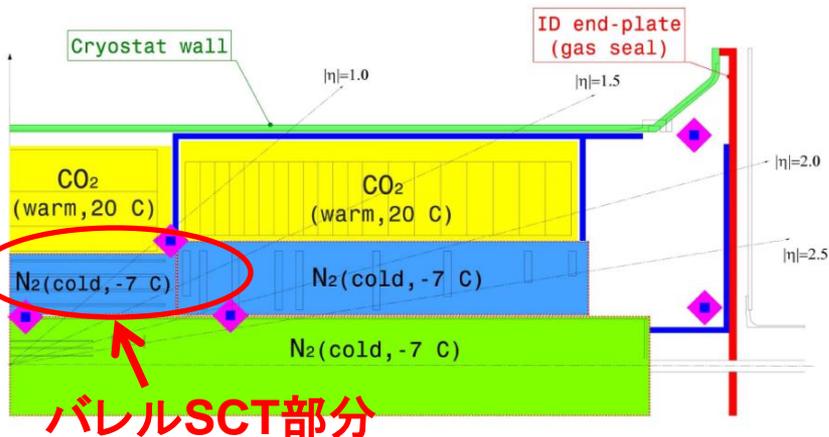
- Cooling
 - Power Supply
 - Environment
- などのモニター/コントロール



検出器を最適な状態に保つ



モジュールの冷却



センサーの放射線損傷を低減するため約-7°Cで動作させる。

現在コミッショニング中は約7°C

SCT coolant : C₃F₈ 液体

→モジュール直前で液体固体混合相

→循環後液体に戻し回収

モジュール温度 (T_{m0}, T_{m1})

Link毎に測定

φ

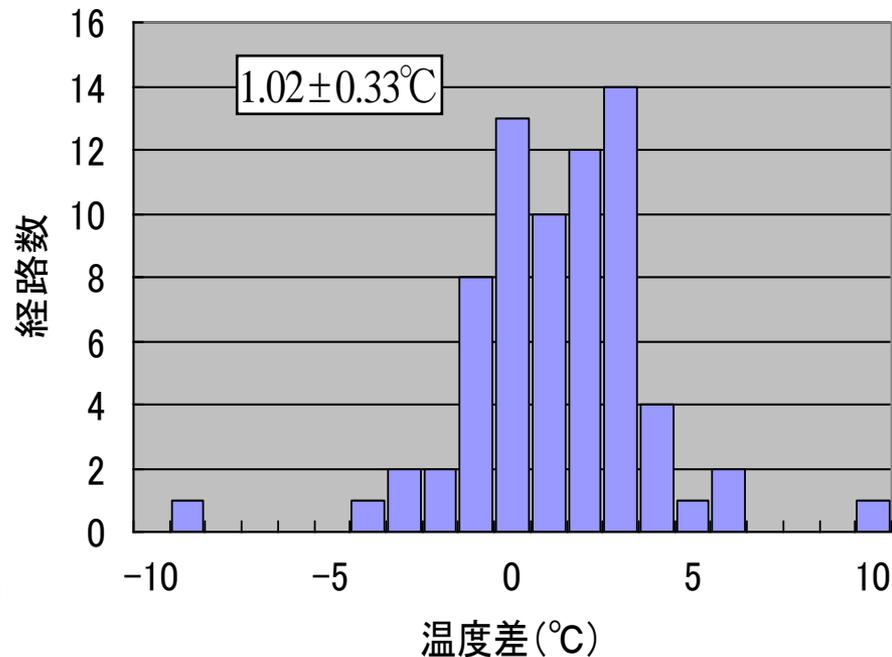
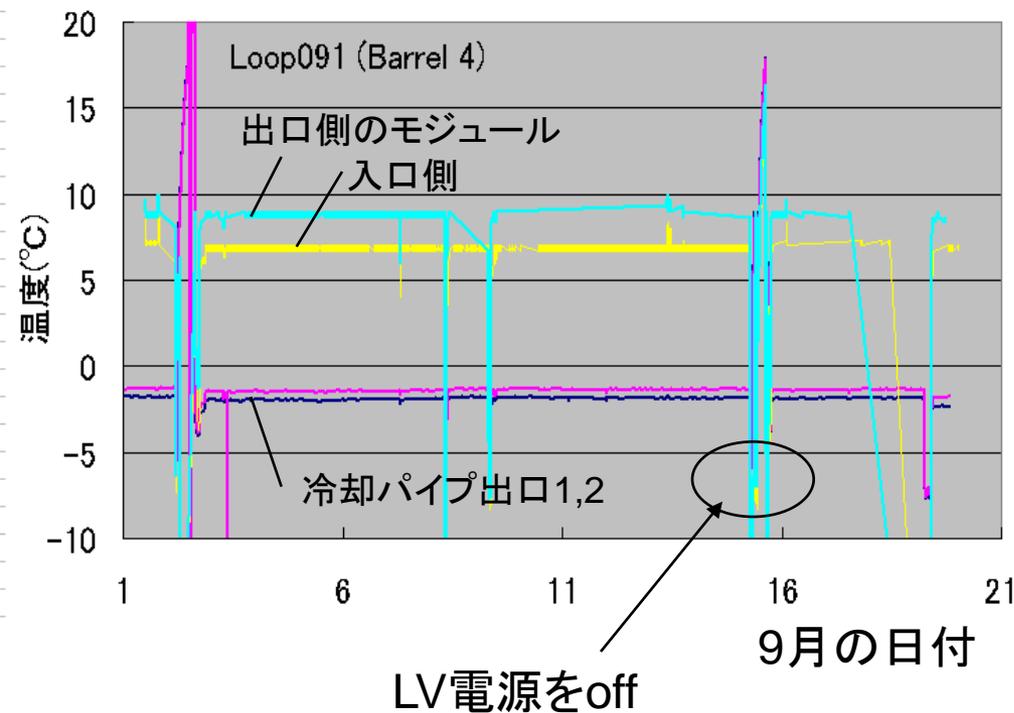


冷却パイプ 出口の温度

冷却経路内での温度差分布

冷却経路ごとに、入口と出口に位置するモジュール温度から、温度差を評価

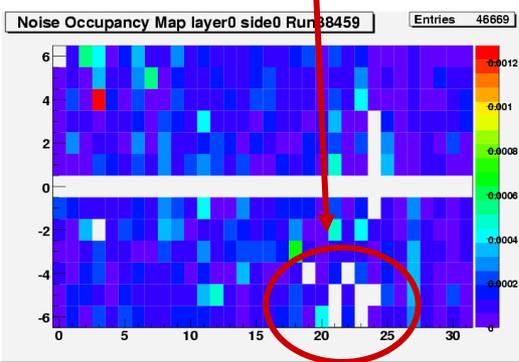
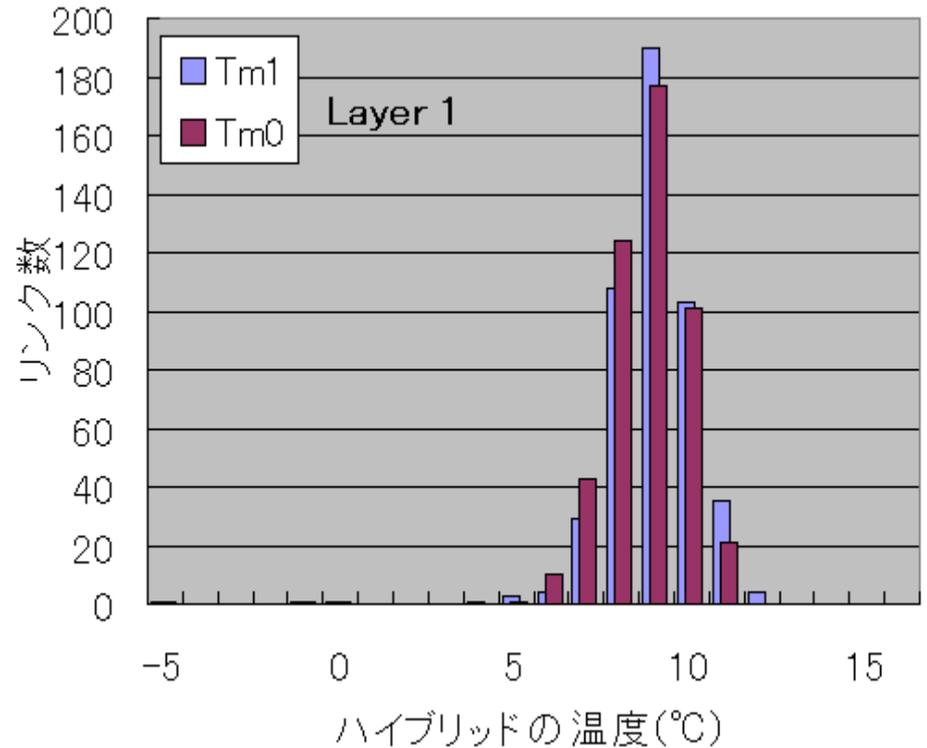
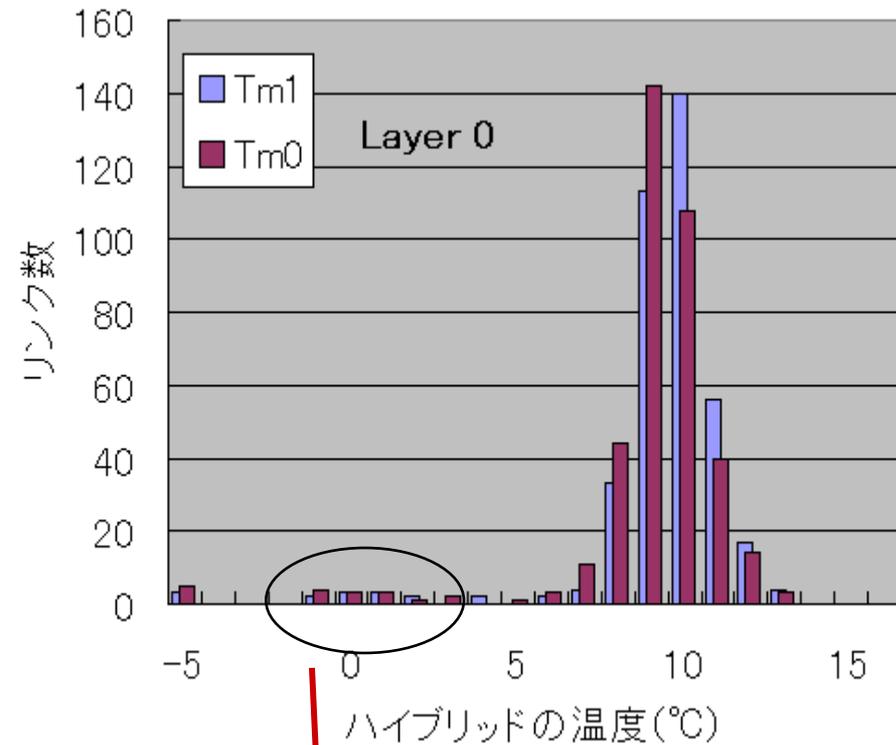
9月8日12時でのBarrel Layer0と1に対する温度差分布



大きな温度上昇は見られない。

モジュール温度の分布

9月8日12時



	Layer 0	Layer 1
Tm0	8.5°C (3.4°C)	8.4°C (1.5°C)
Tm1	8.9°C (3.1°C)	8.6°C (1.5°C)

()内はRMS

まとめ / 今後

- 宇宙線データを用いてSCTのNoise Occupancy を調べた。

NOが異常なストリップ・モジュールを特定することができた

(HVを加えていない調整中のモジュール数 9月14日)

LAYER 0 13モジュール

LAYER 1 4モジュール

LAYER 2 8モジュール

LAYER 3 6モジュール

HVを加えていないが読み出しはしているモジュール数 1モジュール

- DCS温度モニターによりモジュールの温度分布を調べた。

冷却経路出入口間の温度上昇は 1°C 程度見られた。

モジュール温度のばらつきは約 1.5°C

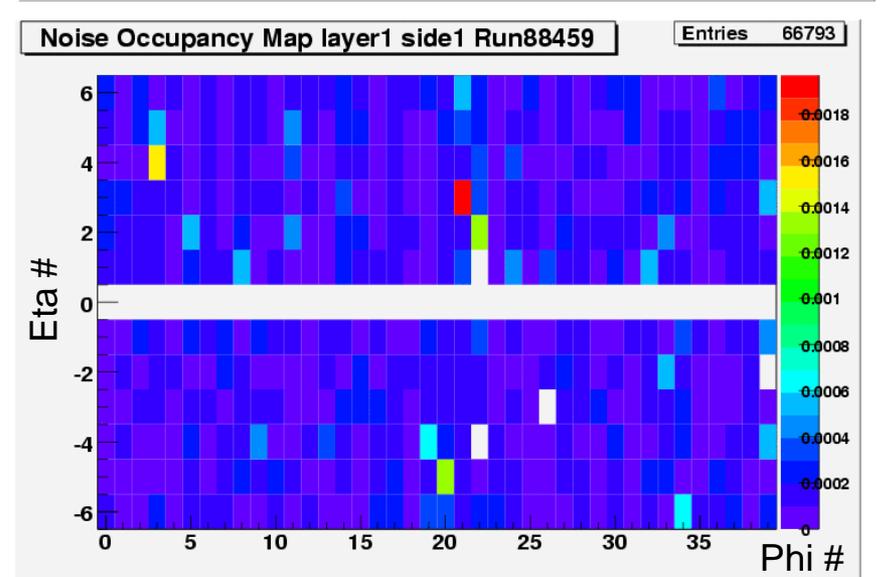
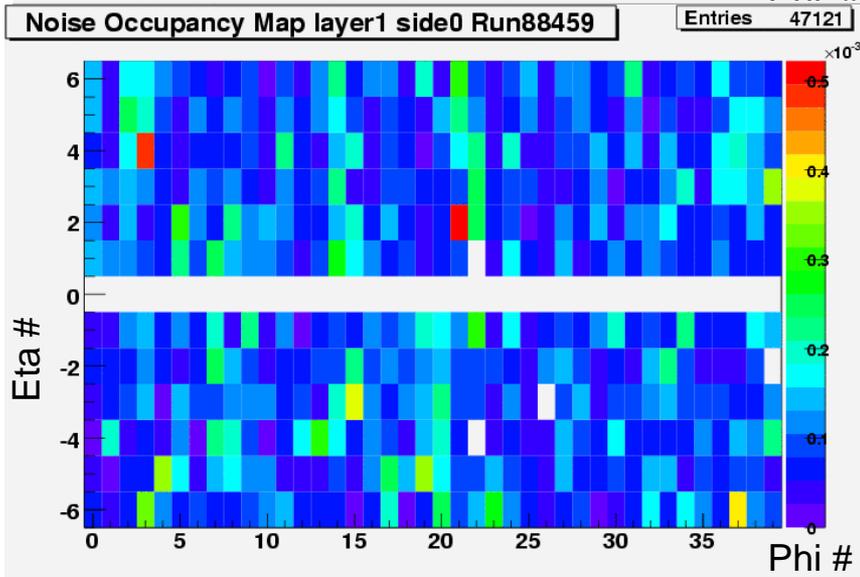
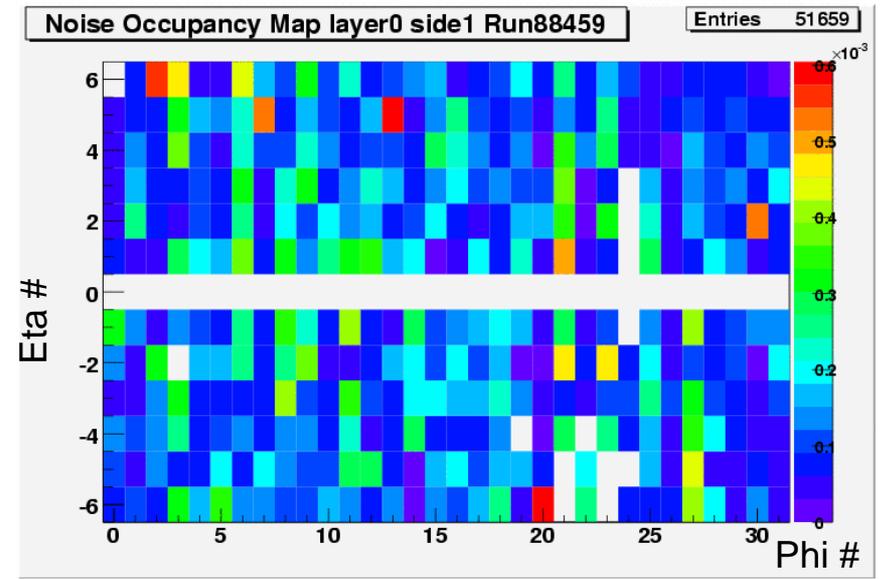
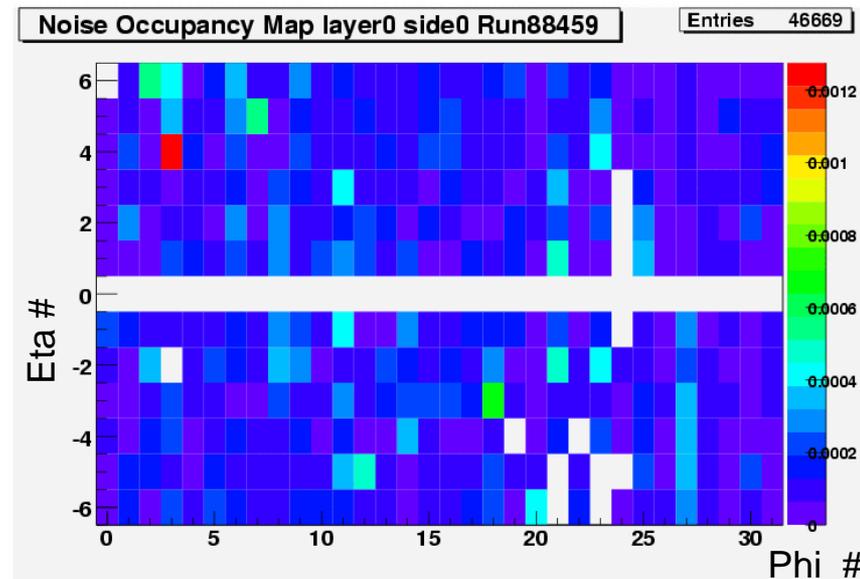
- ✓ HVがかけられていなかった原因を調べる。
- ✓ 最新のデータ(ビームがある時など)で同様のモニターをする。

Backup

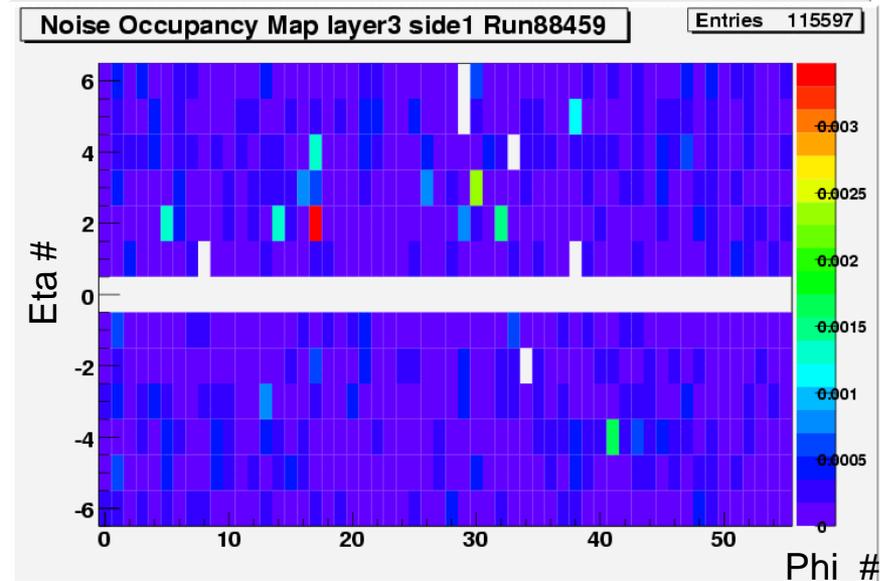
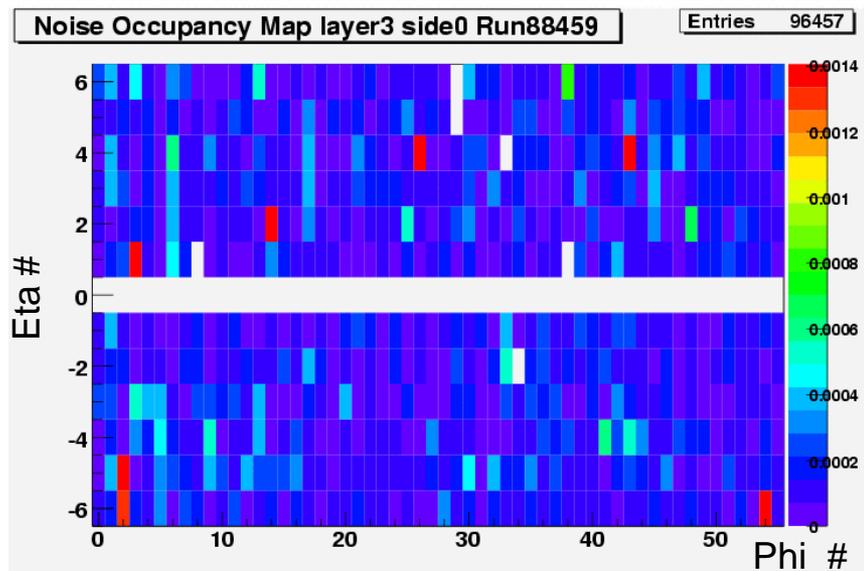
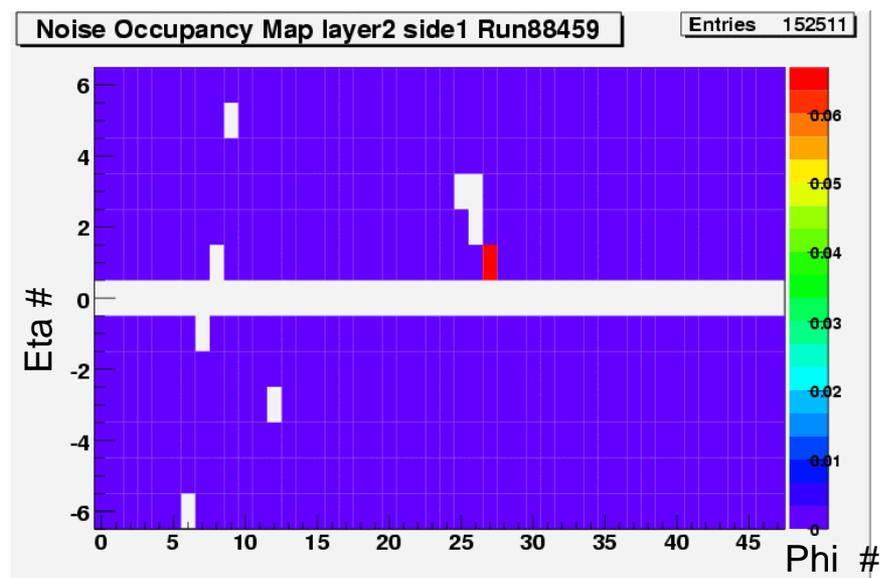
参考文献

- ATLAS Collaboration, *The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider*, 2008 JINST 3 S08003.
- D. Aitree et al., *The evaporative cooling system for the ATLAS inner detector*, 2008 JINST 3 P07003.
- A.Barriuso Poy et al., *The detector control system of the ATLAS experiment*, 2008 JINST 3 P05006.
- ATLAS Collaboration, *ATLAS inner detector: technical design report. 1*, CERN-LHCC-97-016; *ATLAS inner detector: technical design report. 2*, CERN-LHCC-97-017.

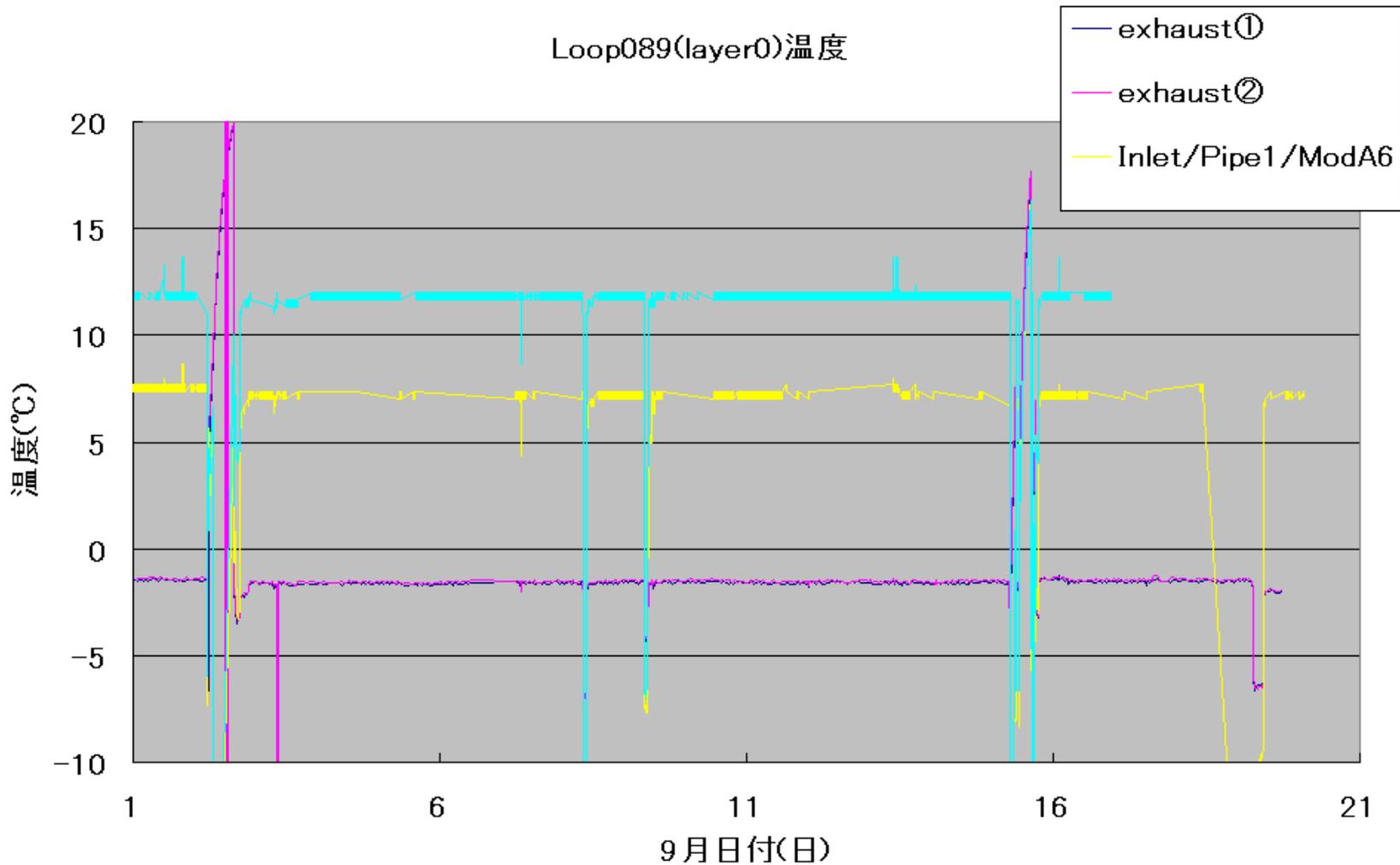
Noise Occupancy Map



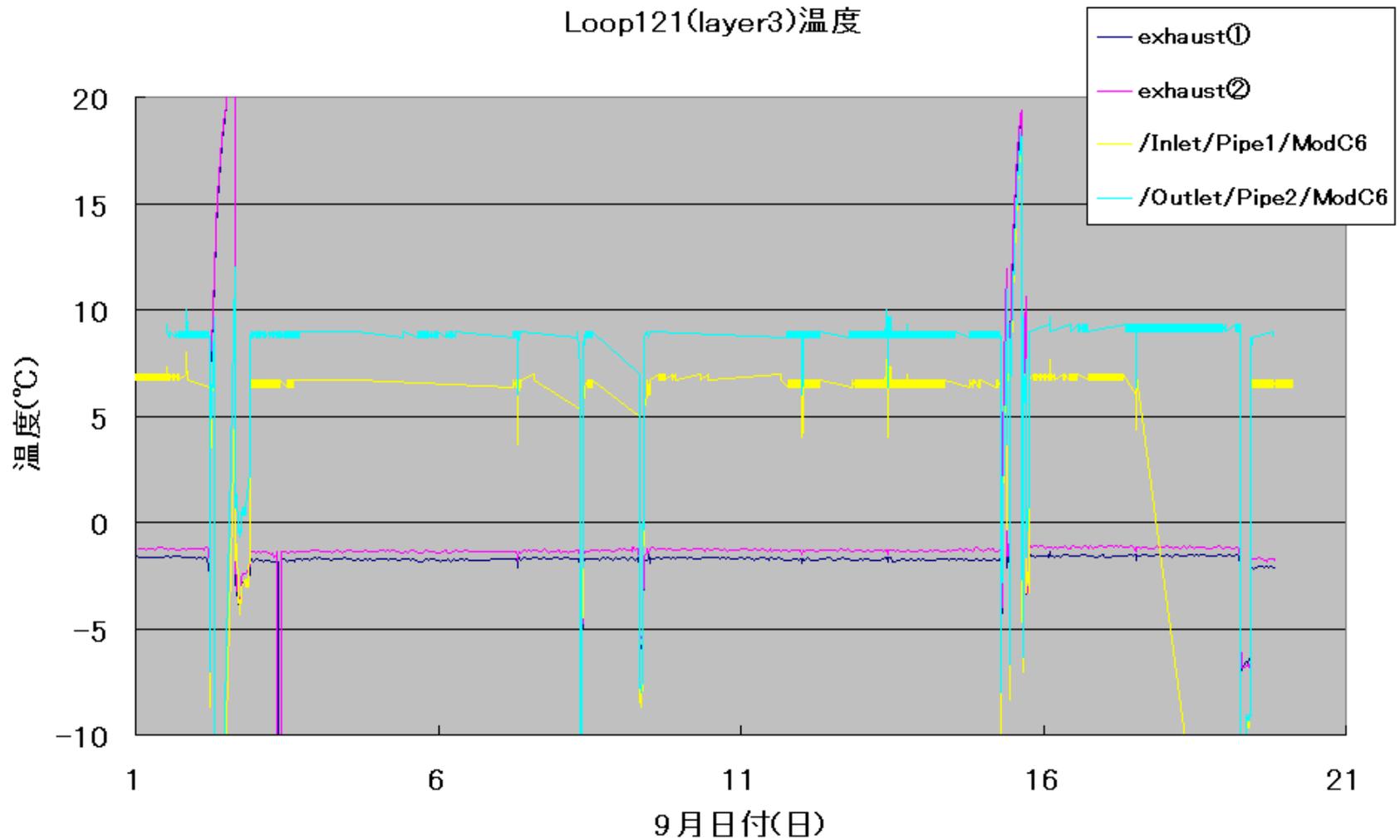
Noise Occupancy Map



温度のモニタリング(2)



温度のモニタリング(3)



読み出し Threshold

シリコンについて

- dE/dx of MIP $\approx 1.6 \text{ MeV g}^{-1} \text{ cm}^2$
- 密度 2.34 g/cm^3
- 厚さ $285 \mu\text{m}$
- e-h 対生成エネルギー 3.6 eV

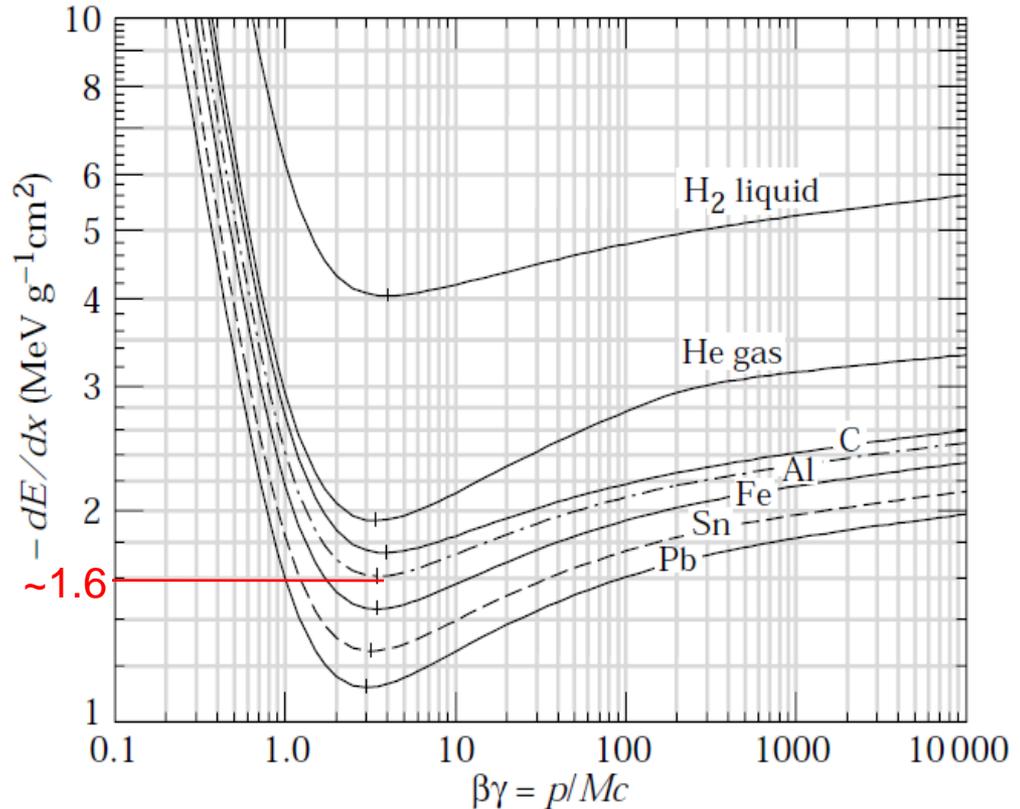
$$\therefore \text{MIP のエネルギー損失} \\ = 1.6 * 2.34 * 2.85 * 10^{-2} = 93 \text{ keV}$$

$$\therefore 93[\text{keV}]/3.6[\text{eV}] = 25000 \text{ e} \\ \text{実際は } 20000 \text{ e 程度}$$

$$2000 \text{ e} * 1.6 * 10^{-19} [\text{C/e}] = 3.2[\text{fC}]$$

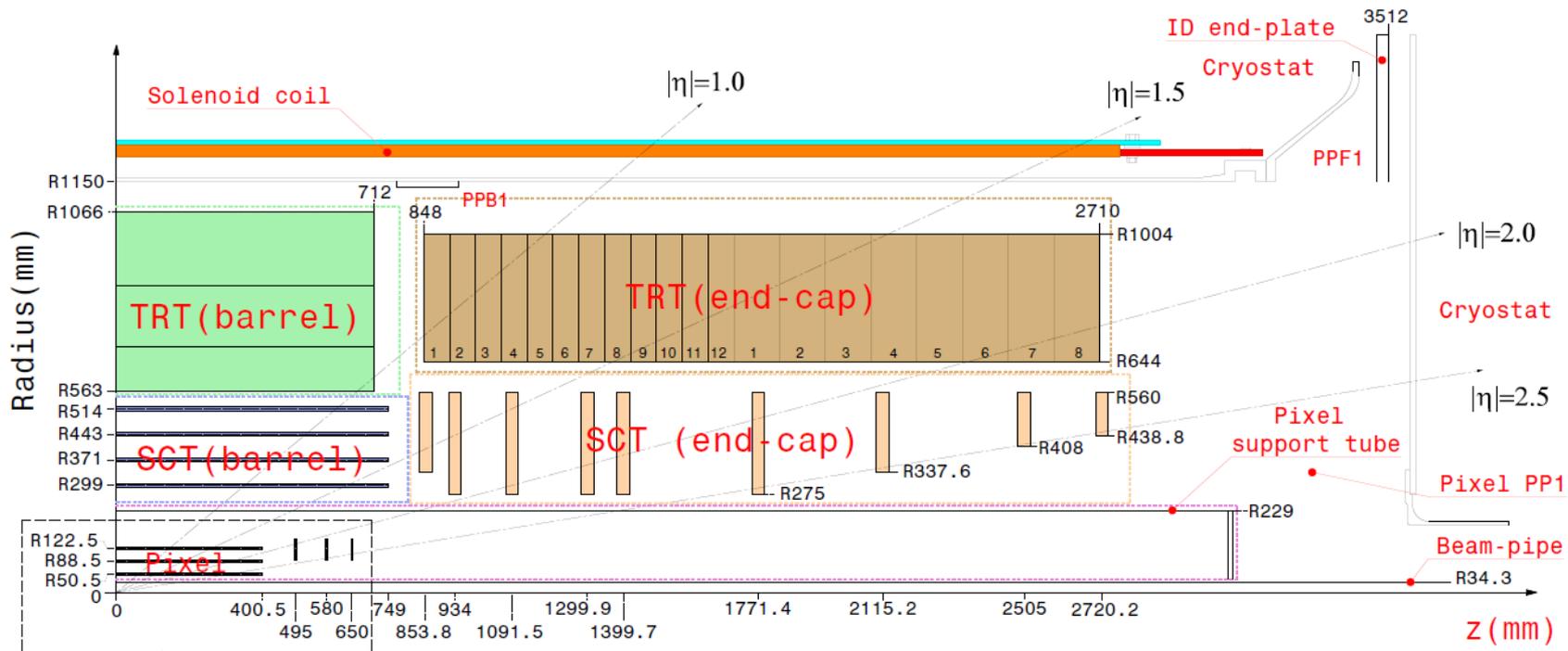
Equivalent Noise Charge (ENC)

$$\text{Nominal ENC} = 1500\text{e} \sim 1800 \text{ e} \\ = 0.24 \sim 0.288 [\text{fC}]$$



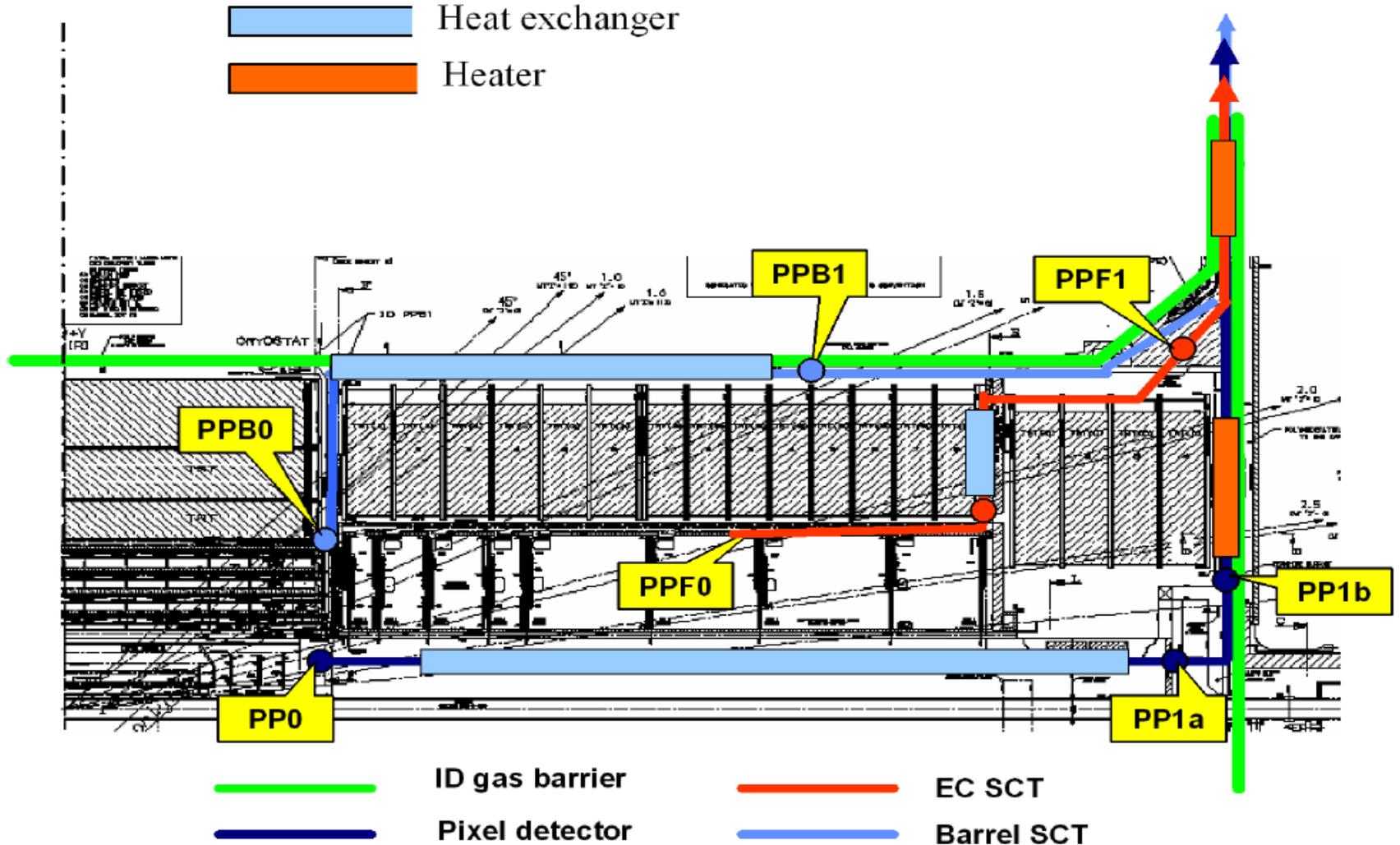
$$\therefore \text{threshold} \approx 1 [\text{fC}]$$

内部飛跡検出器の配置



Cooling

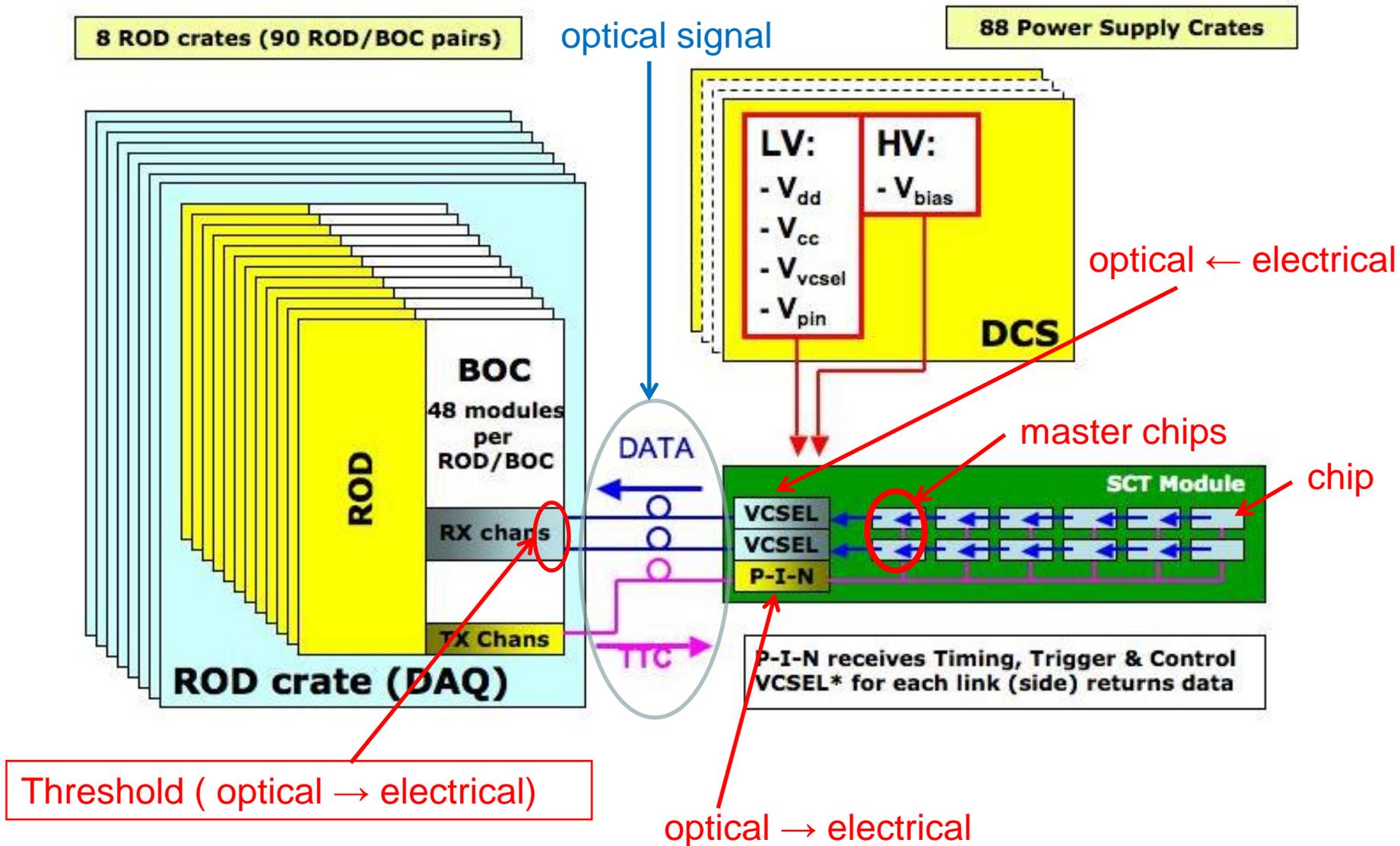
Z = 0



調整中のバレルSCTモジュール

- 原因(候補)
 - HV card に問題
 - PIN 電流が小さすぎる(< 0.2 A. Typical : 0.5 A)
 - VCSELがショートした
 - HV overcurrent

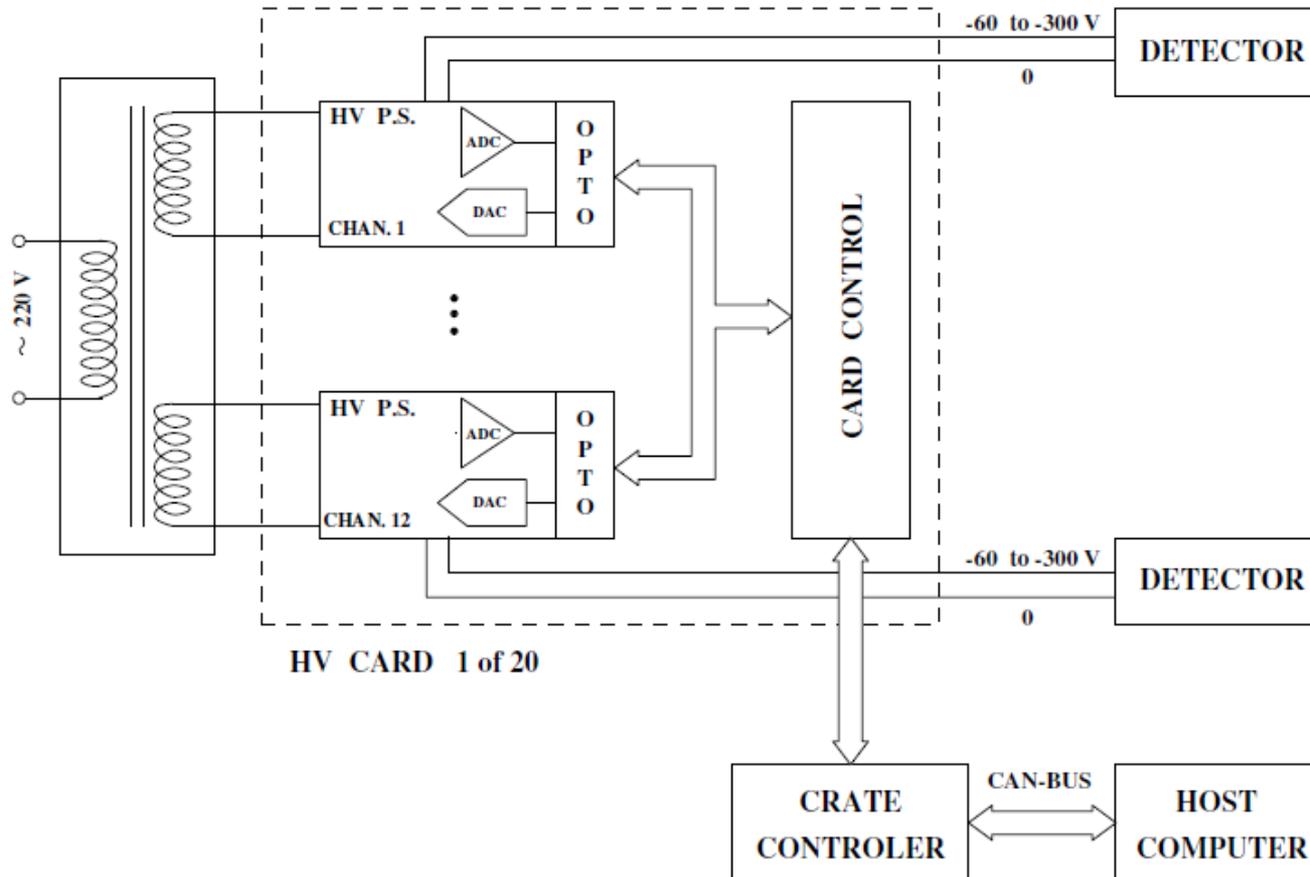
DAQ \Leftrightarrow SCT module (1)



DAQ \Leftrightarrow SCT module (2)

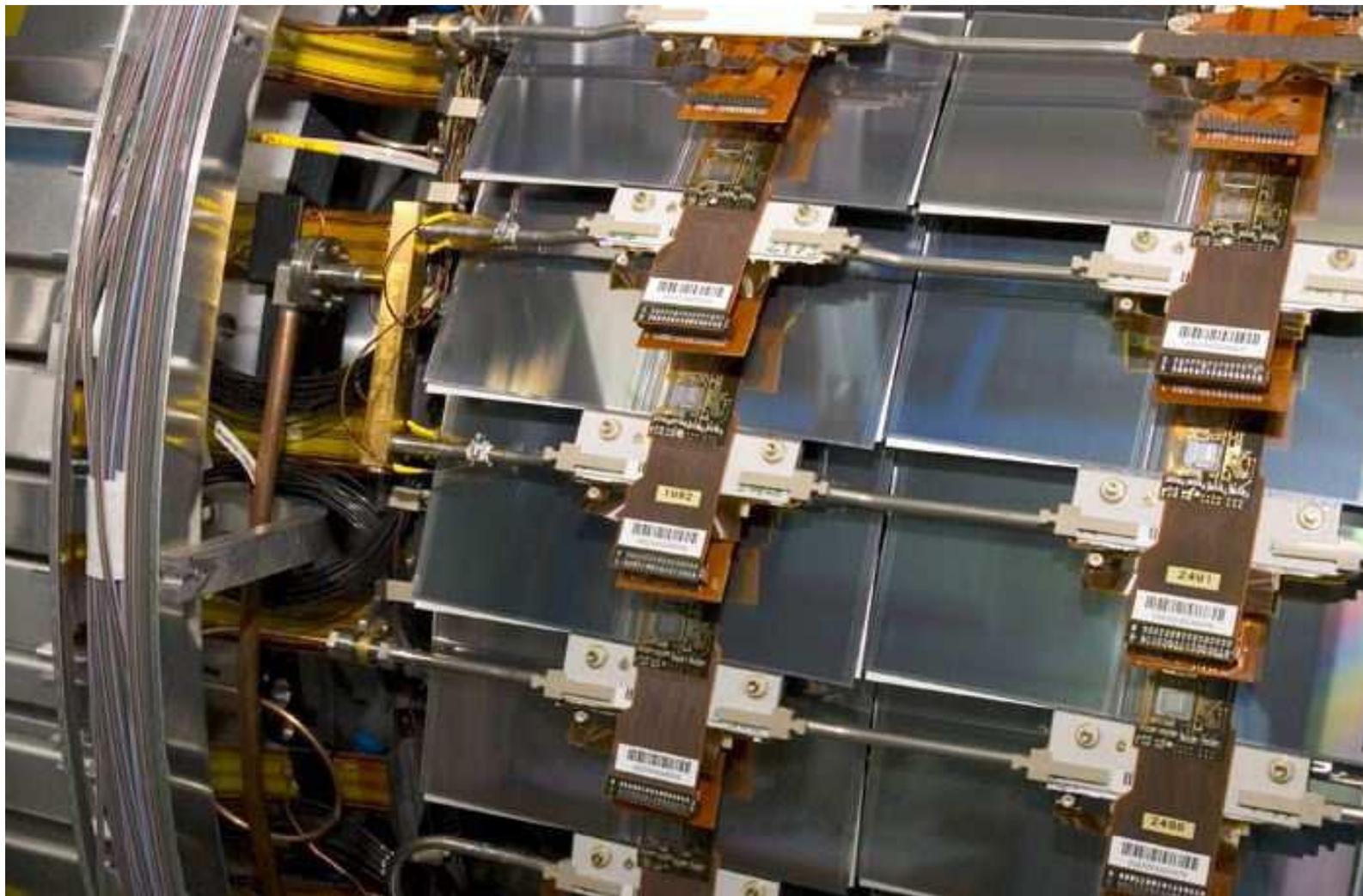
- VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) *2
 - Return data from each side of one module
 - The electrical signals generated by the two master chips on the module are converted to optical signals for transmission to the control room by two VCSELs (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) driven by the VDC (VCSEL Driver Chip).
- P-I-N diode
 - receives the timing trigger and commands (optical) signals
 - The DORIC chip (Digital Optical Receiver IC)
 - Decodes the encoded clock and command signals as received by the PIN diode and sends them to all twelve ABCD chips.
- There is a redundant command system for each module.

HV Power Card



Block Diagram of HV Power Card.

モジュールの設置(1)



モジュールの設置(2)

