

■ 研究紹介

Open-It 活動報告

KEK 素粒子原子核研究所

内田 智久

uchida@post.kek.jp

他 Open-It 世話人会

2013 年 11 月 11 日

1 Open-It

1.1 はじめに

Open-It [1-4]とは2010年4月に設立された計測技術の専門家ネットワークです。活動に賛同してくれた有志の方々により運営され現在は技術教育を中心に活動しています。設立目的は計測システム開発者間の情報共有を進めることで次世代加速器科学とその周辺領域の発展に貢献することです。この目標に近づく第一歩として若手を対象とした教

育と実験分野を超えてつながる専門家ネットワークによる開発を進めています。若手を対象とした教育は座学だけではなく実際に実験に使用する計測機器を専門家とともに開発を進めながら学ぶ方法を取り入れています。また、専門家ネットワークによる開発を支援するために実験分野を超えた人々が参加できる研究会などを企画開催しています。この文章では設立以来4年間の活動紹介と報告を行います。



図1 先端計測エレクトロニクス DAQ セミナー集合写真 (撮影: KEK 素核研 小森)

1.2 設立背景と目的

加速器科学や関連領域の実験において必要とされる計測システムにおいてエレクトロニクス技術は必要不可欠な存在となっています。国際競争を勝ち抜くために必要とされる計測装置のエレクトロニクス性能は高いので開発難易度が非常に高くなっています。この高い性能要求に応えるために産業界で開発された最新技術を採用する必要があります。産業界の技術発展速度は速く10年間同じ技術を使い続けることはないとと言っても過言ではありません。新しい技術は過去の技術の上に蓄積され発展するので、過去の技術知識をすでに持っていれば新しい技術習得は比較的容易です。しかし、過去の技術知識がないと学習の初期段階で必要となる知識量が非常に多くなるため習得が難しくなります。さらに計測システムを開発する若手の専攻は科学であり技術ではありません。このような状況で若手が専門外の知識や技術を短時間に独学で習得することは困難です。たとえば、修士課程の学生では専攻の専門知識に加えて専門外である技術知識についても実質1年以内に習得しなければ修士課程の研究として装置開発を進めることができません。技術は今後も発展し続けると考えられますので、この状態を放置すればこの問題は今後さらに顕著になると予想されます。

限られた人材や期間でこの状況を打開するためには技術情報を共有することが有効だと考えます。技術習得を困難にしている理由は技術発展の速度が速いことと膨大な情報から必要な情報を選択する難しさです。計測技術は複合技術なので様々な知識が必要です。たとえばハードウェアの開発を行っていても動作を確認するためにソフトウェアを使用するのでソフトウェアに関する知識も必要になります。また、実験により採用する技術が大きく異なることも開発を難しくしています。なぜなら開発に必要な知識と技術をエレクトロニクス分野全体から探し出して学ぶ必要があるからです。エレクトロニクス分野で使用される技術は広範囲に及んでいるので初学者が限られた時間内で必要な技術を見つけ習得することは簡単ではありません。この状況を改善する一つの方法が専門家と学習者間の技術情報共有です。すでに技術を習得している専門家の最新知識と学習者が学習過程で学んだ知識を共有することで学習者が技術レベルに応じた情報を得ることができます。装置を作り上げる時にはノウハウと呼ばれる技術知識が重要になりますが、ノウハウの内容は論文などでの発表に適さないので公表されることはほとんどありません。このような公表されない知識も専門家と学習者間で技術情報共有を行うことで可能になります。従って情報共有により開発上の失敗を少なくすることができます。また学習者が開発途中の開発情報を他の学習者と共有することで各自の習得度に応じた情報を得

ることもできます。このように共有化により非常に効果的に学習することができます。専門家と学習者が線でつながるのではなく面につながることによって装置開発力を強化することができるのです。特に小規模実験グループなどで単独で開発していた開発者を強力に支援することが出来ます。各所に散在している知識を共有化することで計測システム開発力を強化することがOpen-It活動の特徴です。この共有化を推し進めるためにOpen-Itではいくつかの教育活動と連携を支援する仕組みを提供しています。

2 教育

2.1 Open-Itでの教育活動

教養、実技、実践の段階ごとに特に若手を対象とした教育活動を行っています。

1. 講義形式の技術教育（教養）
2. 実習形式の実践導入教育（実技）
3. 実際に開発を行うことで教育を行う実践的教育（実践）

講義形式の技術教育として計測技術に関する知識を習得するための“先端計測エレクトロニクスDAQセミナー”を毎年開催しています。近年、大学では専攻ごとに講義が専門化した結果、学部や大学院で計測技術やエレクトロニクスに関する講義を開講する専攻が減少しています。コンピュータなしでは解析や書類作りができなくなっているにもかかわらずコンピュータの動作原理を教える講義やソフトウェアのプログラミングに関する講義がなくなっています。そこで、計測システムの観点からエレクトロニクス技術の基礎講義を毎年5日間の連続講義として行っています。この講義を受講することでエレクトロニクス技術の基本を習得することができます。

実習形式の実践導入教育として実習を中心とした教育であるトレーニングコースを開催しています。現在は次の3つの技術に関して開催しています：①特定用途向け集積回路(ASIC)技術、②書き換え可能集積回路(FPGA)技術、③データ収集ソフトウェア(DAQミドルウェア)技術。それぞれの技術を用いて開発する時に必要となる基礎知識や開発時に必要となる開発ツールや開発手法などを習得することができます。

実践的教育として各実験グループで装置開発を行っている若手に対して技術支援を行っています。若手が専門家から技術的な助言などを得ながら開発を進めることで技術習得を行う教育方法です。開発期間は開発内容により数ヶ月から数年におよぶ開発プロジェクトまで様々です。継続中のプロジェクトも多数ありますがすでに多くのプロジェクトがこの教育プログラムで装置を開発し実験を行っています。

2.2 先端計測エレクトロニクス DAQ セミナー

Open-It メンバーを中心とする講師の方々を招き講義形式で毎年開始している 5 日間のセミナーです。内容は計測システムの概論、アナログ回路技術、デジタル回路技術、データ収集ソフトウェア技術などのエレクトロニクス技術に関する内容を中心とした講義に加え各分野の第一線で活躍している方々による技術や装置の紹介や若手による開発経験談まで幅広く聴くことができます。また、様々な分野から若手が参加していますので異分野間の若手交流の場にもなっています。

図 1 は 2013 年度開催時に撮影した集合写真です。2013 年度は約 130 名の参加者を迎えて KEK 小林ホールで開催されました。本年度のプログラムを以下に示します。

- 7 月 1 日：計測システム講演—先端開発, 基礎, 応用—, 講師 安藤慶昭(産総研), 池田博一(ISAS), 大島武(JAEA), 田中宏幸(東大), 西田昌平(KEK IPNS), 宮崎聡(NAOJ), 宮原正也(東工大)
- 7 月 2 日：CMOS プロセス, エレクトロニクス入門, 講師 房安貴弘(長崎総合科学大学)
- 7 月 3 日：デジタル回路, FPGA 入門, 講師 坂本宏(東大), 内田智久(KEK)
- 7 月 4 日：データ収集システム入門, 講師 中谷健(J-PARC Center), 千代浩司(KEK), 藤井啓文(KEK)
- 7 月 5 日：ASIC 製作, FPGA 製作の実際
座長および講師 田中真伸, および過去の受講者の方々(水谷圭吾, 上野一樹, 庄子正剛)

2.3 トレーニングコース

2.3.1 ASIC トレーニングコース

ASIC (Application Specific Integrated Circuit) とはユーザーが設計した回路に応じてチップとして製造される集積回路のことです。



図 2 ASIC トレーニングコース@名古屋大学 実習風景

図 2 は名古屋大学での実習風景です。本コースでは ASIC を開発するために必須となる技術や開発ツールについての

知識を習得することができます。2010 年度から現在まで延べ 100 名以上の方が受講し ASIC 開発技術の初歩を学びました。

ASIC 技術は計測器システムの電気回路(特にアナログ回路)を集積化する時に使用する技術です。ASIC を製造するためにはアナログ回路の知識に加えて ASIC 開発独自のツールと呼ばれるソフトウェア群を使わなければいけません。また、一定の手順に従って開発を進める必要があります。ASIC を開発するために必須となる基礎知識を講義により習得し、開発ツールについては実際に操作しながら実習により習得します。本年度のプログラムを以下に示します。

- 1 日目 (シミュレーション実習)
 - DC, AC, トランジション解析とトランジスタと ASIC を構成するいくつかの基本要素の理解
- 2 日目 (シミュレーション実習)
 - 簡単な増幅回路の設計およびシミュレーションによる特性解析とノイズ解析
- 3 日目 (レイアウト・検証ツール実習)
 - 半導体プロセスおよび素子の構造。レイアウトおよび検証の設計過程

2010 年度から 2 年間は KEK のみで開催していましたが 2012 年度から Open-It メンバーが所属する各大学の協力を得ていくつかの大学で開催しています。2012 年度は名古屋大学, 東北大学, 京都大学 (開催順) で開催しました。2013 年度は名古屋大学, 核融合研 (開催順) で開催されました。12 月には KEK で開催されます。

2.3.2 FPGA トレーニングコース

FPGA (Field Programmable Gate Array) とはユーザーが回路情報を自由に書き換えることができる集積回路のことです。ユーザーが設計した回路情報をソフトウェアのようにその場で FPGA ヘダダウンロードすることができるので回路を簡単に変更することができます。



図 3 FPGA トレーニングコース@東北大学 実習風景

図3は東北大学での実習風景です。本コースではFPGAに実装する回路を開発するために必須となる技術や開発ツールについての知識を習得することができます。2010年度から現在まで延べ250名以上の方が受講しFPGA開発技術の初歩を学びました。

FPGA技術は計測器システムのデジタル回路を集積化する時に使用する技術です。FPGA回路を開発するためにはデジタル回路技術の知識に加えてFPGAメーカー独自の開発ツールに関する知識が必要です。基礎知識を講義により学び、開発ツールについては実際に操作しながら実習により習得することができます。本年度のプログラムを以下に示します。

- 1日目
 - フロントエンド部とデジタル回路の特徴
 - 組み合わせ回路入門
 - 実習 Verilog-HDL 記述 I
 - 実習 Xilinx 社 ISIM を用いた論理シミュレーション I
 - 実習 Xilinx 社 ISE14 を用いた FPGA への実装
- 2日目
 - 順序回路入門
 - FPGA の構造
 - 実習 Verilog-HDL 記述 II
 - 実習 Xilinx 社 ISIM を用いた論理シミュレーション II
 - 実習 Xilinx 社 ISE14 を用いた FPGA への実装
 - 演習
 - DCM の実装方法: Core-Generator の使い方

2010年度から2年間はKEKのみで開催していましたが2012年度からOpen-Itメンバーが所属する各大学の協力を得ていくつかの大学で開催を行っています。2012年度は大阪大学、京都大学、東北大学、名古屋大学、広島工業大学（開催順）で開催しました。2013年度は名古屋大学、広島工業大学、東北大学で開催されました。今後、11月に大阪大学、1月に九州大学、2月にKEKで開催予定です。

2.3.3 DAQ-MW トレーニングコース

DAQ-MW (DAQ ミドルウェア) [5, 6]とはネットワーク分散環境でデータ収集用ソフトウェアシステムを構築するためのソフトウェア技術のフレームワークです。

DAQ-MW はロボット制御用に開発されているRT-Middleware (Robot Technology Middleware)をベースとして使っています。複数のDAQコンポーネントがネットワークを通じて通信しながら協調的に動作することでデータ収集を行います。データ収集システムではデータを収集

する機能の他にも、データ収集スタート、ストップなどのランコントロールおよび実験パラメータを設定する機能が必要になります。DAQ-MWではこれら実験特有の機能も提供していますので簡単にDAQシステムを構築することができます。



図4 DAQ-MW トレーニングコース@広島工業大学 実習風景

図4は広島工業大学での実習風景です。本コースではTCP/IPを用いたネットワークプログラミングなどの基礎知識からDAQコンポーネント作成法などの応用技術まで幅広く習得することができます。2010年度から現在まで70名以上のかたが受講し学びました。本年度のプログラムを以下に示します。

- 1日目
 - データ収集システム概論
 - DAQ-Middleware 概論
 - DAQ コンポーネント開発講義
 - リードアウトシステム紹介
- 2日目
 - ネットワークプログラミング
 - 実習

2010年度から2年間はKEKのみで開催していましたが2012年度からOpen-Itメンバーが所属する各大学の協力を得ていくつかの大学で開催を行っています。2012年度はKEK、大阪大学（開催順）で開催しました。2013年度はKEK、広島工業大学で開催されました。

2.3.4 4年間の成果

プログラムが評価されていれば受講者数が年々増加すると考えられるので、教育プログラム評価の指標として受講者数の年推移を次に示します。

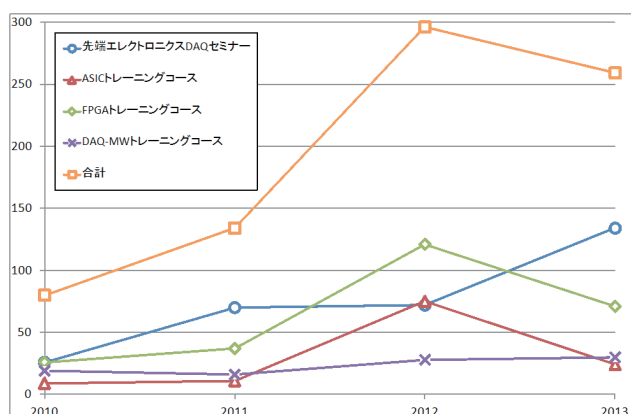


図5 Open-It 教育プログラム受講者数年推移

図5は過去4年間の参加者数遷移のグラフです。この4年間で延べ人数750名を超える若手がOpen-Itの教育プログラムを受講しました。執筆時において終了していない2013年度トレーニングコースの値は予想値です。過去の人数を参考に予測人数を加算してグラフを作成しました。図から全般的に増加傾向であることが分かります。2012年に大きく参加者が増えていますが、これはOpen-Itメンバーが所属する各大学でトレーニングコースを一斉に開催したことが直接の理由です。2013年度のトレーニングコース受講者が減っていますが、これはトレーニングコース開催地の数が少なくなったためです。少なくなった理由は開催地により毎年開催する必要がないためです。

先端エレクトロニクスDAQセミナーの受講者数に注目してください。毎年増加しており2013年度は130名を超す受講者数となりました。この増加はOpen-Itの活動が広く知られるようになったことや受講経験者の評価が現れていることが理由だと推測しています。これらの受講者数の増加傾向は技術教育の必要性の高さとOpen-Itの教育活動に対する高い評価を示していると考えられます。

2.4 開発プロジェクト

装置開発を進めている若手を専門家が技術支援することで技術習得を行う学習プログラムです。

計測装置開発は様々な技術を使用する複合技術であり必要とされる知識の範囲が広いので必要十分な知識を短時間で学ぶことが難しいです。実験スケジュールなどの時間的制約もあり十分な時間をかけて学習した後で装置開発を始めることは事実上不可能になっています。開発期間が限られている状態で初学者が開発を始めると十分に検討を行わずに先へ進めて思わぬ失敗を起してしまうことがあります。時には何度も繰り返してしまうこともあります。限られた知識で限られた期間で開発を進めなければいけないのでこのような失敗が起きてしまいます。失敗を引き起こす原因は必要な知識が十分ではないために知らない落とし穴に気

が付かないことが大半です。このような失敗を少なくするためには広い知識を持った経験者から助言をもらいながら検討を繰り返すことで開発を進める方法が効果的です。そこで、装置開発を実際に進めている若手を対象にOpen-Itに所属する専門家から技術的な助言を受けることができる技術教育プログラムを行っています。時には専門家と共に問題解決を行いながら装置を完成させることもありますが、開発するのはあくまで若手、実験グループであり専門家は技術的な相談相手として開発を進めます。

現在活動中の開発プロジェクトを技術分野で分類すると以下4つになります。

- ASIC
 - プロジェクト数 16 (10)
- PCB-FPGA
 - プロジェクト数 29 (9)
- Software
 - プロジェクト数 4 (2)

プロジェクト数は累計、括弧内数字は終了したプロジェクト数です。

4年間で49の開発プロジェクトが進められ、その中の21のプロジェクトが終了しました。開発の中心的な役割を果たした人が大学の教育職に就く事例も現れていますので今後はさらに教育プログラムの効果が現れると期待しています。

3 交流

Open-Itでは開発者間の連携を支援する活動を行っています。この活動の一環として実験分野が異なる装置開発者間の交流の場として研究会を開催しています。通常実験グループで装置開発を行う時期は建設期に限られますので他グループと装置に関して議論や情報収集する機会が少なくなります。なぜなら同じ分野で同じ時期に装置開発を行っている人数が少ないからです。このような状況で開発上の問題が発生した場合、限られた人数で解決しなければならなくなります。しかし、装置開発の視点から他分野を見るとこの状況を変えることが出来ます。分野が異なっても計測機器として類似の技術を使用していることが多いので他分野の装置開発者が解決方法を知っている可能性があるからです。このような可能性を増やすために様々な分野で装置開発を行っている人々が交流する機会として装置開発をテーマとした研究会を開催しています。将来はこの研究会により分野を超えた新しい技術開発が始まることを期待しています。

Open-Itでは専門家間の交流を支援するために二つの研究会を毎年開催しています。

- 計測システム研究会
- 若手の会研究会

計測システム研究会は様々な分野で活動する装置開発者が一堂に会して議論できる他に類を見ない研究会です。本年度は岐阜県土岐市の核融合科学研究所の主催で7月10日から二日間45名の参加者を迎えて開催されました。講演者の活動分野は加速器科学以外に天文、宇宙線、そしてプラズマ物理など多岐にわたります。この研究会は Open-It 設立時に Open-It の研究会として始まりましたが、2011年から名称を現在の計測システム研究会と改め対象を Open-It 関係者から装置開発に携わる全ての方々へ広げて開催しています。

若手の会研究会は Open-It 若手の会が主催する若手装置開発者を対象とした研究会です。Open-It 若手の会は若手間の情報共有を進めることで研究開発を活発にすることを目的として活動している会です。運営は会に所属する学生や若手職員により行われています。若手のみで構成されているので初歩的な技術相談や助言なども気軽に教え合うことができる雰囲気が作られています。ここで教え合った情報も Web やメーリングリスト上で共有されています。小規模の実験グループでは若者が一人で装置開発を進めていることも珍しくありませんが、そのような場合でも問題が発生した時に相談することができる若手の会は現場の技術力を支える重要な役割を担っています。この若手の会が主催する研究会が毎年開催されています。本年度は10月10日から3日間、富山で20名の参加者を迎えて開催されました。この研究会については本紙に別の記事として掲載されていますので詳細についてはそちらの記事をご覧ください。

4 まとめ

過去4年間の Open-It の活動について報告しました。この4年間で Open-It 教育プログラムを受講した方は750名を超え、約50の開発プロジェクトが進められました。開発プロジェクトの約20のプロジェクトはすでに終了し開発された装置は実験で使用されています。教育プログラム参加者数の年推移は増加傾向にあり今後も増えると予想されます。これは Open-It が進めている技術教育プログラムへの期待と評価が現れた結果と考えています。

今後は今までの技術教育活動に加え新技術開発プロジェクトを Open-It メンバー間の連携により進めることができるように活動する予定です。

最後に Open-It の活動を理解して支援していただいている方々に感謝します。特に装置開発に興味を持ち教育プログラムに参加した若手の方々、Open-It メンバーや各分野の皆様へ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います。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の皆様へ深く感謝いたします。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、メインター株式会社の協力を得て行われています。

Open-It 世話人会

Open-It 世話人会は活動に賛同している有志の方々により構成されています。活動内容や方向性などについての議論を行っています。構成員は以下の方々です(五十音順): 味村周平(阪大), 阿部利徳(理研播磨), 石徹白晃治(東北大), 内田智久(KEK), 窪秀利(京大), 小嶋健児(KEK), 戸本誠(名大), 長坂康史(広工大), 花垣和則(阪大), 早戸良成(東大), 房安貴弘(長崎総合科学大), 宮原正也(東工大), 三輪浩司(東北大)

参考文献と関連 Web サイト

- [1] Open-It Web サイト, <http://openit.kek.jp/>
- [2] 田中真伸, 高エネルギーニュース **29-3**, 151 (2010).
- [3] 田中真伸, 日本物理学会誌 **66-4**, 290 (2011).
- [4] 内田智久, 浦義博, 本多良太郎, 山口貴弘, 高エネルギーニュース **30-3**, 222 (2011).
- [5] DAQ-MW Web サイト, <http://daqmw.kek.jp/>
- [6] 長坂康史, 千代浩司, 技術総合誌「OHM」Headline Review, pp.6-7, 2011年9月号.