

日本物理学会 第76回年次大会(2021年)

RHIC-sPHENIX 実験のための シリコン飛跡検出器 INTT の開発状況と 検出効率の評価

理研 BNL センター, 立教大理^A, 奈良女子大理^B, 都立産技研^C, 理研^D, JAEA^E

糠塚元気, 秋葉康之, 今井皓^A, 今川大輔^A, 黒田奈津貴^B, 近藤崇^C,

柴田実香^B, 下村真弥^B, 高濱瑠菜^B, 中川格^D, 並本ゆみか^B,

西森早紀子^B, 長谷川勝一^E, 蜂谷崇^{B, D}, 森田美羽^B

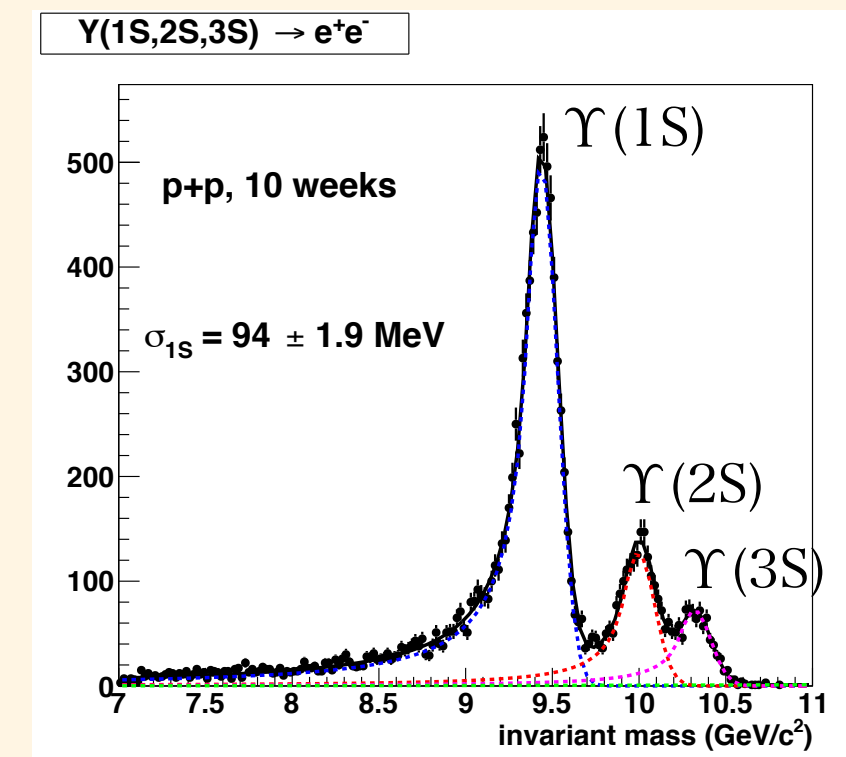


目次

- **RHIC sPHENIX 実験**
- **Intermediate tracker (INTT)**
 - INTT グループ
 - 概要
 - INTT ラダー：シリコンセンサー、stave
 - 準備状況
- **INTT テスト機を用いた検出効率の評価**
 - これまでに行ってきたテスト機の性能評価
 - セットアップ
 - 外部トリガーシステム、DAQ
 - 解析

RHIC sPHENIX 実験

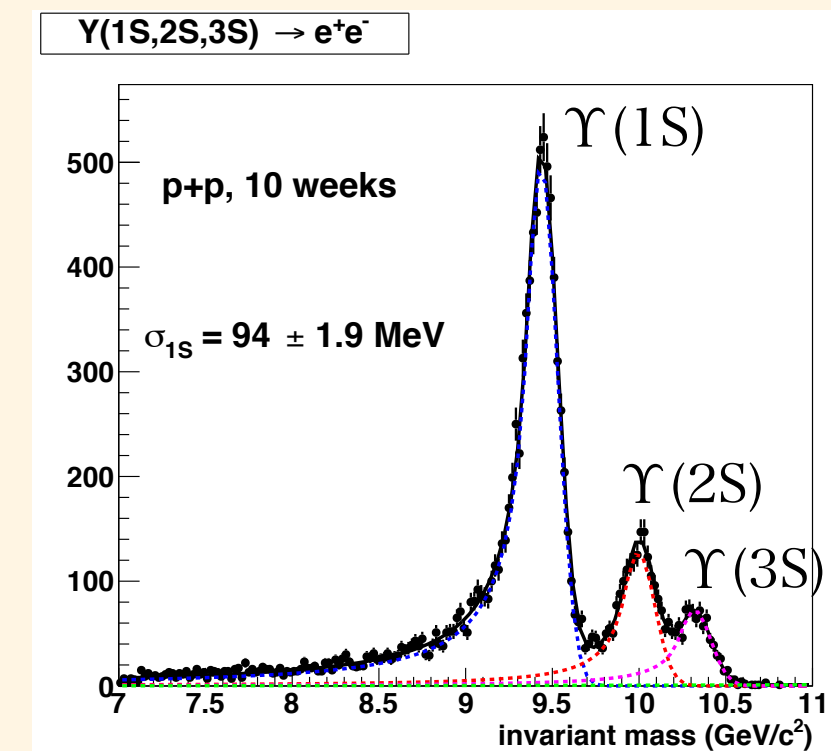
- 2023 年から稼働し、QGP とスピン物理の研究を行う
- RHIC での重イオン物理を完遂する
- ジェット (b クォークタグ、 γ)、 $\Upsilon(1S, 2S, 3S)$ を測定



$\Upsilon \rightarrow e^+ e^-$ チャンネルの不変質量分布
(シミュレーション)

RHIC sPHENIX 実験

- 2023 年から稼働し、QGP とスピン物理の研究を行う
- RHIC での重イオン物理を完遂する
- ジェット (b クォークタグ、 γ)、 $\Upsilon(1S, 2S, 3S)$ を測定
- $|\eta| < 1.1$, $|z_{\text{vtx}}| < 10 \text{ cm}$ で全方位角 2π を覆う



$\Upsilon \rightarrow e^+ e^-$ チャンネルの不変質量分布 (シミュレーション)

磁石

BaBar 実験の超電導ソレノイド磁場 1.5 T

Hcal (マグネット内側と外側)

非磁性金属とシンチレーター (内側)、鉄とシンチレーター (外側)
マグネット用冷凍機でハドロンシャワーが広がる前に測定する

EMcal

タングステンとシンチレーションファイバー、
省スペース・小セグメント ($\eta \times \phi = 0.024 \times 0.024$)

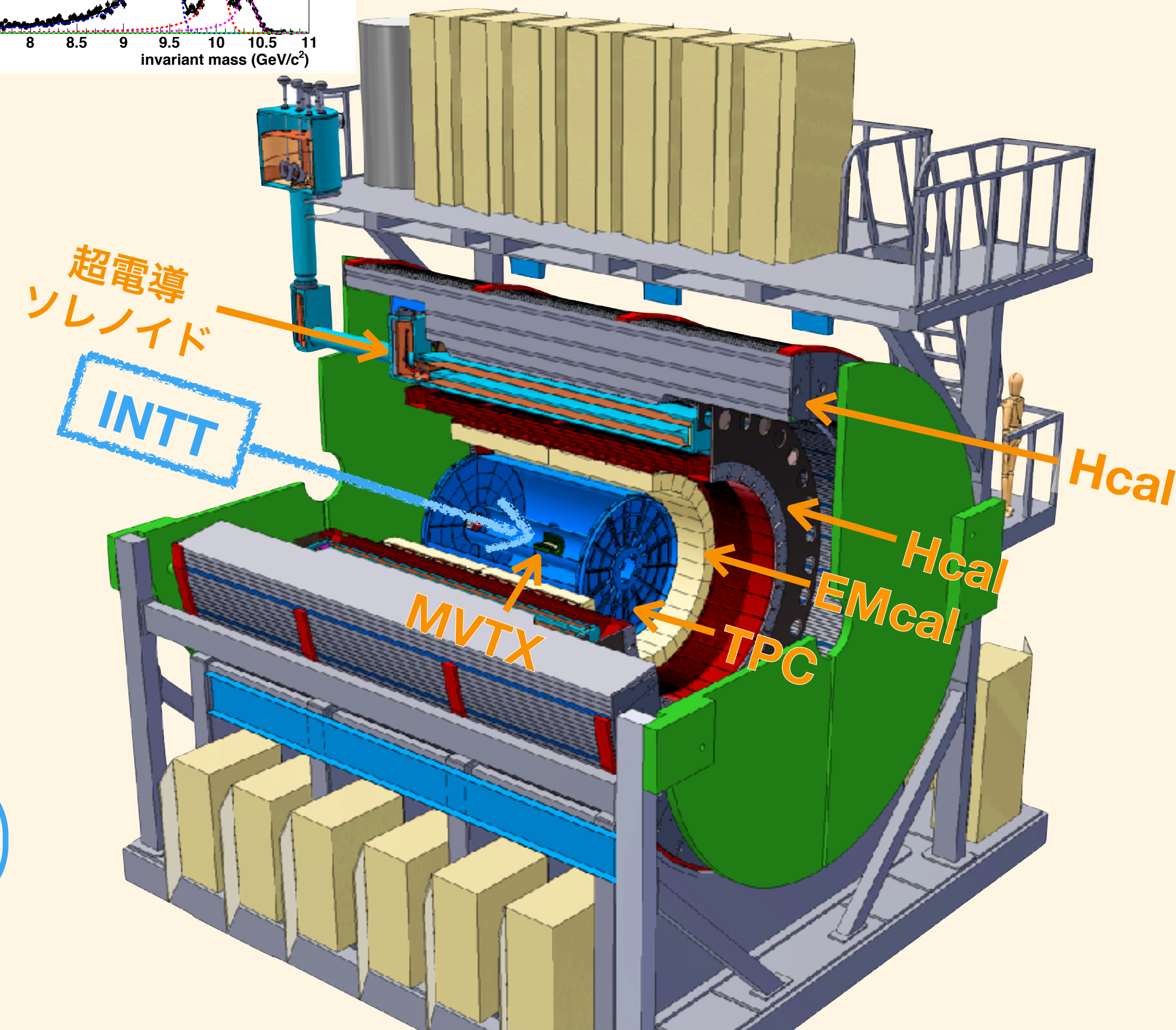
トラッキング

TPC: $r < 80 \text{ cm}$, 運動量分解能を与える

INTT: $r < 10 \text{ cm}$, **MVTX** と **TPC** の間をつなぐ

MVTX: $r < 4 \text{ cm}$, Monolithic active pixel 検出器、崩壊点を決める

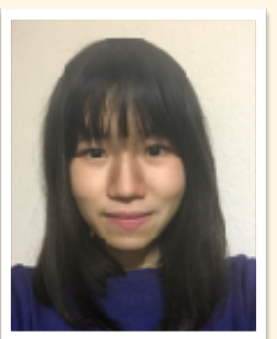
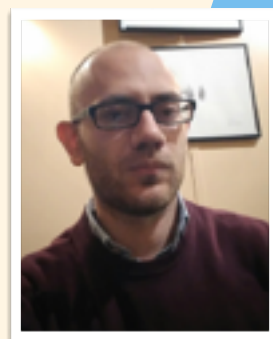
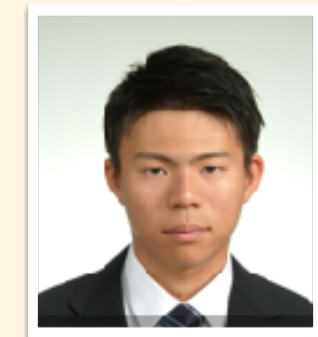
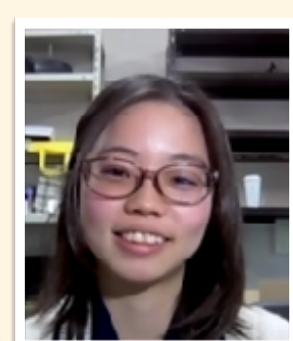
日本グループが担当



sPHENIX 検出器

Intermediate tracker (INTT)

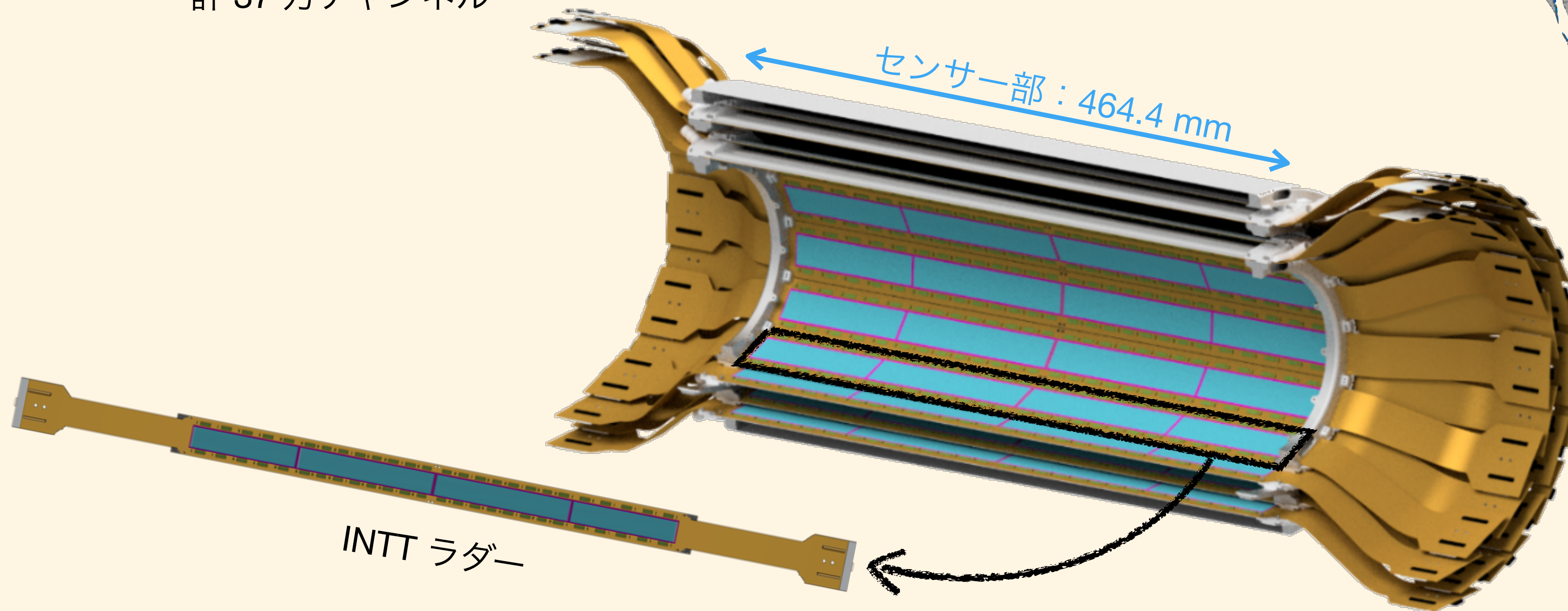
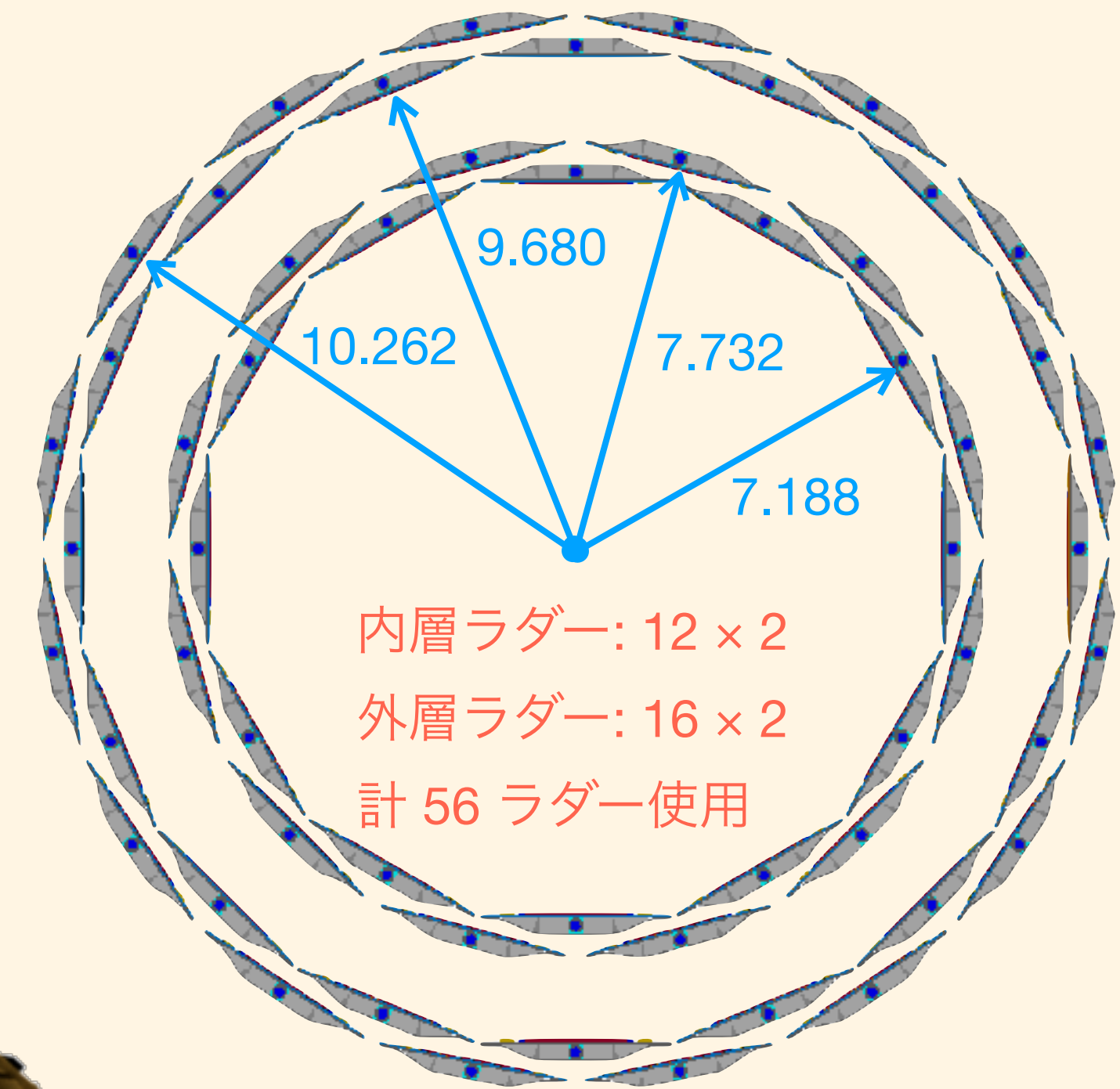
日本、アメリカ、台湾から 9 機関計 32 名



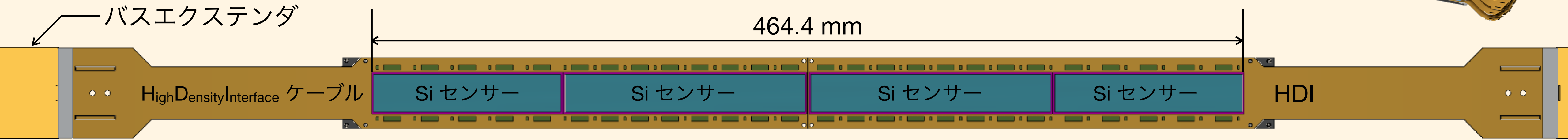
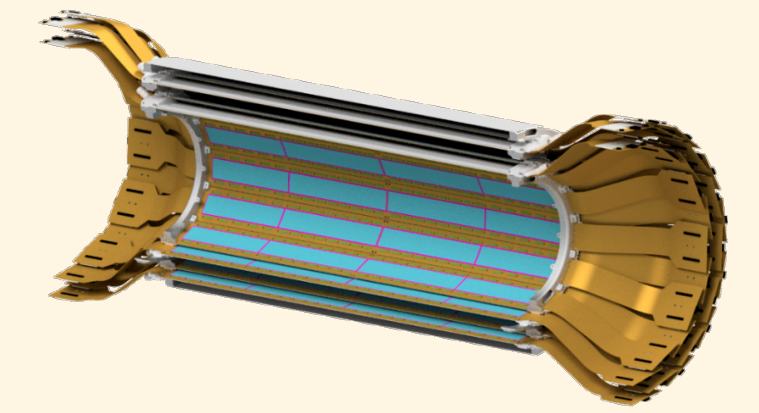
Intermediate tracker (INTT)

シリコンストリップ検出器を用いた 2 層のバレル型検出器

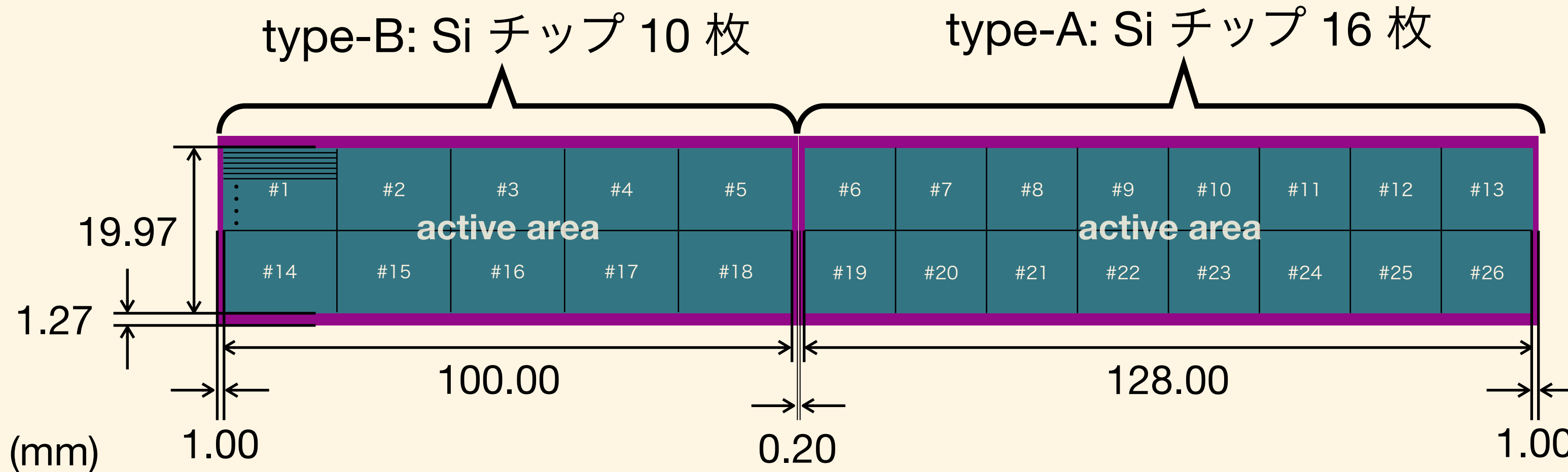
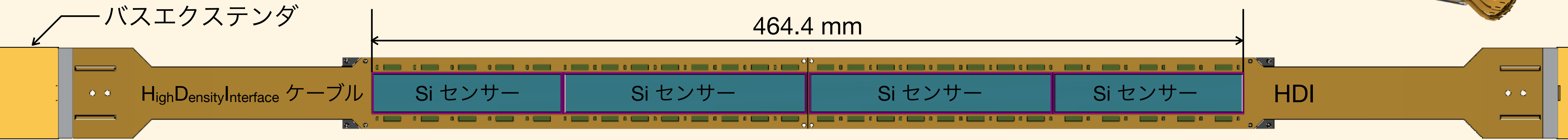
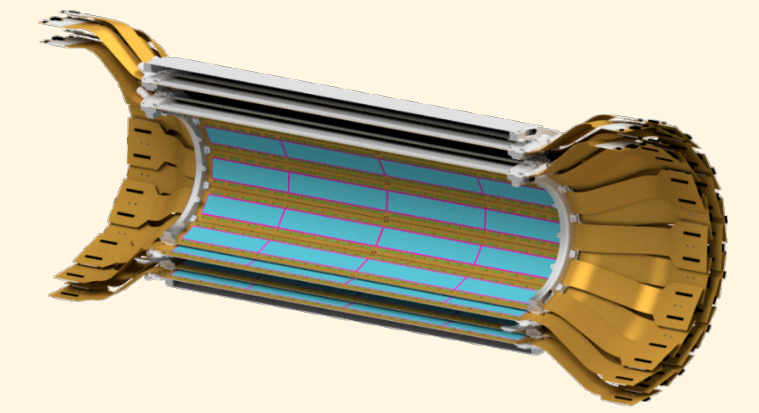
- MVTX, TPC の中間でトラッキング情報を与える
- バンチクロッシング 106 ns で動作 (MVTX, TPC は $\mu\text{s} \sim 10 \mu\text{s}$ オーダー)
- $|\eta| < 1.1$ で全方位角 2π をカバー
- 1 ラダーで $X/X_0 < 1.1\%$
- 計 37 万チャンネル



Intermediate tracker (INTT), ラダー, センサー側



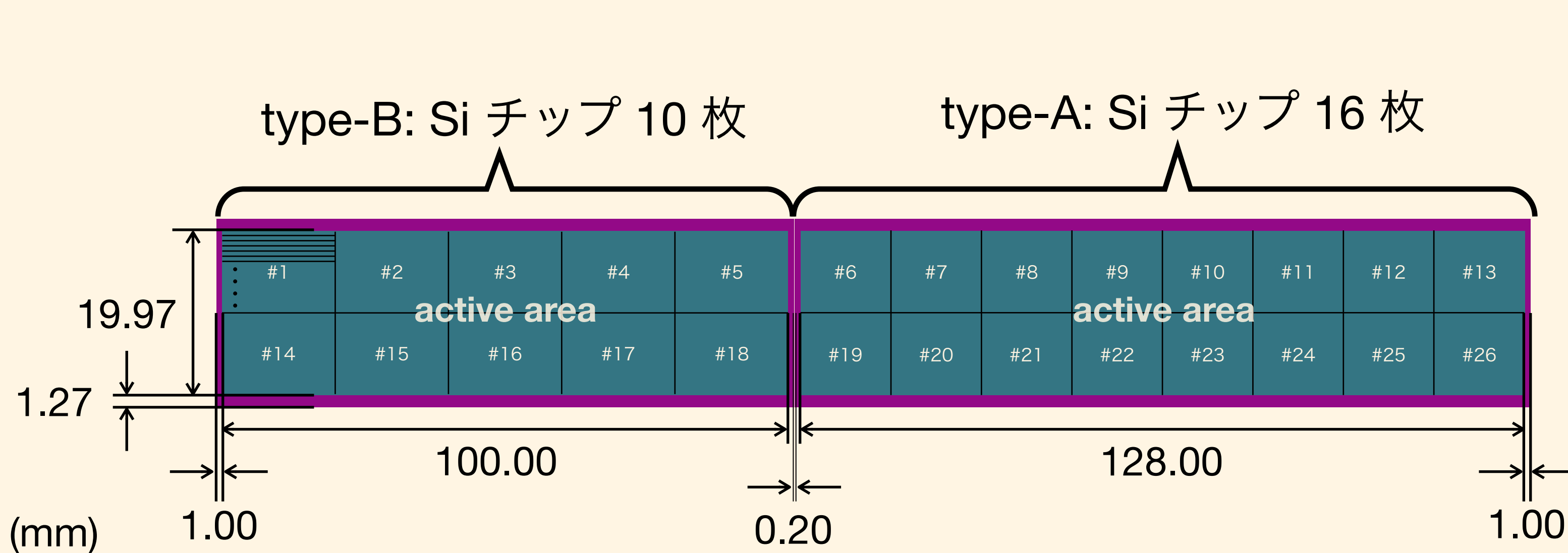
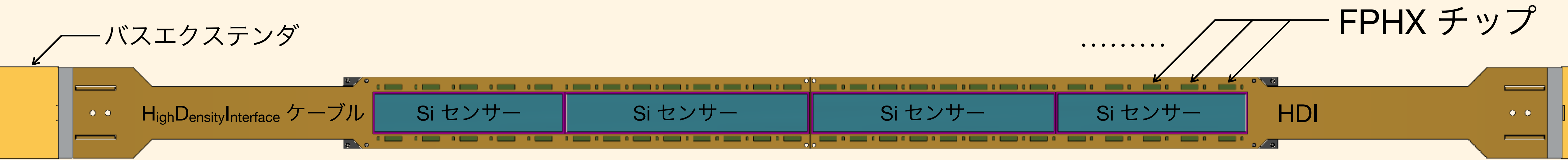
Intermediate tracker (INTT), ラダー, センサー側



2 種類の 320 μm 厚シリコンモジュール
(浜松ホトニクス、78 μm \times 16 mm or 20 mm)

ラダーあたりのチャンネル数：
128 [ch/チップ]
 \times (16+10) [チップ/ハーフラダー]
 \times 2 [ハーフラダー/ラダー]
= 6656 ch

Intermediate tracker (INTT), ラダー, センサー側



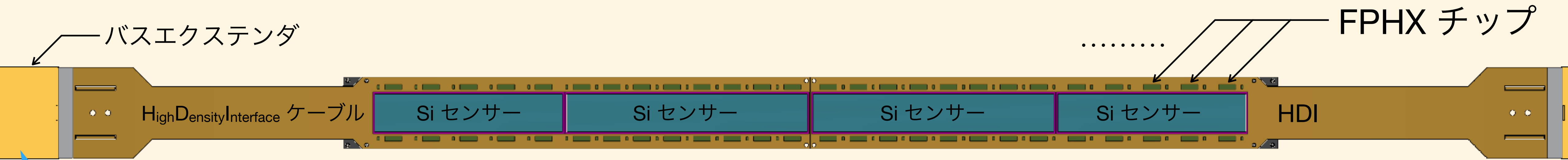
2 種類の 320 μm 厚シリコンモジュール
(浜松ホトニクス、78 μm \times 16 mm or 20 mm)

ラダーあたりのチャンネル数：
128 [ch/チップ]
 \times (16+10) [チップ/ハーフラダー]
 \times 2 [ハーフラダー/ラダー]
= 6656 ch

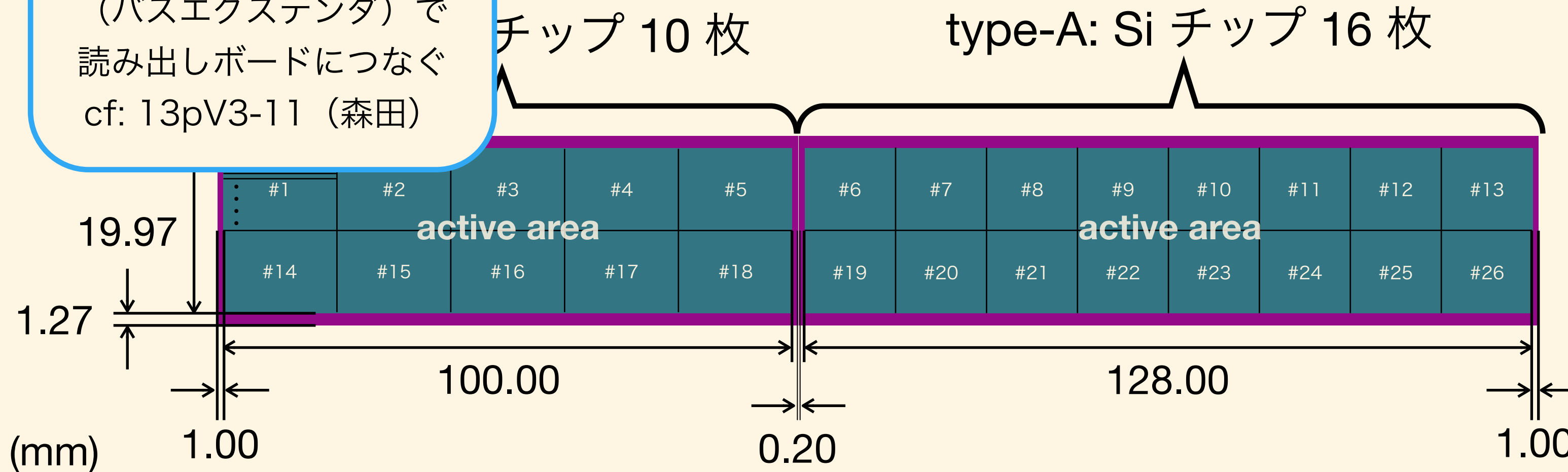
PHENIX 実験 FVTX 検出器用読み出しチップ (FPHX)
でチップ単位の読み出しを行う



Intermediate tracker (INTT), ラダー, センサー側



長尺・高密度ケーブル
(バスエクステンダ)で
読み出しボードにつなぐ
cf: 13pV3-11 (森田)



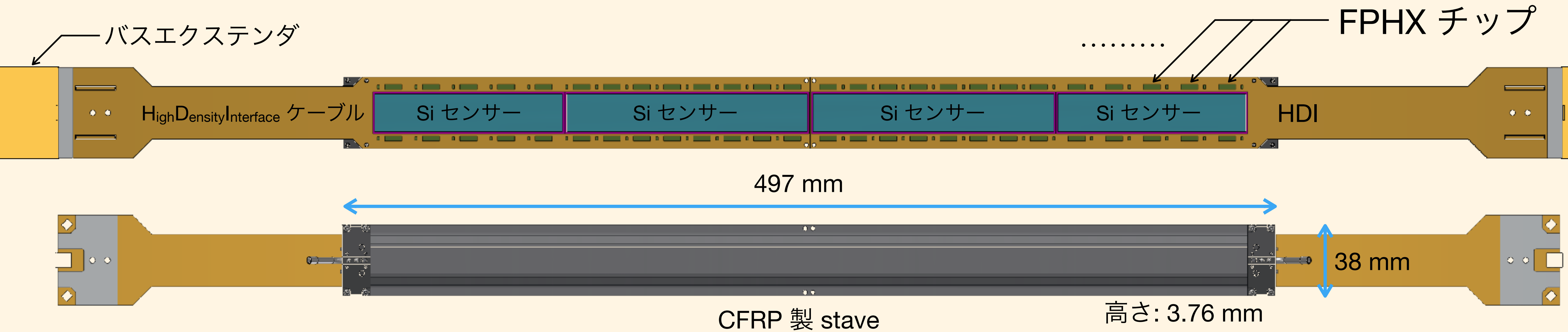
2 種類の 320 μm 厚シリコンモジュール
(浜松ホトニクス、78 μm \times 16 mm or 20 mm)

ラダーあたりのチャンネル数：
128 [ch/チップ]
 \times (16+10) [チップ/ハーフラダー]
 \times 2 [ハーフラダー/ラダー]
= 6656 ch

PHENIX 実験 FVTX 検出器用読み出しチップ (FPHX)
でチップ単位の読み出しを行う

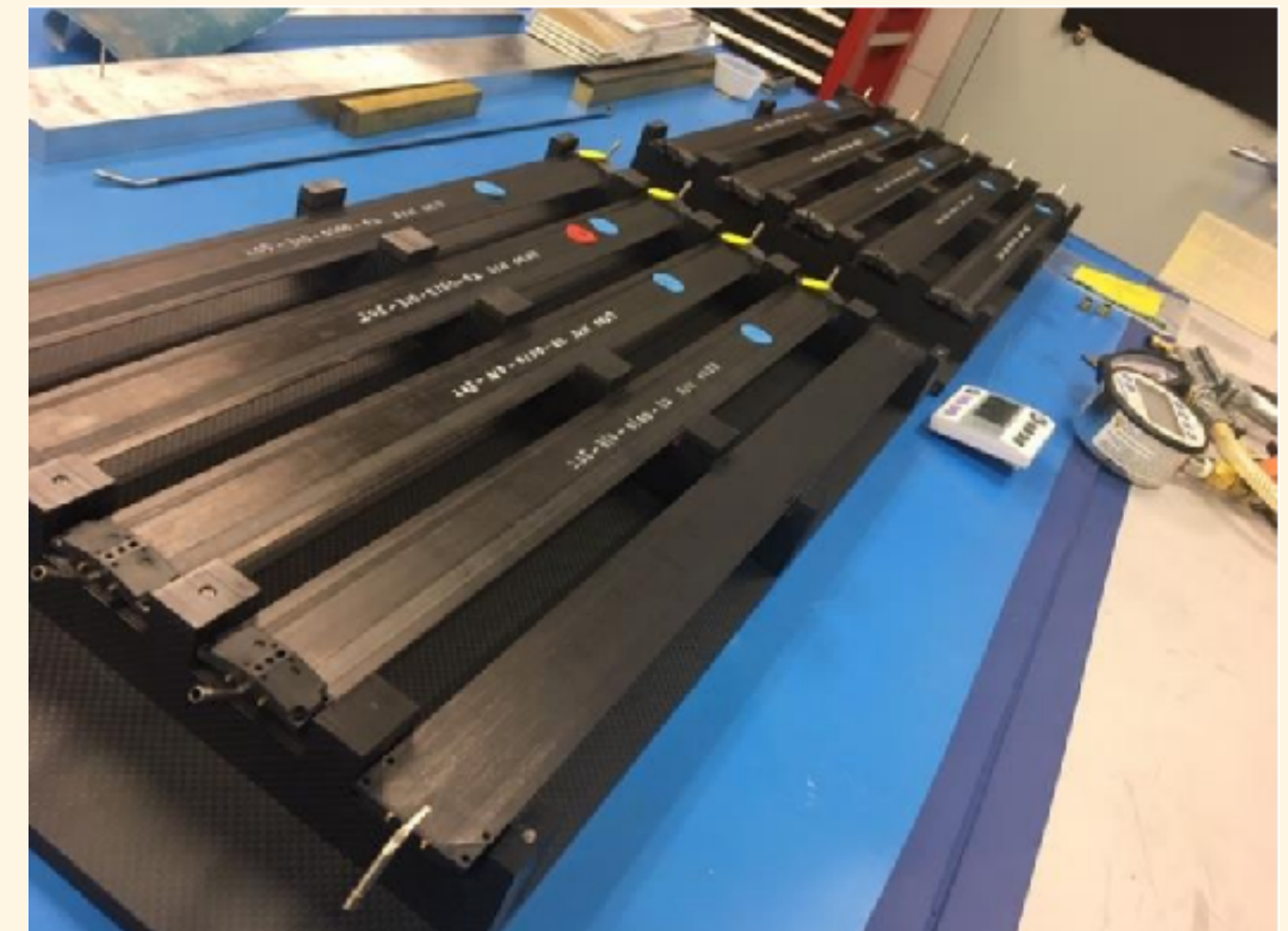
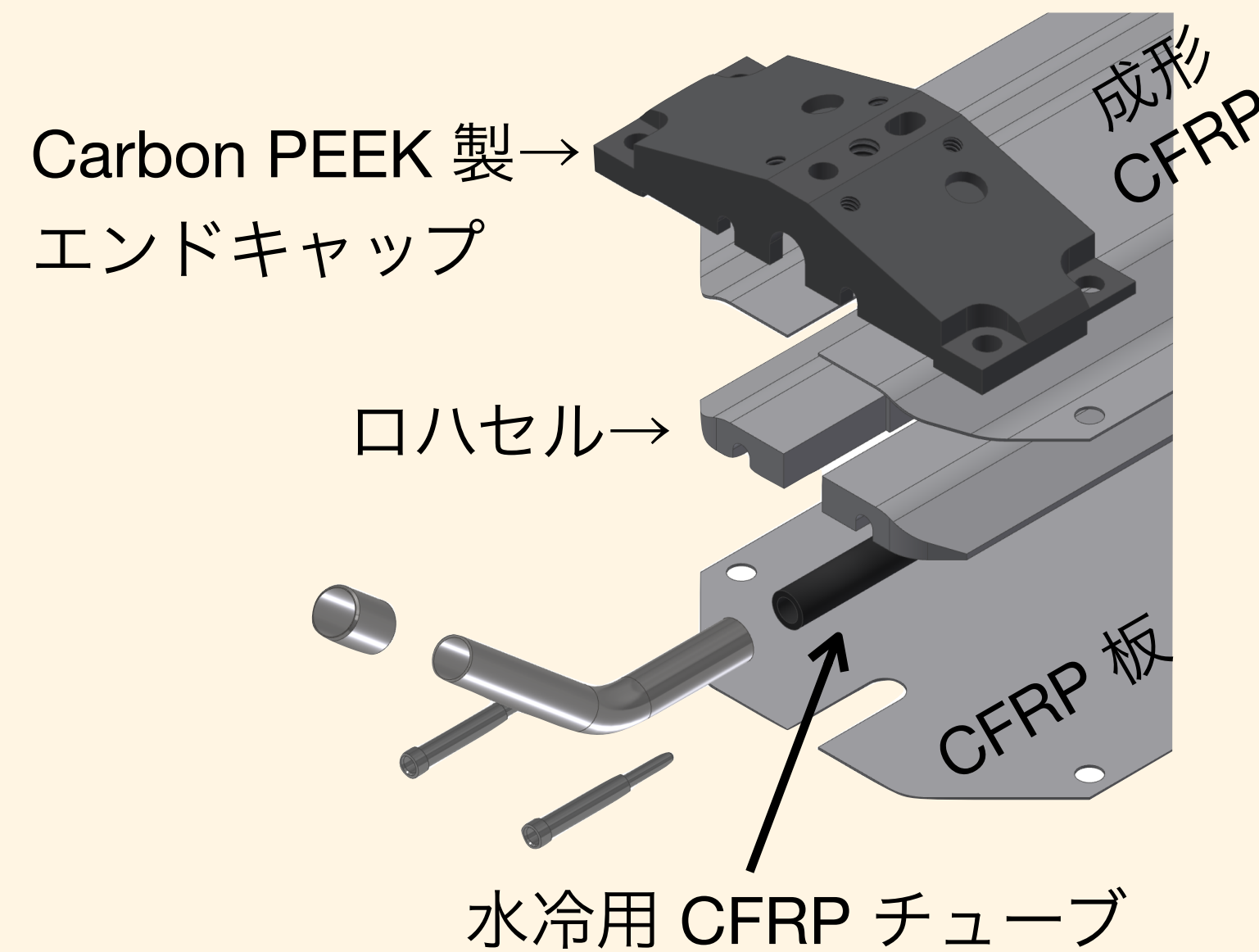


Intermediate tracker (INTT), ラダー, 裏側



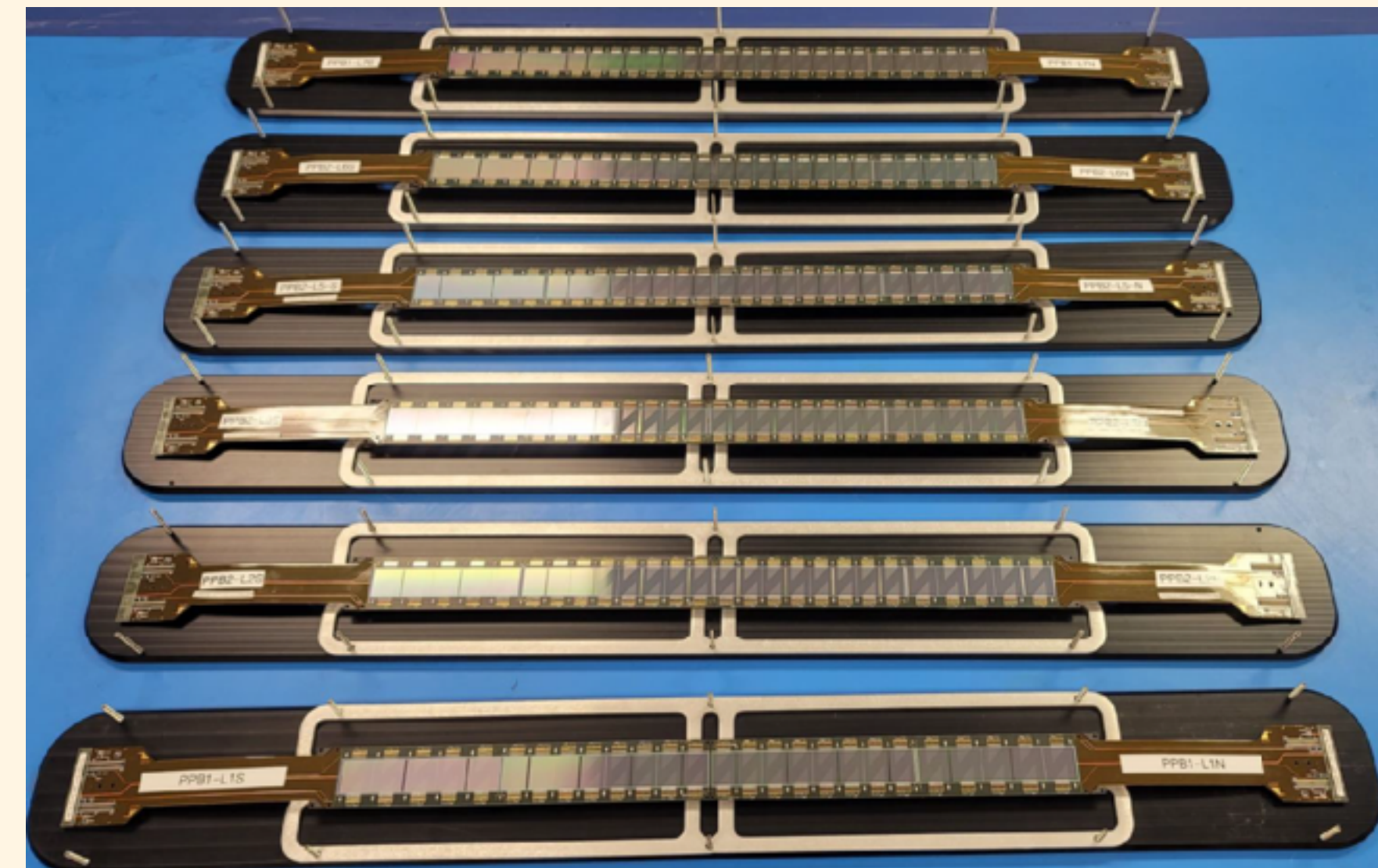
CFRP 製 stave

- ・ CFRP 製裏打板
プリプレグ NT9100-520S
高熱伝導率炭素繊維 500 W/m K 使用
日本グラファイトファイバー工業(株)製作
平面度 100 μm (設計値)
(株)アスカ製作
- ・ 成形 CFRP 板
- ・ 水冷用 CFRP チューブ (株)木村屋
- ・ ロハセル
- ・ Carbon PEEK 製エンドキャップ
- ・ パーツをエポキシ系接着剤で接着



Intermediate tracker (INTT), 準備状況

パーツ	プロトタイプ	試験生産	量産
Si センサー	✓+ビームテスト済み	✓+ビームテスト済み	✓
FPHX チップ	✓+ビームテスト済み	✓+ビームテスト済み	✓
HDI	✓+ビームテスト済み	✓+ビームテスト済み	✓
Stave	✓	✓	(✓)
Ladder (組み立て)	✓+ half ladder でビームテスト済み	✓	スタート！
バスエクステンダ	✓	2021/05 完了予定	-



量産、建設計画

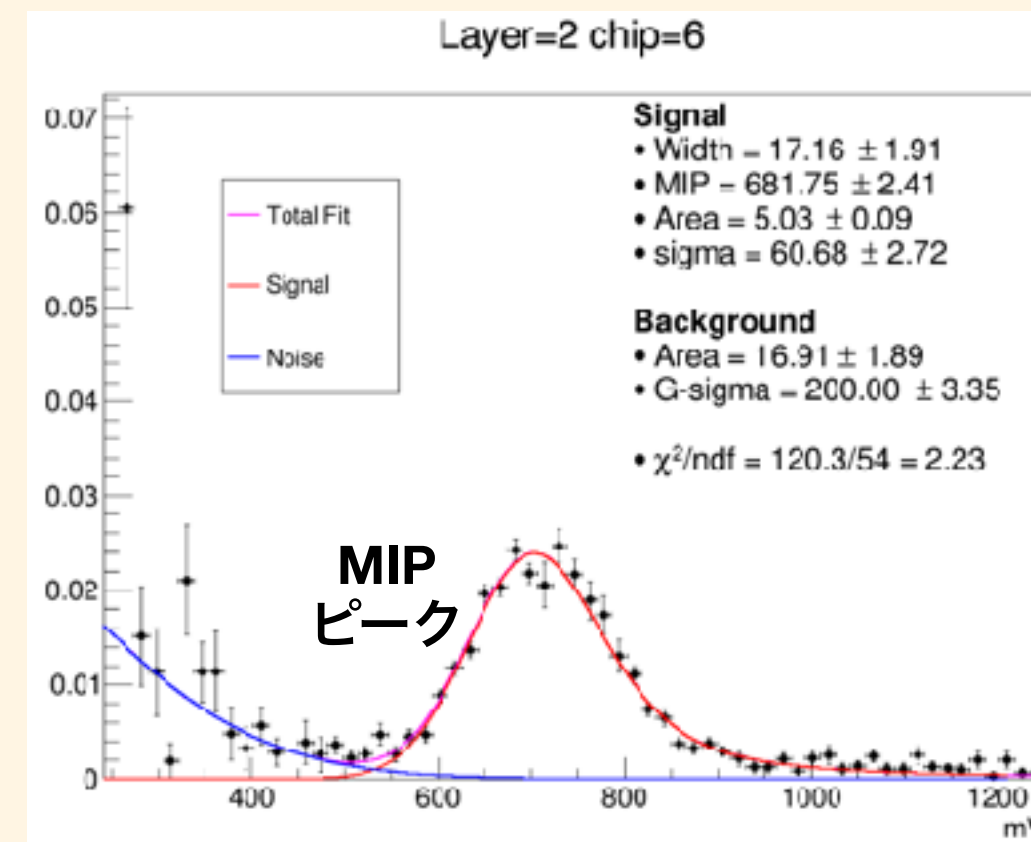
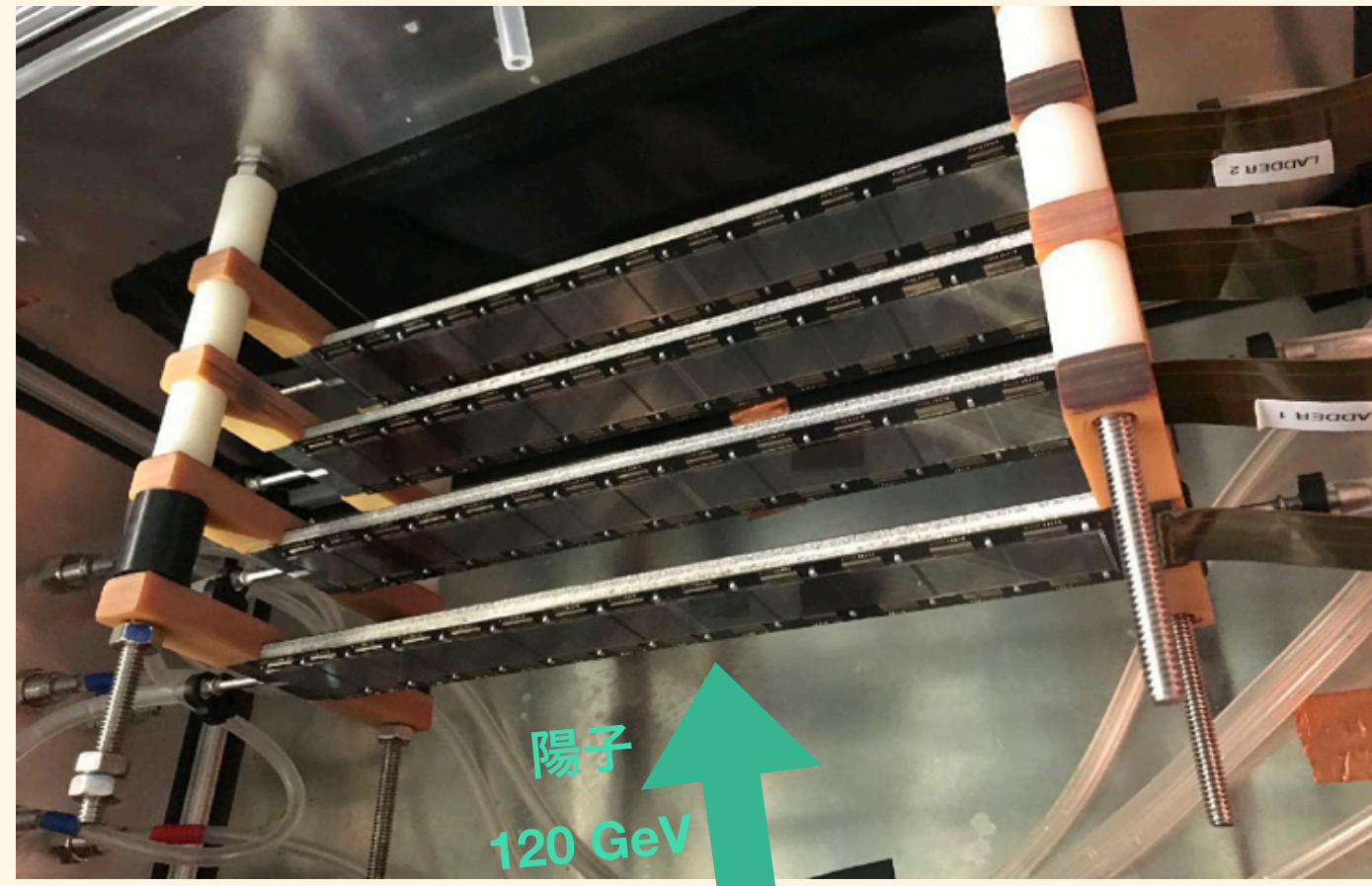
- 2021/03 ラダー組み立てレビュー合格 ✓
- 2021/03 ラダー組み立て開始 ✓
- 2021/05 Stave 各パーツの量産完了
- 2021/05 バスエクステンダー試験生産完了
- 2022/07 INTT バレル組み立て完了
- 2022/11 sPHENIX 検出器への組み込み完了

目次

- ・ RHIC sPHENIX 実験
- ・ Intermediate tracker (INTT)
 - INTT グループ
 - 概要
 - INTT ラダー：シリコンセンサー、stave
 - 準備状況
- ・ **INTT テスト機を用いた検出効率の評価**
 - これまでに行ってきたテスト機の性能評価
 - セットアップ
 - 外部トリガーシステム、DAQ
 - 解析

INTT テスト機を用いた検出効率の評価

2019 年テストビーム実験@FNAL のセットアップと結果



ビームのエネルギー損失

・ 過去 2 回のテストビーム実験で

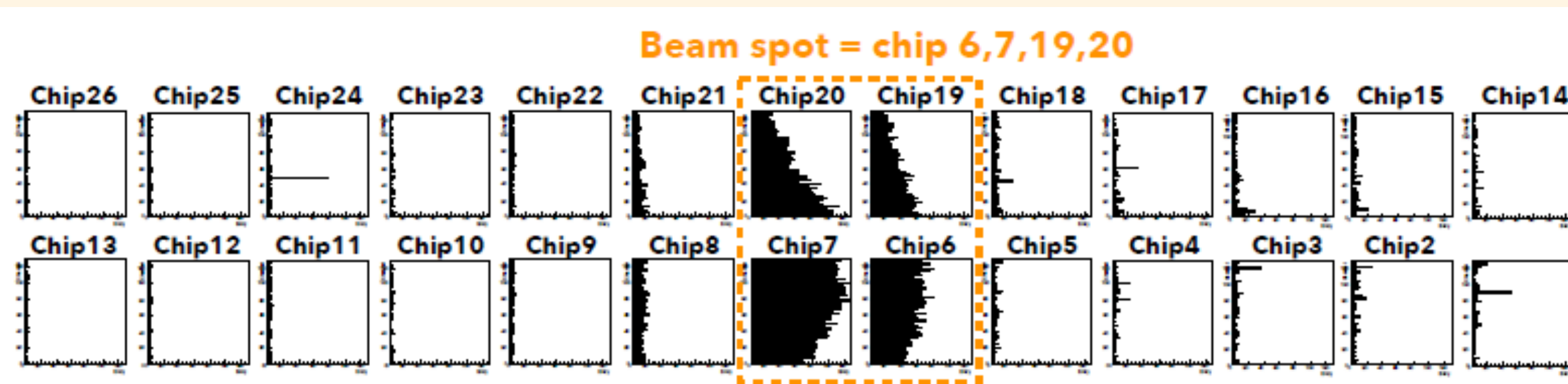
- ビーム入射位置への感度
- MIP ピーク (20000 e)
- S/N 比 ~ 20
- 検出効率 $96.0 \pm 0.6\%$

等の確認が完了した。

・ S/N 比をみると検出効率はほぼ 100% のはず

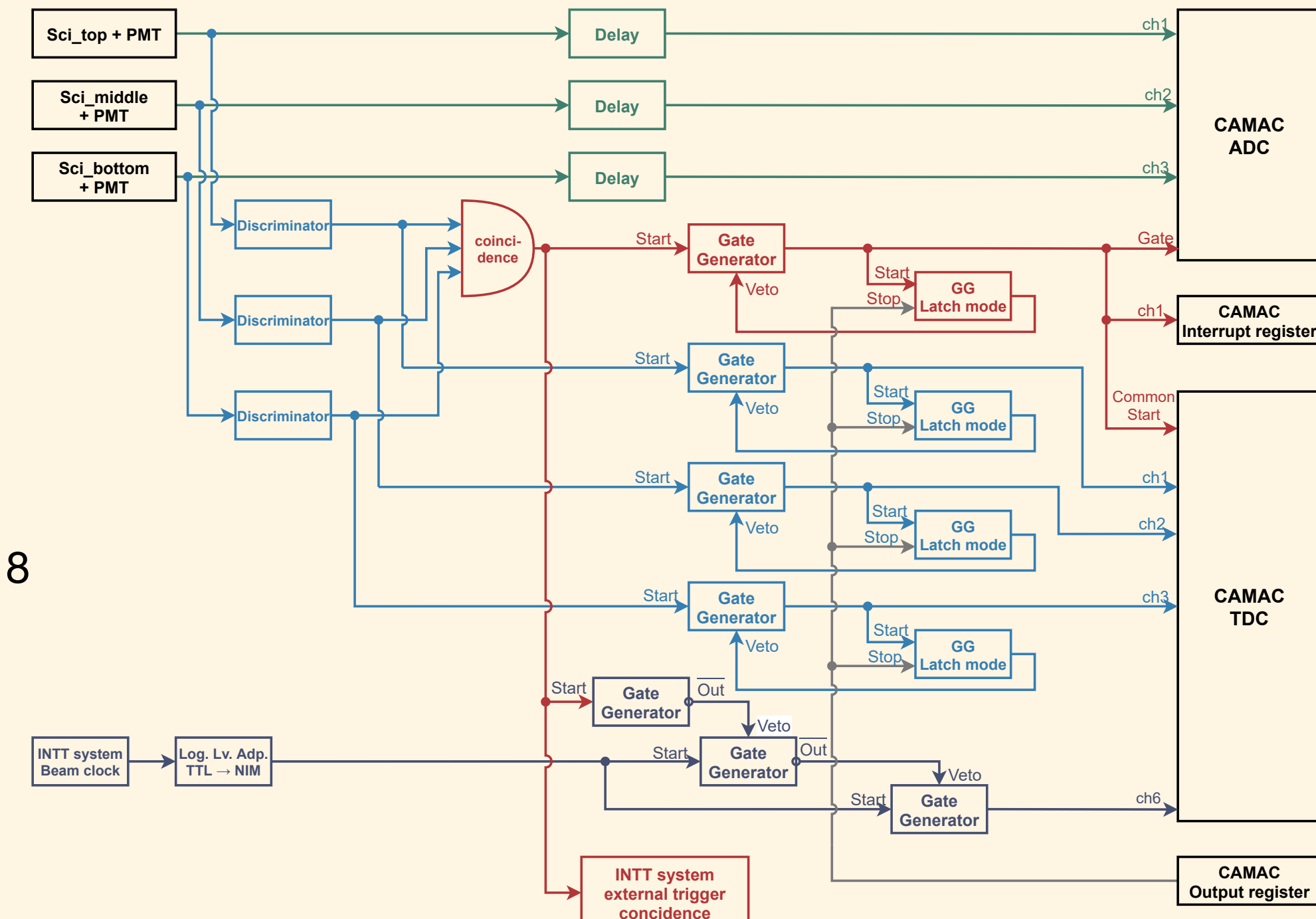
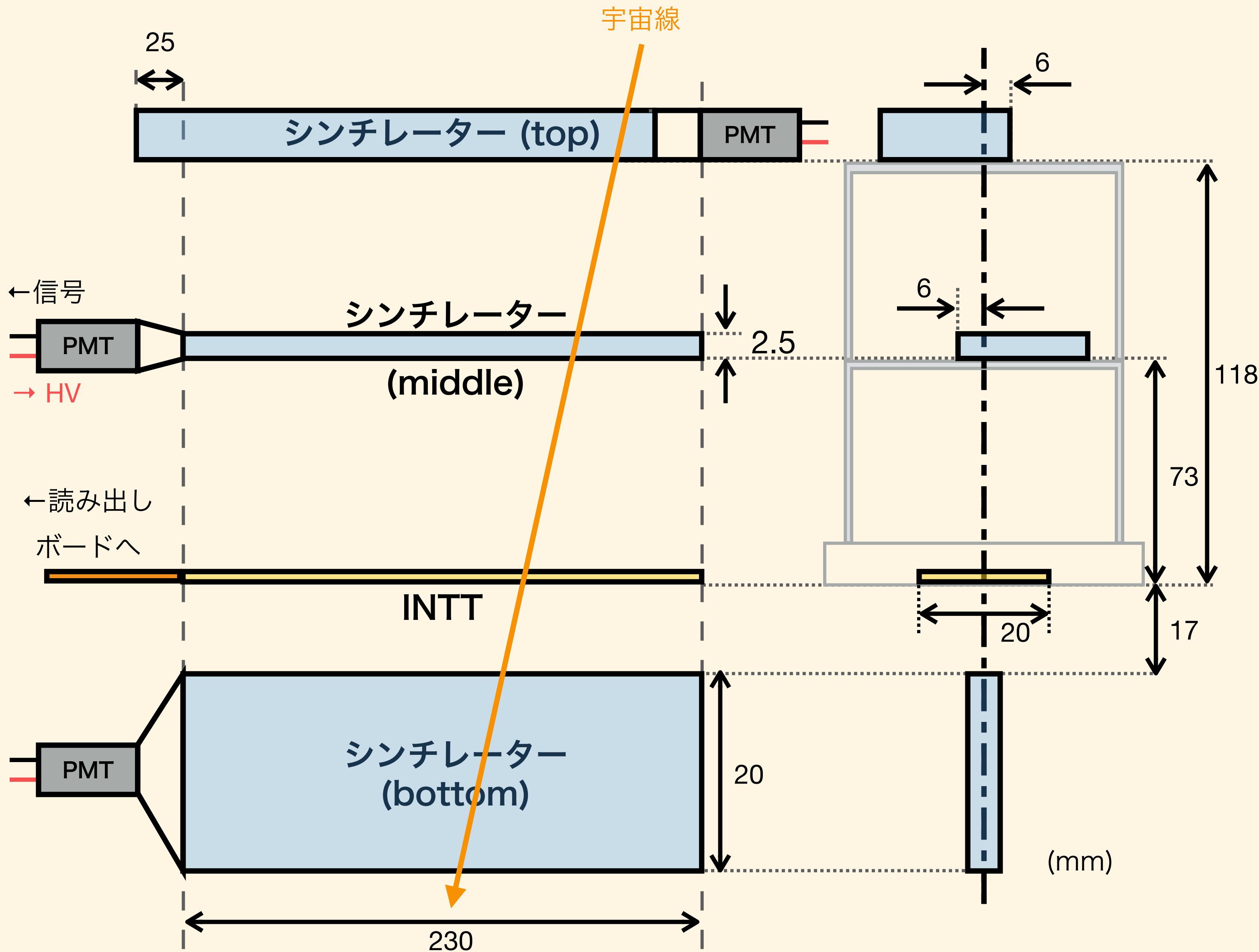
・ INTT 動作クロックとイベントタイミングの mismatch が影響している可能性がある

・ 新システムで宇宙線を用いた検出効率の評価を行っている



ヒット分布
鈴木彩香, 修士論文, 奈良女子大学, 2020

INTT テスト機を用いた検出効率の評価



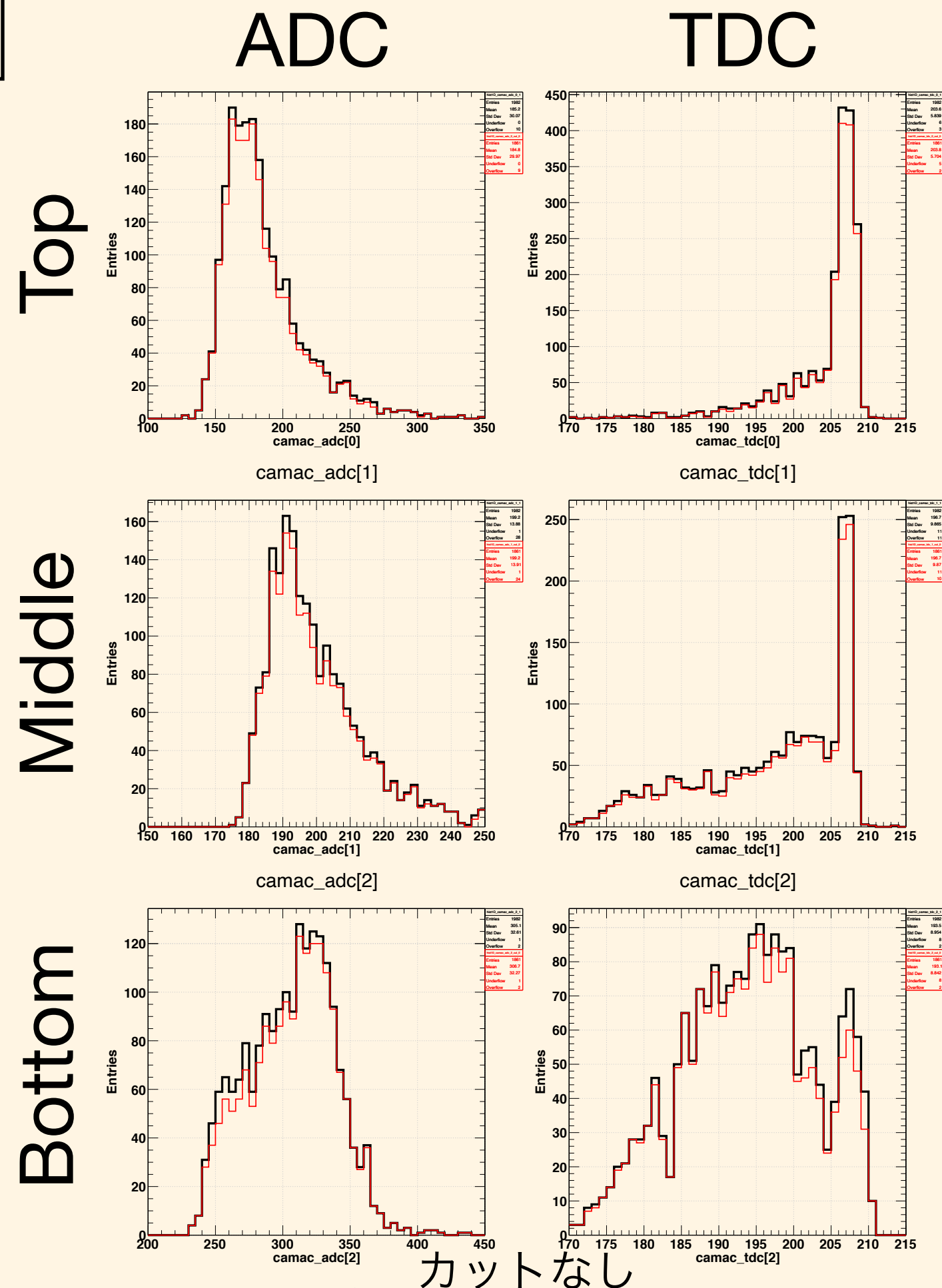
- ・プラスチックシンチレーター 3 枚の
コイシデンスを INTT 外部トリガーにする
- ・NIM, CAMAC による信号処理、
DAQ システムを新たに構築
- ・既存の INTT テスト機用 DAQ に統合し、
宇宙線を測定した

INTT テスト機を用いた検出効率の評価

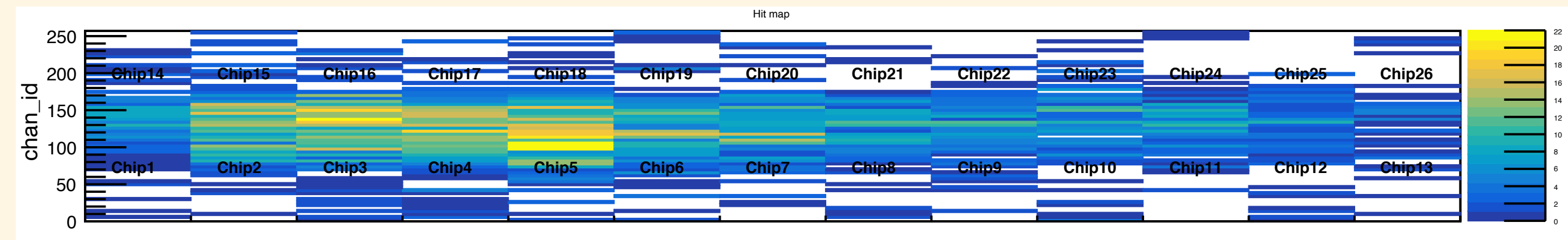
検出効率 ≡ $\frac{\text{INTT へのヒットがある外部トリガーイベントの数}}{\text{外部トリガーイベントの数}}$

- 外部トリガーのイベント
- + INTT ヒットあり

測定:
2021/03/05
66 時間



$$1861 / 1982 = 0.939 \begin{matrix} +0.0054 \\ -0.0059 \end{matrix}$$

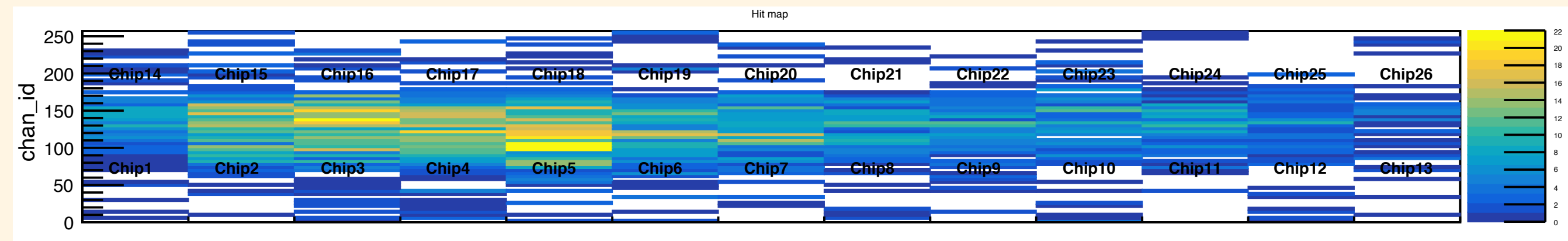
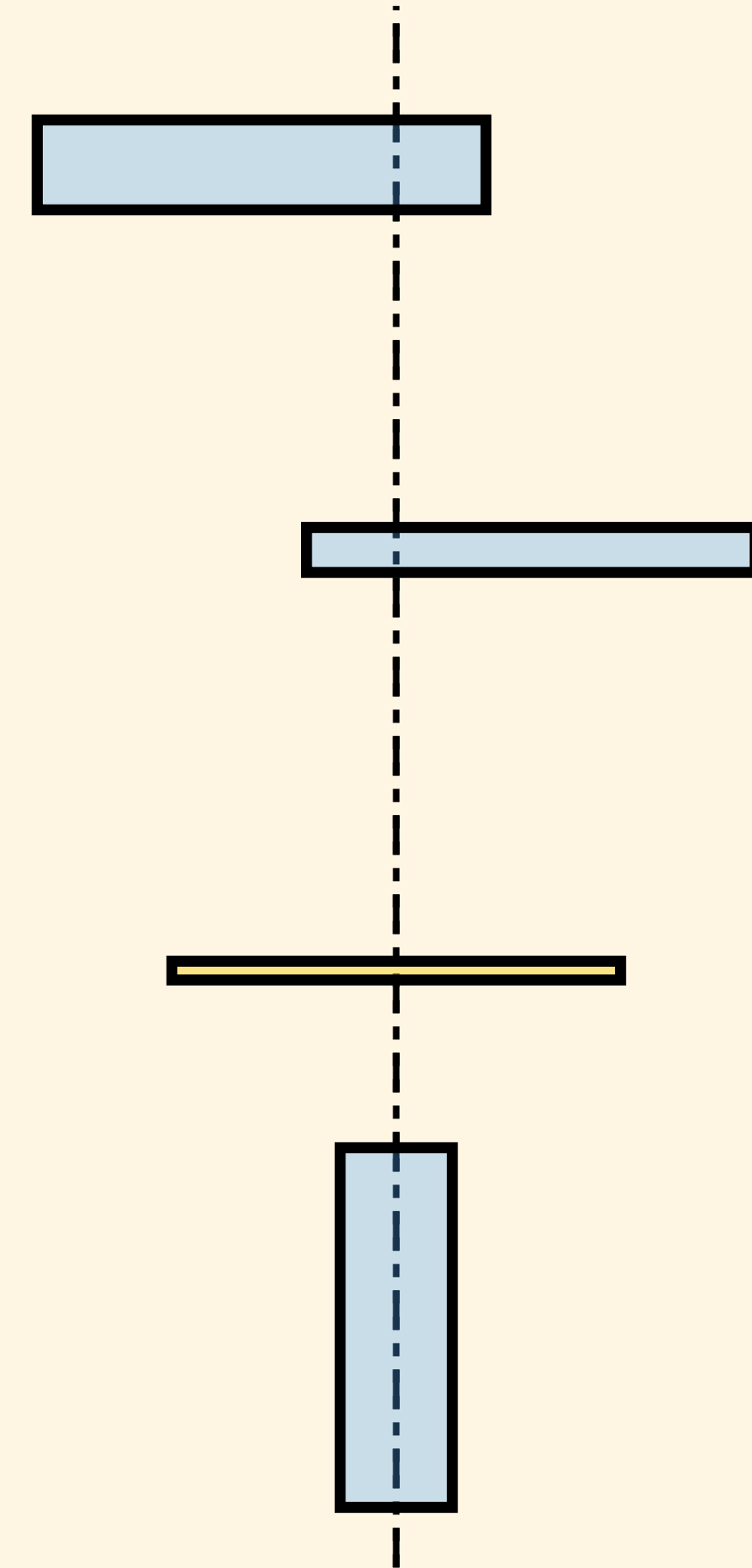
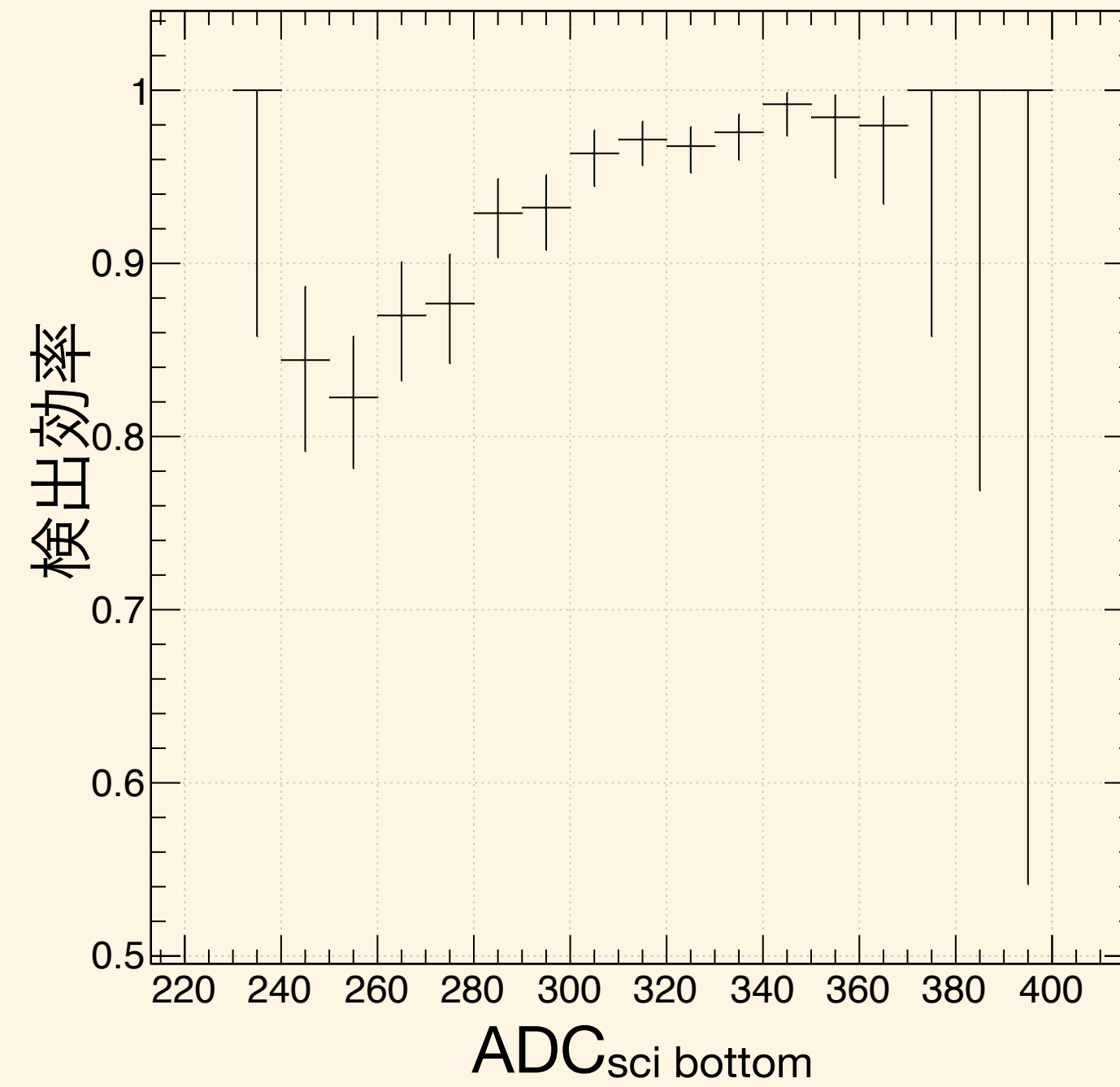
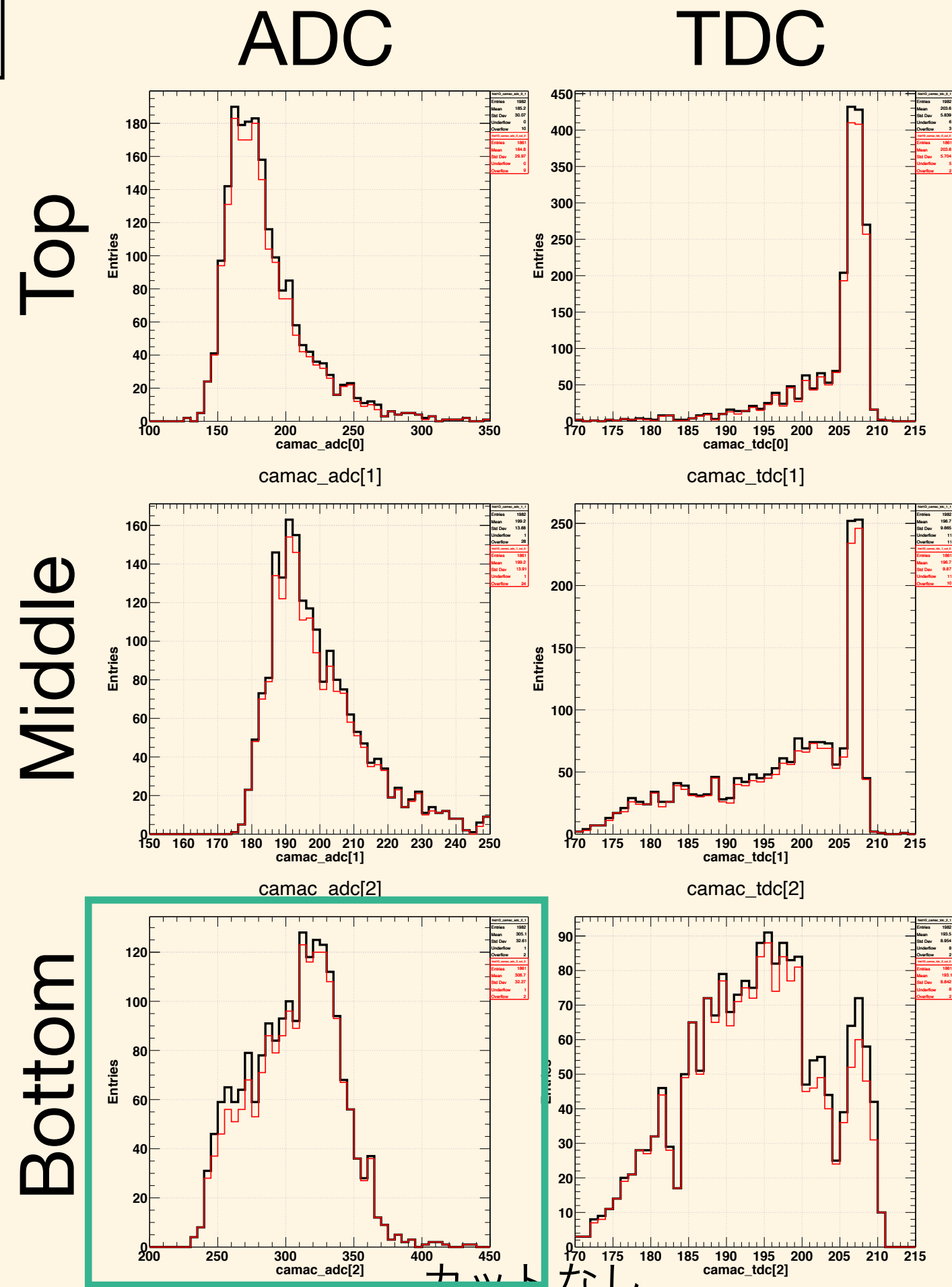
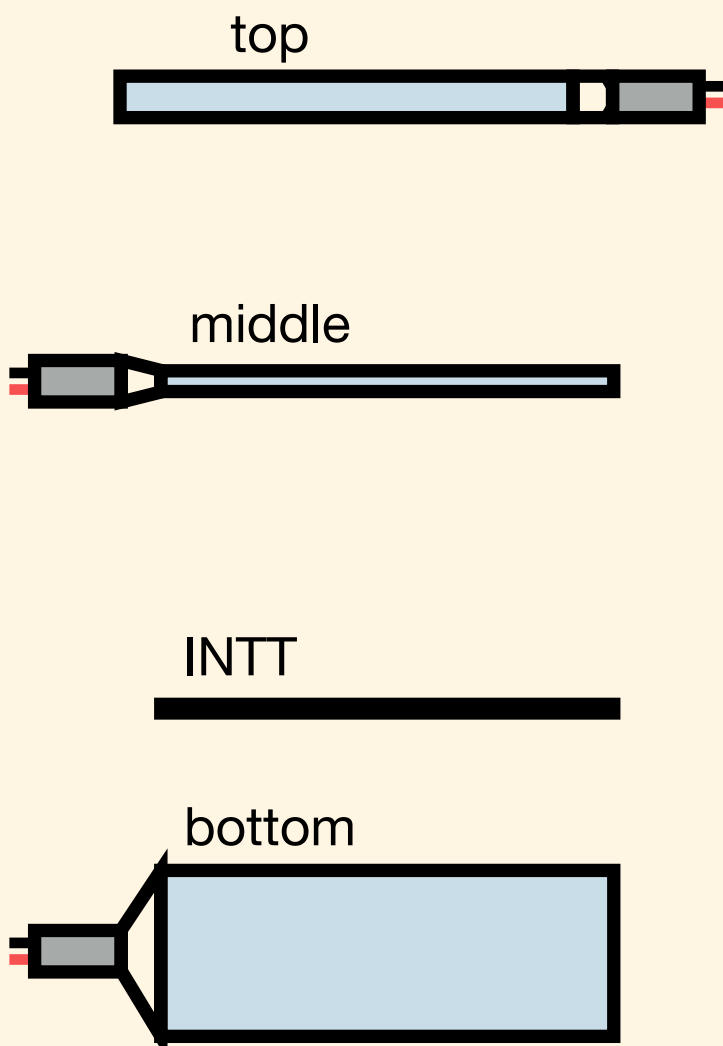


INTT テスト機を用いた検出効率の評価

検出効率 \equiv $\frac{\text{INTT へのヒットがある外部トリガーイベントの数}}{\text{外部トリガーイベントの数}}$ 検出効率 vs $\text{ADC}_{\text{bottom}}$

- 外部トリガーのイベント
- + INTT ヒットあり

測定:
2021/03/05
66 時間

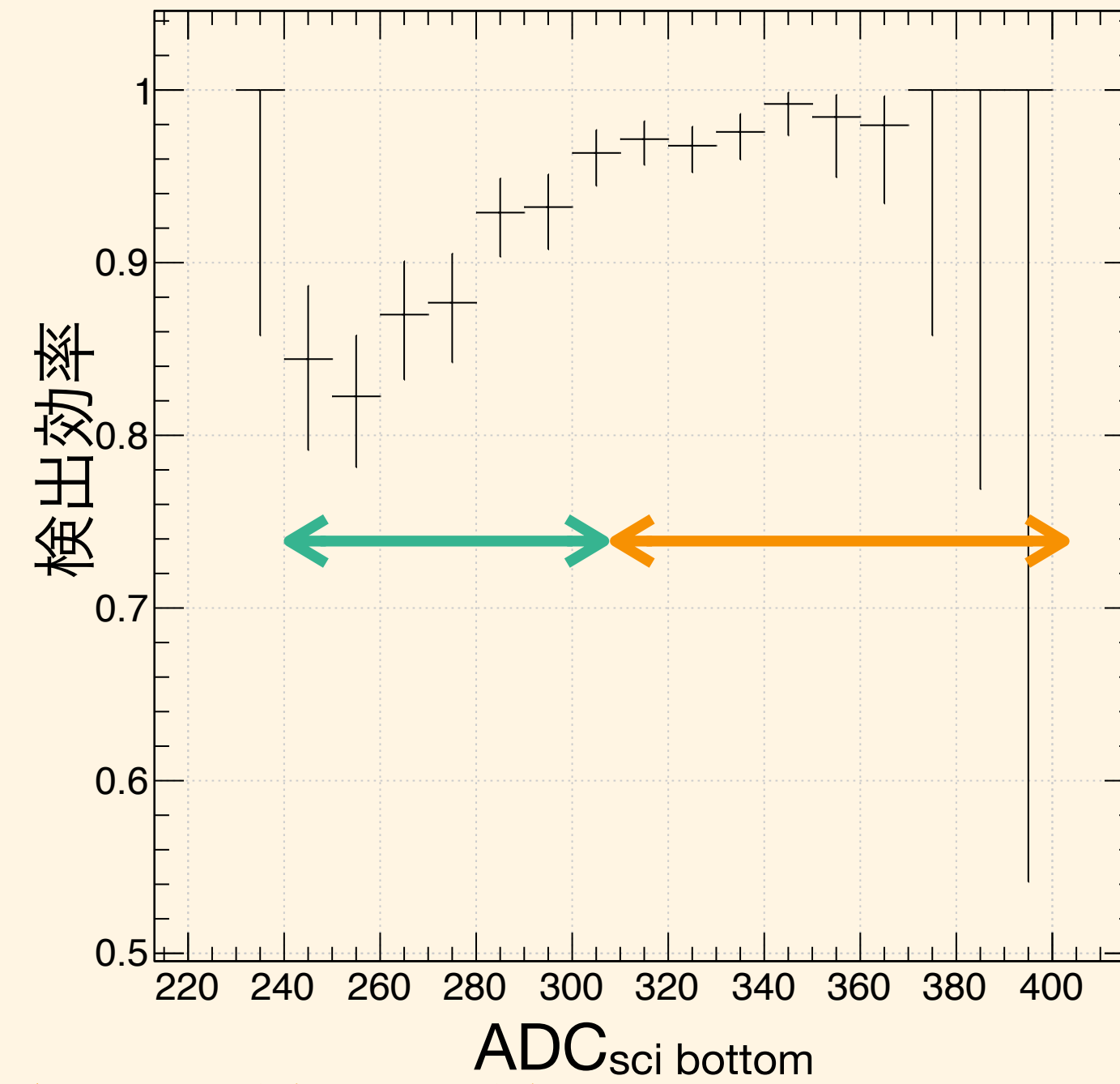
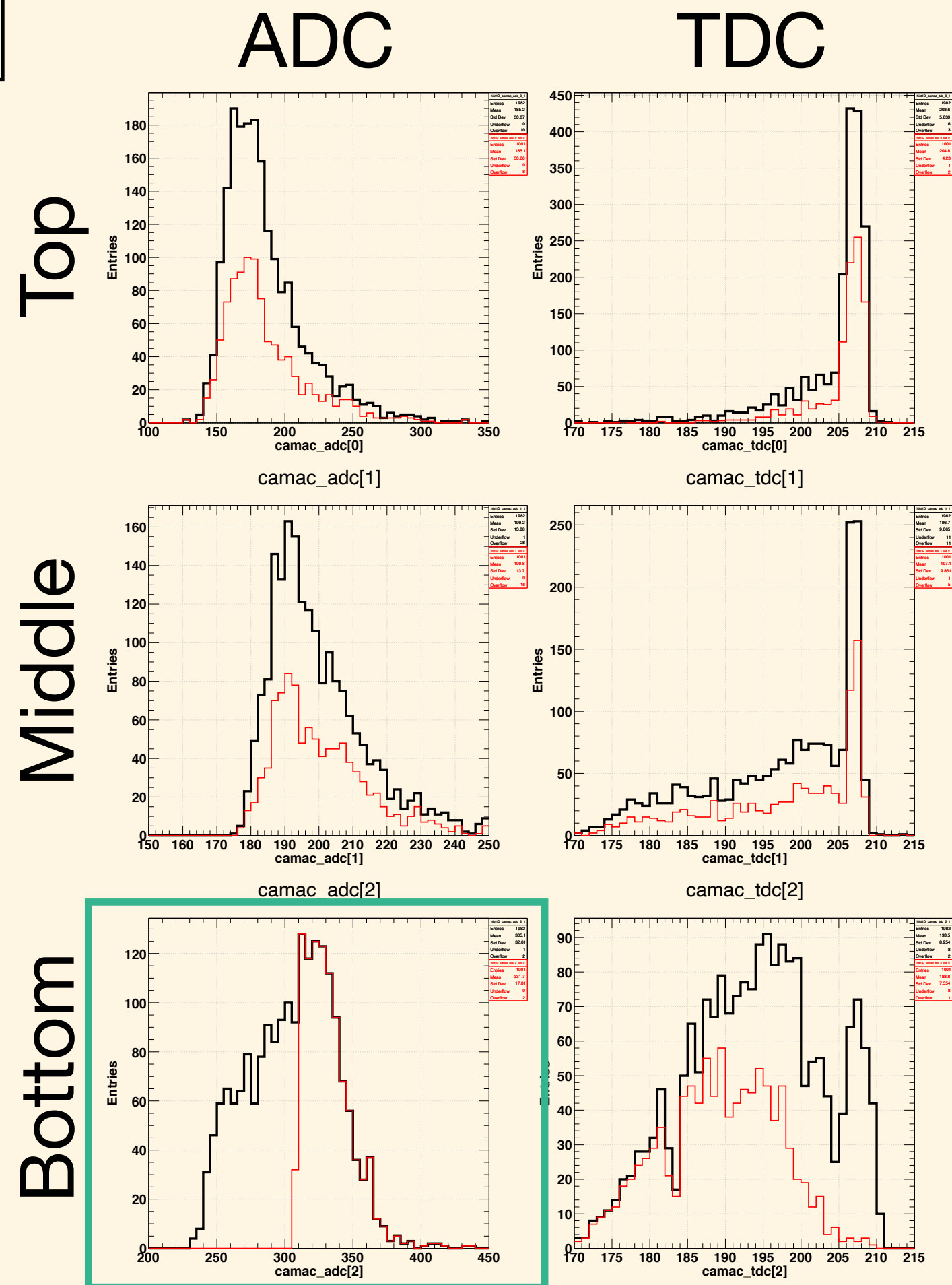
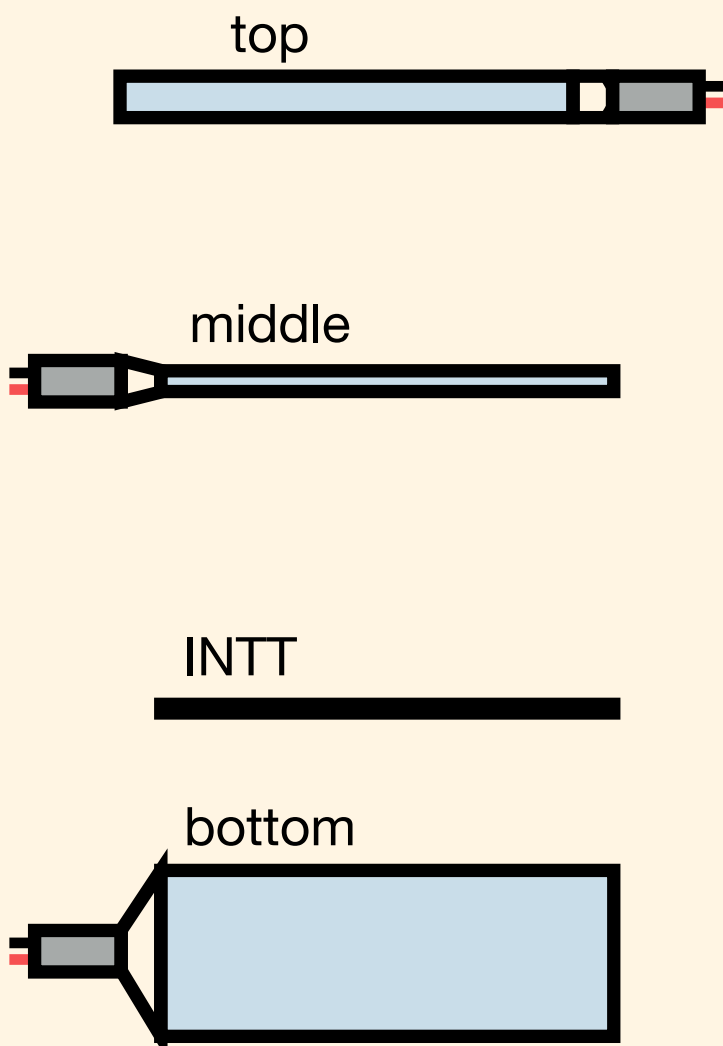


INTT テスト機を用いた検出効率の評価

検出効率 \equiv $\frac{\text{INTT へのヒットがある外部トリガーイベントの数}}{\text{外部トリガーイベントの数}}$ 検出効率 vs $\text{ADC}_{\text{bottom}}$

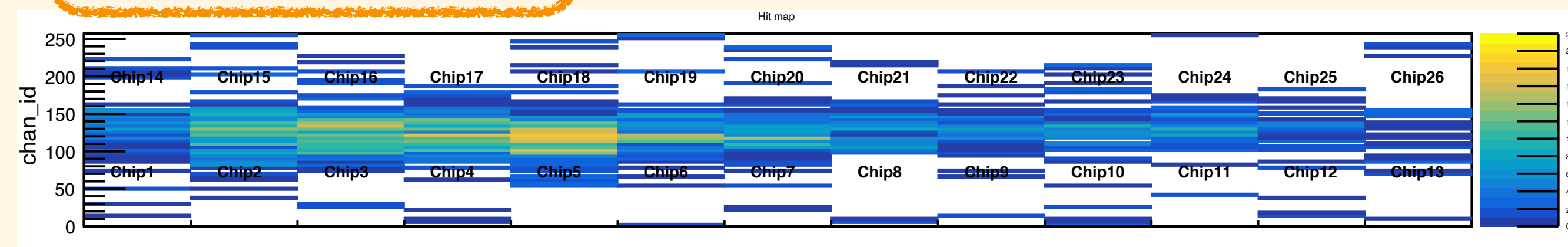
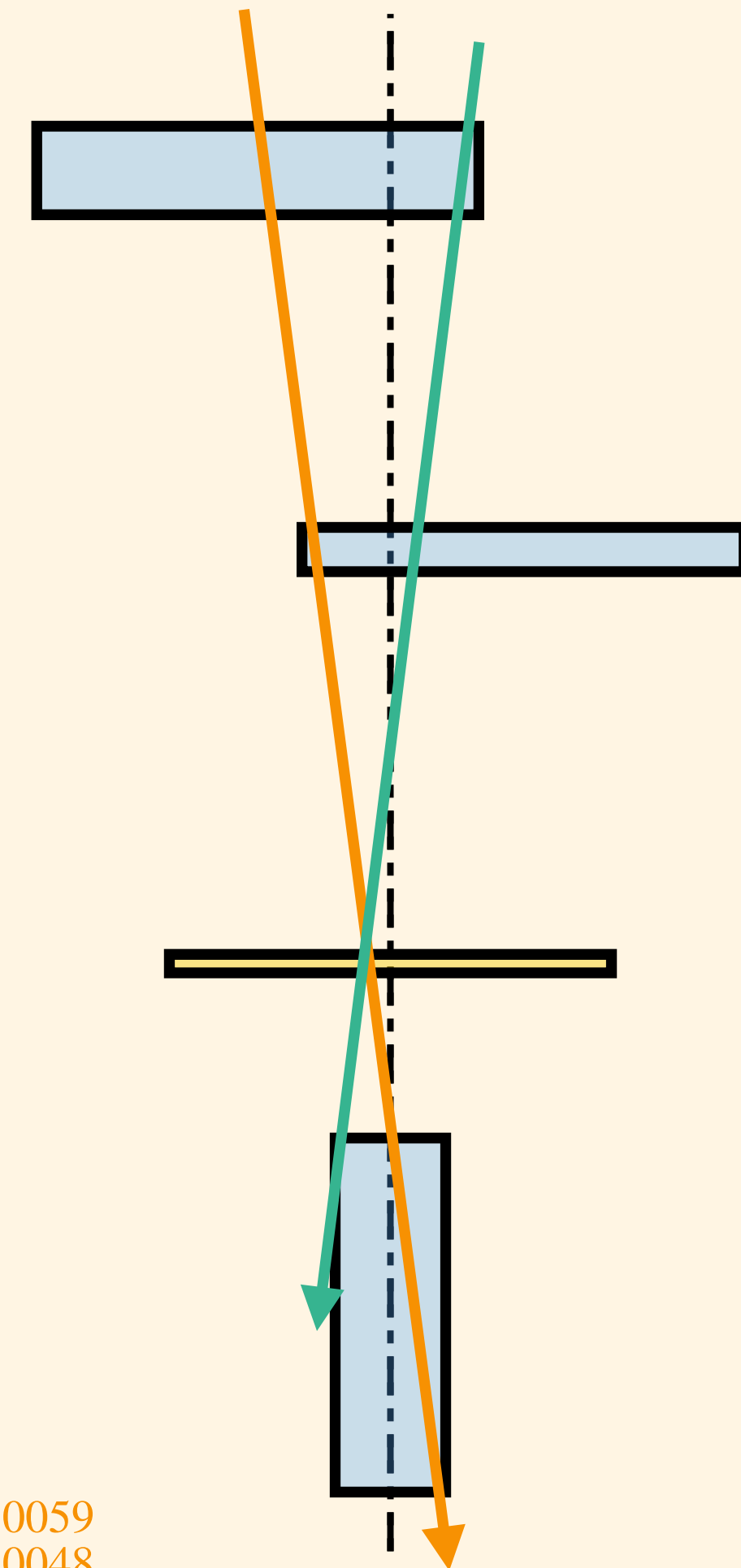
- 外部トリガーのイベント
- + INTT ヒットあり

測定:
2021/03/05
66 時間



ADC 値大
→宇宙線がより長い距離を通った
→より垂直な角度だった

$977 / 1001 = 0.976^{+0.0059}_{-0.0048}$

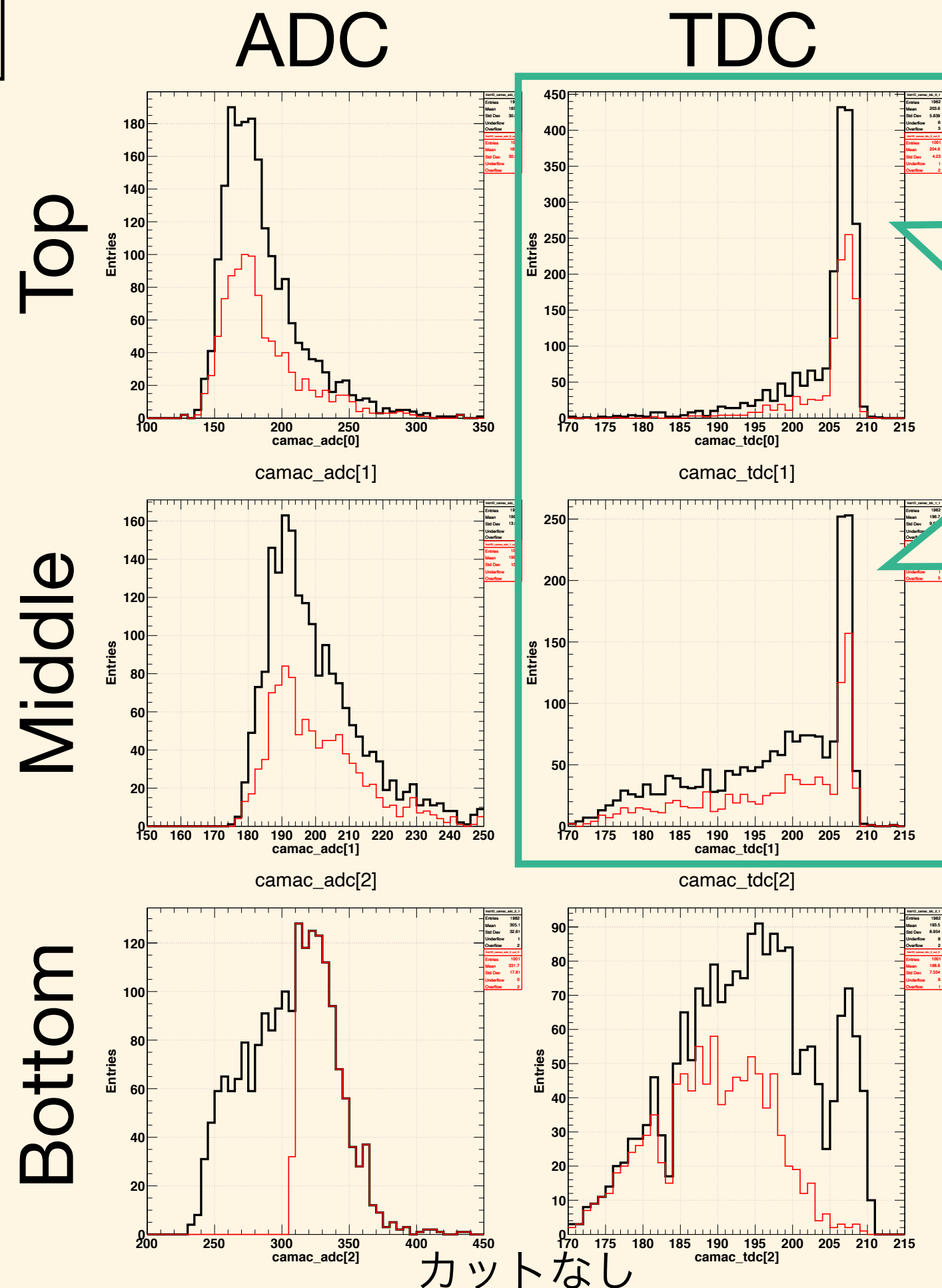
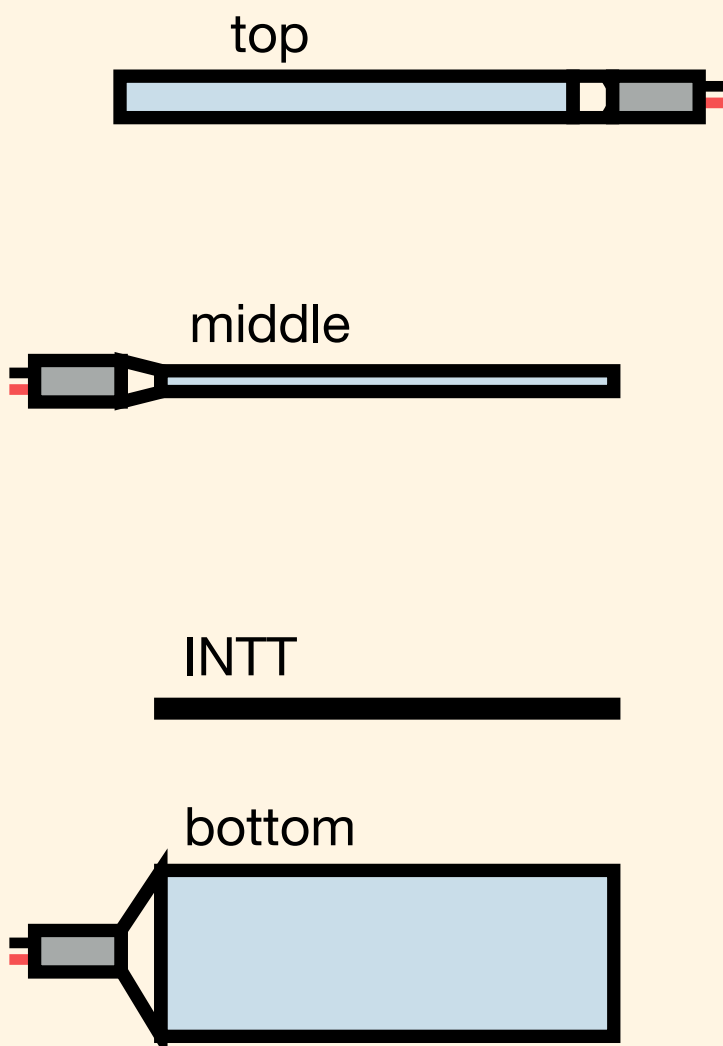


INTT テスト機を用いた検出効率の評価

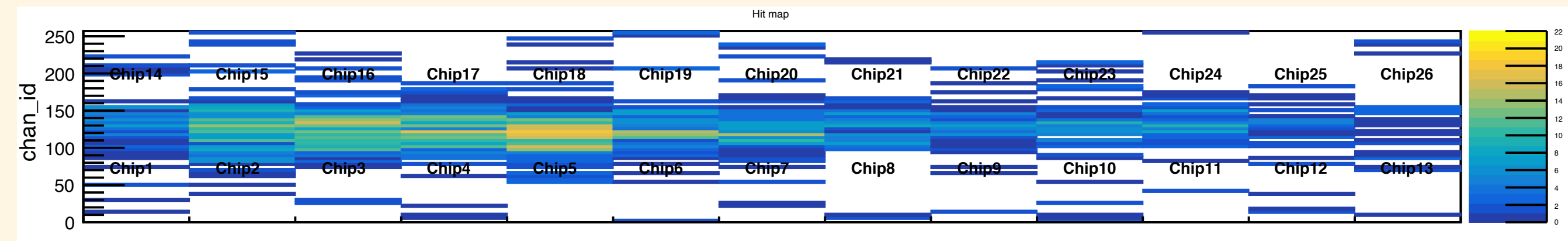
検出効率 ≡ $\frac{\text{INTT へのヒットがある外部トリガーイベントの数}}{\text{外部トリガーイベントの数}}$

- 外部トリガーのイベント
- + INTT ヒットあり

測定:
2021/03/05
66 時間



コインシデンスのタイミングをこのシンチレータが決めている
i.e. 自分自身でスタート、ストップをかけている



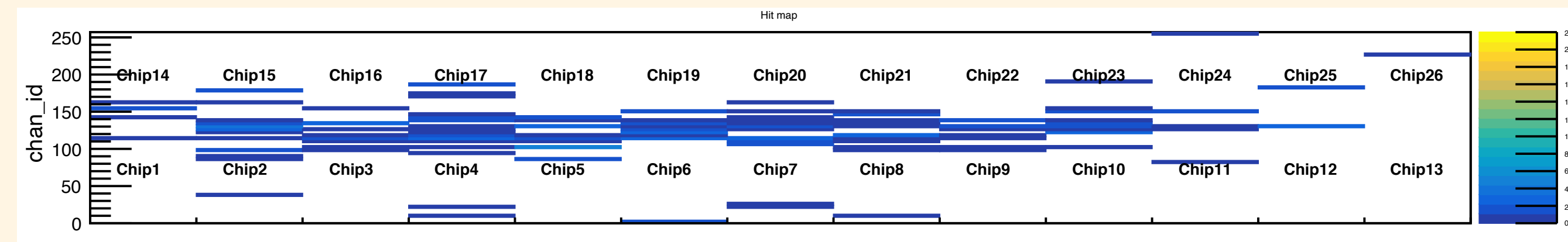
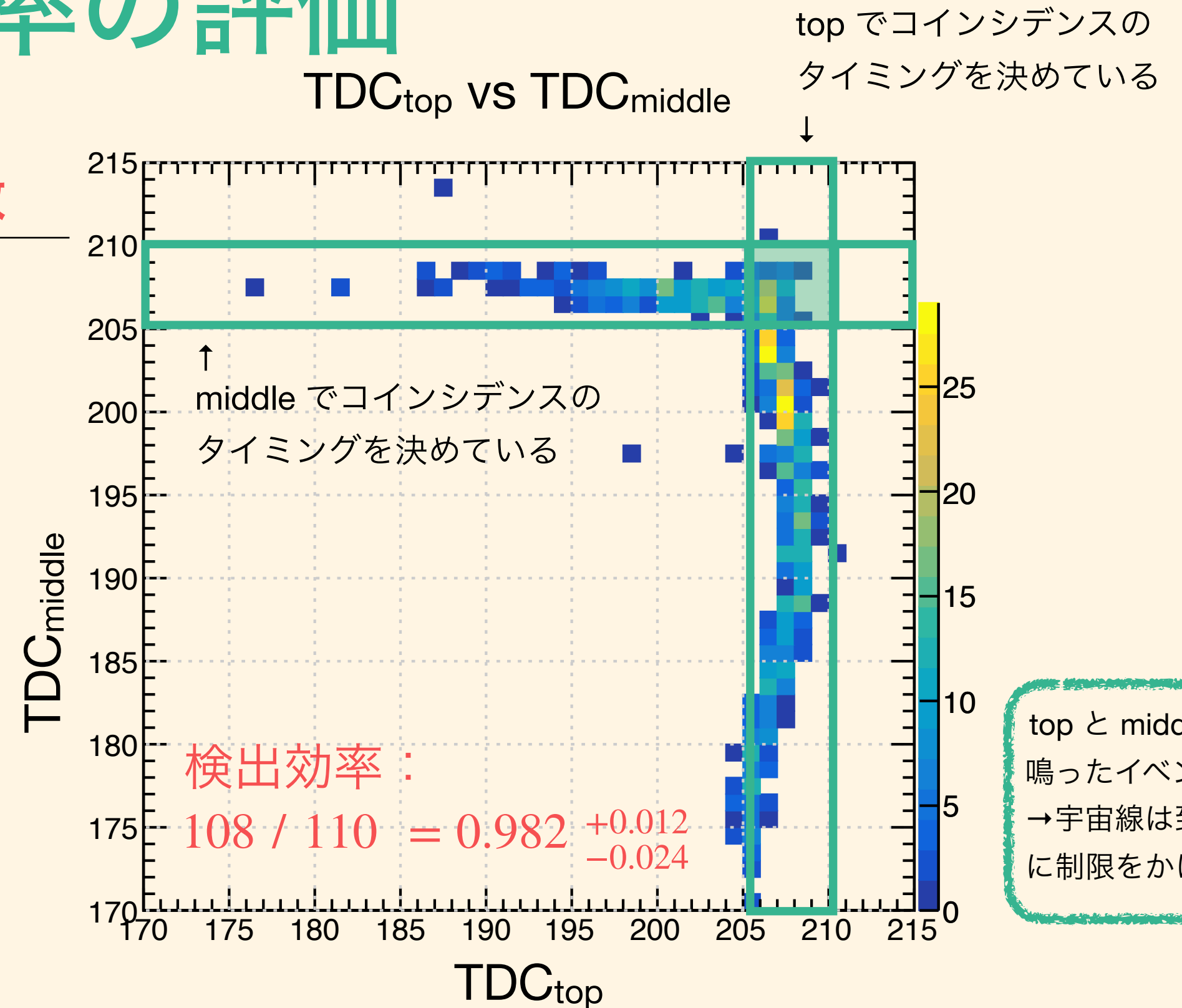
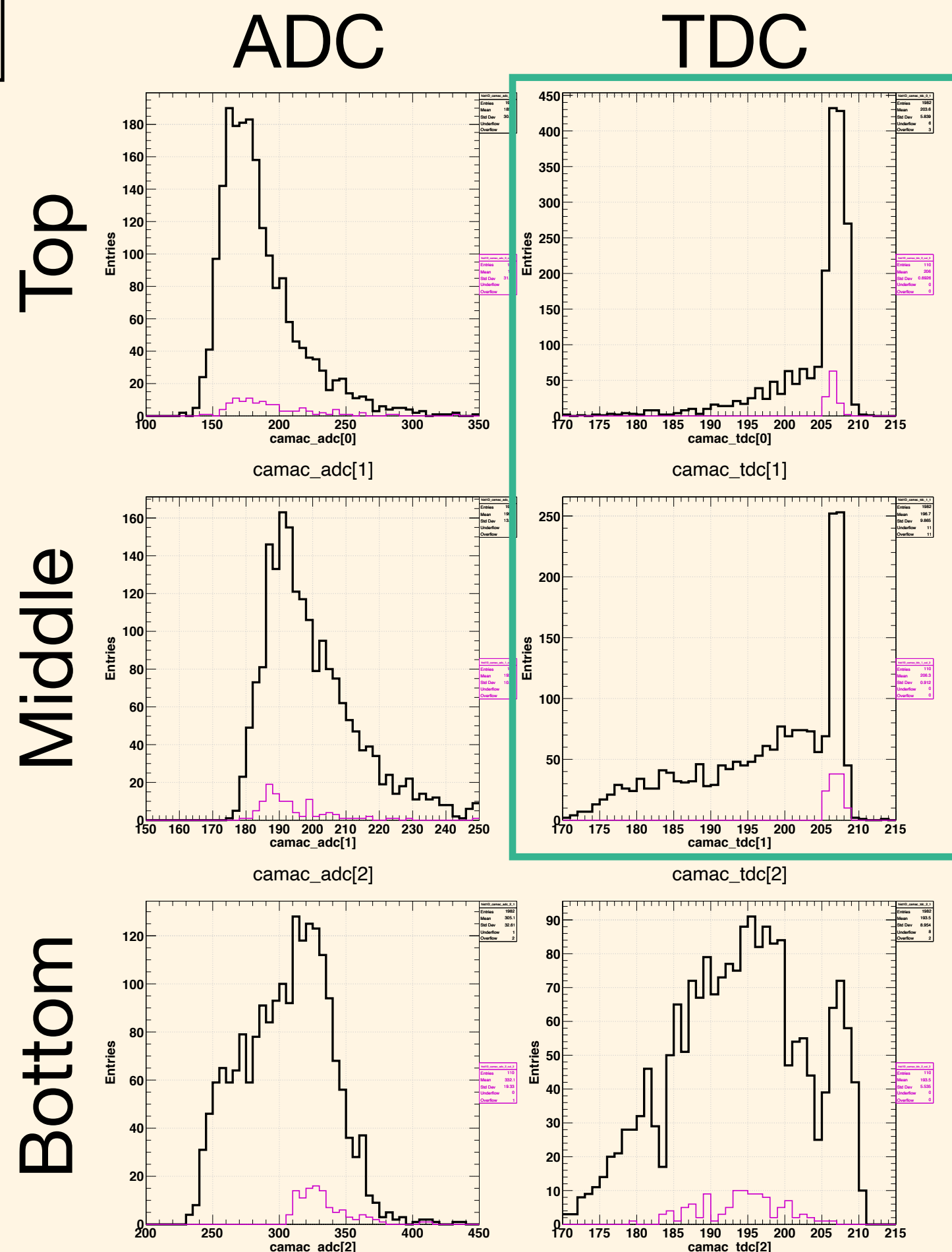
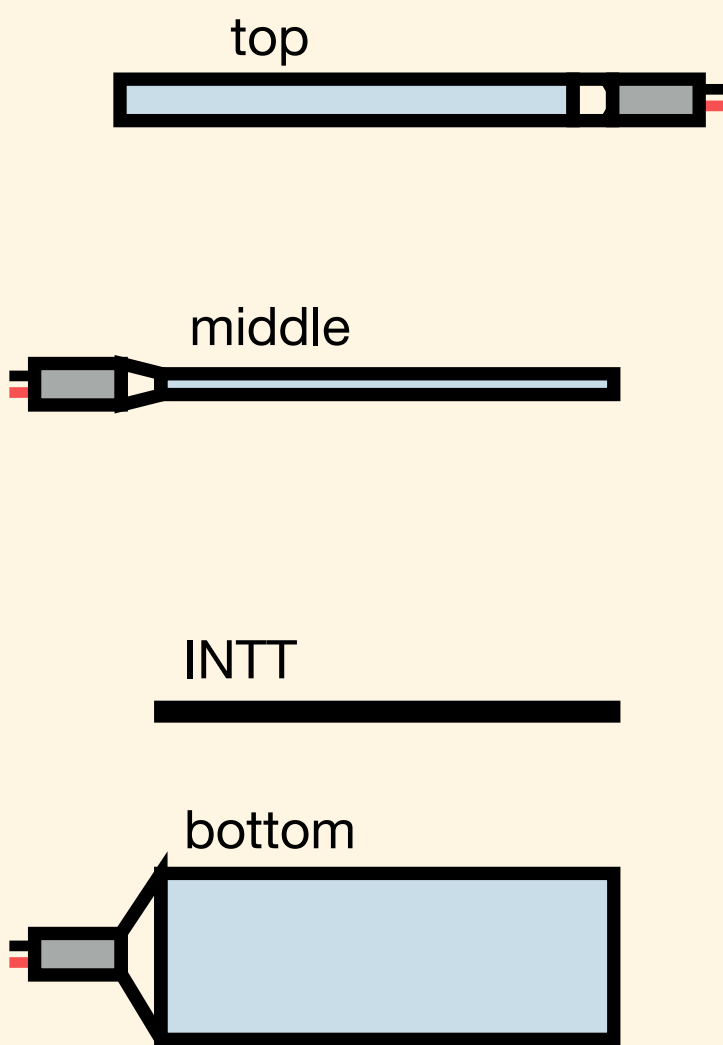
カットなし

INTT テスト機を用いた検出効率の評価

検出効率 \equiv $\frac{\text{INTT へのヒットがある外部トリガーイベントの数}}{\text{外部トリガーイベントの数}}$

- 外部トリガーのイベント
- + INTT ヒットあり

測定:
2021/03/05
66 時間



動作クロックへの依存性は未確定

宇宙線のすり抜けがまだ存在しているかもしれない

* シリコンチップ (type-A と type-B) の間に不感領域 0.2 mm (面積で 1%程度) がある

まとめ

sPHENIX 実験

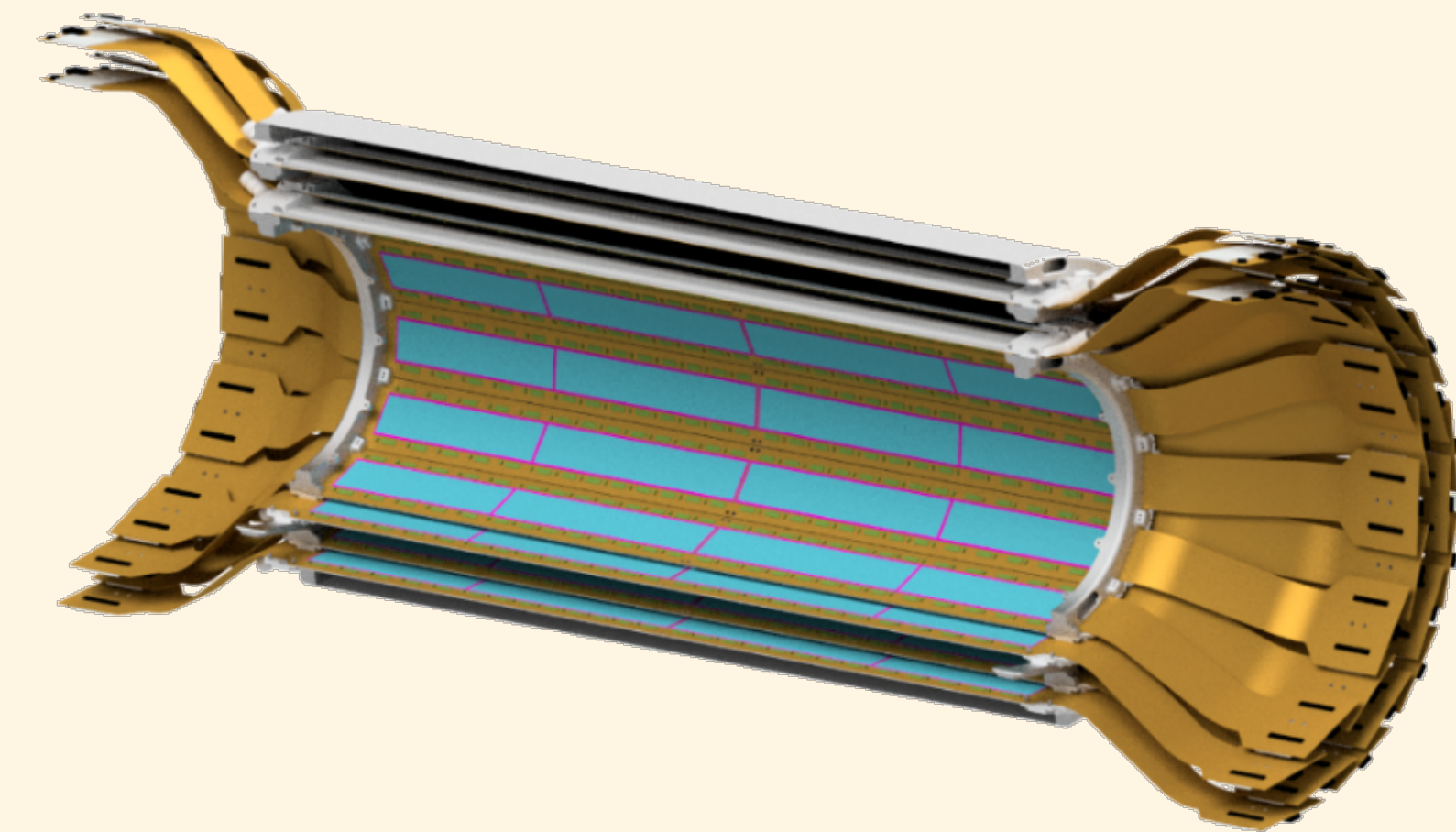
- ・ sPHENIX は 2023 年から BNL RHIC で QGP とスピン物理ための実験を行い、b クォークでタグ付けしたジェットや $\Upsilon(1S, 2S, 3S)$ の測定から QGP の物性を研究する。

INTT 検出器の開発状況

- ・ シリコンストリップを用いた 2 層のバレル型検出器で、 $|\eta| < 1.1$, $|z_{\text{vtx}}| < 10 \text{ cm}$ で全方位角を覆う。
- ・ 2 層のバレルは計 56 個のラダーからなる。
- ・ ラダーはシリコンモジュール(ストリップ幅 $78 \mu\text{m}$ 、 $320 \mu\text{m}$ 厚、 $128 \text{ ch} \times 26 \text{ チップ} \times 2$)、FPHX チップ、HDI、CFRP 製 stave からなる。
- ・ ほとんどのパーツはテスト、試作、量産が完了し、ラダーの量産、INTT の建設が間近に迫っている。

INTT テスト機の検出効率

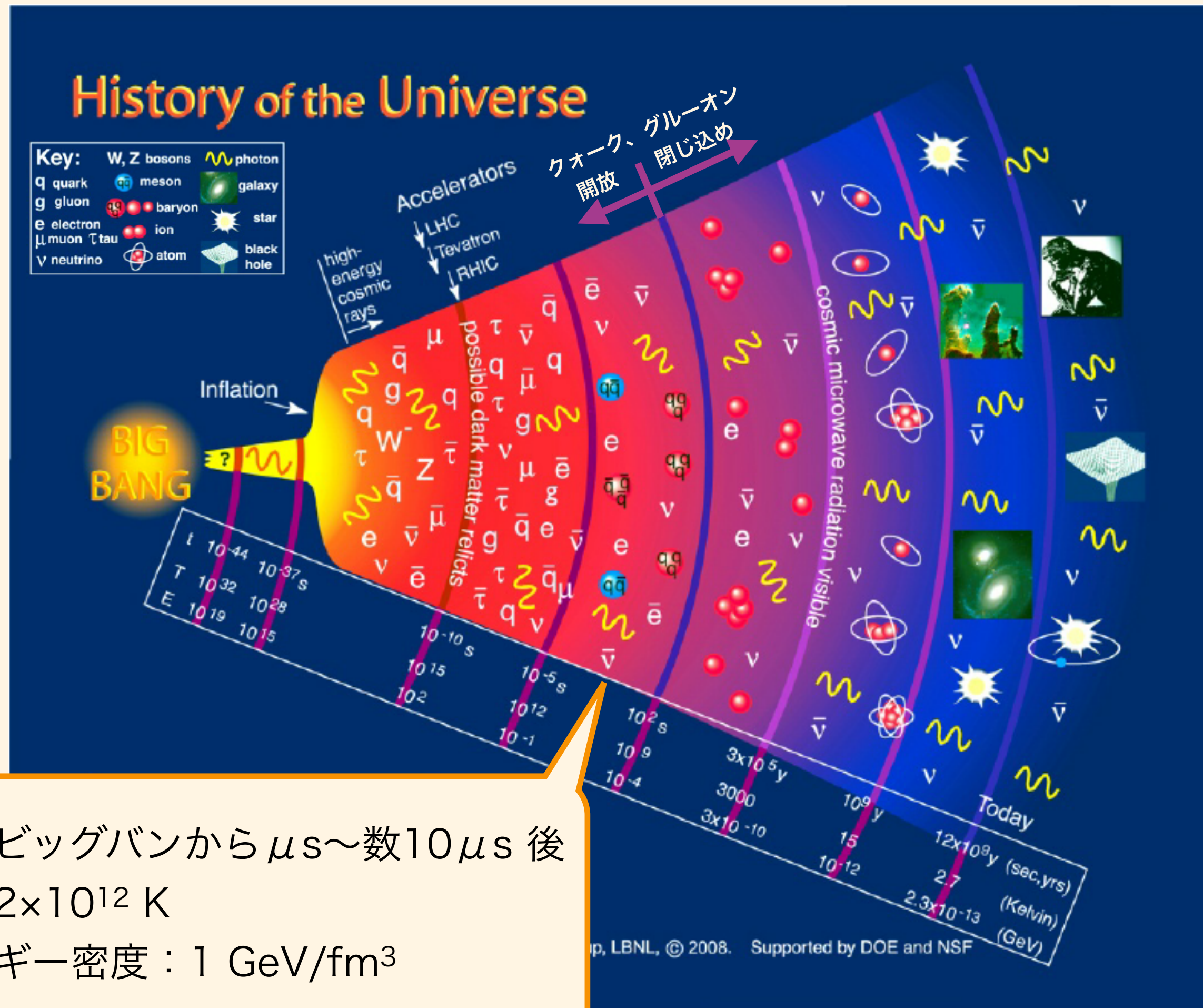
- ・ シリコンモジュールのテストで残された最後の確認事項。
- ・ 新たに外部トリガーシステムを構築し、既存の INTT テスト機用 DAQ に統合した。
- ・ 宇宙線測定から検出効率 98.2% ($+1.2\%$ -2.4%)を得た。
- ・ 検出効率の動作クロック依存性は未確定。



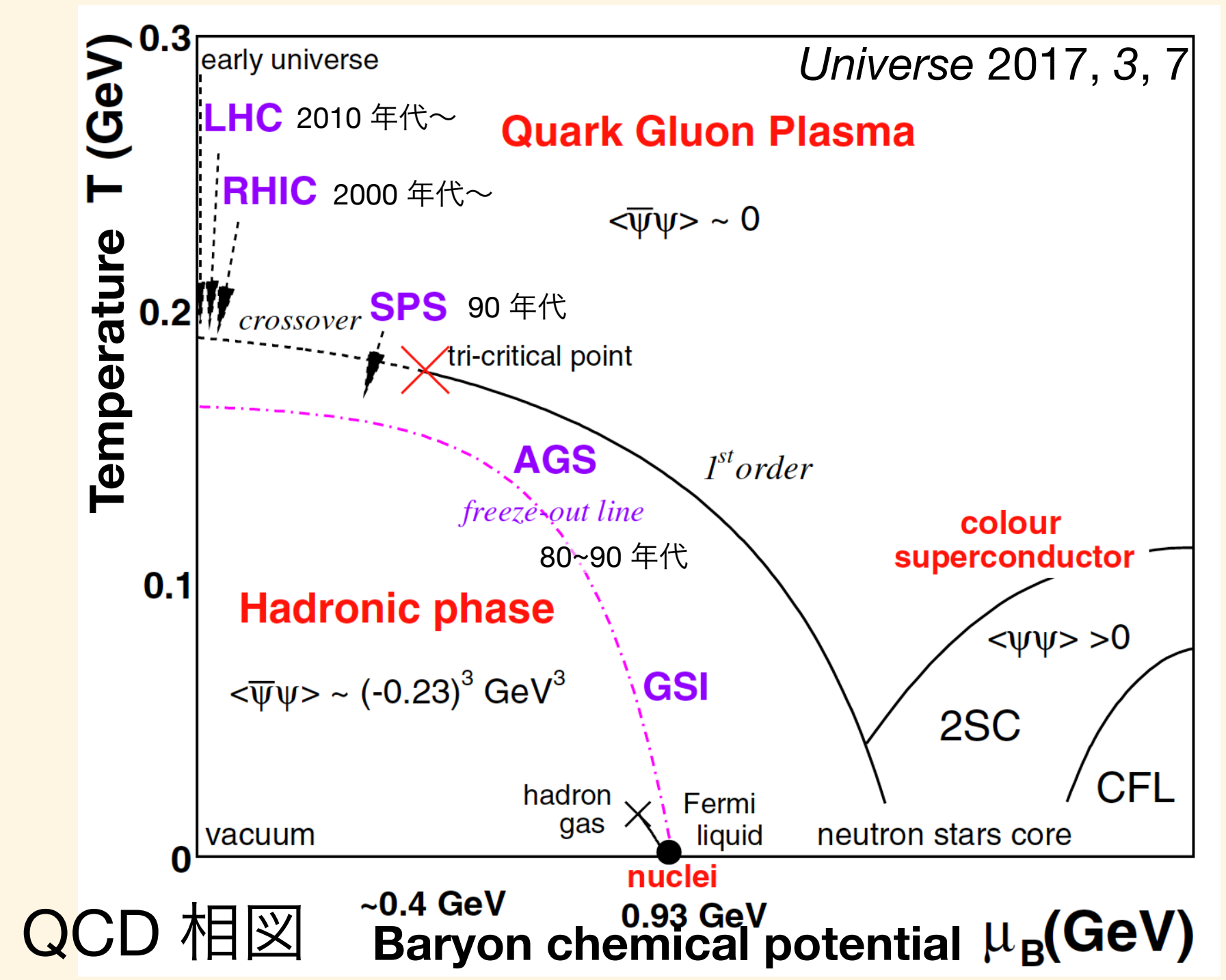
backup

クォーク・グルーオン・プラズマ (QGP)

- クォークとグルーオンが閉じ込めから開放された状態
- ビッグバンの数 $10 \mu\text{s}$ 後に存在していた
- BNL RHIC (2000~) で QGP を実験的に発見
- CERN LHC (2010~) でも存在を確認、性質の衝突エネルギー依存性が見えてきた
- QGP 物性の系統的な研究を行う段階に達した

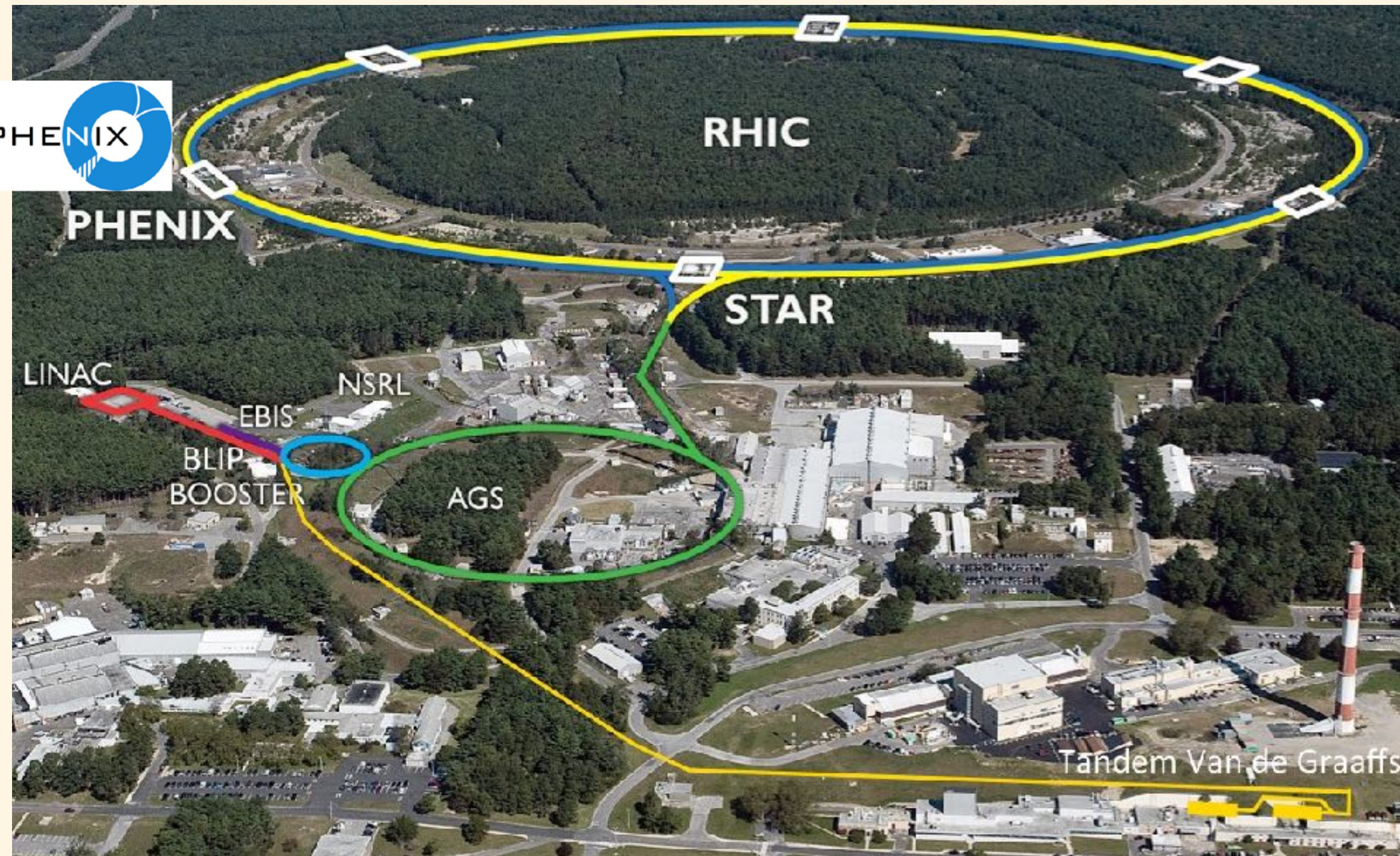
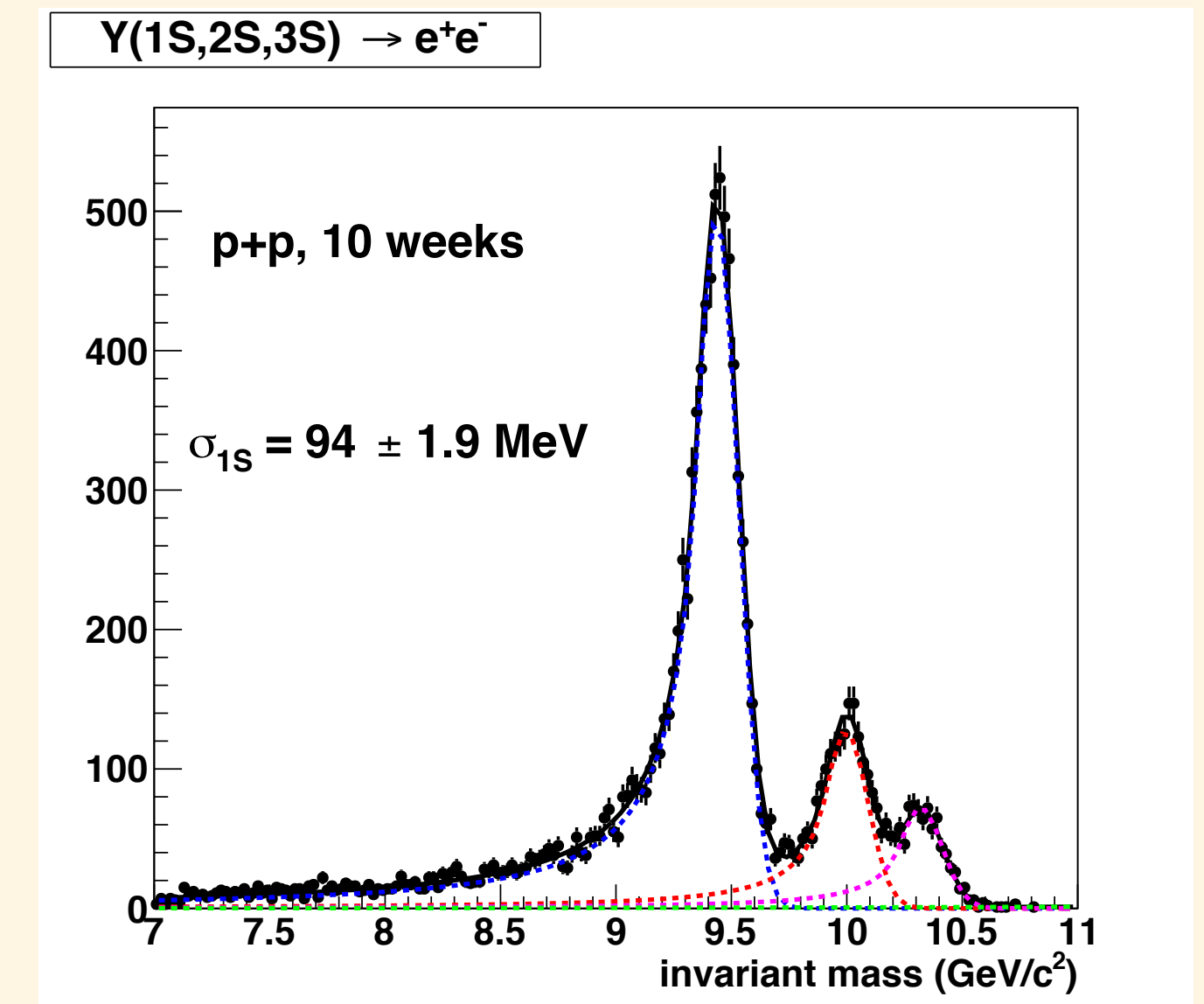


時間：ビッグバンから μs ~ 数 $10 \mu\text{s}$ 後
 温度： 2×10^{12} K
 エネルギー密度： 1 GeV/fm^3



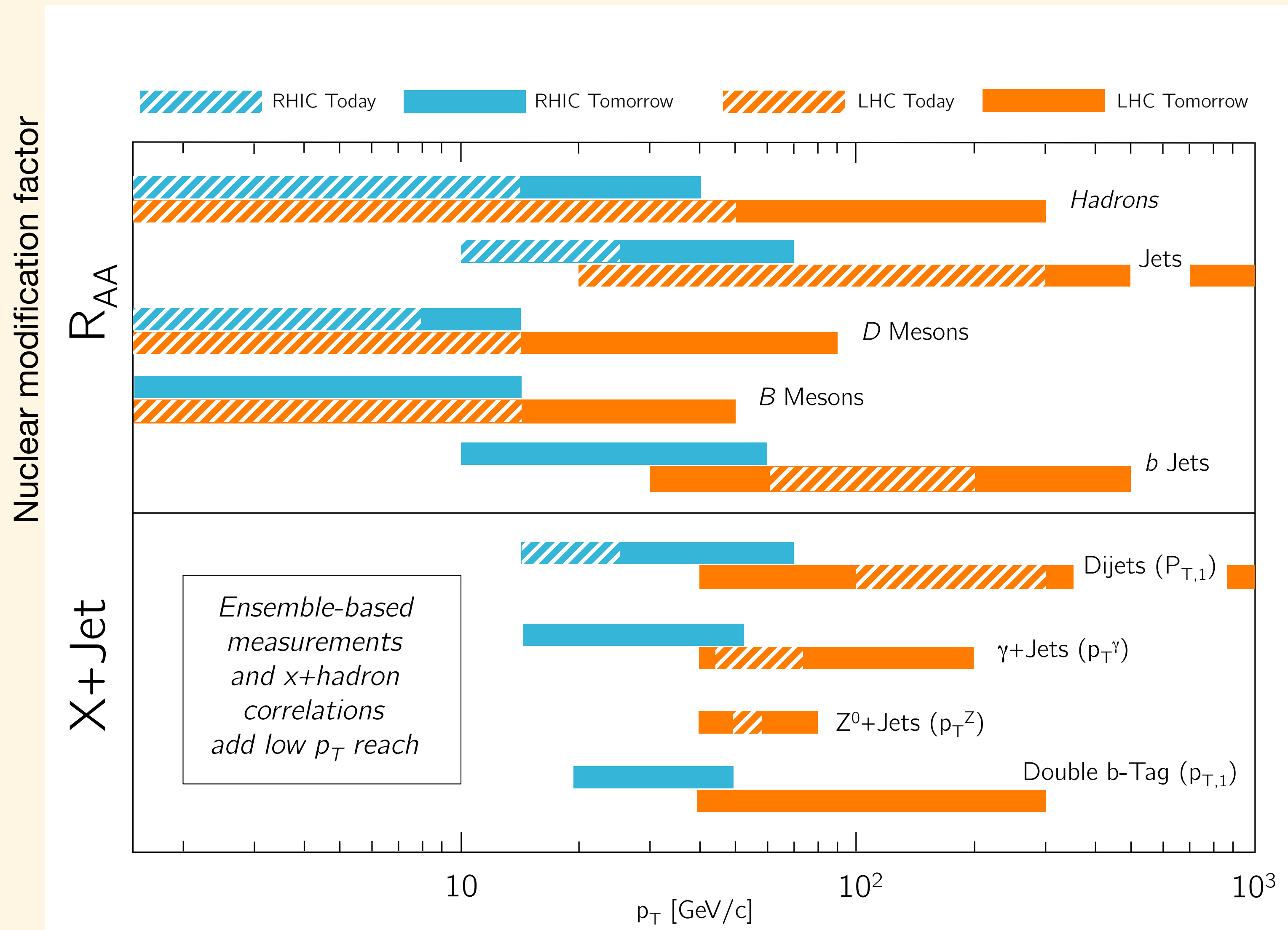
RHIC sPHENIX 実験

- BNL の RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) で 2023 年から QGP, スピン物理の実験を行う PHENIX の後継グループ
- 13 カ国 80 の研究機関から 320 名以上メンバーが参加している



年	ビーム	$\sqrt{s_{NN}}$ (GeV)	データ収集 (週)	ルミノシティ, $ z < 10$ cm
2023	Au + Au	200	9	3.7 nb ⁻¹
2024	p [↑] + p [↑]	200	12	0.3 pb ⁻¹ (5 kHz)
2024	p [↑] + Au	200	5	0.003 pb ⁻¹
2025	Au + Au	200	20.5	13 nb ⁻¹

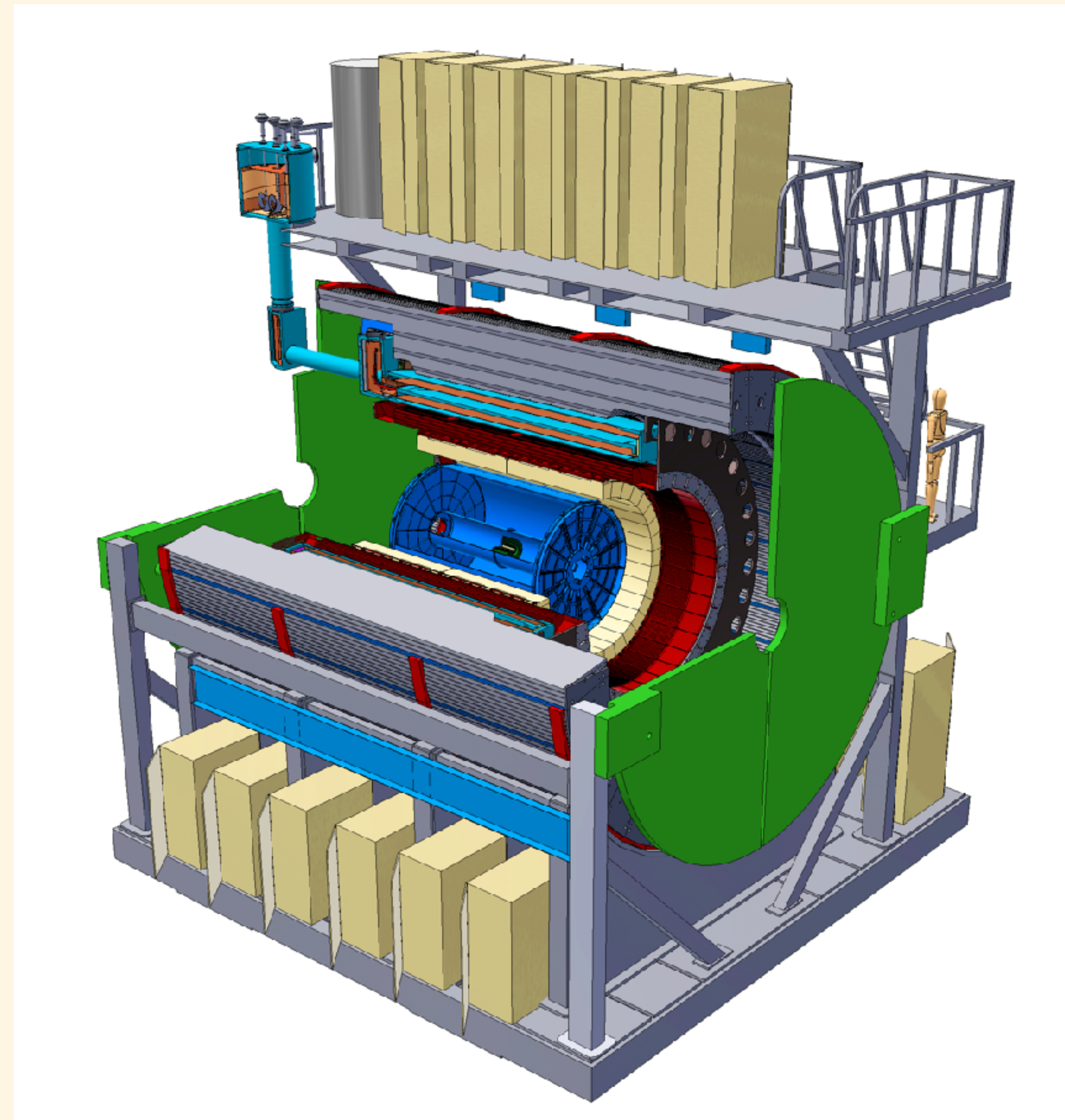
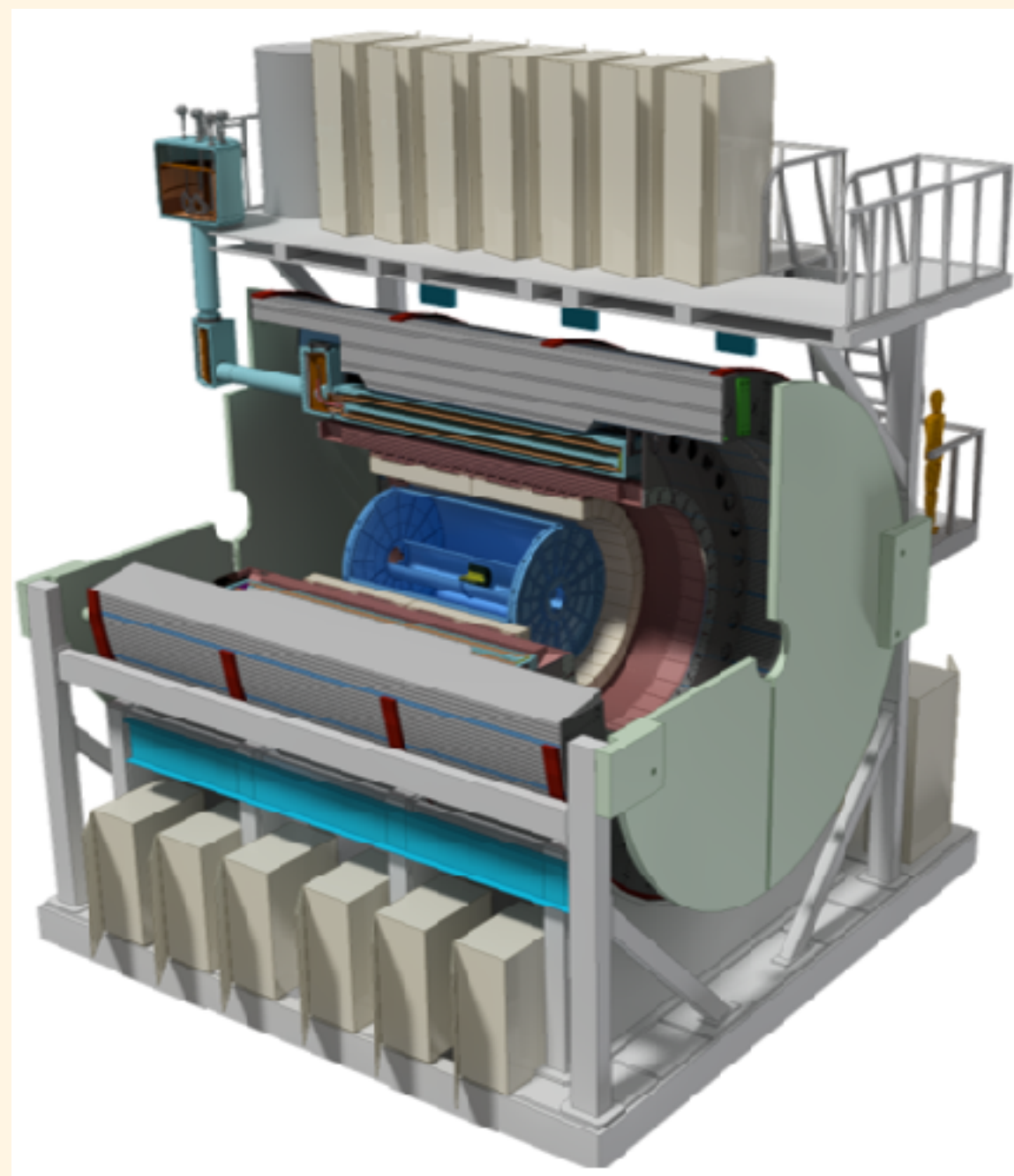
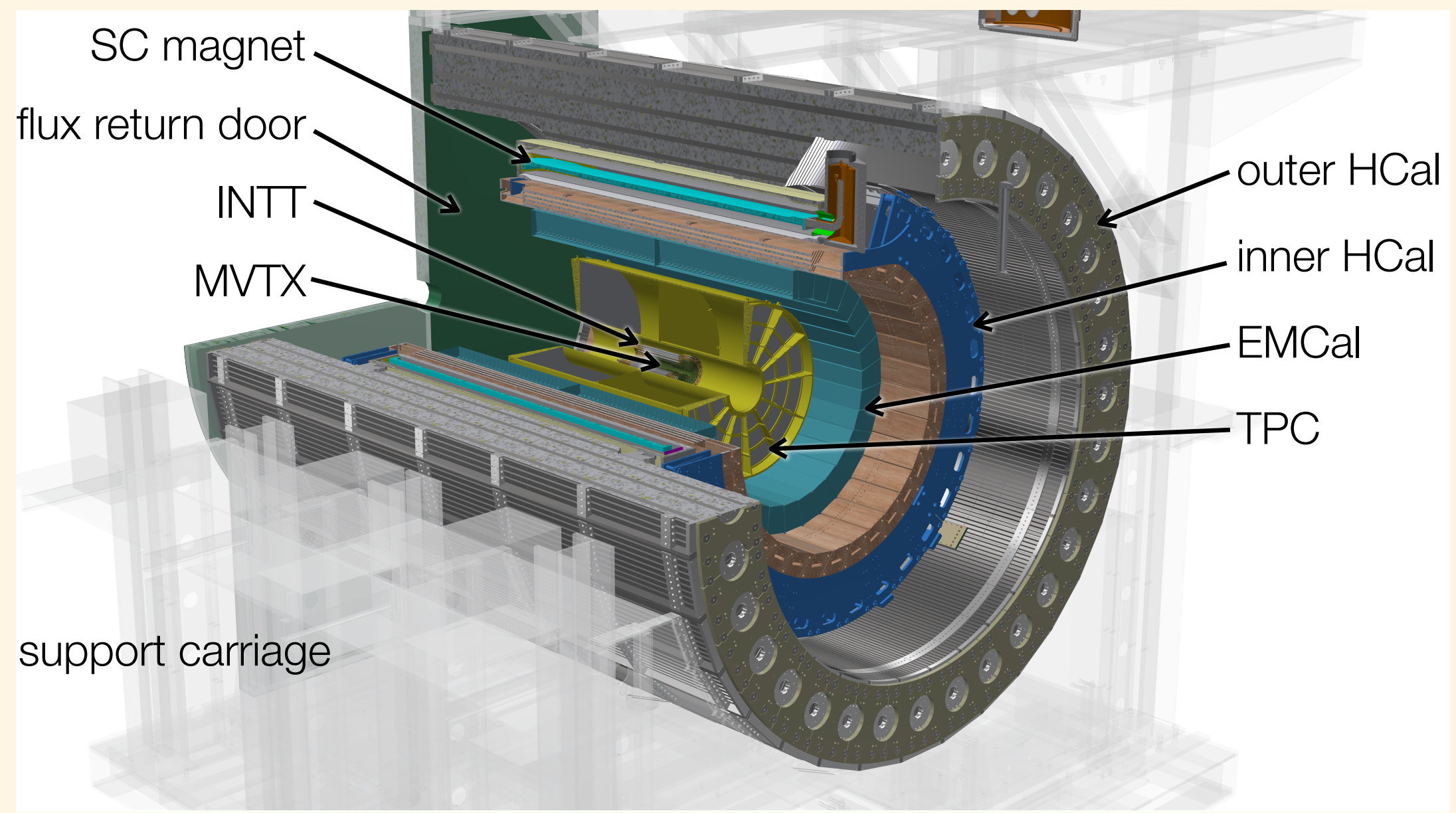
2025 年までの予定



RHIC, LHC それぞれのアップグレード前後で
チャンネルごとに測定できる p_T 領域。

RHIC sPHENIX 実験

年	ビーム	$\sqrt{s_{NN}}$ (GeV)	データ収集 (週)	Rec. Lum., $ z < 10$ cm	Samp. Lum., $ z < 10$ cm
2023	Au + Au	200	9	3.7 nb ⁻¹	4.5 nb ⁻¹
2024	p ⁺ + p ⁺	200	12	0.3 pb ⁻¹ (5 kHz)	45 pb ⁻¹
2024	p ⁺ + Au	200	5	0.003 pb ⁻¹	0.11 pb ⁻¹
2025	Au + Au	200	20.5	13 nb ⁻¹	21 nb ⁻¹
2026	p ⁺ + p ⁺	200	15.5	1.0 pb ⁻¹ (10 kHz)	80 pb ⁻¹
2026	O + O	200	2	18 nb ⁻¹	37 nb ⁻¹
2026	Ar + Ar	200	2	6 nb ⁻¹	12 nb ⁻¹
2027	Au + Au	200	24.5	30 nb ⁻¹ (100%-str/DeMux)	30 nb ⁻¹



RHIC sPHENIX 実験、検出器

$|\eta| < 1.1$, $|z_{vtx}| < 10$ cm で全方位角 2π を覆う

ジェット (b クォークタグ、 γ)、 $\Upsilon(1S, 2S, 3S)$ の再構成を可能にする

磁石

BaBar 実験の超電導ソレノイド磁場 1.5 T

Hcal (マグネット内側と外側)

非磁性金属とシンチレーター (内側)、鉄とシンチレーター (外側)
マグネット用冷凍機でハドロンシャワーが広がる前に測定する

EMcal

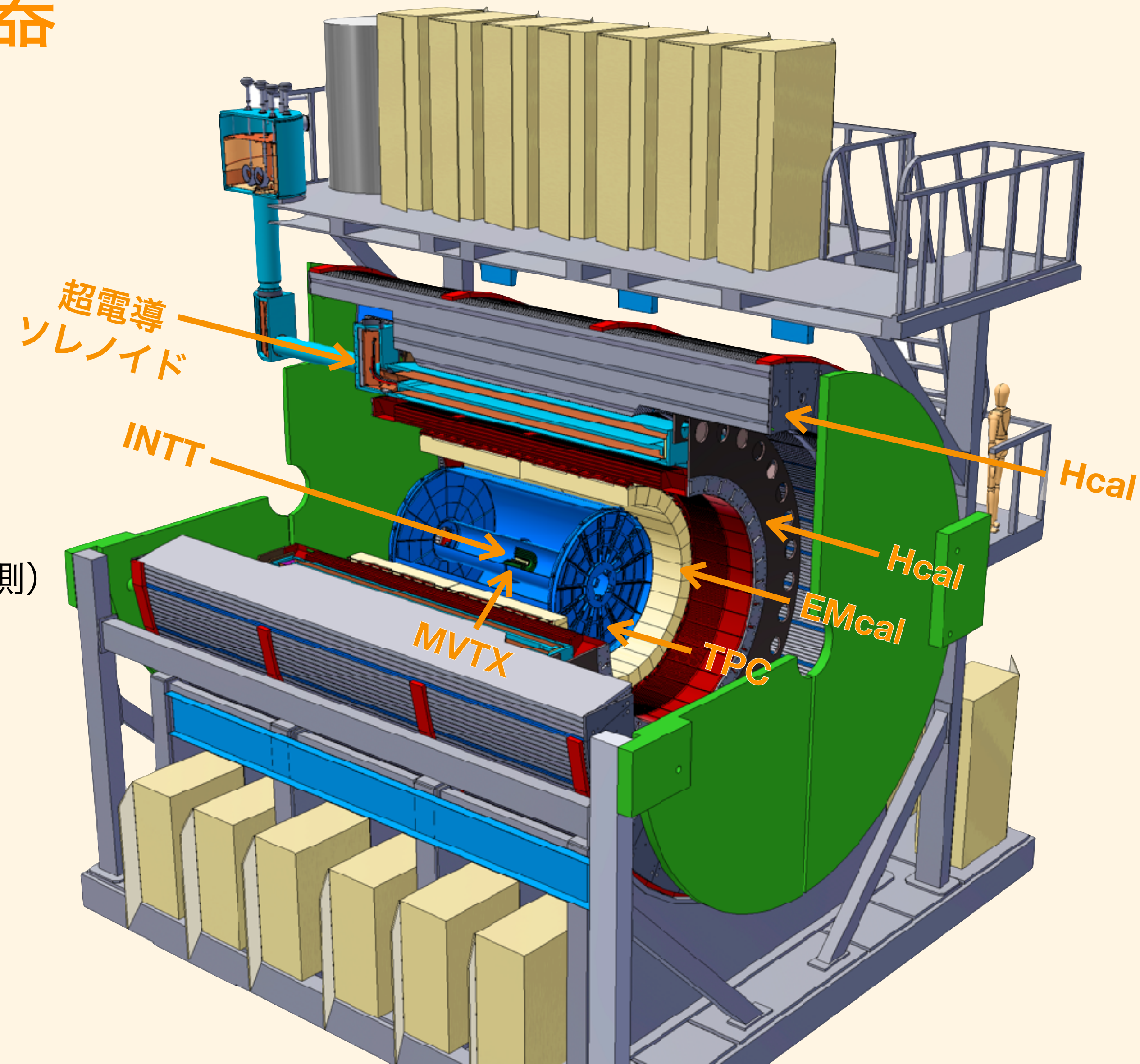
タングステンとシンチレーションファイバー、
省スペース・小セグメント ($\eta \times \phi = 0.024 \times 0.024$)

トラッキング

TPC: $r < 80$ cm, 運動量分解能を与える

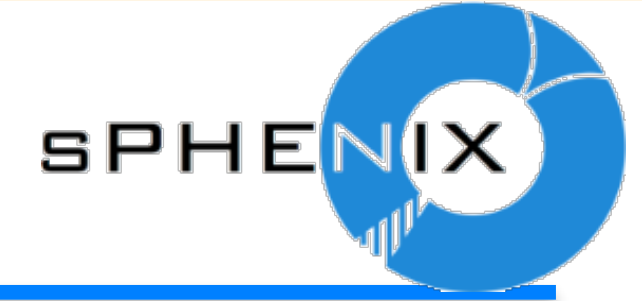
INTT: $r < 10$ cm, 後述

MVTX: $r < 4$ cm, Monolithic active pixel 検出器、崩壊点を決める



sPHENIX 検出器

INTT Collaboration (Manpower)



BNL

- Rachid Nouicer
- Dan Cacace
- Connor Miraval
- Robert Pisani
- Steven Andrade
- Donald Pinelli
- Antonio Vederosa



Purdue University

- Wei Xie
- Milan Stojanovic
- Han-Sheng Li



Rikkyo University

- Hikaru Imai
- Daisuke Imagawa



RIKEN

- Itaru Nakagawa
- Yasuyuki Akiba
- Genki Nukazuka



Nara Women's University

- Takashi Hachiya
- Maya Shimomura
- Miu Morita
- Mika Shibata
- Yumika Namimoto
- Sakiko Nishimori
- Runa Takahama
- Natsuki Kuroda



National Central University

- Chia-Ming Kuo
- Kai-Yu Cheng
- Cheng-Wei Shih
- Wei-Che Tang



National Taiwan University

- Rong-Shyang Lu
- Lien-Sheng Tsai
- Jenny Huang



Japan Atomic Energy Agency

- Shoichi Hasegawa



Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute

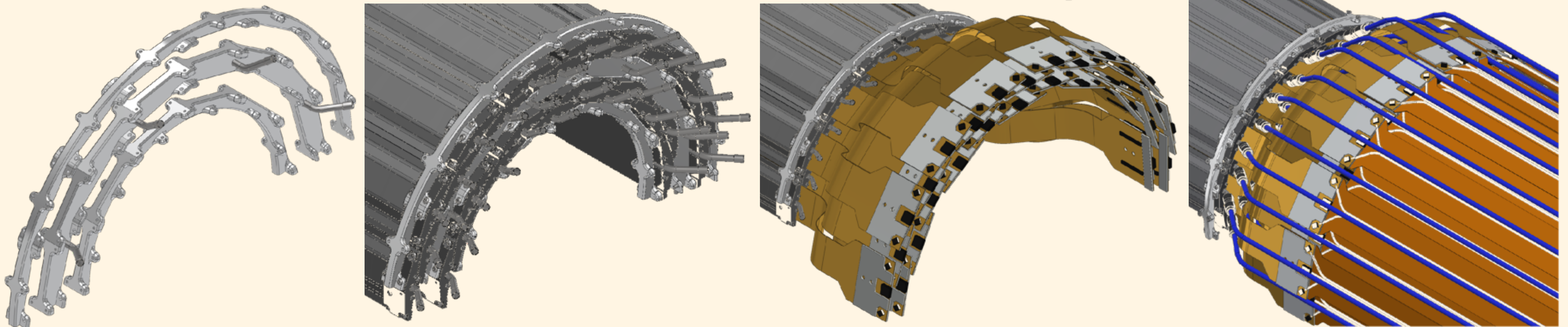
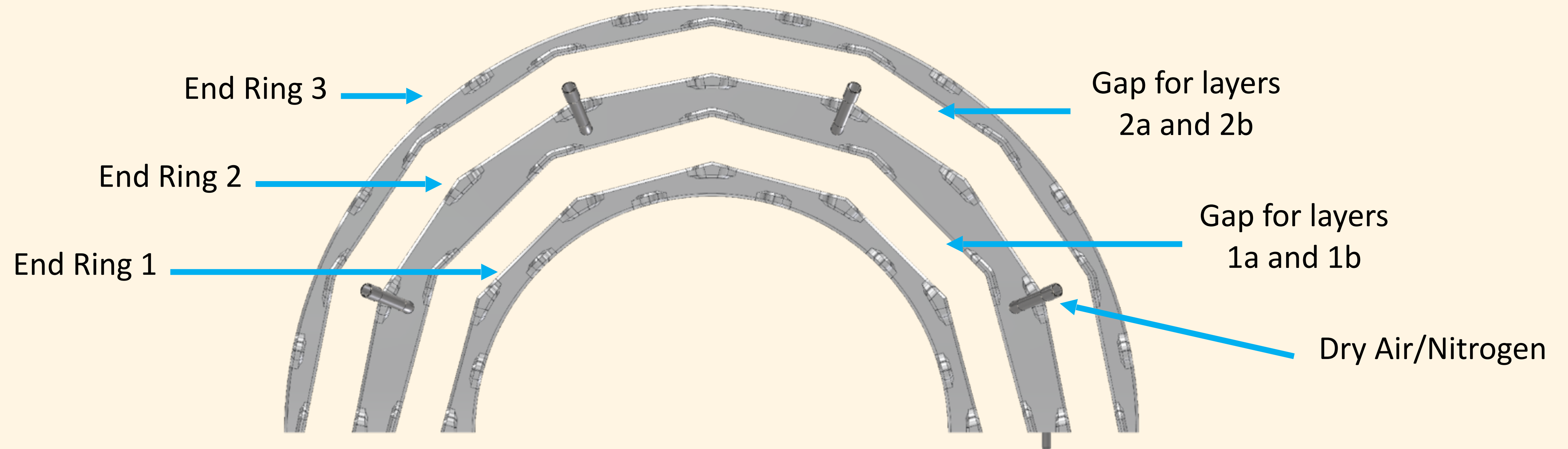
- Takashi Kondo



Hayashi-REPIC co.

- Daisuke Yanagawa

INTT バレル



シリコンセンサー

HAMAMATSU

シリコンストリップディテクタ
S14629-01

■絶対最大定格

項目	記号	仕様	単位	備考
逆バイアス電圧	Vbr	250	V	
動作温度	Toper	-20 ~ +60	°C	結露なきこと
保存温度	Tstg	-40 ~ +100	°C	結露なきこと

■仕様

項目	仕様	単位
SSDタイプ	AC-SSSD	-
バイアス供給方式	Poly-Si bias方式	-
パッケージ	ベアチップ	-
シリコン厚	320±15	μm
ストライプピッチ	78	μm
ストライプインプラント幅	10	μm
ストライプ読出しアルミ幅	20	μm

■外形 (2種)

項目	Type A	Type B	単位
チップサイズ	130000±40 × 22500±40	102000±40 × 22500±40	μm
ストライプ数	128x16	128x10	ch

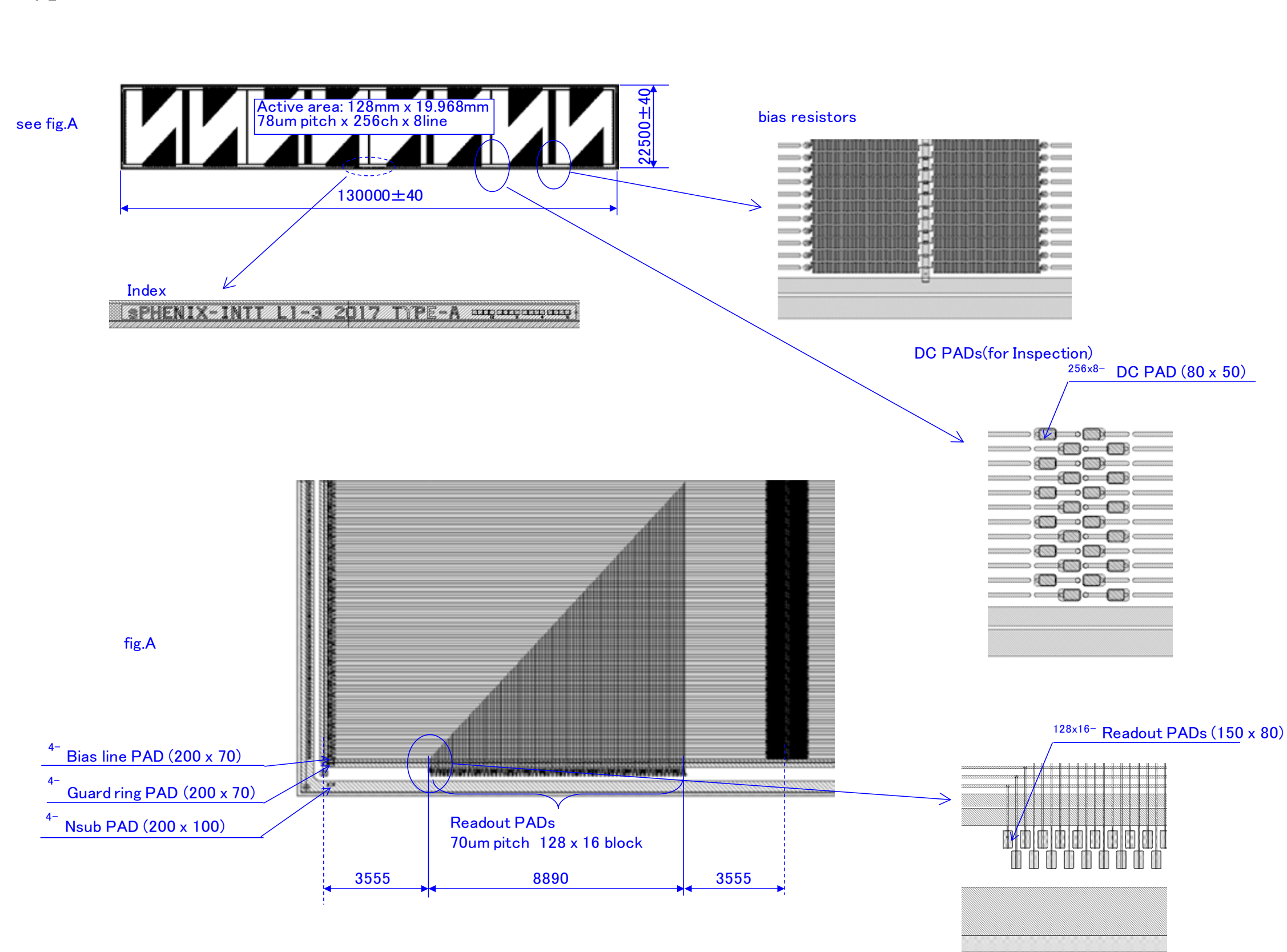
■電気的光学的特性 (Ta = +25° C)

項目	条件	Min.	Typ.	Max.	単位
全空乏化電圧		—	—	120	V
暗電流	Vr=Vfd	—	—	400	nA
ポリシリコン抵抗値		5	—	15	MΩ
アルミ電極抵抗		—	—	50	Ω
ストリップ不良率		—	—	2	%

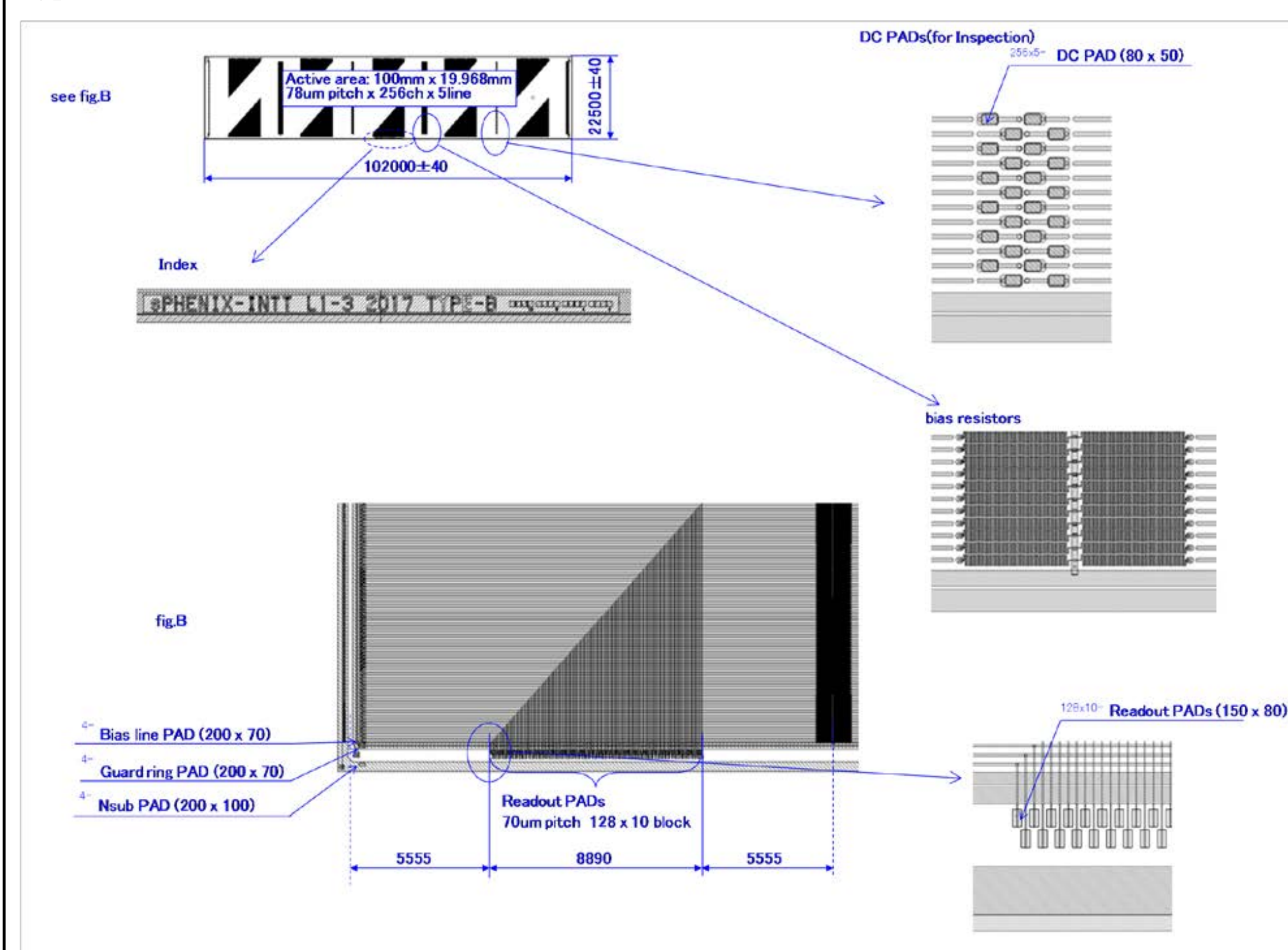
シリコンセンサー

■外形図

Type A



Type B



FPHX Chip (Analog Section)

128 channel

46, 50, 60, 67, 85, 100, 150, or 200 mV/fC

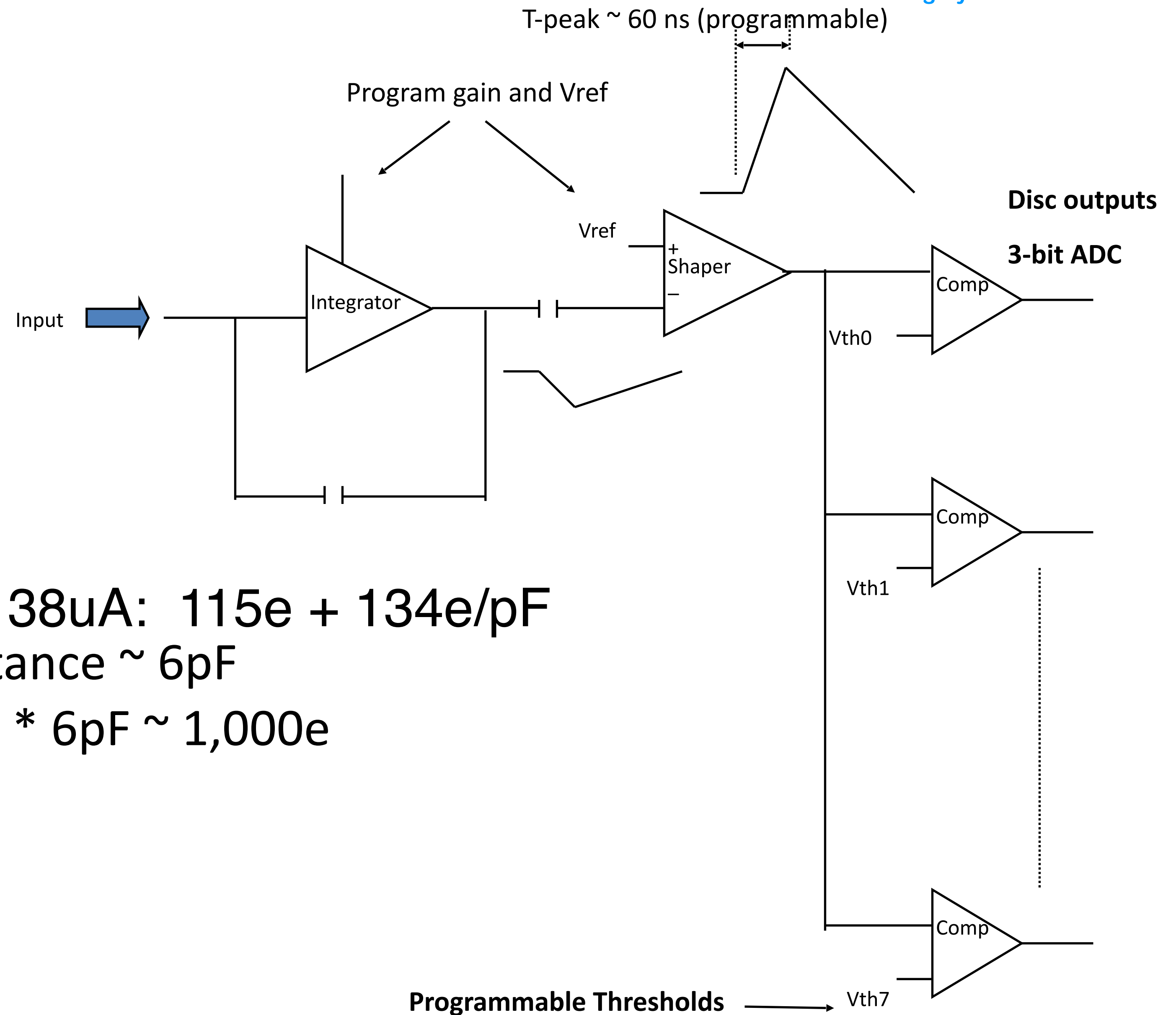
60 ns peak time (rt- pgmbl)

3-bit ADC (th-pgmbl)

Optimized to 1 to 2.5 pf input

115e + 134e/pf

~ 70 to 140 μ W/ch (dep. gain)



At max. input transistor bias of 38 μ A: 115e + 134e/pF

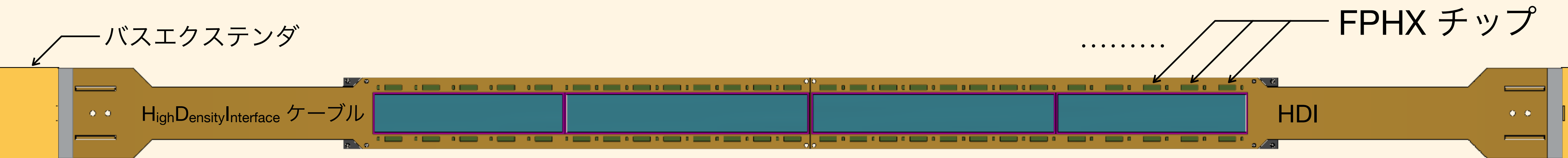
Silicon strip + readout line capacitance \sim 6pF

Predicted noise \sim 115e + 134e/pF * 6pF \sim 1,000e

Signal \sim 20,000e

Expected S/N \sim 20/1

Intermediate tracker (INTT), ラダー, 物質量



Material budget (stave)

Material	Thickness [μm]	Radiation Length (mm)	X/X ₀ (%)
flat CFRP	0.3300	256.4122	0.129
formed CFRP	0.3411	256.4122	0.133
CFRP tube	0.1033	282.2909	0.037
Rohacell	1.4740	3771.3741	0.039
Epoxy	0.1016	298.7463	0.034
Water	0.0826	356.7854	0.023
Total			0.395

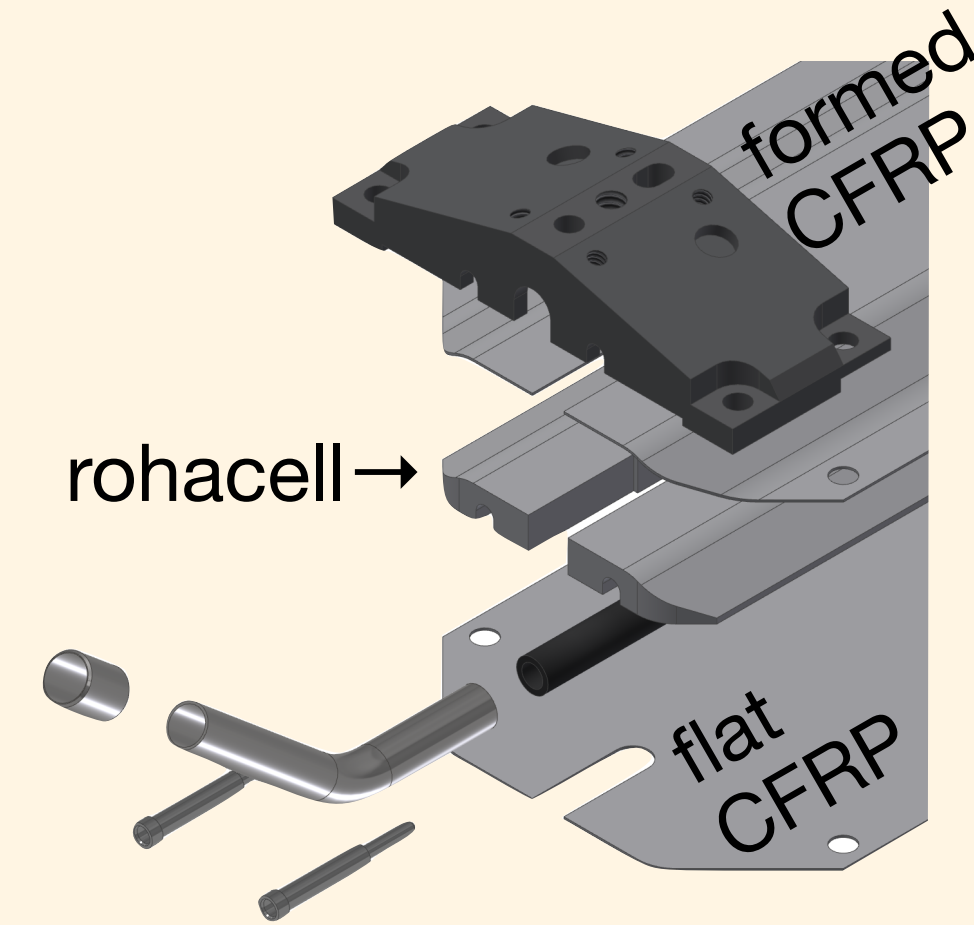
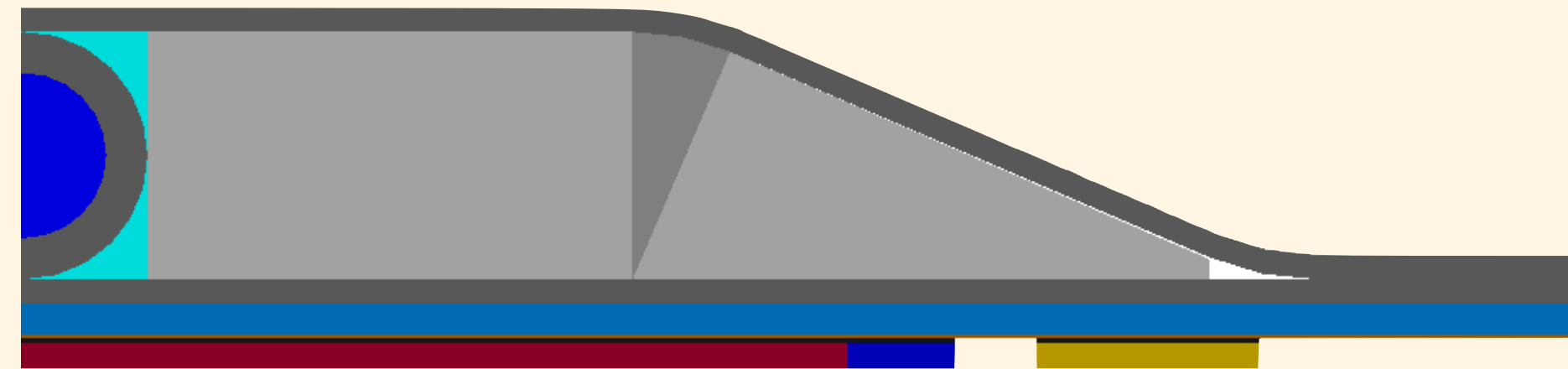
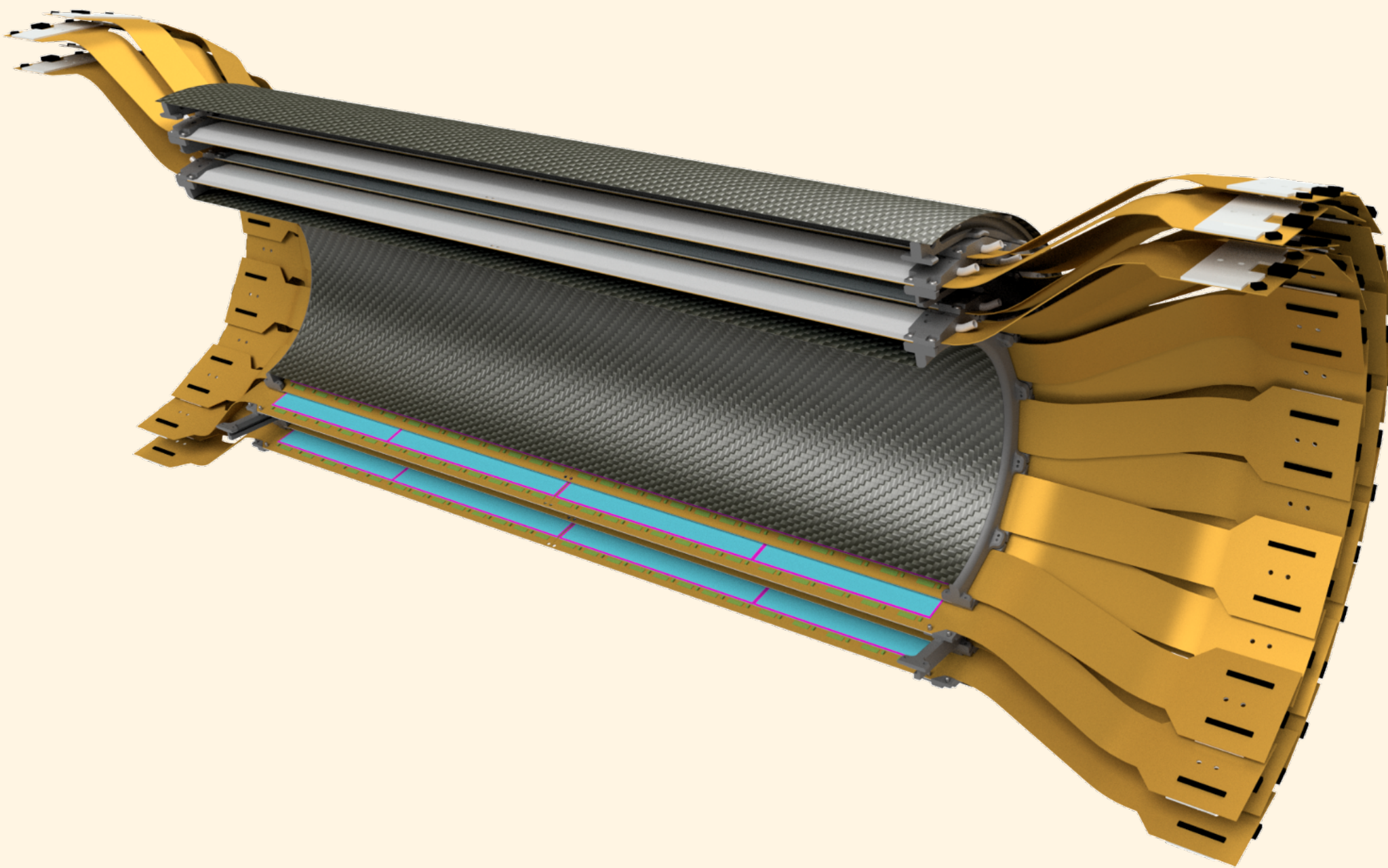
Material budget (HDI)

HDI Material	Thickness [μm]	X/X ₀ (%)
Copper	38	0.26
Polyimide	380	0.14
Total		0.40

Material budget

Material	Thickness [μm]	X/X ₀ (%)
Silicon	320	0.30
HDI	473	0.40
Stave	3620	0.40
Total		1.10

Intermediate tracker (INTT)



formed CFRP, 300 μm thickness

flat CFRP plate, 300 μm thickness

HDI kapton, 380 μm thickness

HDI copper, 37.6 μm thickness

Glue (silver), 14 or 50 μm thickness

Silicon sensor

接着剤

EP75-1 Master Bond Polymer System

Two component, graphite conductive epoxy system for bonding, sealing, coating

Key Features

- ✓ Cures at room temperature
- ✓ Non magnetic; graphite filled
- ✓ Good electrical conductivity
- ✓ Withstands 1,000 hours 85°C/85% RH

Product Description

Master Bond EP75-1 is a two component, graphite filled, electrically conductive epoxy for high performance bonding, sealing and coating. The mix ratio of the EP75-1 system is 100 to 15 by weight. It can cure at room temperature or more rapidly at elevated temperatures. The optimum cure schedule is overnight at 75°F followed by 1-2 hours at 150-200°F. The volume resistivity of EP75-1 is 50-100 ohm-cm placing it in the realm of applications involving static dissipation and for EMI/RFI shielding purposes. The graphite filler confers non magnetic properties as well as a modicum of lubricity to the system. In fact, EP75-1 is a material of choice when the requirement is for a non-metallic electrically conductive epoxy.

EP75-1 contains no solvents and has a paste-like consistency after mixing. It bonds well to a wide variety of substrates including metals, composites, ceramics, glass and many rubbers and plastics. It has reputable lap shear strength of over 1,400 psi along with worthy dimensional

stability. It has good chemical resistance to water, oils, acids and bases. Its service temperature range is 4K to +250°F. It can be used for electronic, aerospace, semiconductor, medical, fiber-optic, specialty OEM and related applications where a cost effective system for dissipating static electricity or EMI/RFI shielding, among the other properties mentioned above, might be needed.

Product Advantages

- Versatile cure schedules
- Well suited for shielding and static dissipation
- Non magnetic
- Good lubricity
- Outstanding dimensional stability
- Cryogenically serviceable
- Very low coefficient of thermal expansion

Typical Properties

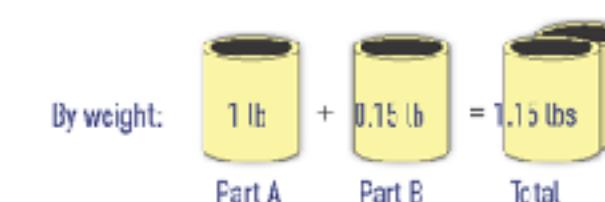
Tensile lap shear strength, aluminum to aluminum, 75°F	1,100-1,300 psi
Tensile strength, 75°F	5,000-6,000 psi
Tensile modulus, 75°F	300,000-350,000 psi
Hardness, 75°F	75-85 Shore D
Hardness after 1,000 hours 85°C/85% RH	85 Shore D
Thermal conductivity	13-14 BTU·in/(ft ² ·hr·°F) [1.87-2.02 W/(m·K)]
Coefficient of thermal expansion, 75°F	10-15 x 10 ⁻⁶ in/in/°C
Volume resistivity, 75°F	50-100 ohm-cm
Service temperature range	4K to +250°F [4K to +121°C]

Mixing and Curing

Mixing ratio, Part A to B	100:15
Viscosity of Part A, 75°F	paste
Viscosity of Part B, 75°F	200-500 cps
Working life after mixing, 75°F; 100 gram batch	30-60 minutes
Cure schedule options	
75°F	48-72 hours
150-200°F	2-3 hours
Optimum cure schedule	overnight at room temperature plus 1-2 hours at 150-200°F
Shelf life at 75°F, in original unopened containers	3 months minimum, 6 months maximum

Preparation of Adhesive

Master Bond EP75-1 is prepared by thoroughly mixing Part A with Part B in a 100:15 mix ratio by weight. Part A must be stirred individually prior to mixing. Mixing should be done slowly to avoid entrapping air.



Because of the 100:15 mix ratio of EP75-1, special care should be paid when mixing the A and B Parts together to ensure Part B is thoroughly distributed throughout Part A. The working life of a 100 gram batch is approximately 30-60 minutes. It can be lengthened by using shallower mixing vessels or mixing smaller size batches.

Preparation of Bonding Surfaces

All bonding surfaces should be carefully cleaned, degreased and dried. Non-porous or smooth surfaces should be roughened with sandpaper or mechanically abraded, to achieve maximum bond strength. When bonding to metal surfaces, chemical etching may be employed when the bonded joints are to exhibit optimal environmental durability.

Adhesive Application

Master Bond EP75-1 can be conveniently applied with a spatula, knife, or similar implement. Enough mixed adhesive should be applied to obtain a final adhesive bond line thickness of 1-4 mils. Porous surfaces may require somewhat more adhesive to fill the voids than non-porous ones. Thicker glue lines do not increase the strength of a joint but do not necessarily give inferior results. EP75-1 contains a limited amount of volatiles for ease of

dispensation. The system is a paste and can be made more flowable by adding 5-10% by weight of an appropriate solvent such as acetone or MEK. The parts to be bonded should then be pressed together with just enough pressure to maintain intimate contact during cure. When used as a coating, thicknesses of 0.001-0.003 inches are more than adequate.

Cure

Master Bond EP75-1 can be cured at room temperature or at elevated temperatures as desired. At room temperature it cures in 48-72 hours. Faster cures can be realized at elevated temperatures, e.g., 2-3 hours at 200°F. Remove excess adhesive promptly before it hardens with a spatula. Then wipe with a rag and solvent such as acetone. The thinner the layer of epoxy, the slower the rate of cure. EP75-1 does not reach its ultimate electrical properties, nor its full strength, until it is completely cured.

Packaging

Product is available in:

- Glass jars
- Pint kits
- Quart kits
- Gallon kits

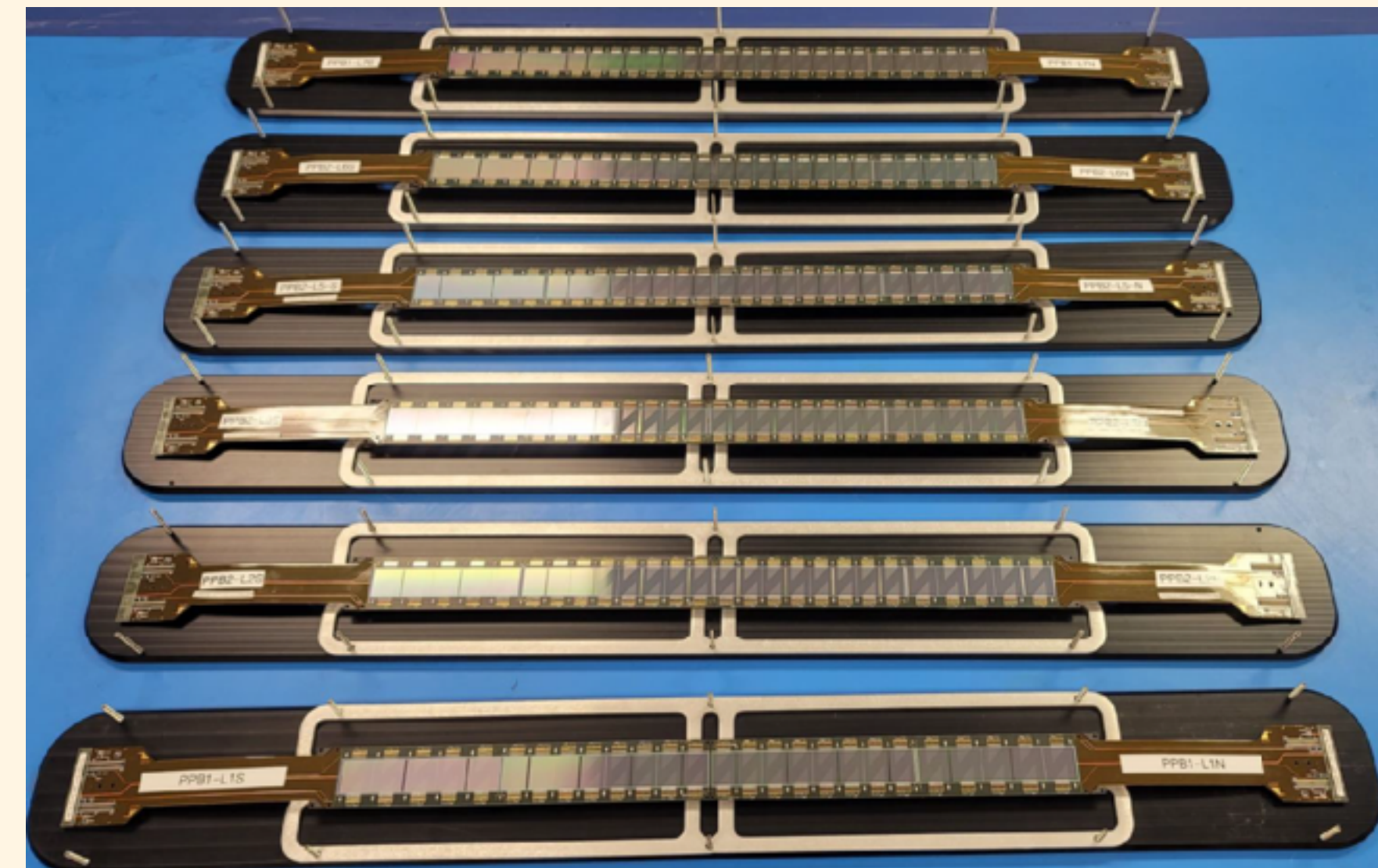


Handling and Storage

All epoxy resins should be used with good ventilation and skin contact should be avoided. For safe handling details, please consult the product SDS. Optimum storage is at or below 75°F in closed containers. No special storage conditions are necessary. Containers should, however, be kept closed when not in use to avoid contamination. Cleanup of spills and equipment is readily achieved with aromatic or ketone solvents employing proper precautions of ventilation and flammability.

Intermediate tracker (INTT), 準備状況

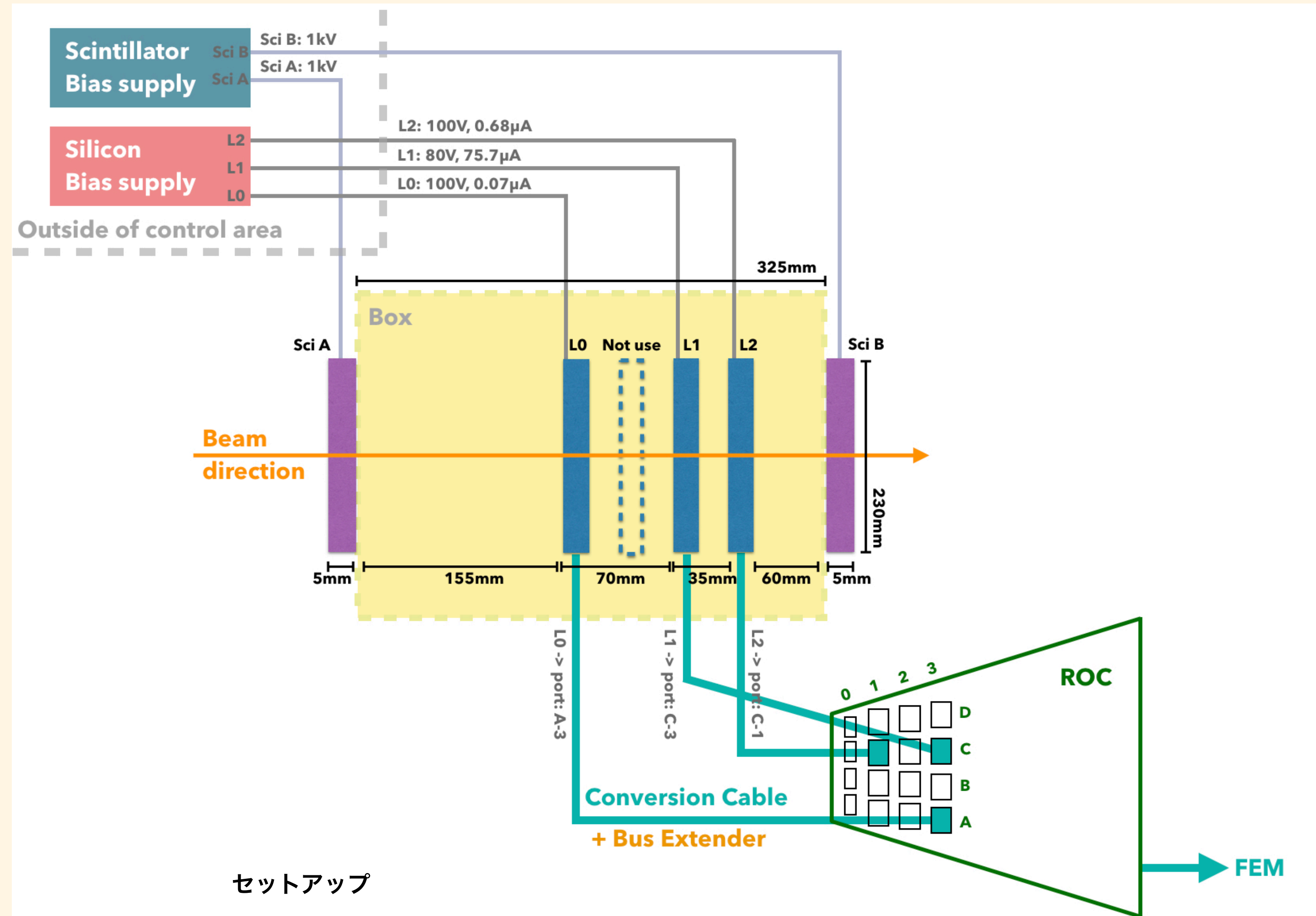
パーツ	プロトタイプ	試験生産	量産	必要数
Si センサー	✓+ビームテスト済み	✓+ビームテスト済み	✓ 500	224
FPHX チップ	✓+ビームテスト済み	✓+ビームテスト済み	✓ 12000	2912
HDI	✓+ビームテスト済み	✓+ビームテスト済み	✓ 190	112
Stave	✓	✓ 7	(✓)	56
Ladder (組み立て)	✓+ half ladder でビーム テスト済み	✓ 7	-	56
バスエクステンダ	✓	✓ 最終調整中	-	112



量産、建設計画

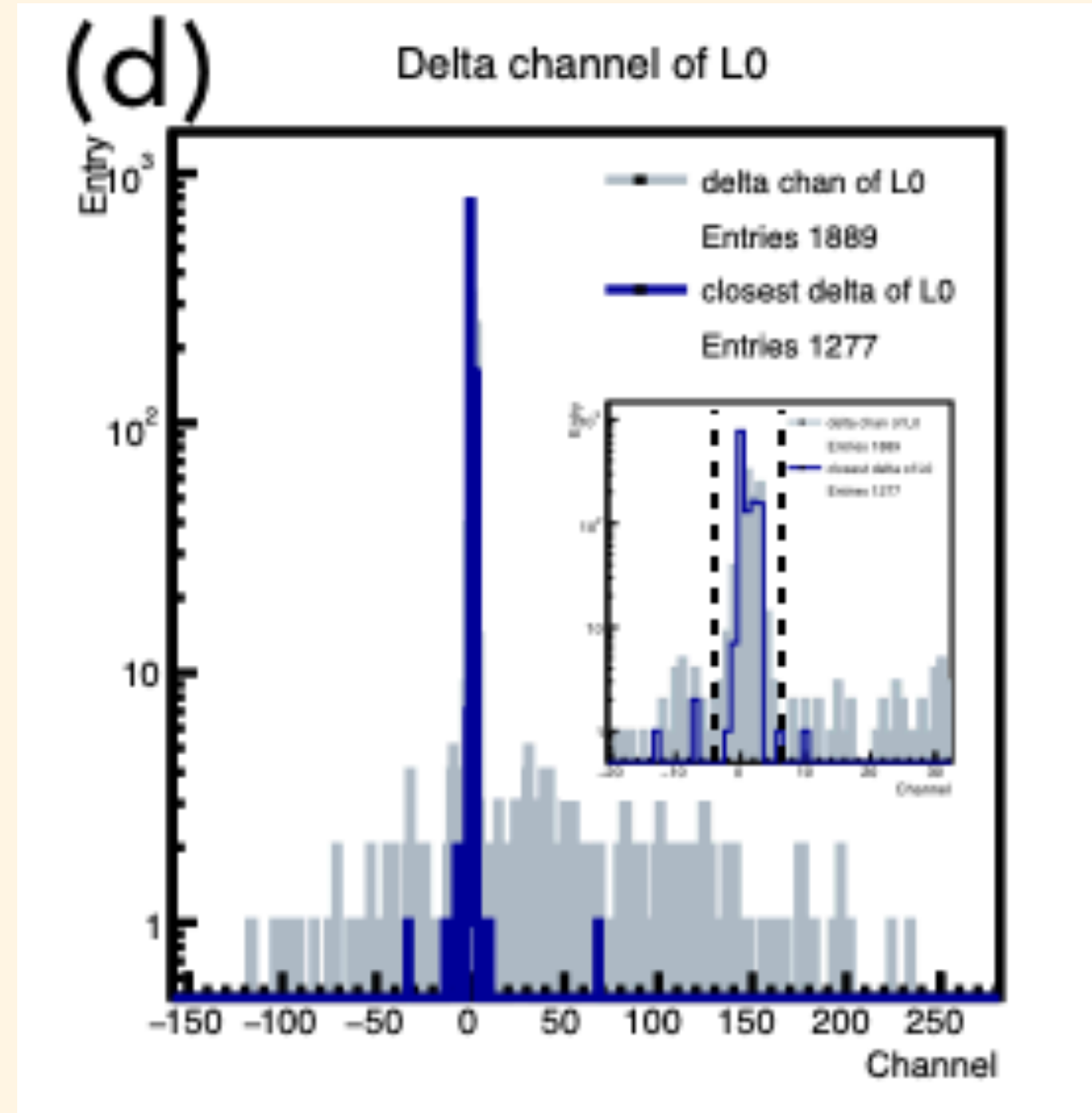
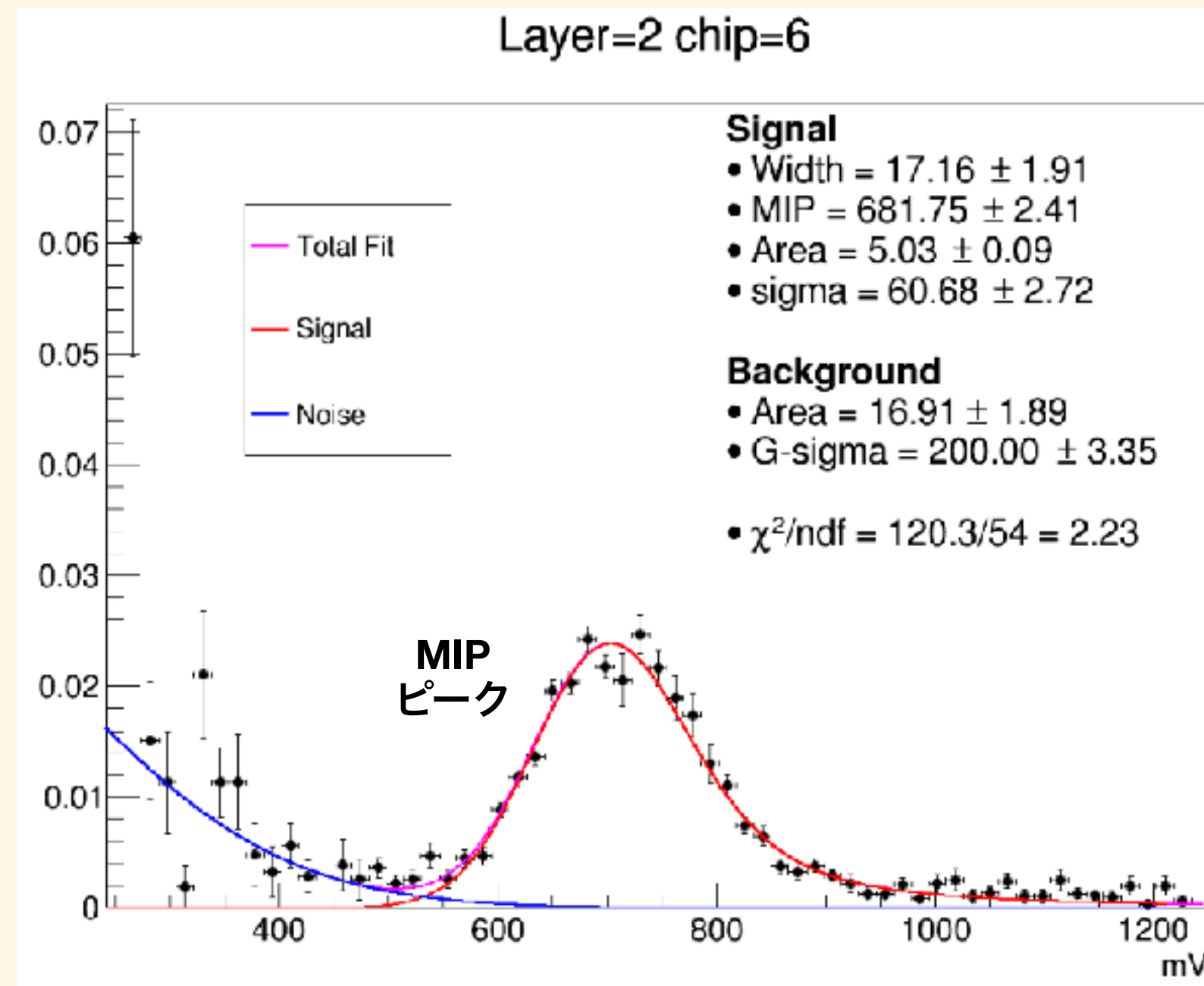
- 2021/03 ラダー組み立てレビュー合格 ✓
- 2021/03 ラダー組み立て開始 ✓
- 2021/05 Stave 各パーツの量産完了
- 2021/05 バスエクステンダー試験生産完了
- 2022/07 INTT バレル組み立て完了
- 2022/11 sPHENIX 検出器への組み込み完了

INTT テスト機を用いた検出効率の評価

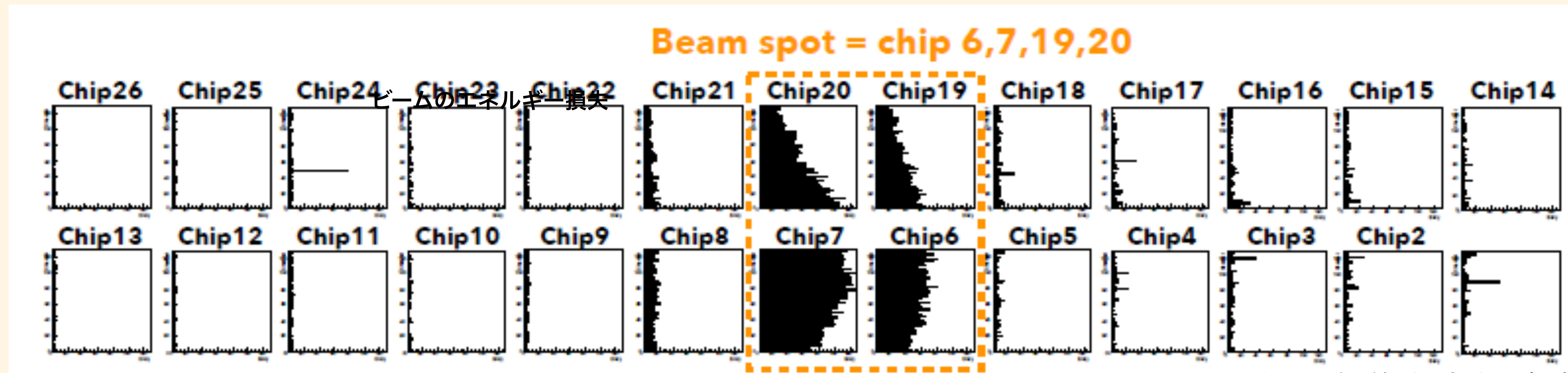


鈴木彩香, 修士論文, 奈良女子大学, 2020

INTT テスト機を用いた検出効率の評価



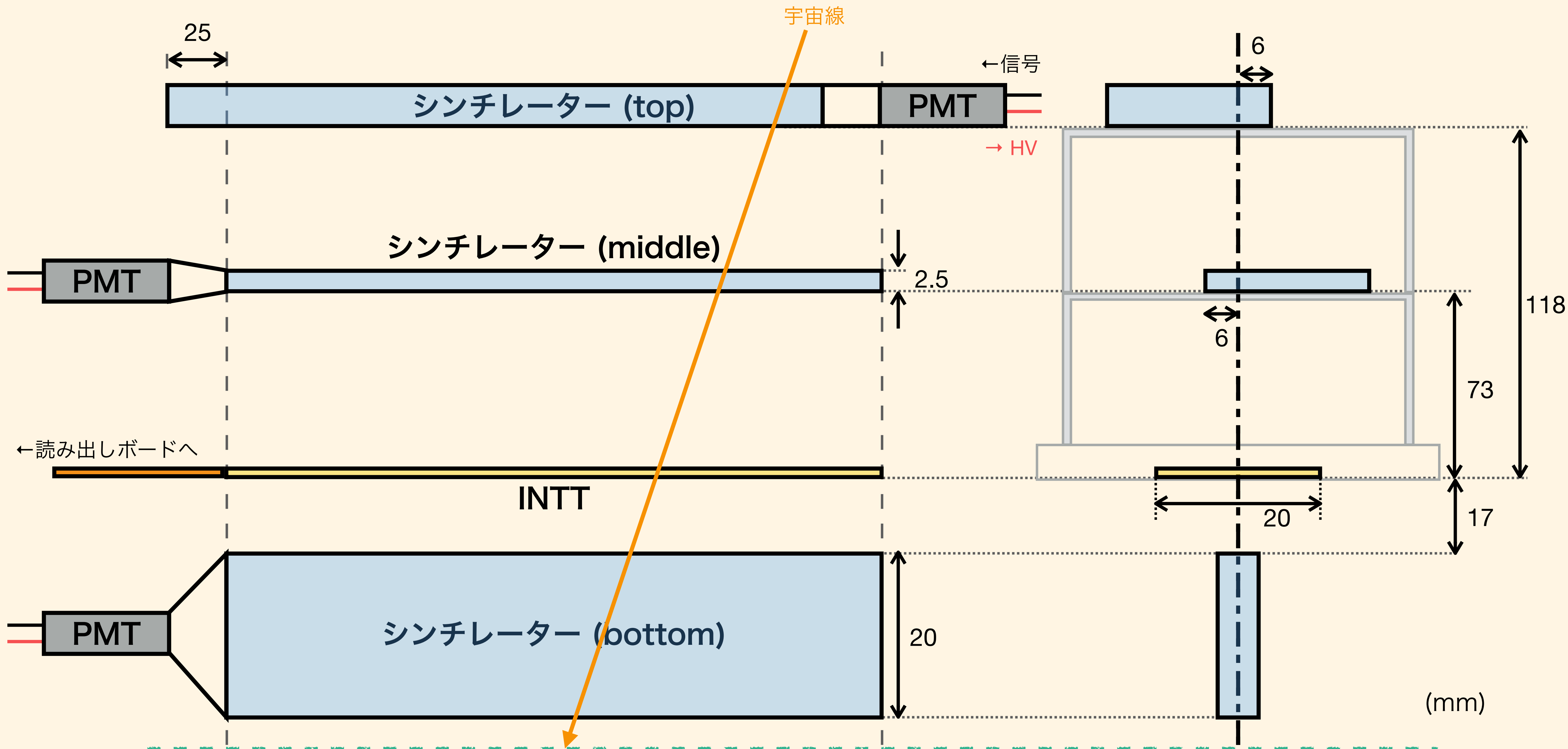
ヒットチャンネルの
測定値—トラッキング
による予想



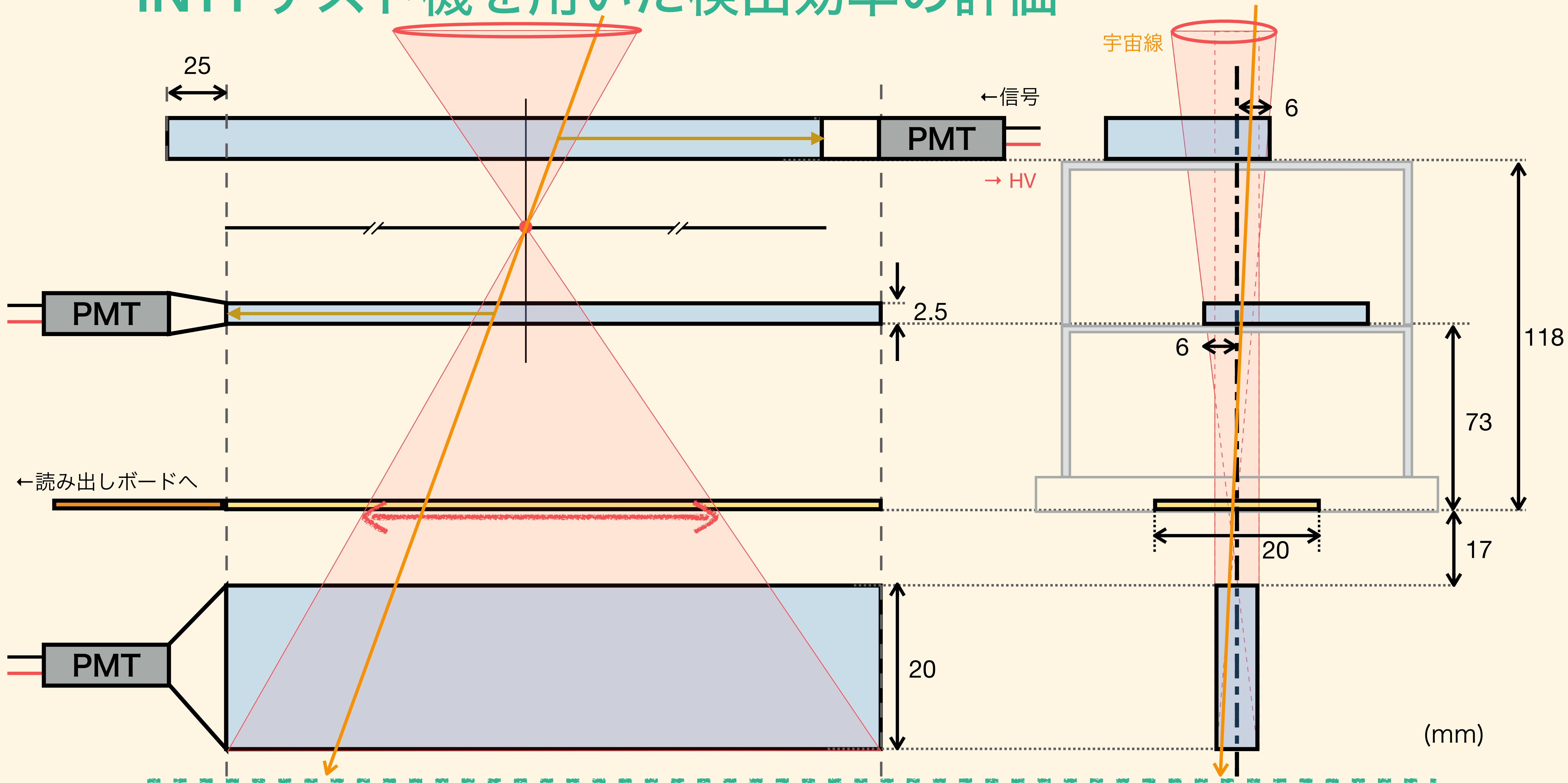
ヒット分布

鈴木彩香, 修士論文, 奈良女子大学, 2020

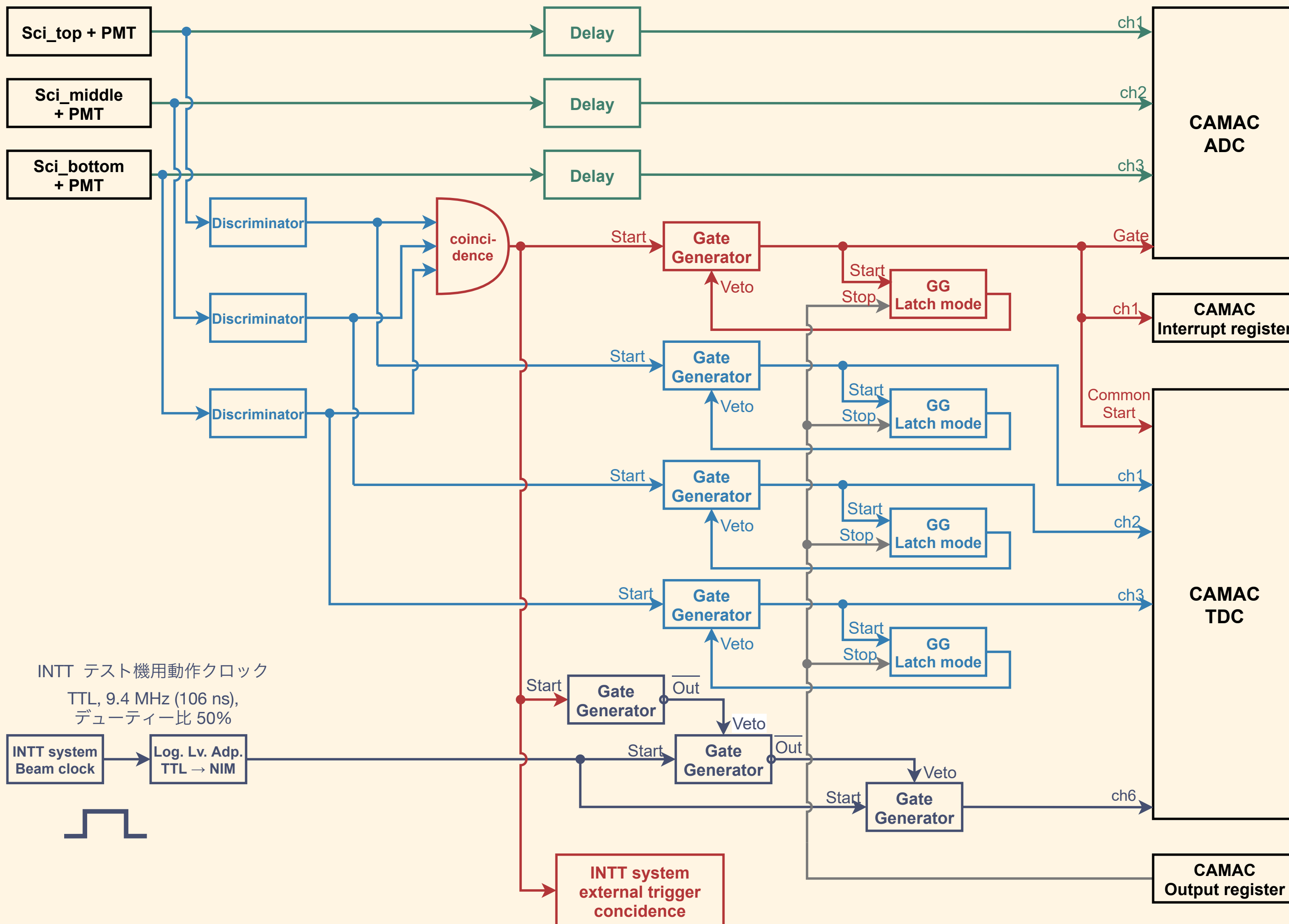
INTT テスト機を用いた検出効率の評価



INTT テスト機を用いた検出効率の評価



INTT テスト機を用いた検出効率の評価



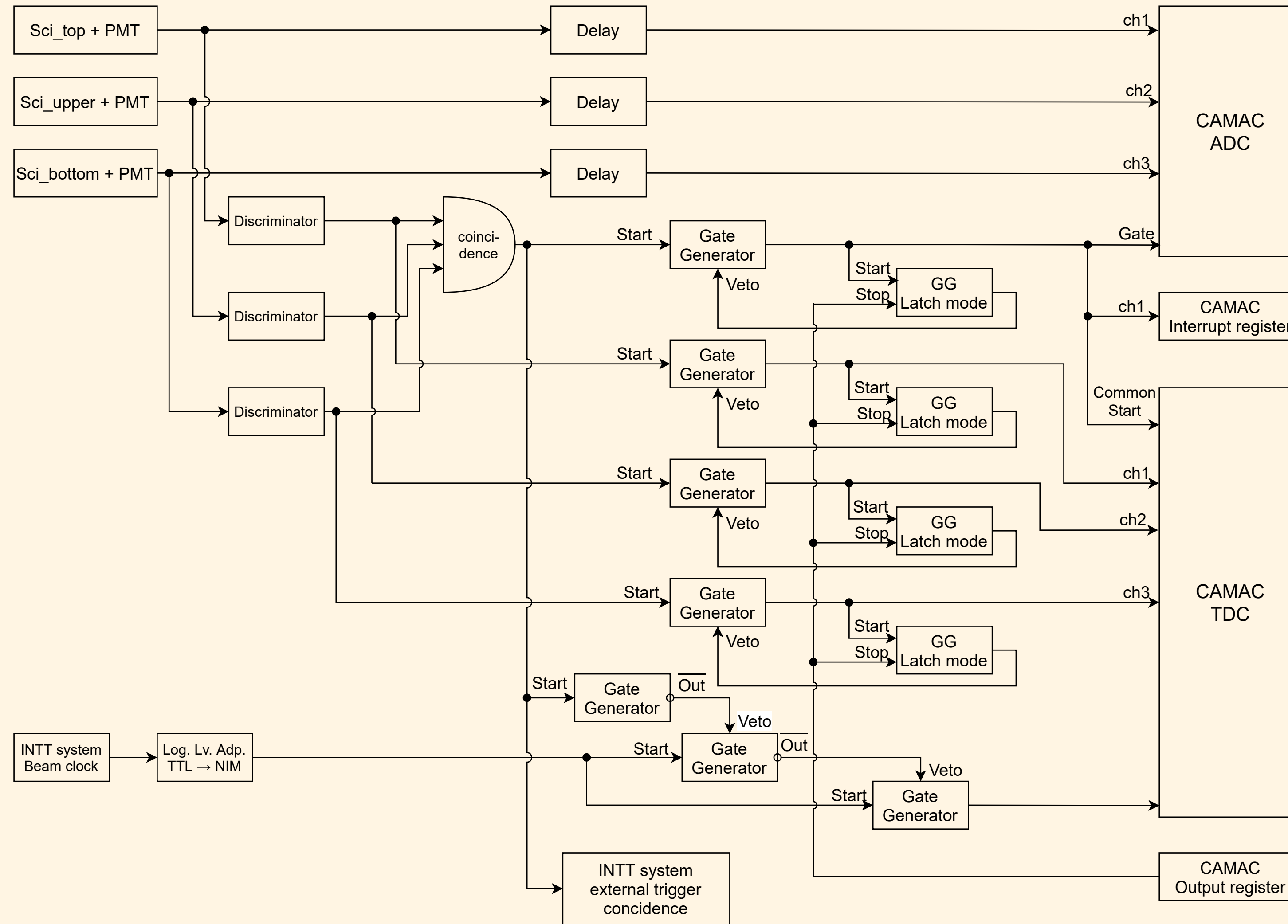
外部トリガー用 NIM, CAMAC 回路の
ロジックダイアグラム

- 緑：シンチレーターのアナログ信号
- 赤：トリガー信号
- 青：各シンチレーターの信号

外部トリガーシステム専用の
DAQ を新たに開発

- C++, Visual Studio でコンパイル
- 既存の INTT テスト機用 DAQ に組み込んだ

INTT テスト機を用いた検出効率の評価



INTT テスト機を用いた検出効率の評価

$$\text{検出効率} \equiv \frac{\text{INTT へのヒットがある外部トリガーイベントの数}}{\text{外部トリガーイベントの数}}$$

```
-- CAMAC Data: ADC 154 249 ,   TDC 133 78 -----  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:18 chan_id:111 bco:58 bco_full:39610 adc:0 ampl:0  
Buffer 5: Data record, nwords = 7 checksum = 0xe1baafe  
  
-- CAMAC Data: ADC 166 216 ,   TDC 122 102 -----  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:17 chan_id:112 bco:81 bco_full:50129 adc:0 ampl:0  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id: 7 chan_id:113 bco:81 bco_full:50129 adc:7 ampl:0  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:17 chan_id:114 bco:81 bco_full:50129 adc:1 ampl:0  
Buffer 7: Data record, nwords = 9 checksum = 0x9d2cf150  
  
-- CAMAC Data: ADC 176 226 ,   TDC 133 113 -----  
  
-- CAMAC Data: ADC 241 218 ,   TDC 133 134 -----  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:16 chan_id:103 bco:27 bco_full:15771 adc:0 ampl:0
```

オンラインモニターの例

INTT テスト機を用いた検出効率の評価

$$\text{検出効率} \equiv \frac{\text{INTT へのヒットがある外部トリガーイベントの数}}{\text{外部トリガーイベントの数}}$$

外部トリガーイベント

```
-- CAMAC Data: ADC 154 249 . TDC 133 78 -----  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:18 chan_id:111 bco:58 bco_full:39610 adc:0 ampl:0  
Buffer 5: Data record, nwords = 7 checksum = 0xe1baafe  
-- CAMAC Data: ADC 166 216 . TDC 122 102 -----  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:17 chan_id:112 bco:81 bco_full:50129 adc:0 ampl:0  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id: 7 chan_id:113 bco:81 bco_full:50129 adc:7 ampl:0  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:17 chan_id:114 bco:81 bco_full:50129 adc:1 ampl:0  
Buffer 7: Data record, nwords = 9 checksum = 0x9d2cf150  
-- CAMAC Data: ADC 176 226 . TDC 133 113 -----  
-- CAMAC Data: ADC 241 218 . TDC 133 134 -----  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:16 chan_id:103 bco:27 bco_full:15771 adc:0 ampl:0
```

INTT イベント

オンラインモニターの例

→検出効率 3/4

INTT テスト機を用いた検出効率の評価

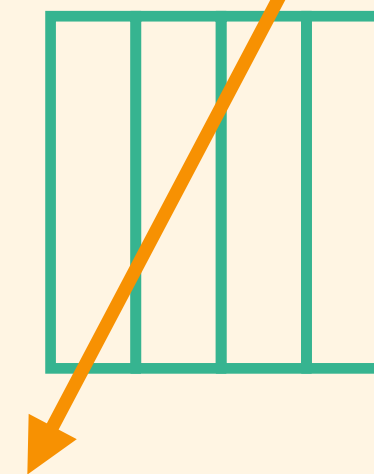
$$\text{検出効率} \equiv \frac{\text{INTT へのヒットがある外部トリガーイベントの数}}{\text{外部トリガーイベントの数}}$$

外部トリガーイベント

```
-- CAMAC Data: ADC 154 249 , TDC 133 78 -----  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:18 chan_id:111 bco:58 bco_full:39610 adc:0 ampl:0  
Buffer 5: Data record, nwords = 7 checksum = 0xe1baafe  
-- CAMAC Data: ADC 166 216 , TDC 122 102 -----  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:17 chan_id:112 bco:81 bco_full:50129 adc:0 ampl:0  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id: 7 chan_id:113 bco:81 bco_full:50129 adc:7 ampl:0  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:17 chan_id:114 bco:81 bco_full:50129 adc:1 ampl:0  
Buffer 7: Data record, nwords = 9 checksum = 0x9d2cf150  
-- CAMAC Data: ADC 176 226 , TDC 133 113 -----  
-- CAMAC Data: ADC 241 218 , TDC 133 134 -----  
module:6 fem_id:8 fpga_id:0 chip_id:16 chan_id:103 bco:27 bco_full:15771 adc:0 ampl:0
```

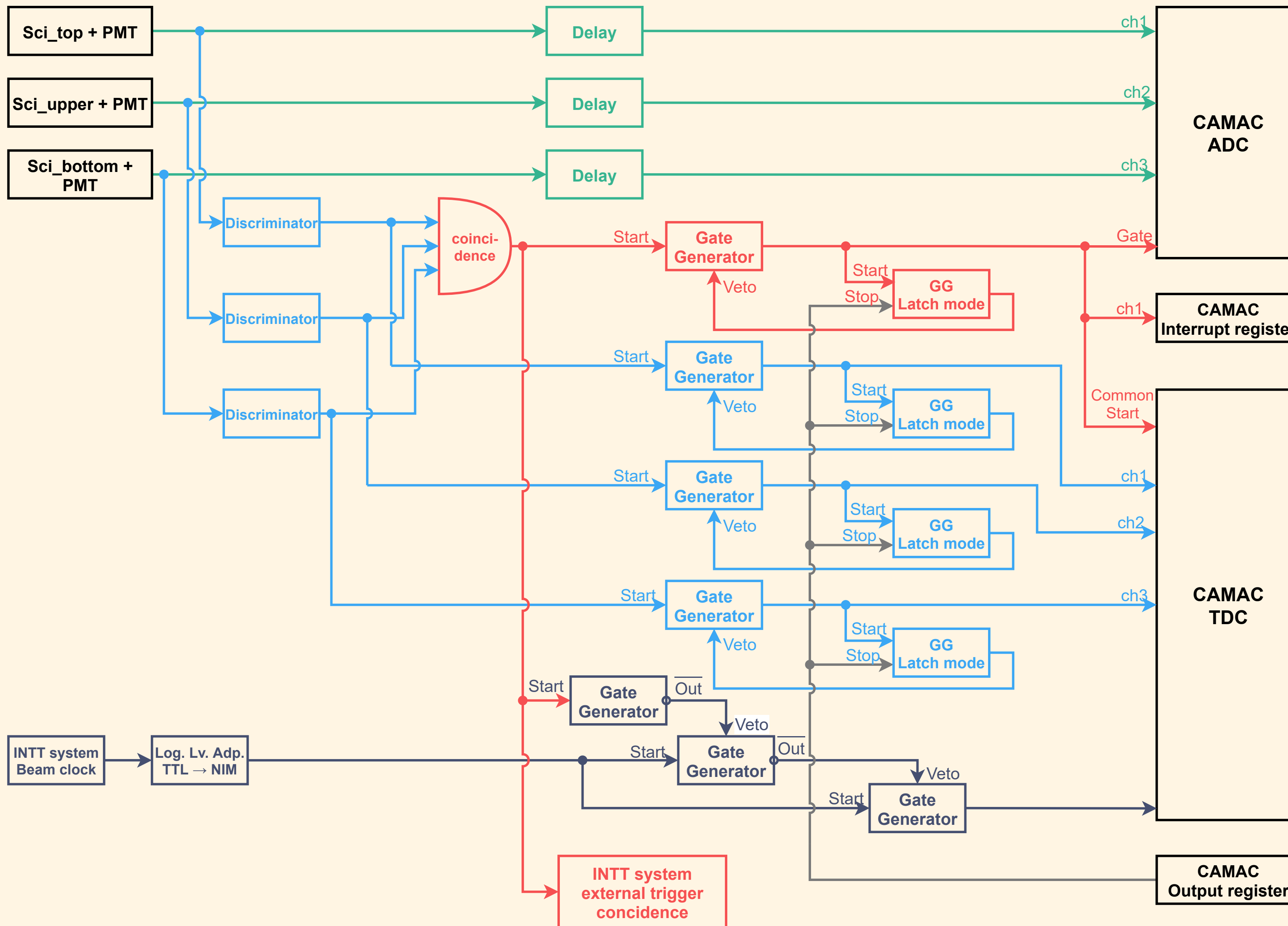
INTT イベント

オンラインモニターの例



複数ストリップにわたる
イベント

INTT テスト機を用いた検出効率の評価



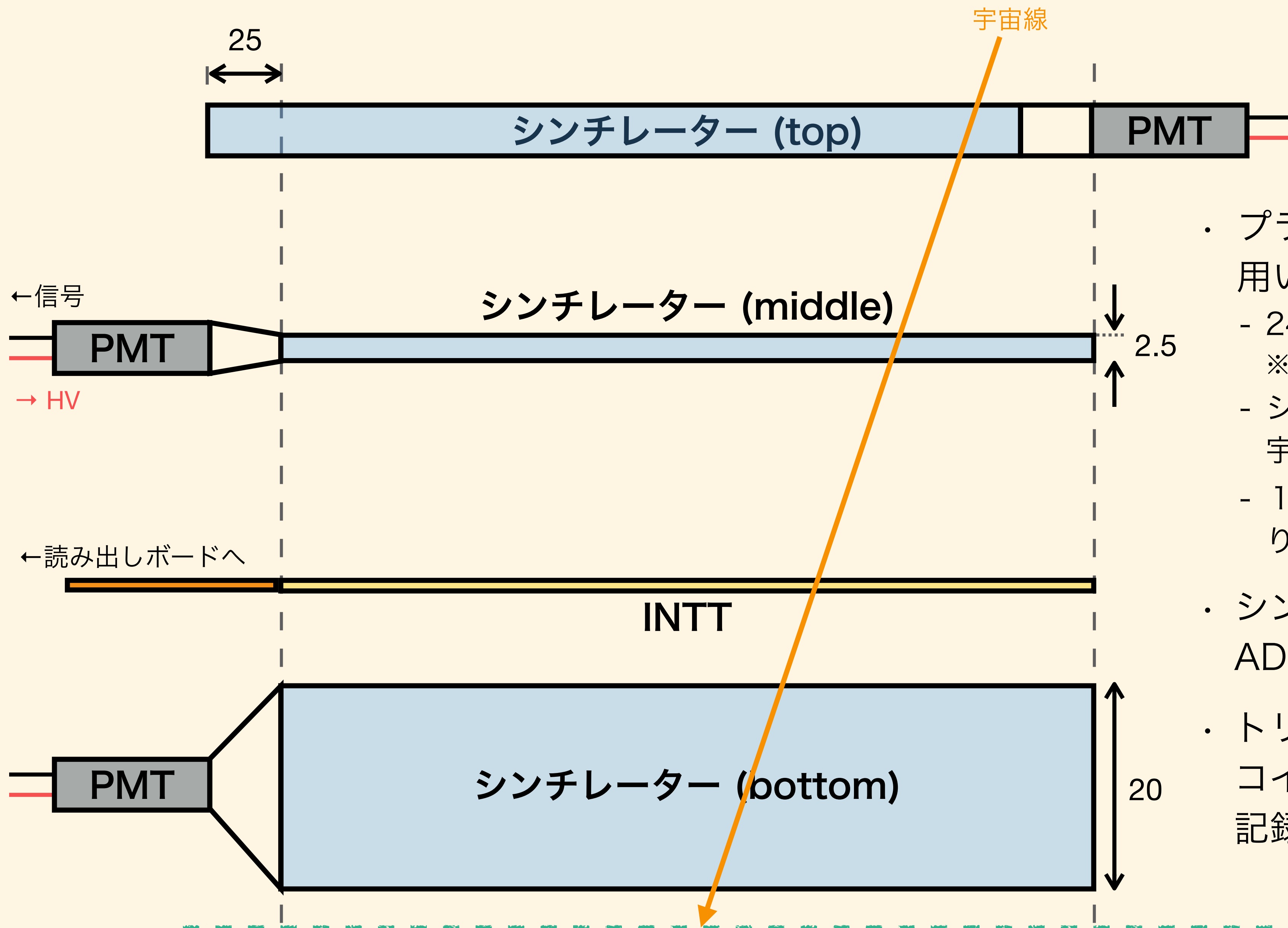
外部トリガー用 NIM, CAMAC 回路の
ロジックダイアグラム

- 緑：シンチレーターのアナログ信号
- 赤：トリガー信号
- 青：各シンチレーターの信号

外部トリガーシステム専用の
DAQ を新たに開発

- C++, Visual Studio でコンパイル
- 既存の INTT テスト機用 DAQ に組み込んだ

INTT テスト機を用いた検出効率の評価



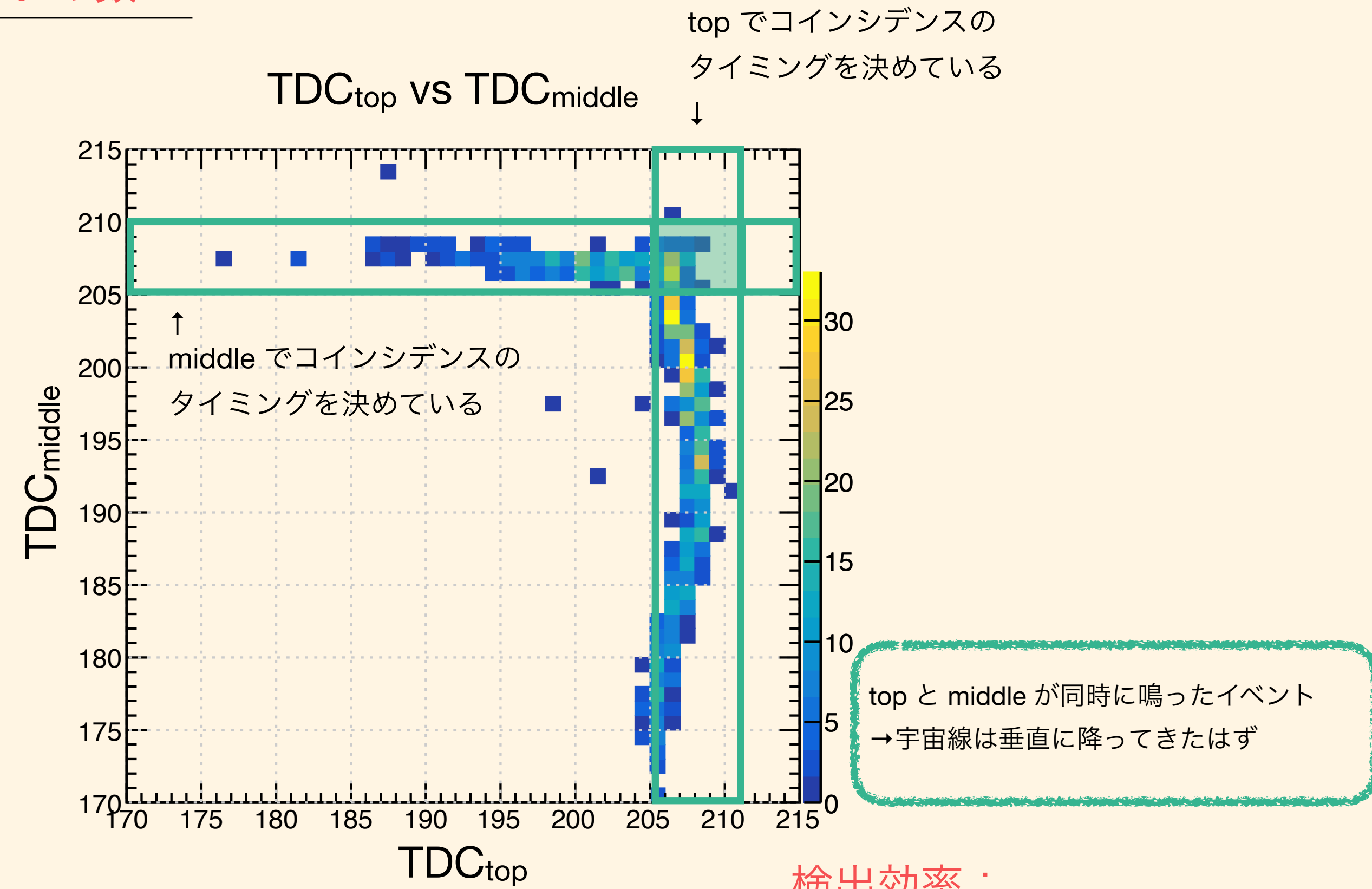
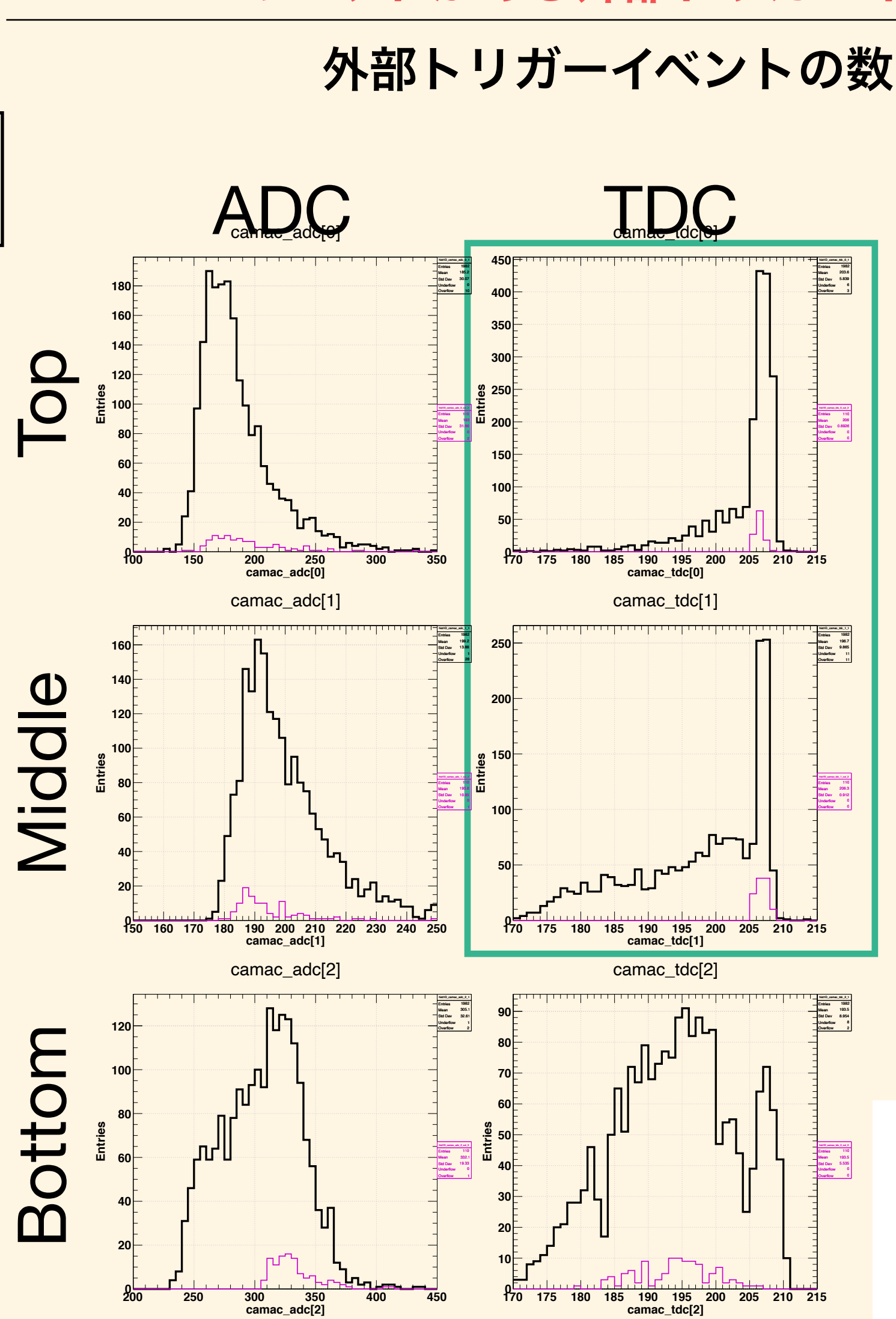
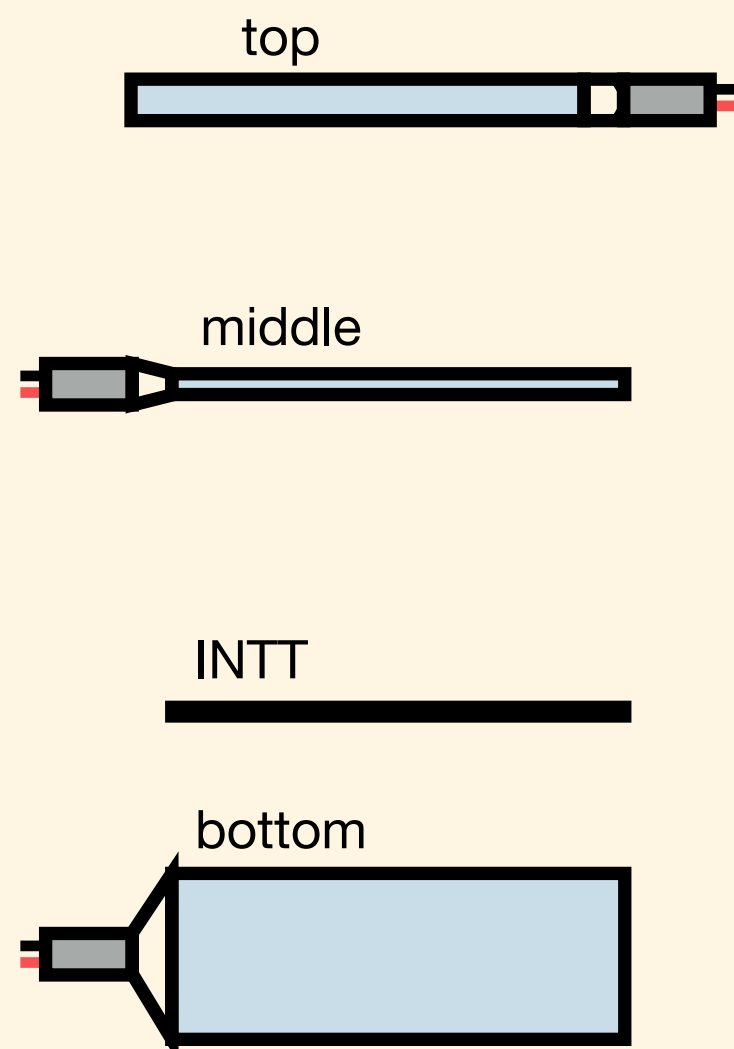
- ・ プラスチックシンチレーター 3 つを用いた外部トリガー
 - 24 mm × 23 mm × 5 mm (2.5 mm)
※ 水平方向は INTT と同じ寸法
 - シンチレーターの位置をずらし、宇宙線のすり抜けを抑制している
 - 1 つだけシンチレーターの反対側に PMT を取り付け、擬似的に両読みができるようにした
- ・ シンチレーターの信号は NIM, CAMAC で ADC, TDC 測定し、記録する
- ・ トリガー信号を INTT システムに入力し、コインシデンスが取れた INTT ヒットも記録する

INTT テスト機を用いた検出効率の評価

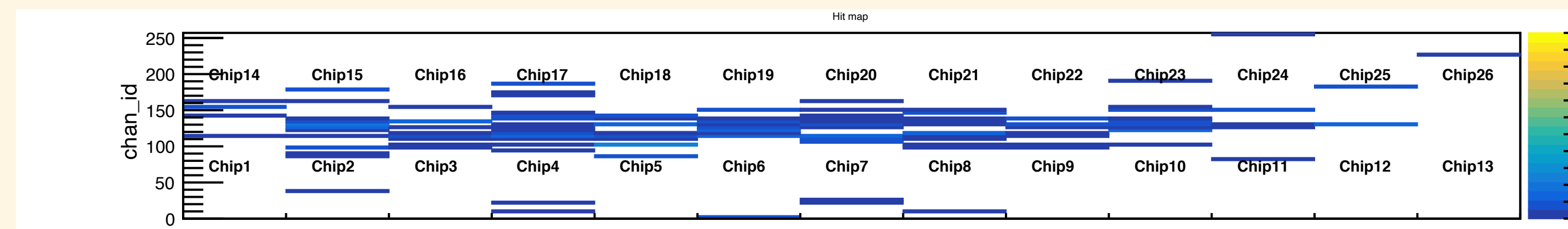
検出効率 \equiv $\frac{\text{INTT へのヒットがある外部トリガーイベントの数}}{\text{外部トリガーイベントの数}}$

- 外部トリガーのイベント
- + INTT ヒットあり

測定:
2021/03/05
66 時間



検出効率:
 $108 / 110 = 0.982^{+0.012}_{-0.024}$



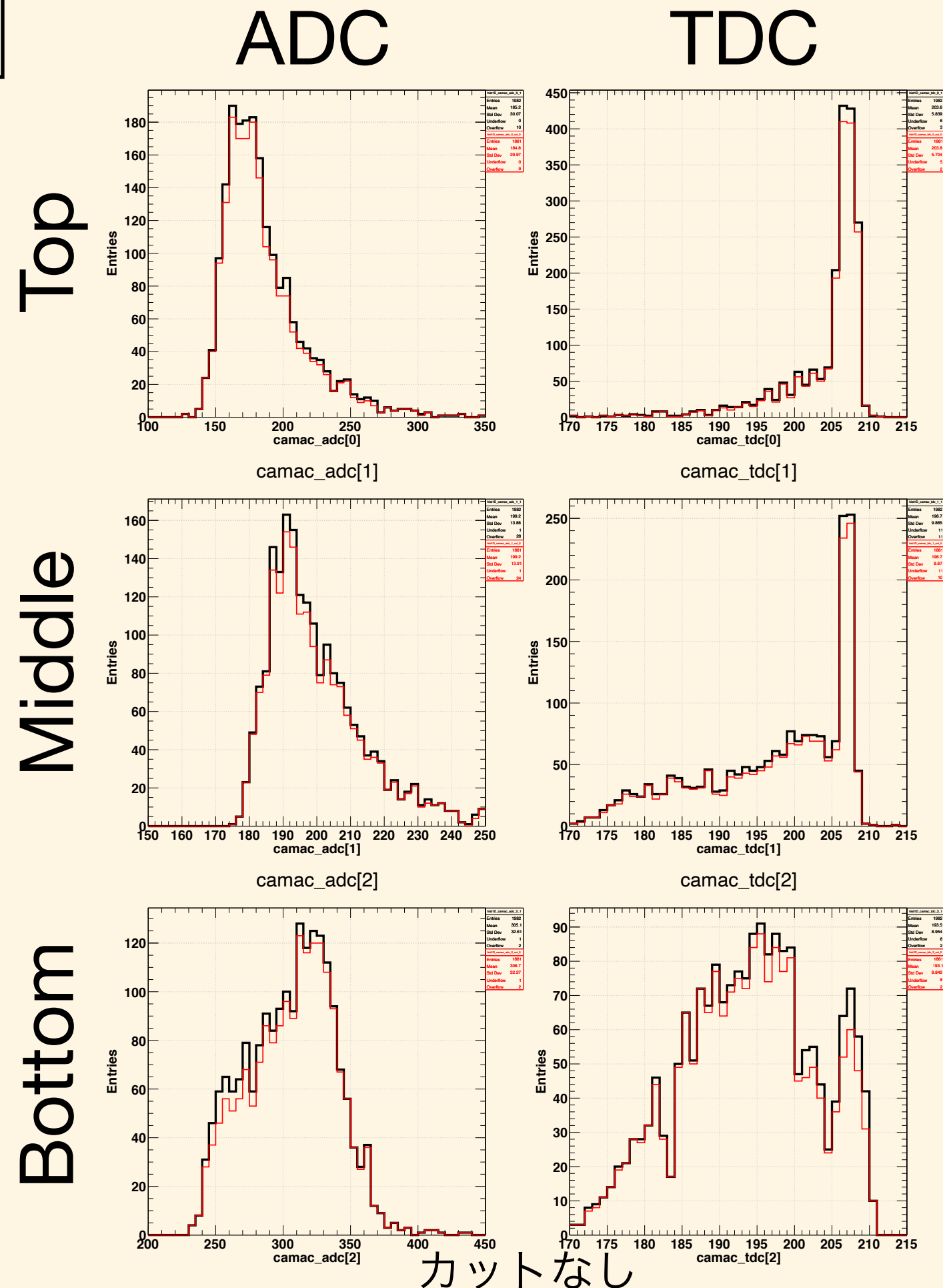
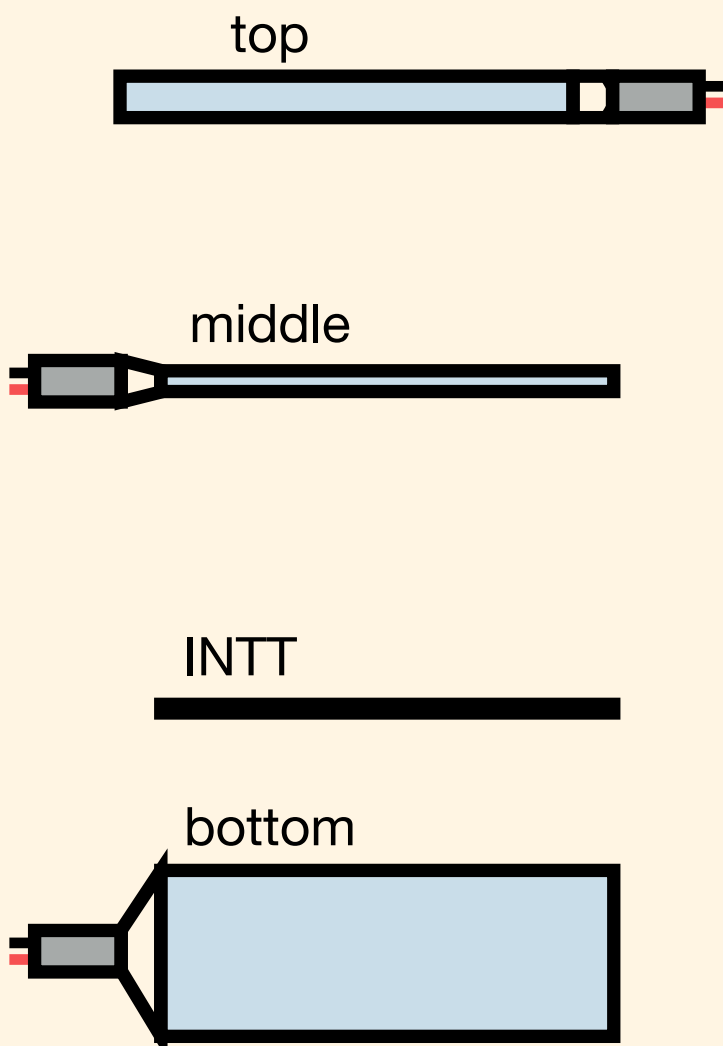
INTT テスト機を用いた検出効率の評価

検出効率 ≡ $\frac{\text{INTT へのヒットがある外部トリガーイベントの数}}{\text{外部トリガーイベントの数}}$

外部トリガーイベントの数

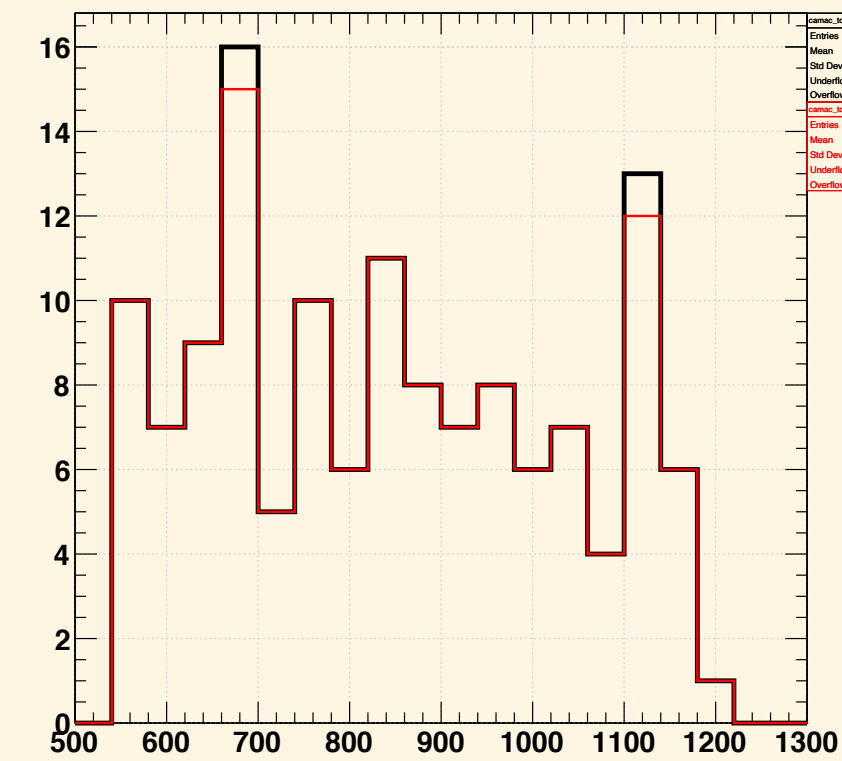
- 外部トリガーのイベント
- + INTT ヒットあり

測定:
2021/03/05
66 時間

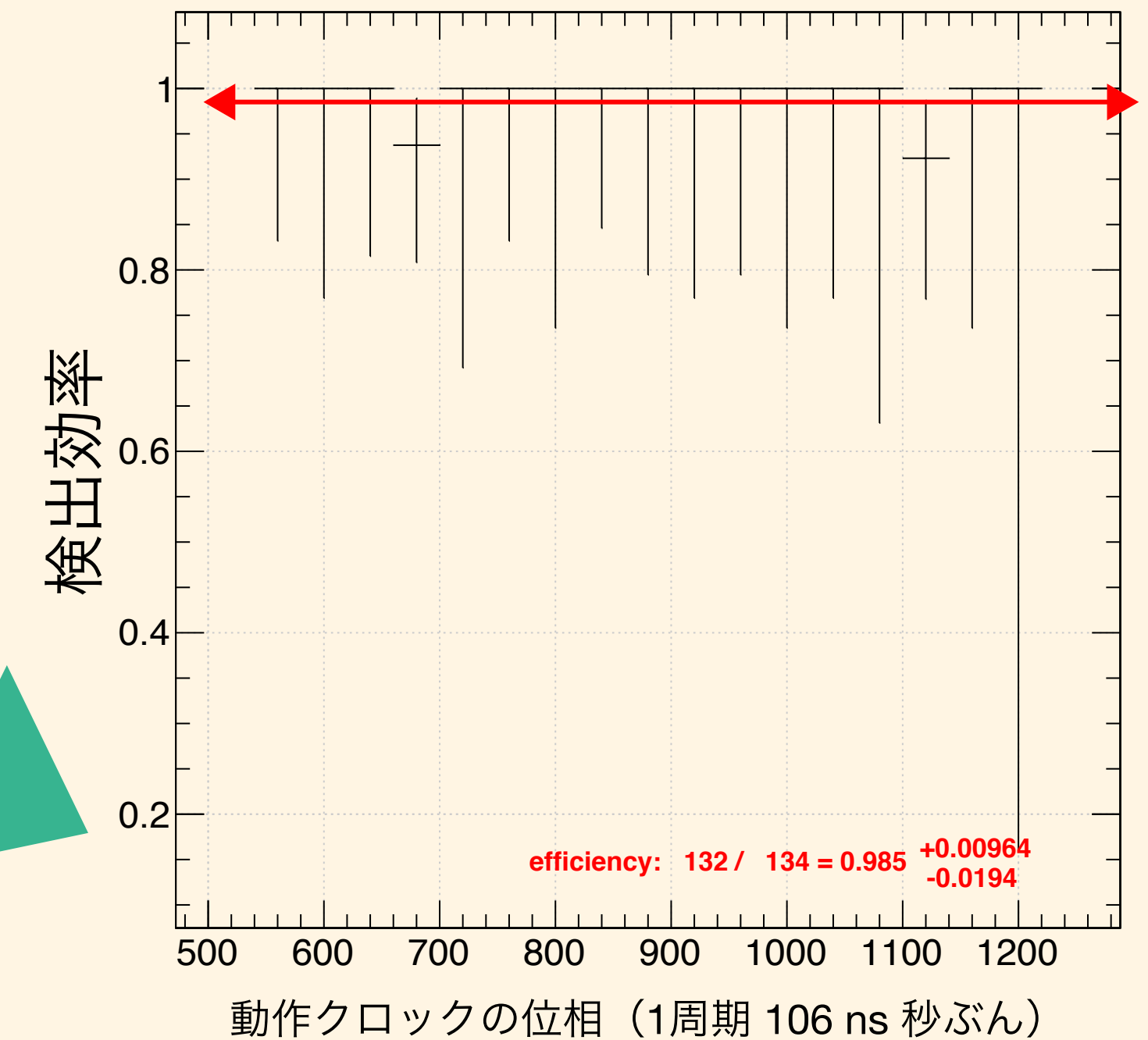


カットなし

INTT 動作クロックの位相



検出効率 vs 動作クロックの位相



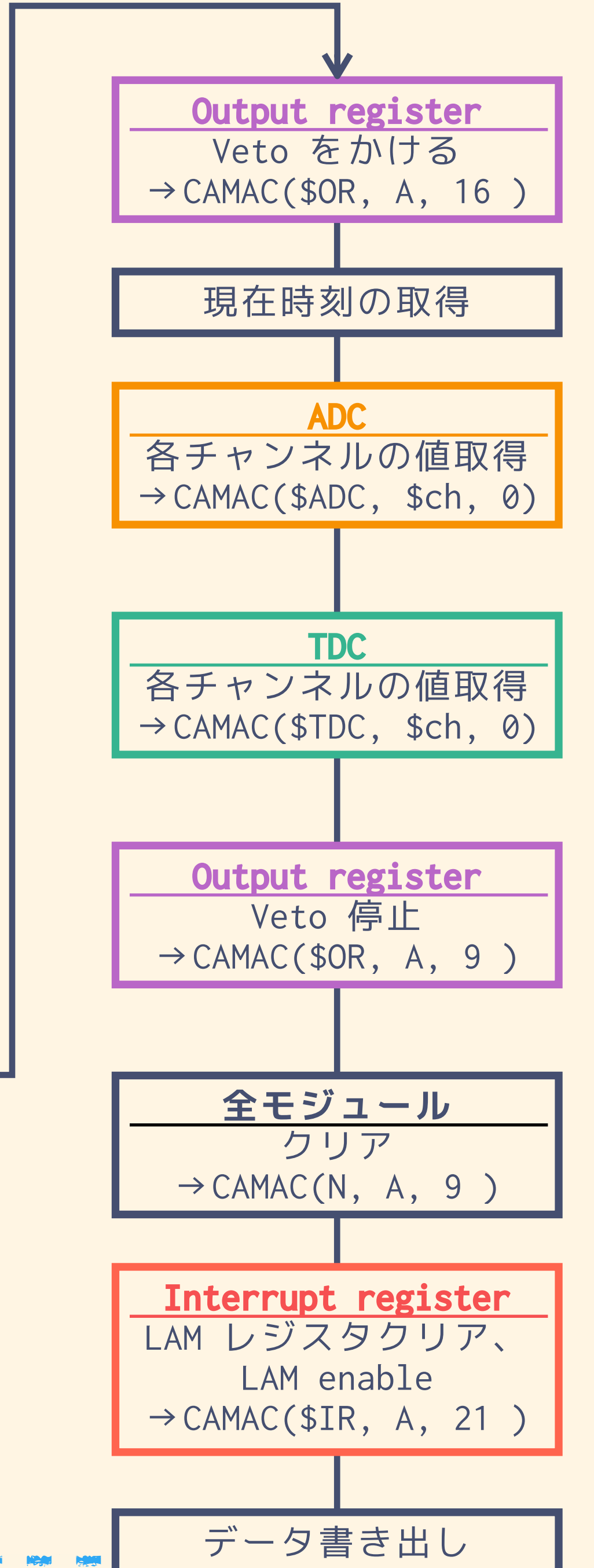
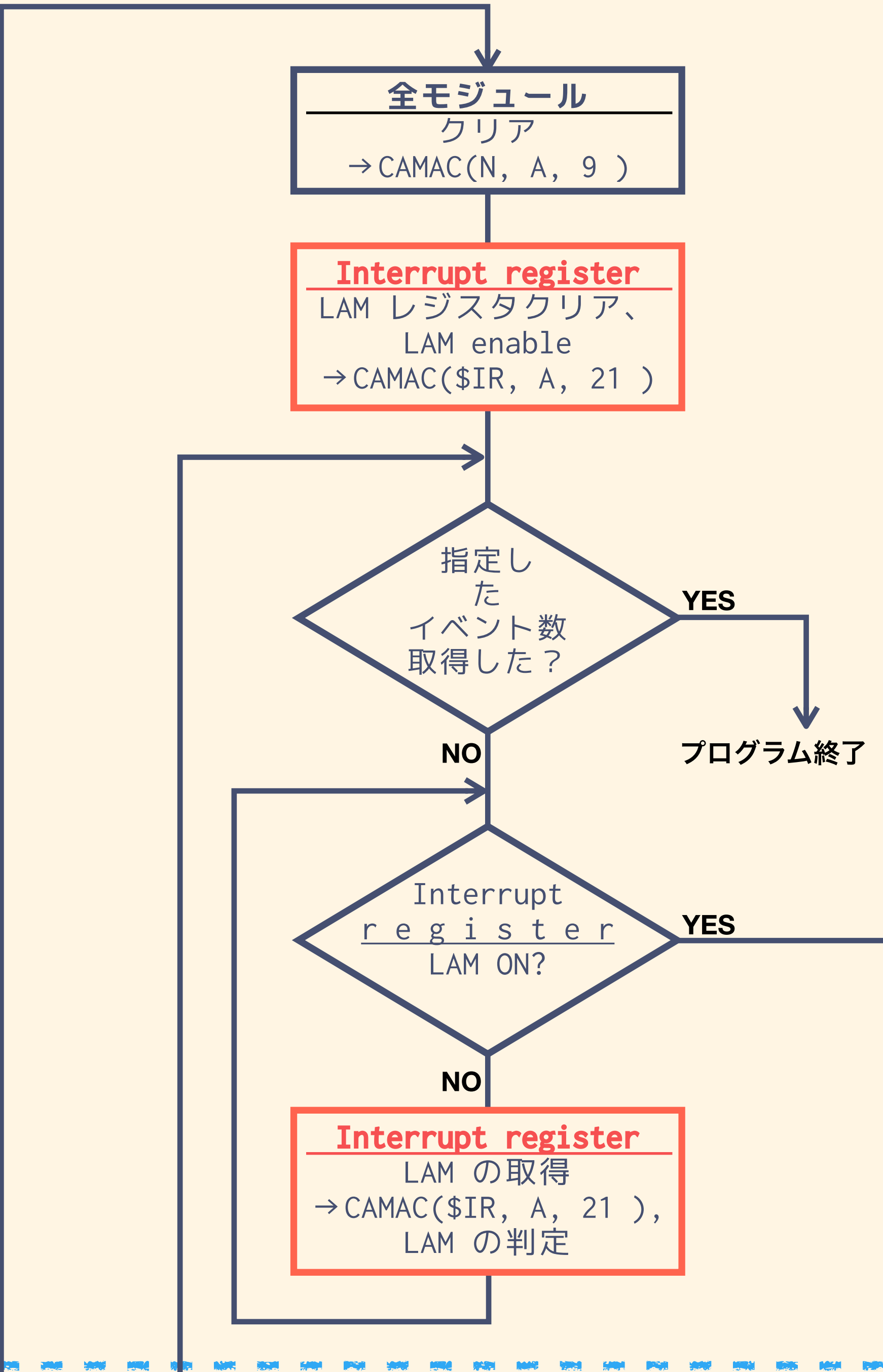
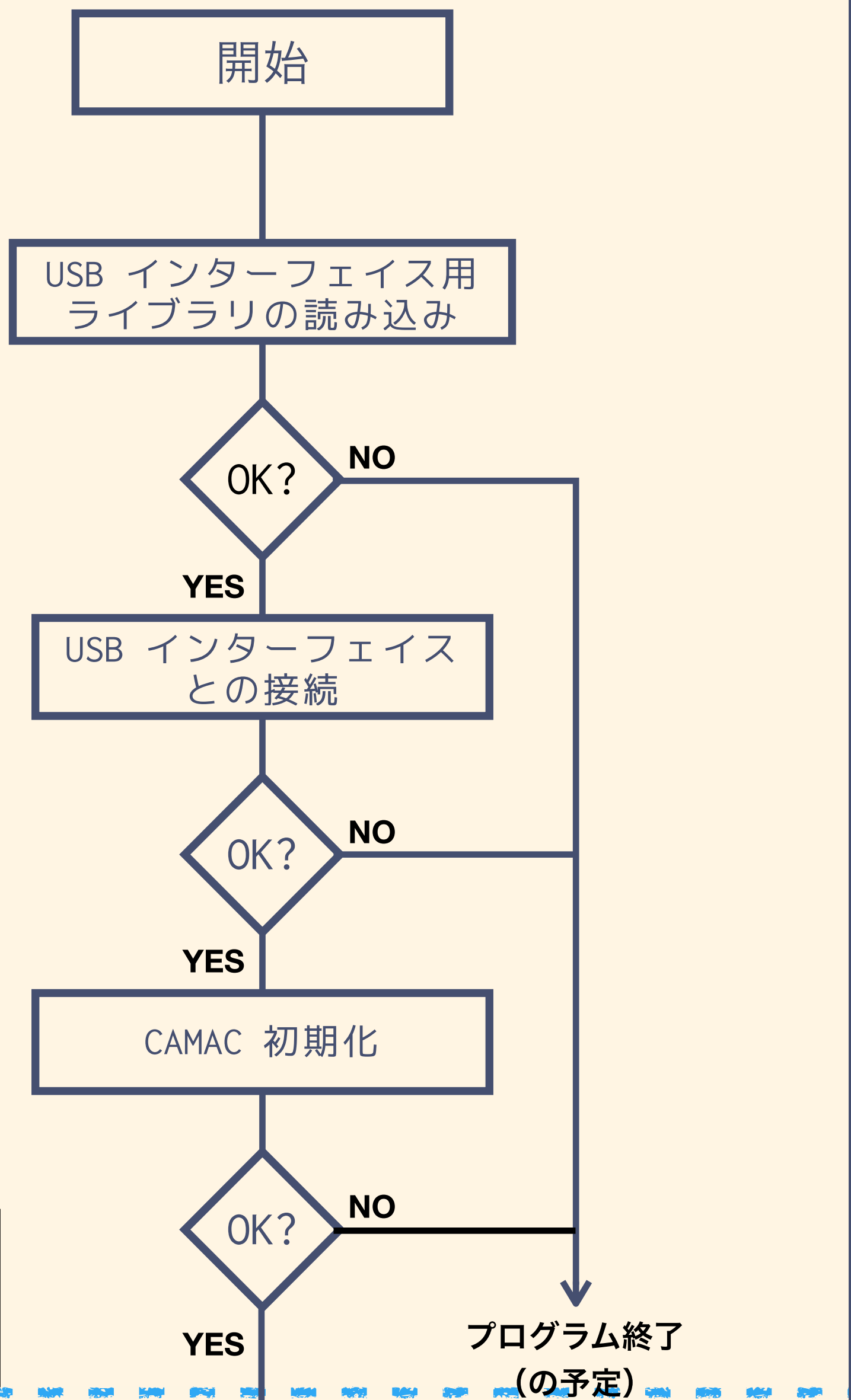
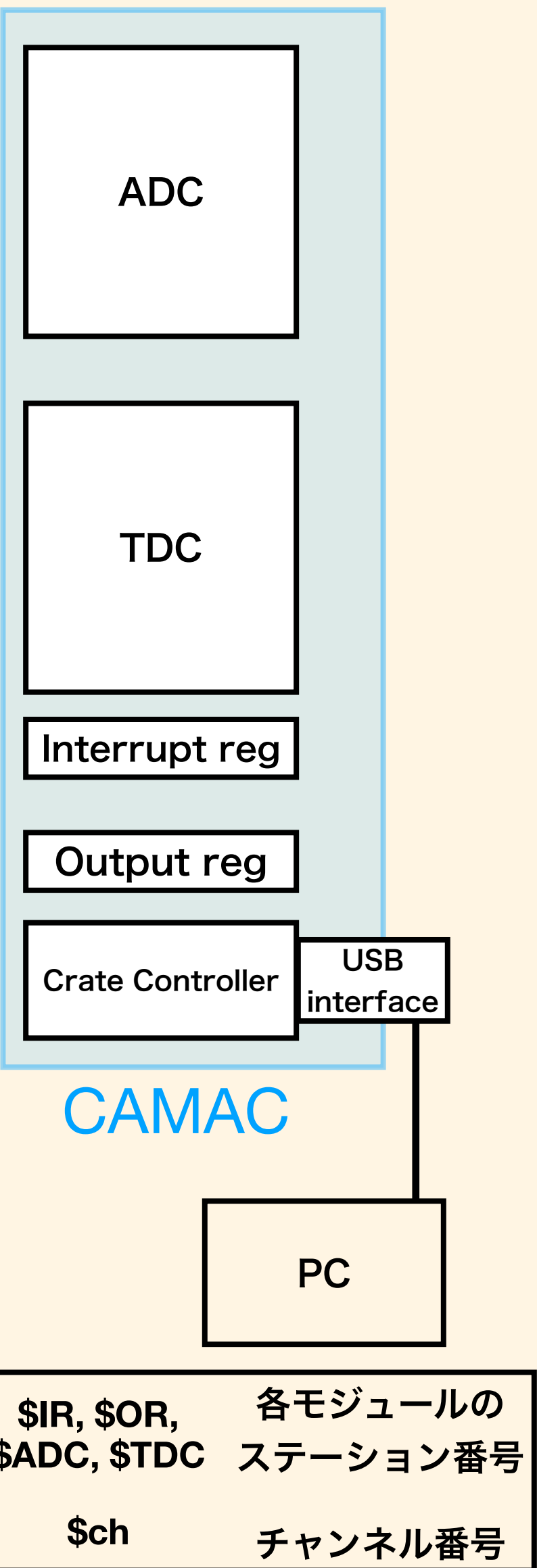
検出効率: $132 / 134 = 0.985$ +0.010 -0.002

動作クロックへの依存性は不確定

宇宙線のすり抜けがまだ存在しているかもしれない

* シリコンチップ (type-A と type-B) の間に不感領域 0.2 mm の影響は除けない

DAQ の動作, データ収集



DAQ プログラム

OS : Windows 7

言語 : Visual C++

GUI インターフェイス : 未実装

依存関係 : 豊伸電子 CCP-USB のライブラリ HECMUSB3.dll

ファイル :

CAMAC_DAQ_backend.cpp : main 関数

DAQ.cpp, .h : 設定ファイル読み込み, データ収集のクラス

Functions.cpp, .h : 便利な関数

LoadHECMUSB3.cpp, .h : ライブラリファイルの読み込み

Module.cpp, .h : CAMAC モジュール単位の設定を扱うクラス

resource.h : Visual C++ が自動生成したもの

データ収集の設定 : テキストファイルに書き込む

開発状況 : テスト PC で動いた。テストベンチ用 PC に未移植。

```
#####  
# 設定ファイルの例 (ただのテキストファイル) #  
#####  
# 収集するイベント数  
EventNum 1000  
  
# データ収集する時間と単位  
# MeasurementTime 10 min # 未実装  
  
# データを書き出すディレクトリ  
OutputDir ~/data  
  
# 使用する CAMAC クレートの番号  
Crate 0  
  
# 使用するモジュールのタイプ,  
# ステーション番号, チャンネル  
Module ADC 1 0 1  
Module TDC 2 0 1  
Module InterruptRegister 3 0  
Module OutputRegister 4 0  
  
# LAM を監視するモジュール番号とチャンネル番号  
LAM 2 1  
  
# Veto をかけるモジュール番号とチャンネル番号  
Veto 3 1  
  
# 実行中にターミナルに表示する情報量 (0, 1, 2)  
Verbosity 1
```

Clopper-Pearson の信頼区間

◆ ClopperPearson()

```

Double_t TEfficiency::ClopperPearson ( Double_t total,
                                     Double_t passed,
                                     Double_t level,
                                     Bool_t bUpper
                                     )
    
```

Calculates the boundaries for the frequentist Clopper-Pearson interval.

This interval is recommended by the PDG.

Parameters

- [in] **total** number of total events
- [in] **passed** 0 <= number of passed events <= total
- [in] **level** confidence level
- [in] **bUpper** true - upper boundary is returned ;false - lower boundary is returned

Calculation:

The lower boundary of the Clopper-Pearson interval is the "exact" inversion of the test:

$$\begin{aligned}
 P(x \geq \text{passed}; \text{total}) &= \frac{1 - \text{level}}{2} \\
 P(x \geq \text{passed}; \text{total}) &= 1 - P(x \leq \text{passed} - 1; \text{total}) \\
 &= 1 - \frac{1}{\text{norm}} * \int_0^{1-\epsilon} t^{\text{total}-\text{passed}} (1-t)^{\text{passed}-1} dt \\
 &= 1 - \frac{1}{\text{norm}} * \int_{\epsilon}^1 t^{\text{passed}-1} (1-t)^{\text{total}-\text{passed}} dt \\
 &= \frac{1}{\text{norm}} * \int_0^{\epsilon} t^{\text{passed}-1} (1-t)^{\text{total}-\text{passed}} dt \\
 &= I_{\epsilon}(\text{passed}, \text{total} - \text{passed} + 1)
 \end{aligned}$$

The lower boundary is therefore given by the $\frac{1-\text{level}}{2}$ quantile of the beta distribution.

The upper boundary of the Clopper-Pearson interval is the "exact" inversion of the test:

$$\begin{aligned}
 P(x \leq \text{passed}; \text{total}) &= \frac{1 - \text{level}}{2} \\
 P(x \leq \text{passed}; \text{total}) &= \frac{1}{\text{norm}} * \int_0^{1-\epsilon} t^{\text{total}-\text{passed}-1} (1-t)^{\text{passed}} dt \\
 &= \frac{1}{\text{norm}} * \int_{\epsilon}^1 t^{\text{passed}} (1-t)^{\text{total}-\text{passed}-1} dt \\
 &= 1 - \frac{1}{\text{norm}} * \int_0^{\epsilon} t^{\text{passed}} (1-t)^{\text{total}-\text{passed}-1} dt \\
 \Rightarrow 1 - \frac{1 - \text{level}}{2} &= \frac{1}{\text{norm}} * \int_0^{\epsilon} t^{\text{passed}} (1-t)^{\text{total}-\text{passed}-1} dt \\
 \frac{1 + \text{level}}{2} &= I_{\epsilon}(\text{passed} + 1, \text{total} - \text{passed})
 \end{aligned}$$

The upper boundary is therefore given by the $\frac{1+\text{level}}{2}$ quantile of the beta distribution.

Note: The connection between the binomial distribution and the regularized incomplete beta function $I_{\epsilon}(\alpha, \beta)$ has been used.

Definition at line 1814 of file TEfficiency.cxx.

36B490

3BA7F4

B967C7

F65051

F79102

3DBBD3

F63F7F

454F70