

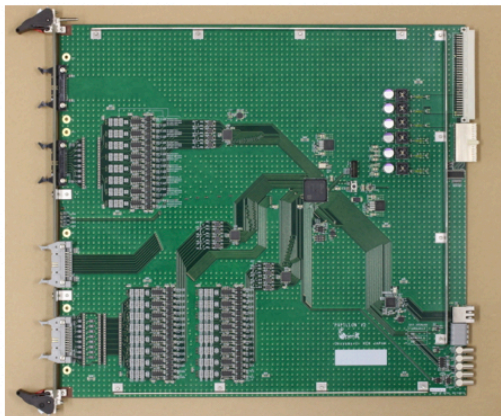
我々は、素粒子原子核研究所及び加速器科学コミュニティで推進しているプロジェクトを成功させるため、デバイス開発、アナデジ集積回路開発、高密度実装、広帯域高密度アナログデジタル混在ボード開発、ネットワークデータ収集システム開発を行っている。開発拠点はつくばキャンパス(E-sys つくば)と東海キャンパス(E-sys 東海)にあり連携し研究開発を行っている。(SOI デバイスの開発に関しては、先端加速器報告での現状報告を参照されたい。)

1. プロジェクト推進に関する取り組み

E-sys 東海

E-sys 東海(常駐職員:3名)は E-sys つくばと共に J-PARC の実験グループを中心に様々なグループや機関と連携し計測装置の研究開発を進めている。特に東海常駐職員の専門分野であるデジタル技術に注力して研究開発を進めておりデータ収集システムの読み出しハードウェアからソフトウェアまで幅広い研究開発を進めると同時に共同利用環境整備にも力を注いでいる。

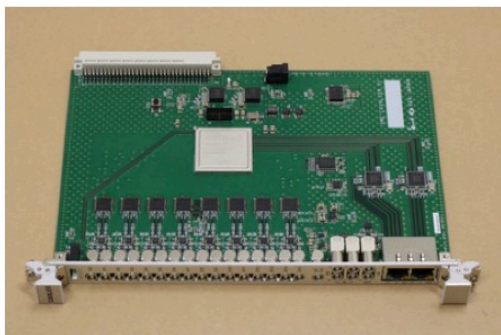
共同利用開発環境に関しては、多くの方々の協力により研究開発時に必要な計測装置などが整いつつある。それ



T2K用インターロック生成モジュール



共同利用者用開発ブース



T2K用ビーム品質モニター用ADCモジュール

・共同利用者用実験室(上図)は短期長期を問わず実験のために共同開発を行うスペースで、多くの実験プロジェクトで活用されている。

・開発されたJ-PARC用モジュールの例(左上下の写真)
T2K用インターロック生成モジュールは岡山大学、T2Kグループと連携して開発している。このボードはSSEMの24本のストリップからの信号をハードウェアによりリアルタイムで計算してインターロック信号を生成する機能を持つ
T2K用ビーム品質モニター用ADCモジュールはT2Kグループと連携してエレクトロニクスシステムグループが開発している。AD変換された信号は直接ネットワークへ転送される。

図1: J-PARC での実験用に開発されたモジュールの例と開発環境。国内の大学からのコラボレータと協力しながら複数の共同開発を並行してすすめている。

に伴い、J-PARC の実験グループや大阪大の阪大分室の若手が利用している。利用形態は様々であるが、多くは問題解決時に短期滞在して研究開発を行うことが多く、その際は E-sys 東海の常駐職員が問題解決と一緒に取り組むことが多い。

E-sys つくば

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。前回報告した用に EMC 対策は以前にも増して重要になってきており、Belle-II ではその技術を積極的に取り入れており、その結果 CDC、TOP、ARICH では装置組み込み後の性能も十分達成されている。

Belle-II 以外にもシステム開発を行っているが、最近では ATLAS のアップグレード用の開発が多く進行しており、出来るだけ多くのプロジェクトに貢献できるようにグループ内で連携しつつ開発を進めている。

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。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。現在まで CMOS0.18um 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。更に 65nmCMOS プロセスを使用し GHz 帯高速信号処理回路、サブ psec 時間測定回路、低消費電力アナログデジタルコンバータなどの開発を行っている。これらの報告は次回に行う。

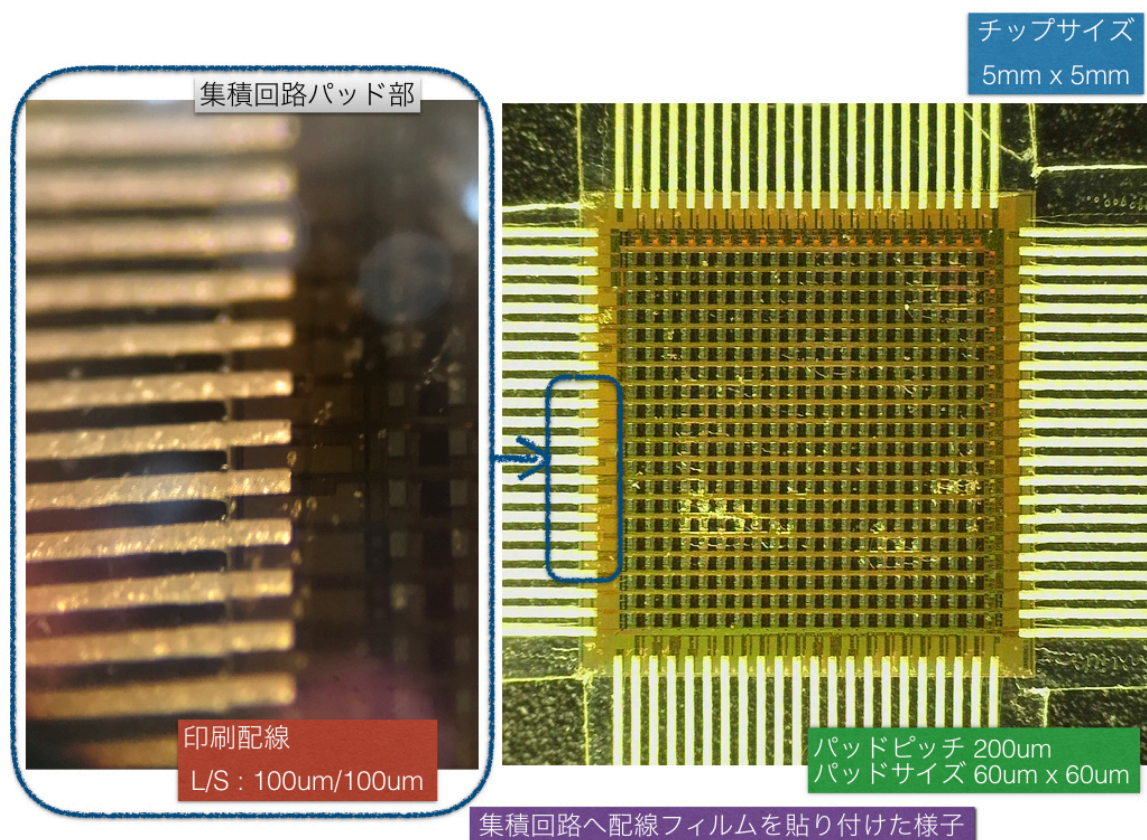


図 5 : 印刷技術を利用した高密度実装方法の共同開発研究

エレクトロニクスの高集積化にともない従来の実装技術(半田付け、ワイヤーボンディング等)も見直す必要がでてきた。われわれは産業技術総合研究所と“印刷技術を用いた放射線検出器の高密度化実装に関する基盤的研究”を行っており、従来技術にくらべより高密度実装に適する印刷技術を使用した実装技術の開発をおこなっている。この方法では原理的には 20 μ m ピッチまでは実装可能であるため、通常の高集積センサー、集積回路、基板を一括して実装することが可能になる。現在は集積回路の2次元実装を行っているが将来的には3次元実装へつなげていく予定である。

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。E-sys では、これらを極限環境と位置づけて低温、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。COMET グループ、g-2/EDM グループと協力し中性子、 γ 線に対する電子部品の放射線耐性を調査している。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。

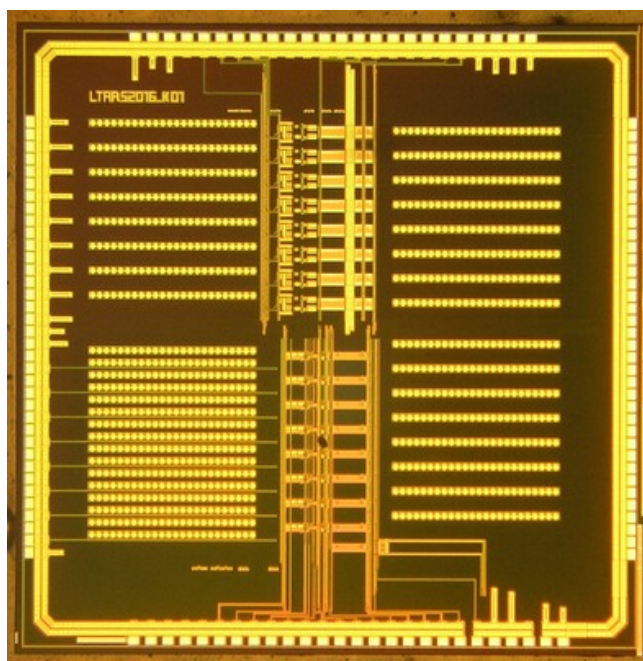


図 5：低温検出器用低雑音集積回路。CMOS 0.18um プロセスで製作したもの。

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基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。H28 年度の後半では今まで継続してきた複数の教育・OJT 活動を総研大の講義と連携し展開させた。活動の詳細は <http://openit.kek.jp> を参照していただきたい。

Open-It の主な活動は以下の 3 つである。

- 【教育プログラム】若手を対象にした計測技術教育
- 【連携開発プログラム】連携により計測装置開発を行う共同研究開発プロジェクト
- 【交流プログラム】研究対象分野を超えて情報交換するための場の提供

これらの活動は独立ではなく一貫した教育・連携プログラムとなっている。初学者が初歩的な技術をセミナーで習得し、その知識を使って専門家の技術的な支援を受けながら共同研究開発を行い、その結果を研究会で議論しながら新しいことに挑戦できる環境を整えることを目指している。

【教育プログラム】先端エレクトロニクス DAQ セミナーは装置開発未経験者を対象とした講義形式の技術セミナーであり 2017 年 7 月に KEK つくばキャンパスで 4 日間の日程で開催した。参加者数は募集人員上限の 60 名(キャンセル 2 名含む)となり締め切り予定日を繰り上げた。トレーニングコースは技術毎に 3 種を開催している。ASIC トレーニングコースは名古屋大学と東北大学で 9 月にそれぞれ 3 日間開催し参加者計 21 名、FPGA トレーニングコースは名古屋大学、佐賀大学、核融合科学研究所でそれぞれ 2 日間開催し参加者計 61 名、DAQ ミドルウェアは KEK 東海キャンパスで 9 月に 3 日間開催し参加者 3 名であった。FPGA トレーニングコースについては 2 月に東北大学で開催される予定であるが、現時点で教育プログラムへの参加者数累計は 143 名に達している。

【連携開発プログラム】 開発プログラムは実践的教育であり装置開発初心者が経験者の技術的支援を得ながら自力で開発を行う。今まで 82 のプロジェクトが進められ、そのうち 49 のプロジェクトが終了した。これらのプロジェクトで開発する装置の大部分は実際の実験で使用する。

【交流プログラム】実験分野の細分化と装置開発を専門としないことにより装置開発について議論や情報交換を行う機会が極端に少ない。そこで、異分野の装置開発者間の交流を促進する場として装置開発に焦点を合わせた計測システム研究会を開催している。2017 年は初めて Open-It 若手の会と合同で開催し 10 月に函館で開催した。29 名の参加者を迎え、18 の講演が行われた。本研究会の講演の特徴は他で話さない現場の苦労話や失敗談が含まれている点である。そのため現場で実際に研究開発を進めている参加者の関心を集め、憩時間が無くなってしまふほど活発な議論が行われた。今回は東京大学 ICEPP 坂本宏先生の「デジタルエレクトロニクスの 50 年を振り返る」と題された若手開発者へのメッセージとしての特別講演も行われた。2 時間に及ぶ講演であったが若手が真剣な眼差しで講演を聴く姿は印象的であった。



KEKで開催した先端エレクトロニクスDAQセミナー（大学集中講義としても活用されている）参加者60名（申し込み枠の上限）



核融合科学研で開催されたFPGAトレーニングコース（大学集中講義としても活用されている）他に佐賀大、名古屋大でも開催した



東北大で開催されたASICトレーニングコース（大学集中講義としても活用されている）他に名古屋大でも開催した



函館で開催された計測システム研究会2017年は初めてOpen-It若手の会と合同で開催した

図 5：総研大との連携、外部機関との連携強化を目指した研究会