

J-PARCの概要と現状

2023年(令和5年)11月2日

国立研究開発法人
日本原子力研究開発機構
大学共同利用機関法人
高エネルギー加速器研究機構
J-PARCセンター



目次

J-PARCの概要

J-PARCの経緯

素粒子・原子核物理

物質・生命科学

核変換技術の研究開発

ユーザー、安全、利用制度、広報、連携

前回中間評価以降に起きた事象

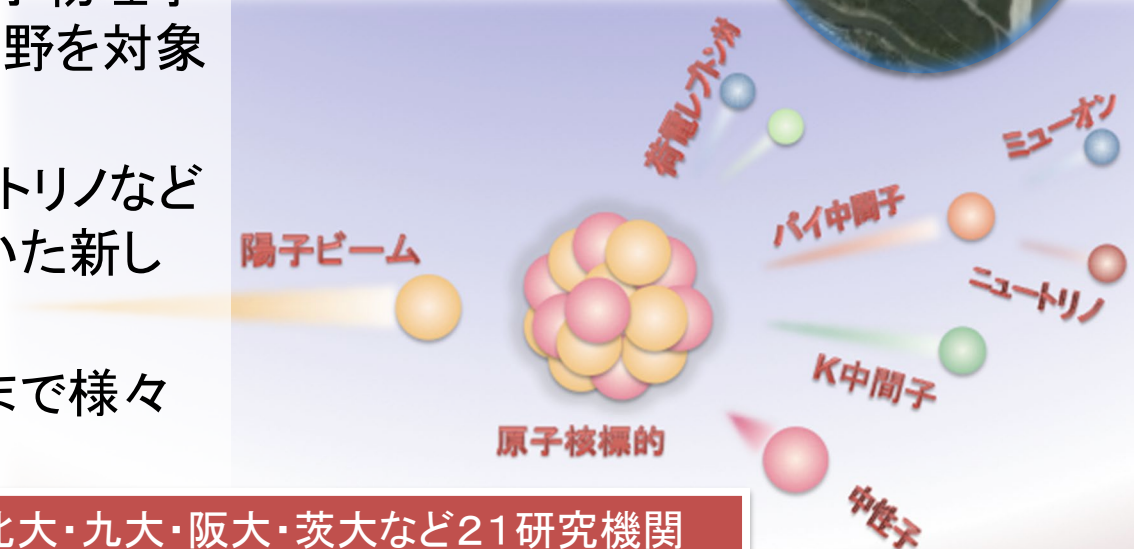
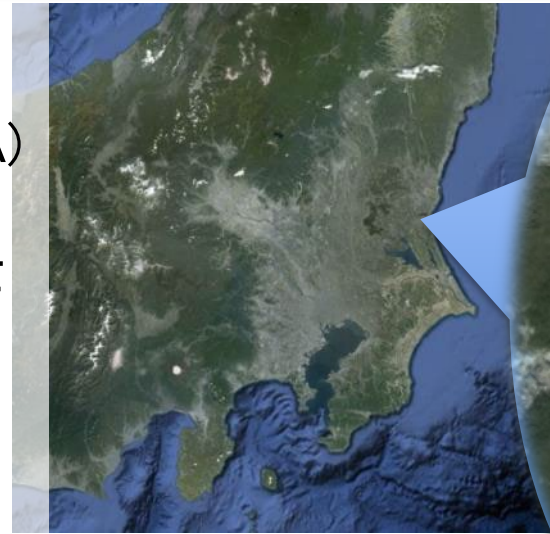
組織・予算

まとめ

J-PARCの概要

• J-PARC:

- 日本原子力研究開発機構(JAEA)と高エネルギー加速器研究機構(KEK)が共同で建設し運営する世界最高レベルの陽子加速器により様々な分野の最先端の研究を展開する施設。
- 物質科学、生命科学、原子力工学(JAEA)、原子核・素粒子物理学(KEK)など広範な研究分野を対象に、
- 中性子、ミュオン、ニュートリノなどの多彩な二次粒子を用いた新しい研究手段を提供し、
- 基礎科学から産業応用まで様々な研究開発を推進する



連携研究機関: 国内 東大・京大・東北大・九大・阪大・茨大など21研究機関
国外 47研究機関

J-PARCの経緯

- 平成13年(2001年) 12月 建設着手
- 平成20年(2008年) 12月 物質・生命科学実験施設の供用開始
- 平成21年(2009年) 02月 ハドロン実験施設の利用開始
- 平成21年(2009年) 04月 ニュートリノ実験施設の利用開始
- 平成23年(2011年) 03月 東日本大震災により運転停止
- 平成24年(2012年) 01月 共用促進法による中性子線施設の共用開始
- 平成25年(2013年) 05月 ハドロン実験施設にて放射性物質漏えい事故発生
- 平成27年(2015年) 04月, 11月 中性子標的容器不具合によるMLFの利用運転停止
- 平成30年(2018年) 7月 MLFでの1MW相当の1時間の連続運転に成功
- 令和 2年(2020年) 4月 新型コロナウイルス影響(緊急事態宣言の発令)で運転休止
- 令和 2年(2020年) 6月 ハドロン実験施設で、新たに高運動量ビームラインの運転を開始
- 令和 4年(2022年) 4月 物質・生命科学実験施設の利用運転(陽子ビーム出力830 kW)
- 令和 5年(2023年) 3月 ハドロン実験施設で、新たにコメット実験用ビームラインの運転を開始
- 令和 5年(2023年) 4月 MRで、750kW相当のビーム強度達成
- 令和 5年(2023年) 4月、6月 火災により利用運転中断

J-PARC Facility (KEK/JAEA)

LINAC
400 MeV

Rapid - Cycling Synchrotron

エネルギー : 3 GeV

繰り返し : 25 Hz

設計出力 : 1 MW

神岡に向けてニュートリノビーム

物質・生命科学実験施設

Main Ring

最高エネルギー : 30 GeV

速い取り出し設計出力 : 0.75 MW → 1.3 MW

遅い取り出し出力期待値 : > 0.1 MW

ハドロン実験施設

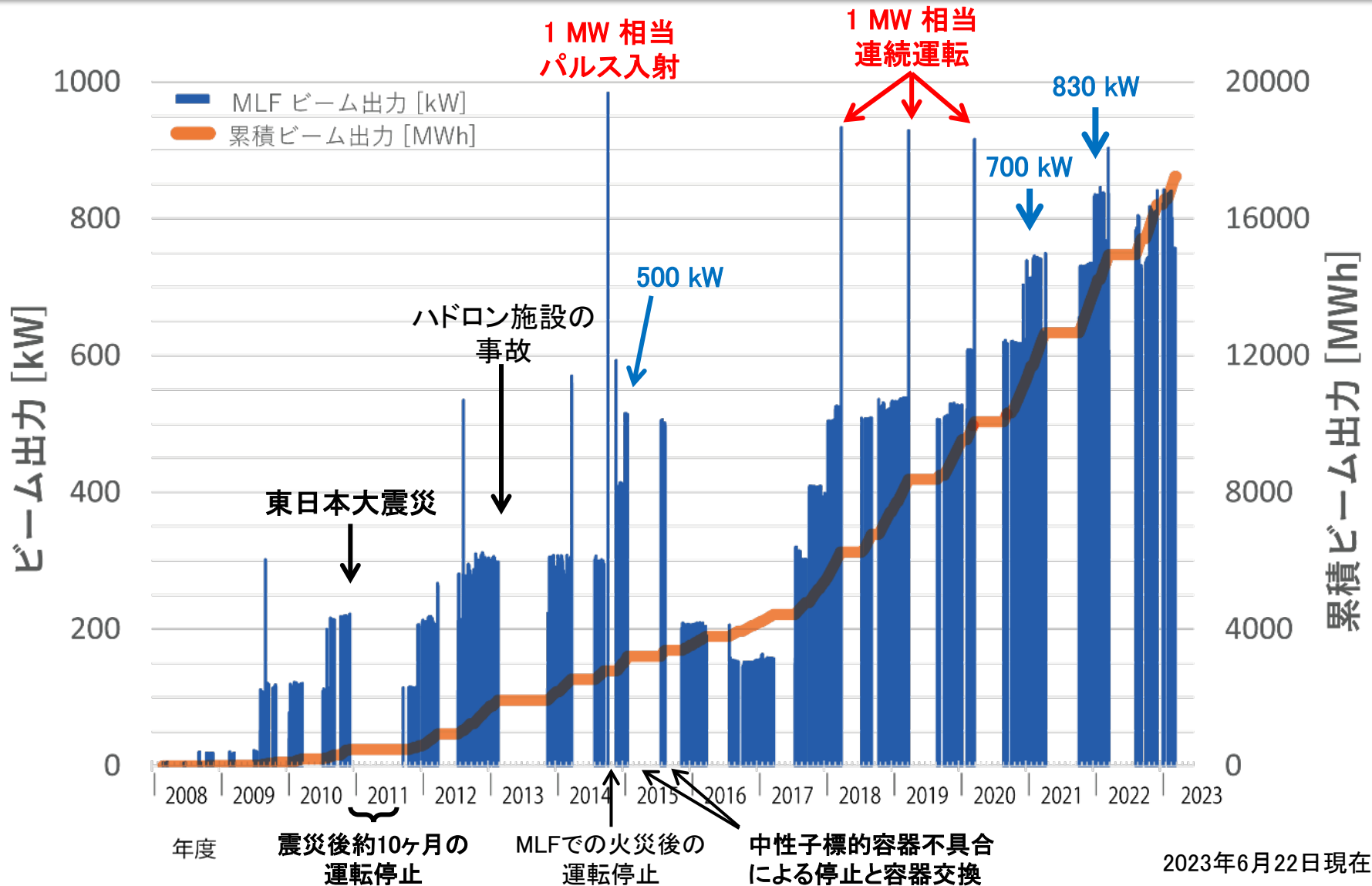
J-PARC Facility (KEK/JAEA)

JAEA担当施設

KEK担当施設



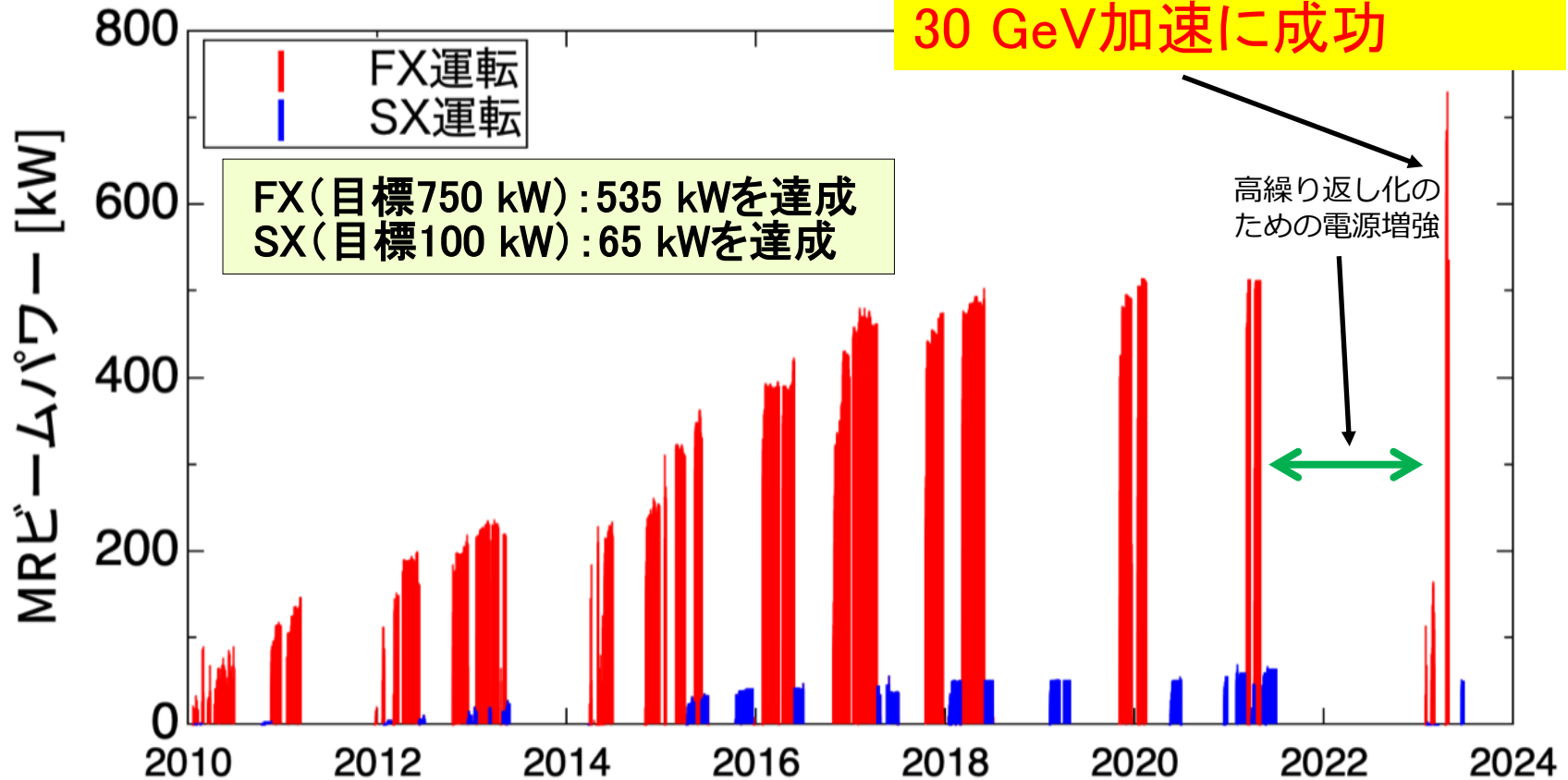
MLF中性子源のビーム運転履歴



840kW@MLF定常運転実現(パルス当たり1MW程度)

MRのビーム運転履歴

2023年4月16日 21時51分
750 kWビームの
30 GeV加速に成功



- FX/SX: 535kW/65kW定常運転実現
- 2021~2022: 高繰り返し化のための電源増強
- 2023/4/16 1パルス運転ながら当初設計強度750kW達成

素粒子・原子核物理

～ 宇宙の始まりと物質の起源にせまる ～

ニュートリノ実験施設

ニュートリノ・反ニュートリノビーム(神岡へ)

一部 物質・生命科学実験施設でも展開

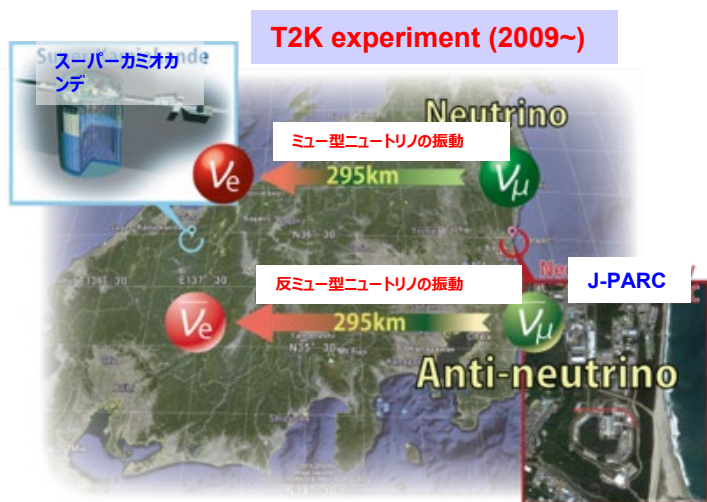
中性子、ミュオン、ニュートリノ

ハドロン実験施設

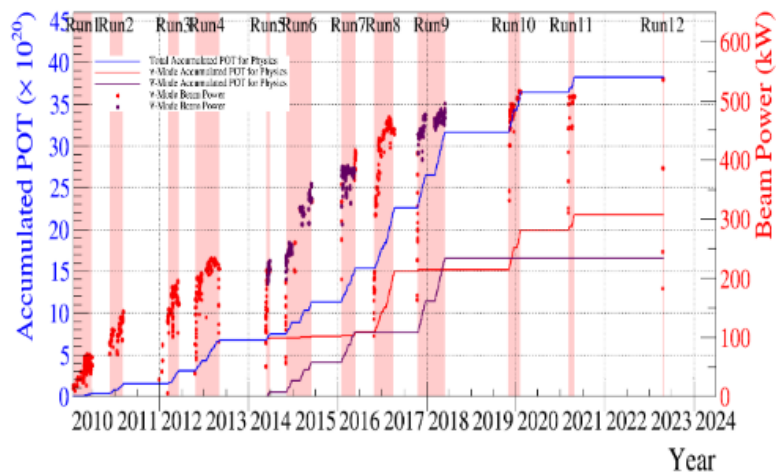
π 中間子、K中間子、ミュオン など

ニュートリノ研究 宇宙の物質起源解明にむけて

J-PARCで生成したニュートリノを、約 295 km 離れたスーパーカミオカンデ検出器で検出し、ニュートリノ振動を正確に測定するT2K(Tokai to Kamioka)実験を実施

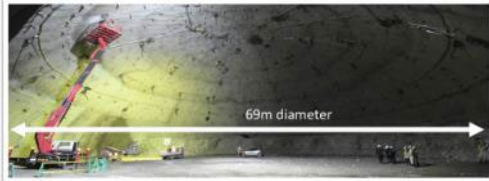


- 13カ国76機関~500人の国際コラボレーション
- ミュー型ニュートリノをJ-PARCで生成
- スーパーカミオカンデで検出
- **2011-2013: 世界で初めて、ミュー型ニュートリノから電子型ニュートリノへの変化を発見**
 - 一連の論文引用数: 2747(INSPIRES 23.10.16)
 - 2016年仁科記念賞、ブレークスルー賞、2017年ポンテコルボ賞受賞、2020年: 猿橋賞
- **世界で初めて、ニュートリノのCP対称性を表す位相角を測定。大きな領域を 3σ 以上を棄却(2016)**
 - Nature誌により2020年の10大発見に選出
- 現在のゴール
 - ニュートリノにおけるCP対称性の破れの発見
- 現状
 - 540kW 運転実現
 - 積算陽子数: $3.8e^{21}$ (nu:2.2/anu:1.7)



T2K実験からハイパーカミオカンデ実験へ

Hyper-K status



The excavation of the gigantic detector cavern. Dorn section completed in Oct. 2023.



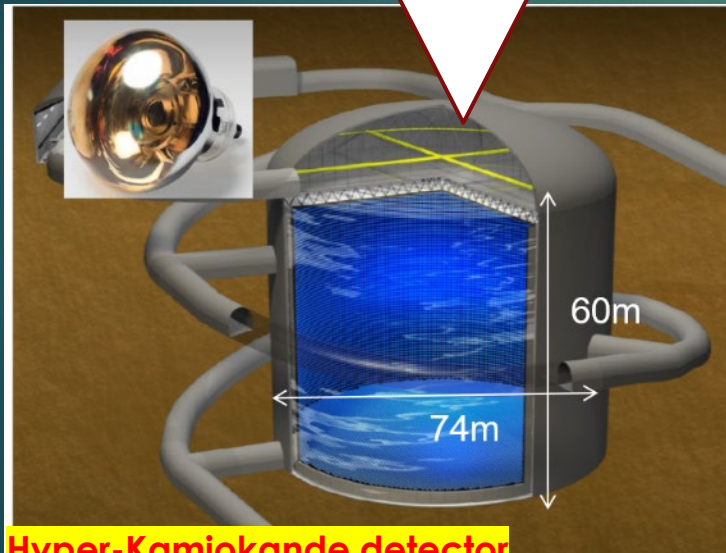
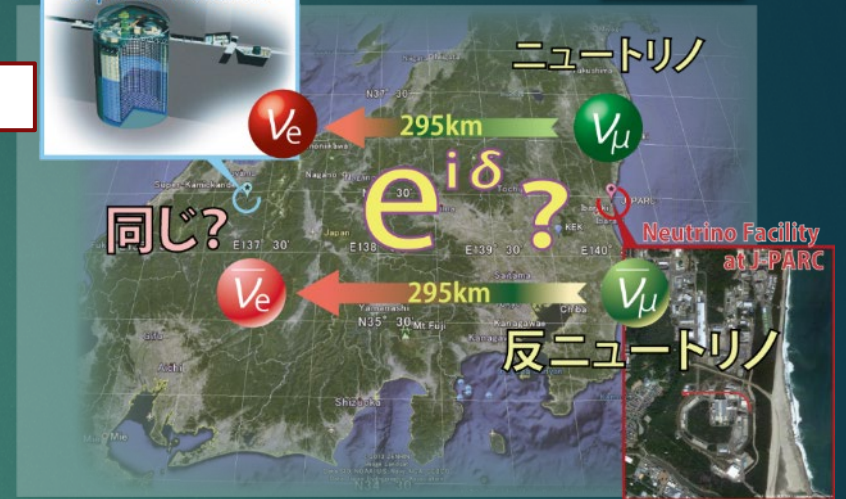
Entrance yard as of Jul. 2021



Delivered photo-sensors in Japan. 6,177 PMTs as of Sep. 2023.



Hyper-Kamiokande meeting at Queen Mary University of London in July 2016. Hyper-Kamiokande collaboration is working hard to start the exp. in 2027.



Hyper-Kamiokande detector

ハイパーカミオカンデプロジェクト

- ▶ KEK
 - ▶ ビーム大強度化 (500kW → 1.3MW)
 - ▶ 前置検出器の増強
- ▶ 東京大学宇宙線研
 - ▶ ハイパーカミオカンデ検出器施設
 - ▶ 190kt = × 8 (from SK)
- ▶ 国際コラボレーション: 22カ国 ~ 600名
- ▶ 2027年運転開始を目指して建設中
 - ▶ 2023.10 トップドーム掘削完了

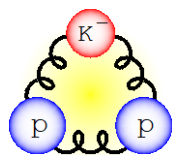


→ 宇宙の物質起源のなぞ解明へ

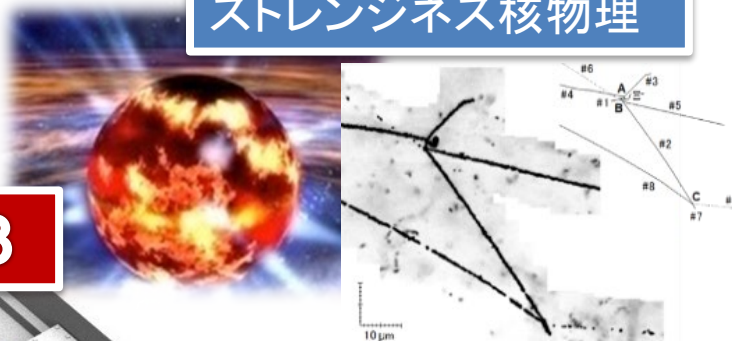
素粒子・原子核研究 ハドロン実験施設

K中間子やミュオンを用いた原子核・素粒子実験を展開

(東北大学、東京大学、岐阜大学、
京都大学、大阪大学、九州大学、他)



ストレンジネス核物理



ハドロン物理

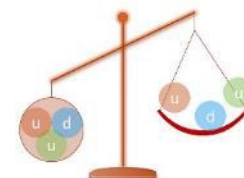
K1.8

K1.8BR

KL

K稀崩壊 (CPの破れ)

ハドロン質量



高運動量ビームライン

[2020.8.11]
高運動量ビームラインの
運転開始を発表

金標的

二次粒子生成標的の更新

- 50kW標的: 2014~2019年
- 95kW標的: 2019年~
- 150kW標的: 開発中

ミュオン(μ)-電子(e)転換実験

COMET ビームライン

[2023.3.17]
「Cライン」が完成

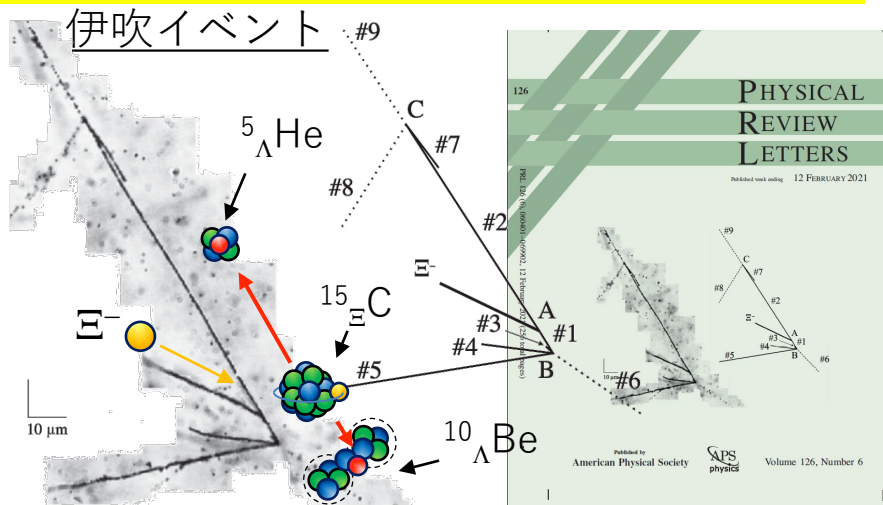


First beam@
Feb.9,19:44:30, 2023

前回中間評価以降の主な成果等

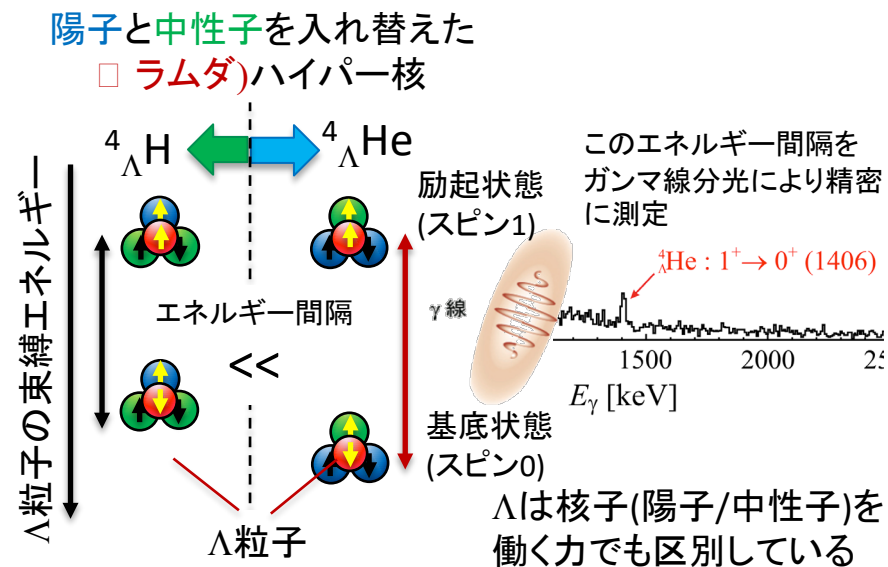
ストレンジ核子まで含めた「一般化された核力」の性質と起源の解明

グザイハイパー核の質量測定に初めて成功



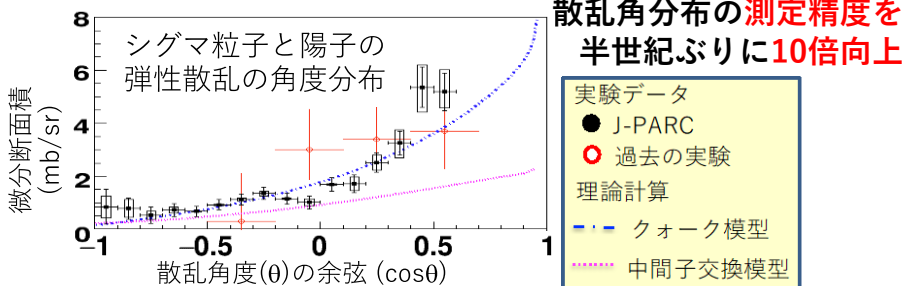
グザイ粒子と核子との間に働く力が
引力であることを確定

ラムダ粒子と核子との間に働く力の 荷電対称性の破れを発見



ストレンジ核子と陽子の散乱実験手法を確立

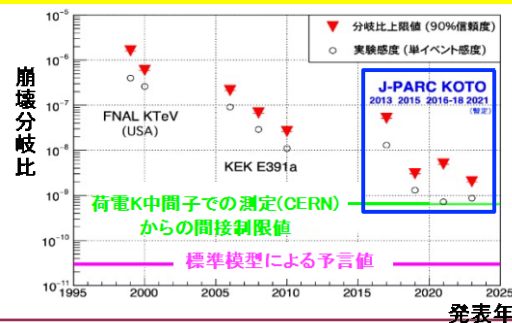
寿命 0.1ナノ秒



小林益川理論を超えるCP対称性の破れの探索

中性K中間子の稀な崩壊
 $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ (未発見) を
世界最高感度で探索中

- J-PARC以前の探索から
10倍以上進展
- 新物理が現れる領域に
迫っている



J-PARC ミューオンg-2/EDM実験

J-PARC 物質・生命
科学実験施(MLF)

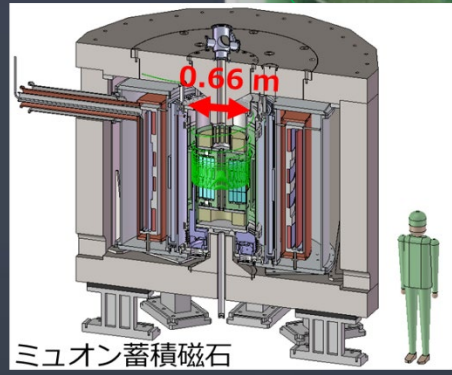
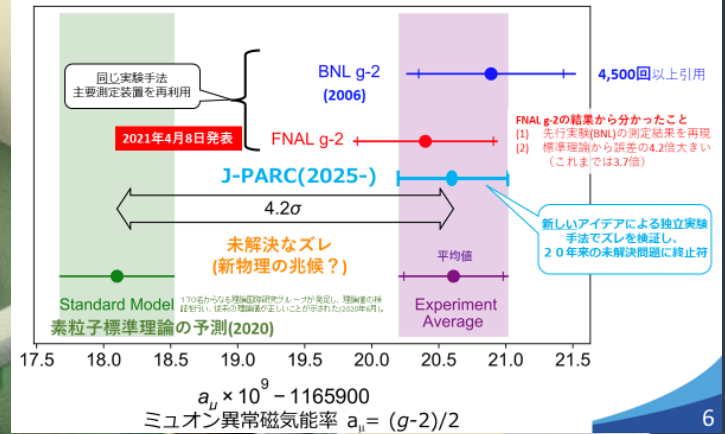


冷却・加速による新しいミューオンビームにより

- ・ コンパクトな蓄積磁石・検出器(1/20)
 - ・ 微弱ビーム収束力で蓄積(1/1000)
 - ・ 高いビーム入射効率(x10)
- が可能となる。

2021年4月8日のフェルミ国立研究所の発表

・ 2021年4月8日午前0時(日本時間)、米国フェルミ国立研究所 (FNAL, フェルミラボ) からミューオン異常磁気能率 (g-2) の測定結果が全世界に発表された



2027ごろ実験開始
を目指して準備中

ミューオンg-2とEDMを同時に精密測定

ハドロン実験施設 将来計画

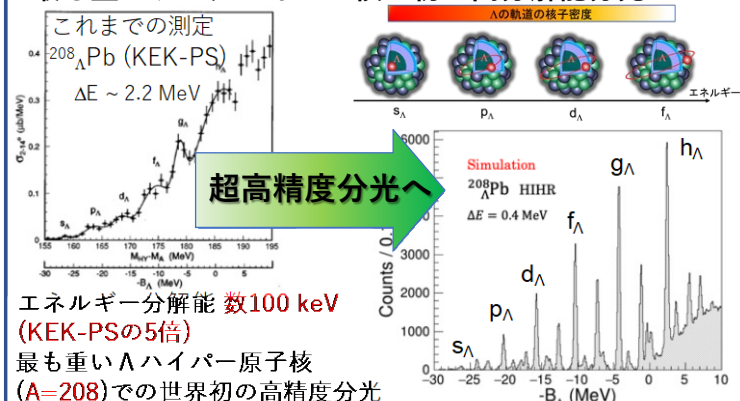
- 2022年6月24日付でKEK-PIP2022 が公表され、ハドロン実験施設の拡張が「優先度に従って新たに予算要求するプロジェクト」の優先順位1位に取り上げられた。

施設を拡張することにより
新たな研究を展開し、
物質の起源と進化を解明する



- ＋新二次粒子生成標的 (T2)
- ＋新ビームライン (HIHR, K1.1/K1.1BR, KL2, K10)
- ＋機能を向上させたビームライン (High-p (π20), Test-BL)

核物質中でのストレンジ核子の核力の解明
最も重いラムダハイパー核の初の高分解能分光

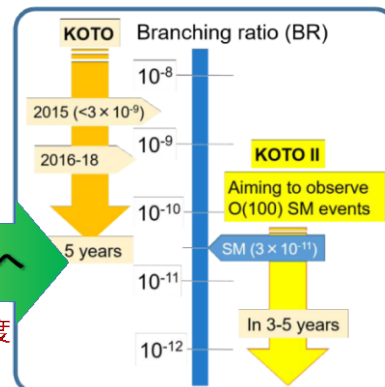


標準模型を超えるCP対称性の破れの探索

CP対称性を直接破る $K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 稀崩壊
新物理探索に最適なプロローブの1つ

標準模型を超える感度へ

KOTOの100倍以上の感度
での新物理探索



物質・生命科学

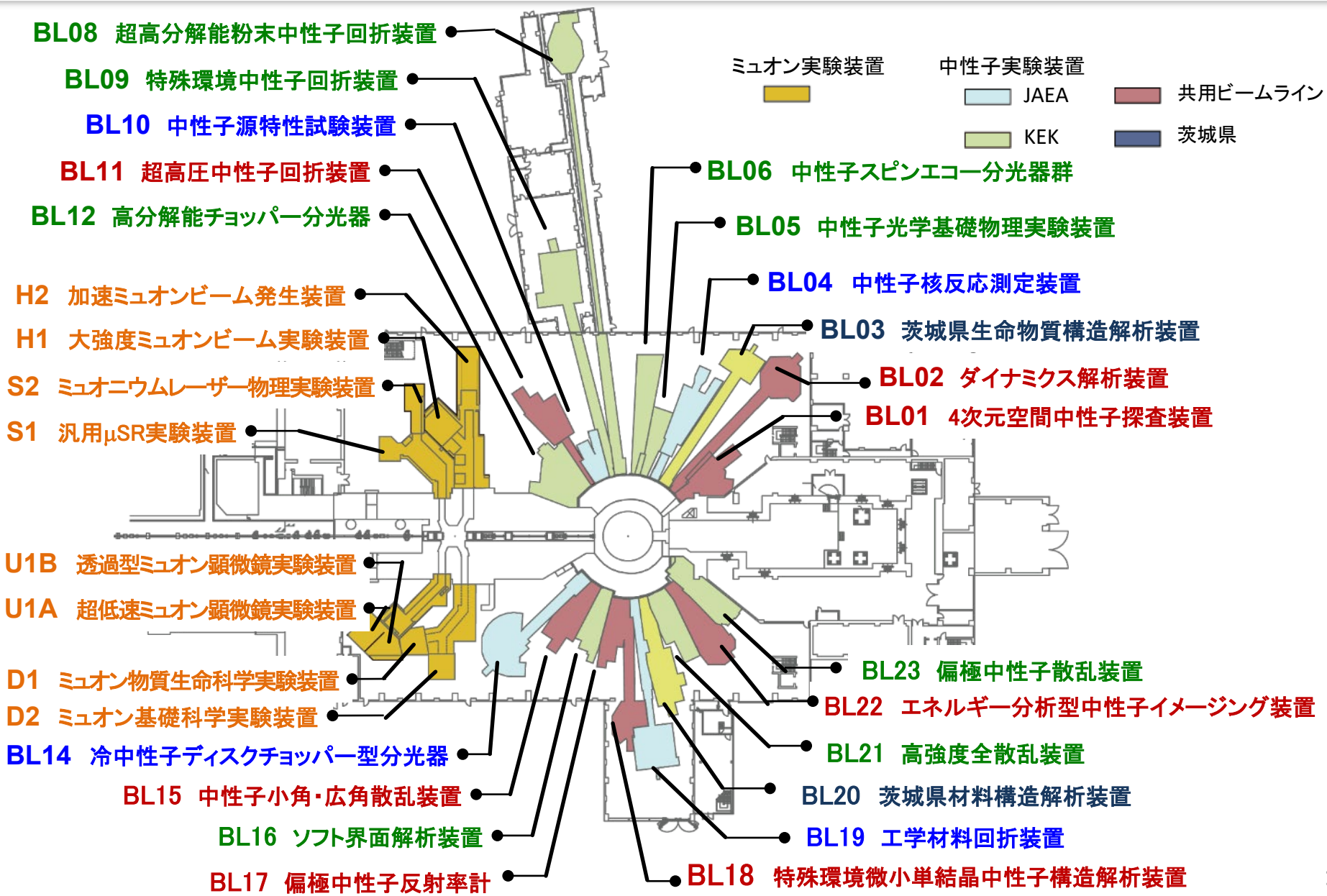
～ 多様な物質と生命の起源にせまる ～

物質・生命科学実験施設

中性子ビーム
ミュオンビーム

物質・生命科学の実験装置群

21台中性子実験装置と
8台のミュオン実験装置が稼働中

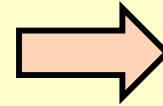


核破砕中性子源の高出力化のための取組

1 MWの安定運転のための中性子標的容器の耐久性向上

課題

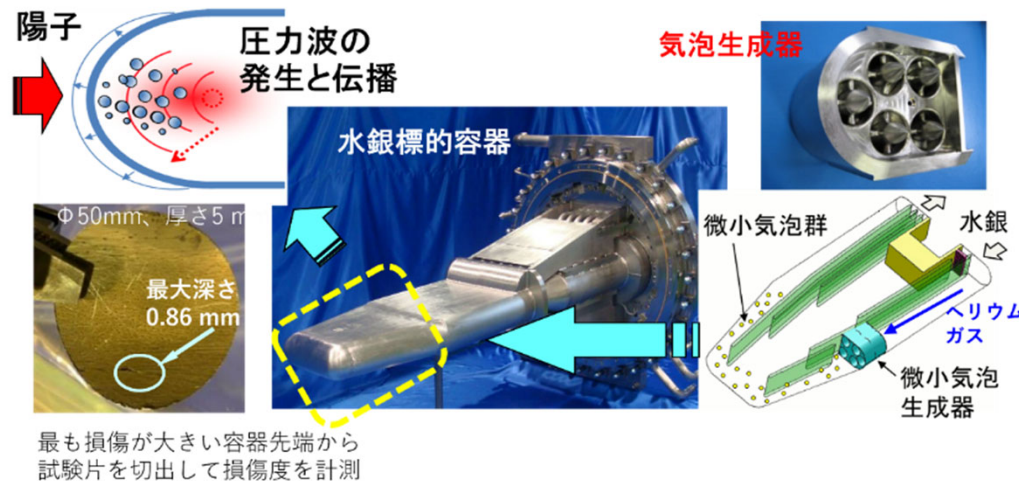
- 圧力波に起因する中性子標的容器のピitting損傷の抑制



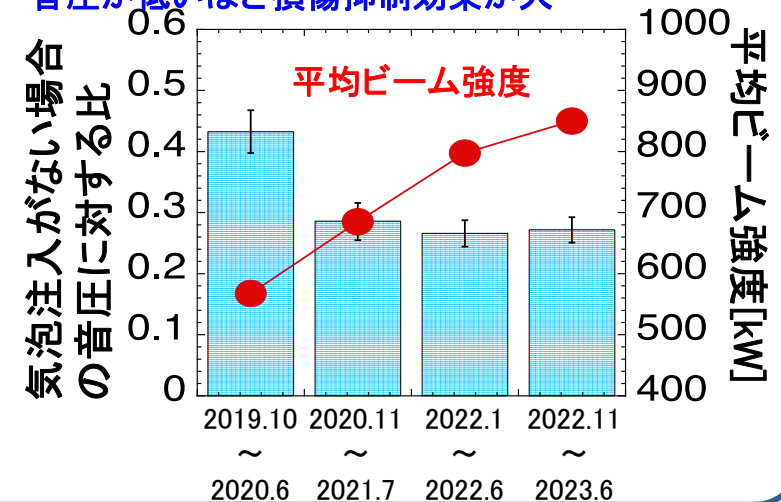
取組

- 抑制方策として微小気泡を注入
- 注入される気泡量を増やし、圧力波の抑制性能を向上させる。

- ヘリウムガスを自ら吸引するよう設計した気泡生成器を含むシステムを最適化し、微小気泡生成量を増加した運転を継続。(2021年度下期～2023年度上期)



陽子ビーム入射時に標的容器で生じる音圧が気泡注入によって低下(最近4基分)
音圧が低いほど損傷抑制効果が大きい

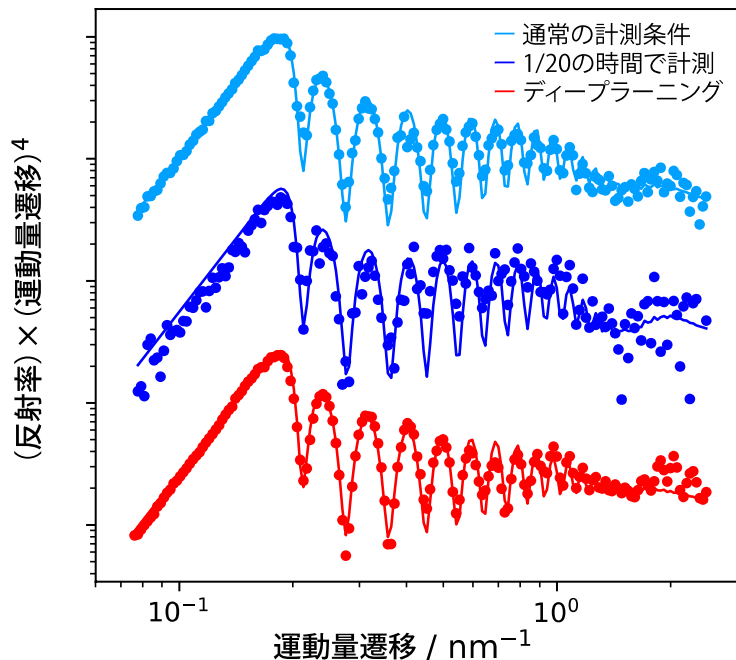
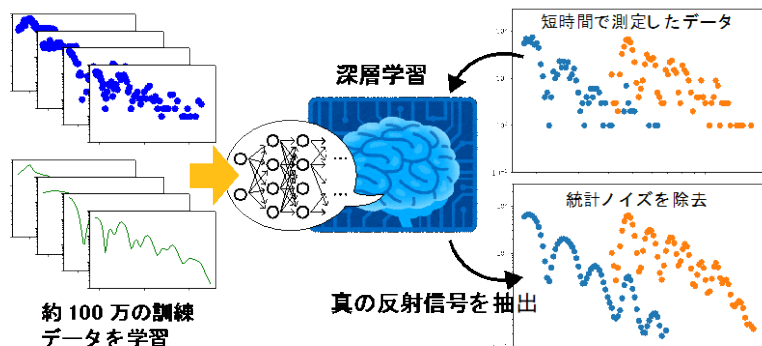


- 陽子ビーム入射部の気泡数を従来の2倍以上高め、1MW、5,000時間の運転(年間最大運転時間)に耐え得る改良型の標的容器を2023年度下期から使用開始予定。

中性子利用技術の開発

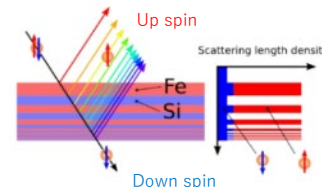
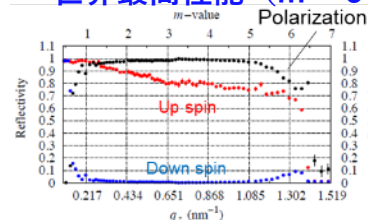
ディープラーニングによる統計ノイズの除去

ディープラーニングを活用することで精度を落とさずに反射率測定時間を1/10以下に短縮することに成功！

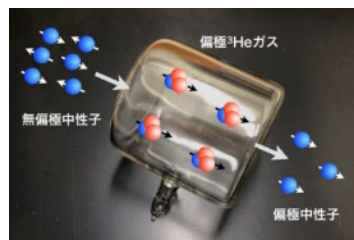


偏極技術の高度化と汎用化

世界最高性能 (m=6) の偏極ミラー開発に成功



³Heスピンフィルター-SEOPシステムの利用装置拡大

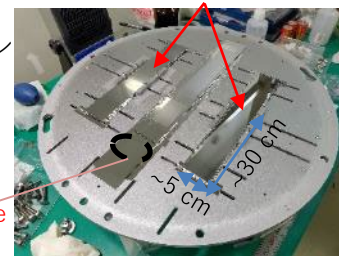


2装置でオンラインSEOPを実装
5装置でユーザー実験
2装置で準備中

Reference piece (5.5x2.5 cm)

大面積偏極ミラーの開発

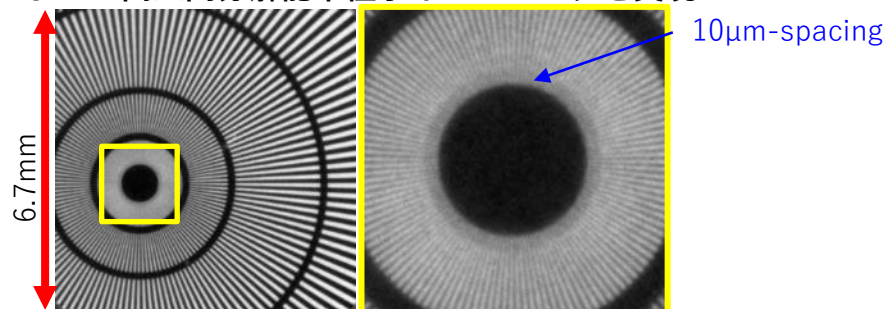
Silicon substrates (5 x 30 cm, 2 pieces)



エネルギー分析型中性子イメージングの高分解能化

シンチレーター結晶を新開発して高空間分解能を実現

残光がなく高効率のガドリニウム透明単結晶シンチレーター開発と光イメージンシファイアによる光増幅によって高空間分解能中性子イメージングを実現

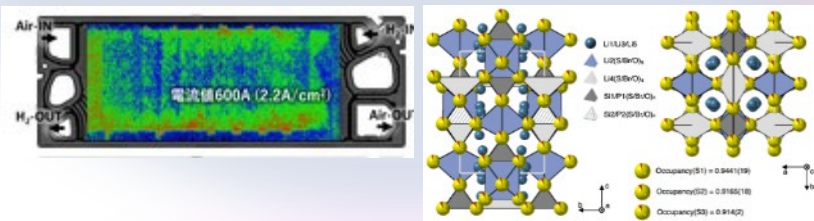


シーメンススターによる空間分解能テスト

物質・生命科学実験施設 主な成果 中性子

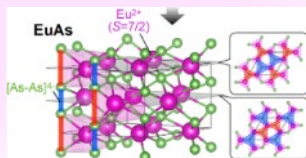
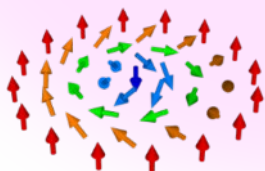
エネルギー科学

- ◆ **固体冷媒を用いた新しい冷却技術の開発**に期待
柔粘性結晶の巨大圧力熱量効果
- ◆ 世界初、パルス中性子ビームで**車載用燃料電池セル内部の水の可視化**に成功
- ◆ ヒドリド超イオン導電体の発見
- ◆ **伝導率が世界最高のリチウムイオン伝導体**が示す全固体電池設計の新しい方向性



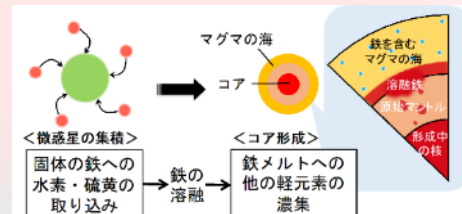
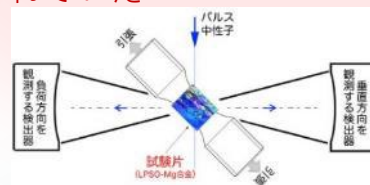
固体物理

- ◆ **超高密度な磁気渦**を示すシンプルな二元合金物質を発見 次世代磁気メモリへの応用に期待
- ◆ 超伝導体においてスピン配列の制御を実現
- ◆ 鉄シリコン化合物における新しいトポロジカル表面状態 ありふれた元素を用いたスピントロニクス機能の実現
- ◆ **巨大な磁場応答**を示す三角格子磁性半導体
- ◆ 量子磁性体でのトポロジカル準粒子の観測に成功



材料工学・地球科学

- ◆ 柔らかくて硬い!? 生体骨に近い特性の金属材料を開発
- ◆ 日本が開発した**高強度マグネシウム合金**はなぜ強いのか
- ◆ 極低温で現れる先進的合金の特異な変形メカニズムを解明 - 宇宙開発などに役立つ高性能な低温構造材料の開発に期待 -
- ◆ 地球形成初期、**鉄への水素の溶解度は硫黄に阻害**されていた



ソフトマター・バイオマター

- ◆ **ハイドロゲルの流動性をDNAで予測・制御**する
- ◆ **水素原子1つで変わる!** 光合成タンパク質へのエネルギー伝達を担う色素を作る酵素の働き
- ◆ タンパク質の動きが病気を引き起こす - **パーキンソン病の原因タンパク質の分子運動を観測**することに成功

