

光量子計測器開発部門の活動報告

<http://hep-www.px.tsukuba.ac.jp/TCHoU/LDPPD/index.html>

宇宙史研究センター

融合研究企画調整室

各研究部門

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+つくば地区連携大学拠点

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、計測器開発の融合共同研究、新しい計測器のアイデアの創出、計測器技術の産業社会応用を推進する。

構成教員: 原和彦(部門長)、江角晋一、武内勇司、金信弘

連携教員: 西堀栄治、富田成夫、近藤剛弘、倉知郁生(KEK)、中村浩二(KEK)

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の筑波大学における活動拠点
- 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

TIA光量子計測テーマ

STJ/新型半導体(LGAD)/SOI

TIAかけはしテーマ

究極の広帯域量子イメージセンサ実現を目指して
(代表 倉知)

日米科学技術協力

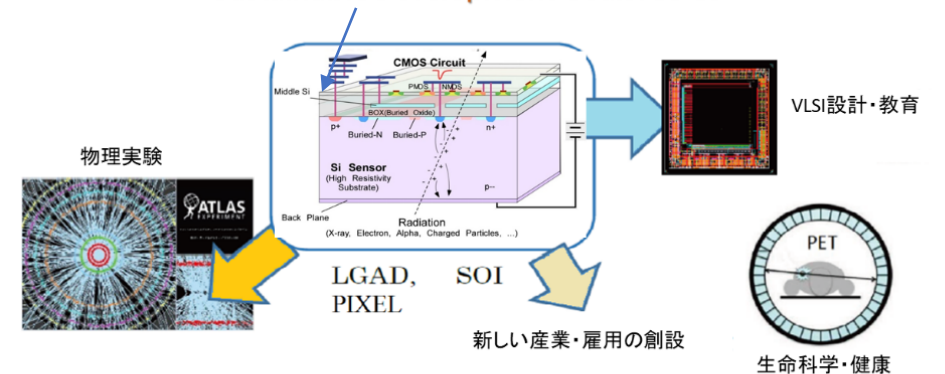
(LGAD/SOI: 代表 中村)

✓ センター活動計画中間評価調書から
「ロードマップの状況」

- KEK ARへのテストビーム整備
コミュニティによる議論が開始された
- 新型検出器開発基盤の整備
SOI-SOFISTで初めての3Dセンサー
細分型LGADの試作
の成果をもとに基盤整備を進める

✓ SDGsへの取り組み 個別には全て取り組んでいる
が有機的融合は未整備

Sustainable Development Goals: SDGs



センター構成員会議・研究会での報告

2020年06月15日（月） 構成員会議

原 和彦 [4次元飛跡検出器の開発](#)

近藤剛弘 [紫外線照射で水素放出が誘起されるホウ化水素シート](#)

2020年11月30日（月） 構成員会議

中村浩二 [高時間分解能検出器\(LGAD\)の細密電極化に関する開発](#)

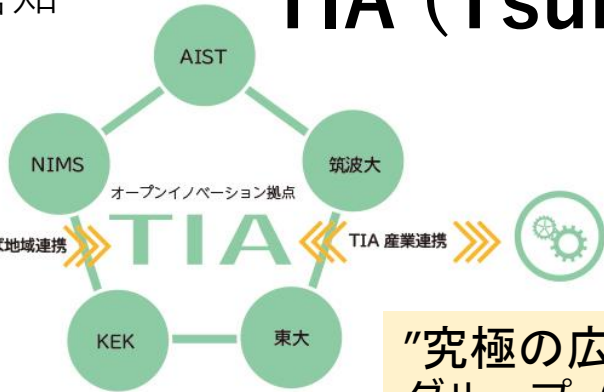
原 和彦 [ATLAS ITkストリップ型シリコン検出器の初期量産](#)

Tomonaga Center for the History of the Universe
Div. of Photon and Particle Detectors
Annual Workshop, March 29th 2021, 10:00-12:30

time	speaker	title	affil.
10:00-10:20	HIROSE Shigeki	Production of ATLAS ITK silicon detectors - Japanese Contribution -	
10:20-10:40	Norbert NOVITZKY	FoCal upgrade overview at LHC-ALICE	
10:40-11:00	Sarah NAIMI	Development of a large-area position-sensitive detector for the Rare-RI Ring at Riken	Riken
11:00-11:20	ISHIDA Tomohiri	Development of Terahertz Sensing System for Mars Atmosphere Observation	
11:20-11:40	TAKEUCHI Yuji	Study of Hf-STJ for single X-ray photon detector	
11:40-12:00	NAKAMURA Koji	Development an AC-LGAD sensor with fine time and spatial resolutions	KEK
12:00-12:20	SUZUKI Hisanori	Development of a telescope system base on SOI pixel technology for the KEK test beamline AR-TB	



多様な科学分野の
つくば研究機関
茨城県・つくば市
首都圏の公的機関



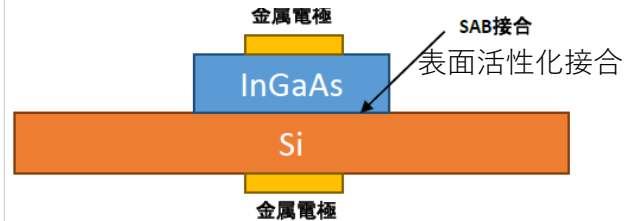
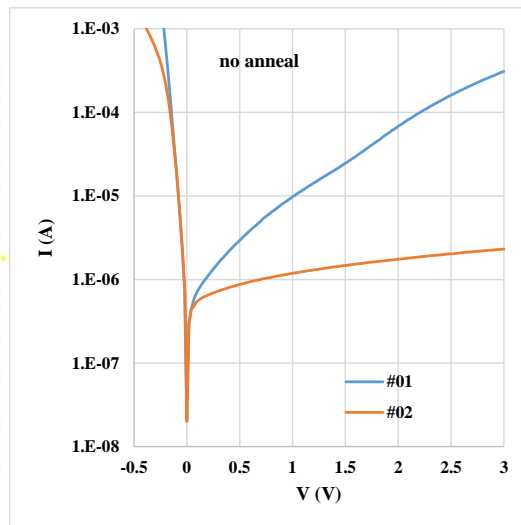
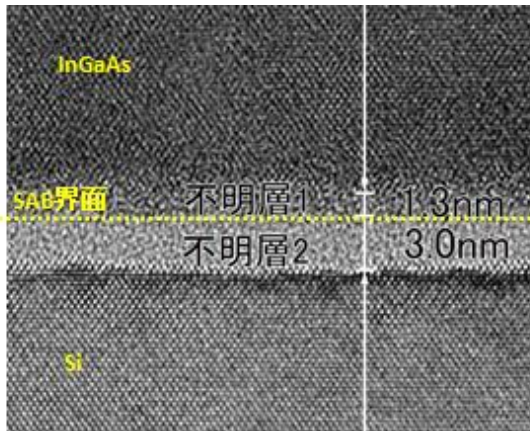
2020年度より

“究極の広帯域量子イメージセンサ実現を目指して”
グループ (グループリーダー-KEK倉知教授)

(KEK/100万円、産総研/20万円、筑波大/10万円)

KEK 先端加速器推進室 倉知郁生：
筑波大学 数理物質系 原和彦：
産総研 エレクトロニクス・製造領域集積マイクロシステム研究センター 松前貴司：
東京大学 環境学研究系 高松 誠一：

異種材料を表面活性化技術で接合し
広い波長帯域の光の検出



- 試作 (産総研) を開始
- 研究会の開催

第5回研究会 => 2021.2.24
WEBEXによるリモート開催
95名の参加

3次元積層技術を用いた新たなSOI 量子イメージセンサの創出

原・倉知

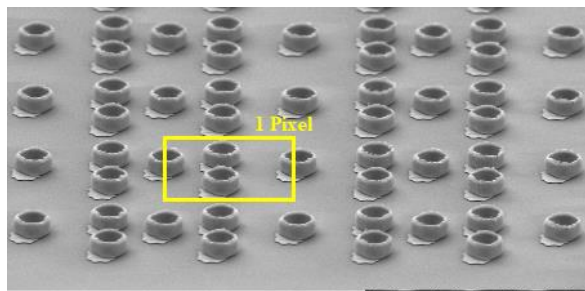
KEK AR-TB用のテレスコープシステムの構築

センター光量子から~10万円 KEK新井先生からの支援~20万円 鈴木(M1)

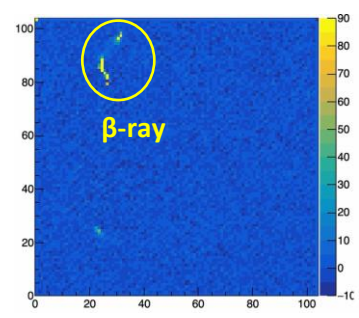
Au μ -Bumpを用いた高機能イメージセンサ
昨年度までのTIAかけはし課題

ILC用Vertex Detectorに適用
Pixel内でヒットのアナログ値・時間を記憶 (3ヒット情報)

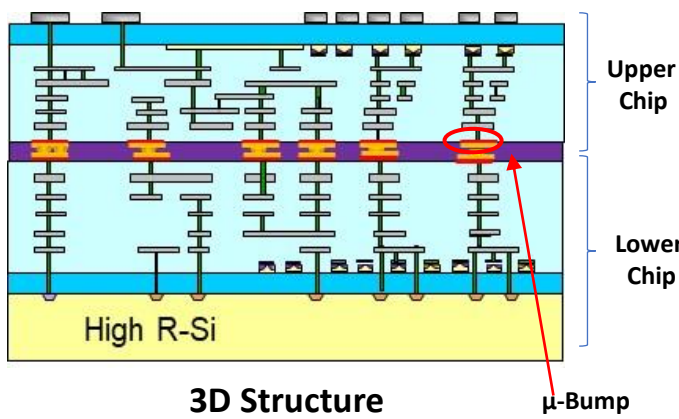
[実施状況]
0次試作・評価終了
90Srからの β 線トラック確認、Pixel歩留 > 99%
1次試作終了 (不具合改良試作)
動作評価待ち
断面構造解析中



Au Cylinder μ -Bump 30.0 μ m

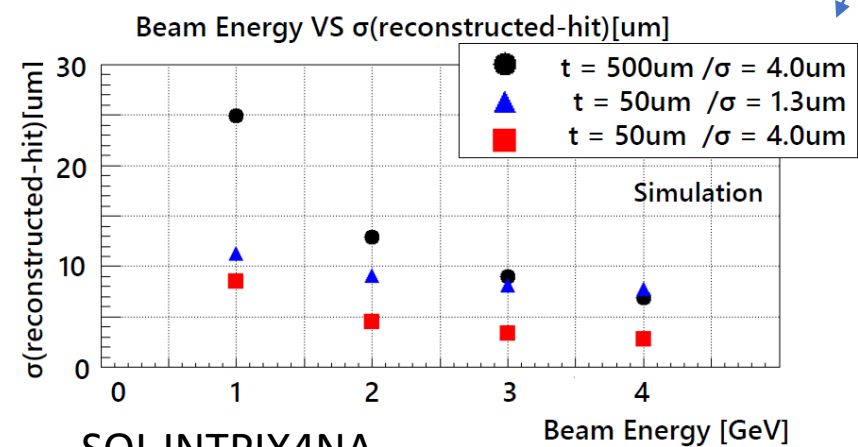
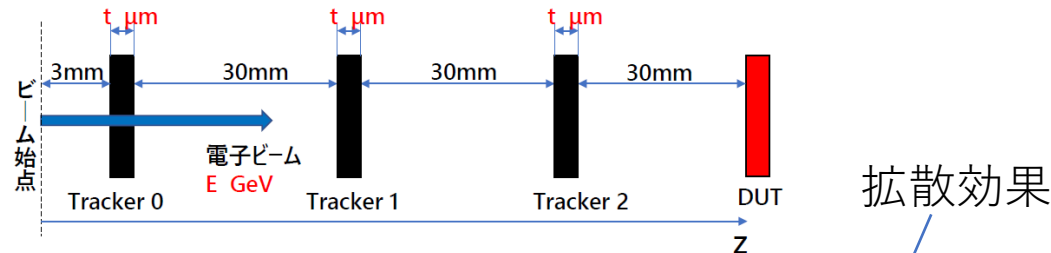


B-ray Track

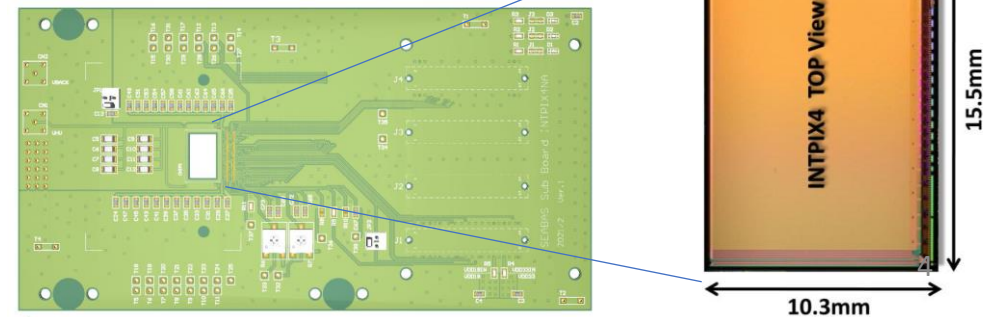


3D Structure

発表論文 Vertex2020にて発表
Ikuo Kurachi, Toru Tsuboyama, Makoto Motoyoshi, Miho Yamada, Kazuhiro Hara, and Yasuo Arai, "Intelligent Three-Dimensional Chip-Stacking Process for Pixel Detectors for High Energy Physics Experiments," Vertex2021.



SOI-INTPIX4NA
sensitive area: 14x9mm
pixel size: 17x17 μ m



拡散効果

放射線耐性のあるSOI検出器

連携教員 倉知郁生



2018 諏訪賞

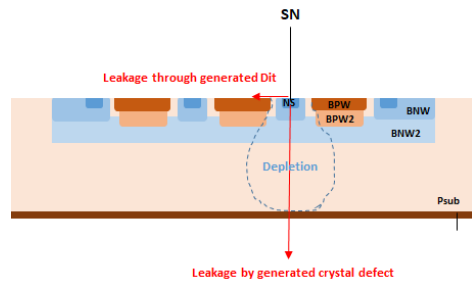
今年度でKEK特別教授を退任

来年度より(株)D&S 社長
引きつづき光量子連携教員
を快諾

γ線照射によるSOI損傷の定量的評価 +原 極低温で作動するSOI-MOSFET +武内

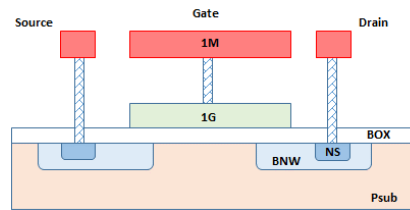
陽子線照射によるPDD構造ピクセルリーク電流の増加現象の検討 +鈴木(M1)/原

PDD構造とピクセルリーク電流

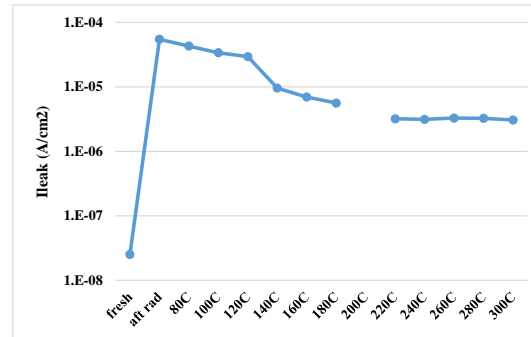


リーク電流は界面準位起因とバルク欠陥起因と想定される。

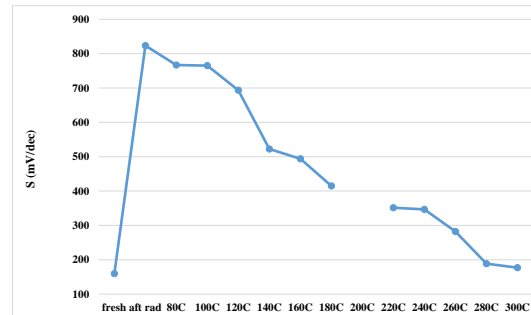
Sub-MOSFET



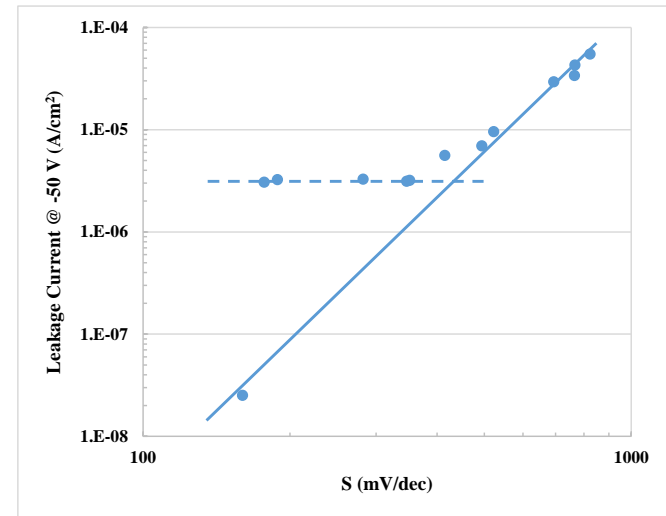
S値によってBOX-Si基板界面準位の増減を観測



ピクセルリーク電流の陽子線照射とアニールによる変動



S値の陽子線照射とアニールによる変動



S値に依存しない成分はバルク欠陥。
増加したピクセルリーク電流の95%が界面準位起因、5%がバルク欠陥起因と推定。

原、中村 植田(M1)、北(B4) LGAD (low-gain avalanche detector) 活動報告2020

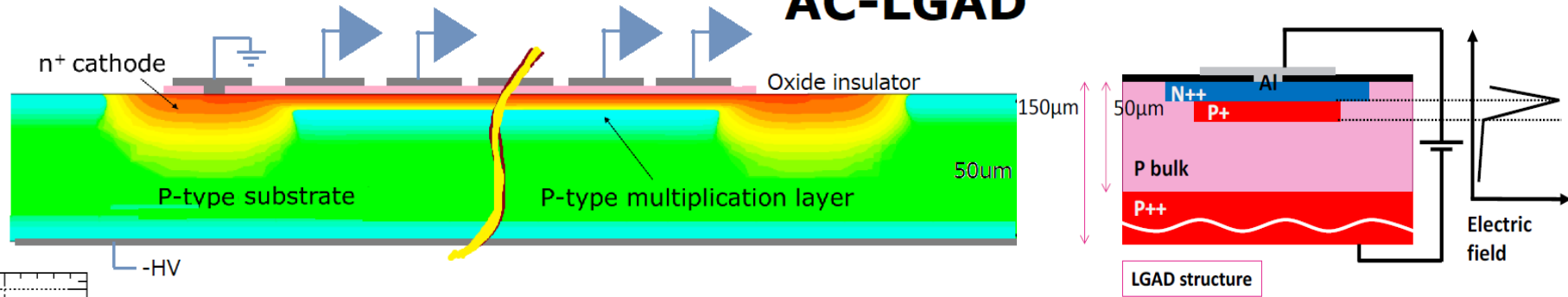
原 科研B「高時間分解能を併せもつ高位置分解能4次元半導体検出器の実現」/325/430万円

中村 新学術応募「[医療機器TOF-PETに用いる半導体検出器の開発](#)」 410/410万円

中村・原 日米科学技術事業 500/500/50万円

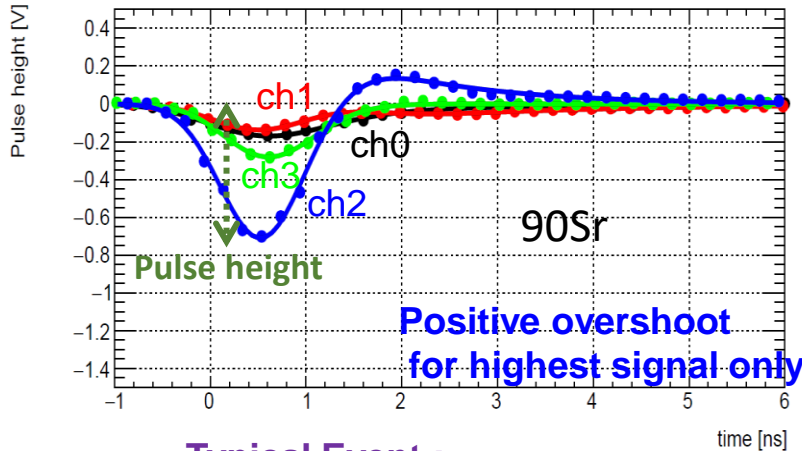
AC-LGADによる細分化の研究

AC-LGAD



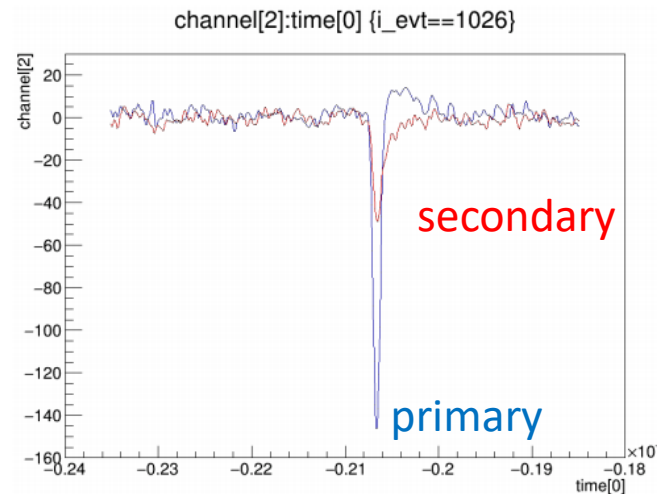
昨年度末にHPKで最初の試作

パッド型で正常動作を確認
ストリップも動作(波高~1/3)

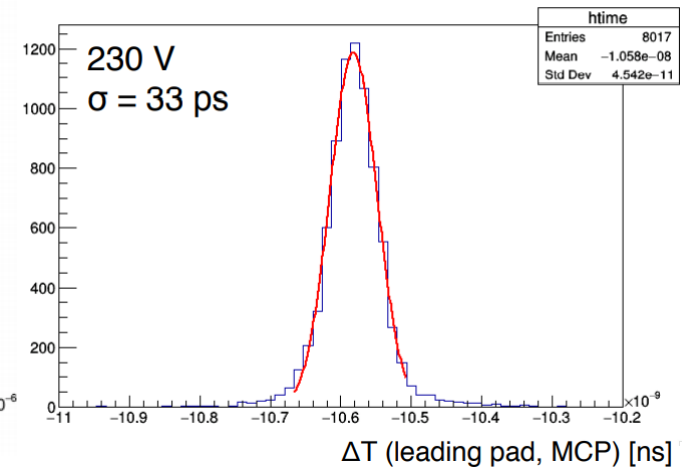


Typical Event :
Particle through ch2
Detected cross talk in ch0,1,3

120 GeV p (FTBF) under US-Japan



B-2, primary pad only, 230 V



Vertex2020に論文投稿

原、中村、廣瀬
齊藤(M1),石井(B4)

HL-LHC 用 ATLAS ITk strip 検出器

活動報告2020

花垣 KEK運営交付金 センター光量子~15万円

PRR = production readiness review

strip型センサー(barrel部/2=6,350枚)製造

2020年度 : 318 preproduction + 評価 + PRR (Feb.17/18)

評価 : QC:全数のたわみ、表面状態、strip test

QA:バッチ毎(39 batches/1,041 BA+EC sensors)にサンプルした(TC,MD8,Mini) 試験

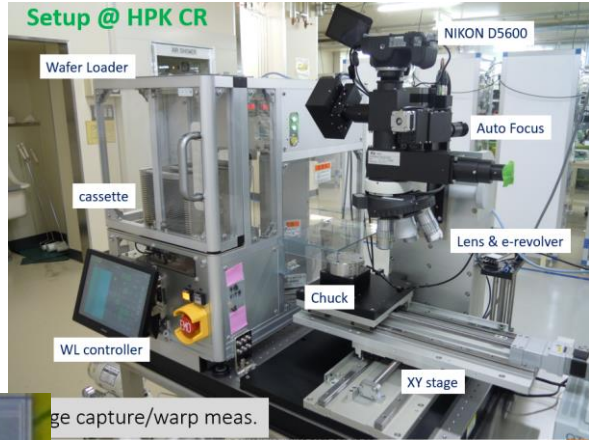
廣瀬 : QC results with Barrel sensors - KEK delivery

➡ KEK/TsukubaはTest siteとしてqualify, PRRも合格

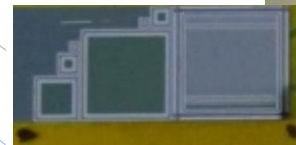
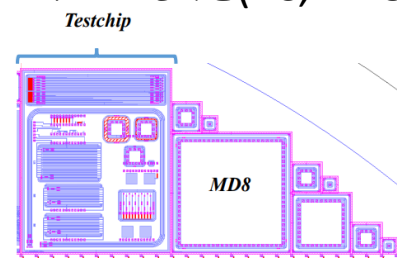
本生産の計画



Main
10x10cm



QC system@HPK



MD8 Mini

	Year	2021		2022				2023				2024				2025	Total
		Quarter	Q3'21	Q4'21	Q1'22	Q2'22	Q3'22	Q4'22	Q1'23	Q2'23	Q3'23	Q4'23	Q1'24	Q2'24	Q3'24		
Barrel	SS - CERN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	310	583	583	583	141	2200
	SS - KEK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	620	582	309	309	309	71	2200
	LS - CERN	0	297	595	357	357	357	713	357	845	272	0	0	0	0	0	4150
	LSS - KEK	892	595	297	535	535	535	179	535	47	0	0	0	0	0	0	4150
Endcap	R0	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	32	900
	R1	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	32	900
	R2	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	32	900
	R3	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	64	1800
	R4	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	64	1800
	R5	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	124	64	1800
Total		1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	500	20800

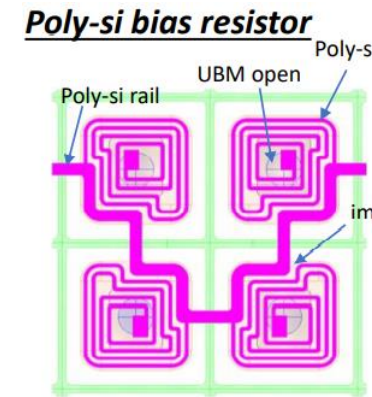
Year	Quarter	2021											
		Q3'21	Q4'21	Q1'22	Q2'22	Q3'22	Q4'22	Q1'23	Q2'23	Q3'23	Q4'23	Q1'24	Q2'24
Month		7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
Short Barrel S15568-01	- CERN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	- KEK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Long Barrel S15568-02	- CERN	297	297	298	297	297	298	297	297	298	297	297	298
	- KEK	297	297	298	297	298	297	297	298	297	297	297	298
Sum per JFY	- CERN	892											
	- KEK	1704											

QCおよび
QA(東北大CYRICで陽子照射)
を継続

花垣 KEK運営交付金 中村・原 日仏25万円 FDR = final design review

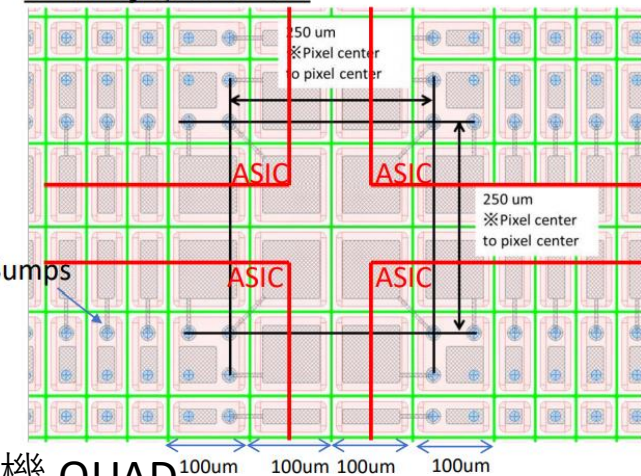
- ✓ HPKのセンサーがFDR(2020 Sep18)に合格
👉 FNAL testbeam 解析
K. Nakamura “(sensor) Layout”
- ✓ HPK/T-Microのflip-chip方法がFDR(2020 Nov26)に合格
👉 品質管理法の確立
K. Nakamura “Dual module measurements at KEK”

ATLAS-J大学の共同研

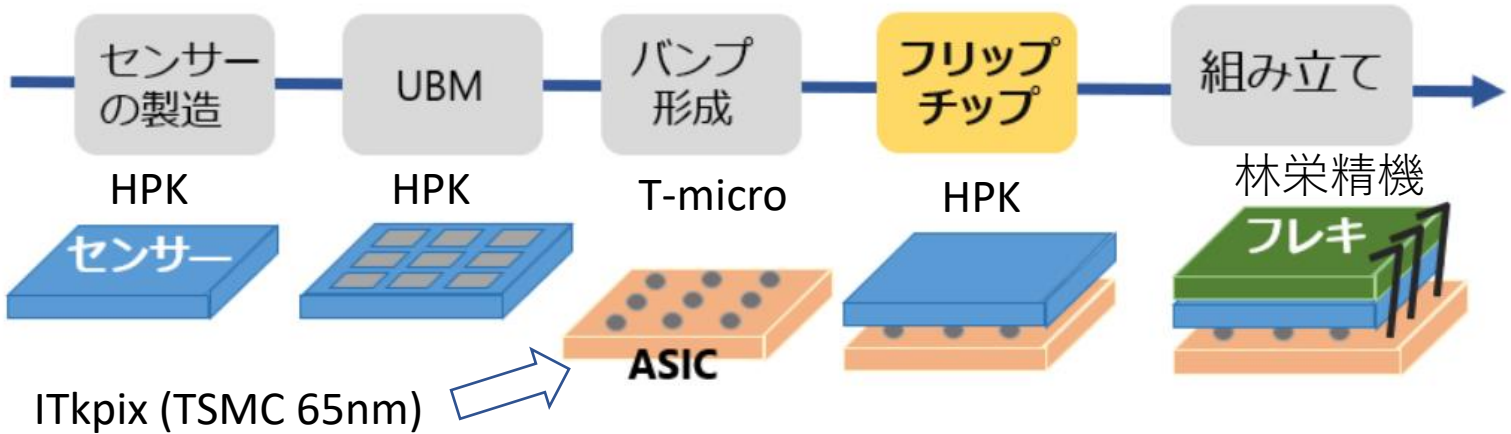


Bias抵抗付きのpixel

Center of Quad sensor



実機 QUAD センサー4x4cm ASIC 2x2cm



ITkpix (TSMC 65nm)

今後 Module FDR(Jun-) /Sensor preproduction(Apr-)

検出器

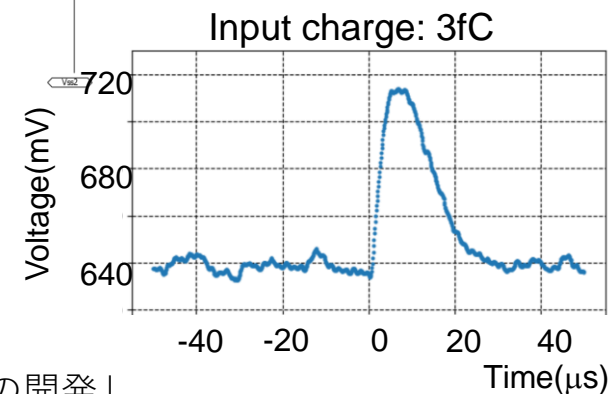
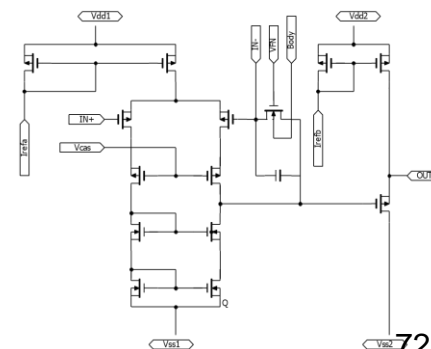
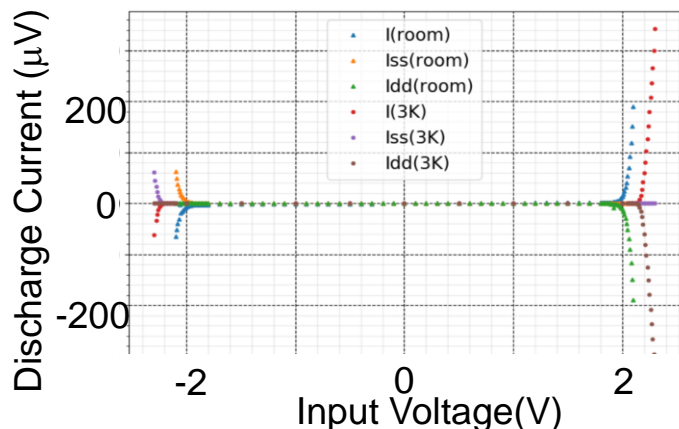


FC試験用 1x4cm

- ✓ FCの品質管理
- ✓ FC(bare)module試験👉組立

Nb/Al-STJ のSOI極低温増幅回路読出

- SOI技術を用いた負帰還差動増幅回路による電荷積分型増幅器が極低温で室温と同様に動作することを確認。超伝導デバイスの冷凍機内信号増幅を実証。
 - 今年度60fFの負帰還容量により室温・3K共に約20mV/fC の利得をもつ増幅器の性能を確認
- H型ゲート構造を持つSOI-MOS FET で極低温で発生するドレインアバランシェ現象の抑制を確認
- ESD保護回路の極低温での動作の確認



基盤研究(C)「ニュートリノ崩壊光子検出器較正用超低エネルギー光子パルス照射システムの開発」,
吉田拓生 (代表), 2016~2020, 2020年度: 650千円 (直接経費: 500千円、間接経費: 150千円)

基盤研究(B)「超伝導素子による極低閾値検出器開発とsub-GeV領域暗黒物質探索への展開」,
武内勇司(代表), 2020~2022, 2020年度: 6,370千円 (直接経費: 4,900千円、間接経費: 1,470千円)

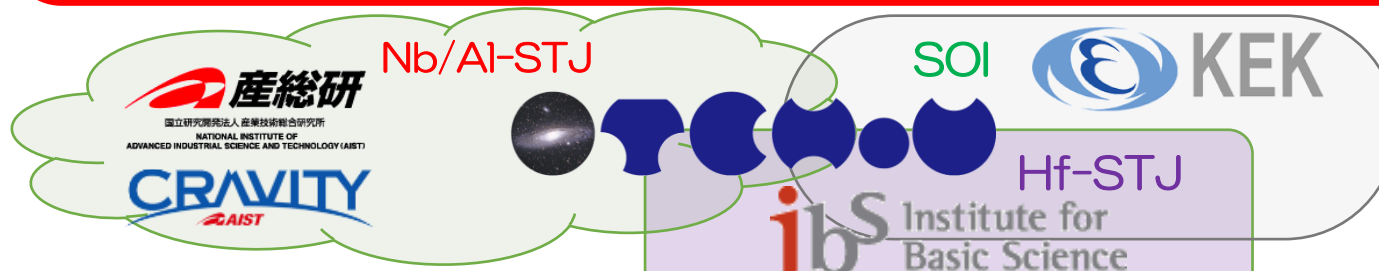
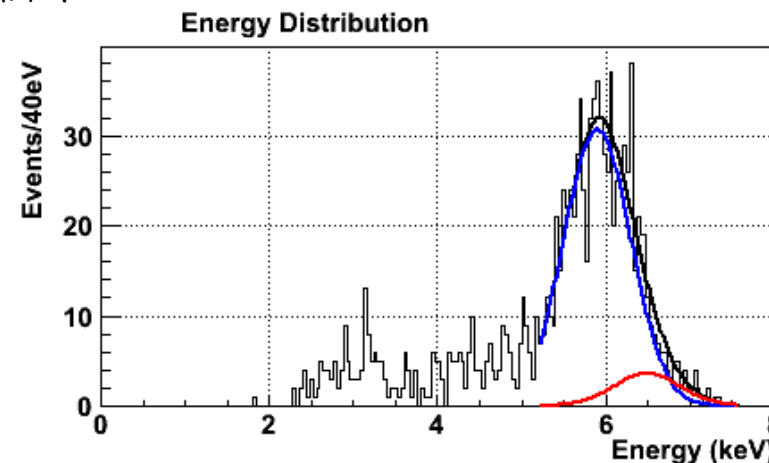
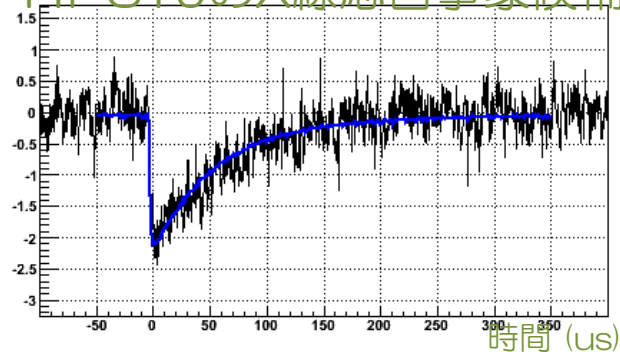
宇宙背景ニュートリノ崩壊光探索(COBAND)に向けた 遠赤外一光子検出のための超伝導体検出器の開発



Hf-STJ のX線応答信号


- K E K先端計測器開発棟クリーンルームプロセス装置を用い作製されたHf-STJ で⁵⁵FeからのX線信号を観測 (韓国IBSのADRを用いて測定)
 - 200 μ m角Hf-STJで 5.9keVエネルギーを6.7%の分解能で測定 (論文執筆中)
 - 10 μ m角Hf-STJのデータは現在解析中

Hf-STJのX線応答事象候補



- 超伝導体(STJ)と半導体(SOI)の融合
- 新素材STJの開発

検出器開発

LHC-ALICE実験のFocal Upgradeのためのシリコンカロリメーター  光量子セッションで報告

J-PARC E16実験用のMRPC飛行時間検出器の開発

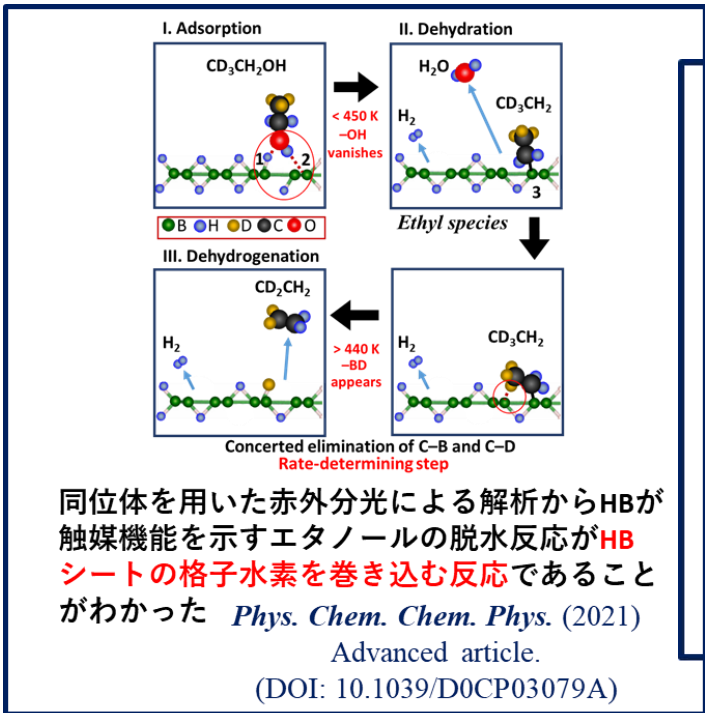
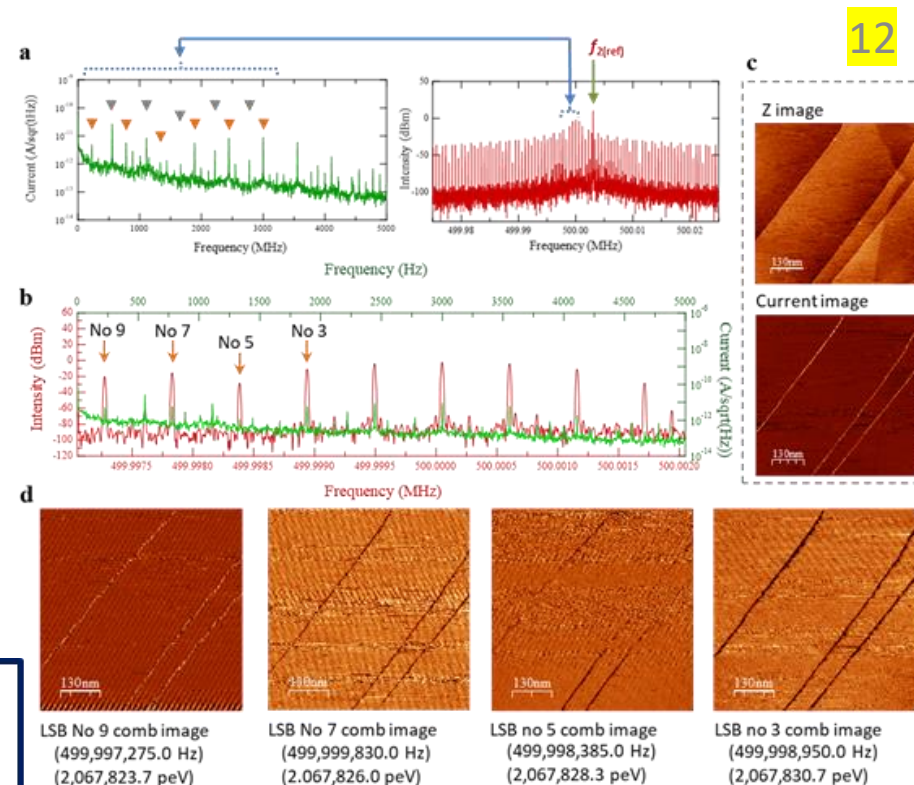
今後、高密度核物質研究のための中性子検出器の開発を予定

本年度 研究代表者としての外部資金のリスト

小沢 顕	2018-2020	基盤研究(A)	蓄積リングでの質量測定によるハロー原子核の探索 4,290千円/総額45,760千円
江角 晋一	2019-2023	基盤研究(S)	高次ゆらぎと粒子相関による高密度クォーク核物質の1次相転移と 臨界点観測への挑戦 22,750千円/総額103,350千円
中條 達也	2020-2024	基盤研究(S)	LHC 超前方光子測定によるグルーオン飽和とQGP生成起源 29,250千円/総額194,740千円
中條 達也	2020-2024	国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(B))	ALICE 実験 前方シリコン検出器群 によるカラーガラス凝縮の探索 KEK 2,860千円/総額18,720千円
クロスアポ			
小沢 恭一郎	2020-2024	基盤研究(S)	高輝度陽子ビームによる原子核中での明確な中間子質量変化の実験 的確立 50,050千円/総額194,740千円

重要な研究成果

- (1) 光周波数コムと走査トンネル顕微鏡を用いた新しい原子分解能精密分光法を開発し原子像を取得
(論文：査読結果の対応中)
- (2) 2017年に我々が世界で初めて合成に成功したホウ化水素シートの新しい機能を見出した



Hydrogen boride (HB) sheets
Metal ions are reduced by HB
Nanocomposites

Chem. Lett. 49 (2020) 789.
Editor's choice (優秀論文)

HBシートが還元剤として機能

Inside cover

外部獲得資金など

- ・科研費 基盤B 代表 (2019-2021)
- ・科研費 挑戦的研究(萌芽) 代表 (2018-2020)
- ・科研費 新学術領域研究(研究領域提案型) 公募研究 代表 (2019-2020)
- ・企業との共同研究 代表 (2020-2021)
- ・企業との共同研究 代表 (2020-2021)
- ・企業との共同研究 代表 (2020-2021)
- ・企業との共同研究 代表 (2019-2021)
- ・東京工業大学 元素戦略センター 特定准教授

発表論文 7件

著書・解説記事 3件

受賞 筑波大学 2020 Best Faculty Member (近藤)

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)

2019年2月 採択決定
2019年4月～実験開始

CdTe検出器の性能評価



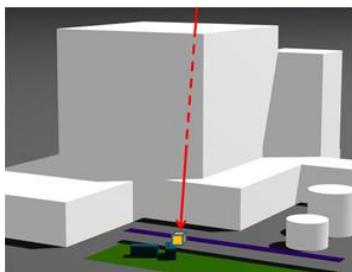
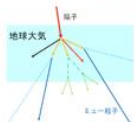
緊急事態宣言でSPring-8が4月～6月末まで休止となり、かつ、検出器関係を進めていたオーフス大と進める課題も2021年4月以降に持ち越された。

2021年4月～8月にマシンタイムが延期された

宇宙線を用いた大型構造イメージング



宇宙線を用いた大型構造イメージング



宇宙線ミュオン粒子の高い透過性を利用して、大規模構造物の背後に置いた検出器でミュオン粒子数分布を測定⇒内部の質量分布を推定

福島第一原子炉での観測



1cm幅のシンチレータバーを並べ、1m×1m検出層(XY各100本) XY対を3組配置

1号炉燃料デブリ観測に用いた検出器

検出器デザイン

100本のシンチレータ



光検出器 MPPC



100本の波長変換ファイバー



データ収集回路

用途に応じた光センサーと回路設計

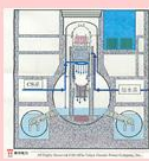
応用の検討



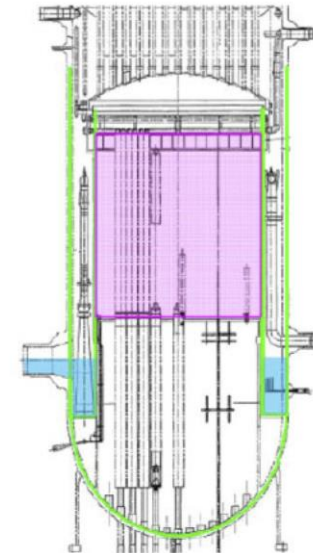
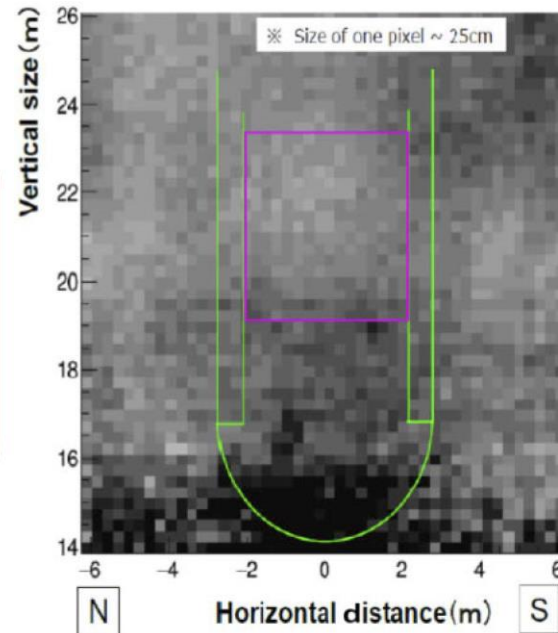
橋梁検査



火山活動の監視



落下デブリ観測 (低角度宇宙線)



2号炉

残存質量 非損傷なら

loading zone: 17~49 t/ 160t

PVC bottom: 159~197/35t

最新処理系により簡単な検出器でさまざまな大規模構造物のイメージングが可能

今年度出版

1号炉の観測結果:10.1093/ptep/ptaa027

2号炉の観測結果:10.1093/ptep/ptaa137

Vertex2020

Vertex会議は1999年より毎年開催される半導体検出器をもちいた衝突点、飛跡検出器の国際会議。日本での開催は2005年以来。リモートで開催 (135名、内日本人20名) 原が実行委員長

センターの宣伝をしました

Proceedings代(24論文22万)+poster(3万) はセンターの戦略イニシアティブ予算から



Supports to proceedings

- **KAKENHI (grant #19H04393 - K. Hara, K. Nakamura, Y. Unno)**
"Creation of 4-D Tracker by use of finely segmented detectors with high time resolution"
- **Tomonaga Center for the History of the Universe, University of Tsukuba**

Tomonaga Center for the History of the Universe

- Higgs and the origin of masses
- Unstable nuclei and the origin of heavy elements
- Simulation of the universe, matter & life
- QGP and the origin of hadron
- Cosmic ν background
- Antarctic observatory of Astronomy
- Division of Elementary Particles
- Division of Quark Nuclear Matters
- Division of Antarctic Astrophysics
- Division of Photon and Particle Detectors



Shin'ichiro Tomonaga
Nobel laureate w/ Feynman, Schwinger
Former President of the University

Research Center in cooperation of

- Particle physics (exp.+theory)
- QGP (exp.+ lattice)
- Antarctic Astrophysics
- Div. Photon and Particle Detectors



original poster

International Advisory Committee

- Marina Artuso (Syracuse U.)
- Prafulla Behera (IIT Madras)
- Gian Mario Bilei (INFN Perugia)
- Daniela Bortoletto (U. of Oxford)
- Richard Brenner (Uppsala U.)
- Paula Collins (CERN)
- Zdenek Dolezal (Charles U. Prague)
- Lars Eklund (U. of Glasgow)
- Francesco Forti (U. and INFN Pisa)
- Kazuhiko Hara (U. of Tsukuba)
- Roland Horisberger (PSI)
- Manfred Kramer (CERN)
- Hans-Guenther Moser (MPI for Physics)
- Hwanbae Park (Kyungpook U.)
- Chris Parkes (U. of Manchester)
- Sally Seidel (U. of New Mexico)
- Andrey Starodumov (RBI Zagreb)
- Dong Su (SLAC)
- Ivan Vila (IFCA Santander)

Local Organizer

- HARA Kazuhiko (U. Tsukuba, chair)
- HARA Koji (KEK)
- ISHIKAWA Akimasa (KEK)
- MIYOSHI Toshinobu (KEK)
- NAKAMURA Koji (KEK)
- ONUJI Yoshiyuki (U. Tokyo)
- TSUBOYAMA Toru (KEK, co-chair)

Vertex2020 workshop will be held remotely. Talks are invitation only. Please apply for poster presentation (short oral) by August 20th through the Vertex2020 WEB site :
WEB: <https://indi.to/vertex2020>
e-mail: vertex2020@kek.jp



Vertex2021 はOxford大学で調整中
⇒Vertex2022は日本で