

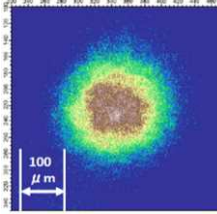


国家基幹技術

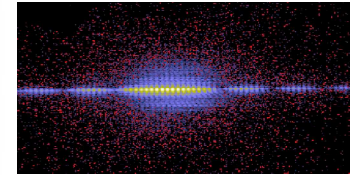
SACLA

SPring-8 Angstrom Compact Free Electron Laser

レーザー光



スリットで干渉した光



建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功
供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV、波長:0.06 nm
2017年度 実施実験課題数:93件、利用者数:1,219人

SACLAを支える日本の力

<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人 	<ul style="list-style-type: none"> 建設期間:2006~2011年 全長:700 m 2011年6月レーザー発振に成功 供用開始:2012年3月 加速電子エネルギー:8 GeV 波長:0.06 nm 2017年度 実施実験課題数:93件 利用者数:1,219人
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

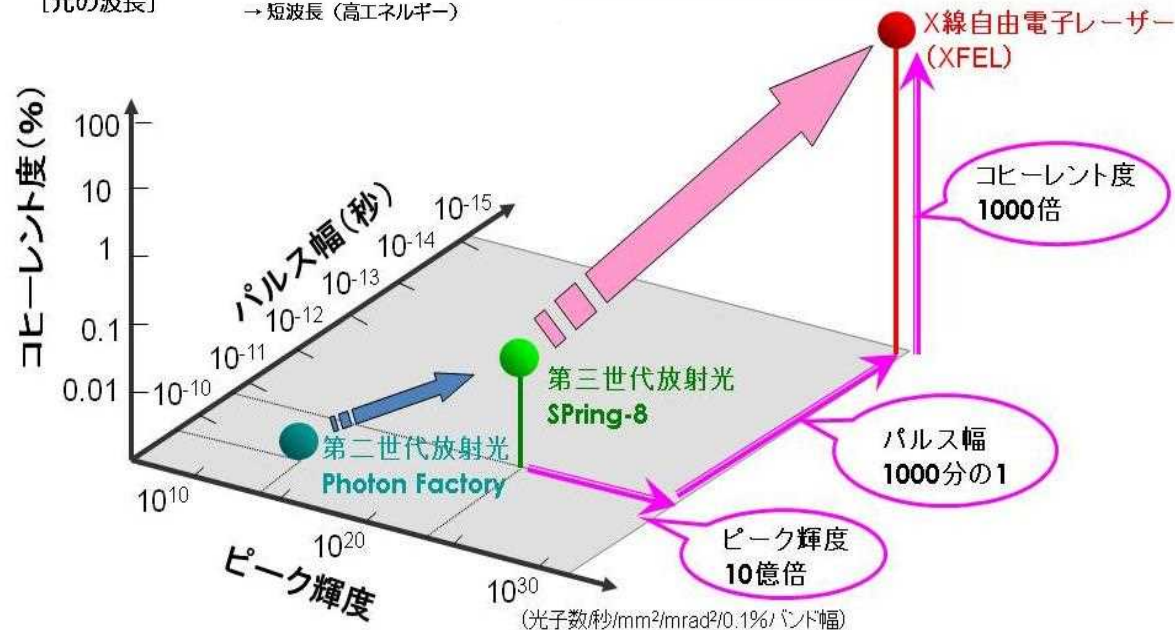
X線自由電子レーザーの特徴



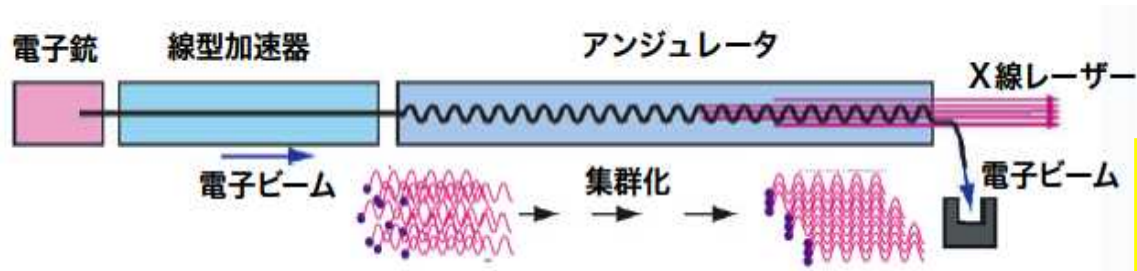
To see Invisible

X線自由電子レーザーが実現する 三つの「見る」

- ◎ 短い波長：原子レベルを見る。
- ◎ フェムト秒パルス：原子や分子の反応を見る。
- ◎ 高干渉性：分子や物質の形をありのままに見る。



コンパクトXFELを実現した加速器要素技術



電子ビームエネルギーを抑制

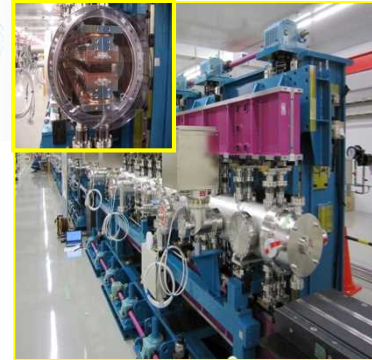
サイズの低減



高勾配で一気に加速

さらにサイズを低減

高品質電子ビーム



真空封止
短周期
アンジュレータ



高加速勾配
Cバンド
加速器システム



低エミッタンス
熱電子銃

XFEL施設の国際比較

	欧州 <u>European XFEL</u> DESY : Deutsches Elektronen-Synchrotron ドイツ電子シンクロトロン研究所	日本 <u>SACLAL</u> 理化学研究所 & 高輝度光科学研究センター	米国 <u>LCLS</u> SLAC : SLAC National Accelerator Laboratory SLAC国立加速器研究所
所在地	ドイツ ハンブルク	兵庫県播磨科学公園都市	カリフォルニア州メンロパーク
全長	約3.4km	約0.7km (最もコンパクト)	約4km (XFEL施設分としては約2km)
電子加速エネルギー	10~20 GeV	8 GeV (低エネルギーでも発振)	14 GeV
レーザー発振波長	0.05~6nm (計画値)	0.06nm (稼働しているXFELとしては最も短い)	2009年4月0.15nm 同年12月0.12nm
建設費	10.82億ユーロ以上 (約1,500億円) (1ユーロ 139円換算)	約390億円 (コストパフォーマンス最高)	6.15億ドル以上 (約627億円) (1ドル 102円換算)
完成	2017年	2011年	2009年
特徴	EU等12ヶ国共同プロジェクト	第3世代大型放射光施設と X線レーザー施設とを一体的に運用する 世界唯一の放射光研究拠点	既存施設の活用により、 3億ドル以上を節減

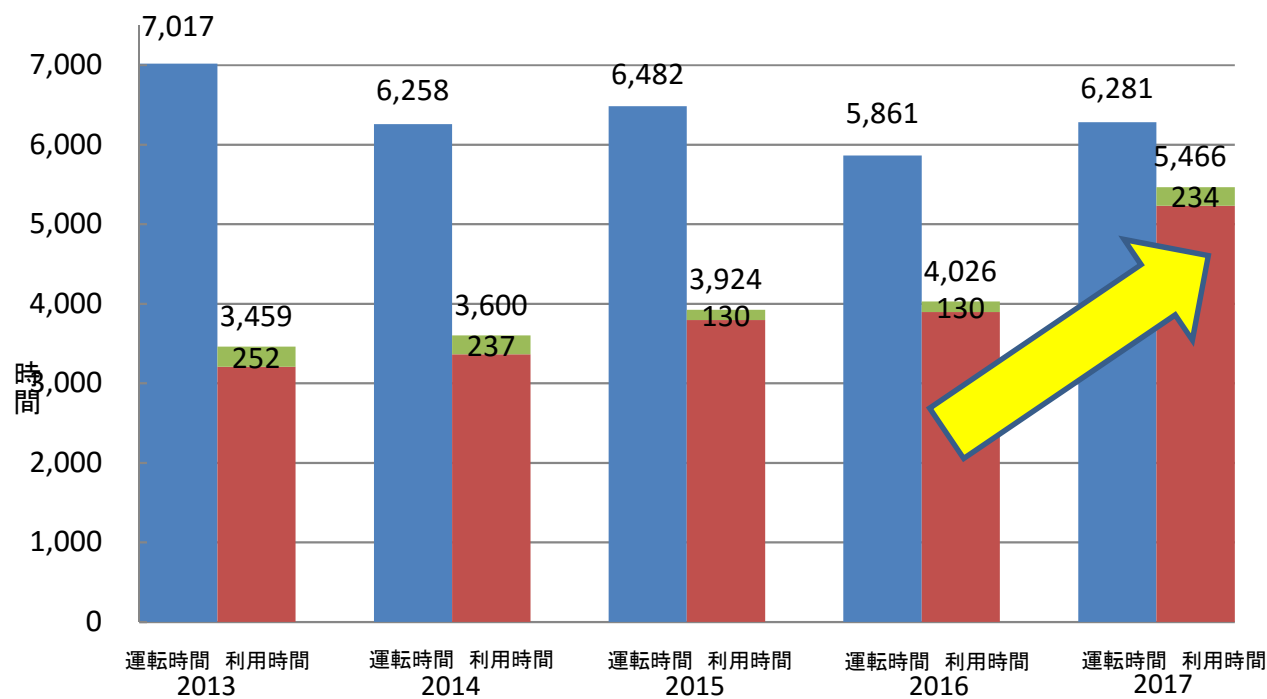
※ 後発のXFEL施設として、PAL-XFEL (韓国)が2017年より運用開始。SwissFEL (スイス)が2019年より運用開始予定

2000年4月	コンパクトXFELのコンセプトの提案
2001年	加速器要素技術のR&D開始
2005年	プロトタイプ機 (SCSS試験加速器) の建設とコミッショニング
2006年4月	理研とJASRIが合同でX線自由電子レーザー合同推進本部を設置し、SACLAの建設を開始 (第3期科学技術基本計画の国家基幹技術)
2006年6月	プロトタイプ機で極紫外レーザー (波長49nm) の発振に成功
2011年3月	SACLA施設の完成と自発放射X線の確認
2011年6月7日	ファーストレーシング (波長1.2Å) の達成
2012年3月	共用開始
2013年	プロトタイプ機のシャットダウン (後に、SACLAのアンジュレータホールに移設し、BL1に接続)
2015年4月	2本目のXFELビームライン (BL2) の共用開始
2016年7月	BL1を軟X線FELビームラインに高度化し、共用開始
2017年9月	BL2/3の振り分け同時利用運転の開始
2018年10月	第1回中間評価 (今回)

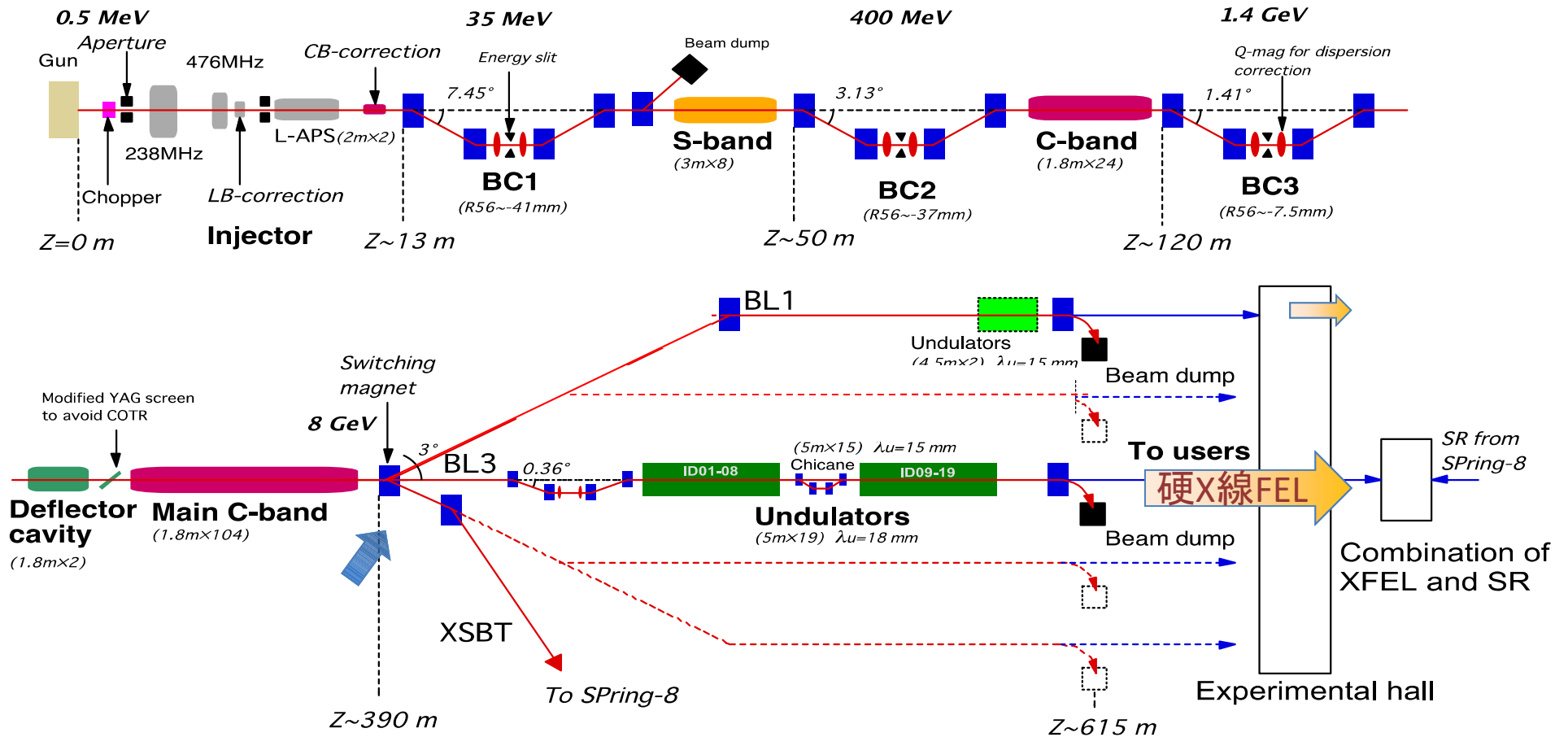
SACLAの運転時間

年度	2013	2014	2015	2016	2017
運転時間	7,017	6,258	6,482	5,861	6,281
利用時間	3,459	3,600	3,924	4,026	5,466
うちダウンタイム	252	237	130	130	234

* 利用運転時間は、2016年度より、BL1共用開始に伴って、BL2/3の時間にBL1の時間を加算。2017年度より、BL2/BL3のパルス振り分け運転の開始に伴って、BL1とBL2とBL3の各時間の和として定義。

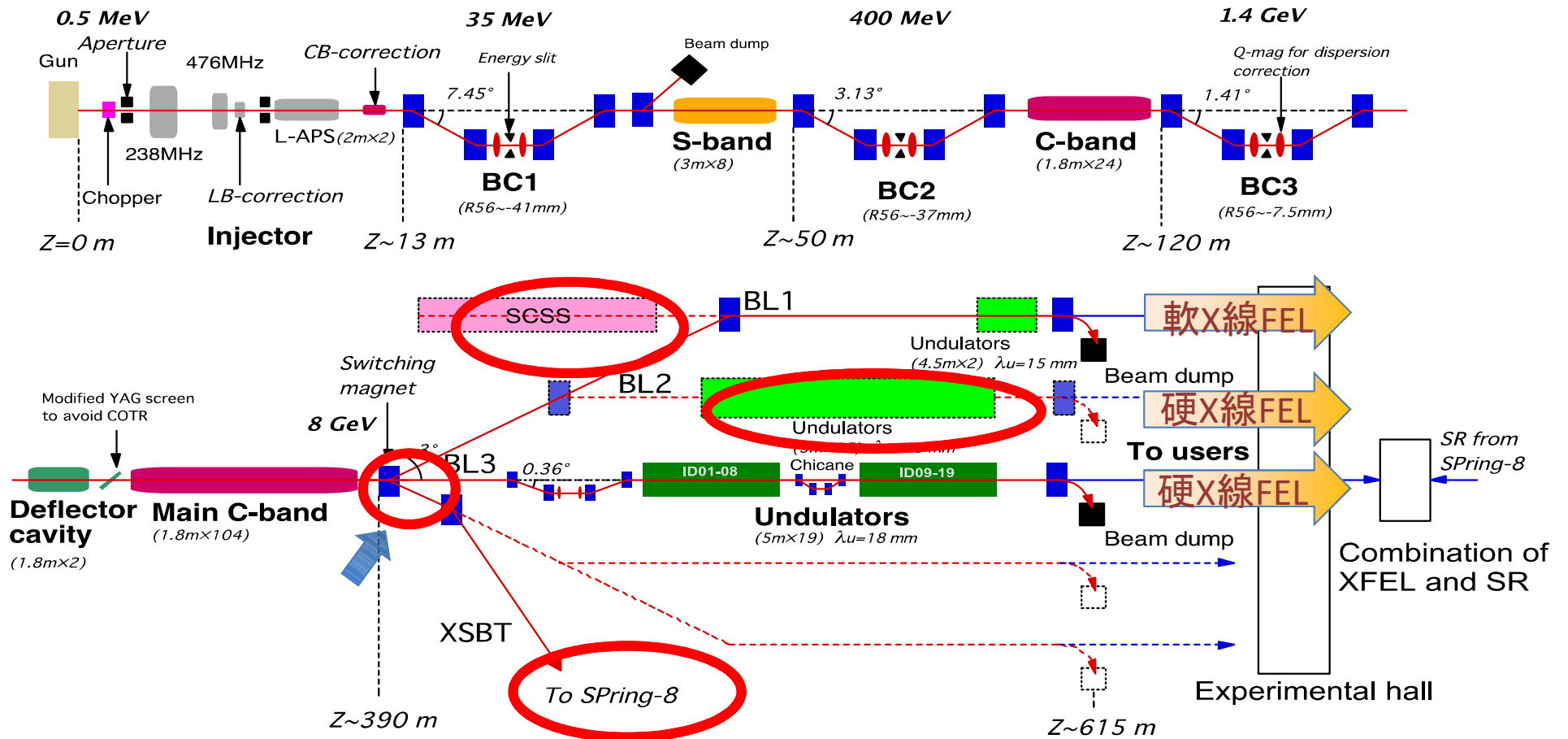


SACLAの加速器システム (共用開始時)



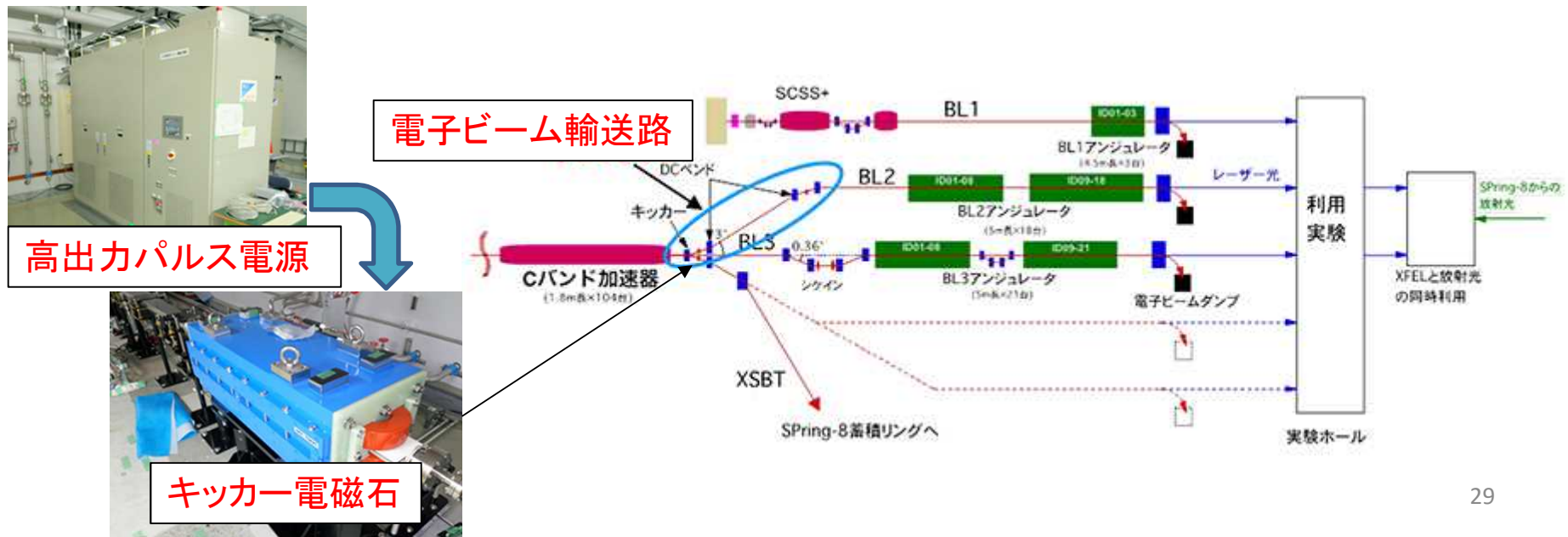
- BL3 (硬X線FEL) とBL1 (広帯域自発放射) の2本で共用開始。専らBL3が利用された

SACLAの加速器システム (2017年秋~)



- 2本の硬X線FELビームライン (BL2とBL3) の振り分け同時利用
- BL1を軟X線FELに高度化

- 2本目のXFELビームラインとして整備。ユーザーからの利用機会拡大の要望に応える (平成24年度補正予算)
- 2015年度: 共用開始
- 2017年度: 電子ビーム輸送路の改修と、キッカー電磁石用高出力パルス電源の開発・導入を実施。高ピーク電流の電子ビームを、無劣化で、各ビームラインにパルス毎に振り分けることが可能に
- 2017B期より、BL2とBL3の振り分け同時利用を実施。利用時間の大幅拡大と、各ビームラインでの特色ある利用を実現
 - BL2: 構造解析を中心とする定型的な利用
 - BL3: 光源性能を極限まで活かした先端的な利用



BL1

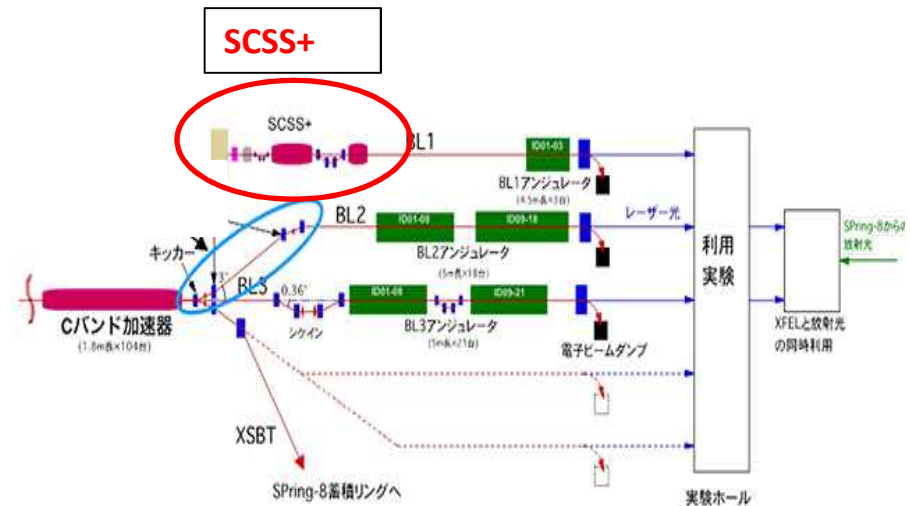
- 既存の自発放射ビームラインから、軟X線FELビームラインへの高度化を実施 (平成26年度補正)
- SACLAのコンセプト実証のためのプロトタイプ機 (SCSS試験加速器) を、SACLAアンジュレータホールに移設し、高輝度電子源として再活用。SACLAのメイン加速器と独立した運転により、軟X線FEL利用機会が純増
- 2016年度: SXFELビームラインとしての共用開始
- 超高速の磁性・電子状態の研究等、ユニークな研究が進展



SACLAアンジュレータホールに移設 (2015~)

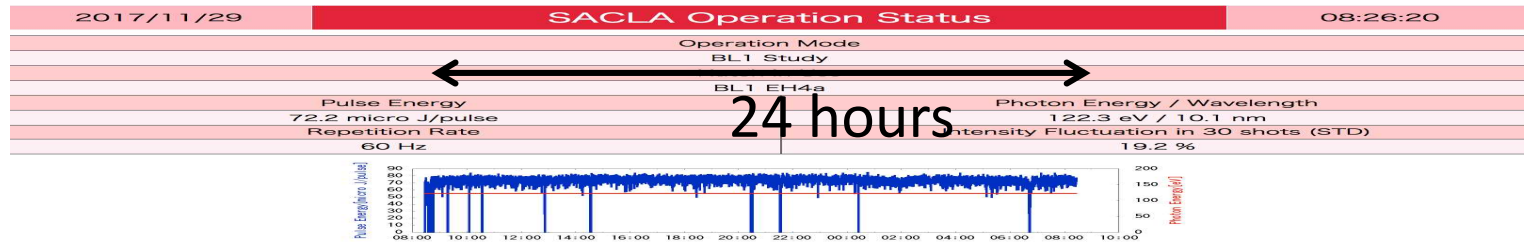


組立調整実験棟のSCSS試験加速器 (2005~2013)

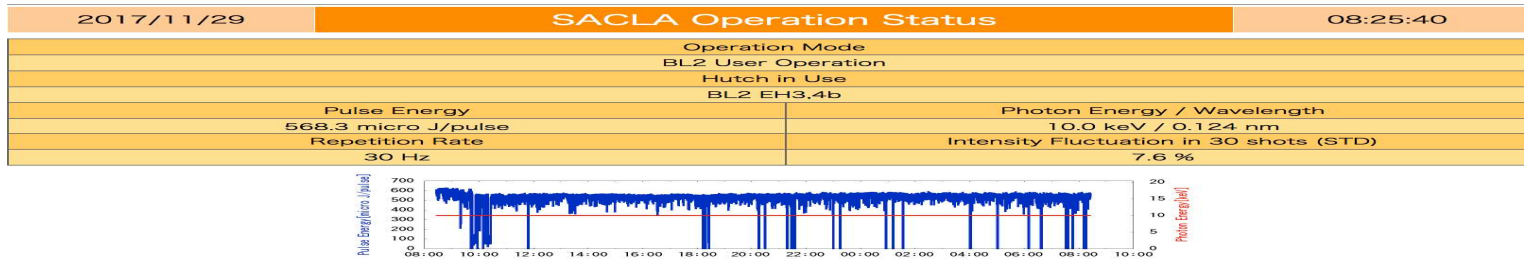


3ビームラインの同時運転

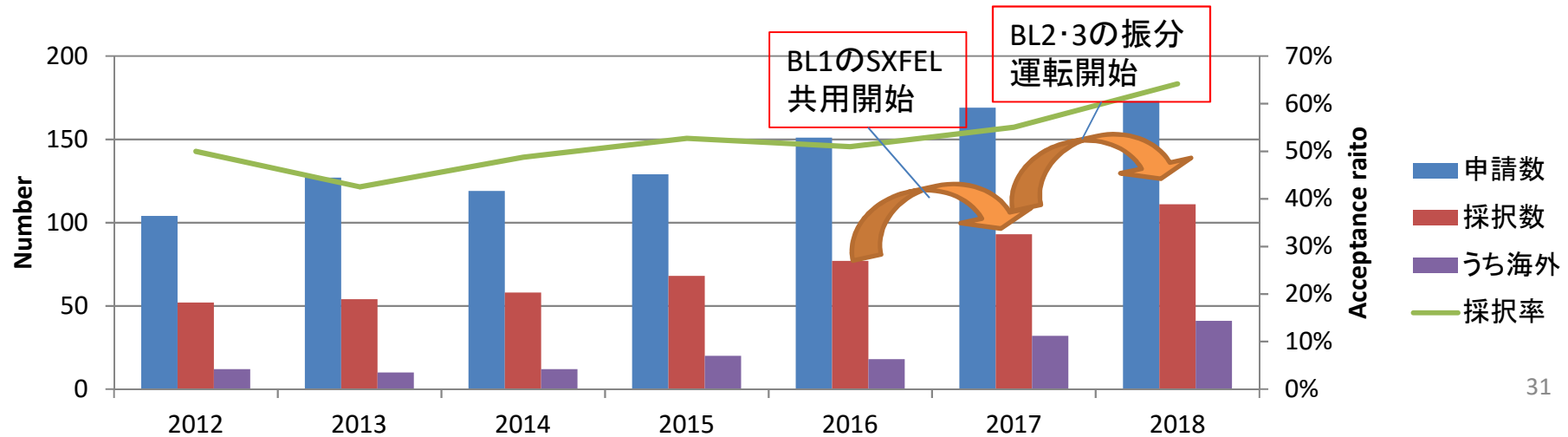
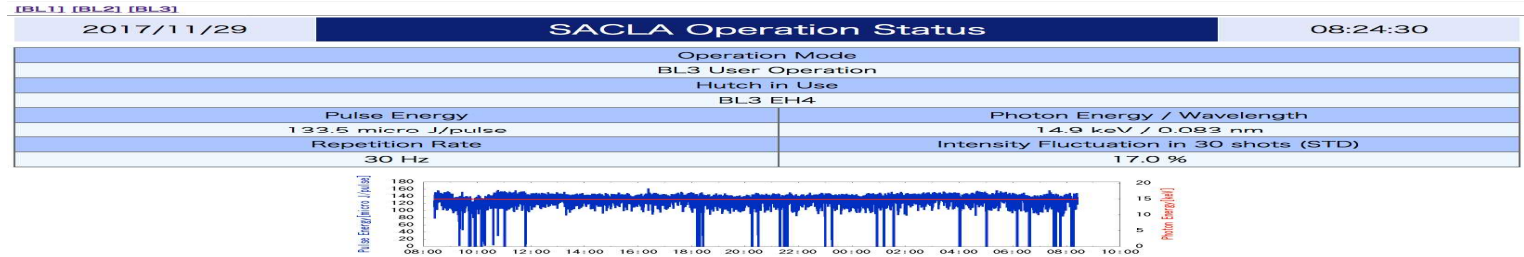
BL1



BL2

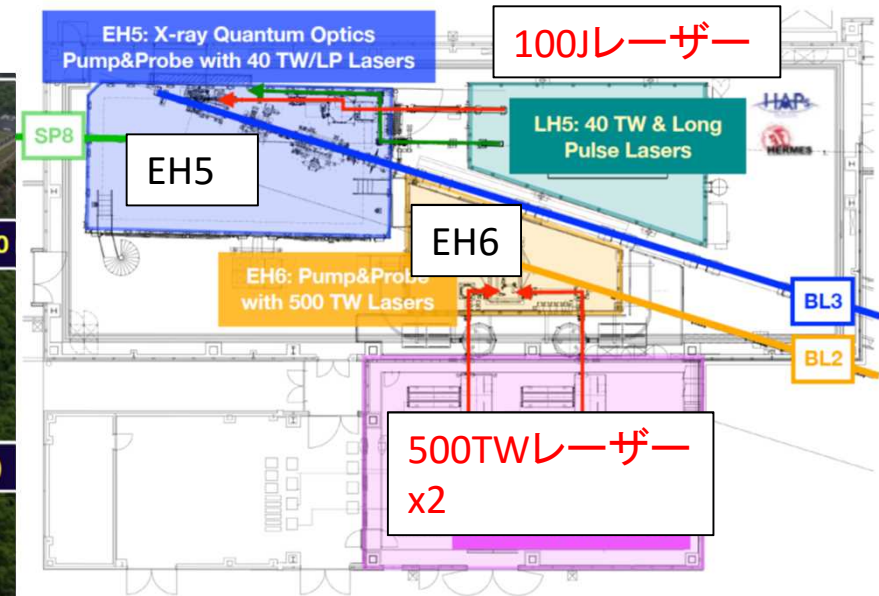
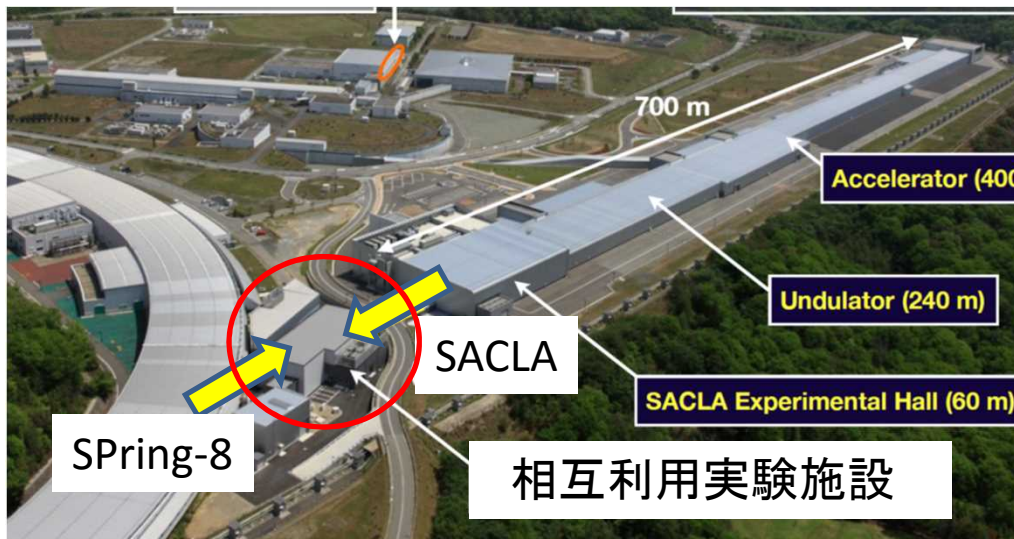


BL3



SACLA-SPring-8相互利用実験施設

- XFELと放射光を同時に利用できる世界唯一の施設 (竣工: 2011年3月)
- 極限集光とその利用
 - ・ 2段集光システムにより、世界最強のX線 (10^{20} W/cm²) を生成
 - ・ 硬X線原子準位レーザーをはじめとするX線量子光学・非線形光学のメッカに
- ハイパワーレーザー群の導入と高エネルギー密度科学の展開
 - ・ 500TWレーザー (平成24年度補正予算で整備、2018A期より共用開始)
 - ・ 100Jレーザー (阪大レーザー研により整備)

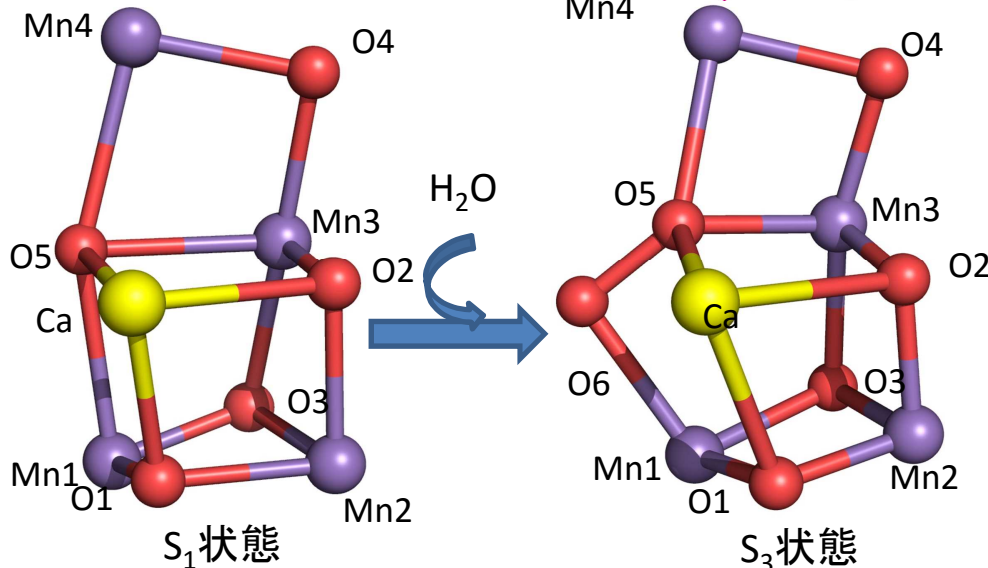
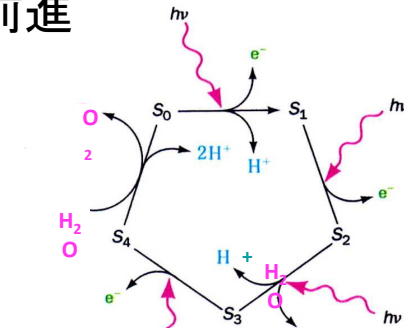


光合成触媒PSIIの、光合成の各プロセスにおける動的な構造変化を無損傷で決定



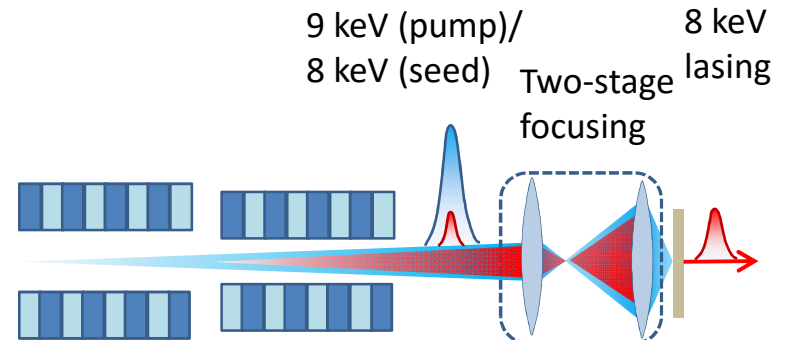
光合成メカニズムの本質的な理解と、人工光合成の実現に大きく前進

Suga, Shen et al. Nature, 517, 99-103, (2015)
Suga, Shen et al. Nature, 543, 131-135 (2017)



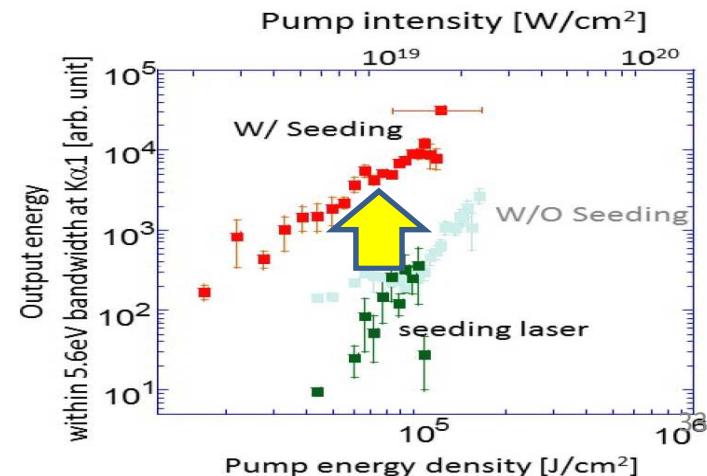
ユニークなSACLAの光源・光学系を駆使し、世界で初めて硬X線のK殻原子準位レーザーを実現

Yoneda et al., Nature 524 446 (2015)



Hara et al., Nature Commun. 4 2919 (2013)

Mimura et al., Nature Commun. 5 3539 (2013)

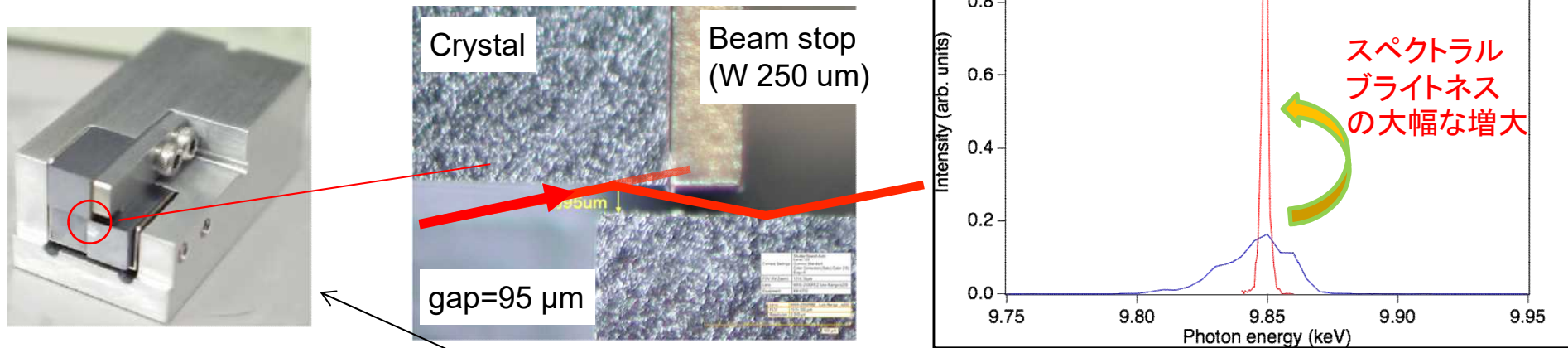


シーディング

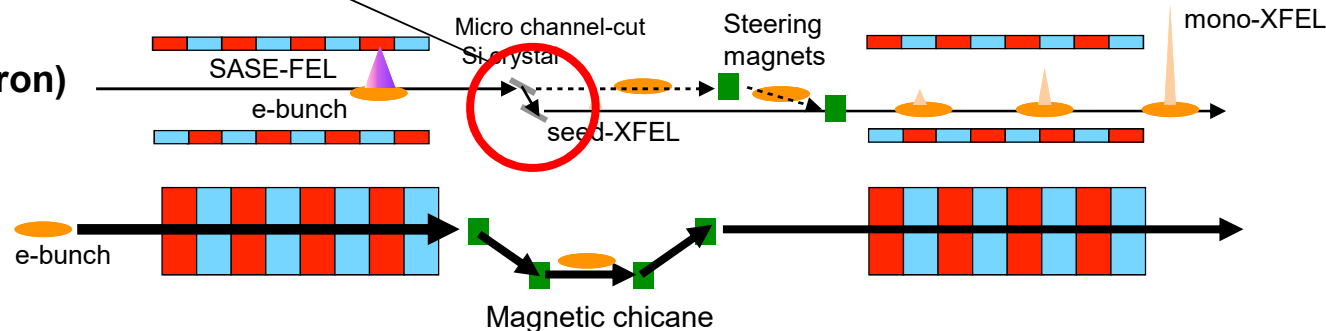
- 世界で初めて、マイクロチャンネルカット結晶を利用した反射型セルフシーディングを提案し、実証した
- SASEと比べ、スペクトラルブライトネスの大幅な増大を確認 (6倍以上)
- 2018B期から共用運転に試験導入

Inoue, Osaka *et al.*, Nature Photon. (under review)

マイクロチャンネルカット結晶



Side view (X-ray & electron)



将来を開拓するプログラム

SACLA大学院生研究支援プログラム (2014年～)

- ・意欲ある大学院生を受入れ、最先端に触れながら研究者の基礎力を養成
- ・教育効果とともに、極めて高いレベルの研究成果も得られている

SACLA基盤開発プログラム (2018年～)

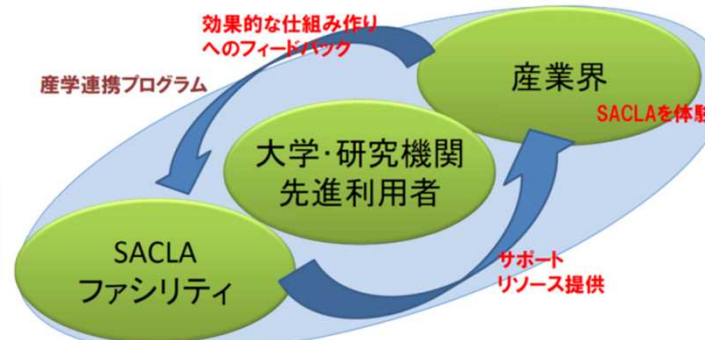
- ・利用者から広くアイデアを募りながら、SACLA施設として推進すべき基盤開発研究のターゲットを設定
- ・ユニークな特徴を発展させながら、国内外へのビジビリティを強化

利用の裾野を拡げ、
トップを伸ばしながら、
次世代の人材を育てる

共用

SACLA産業利用推進プログラム (2014年～)

- ・企業にSACLAを使って頂きながら、産業利用振興に必要な調査研究を実施
- ・熟練したアカデミックユーザーの支援も受けながら実施
- ・共用における産業利用の着実な増加に貢献



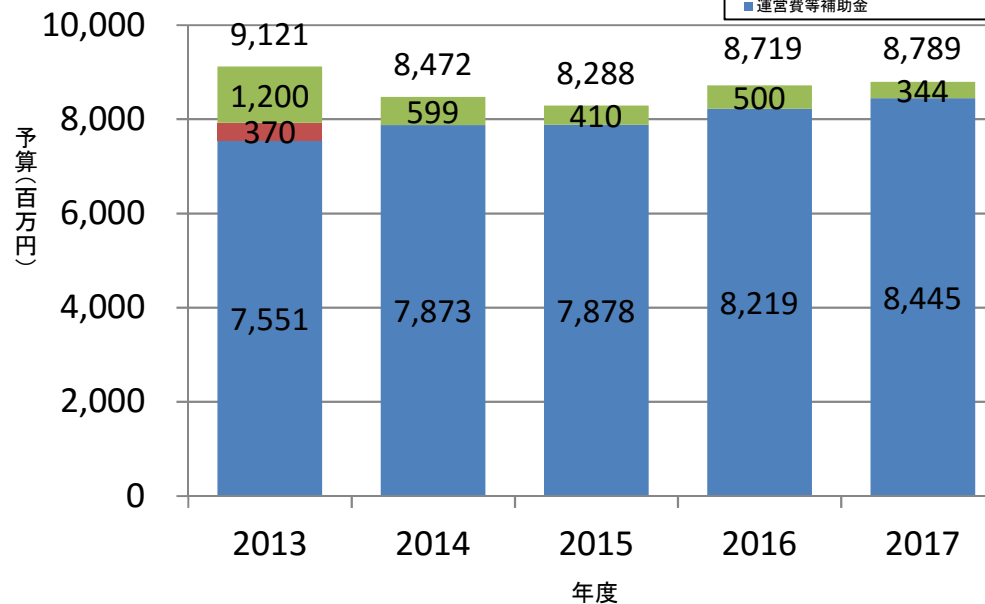
- SPring-8は、共用開始から20年以上にわたり、大型基盤施設として科学技術を支えてきた
- SACLAは、3本のビームラインの同時運用に成功し、利用機会を拡大した
- 大きく変化する内外の状況に、どのように応えていくか
 - 放射光に対する学術・産業・社会からのニーズの拡大・多様化
 - 国内の軟X線次世代放射光施設の動向
 - 海外の高エネルギー放射光施設の発展
 - 持続的・効率的な施設運転の必要性

補足資料



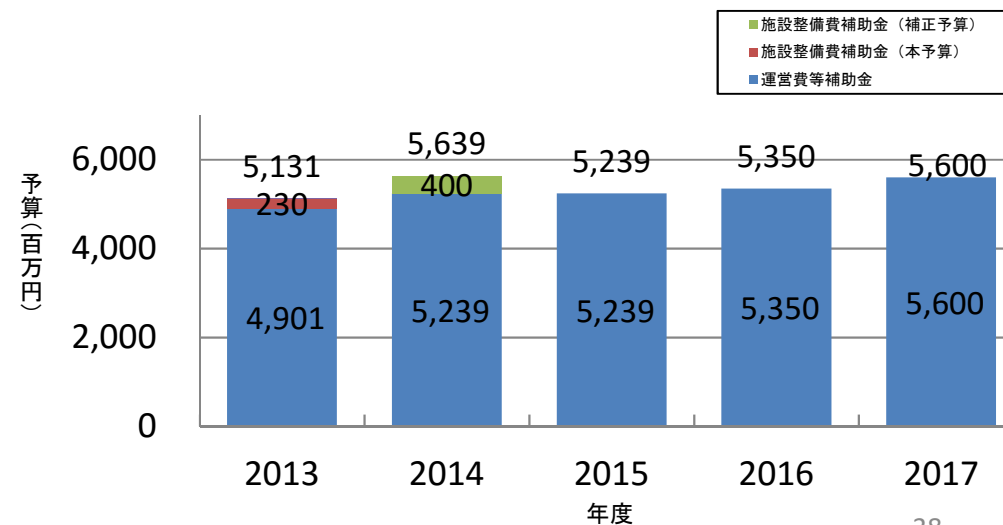
SPring-8

年度	2013	2014	2015	2016	2017
運営費等補助金	7,551	7,873	7,878	8,219	8,445
施設整備費補助金(本予算)	370				
施設整備費補助金(補正予算)	1,200	599	410	500	344
総額	9,121	8,472	8,288	9,599	8,789



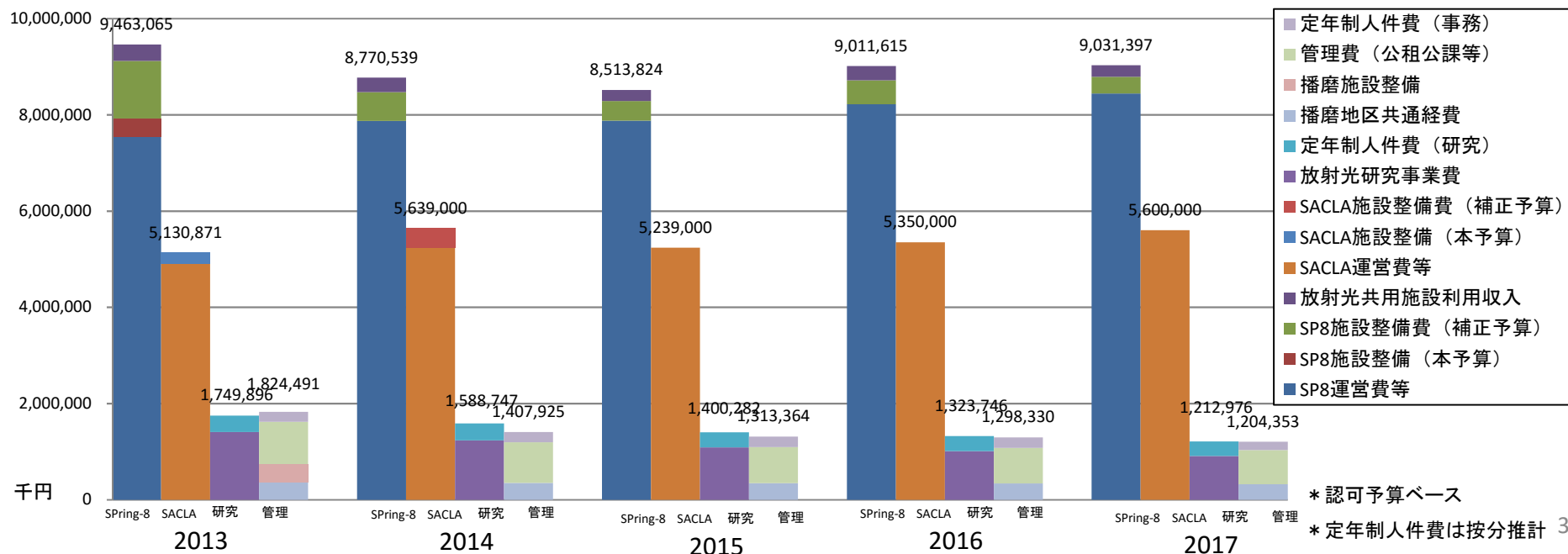
SACLA

年度	2013	2014	2015	2016	2017
運営費等補助金	4,901	5,239	5,239	5,350	5,600
施設整備費補助金(本予算)	230				
施設整備費補助金(補正予算)		400			
総額	5,131	5,639	5,239	5,350	5,600



SPring-8/SACLAの予算

年度		2013	2014	2015	2016	2017
SPring-8	運営費等補助金	7,550,510	7,873,000	7,878,000	8,219,000	8,445,000
	施設整備費補助金（本予算）	370,000	-	-	-	-
	施設整備費補助金（補正予算）	1,200,000	599,000	410,000	500,000	344,000
	放射光共用施設利用収入	342,555	298,539	225,824	292,615	242,397
	小計	9,463,065	8,770,539	8,513,824	9,011,615	9,031,397
SACLA	運営費等補助金	4,900,871	5,239,000	5,239,000	5,350,000	5,600,000
	施設整備費補助金（本予算）	230,000	-	-	-	-
	施設整備費補助金（補正予算）	-	400,000	-	-	-
	小計	5,130,871	5,639,000	5,239,000	5,350,000	5,600,000
放射光科学研究センター 研究費 (運営費交付金)	放射光研究事業費	1,406,019	1,234,900	1,086,712	1,011,729	910,556
	定年制人件費（研究）	343,877	353,847	313,570	312,017	302,420
	小計	1,749,896	1,588,747	1,400,282	1,323,746	1,212,976
播磨地区 管理費 (運営費交付金)	播磨地区共通経費	374,507	347,958	342,314	340,374	319,959
	播磨施設整備	370,000				
	管理費（公租公課等）	875,807	847,659	750,389	738,388	711,221
	定年制人件費（事務）	204,177	212,308	220,661	219,568	173,173
	小計	1,824,491	1,407,925	1,313,364	1,298,330	1,204,353
総計		18,168,323	17,406,211	16,466,470	16,983,691	17,048,726





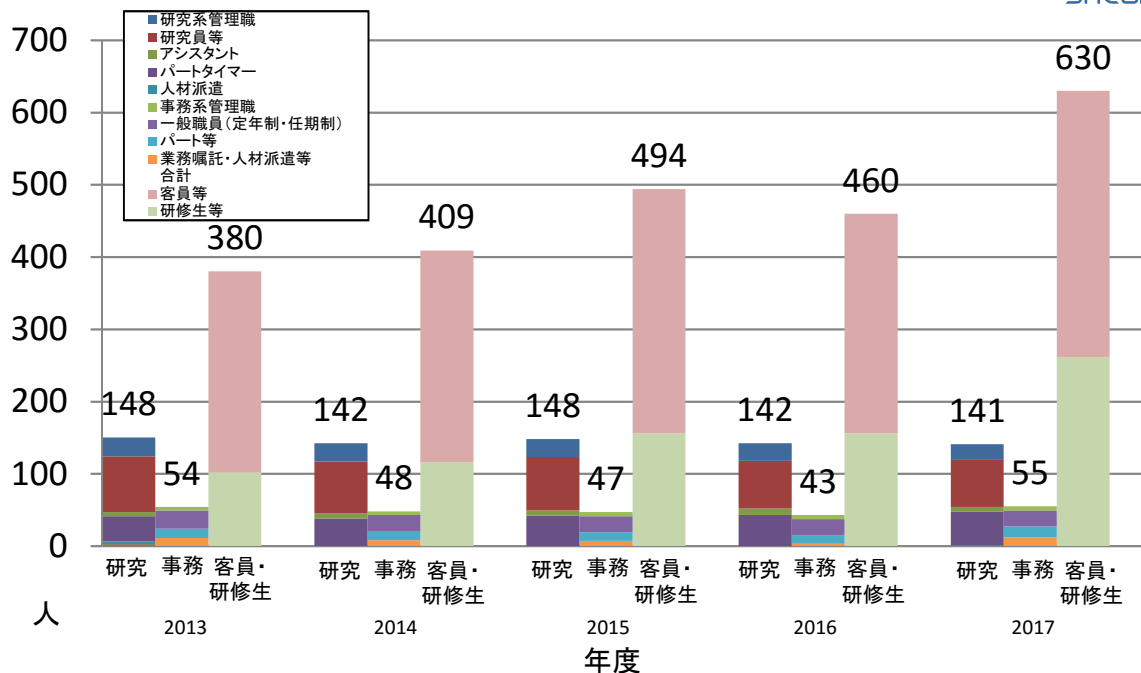
SPring-8/SACLAの人員



理化学研究所

単位：人

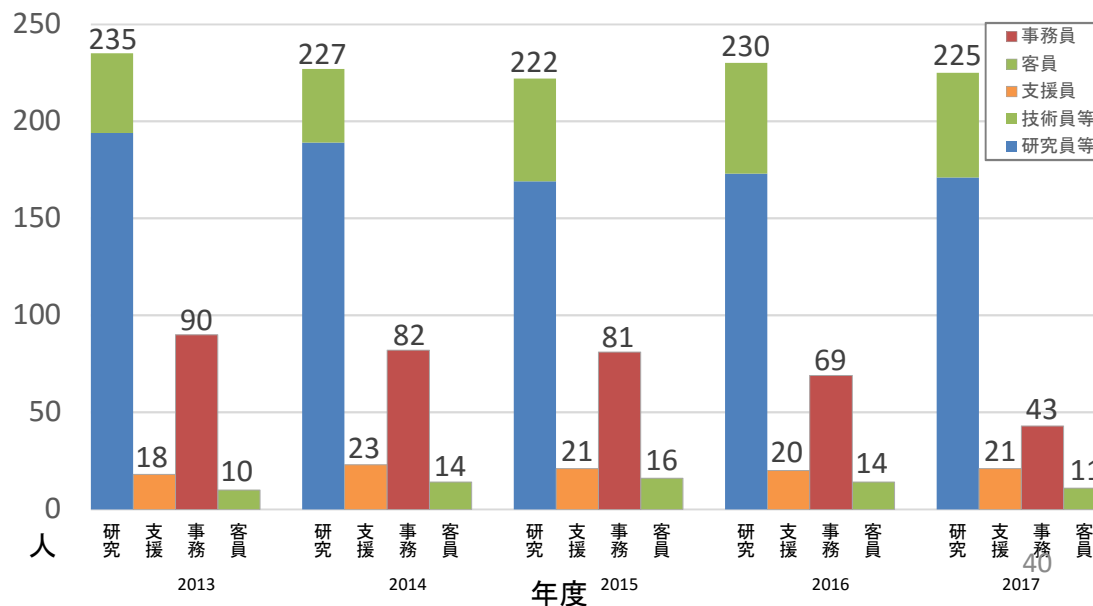
年度	2013	2014	2015	2016	2017
研究系(放射光科学研究センター)					
研究系管理職	26	25	25	24	22
研究員等	77	72	74	66	65
アシスタント	6	7	7	9	6
パートタイマー	35	38	42	43	47
人材派遣	4	0	0	0	1
合計	148	142	148	142	141
事務系(支援部、推進室、安全管理室)					
事務系管理職	5	5	6	6	6
一般職員(定年制・任期制)	25	22	22	22	22
パート等	13	13	12	12	15
業務嘱託・人材派遣等	11	8	7	3	12
合計	54	48	47	43	55
客員・研修生					
客員等	278	293	338	304	369
研修生等	102	116	156	156	261
合計	528	551	642	602	771



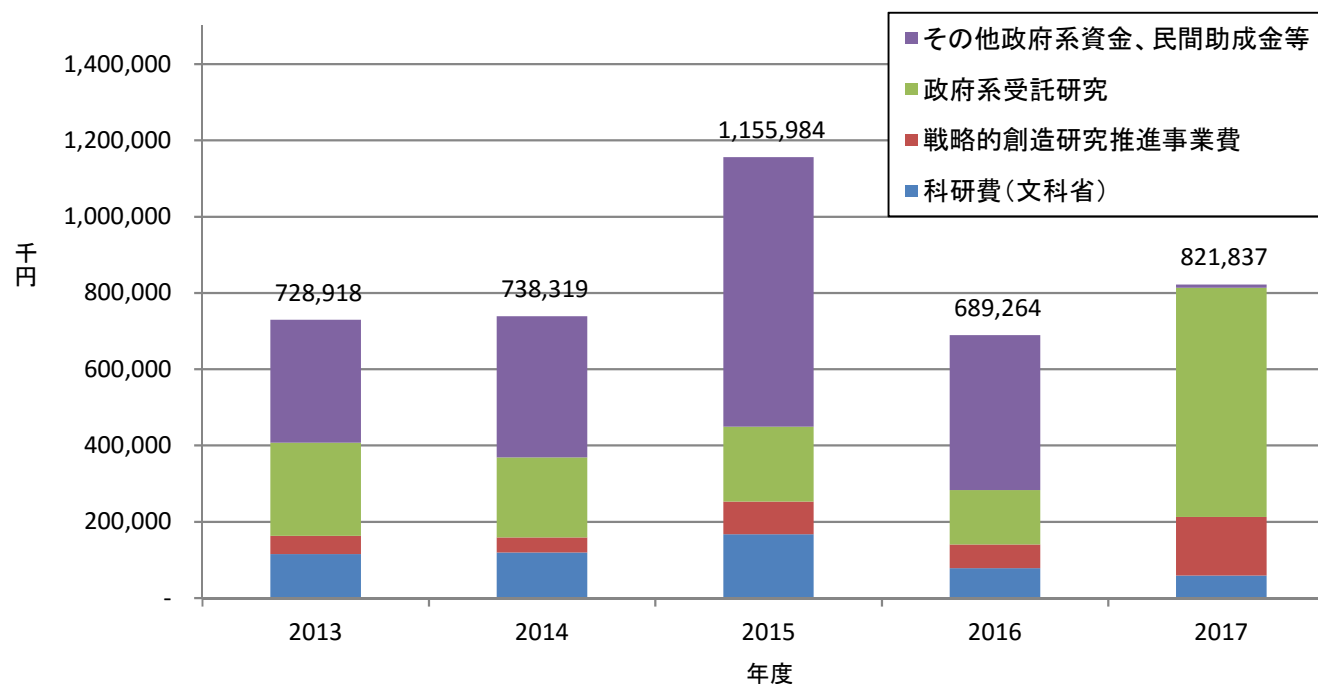
JASRI

単位：人

年度	2013	2014	2015	2016	2017
研究系					
研究員等	194	189	169	173	171
技術員等	41	38	53	57	54
計	235	227	222	230	225
支援系					
支援員	18	23	21	20	21
事務系					
事務員	90	82	81	69	43
客員					
客員	10	14	16	14	11



年度	2013	2014	2015	2016	2017
科研費(文科省)	114,630	119,484	166,702	78,070	58,703
戦略的創造研究推進事業費	48,308	39,212	85,917	62,361	153,390
政府系受託研究	244,483	209,804	196,213	142,092	601,254
その他政府系資金、民間助成金等	321,497	369,819	707,152	406,741	8,490
合計	728,918	738,319	1,155,984	689,264	821,837



主な外部資金:

創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業、X線自由電子レーザー重点戦略研究課題、未来社会創造事業、革新的研究開発推進プログラム、戦略的創造研究推進事業(さきがけ、CREST)、科学研究費助成事業(科研費)等

* 2013年度～2017年度にかけて、放射光科学総合研究センター(播磨)獲得分を集計

SPRING-8とSACLAの相補利用



- 高エネルギーX線
- 高い平均輝度と高い繰り返しレート
- 中庸なピーク輝度
- 非破壊計測
- 単一のターゲットを見続けながら、時空間の相関計測を行なう



- 超高ピーク輝度と超短パルス
- 低い繰り返しレート
- 破壊計測
- 多数のidenticalなターゲットに対して、オングストローム・フェムト秒の超高分解能で分析する



2つの最先端光源を相補的に活用しながら
高エネルギー光子サイエンスのフロンティアを開拓

SACLAビームライン (共用開始時)

(BL1: SX spontaneous)

BL3: HX FEL

OH: Common optics & diagnostics

BL3

BL1

EH1: Beam diagnostics
(Spectrum, timing)

EH2: Pump & Probe
w/ unfocused beam

EH3: 1-um focusing

EH4: Large instruments

Laser booth
(CPA, OPA)

SACLAビームライン (2016年夏～)

BL1: SX FEL with SCSS+ 800 MeV

BL2: HX FEL

BL3: HX FEL

OH: Common optics & diagnostics

EH1: Beam diagnostics
(Spectrum, timing)

EH2: Pump & Probe
w CRL focusing

EH3: 1-um focusing
(Imaging, crystallography)

EH4c: 1-um focusing
(Nonlinear,
Pump & Probe)

EH4b: SAXS detectors

EH4a: SXFEL

Laser booth
(CPA, OPA)

SACLA-SPring-8
Experimental Facility

EH6: HEDS

EH5:
nano focusing

High power laser

SP8