

24th International Congress on X-ray Optics and Microanalysis (ICXOM24) 報告

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用研究促進部門 今井 康彦

24th International Congress on X-ray Optics and Microanalysis (ICXOM24) という国際会議が、2017年9月26日から29日にかけて4日間の日程でイタリアのトリエステにおいて開催された。ICXOMは1956年に第1回がケンブリッジ・イギリスで開催され、3年もしくは2年毎（現在では2年毎）に開催されてきた歴史のある会議である。当初は電子線やX線を使った顕微測定を行っていた研究者間の情報交換の場として始まった会議であるが、最近ではほぼX線だけになり、中でも放射光X線を利用した研究の発表が主流となっている。実験室系の装置開発などもwelcomeとされており、実際に今回の会議でもX線発生装置を使った発表も何割かを占めていた。会議の開催時期は9月で、ここ10年では、京都・日本(19th, 2007年)、カールスルーエ・ドイツ(20th, 2009年)、カンピナス・ブラジル(21st, 2011年)、ハンブルグ・ドイツ(22nd, 2013年)、ニューヨーク・アメリカ(23rd, 2015年)と続いてきた。ICXOMの歴史に関しては、ICXOM20のProceedingsに、“A brief history of 50 years of ICXOM”という記事がある^[1]。トリエステには、1993年から運転を行っている、2/2.4 GeVの第3世代放射光施設Elettraと自由電子レーザー施設FERMIがあり、会議のホストとなっていた。これらの施設については、見学ツアーが行われたので、後で簡単に述べる。



図1 会場前で撮影された集合写真^[2]。

本会議に先立ってチュートリアルとサテライトワークショップ Macro X-ray fluorescence (MA-XRF) scanning がそれぞれ1日ずつ開催された。チュートリアルは、本会議の会場からバスで20分程の距離にある International Centre for Theoretical Physics (ICTP) において、蛍光X線分析の基礎となるX線物理、大容量(数10GB)のスペクトルデータをPyMCAなどのソフトウェアを使って解析する方法のレクチャーなどが行われた。ワークショップMA-XRFでは、本会議と同じ会場 The Congress Center Trieste において、放射光と共に実験室のX線発生装置を使った絵画の絵具や文化財の評価に関する研究発表が行われた。装置メーカーから専用の測定装置が市販されており、貴重な絵画などを美術館から持ち出さなくても分析できるようになっている。ワークショップには文化財の分野からの研究者が多く参加していた。また、ワークショップの参加者145名の内、女性の割合が3~4割あり、発表者ではほぼ半数が女性であった。分野に依るのかもしれないが、男女比の偏りが少ない点は日本との違いを感じた。

ICXOM24本会議には、24カ国から210名の参加者があり、78件の口頭発表(内12件が招待講演、30件が若手研究者もしくは博士課程の学生による発表)、86件のポスター発表が行われた。ワークショップと合わせた参加者数は270名で、これは主催者想定に近い人数だったようである。過去に筆者が参加した2009年のICXOM20では150名(23カ国)の参加者数であった。会議のプログラムや概要はWebで公開されているので、詳細をお知りになりたい方はそちらを参照していただきたい^[3]。ここでは、招待講演を中心に主要な幾つかの講演をピックアップして報告する。

オープニングには、イタリアの放射光施設 Elettra の Director and President の Alfonso Franciosi 氏の登壇が予定されていたが、関係当局との重要な予算関係の会議が入ったとのことで、代理の方から ICXOM の歴史や Elettra、自由電子レーザー施設 FERMI の紹介などが行われた。引き続き、Nature Communications の Associate Editor の一人 Zachary Lapin 氏より編集のプロセスや Tips についての話があった。同氏はこの雑誌への X 線イメージング関係の論文を増やすことを目的としてこの会議に参加されていた。現在は 70 名の Editor がおり、2016 年には 31,000 件の投稿があったこと、blind peer review option などの紹介が行われた。



図2 会場の様子^[4]。

本会議初日は、午前 X 線顕微鏡のセッションが 2 つ、午後検出器と装置関係のセッションが 2 つあった。2 日目と 3 日目は、2 つの会場を使った平行セッションが計 11 枠、4 日目最終日はシングルセッションが 2 つというスケジュールであった。セッション毎のテーマは以下の通りである。

- X-ray Microscopy
- Detectors
- Tomography
- Tomography and materials science
- Detectors and instrumentation
- X-ray Optics
- Data Analysis for XRF and CT
- Ptychography
- Life science
- Life science and environment
- Optics and FEL
- Optics systems
- Full field and tomography
- Cultural heritage

最初の X 線顕微鏡のセッションは招待講演を含む 4 件の発表があった。最初は、Burkhard Kaulich 氏による Diamond Light Source (DLS) の I08-SXM における走査型 X 線顕微鏡についての招待講演である。DLS は過去 45 年でイギリスの単独の施設としては最大の予算投入がなされた施設であり、2016 年には 1,026 課題が実施されている。施設内にはユーザー用に電子顕微鏡施設 (ePSIC) が備えられており、バイオ実験用の設備も用意されている。I08 では Apple II 型の挿入光源からの 250~4,400 eV の軟 X 線が利用できる。近年では制御ソフトウェアと DAQ システムの大規模なアップグレードを行い、効率的な測定が実現された。ステッピングモーターとピエゾモーターをレーザー干渉計によるフィードバックと組み合わせ、試料を走査する on-the fly 測定が可能となった。また、raster scan 中にオンラインで XRF データのフィッティング結果が表示可能となっており、近いうちにはタイコグラフィデータのオンライン再構成イメージの表示も可能となることであった。これらのアップグレードは、15 名以上のエンジニアと開発者で行われており、ソフトウェア開発に大きな力を入れ、それがきちんと結果に結びついていることが分かった。

POSTECH の Hyunjoon Shin 氏からは、Pohang Light Source (PLS) における走査型軟 X 線顕微鏡についての講演があった。Scanning transmission X-ray microscope (STXM: 発音はスティックセムと聞こえる) で 200~1,500 eV の軟 X 線を使って元素・化学状態・磁気モーメントの分布の測定が行われている。装置は Canadian Light Source や Advanced Light Source、UVSOR と同じ Bruker 製である。最外殻輪体幅 25 nm のゾンプレートを使って約 30 nm の分解能が得られていた (250~850 eV)。また、厚い試料に対しては蛍光 X 線を利用し、約 50 nm の分解能が得られていた。更に、10 nm を切る分解能を目指したタイコグラフィ測定システムも整備済み。実験

結果はたくさん出ているがpublishは未だとのことであった。POSTECHからは3名が参加していた。

Brookhaven National Laboratory (BNL) の Yong S. Chu 氏からは、NSLS-II の Hard X-ray Nanoprobe (HXN) を使ったナノスケールマルチモーダルイメージングについての講演があった。マルチレイヤー Laue レンズ (MLL) を使って、 $12 \times 13 \text{ nm}^2$ の集光が実現されており、蛍光・回折・differential phase-contrast (DPS) ・タイコグラフィー・x-ray beam induced current (XBIC) を組み合わせた同時測定が可能となっている。BNL にはナノポジショニングを専門とするチームがあり、HXN では、6 nrad (V)、17 nrad (H) 程度の角度安定性が実現されているとのことであった。使っている MLL は市販はされておらず、12 keV での集光 X 線 ($12 \times 13 \text{ nm}^2$) のフラックスは 10^9 ph/s 。wedged MLL を使った $8.8 \times 6.4 \text{ nm}^2$ にも成功しており論文投稿済み。20 nm の voxel size でのトモグラフィーも行っているが、測定に 30 時間かかっており、試料へのダメージがある。ある測定では X 線の強度としては 1 点あたり 6 ms で十分だが、DAQ が律速となり 100 ms かかっているとの話もあった。SRI2015 の施設見学で見た時には、まだ装置の立上げ中であったが、着実に進んでいるという印象を受けた。

BNL の Juergen Thieme 氏からは、NSLS-II の 5-ID Sub-micron Resolution X-ray Spectroscopy (SRX) beamline における高空間分解能 XRF イメージングとスペクトロスコピーについての招待講演があった。このビームラインでは 4~25 keV の X 線が利用でき、集光位置におけるフラックスは $10^{11} \sim 10^{12} \text{ ph/s}$ であり、384 素子の Maia 検出器が利用できる。この Maia 検出器は、エネルギー分解能のある 384 個の素子からなり、中心に X 線を通すための穴が空いている。そのため、試料に近づけて、背面 Laue 写真撮影のような配置にすることで、広い立体角を見込むことができる。高速信号処理システムのおかげで弾性散乱が検出器に入っても大丈夫なようである。会場から、なぜモノクロを通さないピンクビームを使わないのか?との質問があった。蛍光 X 線の測定だけであれば、ピンクビームの方が高いフラックスが得られ、ビームの安定性も向上すると期待されるからである。質問へ

の回答は、スペクトロスコピーを考えてビームラインを設計したためピンクビームは使えるようになっていないから、という消極的なものであった。

検出器と装置関係のセッションでの招待講演は、BNL 検出器開発グループの D. Peter Sideons 氏からで、放射光用の monolithic multi-element Ge 検出器についてであった。この検出器はドイツの the Forschungszentrum Julich で開発されたセンサーアレイと BNL で開発した ASICs を組み合わせたものであり、配線はワイヤーボンディングである。element 数は 64 から 384 のものまでが開発済みであり、NSLS-II と APS で使われている。センサーは 90 K に冷却されており、122 keV でのエネルギー分解能は 770 eV と報告されていた。

2 日目はパラレルに合計 6 つのセッションがあり、夕方のポスターセッションを挟んで、Conference dinner があった。

ESRF の Marco di Michiel 氏からは、“Time resolved X-ray diffraction computed tomography for studying real systems under operando conditions” というタイトルの招待講演があった。ESRF の ID15A では、150 keV までの高エネルギー X 線と PILATUS X CdTe 2M を使い、触媒や電池などの化学反応中の中間生成物の分布を on-the-fly XRD-CT 測定している例が紹介された。速く測るとその分角度刻みが荒くなるため空間分解能が犠牲となるが、データにはなるとのことである。5次元 chemical imaging という言葉が印象に残った。

検出器と装置のセッションでは、Paul Scherrer Institut (PSI) の A. Bergamaschi 氏から、“Advances in hybrid pixel detectors for photon science” というタイトルの招待講演があった。XFEL 用に開発されている電荷積分型のピクセル検出器 JUNGFRÄU と、低いフラックス用のエネルギー分解能のある 2 次元検出器 MÖNCH が紹介された。JUNGFRÄU は $75 \times 75 \mu\text{m}^2$ のピクセルサイズ、12 keV において 1 フレームあたり 10^4 のダイナミックレンジ、2 kHz のフレームレートで、EIGER の 10 倍のフラックスまで使える検出器である。この検出器は、放射光においても、高いフラックスを活かした実験に使えるのではないかと

との提案があった。一方、MÖNCH は積分型ではあるが、1光子の分解能をもつ2次元カラー検出器である。シリコンのセンサー、 $25 \times 25 \mu\text{m}^2$ のピクセルサイズ、RMS で 120 eV のノイズ、低い方で 600 eV の軟 X 線まで 1 光子の分解能をもっている。空間分解能は内挿することで、ミクロンレベルまで高めることができるということであった。XRF や Laue 反射、RIXS での利用が考えられている。既存の大型放射光施設のアップグレードでピンクビームを使うことを考えると、それなりのエネルギー分解能があり、1 光子の感度をもつこのような 2 次元検出器が必要となることが考えられる。

3 日目は、午前中のセッションの後 15:00 から放射光施設 Elettra と自由電子レーザー施設 FERMI、アンジュレタ開発製造メーカー Kyma の見学ツアーが順に行われた。Kyma は隣国のスロベニアにあるため、必要な人はパスポートをもってくるようにとの指示があった。放射光施設 Elettra は市中心部から東へバスで 30 分弱の距離の山の上であり、周長 259.2 m、エネルギーと蓄積電流 2 GeV、300 mA (75%) / 2.4 GeV、140 mA (25%)、エミッタンス 7/9.7 nm·rad で、トップアップ入射で運転されている。見学した日は運転中でユーザー実験が行われていた。ビームラインは軟 X 線が中心なためか、SPRING-8 のような大きなハッチは目立たなかった。もちろん、偏向電磁石を光源とする硬 X 線のビームラインもあり、医学イメージング (マンモグラフィ) なども行われていた。病院の装置では診断が難しい患者さんが年間 70 名ほど来所して診断を受けている。施設全体がコンパクトで天井が低いためか、測定装置も含めて全体がコンパクトにまとまっているという印象を受けた。一方、自由電子レーザー施設 FERMI の実験ホールは天井が高く装置も大きいためインパクトがあった。FERMI は UV から軟 X 線を出すことができる。また、Seeded FEL であるためモノクロの必要がないという特徴がある。見学ではコヒーレント回折イメージングの装置が紹介された。壁に食事の出前メニューが貼られていた (食事をとりに外へ出る時間を惜しんで研究に取り組んでいる、ということであろうか?)。

最終日の 4 日目は午前中に 2 つのセッションがあり、Chair の Alessandra Gianoncelli 氏による Concluding remarks で締めくくられた。次回 2019 年の開催地の発表はなかったが、一部の参加者からは今度はアジア地域で開いて欲しいという声が聞かれた。



図3 放射光施設 Elettra 見学の様子。

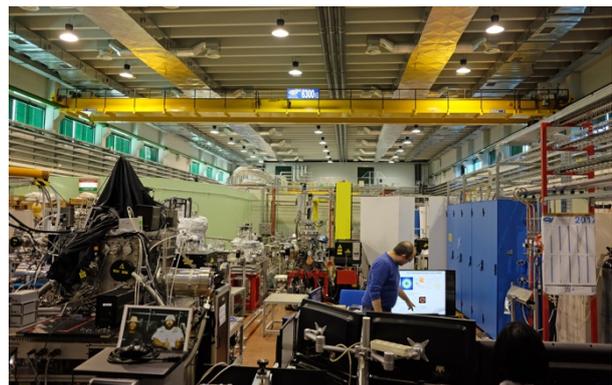


図4 自由電子レーザー施設 FERMI 見学の様子。

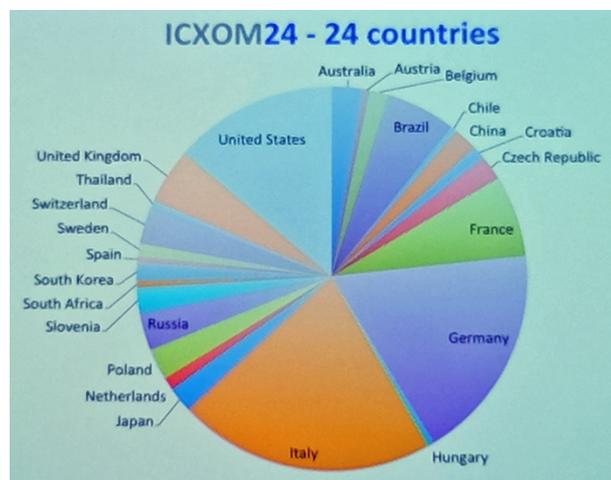


図5 参加者の所属国別の割合。日本からは4名。

参考文献

- [1] K. Janssens: *AIP Conf. Proc.* **1221** (2010) 1-6.
- [2] Alessandra Gianoncelli: private communication.
- [3] <http://www.icxom24.it/Main/Program>
- [4] <https://www.elettra.trieste.it/comunicazione/events/icxom24.html>

今井 康彦 IMAI Yasuhiko

(公財) 高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1
TEL : 0791-58-0802 ext 3478
e-mail : imai@spring8.or.jp