

Society 5.0を支える世界最高水準の大型研究施設の整備・利活用の促進

資料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32回)
 令和元年11月11日

令和2年度要求・要望額 69,611百万円
 (前年度予算額 47,665百万円)



我が国が世界に誇る最先端の大型研究施設の整備・共用を進めることにより、産学官の研究開発ポテンシャルを最大限に発揮するための基盤を強化し、世界を先導する学術研究・産業利用成果の創出等を通じて、研究力強化や生産性向上に貢献するとともに、国際競争力の強化につなげる。

スーパーコンピュータ「富岳」(ポスト「京」)の開発

我が国が直面する社会的・科学的課題の解決に貢献し、世界を先導する成果を創出するため、令和3年～4年の運用開始を目標に、世界最高水準の汎用性のあるスーパーコンピュータの整備を着実に進める。

19,975百万円(9,910百万円)

官民地域パートナーシップによる次世代放射光施設の推進

科学的にも産業的にも高い利用ニーズが見込まれ、研究力強化と生産性向上に貢献する、次世代放射光施設(軟X線向け高輝度3GeV級放射光源)について、官民地域パートナーシップによる役割分担に基づき、整備を着実に進める。

5,556百万円(1,326百万円)

最先端大型研究施設の整備・共用

43,943百万円(36,292百万円)

大型放射光施設「SPring-8」

9,864百万円※1(9,721百万円※1)



※1 SACLA分の利用促進交付金を含む
 生命科学や地球・惑星科学等の基礎研究から新規材料開発や創薬等の産業利用に至るまで幅広い分野の研究者に世界最高性能の放射光利用環境を提供し、学術的にも社会的にもインパクトの高い成果の創出を促進。

X線自由電子レーザー施設「SACLA」

7,200百万円※2(6,906百万円※2)



※2 SPring-8分の利用促進交付金を含む
 国家基幹技術として整備されてきたX線自由電子レーザーの性能(超高輝度、極短パルス幅、高コヒーレンス)を最大限に活かし、原子レベルの超微細構造解析や化学反応の超高速動態・変化の瞬時計測・分析等の最先端研究を実施。

最先端大型研究施設

特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律に基づき指定

共用プラットフォーム

研究開発基盤を支える設備・機器共用及び維持・高度化等の推進
 ~研究開発と共用の好循環の実現~

新たな共用システム

スーパーコンピュータ「富岳」・HPCIの運営

15,912百万円(10,123百万円)

「富岳」を中核とし、多様な利用者のニーズに応える革新的な計算環境(HPCI:革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ)を構築し、その利用を推進することで、我が国の科学技術の発展、産業競争力の強化、安全・安心な社会の構築に貢献。

大強度陽子加速器施設「J-PARC」

11,243百万円(10,924百万円)



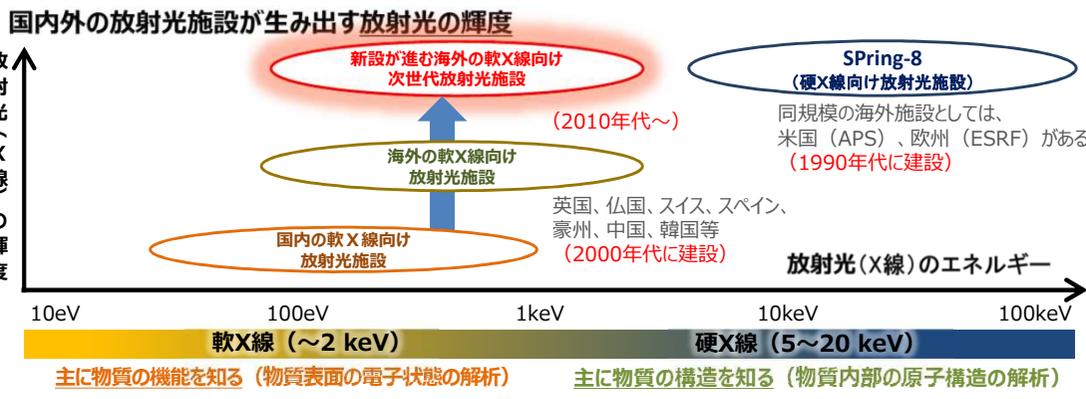
世界最高レベルの大強度陽子ビームから生成される中性子、ミュオン等の多彩な2次粒子ビームを利用し、素粒子・原子核物理、物質・生命科学、産業利用など広範な分野において先導的な研究成果を創出。

共通基盤技術の開発

人材育成

民間活力の導入等

- 最先端の科学技術は、物質の「構造解析」に加えて物質の「機能理解」へと向かっており、物質の電子状態やその変化を高精度で追える高輝度の軟X線利用環境の整備が重要となっている。このため、**学術・産業ともに高い利用ニーズが見込まれる次世代放射光施設（軟X線向け高輝度3GeV級放射光源）の早期整備が求められている。**
- 我が国の研究力強化と生産性向上に貢献する**次世代放射光施設について、官民地域パートナーシップによる役割分担に基づき、整備を着実に進める。**



官民地域パートナーシップによる役割分担

- パートナー：一般財団法人光科学イノベーションセンター[代表機関]、宮城県、仙台市、国立大学法人東北大学、一般社団法人東北経済連合会
- 整備用地：東北大学 青葉山新キャンパス内 (下図参照)



- 整備費用の概算総額：約370億円(整備用地の確保・造成の経費を含む)
 - ・国の分担：約200億円 ・パートナーの分担：約170億円

【事業概要】

<官民地域パートナーシップによる次世代放射光施設の整備>

- ① **施設の整備費 5,156百万円 (952百万円)**
施設整備の着実な推進に必要な、ライナック及び蓄積リングの電磁石、高周波空洞管等を整備する。
- ② **業務実施費 400百万円 (373百万円)**
研究者・技術者等の人件費及び事務管理・環境整備等を行う。

【事業スキーム】



【整備のスケジュール】

	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
加速器 (ライナック及び蓄積リング)	整備着手				ファーストビーム
ビームライン					運用開始
基本建屋					
研究準備交流棟					
整備用地					

■ 国が分担 ■ パートナーが分担

○官民地域の役割分担

項目	内訳	役割分担
加速器	ライナック、蓄積リング、輸送系、制御・安全	国において整備
ビームライン	当初10本	国及びパートナーが分担
基本建屋	建物・附属設備	パートナーにおいて整備
研究準備交流棟	建物・附属設備	
整備用地	土地造成	

○施設概要

- ・電子エネルギー：3 GeV
- ・蓄積リング長：340m程度



大型放射光施設 (SPring-8) の整備・共用

令和2年度要求・要望額
(前年度予算額)

9,864百万円
9,721百万円



背景・課題

- SPring-8は、微細な物質構造の解析が可能な**世界最高性能の放射光施設**。生命科学、環境・エネルギーから新材料開発まで広範な分野で先端的・革新的な研究開発に貢献。
- 平成9年の供用開始から20年以上が経過し、利用者は着実に増加。毎年約17,000人の産学官の研究者が利用。
- 同等性能の大型放射光施設を有するのは日米欧のみであり(他に米国APS、欧州ESRF、PETRA III)、SPring-8は安定なビーム性能を発揮中。

事業概要

【事業の目的・目標】

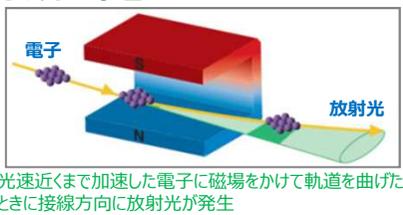
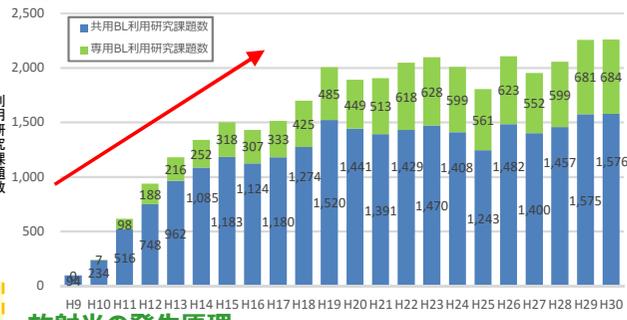
SPring-8について、安定的な運転の確保及び利用環境の充実を行い、産学の広範な分野の研究者等の利用に供することで、世界を先導する利用成果の創出等を促進し、我が国の国際競争力の強化につなげる。

【事業概要・イメージ】

- ① **SPring-8の共用運転の実施** 8,483百万円(8,340百万円)
 - 5,400時間運転の確保及び維持管理等
- ② **SPring-8・SACLAの利用促進*** 1,381百万円(1,381百万円)
 - 利用者選定・利用支援業務の着実な実施 ※ SACLAと一体的・効率的に実施。

【これまでの成果】

- ・論文発表: ネイチャー・サイエンス誌をはじめ、SPring-8を利用した研究論文は**累計約16,000報**。
(例えば、サイエンス誌の2011年の世界の10大成果のうち2件がSPring-8固有の成果。※はやぶさ試料解析、光化学系Ⅱ複合体。)
- ・産業利用: 稼働・整備中の57本のビームラインのうち**4本は産業界が自ら設置**。共用ビームラインにおける全実施課題に占める**産業利用の割合は約2割**。



【事業スキーム】



創薬のブレークスルーにつながる膜タンパク質とリン脂質の相互作用を解明

[Nature (2017.5.11) 掲載]
【使用ビームライン】BL41XU 【中心研究機関】 東京大学、高輝度光科学研究センター

- ・ SPring-8において、医学的・生物学的に重要な機能を持つ膜タンパク質の一つであるカルシウムポンプを構造解析し、**膜タンパク質とそれを取り囲む生体膜を構成するリン脂質の相互作用の詳細を世界で初めて解明**。膜タンパク質の機能発現と生体膜とが密接に関わっていることを解明。
- ・ 創薬の重要なターゲットである膜タンパク質の機能発現に、生体膜がどのように関わるかが明らかになったことで、今後、**膜タンパク質の機能理解に基づき創薬のブレークスルーに高い期待**。

カルシウムポンプとリン脂質の原子モデル

高変換効率な有機薄膜太陽電池の構造を解明

[Nature Photonics (2015.5.25) 掲載]
【使用ビームライン】BL46XU 【中心研究機関】 理化学研究所、北陸先端科学技術大学院大学等

- ・ SPring-8のX線構造解析により、エネルギー変換効率が10%を超える有機薄膜太陽電池内の**半導体ポリマーの向きや分布等がエネルギー変換効率の向上の鍵であることを解明**。
- ・ エネルギー変換効率を向上させる半導体ポリマーの分子構造や分布等の条件が明らかになったため、**太陽電池の実用化の目安であるエネルギー変換効率15%の到達に向けた研究の加速に期待**。

SPring-8により半導体ポリマー分子の分布状態を解明

背景・課題

- SACLAは、原子レベルの超微細構造や化学反応の超高速動態・変化の瞬時計測・分析が可能な**世界最高性能のX線自由電子レーザー施設**。放射光(波長の短い光)とレーザー(質の高い光)の両方の長を併せ持った高度な光源。
- 国家基幹技術として平成18年度に整備開始、平成24年3月に供用開始。
- X線自由電子レーザーは**人類が初めて手にした革新的光源**。世界では、これまで、日本、米国(米国LCLSは平成22年に供用開始)が稼働していたが、平成29年から欧州・スイス・韓国が相次いで運転を開始。SACLAは、世界で最もコンパクトな施設で最も短い波長が得られる点で優位性を発揮。

事業概要

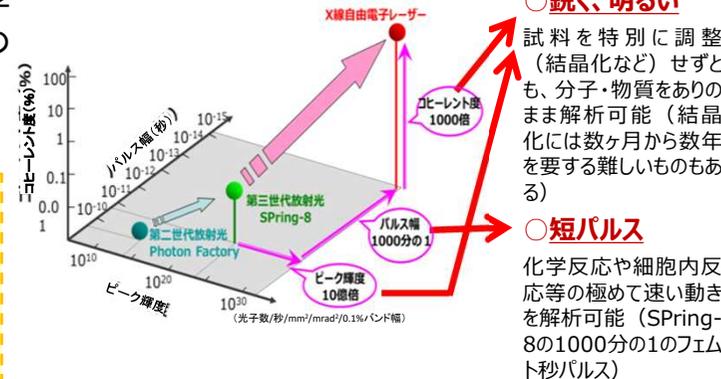
【事業の目的・目標】

SACLAについて、安定的な運転時間の確保及び利用環境の充実を行い、産学の広範な分野の研究者等の利用に供することで、世界を先導する利用成果の創出等を促進し、我が国の国際競争力の強化につなげる。

【事業概要・イメージ】

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| ① SACLAの共用運転の実施 | 5,819百万円(5,525百万円) |
| - 6,250時間運転の確保及び維持管理等 | |
| ② SPring-8・SACLAの利用促進【再掲】* | 1,381百万円(1,381百万円) |
| - 利用者選定・利用支援業務の着実な実施 | ※ SPring-8と一体的・効率的に実施。 |

X線自由電子レーザー (放射光+レーザー) の特長



○ 鋭く、明るい

試料を特別に調整(結晶化など)せずとも、分子・物質をありのまま解析可能(結晶化には数ヶ月から数年を要する難しいものもある)

○ 短パルス

化学反応や細胞内反応等の極めて速い動きを解析可能(SPring-8の1000分の1のフェムト秒パルス)

SPring-8 Angstrom Compact Free Electron LASER

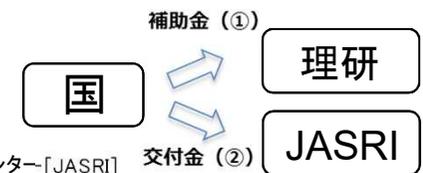


【これまでの成果】

- 供用開始以来、採択課題数は513課題。**ネイチャー誌をはじめとするトップ論文誌に累計54報の論文掲載。**
- 平成29年9月より**3本のビームラインの同時運転を開始**しており、更なる高インパクト成果の創出に期待。

【事業スキーム】

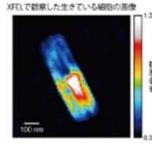
- ✓ 施設設置者: (国研)理化学研究所[理研]
- ✓ 登録施設利用促進機関: (公財)高輝度光科学研究センター[JASRI]



生きた細胞をナノレベルで観察することに成功 (ナノ: 10⁻⁹ = 10億分の1)

[Nature Communications (2014.1.7) 掲載]
【使用ビームライン】BL3 【利用期間】2011年度～2014年度 【中心研究者】 西野吉則 (北海道大学)

- 電子線やX線などを用いた従来の顕微鏡・放射光では、観察に必要な一定のビーム照射や結晶化により細胞は死んでしまっていたが、SACLAのフェムト(10⁻¹⁵)秒オーダーの発光時間を使うことで、自然な状態の生きている細胞内部のナノ構造を捉えることに成功。
- **生きた細胞をナノメートルの分解能で定量的に観察できる手法を世界で初めて確立。**未だ解明されていない原核微生物のゲノム複製やそれに続く細胞分裂などの重要な細胞内現象の解明に期待。



生きた細胞内部のナノ構造を高コントラストで可視化

光合成を行う正確な3次元原子構造を解明 ～人工光合成開発への糸口～

[Nature (2015.1.1)、Nature (2017.2.21) 掲載]
【使用ビームライン】BL3 【利用開始年】2011年度 【中心研究者】 沈建仁 (岡山大学) 他

- 植物は、光化学系Ⅱ複合体というタンパク質で水分解を行い、生命が必要とする酸素を作り出すことは長く知られていたが、原子構造や機構は未知のままだった。20年来の研究とSACLAで開発した解析法により、**1.95Å分解能で全構造とその触媒中心構造を正確に解明することに世界で初めて成功。**さらに続けて、**触媒中心が水分子を分解する過程を捉え、酸素分子が発生する直前の構造を世界で初めて解明。**
- **自然界の光合成が原子レベルでいかに行われているかの解明**につながる重要成果であり、**人工光合成開発の実現**に向けて前進。



光化学系Ⅱ複合体の触媒中心の原子構造 (Mn₄CaO₅クラスター; "歪んだ椅子")

背景・課題

- J-PARCは、日本原子力研究開発機構(JAEA)及び高エネルギー加速器研究機構(KEK)が共同運営し、物質・生命科学実験施設(MLF)の中性子線施設は**世界最大のパルス中性子線強度を誇る共用施設**。
- 平成24年1月から供用開始。パルスビームは0.1MWから段階的に強度を上げており、1MWの安定運転による共用を目指す。

事業概要

【事業の目的・目標】

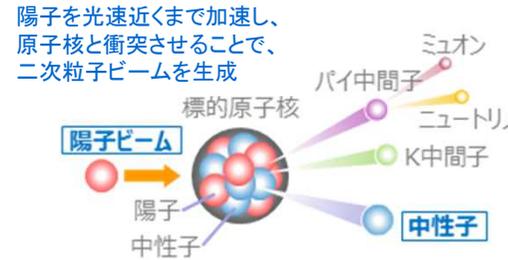
J-PARCについて、安定的な運転の確保及び利用環境の充実を行い、産学の広範な分野の研究者等の利用に供することで、世界を先導する利用成果の創出等を促進し、我が国の国際競争力の強化につなげる。

【事業概要・イメージ】

- | | |
|----------------------|----------------------|
| ① J-PARCの共用運転の実施 | 10,500百万円(10,183百万円) |
| - 8サイクル運転の確保及び維持管理等 | |
| ② J-PARCの利用促進 | 744百万円(741百万円) |
| - 利用者選定・利用支援業務の着実な実施 | |

中性子線ビームの特長

- **壊さず透過する**
電子殻とほぼ相互作用しないため、物質を破壊せず内部構造が観察可能
- **原子核の動きや軽元素を見る**
原子核と相互作用し、特に水素やリチウムなどの軽元素の観察に強み
- **磁気構造を見る**
スピンを持つため、微小磁石として振る舞い、物質の磁気構造が観察可能

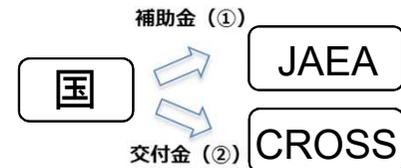


【これまでの成果】

- 利用者数:平成30年度のMLF利用者数は約 **15,430人**。
- 論文発表:供用開始(H24.1)以来のネイチャー・サイエンス誌を含む研究論文数は**累計約 930報**。
- 産業利用:中性子線施設の全実施課題のうち**2~3割が民間企業による産業利用**。

【事業スキーム】

- ✓ 施設設置者:
(国研)日本原子力研究開発機構[JAEA]
- ✓ 登録施設利用促進機関:
(一財)総合科学研究機構[CROSS]



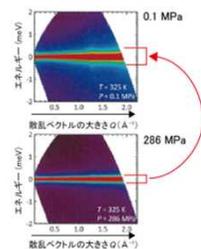
次世代の固体冷媒の候補と注目される柔粘性結晶の巨大な圧力熱効果を解明

[Nature (2019.3.28) 掲載]

【使用ビームライン】 BL14 【利用期間】2018年度

【中心機関】 中国科学院、JAEA、J-PARCセンター、大阪大学、上海交通大学、フロリダ州立大学、JASRI、オーストラリア原子力科学技術機構、国家同步輻射研究中心

- J-PARCの中性子線実験により、**柔粘性結晶の巨大な圧力熱効果が分子回転の凍結・解放により生じていることを解明**。
- メカニズムを原子レベルで解明したことで、より優れた性能を持つ圧力熱効果材料の探索や設計などが進み、**環境負荷が懸念される従来の蒸気圧縮式に代わる「熱量効果」に基づく固体冷媒での冷却技術が期待**。



圧力変化による分子運動の凍結

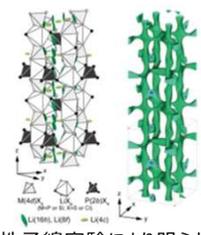
長距離航続が可能な電気自動車を実現する全固体型セラミックス電池の開発

[Nature energy (2016.3.21オンライン版) 掲載]

【使用ビームライン】 BL09、BL20 【利用期間】2011~2016年度

【中心機関】 東京工業大学、トヨタ自動車(株)、KEK、他

- 電気自動車の実現に向け、高出力・高容量かつ安全な電池開発が重要な中、**中性子線実験による電池材料の詳細解明により高性能電池材料が開発され全固体セラミックス電池が実現**。
- トヨタ自動車は2022年に**全固体セラミックス電池を搭載した電気自動車**を日本国内で発売する方針。



中性子線実験により明らかになったリチウムイオンの電導経路