資料４－３
科学技術・学術審議会　研究計画・評価分科会
量子科学技術委員会
量子ビーム利用推進小委員会（第6回）
平成２９年４月１１日

海外放射光4施設 (ESRF, SLS, TPS, MAX IV) の特徴と立地環境について

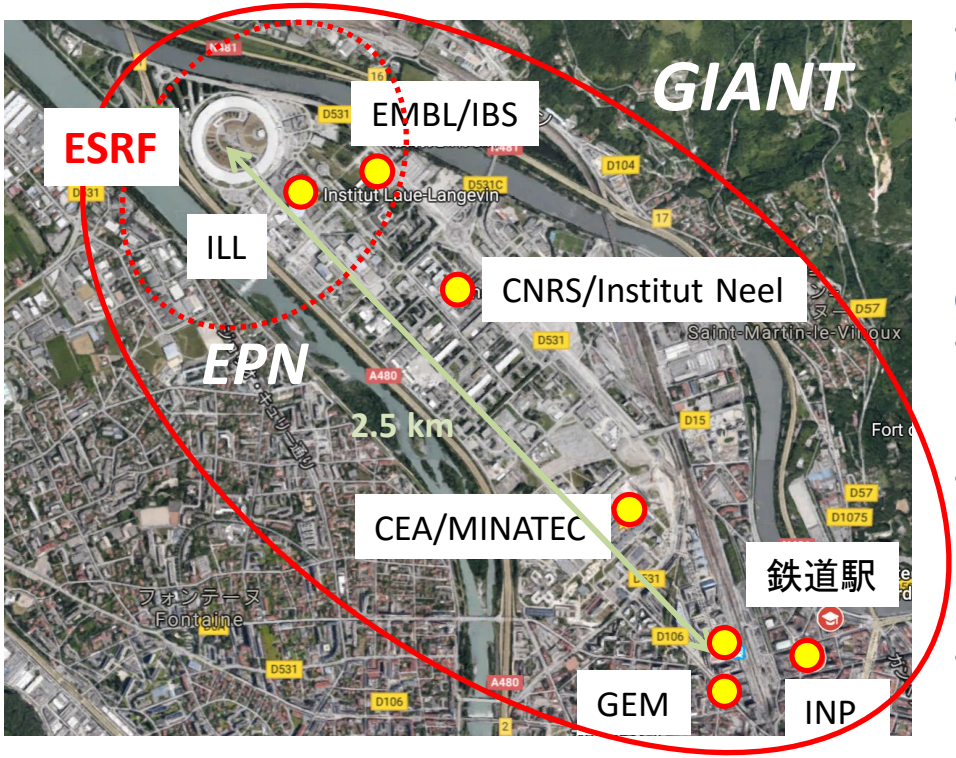
理化学研究所　放射光科学総合研究センター
矢橋 牧名

2017年4月11日

European Synchrotron Radiation Facility (ESRF)

重層的なリサーチコンプレックスを推進するキープレイヤー

立地



フランス グルノーブル市
- 人口 約16万人
- パリからTGVで約3時間、リヨンから1時間
- 市内交通はトラムによりアクセス至便

CEA (フランス原子力･代替エネルギー庁) /MINATEC
- 1956年に設立された原子力研究センターを母体とする。1967年、LETI (電子情報技術研究所) を設立。2006年、グルノーブル工科大学と共同で、MINATECを設立し、マイクロ･ナノテク分野のイノベーションを推進

CNRS (仏国立科学研究センター)/Institute Neel
- 1946年以降、CNRSが研究機関を設置。これらを2007年に統合。物性物理の基礎研究を推進

EMBL (欧州分子生物学研究所)
- 欧州5研究所のうちの一つ。構造生物学研究の拠点。ESRF、ILL、IBSとともに**EPN (European Photon & Neutron Science)** キャンパスを構成

ILL (ラウエ･ランジュバン研究所)
- 1973年、仏独英により設立。58 MWの原子炉ベースの国際中性子施設

GIANT キャンパス (Grenoble Innovation for Advanced New Technologies)

- 欧州の3基盤施設、仏の2研究所、3大学*が連携し、強力なイノベーションキャンパスを形成

  *グルノーブル経営学院 (GEM),グルノーブル工科大学 (INP), グルノーブルアルプ大学 (UGA)

- 7,000報の論文(全仏の約1割)、700の特許、10000人の学生、5000人の企業雇用、10000人の研究者雇用、4.1 BEuro の経済効果 、10年間で200社が起業

http://www.giant-grenoble.org/en/key-figures/

ESRF (2016年)

概要

- 1988年 建設開始、1992年 ファーストビーム、1994年 利用開始
- フランスの法律に基づく非営利法人、出資: Member countries (13ヶ国) + Associate countries (8ヶ国)
- 年間予算: 116 MEuro

  うち 約 2 MEuro が産業界から (ビームライン使用料等)
- スタッフ数: 694人

  Scientists/engineers: 379人、Technicians & administrative staff: 290人、学生 29人

パフォーマンス

- 蓄積リング: 6 GeV、200 mA、周長 844 m、エミッタンス 4 nm.rad
- ビームタイム: 5485時間、利用率: 99%、MTF: 93.8 時間
- ビームライン数: 43本

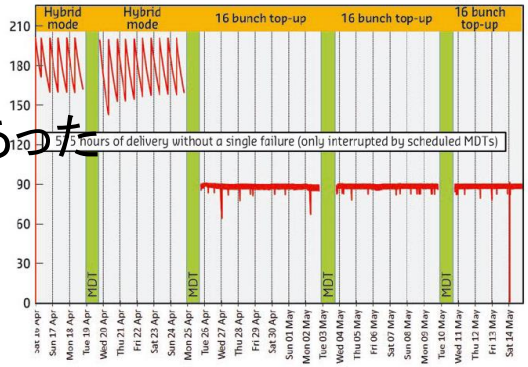
  ESRF Public Beamlines 32本と、Collaborating Research Group Beamlines 11本 (全てBM)

利用統計 (2009-2015年の平均)

- 提案課題数: 2,005、採択課題数: 1,478
- 利用者数: 5,955人
- 論文数: 1834報 (累計20,000報以上)

特徴・評価

- 最初の第3世代大型放射光施設として、いくつかのパイオニア的な業績をあげた
  - 例) 屈折コントラストイメージング、高分解能非弾性散乱
- 特にアカデミックな利用では、高いアクティビティを維持し、質・量ともに優れた成果を創出
- GIANT、EPN等のリサーチコンプレックスの核
- 地盤が良好でないこともあり、加速器の安定運転に課題があった
- トップアップ運転は未だスタディを継続中



- EU的な「大きさ」は、長所でもあり、弱点でもあった
- APS、SPring-8の登場、さらに2000年代の中型放射光施設群の台頭を踏まえ、内からの改革が進んだ
- 2009年より、現所長のFrancesco Setteのもと、組織改革と大胆なビームラインの改変を実施した (キーワード: Extreme, Time resolved, Imaging, Nanobeams, Automated)
- 世界ではじめて超低エミッタンスリング (150 pm.rad) へのアップグレードに挑む (総額: 330 MEuro)。1年間のシャットダウン、コミッショニングを経て、2020年9月から利用再開予定

Public beamlinesの変遷

テクノロジーの急速な発展と、利用ニーズの深化・多様化に対応し続けるため、徹底したレビューを行ない、研究基盤のアップグレードを継続的に実施

2009年

スクラップ 16本

ID01	Anomalous scattering
ID02	High brilliance
ID03	Surface diffraction
ID08	Dragon
ID09	White beam
ID10A	Troika I+III
ID10B	Troika II
ID09	
ID10	
ID11	Materials science
ID12	Circular polarization
ID13	Microfocus
ID14A	PX EH1/EH2
ID14B	Protein solution SAX EH3/PX EH4
ID15B	High energy diffraction
ID16	High energy inelastic scattering
ID17	Medical
ID18	NRS
ID19	Topography and tomography
ID20	Magnetic scattering
ID21	X-ray microscopy
ID22	Micro fluorescence
ID23	MX MAD/MX microfocus
ID24	D-EXAFS
ID26	X-ray absorption & emission
ID27	High pressure
ID28	IXS II
ID29	Multiwavelength anomalous diffraction
ID30	Machine division BL
ID31	Powder diffraction
ID32	X-ray standing wave and surface diffraction
BM05	Optics
BM29	XAS

2017年

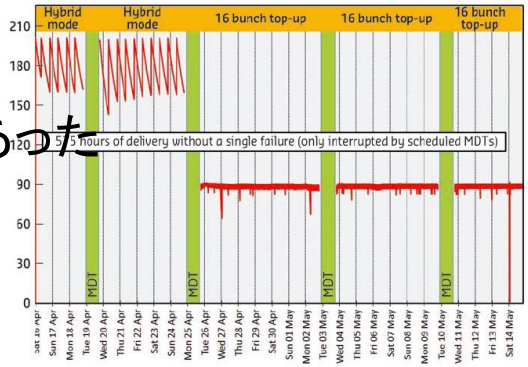
ビルド 19本 (全32本中)

ID01	Microdiffraction imaging
ID02	Time-resolved ultra-small-angle X-ray scattering
ID03	Surface diffraction
ID06	Large volume press
ID09	Time-resolved structural dynamics
ID10	Soft interfaces and coherent scattering
ID11	Materials science
ID12	Polarisation-dependent X-ray spectroscopy
ID13	Microfocus
ID15A	Materials chemistry & engineering
ID15B	High-pressure diffraction
ID16A	Nano imaging
ID16B	Nano analysis
ID17	Medical
ID18	NRS
ID19	Microtomography
ID20	IXS
ID21	X-ray microscopy/IR microscopy
ID22	High resolution powder diffraction
ID23	MX MAD/MX microfocus
ID24	D-EXAFS
ID26	X-ray absorption & emission
ID27	High pressure
ID28	X-ray scattering II
ID29	Multiwavelength anomalous diffraction
ID30A	MX
ID30B	MX
ID31	Interface & materials processing
ID32	Soft x-ray spectroscopy
BM14	MAD
BM23	XAS
BM29	Bio SAXS

唯一の軟X線BL

特徴・評価

- 最初の第3世代大型放射光施設として、いくつかのパイオニア的な業績をあげた
  - 例) 屈折コントラストイメージング、高分解能非弾性散乱
- 特にアカデミックな利用では、高いアクティビティを維持し、質・量ともに優れた成果を創出
- GIANT、EPN等のリサーチコンプレックスの核
- 地盤が良好でないこともあり、加速器の安定運転に課題があった
- トップアップ運転は未だスタディを継続中



- EU的な「大きさ」は、長所でもあり、弱点でもあった
- APS、SPring-8の登場、さらに2000年代の中型放射光施設群の台頭を踏まえ、内からの改革が進んだ
- 2009年より、現所長のFrancesco Setteのもと、組織改革と大胆なビームラインの改変を実施した (キーワード: Extreme, Time resolved, Imaging, Nanobeams, Automated)
- 世界ではじめて超低エミッタンスリング (150 pm.rad) へのアップグレードに挑む (総額: 330 MEuro)。1年間のシャットダウン、コミッショニングを経て、2020年9月から利用再開予定

Swiss Light Source (SLS) at Paul Scherrer Institute (PSI)

放射光を徹底的に戦略活用し
スイスイノベーションパークへと飛躍

立地

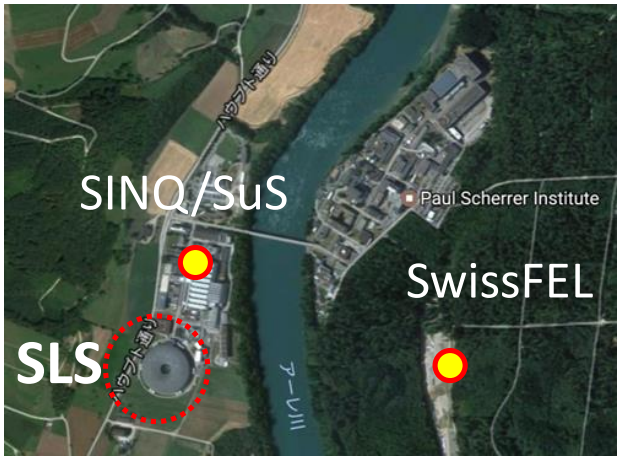
スイス アールガウ州

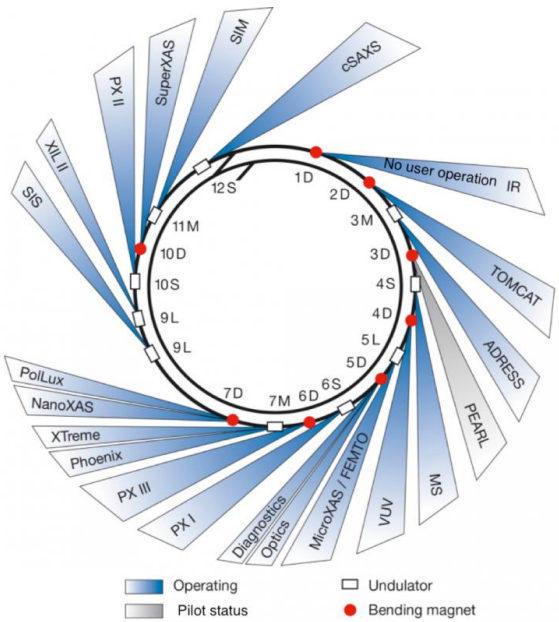
- 人口 約65万人
- PSIから、チューリッヒ、バーゼル (多数のハイテク関連企業、製薬企業、多国籍企業、一流大学を擁する) まで、車で約1時間
- チューリッヒ: 連邦工科大学 (ETHZ、THE世界大学ランキング9位、非英米国で1位)
- バーゼル: ロシュ (2016年世界売上高2位)、ノバルティスファーマー (同3位) 等の製薬企業が本社を置く

Park InnovAARE

- 「スイスイノベーションパーク」(5拠点) の一つに選定
- PSIの先端テクノロジーを民間に移転するための拠点
- 分野: 加速器技術、先端材料・プロセス、医療、エネルギー
- PSI敷地内にオフィスビルを建設。Advanced Accelerator Technologies社。leadXpro社等8社が拠点を設置。さらに、総面積35,000m^{2}の複合施設 (ケミカル・バイオラボ、クリーンルームを含む) を建設中。2020年に完成予定。建設費: 165 MCHF (約180億円)

PSI & SLS





PSI (Paul Scherrer Institut)

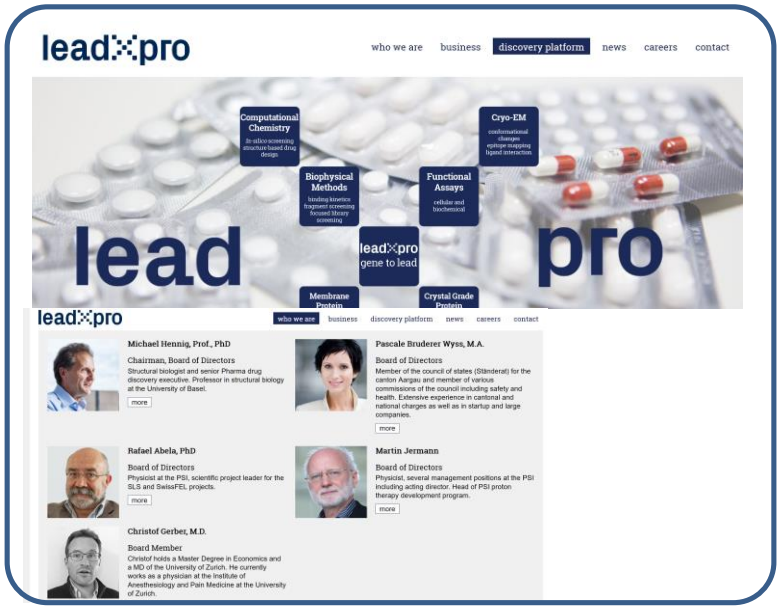
- 1988年に設立された研究機関。原子力研究所としてスタート
- 1990年代以降、大型基盤施設群 (SLS、SINQ, SuS) の開発と運営を手がける。研究分野も、材料･エネルギー･環境･医療･生命科学へ転換
- 年間予算: ~380 M CHF、人員約1000人、スイス最大規模
- 2012年より、コンパクトXFELのコンセプトに基づく、SwissFELの建設を開始。2016年12月に開所式、2017年に試験利用の予定
- 産業界との協業･連携を強力に推進。装置開発、試料分析、技術移転、スピンオフ (つくる、つかう、ひろげる、稼ぐ)

SLS (Swiss Light Source)

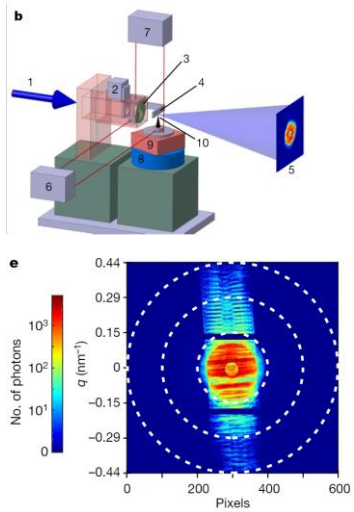
- 蓄積リング: 2.4 GeV、400 mA、周長 288 m、エミッタンス: 5.5 nm.rad
- 日本発の真空封止アンジュレータを用いた、第3世代中型放射光施設のはしり
- 1997年 建設開始、2000年 ファーストビーム、2001年 利用開始
- ビームライン数: 18本 (うち軟X線 8本)
  外部資金 (国内外の企業･大学･研究機関) を活用したBL: 7本
- ビームタイム: 5056時間、利用率: 99%、MTF: 108 時間 (2015年)
- 採択課題数: 1,163、利用者数: 3,433人 (2015年)

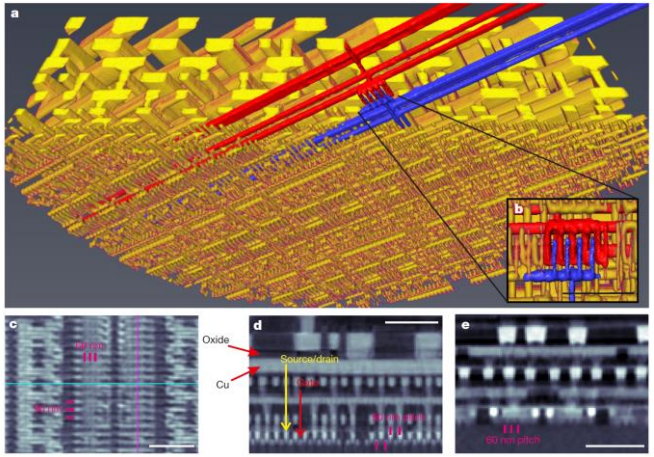
特徴

- SLSでは、共鳴軟X線非弾性散乱 (RIXS)、フェムトスライシング、コヒーレント小角散乱 (タイコグラフィ)、タンパク結晶構造解析など、ターゲット･マーケットを定めた上で、極めて戦略的な運営が行なわれている
- 産業絡みの資金の獲得に極めて積極的。タンパク結晶構造解析BLでは、成果専有利用が相当の割合を占める (上限なし、海外にもどんどん売って外貨獲得)
- スピンオフも奨励。(例) DECTRIS社: 高スペックX線検出器の世界市場を席巻 (納入実績: 800台以上)



leadXpro社のホームページより
SLS、クライオ電顕、SwissFELを使った創薬関連ビジネスを手がける。取締役には、バーゼル大学の教授らとともに、SLS/SwissFELのフォトン部門の責任者も名を連ねる





ICチップの内部を3次元･非破壊で観測。空間分解能 14.6 nm
Nature **543**, 402 (2017)

DECTRIS社のホームページより

Taiwan Photon Source (TPS) at NSRRC

台湾シリコンバレーの一翼を担う
最先端放射光施設

立地と施設概要

台湾 新竹市

- 人口 約48万人
- 「台湾のシリコンバレー」。大学、研究機関、半導体産業が集結し、新竹サイエンスパークを形成

大学

- 国立精華大学 THEアジア大学ランキング 33位、国立交通大学 同39位

工業技術院 (ITRI)

- 台湾最大の産業技術研究開発機構
- スピンアウト企業として、UMC 、TSMC (半導体生産ファウンドリとして売上世界1位) 等を創出

NSRRC (National Synchrotron Radiation Research Center)

- 1993年より、1.5 GeVのTLS (Taiwan Light Source) を運用。1998年より、SPring-8に2本の台湾ビームライン (硬X線) を運用

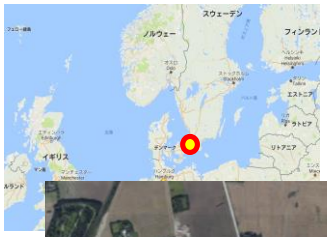
TPS (Taiwan Photon Source)

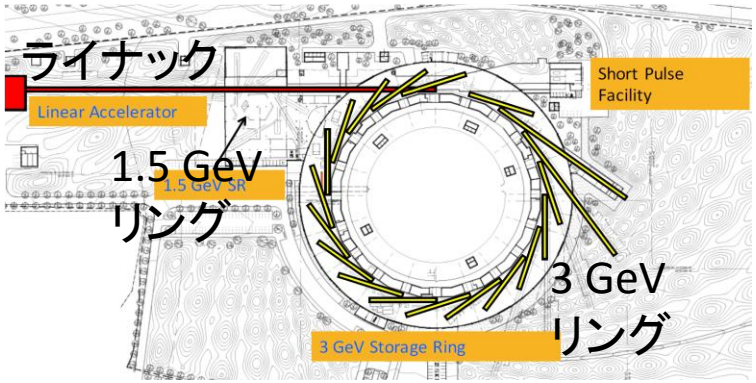
- 第3世代中型放射光施設
- 3 GeV、500 mA、周長 518 m、エミッタンス: 1.6 nm.rad (アジアの放射光施設で最小)
- 2010年に建設開始。2014年にファーストビーム、2016年より利用開始
- TLSもVUV～軟X線専用リングとして稼働を継続し、TPSの軟X線～硬X線と相補的に利用

MAX IV Laboratory

放射光施設、企業群、ルンド大学が形成するリサーチコンプレックス

立地と施設概要





スウェーデン ルンド市

- 人口 約10万人。ルンド大学の大学街。人口の約4割が大学関係者
- 市内交通: 10分に1本のバス。トラムも整備中 (“The Science Road”)

ルンド大学

- 創立1666年、北欧トップクラス (THE世界大学ランキング 96位)

IDEONサイエンスパーク

- 1983年に設立。350社、2700人の雇用。ルンド大学と連携しながらオープンイノベーションと起業支援を推進。ICT、テレコム、ライフサイエンス分野

ESS (European Spallation Source)

- 2 GeV 超伝導陽子ライナックを用いた、5 MWの破砕型中性子源。ファーストニュートロン2019年、施設完成2025年予定。建設費 1.8 BEuro (2013年見積もり)

MAX IV

- 施設建設費 450 M Euro。スウェーデンの研究インフラ投資としては最大級
- 2011年に建設開始。2016年6月に開所式
- マシン構成: ライナック (フェムト秒X線)、1.5 GeVリング (VUV～軟X線)、3 GeVリング (軟X線～硬X線)
- 3 GeVリングの設計値: 500 mA、周長 528 m、エミッタンス: ~200-330 pm.rad
- いわゆる回折限界リングのはしり。7ベンドのマルチベンドラティス (7-MBA) を採用。磁石、真空チャンバー、RF等の主要機器も、低エミッタンス化を (ほぼ唯一の) 指標にした設計
- 2017年4月から、2本のビームラインでコミッショニングを兼ねた利用を開始。14ビームラインが予算化

全体のまとめ

- 世界各国の多様なリサーチコンプレックスにおいて、放射光施設はコアの機関として位置づけられ、イノベーションを強力に推進している
- 単にマシンのスペックの追求や他所の模倣にとどまらず、基盤インフラ･社会資本としての位置づけを含めた、戦略的な立案が求められる