

おわりに：SACLA と XFEL 利用研究の可能性

公益財団法人高輝度光科学研究センター 登野 健介*

Recent researches with XFELs indicate the future development of XFEL science and give rise to demands on new challenges for XFEL facilities. Several upgrade plans are now in progress at SACLA; e.g., construction of new beamlines, enhancement of stability, intensity, and temporal coherence. This article gives a short summary describing advanced scientific applications of XFELs and the upgrade of SACLA.

Keywords: perspectives, application, SACLA, XFEL

放射光の発見以来飛躍的な進化を遂げてきた X 線科学は、SPRING-8 をはじめとする第三世代放射光源の登場を経て成熟の域に達してきた。ただ、放射光の登場前後では大きな飛躍があったものの、それ以降の発展は、本質的な部分での進歩というよりは量的なものであった。すなわち、第一世代から第三世代光源への進化の過程でもたらされたものは、多くの場合、計測の精密化、高分解能化、高速化である。これに対し、フェムト秒の露光時間で試料をコヒーレントに照射できる XFEL は、質的に異なる研究手法を生み出すポテンシャルを秘めている。生物科学や物質・材料科学における分析技術の革新は言うまでもなく、基礎物理学や宇宙・惑星科学といった分野においても XFEL の活用が広がっていくであろう。例えば、これまで光学レーザーの独壇場であった量子光学の研究が、X 線領域においても進められるようになってきている。また、衝撃圧縮などによって生まれた超高压状態の科学も、XFEL をプローブとして利用することの有効性が

認識され始めてきた。米国 LCLS と SACLA において XFEL の利用研究が始まって数年が経過し、実際に今後の大きな発展を予感させる利用成果が出ている¹⁻¹¹⁾。

初めのうちこそ未知の部分が多かった SACLA の XFEL も、今では光特性の解明が進み、高い精度で利用実験のデザインができるようになってきた。また、現状の光源の限界と可能性を知ることによって多くの課題が明らかになり、今後の施設のアップグレードの方向性も見えてきている¹²⁾。シード化、出力増強、多色同時発振、長波長領域の FEL 生成といった光の品質を高めるものから、新しいビームラインの建設によって利用機会の拡大を図るものなど、すでに進行中の計画も多い¹²⁾。また、パルス圧縮によってテラワット領域のピークパワーとアト秒領域の時間幅を持つ XFEL を生成する手法が考案されており、実現に向けて開発が進められている¹³⁾。これらのアップグレードによって利用研究の精度が向上することはもちろん、新しい応用の可能性が拓けることは間違いない。

このように XFEL 光源および利用研究はいまだ進化の途上であり、XFEL 科学の拡がりには未知数のままである。海外で進行中の XFEL 計画の動向も含め、今後の XFEL 科学の発展に注目していただきたい。SACLA に関しては、論文、Web、講習会、シンポジウムなどを通じて最新情報を入手することができる。特に SACLA のホームページには利用研究課題の申請に関する情報が掲載されており、利用を検討されている方は一読されることをお勧めする¹⁴⁾。

今回の特集では、SACLA の多くの利用研究例のうち、ごく一部しか紹介することができなかった。今後さらに利用事例が蓄積された段階で、改めて研究成果を紹介する機会が得られることを願っている。本特集記事が、放射線化学会の会員の皆様に SACLA の利用を検討していただく契機になれば幸いである。最後に、紙面の上の研究紹介だけでは、現場に渦巻く熱気を伝えるには不十分ではなかったかと危惧している。興味を持たれた方は是非 SACLA を訪れて、施設

Conclusions and Future Perspectives: Upgrades of SACLA and Advanced Scientific Applications of XFEL

Kensuke Tono* (*Japan Synchrotron Radiation Research Institute*),

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1 公益財団法人高輝度光科学研究センター XFEL 利用研究推進室

TEL: 0791-58-0831 内線 3321, FAX: 0791-58-0830,

E-mail: tonok@spring8.or.jp

スタッフおよびユーザーと研究現場の興奮を共有して
 いただきたい。特に未踏の領域に挑む意欲のある若い
 研究者や学生の方々の来訪を歓迎している。

〈参 考 文 献〉

- 1) L. Young, E.P. Kanter, B. Krassig, Y. Li, A.M. March, S.T. Pratt, R. Santra, S.H. Southworth, N. Rohringer, L.F. DiMauro, G. Doumy, C.A. Roedig, N. Berrah, L. Fang, M. Hoener, P.H. Bucksbaum, J.P. Cryan, S. Ghimire, J.M. Glowina, D.A. Reis, J.D. Bozek, C. Bostedt, M. Messerschmidt, *Nature*, 466 (2010) 56.
- 2) H.N. Chapman, P. Fromme, A. Barty, T.A. White, R.A. Kirian, A. Aquila, M.S. Hunter, J. Schulz, D.P. DePonte, U. Weierstall, R.B. Doak, F.R.N.C. Maia, A.V. Martin, I. Schlichting, L. Lomb, N. Coppola, R.L. Shoeman, S.W. Epp, R. Hartmann, D. Rolles, A. Rudenko, L. Foucar, N. Kimmel, G. Weidenspointner, P. Holl, M. Liang, M. Barthelmess, C. Caleman, S. Boutet, M. J. Bogan, J. Krzywinski, C. Bostedt, S. Bajt, L. Gumprecht, B. Rudek, B. Erk, C. Schmidt, A. Homke, C. Reich, D. Pietschner, L. Struder, G. Hauser, H. Gorke, J. Ullrich, S. Herrmann, G. Schaller, F. Schopper, H. Soltau, K.-U. Kuhnel, M. Messerschmidt, J.D. Bozek, S.P. Hau-Riege, M. Frank, C.Y. Hampton, R.G. Sierra, D. Starodub, G. J. Williams, J. Hajdu, N. Timneanu, M.M. Seibert, J. Andreasson, A. Rocker, O. Jonsson, M. Svenda, S. Stern, K. Nass, R. Andritschke, C.-D. Schroter, F. Krasniqi, M. Bott, K.E. Schmidt, X. Wang, I. Grotjohann, J. M. Holton, T.R.M. Barends, R. Neutze, S. Marchesini, R. Fromme, S. Schorb, D. Rupp, M. Adolph, T. Gorkhover, I. Andersson, H. Hirsemann, G. Potdevin, H. Graafsma, B. Nilsson, J.C.H. Spence, *Nature*, 470 (2011) 73.
- 3) M.M. Seibert, T. Ekeberg, F.R.N.C. Maia, M. Svenda, J. Andreasson, O. Jonsson, D. Odic, B. Iwan, A. Rocker, D. Westphal, M. Hantke, D.P. DePonte, A. Barty, J. Schulz, L. Gumprecht, N. Coppola, A. Aquila, M. Liang, T.A. White, A. Martin, C. Caleman, S. Stern, C. Abergel, V. Seltzer, J.-M. Claverie, C. Bostedt, J.D. Bozek, S. Boutet, A.A. Miahnahri, M. Messerschmidt, J. Krzywinski, G. Williams, K.O. Hodgson, M.J. Bogan, C.Y. Hampton, R.G. Sierra, D. Starodub, I. Andersson, S. Bajt, M. Barthelmess, J.C.H. Spence, P. Fromme, U. Weierstall, R. Kirian, M. Hunter, R.B. Doak, S. Marchesini, S.P. Hau-Riege, M. Frank, R.L. Shoeman, L. Lomb, S.W. Epp, R. Hartmann, D. Rolles, A. Rudenko, C. Schmidt, L. Foucar, N. Kimmel, P. Holl, B. Rudek, B. Erk, A. Homke, C. Reich, D. Pietschner, G. Weidenspointner, L. Struder, G. Hauser, H. Gorke, J. Ullrich, I. Schlichting, S. Herrmann, G. Schaller, F. Schopper, H. Soltau, K.-U. Kuhnel, R. Andritschke, C.-D. Schroter, F. Krasniqi, M. Bott, S. Schorb, D. Rupp, M. Adolph, T. Gorkhover, H. Hirsemann, G. Potdevin, H. Graafsma, B. Nilsson, H.N. Chapman, J. Hajdu, *Nature*, 470 (2011) 78.
- 4) N. Rohringer, D. Ryan, R.A. London, M. Purvis, F. Albert, J. Dunn, J.D. Bozek, C. Bostedt, A. Graf, R. Hill, S.P. Hau-Riege, J.J. Rocca, *Nature*, 481 (2012) 488.
- 5) S.M. Vinko, O. Ciricosta, B.I. Cho, K. Engelhorn, H.-K. Chung, C.R.D. Brown, T. Burian, J. Chalupsky, R.W. Falcone, C. Graves, V. Hajkova, A. Higginbotham, L. Juha, J. Krzywinski, H.J. Lee, M. Messerschmidt, C.D. Murphy, Y. Ping, A. Scherz, W. Schlottter, S. Toleikis, J.J. Turner, L. Vysin, T. Wang, B. Wu, U. Zastrau, D. Zhu, R.W. Lee, P.A. Heimann, B. Nagler, J.S. Wark, *Nature*, 482 (2012) 59.
- 6) N.D. Loh, C.Y. Hampton, A.V. Martin, D. Starodub, R.G. Sierra, A. Barty, A. Aquila, J. Schulz, L. Lomb, J. Steinbrener, R.L. Shoeman, S. Kassemeyer, C. Bostedt, J. Bozek, S.W. Epp, B. Erk, R. Hartmann, D. Rolles, A. Rudenko, B. Rudek, L. Foucar, N. Kimmel, G. Weidenspointner, G. Hauser, P. Holl, E. Pedersoli, M. Liang, M.M. Hunter, L. Gumprecht, N. Coppola, C. Wunderer, H. Graafsma, F.R.N.C. Maia, T. Ekeberg, M. Hantke, H. Fleckenstein, H. Hirsemann, K. Nass, T.A. White, H.J. Tobias, G.R. Farquar, W.H. Benner, S.P. Hau-Riege, C. Reich, A. Hartmann, H. Soltau, S. Marchesini, S. Bajt, M. Barthelmess, P. Bucksbaum, K.O. Hodgson, L. Struder, J. Ullrich, M. Frank, I. Schlichting, H.N. Chapman, M.J. Bogan, *Nature*, 486 (2012) 513.
- 7) S. Boutet, L. Lomb, G.J. Williams, T.R.M. Barends, A. Aquila, R.B. Doak, U. Weierstall, D.P. DePonte, J. Steinbrener, R.L. Shoeman, M. Messerschmidt, A. Barty, T.A. White, S. Kassemeyer, R.A. Kirian, M.M. Seibert, P.A. Montanez, C. Kenney, R. Herbst, P. Hart, J. Pines, G. Haller, S.M. Gruner, H.T. Philipp, M.W. Tate, M. Hromalik, L.J. Koerner, N. van Bakel, J.

- Morse, W. Ghonsalves, D. Arnlund, M.J. Bogan, C. Caleman, R. Fromme, C.Y. Hampton, M.S. Hunter, L.C. Johansson, G. Katona, C. Kupitz, M. Liang, A.V. Martin, K. Nass, L. Redecke, F. Stellato, N. Timneanu, D. Wang, N.A. Zatsepin, D. Schafer, J. De-fever, R. Neutze, P. Fromme, J.C.H. Spence, H.N. Chapman, I. Schlichting, *Science*, 337 (2012) 362.
- 8) T.E. Glover, D.M. Fritz, M. Cammarata, T.K. Allison, S. Coh, J.M. Feldkamp, H. Lemke, D. Zhu, Y. Feng, R.N. Coffee, M. Fuchs, S. Ghimire, J. Chen, S. Shwartz, D.A. Reis, S.E. Harris, J.B. Hastings, *Nature*, 488 (2012) 603.
- 9) S. Bernitt, G.V. Brown, J.K. Rudolph, R. Steinbrugge, A. Graf, M. Leutenegger, S.W. Epp, S. Eberle, K. Kubicek, V. Mackel, M.C. Simon, E. Trabert, E.W. Magee, C. Beilmann, N. Hell, S. Schippers, A. Muller, S.M. Kahn, A. Surzhykov, Z. Harman, C.H. Keitel, J. Clementson, F.S. Porter, W. Schlotter, J.J. Turner, J. Ullrich, P. Beiersdorfer, J.R.C. Lopez-Urrutia, *Nature*, 492 (2012) 225.
- 10) H. Fukuzawa, S.-K. Son, K. Motomura, S. Mondal, K. Nagaya, S. Wada, X.-J. Liu, R. Feifel, T. Tachibana, Y. Ito, M. Kimura, T. Sakai, K. Matsunami, H. Hayashita, J. Kajikawa, P. Johnsson, M. Siano, E. Kukk, B. Rudek, B. Erk, L. Foucar, E. Robert, C. Miron, K. Tono, Y. Inubushi, T. Hatsui, M. Yabashi, M. Yao, R. Santra, K. Ueda, *Phys. Rev. Lett.*, 110 (2013) 173005.
- 11) K. Tamasaku, M. Nagasono, H. Iwayama, E. Shigemasa, Y. Inubushi, T. Tanaka, K. Tono, T. Togashi, T. Sato, T. Katayama, T. Kameshima, T. Hatsui, M. Yabashi, T. Ishikawa, *Phys. Rev. Lett.*, 111 (2013) 043001.
- 12) 田中 均, X線自由電子レーザー概論, 高エネルギー加速器セミナー OHO'13 受講用テキスト, 高エネルギー加速器科学研究奨励会, つくば, 2013, <http://accwww2.kek.jp/oho/OHO13/text.html>.
- 13) T. Tanaka, *Phys. Rev. Lett.* 110 (2013) 084801.
- 14) SACLA のホームページ, <http://xfel.riken.jp/>