

## 平成28年度学融合レクチャー実施報告書

講義名称	基礎計測制御デジタル技術
申請代表者 (事業実施責任者)	研究科： 物理科学研究科
	専攻： 核融合科学専攻
	氏名： 中西 秀哉
開催日時・場所	平成28年10月26日(水)～28日(金)・核融合科学研究所(核融合科学専攻) シミュレーション科学研究棟1階会議室
受講者数	加速器科学専攻： 2名
	素粒子原子核専攻： 2名
	専攻： 名
	その他(外部) 26名

(行数が不足する場合には適宜挿入してください。)

## ○ 事業概要

本レクチャーでは、測定対象を定量化する計測装置の性能が研究成果を大きく左右することに鑑み、受講者が装置を構成する基盤技術を理解して、独自に計測制御システムを開発・構築できる知識・経験を得ることを目的とする。受講者は、基本的なデジタル回路設計技術を学ぶとともに、講師の前でそれを実践し、講師とのインタラクティブなやり取りの中で講義内容を効果的に身につけることで、研究現場で応用できるようになり、将来、競合研究に対して優位に研究を進めることができる。本レクチャーの演習を通して、計測制御システムを構築するために必要なデジタル集積回路設計(FPGA)技術を初歩から実践的に身につける。本講義は計測制御技術統合教育プログラム(分野横断型教育プログラム)の専門技術講習として行われ、受講修了者には修了証を発行する。

## ○ 事業実施報告

この学融合レクチャー「基礎計測制御デジタル技術」は、平成28年度の計測制御技術統合教育プログラム(分野横断型教育プログラム)の専門技術講習として、平成28年10月26日(水)～28日(金)の3日間の日程で、物理科学研究科核融合科学専攻を会場として物理科学研究科・高エネルギー加速器科学研究科の合同で開催された。初日と二日目は、Field Programmable Gate Array (FPGA) 設計をベースにして、実験に必要な計測システム開発に必要なデジタル集積回路設計技術を習得するFPGAトレーニングコース2017 (Vivado ツール) @核融合科学研究所(KEK)、FPGAハンズ・オン・セミナー(核融合科学専攻大学院特別講座)の併催で行われ、受講者に実践的開発技能の獲得を指導する場となった。そして三日目は、核融合科学研究所の平成28年度研究会「核融合・加速器科学分野合同計測技術ワークショップ ～計測システム開発の現状と新しい開発手法の可能性～」との合同開催で、通常議論する機会が少ない異分野の計測システム開発者が、最新技術に関する情報を交換・共有

する場を提供した。学融合レクチャー全体としては、全三日間の集中講義の形式として、総研大大学院生の正規受講者には、1単位の単位認定も行っている。

前半の二日間は、Field Programmable Gate Array (FPGA)用デザインツール、デジタルシステムデザイン手法を学習、技能習得すべく、論理回路およびFPGA開発に関する解説講義と、FPGA評価キットを用いた練習課題の実装演習を小单元ごとに交互に行い、特に受講生各自による実装演習では、複数チューターによるインタラクティブな個別指導を行った。また、講義時間内の解説講義・演習指導のほか、事前配布資料によって、デジタル回路に関する導入知識の予習と、会議中で配布した演習問題（応用編）解説つき資料による受講後の復習を可能にしておき、受講者には準備学習として、受講前に配布する予習用資料を読んで理解しておくこと、講義で使用するFPGA開発ツールを予め各自ノートPCにインストールして起動を確認しておくことを課した。1単位の認定には、出席点（50%）、講義内演習課題完了度（25%）、レポート（25%）を成績評価基準とした。

指導に当たった教員および実習補助者は以下のとおりである。

中西秀哉（核融合科学専攻）	実習指導、成績評価、等を担当
内田智久（素粒子原子核専攻）	FPGA解説講義（講師）、実習指導、等を担当
伊藤康彦（核融合科学研究所技術部）	実習指導補助を担当

以下の前半二日間の演習プログラム内容を示す。

### プログラム

- 1日目 10/26(水) 9:30-17:30
  - 9:30-9:40 全体概要
  - 9:40-10:30 予習内容の確認(50分)
  - 10:30-11:00【組み合わせ回路】Verilog-HDL記述(30分)
  - 11:00-11:30【組み合わせ回路】RTL解析(30分)
  - 11:30-12:30 お昼休み(60分)
  - 12:30-14:00【組み合わせ回路】Xilinx社Vivadoを用いた論理シミュレーション(80分)
  - 14:00-14:15 休憩(15分)
  - 14:15-15:15【組み合わせ回路】Xilinx社Vivadoを用いたFPGAへの実装(60分)
  - 15:15-15:30 休憩(15分)
  - 15:30-17:30【組み合わせ回路】設計演習C1(120分)
- 2日目 10/27(木) 9:30-17:30
  - 9:30-10:00【順序回路】Verilog-HDL記述(30分)
  - 10:00-10:30【順序回路】Xilinx社Vivadoを用いた論理シミュレーション(30分)
  - 10:30-10:45 休憩(15分)
  - 10:45-11:30【順序回路】Xilinx社Vivadoを用いたFPGAへの実装(45分)
  - 11:30-12:30 お昼休み(60分)
  - 12:30-13:30【順序回路】設計演習S1(60分)
  - 13:30-13:45 休憩(15分)

- 13:45-14:15 階層構造設計(30分)
- 14:15-15:15 IPの使い方(60分)
- 15:15-15:30 休憩(15分)
- 15:30-17:30 設計演習(質疑応答、議論含む)(120分)

最終日の3日目(平成28年10月28日)には、平成28年度核融合科学研究所研究会「核融合・加速器科学分野合同計測技術ワークショップ ～計測システム開発の現状と新しい開発手法の可能性～」と合同開催の研究会として開講し、学外からも多くの講演者に参加を依頼して、通常議論する機会が少ない異なる分野で活動する計測システム開発者に議論、最新技術情報を交換・共有する場の提供とともに、総研大大学院生の受講者に最新技術動向に触れ、知識を吸収してもらうことを目的とした。

サイエンスを目的とする計測システム開発が議論できる場合は、通常、その目的となるサイエンスに関連する研究会等なので、議論する範囲が限定的になることが多い。しかし、対象とする実験対象は大きく異なっても使用する計測技術は類似、共通していることは少なくないため、異分野の開発者と議論する事は大きな意義があると考えられる。そして、計測技術分野は基礎科学分野に横断的に共通する数少ない対象なので、様々な分野で活躍する開発者を一堂に会して議論する事は今後の開発を活性化する大きな助けになることが期待される。

三日目の研究会は、前半・後半の2部構成をとり、前半は具体的な開発事例について現状報告や問題点について議論する場、後半は新しい開発手法について議論する場とした。特に後半の新しい開発手法のトピックスとしては、近年大きく発展しており今後10年の開発に大きな影響を与えるかもしれないと考えられる Software defined 技術(\*)に焦点を合わせた。

座長は初日、二日目に続いて、この学融合レクチャー担当教員である、内田智久(素粒子原子核専攻)と中西秀哉(核融合科学専攻)が前半・後半を担当して務めた。

#### 核融合・加速器科学分野合同計測技術ワークショップ ～計測システム開発の現状と新しい開発手法の可能性～

##### 座長(前半) 内田智久(KEK Esys)

- 13:00-13:05 開会の挨拶 内田智久(KEK Esys)
- 13:05-13:35 LHD重水素実験のための電子機器に対するDD中性子及びガンマ線照射影響調査  
小川国大(核融合科学研究所)
- 13:35-14:05 X線天文衛星搭載へ向けたイベント駆動型SOIピクセル検出器の開発  
武田彩希(京都大学宇宙線研究室)
- 14:05-14:35 プラズマ境界力学実験装置QUESTIにおけるFPGA利用の現状紹介  
長谷川真(九州大学応用力学研究所)
- 14:35-15:05 Hyper-Kamiokande 用フロントエンドエレクトロニクス設計  
早戸良成(東京大学 宇宙線研究所)
- 15:05-15:35 核融合研LHD実験における計測FPGA応用の現状と展望  
中西秀哉(核融合科学研究所)

15:35-15:55 休憩(20分)

##### 座長(後半) 中西秀哉(核融合科学研究所)

- 15:55-16:25 計測装置開発における Software defined technology の可能性

内田智久 (KEK Esys)

16:25 -16:55 ソフト屋がXilinx zynq-7000をさわってみた ～体験記～

千代浩司 (KEK Esys)

16:55 -17:25 Zynqと組み込みLinuxによるフロントエンドエレクトロニクス制御

坂本宏 (東京大学素粒子物理国際研究センター)

17:25 -17:55 Xilinx High Level Synthesis(HLS)を用いた合成結果の検討

濱田英太郎 (KEK Esys)

17:55 -18:00 閉会の挨拶

中西秀哉 (核融合科学研究所)

トピックスとした Software defined technology に関して、以下のような話を中心に、情報共有・交換が行われた。

現在産業界ではハードウェアを変更せずに様々な機能を搭載・変更する技術として Software Defined XXX と呼ばれる技術が発展しており、代表的な例では、Software defined radio, Software defined network などがある。これらは、様々な要望に即座に対応するため、ソフトウェア的に機能や動作を(時には動的に)変更させる技術として使われている。

この技術を計測技術に適用して、より効率的に高性能な計測装置を開発できる可能性があると考えられる。例えば、ある計測システムのために製造したハードウェアを他の実験装置に組み込む、今までハードウェアの制限が強く応用が限られていた装置に適用することで制限が緩和されるかもしれない。また、ソフトウェア的にハードウェアを開発できるようになれば、初学者でも高性能ハードウェアを開発できるようになりえるばかりか、ハードなリアルタイムを求める装置でなければ、フロントエンド装置においても、組込 CPU で大部分の処理ができるようになるかもしれない。Software defined technology は一つの技術手法を示すのではなく、様々な技術手法の総称であると考えられます。産業界での使い方とは異なる視点で計測システム開発に適用する事で、開発効率を劇的に向上させる可能性がある。

参加者の間では、この研究会での情報交換を通して、共通した技術課題を見つけ、今後の共同研究につなげていこうという意見も出された。

本レクチャーの参加者数は、前半20名(うち総研大生4名、同教員2名、他大学生4名、基盤機関職員6名、ほか社会人)、後半の研究会講演者(他機関)を合わせると26名となった。

## ○ 今後の事業展望

平成28年度に核融合科学専攻にて開講した学融合レクチャー「基礎デジタル計測制御演習」は、演習の受講可能人数20名が早々と埋まり、外部からの一部の受講希望者にはお断りをせざるを得なかったため、平成29年度も引き続き、学融合レクチャーとして再度、開講をめざすことになった。今回と同様の趣旨で、計測制御システムを構築するための基本的なデジタル回路設計技術を学び、それを講師の前で実践、講師とのインタラクティブなやり取りの中で講義内容を効果的に身につけ、研究現場で応用できるようにすることをめざす。

平成28年度に「計測制御技術統合教育プログラム」の一部として開講した本講は、同プログラムの改良版である平成29年度の分野横断型プログラム「センシング・コントロール・アナリシスを軸とした科学と技術の進化・分野融合をめざしたプラットフォーム構築統合教育プログラム」と連携して、先端の計測制御を習得することを目的とする。学生からは来年度開催の要望等肯定的意見が多く、来年度

も同様に、単位数1、高エネルギー加速器研究科との連携で、核融合科学専攻にて開催を予定している。

○ その他

研究科・専攻をまたがって、総研大大学院生に自専攻以外の講義を受講する旅費を支給する総研大レクチャーの仕組みは、同大学院生が分野横断的な視点を獲得する非常に貴重な機会を提供しています。総研大は各専攻でキャンパスが遠く分かれてしまっており、ともすると、分野外の知識を得る機会が乏しくなりがちなので、こうした枠組みでの学生支援は今後も継続されることを期待します。