

## ■ 会議報告

International Conference on X-Ray Microscopy (XRM2014)  
報告

武市泰男 (高エネルギー加速器研究機構)

木村正雄 (高エネルギー加速器研究機構)

XRM2014は、2014年10月26～31日にオーストラリアの Melbourne Convention & Exhibition Centre (ビクトリア州メルボルン市) で開催された。ここは幕張メッセのような大きな施設で、そのごく一部を借りて国際会議をやっているという具合であった。この時期のメルボルンの季節は春。地元の人が「一日のうちにいろいろな季節があり、かつ予測できない」と言うだけあって、初日の朝はひどい大嵐、のち快晴と急変する天気戸惑った。二日目以降はおおむね良好な天気で、メルボルンの街を楽しむことができた。

XRM は1983年にドイツで初めて開催されて以来、今回で12回目を数える。参加者は300名超で、うち日本からの参加者は34名。参加者・発表者が最も多かったのはドイツであり(56名)、PETRA-III や BESSY-II、隣国スイスの Swiss Light Source (SLS) を利用した先駆的研究が活発に行われていることを物語っている。

フレネルゾーンプレート (FZP) は、X線の集光あるいは投影において最も広く用いられている回折光学素子である。従来のバイナリ FZP では、軟 X線領域では最外ゾーン幅の緻密さの限界により空間分解能が頭打ちとなり、硬 X線領域で実用的な回折効率を得るにはゾーン高さが限界となる。つまり、硬軟 X線ともに FZP のリソグラフィ技術の限界により高性能化の限界を迎えていた。しかし、ここ数年、FZP 製作における新たな工夫やタイコグラフィのような革新的な測定手法が登場し、より高い空間分解能、より高い光エネルギーでの実用的な回折効率が実現されてきた。XRM2014では、このようなアプローチがさらなる拡がりを見せているとともに、多くの新技術がすでにユーザー供用できる段階に入っていることを強く感じる報告が多数なされた。

以下、特に印象的だった発表をいくつか紹介する。Advanced Light Source からは、軟 X線のタイコグラフィにより、1500 eV で 3 nm という、まさに波長限界に迫る空間分解能を実現したことが報告された。従来、タイコグラフィの再構成計算は非常に時間がかかるものだったが、GPU を多数搭載した並列計算により、ほぼリアルタイムで再構成像が見られるという環境を実現している。Paul Scherrer Institute では、これまでも様々な FZP の製作が

行われているが、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  膜の裏表両側にリソグラフィを行うことで疑似キノフォーム FZP を作成した例が報告された。最外ゾーン幅 30 nm の FZP で回折効率 9.9% @ 9 keV、最外ゾーン幅 200 nm では 54.7% @ 6.2 keV という驚異的な効率が実現されている。SLS の TOMCAT ビームラインでは、1 露光 0.3～3 msec という超短時間でサブミクロン分解能の CT 測定が行われ、ロボットにより多数の試料を自動で CT 測定する環境が実現されている。ETH の Kevin Mader 氏は、TOMCAT で多数の試料を測定し、多数のデータを解析するシステムの構築を行った。この業績により、XRM で優秀な若手に贈られる Werner Meyer-Ilse memorial award を受賞した。

応用研究では、リチウムイオン電池、燃料電池といった実用材料の研究が多数報告されていたのが印象的であった。放射光のような大型施設での研究に対し、産業などへの社会還元が強く求められているのは、近年世界共通の傾向であろう。

日本からは、SPring-8 でのタイコグラフィやマイクロ CT、advanced KB ミラーを用いた集光・投影技術、全反射 ZP などの発表のほか、UVSOR や PF の軟 X線顕微鏡の報告などがあった。日本からも独創的な研究が報告されている一方で、急速に発展するこの業界で世界と競うことの厳しさを再認識させられた。特に、日本の放射光施設には顕微法に特化したビームラインが少ないこと、実材料への展開を含めたハード・ソフト両面の利用研究体制の整備が遅れていることは、大きな問題である。社会のニーズに応える施設の充実、他機関との連携による研究コミュニティの形成が急務であると感じた。

XRM2014では、「今後の X線イメージング・顕微分光は、どこへ向かうのか?さらなる発展のためには、どのような技術を必要とするのか?」といった将来を見据えた議論も活発に行われた。

ひとつめのトピックは、巨大化するデータの取り扱いである。XRM2014では、直前に Big Data in X-Ray Microscopy というタイトルでサテライトワークショップも開催された。たとえば前述の TOMCAT での CT 測定では、ひとりのユーザーが何百個もの試料を持ち込み、1 時間程度で TByte オーダーのデータ量が吐き出される。このよ



Australian Synchrotron 内部の写真 (2階見学デッキより)。

うな環境では実験よりも解析のほうがアクティビティのボトルネックになってしまう。実際、測定は2週間、解析はポストドクが2年がかりで行った、という例もある。膨大な測定データを素早く処理するために、GPU加速やスーパーコンピュータを利用した例、クラウドコンピューティングを利用した例が報告された。また、膨大な生データをどうやって保存するのか？生データを破棄する判断をいつ、どう行うか？効率的に解析を行うためのデータ形式の統一規格の必要性、高精細な三次元データをどうやって可視化するか、数値化するかといった解析手法の確立など、多くの課題が指摘された。

ふたつめは、放射線損傷の問題である。多くの放射光実験では、非破壊測定であることが暗黙のうちに期待されている。これは、電子やイオンビームを用いる顕微法にはないX線の利点である。放射線損傷は、生体や有機分子のような柔らかい試料ではかなり以前から問題となっていて、光源の輝度が上がり、集光サイズが小さくなるにしたがって顕在化してきた。XRM2014では、生体試料を急冷し、測定環境に自動搬送する冷却技術を導入することで放射線損傷を改善した例が多数報告された。また、放射線照射量を綿密に見積もり、効率のよい測定を行うことで、ハエやマウスのようなマクロな生体を *in vivo* でCT測定した例もあった。そのほか、検出器側がより高解像度・高効率になれば照射時間を短縮できることから、X線二次元検出器の性能向上への強い期待が投げかけられた。

閉会後には Australian Synchrotron の施設見学が行われた。同施設は2007年に稼働し、現在では3000人近いユーザーが実験を行っている。リング内に入射器があるコンパクトなリングで、分光・回折・イメージング等の様々な



XRM2014会場での集合写真。

ビームラインが設置されている。

次回のXRM2016は、Diamond Light Sourceの主催によりオックスフォード大学で開催される。また、次々回XRM2018の開催地に対する投票が行われ、Canadian Light Sourceの主催となることが決定した。本会議のメジャースポンサーのひとつであるCarl Zeiss X-ray Microscopy社の担当者<sup>1)</sup>は、今回のXRM2014ではX線顕微法そのものの研究だけでなく、それを使ったユーザーの発表が多くあったと述べ、このことを非常に喜んでいった。世界的には本分野の研究者は増加しており、この会議は原理・手法と応用の両面からさらなる盛り上がりを見せていくであろう。

<sup>1)</sup> 以前のXradia社。彼も以前はNational Synchrotron Light SourceでX線顕微鏡の研究をしていた。