

## 宇宙史研究センター

融合研究企画調整室

他の研究部門

### 光量子計測器開発部門

センター共有の光量子計測機器開発基盤+つくば地区連携拠点

筑波大およびつくば研究機関における理工学分野の密接な連携により、計測器開発に関する情報共有、融合研究、新しい計測器のアイデア創出、計測機技術の産業社会への応用を推進

構成教員: 原和彦(部門長)、江角晋一、武内勇司、金信弘、廣瀬茂輝、本多俊介  
連携教員: 西堀栄治、富田成夫、近藤剛弘、中村浩二(KEK)、山田美帆(産技高専)

超伝導検出器の開発、SOIピクセル検出器の開発、  
新型半導体検出器の開発

連携

TIA-ACCELERATEの筑波大学拠点  
つくば地区他機関との連携

エネルギー物質科学研究  
センター各部門

TIA-ACCELERATE  
光量子産業応用イニシアティブ

KEK測定器開発室  
産総研 CRAVITY・3D集積システム

今年度新任  
本多(宇宙観測)  
山田(SOI)

TIA光量子計測テーマ: STJ/新型半導体(LGAD)/SOI  
日米科学技術協力: (LGAD/SOI: 代表 中村)  
日仏FJPPL: (LGAD: 代表 中村)

# 光量子計測器開発部門の活動から

各プロジェクトの概要（素粒子/原子核/宇宙部門報告も参照ください）



## HL-LHC用シリコン検出器

文科省フロンティア事業に採択

LGAD+testbeam (SOI)

日米科学事業600万円x3年(2021~)

## LGAD検出器

科研費B(原/中村) ; 1716万(2019-2023)

科研費B(中村/原) ; 1742万(2021-2024)

新学術公募(中村) ; 1118万(2021~2023)

FJPLP(中村; 2022採択)

## HL-LHC用シリコン検出器: (原/中村/廣瀬)

- ストリップ型センサー(KEK/筑波大)2021.7月より量産を開始し,半数を量産。QC/QAを継続中
- ピクセル型モジュール(ATLAS-Jpn)今年度初期量産、量産2022-2025。センサー、モジュール化のQC/QA

## Silicon-on-insulator検出器:(山田/原)

- 高位置分解能SOIPIXトラック (KEK AR-TBでのビームテスト)

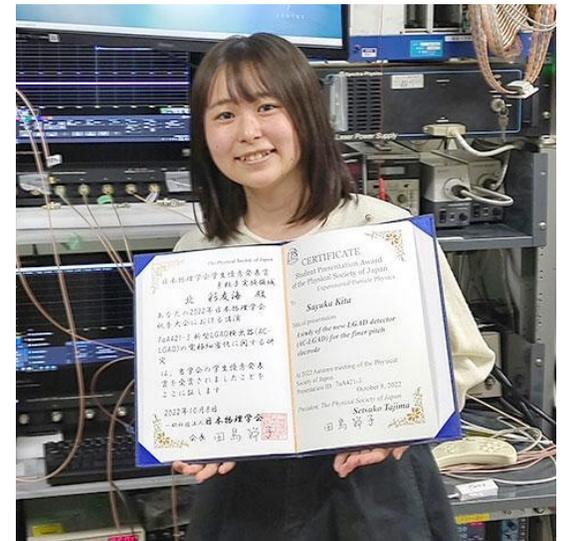
## LGAD検出器 (中村/原)

- AC-LGADの開発 FTBFでテストビーム実施中、放射線耐性(CYRIC)

(西堀、表面物性TREMS) MYTHENによるハイスループット粉末回析測定

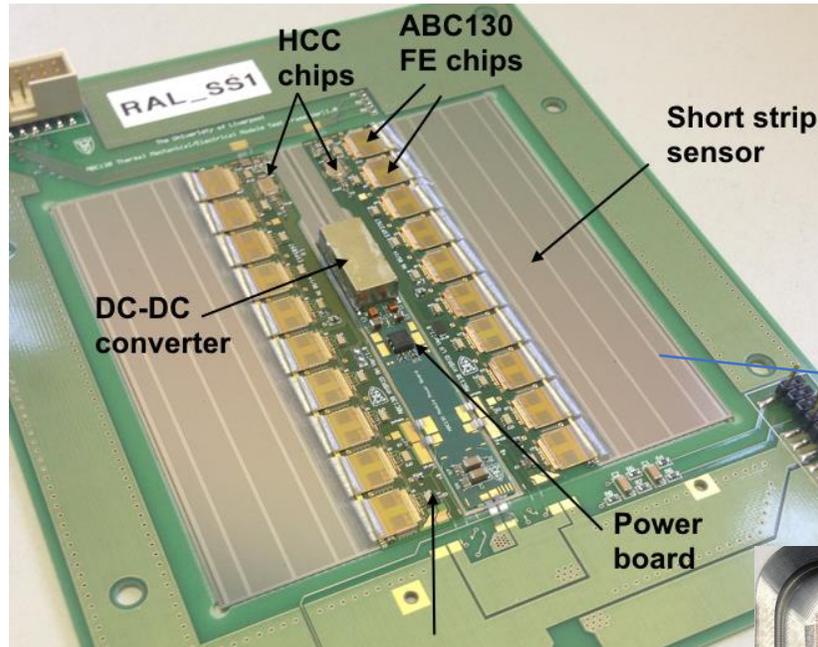
(近藤、表面物性TREMS) 単一構造体微細構造の高感度な精密分光手法 (FC-HSTS) の開発

- 紫外線照射で水素放出が誘起されるホウ化水素シートの研究:



北(M2) 10月8日 AC-LGAD  
「物理学会優秀学生発表賞」

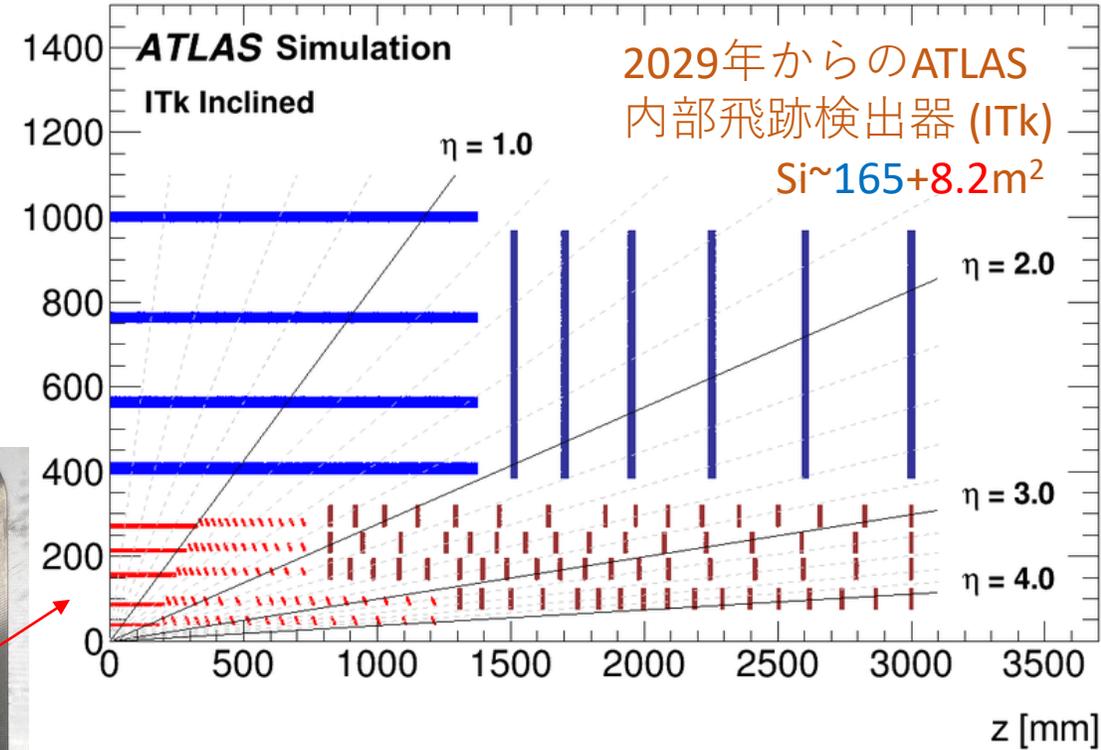
# HL-LHC用シリコン検出器: (原/中村/廣瀬)



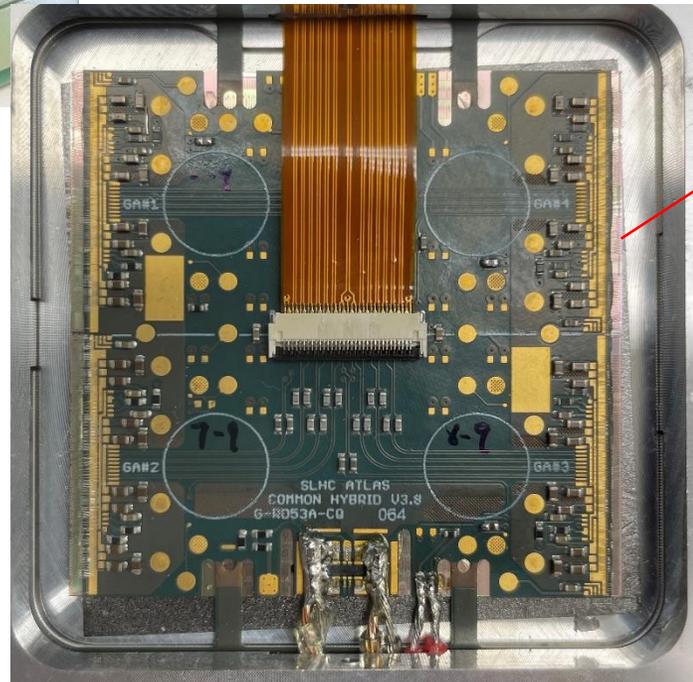
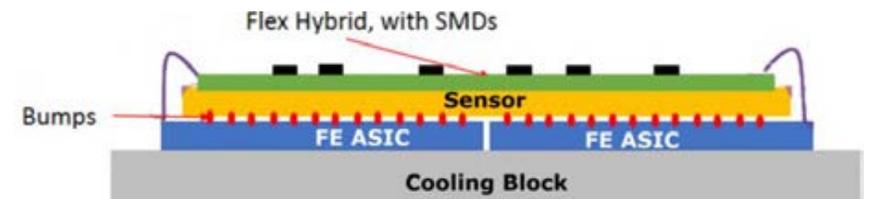
**Strip型**  
barrel部センサー(10x10cm)  
11,000枚x1/2を分担  
<2021.7月より量産開始>

Sensor QC/QA

R [mm]



センサー(L2-L4: HPK90%/Micron10%)  
FC (HPK/T-micro)



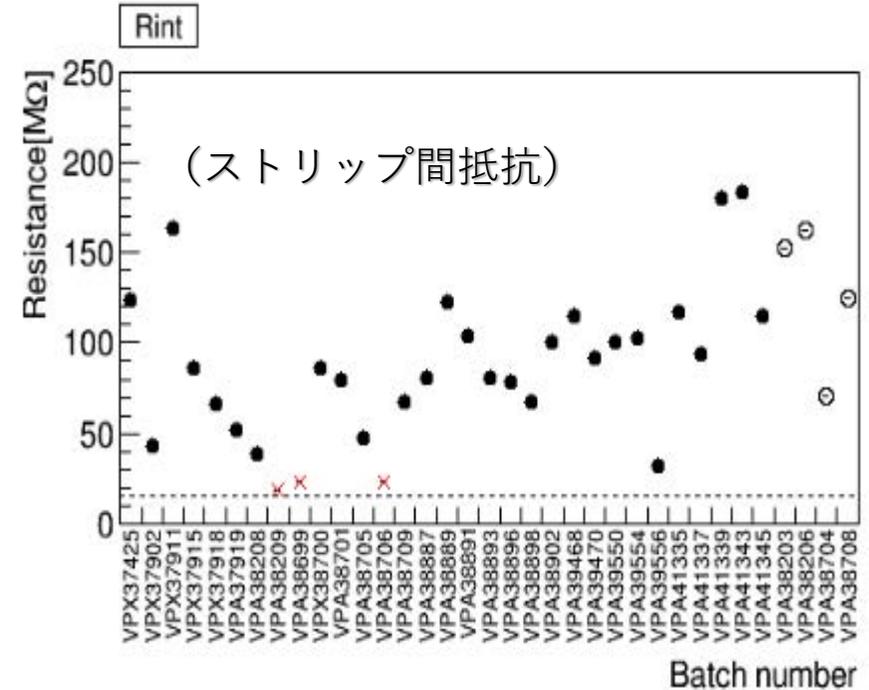
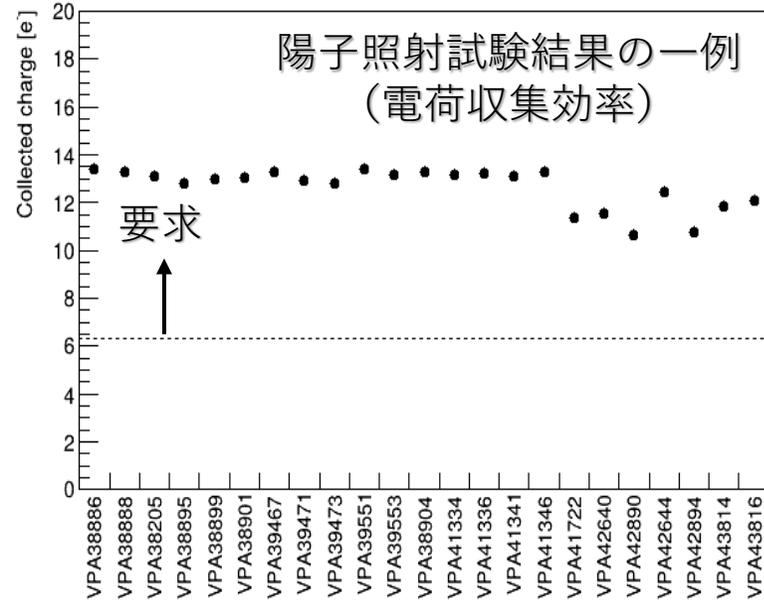
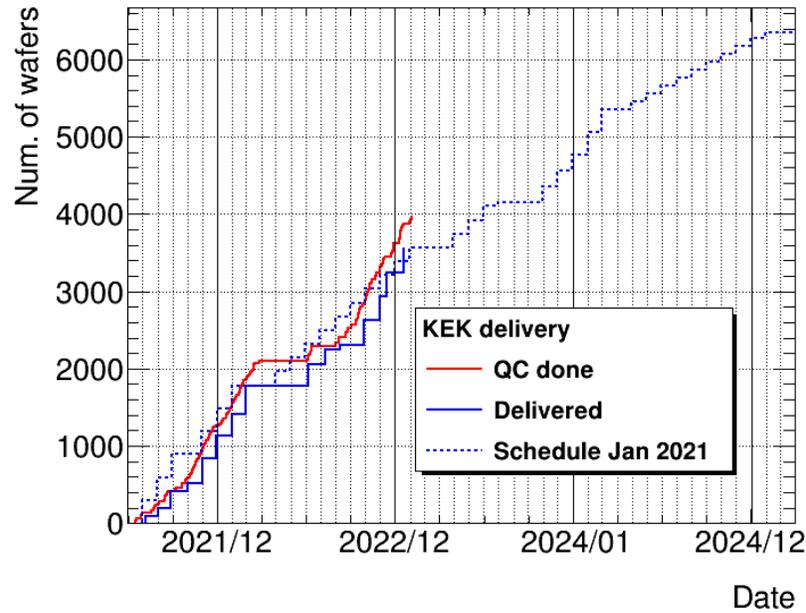
- ✓ Sensor, Sensor+ASICs: QC/QA
- ✓ Metrology (+module)
- ASIC R/O

## Pixel型

L2-L4に設置するQUAD(4x4cm)  
2,400台/11,000台を分担  
センサー初期量産300台(2023.3)  
Hybrid PRR (2023.5)

# ITk ストリップセンサー: (廣瀬/原/中村)

石井(M2)



日本担当分として、**1784枚**のセンサー納品を完了

2021年7月以降の量産枚数は**3568枚**に (全量産予定の**56%**)  
品質検査結果も良好 ← **1日最大約50枚**のスムーズな品質検査  
夏ごろの一時的な量産の遅れはその後回復

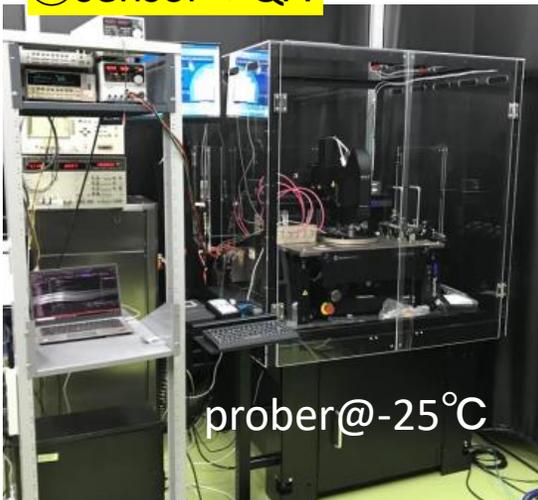
2022年7月と2023年1月に陽子照射試験を実施 (東北大学CYRIC)

合計**69枚**のテスト用センサーに照射  
放射線損傷を与えた後も安定して期待通りの性能を確認

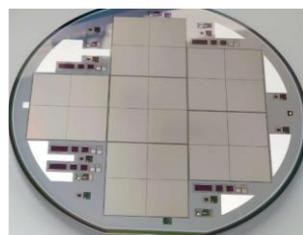
1. M. Mikestikova et. al., ATLAS Itk strip sensor quality control procedures and testing site qualification, JINST 17, C12013, 2022.
2. P. Allport et. al., Pre-production results from ATLAS ITk Strip Sensors Quality Assurance Testchip, JINST 17, C11002, 2022.
3. D. Rouso et. al., Test and extraction methods for the QC parameters of silicon strip sensors for ATLAS upgrade tracker, NIM A1045, 167608 (2023).
4. V. Latoňová et. al., Characterization of the polysilicon resistor in silicon strip sensors for ATLAS inner tracker as a function of temperature, pre- and post-irradiation, NIM A, 168119 (2023).
5. J. Fernández-Tejero et. al., Analysis of humidity sensitivity of silicon strip sensors for ATLAS upgrade tracker, pre- and post-irradiation, JINST 18, P02012, 2023.

# ITk ピクセルセンサー: (中村/廣瀬/原)

## ①sensorのQA



Sensor	Share	Institute	IV	CV	IT	Metrology	CCE	R <sub>interpixel</sub>	C <sub>interpixel</sub>	Preprod	Irrad
Planar	HPK (90% of 150 μm)	Dortmund	✓	✓	✓	✓	E			✓	TBD
		Göttingen	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
		IJCLab	✓	✓	✓	✓			✓		TBD
		KEK	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Micron (10% of 150 μm)	Lancaster	✓	✓	✓	✓	E	✓		✓	TBD
	Micron (60% of 100 μm)	MPP	✓	✓	✓	✓				✓	✓
FBK (40% of 100 μm)	LPNHE	✓	✓	✓	✓	E				TBD	

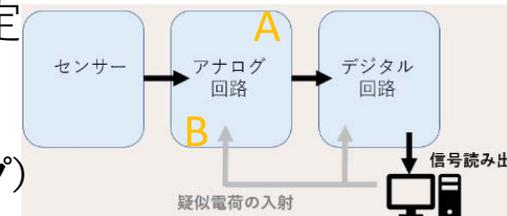


## 形状測定



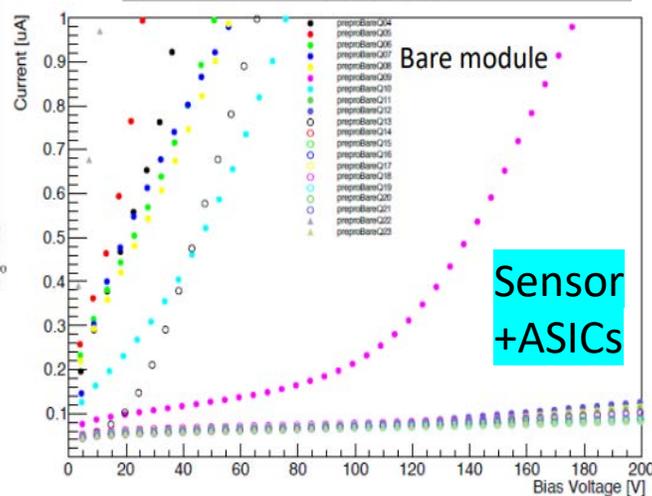
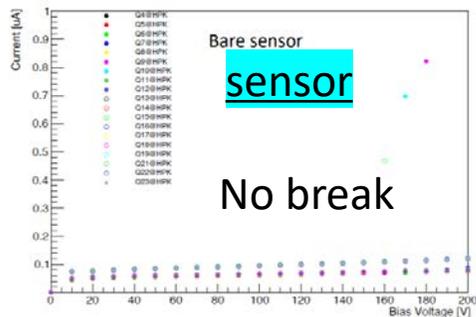
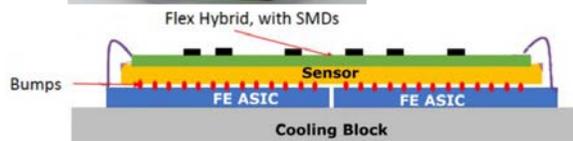
## モジュール読出し

- ✓ 熱サイクル試験 (放射線試験後を含む)
- ✓ タイミング・閾値設定



## ITkpix-v1(最終プロトタイプ)

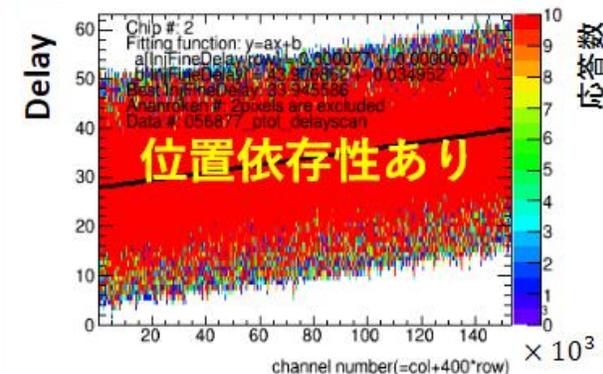
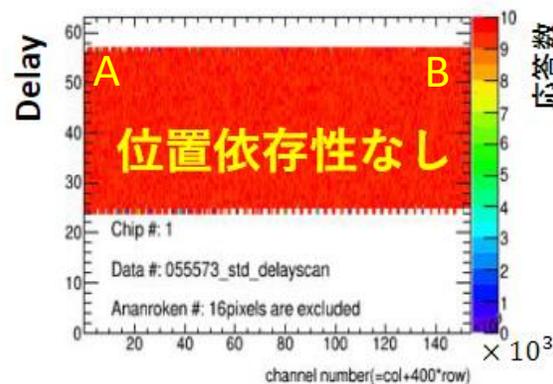
## ②sensor+ASICsの試験



Bump heightに問題があることを特定

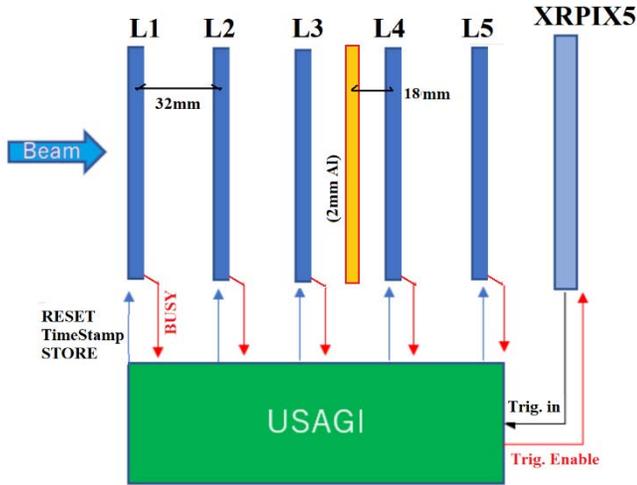
①センサー：あり  
通過：デジタル

②センサー：なし  
通過：アナログ、デジタル

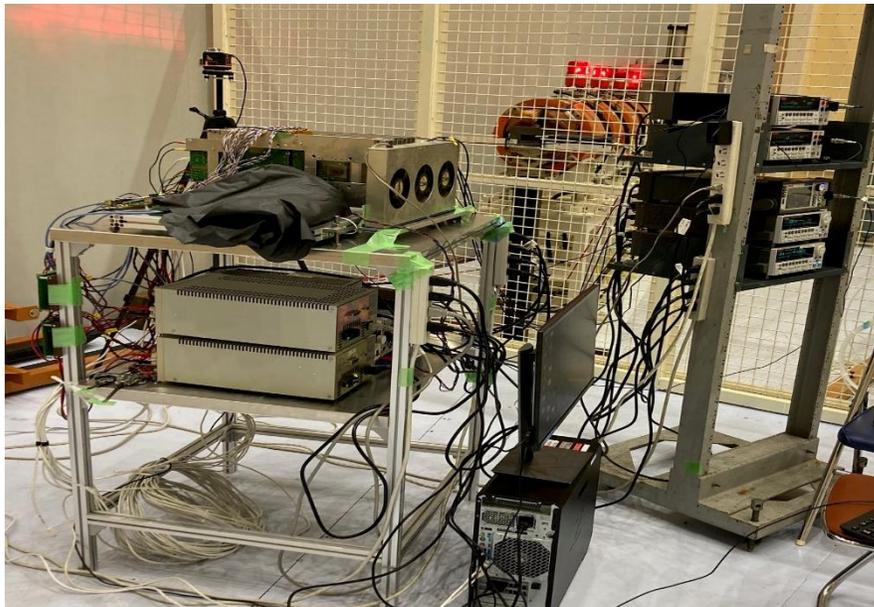


# SOI beam tracker: (山田/原) 大森(M1)

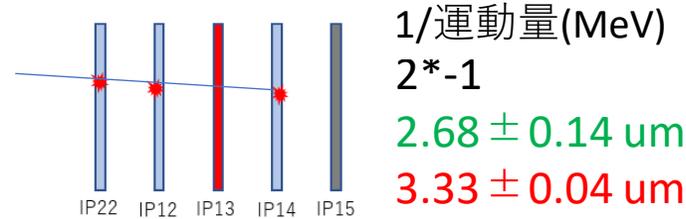
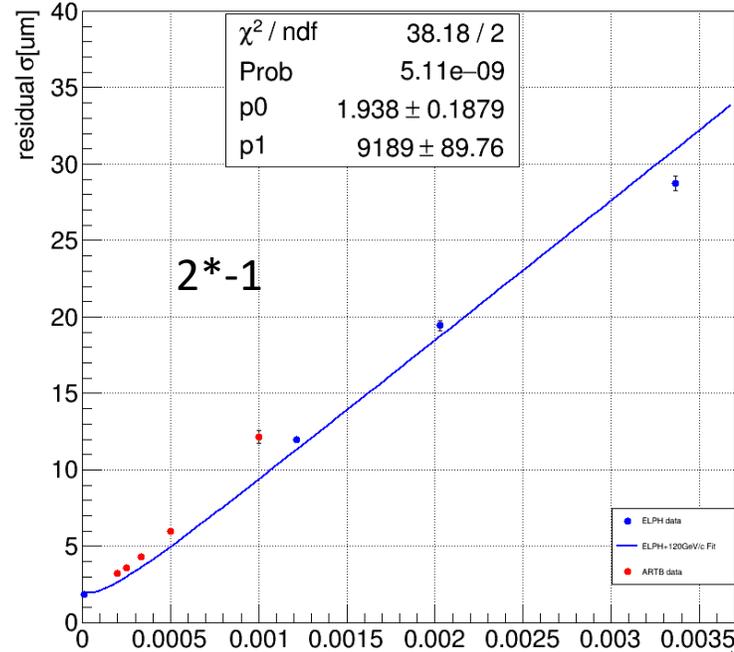
微細ピクセル(17 $\mu$ m角)、低質量のSOIセンサーを用いて $\sim$ GeV電子ビームの高位置精度トラッカー



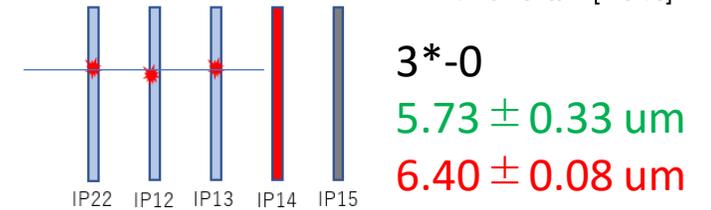
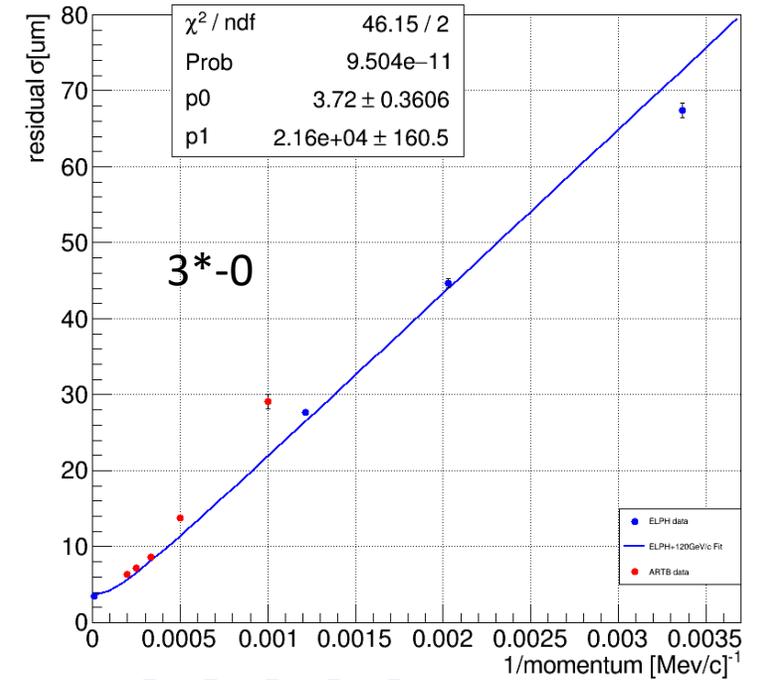
位置分解能



X resolution, L1, L2-L4 (DUT=L3)



X resolution, L1, L2, L3-(DUT=L4)



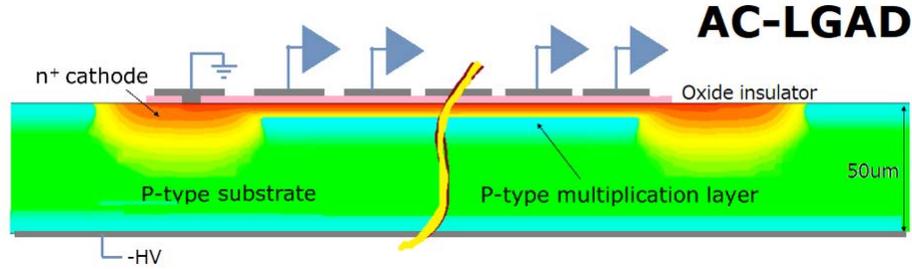
KEK AR-TB(5GeV/e)での予想値/実測値

ELPH : H. Suzuki et al., [Precision beam telescope based on SOI pixel sensor technology for electrons in the energy range of sub-GeV to GeV, PTEP 2022-10, 103C01 \(2022\).](#)

KEK AR-TBでのビーム試験(1~5GeV/c)

# AC-LGAD: (中村/原)

時間分解能にも優れた飛跡検出器→4次元飛跡検出器



試作(4回目が進行中):

**n+ implant resistivity**( $\Omega/\text{sq}$ )

$C_{cp}$ (pF/mm <sup>2</sup> )	<b>n+ implant resistivity</b> ( $\Omega/\text{sq}$ )				
	40	130	400	800	1600
80	✓	✓	✓	✓	
120			✓	✓	✓
240			✓		✓
600			✓		✓

active thickness (50,20um)

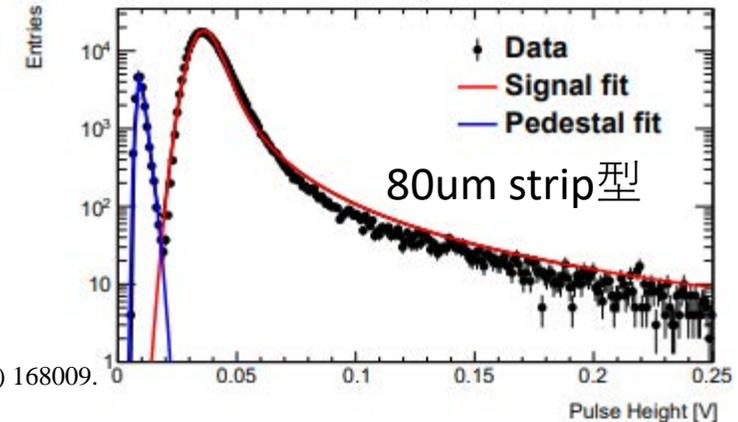
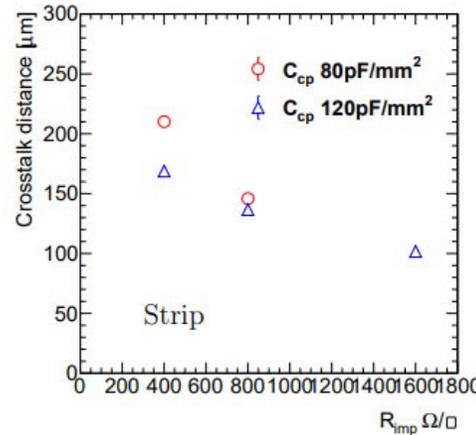
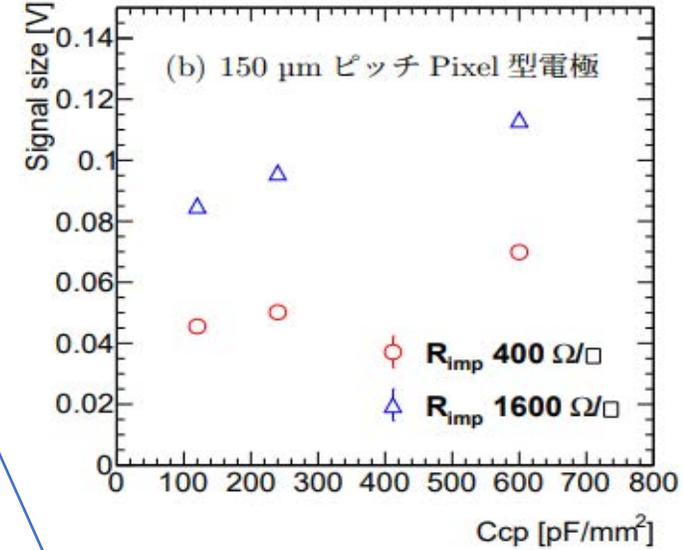
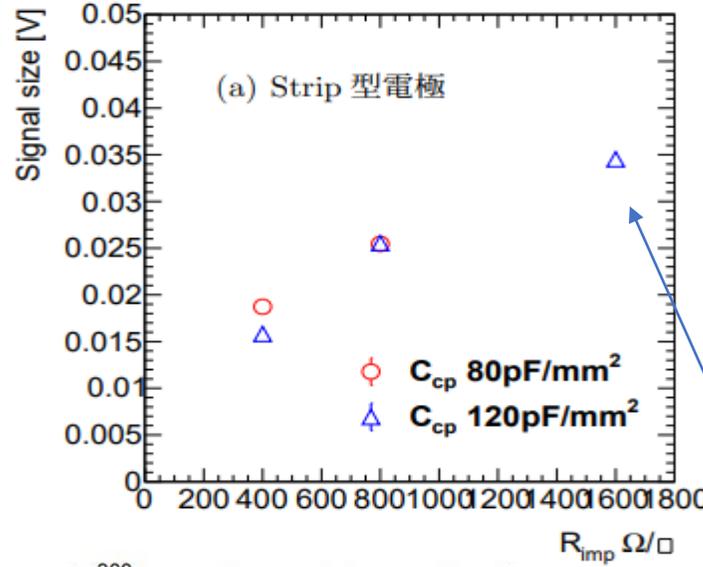
Strip型: n+抵抗大⇒信号大, クロストーク小

Pixel型: n+抵抗,  $C_{cp}$ 大⇒信号大

北,五屋(M2)、今村(M1)

国内では唯一の開発グループ  
米国(BNL/UCSC/FNAL)と日米協力

—米国はEIC用に開発



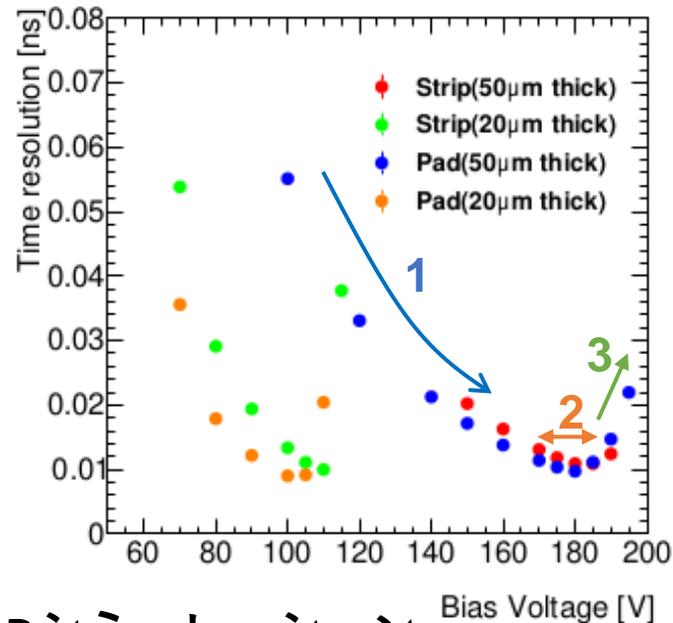
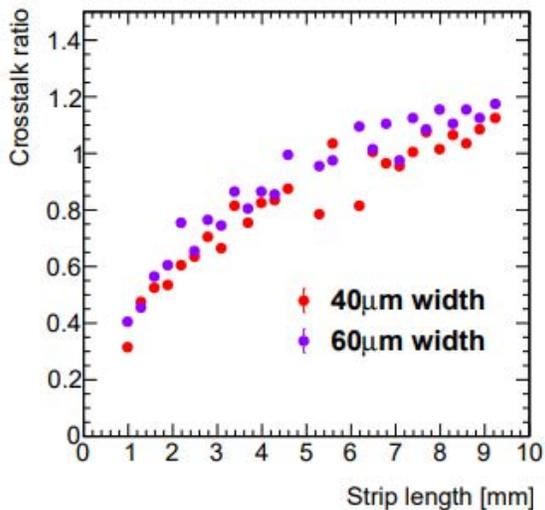
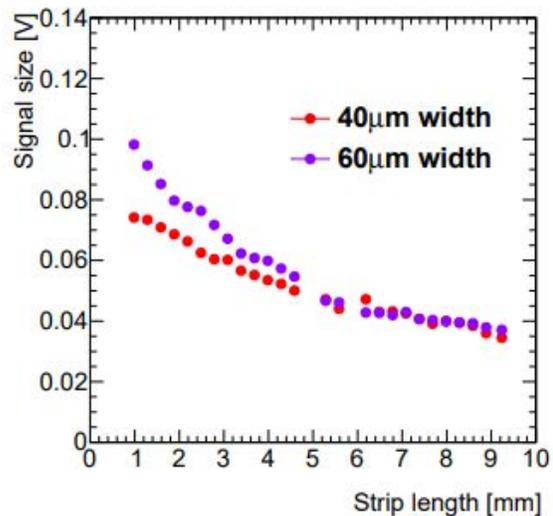
- S. Kita et al., Optimization of capacitively coupled Low Gain Avalanche Diode (AC-LGAD) sensors for precise time and spatial resolution, NIMA1048 (2023) 168009.
- R. Heller et al. Characterization of BNL and HPK AC-LGAD sensors with a 120 GeV proton beam. JINST 17, P05001, 2022.
- J. Ott et al., Investigation of signal characteristics and charge sharing in AC-LGADs with laser and test beam measurements, NIM A1045 (2023) 167541

# AC-LGAD: (中村/原)

時間分解能にも優れた飛跡検出器→4次元飛跡検出器

北,五屋(M2)、今村(M1)

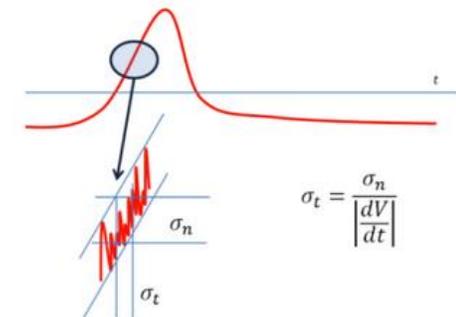
✓ Strip信号がPixelより小さい理由：  
strip間容量のために減衰 (X-talkも増える)



パルスレーザー  
での測定

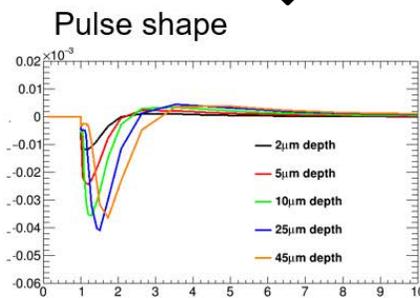
$$\sigma_t^2 = \sigma_{tw}^2 + \sigma_j^2 + \sigma_L^2$$

(jitter~アンプノイズ)

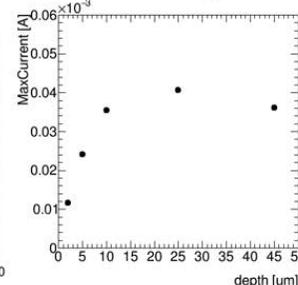


Jitter effect

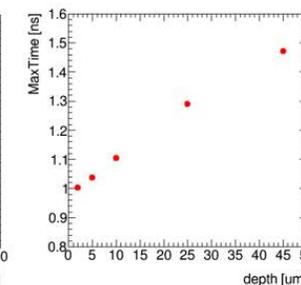
TCADシミュレーション



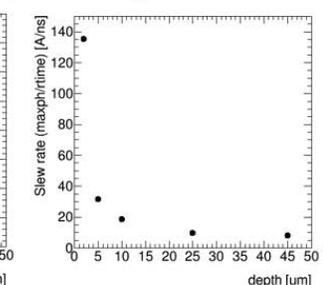
Pulse height



Arrival time

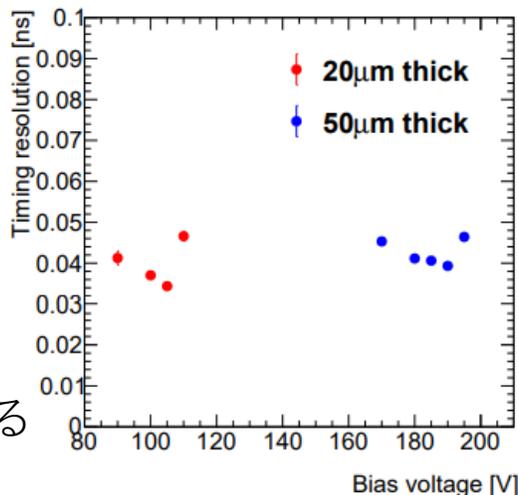


pulse height / rise time



✓ 時間分解能が40ps：  
(測定装置の問題?)

赤外パルスレーザー  
TCADシミュレーション  
⇒時間分解能の要因を探る



Landau効果によるタイミングのずれ：20um<sup>t</sup>が小さい  
⇒FTBFで試験中

# SPring8 長期利用課題 高エネルギーX線2次元検出器を用いた高度物質構造科学研究

代表：筑波大 西堀、メンバー Iversen (ユニット招致)

放射光、X線自由電子レーザーを使った物質科学研究における検出器利用の最適化



結論：大強度の放射光で6~7桁のダイナミックレンジを持つデータ測定が可能となった。

Pilatus3(1M) CdTe

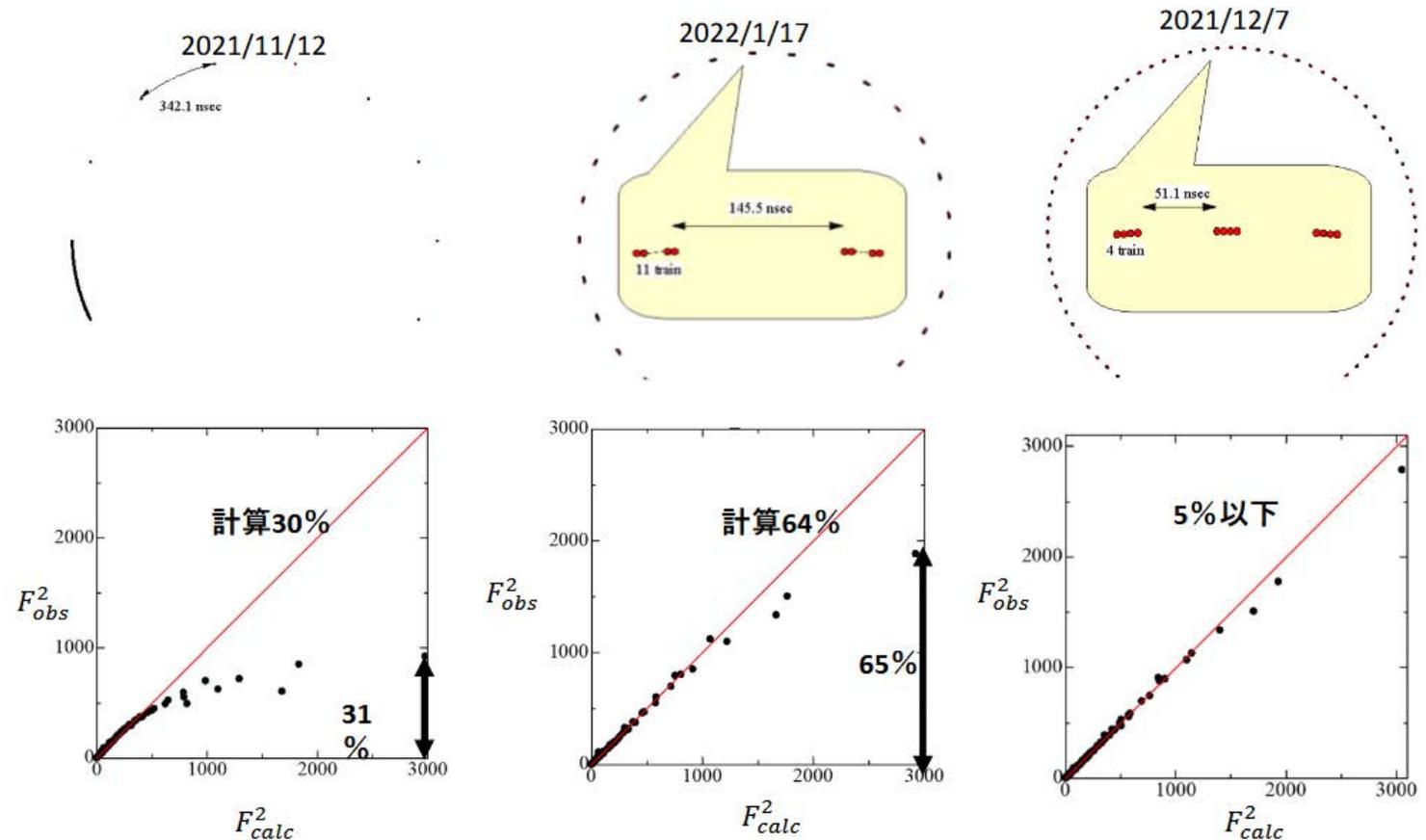


FLAT Panel



SPring-8ビーム構造により観測される回折構造因子が変化  
線形性：フォトン強度<1M/s

IP scanner (BAS2500), FLAT panel (XRD3025) など、個別の線形性保証は4桁程度であるが、素子間の補正により6桁を達成できる



# 光量子計測器開発部門関連の学会・研究会



10

- VERTEX2022国際会議(2022/10/24-28)の共催 TIAから協賛  
廣瀬(ATLAS Itk strip), 北(AC-LGAD), 原(welcome/summary), 中村(concluding remarks)

構成員会議・成果報告会 2022/6/24

光量子1: 本多俊介 「CMB偏光観測実験(2)」

光量子2: 中村浩二 (KEK) 「Study of electrode granularity for pixel type AC-LGAD detector」

構成員会議・成果報告会 2022/11/28

光量子1: 中村浩二 (KEK) 「AC-LGAD検出器の開発」

光量子2: 西堀英治 「放射光、X線自由電子レーザーを使った物質科学研究における検出器利用の最適化」

光量子3: 原和彦 「Vertex2022を終えて」

光量子ワークショップ 2023/3/17

9つのトーク

24th-28th October

# VERTEX

## 2022

Tateyama  
ResortHotel  
Japan

**International Advisory Committee**

- Maïna Artuso (Syracuse Uni)
- Profúla Behara (IIT Madras)
- Gian Maria Bilei (INFN Perugia)
- Daniela Bortoletto (Univ of Oxford)
- Richard Brenner (Uppsala Uni)
- Paula Collins (CERN)
- Zdeněk Doležal (Charles Uni Prague)
- Lars Eklund (Univ of Glasgow)
- Francesco Fanti (Univ and INFN Pisa)
- Kazuhiko Hara (Univ Tsukuba)
- Roland Horisberger (PSI)
- Manfred Kramer (CERN)
- Hans-Guenther Moser (MPI for Physics)
- Hwanboe Park (Kyungpook Uni)
- Chris Parkes (Univ of Manchester)
- Sally Seidel (Univ of New Mexico)
- Andrey Starodumov (RBI, Zagreb)
- Dong Su (SLAC)
- Ivan Vila (FCA Santander)

**Local Organising Committee**

- Kazuhiko Hara (Univ Tsukuba, chair)
- Akimasa Ishikawa (KEK, co-chair)
- Koji Hara (KEK)
- Tsutomu Mibe (KEK)
- Koji Nakamura (KEK)
- Yoshiyuki Onuki (Univ Tokyo)
- Toru Tsuboyama (KEK)

WEB [indico.cern.ch/event/vertex2022](https://indico.cern.ch/event/vertex2022)

Participation to the workshop is open to all. Entry to Japan is currently visa controlled. Please visit the workshop web site.

Venue: Tateyama Resort Hotel <https://tateyama-resort.com>

# TCHoU Workshop, Photon & Particle Detectors Division

Mar 17, 2022 13:00-16:00



11

Session : Zoom+B118 : TCHoU DPPD workshop 17 March 2022

20 min each including discussions

Abderrahmane GHIMOUZ	FoCal	PD
George Hudson	元素合成	理研
石田智大 ISHIDA Tomohiro	Study of Phase Retrieval Method for Estimating Antenna Radiation Pattern in THz Band	D3
小関知宏 KOSEKI Tomohiro	Development of Intensity Interferometer for Synthesis Imaging	M2
大森匠 OMORI Takumi	Performance evaluation of telescope system with SOI pixel sensors by 1-5 GeV/c electron beam	M1
北彩友海 KITA Sayuka	Development of finely segmented AC-LGAD sensors	M2
鈴木尚紀 SUZUKI Hisanori	Impact of radiation damage on SCT during Run3 operation estimated with TCAD simulation	D1
廣瀬茂輝 HIROSE Shigeki	Progress on production of silicon strip sensors for HL-LHC ATLAS ITk	
中村浩二 NAKAMUARA Koji	Preparation of pixel module production for the HL-LHC ATLAS ITk	KEK連携

さいごに

来年度から光量子部門長は

小沢 顕 教授

原の退職に伴う異動です

2017年4月ー数理物質融合センターー光量子計測開発室 室長

2017年7月ー本センターー光量子計測器開発部門 部門長

