

談話室

CAS 2007 報告

藤田 貴弘*

Report on CAS 2007

Takahiro FUJITA*

2007年6月1日から8日までCERNの加速器スクールCAS 2007 (CERN ACCELERATOR SCHOOL in 2007) がウプサラ大学をホストとしてスウェーデンのシグトゥーナで行われた。筆者は日本からこのスクールへの唯一の参加者であったのでその報告をする。

CASは少なくとも1980年代から行われているが、私の知る限り、ここ5年程度は年に2回、春と秋に1回ずつ開催されており、春は1週間の開催期間を目安にして「specialized course」、秋は2週間の期間で「generalized course」を開催しているようだ。今回筆者が参加したスクールは“Digital Signal Processing”と銘打たれた「specialized course」であり、約100人の参加者と15人程度の講師で行われた。

参加者の多くがDSP、FPGAの経験を持った30代、40代の若手研究者またはエンジニアであった。参加者の約半数はCERN、DESYからであったが、“Digital Signal Processing”という技術的なテーマのスクールであったので、加速器のみならず、その周辺分野からの参加者も多くいた。筆者が直接話をした中ではLHC-Bディテクタに携わっている研究者や医療用画像解析・診断装置の技術者がいた。アジアからは筆者を含めて4人（筆者の他に台湾から3人参加していた）、アメリカからの参加者は講師を除けば皆無であった。アメリカはアメリカで独自の加速器スクールを行っているし、また、合同のスクールも行っているのが当然なのだが、スクールを開く側としては、アメリカからの参加者が増えることを期待しているようだ。

スクールが行われたシグトゥーナはストックホルムから北西約40 km、メーラン湖に面しており、ガイドブックには“スウェーデンで最も古い町のひとつとして知られており、町は小さく徒歩で十分観光できる町”と書かれている。スクールはそんな小さな町のさ



スクールが行われたホテル

らに町外れにあるホテルで行われた。

このホテルは欧州の人々からすると一風変わった雰囲気のアピールしている。オーナーが中国の体操選手のスポンサーになっていて、ホテルのいたるところに提灯やら金魚鉢やら掛け軸やらがディスプレイされているのである。そのため、ホテルの雰囲気は筆者のイメージである北欧の温かみのある雰囲気のものとはいささか距離が隔たっていた。さらに客室の2割が中国スタイルになっているとのことであった。日本からの参加者ということでスクール側の何かしらの取り計らいがあったのか、筆者の宿泊した部屋は残りの8割であるスカンジナビアスタイルの部屋であった。スクール中に中国スタイルの部屋に宿泊している参加者と話をするとなかなか楽しそうな部屋であった。

スクールは講義と実習からなり、中休みの1日を除いて毎日ハードに行われた。実習は毎日、昼食後から夕食までを目安として行われたが、日数が限られて

* 財高輝度光科学研究センター
(E-mail: tfujita@spring8.or.jp)

いたことや、1つでも多くのことを習得して持ち帰りたいという理由で、多くの参加者が夕食後も試行錯誤しながらやり残した実習を行っていた。その実習では2人1組になって1台のPCとDSP（またはFPGA）ボードそして“ビーム・シミュレータ”という回路が与えられた。この回路は単なる並列LC共振回路であり、回路の共振周波数を円形加速器におけるいわゆるベータトロン周波数（＝ビームの周回周波数とベータトロン振動数で決定される周波数）と見立てて実習を行うものである。DSP（FPGA）ボードはPCとUSBケーブルを介して接続されるほか、ボードのアナログ出力はLC共振回路を経由してボードのアナログ入力に入力すると同時にPCのサウンドカードへ入力した。PC上では、オシロスコープのディスプレイと同じような見た目のソフトウェアが動作しており、サウンドカードに入力される波形がモニターできるようになっていた。このような構成でチューン測定に相当するLC回路の共振周波数測定や、入出力信号の強度比や位相差が一定になるようにフィードバックをかける、ということを行った。測定の手法そのものは頻繁に用いられる方法で、白色ノイズを加える方法や、正弦波の周波数をスイープする方法を用いた。これら白色ノイズなどの信号源やフィードバックのための制御回路はMATLABのSimulinkを利用してDSP（FPGA）上に実装した。

以上の一連の課題をこなすのに3日が予定されており、この3日が終わったらDSPボードとFPGAボードを交換して、また同じ課題をこなすという方法で進められた。これはDSPとFPGAの違いを実際に操作することで理解することが意図されていたためではあるが、これではDSP、FPGAの使いこなし方にとどまってしまっている（実際に後に述べる反省会の

場で議論になった）ので、ボード交換後の課題は発展的な課題になるよう、次回以降のスクールに改善を期待したい。

講義は全日程8日間で、前半の4日間と中休み後の3日間で趣が変わるように構成されていた。前半の講義では数学や制御理論、DSP、FPGAのアーキテクチャについてやA/DコンバータやD/Aコンバータの講義が行われ、後半（Excursionの翌日）からはビームパラメータの実時間制御やビーム不安定フィードバックなどビーム物理も含めた非常に興味深い講義が行われた。講義は45分で行うことが多いのだが、今回のスクールでは1つ1つの講義の密度が濃いため、1つの講義を1時間で行っていた。

講義のなかで印象に残ったのは、まず、スクール初日の最初に行われた加速器の歴史や分類、最近の傾向などの概論であった。というのも日ごろは手前味噌として宣伝されている加速器がどのように見えるのか興味があったのである。しかし、放射光加速器の場面でSPRING-8の登場回数が非常に少なく、他の国内の加速器も目立った紹介はされなかった。後で講師に尋ねてみたら、ある程度参加者の分布に合わせてある、ということであった。

また、A/D、D/Aコンバータについての解説は普段まとまった形で目にする機会は少ないので、ある程度まとまった形で講義を受けることができて良かったと思っている。特にADCのクロックジッタや位相ノイズの関係や、DACやDACの機能分類などは参考になるのではないかなと思う。

これらの講義についての詳細はCASプロシーディングスとして近々に出版されるはず（スクール終了から半年程度を予定しているようでした）。また、講義の資料はCASのホームページに掲載されています（<http://cas.web.cern.ch/cas/Sweden-2007/Sweden-after.html> からリンクをたどってください）。



スクールでの講義の様子



スクールの参加者

そこで、ここではいささか簡単ではありますが、講義のタイトルとその項目を列挙して、どのような講義が行われたのか推測していただければ幸いです。

- Math I-IV の講義はその日の一番最初に行われました。講義の表題は、振動、信号、ノイズ、線形システム、特殊関数、畳み込み、フーリエ変換、ラプラス変換、デジタルフィルタ、 z -変換、デジタルフィルタ設計、カルマンフィルタ、ウェーブレットというもので、制御理論や信号処理において必要となる数学について講義された。
- Introduction to DSP I-III の講義は DSP の発展、DSP のペリフェラル、ソフトウェア開発、デバッグ、システム開発、最適化、システムインテグレーションという項目についてなされた。
- Introduction to FPGA I-III は FPGA の歴史、デジタル設計の基礎、FPGA の構造、HDL、FPGA を使ったデジタル信号処理という項目についてでした。
- From Analog to Digital I-III では振幅の量子化、サンプリング、ナイキスト周波数、元信号の再構成、サブサンプリング、量子化誤差、SFDR、THD、DNL、INL、ENOB、clock jitter、oscillator jitter、data format、signal conditioning、ADC type、DAC 等の内容について講義が行われた。これらの内容は頻繁に必要なことではあるが、系統的に扱うことは少なく、筆者にとっては得るものが多い講義であった。
- RF Application I-II では signal conditioning/down-conversion、detection of amplitude/phase by digital I/Q sampling、up-conversion、algorithms in RF applications などが実例を挙げながら紹介された。
- Real-time control of beam parameters I-II
Real-Time システムとは、Global orbit feedback、bunch-by-bunch feedback system
- Transverse feedbacks、Longitudinal feedbacks Coupled bunch instabilities、Basic of feedback systems、Feedback system components、Theory of feedback control、Digital signal processing、Diagnostics features、Feedback system setup and optimization、Effects of multi bunch feedbacks
- BI Applications I-II
ビーム診断におけるデジタル信号処理についてであった。
- Controls Integration I-II
Machine protection、Source code control、Configuration control、
スクール最終日、このスクールについての反省会があり、参加者の感想や、スクールの改善点、次回のス



中休みの Excursion で訪れたストックホルム市街

クールに向けて期待すること等について予定時間枠を大幅に超えて議論が続いた。

まず、実習についての議論が非常に熱心に行われた。先に述べたが、DSP と FPGA の実習で別の課題を行いたかった、という意見が出た。また、実習では DSP、FPGA とともに MATLAB の Simulink を使用したが、C 言語や VHDL 等のオーソドックスなツールを使用してアセンブリの記述や最適化のような高度なことをやりたかった、という要望もあった。これについては、このスクールで MATLAB を使用するという告知が十分ではなかった事情もあったようだ。

また、スクールの日程について議論された。まず、Excursion を含んで 8 日間という日程は長すぎるのではないかと提案がされた。これに対して、スクールという性質を持たせるには午後はみっちり実習する必要がある。実習に必要な講義を行うと中休み無しで 7 日間が可能な期間になる、というスクール側の意見だった。逆に中休みを 1 日入れて 8 日間はスケジュールがきつすぎるので、もう 1 日伸ばしたらどうか、という意見も出された。

筆者の意見としては、講義の内容やレベルそれに講義同士で同様の内容がオーバーラップすることなく全体がよくコントロールされていたように感じた。それに対して実習の方は、参加者のレベルがばらばらなために、スクールに求めるものと、スクールが提供するものとの間に差が生じた参加者もいたようだ。これに関してはスクールが事前にしっかりしたアナウンスをすれば改善できるものだと思う。また、日程に関してだが、この種のスクールは勉強や技能習熟だけでなく、研究者ネットワークを作ること非常に有効だと思う。そのためには、多少余裕があるぐらいの日程でスクールを行うほうが良いのではないかなと思う。