



加速器科学総合支援事業

先端計測システム要素技術の普及と 拠点形成

-Open-It 連携とプロジェクト間連携による開発アクティビ
ティ強化-

2011 年度報告書

2012 年 1 月 25 日 田中真伸

目 次

はじめに.....	4
全体のまとめと今後.....	5
2011 年度	
先端エレクトロニクス DAQ セミナーまとめ.....	8
ASIC training course 概要及びまとめ.....	9
FPGA training course 概要及びまとめ.....	10
DAQ training course 概要及びまとめ.....	11
計測システム開発検討会 まとめ.....	12
次世代データ収集システム研究会概要(RCNP 研究会:RCNP 主催).....	14
謝辞.....	15
各セミナーのホームページ.....	16
参加者等統計データ.....	17
参加者年推移データ.....	18
OJT の現状(物理学会での発表件数).....	19
参考資料	
高エネルギーニュース記事	
物理学会記事	

はじめに

加速器科学、関連科学分野においては、実験装置開発上必須となるエレクトロニクス関連技術のレベルはきわめて高く、ASIC（特定用途集積回路）、FPGA（変更可能なデジタル集積回路）などがその代表である。また加速器科学関連分野における計測装置の開発においては、アナログ信号処理、論理回路の構成など、放射線検出器及びその読み出し・制御システムが産業用とは異なるために、研究者自らが理解し、デザインする必要がある。現在必要とされる素養、技量などを、専門でない人間が身につける機会・場所はほとんど無く、高度な技術へのアクセスやその恩恵を享受することは、今後更に難しいものとなってくる。本事業は、

- 1) ASIC のデザイン／試作／評価など、その技術の一端を扱える、
- 2) FPGA を自在に扱うためのファームウェアプログラミングのできる、
- 3) DAQ ソフトウェア技術を駆使しネットワークベースデータ収集システムを構築することの可能な関連分野の若い研究者・技術者を、①初心者教育（セミナー・トレーニングコース）②実際の実験に使用する装置開発を通じたオンザジョブトレーニングに基づく開発を実践し、

- ・ KEK の技術を、関連分野を担う大学へ移転し、将来の連携の核となってもらふこと。
- ・ 既に技術連携の核として活動している複数の大学、研究機関の間の連携を強める。

ことで、短期的にはプロジェクトの成功による加速器科学アクティビティの向上を、長期的には専門家の育成と専門家同士の連携、プロジェクトと専門家の連携のネットワークを作り、加速器科学の技術発進力の向上を目的とする。

前述のように、現代のエレクトロニクス、DAQ を駆使していく上で必須の技術は、

- ・ 改まって学ぶにはあまりに敷居が高い（知識の収集をどうすればいいか分からない）
- ・ 各大学研究室の単位では、きちんとはじめることはきわめて困難である
- ・ 実践的な開発まで行うための時間がかかりすぎる

などの問題があり、多くが二の足を踏んでいるのが実情である。実践的な利用を念頭において、KEK のような共同利用研究機関においてこのようなコースを始めることで、

- ・ すでに蓄積されている KEK 内の技術及び経験を広く内外に伝えることで技術の伝承を図り
- ・ 誰が、どのグループがどのような技術を持っているかを内外に伝え共同研究のシーズの掘り出しと研究を促進し

その中で、若い研究者の中に高度なスキルを身につけるものが多く輩出されることは、関連分野の発展のためにきわめて有用である。またこのコースを続けることにより、KEK においても有形無形の貴重な技術蓄積とネットワークができ、今後の関連技術の大きな展開が期待できる。

2011 年度まとめと今後

2010 年度までに下記を整備してきた

- 1、 先端技術を理解するための入門編としてのセミナー及びトレーニングコースをおこなう。
- 2、 より実践的な教育を通し、技術力を向上させるため、プロジェクトを受け入れオンザジョブトレーニングをおこなう。
- 3、 上記を実際に運営する母体及び専門家同士の連携を強め技術発信力を高める母体としての Open-It の立ち上げと運営

これらにより、ただ単なる教育の需要が多いという事実だけでなく多くのプロジェクトが推進され(<http://openit.kek.jp/project> 参照)実際の加速器科学関連プロジェクトに直接的な貢献ができる体制が整った。これは従来の個人的なつながりで進めていた開発が、Open-It という受け皿をオープンに立ち上げたことで、多くの人から開発連携先として認知されたことも一因となっている。この事実は物理学会における Open-It 関連の発表がここ 1 年で増加したことからも明確である。(分野も素粒子原子核のみでなく、宇宙線、放射光関連、ミュオン、中性子関連、その他に及ぶ)

従来の単一プロジェクト内における若手育成スキームが破綻した現在、本活動は加速器科学コミュニティーにとって重要な役割を果たしつつある。これは大学共同利用研としての高エネルギー加速器研究機構の果たすべき役割が更に重要になったことの現れである。

すでに述べたように、この事業において個々のプロジェクトの実務を担う若手と専門家及び専門家同士の連携は密になりつつあり、これは重要な成果である。しかし計測システム開発検討会における若手スタッフ・学生の意見（資料参照：<http://d-sys.kek.jp/memo>）、及び Open-It において開発に携わっている研究者の意見を通して必要とされていることを検討すると下記が不十分である。

1. 若手はプロジェクトの内部で活動を行っており、専門家からのテクノロジートランスファーはできるがそれは限定的なものである。今後実験を遂行するためには、幅広い技術の知識が必要となり、必ず他人との連携（その若手が拠って立つべき実験技術を持った上での）が必要となる。それゆえ、新規プロジェクトが立ち上がる際に核となりうる次世代の専門家連携を育てる地盤が必要である。

2. 実験を企画するために、教養として幅広い知識を浅く知る必要があるが、各プロジェクトベースでそのような知識の共有や教育が成功しているとはいえない。よってプロジェクトを超えて若手が結びつき、お互いに情報をやり取りできる環境の構築が必要である。（ただ単に発表するだけの研究会ではない連携が重要である）

よって次年度以降下記の方針に基づき活動を継続する。

1) 教育事業：

概要：これは2つの事業に分類される。1つ目は従来行ってきた先端エレクトロニクスセミナー及び ASIC, FPGA, DAQ トレーニングコースを通じて加速器科学コミュニティーの技術レベルの底上げ及び人材の育成を目的とする。方法としては、従来通り実施時期を決め全国から参加者を公募し講義、実習を行う。今年度はこれらを①可能な限り大学及び他研究機関において行う②限定して会社からの技術者を受入れることを目標に活動を行う。2つ目はオンザジョブトレーニングを基盤とし、実際の実験プロジェクトから人を受け入れ、大学共同利用機関として共同開発を行いながら、ノウハウの共有、移譲を目的とする。当然のことであるが、開発にかかる費用はプロジェクトから出す。この事業を継続することで2)に示す事業を進めるための重要な案件である”ノウハウを共有できる拠点”となりうる大学の活動が活性化するようにサポートする。

2) Open-It 共同利用立ち上げのための準備：

概要：教育事業で醸成された KEK と各大学、研究機関の連携及びノウハウの共有を基に、多くの大学がそれぞれの特色を生かし、特定の技術に特化した拠点として活動（例として Open-It: 技術プロフェッショナル同士の技術共有連携のためのネットワーク）可能にするため、大学等連携支援事業と連動させ結びつきを強める。具体的には、現在 Open-It として活動中の拠点及び拠点なりうる大学主導の研究会開催、セミナー、実習等のサポートを行う。

ただ現状の大学等連携支援事業では、これら複数の大学がそれぞれの特徴を出し且つ協調しながら KEK と連携できる枠組みが提案できない。これを解決するため、本年度研究会の立ち上げ（今まで ASIC, FPGA 等個別に行っていた研究会を統合し且つ Open-It 関連に限らないもの）を行い、コミュニティーを広げる。このコミュニティーと Open-It 等が相互作用することでより特徴を出しながら、正しくよりよい方向へ発展をしていくことが可能となる。並行して、前年度予算が削られ、実行不可能であったオープン化されたリソースのデータベース化とWEB整備を行うことで、よりノウハウが共有されやすくなり且つそのノウハウが論文等でリファーされやすくなるため、Open-It の活動の加速のみでなく加速器科学関連分野の計測システム開発アクティビティーの活性化につながる。

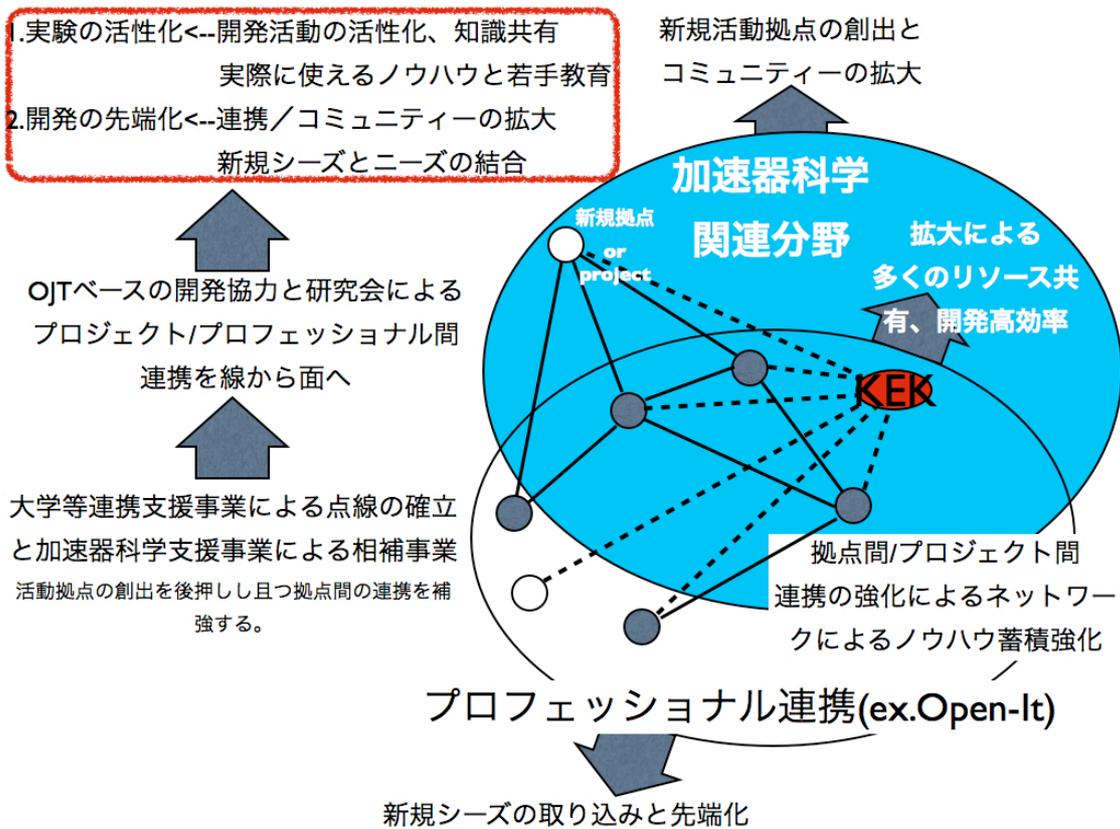


図1 プロフェッショナル連携によるノウハウの蓄積とそれに基づく開発活動活性化の関係

2011 年度 Advanced electronics seminar 概要及びまとめ

目的：測定装置を開発するときに必要な最低限の知識を理解すると共に、集積回路製作等の技術の使われ方等を通して、今後必要技術を独習するための基礎を作る。

実施時期：2011年7月26日（月）～7月30日（金）

講義内容：アナログデジタル技術が計測機器のどの部分に使用されているか及びその構成等についてトップダウン方式で解説し概要を理解してもらった後、MOSトランジスタの動作原理及びそれを使用した設計の講義を行った。デジタル回路に関しては動作解説を感覚的に説明し実際にどのように使用したらよいかを解説した。ソフトウェアに関しては今後主流になるネットワークベースデータ収集システムの構築に重点を置き講義を行った。最終日には過去の集積回路製作経験者（学生、スタッフ等）に話をしてもらい、技術をより身近に感じてもらえるよう配慮した。

7月25日：初心者用計測システム入門（1日）講師 田中真伸

7月26日：CMOSプロセス、エレクトロニクス入門（1日）講師 房安貴弘

7月27日：デジタル回路、FPGA入門（1日）講師 内田智久

7月28日：データ収集システム入門（1日）講師 長坂康史、藤井啓文、千代浩司、他

7月29日：ASIC製作、FPGA製作の実際

- ・フロントエンドエレクトロニクス概論 池田博一(JAXA)

集積回路製作の実際

- ・ワイドダイナミックレンジアンプ 片寄祐作（横浜国大）
- ・波形記録回路とウィルキンソンADC 阿部利徳・王佳寅（東大）
- ・トランジスタの低温測定とTPC-FE 高木雄太（横浜国大）
- ・カロリメータ用ASIC（ASICトレーニングコースと今後） 林真一（東大）
- ・ADCデザインの勘所 房安貴弘（長崎総合科学大学）
- ・BiCMOS ASIC デザインの勘所 島崎昇一（KEK）

結果：大学、大学院等でエレクトロニクスに関係する講義が開講されていないので講義時間をもっと長くって欲しいとの声が多かった。一部講義内容が難しいという声ともっと知りたいという声の両方があり聴衆のレベルがかなりばらついている事が確認できた。人数も50人を超えるため、今後大学で行うセミナー等との棲み分けを行うことでこのような要求に応えながら負担を減らしていく。幸いなことに複数の大学（既に Open-It 拠点として活動している大学等）からセミナー等を行い活動の強化をするということで大学等支援事業へ応募していただけることになったため、このような機会を有効に利用し連携を取っていく。

2011 年度 ASIC training course 概要及びまとめ

目的：実際に作りたい ASIC を設計し自分で動作させることを目的とし、ライブラリを基に 1 ヶ月をかけてツールの理解、デザイン手順、動作の理解をしながら実習形式で目標に近づく。

実施時期：2010 年 8 月 1 日（月）から 5 日（金）、8 月 29 日から 9 月 2 日

講義内容：初心者を対象にした ASIC 製作を実習形式で学ぶ。現在まで KEK 製作し動作確認されているアナログライブラリを使用することで、集積回路製作の初心者にも放射線検出器用アンプ等を製作してもらい、ASIC 製作を通じて実践的な開発フローを身につけてもらう。最初に、すでに製作され動作している ASIC を題材として、全体の構成および構成要素であるプリアンプ、シェイパー、コンパレータの機能についてシミュレーションを交えた解説を行い、続いて CMOS 半導体プロセス（TSMC 社 0.5um CMOS プロセス）についての基本的な知識を習得し、その後レイアウト設計等について実習を行う。最終的には各自がテーマを決め、各自で決めた ASIC デザイン設計に取り組む。

プログラムは <http://openit.kek.jp/training/asictraining/program> を参照のこと

結果：前年度講師が一人だったため負担が大きく、それが改善点であった。今年度から技術職員と共同研究員に負担を分散した。前年度は 10 人を受け入れたが、一人一人に目が行き届けなかったため、今年度は受講人数を 6 人に更に絞った。（講義だけでも聞きたいということで受講者数は 9 人）6 人のうち一人を除いて ASIC チップが完成し各大学で試験中である。製作したもののうち 3 チップは実際に検出器に接続しテストを行うことを検討している。概要は <http://openit.kek.jp/training/asictraining/asic-list> にリストとして乗っている。

今後について

前述のように本トレーニングコースは初心者用とはいえ、プロジェクトの開発を受入れている色合いが強くなってきたため、そのようなものは Open-It のプロジェクトへ組み込み、チップ開発費用もそちらで負担していただく方式にする。（今回も一部は負担してもらっている。）今後より高度なチップ製作の要求が来るため本コースを下記のように分離することを検討している。

- 1、 集積回路デザインのみ（0.5um）：初心者対象（期間限定）
- 2、 0.18um 及び 0.25um CMOS プロセスを利用した高度なデザイン：（不定期受入れ）
2 に関しては、今までのリソースを新しいプロセスに移行するため 200 万程度必要となる。

2011 年度 FPGA トレーニングコース 概要及びまとめ

実施期間：2011 年 8 月 8 日（月）～8 月 12 日（金）

目的：PCB(基板)技術および FPGA 回路技術習得。受講後に独学で先に進めるように予備知識を習得してもらう事が目的である。初学者にとって初めに何を学ぶべきかを知る事は難しい。そこで、どの様な事を学び、どの様な事を知っていれば先に進む事が出来るのかを本トレーニングコースで習得してもらった。

講義内容：講義だけではなく半田付けや FPGA を実際に動作させる実習を行い受講後に実践で活躍できるようなプログラムとした。講習会は 5 日間だが部分的な受講も可能としたので興味あるテーマのみの受講も可能である。

- 8 月 8 日（月）：講義（回路設計入門）担当：内田智久
 - 開発の流れとデジタル回路設計入門
- 8 月 9 日（火）FFPGA 開発体験 担当：内田智久
 - FPGA 回路開発体験
- 8 月 10 日（水）基板開発体験 担当：池野正弘
 - 基板設計手法や半田付けの実習
- 8 月 11 日（木）シミュレーション手法実習 担当：内田智久
 - 課題の設計
- 8 月 12 日（金）開発内容の説明および議論 担当：池野正弘、内田智久
 - 開発相談会

結果：延べ参加人数 37 人。主な成果として以下の 2 つがある。

- 実践での装置開発に挑戦する事ができる程度の習得度に達した者が現れた事
- 9 割以上がアンケートの総合評価で満足したと回答している事

以上からセミナーは一定の水準に達したと考えている。特に注目すべきは、本講習受講後に開発を継続し 2 次元画像ガス検出器の処理回路を完成させた者が現れた事である。彼らは未経験者であり短時間で装置開発に挑戦する為に必要な技術を習得した事がわかる。

しかしながら課題もある。もっとも大きな課題は受講人数が多すぎた事である。特に半田付け講習では予定時間内で全員に十分な時間を割く事が出来ず終了時間が遅くなってしまった。次回以降開催する場合は講師を増やすか事前にレポート等の提出を義務付けて選抜するなどの工夫が必要だと考える。

2011 年度 DAQ トレーニングコース 概要及びまとめ

実施期間：2011 年 8 月 3 日（水）～5 日（金）

講義内容：データ収集（DAQ）概論から DAQ コンポーネントの開発までの講義およびデータ読み出しに必要なネットワークプログラミングの基礎の解説と実習を行った。

対象者はすでに DAQ ミドルウェアを導入もしくはその検討をしており、既存の DAQ コンポーネントの改良や新規開発をしたい方とした。

下記にその日程と内容を示す。

- 1 日目(8/3)：講義形式
 - 受講者自己紹介
 - DAQ 概論 講師：長坂康史（広島工業大学）
 - DAQ-Middleware 概論 講師：千代浩司（KEK）
 - DAQ-Middleware に関わる共同研究や業務について 講師：和田正樹（(株)BBT）
- 2 日目(8/4)：実習・講義形式
 - RTM 概論 講師：神徳徹雄（産総研）
 - DAQ コンポーネント開発 1 講師：千代浩司（KEK）
 - DAQ コンポーネント開発 2 講師：千代浩司（KEK）
 - ネットワークプログラミング 講師：千代浩司（KEK）
 - 開発環境紹介 講師：千代浩司（KEK）
 - 実習
- 3 日目(8/5)：実習形式
 - 実習
 - 作製したコンポーネントのデモ
 - まとめ

参加人数は 12 名。参加者の内訳は J-PARC で実験に使用している方（5 名）、J-PARC から DAQ コンポーネントの開発を受注された会社の方（2 名）、学部 4 年生（1 名）、大学院修士課程の方（1 名）、博士課程の方（3 名）であった。

トレーニングコース終了後のアンケート結果は

<http://daqmw.kek.jp/seminar/2011/daqmw-seminar-2011-questionnaire.pdf>

に掲載してある（DAQ-Middleware ホームページ <http://daqmw.kek.jp/> の左側メニュー内「講習会」からたどることができるようにしてある）。

終了後の聞き取り、アンケート調査から本トレーニングコースが DAQ-Middleware 利用の足がかりになることができたと考えている。今後の要望として、応用的な簡単な練習課題があったら面白い、ADC でも scaler でもいいので実ハードにアクセスする実習があるといい、などの声が寄せられた。これらについては次回開催にむけて DAQ-Midlewre コアグループで検討中である。

計測システム開発検討会まとめ

開催場所：2011年11月25日(金) 13:00-18:00

開催日時：京都大学 理学研究科 物理学教室 第4講義室 (525号室)

詳細は <http://d-sys.kek.jp/> を参照のこと

目的：実験を行うに当たって必要な計測システム構築に関しての問題点や提案などを議論し問題点の共有を図る。

議論のまとめ:各グループが次にあげる共通の問題や要望を持っている事が明確になった。問題を改善する為には人の交流を含めたノウハウ共有化が重要であるとの共通認識を得た。

【共有された問題点】

1. 若手教育の問題：学生の計測用回路, ソフトウェア開発の教育が十分でなく、若手が育ちにくい。広範囲で急速に変化する技術をフォローするのは容易ではない。
2. 連携の問題：・プロジェクトベースで動くためプロジェクト間、組織間の連携が充分でない。・特に教育、開発、運用での問題発生時に十分な対処ができない。
3. 情報共有の問題：新規開発時に情報収集する事が困難。役立つ情報やノウハウがわからず行動に移すまでに多くの労力が必要である。（学生、研究員、スタッフ共通の問題）

【議論の結果】

1. 方向性が出たもの
 - 1.1 Open-Itのさらなる発展
 - 1.1.1 KEKで行っている下記アクティビティを大学で行うための基盤作り
 - ・初心者教育：セミナーおよびトレーニングコース
 - ・若手OJT環境整備：若手、大学院生に対して活躍の場を与えるためのKEKと複数大学の連携を機構及び素粒子原子核研究所のサポートを得て行う。（ノウハウ及びデザインツール、テストツール共有と旅費）
 - 1.1.2 ノウハウ共有のさらなる推進 現在既に所有しているノウハウ共有を更に進めるため、WEBベースでの基盤作りを進める（現在あるものの改良 等を経て使いやすくする）
 - 1.1.3 カバーする範囲 エレクトロニクスに限定しない。
 - 1.2 開発者間交流の活性化 OpenItのように密なつながりのみでなく緩いつながりのコミュニティー設立と情報交換が行える研究会の立ち上げ。

【今後解決すべき課題（継続議論が必要な事柄）】

1. クレジットに関して 共同開発:論文等で参加した個人名、団体名を入れることで解決できる。ノウハウ、成果物等の流用等に関するクレジットの明確化:論文等をリファーする事で開発者、プロジェクト名等を明確にしていく。OpenItでは文章番号などを導入しする事を検討する。補足) 知財をリファーすることで活動を知ってもらい、その活動に参加している人やプロジェ

クト名が わかるようにしておく。

2 ノウハウの共有に関して

2.1 ハードウェア

PCB: 基板レイアウト（特にアナデジ混在部）の公開に関する問題点の整理が必要

ASIC: NDA を事前に結ぶため法的な問題は少ないが上記と同様管理および検討が必要である。

2.2 ソフトウェア オープンソースで公開しているためこのような問題は生じない。

3 失敗経験共有の方法 重要であるが、このようなことを議論できる場がない。議論の結果 1.2 で提案された研究会を議論の場の第一候補として整備する

RCNP研究会報告

研究会名：次世代データ収集システム研究会

日時：2012年1月28日

場所：RCNP 4階講義室

参加者数：28名

世話人：味村周平(阪大RCNP)、内田智久(KEK)、神徳徹雄(産総研)、千代浩司(KEK)、田中真伸(KEK)、長坂康史(広島工大)、能町正治(阪大)、安芳次(KEK)

URL：<http://daqmw.kek.jp/meeting/daqngstudy/>

内容と成果：

本研究会では、原子核、素粒子実験に使用する次世代データ収集システムについて議論を行った。小中規模実験また検出器テストシステム等で、手軽に使用できるデータ収集システムが望まれていることから、これらの要求を満足するDAQシステムを開発する時期であると考えた。研究会は二部で構成し、第一部は各実験施設で開発・使用されているDAQシステムの現状を報告していただいた。また、第二部は次世代のDAQシステムに要求される機能についてテーマを絞った議論を行った。

現状のDAQシステムとして、

- J-PARC/MLF
- T2K
- Super KAMIOKANDE
- Double Chooz
- CANDLES
- SPring-8/XFEL

から報告を受けた。それぞれのシステムでの試みが聴衆の興味を引き、活発な質疑応答が行われた。後半にはOpen-Itで開発が進められているDAQ Middlewareの紹介につづき、それを踏まえ、次世代のDAQシステムへの要求について議論が行われた。汎用のフレームワークが必要とされているか、必要とされている場合それはどういったものかを中心に議論が行われた。

本研究会では、当初より分野が違う研究者間の情報交換もその目的として考えていたことから、その点では様々な意見の中で、データ収集システムのこれからを考えることができたことは大変良かった。また、様々な要求があるなかで、一つに結論づけることはできないが、DAQフレームワークの開発に向けて情報交換および意見交換を引き続き行うこととなった。以上のように、本研究会は次世代のデータ収集システムを検討する研究会としてその目的を果たしたと考えられる。

謝辞

本プログラムの遂行にあたってエレクトロニクスシステムグループ及び **Open-It**(オープンソースコンソーシアム)の多くの方に時間を割いていただき協力していただきました。また今まで蓄積したエレクトロニクスシステムグループの知財と測定器開発室の **ASIC** 及び **DAQ** プロジェクトで開発された幾つかの知財を使用させていただいたこと関係者に対し感謝いたします。本プログラム遂行時多くの大学、研究所の方が参加されそれにより関係各所のアクティビティは更に高められたと思っています。最後にこのような機会を与えていただいた高エネルギー加速器研究機構長、本案件担当理事をはじめとする理事の方々、**Open-It** の立ち上げに理解を示していただき、コミュニティーの為にサポートしていただいた素粒子原子核研究所所長及び素粒子原子核研究所の方々に深く感謝いたします。

各セミナーのホームページ

先端エレクトロニクス DAQ セミナー

<http://openit.kek.jp/training/Seminar-2011/DAQ-Seminar/home>

ASIC トレーニングコース

<http://openit.kek.jp/training/Seminar-2011/ASIC-Training>

FPGA トレーニングコース

<http://openit.kek.jp/training/Seminar-2011/FPGA-Training>

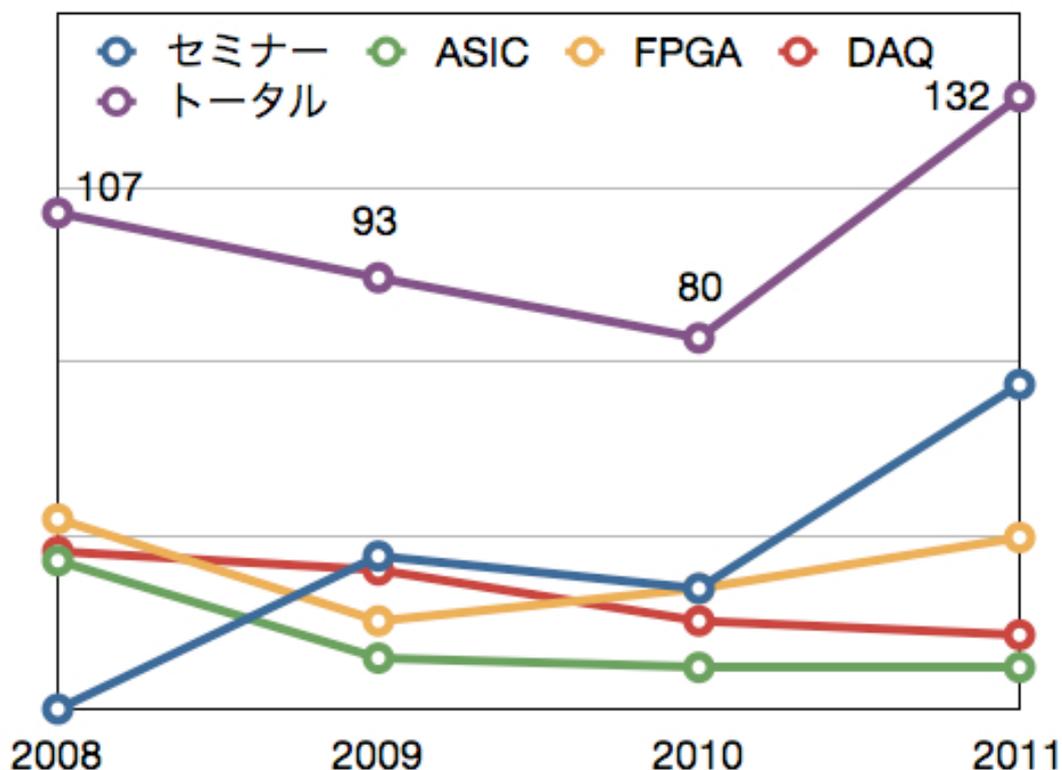
DAQ トレーニングコース

<http://openit.kek.jp/training/Seminar-2011/DAQ-Middleware>

参加人数等統計データ

2011年	参加者数	所属機関
先端エレクトロニクスDAQセミナー	70名	神戸大学 山形大学 茨城大学 東北大学 京都大学 大阪大学 東京大学 甲南大学 千葉大学 筑波大学 新潟大学 広島大学 立教大学 東海大学 名古屋大学 横浜国立大学 首都大学東京 東京工業大学 東京理科大学 長崎総合科学大学 総合研究大学院大学 林栄精器株式会社 三菱電機システムサービス株式会社 理化学研究所 産業技術総合研究所 高エネルギー加速器研究機構
ASICセミナー	9名	京都大学 筑波大学 東京大学 立教大学 名古屋大学 横浜国立大学 高エネルギー加速器研究機構
FPGAセミナー	37名	茨城大学 東京大学 神戸大学 筑波大学 東海大学 新潟大学 広島大学 京都大学 東北大学 大阪大学 東京理科大学 横浜国立大学 首都大学東京 長崎総合科学大学 総合研究大学院大学 理化学研究所 高エネルギー加速器研究機構
DAQ-MWセミナー	16名	京都大学 大阪大学 東北大学 京都教育大学 日本アドバンステクノロジー株式会社 日本原子力研究開発機構 高エネルギー加速器研究機構

参加者の年推移



2008年度は技術毎に分けてセミナーと実習を同時に行っていたため、セミナーのみの受講者は0としてある。

2010年度は Open-It の立ち上げのため、マンパワーと場所確保の関係でセミナーの参加者を少し減らした。(そのかわり Open-It において同様のことを行うことにした)

全体的に人数の増減はそれほどなく平均で 100 人程度

セミナーに関しては人数が今後どのようにになるか予想できないが、50人を超える場合、理解度及び能力に大きなばらつきが出るため、これ以上人数を増やすのではなく、大学と役割を分担しながら、分散した教育環境を整える。

トレーニングコースは

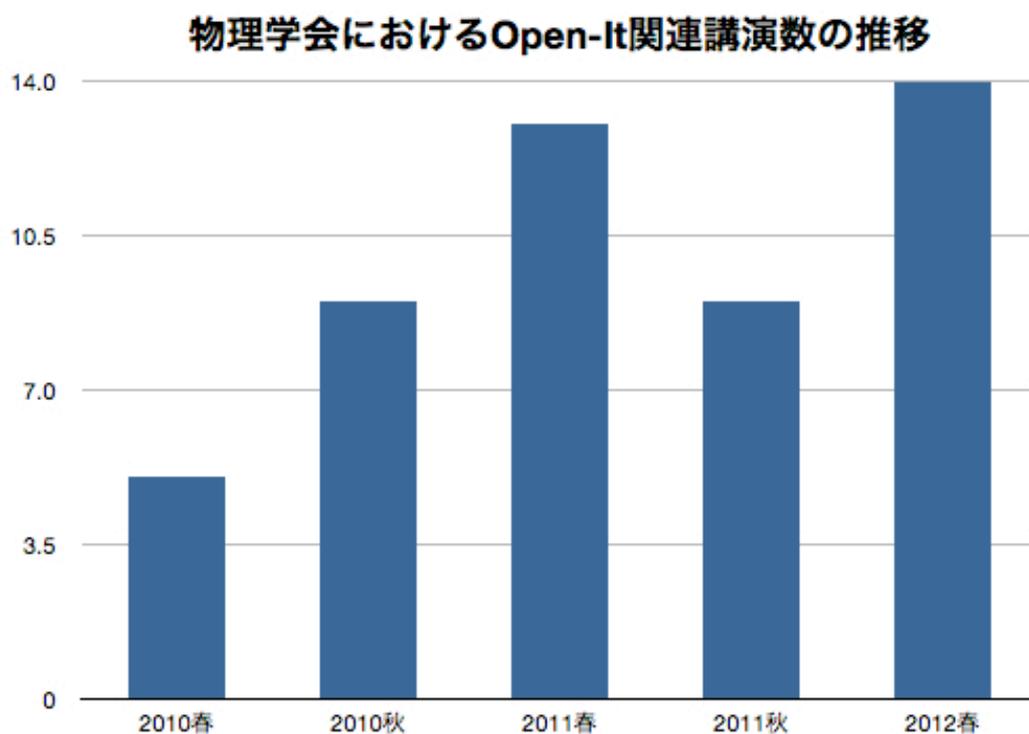
ASIC 関連は10人(人数を絞っている)、FPGA は20人～30人、DAQ は20人

の参加者となっている。実習に関してもマンパワーを拠点大学と共有し活動を行っていく。

OJT の現状(物理学会での発表件数)

オンザジョブトレーニング OJT の進行状況を示すメジャーとして Open-It で受入れた学生、若手スタッフの物理学会での発表件数を 2010(立ち上げ)、2011 にわたって推移を見た。

受入れプロジェクト数が少しずつ増えている関係で年当りの発表数は増加している。また関係者の御理解と御努力によって、講演時にも Open-It を明記していただく機会が増えつつある。



■ 談話室

Open-It 加速器実験のための計測システム技術講習会報告

KEK 素粒子原子核研究所

内田 智久

uchida@post.kek.jp

名古屋大学大学院 理学研究科

浦 義博

東北大学 大学院理学研究科

本多 良太郎

神戸大学 理学研究科

山口 貴弘

2011年11月11日

1 はじめに

Open-It (Open Source Consortium for Detector Instrumentation) [1,2]が主催する、加速器実験のための計測システム技術講習会が2011年7月から8月にかけて開催されました。延べ123名の学生や若手研究者が各大学や研究機関から参加して加速器実験に必要な計測システム技術について学びました。参加者の所属分野は多岐にわたっており、高エネルギー分野以外にも原子核、宇宙線などで活動する若手が参加しました。ここでは、Open-It 計測システム技術講習会の紹介と講習会参加者による報告(第4節～第6節)をいたします。講習会の雰囲気が伝わることで興味を持っていただければ幸いです。

2 Open-It

Open-Itは計測システム技術教育を目的とした技術支援を行う組織であり、その目的は“実験結果をなるべく早く世に出すこと”です。実践的教育がOpen-Itの特徴です。メンバーは計測システム技術の専門家と計測システム開発が必要な実験プロジェクトのメンバーにより構成されています。Open-Itに所属する複数の専門家の助けを借りながら各実験グループに所属する若手が実験を成功させるために“実験で実際に使用する装置開発”を行っています。Open-Itはメンバーに限定せず広く計測システム技術教育を行うために毎年夏に複数の技術講習会を開催しています。次節から講習会について紹介します。Open-Itに関する詳しい情報はwebページで公開されていますので参照してください[3]。



図1: 先端エレクトロニクスDAQセミナー参加者

3 計測システム技術講習会

講習会には講義中心のセミナーと実習中心の専門技術トレーニングコースの2種類あります。2011年(平成23年)度の技術講習会は以下のようにKEKで開催されました。

- 先端エレクトロニクス DAQ セミナー(5日間)
 - 2011年7月25日から29日
 - 参加者54名
- 先端エレクトロニクス DAQ トレーニングコース
 - ASIC トレーニングコース(10日間)
 - ✧ 2011年8月1日から5日
 - ✧ 2011年8月29日から9月2日
 - ✧ 参加者12名
 - PCB-FPGA トレーニングコース(5日間)
 - ✧ 2011年8月8日から12日
 - ✧ 参加者40名
 - DAQ-MW トレーニングコース(3日間)
 - ✧ 2011年8月3日から5日
 - ✧ 参加者17名

先端エレクトロニクス DAQ セミナー(図1)は初学者を対象とした講義形式のセミナーです。各専門の講師による計測システム入門、アナログ回路技術、デジタル回路技術、ソフトウェア技術に関する講義や過去の受講者の成果発表が行われました。

先端エレクトロニクス DAQ トレーニングコースは以下の専門技術を習得するための自習中心のトレーニングコースです。

- ASIC(Application Specific Integrated Circuit)
 - 回路を集積化する技術：特に検出器が出力するアナログ信号処理回路を高密度に実装するために使用される。
- PCB(Printed Circuit Board)
 - プリント配線基板技術：電気回路部品は本技術により回路化される。
- FPGA(Field Programmable Gate Array)
 - 書き換え可能なデジタル回路集積化技術：ASICなどのフロントエンド回路が出力する信号の処理回路を高密度に実装するために使用される。
- DAQ-MW(Data Acquisition Middle-Ware)[4, 5]
 - 汎用化技術：データ収集ソフトウェアを再利用可能な部品として開発する。

トレーニングコース期間は分野により異なりますが、数週間程度実習形式の講義を受講した後に各自研究室に戻り開発を進める方法が採用されています。

次の第4節から第6節は各専門技術トレーニングコースに参加した受講者の方々による報告です。

4 ASIC トレーニングコース(浦)

8月1日～8月5日, 8月29日～9月2日の2週間 ASIC トレーニングコース(図2)に参加した。これは初心者にはハードルの高い ASIC 開発に必要な知識の習得を目的とした, ASIC 製作の実習セミナーである。ここでは, 本コースでの活動内容と, 私がそこで学んだことについて報告する。



図2: ASIC トレーニングコース実習風景

4.1 参加目的

私の ASIC トレーニングコースへの参加動機は LHC アップグレードに使用する μ 粒子トリガー検出器用 ASIC 回路の開発に向けた基礎を修得することである。

LHC-ATLAS 実験は, スイスの CERN で行われている大型加速器を用いた素粒子実験である。周長 27km にも及ぶ加速器は陽子を 7 TeV にまで加速し衝突させている。ATLAS 実験では素粒子の世界を記述した標準理論の検証を行い, ヒッグス粒子, 超対称性粒子など新しい物理現象の発見を目指している。

2022年に, LHC はより精密な測定を行うために瞬間ルミノシティを $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ から $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ へのアップグレードを予定している。その結果, 25 ns ごとに起こる 1 バンチ衝突あたりの陽子の衝突が約 20 個から約 400 個に上昇すると予想されている。ルミノシティの増加により, 一部の検出器は性能を上げる必要があるため, 加速器とともに検出器およびそれらの回路系のアップグレードが必要となる。その中で, Thin Gap Chamber (TGC) ミューオントリガー検出器は, 衝突数の影響を直接受けトリガーレートが上昇すると考えられる。よって, 現システムより緻密にミューオン飛跡を検出し, 放射線耐性に優れるミューオントリガーシステムが必要となる。私はミューオントリガーでとくに重要である, 飛跡信号と衝突とのタイミングの制御を行う回路の開発が不可欠と考えた。そこで, アップグレード後の LHC 実験のためのミューオントリガー検出器用信号処理回路 Patch Panel ASIC の開発を行いたいと考え, Open-It

のASICトレーニングコースに参加した。Patch Panel ASICは、TGCに粒子が飛来するまでの時間やケーブル長の差から生まれるタイミングのずれを調整し、後段の回路のためにパンチ識別を行う。ケーブル長差は最大で10mあり、時間にするると50nsのずれが生じる。飛行時間の差は、アトラス検出器の中心から最短の検出器と最長の検出器の距離で決まり、およそ20ns程度である。この差は補完しあうようにデザインされているため最大で~25ns程度のタイミング差が生まれると考えられる。このタイミング差を調整する回路がPatch Panel ASICである。

4.2 活動内容

このコースは、午前中は全コース出席者が同じ課題に取り組むための講義があり、午後は午前中の復習および各自が製作したいASIC回路の課題に挑んだ。デザインについては講師の方と十分に議論を行った。講義、実習の内容は2週に分かれており、基本的には1週目にシミュレーションを基にした回路設計、2週目にレイアウトとその検証を行い、デザインを固めた。シミュレーションおよびレイアウトの作成はすべてCadence社のDFIIというソフトウェアを使用した。

4.2.1 講義

講義は、Cadence DFIIのsetupから始まり回路設計、様々な解析法、最終的にはレイアウトまでを学びASIC開発に必要な知識を、段階を踏んで学べるよう構成されていた。午前中は講師の指示に従いながら、同様のシミュレーションを行ったため効率よく技術を習得できた。

インバータ、トランジスタ、ローパスフィルタを自作し、製作した回路を用い表1に示す解析を行うことで、回路の基礎、動作原理と実用化にあたっての注意点およびシミュレーション技術を身につけた。

表1: Cadence DFIIで可能な解析タイプと解析対象および例

解析タイプ	調べる内容 (得られる情報)	対象回路 (プロット)
TRAN	過渡応答 (時間応答)	インバータ (Vout - t)
AC	周波数応答 (ゲインと位相)	RC回路 (Gain/Phase - f)
DC	デバイスの静特性 (Vthと利得)	MOS (Id - Vgs, Id - Vds)

例として図3に示すインバータ回路をもとにTRAN解析を行う実習の一部を説明する。理想状態ではインバータの出力に容量はついていないが、現実には配線容量やインバータの出力が他の回路に接続されている。この影響が特性にどのような影響を及ぼすのかを容量値を変化させてシミュ

レーションをしてみる。その結果、容量値が大きくなればなるほどパルスの立ち上がりは遅くなりデジタル回路の動作速度が遅くなってしまふことがわかる(図4)。一般にこの容量は配線長/幅・トランジスタのサイズに比例することは容易に想像がつく。よってデジタル回路においてより微細なプロセスを使用することで、この寄生容量が小さくなり動作速度が速くなることが実感できる。これが半導体プロセスの微細化の原動力の一つとなっていることは周知の事実である。このような実習をおこなうことで、より深く回路および半導体プロセスについて理解できるようになった。

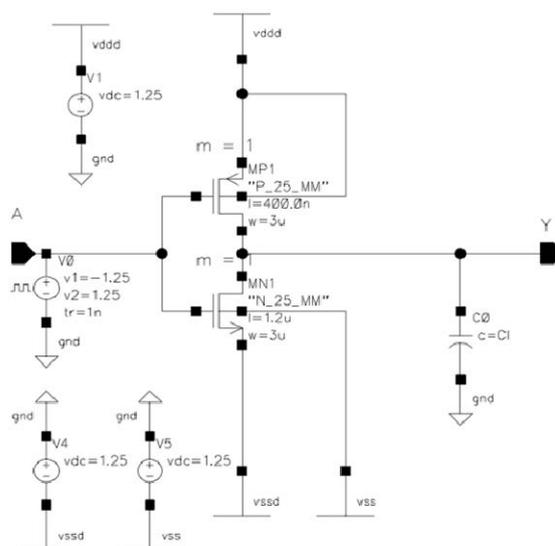


図3: 0.25μm NMOS/PMOSを利用したインバータ回路

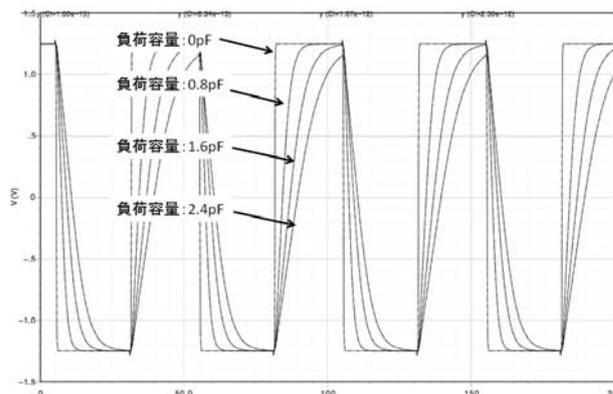


図4: 後段回路の静電容量の時間応答特性

4.2.2 実習

ASICの実習では、講師との議論を繰り返した結果、私の当初の参加目的であったPatch Panel ASICの製作をより発展させてTDC(Time to Digital Converter)の開発を行うことになった。Patch Panel ASICにも使われているPLL(Phase Locked Loop)の性能を追究し、TDCに活用することがその狙いである。可能な限りPLLのtime jitterを小さくし、時間分解能の良いTDCの製作を目的としている。さらに、PLLを利用した基本的なTDC、多重リングオシレー

タを用いた TDC, dual PLL を用いた TDC など, 複数の種類の TDC を作製し, 最適な TDC 回路を検証していくとともに, シミュレーションとの比較も行うことにしている。実習時に製作した TDC のための PLL 回路を図 5 に示す。

PLL を構成する回路の一部であるリングオシレータは, 前述のインバータが周状に接続されている。これらの複数のインバータの出力は“タイミングが遅延分だけずれている”ため, この一定時間分だけずれている複数のデジタル信号を使用し, デジタル波形を記録することで, “遅延分の時間分解能”を持った時間測定回路が製作できる(図 6)。

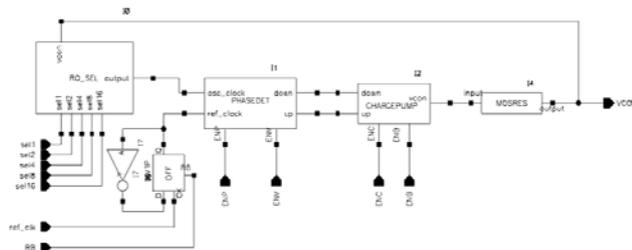


図 5: 実習で製作した PLL 回路

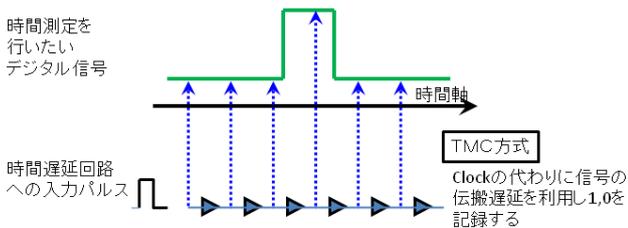


図 6: 時間遅延回路を用いた TDC の原理

4.3 今後の研究に向けて

初心者であった私は, 具体的な目標を持ちながらも, 不安を抱えてこのトレーニングコースに参加した。しかしそれは杞憂にすぎず, このトレーニングコースを通して多くのノウハウを身につけることができた。今後は, 現在シミュレーション中の TDC の設計を完成させ, 時間分解能, jitter などの基本性能評価を検証していく予定である。

また, 現在 TDC の回路構成に関しいくつかのアイデアを持っており, それら複数の TDC 回路を作成し, 様々な TDC を比較しその潜在的能力を検証していくつもりである。

LHC-ATLAS 実験のミュオン検出器は, TGC の他はガス検出器が主である。本コースで学んだ基礎をますます発展させ, TGC トリガーシステムの Patch Panel ASIC に留まらず, drift tube などのガス検出器の読み出し回路として利用可能な汎用 TDC 回路を作りたいと考えている。

5 PCB-FPGA トレーニングコース(山口)

KEK で行われた PCB-FPGA トレーニングコースに参加しました。トレーニングコースが行われた 2011 年 8 月 8 日から 8 月 12 日と現在までについての活動を報告します。

5.1 参加目的

私の所属するグループは新型検出器 (Micro Pixel Chamber) の開発を行っています。我々はこの検出器を CERN の ATLAS 実験に導入することを考えています。そのためには多チャンネルで高速読み出しをする必要があり, 現在使用しているデータ収集システムでは処理できませんでした。FPGA を用いればそれができるとのことでしたが, 私には FPGA に関して経験がなかったのでこのトレーニングコースへの参加を希望しました。

5.2 講習内容

このトレーニングコースは実際に FPGA を用いてデータ処理を行う人のためのコースと FPGA 技術を体験するためのコースが存在し, 私は前者に参加しました。トレーニングコースの全 5 日の日程のうち, 1 日目は FPGA の開発内容を伝えるため受講者の研究内容と開発内容の発表会を行いました。2 日目と 3 日目は体験コースと合同で, テストプログラムを FPGA にダウンロードし実際に動かすまでの一連の流れを学び, また基板を扱う上で必須である半田付けの実習が行われました(図 7)。4 日目には FPGA に関する講義があり, その後プログラムを自分で書く実習がありました。そして最終日に講師の方と個人面談が行われ, これからの開発計画についての打ち合わせをしました。



図 7: PCB-FPGA トレーニングコース実習風景

5.3 感想

私がこのトレーニングコースを受講して良かったところは受講生それぞれの開発に対しての手厚いサポートをしていただいたことです。

私たちトレーニングコース受講生は 10 人程集まったのですが, それぞれ別の研究室から集まっており研究対象は ATLAS 実験や宇宙線観測など様々でした。よってデータ収集に関して要求されるものはそれぞれ違います。そうなるのとトレーニングコースでは FPGA 技術に関して基本的なものを教えてもらい自分達の要求はコース終了後自分達で満

たす、という形式になりがちです。しかしこのトレーニングコースは、コース終了後も KEK に来て開発を完成させるまでがセットとなっています。具体的には受講後、講師との打ち合わせを行い開発内容、開発スケジュールなどを打ち合わせます。トレーニングコースが終わってからも、(講師の方とスケジュール調整は必要ですが)都合の良い時に KEK へ向かい、講師の指導のもと各自のデータ収集システムを作ることになります。こうすることで個人個人の開発内容を完成までサポートしてもらえます。

個人面談で嬉しかったことは開発内容に関してプロの目から見てもらえることでした。開発計画に対して手法、スケジュールや予算に至るまで細かく検討していただきました。私の場合、個人面談で「100MHz 程度で 256 チャンネルの入力に対してチャンネル情報と時間情報を出力したい」という程度しか決めていなかった開発の要望を話したところ、この内容だと KEK で開発している FPGA のボードが使用できるのでこれを使い、開発スケジュールは今年度より少し早いくらいだろう、と開発計画に対してスケジュールや予算を細かく検討していただきました。そして、まずは入力データをそのまま出力してそれから時間情報などをつけていけばよい、とこれからの開発方針までアドバイスをいただきました。最初はどうしたものかと開発に踏み出せずにいたのですが、細部まで話してもらい完成までの見通しが立ったように感じます。

またトレーニングコース後に KEK に出張し講師のもとで開発ができることも役立ちました。KEK で開発を進めることで、一日に数回状況を見てもらったり、つまりいたところがあれば相談に乗ってもらったりすることができます。講師には開発内容が伝わっているのでアドバイスは的確でスムーズに開発を進めることができました。

以上の点でこのセミナーに大変満足しています。開発計画を綿密に立て、完成に至るまで面倒をみてもらえる。ここまでやってくれるセミナーは他にはないでしょう。これから FPGA の開発を始める方に対してお薦めできるセミナーです。

6 DAQ-MW トレーニングコース(本多)

6.1 はじめに

6.1.1 目的

私は東北大学原子核物理に所属し、現在 Open-It の FPGA PCB 部門で SiTCP[6,7]を使った MPPC 用の読み出し回路の開発を行っています。Open-It のサポート体制のおかげで試作回路も完成し、順調に R&D が進んでいるのですが、データ収集系はハードウェアだけでなくソフトウェアまでを含めて、初めて一つのシステムになるため、ソフトウェア面を理解する必要があると考えました。そのため、DAQ-Middleware の利用方法を学び研究室に普及させるこ

とを目的として、今回の講習会に参加しました。また、それと同時に私自身はネットワークをベースにした DAQ の開発に関わるのは初めてのため、そのノウハウや手法についても学べたらという期待もありました。

6.1.2 DAQ-Middleware の利用先

現在私は J-PARC K1.8 ビームラインの実験グループに所属しており、Open-It で開発中の回路も、最終的に J-PARC E40 で K1.8 ビームラインにおいて使用する予定です。K1.8 ビームラインにはすでにネットワーク分散型の Hadron DAQ という DAQ システムが構築されており、現在運用中です。そのため、DAQ-Middleware を本実験で採用することはありませんが、私は DAQ-Middleware を、現在東北大学で主流の UNIDAQ に替わる試験実験の DAQ システムとして採用したいと考えています。

現在東北大学の私の研究室では試験実験を行う際に、通常 UNIDAQ を用います。試験実験用の DAQ PC 内には DAQ ソースやライブラリが整備されており、少ないソースコードの書き換えで目的に合わせた DAQ を構築することができます。UNIDAQ 自体は試験実験で用いるには便利なシステムですが、どうしてもスタンドアロンでの運用になってしまいます。また、以前から使用していたシリアルポートの VME マスターコントローラから徐々にネットワークに対応したコントローラに置き換えが進んでおり、それに合わせてソフトウェアもネットワーク分散型に対応したものに切り替えるのが自然であると感じます。特にオンラインアナライザーに関しては、最近では誰もが性能の高いラップトップ PC を所有しているため、試験実験であっても各々の PC 上でオンラインアナライザーを起動させるべきだと考えます。もちろん既存の DAQ システムをネットワーク分散型に対応させることも可能ですが、その開発自体に多大な労力を要するため賢明であるとは思えません。私も Open-It で開発した試作回路のテストベンチ用に簡単な DAQ を書いて使用していますが、これを拡張して汎用的な DAQ システムにすることは労力からして難しいです。

6.1.3 DAQ-Middleware を利用する利点

DAQ-Middleware は既にネットワーク分散型 DAQ システムとして整備されており様々な機能が提供されているため、システムのベースとして採用するのに最適であると考えました。Scientific Linux であれば yum で導入することが可能で、面倒な依存関係の解決などにユーザーが頭を悩ませる必要がないことも魅力の一つであると思います。また、高度にオブジェクト化が進んでいるため、DAQ コンポーネントレベルでブロックダイアグラムを描くのが非常に容易であり、ソフトウェアを使用する者にとって非常にありがたいことです。この様にユーザーにとって目的に合わせた DAQ

の構築が容易であるという点は、試験実験の様に短時間で準備する必要があり、同時に利用期間も短いという使用形態で力を発揮すると考えます。

6.2 活動内容

6.2.1 概要

DAQ-Middleware 講習会は 2011 年 8 月 3 日～5 日まで 3 日間の日程で開催されました。講習内容は大きく分けて 2 つです。1 つは DAQ-Middleware の説明と開発の仕方に関する講義(図 8)。もう 1 つは実習で、講習に使われたテキスト内の例題をもとに実際に DAQ コンポーネントを作成して動作させました。



図 8 : DAQ-MW トレーニングコース実習風景

6.2.2 学んだこと - DAQ-Middleware に関して

講義は DAQ-Middleware の技術解説書と開発マニュアルに沿って行われました。DAQ-Middleware はロボットシステムを構築するための RT(Robot Technology) Middleware をベースに構築されています。DAQ-Middleware にとってまず重要なのは、DAQ を構成する部品である DAQ component と、それを統括し制御する DAQ operator が存在することです。それぞれの DAQ component は以下に示す 3 種類のポートを持ち、データやコマンドの送受信を行います。

Service port
InPort
OutPort

Service port は DAQ component と DAQ operator 間のコマンドや状態の送受信のために利用されます。InPort と OutPort は DAQ component 同士のデータの送受信のために利用されます。InPort と OutPort を利用して流れるデータには header と footer が付与され、データの転送が正しく行われているかどうかの判断に利用されます。また、OutPort だけを持つ component を source 型、InPort だけを持つものを sink 型と呼び、それぞれ、データをハードウェアから取

得するフロントエンド、イベントビルドされたデータを受け取り記録するレコーダなどに利用できます。InPort や OutPort は複数持つことが可能で、イベントビルダーや、各 DAQ component にデータを振り分けるディストリビュータといった機能を実装することができます。

これら DAQ component をどの様に接続するかは XML ファイルによって記述されます。XML ファイル内で component を定義し、どのポートとどのポートを接続するかを記述します。この際 IP アドレスと port 番号も記載し、ループバックを指定すればローカル内で接続することができます。講習会ではローカル内で閉じた DAQ のサンプルが例題として挙げられていました。実際にサンプルモニター(オンラインアナライザー)を起動して、疑似データを流すエミュレータからデータを受け取って ROOT のヒストグラムとして表示させる機能を確認しました。

もう一つ DAQ-Middleware の重要な概念が状態の遷移です。DAQ component は DAQ operator からのコマンドで以下に示す 4 つの状態を遷移します。

LOADED
CONFIGURED
RUNNING
PAUSED

それぞれの状態に遷移する際に一度だけ呼ばれる関数が存在します。この内容をユーザーは自由に変えることができ、初期化などに利用します。また RUNNING 状態とその他の状態ではループする関数が異なり、RUNNING でループする関数には DAQ 機能の中心部分を記述することになります。DAQ operator はこれら状態遷移のためのコマンドの送信や、各 component の状態監視を行います。Operator の制御は CUI, GUI 両方で行うことができます。特に GUI を利用する場合 HTTP サーバを介するため、一般的な web ブラウザにコントローラを表示させて制御することが可能です。講習会では CUI を利用する“コンソールモード”とブラウザを利用する“web モード”の両方を使ってサンプル DAQ の制御を行いました。また、web ブラウザに表示するコントローラの例として、検出器の動作パラメータの管理なども同時に行えるような便利な機能をもったコントローラの開発も可能であるといった例が示されました。

6.2.3 学んだこと - 開発ノウハウに関して

講習会では socket 関数の利用方法や、ネットワーク DAQ を開発する際に覚えておくと便利な事柄についても講義がありました。その中でも特に私が興味を持ったことは tcpdump の活用でした。これまでローカルにおける各々の処理にどの程度時間がかかっているかを考えたことはありましたが、通信にどの程度時間を使っているかを考えたこ

とはありませんでした。私が目標とする試験実験での利用に関しては多点間を繋ぐということはありませんが、覚えていて損はないと感じました。実際、テストベンチ用の DAQ のパフォーマンスが十分ではないことがあり、何が悪いのかわからず困った経験がありました。その時はただ単純にネットワークを介したハンドシェイクに時間がかかっていただけだったのですが、tcpdump を使って通信にかかっている時間を調べればもっと早く解決できていたかもしれません。

6.3 まとめ

3 日間という短い期間でしたが、わかりやすい講習とサンプルプログラムのおかげで有意義な講習会でした。特に tcpdump の活用のような開発ノウハウも学べたことは非常に良かったと思います。今後は研究室に学んだことを持ち帰り、実際に試験実験で使うにはどうしたら良いかを考えるところから始めようと思います。デモや実際にテストベンチを組むなどして、来年度から運用ができればと思います。

この講習会に何か改善を希望するとしたら、演習の充実をお願いしたいです。今回はテキストに書かれていたサンプルプログラムを利用したので、ローカルだけで動作を確認できるようになっていました。ですが折角の講習会なので、実際にデータ収集用のハードウェアにアクセスしてデータを取得したり、参加者同士の PC を利用して分散 DAQ のデモをしたりするような機会があってもいいと思いました。参加された方の中には既に J-PARC MLF など DAQ 開発を担当されている方もいらっしゃったので、全員にとって意味のある演習にはならないかもしれませんが、私のような学生にとってはそういった経験をさせていただけるとより理解が深まるのではないかと感じました。また、そのような演習があることで参加者同士のコミュニケーションが生まれるため、参加者同士の交流もできたのではないかと思います。そういった点では、参加者同士もう少し積極的になるべきだったのかとも思いました。特に学生同士に関しては気軽に話しかけるべきだったかもしれません。

最後に、お忙しい中このような講習会を開催してくださった講師の先生方に深くお礼を申し上げます。ありがとうございました。

7 今後

ここで紹介した講習会は今後も継続して開催する予定です。Open-It の目的は“実験結果をなるべく早く世に出すこと”ですが、そのために人の交流と循環を活発にし技術やノウハウを蓄積すると同時に共有化することが必要だと考えています。なぜなら、各実験グループの限られたリソースを最大限に発揮することが出来るからです。この観点

から講習会の目標を考えると、Open-It で経験を積んだ若手が将来講師として若手教育に携わることだと考えます。近い将来に実現することを期待して活動を継続させて行きたいと考えています。

8 謝辞

今年度の講習会も数多くの方々に講師を務めていただきました。講師は研究機関スタッフだけでなく Open-It で活躍している学生も講師として参加しています。Open-It の活動はコミュニティの活性化を願う多くの有志により支えられています。メンバー全員をここで紹介することはできませんので今年度の講師の名を紹介することで感謝の意を表したいと思います。(五十音順、敬称略)阿部利徳(東大)、池田博一(JAXA)、池野正弘(KEK)、大下英敏(KEK)、片寄祐作(横浜国大)、神徳徹雄(産業技術総合研究所)、島崎昇一(KEK)、庄子正剛(総合研究大学院大学)、千代浩司(KEK)、高木雄太(横浜国大)、田中真伸(KEK)、長坂康史(広島工業大学)、林真一(東大)、房安貴弘(長崎総合科学大学)、藤井啓文(KEK)、和田正樹((株)Bee Beans Technologies)。

最後に Open-It の活動に理解して活動を支援していただいている高エネルギー加速器研究機構長と理事の方々、KEK 素粒子原子核研究所長と所属スタッフの方々、KEK 物質構造科学研究所長と計測システム開発室の方々、の皆様深く感謝いたします。この活動は加速科学総合支援事業の補助を受けております。集積回路開発教育活動は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し日本ケイデンス株式会社、シノプシス株式会社、メンター株式会社の協力を得て行われています。

参考文献

- [1] 田中真伸, 高エネルギーニュース **29-3**, pp.151-153, 2010.
- [2] 田中真伸, 日本物理学会誌 **66-4**, pp.290-293, 2011.
- [3] Open-It ホームページ, <http://openit.kek.jp/>
- [4] 長坂康史, 千代浩司, 技術総合誌「OHM」Headline Review, pp.6-7, 2011年9月号.
- [5] DAQ-MW ホームページ, <http://daqmw.kek.jp/>
- [6] T. Uchida, “Hardware-based TCP processor for gigabit Ethernet,” IEEE Trans. Nucl. Sci., **55**, pp.1631-1637, 2008.
- [7] SiTCP ホームページ, <http://e-sys.kek.jp/tech/sitcp/>

計測システム開発のためのエキスパート連携プラットフォーム： Open-It

田中真伸 <高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所 305-0801 つくば市大穂 1-1 e-mail: tanakam@post.kek.jp>

1. はじめに

本記事は、若手研究者や大学院生に読んでいただき、研究を進める上で参考になればと思います。本記事で取り上げている変化は、10年程度のゆっくりとしたスパンで、しかし、確実に進行している事実であり、その影響を大きく受けるのは皆さんであると思っているからです。

物理実験を行うものにとって、計測システムが重要であるという事実は、論を待ちません。素粒子原子核実験のみならず加速器を物質生命科学現象の解明に使用する分野においては、計測システムの先端化は、国際協力が進む中でアイデンティティーを発揮するための一つの重要な要素です。もっと根源的に、自然を理解するための実験データは、計測システムから出てくるため、その中身を理解する必要があるという意味でも重要です。

2010年4月、加速器科学及び関連分野での計測システム研究開発を対象としたエキスパート連携プラットフォーム (Open-It) を設立しました (図1参照)。Open-Itは、計測システム開発関連の教育やノウハウの共有と活用を目的とした、大学、研究所等、組織の枠を超えたエキスパートを結ぶネットワークです。近年計測システム開発を取り巻く技術環境は変化しており、単一プロジェクト内で全ての技術を網羅し、実験の整合性を考慮しながら開発を行うことは困難になりつつあります。そしてその流れの中で学生や若手の On-the-Job Training (OJT) の機会と教育が不十分で計測システム構築能力が低下するという問題が生じています。Open-Itはこうした状態を打開するために活動しています。活動の要点は、

- 実験プロジェクトの目的を達成するため、技術選択、計測システムの実現とそのノウハウの蓄積をエキスパートネットワークと連携し行うこと。
 - 上記の中で若手が主導権をとり活動することで、再利用可能な成果物・ノウハウを取り込み、実験グループへ持ち帰ると共に、Open-Itの中へ成果を残し、他の若手がそれを基盤として更に物理研究の先端へ肉薄すること。
- です。このような、実験技術の基盤を長期的に維持し将来につなげていくかという“研究成果にすぐに直結しない取り組み”も、実験を行う研究者自身が解決すべき問題だと思います。本稿では、背景、現状の問題点とそれに対する提案、及び将来について、本取り組みを例に書かせていただきます。ここまで計測システムという言葉定義無しに使用してきましたが、本稿では、放射線、光、粒子線等の検出器、及びその読み出しエレクトロニクス、データ収集(解析)システム、及び制御要素を含む意味で使用します。また、実験及び実験のための計測器開発等を含めてプロジェクトと呼ぶことにします。

2. 問題の所在

現在の問題点を明確にするために、高エネルギー加速器実験(素粒子原子核実験分野)での過去を振り返りながら論点を整理します。これは、実験分野全てに通ずる問題も含むと思いますので、特に若い方は自分に関係ないと思わず、一度立ち止まって考えてみていただくと幸いです。

当初高エネルギー加速器実験では、コストの制約の下、実験データから最大限の成果が出るように計測システムをそれぞれの用途に合わせ、研究者が自ら最適化しプロジェクトを遂行してきました。この時期、実験企画から終了までの期間は、一人の大学院生の入学から卒業までの期間と比較し同等もしくは短期間であり、教育も含めスタッフから学生、学生同士の知識の伝達及びOJTは機能していました。更に、産業界における技術革新の速度も現在ほど速くなく、実験等で積み上げられてきた成果物も一部は関連企業へ技術移転され再利用されていました。

現在では、プロジェクトの大小に関係なく、計測システムが極限状態(高放射線、高密度、高速度、多量データ、低消費電力、低温)で使用されるようになってきています。それに伴い、その構築に必要なとされる技術は、特定用途向け集積回路(Application Specific IC: ASIC)設計、実装材料・方法、Field Programmable Gate Array (FPGA)を利用した複雑なデジタル処理、高速データ転送、組み込みコンピュータ技術、ネットワーク分散処理システム構築技術

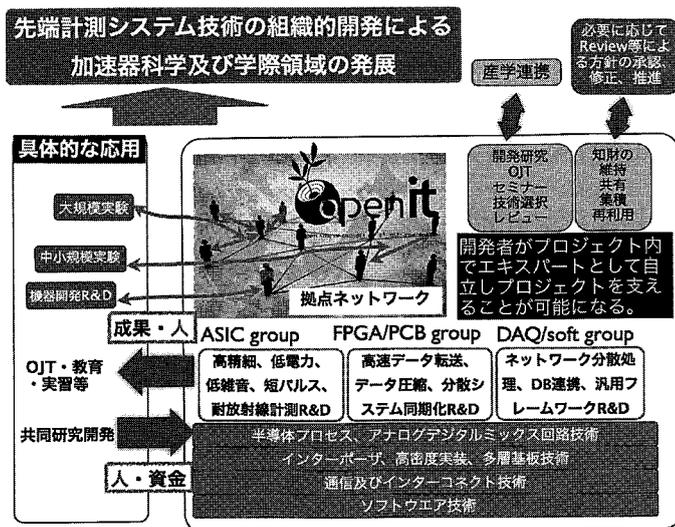


図1 Open-It.

等、以前にも増して急速に多様化、高度化の一途をたどっています。このような経緯から現在は、計測システムを構築する段階で、単一のプロジェクト内で技術の取捨選択・開発が容易でなくなり、ノウハウの蓄積が思うように機能せず、人材が不足し、更に実験装置の改良・維持のリスク・コストが増大する、という循環を繰り返す状況です。一旦この流れが常態化すると、計測システムの動作不良の際のデバッグ、簡単な改良にも影響を及ぼします。こうした種々の問題をプロジェクト単位で考えた場合、実験結果を出すという立場では、コンザーバティブにプロジェクトを進めざるを得ないため、現状を打開することは容易では有りません。ただ分野全体で中長期的にそのような対応を繰り返した場合、計測システムの改良（高度化）と我々に必要な技術の確保、更新の機会は漸減していきます。

3. エキスパート連携プラットフォームの構築

前述の流れの中で研究者自身がどのような役割を担ってきたかを明確にすることで、問題を解決する方法の糸口が見えてきます。計測システムを構築する場合、大きく分けて概念によるシステム設計とその概念を実際に形にするための技術選択の2つが必要です。それらの関係は物理モデルとそれを表現するための数学の関係に似ています。例えばノイズをどのように下げるか、実験環境下で不感時間を少なくするにはどうするかは概念で、それを実現するには前述の回路設計 ASIC 製作、FPGA プログラム、コンピュータ組み込み技術が必要になります。前述の流れをこの関係で眺めると、後者の急激な時系列での革新により技術のフォローに支障が生じ、その結果各プロジェクト単位で“研究者が自ら”前者と後者の間をつなぎながら計測システムを構築することが、研究者にとって困難となっていると言えます。

現在は、この困難を国際協力も含めたプロジェクト内連携と関連企業への設計製造依頼で解決しています。企業内ノウハウに頼る場合、維持コストは高価になり、採算性重視の会社側と、計測システムの先端化によるブレークスルーを狙う研究者側の立場の違いで、新規開発が不可能という場合も起こります。一方外為法等国際間取引に関する規制を論点から外せば、国際協力によって問題を解決することは可能かもしれません。しかし、対等な国際協力でプロジェクトを成功に導くためには、計測システムへの理解度が充分である必要があります。何より国際協力の中で積極的に活動するには、実験に合致する計測システムの概念設計、技術の適切な取捨選択と開発において、研究者としての実行力が必要です。

生み出された計測システムを部分的にでも再利用・発展させる場合、論文を補完するための有形無形の情報が必要になります。これらの有形無形の情報は、各研究者（エキスパート）によって維持されており、Open-It ではそのエキスパートが組織/プロジェクト/研究分野を超えたネット

ワークを組み、その中で、実際のプロジェクトを遂行する研究者を育てること (OJT) で、ノウハウの引き継ぎを可能にしたいと考えています。また Open-It 内のプロジェクト開発者間の連携が密になることで、プロジェクト間の人材・知識の流動化と長期的維持が容易になり、更には成果物の他のプロジェクトへの転用や、複数の成果物の融合による技術的ブレークスルーが発現すれば、よりプロジェクトを効果的に遂行できるようになります。このような活動はプロジェクト側のみの利益だけでなく、エキスパート側にも新しいニーズとの連携によって活動の場が広がり、エキスパート間の連携により新しい知見がもたらされるという利益をもたらします。こうした活動の中で、多くのプロジェクトとの連携を強め計測システムへの要求を大局的に知り、そのベクトルの向きをとらえながら多くの技術的選択肢から適切なものを選択し、ニーズが明確な技術シーズの研究開発を推進することが可能になります。こうして、多くの拠点間及び実際のプロジェクトとの結びつきを強め、その中で少ないリソースで且つリスクを最小化すると共に、システムティックな研究開発が可能になります。

4. Open-It の活動形態

一口で枠組みと書きましたが、情報共有や開発のしやすさ等に関しては、一極集中のほうがネットワークを作りやすく、コミュニケーション、ノウハウの蓄積・使用も容易であるという考え方もあります。しかし、前述のように必要技術の広範囲且つ多様な変化に対応するためには、機動性と柔軟性を持つことが必須です。よって単一プロジェクトですべてをカバーするよりも、プロジェクトを超えたネットワークを通じ、人材育成をエキスパートの助力を受けて行いながら、よりよい連携の方法を模索するべきであると考えています。Open-It の形態は拠点と呼ばれる有志のネットワークとなっており、その中で技術の方向性等の議論を行いつつ、拠点のネットワークがプロジェクトの開発者を教育、技術協力をしながら、プロジェクト側が主体となって設計・開発を行っています。どのようなプロジェクトが参加しているかに関しては、ホームページをご覧ください。

Open-It の活動方針で重要な点を2点挙げます。

- 各プロジェクトに属する研究者が主体的に開発を行い、その開発の成功率を向上させるため、Open-It は個々の拠点の特徴を生かし開発の協力を行う。よってデザインのみ案件にも適応されます。
- 成果は再利用できる形で Open-It へフィードバックされる必要があること。

1 番目のポイントは、このネットワークの中で“自分たちで実験を成功させたいという強い意志を持ったプロジェクト側の人間”と“アプリケーション知識と技術を持ったエキスパート”が、それぞれの特徴を生かしながら各プロジェクトに対し開発を円滑に進めることを目指しています。2 番目のポイントは、単純な再利用のみでなく、実績ある

技術が使用可能という付加価値を持ち、開発期間を短くすることを可能にします。更に既存の技術に新しい機能を付け加えて改良を重ねることもできるので、低リスクで機能を高度化することが可能となります。つまり回路を例にとれば、初心者は、既存の回路を参考にして回路設計の学習をすることができ、経験者は、新しい高度な回路設計に専念することができます。このように開発効率を向上させることでマンパワー不足などの潜在的問題を解決し、より高度な計測システムの構築を目指しています。

Open-It は、上記をふまえ、図1に示す4つの技術ベースに大きく分類し、連携を取りながら開発・教育等を行っています。この取り組みは、まだ始まったばかりであり、内容は変化し発展していくべきで、やる気の有る方はぜひ共に活動し、より発展させていただければと思います。以下ASIC 関連技術、FPGA-PCB 関連技術、DAQ ソフトウェア技術のそれぞれについて現状を説明します。

ASIC 関連技術は、理解すべき内容が多岐にわたっていることで、初学者に取って参入のしきいが高い、及び開発時のコストに対するリスクの割合が他の技術と比較し高いことによって、我々に必要な技術では有りながらもなかなか普及しなかったものです。これを解決するため、初学者向けにセミナー及び開発トレーニングコースをエキスパートによって実施しながら、技術を使いこなせる人間を増やし(図2参照)、経験者もしくは目的がはっきり決まっている学生、研究者には、エキスパートの指導のもと実用化を目的とした開発を主導してもらっています。拠点には東工大工学部等の他分野との共同研究を含むエキスパートネットワークのもと、学生、若手スタッフのOJTを行っています。

具体的には、高機能ピクセル検出器、カロリメータ用広ダイナミックレンジ増幅器、低雑音低温動作多チャンネルフロントエンド集積回路、高速波形記録集積回路、及び関連技術(実装技術、材料等)を含む高集積、耐環境性を持った計測システムの開発を念頭におき活動をしています。

FPGA・PCB 技術においては、コンピュータ関連技術のように発展が激しい民生分野の技術をスムーズに、計測システムに取り込むことを中心に活動を行っています。具体的には高速ネットワークを使用した分散型データ収集制御システム(センサーネットワーク)や、その実装技術であるアナログ・デジタル混載技術、FPGA の高度利用化を中心とした実験独自のデータ処理転送システムを、実験プロジェクト、東大、KEK 等が連携し活動を行っており、現在、高精度時間計測、ネットワーク技術、高速データ転送、大容量メモリ制御、組み込みCPU 技術などの要素技術を保有する各拠点とプロジェクトが連携することで高機能、高性能な読み出しシステムの構築を目指しています。

ソフトウェア技術に関しては、前述のセンサーネットワークにおけるデータ収集と制御を統合するソフトウェアフレームワークの開発応用が重要と考え、開発・普及活動を開始しています。このフレームワークは、産業技術総合研究所との共同研究で開発されており、一部はすでにJ-PARC 物質生命科学実験施設の実験で稼働しています。更に検出器ビームテスト、高エネルギー実験への応用などを目指して、大阪大学核物理研究所や他の実験プロジェクトと共同して開発を進めています。また、このフレームワークの柔軟性を生かし、稼働中のKEK 放射光ビームライン制御用ソフトウェアと連携させ、今秋からデータ収集を開始する予定です。更に広島工業大学等との連携により学際領域での展開も模索中です。



図2 教育と開発に関する活動内容。

5. 将来の展望

2010年初夏に80名を超える参加者を迎え、Open-Itのワークショップを開催することができました。(図3及びホームページを参照のこと)ワークショップには、素粒子原子核分野のみでなく、放射光・中性子・ミュオンなど加速器を使用した物質構造生命科学研究分野と加速器分野、宇宙線、地球科学、電気電子工学、ロボティクス、情報工学分野の方達にも参加していただき、拠点の活動・学際領域での活動や教育等の発表と質疑討論が行われました。また、大学院生・若手スタッフも議論に加わり有益な意見の交換ができ、大変有意義なものになっただけでなく、多くの方と問題点を共有することができました。次回のワークショップでは、このOpen-Itの進め方に関して議論等を行うことにしています。今後、どのようにエキスパート間の連携



図3 Open-It 2010にて.

を強力にしていけるか、それらをどのようにサポートしていくか、Open-It内で活躍する若手のやる気を更に引き出すにはどうすればいいかなど解決すべき点はまだまだあります。多くの方々に協力をさせていただきながら、これらの課題をひとつひとつ解決し進んでいけば、今後、自分のプロジェクトをもう一段高い立場から検討できる若手諸氏にバトンが渡せるものと思います。

6. 最後に

個々のプロジェクト内で問題を解決できる時代は終わりを告げました。私も含め過去の方法になじんでしまった者は、なかなかその殻を破ることができません。しかし、プロジェクト及び研究分野を超えた若い研究者の主体的な参加と実際の研究開発(研究会ではなく)を基にした交流は、将来を明るくする要因であり、現在その可能性を感じつつOpen-Itの活動を続けています。この流れを止めないような活動を継続するには、組織/プロジェクトを超えてネットワークに参加している個人、グループの方々にエンカレッジするように、コミュニティーとしてサポートしていく必要が有ります。その延長線上には、そこにニーズとシーズが集積・結合し、より魅力的なプロジェクトのアイディ

アが生まれ、そのコミュニティーが発展していくという良いフィードバックが生まれていくことが期待できます。

この紙面には書き尽くせない多数の方々のご尽力により現在のネットワークが存在します。特にOpen-Itの拠点の方々には、高い立場から御自身のプロジェクト外への協力をいただいております。ここに名前を記して感謝を表します(あいうえお順、敬称略)。味村周平(大阪大学)、池田博一(JAXA)、池野正弘(KEK)、内田智久(KEK)、窪秀利(京都大学)、神徳徹雄(産業技術総合研究所)、岸本俊二(KEK)、坂本宏(東京大学)、佐々木修(KEK)、中家剛(京都大学)、長坂康史(広島工業大学)、仲吉一男(KEK)、房安貴弘(長崎総合科学大学)、松澤昭(東京工業大学)。また、この活動に共感していただき、Open-Itと連携し開発を進めているプロジェクト関係者の方々にも、深く感謝いたします。最後に、この活動に理解を示し活動の後押しをしていただいている素粒子原子核研究所所長と所属スタッフの方々、物質構造科学研究所所長及び計測システム開発室の方々、高エネルギー加速器研究機構長を始め理事の方々に深く感謝をいたします。この活動の一部は、加速器科学総合支援事業によって補助されています。また、集積回路開発教育活動は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し日本ケイデンス株式会社、シノプシス株式会社、メンター株式会社の協力で行われています。

本活動に関しご意見、ご提案等ございましたら、下記のホームページをご覧ください。ご意見等を書き込むか田中へメールを送っていただければ幸いです。活動をよりよい方向へ向かわせるためにご協力をお願いいたします。

参考リンク

Open-It ホームページ <http://openit.kek.jp/>

OpenRTM ホームページ <http://www.openrtm.org/>

(2010年10月4日原稿受付)

応用物理 第80巻 第4号(2011年4月号) 予定目次

特集: 照明

巻頭言: 次世代照明としてのLED, 有機ELへの期待

赤崎 勇

解説

次世代照明開発の現状..... 菰田卓哉

照明用光源の測光, 測色技術..... 岩永敏秀

有機EL素子の光学解析技術と高効率化手法..... 三上明義

照明用途に向けた蛍光体..... 中西洋一郎

最近の展望: 有機EL照明の開発..... 北 弘志

研究紹介

マルチフォトン型有機EL素子..... 夫 勇進, 城戸淳二

新しい電流励起用有機発光材料の創製: 高効率な三重項から

一重項励起準位への逆エネルギー移動の実現へ

..... 安達千波矢, 他

蛍光体フリー白色・多色発光ダイオードの開発

..... 船戸 充, 川上養一

酸化亜鉛紫外LEDの開発とその材料科学

..... 中原 健, 川崎雅司

AlGaIn系深紫外LEDの進展と展望..... 平山秀樹, 他

量子ドット分散ガラス蛍光体の開発..... 村瀬至生

有機色素分散型EL素子の開発..... 佐藤利文

基礎講座: 結晶構造とX線回折..... 表 和彦