

SPring-8 これまでの取組について

平成26年6月10日(火)

理化学研究所 放射光総合研究センター

石川 哲也

SPring-8

Super Photon ring-8 GeVから
Solving-Problems ring-8 GeVへ



建設期間: 1991年～1997年

供用開始: 1997年10月

蓄積リング: 電子エネルギー; 8 GeV

周長; 1500 m

総面積: 1,410,000 m² (141 ha)

標高: 280-290 m

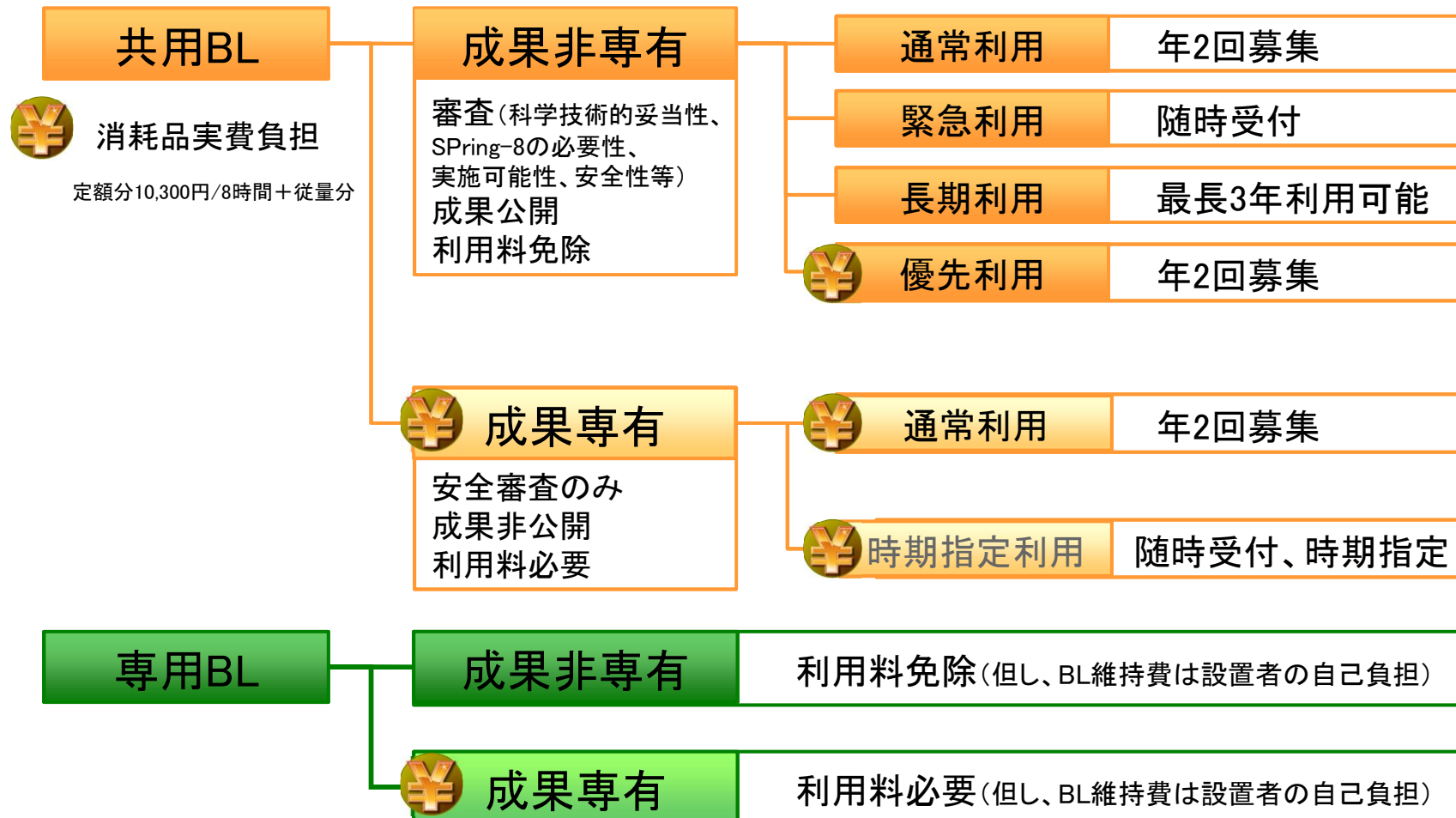
2013年度 実施実験課題数: 1,804件

利用者数: 13,381人(産業界20%)

総累計利用者数: 16.8万人

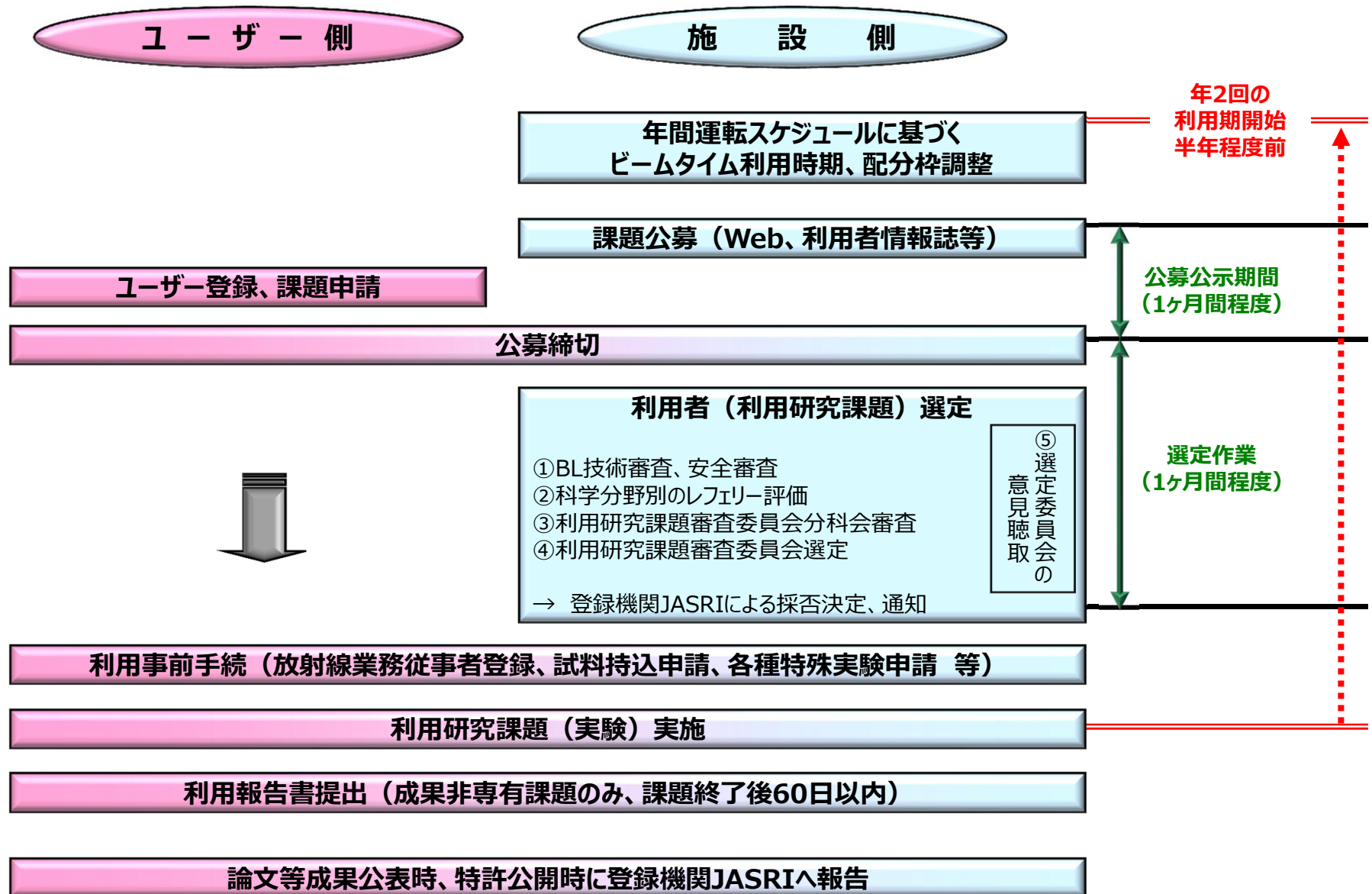
施設利用制度

- **成果を公開する（非専有）** 利用は施設利用料金（運営費回収方式によるビーム使用料）を**免除**
- **成果を公開しない（専有）** 利用は施設利用料金（運営費回収方式によるビーム使用料）を**徴収**
- 成果の公開有無に拘わらず利用に係る実費を徴収〔平成18年度下期より「消耗品実費負担制度」を導入〕
- これらは、全利用者同一基準で適用



注) 成果専有の通常利用における利用料は、共用BL:480千円/8時間、専用BL:312千円/8時間

施設利用スキーム ～課題申請から報告まで～



SPring-8の主な経緯 ～計画発足から建設～

- 昭和63年(1988年) 10月: 原研・理研 大型放射光施設研究開発共同チーム発足
- 平成元年(1989年) 6月: 大型放射光施設の立地を兵庫県播磨に決定
- 平成 2年(1990年) 12月: 財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI)設立
- 平成 3年(1991年) 11月: SPring-8建設工事着手
- 平成 6年(1994年) 10月: 「特定放射光施設の共用の促進に関する法律」施行
- 平成 9年(1997年) 3月: 偏光電磁石からの発生を確認
- 10月: SPring-8供用開始
- 平成15年(2003年) 10月: 理化学研究所が独立行政法人化
- 平成17年(2005年) 4月: SCSS整備開始
- 10月: (独)理化学研究所、JASRIによる二者体制への移行
- 平成18年(2006年) 3月: SCSS完成
- 4月: X線自由電子レーザーSACLA整備開始
- 7月: 「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」施行
- 平成19年(2007年) 10月: SPring-8供用開始10周年記念式典等実施
- 平成23年(2011年) 3月: SACLA完成
- 6月: SACLA発振
- 平成24年(2012年) 3月: SACLA供用開始

SPring-8の主な経緯 ～開発&高度化～

- 平成 3年(1991年) 11月: SPring-8建設工事着手
- 平成 7年(1995年) 4月: ★標準型二結晶分光器、偏光の制御に関する開発を開始
- 平成 9年(1997年) 3月: 偏光電磁石からの発生を確認
- 5月: アンジュレータ放射光の発生を確認(BL47XU)
- 10月: SPring-8供用開始(ビームライン10本)
- 平成10年(1998年) 5月: 蓄積電流100 mAを達成(エミッタンス 6.6 nm²rad)
- 平成12年(2000年) 6月: ★kmビームライン(BL29XU)の運転開始
- 9月: ★硬X線コヒーレント回折イメージングに関する開発を開始
- 10月: ★25mアンジュレータビームライン(BL19LXU)の運転開始
- 平成13年(2001年) 5月: 大阪大学と共同で★光学素子(ミラー)の開発を開始
- 平成16年(2004年) 5月: ユーザータイム時の★トップアップ運転開始
- 平成17年(2005年) 9月: ユーザータイム時の低エミッタンス運転開始(3.4 nm²rad)
- 平成25年(2013年) 5月: さらなる★低エミッタンス化(2.4 nm²rad)
- 平成26年(2014年) 5月: 57本のビームラインが運転中

★は詳細を後述

施設の高度化 ～Key Words～

加速器光源

低エミッタンス $6 \text{ nm}\cdot\text{rad} \rightarrow 3.4 \text{ nm}\cdot\text{rad} \rightarrow 2.4 \text{ nm}\cdot\text{rad}$
軌道安定化 (盤石な岩盤 + 振動対策 + 温度安定化)

トッパアップ運転

多様なバンチモードと高いバンチ純度



偏向電磁石(88台) 電子ビームの軌道を曲げる(1台で約4度)
4極電磁石(476台) 電子ビームの軌道を防ぎしぼる
6極電磁石(300台) 4極電磁石の働きを助けて電子ビームの安定性を高める

挿入光源

標準真空封入アンジュレータ

独立チューニング

25 m 長尺アンジュレータ (コヒーレントX線光学, 非線形光学)

ヘリカル, F-8アンジュレータ (→低熱負荷軟X線分光器, 偏光可変)

短周期アンジュレータ (~20 mm, 15 mmクライオ (R&D))



XFEL実現にも大きく貢献した真空封止アンジュレータ

分光器

標準型二結晶分光器

高エネルギー分光器 (~100 keV)

高分解能分光器, アナライザ

(HAXPES, RIXS, IXS, NRS, HBT)

軟X線回折格子分光器 (不等刻線密度)

トリクロメータ (高速MAD法への応用)

ダイヤモンド移相子 (高速スイッチング)

コヒーレントX線光学素子

中尺, 長尺ビームライン

Osakaミラー (EEM, 精密計測)

7 nm集光

スペックルフリーベリリウム窓

計測技術

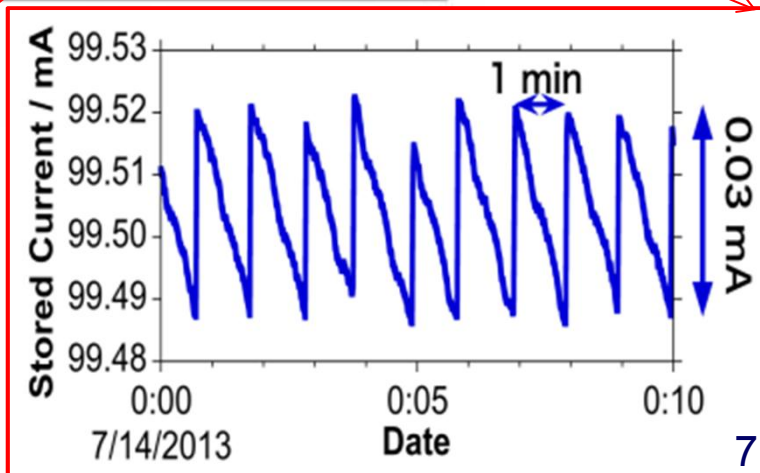
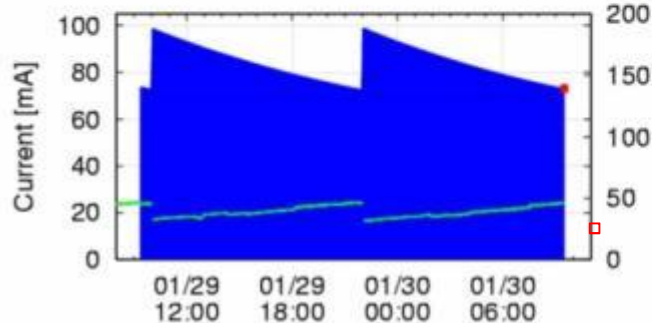
リモートアクセス

ロボット化

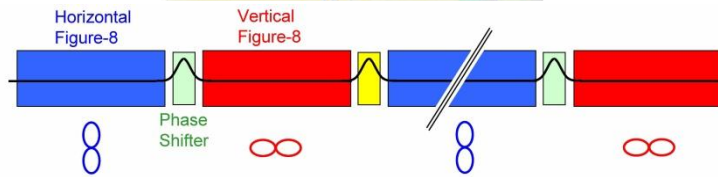
施設の高度化 ～トップアップ運転～

◆トップアップ (継ぎ足し) 入射による光源強度の安定化

2004.Jan.30th



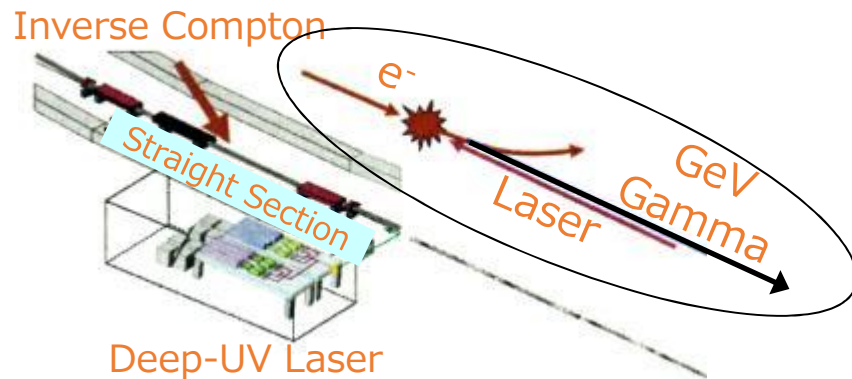
施設の高度化 ～世界で唯一の30m長直線部～



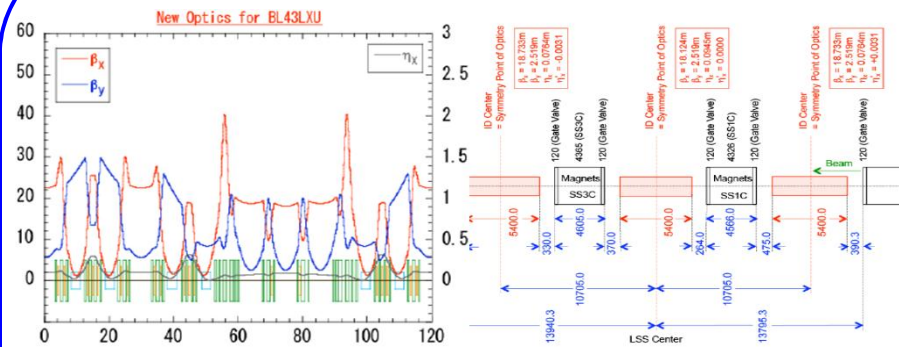
東大物質科学アウトステーション (07LSU)
可変偏光アンジュレータ (2009～)



理研物理科学 (19LXU)
世界初の25mアンジュレータ (2000～)



阪大レーザー電子光 (31LEP)
高輝度ガンマ線生成 (2013～)



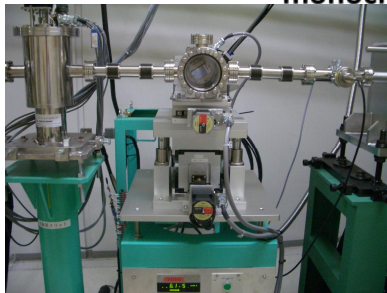
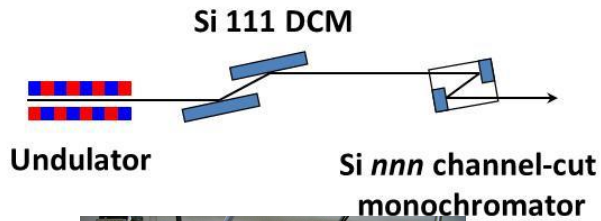
理研量子ナノダイナミクス (43LXU)
長尺短周期アンジュレータ (2012～)

施設の高度化 ～分光器のフロンティア～

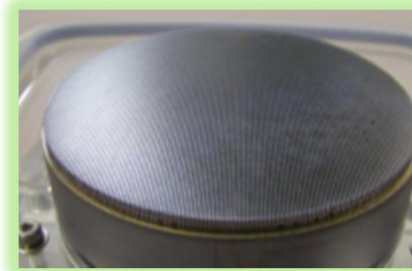
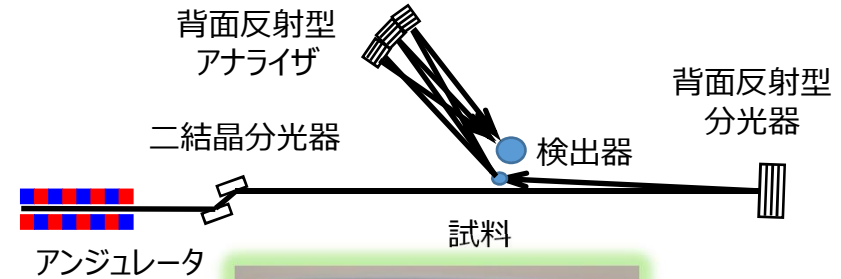
1995年から開発



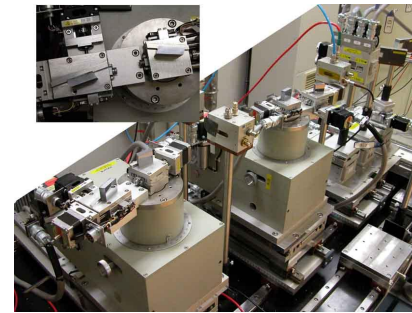
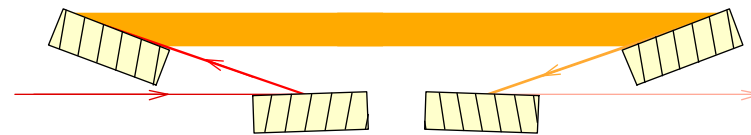
標準型二結晶分光器
(31本のビームラインで使用)



HAXPES用後置分光器
~40 meV@8 keV



高分解能アナライザ
~1 meV @20 keV



世界最高分解能分光器
120 ueV@14 keV

施設の高度化 ～光学素子の超精密加工～

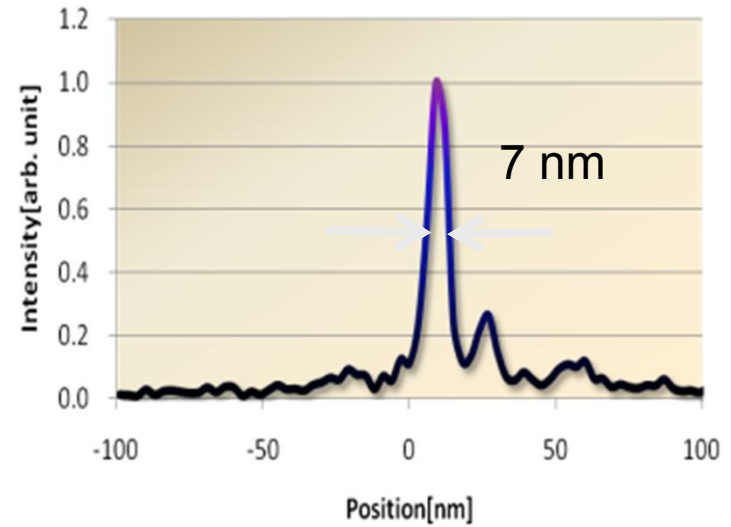
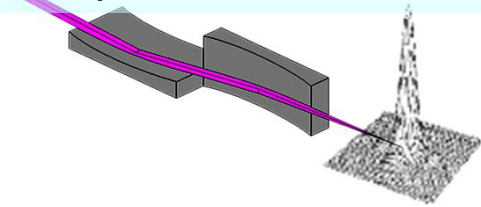
2001年から開発

“Osakaミラー”



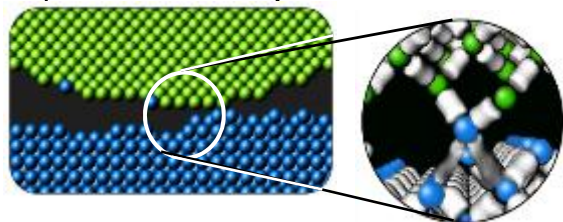
- EEM
- ナノメートル形状計測・加工
- 波動光学

Kirkpatrick-Baez mirror

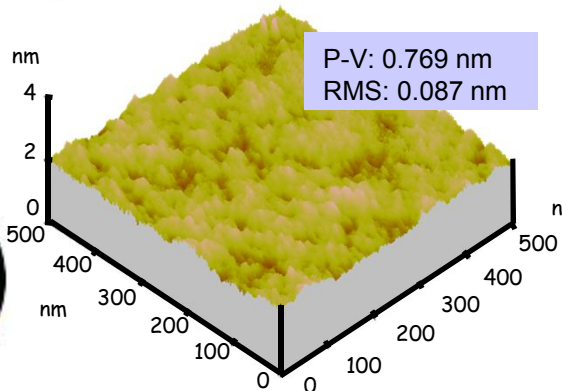


EEM加工

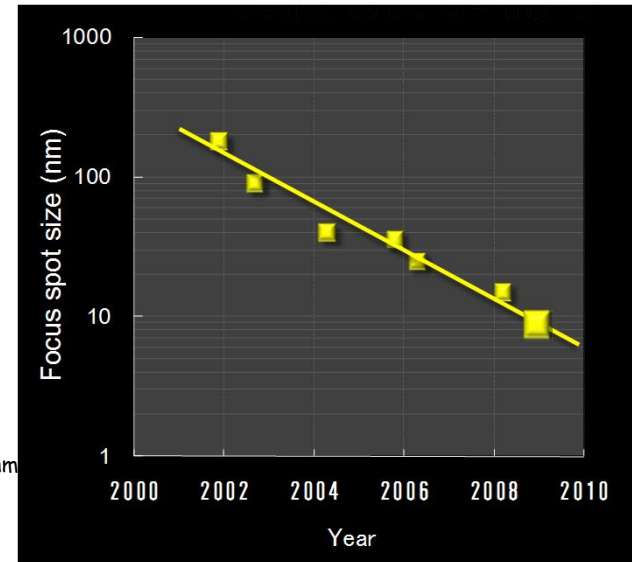
超純水の流れ



加工物表面原子を原子単位で除去



EEM加工面 (加工量: 8 nm)

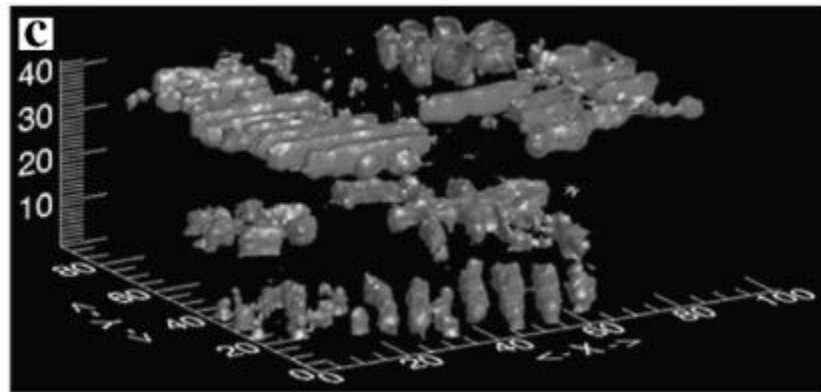
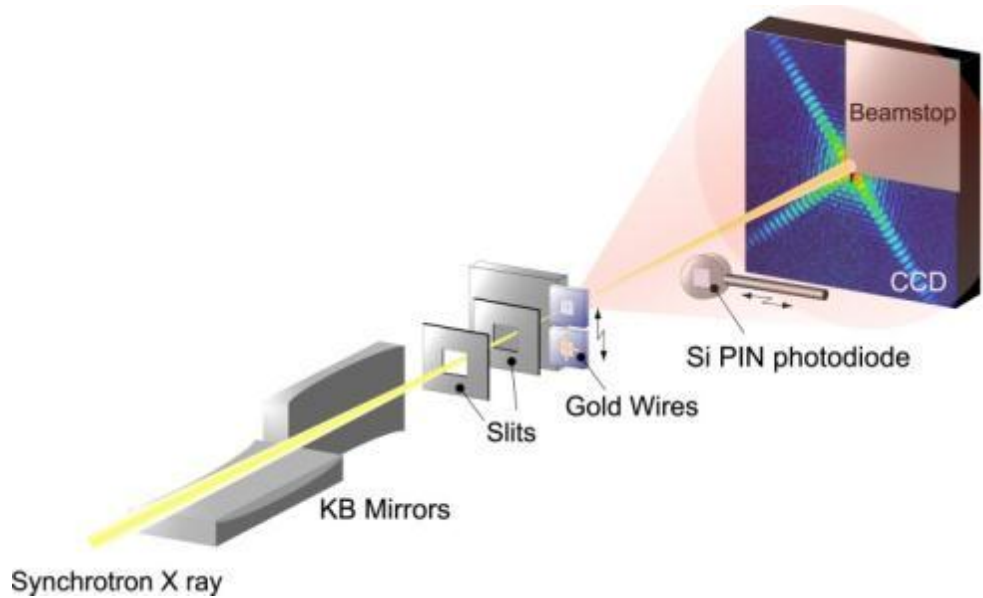


H. Mimura & K. Yamauchi et al.

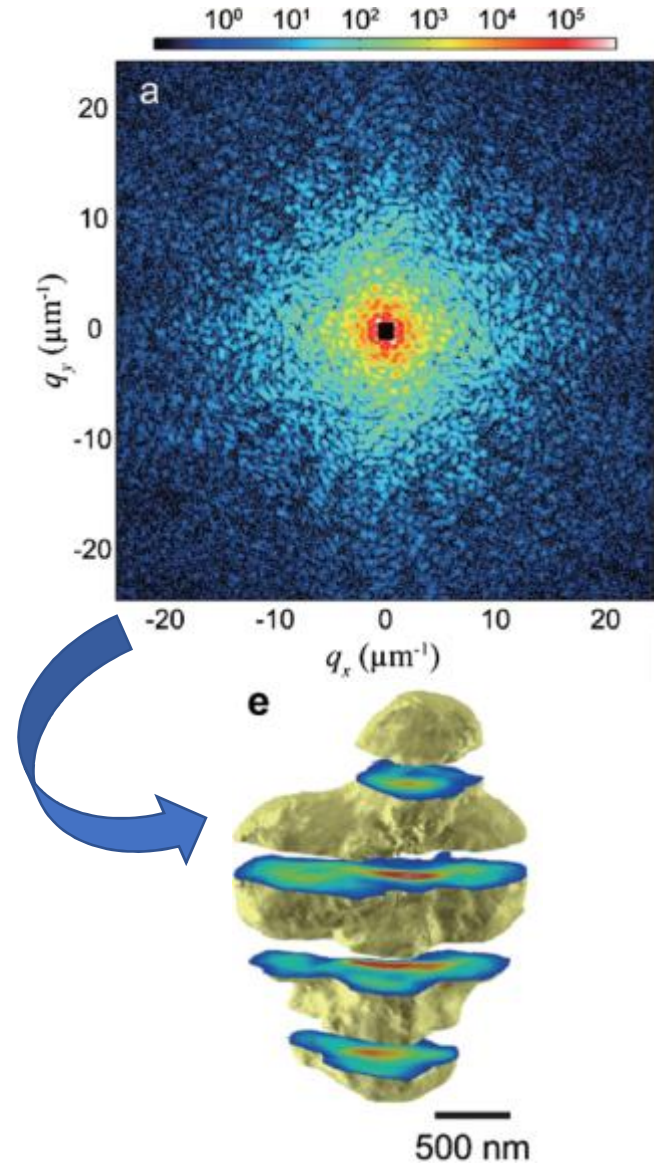
Nature Phys. 2009

施設の高度化 ～硬X線コヒーレント回折イメージングのパイオニア～

2000年から開発



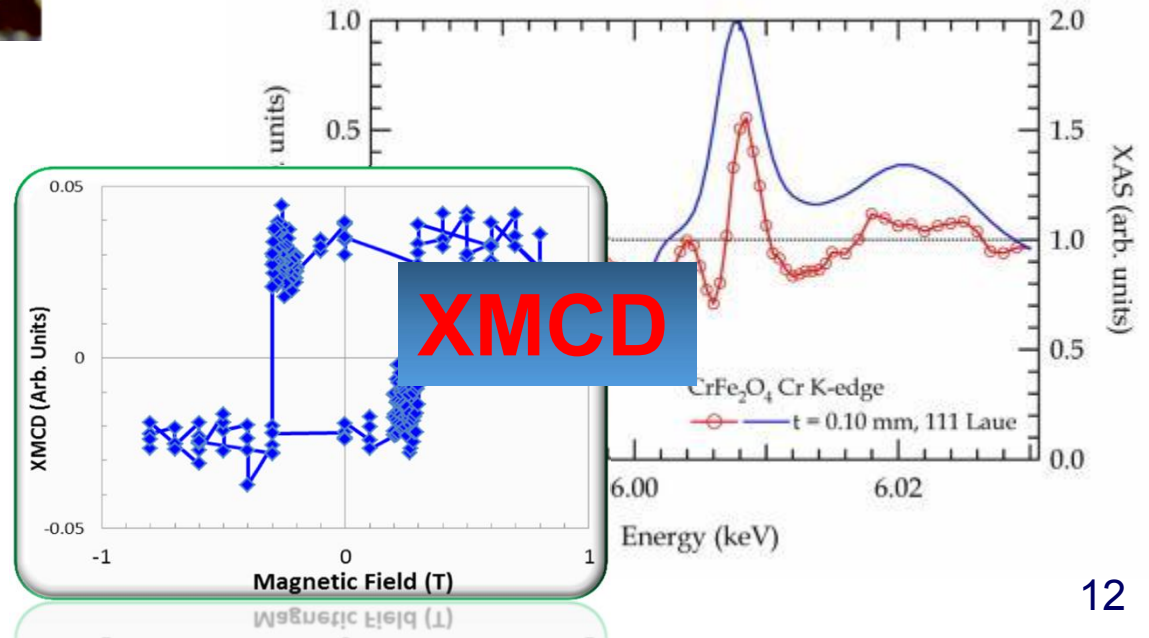
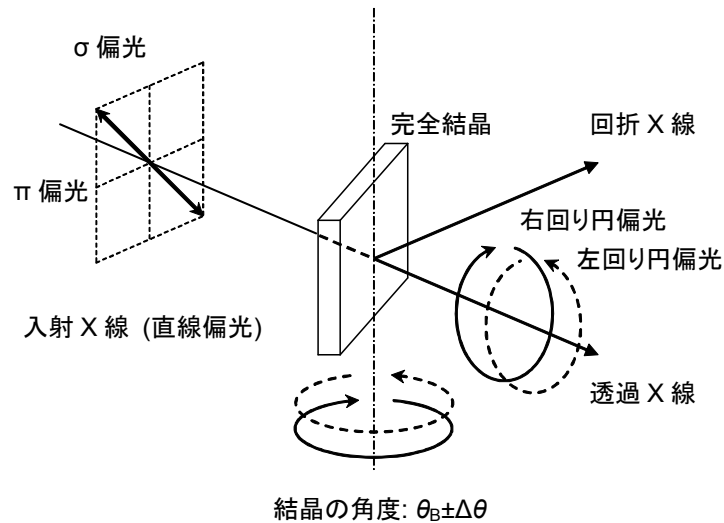
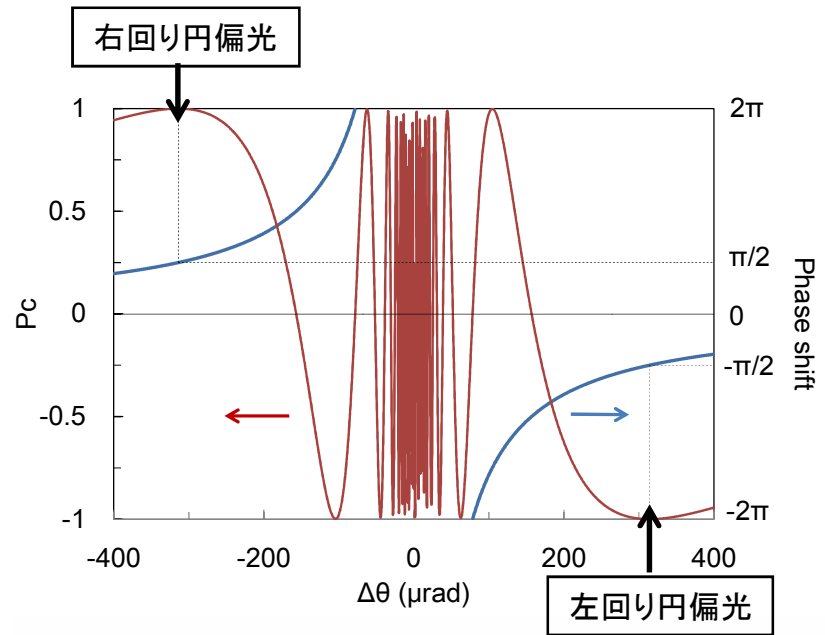
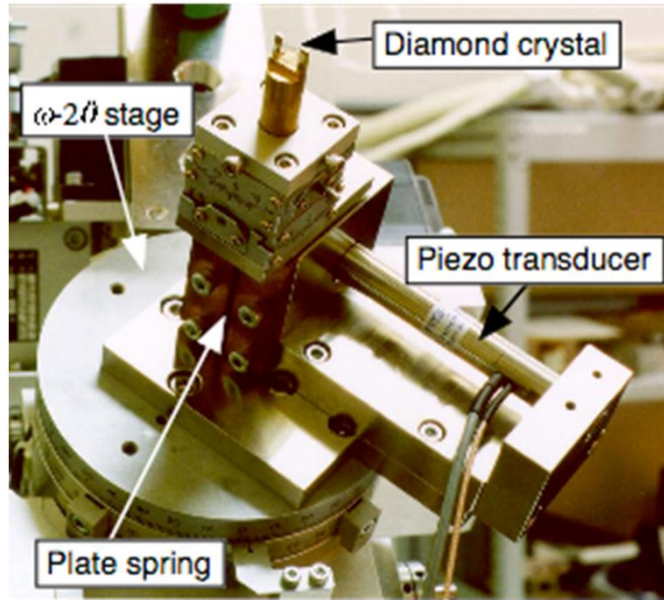
世界初の硬X線コヒーレントイメージング
Miao et al, PRL 2002



ヒト染色体のイメージング
Nishino et al, PRL 2009

施設の高度化 ～偏光の制御～

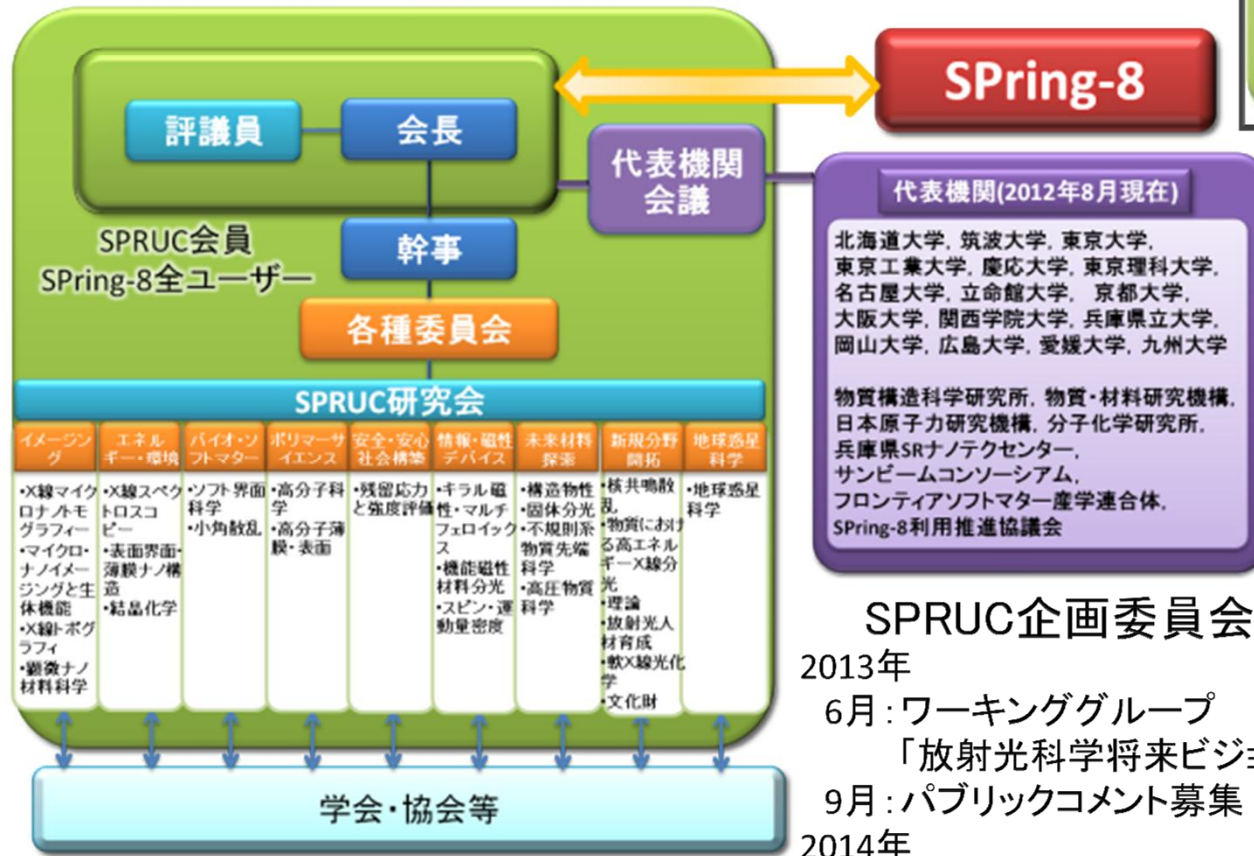
1995年から開発



ユーザーとの連携

SPring-8ユーザー共同体
(SPring-8 User Community; SPRUC)

ボランティア指向の組織(利用者懇談会)から
ミッション指向・共有型の組織(SPRUC)へ
会員:登録全ユーザー:約11,600人(H.26.5.21現在)



代表機関(2012年8月現在)

北海道大学, 筑波大学, 東京大学, 東京工業大学, 慶応大学, 東京理科大学, 名古屋大学, 立命館大学, 京都大学, 大阪大学, 関西学院大学, 兵庫県立大学, 岡山大学, 広島大学, 愛媛大学, 九州大学

物質構造科学研究所, 物質・材料研究機構, 日本原子力研究機構, 分子化学研究所, 兵庫県SRナノテクセンター, サンビームコンソーシアム, フロンティアソフトマター産学連合体, SPRing-8利用推進協議会

SPRUC企画委員会

- 2013年
6月:ワーキンググループ
「放射光科学将来ビジョン白書」 骨子
9月:パブリックコメント募集
- 2014年
4月:「SPRUC放射光科学将来ビジョン白書」
中間報告書 提出

グランドビジョンに基づく SPring-8II計画

SPring-8シンポジウム2012

(8月25日-26日 大阪大学)

パネル討論「放射光科学のグランドデザインとSPRUCの果たすべき役割」



人材育成への貢献

1. 利用支援員の能力向上

12条課題：研究員の計測技術開発能力の向上、新規分野開拓の機会

GIGNO/SOLATUS/TAKUMIプロジェクト：競争的選抜プロジェクトによる若手リーダーシップの涵養、キャリア形成

大学院連携：学生指導、ユーザー支援、データ解析指導の技能向上

2. 外部若手研究者の育成支援

萌芽的研究支援課題：大学院生の研究者としての自立利用促進プログラム。

(2005年～：47機関、339課題、延べ2,599名、全利用者の3.6%)

Cheiron School：放射光科学アジアオセアニアフォーラムの国際スクールにおける講義・実習指導

(2007年～毎年開催、中国、台湾、韓国、タイ、インド、オーストラリア、シンガポール、マレーシア、ベトナム、ニュージーランドの学生 計約450人指導)

大学院連携：リーディング大学院（兵庫県立大学、大阪大学）、

東北大学、東京大学、神戸大学、岡山大学、関西学院大学、横浜市大、等

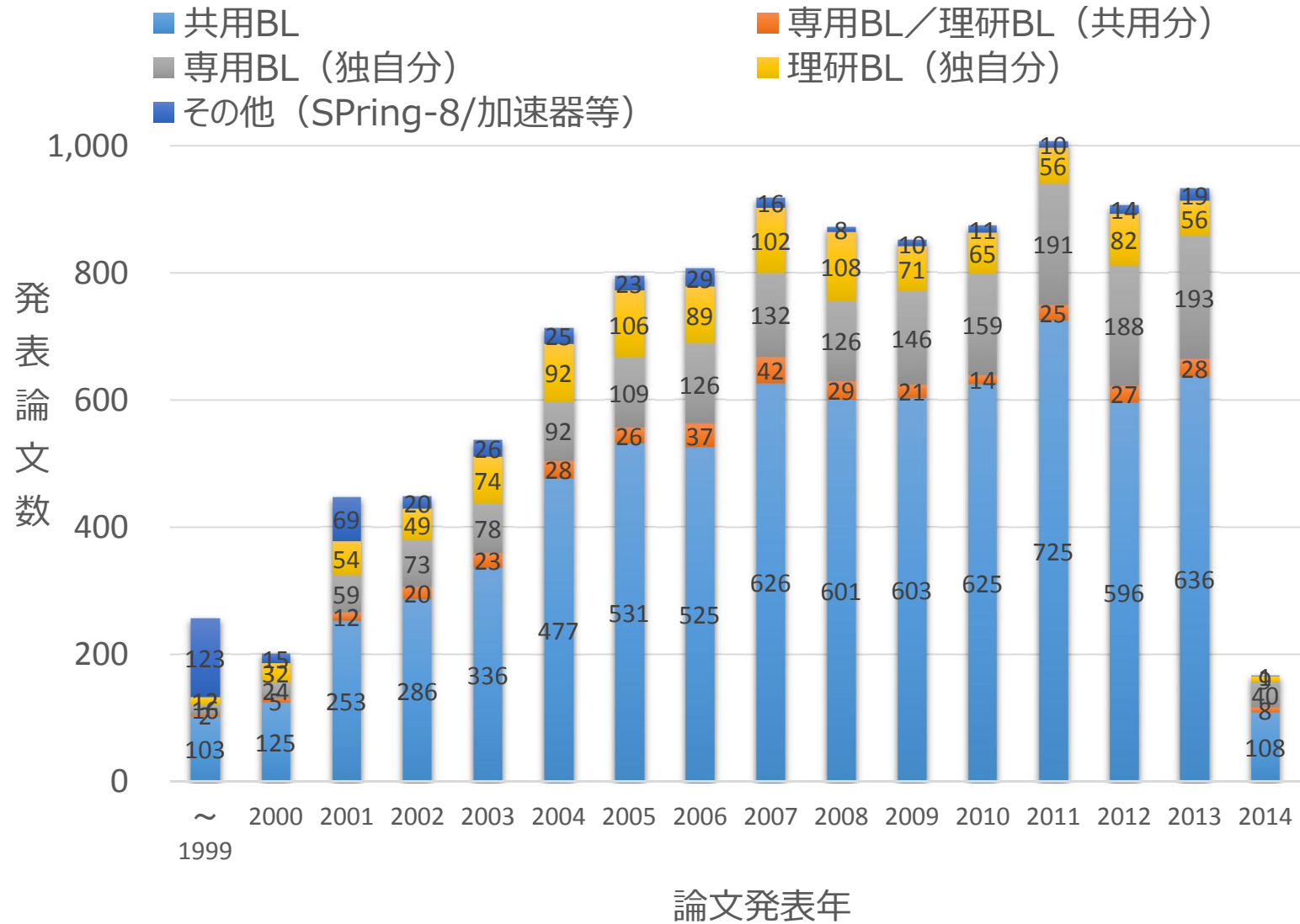
3. 産業界の放射光活用支援

実地研修会・講習会：産業界ユーザーの支援

コーディネーター制度：産業利用相談・指導



主な成果 ～定量データ 論文数～



年間約800報の論文を輩出

主な成果 ～定量データ 主な成果の被引用数～

SPring-8におけるCitation Score Top 5

	Citation Score ※1	Journal Name	Title	Author	Published Year	BL for the Paper
1	3,668	Science	Crystal Structure of Rhodopsin: A G Protein-Coupled Receptor	Palczewski <i>et al.</i> ,	2000	BL45XU
2	1,223	Nature	Crystal Structure of the Calcium Pump of Sarcoplasmic Reticulum at 2.6 Å Resolution	Toyoshima <i>et al.</i> ,	2000	BL41XU
3	874	Physical Review Letters	Evidence for a Narrow S = +1 Baryon Resonance in Photoproduction from the Neutron	Nakano <i>et al.</i> ,	2003	BL33LEP
4	763	※2	Crystal Structure of Oxygen-Evolving Photosystem II from Thermosynechococcus vulcanus at 3.7-Å Resolution	Kamiya <i>et al.</i> ,	2003	BL45XU
5	743	Nature	Highly Controlled Acetylene Accommodation in a Metal Organic Microporous Material	Matsuda <i>et al.</i> ,	2005	BL02B2

※1, On 17th Apr. '14, at Web of Science

※2, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

世界に誇るSPring-8の成果

光合成の謎を解明

沈建仁(岡山大)、神谷信夫(大阪市大)ら
光合成の中核をもたらすタンパク質複合体
(PS II)の構造を解析し、光合成により酸素
を発生させる反応機構を解明



Nature (2011)→Citation Score **_636**

HAXPES開発で世界を先導

細野秀雄(東工大)ら
In-Ga-Zn-O(IGZO)のモビリティを抑制
するサブピークの発見、省電力ディスプレイの実用化へ



Appl. Phys. Lett. 93(2008)→Citation Score **_134**

放射光ナノアプリケーションの創生

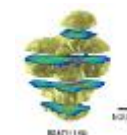
山内和人(阪大)、石川哲也(理研)ら
超平滑X線ミラーを開発、世界で最も小さな
X線ビーム(7 nm集光)を実現



Nature Physics 6(2010)→Citation Score **_122**

コヒーレント放射光による可視化技術の開発

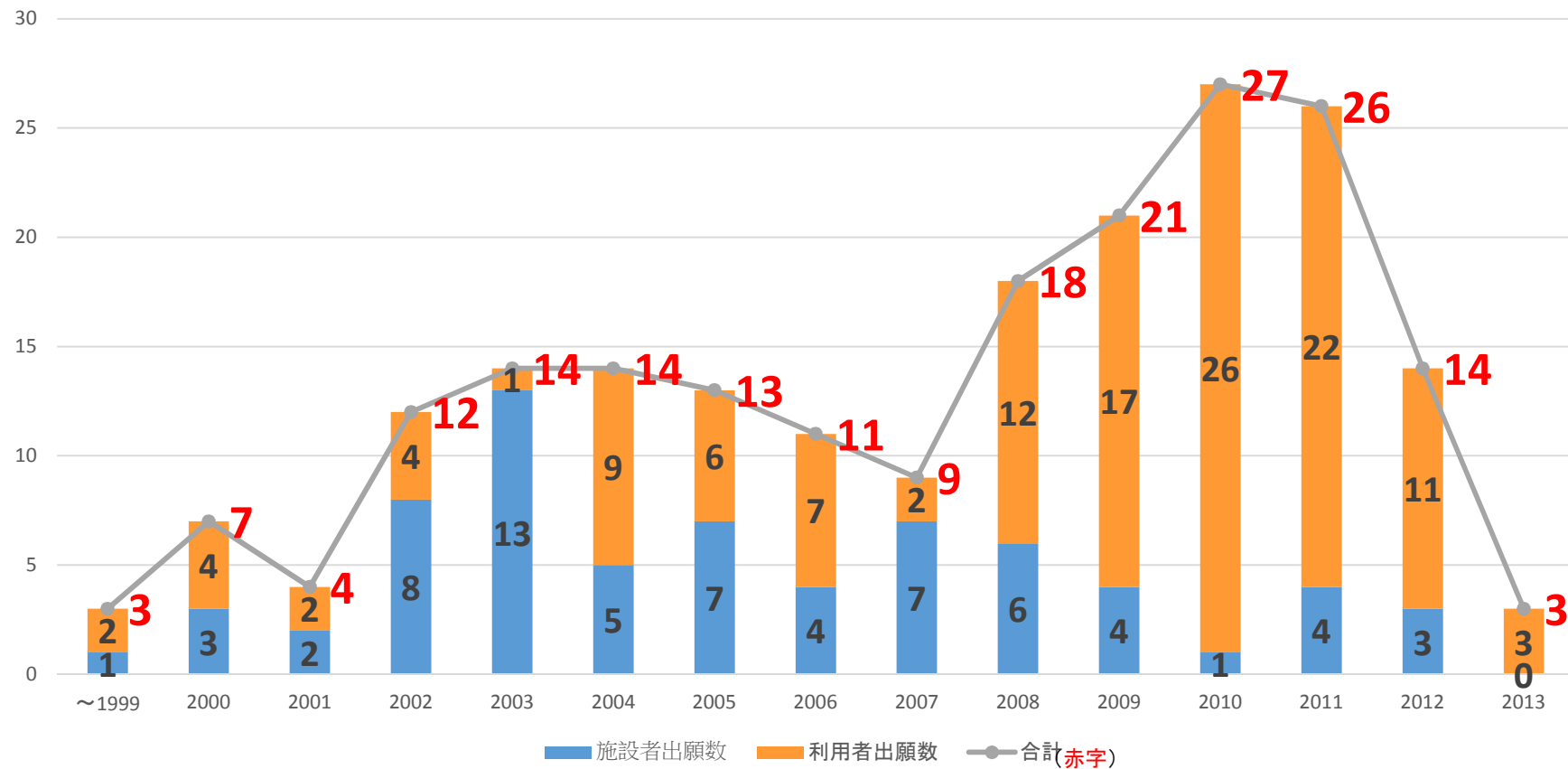
西野吉則(理研)ら
ヒト染色体内部の軸状構造を世界で初
めて観察。構造観察手法のスタンダードへ



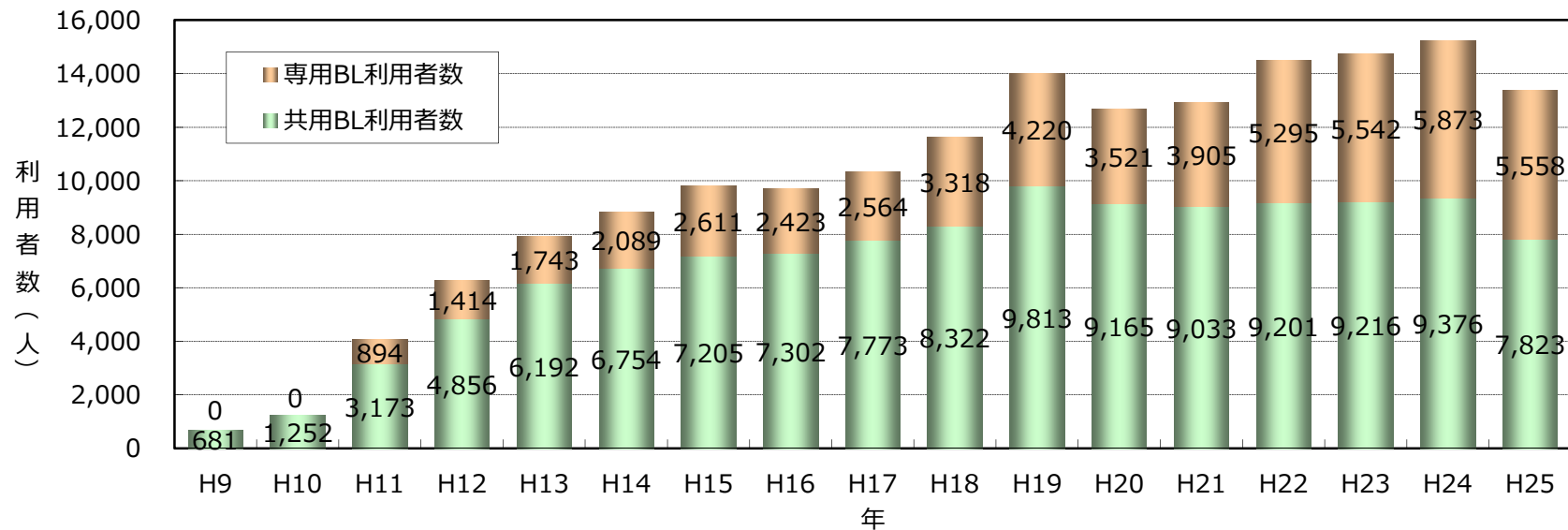
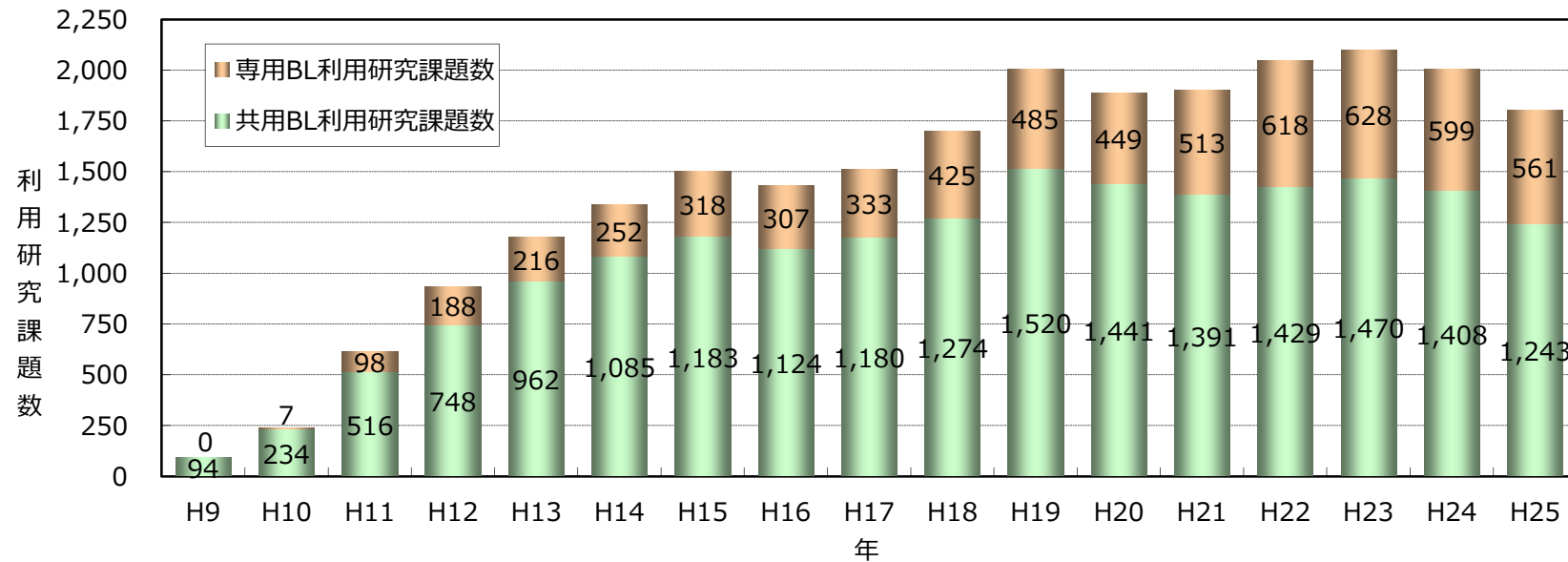
Phys. Rev. Lett. 102(2009)→Citation Score **_94**

主な成果 ～定量データ 特許出願数～

	～1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
利用者出願数	2	4	2	4	1	9	6	7	2	12	17	26	22	11	3
施設者出願数	1	3	2	8	13	5	7	4	7	6	4	1	4	3	0
合計	3	7	4	12	14	14	13	11	9	18	21	27	26	14	3

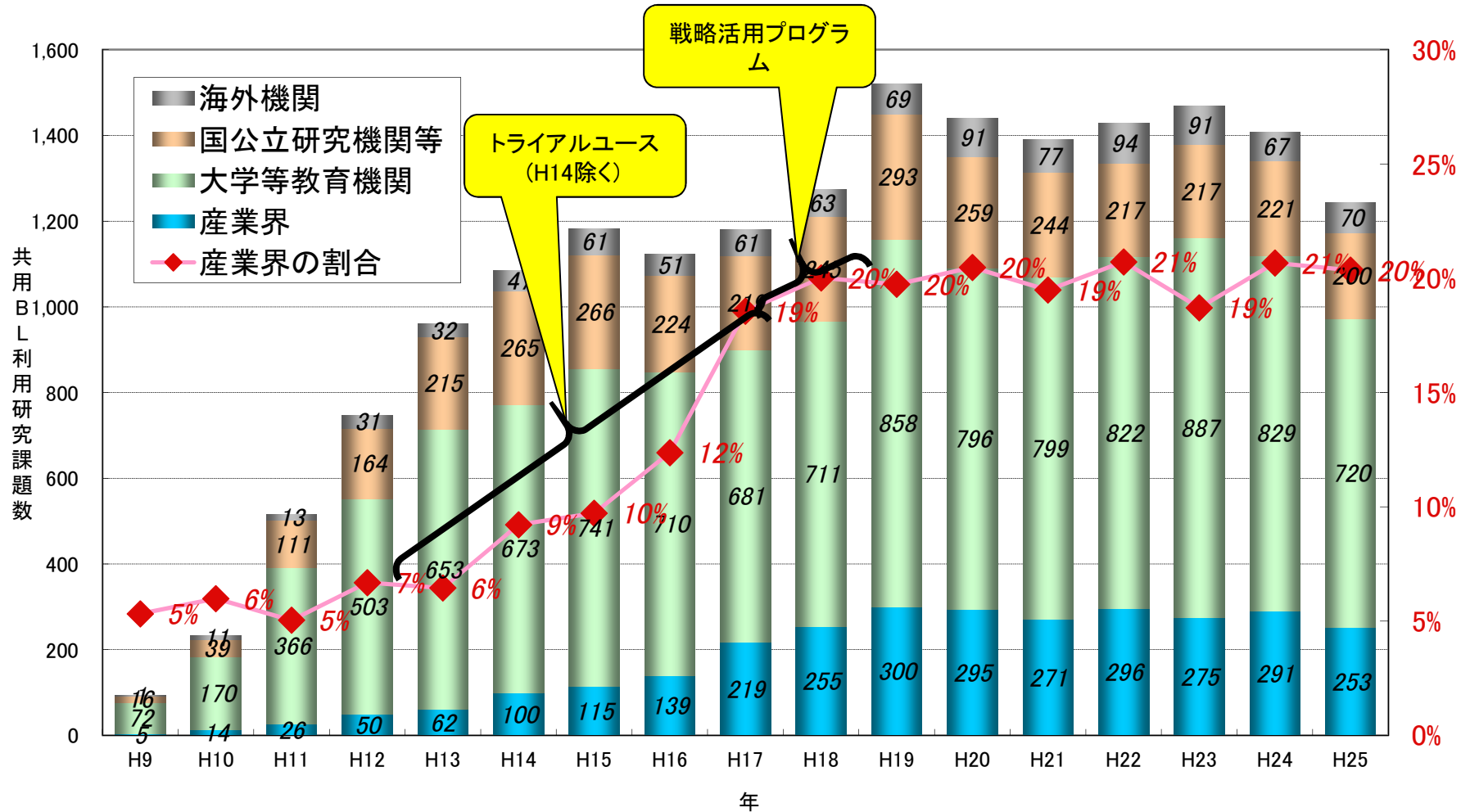


主な成果 ～定量データ 課題数と利用者数～



主な成果 ～定量データ 所属機関分類～

共用BLにおける所属機関別利用研究課題数



※所属機関分類

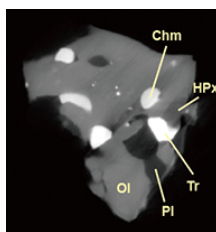
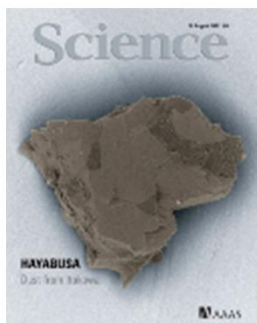
- 大学等教育機関：国公立大学、私立大学、高等専門学校等
- 産業界：民間企業（海外企業の日本法人を含む）

- 国公立研究機関等：独立行政法人、大学等共同研究機関、公益法人、特殊法人等
- 海外：海外の全ての機関・法人等

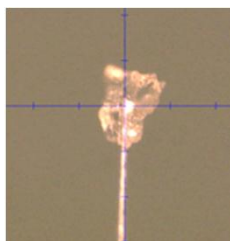
主な成果 ～サイエンス誌2011年の10大ブレイクスルー～

小惑星探査機「はやぶさ」プロジェクト

太陽系の形成過程の解明に向けて



CT image (8 keV)

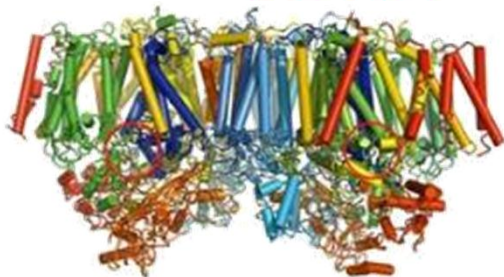


地球で発見される隕石の組成が
小惑星イトカワ微粒子のものと一致

光合成たんぱく質の構造決定

人工光合成の実現に向け大きな一歩

→ エネルギー・環境問題、食料問題の解決へ

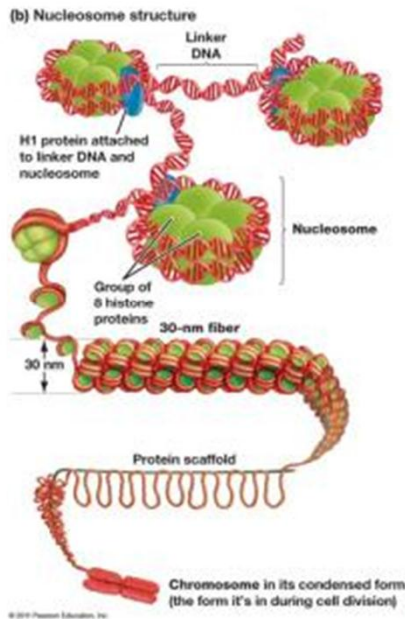


光合成による酸素の働き、
水素発生のメカニズム
解明に道

主な成果 ～SPring-8が覆した2つの定説～

生命の設計図DNAは規則正しく束ねられていなかった

教科書の定説
DNAは規則正しく束ねられている。

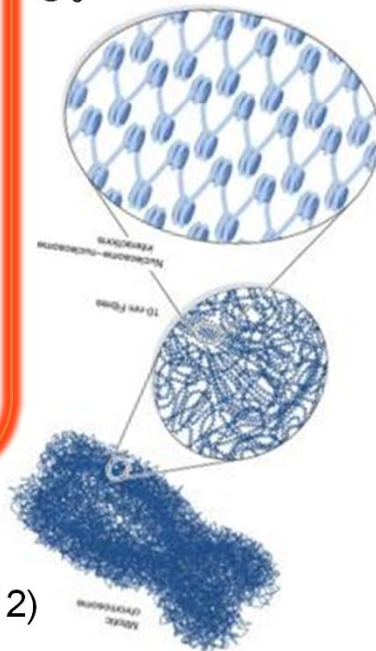


Nishino et al.
The EMBO Journal (2012)
31, 1644-1653.

SPring-8の発見

いい加減に凝縮した状態で染色体内に収められていた。

細胞が、最小限のエネルギーで、合理的に染色体を作っている。



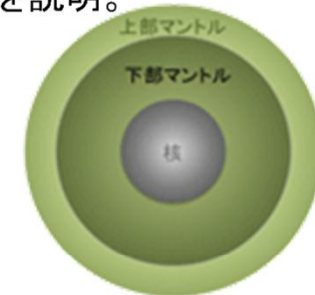
地球のマントルは化学組成の異なる2層構造だった

教科書の定説
マントルはカンラン石で化学組成は均一である



SPring-8の発見

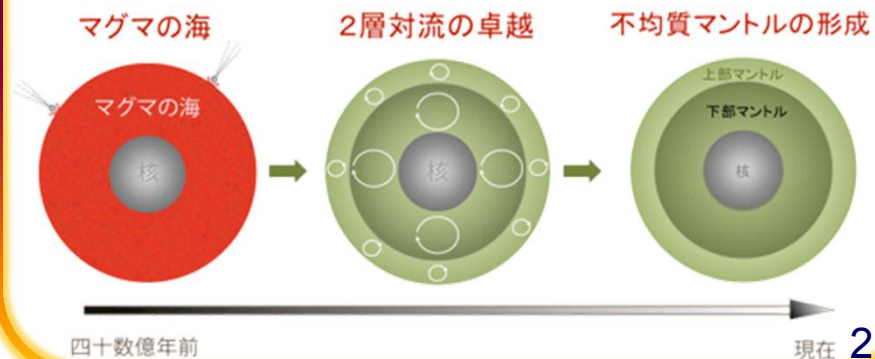
上部マントル:カンラン石でSiに乏しい。下部マントル:Siに富むペロブスカイト相。地震波不連続面を説明。



M.Murakami, et al., Nature 485, 90-94 (2012)

新しい地球内部の進化モデルへ

四十数億年の歴史を通じて、マントルは上部—下部の不均質構造を維持

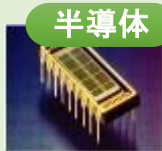


主な成果 ～産業利用の世界先導モデル～

年間約180社、延べ:約2600人

エレクトロニクス

三洋電機、住友電工、ソニー、東芝、NEC、日立、富士通研、富士電機HD、パナソニック、三菱電機、NTT、キヤノン、リコー、他



素材(金属、高分子)

鋼材



川崎重工、神戸製鋼、新日鐵、住友金属、住友電工、ダイソー、三菱マテリアル、他

繊維



ゴム



ブリジストン、旭化成、クラレ、住友ゴム、帝人、東洋紡、三菱レイヨン、三菱化学、ユニチカ、横浜ゴム、他

環境、エネルギー

豊田中研、ダイハツ、関西電力、東京ガス、パナソニックエナジー、東邦ガス、JFEスチール、他

燃料電池



排ガス触媒



二次電池



医薬品



創薬、生活用品

武田薬品、第一三共、大塚製薬、塩野義製薬、アステラス製薬、中外製薬、大正製薬、持田製薬、協和発酵キリン、他

ヘアケア用品



特定保健用食品



資生堂、花王、P&G、カネボウ化粧品、江崎グリコ、赤穂化成、アース製薬、大関化学、他