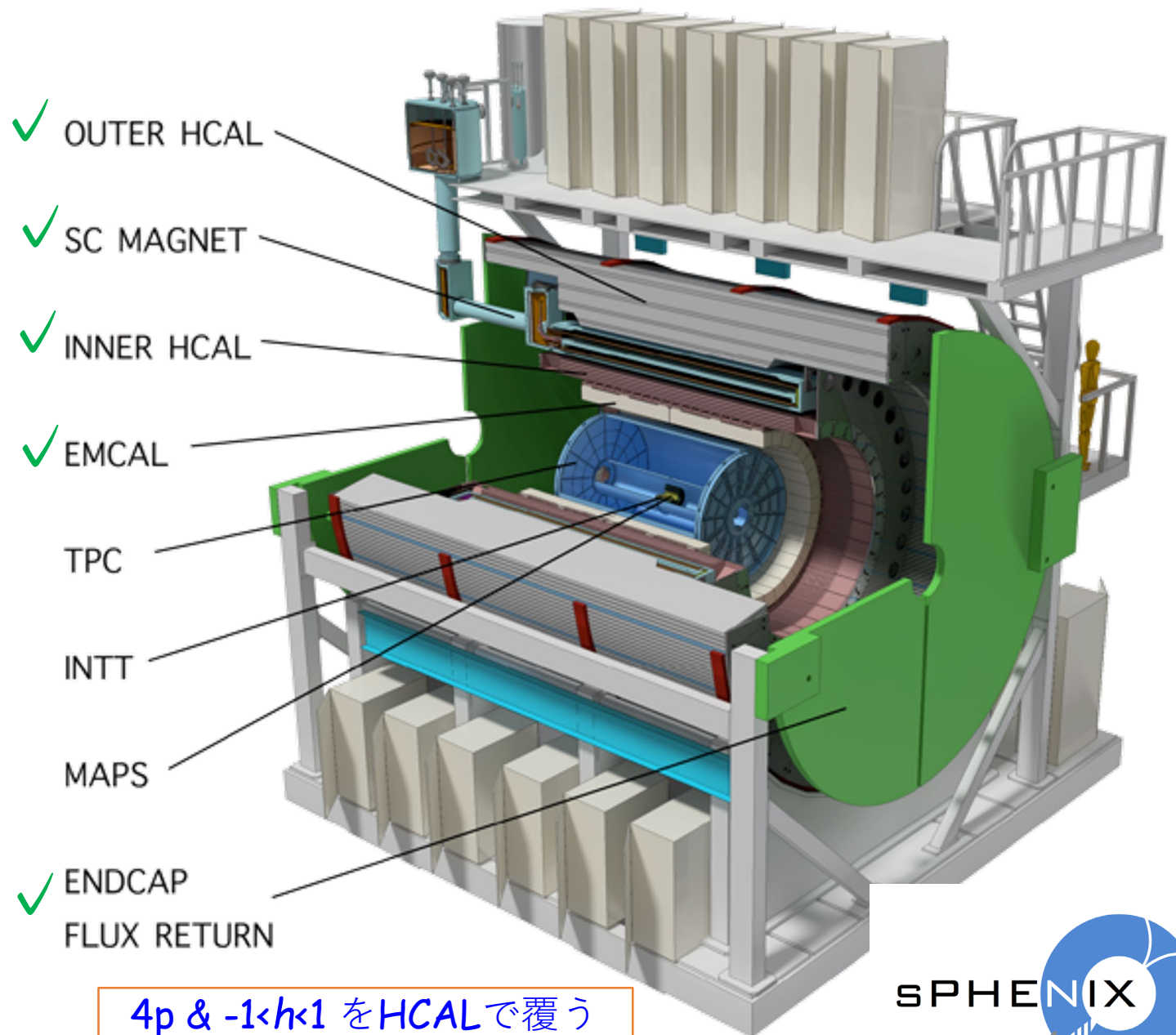
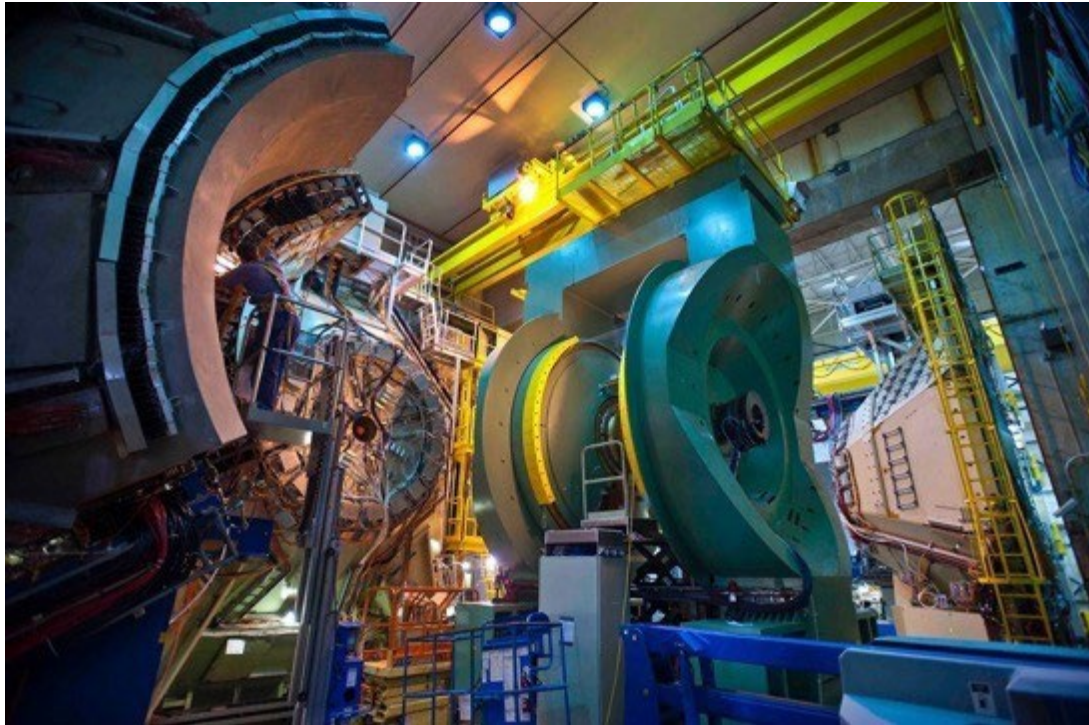


sPHENIX実験と INTT検出器



4p & $-1 < h < 1$ をHCALで覆う
Jetに特化した次世代検出器

RHIC-PHENIXからsPHENIX実験へ



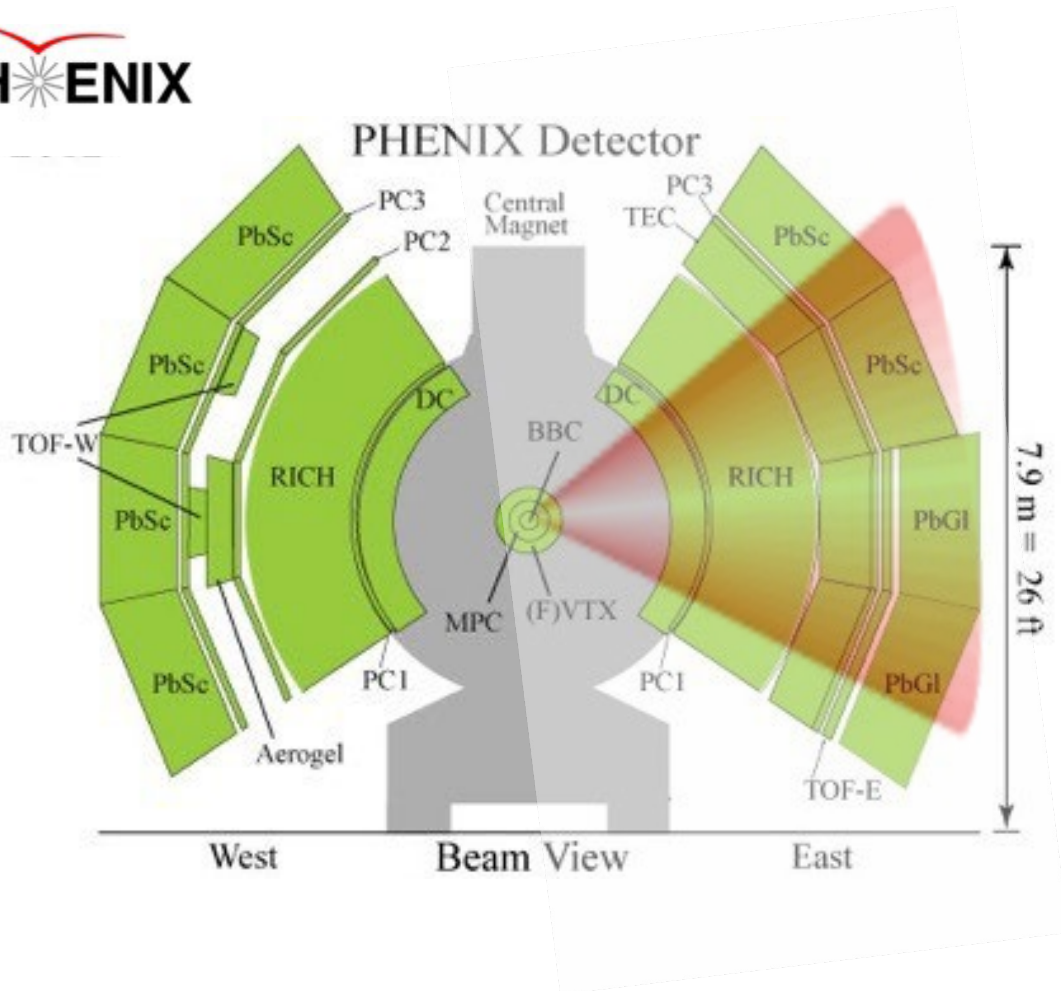
PHENIX検出器(2000 ~ 2016年)



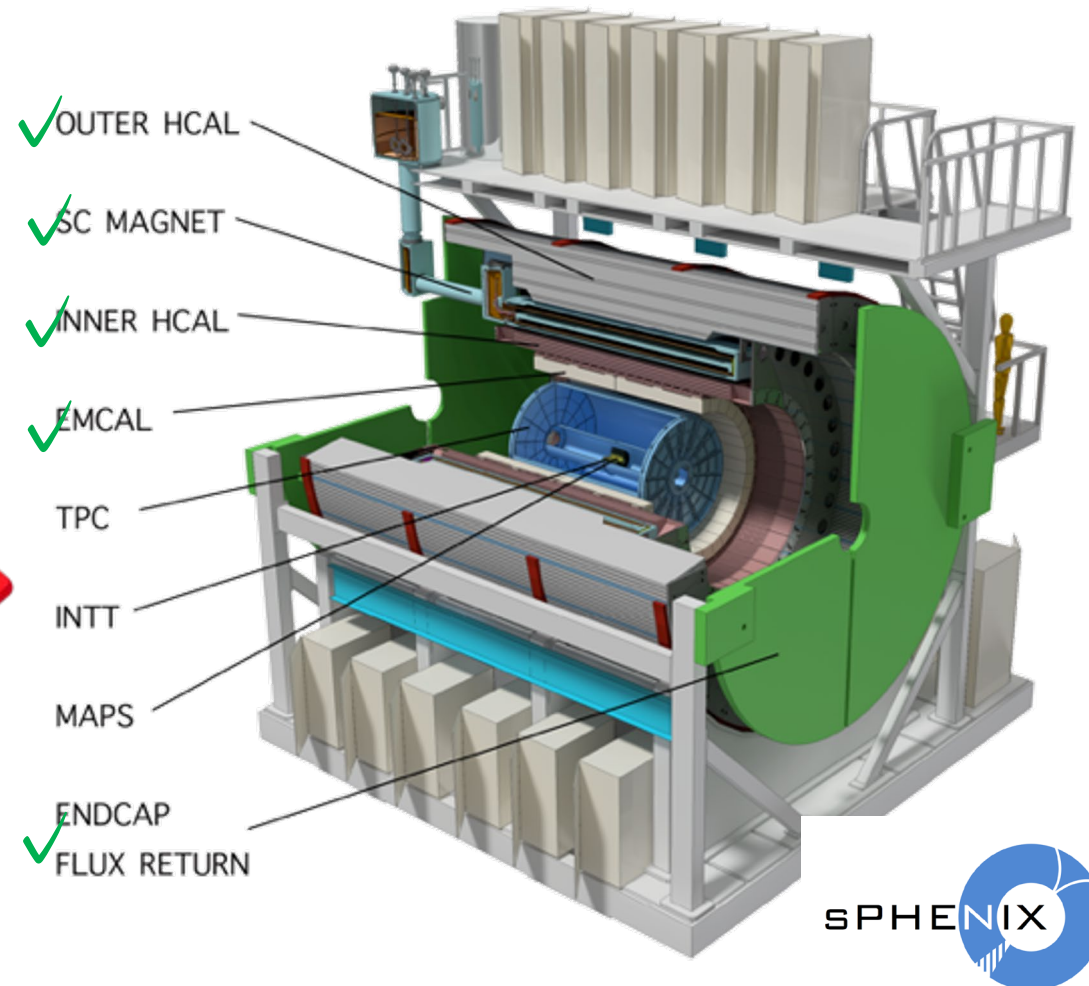
sPHENIX検出器(2023 ~ 2025+?)

PHENIXからsPHENIX実験へ

PHENIX



Jetの測定には検出器の覆う範囲が乏しい

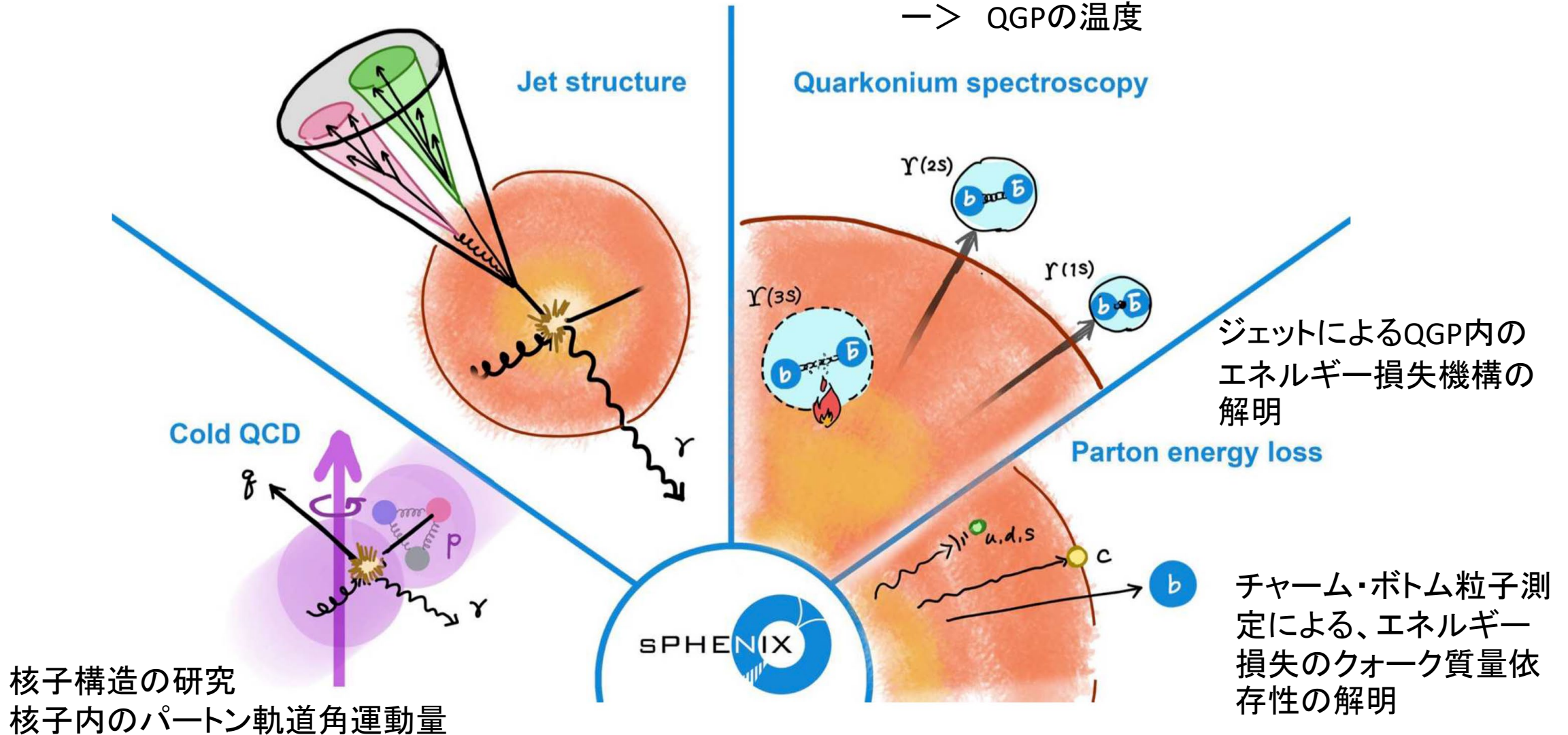


全方位角を覆いJetの測定に理想的な検出器

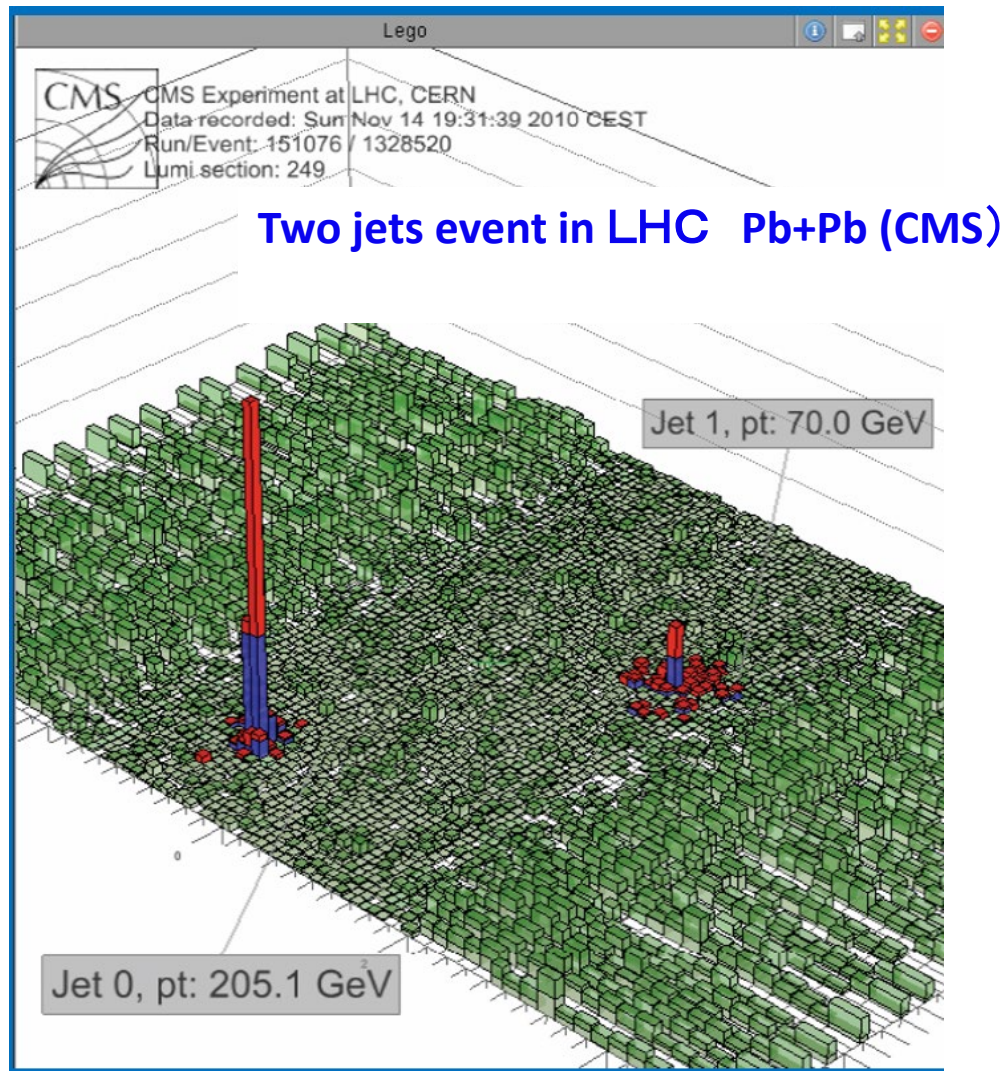
sPHENIXの物理の目標

ジェット構造の測定 → QGP物質の反応の研究

Upsilon粒子のQGP内での抑制の測定
→ QGPの温度

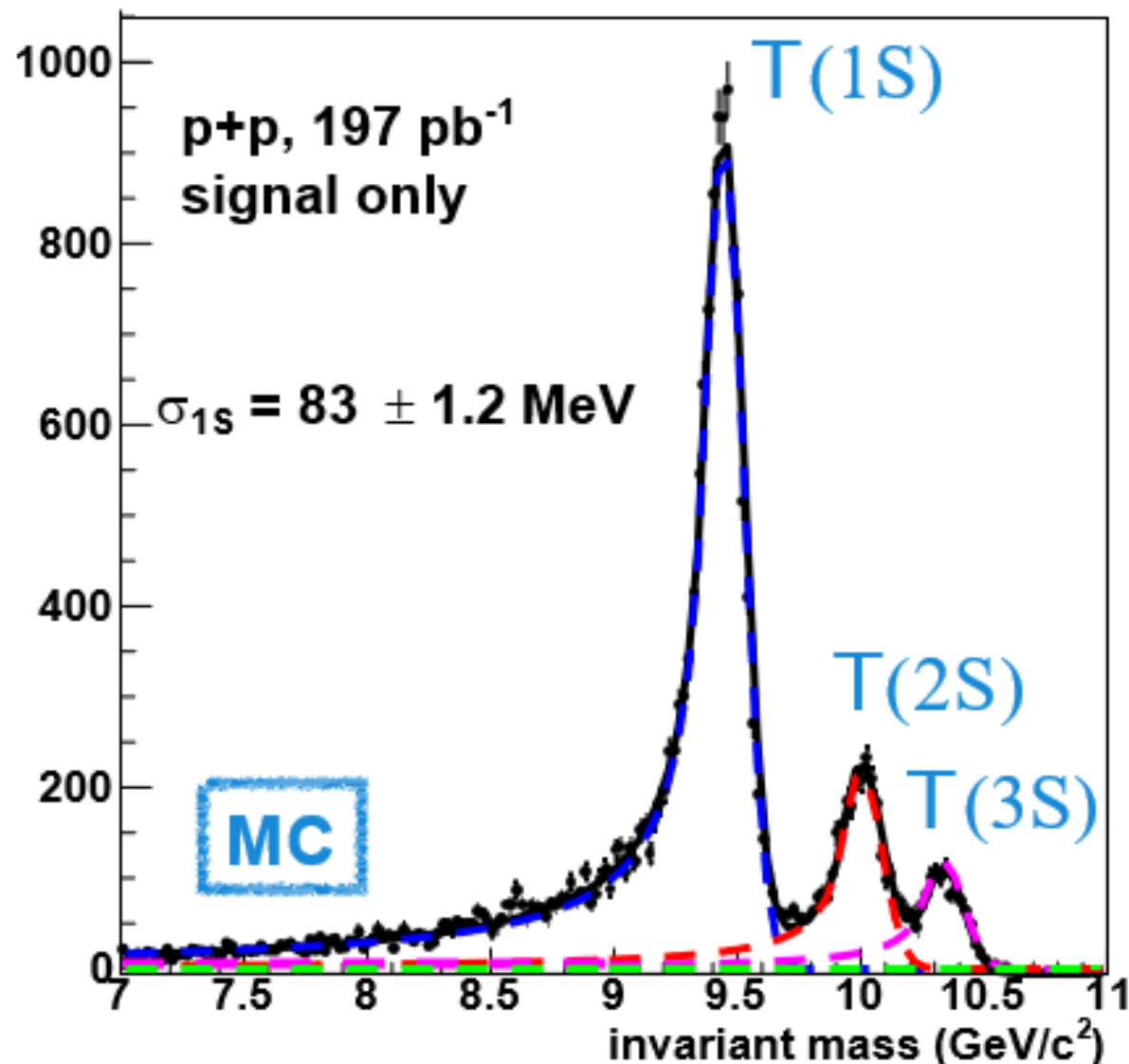


物理目標: ハドロン・ジェットの測定



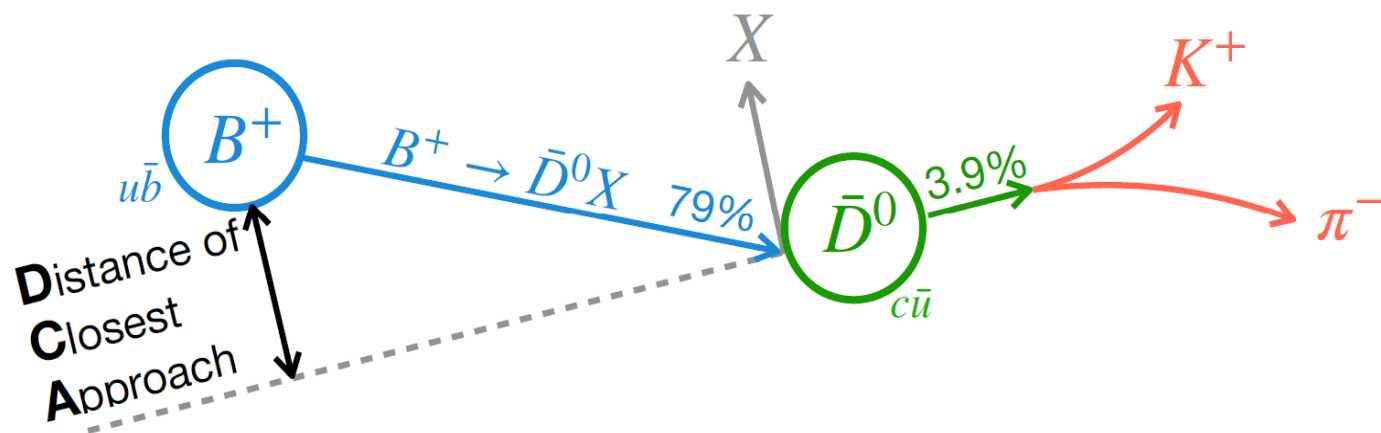
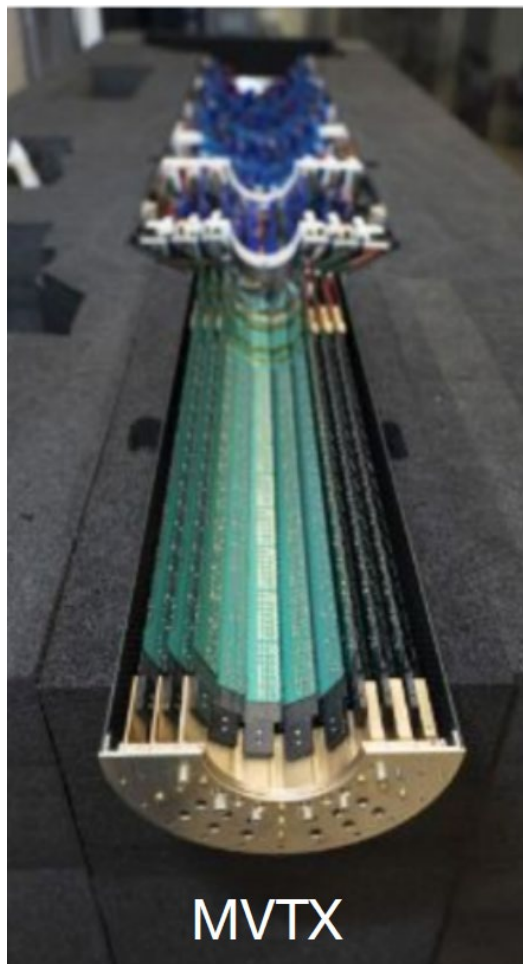
- 高エネルギーのクォーク・グルーオンは、多数のハドロンに分解し、ハドロン・ジェットとして観測される。
- LHCでの鉛+鉛衝突実験でジェットが直接測定され、ジェットがQGPの性質の研究のために非常に有用なことがわかった
- しかし、90年台に設計・建設されたRHICの測定器は、ジェット測定のために設計されていなかった。
- ジェット測定のための新測定器の建設 → sPHENIX

物理目標: ウプシロン抑制の測定:→ QGPの温度



- b クォークと反 b クォークの束縛状態であるウプシロン粒子を高精度・高統計で測定する。
- 高温のQGP内では、 $b\bar{b}$ 束縛状態が壊れるので、ウプシロン粒子の生成量が減少する。
- 3つあるウプシロンは、束縛エネルギーが深いほどQGP効果により抑制されにくい。
- 3つのウプシロンの生成量の測定から、QGPの温度を推定できる。

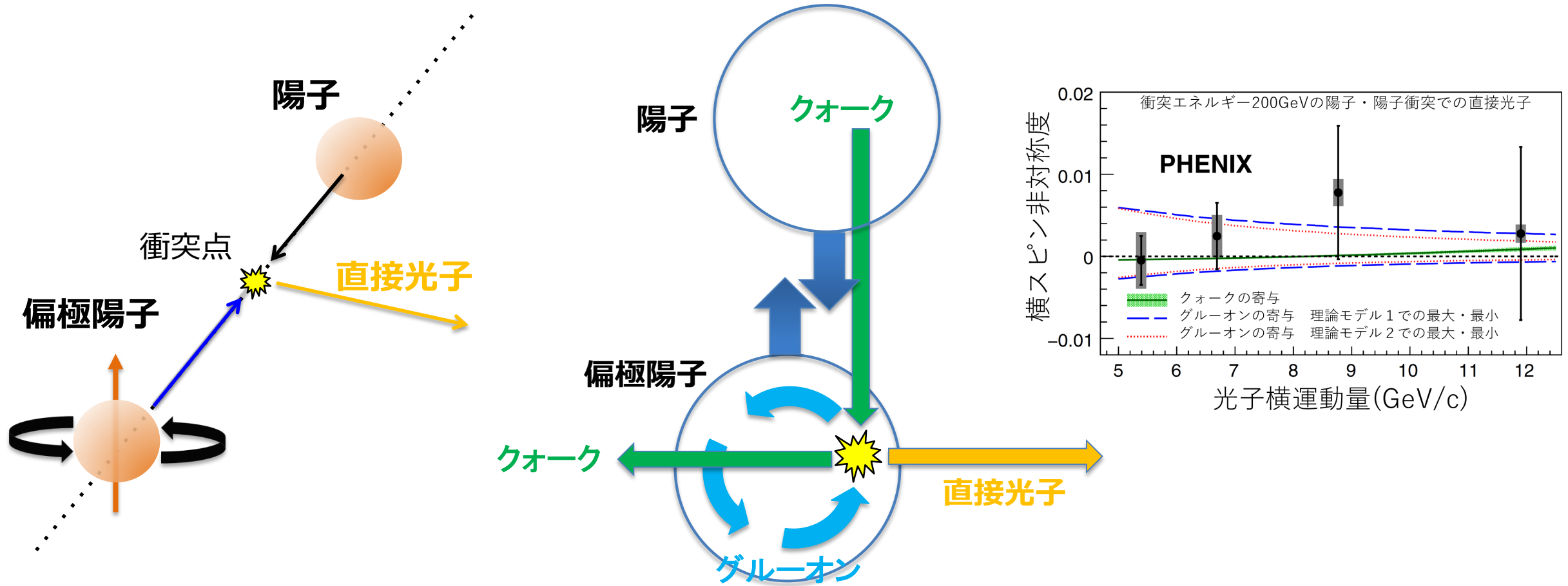
物理目標: 重いクォーク(チャーム・ボトム)の測定



チャーム・クォークやボトム・クォークを含むハドロンは崩壊するまでに数100ミクロンを飛行する。シリコン飛跡測定器(MVTX, INTT)でこの飛行距離を測定することで、チャームやボトムを含むハドロンを測定できる。

これから、QGP内のエネルギー損失のクォーク質量依存性などが解明できる。

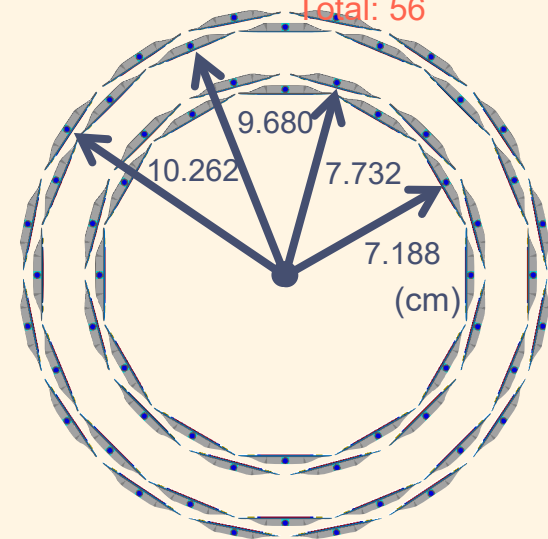
物理目標: 核子のスピン構造の研究



- 直接光子は、「偏極陽子内のグルーオン」と「陽子内のクォーク」の衝突で、グルーオンが光子に変わることで作られる。直接光子の「横スピン非対称度」 A_N から、偏極陽子内のグルーオンの回転運動の強さがわかる。
- sPHENIXではPHENIXの4-5倍の精度で直接光子の A_N を測定できる。

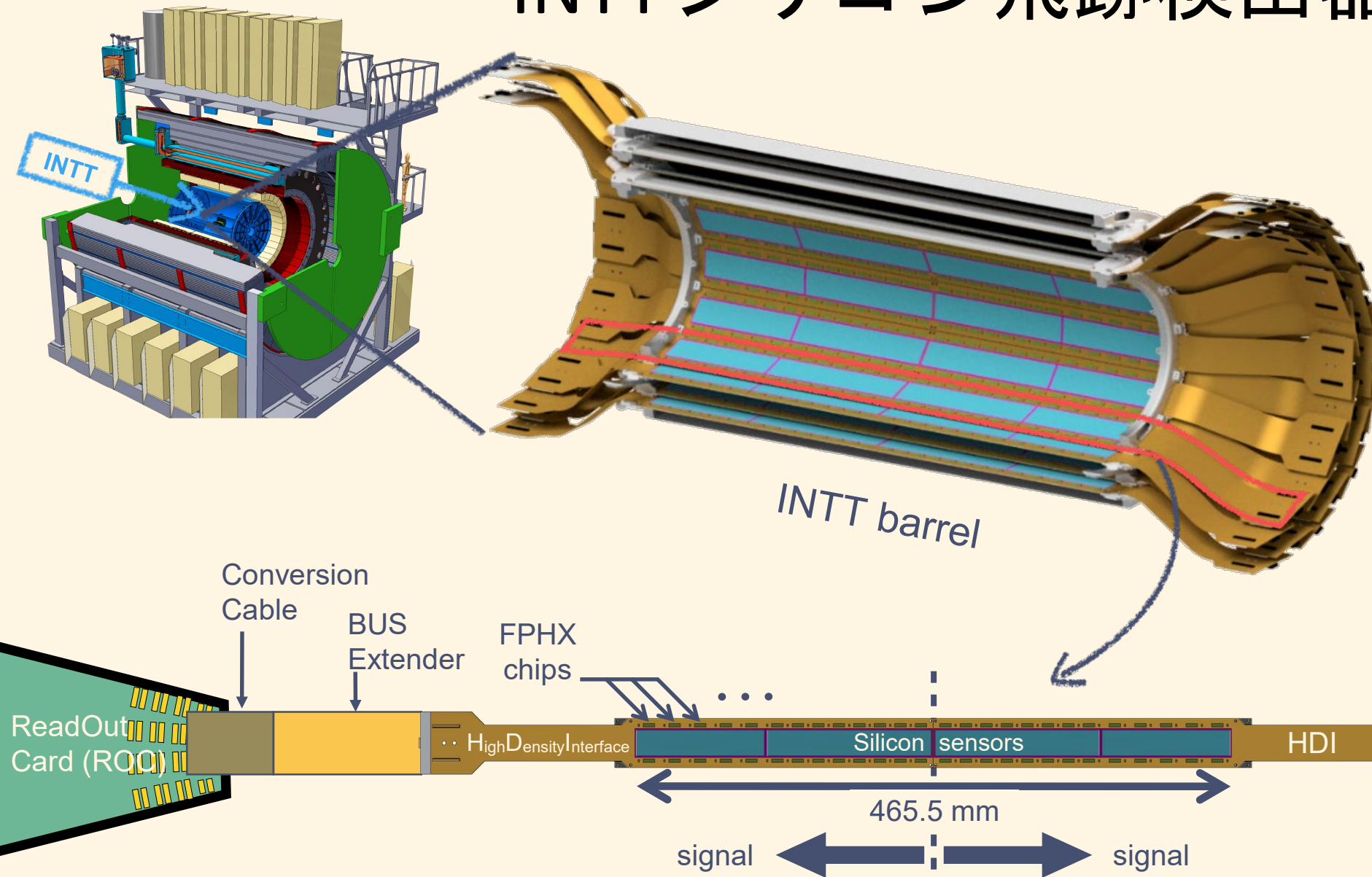
INTTシリコン飛跡検出器

Inner ladders: 12 × 2
Outer ladders: 16 × 2
Total: 56

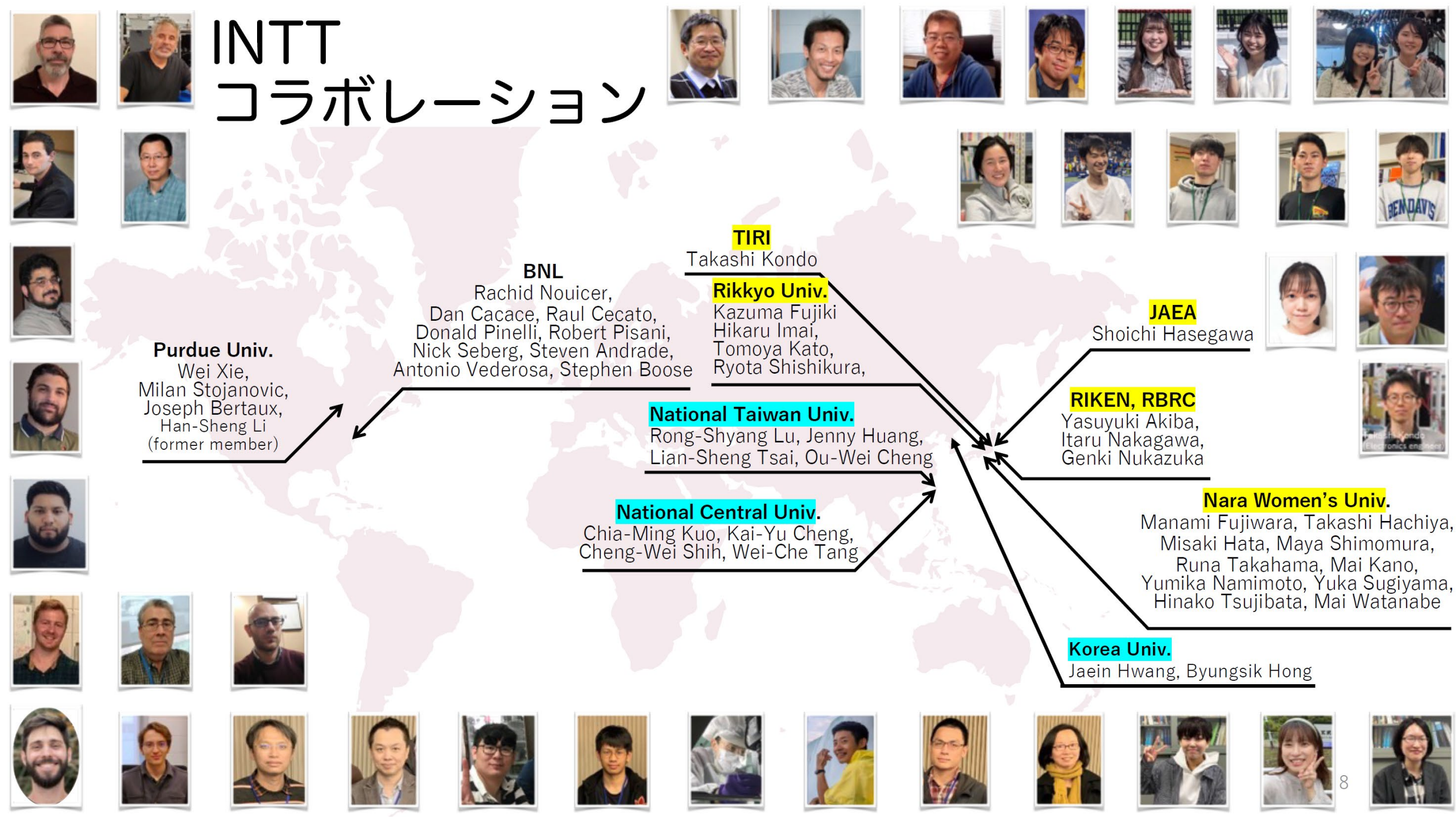


Cross-section of the INTT barrel

$128 \times 26 \times 2 = 6656 \text{ ch/ladder}$
 $6656 \times 56 \sim 370\text{k ch}$



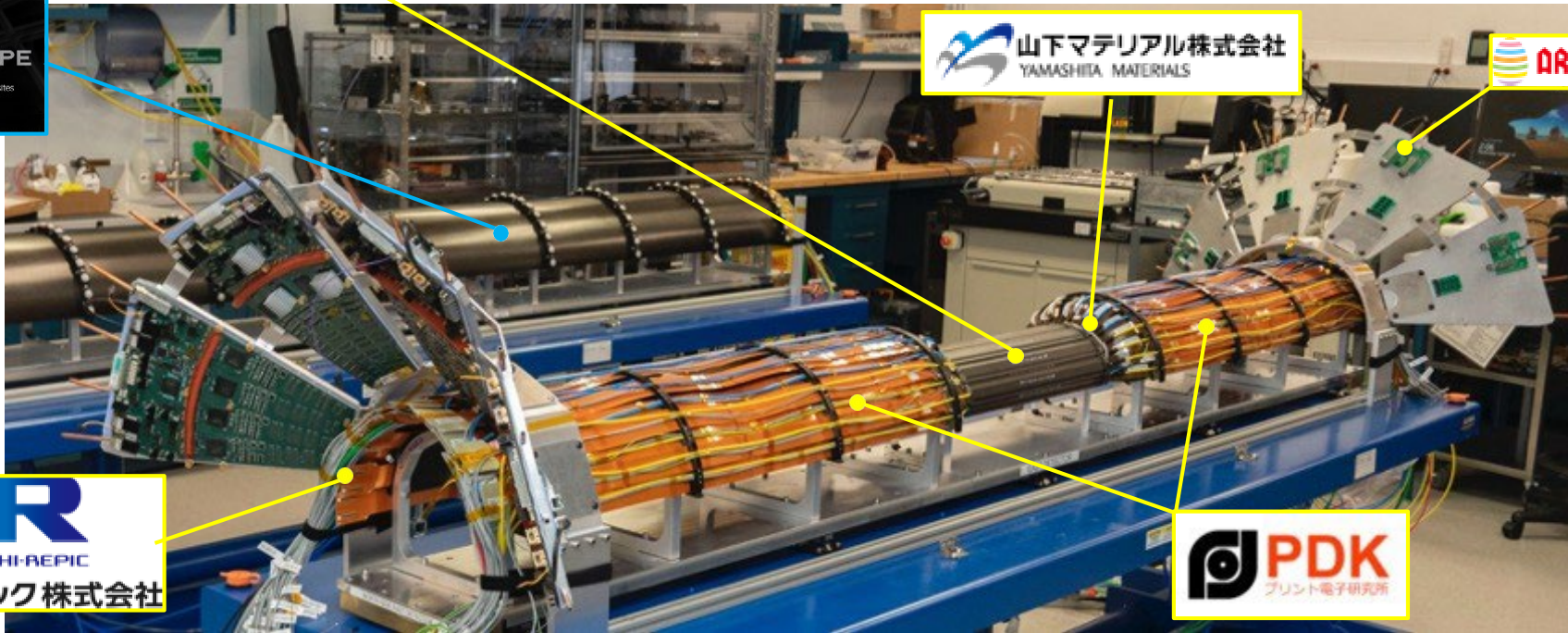
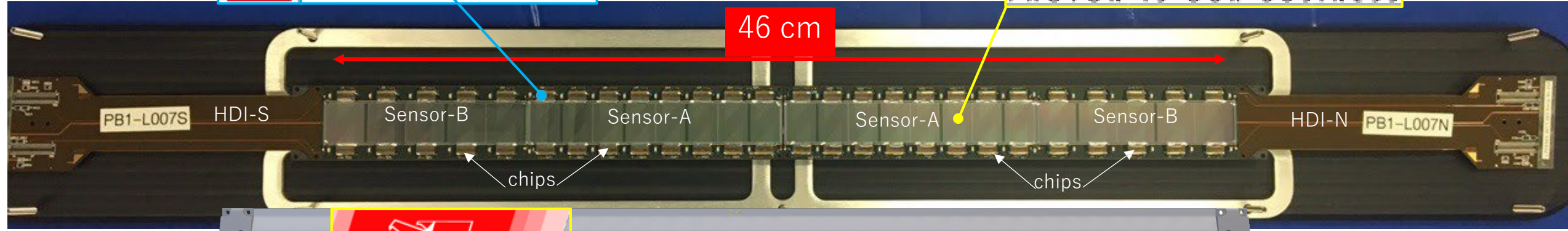
INTT コラボレーション



INTTバレル各種パーツの量産



46 cm



マテリアルの量産@日本

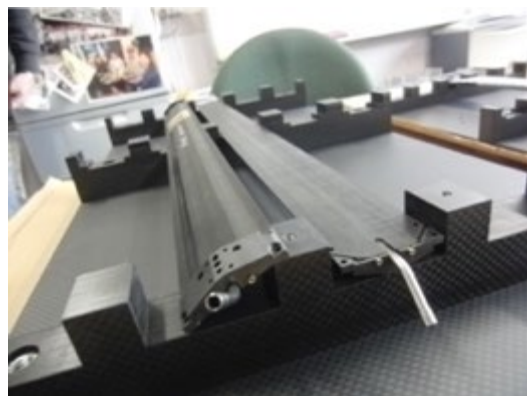


奈良女子大学



理研

カーボンファイバー裏打ち板



ASUKA Co., Ltd.

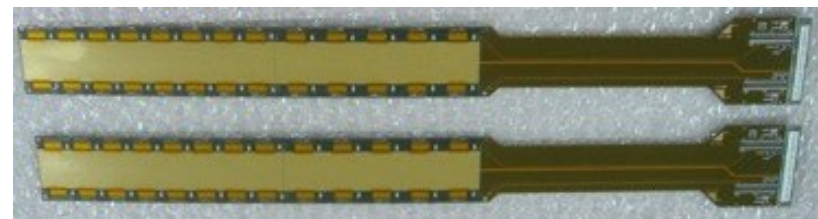


シリコンセンサー

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS



プリント電子研究所



読み出しケーブル



1.2mバスケーブル



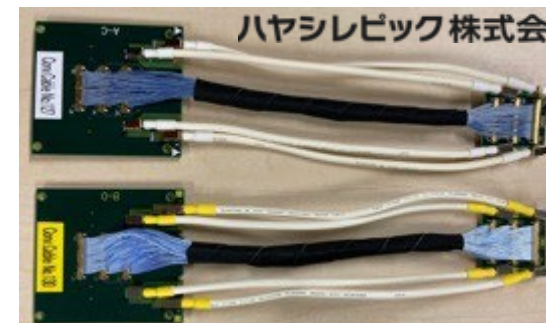
アールエス株式会社



ビームクロック回路



ハヤシレピック株式会社



変換ケーブル

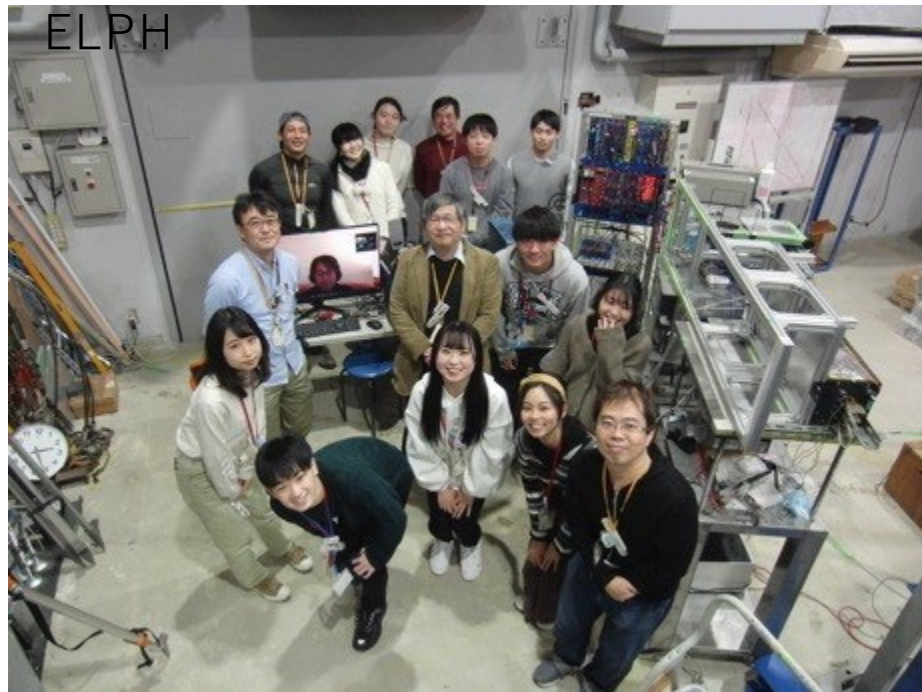
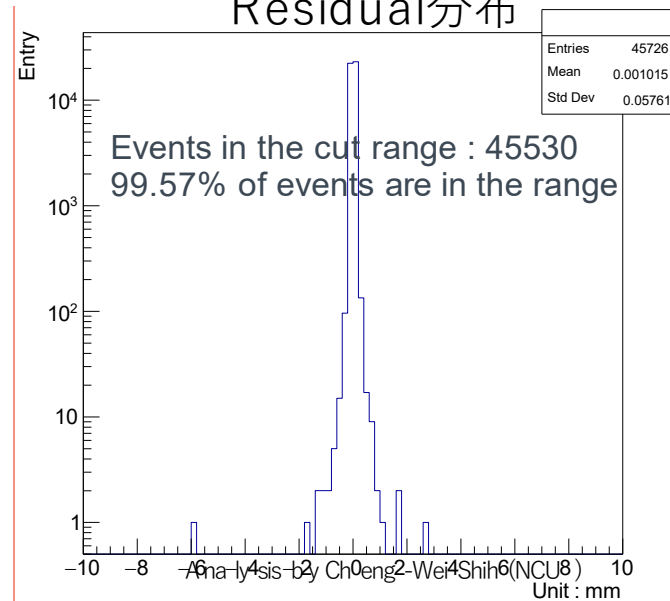
INTTシリコンラダー

ビームテスト
Residual分布

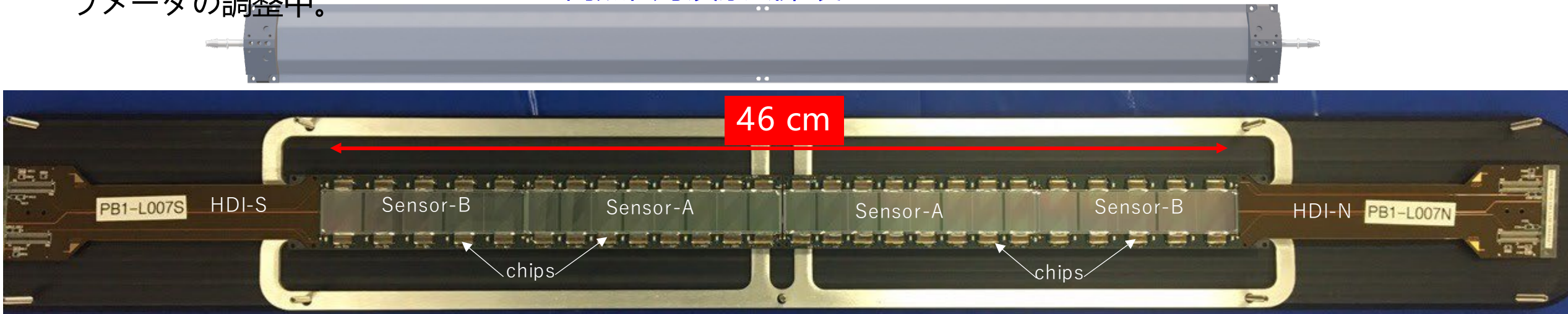
2021年12月ビームテスト@東北大
ELPH

パフォーマンス

- 1ビームクロック以下の時間分解能を確認。
- 2021年ビームテストで検出効率(>99%)を確認
- 宇宙線測定@奈良女でアクセプタンス中検出効率の勾配がないことを確認。
- ほぼ設計通りのパフォーマンス。
- シミュレーションモデルの細かいパラメータの調整中。

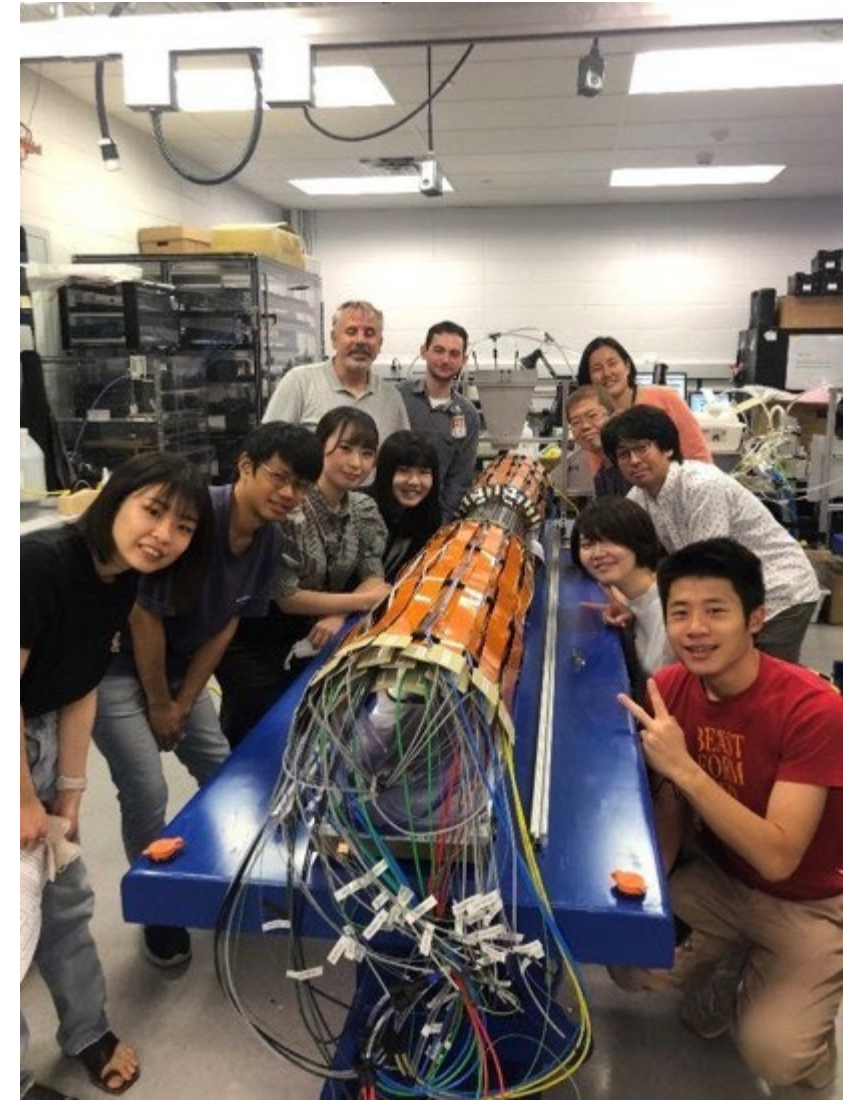
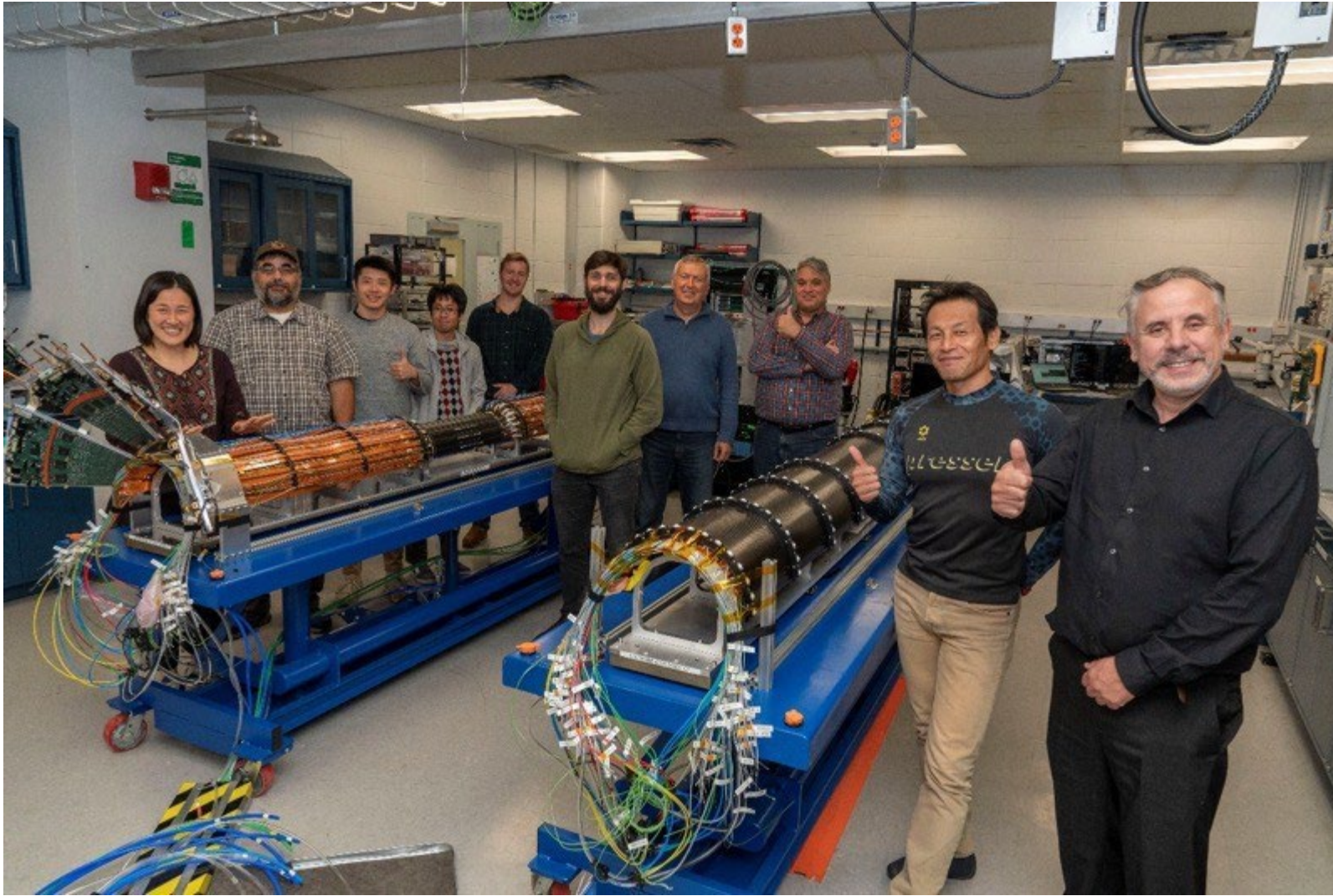


高熱伝導炭素繊維製ステーブ

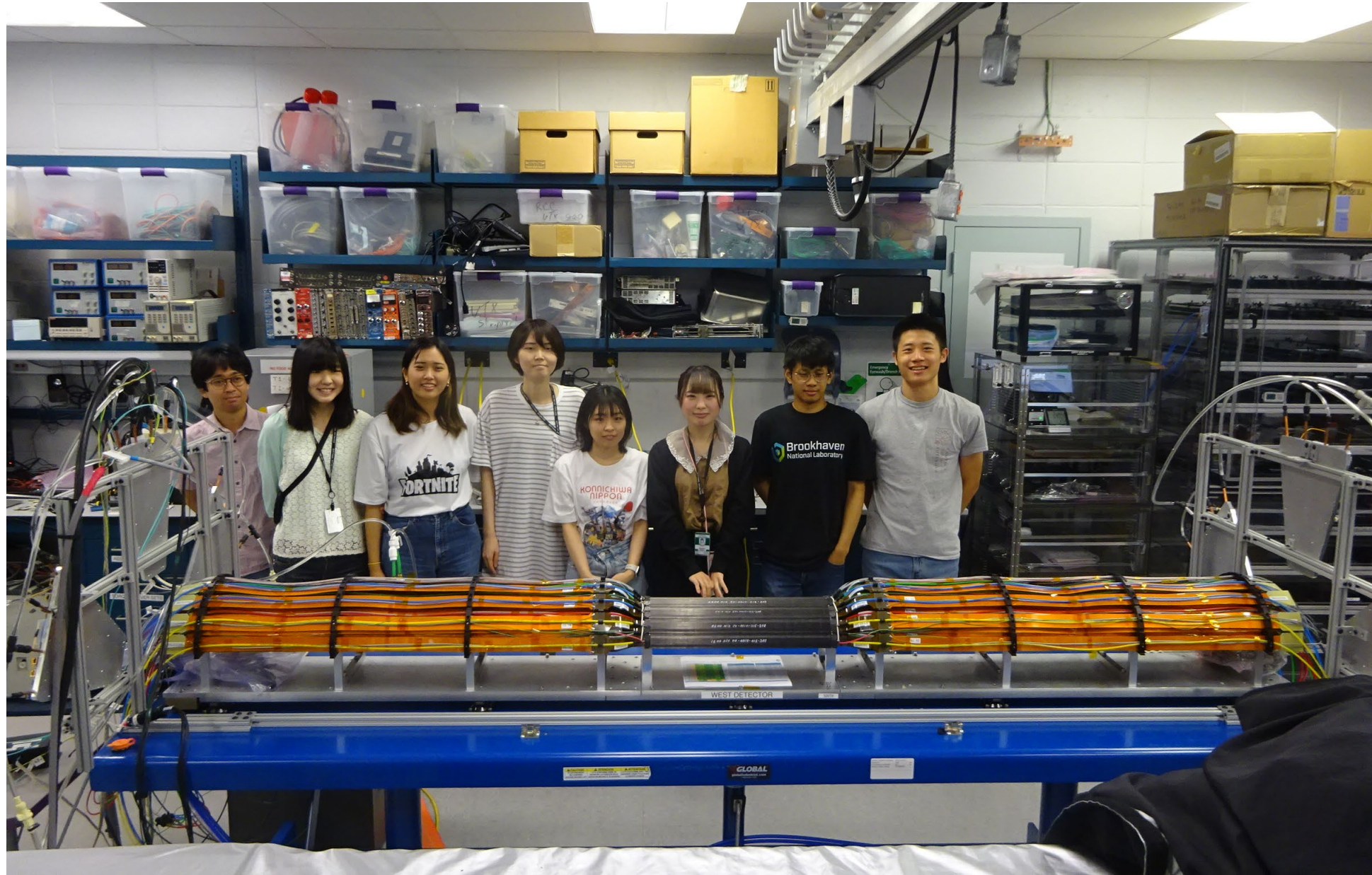


120ラダーの組み立て量産は2022年の3月にBNL+台湾にて完了

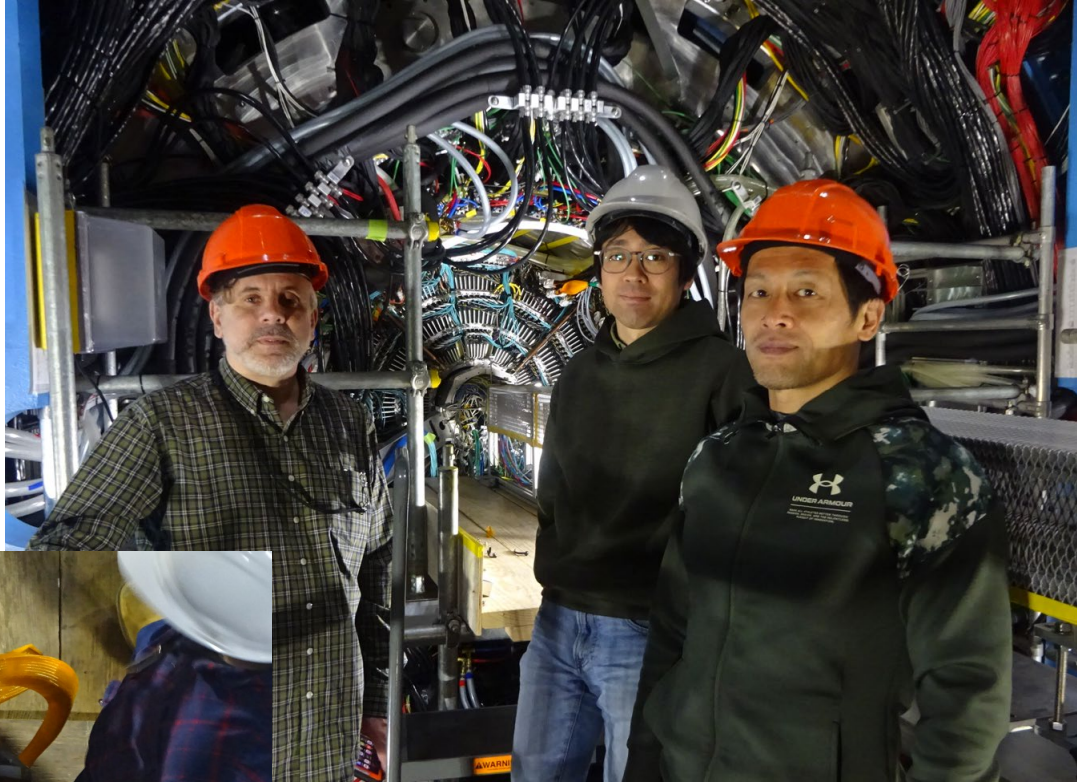
INTT バレル組み立て@BNL



去年のINTT完成時。多くの学生が貢献
(奈良女子大、立教大学、台湾国立中央大学)



2023年3月1日 sPHENIXへの組み込み完了



日経サイエンス2023年6月号のRHICの記事

原子核物理学 “Primordial Soup”

加速器実験で探る「強い力」 クォーク・グルーオン・プラズマを作る

“素粒子のスープ”だった誕生直後の宇宙を
かつてないほど精密に解き明かす実験が始まる

C. モスコウィッツ (SCIENTIFIC AMERICAN 編集部)

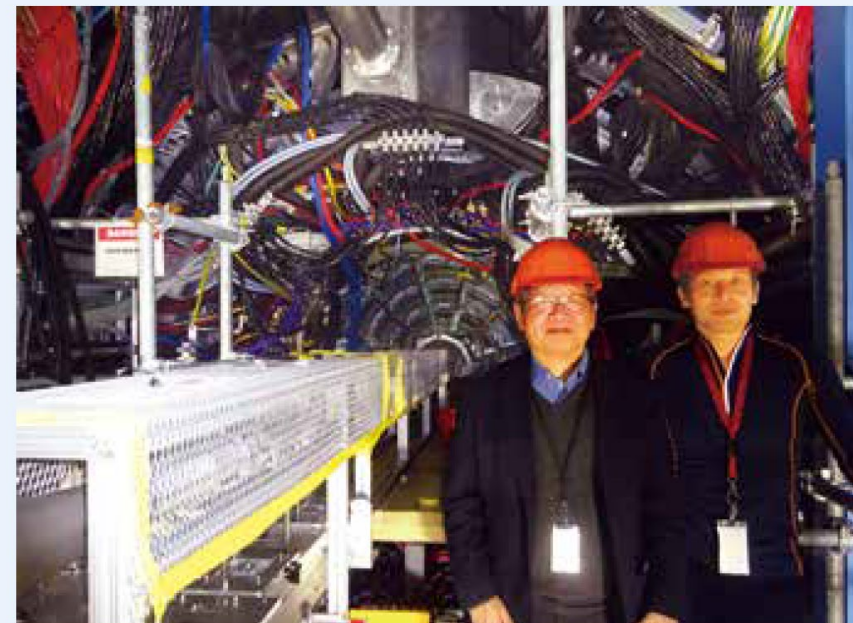
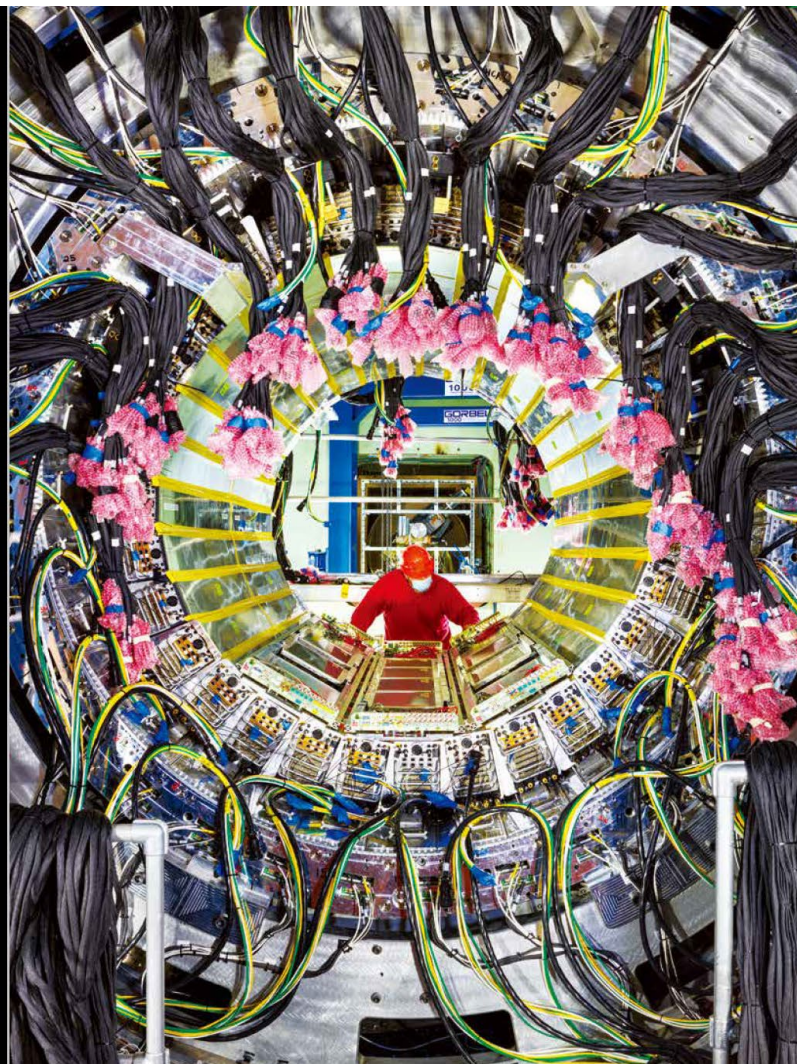
Photographs by Christopher Payne

原子を観察できる顕微鏡を持っている。そして、最も小さな原子である水素原子を詳しく見てみる。外縁を飛び回っている1個の電子を横目にさらに拡大していくと、原子核が見えてくる。水素原子の場合は1個の陽子だ。高校の物理では、陽子はクォークという素粒子が3個（2個のアップクォークと1個のダウンクォーク）集まってできたものであると教わる。しかし、実際には陽子ははるかに複雑であり、その内部構造や、陽子の質量やスピンといった性質が陽子を構成している粒子の性質にどう由来しているのかはまだ明らかになっていない。陽子内部の模式図に描かれる3個のクォークは単に「価クォーク」(91ページの訳者ノート1を参照)にすぎず、クォークや反クォーク（クォークの反物質）、さらにはそれらをつなぐ「グルーオン」の海を漂うパイのようなものだ。陽子の中のクォークとグルー

ンの総数は絶えず変化している。クォークと反クォークの対が常に生成と消滅を繰り返しており、グルーオンは、特に陽子が高速で運動している（大きな運動エネルギーを持っている）場合に分裂・増殖しやすい。要するに、陽子の構造は混沌としている。自然界の4つの基本的な力のうち最も強い「強い力」はこの雑然とした粒子たちを陽子（と中性子）の中に閉じ込めている。だが、そうではない状況もある。ビッグバンの直後、宇宙はあまりに高温・高密度で、強い力はクォークやグルーオンを閉じ込めておくことができなかった。代わりに、それらは「クォーク・グルーオン・プラズマ」と呼ばれるほとんど抵抗なくサラサラと流れる大海原をなしていた。この段階は宇宙史におけるほんの一瞬だった。ビッグバンから約10⁻⁶秒以内にクォークとグルーオンは陽子や中性子に閉じ込められた。しかし、ビッグバンから138

億年後の今、物理学者は加速器によってこのクォーク・グルーオン・プラズマを再現できるようになった。大きな原子核（金の原子核など）を2個用意し、光速に近い速度まで加速して正面衝突させる。衝突によってクォーク・グルーオン・プラズマの“しずく”ができるのに十分な温度と圧力を作り出すのだ。ただし、このしずくはすぐに散り散りになり崩壊してしまう。この衝突を捉える装置はそびえ立つ建造物であり、同心円状に配置された多くの検出器などの機器やそれらをつなぐ何千ものケーブルからなる。昨年、私はニューヨーク州ロングアイランド

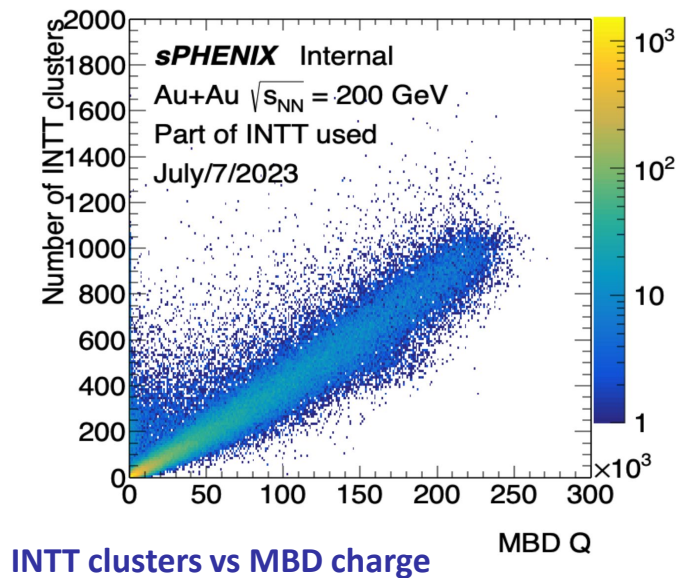
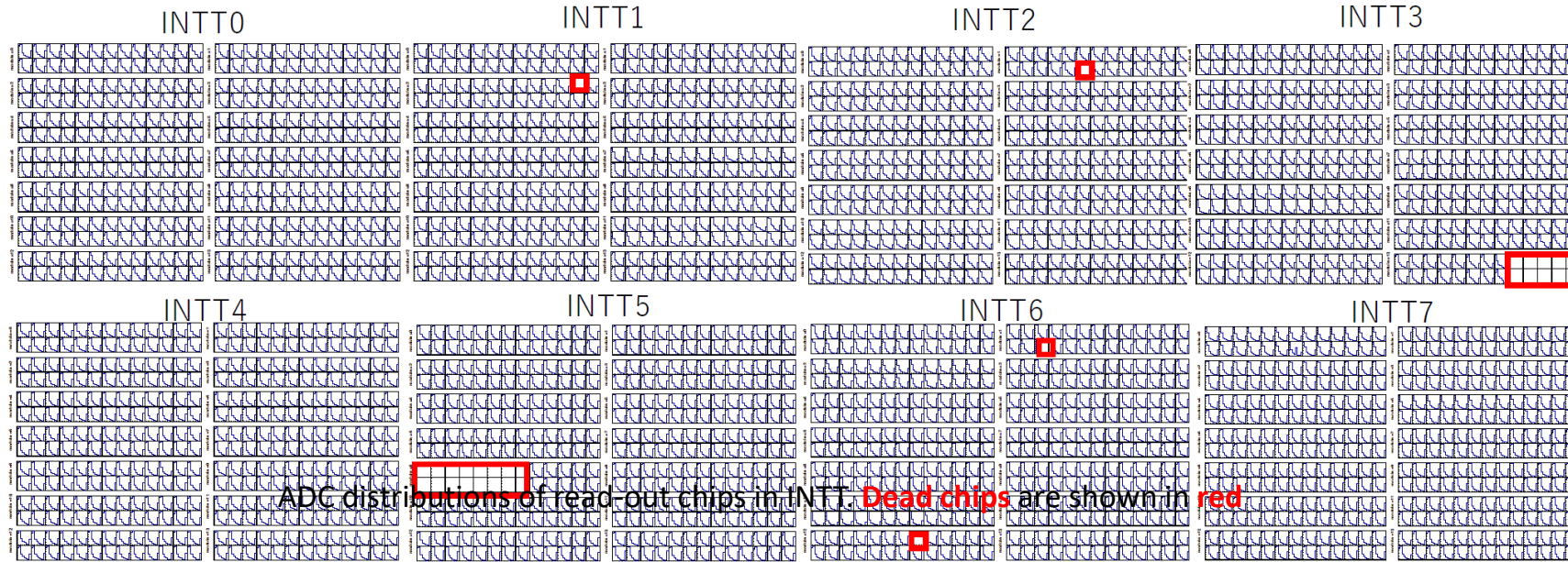
米国立ブルックヘブン研究所（ニューヨーク州ロングアイランド）の相対論的重イオン衝突型加速器（RHIC）で新たに稼働する検出器 sPHENIX の内部でケーブルを配線している技術者。円筒状の空間で原子核どうしが衝突し、宇宙の始まりに存在していたクォーク・グルーオン・プラズマの“しずく”を作り出す。



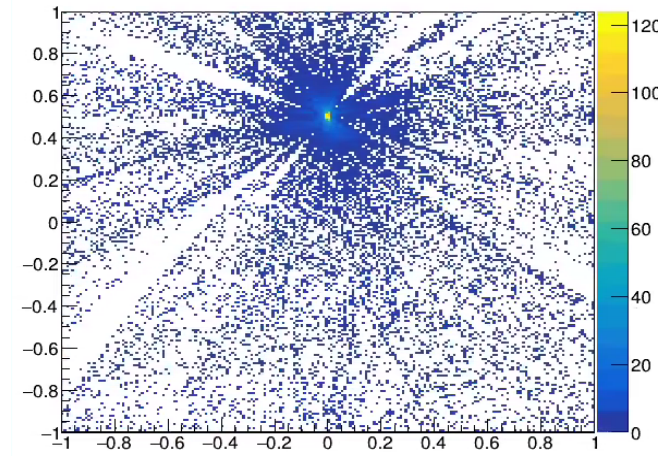
検出器の中心部 sPHENIXはバウムクーヘンのような多層構造をしており、まずは外層部分が設置され（83ページの写真）、最後に最内層の部分が組み込まれ、2023年1月に完成した。左手の手前から奥に伸びている構造物がRHICのリングを構成する真空パイプで、このパイプを取り囲むように、日本を中心とする国際共同グループが開発したシリコン半導体検出器が配置されている。人物は理研の秋葉康之（左）と中川格（右）。

理化学研究所 加速器科学センター

RUN23でのINTTのコミッショニング



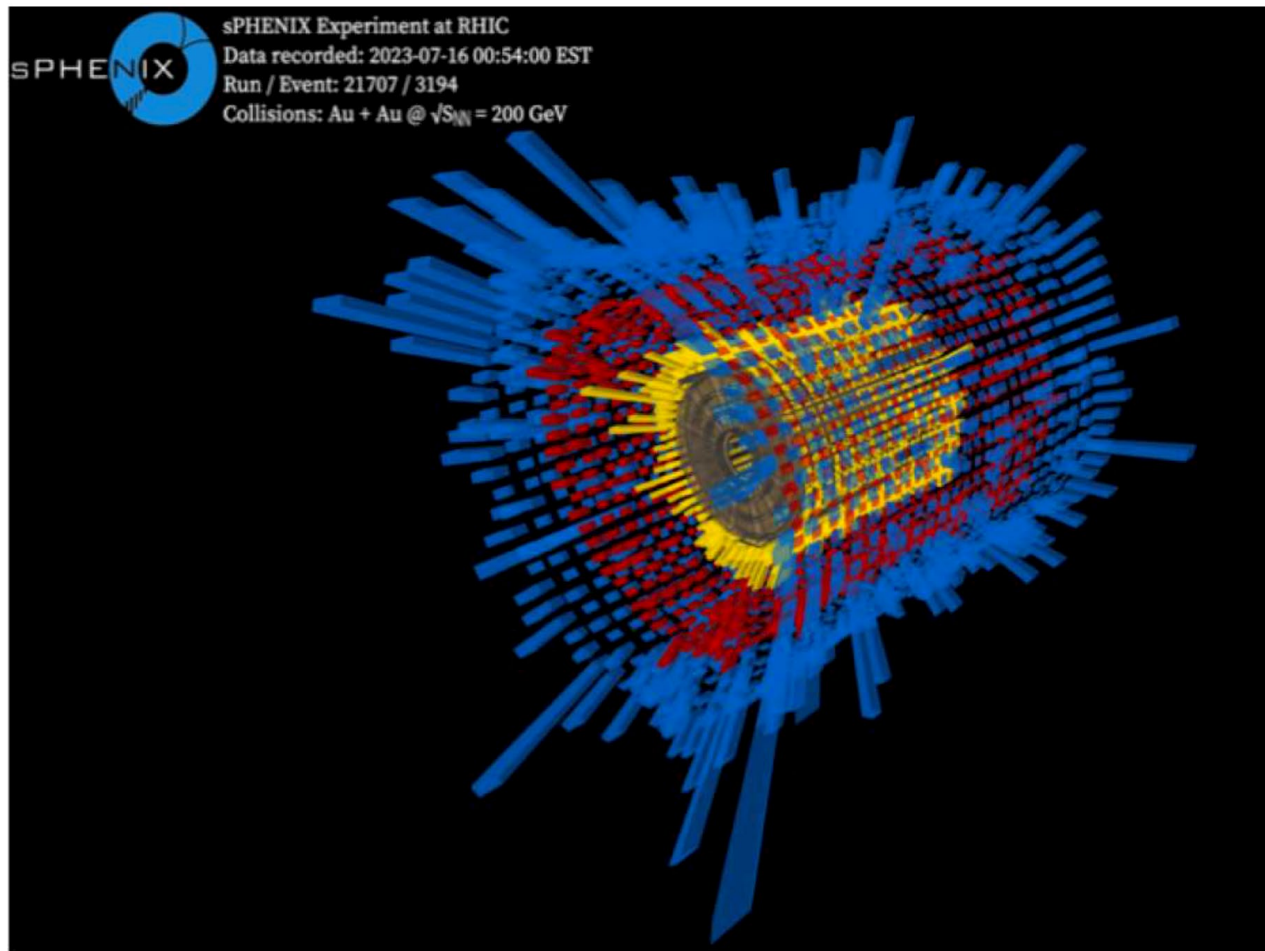
INTT clusters vs MBD charge



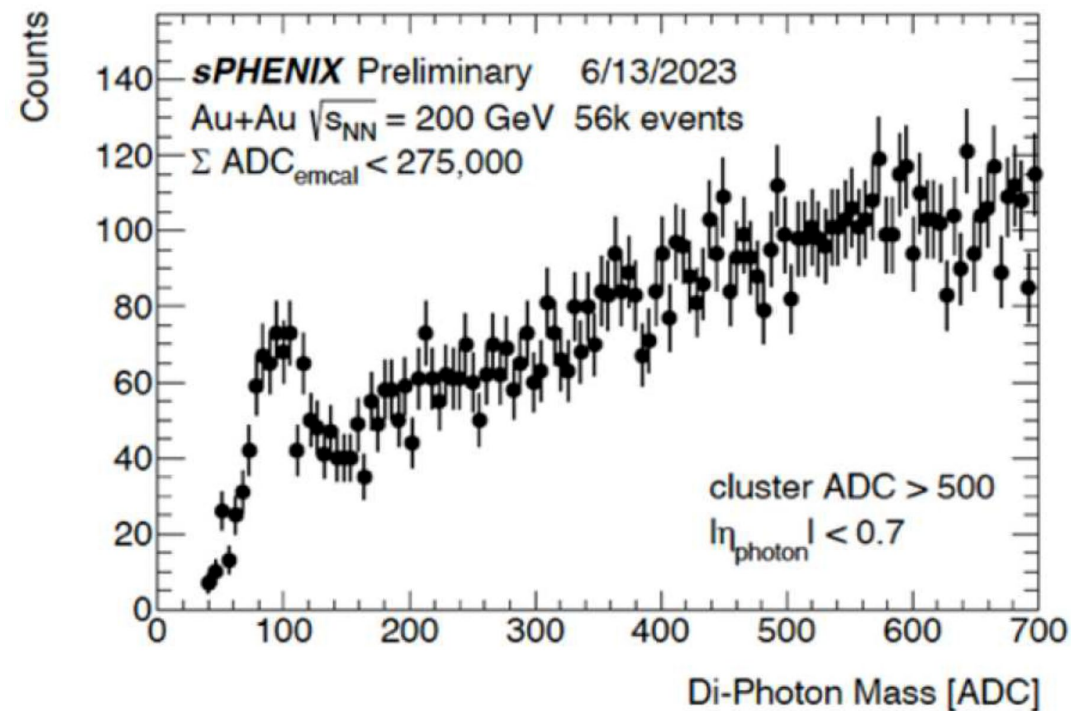
Vertex reconstruction by INTT in XY plane

5月から8月1日の
RUN23(金+金衝突)
でINTTのコミッショ
ニングがほぼ完了
2912 個の読み出し
チップ (128ch/chip)
の99%が生きている

RUN23: sPHENIXのコミッショニング



カロリメータで測定されたAuAu衝突イベントでのエネルギーフロー



電磁カロリメータでの2光子質量
 π^0 のピークが見える

RUN24 開始

sPHENIX Beam Use Proposal 2023 (not all shown)

Year	Beam	$\sqrt{s_{NN}}$ (GeV)	Data taking (week)	Luminosity, ($ z < 10$ cm)	
				Recorded	Sampled
2023	Au + Au	200	9	3.7 nb⁻¹	4.5 nb⁻¹
2024	p ⁺ + p ⁺	200	17	0.44 pb ⁻¹ (5 kHz)	31 pb ⁻¹
2024	Au + Au	200	3	0.4 nb ⁻¹	-
2025	Au + Au	200	24.5	6.3 nb ⁻¹	-

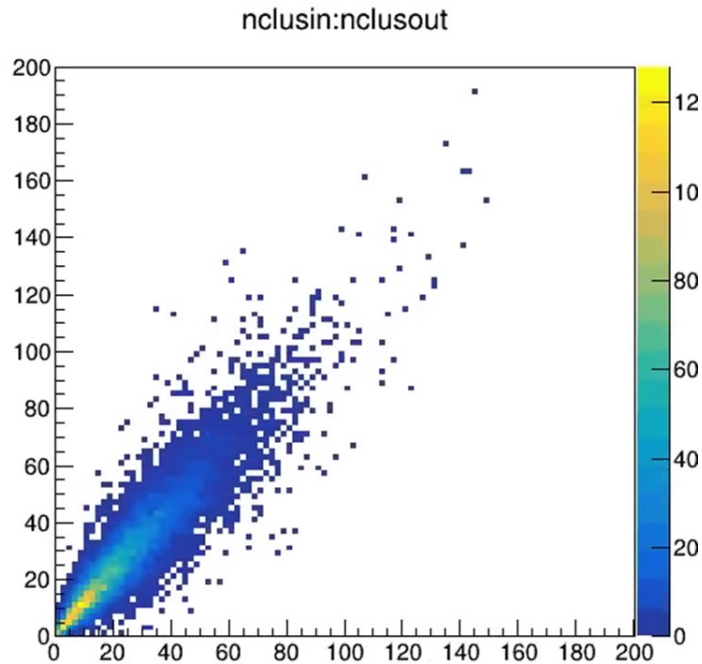
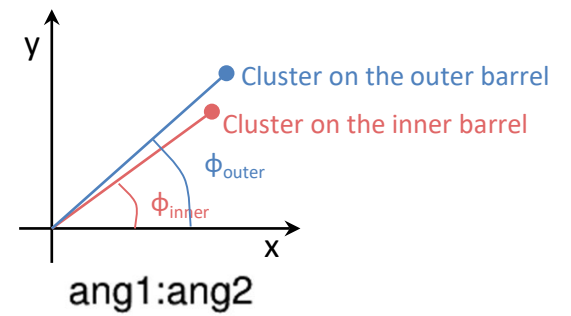
2023年にsPHENIX
測定器のコミッショ
ニングはほぼ終了
RHICの故障のため、
2か月早くRUNが終
了、物理データはとれ
なかった。
2024年は偏極pp実
験で物理データをとる
RUN24 は今まさに開
始されている。

INTT Commissioning –Day 1– (2024/04/28)



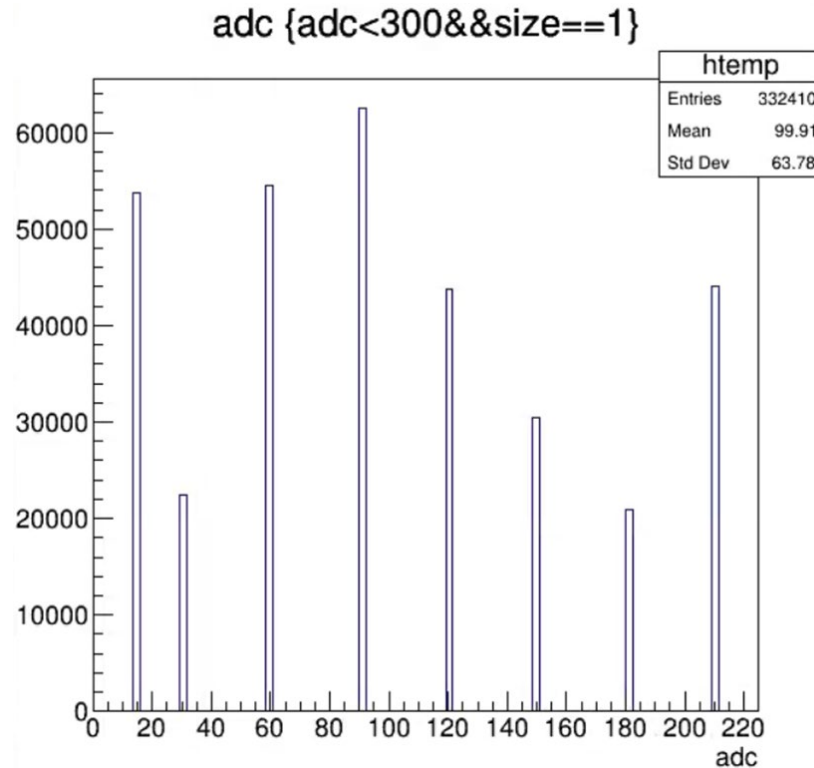
Onsite crew: G. Nukazuka, R. Nouicer,
I. Nakagawa, T. Hachiya,
A. Enokizono, J. Hwang, R. Cecato,
W. Tang, and H. Tsujibata.

Commissioning Day-1



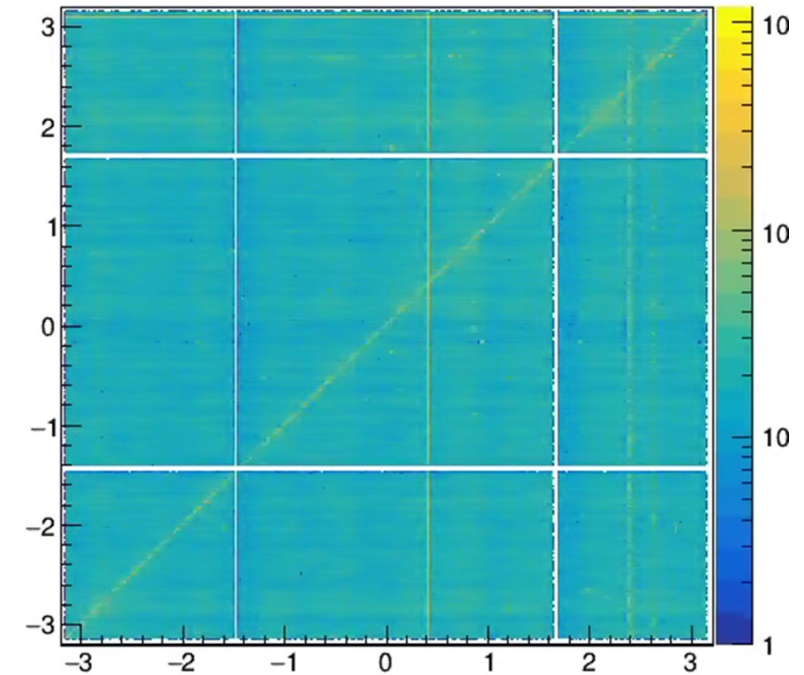
Ncluster correlation
Inner vs outer

A clear positive correlation. It has to be so!



Cluster ADC (size=1)

DAC value needs to be corrected



Cluster pair correlation
Inner vs outer

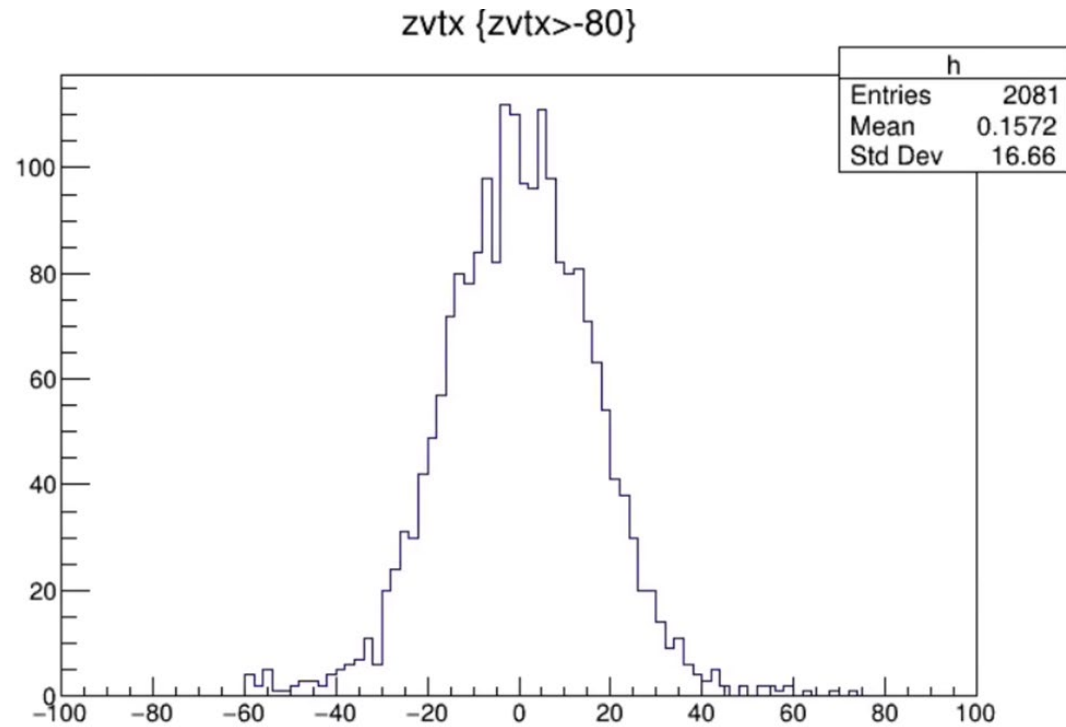
Clear correlation ϕ_{inner} vs ϕ_{outer} suggests particles from the collisions!

by Takashi

Commissioning Day-1:

Reconstructed z_{vtx}
distribution using INTT
(Run 40741)

RUN40741:
2024/04/28 22:30PMごろ



Rough agreement of z_{vtx}
with MBD was confirmed.

BBC/MBD ZVertex (south ← → north)

$Z_{\text{Fit}}^{\text{All Trigs}} = 3.9 \text{ cm}$

$\sigma = 24 \text{ cm}$

MBD

200

100

0

100

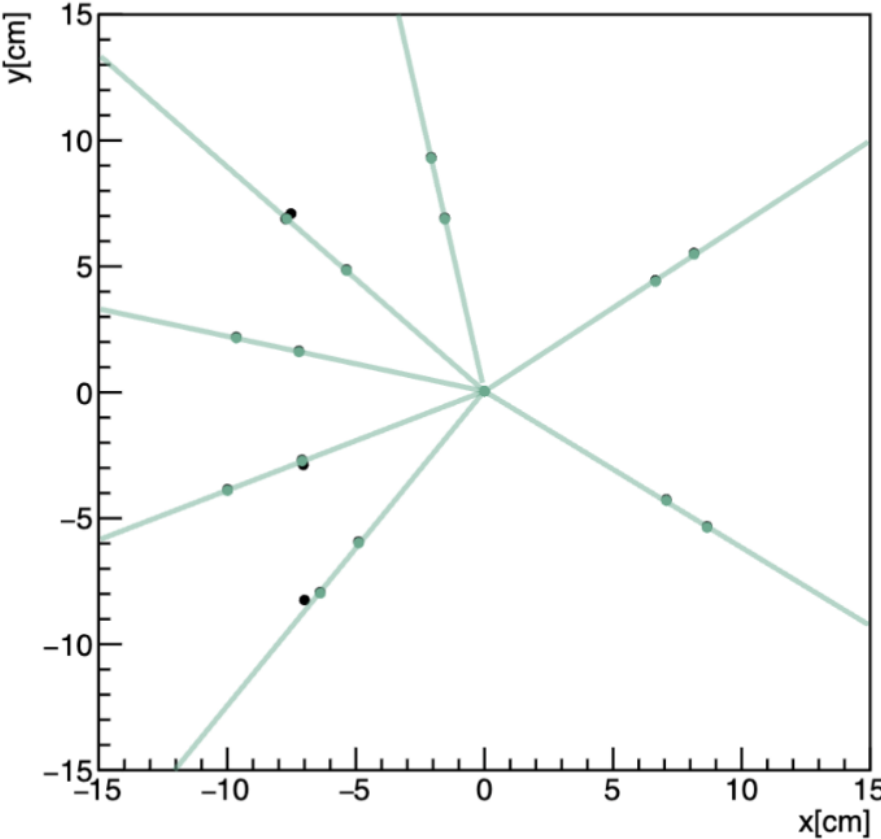
200

ZVertex [

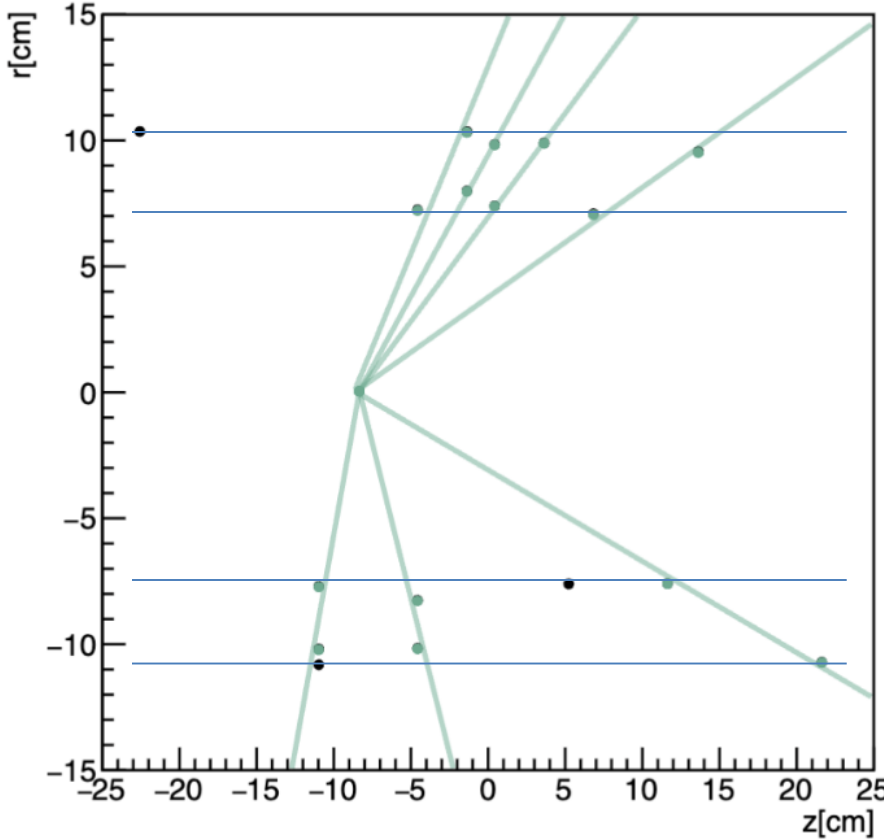
Commissioning Day-1

(2024/04/28)

x-y plane of event 769



z-r plane of event 769



Reconstructed tracks in an event of Run 40741

by Hinako

まとめ

- RHICではこれまで十分にできなかったジェット・ウプシロン・重クォークの測定のために、新測定器sPHENIXを建設。
- sPHENIXは2023年に完成、2023年のランでコミッショニング
- 日本グループは、シリコン飛跡測定器INTTを建設・運用
 - 2023年完成・sPHENIXに組み込み・コミッショニング完了
- sPHENIXは今後2年間データをとり、RHICの科学的使命を完遂する
 - 2024年 偏極陽子+陽子衝突実験
 - 2025年 金+金衝突実験
- RHICは2025年に運転終了し、EICに改造される。