

The CERN Accelerator School, Vacuum for particle accelerators 滞在記

加速器研究施設第七研究系 金 秀光

背景

The CERN Accelerator School は、CERN やほかの研究機構で確立、蓄積した加速器知識と技術を世界中に広げることが目的とする勉強会である。本スクールは 1983 年に初開催され、CERN に所属する 22 のメンバー国において、年に 2-3 回のペースで行われ、これまでに 66 回も開かれている。スクールでは若手研究者を対象に、1-2 週間に 50-60 時間の講義を集中的に行う。その講義内容は、加速器物理 (e.g., Electro-Magnetic Theory, Electron Beam Dynamics), 加速器システム (e.g., Particle Sources, RF Systems, Vacuum Systems), 加速器装置 (e.g., Linear Accelerators, FELs) とその応用 (e.g., 医療応用, 核物理) などがある。そのうち、真空関連のスクールは、1999 年 Denmark, 2006 年 Spain 以来、今年は 11 年ぶりで、Sweden で開かれた。最近、Sweden の MAX IV laboratory には新しい蓄積リングが建設され、運転が始まっている。この蓄積リングでは NEG コーティングと言う新しい真空システムを導入しており、その運転状況が注目されている。今回のスクールは、新蓄積リングの見学を考慮し、MAX IV の周辺都市である Glumslov にて、“Vacuum for particle accelerators” が開催されたものである。

開催地の印象

6 月の Sweden は、太陽光は暖かいが、風はまだ冷たい。天気は晴れと曇りによって体感温度がだいぶ異なる。到着した 6 月 6 日は曇りだったので、東京の 4 月初旬並みの寒さを感じた。Glumslov に近い国際空港は Denmark の Copenhagen であり、空港からは電車での移動になる。Denmark と Sweden の国境であるエーレ海峡を渡って、緑



図 1 会場である Glumslov のホテル

色の芝生の中を走って 1 時間程度で Glumslov に到着した。Glumslov は小さい町で、会議場である Hotel Orenas Slott は町よりさらに離れる場所にあった。ホテルの写真を図 1 に示す。ホテルの三面は自然の森に囲まれており、一面は綺麗な海に向いている。海の向こう側が Denmark で、いい眺めである。自然の中に位置するホテルは静かで、勉強に集中できる素敵な場所であった。

スクール状況

今回スクールの参加人数は全部で 80 名である。応募者 110 名中 82 名が選ばれ、2 名は欠席だった (集合写真を図 2 に示す)。参加者の半分は CERN の大学院生、若手研究者、技術職員で、約 4 割がヨーロッパの研究機構の方で、約 1 割がアジア系の研究者で、日本からは私のみであった。スクールは毎日、朝 8:30 から夜 18:00 という豊富なスケジュールで行われた。初日は終日講義が行われ、二日目からは、午前は講義で、午後には Tutorial が行われた。Tutorial では 5 つのグループに分かれて、真空作業や理論計算など実用に向けた訓練を行った。

講義内容

講義の内容は、真空基礎、真空計、真空ポンプ、材料とその性能、表面処理、刺激脱離、コーティング、蓄積リングの基礎、真空の加速器への影響、未来加速器など広い範囲であった。講師の大半は CERN の方で、真空計や真空ポンプに関しては SAES, Edwards などの会社の方が新しい商品情報も含んで、詳しく説明してくれた。最も驚いたのは、真空ダクト用の材料の紹介の際、鋳鉄から話が始まったことだ。材料出身の方ならよくわかる金属の相平衡と状態図を示し、冷却過程や金属組成によって、出来上がる鉄の性能などが異なることなどを説明してくれた。CERN では日本と違い、いろんな分野の研究者が真空グループに所属しているようだ。日本では鋳鉄の研究者が加速器に採用されることはまずないだろう。コーティングの講義では KEK の SuperKEKB の TiN コーティングが多く取り上げられた。CERN では Future Circular Collider を計画しており、



図 2 Vacuum for particle accelerators の参加者と講師たち

SuperKEKB の TiN コーティングの成果に非常に注目している。

Tutorial には Molflow simulation, Impedance calculation, Mechanical & material aspect, Residual gas analysis, Leak detection and pumping の 5 つの講義があった。最も感心したことは、Tutorial で使う装置は全部 CERN より運んできたものであったことである。NEG コーティングされたダクト付きの真空システムを図 3 に示す。これらの大型の真空チャンバーは会場で真空を立ち上げたと考えられる。整えられた環境を作っていたいただいた CERN の方々に深く感謝する。この Tutorial の講義で私は Impedance の計算に深い興味があった。何故なら、現在検討が進められている KEK 放射光の 3 GeV 蓄積リングでは、直径 23 mm の細いダクトを用いることと、ダクトに NEG コーティングをすることが検討されていることである。ダクトの直径が小さくなることと、コーティングする NEG 膜の Impedance が大きくなることより、Power loss などの悪影響がかなり重大になるからである。今回の講義では、Cu ダクト上に NEG 膜 1 μm 程度であれば、Power loss が小さいという、加速器第七研究系の中村さんの計算と同じ傾向が示された。今回の Impedance の計算において、Tutorial 講義が終わった後に夜遅くまで助けていただいた CERN の Benoit Salvant 氏に深く感謝する。

スクールの後半には、MAX IV の新リングの見学が行われた。リング内の写真を図 4 に示す。MAX IV のリングでは直径 22 mm の細いダクトを使用し、その排気性能を保つために NEG コーティング技術が導入されている。この技術は非蒸発ゲッター (NEG) 材をビームダクト内壁にコーティングして、本来ガス源である内壁をポンプに変える画期的な技術である。この技術は、1998 年頃、CERN で真空設計に向けて開発し、その後、多くの加速器に採用されている。しかし、加速器全体に採用したのは MAX IV が初めてである。このリングの真空システムには、NEG コーティングダクトとイオンポンプが用いられており、イオンポンプの配置は 20 m 以上の間隔であり、かなり少ない数であった。これは NEG コーティングされたダクトが効率よく真空を引いてくれることを示す。NEG コーティングされたダクトは、2015 年に活性化した以来、今も真空ポンプ機能を保っている。MAX IV の新リングは、RF 空洞の故障などの理由で、最大カレントは 75 mA に留まって



図 3 Tutorial で使用した真空システム



図 4 MAX IV の新リングのチューブ

いる。今後、電流アップのための調整は注目すべきである。

感想

今回のスクールでは、真空の基礎から加速器との関連まで広い範囲の内容で講義が行われた。講義の内容、Tutorial の技術を全部身に着けたとは決して言えない。しかし、いろいろな内容を集中して聞くことで、真空の加速器中での役割や、ほかのグループとの関連性などがイメージできるようになった。また、材料出身の私も加速器分野でやれることがまだまだたくさんあるのではないかと考えるようになった。加速器の初心者である私にとって非常に役に立つスクールだった。このような大事な勉強の機会をいただいたことに改めて感謝する。

PF 滞在記 : PF-AR NW14A

筑波大学生命環境科学研究科
博士後期課程 1年 高木壮大

私は、筑波大学地球進化科学専攻の興野研究室に所属し、隕石衝突によって形成された可能性が示唆されている準結晶鉱物 icosahedrite の形成起源の解明をテーマに研究を行っています。KEK には、修士課程の途中から特別共同利用研究員として在籍し、隕石衝突の衝撃をレーザーで再現し、その際の瞬間的な結晶構造変化を捉える事を目指して、PF の一柳光平先生のもと PF-AR NW14A で「レーザー衝撃圧縮下時間分解 X 線回折実験」を行なっています。

筑波大学から KEK まではクルマで 10 分、自転車で 30 分なので、午前中は興野研実験室で試料の合成・分析、午後は PF-AR でレーザー実験というような生活をしています。本記事では PF-AR での実験、特に 2017 年 4 月に行なった実験の様子について書きたいと思います。

今期は、一柳先生の S 型課題が 8 日間、私の T 型課題が 2 日間の計 10 日間で「レーザー衝撃圧縮時間分解 X 線回折実験」に割り振られました。PF の野澤俊介先生のもとに留学に来ている LEE, SungHee さんに時々手伝って頂きながら、一柳先生と二人で 12 時間交代で実験を行ないました。「レーザー衝撃圧縮時間分解 X 線回折実験」では、レーザー照射による衝撃圧縮過程での結晶構造変化を X 線回折で観察します。一発のレーザーパルス照射で試料は破壊されてしまうため一照射ごとに試料を取り換えます。その際にレーザーと X 線の照射タイミングを変えて測定を繰り返すことで、レーザー照射後数ナノ秒ごとの X 線回折データを得ます。今回の実験で用いた衝撃誘起用ガラスレーザーは、レーザーロッドの冷却に時間を要するため、最短で約 20 分に一発の照射となります。実験の一連の流れは、試料取り付け→試料チャンバー真空引き→レーザー - X 線照射タイミング設定→レーザー状態確認→測定→ログ→解析です。時々休憩をはさみながら、この一連の作業を約 20 ~ 30 分ごとに繰り返してデータをとりました。試料チ

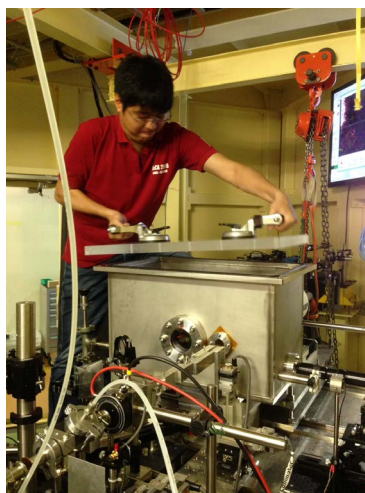


図 1
試料交換し、チャンバーの蓋を慎重に閉める
著者



図 2 一柳先生（左）と共に、標準試料の X 線回折パターンからカメラ長測定を行なっている著者（右）

ャンバーの重い蓋の開け閉め、実験ハッチ上への階段の上り下りなど体幹から上肢下肢に至る筋肉を使う作業から、実験システム調整や試料作製などの細かく神経を使う作業まであるので、基本的に省エネモードで作業しました。昼は一柳先生と交代し、一旦帰ります。今回は年度初めで、大学に行って事務に提出しなければならない書類や各種奨学金の申請などがあったため、家に帰るのは 15 時から 16 時頃になり、そこから休んで、夜ご飯を食べたらまた実験に行くという生活でした。

トラブルもありました。まず、コントロール室のエアコンの故障がありました。修理がビームタイム後となったため、最後まで少し汗ばみながらの実験となりました。さらに、ビームタイム前は何事もなく動いていたステージコントローラが突然動かなくなりました。こちらは一柳先生に直して頂きました。また、試料チャンバーの X 線窓にはカプトンを用いていますが、何度か破損しました。そのたびにチャンバーを作り直し、X 線とレーザーの位置を合わせ直しました。それでも、最後は体力的な限界に近づきつつも、博士論文のための基礎データを取ることができました。

私は PF-AR で実験するようになるまで、レーザーはプレゼンで使うポインター以外に触ったことがなく、X 線を用いた実験も誰かが既に組んでくれたシステムに試料を置いてボタンを押すだけしかしたことがありませんでした。はじめは何も分からず一柳先生がシステムを整備し、トラブルに対処するのを見て学んでいましたが、今は自らレーザーや X 線光学系を整備し実験システムを構築できるようになってきました。大学や KEK を中心とした研究者の方々に囲まれている非常に恵まれた環境で、少しずつ主体的に研究を進められるように成長してきている気がします。また、レーザー衝撃圧縮時間分解 X 線回折実験も以前に比べてかなりスムーズに取り組めるようになってきており、これからどんどん研究を進めていきたいと思っています。

PF ユーザーの 豊田中研 渡邊佳英氏らの論文が American Vacuum Society の VTD Shop Note Award を受賞

産業利用トピックス
2017年7月4日

超高真空移送容器、試料ホルダを作製し、KEK 放射光施設にて超高真空下偏光全反射蛍光 XAFS 測定を実施した。試料表面を清浄に保ったまま、試料測定に成功した。

【受賞の発表内容】

Yoshihide Watanabe, Yusaku F. Nishimura, Ryo Suzuki, Hiromitsu Uehara, Tomoyuki Nimura, Atsushi Beniya, Noritake Isomura, Kiyotaka Asakura and Satoru Takakusagi, "Portable ultrahigh-vacuum sample storage system for polarization-dependent total-reflection fluorescence x-ray absorption fine structure spectroscopy," J. Vac. Sci. Technol. A 34 (2), 023201 (2016); doi: 10.1116/1.4936344 American Vacuum Society - American Institute of Physics

豊田中央研究所 渡邊佳英, 西村友作, 磯村典武,
鈴木涼, 紅谷篤史

株式会社エイブイシー 二村智之

北海道大学 高草木達, 上原広充, 朝倉清高

豊田中央研究所（長久手市）で作製したサイズ選別クラスタを KEK まで超高真空下で運搬可能な超高真空試料移送システムを、豊田中研、北海道大学、エイブイシーの三者で共同開発した。これにより、酸化物単結晶上の Pt クラスタが表面と相互作用し、どのような構造にあるかを、試料が変化することなく偏光全反射蛍光 X 線吸収微細構造分光法を用いて観察することが可能となった。また小型のため一つのスーツケースに収納し、さまざまな交通機関で手軽にサンプルを運搬できる。あわせて、試料は flag-style プレートを含み込む形の wobble スティックおよび先端が鍵型のロッドの双方でアクセスできるように設計されているので、2つの異なるサンプル操作システムで試料を取り扱えるようになった。垂直配列設計を採用したことで直径を最小限に抑え、より小さなチャンバとなり、小型化を実現。コイルバネで支えられた 90 度の回転ロックを装備した「鍵と鍵穴」のサンプル操作システムは、柔軟な操作を可能にし、サンプルホルダを素早く簡単にリリースすることができる。このポータブル真空サンプルストレージシステムが、真空 XAFS 測定のための標準的なシステムとして広く使用され、世界のどの光源でも実験可能となることが期待される。

【賞の概要】

Vacuum Technology Division (VTD) Shop Note Award

「Journal of Vacuum Science & Technology」誌では Shop Note と呼ばれる真空科学・技術公開のための "how to do

it" 記事を発行されている。Shop Note には読者に簡単に追試できるような指示やアドバイスが与えられている必要がある。毎年、VTD では JVST A と JVST B から、最高のショップノートの 1 つ以上を表彰しており、Shop Note 賞小委員会は Martin Wüest (chair), Lily Wang, Robert Berg, Marcelo Ferreira, and Neil Peacock. のメンバーで構成されている。

PF トピックス一覧 (5月~7月)

PF のホームページ (<http://www2.kek.jp/imss/pf/>) では、PF に関係する研究成果やイベント、トピックスなどを順次掲載しています。各トピックスの詳細は PF ホームページをご覧ください。

2017年5月~7月に紹介された PF トピックス一覧

2017年

- 5. 11 【プレスリリース】世界初！光でほどけるらんせ状人工ナノ線維の開発に成功
- 5. 18 【物構研トピックス】物構研の教育活動 CUPAL 放射光利用技術入門コース
- 5. 31 【トピックス】中国科学技術大学国立放射光研究所長が KEK と J-PARC を訪問
- 5. 31 【ハイライト】分極反転するクロコン酸 (1) クロコン酸を再発見
- 6. 8 【物構研トピックス】東大の研究チーム、有害なレアメタル「テルル」の環境中の挙動を解明
- 6. 23 【ハイライト】分極反転するクロコン酸 (2) 光で分極反転が起こった
- 6. 30 【物構研トピックス】PF-AR 直接入射路が完成 - 6.5 GeV フルエネルギー入射が可能に -
- 7. 4 【物構研トピックス】PF ユーザーの 豊田中研 渡邊佳英氏らの論文が、American Vacuum Society の VTD Shop Note Award を受賞
- 7. 26 【物構研トピックス】The British School in Tokyo の生徒が職場体験