

測定器開発プラットフォーム： 全体の概要とプラットフォームAの紹介

KEK 素粒子原子核研究所

花垣 和則

kazunori.hanagaki@kek.jp

東北大学 大学院工学研究科

越水 正典

koshi@qpc.che.tohoku.ac.jp

東京大学 大学院理学系研究科

横山 将志

masashi@phys.s.u-tokyo.ac.jp

2021 年 (令和 3 年) 8 月 10 日

1 測定器開発プラットフォームの概要

KEK の測定器開発室は、大学共同利用研にありながら、共同利用とは一線を画し、KEK 内の研究者が設定した測定器開発プロジェクト（大学の研究者もプロジェクトには参加している）をサポートしてきた。このプロジェクトの成功例のひとつが SOI という名称で知られている、Silicon On Insulator 技術を使ったモノリシックピクセルセンサー開発である。

しかしながら、大型プロジェクトの増加などに伴い測定器開発室の在り方を見直す必要に迫られたことや、KEK の研究者と密接な付き合いがない大学研究者にとってはどうやって研究に参加すればよいのか不明、あるいは、測定器開発室で進めている研究プロジェクト以外のことを新たに共同研究として始めるのは自明ではない、という声も聞かれたことから、測定器開発室の活動のあり方を見直すことになった。

この見直しにより、2019 年に新たに立ち上げたのが「測定器開発プラットフォーム」である。最先端技術開発の推進という測定器開発室の理念は引き継ぎつつ、大学共同利用の新機軸として KEK ユーザーの測定器技術開発のサポート強化を目指して設立した。開発テーマを、

A：光センサーとシンチレータ

B：シリコン検出器

C：ガス検出器とアクティブ TPC

という 3 つに分け、ABC それぞれのプラットフォームごとに活動するという形態でスタートした。この分類は固定というわけではなく、まずは以上の分け方でスタートし、ユーザーからの需要や活動状況により追加や再編

といった見直しをするつもりでいる。それぞれのプラットフォームに 2 人ずつ世話人を立てて、A は東北大学の越水と東京大学の横山、B は九州大学の東城と KEK の外川、C は KEK の坂下と神戸大学の身内という構成で活動を開始した。なお、3 つのプラットフォームが全く独立に活動を行うわけではなく、合同で研究会を開催したり、リソースを共有するなど、お互いに連携をとって進めていくことが重要だと考えていることから、それぞれのプラットフォームの世話人同士で議論しながら全体の活動方針を定めている。また、全体の調整役を KEK の花垣が務めている。

具体的な活動内容については ABC それぞれのプラットフォームの報告を参照してもらうとして、プラットフォーム全体で共通に目指しているのは、

- 素粒子原子核分野にとどまらない幅広い分野の研究者に参加してもらうことにより、異分野交流の促進、新たな共同開発の土壌育成。
- KEK が持つ測定器開発に関するインフラの共用。

などである。

後者に関して、KEK に対する期待の典型例がテストビームラインである。その意味で、2020 年から 2 カ年計画で建設しているテストビームラインの活動 [1] も本プラットフォームの活動の一環とも言える。

今回、高エネルギーニュースでそれぞれのプラットフォームの活動内容の紹介をさせていただくことになった。本稿では、プラットフォーム A の概要と活動内容の紹介をする。他のプラットフォームの活動内容については今後記事になる予定である。



図 1: 第一回研究会の様子



図 2: 第一回研究会の参加者

2 プラットフォーム A の概要

プラットフォーム A では光センサーとシンチレータのふたつの開発テーマを扱い、光を介した放射線計測を専門とするメンバーが集まっている。素粒子・原子核・宇宙線分野はもちろん、加速器や物性分野の研究者、さらには企業に所属する開発者も加わり、現状で約 40 名の登録者がいる。現時点では光センサーのみ、あるいはシンチレータのみに関連する研究者が多数であると思われるが、プラットフォーム A での活動を通じて新たなアイデアに基づく共同研究が生まれることを期待している。双方の専門家が一堂に会した研究会の開催により密な情報共有を行い、そこで芽生えたアイデアを広げることにより活動を展開することが発足時の計画であった。

3 研究会活動

3.1 キックオフミーティング

活動を始めるにあたり、まず発足直後の 2019 年 9 月 26 日にキックオフミーティングを KEK で実施した [2]。登録メンバー全員が参加できたわけではないが、参加者によるそれぞれの研究内容の簡単な説明のあと、活動の具体的な内容やプラットフォームに対する希望・要望に関して議論した。参加者にどのようなニーズやシーズを持った人がいるのか、KEK や各大学で共有・利用できる機器はどのようなものがあるのか、などの情報共有の必要性¹や、プラットフォームの他グループとの協力の可能性も積極的に探っていくべき、などの意見があった。また、より密な情報交換のために 1 泊 2 日の研究会を 2019 年度内に 2 回行うという方針を決めた。

¹この議論を受けて情報共有の仕組みを測定器開発プラットフォーム全体で整備することになっているが、なかなか進んでいない

3.2 第一回研究会@東大

キックオフミーティングでの議論を受けて、2019 年の 12 月 23 日および 24 日に第一回研究会を東京大学本郷キャンパスで実施した [3]。第一回研究会では、26 名の参加者と 13 件の講演があり、懇親会も含めて盛況であった (図 1, 2)。

光センサー関連の講演の多くは半導体光検出器、SiPM/PPD (浜松ホトニクス製の Multi-Pixel Photon Counter, MPPC) の利用に関するものであった。MPPC の実用化にあたっては、当時の KEK 測定器開発室・光センサーグループの活動として様々な実験グループの間で情報共有を行い、KEK と各地の大学のメンバーが協力して開発を進めたことで短期間に開発が進んだ経緯があり、測定器開発室の初期のもうひとつの成功例といえる。それから 10 年以上が経ち、幅広い分野で当たり前のように使われるようになったことは感慨深い。

初期の素子に比べて、現行品の MPPC はシリコン材料の品質やウェハープロセス技術の改善によるダークノイズレートの桁以上の改善やアフターパルスの削減、トレンチ構造の実装によるクロストークの抑制など基本的な性能の大幅な改良が実現している。MPPC の一般的な性能改善は一段落した感もあるが、実験ごとの個別の要求を満たすためにはまだ改善の余地があり開発が続いている。

第一回研究会では、各種実験から MPPC の利用や開発状況に関する報告があった。液体アルゴン検出器では波長 128 nm の真空紫外光を検出する必要があり、この波長に直接感度を持つ VUV-MPPC を使う方法と、可視光に波長変換する方法の両方の開発が行われている。後者では電極をシリコン内に通すことで受光面のデッドスペースを減らす Through Silicon Via (TSV) 技術を用いた MPPC を並べ検出効率を向上させる試みが報告された。やはり真空紫外領域 (175 nm) の光検出を行う MEG II 実験の液体キセノンカロリメータでは新たに開発した

VUV-MPPCを4092個用いている。第一回研究会では、当時発見されたばかりの運転中にMPPCのPDE（光子検出効率）が減少していく問題に関する報告があった。MEG IIではその後の研究により各種の対策がとられているが、このような問題点や解決法の共有もプラットフォームの重要な役割だと考えられる。

Belle IIのAerogel RICH検出器に関しては現在使われているHAPD (Hybrid Avalanche Photo Detector) に替えてMPPCを使用するアップグレードが検討されていること、その場合に問題となりうるダークノイズレートや放射線耐性に関する報告があった。T2K実験の前置ニュートリノ検出器のアップグレードでは、 1 cm^3 角のプラスチックシンチレータを約200万個積み上げ3方向から読み出すSuperFGD検出器の開発が進んでおり、使用する約56,000個のMPPCの品質検査を行うシステムの開発に関する報告があった。また、ILCグループからはカロリメータへの使用に向けたSiPMのサチュレーションの測定や、TCADシミュレーションを用いた高増倍率SiPMの開発に関する報告があった。

宇宙線分野からは、CTA (Cherenkov Telescope Array) のSmall-sized telescope (SST) でのSiPMの使用に向けた報告があった。アバランシェ増幅時に生成された光子が伝播して別のアバランシェを引き起こし余計な信号を生むオプティカルクロストークと呼ばれる現象が知られている。その確率が大きいと、CTAでは夜光によるバックグラウンドがトリガーにかかってしまい問題となる。ピクセル間で直接光子が伝播することはトレンチ構造の実装により抑えられるが、表面の保護のための樹脂コーティングやシリコン基板の背面からの反射によってもクロストークが起こる。そこで素子の大きさやコーティングの厚みを変えて系統的な測定をした結果、コーティングの厚みがクロストークの確率に大きな影響を与えることが報告された。

また、高時間分解能・大面積・安価な光検出器の実現を目指し、光電面とガス増倍を組み合わせた新たな光検出器GasPMの開発に関する講演もあった。第一回研究会の時点では、大気中で取り扱える透過型 LaB_6 光電面を用いた手作りの試作品の報告があった。この開発は、後述するようにプラットフォーム共有の開発スペースでも続けられている。

一方、シンチレータに関連する研究者としては、素粒子原子核分野に留まらず、シンチレータ開発に関わる材料科学研究者から、素粒子原子核分野でのユーザー、さらには核医学分野での応用研究のユーザーまでもが名を連ねており、キックオフミーティングや第一回研究会でも幅広い観点からの講演があった。また、もうひとつの特徴として、日本物理学会を主戦場とするグループのみでなく、応用物理学会の放射線分野で主に発表を行う

研究者も数多く見られることが挙げられる。普段の学会活動では顔を合わせない研究者が一同に会する機会としての研究会を提供することにより、共同研究の土壌を育成することが非常に重要である。実際、キックオフミーティングおよび第一回研究会を通じて共同でのグラント申請に至った研究プロジェクトがすでに二件あり、次回以降の研究会で新たな共同研究がさらに展開することが期待される。

シンチレータ関連の講演は、シンチレータの開発に関するものとユーザーの立場からのものに分かれていた。キックオフミーティングおよび第一回研究会を通して、シンチレータ開発に関する話題では用途および物質系ともに多様な開発研究が紹介された。ニュートリノレス二重ベータ崩壊の探索に用いられるシンチレータとしては、非常に潮解性の高いヨウ化物結晶において、高品質な結晶育成と高いシンチレーション収率の達成が報告された。また、暗黒物質探索用のシンチレータ開発においては、バックグラウンドイベントの低減のために、非常に高い純度での原料生成および結晶育成技術開発の報告があった。さらには、材料化学の観点から、プラスチックシンチレータへのナノ粒子導入によるX線感度の向上や、多様な元素・化合物を用いた単結晶シンチレータの開発についての成果が報告された。

一方で、シンチレータのユーザーとしての講演についても、多様な用途を想定した研究報告があった。高エネルギー関係の報告では、プラスチックシンチレータや酸化物系のシンチレータを使用した大規模な計測系の報告があった。一方で、医療診断などを想定した報告では主に酸化物系のシンチレータが使用され、多様な手法での画像化の成果が報告された。さらには、環境放射能測定における利用報告もあった。高エネルギー研究におけるシンチレータの利用と主に医療系での利用では、シンチレータ選定における要求性能などが異なり、そのため、シンチレータ開発者との共同研究がより一層重要となると感じられた。そのような開発者とユーザーとのコミュニケーションの場を提供することが、今後の当プラットフォームの目標のひとつである。

3.3 幻の第二回研究会@東北大

光センサーとシンチレータというキーワードがカバーするトピックは広範囲にわたり、一度の研究会ではほんの一部しか議論できない。そこで、時間をおかず同年度内に第二回研究会を開くことにした。第二回研究会は2020年3月9日および10日に東北大学青葉山キャンパスにて実施予定であったが、新型コロナウイルスの感染拡大を懸念し延期とした。

本プラットフォームの活動は、研究会での講演を契機



図 3: KEK 富士実験室 B3 の共用実験スペース

とした共同研究の進展が主たる目的のひとつである。オンラインでの講演会では潜在的に共同研究を実施しうる参加者どうしの自由な懇談が困難であるため、対面での研究会が一日も早く実施可能となることを願っている。

4 共用開発スペース

いうまでもなく、新型コロナウイルスによる感染症の蔓延の影響により研究活動も様々な制約を受けている。そのような中、測定器開発のアクティビティを維持し、活発な往来が再び可能になった際に利用可能な拠点を準備すべく、松岡広大さん（現 KEK）からの提案を受けて KEK 富士実験室の B3 フロアに測定器プラットフォーム共通で利用できるスペースを整備している（図 3）。

プラットフォーム A での共用スペースの利用例として、現在は松岡さんと名古屋大学の学生を中心に恒温槽を使った MPPC の低温での特性評価と、第一回研究会でも講演のあった新型光検出器 GasPM の試作品の光電面の評価が行われている。

測定器の開発試験には共通に利用できる機器やノウハウも多いので、利用者からの要望をもとに他のプラットフォームとも協力して、共用スペースで利用できる機器の整備を行なおうとしている。今後、利用者が増えればグループや実験を超えた形で経験の共有や日常の相互作用により相乗効果が生まれる場のひとつになるのではないかと期待している。利用の希望があれば世話人まで問い合わせをいただきたい。

5 これから

繰り返しになるが、我々がプラットフォームでの活動の目標としている異分野の交流による新たな研究の創生には、何よりも密な人的交流が必須である。研究会によ

りプラットフォームを立ち上げようとしたタイミングで感染症の蔓延がはじまり、予定していた活動を延期せざるを得ない状況になったことは非常に残念である。本格的な活動再開は感染症の収束を待たざるを得ないが、その間にも再開後の共同研究が活発になるように少しずつでもできる準備を進めたい。

測定器開発プラットフォームという新しい形での活動は、まだ手探りが続いている状況である。コミュニティの皆様からのご支援や積極的な参加をぜひお願いしたい。プラットフォームに新たに参加希望の方や活動内容に提案のある方は、世話人まで連絡をいただければ幸いである。

参考文献

- [1] 花垣和則, 高エネルギーニュース **39-2**, 75 (2020).
- [2] プラットフォーム A キックオフミーティング Web ページ：
<https://kds.kek.jp/event/32257/>
- [3] プラットフォーム A 第一回研究会 Web ページ：
<https://kds.kek.jp/event/33068/>