第42回日本産業技術大賞

文部科学大臣賞

X線自由電子レーザー施設 SACLAの整備と供用開始

理化学研究所　高輝度光科学研究センター
住友重機械工業　鴻池組　竹中工務店
東芝電子管デバイス　ニチコン　日立金属
三菱重工業　三菱電機特機システム

施設コンパクト化実現

全長700㍍

理化学研究所播磨研究所のX線自由電子レーザー（XFEL）施設「SACLA」（兵庫県佐用町）は、原子や分子の瞬間的な動きを直接観察することを可能にする"夢の光"を利用した研究施設だ。世界最短の波長で極めて強度の高いX線レーザーを発振できる。波長が短い光を使うほど、対象物を細かく観察することができる。物質を原子・分子レベルで詳細に観察できれば、新たな物質を生み出すことにつながる。医薬品や材料の開発など幅広い分野で役立つ可能性を秘めている。

SACLAという名称は、SPring-8 Angstrom Compact free electron LAserの略。その名の通り、大型放射光施設「スプリング8」に隣接しており、一部設備を共有している。

スプリング8は世界で最も強いX線光源で、これまで知られていなかった原子や分子の振る舞いを捉えることができる。1997年の供用開始以来、新材料の開発や光合成のメカニズム解明などさまざま分野で成果を生み出した。

それでも原子や分子の瞬間的な動きを観察するためには強度が足りない。SACLAは、スプリング8の10億倍の強いX線のレーザーを生み出せるためにこれが可能になる。

XFELを巡っては、日米欧が激しい開発競争を繰り広げてきた。米国カリフォルニア州のSLAC国立加速器研究所が2009年に世界で初めてXFELを実現した。日本のSACLAが完成したのは11年で後れをとった形になったが、SACLAはレーザー性能の高さと施設のコンパクト化を両立した。

最短波長は米国施設の約半分に当たる0・06㌨のX線レーザーの発振に成功した上、施設のサイズは全長700㍍で、米国施設の3分の1となる大幅なコンパクト化も実現した。現時点でXFEL施設は米国と日本にある2カ所だけで、欧州がドイツで建設を進めているが、この施設と比べてもSACLAはコンパクトだ。

国産化率95%

SACLAの建設には500社以上の企業が参画。国産化率は95%以上にのぼり、日本の最先端技術が集結している。特に、日本版XFELの特徴である、高性能かつコンパクトさの実現には、理研と高輝度光科学研究センターが各社と協力し、共同開発した「熱電子銃」「Cバンド加速器」「真空封止型アンジュレーター」が果たした役割が大きい。

住友重機械工業が理研とともに開発した熱電子銃は、電子ビームを発生する装置で高品位のビーム発生を実現。三菱重工業などが開発したCバンド加速器は、電子ビームを加速する装置で、従来のSバンド加速管に比べて加速勾配を2倍に増強することに成功。真空封止型アンジュレーターは、日立金属などが開発した。加速した電子ビームを磁場に通して強力なX線レーザーを発振する装置で、磁石列を真空ダクト内に封入することで低い加速エネルギーでも波長の短いX線レーザーを発振することに成功した。

このほか、電子ビームを加速するための高周波電力を発生しCバンド加速管に投入する装置「クライストロン」は東芝電子管デバイスが開発した。ニチコンの電源装置、三菱電機特機システムの加速器制御装置はSACLAの安定した運転を支えている。これらの構成機器を全長700㍍にわたって誤差1㍉㍍以内に据え付けて収容する建屋は、鴻池組と竹中工務店によるものだ。

SACLAが供用運転を開始したのは12年3月。産業利用も始まっており、同年12月には東芝が、金属の表面を強化するレーザーピーニング処理中のアルミ合金内部の変化を観察することに成功したと発表した。SACLAの高い強度と時間分解能によって観察が可能になった。今後、さらに原子レベルで反応を解明することで、加工プロセスの最適化や、高強度な材料の設計が可能になるという。

XFEL施設は、スイス、スウェーデン、韓国などでも建設計画の検討が進んでいる。日本がSACLAの開発にあたって、高性能とコンパクト化を追求したのは、XFELを広く普及させることを念頭に置いていたからだ。

建設費も低減

コンパクト化は建設コストの大幅な低減につながる。原理的にはSACLAの10分の1の施設サイズでもX線レーザーを発振できる。全長が100㍍を切れば、企業が単独でXFEL施設を建設できるようになるという。

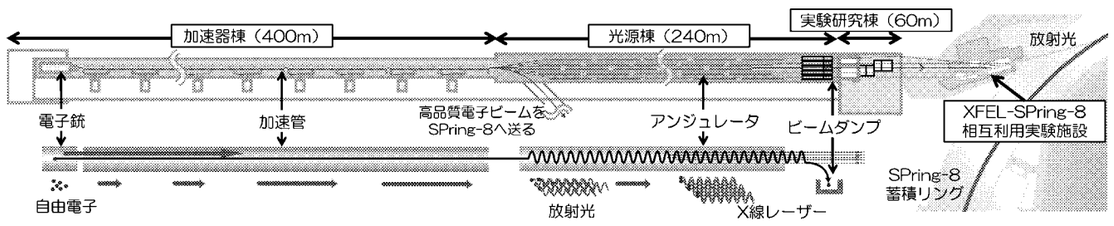
SACLAの開発をまとめた理研の石川哲也放射光科学総合研究センター長は、「SACLAができるまでは、米国の施設のように力ずくで大きな加速器を建設して高性能化を図るという設計だった。しかし、SACLAが実現したことで、XFELは従来のように大金をかけて大型にして作るものではなく、コンパクトに作るものだという潮流が世界で定着しつつある」と指摘する。

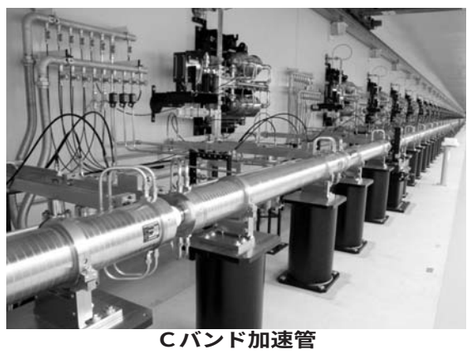
SACLAはこれまで捉えられなかった世界に光を当てる。100フェムト秒以下という瞬時の光を用いれば、物質の化学反応や吸着反応での電子や原子の超高速な挙動を観察することができる。細胞を原子レベルまで生きたままでリアルタイム観察できるほか、生体内で重要な機能を担っているナノスケールの微小マシンの働きを解明するといったことも現実になる可能性がある。医薬品の開発で要となるたんぱく質の構造を簡単に調べることもできるようになる。XFELが広く普及することで、世界各地からイノベーションが生み出されるかもしれない。

500社超が参画 研究高度化に貢献

SACLA全景（写真・図は全て理化学研究所提供）

SACLAの原理模式図





Cバンド加速管

第42回日本産業技術大賞審査委員

◆審査委員長◆
科学振興機構顧問（前総合科学技術会議議員）　相澤　益男氏

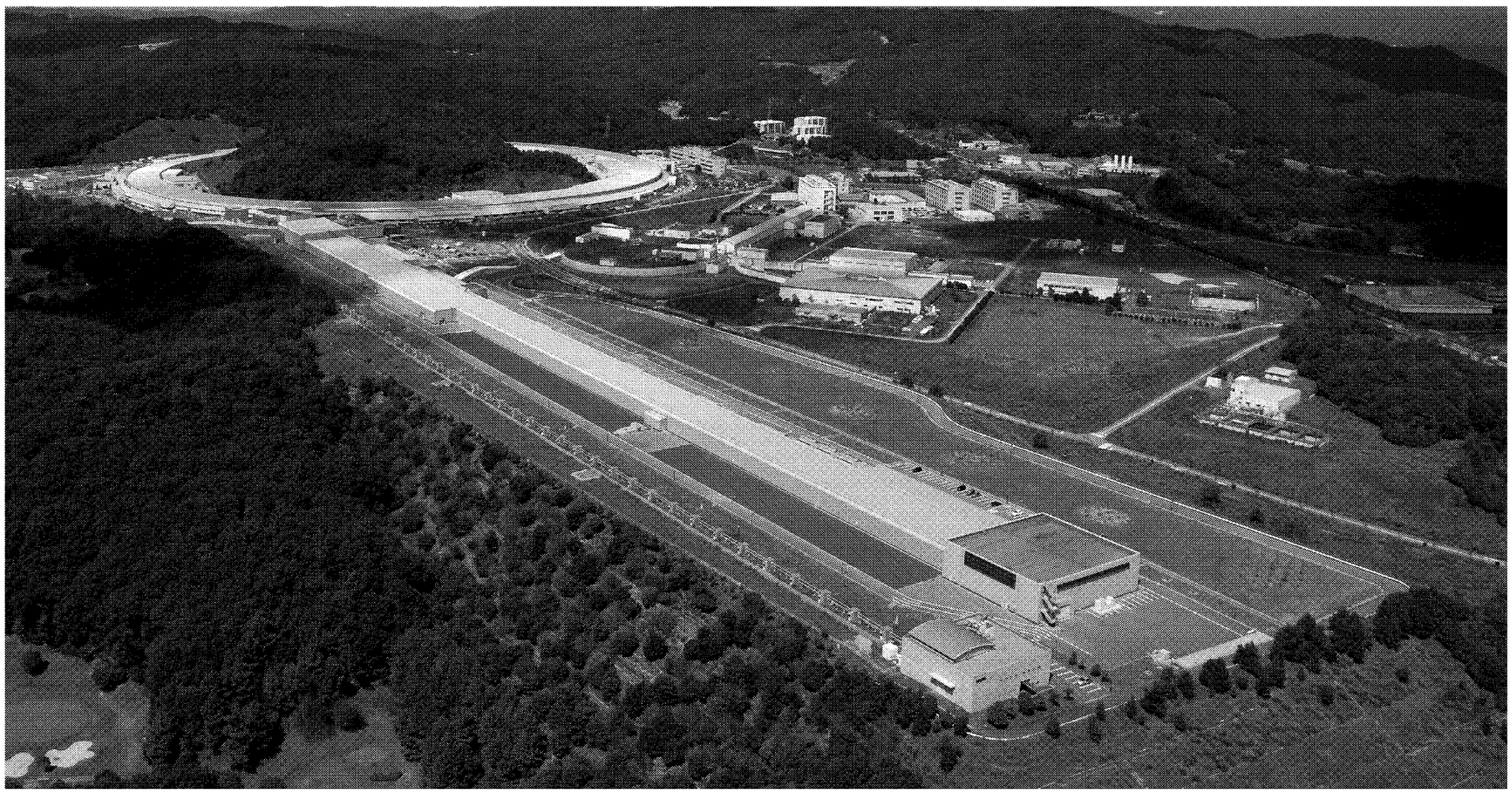
◆委員長代理◆
科学技術振興機構理事長　中村　道治氏

◆審査委員◆
産業技術総合研究所副理事長　一村　信吾氏
新エネルギー・産業技術総合開発機構副理事長　羽藤　秀雄氏
日本宇宙フォーラム理事長　間宮　馨　氏
理化学研究所社会知創成事業本部長　土肥　義治氏
土木研究所理事長　魚本　健人氏
東京理科大学学長　藤嶋　昭　氏
内閣府政策統括官　倉持　隆雄氏
文部科学審議官　藤木　完治氏
経済産業省産業技術環境局長　鈴木　英夫氏
日刊工業新聞社社長　井水　治博（順不同）

SACLAが創る未来の光

500社以上の企業が建設に参画し、国産化率95%、日本の力を集めたX線自由電子レーザー施設

第42回 日本産業技術大賞 文部科学大臣賞 受賞



SACLAの挑戦は続く

日本が培ってきた多くの技術の粋を集めることによって、はじめて完成した国家基幹技術・SACLAは、今後その利用によって、新たな技術を産み出すことに貢献します。SACLAによって創られる新しい光は、将来にわたって科学・技術・産業から次々と湧き上がる課題を、原子レベルからの理解によって解決するでしょう。

SACLAを作り上げるとき、私たちは多くの埋もれた技術や材料を掘り起し、それらに新しい使命を与えて活用してきました。これらにより、SACLAはより少ない資源に、より少ないエネルギーの注入で、より大きな付加価値、世界最短波長のX線レーザーを得ることに成功しました。この新しい光により原子レベルの構造や機能を観察できることから、今まで定性的な理解に留まっていた様々な現象を理解し、制御することで、新しい科学や技術の創生につながっていくことでしょう。

一方で、ここで産まれた新しい技術がSACLAを進化させ、さらに新しい技術の創生を可能とします。現時点で私たちが想像することもできないような画期的な新技術や新産業の礎がSACLAによって創られていくことを信じて、一層の挑戦を続けていきます。

受賞団体・企業（順不同）

独立行政法人理化学研究所
公益財団法人 高輝度光科学研究センター
住友重機械工業株式会社
株式会社鴻池組
株式会社竹中工務店
東芝電子管デバイス株式会社
ニチコン株式会社
日立金属株式会社
三菱重工業株式会社
三菱電機特機システム株式会社