

## ■会議報告

# “SSRL/LCLS Annual Users’ Meeting & Workshops” 参加報告

富樫 格 (公益財団法人高輝度光科学研究センター)

この研究会は、SLAC 国立加速器研究所が主催で、放射光施設 Stanford Synchrotron Radiation Lightsource (SSRL) と XFEL 施設 Linac Coherent Light Source (LCLS) における利用実験の成果発表と、今後の施設アップグレードに関する議論を目的に、2015年10月7日～9日の日程で開催された\*。ほとんどのセッションが、SLAC キャンパス内の LCLS 関連建屋で行われたが、一部 SSRL に関係するものは施設近くの会場も使用していた。SLAC では、FEL 次期計画である LCLS II の建設開始が翌々年に始まるようとしており、この計画に関する発表や議論を中心とする構成で、盛大な盛り上がりを感じた。SLAC キャンパスの正門すぐ目の前には Science and User Support Building (Building 053 SUSB) と呼ばれる新しい建屋が完成しており (図 1)、従来個々に対応していた LCLS と SSRL のユーザーサポート業務を、一括にここで行う。このワークショップが柿落しとなっており、1階の Auditorium ではプレナリーセッションがおこなわれた。参加人数は全体で460人程度 (主催者発表) であり、日本からは、SACLA 関係者である大和田氏 (理研/SPr-

ing-8)、沈氏 (岡山大学)、著者の3人のみであったように見受けられた。

プログラムは、10/7, 9 に各専門分野に別れたセッションが並行して開催され、2日目の10/8にプレナリーセッションが行われた。プレナリーセッションでは、SLAC Director Chi Chang Kao 氏、SSRL Director Kelly Gaffney 氏、及び、LCLS Director Mike Dunne 氏の講演があり、それぞれの施設における成果やアップグレード計画に関する説明がなされた。続いて、LCLS Manager David Fritz 氏から LCLS II 計画の詳細が紹介された。

LCLS II 計画は、現在の線形加速器の上流に超伝導加速器を増設し、1 MHz の高繰り返し FEL パルス光を提供するものである。超伝導加速器では、電子バンチの加速エネルギーが十分でないため、軟 X 線をターゲットにしており、ビームラインは AMO (Atomic and Molecular Optics) ステーションや XPP (X-ray Pump-Probe) ステーションを中心とする Near Hall をアップグレードする計画になっている。従来の常伝導加速器は、硬 X 線に最適化され、硬 X 線ビームラインに供給される。今回の発表で紹介さ

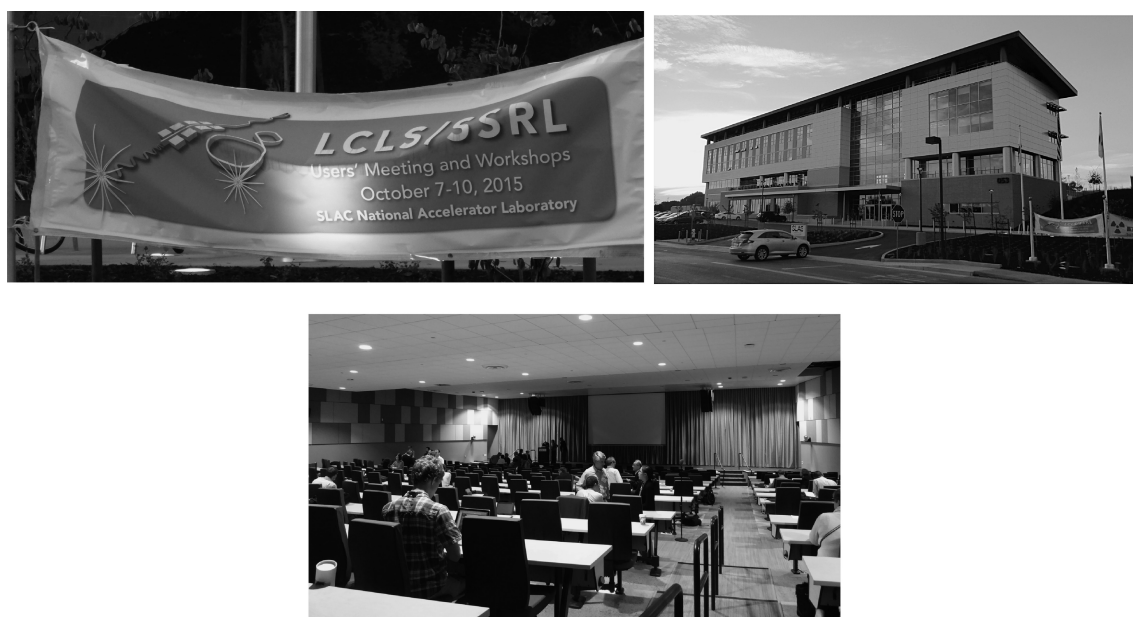


図 1 会議バナーとメイン会場 (Building 053 SUSB)、会場風景

\* 会議ホームページ：  
<https://conf-slac.stanford.edu/ssrl-lcls-2015/>

れた装置の組み合わせと波長範囲、繰り返し周波数を表1に、装置デザインを図2に示す。2016~7年で6ヶ月間2回、2018~9年で12ヶ月間のシャットダウン期間を設け、インストール、アライメント作業を実施する。コミッショニングは、2019年6月頃から開始する予定になっている。

LCLS II で計画されている実験としては、CDI (Coherent diffraction imaging), SFX (Serial femtosecond crystallography) や XES/XAS (X-ray emission/absorption spectroscopy) に加えて、1~5 keV 領域の RIXS (Resonant Inelastic X-ray Scattering) を主軸に進め、新たな高分解能 X 線発光分光器を導入する計画が紹介された。繰り返し周波数が 1 MHz に増強されるため、微弱な X 線発光でも S/N 向上が期待される。2次元検出器に関しても、LCLS II のビームパラメータに合わせて、1 k×1 k pixels, 200 Hz read out や 5 kHz read out の高速読み出し CCD 開発について紹介されていた。その他、実験については、プレナリーセッションでも多少触れられたが、10/9 に行われた専門分野セッションで積極的に議論された。

10/7 のセッションは、6 のパラレルセッションが開催され、1 つは、XFEL 光源に関するもので、他は構造生物やマテリアルサイエンスに関わるものであった。著者は、“Time resolved studies with femtosecond X-ray pulses: Towards molecular movies of molecules at work” のセッションにおいて、タンパク質なども含む分子ダイナミクス研究に関する研究成果の議論に参加した。SFX タンパク

質構造解析関連が午前中の大半を閉めていた。光合成の主要タンパク質である Photo-system 2 (PS2) など、光反応性タンパク質の構造変化をポンププローブ SFX で捉える実験が盛んに行われている。SACLA のユーザーグループである Neutze 氏 (Gothenburg University) や Yano 氏 (Lawrence Berkeley National Laboratory) からも、積極的に PS2 の XPP-SFX 実験を行っており、LCLS での最新結果を発表していた。LCLS での実験では、5~2 Å 空間分解能が得られており、時間スケール  $\mu\text{s}$ ~ $\text{ns}$  の構造変化を XPP で取得している。Yano グループでは、SACLA と同様、SFX と XES (Mn,  $K\beta$ ) を組み合わせた独自の方法で、構造と電子状態のダイナミクス解明に取り組んでいた。SACLA からは、大和田氏が SALCA の施設概要と最新成果について発表を行った。LCLS の成果に比べ数は少ないものの、実験環境整備の向上に伴い、着実に結果を上げている印象があると参加者から意見をいただいた。午後のセッションでは、LCLS II に関わる AMO の発表が半数を占めていた。分光よりは、試料を壊す (非線形) 過程の研究が中心になっている。LCLS, AMO チームの Coffee 氏が、試料平面に TOF 管16本配置した通称 Cookie Box 用いて 3D molecule movie を捉える計画を発表しており、印象的だった。

10/9 は、将来の XFEL や利用実験の計画を議論するセッションが中心となっており、アト秒 FEL や 1 分子イメージング、マテリアル構造ダイナミクス、生物学分野での XFEL 新規利用、超高分解能 X 線分光などのテーマが並行に開催された。他に LCLS でのデータ取得・解析高度化に関するセッションや、SSRL で予定されているピコ秒電子バンチからのショートパルス放射光などを利用した実験計画についてのセッションが開催された。また、SACLA のユーザーで PS2 の X 線構造解析を専門としている沈氏 (岡山大) が、“New Discoveries in Biology with XFELs and Synchrotrons” のセッションで講演されていた。著者は、“Probing Structure and Dynamics of Quantum Materials via X-ray Scattering at LCLS” と題するセ

表1 LCLS II 装置構成と繰り返し周波数, 光子エネルギー。

Accelerator	ID	Rep. rate (Max.)	Photon energy
Warm accelerator	HX-undulator	120 Hz	0.25~12.8 keV
Super conducting accelerator	HX-undulator	1 MHz	1~5 keV
Super conducting accelerator	SX-undulator	1 MHz	0.2~1.3 keV

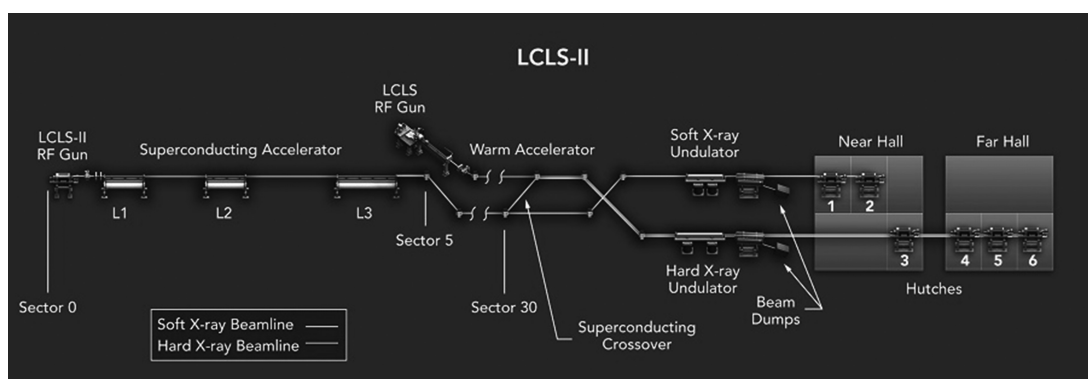


図2 LCLS II 計画模式図

[https://portal.slac.stanford.edu/sites/lcls\\_public/lcls\\_ii/Pages/design.aspx](https://portal.slac.stanford.edu/sites/lcls_public/lcls_ii/Pages/design.aspx)

セッションに参加した。このセッションでは、XPP を利用したマテリアル系ダイナミクス研究の成果から LCLS II を見据えた利用研究を検討するセッションになっている。前半では、施設側の紹介として、硬 X 線ビームラインは Zhu 氏 (SLAC)、軟 X 線ビームラインは Dakovski 氏 (SLAC) から発表があり、LCLS II では軟 X 線領域の RIXS を主軸に考えている意向が伺えた。利用実験の成果としては、Condensed Matter 及び Strongly correlated material に関する発表がほとんどを占めており、SACLA ユーザーである Trigo 氏 (SLAC) が、磁気散乱を示す物質として PbTe のポンププローブ X 線散乱実験結果を報告していた。また、Gray 氏 (Temple University) らのグループでは、VO<sub>2</sub> の構造変化を X 線回折 (X-ray diffraction, XRD) 測定により捉えていた。THz ポンプによる XPP で Monoclinic ピークと Tetragonal ピークの時間変化に加え、同時に IR 透過率変化 (probe; 800 nm)、X 線散乱を計測することで、光誘起相転移のメカニズムを解明

している。VO<sub>2</sub> は構相転移を伴い (低温で Monoclinic、高温で Tetragonal) 高速光誘起相転移を示す物質として知られており、光照射に伴う格子変化をトリガーとするか、電子状態変化をトリガーとするか予てより議論があった。彼らの結果では、IR 透過率変化が Pump 照射直後に起きているのに対し、XRD 変化が 4 ps 程度遅れて起きている。

SLAC は、LCLS を中心にダイナミクス研究や構造生物研究で世界をリードしており、更に LCLS II に向け、施設研究者、ユーザーが共にアイデアを出し合い、非常に熱気が感じられた。ただ、米国、ドイツ、スイスなどの研究施設が中心でアジアからの参加が少ないように見受けられる。今後、EuroFEL (ドイツを中心とする欧州連合)、SwissFEL (スイス) のみならず、韓国や中国に XFEL 施設の建設が進められており、SACLA を含め世界的なコラボレーションからのブレイクスルーを期待したい。