

## 素核研研究活動報告(2)エレクトロニクスシステムグループ 平成 28 年 6 月 14 日

我々は、素粒子原子核研究所及び加速器科学コミュニティーで推進しているプロジェクトを成功させるため、デバイス開発、アナログ集積回路開発、高密度実装、広帯域高密度アナログデジタル混在ボード開発、ネットワークデータ収集システム開発を行っている。(SOI デバイスの開発に関しては、先端加速器報告での現状報告を参照されたい。)

### 1. プロジェクト推進に関する取り組み

#### 東海キャンパス

H27 年度より東海キャンパスに分室(室長：内田智久氏)を設立し J-PARC での開発、相談等アクティビティーの向上を目指している。KEK,J-PARC センター首脳部、構成員各位のご理解、ご協力により JAEA 研究 3 棟に設置した実験室の開発ブースは既に全て埋まり、COMET、g-2/EDM、E16、E40 等の開発アクティビティーで使用されている。図 1 のようなモジュールを持ち込みながら評価出来る環境が整いつつある。今後は、高集積化のための開発装置や、高集積モジュールの評価装置を徐々に用意し、複数のプロジェクトで共有し開発できる基盤を J-PARC に構築して行くことで更に研究開発のアクティビティーを向上させる。

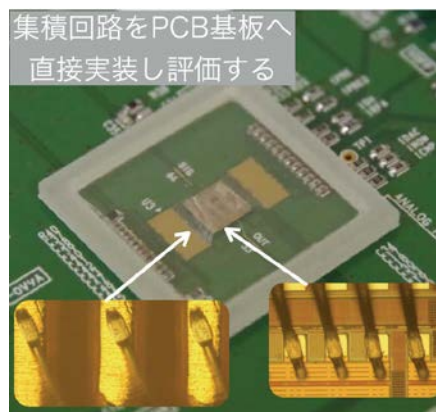


図 1：計測装置高集積化に対応し、開発した集積回路を直接基板へ実装し性能評価を行う案件が増加している。

#### つくばキャンパス

つくばキャンパスにおいては Belle-II, ATLAS その他の素核研の進めているプロジェクトを推進するために検出器信号処理用エレクトロニクスの要素開発(集積回路開発、PCB:Printed Circuit Board 開発、FPGA:Filed Programmable Gate Array 開発)及びデータ収集システム開発を行っている。そのなかで今回は前回に引き続きデータ収集システム開発の中で今後重要になってくる評価技術に関するアクティビティを述べる。

検出器システムの多チャンネル化、高機能化は日々発展しておりそれに伴い今まで困難だった実験も遂行可能となっている。この高機能化を実現するためには、検出器及び検出器からの微弱な信号を処理する低雑音フロントエンドエレクトロニクスの近傍に、FPGA などのデジタルエレクトロニクスを高密度実装する事が必須である。このため検出装置へのノイズの混入、誤動作という問題が引き起こされる事が多い。この問題への定量的かつシステムティックな対応は中長期的におこなう必要がある。



図 2：Belle-II TOP 検出器の EMC 環境試験。Belle-II 構造体にインストールされた状態でやっている。

このような状況下 Belle-II グループと協力し電磁環境適合性(EMC)技術の導入を、日本で初めて加速器実験用計測装置インテグレーションに対して進

めている。図 2 は Belle-II TOP(Time Of Propagation)検出器の EMC 評価を Belle-II 検出器内部で行っているところである。前回の報告ではエレクトロニクスや電源を会社へ持ち込み EMC 評価を行ったが、現実的にはインストールスケジュールや会社における動作環境確保が困難である場合も多いため現場での評価も必須となる。その様な場合でも EMC 評価を行い測定装置の

問題を事前に洗い出す事が可能であることを実証した。これらは Belle-II のような大型国際実験グループだけでなく、中小規模の実験でも今後必要となる。

### 高集積化技術の展開

加速器の高強度、高輝度化のトレンドは今後も変わる事はないため、その帰結として検出装置の多チャンネル高集積、高機能化は必須となる。我々は現在半導体プロセス、FPGA、PCB等においてこの流れを先導するための開発及び技術蓄積を行っている。その中で蓄積されたノウハウを実際のプロジェクトへ展開する事は、長期的な研究開発の方向性を決める上でも非常に重要なポイントである。我々は CMOS0.18 $\mu\text{m}$ を中心に ASIC(特定用途集積回路)の開発を行いつつ周辺技術の蓄積を行ってきた。図3は商用プロセスで開発された CMOS アクティブピクセルセンサーを示す。これはプロセス評価用に製作された物で、開発にあたりファウンダリ側の技術者とプロセスの詳細にわたって議論し開発を行った。このようにして複数の半導体プロセスを使いこなし多様な検出装置開発のための要素開発技術を蓄積している。

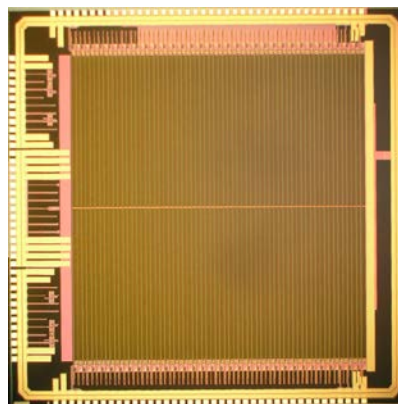


図3：MAPS(Monolithic Active Pixel Sensor)の写真。プロセスは CMOS 0.18  $\mu\text{m}$

読み出しエレクトロニクスが検出器の一部に組み込まれつつある現状では、種々の電子部品が検出器と同様の環境に晒されることになる。そのような環境でも動作保証するための知識はより必要となってきた。我々のグループでは、これらを極限環境と位置づけて、まず低温、耐放射線、高集積環境下での低雑音に関して、複数のプロジェクトと共同で研究開発を行っている。特に今まで COMET グループ、g-2/EDM グループと協力し中性子、 $\gamma$ 線に対する電子部品の放射線耐性を調査して来たが、これらの情報をコミュニティーでどのように共有可能かについても検討していく。低温環境では、ニュートリノグループ内の液体アルゴン検出器 R&Dを行っているグループと協力しながら低温環境下での装置製作に関する R&D を行っている。

### 極限環境下における計測装置開発技術の蓄積

読み出しエレクトロニクスが検出器の一部に組み込まれつつある現状では、種々の電子部品が検出器と同様の環境に晒されることになる。そのような環境でも動作保証するための知識はより必要となってきた。我々のグループでは、これらを極限環境と位置づけて、まず低温、耐放射線、高集積環境下での低雑音に関して、複数のプロジェクトと共同で研究開発を行っている。特に今まで COMET グループ、g-2/EDM グループと協力し中性子、 $\gamma$ 線に対する電子部品の放射線耐性を調査して来たが、これらの情報をコミュニティーでどのように共有可能かについても検討していく。低温環境では、ニュートリノグループ内の液体アルゴン検出器 R&Dを行っているグループと協力しながら低温環境下での装置製作に関する R&D を行っている。

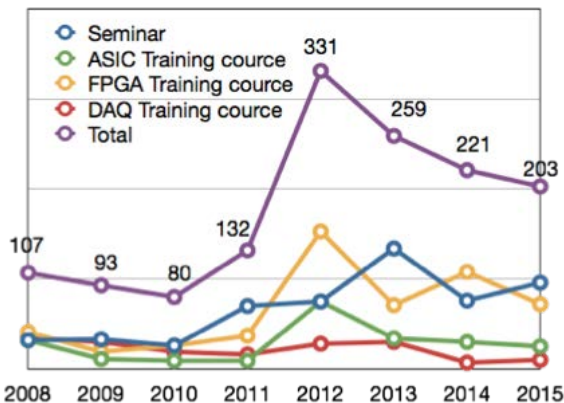
## 2. 先端技術の取り込み、技術継承を含む長期的視点にたった取り組み

### 技術継承と拡散によるコミュニティーアクティビティ強化(Open-It)

我々は加速器科学総合支援事業の資金的援助及び素粒子原子核研究所のサポートの他に他の機関のエキスパートとのコラボレーションネットワーク” Open-It” を立ち上げ、講義、実習の教育活動及び複数プロジェクトと連携した On the Job Training で若手教育とプロジェクト推進を通じたコミュニティー全体への積極的な寄与を行う体制を構築した。この体制のもと我々の持っているノウハウや開発物等は実際に若手へ伝授され多くのプロジェクトを推進する原動力になっている。

前年度までのセミナー、実習の参加者の推移と Open-It にて行ったプロジェクトが物理学会で発表を行った件数を図4に示す。参加者はほぼ一定の値に近づきつつある事、一方物理学会での発表件数は増加が継続している事がわかる。我々はこの傾向を次のように理解している。本活動を開始した当初は基礎教育に限定して活動してきたが、途中から学生を受け入れプロジェクト開発の中での教育も並行し進めた結果、少なくとも国内での開発研究が盛んになり、その結果として日本物理学会の発表件数が増加している。ここでは物理学会の発表の統計を取ったが、図5に示すように、他分野のプロジェクトも活発になっており、その結果として受賞をするという例も出てきた事は、我々の推察を裏付けるものとなっている。活動の詳細は <http://openit.kek.jp> を参照していただきたい。

Participants of a seminar and training courses



日本物理学会での講演数の推移

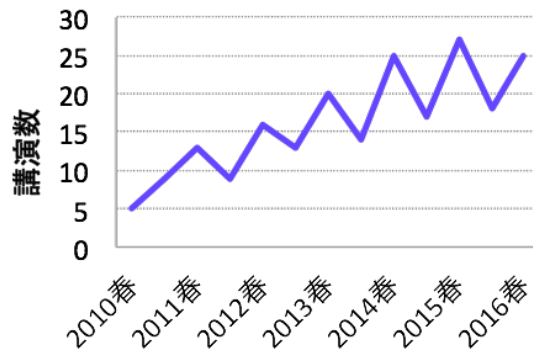


図4：左はセミナー、トレーニングコース参加者の年推移、右は物理学会での関連講演数の推移を表す。

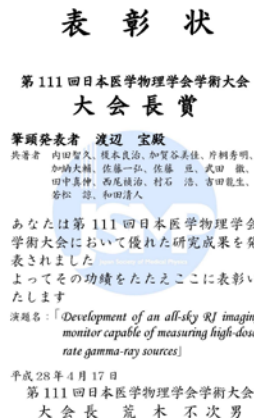


図5： $\gamma$ Iプロジェクトの受賞（茨城大学、首都大学東京）

左は茨城大学加賀谷美佳さん(茨城大学)が第110回日本医学物理学会学術大会で大会優秀研究賞を受賞したもの、右は渡辺宝さん(首都大学東京)が第111回日本医学物理学会学術大会でCyPos賞を受賞したものである

連携による新規技術の展開(Open-It、外部資金)

現在検出器のピクセル化、多チャンネル化は CMOS プロセス等の微細化技術に牽引される形で急激に進んでおり、以前は半導体検出器だけに使用されていた集積回路技術を含む高密度実装技術はガス検出器、光検出器など広範囲に使用されるようになった。これは検出器と電子回路技術の関係がより密になっている事を示しており、以前にもまして我々には検出器を理解し高密度実装技術を使いこなしつつ高性能な計測システムを実用化させるための総合力を持つ事を求められている。コミュニティが推進するプロジェクトの成功とそれらプロジェクトが国際協力と競争の中でよりレジビリティを向上させるための一助として今後とも多くの研究者と連携を取りながら研究開発実用化を進めている。

H28年度からは TIA 連携プログラムにダイヤモンドプロジェクトが採択された。これを基盤とし、IPNS-IMSS-AL-ARL-産総研-物材機構-筑波大-東大の研究者と共に高耐放射線等の耐環境性能を有するセンサー、エレクトロニクス等への展開を目指して、研究開発を推進して行く。