

平成 30 年度 研究開発・評価報告書  
評価課題「中性子及び放射光利用研究開発」  
(中間評価)

Assessment Report on Research and Development Activities in FY2018  
Activity : “Research and Development in Science and Technology  
using Neutron and Synchrotron Radiation”  
(Interim Report)

物質科学研究センター

Materials Sciences Research Center

原子力科学研究部門

原子力科学研究所

Nuclear Science Research Institute  
Sector of Nuclear Science Research

June 2019

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Evaluation

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<https://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Institutional Repository Section,  
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,  
Japan Atomic Energy Agency.  
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2019

平成30年度 研究開発・評価報告書  
評価課題「中性子及び放射光利用研究開発」  
(中間評価)

日本原子力研究開発機構  
原子力科学研究部門 原子力科学研究所  
物質科学研究センター

(2019年5月17日 受理)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成28年12月21日内閣総理大臣決定）及びこの大綱的指針を受けて作成された「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」（平成29年4月1日文部科学大臣決定）、並びに原子力機構の「研究開発課題評価実施規程」（平成17年10月1日制定）等に基づき、平成31年1月9日に第3期中長期計画に対する中間評価を中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会に諮問した。

これを受けて、中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会は、委員会において定められた評価方法に従い、原子力機構から提出された中性子及び放射光利用研究の実施に関する説明資料の検討並びに物質科学研究センターのセンター長及びディビジョン長並びにJ-PARCセンター物質生命科学ディビジョンの中性子利用セクションリーダーによる口頭発表と質疑応答を実施した。

本報告書は、中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会より提出された中間評価の内容をまとめるとともに、「評価結果（答申書）」を添付したものである。

---

本報告書は、研究開発・評価委員会（中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会）が「国の研究開発評価に関する大綱的指針」等に基づき実施した外部評価の結果を取りまとめたものである。

日本原子力研究開発機構物質科学研究センター（事務局）

原子力科学研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2-4

**Assessment Report on Research and Development Activities in FY2018**  
**Activity : “Research and Development in Science and Technology**  
**using Neutron and Synchrotron Radiation”**  
**(Interim Report)**

Materials Sciences Research Center  
Nuclear Science Research Institute, Sector of Nuclear Science Research  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received May 17, 2019)

Japan Atomic Energy Agency (hereafter referred to as “JAEA”) consulted an assessment committee, “Evaluation Committee of Research Activities for Research and Development in Science and Technology using Neutron and Synchrotron Radiation” (hereafter referred to as “Committee”) for interim assessment of “Research and Development in Science and Technology using Neutron and Synchrotron Radiation”, in accordance with “General Guideline for the Evaluation of Government Research and Development (R&D) Activities” by Cabinet Office, Government of Japan, “Guideline for Evaluation of R&D in Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology” and “Regulation on Conduct for Evaluation of R&D Activities” by JAEA.

In response to the JAEA’s request, the Committee assessed the research program and activities on Research and Development in Science and Technology using Neutron and Synchrotron Radiation in Materials Sciences Research Center (MSRC) and Neutron Science Section (NSS) in Materials and Life Science Division (MLSD) of J-PARC Center during the period from April 2015 to December 2018. The Committee evaluated the management, research and development activities based on the explanatory documents prepared by MSRC and NSS and oral presentations with questions-and-answers by the Director General and the Division Heads of the MSRC and the Section Leader of the NSS.

This report summarizes the results of the assessment by the Committee with the Committee report attached.

Keyword: Research and Development in Science and Technology using Neutron and Synchrotron Radiation

---

This evaluation report presents the result of third-party evaluation conducted based on the “General Guideline for the Evaluation of Government (R&D Activities)” by Cabinet Office, Government of Japan, etc.



## 目 次

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 1. 概要 .....                              | 1  |
| 2. 中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会の構成 .....         | 3  |
| 3. 審議経過 .....                            | 4  |
| 4. 評価方法 .....                            | 5  |
| 5. 中間評価スケジュール .....                      | 7  |
| 6. 評価結果（答申書） .....                       | 8  |
| 7. 評価委員会の提言に対する原子力機構の措置 .....            | 29 |
| 付録 中間評価資料（物質科学研究センター・J-PARCセンター作成） ..... | 33 |

## Contents

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Summary .....                                                            | 1  |
| 2. Members of the Evaluation Committee .....                                | 3  |
| 3. Status of Assessment .....                                               | 4  |
| 4. Procedure of Assessment .....                                            | 5  |
| 5. Time Table of Mid-term Review Meeting .....                              | 7  |
| 6. Results of Assessment (Committee Report) .....                           | 8  |
| 7. JAEA's Response to the Recommendations by the Evaluation Committee ..... | 29 |
| Appendix Handouts in the Evaluation Committee .....                         | 33 |

This is a blank page.

## 1. 概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という）は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成28年12月21日内閣総理大臣決定）及びこの大綱的指針を受けて作成された「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」（平成29年4月1日文部科学大臣決定）、並びに原子力機構の「研究開発課題評価実施規程」（平成17年10月1日制定）等に基づき、第3期中長期計画における「中性子及び放射光利用研究開発」に関する中間評価を、中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会（以下、「委員会」という）に諮問した。

これを受けて、委員会は、委員会において定められた評価方法に従い、原子力機構から提出された物質科学研究センターの概況、中性子及び放射光利用研究の実施に関する説明資料の検討及び物質科学研究センター長並びにディビジョン長、J-PARCセンターセクションリーダーによる口頭発表と質疑応答を実施した。

その結果、諮問された第3期中長期計画期間の中間評価においては、『中性子及び放射光利用の高度な技術開発に取り組み、それらの技術を活用することで総じて期待以上の研究成果が創出された。中性子利用セクションでは、MLFに設置した中性子実験装置の優れた性能を活かし顕著な成果を創出した。』と評価された。また、概要は、以下のとおりである。

### (1) 物質科学研究センターにおける中性子及び放射光利用研究開発

- ・突出した成果を生み出す研究者が自発的に育つような、多様性と許容力のある組織を目指すべきである。
- ・多様な業務のエフォートの割合を面談で決め、達成度で評価するなど、より透明性の高い個人の評価のあり方を検討すべきである。
- ・外部環境の変化に適応し、持続的に発展していくために、研究組織のダイバーシティを担保すべきである。
- ・JRR-3の長期停止による研究開発の遅れを取り戻す具体的な取り組みの強化とともに、運転再開後の物質科学研究センターの研究目標を予め明確にし、外部に発信していく必要がある。その際、外部の研究者などとの連携をさらに強めるべきである。
- ・JRR-3を活用した研究成果の最大化をはかるためには、原子力機構外組織との連携が重要であるが、具体的にどのように進めて行くのかを明確にすべきである。
- ・SPRING-8の現状のビームラインは原子力機構と量子科学技術研究開発機構（QST）の分離により複雑に入り組んだ形となっているので、効率的な運用と今後の連携のあり方を検討すべきである。

### (2) J-PARCセンター物質・生命科学ディビジョンにおける中性子利用研究開発

- ・パワーユーザーを組織に巻き込むことにより、人的面と経費面の両方で実験装置の更なる効果的運営が可能な仕組みを検討することが必要である。
- ・組織の活性化を促進すべく、外部との人員交流に積極的に取り組むシステムを検討することが必要である。
- ・データが複雑化し論文にする際のボトルネックになっている。AIの利用や人材の利用など組織的な対応が必要である。

- ・ 国外他施設で備わっているユーザー支援の設備については、成果を生み出すために必要なものであり、早急に利用者が利用できる形にすべきである。
- ・ 研究開発の順調な進捗に埋もれがちな課題の明確化と、それに対する事前対策の必要性を、執行部のみならず幅広いディビジョンの構成員が自覚しておく必要がある。

## 2. 中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会の構成

中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会は、以下の7名により構成される。

## 中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会委員

| 氏 名   | 区 分 | 所 属・職 位                                  |
|-------|-----|------------------------------------------|
| 山田 和芳 | 委員長 | 東北大学<br>名誉教授                             |
| 秋光 純  | 委員  | 岡山大学<br>異分野基礎科学研究所 特任教授                  |
| 亀井 信一 | 委員  | 株式会社三菱総合研究所<br>研究理事                      |
| 櫻井 吉晴 | 委員  | 高輝度光科学研究センター<br>利用研究促進部門 部門長             |
| 三倉 通孝 | 委員  | 東芝エネルギーシステムズ株式会社<br>エネルギーシステム技術開発センター 技監 |
| 高橋 嘉夫 | 委員  | 東京大学大学院<br>理学系研究科 地球惑星科学専攻 教授            |
| 高原 淳  | 委員  | 九州大学<br>先導物質化学研究所 分子集積科学部門 教授            |

### 3. 審議経過

(1) 諮問：平成31年1月9日

(2) 中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会

平成31年2月4日 於TKP東京駅セントラルカンファレンスセンター（カンファレンスルーム10B）

主な議題：「中性子及び放射光利用研究開発」の中間評価

(3) 評価結果のとりまとめ：平成31年2月中旬～3月中旬

(4) 答申：平成31年3月18日

#### 4. 評価方法

以下の評価作業手順及び評価項目に従い、原子力機構から提出された物質科学研究センターの概況、中性子及び放射光利用研究の実施に関する説明資料を検討するとともに、物質科学研究センター長及びディビジョン長並びにJ-PARCセンターセクションリーダーによる口頭発表と質疑応答・意見交換を行った。

##### (1) 評価作業手順

- ① 物質科学研究センター概況について、物質科学研究センター長による口頭発表及び質疑応答
- ② 物質科学研究センターにおける中性子利用研究開発について、中性子材料解析研究ディビジョン長による口頭発表及び質疑応答
- ③ 物質科学研究センターにおける放射光利用研究開発について、放射光エネルギー材料研究ディビジョン長による口頭発表及び質疑応答
- ④ J-PARCセンター物質・生命科学ディビジョンにおける中性子利用研究開発について、中性子利用セクションリーダーによる口頭発表及び質疑応答
- ⑤ 提出資料及び口頭発表に基づき、評価意見を評価シートに取りまとめて整理
- ⑥ 答申書の取りまとめ方針の検討

##### (2) 評価項目

###### 1) 中性子材料解析研究ディビジョン

- ・ 研究開発の進捗状況の妥当性
- ・ 情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直しの必要性
- ・ 効果・効用（アウトカム）の暫定的確認
- ・ 研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の妥当性
- ・ イノベーション創出への取組み（参考）
- ・ 若手研究者の育成・支援への貢献の程度（参考）
- ・ 国内外他機関との連携の妥当性（参考）

###### 2) 放射光エネルギー材料研究ディビジョン

- ・ 研究開発の進捗状況の妥当性
- ・ 情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直しの必要性
- ・ 効果・効用（アウトカム）の暫定的確認
- ・ 研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の妥当性
- ・ イノベーション創出への取組み（参考）
- ・ 若手研究者の育成・支援への貢献の程度（参考）
- ・ 国内外他機関との連携の妥当性（参考）

## 3) J-PARCセンター物質・生命科学ディビジョン（中性子利用セクション）

- ・ 研究開発の進捗状況の妥当性
- ・ 情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直しの必要性
- ・ 効果・効用（アウトカム）の暫定的確認
- ・ 研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の妥当性
- ・ イノベーション創出への取組み（参考）
- ・ 若手研究者の育成・支援への貢献の程度（参考）
- ・ 国内外他機関との連携の妥当性（参考）

## (3) 評価の基準

評価の基準は、以下に示すとおりである。

## 評価点と評価基準

| 評価点       | 評価基準                               |
|-----------|------------------------------------|
| S         | 特に顕著な成果の創出や将来的な特別な成果の創出の期待等が認められる。 |
| A         | 顕著な成果の創出や将来的な特別な成果の創出の期待等が認められる。   |
| B<br>(標準) | 成果等の創出に向けた着実な進展が認められる。             |
| C         | 一層の工夫・改善の必要性が認められる。                |
| D         | 抜本的見直しを含め特段の工夫・改善の必要性が認められる。       |



## 5. 中間評価スケジュール

1. 期日 : 平成 31 年 2 月 4 日 (月) 10:00~17:15
2. 場所 : TKP 東京駅セントラルカンファレンスセンター (カンファレンスルーム 10B)
3. 議題 :
- |                                                                                |                   |             |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|
| (1) 物質科学研究センター長挨拶                                                              | <司会: 松林研究推進室長>    | 10:00-10:05 |
| (2) J-PARC センター 副センター長挨拶                                                       | <司会: 松林研究推進室長>    | 10:05-10:10 |
| (3) 委員長挨拶                                                                      | <以下、議長: 委員長>      | 10:10-10:15 |
| (4) 資料確認                                                                       | <説明: 松林研究推進室長>    | 10:15-10:20 |
| (5) 第 3 期中長期目標期間 (H27.4.1-H34.3.31) にかかる中間評価における<br>本研究開発・評価委員会の評価対象について       | <説明: 武田センター長>     | 10:20-10:35 |
| (6) 第 3 期中長期目標期間の中性子及び放射光利用研究の進捗                                               |                   | 10:35-11:10 |
| 1) 物質科学研究センター概況                                                                | <説明: 武田センター長>     |             |
| 質疑応答                                                                           |                   | 11:10-12:00 |
| < 昼 食 >                                                                        |                   |             |
| 12:00-12:40                                                                    |                   |             |
| 2) 物質科学研究センターにおける中性子利用研究開発 (東海地区)<br>(中性子による材料の構造解析技術開発とその利用研究)                | <説明: 武田センター長>     | 12:40-13:00 |
| 質疑応答                                                                           |                   | 13:00-13:15 |
| 3) 物質科学研究センターにおける放射光利用研究開発 (播磨地区)<br>(放射光による材料の構造解析技術開発とその利用研究)                | <説明: 西畑ディビジョン長>   | 13:15-13:35 |
| 質疑応答                                                                           |                   | 13:35-13:50 |
| 4) J-PARC センター物質・生命科学ディビジョンにおける中性子利用研究開発<br>(J-PARC 概況及び中性子利用セクションにおける中性子利用研究) | <説明: 中島セクションリーダー> | 13:50-14:25 |
| 質疑応答                                                                           |                   | 14:25-14:45 |
| < 休 憩 >                                                                        |                   |             |
| 14:45-15:00                                                                    |                   |             |
| (7) 自由討論 15:00-15:30                                                           |                   |             |
| 委員会のまとめ                                                                        |                   | 15:30-16:10 |
| 各委員からの講評と委員長の総評                                                                |                   | 16:10-16:40 |
| 質疑応答                                                                           |                   | 16:40-17:00 |
| (8) 物質科学研究センター センター長挨拶                                                         |                   | 17:00-17:05 |
| (9) J-PARC センター 副センター長挨拶                                                       |                   | 17:05-17:10 |
| (10) その他 (事務連絡等)                                                               |                   | 17:10-17:15 |

6. 評価結果（答申書）

平成31年3月18日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

理事長 児玉 敏雄 殿

中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会委員長

山田 和芳

研究開発課題の中間評価について（答申）

平成31年1月9日付け、[30原機（物）008]により諮問がありました下記の事項について、別紙のとおり中間評価の結果を答申します。

記

〔諮問事項〕

「中性子及び放射光利用研究開発」に関する中間評価

以上

### 第3期中長期計画の中間評価について

第3期中長期計画における平成27～30年度までの中間評価では、中性子及び放射光利用の高度な技術開発に取り組み、それらの技術を活用することで総じて期待以上の研究成果が創出され、総合評価としてA評価を受けた。以下に、評価根拠として示された所見を示す。

#### 中性子材料解析研究ディビジョン

- ・ 構造と機能の相関解明に基づく先端材料開発では、数万気圧環境下で偏極中性子散乱を行い3次元偏極解析に世界で初めて成功した。
- ・ 透過中性子によるスピン配列の新たな観測手法の共同開発に成功した。この手法により、極限環境における材料中のスピン配列研究の飛躍的な発展に資することが期待される。
- ・ 応力評価技術開発研究では、中性子による世界最速の集合組織測定システムの共同開発に成功すると共に、1 MN (約100 トン)大荷重下応力測定技術を開発し、原子炉冷却配管模擬試験体の実働過程における残留応力持続性評価を行った。検証された解析システムにより、原子炉溶接部等における応力腐食割れ(SCC)発生リスクが予測可能になるなど、原子力発電プラントの安全性評価の高度化ならびに潜在リスクの低減への寄与が期待できる。
- ・ 小型中性子源を利用した鉄鋼材料の相分率測定技術を共同開発した(平成30年2月プレス発表)。この開発成果によって、実験室レベルでの相分率測定が可能となり、新材料開発や品質検査のための新たな中性子利用が期待できる。

#### 放射光エネルギー材料研究ディビジョン

- ・ 放射光利用研究開発では、研究テーマの柱である「福島事故回復に資する研究」の推進のために、機構内競争的資金及び大型外部資金を獲得し、SPring-8のJAEA専用ビームラインの分光光学系の高度化並びにRI実験棟における実験装置の集約化／高度化を着実に進めた。福島事故対策の加速に向けて、グループ横断的な研究チーム(「高度分光分析応用検討チーム」)を立ち上げ、福島部門との人材交流を通じた研究力強化を推進し、人的資源の有効的活用を進めた。
- ・ マイナーアクチノイド(MA)分離等のための新規抽出剤の開発に関して、特定ランタノイドを選択的に分離する錯体を形成する配位子、セシウム(Cs)含有廃液処理における二次廃棄物の低減につながる焼却可能な抽出剤等の開発に成功した。当該技術により、都市鉱山からの希少金属回収技術への応用展開をしている。
- ・ 土壌等への放射性物質の吸脱着反応メカニズムの解明については、まず、Csが特に風化過程の黒雲母に選択的に吸着することを明らかにし、Csのメカニズム及び化学結合特性を解明した。その知見を元に、物理粉碎とイオン交換を組み合わせた方法による低コストCs脱離法、低温溶融塩からのCs除去と汚染土壌の減容化と再資源化の基礎概念を構築した。

### 中性子利用セクション

- ・ MLFとして設定した、研究4分野（ハードマター、非晶質・ソフトマター、エネルギー材料、工学材料）について、MLFに設置した中性子実験装置の優れた性能を活かした先導的研究を実施した。
- ・ これら成果の最大化を図る為、ビームライングループを横断するサイエンスグループを組織化した。また外部有識者からなるサイエンスプロモーションボードを設置し、成果最大化のための様々な提言を受けた。
- ・ 設定した研究4分野の全ての分野で顕著な研究成果が得られた。またMLFが研究主体である主著論文と研究支援の結果産み出されている共著論文共に年度ごとに顕著に増加している。
- ・ JST等の外部資金獲得と共に、J-PARC/住友ゴムフェローシップにより、ポスドクが雇用され、ビームライングループに加わっている。人的、経費的両面で、MLFの活性化が図られている。

また、平成 29～33 年度に向けた取り組みに対するコメントを示す。

### 中性子材料解析研究ディビジョン

- ・ JRR-3 の長期停止による研究開発の遅れを取り戻す具体的な取り組みの強化とともに、運転再開後の物質科学研究センターの研究目標を予め明確にし、外部に発信していく必要がある。その際、外部の研究者などとの連携をさらに強めるべきである。
- ・ 突出した成果を生み出す研究者が自発的に育つような、多様性と許容力のある組織を目指すべきである。
- ・ JRR-3を活用した研究成果の最大化をはかるためには、機構外組織との連携が重要であるが、具体的にどのように進めて行くのかを明確にすべきである。

### 放射光エネルギー材料研究ディビジョン

- ・ SPring-8の現状のビームラインはJAEAとQSTの分離により複雑に入り組んだ形となっているので、効率的な運用と今後の連携のあり方を検討すべきである。
- ・ JAEAのミッションに従った研究やユーザー支援業務など多様な業務のエフォートの割合を面談で決め、達成度で評価するなど、より透明性の高い個人の評価のあり方を検討すべきである。
- ・ 外部環境の変化に適応し、持続的に発展していくために、研究組織のダイバーシティを担保すべきである。

### 中性子利用セクション

- ・ データが複雑化し論文にする際のボトルネックになっている。AIの利用や人材の利用など組織的な対応が必要である。
- ・ パワーユーザーを組織に巻き込むことにより、人的面と経費面の両方で実験装置の更なる効果的運営が可能な仕組みを検討することが必要である。
- ・ 重水素化ラボのような国外他施設で備わっているユーザー支援の設備については、成果を生み出すために必要なものであり、早急に利用者が利用できる形にすべきである。
- ・ 組織の活性化を促進すべく、外部との人員交流に積極的に取り組むシステムを検討することが必要である。

## 評価シート（中間評価）

This is a blank page.

## 評価シート 中間評価

研究開発課題:物質科学研究センターにおける中性子利用研究開発(自己評価: A)

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                      |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 評定<br>(評定した委員数)      | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(1) 研究開発の進捗状況の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・JRR-3の運転再開の遅れを考慮した計画通りに進捗しており、目標達成に向けておおむね順調である。開発した中性子利用技術を使った研究については、下記に代表されるような優れた成果が出ている。</li> <li>・構造と機能の相関解明に基づく先端材料開発では、数万気圧環境下での中性子3次元偏極解析に世界で初めて成功し、Nature Communications誌(1F:12)に掲載(平成30年10月プレス発表)されるとともに、透過中性子によるスピン配列の新たな観測手法の共同開発に成功した(平成29年11月プレス発表)。</li> <li>・応力評価技術開発研究では、世界最速の中性子集合組織測定システムの共同開発に成功した(J. Appl. Crystal. 誌 IF=2.6 に掲載)(平成28年10月プレス発表)事に加え、1 MN(約100 トン)大荷重下中性子応力測定技術を開発し、原子炉冷却配管模擬試験体の実働過程における残留応力持続性評価を行い、文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」の事後評価でS 評価を獲得(平成30年1月)するとともに、プレス発表を行った(平成30年6月プレス発表)。また、小型中性子源を利用した鉄鋼材料の相分率測定技術を共同で開発した(平成30年2月プレス発表)。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・一定の成果が出ていると認められるものの、論文数は物足りない。年度ごとに、ディビジョンでの重点研究項目を設定し、具体的な成果目標と予定を立て、適時、進捗管理を行うのが一つの解決策と思われる。</li> <li>・個人による研究には限界があるので、ディビジョンで研究テーマをたて、誰がみても素晴らしいと思える、外部の賞を取れるような研究が生み出される事を期待する。</li> <li>・外部から注目される研究組織となるためには、多くの成果が発信される事も重要であるが、その分野の研究者や国民の注目を集める突出した成果を年に1-2本、継続して発信することも有効である。</li> </ul> | <p>A(5)<br/>B(2)</p> | <p>A(7)</p>        |

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                              | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                      |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                       | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 評定<br>(評定した委員数)      | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(2) 情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直しの必要性(継続、変更、中止等の決定)</p> <p>・定常中性子源の特徴を活かした中性子利用技術開発は、JRR-3の停止期間が長期化した事により代替施設を使って成果をあげてきた。しかし、停止期間中に国外の研究用原子炉を使った研究が進んでおり、2020年度に予定されているJRR-3の運転再開後に、迅速に諸外国の研究レベルに追いつくためには、装置や施設の高度化、研究リソースの集約化などに取り組む必要がある。</p> | <p>・JRR-3の運転再開後、原子力機構としてどのような研究を行うとしているのか、また、長期に及ぶ停止期間で生じた研究の遅れを取り戻すための具体的な取り組みを、その目標も含め、もっと明確にディビジョン内で議論し、その結果を外部に発信していくべきである。</p> <p>・上記に加え、JRR-3運転再開後にどのように良い成果を創出していくかに関する議論も必要であるが、その議論の際、原子力機構内部でそれらの議論を閉じるのではなく、外部の研究者との強い連携の下で進める事が重要である。</p> <p>・センターあるいはディビジョン計画を策定したら、その下の各研究グループの目標の明確化と進捗状況の確認が必要であり、進捗の遅れや目標が達成できない見込みとなった場合には、その原因分析による、新たな目標設定が重要である。</p> <p>・J-PARCの物質・生命科学実験施設との共存状態を迎えるにあたって、JRR-3の利点を活かすような良いサイエンスを提案しなくてはならない。</p> | <p>A(6)<br/>B(1)</p> |                    |



| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                 |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 評定<br>(評定した委員数) | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(3) 効果・効用(アウトカム)の暫定的確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中性子散乱実験用高圧アンピルの開発では、独自に開発した、偏極実験に影響を与えない非磁性の対向アンピルセルが用いられており、今後、この技術が、圧力が誘起する新奇物性のメカニズム解明に大きく貢献するものと期待される。</li> <li>・開発した大荷重下中性子応力測定技術は、検証された解析システムにより、原子炉溶接部等における応力腐食割れ(SCC)発生リスクが予測可能になるなど、原子力発電プラントの安全性評価の高度化ならびに潜在リスクの低減への寄与が期待できる。</li> <li>・透過中性子によるスピンの配列の観測手法を使うと、極限環境におけるスピンの配列の解析が容易になりスピンの配列研究の飛躍的な発展に資することが期待される。</li> <li>・小型中性子源を利用した鉄鋼材料の相分率測定技術開発成果により、実験室レベルでの相分率測定が可能となり、新材料開発や品質検査のための新たな手法として中性子の利用が期待できる。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・「残留応力シミュレーション技術の開発」のように出口を意識した社会的ニーズの高い研究開発が実施されている事は高く評価される(H29の成果)。</li> <li>・原子力基礎戦略研究イニシアティブや廃炉加速化研究プログラムへの参画、国土強靱化に資するコンクリート中の鉄筋の応力評価等、社会の要請に応える研究が進められている(H28の成果)。</li> <li>・パルス中性子集合組織高速測定システムの開発は材料科学の分野において重要な研究であり、産業発展へも大きな貢献が期待できる成果であり高く評価される(H28の成果)。</li> <li>・上記のような研究の有用性が評価された成功事例から、その成果がどのような過程で生まれ、どのように評価されるようになったのかを分析し、ニーズと整合した成果創出に対する新たな取り組みを進めるのも良いのではないかと。</li> </ul> | S(1)<br>A(6)    |                    |

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p>(4) 研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・JRR-3の運転再開に向けて、不足する装置担当者を個々の装置に割り当ててではなく、同種の装置をグループ化して、そのグループに人を配分するという新たな考えや、JRR-3に装置を設置している大学等との連携により、人材不足を補う仕組みを試行的に開始しており、それらの取り組みは妥当と考える。</li> <li>・原子力機構内外の競争的資金の獲得に努め、原子力機構外では文部科学省の「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業(H27-28、38百万円)、JSTの戦略的創造研究推進事業(さがけ)(H27-29、47百万円)などを獲得するとともに、原子力機構内大型競争的資金を得た(H30 [2件]、78百万円)ことは妥当である。</li> <li>・1981年から続く中性子散乱に関する日米協力事業の分担金(216 kUSD)の減額を交渉により実現し3/4まで圧縮、JRR-3実験装置の高経年化対策に回すとともに、さらなる圧縮を検討していることは妥当である。</li> </ul> | <p>A(7)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・突出した成果を生み出すような研究者が育つ許容力のある、外国籍、女性の登用という狭い意味ではなく、研究に風穴をあける人材という、本来の意味でのダイバーシティーが取れる組織となっていきたい。</li> <li>・多様な人材が活躍できるような環境は、大学に比べると、はるかに作りやすいと考えられ、そのような環境を利用した新しい人材活用の仕組みを期待している。</li> <li>・全員が一流の研究者である必要もなく、突出した成果を出す人を外部に示していくことも一つのやり方。</li> <li>・優秀な人材をいかに組織に取り入れて、残していくかは重要な視点。研究者としての研究成果だけでなく、原子力機構職員として与えられた仕事の達成度、貢献度などでも業績を評価する仕組みや年俸制の導入も有効ではないか。</li> <li>・運転開発後は特に研究を遂行するための補助的な業務が増えていくことが懸念される。計画を実行した後、適切なPDCAサイクルを回し人員配置の見直しを行う必要がある。人材派遣会社を利用するのにも人材の不足を埋めるのに検討に値する。</li> <li>・交付金に占める日米協力分担金が大き割合を占めているのは問題。見直しが必要。</li> <li>・JRR-3が運転再開した後の運営費、研究員の数、その他の検討が十分でなく、早急な検討が必要である。</li> </ul> |

| 自己評価                                                                                                                                                                                                            | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                   |                      |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                     | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                | 評定<br>(評定した委員数)      | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(5)イノベーション創出への取組み(参考)</p> <p>・JRR-3の運転再開に向けて、産学連携の推進を意識した活動を始めたところである。</p>                                                                                                                                   | <p>・JRR-3は産学連携でもデータが取りやすい施設であるので、その利点をアピールするような取り組みが有効である。</p>                                                                                                                                                                                                          | <p>A(6)<br/>B(1)</p> |                    |
| <p>(6)若手研究者の育成・支援への貢献の程度(参考)</p> <p>・原子力機構の原子力留学制度により若手研究者を1年間ノースウエスタン大学に派遣し、薄型小型センサーシステムの開発で培った経験、知見、人脈を活用し、汚染物質計測への応用研究を機構内競争的資金により実施している。高齢化が進み、数少ない若手研究者に、積極的に海外体験をさせることにより、研究の動機付けと研究力の向上に大きくしていると考える。</p> | <p>・若い研究者が挑戦的な課題に取り組むことのできる雰囲気やいつでも、自由な発想で議論ができる、若手を萎縮させない環境を維持することが重要。技術系職員を含む技術の継承にも同様の取り組みは必要である。</p> <p>・人材育成も重要であるが、次世代を担う優秀な若手研究者に魅力的な研究現場であるためには、JRR-3が運転再開すると、どのような新しい事ができるのかを発信していく事が必要不可欠である。</p> <p>・「卓越研究員」的な破格な待遇の枠を作って、優秀な若手人材を確保することも重要なのではないかと思われる。</p> | <p>A(6)<br/>B(1)</p> |                    |

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                              | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                 |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                       | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 評価<br>(評定した委員数) | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(7) 国内外他機関との連携の妥当性(参考)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・京都大学複合原子力研究所(KURNS)から、グループリーダーとして客員研究員を迎え入れ、JRR-3の大型定常中性子源、KURNSの中型定常中性子源、さらに、J-PARCのパルス中性子源と小型中性子源を加え、それぞれの特徴を活かした研究連携を目指した中性子イメージングプラットフォームの構築を目指す連携は妥当であると考え。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・大学施設間をまたいで適材適所での人員配置を行う事が重要である。</li> <li>・中性子(放射光)から量子ビームへの広がりも考えるべきで、QSTとの連携も重要である。</li> <li>・施設間連携を具体的にどのように進めて行くのか明確でない。建設が始まろうとしている次世代放射光では、ひとつのビームラインを複数の組織で運用せざるをえなくなっている。それによって、組織間連携が進むのであれば、検討すべきである。</li> <li>・J-PARCとの施設間連携は中性子利用範囲を広げられる可能性を持つものとして加速を期待する。</li> </ul> | A(7)            |                    |

## 研究開発課題：物質科学研究センターにおける放射光利用研究開発（自己評価評価：A）

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <p>(1) 研究開発の進捗状況の妥当性</p> <p>計画通りに進捗しており、目標達成に向けて順調である。それぞれの研究については、以下のとおり優れた成果が出ていると考える。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マイナーアクチノイド(MA)分離等のための新規抽出剤の開発に関しては、特定ランタノイドを選択的に分離する錯体を形成する配位子、セシウム(Cs)含有廃液処理における二次廃棄物の低減につながる焼却可能な抽出剤等の開発に成功した。当該技術は都市鉱山からの希少金属回収技術への応用展開をしている。</li> <li>・土壌等への放射性物質の吸脱着反応メカニズムの解明については、まず、Csが特に風化過程の黒雲母に選択的に吸着することとを明らかにし、Csのメカニズム及び化学結合特性を解明した。その知見を元に、物理粉砕とイオン交換を組み合わせた方法による低コストCs分離法、低温溶融塩からのCs除去と汚染土壌の減容化と再資源化の基礎概念を構築した。</li> <li>・廃炉・廃棄物処理や安全性向上に貢献する研究に関しては、ガラスに固溶した成分の電子状態及び局所構造の評価によるガラス固化体の最適組成の決定並びに、安定なガラス固化体製造プロセスにおける白金族等の挙動に関する有用な知見を得た。また、原子力関連施設において無電源で稼働する水素再結合触媒反応を解明した。</li> <li>・世界で初めて、ステンレス鋼SUS304の加工誘起マルテンサイト変態における中間層としてナノサイズ結晶相が出現することを発見した。</li> <li>・異種金属のレーザーコーティング中の金属の溶融凝固現象を放射光により、1ミリ秒でその場観察する技術を確立した。</li> <li>・ウラン化合物の基礎物性研究として、隠れた秩序転移を示すウラン化合物の5f電子が普遍的であることを明らかにした。また、遷移金属元素を含むウラン化合物について、元素別に磁化秩序プロセスを観測し、異なる磁氣的振舞を明らかにした。</li> </ul> | <p>・原子力科学研究の中での放射光利用研究の位置付けをもう少し明確化すべきである。大学や企業とは異なった研究開発のあり方を認識し、原子力機構としての放射光利用研究の成果を提示してほしい。</p> <p>・国内外の類似の研究機関の活動状況を比較評価し、研究の方向性を検討するべきである。</p> <p>・研究者一人につき年間1報以上のペースで主著論文を出すことが望ましいが、目標設定は計画的に行い、管理することが有効である。その中で、例えばEsの研究など、重点的に顕著な成果を年度展開できれば長期的な展望も開ける。</p> <p>・EsのXAFS分析など、基礎科学としての無機化学のフロンティアを開拓する成果を出している点は評価できる。応用の分野とこうした基礎の分野をバランス良く進め、なおかつ基礎が応用につながってくると、非常に素晴らしい研究拠点になると期待できる。</p> <p>・放射化学の分野で顕著な業績をあげていることは高く評価できる。</p> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>評価<br/>(評定した委員数)<br/>S (1)<br/>A (6)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>課題の評価<br/>(評定した委員数)<br/>A (7)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                            | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                  |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                     | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 評定<br>(評定した委員数)                  | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(2) 情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直しの必要性(継続、変更、中止等の決定)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・物質科学研究センターにおける放射光利用研究開発では、SPRING-8のRI実験棟に設置されている実験装置群を高度化して放射性物質を取り扱う原子力機構のミッションに即した研究を重点的に進めるという方針からぶれるべきではないと考えており、計画の変更や進め方の見直しは現段階では必要ないと考えている。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・目標をきちんと認識していると感じられるが、その年度ごとに実施すべき項目を設定して管理し、実行していく必要があると感じられる。研究グループが適切な目標を立てて推進する必要がある。</li> <li>・外部機関との交流がもっと必要である。</li> <li>・国際的にみて、自らのユニークな点を認識することが重要である。</li> <li>・扱う装置が多く、また新たに顕微分析も進められるようなので、人材的に十分な資源が確保されているかやや心配である。同じSPRING-8の利用研究を進めているので、QSTと協力しながら広い領域をカバーすることも考えられる。</li> </ul> | <p>S (1)<br/>A (5)<br/>B (1)</p> |                    |



| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                        |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 評定<br>(評定した委員数)        | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(3) 効果・効用(アウトカム)の暫定的確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マイナーアケチノイド(MA)分離等の研究の成果は、電子状態、精密構造解析に基づく高度な分子設計手法によるものであり、放射性廃棄物の減容化や希少金属回収等において、イオン認識物質開発の新たな手法として期待される。</li> <li>・Csの風化黒雲母への選択的吸着を明らかにした研究の成果は、実汚染レベルでの極微量放射性Cs濃度において、風化黒雲母が重要な吸着物質であることを初めて明らかにしたものであり、水産庁外交フリーフィングにおいて水産物の食の安全性を説明するCs除去機構として取り上げられ、水産物の海外輸出の再開に貢献した他、NHK他40社以上のメディアでも取り上げられた。</li> <li>・放射光電子顕微鏡(SR-PEEM)の電気的絶縁体への応用として、帯電せずに測定できる測定手法を開発した。本手法は汚染土壌やデブリ分析などの原子力分野のみならず、ナノ電子デバイス、の絶縁材料や酸化物表面における触媒機能の解明など、次世代イノベーションを支える機能性材料開発への適応が期待される。</li> <li>・ステンレス鋼の加工時に生成するナノサイズ結晶相の研究では、水素脆化問題に関連して材料の耐久性向上への貢献が期待される。</li> <li>・異種金属のレーザーコーティングのその場観察に成功し、レーザー照射条件の施工前予測が可能になり、レーザー溶接技術の高度化への貢献が期待される。2019年4月に直噴型マルチビーム式レーザーコーティング装置の実用化・販売予定である。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・核変換のターゲットとなるAmを選択的に錯体形成する多座配位子を開発すると共に、Csを点で認識し、線で補足するクラウンエーテルの開発に成功したことは、高く評価できる。</li> <li>・福島土壌中で風化黒雲母に放射性Csが濃縮すること、さらに、そのメカニズムを解明した(共有結合性を帯びた化学結合特性)ことは、高い評価に値する。</li> <li>・測定技術開発や基礎科学分野で波及効果の大きな多彩な研究を進め、成果を得ており、その点は評価できる。</li> <li>・それぞれ自己評価に記述している点に関しては各々での成果として十分評価できる。多くの得られた成果や開発した技術が当該分野において、どの程度新規性や先端性の高いものか、当該部門の設備を有効に活用できて成果が出されているものなのか明確化するべきである。</li> <li>・部門の持つ人的及び設備・機器を十分活用するにはどのような分野にターゲットを置いて研究を進めるかを一定間隔で見てもその時々には有効な成果を効果的に出していくことを検討してはどうか。</li> <li>・このような放射化学の研究は、本人の研究の方向と原子力機構の方針がマッチしており、高く評価できる。</li> </ul> | <p>S (3)<br/>A (4)</p> |                    |

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                 |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 評定<br>(評定した委員数) | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(4) 研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・物質科学研究センターにおける放射光利用研究開発では、研究テーマの柱として「福島事故回復に資する研究」を掲げており、この推進のために、IF廃炉研究開発推進費・理事長裁量経費等の大型の原子力機構内競争的資金を獲得したとともに、原子力技術の一般産業への応用として、金属リサイクルの高度化研究としてNEDOによる大型外部資金を獲得し、SPRING-8の原子力機構専用ビームラインの分光光学系の高度化並びに原子力機構専用ビームラインが引き込まれているRI実験棟における実験装置の集約化／高度化を着実に進めた。福島事故対策の加速に向けて、グループ横断的な研究チーム(「高度分光分析応用検討チーム」)を立ち上げ、福島部門との人材交流を通じた研究力強化を推進し、人的資源の有効的活用を進めたことは妥当と考える。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ダイバーシティをどれだけ担保しているか、持続的に発展していく組織の基本である。</li> <li>・ユーザー支援と自身のやる研究とのバランスの取り方は、個々の施設で議論しても収まらないので、大型施設間でうまく人を適材適所で進めていかないといいけない。</li> <li>・エフォートの割合を面談で決めて、その達成度により評価することなどが必要と思う。</li> <li>・資金的な配分はよく検討されていると感じられる。一方、少ない人的資源の中で多方面の研究及び研究の支援などを行っている点は注意しなければならぬ。民間では、必要な人材、人員の年齢の推移やスキルが分かる人材マップを用意している。今後の計画を立てるのにも役に立つと思う。</li> </ul> | A (7)           |                    |
| <p>(5) <u>イノベーション創出への取組み(参考)</u><br/>(特に該当なし)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・分析が高度になればなるほどデータ解析も困難になり、一般ユーザーは論文に到達するまで時間がかかってしまうので、その辺りをサポートできる人材がいると、もっと論文数が増える可能性もあると思われる。</li> <li>・ミッションオリエンテッドな研究と自分がやりたい研究とをどう折り合いをつけるかは、根本的な問題である。</li> </ul>                                                                                                                                                                 | 評定なし            |                    |



| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                            | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                     | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                               | 評定<br>(評定した委員数)      | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(6) 若手研究者の育成・支援への貢献の程度(参考)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・物質科学研究センターにおける放射光利用研究開発では、SPring-8の原子力機構専用ビームラインでの実験参加を通じての学生の教育に寄与するとともに、連携大学院への客員教授・講師等の派遣、夏季休暇実習生の受け入れやSPring-8夏の学校・秋の学校での講義・実習の担当等を通じて、放射光を利用する若手研究者の育成に大いに貢献していると考える。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・論文数、科研費採択状況を見ると、若い人が外に出ていくには厳しい。共著論文が多くても、主著論文がもっと必要である。外部機関とも協力し、若手研究者の訪問、受入れを定期的に計画してはどうかと考える。</li> <li>・「卓越研究員」的な破格な待遇の枠を作って、優秀な若手人材を確保することも重要なのではないかと思われる。</li> <li>・「その研究に興味を持たせる」と「そのポジションがある」ということは、全く別の話である。それをどうするかは課題である。</li> </ul> | <p>A(6)<br/>B(1)</p> |                    |

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                        |                 |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                     | 評定<br>(評定した委員数) | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(7) 国内外他機関との連携の妥当性(参考)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・QSTとの共同研究は、SPring-8における専用ビームラインの効率的運営と成果の最大化のための連携として必要不可欠であり、妥当と考える。</li> <li>・シェフィールド大学、ブリストル大学を対象とした日英原子力共同研究は、放射光実験による模擬デブリの性状把握を目的としたもので、IF廃炉研究推進の鍵となる内容であり、妥当と考える。</li> <li>・(株)ダイハツ工業、(株)三菱ガス化学、(株)昭和産業等の民間企業との共同研究は、放射光利用研究開発の柱の一つである「環境・エネルギー材料開発」において研究シーズを発掘するとともに、必要な要素技術の開発を通じて原子力機構が有する放射光実験設備の高度化にフィードバックする狙いがあり、妥当と考える。</li> <li>・東京大学、大阪大学、東北大学、岡山大学、京都産業大学等の大学との共同研究は、SPring-8の原子力機構専用ビームラインにおける外部ユーザーの利用研究において原子力機構のミッションに即した研究内容の重点化を意識しつつ効果的に成果を創出する上で欠かせない要素となっており、原子力機構の目指す人材育成においても重要な役割を果たしていることから、妥当と考える。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・一連の外部との協力関係は積極的に行われていると感じられる。一方で、SPring-8の原子力機構とQSTの分離は、ユーザー側からは分かり難い。使用できるものの違いの明確化、利用可能な機器など外部への発信などを積極的に実施していくべき。</li> <li>・最近では企業による成果占有利用も増えており、利用料収入も重視されてきている。将来的な産業利用のあり方を議論するべき。</li> </ul> | A (7)           |                    |

## 研究開発課題：J-PARCセンター物質・生命科学ディビジョンにおける中性子利用研究開発（自己評価評定：S）

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>(1) 研究開発の進捗状況の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計画通りに進捗しており、目標達成に向けて順調である。</li> <li>MLFとして設定した研究4分野について、それぞれJ-PARCに設置した中性子実験装置の優れた性能を活かした顕著な成果が生み出されている。</li> <li>・ハードマター分野については、高圧回折計を用いた地球深部含水鉱物の水素結合の対称化の研究や、国内外の他施設のものに比べても高感度、高精細なデータが得られる非弾性中性子散乱を用いた鉄系超伝導体の磁気揺らぎの研究、非晶質・ソフトマター分野では、ペロブスカイト型太陽電池材料や熱電材料における格子ダイナミクスに関する材料の機能向上に関わる研究、エネルギー材料分野では、電池材料等におけるイオン伝導経路、伝動機構の解明につながる基礎研究、工学材料分野では、最新のイメージング装置も投入し、先端高機能鋼の特性解明に関わる研究や、モーターやトランスの性能向上につながる交流漏れ磁場の可視化技術とそれを用いた研究などで顕著な成果が得られた。</li> </ul> | <p>・年度毎に研究成果が増加しており高く評価できる</p> <p>一方、研究者の年齢構成が著しく高齢化していることは課題である。業務を実行する際、きちんと計画が設定され、目標通りの成果がきちんと出ているかを分析することも重要である。また、働いている研究者の顔が見えるように、基盤整備、ソフト、書類作成などの支援体制が重要である。分析が高度になればなるほどデータ解析も困難になり、一般ユーザーは論文に到達するまで時間がかかってしまうので、その辺りをサポートできる人材がいると、もっと論文数が増える可能性もあると思われる。研究開発の順調な進捗に埋もれがちな課題の明確化と、それに対する事前対策の必要性を、執行部のみならず幅広いディビジョンの構成員が自覚しておく必要がある。中性子の実験にはやはり「良い（物理的に興味ある）」試料が必要である。大変良い所までいっていると思うが、試料を手に入れる鋭敏さに今一歩の努力が必要である。</p> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>評定<br/>(評定した委員数)</p> <p>S(5)<br/>A(2)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>課題の評定<br/>(評定した委員数)</p> <p>S(5)<br/>A(2)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 委員会評価                                                                                                                                                                                                    |                 |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                 | 評定<br>(評定した委員数) | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(2) 情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直しの必要性(継続、変更、中止等の決定)</p> <p>・現在進められている研究は、J-PARCに設置した装置の高性能と研究推進の取り組みによる最新研究課題の取り込み、それに、職員の努力によって、基礎科学並びに産業利用の分野で優れた成果を産み出している。国外においても、米国SNSの第二ターゲットステーション計画や欧州のESS計画など、J-PARCの装置をしるぐ装置を設置する計画が進行中であり、優位性を確保するため、現在の取り組みをより加速していく必要があるが、特に、計画の変更、中止等が必要となるものはないと考える。</p>                                                                                                           | <p>JRR-3の運転再開、J-PARC/MLFが出力上昇していく中で、それぞれの特徴を活かして、どのような研究を、誰がどのように進めていくか計画を立てる必要がある。それによりJRR-3とJ-PARCで協奏する研究のシナリオを示してほしい。きちんと年度単位の目標と体制を事前に明確化しておくことの必要性を管理側が認識し、目標が達成していない場合のバックアップも検討する必要があると考えられる。</p> | A(7)            |                    |
| <p>(3) 効果・効用(アウトカム)の暫定的確認</p> <p>・J-PARCセンター物質・生命科学ディビジョンの中性子利用実験装置を用いてユーズーを巻き込んだ先導研究を行い、住友ゴム工業はタイヤ用ゴム材の複合的な高分子構造のダイナミクスの研究を行い、この成果により耐摩耗性能200%の高性能タイヤの開発に成功し、当該製品が商品化されるとともに、国内外で数々の賞を受賞した。また、エネルギー材料分野では、電池材料等におけるイオン伝導経路、伝動機構の解明につながる基礎研究が行われた。</p> <p>・J-PARCの中性子線源の性能と設置された優れた実験装置の性能に支えられており、そこに研究推進の取り組みを加えることで、ユーズーからのものも含めた一定数の論文発表、プレス発表の創出、国の公募事業への参画、ホウ素含有物の三次元可視化といった原子力機構が進める廃炉研究への貢献などが実現できている。</p> | <p>・住友ゴム工業のタイヤ用ゴム材の開発の成果、国の公募事業への参画、原子力機構が進める廃炉研究への貢献など、多方面でのJ-PARCの活動は高く評価できる。この活動が継続的に行えるようにする検討を実施することを推奨する。J-PARCはさらに戦略的にとびぬけた成果を出し、様々な課題を解消してほしい。</p>                                               | S(6)<br>A(1)    |                    |

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                 |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 評定<br>(評定した委員数) | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(4) 研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の妥当性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現在、限られた運営費交付金、人員で研究開発を推進しているのが現状ではあるが、MLFとして設定した研究4分野について、それぞれ分野における最新の情勢に合わせて柔軟な対応をすることが成果の最大化に重要であると認識している。そのため、特に変化の激しいエネルギー材料分野、工学材料分野において、JSTの光・量子融合連携研究開発プログラム、ERATO等の外部資金の活用、それによる任期付き若手研究員を確保して手当てしている。さらには、産業界との連携で人材調達を行うことも試みている。住友ゴム工業との協力では、J-PARC/住友ゴムフェロニッシュ制度を設立し、企業が雇用した博士研究員が、ビームラインの運営に関わる事で、限られたリソースの中で一定の成果を上げることにより成功しており、極めて大きな成果が得られたと考えている。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・J-PARCでは多くの産業利用が行われている。JST等の外部資金を獲得している一方、J-PARC/住友ゴムフェロニッシュが設置され、ポストドクが雇用されビームラインに配置されている。人的な面と経費的な面で両方がハッピーな仕組みが構築されていることは高く評価できる。</li> <li>・研究資金の再配分は比較的柔軟に行われているようであるが、人的資源についてはともともと少数で広範囲な対象を検討していると考えられ、今後長期的な人材の再配分ができるように、今後の研究開発の展開と人材の維持補充計画を立案することも必要と思われる。</li> </ul> | S (3)<br>A (4)  |                    |
| <p>(5) <u>イノベーション創出への取組み(参考)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・世界初を実現したエネルギー分析型イメージング装置RADENIにおけるブラッグエッジ、磁気イメージング、共鳴吸収イメージングは、非常に大きなインパクトをもたらした。特に、産業利用分野に新たな計測手法を提供するものとなった。この他、回折装置、ナノ構造装置、非弾性散乱装置などを用いた新奇材料の計測手法を提供した。</li> <li>・これらのサイエンス成果の最大化を図るため、中性子ビームライングループをサイエンス分野から横断的に組織したサイエンスグループを組織すると共に、外部有識者からなるサイエンスプロモーションボードを設置し、成果最大化のための提言を受け推進することとした。</li> </ul>                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・主著論文及び支援の結果出ている共著論文の両方が年度毎に増えている点は高く評価する。この原動力となっているのは、サイエンスボードからの提言であることであるが、世界最先端の水準をめざし、さらなる努力を期待する。また、論文を作成する前のデータ解析が複雑化している中で、良い人材を投入することが大事で、AIなどの利用を進めるべきである。多種の機器・装置類の操作方法、結果の評価及びコミュニケーション技術への対応については計画的に今後行うべきと考えられる。</li> </ul>                                         | S (4)<br>A (3)  |                    |

| 自己評価                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 委員会評価                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                               |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| 評価の観点に対する理由                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 評価理由/ご意見                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 評定<br>(評定した委員数)               | 課題の評定<br>(評定した委員数) |
| <p>(6) 若手研究者の育成・支援への貢献の程度(参考)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国内では中性子科学会等と、また海外ではアジアオセアニア中性子散乱協会に協力して、毎年中性子・ミュオンスクールを開催し、若手中性子散乱実験研究者の育成に貢献した。</li> <li>・J-PARC/MLF産業利用推進協議会、利用者懇談会と協力して、研究成果報告会の共同開催を初め、中性子実験技術に関する基礎講習会、薄膜・界面研究会、電池材料研究会、物質科学研究会などへの講師を派遣することで若手を含む研究者の育成に貢献した。</li> <li>・若手研究者については、中性子科学会若手奨励賞1件。</li> </ul>                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・若手研究者を育成するに当たり、外に出てゆけるような優れた研究者の育成とともに、ユーザー支援、技術開発を進める人材も必要で、そのように多様な業務を進めることを認め、それを適切に評価することが必要で悩ましい。その評価体制を構築してほしい。</li> <li>・「卓越研究員」的な破格な待遇の枠を作って、優秀な若手人材を確保することも重要なのではないかと思われる。</li> <li>・外へ向けてのアウトリーチ活動は高く評価するが、その成果について今後評価が必要である。</li> </ul> | <p>S(2)<br/>A(4)<br/>B(1)</p> |                    |
| <p>(7) 国内外他機関との連携の妥当性(参考)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国内においては、茨城大学、山形大学(予定)等、他大学、研究機関との協定に基づいた連携を推進しており、妥当と考える。</li> <li>・国外においては、協定を元に、ANSTO、ESSと連携を進め人材交換、研究会開催を通じた交流を進めており、妥当と考える。</li> <li>・産業界に対しては、企業PD制度の創設等積極的な連携を進めており、妥当と考える。</li> <li>・外部の研究者であるユーザーとは、各実験装置毎のユーザーミーティング、年一回のMLFシンポジウム、産業利用報告会、中性子・ミュオンスクールを通じて、アウトリーチを兼ねつつ連携を充にする取り組みを行っており、妥当と考える。</li> <li>・その他、研究推進の取り組みとして実施しているサイエンスグループについては、それぞれの研究分野のグループ内で一定数の外部研究者をグループ内に組み込み、連携を試みており、妥当と考える。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・国内外機関との連携に対しては、特出すべき結果が出ていると考えられる。今後ともこの活動の継続を期待する。特に、重水素化ラボが整備されていることは高く評価できる。設備が揃ってきている一方、ANSTO、ILL等の協力を得て整備しているとのことだが、担当するべき研究者が不足しており数の増加と、ノウハウの蓄積を進めることが重要である。</li> </ul>                                                                      | <p>S(2)<br/>A(5)</p>          |                    |



## 7. 評価委員会の提言に対する原子力機構の措置

## 中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会の提言と原子力機構の措置

## 物質科学研究センターにおける中性子及び放射光利用研究開発

| 提言                                                          | 措置                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 突出した成果を生み出す研究者が自発的に育つような、多様性と許容力のある組織を目指すべきである。             | 自由な発想に基づく研究の遂行を奨励するという研究環境の醸成を進めるとともに、最先端の実験装置等の導入を通じ、研究所内外の一流の研究者との共同研究が日常化するような研究環境構築により、斬新な研究成果の創出を目指すという、これまでの取り組みをさらに強化します。また、優秀な人材の確保にも努めていきたいと考えています。                                                                           |
| 多様な業務のエフォートの割合を面談で決め、達成度で評価するなど、より透明性の高い個人の評価のあり方を検討すべきである。 | 毎年期首に行っている、個人面談による業務設定時に、前年度の活動実績を勘案した上で、個人の意思を尊重しエフォート率も含め、柔軟に業務の見直しを行っていますが、装置の高度化、ユーザー支援、福島事故回復に資する研究推進などのグループを横断するようなミッション研究等においては、単に論文数のみに頼らない、開発した利用技術、装置の立ち上げやメンテナンス等からもたらされる成果にも配慮して業績を評価している事をフィードバック面談時に強調し、被評価者との合意形成を図ります。 |
| 外部環境の変化に適応し、持続的に発展していくために、研究組織のダイバーシティを担保すべきである。            | この4年間で、外国籍並びに女性の人材について研究系職員、技術系職員、博士研究員をそれぞれ採用した実績があり、今後もこの方向で努力するとともに、新しい連携大学院制度の締結等による人材の流動化を促す活動に取り組んでいきます。                                                                                                                         |

| 提言                                                                                                                         | 措置                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>JRR-3 の長期停止による研究開発の遅れを取り戻す具体的な取り組みの強化とともに、運転再開後の物質科学研究センターの研究目標を予め明確にし、外部に発信していく必要がある。その際、外部の研究者などとの連携をさらに強めるべきである。</p> | <p>10年に及ぶ運転停止による研究開発の遅れを取り戻す事は、物質科学研究センター東海地区の現時点での最大のミッションです。日本中性子科学会や中性子産業利用推進協議会等の外部利用者団体との連携に加え、サイエンスグループの活動などによるMLFとの連携を強化しつつ、冷中性子導管の更新、中性子実験装置群の高度化等を含めてこのミッションに最優先で取り組むとともに、物質科学研究センター（東海）の国内外の中性子科学推進における位置づけを外部に対して積極的に発信していきます。</p> |
| <p>JRR-3を活用した研究成果の最大化をはかるためには、原子力機構外組織との連携が重要であるが、具体的にどのように進めて行くのかを明確にすべきである。</p>                                          | <p>日本中性子科学会が昨年出したロードマップ検討特別委員会の提言のひとつに、「多様な中性子施設が連携してプラットフォームを構築すること」とあり、現在、その提言を実現させるための中性子科学推進特別委員会にセンター職員も委員として参加しています。その委員会での議論と連動しながら、具体的な連携のあり方を検討し、実行に移していきたいと考えています。</p>                                                              |
| <p>SPring-8の現状のビームラインは原子力機構とQSTの分離により複雑に入り組んだ形となっているので、効率的な運用と今後の連携のあり方を検討すべきである。</p>                                      | <p>限られた予算の中で研究課題の選択と集中を図るため、必要な分析装置の原子力機構専用ビームラインが引き込まれているRI実験棟への集約を進め、同時に装置の高度化を実施しています。その過程で、可能な限り複雑に入り組んだ設置状況の解消を進め、これに伴う効率的な運用を実施していきます。QSTとの効率的な運営および研究協力により分離移管以前を超える成果の創出を目指します。</p>                                                   |



## J-PARCセンター物質・生命科学ディビジョンにおける中性子利用研究開発

| 提言                                                                  | 措置                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| パワーユーザーを組織に巻き込むことにより、人的面と経費面の両方で実験装置の更なる効果的運営が可能な仕組みを検討することが必要である。  | 外部資金や、サイエンスグループなどの仕組みを利用して、産学官の外部研究者を取り込み、実験装置の効果的運営やサイエンス成果創出の向上を図りたいと考えています。                    |
| 組織の活性化を促進すべく、外部との人員交流に積極的に取り組むシステムを検討することが必要である。                    | 今後、クロスアポイントメント制度や、職員の適切な配置を検討し、職員の研究と利用者支援を活性化させます。                                               |
| データが複雑化し論文にする際のボトルネックになっている。AI の利用や人材の利用など組織的な対応が必要である。             | 計算科学の人材を獲得するとともに、データ解析の自動化、ソフトウェア開発、マニュアルの整備、ユーザーズミーティングの場等でノウハウをユーザーと情報共有し、論文の質・量を向上させたいと考えています。 |
| 国外他施設で備わっているユーザー支援の設備については、成果を生み出すために必要なものであり、早急に利用者が利用できる形にすべきである。 | 現在進めている重水素化ラボや試料環境設備の整備について、整備状況に合わせて、順次利用者に開放していきます。                                             |

This is a blank page.

## 付録

中間評価資料（物質科学研究センター・J-PARCセンター作成）

This is a blank page.



第3回中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会

資料 3-5

平成31年2月4日

第3期中長期目標期間の中性子及び放射光利用研究の進捗  
(評価期間 H27.4.1 – H30.12.31)

物質科学研究センター概況  
(東海及び播磨地区)

原子力科学研究部門 原子力科学研究所  
物質科学研究センター  
センター長：武田全康

1. 原子力機構における  
物質科学研究センターの位置づけ
2. 組織の変遷
3. 人員・研究費と研究成果
4. センターの運営, 他機関との連携・人材育成
5. 成果の発信
6. 今後の展望



## 1-1: 物質科学研究センターとは



### 中性子及び放射光を利用した物質科学研究の推進



## 1-2: 原子力開発利用長期基本計画

(昭和31年9月6日内定) 原子力委員会



### (1) 目的

わが国における原子力の研究、開発および利用について、長期にわたる基本的かつ総合的な目標、方針等を設定することにより、原子力の平和利用を計画的かつ効率的に推進することを目的とする。

(中略)

### (4) 方針

① 原子力の研究、開発および利用を進めるにあたっては、動力としての利用面と放射線の利用面とを平行的に促進するものとする。



(後略)

量子ビーム応用研究  
(中性子・放射光・イオンビーム・大強度レーザー)



### 1-3: 第3期中長期目標での位置づけ



原子力基礎工学研究センター，先端基礎研究センター，  
物質科学研究センターのミッション  
原子力を支える基礎基盤研究，先端原子力科学研究  
及び中性子利用研究等の推進

#### 中性子・放射光利用による物質・材料科学研究

利用技術開発・高度化

幅広い学術分野での  
成果・シーズ創出

原子力科学研究成果創出

#### 研究成果の社会への還元

原子力利用を支える  
技術・知的財産

産学官による  
成果活用



### 1-4: 第3期中長期目標を受けた計画



#### 中性子材料解析研究ディビジョン

- ・ JRR-3 等の定常中性子源の特徴を活かした  
中性子利用技術の開発
- ・ 構造と機能の相関解明に基づく先端材料開発
- ・ 大型構造物などの強度信頼性評価への応用

#### 放射光エネルギー材料研究ディビジョン

- ・ SPring-8 の RI 実験棟を活用した  
アクチノイド基礎科学研究の推進
- ・ 省エネ，エネルギー変換などエネルギー関連材料の開発
- ・ 汚染土壌など福島環境回復研究，ガラス固化体など  
処分技術開発



## 1-5: 物質科学研究センターの研究者



### 多彩な研究分野から集まった研究者

物性物理, 化学

材料工学, 環境エネルギー

原子力化学・工学

中性子利用技術

放射光利用技術

ほとんどの研究者は両方の側面を持つ  
中性子・放射光実験装置の専門家

成果

専門分野

利用技術の実用化

廃炉技術  
福島環境回復など



## 1-6: センターの運営方針



### 自由な発想に基づく研究を推奨

全エフォートに占める割合（模式図）



自由な発想に基づく  
研究開発（競争的資金）

自由な発想に基づく  
研究開発（競争的資金）  
（一部交付金）

JAEA職員としての職務  
（交付金）

個々の研究者のエフォート割合  
（GLとの面談により年度ごとに柔軟に見直し）

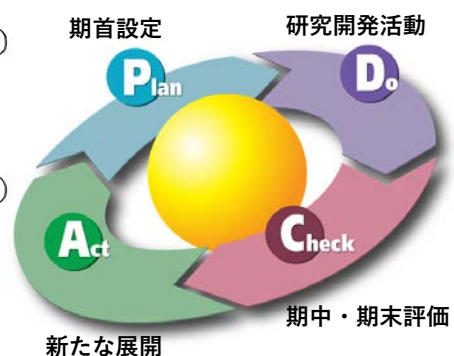


Diagram by Karn G. Bulsuk (<http://www.bulsuk.com>)





## 1-7: センターの運営方針(まとめ)



- ・ 機構の強みである中性子・放射光利用装置の特徴を活かした研究開発を行う（センターの原点であり全員の共通認識）
- ・ 自由な発想に基づく研究を推奨（ボトムアップ）  
ただし、センターとして設定した大きな研究分野の中のどこに所属しているかを意識させる（トップダウン）

\*特に東海はJAEAとのミッションとの関係、センターとしての研究の方向性が見えないという評価委員会からの指摘への対応として実施

- ・ 自由な発想に基づく研究の応用先として、福島環境回復、原子力材料関係への研究展開を意識させる（トップダウン）

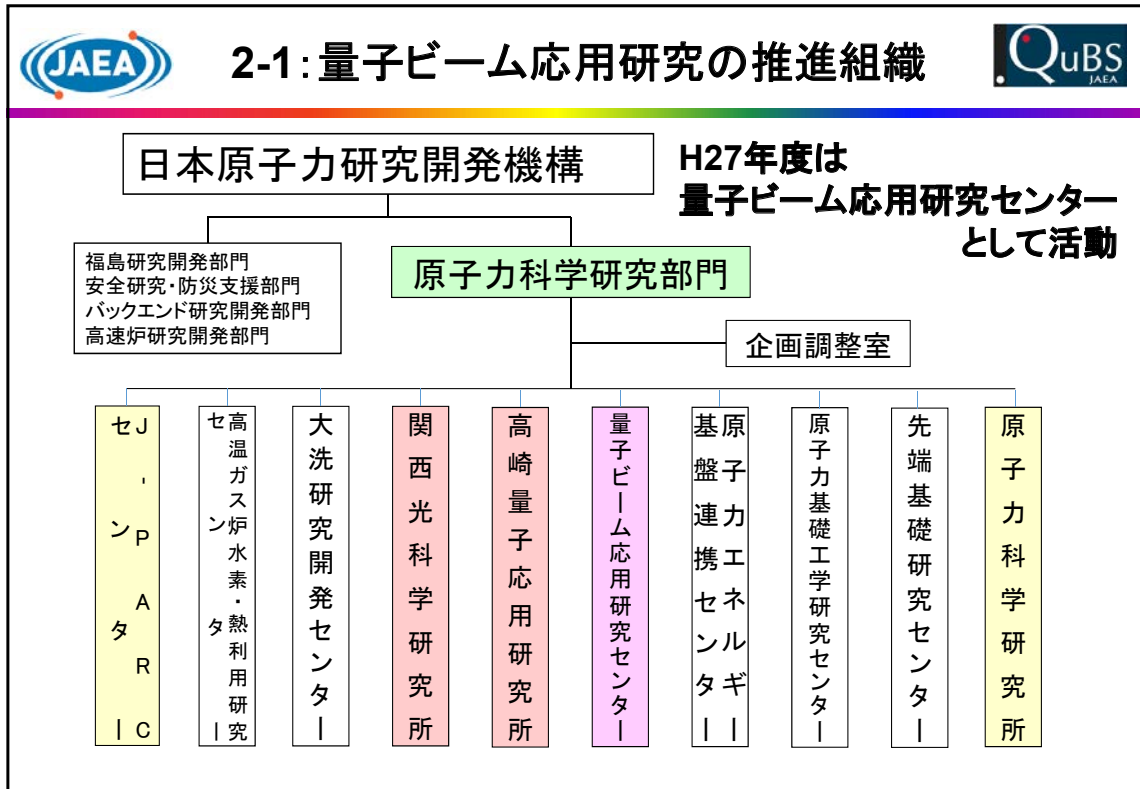
\*福島環境回復等原子力機構に期待されている研究も同時に進めることで、物質科学研究センターの意義と存在感を示すことができるという評価委員会からの指摘への対応

自由な発想に基づく研究とマネジメントの強化は相容れない部分もあるが、**原子力材料分野などでの問題を提示し、各人の自由な発想・アプローチに基づく基礎科学的な貢献を目指す**  
→独自研究のみでは得られない“使えるサイエンス”を生み出すシナジー効果を期待

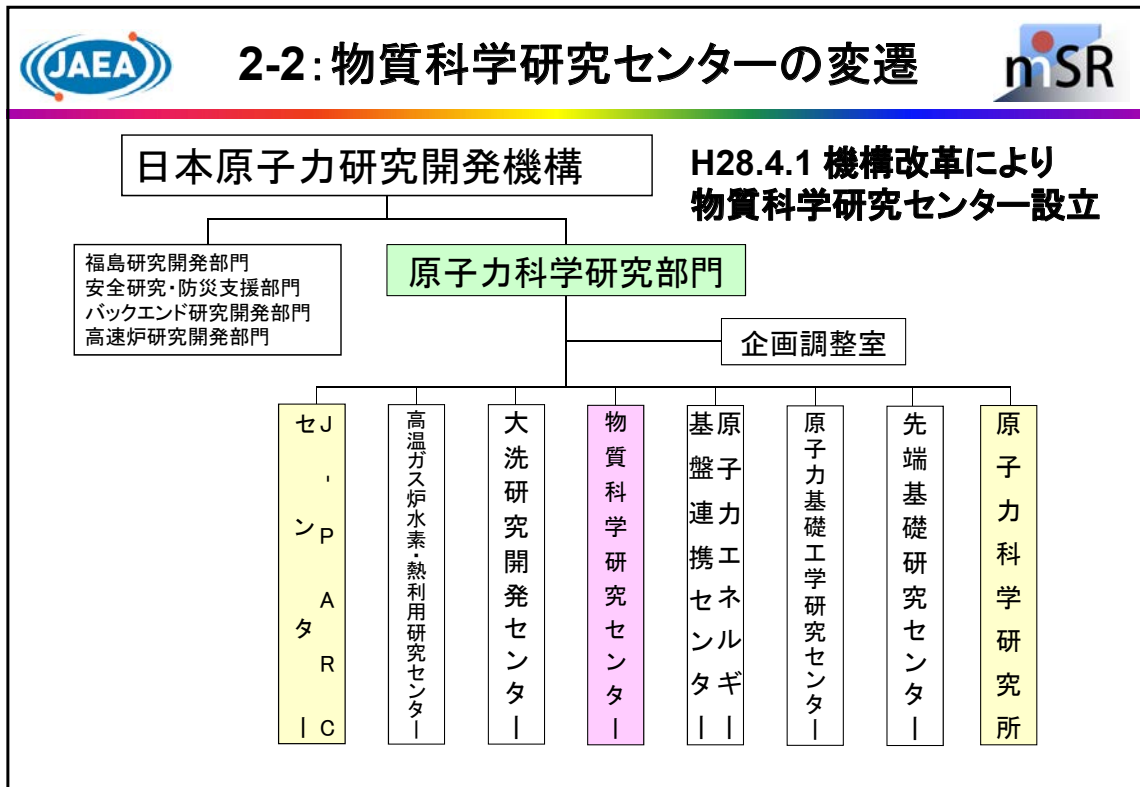
1. 原子力機構における  
物質科学研究センターの位置づけ
2. 組織の変遷
3. 人員・研究費と研究成果
4. センターの運営、他機関との連携・人材育成
5. 成果の発信
6. 今後の展望



## 2-1: 量子ビーム応用研究の推進組織

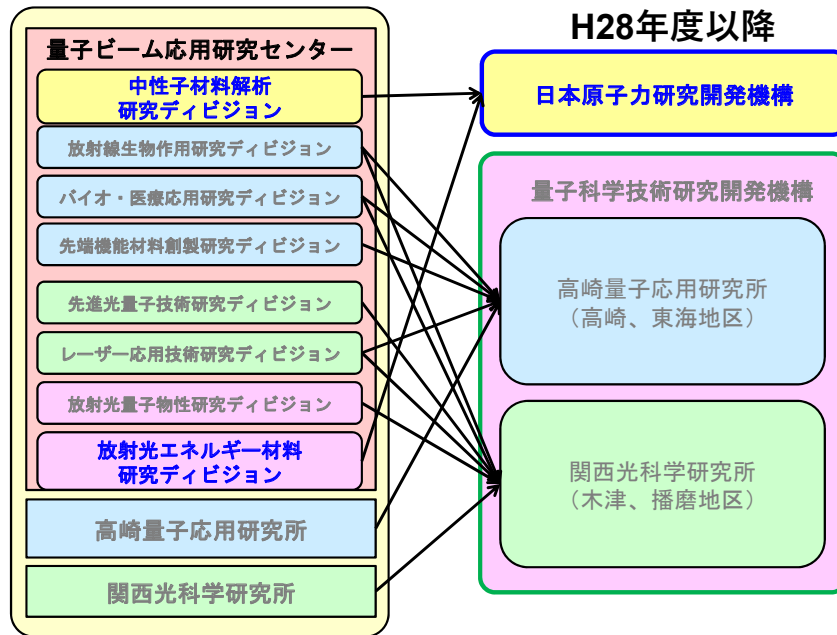


## 2-2: 物質科学研究センターの変遷

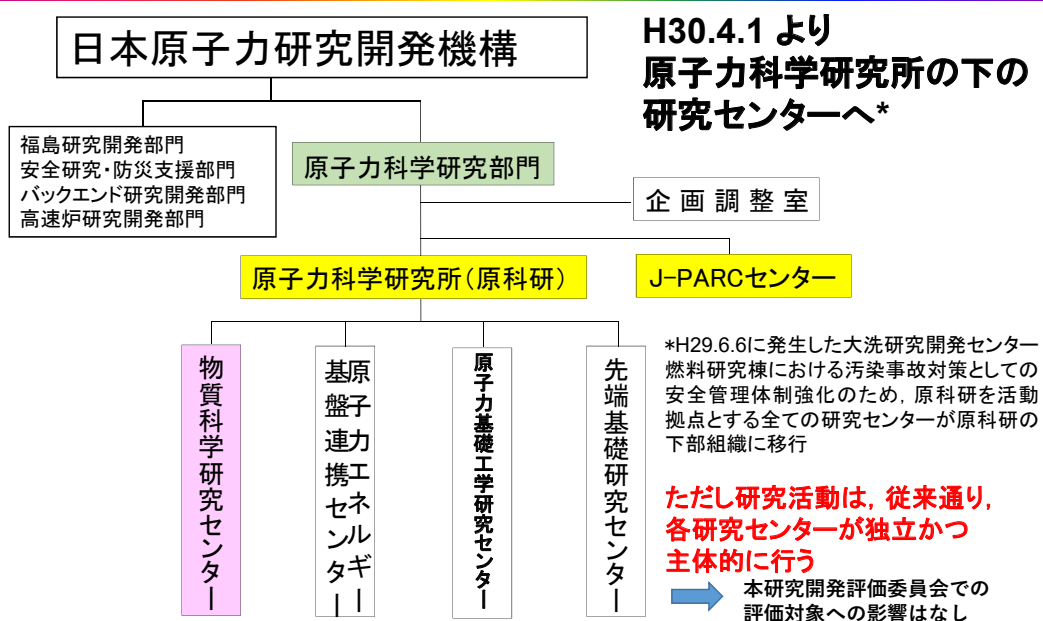




## 2-3: 機構改革/分離移管による組織の移行

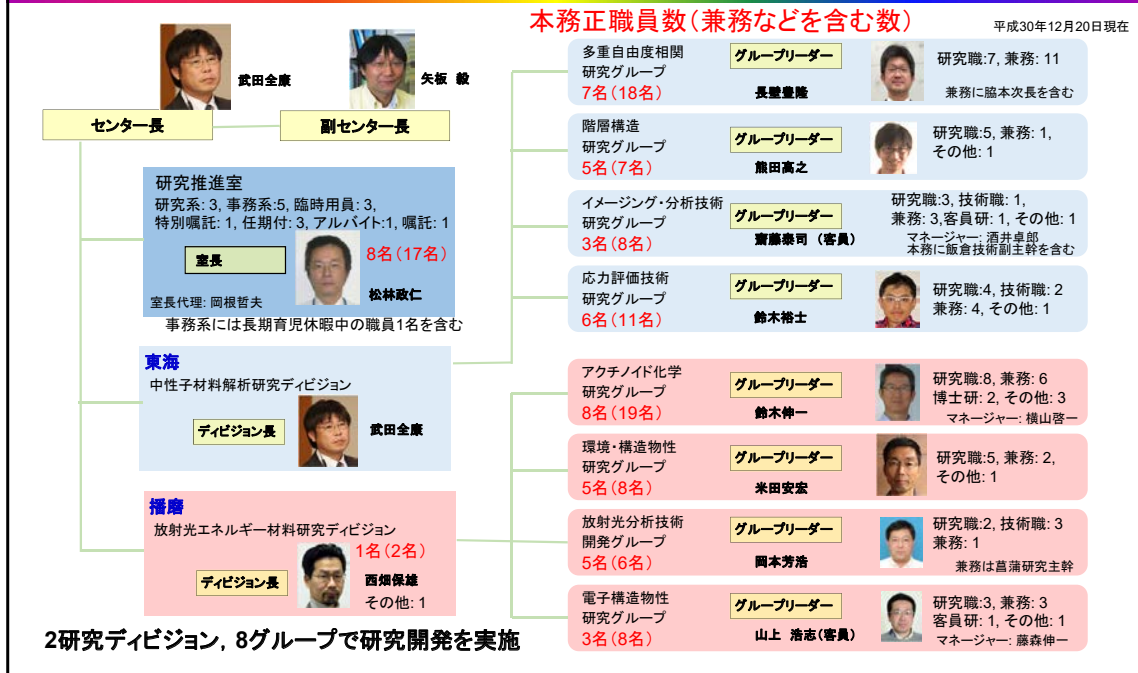


## 2-4: 物質科学研究センターの変遷





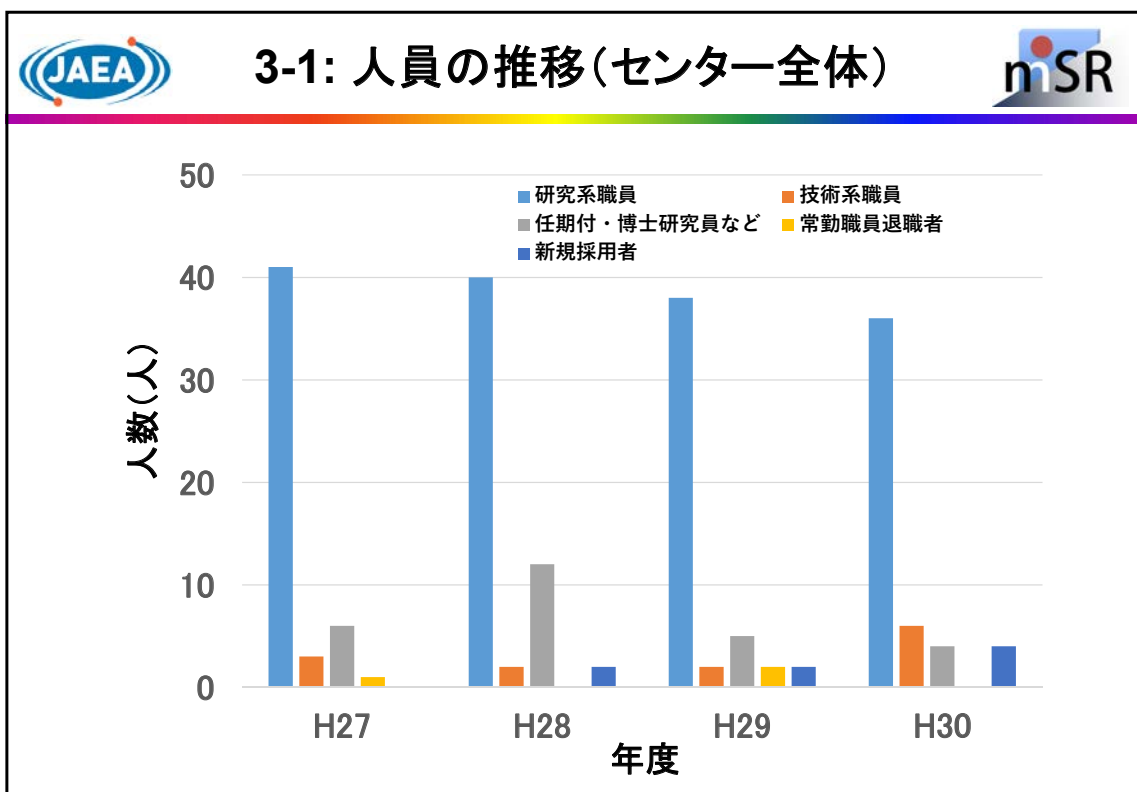
## 2-5: 物質科学研究センターの組織体制



## 2-6: グループ再編(H31.4.1付)

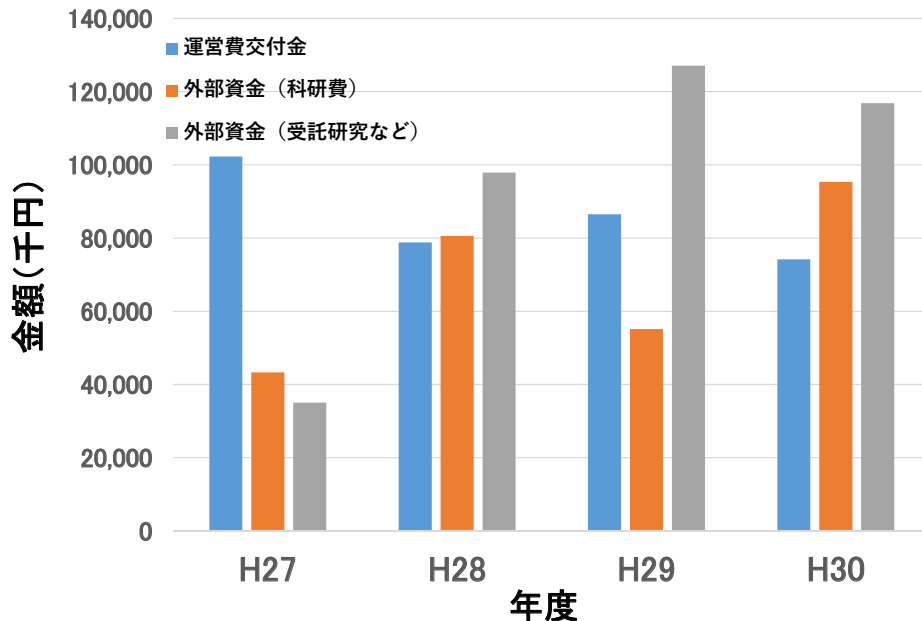


1. 原子力機構における  
物質科学研究センターの位置づけ
2. 組織の変遷
- 3. 人員・研究費と研究成果**
4. センターの運営, 他機関との連携・人材育成
5. 成果の発信
6. 今後の展望





### 3-2: 研究費の推移(センター全体)



### 3-3: 物質科学研究センターの外部資金



**H27-30年度総額 651,000 千円 (H30年度分 211,000 千円)**

**○科学研究費補助金 総額 275,000千円(H30年度分 95,000千円)**

**H30年度実施分**

新学術分担(1件), 基盤S分担(新規1件, 継続1件),  
基盤A(継続1件), 基盤B(新規1件, 継続2件), 基盤B分担(継続3件)  
基盤C(新規3件, 継続8件), 若手B(継続2件)  
挑戦的萌芽(新規1件, 継続1件), 挑戦的萌芽分担(継続1件), 研究活動スタート(新規1件)

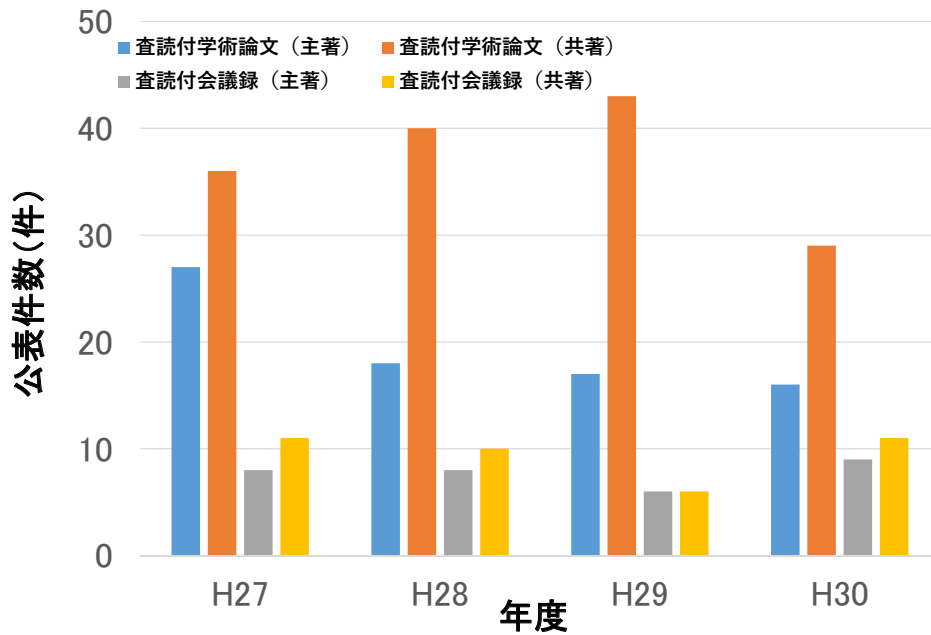
**○受託研究, 共同研究, 寄付金 総額 376,000千円(H30年度分 116,000千円)**

**H30年度実施分**

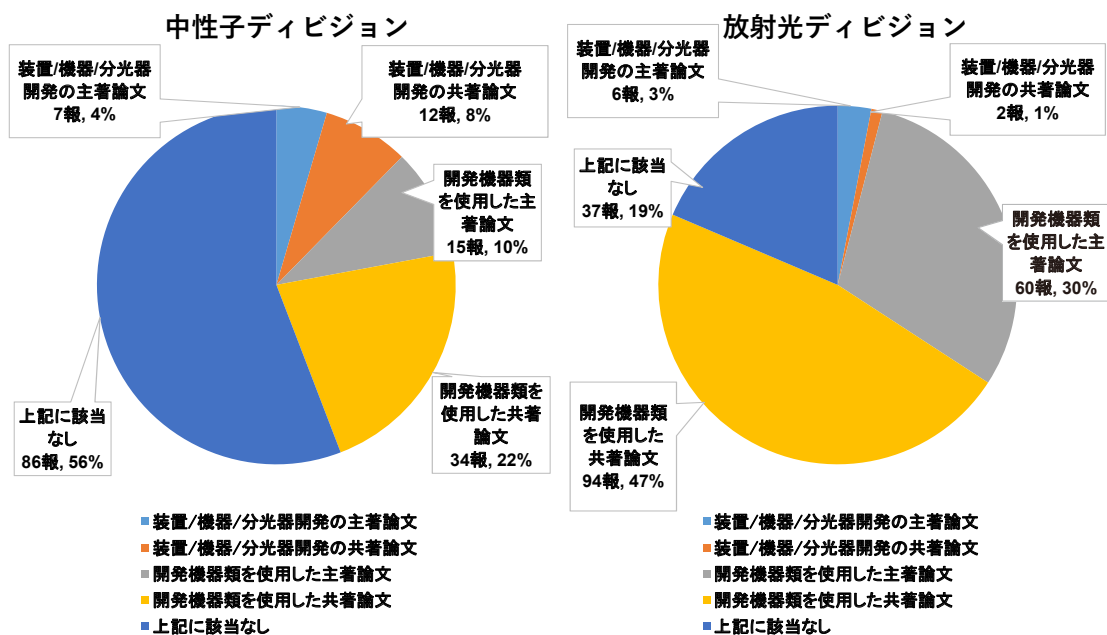
- ・「鋼材／潤滑油」界面における機能性ヘテロナノ構造制御に基づく転動疲労高特性化のための指導原理の確立(JST)
- ・ミクロな内部応力の不均一分布形成機構の理解とその制御技術の確立(JST)
- ・ロボット制御技術を用いた廃棄物中放射性核種分析の自動前処理システムの開発(文部科学省)
- ・温度変化発電を利用した廃熱再生技術の研究開発(NEDO)
- ・鋳型分離技術を利用した希土類元素の高精密金属イオンサイズ認識分離(NEDO)
- ・放射光光電子分光法による希土類化合物の基礎物性(公益財団法人ひょうご科学技術協会)
- ・触媒反応試験・可燃性ガス濃度低減シミュレーション(国立大学法人長岡技術科学大学)
- ・高付加価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発(NEDO)
- ・放射性廃棄物の減容化に向けたガラス固化技術の基盤研究事業(NEDO)
- ・除去土壌等の減容等技術実証事業(公益財団法人 原子力安全研究協会)
- ・超短パルスレーザー加工時の原子スケール損傷機構の解明に基づく材料強靱化指導原理の構築(Q-LEAP)
- ・可搬型加速器X線源・中性子源によるオンサイト燃料デブリ元素分析および地球統計学手法を用いた迅速な燃料デブリ性状分布の推定手法の開発(公益財団法人 原子力安全研究協会)



### 3-4: 論文数の推移(センター全体)



### 3-5: 論文の分類

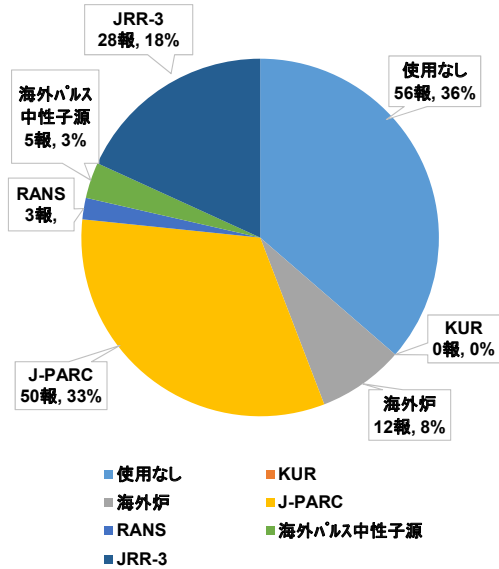




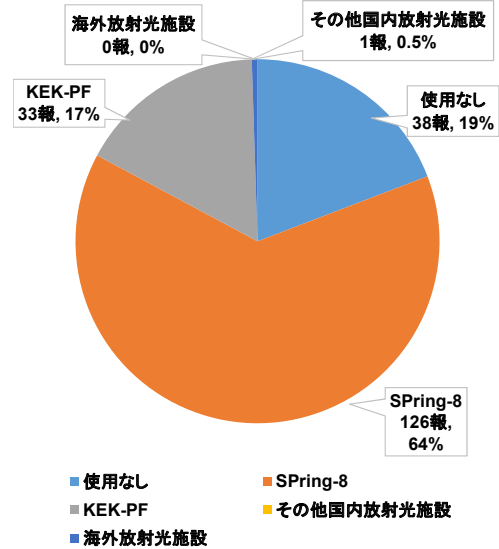
### 3-6: 研究に使った大型施設



使用施設（中性子）



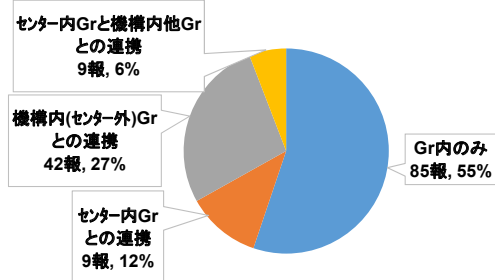
使用施設（放射光）



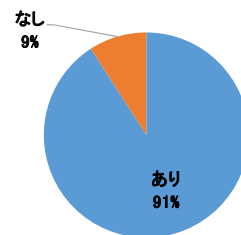
### 3-7: 機構内外との連携状況



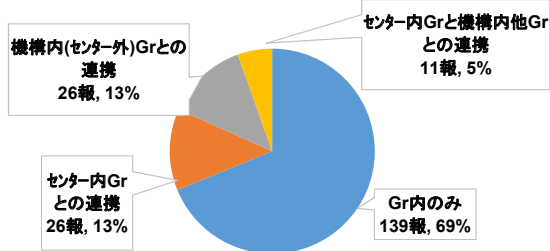
センター内外との連携（中性子）



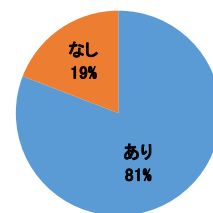
機構外研究組織との連携（中性子）



センター内外との連携（放射光）



機構外研究組織との連携（放射光）



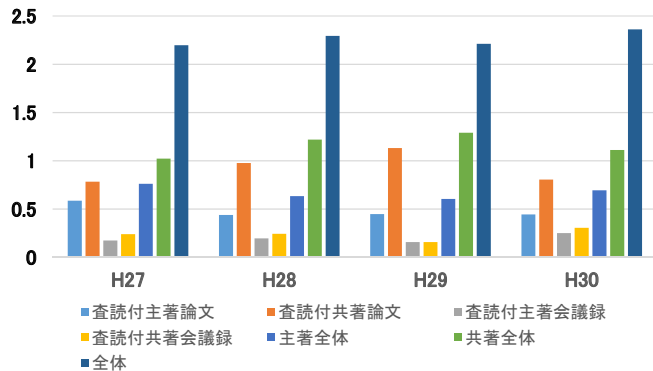




### 3-8: 研究成果のまとめ



研究系職員一人当たりの公表論文数



○一人あたりの査読付き主著論文は0.5前後で推移(H30年度 0.44)

→ 研究者が研究に専念できる時間が減少

○一人あたりの査読付き論文は2.2前後で推移(H30年度 2.36)

○センター内のGrをまたいだ成果は少ない(Gr分けが適切)

→ JRR-3が停止しているため、東海と播磨の連携が停滞

○機構内外のセンター外の研究機関との連携によるものがほとんど

→ 研究基盤の役割を果たしている、またはその能力が潜在的にある

#### ○主著論文主要投稿先(インパクトファクター)

Journal of Magnetism and Magnetic Materials (2.63), Physica A (2.243), Physical Review B (3.836), Journal of Molecular Liquids (3.648), Materials Chemistry and Physics (2.084), AIP Advances (Internet) (1.568), Japanese Journal of Applied Physics (1.384), Applied Surface Science (3.387), Journal of the Physical Society of Japan (1.45), Materials Characterization (2.714), Scientific Reports (Internet) (4.259), Ferroelectrics (0.551)



### 3-9: 研究成果の評価



#### 投稿先論文に対するセンターでの評価の観点

- ・Impact Factor (IF) は無視はしないまでも重視しない
- ・被引用数も必ずしも重要視しない

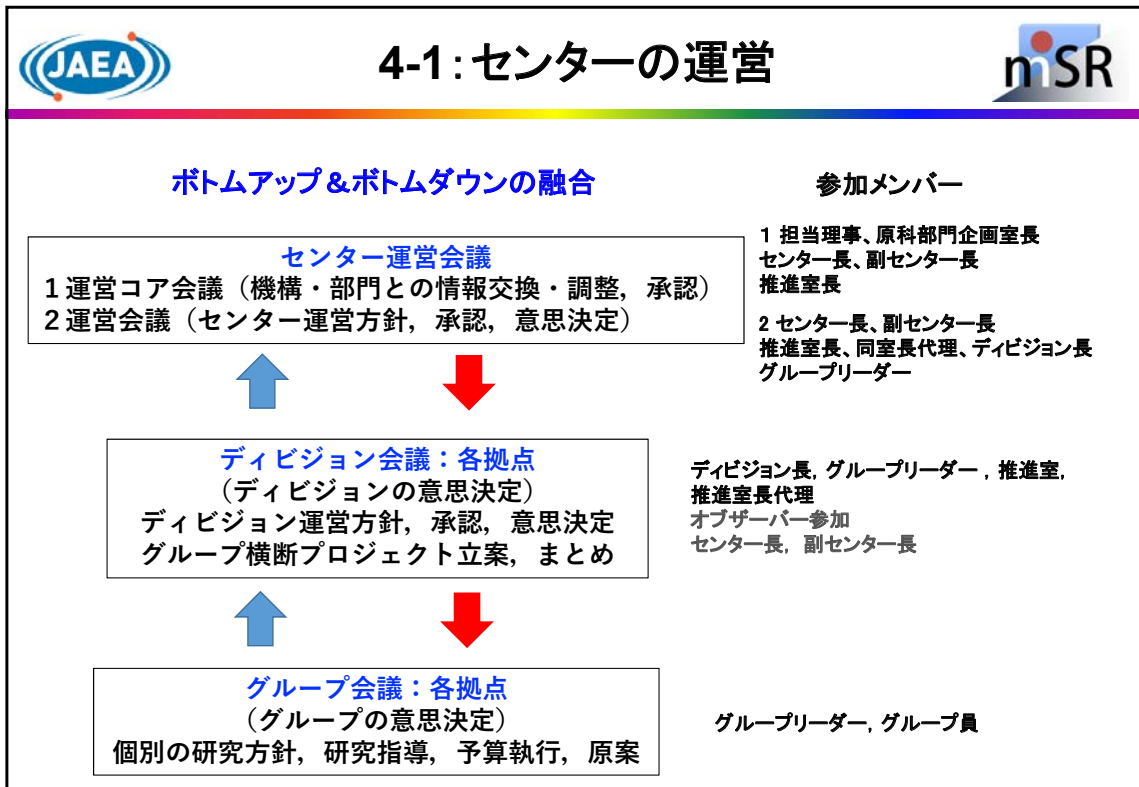
|         | 自然科学系の雑誌         | 工学系の雑誌         |
|---------|------------------|----------------|
| IF      | 高いものがある          | 一般的に高くない       |
| 主要な読者   | 研究機関の科学者であることが多い | 企業の研究者であることが多い |
| 被引用率の評価 | 有意義              | 製品化とは無関係*      |

\*産業利用促進、研究成果の社会実装(製品化)という観点では、和文誌への投稿の方が効果的な場合もある

各分野での特殊性を考慮した論文評価指標を使って評価を試行

- ・ Journal Citation Ranking and Quartile Scores  
[https://researchassessment.fbk.eu/quartile\\_score/](https://researchassessment.fbk.eu/quartile_score/)
- ・ Scimago Journal & Country Rank (SJR) <https://www.scimagojr.com/>

1. 原子力機構における  
物質科学研究センターの位置づけ
2. 組織の変遷
3. 人員・研究費と研究成果
4. センターの運営, 他機関との連携・人材育成
5. 成果の発信
6. 今後の展望





## 4-2: センター内の研究交流



### ○物質科学コロキウム(月1回開催)

- ・東海と播磨をTV会議システムで結んで行うセンター内セミナー  
(原則オープンで、機構内他研究センター、機構外関連組織にも周知)

### ○研究交流会(原則毎年1回開催)

- ・東海か播磨にセンターの研究者が集まって、口頭・ポスター発表で研究交流を行う  
H28 播磨, H29 播磨, H30 東海で開催  
(H28, 29は放射光シンポジウムとして量子科学技術研究開発機構と共催)

### ○中性子・放射光連携研究会(随時)

- ・中性子と放射光の相補利用による研究の加速のための情報交換  
H30年度に、この研究会をきっかけに、  
「中性子回折、EXAFSによる燃料電池材料の局所構造解析」の研究がスタート



## 4-3: 機構内部組織との連携協力等



### ○機構内研究組織との主な共同研究

#### 中性子材料解析研究ディビジョン

- ・照射材料組織の定量化手法の開発研究(原子力基礎工学研究センター)
- ・酸化物分散強化型フェライト鋼のナノ組織解析(次世代高速炉サイクル研究開発センター)
- ・地震を考慮した経年配管の健全性評価(安全研究センター)
- ・大強度パルス中性子源標的容器およびモデレータの残留応力(J-PARCセンター)
- ・ADS分離変換に係る構造解析(原子力基礎工学研究センター)
- ・中性子・放射光による放射性廃棄物ガラスのミクロ構造解析と高度化(放射光ディビジョン)

#### 放射光エネルギー材料研究ディビジョン

- ・福島環境回復における学術的な基盤形成  
(福島研究開発部門, システム計算科学センター, 原子力基礎工学研究センター)
- ・アクチノイド科学研究(先端基礎研究センター)
- ・放射光によるガラス固化体の構造解析  
(原子力基礎工学研究センター, 次世代高速炉サイクル研究開発センター)
- ・分離核変換技術の確立に向けたTRU分離メカニズムの解明(原子力基礎工学研究センター)
- ・水素再結合触媒Passive Autocatalytic Recombinerの開発  
(福島研究開発部門, 原子力エネルギー基盤連携センター)



## 4-4: 外部機関との連携協力等



### ○機構内研究組織との主な連携

#### 物質科学研究センター

J-PARCセンター運営会議, MLF運営調整会議, MLFコア運営会議などの  
J-PARCセンター関連各種委員

#### 中性子材料解析研究ディビジョン

中性子利用セクション, 福島環境安全センター, 利用施設管理課への兼務  
中性子利用セクションからの兼務

#### 放射光エネルギー材料研究ディビジョン

廃炉国際共同研究センター, 福島環境安全センターからの兼務

### ○民間企業との主な共同研究

#### 中性子材料解析研究ディビジョン

- ・ 小角散乱法を利用した金属材料等の評価方法
- ・ 炭素分配に伴う複合組織鋼におけるナノ構造変化のリアルタイム測定に関する研究

#### 放射光エネルギー材料研究ディビジョン

- ・ 貴金属フリー・アニオン交換膜形液体燃料電池の研究
- ・ 動静脈産業連携による循環型資源再生技術開発
- ・ 廃棄物保管容器用の水素再結合触媒の開発
- ・ 誘電体を利用した新規熱電素子の研究



## 4-5: 外部機関との連携協力等



### ○大学・研究機関等との共同研究・人材育成への貢献

- ・ **大学院や研究指導への協力:** 茨城大学, 熊本大学,  
東京都市大学, 福井大学, 神戸大学, 明治大学, 十文字学園, 関西学院大学など
- ・ **共同研究による先端的な学術成果の創出:** 東京大学, 東北大学, 北海道大学,  
東京工業大学, 千葉大学, 東京理科大学, 埼玉工業大学, 岡山大学, 同志社大学,  
京都産業大学, 神戸大学, 佐賀大学他
- ・ **国立研究開発法人との研究協力:** 理化学研究所, 物質・材料研究機構, 総合科学研究機構,  
産業技術総合研究所, 量子科学技術研究開発機構, 建築研究所など

### ○主な国際交流・協力

- ・ 「中性子散乱」分野における日米科学技術協力研究: オークリッジ国立研究所
- ・ 「原子力エネルギー民生利用のための研究開発のためのワーキンググループ(CNWG)」:  
アイダホ国立研究所, オークリッジ国立研究所(MA分離剤の分子設計にかかる共同研究)
- ・ 「国家課題対応型研究開発推進事業 廃炉加速化研究プログラム 日英原子力共同研究」:  
シェフィールド大学, ブリストル大学(放射光による模擬デブリの性状把握)



## 4-6: 人材育成



### ○若手研究者の育成

- ・ 若手研究員を原子力留学制度(機構内制度)により, 1年間ノースウエスタン大学(米)に派遣(薄膜小型センサーシステムの開発 → バイオセンサ, 汚染物質計測への応用を視野)
- ・ CNWVG(前頁)による若手交流プログラムによって, 若手研究者をアイダホ国立研究所に派遣(国際的な研究ネットワークの形成(過去の派遣が現在の海外炉の利用などにつながっている))
- ・ IAEAプログラムに基づく, 外国人(インドネシア原子力庁)技術研修生の受入れ

### ○テニュアトラック制度,ダイバーシティ採用制度による人材の確保

- ・ 上記により3名の若手研究者を採用

### ○機構内他部門からの研究者の受入(研究指導)

- ・ 福島研究開発部門 廃炉国際共同研究センター, 福島環境安全センターから研究者を受入(アクチノイド化学研究Gr)
- ・ 福島研究開発部門 廃炉国際共同研究センターから研究者を受入(電子構造物性研究Gr)

### ○インターンシップによる夏期実習生の受入

- ・ 応力評価解析技術(毎年 大学院生数名程度)
- ・ 表面科学測定・真空技術(毎年 大学院生10名程度)



## 4-7: 人材育成



### ○人材育成テーマ

- ・ 原子力科学研究部門が実施している分離変換を人材育成テーマとして設置した特別研究グループ(下記の①と④で活動)
  - ①MA分離メカニズム解明とプロセス構築
  - ②FP分離メカニズム解明
  - ③窒化物燃料の基礎特性解明
  - ④ADSセラミック材料に関する基礎基盤研究
  - ⑤ADS核特性解析技術に関する基礎基盤研究

### ○連携大学院等への貢献

- ・ 関西学院大学, 兵庫兵庫県立大学, 京都産業大学, 神戸大学(H30年度より開始), 千葉大学, 筑波大学などに客員教授, 講師を派遣

### ○講習会

- ・ AONSA中性子スクール・中性子・ミュオンスクール(J-PARCセンター, 原子力人材育成センター)
- ・ 中性子実験技術基礎講習会(レベル1講習会)など
- ・ 日本放射光学会 放射光基礎講習会など

### ○地元小中学校への貢献

- ・ 播磨高原中学への出前事業(物理, 化学実験など)

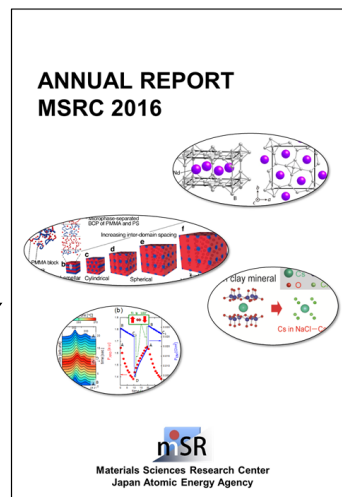
1. 原子力機構における  
物質科学研究センターの位置づけ
2. 組織の変遷
3. 人員・研究費と研究成果
4. センターの運営, 他機関との連携・人材育成
5. 成果の発信
6. 今後の展望



## 5-1: 研究成果の発信・普及



- センターWEBページ(<http://msrc.jaea.go.jp>)を通じた情報の発信
- Annual Report 2016, 2017の発刊





## 5-2: 研究成果の発信・普及



### プレス発表

|           |                                                                                                  |                                 |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| H30.10.22 | 数万気圧環境下での中性子3次元偏極解析に世界で初めて成功<br>～完全非磁性の高圧セル開発で実現 圧力下でのスピン配列の解明に期待                                | 物質・材料研究機構<br>JAEA               |
| H30.6.15  | 世界初！レーザーコーティング照射条件の施工前予測が可能なシステムを開発～レーザー加工の職人技を身近な技術に～                                           | JAEA<br>大阪大学                    |
| H30.2.5   | 軽量化を可能にする鋼材開発に向けた新たな分析手法の確立<br>～ものづくり現場における小型中性子源の貢献～                                            | 理化学研究所<br>JAEA<br>東京都市大学        |
| H30.1.1   | 放射光光電子顕微鏡により絶縁物のナノスケール化学分析を実現<br>～粘土鉱物中のCs吸着挙動の解明に新たな道～                                          | JAEA<br>高輝度光科学研究センター            |
| H29.11.17 | 透過中性子によるスピン配列の観測に成功<br>～従来の回折中性子の測定より装置設計の自由度が増し、未知のスピン配列観測が容易に～<br>・日刊工業新聞（11/20）、科学新聞（12/8）    | 物質・材料研究機構<br>JAEA<br>J-PARCセンター |
| H29.11.13 | 素粒子ミュオンの連続ビームによる、太陽系誕生時の有機物を含む隕石の非破壊分析に成功！<br>・電気新聞（11/14）、財経新聞（11/16）、日刊工業新聞（11/16）、産経新聞（11/20） | 大阪大学<br>JAEA<br>東京大学            |



## 5-3: 研究成果の発信・普及

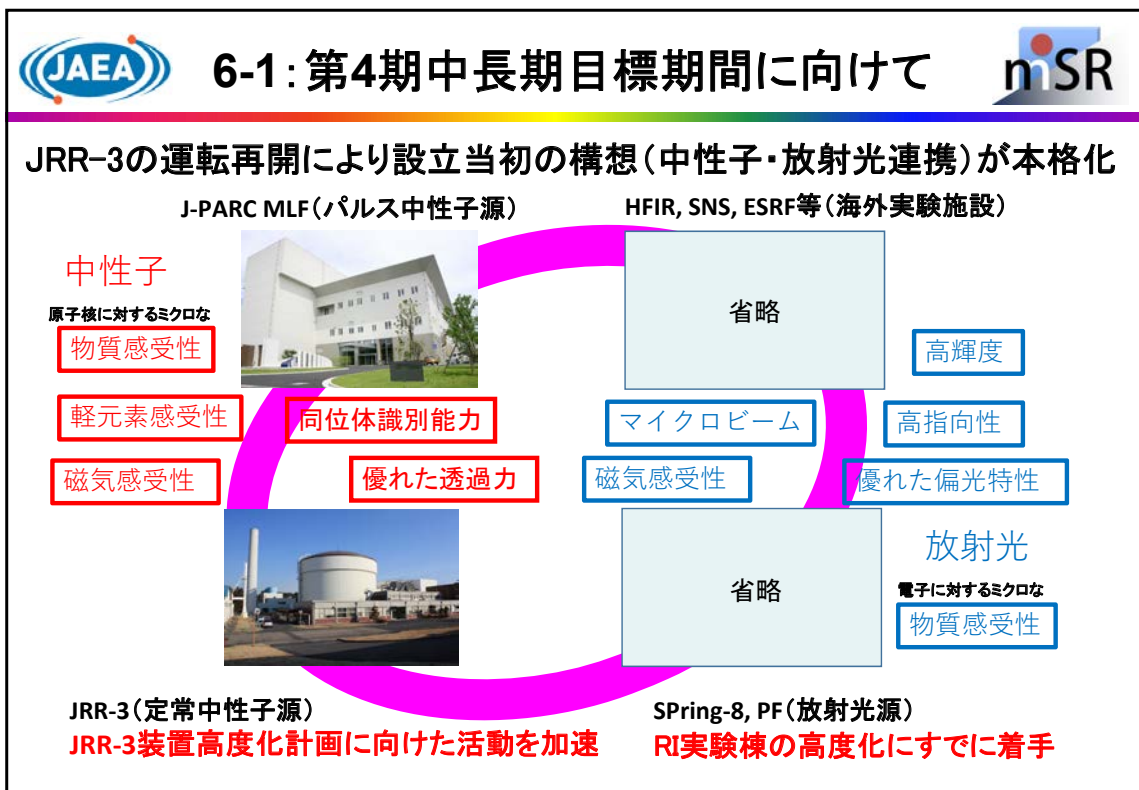


### プレス発表

|           |                                                                           |                                  |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| H29.10.26 | 物理的圧力と化学的圧力の組み合わせにより、新しい鉄系高温超伝導を発見<br>・日経（10/26）、科学新聞（11/17）              | 東京大学<br>量子科学技術研究開発機構<br>JAEA     |
| H29.6.21  | 世界初！ショットピーニングを実用レベルで解析可能なシステムを開発<br>～溶接継手の強度信頼性向上のために～<br>・電気新聞（6/30）     | 大阪府立大学<br>JAEA<br>発電設備技術検査協会     |
| H28.10.27 | 中性子回折による金属材料の集合組織高速測定システムを開発<br>J-PARC内の茨城県材料構造解析装置IMATERIAで世界最速レベルの技術を確立 | 茨城大学<br>茨城県<br>JAEA<br>日本冶金工業(株) |
| H28.6.14  | 世界初！ステンレス鋼の加工時に生成するナノサイズの結晶相を、放射光X線により観測！～水素による脆化を防ぐ研究開発への応用に期待           | 大阪府立大学<br>新日鐵住金ステンレス株式会社<br>JAEA |
| H28.2.12  | 福島放射能汚染を模した実験によりセシウムを強く吸着する鉱物を特定                                          | 東京大学<br>JAEA                     |



1. 原子力機構における  
物質科学研究センターの位置づけ
2. 組織の変遷
3. 人員・研究費と研究成果
4. センターの運営, 他機関との連携・人材育成
5. 成果の発信
6. 今後の展望





## 参考資料



## 参考1:中長期目標・計画



| 中長期目標                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 中長期計画                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>4. 原子力の基礎基盤研究と人材育成</p> <p>(1)原子力を支える基礎基盤研究, 先端原子力科学研究及び中性子利用研究等の推進</p> <p>改革の基本的方向を踏まえ, 国際的な技術動向, 社会ニーズ等を勘案しつつ重点化し, 原子力の基礎基盤研究を推進する。特に, 先端基礎科学研究においては, 原子力科学の発展に直結するテーマに厳選する。また, 中性子利用や放射光利用による原子力科学, 原子力を支える物質・材料科学 等に関わる研究を推進する。</p> <p>具体的には, 核工学・炉工学, 燃料・材料工学, 原子力化学, 環境・放射線科学及び計算科学技術について, 産学官の要請等を踏まえ, 今後の原子力利用において重要なテーマについて研究開発を行う。また, 核物理・核化学を中心としたアクチノイド先端基礎科学及び原子力先端材料科学研究分野において, 原子力分野における黎明的な研究テーマに厳選し, 既存の知識の枠を超えた新たな知見を獲得するため, 世界最先端の先導的基礎研究を実施する。</p> <p>さらに, J-PARC や JRR-3 等を活用し, 中性子施設・装置等の高度化に関わる技術開発を進めるとともに, 中性子や放射光を利用した原子力科学, 原子力を支える物質・材料科学に関わる先端的研究を行う。</p> <p>これらの取組により, 研究開発の現場や産業界等における原子力利用を支える基盤的技術の向上や共通知的財産・技術を蓄積するとともに, 新たな原子力利用を切り開く技術及び原子力科学の発展に先鞭をつける学術・技術的に極めて強いインパクトを持った世界最先端の原子力科学研究 成果を創出する。また, 中性子利用研究等により, 幅広い科学技術・学術分野における革新的成果・シーズを創出する。さらに, 産学官との共同作業により, それらの産業利用に向けた成果活用に取り組む。</p> | <p>4. 原子力の基礎基盤研究と人材育成</p> <p>(1)原子力を支える基礎基盤研究, 先端原子力科学研究及び中性子利用研究等の推進</p> <p>我が国の原子力利用を支える科学的知見や技術を創出する原子力基礎基盤研究, 並びに原子力科学の発展につながる可能性を秘めた挑戦的かつ独創的な先端原子力科学研究を実施する。また, 幅広い科学技術・学術分野における革新的成果の創出を目指し, 中性子利用や放射光利用による原子力科学, 原子力を支える物質・材料科学等に関わる研究を実施する。さらに, 課題やニーズに的確に対応した研究開発成果を産業界や大学と連携して生み出すとともにその成果活用に取り組む。</p> <p>3) 中性子利用研究等</p> <p>高エネルギー加速器研究機構(KEK)と共同で運営する J-PARC に係る先進技術開発や, 中性子実験装置群の性能を世界トップレベルに保つための研究開発を継続して行うことにより, 世界最先端の研究開発環境を広く社会に提供する。また, それらの中性子実験装置群を有効に活用した物質科学などに関わる先端的研究を実施する。さらに, 将来にわたり世界における最先端研究を維持するために, 加速器の更なる大強度化や安定化に向けた研究開発を進める。</p> <p>JRR-3 等の定常中性子源の特徴を活かした中性子利用技術を開発させ, 構造と機能の相関解明に基づく先端材料開発や大型構造物などの強度信頼性評価に応用する。また, 中性子や放射光を利用した原子力科学研究として, マイナークチノイド(MA)分離等のための新規抽出剤の開発や土壌等への放射性物質の吸脱着反応メカニズムの解明などを行い, 廃炉・廃棄物処理や安全性向上に貢献する。</p> |



## 参考2:中長期目標・計画と年度計画



| 中長期目標                                                              | 中長期計画                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| なお、研究開発の実施に当たっては、目標期間半ばに研究の進捗や方向性について外部専門家による中間評価を受けて、適切に取組に反映させる。 | 実施に当たっては、科学的意義や出口を意識した社会的にニーズの高い研究開発に取り組み、機構内の研究センター・研究拠点間の協働を促進し、国内外の大学、研究機関、産業界等との連携を積極的に図る。こうした連携協力を軸として、科学技術イノベーション創出を目指す国の公募事業への参画も目指す。各研究開発課題については、課題ごとに達成目標及び時期を明確にし、目標期間半ばに外部専門家による中間評価を受け、その結果を研究業務運営に反映させる。 |

### 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の 平成 30 年度の業務運営に関する計画（年度計画） （平成30年4月1日～平成31年3月31日）

#### 4.原子力の基礎基盤研究と人材育成

##### (1) 原子力を支える基礎基盤研究、先端原子力科学研究及び中性子利用研究等の推進

##### 3) 中性子利用研究等

中性子利用技術の高度化を継続するとともに、物質のマクロな機能性発現と局所的なランダム構造との相関を解明する研究や、中性子を用いた鉄筋コンクリートの曲げ付着挙動解明のための研究を進める。アクチノイド基礎科学研究では、マイナーアクチノイド(MA)分離のための新しい鋳型鋳体法の開発や、ウラン化合物、超プルトニウム元素の電子状態、構造解明に基づく基礎研究を実施する。土壌廃棄物減容化と再生利用に関する研究や水素再結合触媒の高度化研究を継続するとともに放射線廃棄物のガラス固化処理等の廃炉・廃棄物処理技術に資する研究を実施する。

実施に当たっては、科学的意義や出口を意識した社会的にニーズの高い研究開発に取り組み、機構内の研究センター・研究拠点間の協働を促進し、国内外の大学、研究機関、産業界等との連携を積極的に図る。こうした連携協力を軸として、科学技術イノベーション創出を目指す国の公募事業への参画も目指す。



## 参考3:中長期目標における記載



### （物質科学研究センター部分）

#### 4.原子力の基礎基盤研究と人材育成

##### (1)原子力を支える基礎基盤研究、先端原子力科学研究 及び中性子利用研究等の推進

#### 中性子及び放射光利用技術開発とそれを使った幅広い科学技術・学術への貢献

- ・中性子利用による物質・材料科学等の研究推進
- ・J-PARCやJRR-3等を活用した中性子施設・装置等に関わる高度化技術開発
- ・幅広い科学技術・学術分野における革新的成果、シーズの創出
- ・新たな原子力利用を切り開く技術の開拓
- ・世界最先端の原子力科学研究成果の創出

#### 研究成果の社会への還元

- ・原子力利用を支える基盤的技術の向上や共通知的財産・技術の蓄積
- ・産学官による産業利用に向けた成果活用



第3回中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会

資料 3-6

平成31年2月4日

**物質科学研究センターにおける中性子利用研究開発  
(評価期間 H27.4.1 – H30.12.31)**

**中性子による材料の構造解析技術開発とその利用研究  
(東海地区)**

**物質科学研究センター  
中性子材料解析研究ディビジョン長：武田全康**

- 1. 原子力機構における  
中性子材料解析研究ディビジョンの位置づけ**
2. 施設の運転・利用状況
3. ディビジョンの研究開発進捗状況
4. ディビジョンの課題
5. まとめと展望



## 1-1: 第3期中長期目標での位置づけ



### 4. 原子力の基礎基盤研究と人材育成

- (1) 原子力を支える基礎基盤研究，先端原子力科学研究  
及び中性子利用研究等の推進

中性子利用技術開発とそれを使った  
幅広い科学技術・学術への貢献

中性子利用技術開発とそれを使った  
原子力技術・開発への貢献

研究成果の社会への還元



## 1-2: 第3期中長期計画での位置づけ



中長期目標を受け，  
中性子材料解析ディビジョンが立てた計画

- ・ JRR-3 等の定常中性子源の特徴を活かした  
中性子利用技術の発展
- ・ 構造と機能の相関解明に基く先端材料開発\*
- ・ 大型構造物などの強度信頼性評価への応用\*

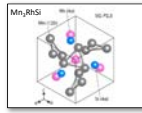
\* 材料開発に有益な知見を提供する



## 1-3: 研究テーマの3本柱

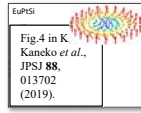


### 機能性材料の物性研究



相互作用競合系の磁気秩序解明

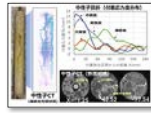
- 新奇磁性状態の発現機構
- 特殊結晶構造と磁性の相関
- 局所構造と機能の相関
- 物性物理新分野の開拓



f電子新奇磁性探索

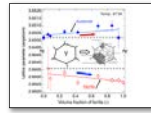
Fig.4 in K. Kaneko *et al.*, JPSJ 88, 013702 (2019).

### 構造材料の強度研究



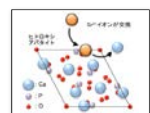
鉄筋コンクリート(RC)の劣化評価

- RCの付着評価技術の開発と応用
- 高強度材料の開発
- 持続可能社会実現への貢献



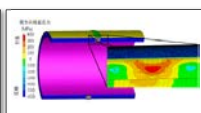
鉄鋼変態中のひずみ挙動

### 原子力材料に関する研究



Sr吸着材料の開発

- 残留応力解析システムの開発
- 1F廃炉用分析技術の開発
- 植物体内セシウム動態観察技術の開発
- 原子力の基礎基盤研究による社会貢献

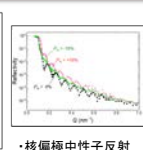


残留応力持続性解析

### 多様な中性子源に対応した利用技術開発



・超高压下中性子-電気同時測定技術



・核偏極中性子反射率測定技術



・高解像度イメージングデバイス開発

・偏極中性子と群論を組み合わせた精密磁気構造解析手法



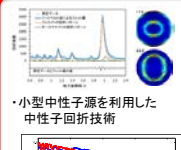
JRR-3



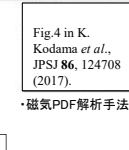
RANS



J-PARC MLF



・小型中性子源を利用した中性子回折技術



・磁気PDF解析手法

・磁気ブラッグエッジ解析手法

## 1. 原子力機構における 中性子材料解析研究ディビジョンの位置づけ

## 2. 施設の運転・利用状況

## 3. ディビジョンの研究開発進捗状況

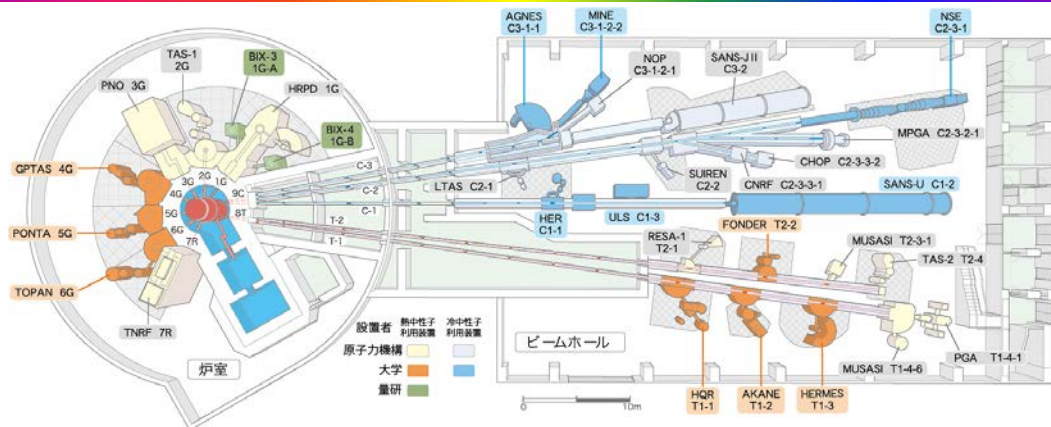
## 4. ディビジョンの課題

## 5. まとめと展望





## 2-1: JRR-3の中性子実験装置



### 中性子ビーム実験装置の設置台数

- 日本原子力研究開発機構保有 16台
- 量子科学技術研究開発機構(量研)保有 2台
- 大学保有 13台  
(東京大学, 東北大学, 京都大学: 大学共同利用制度)



## 2-2: センター所有の中性子実験装置



### 多重自由度相関研究Gr.



### 階層構造研究Gr.



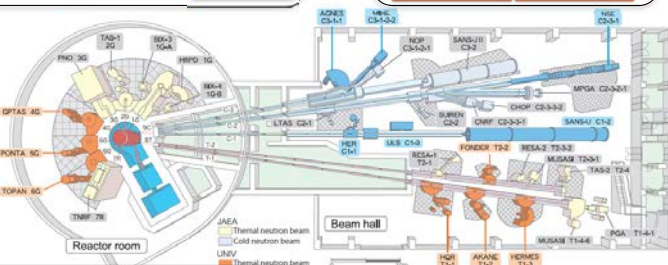
JAEA所管の16台の装置のうち、12台をMSRCで維持・管理

研究グループは、基本的に装置によるグルーピング

### 応力評価解析研究Gr.



### \*イメージング・分析技術研究Gr.

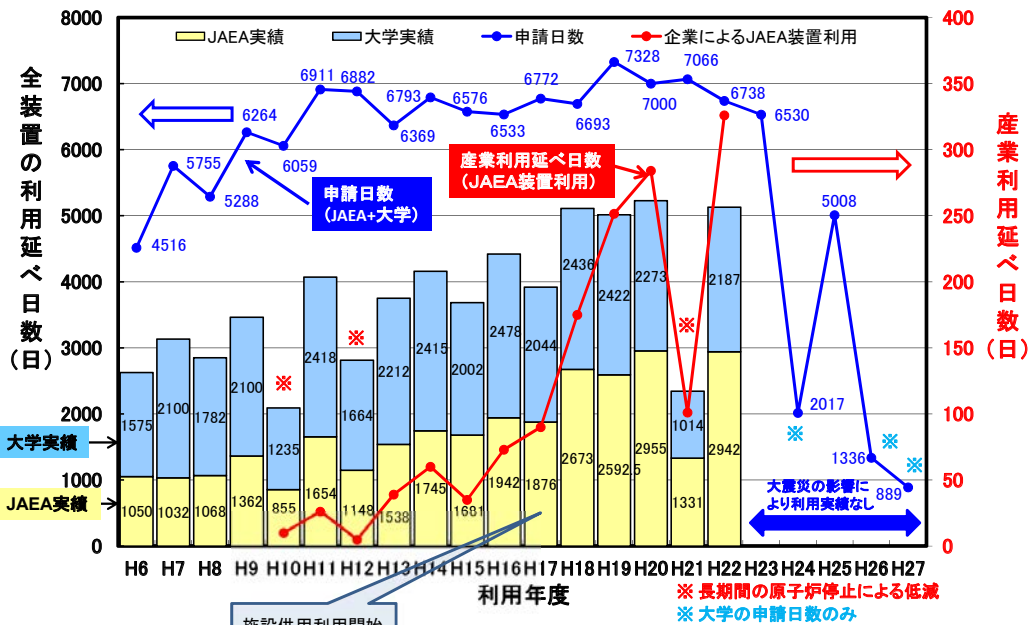


# JRR-3

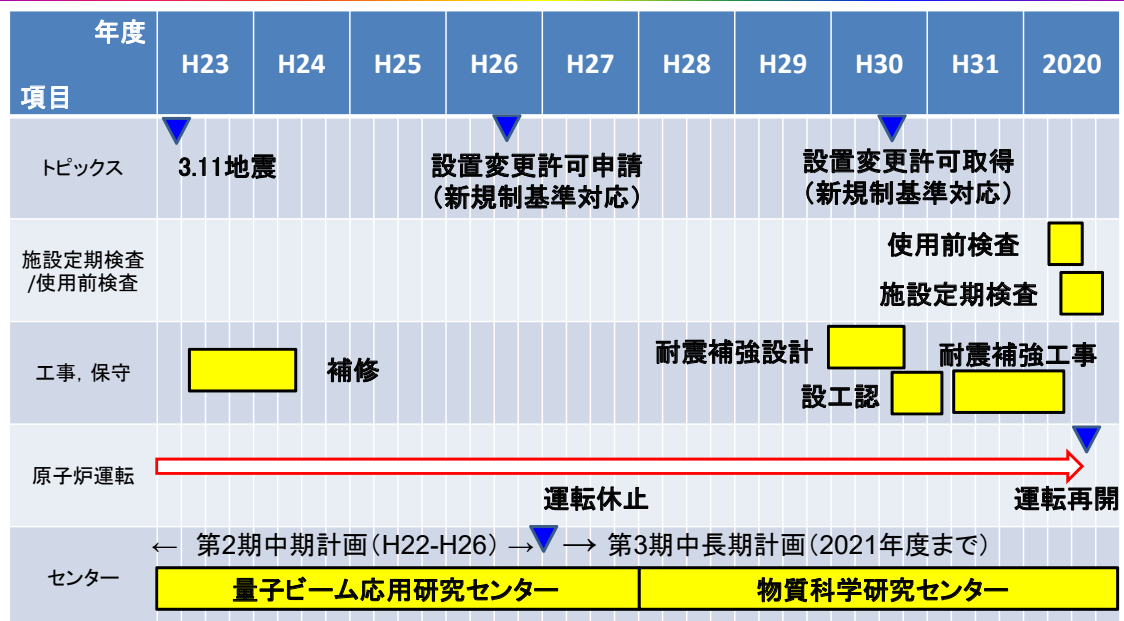
\*H30.7.1付けで客員GLを配置



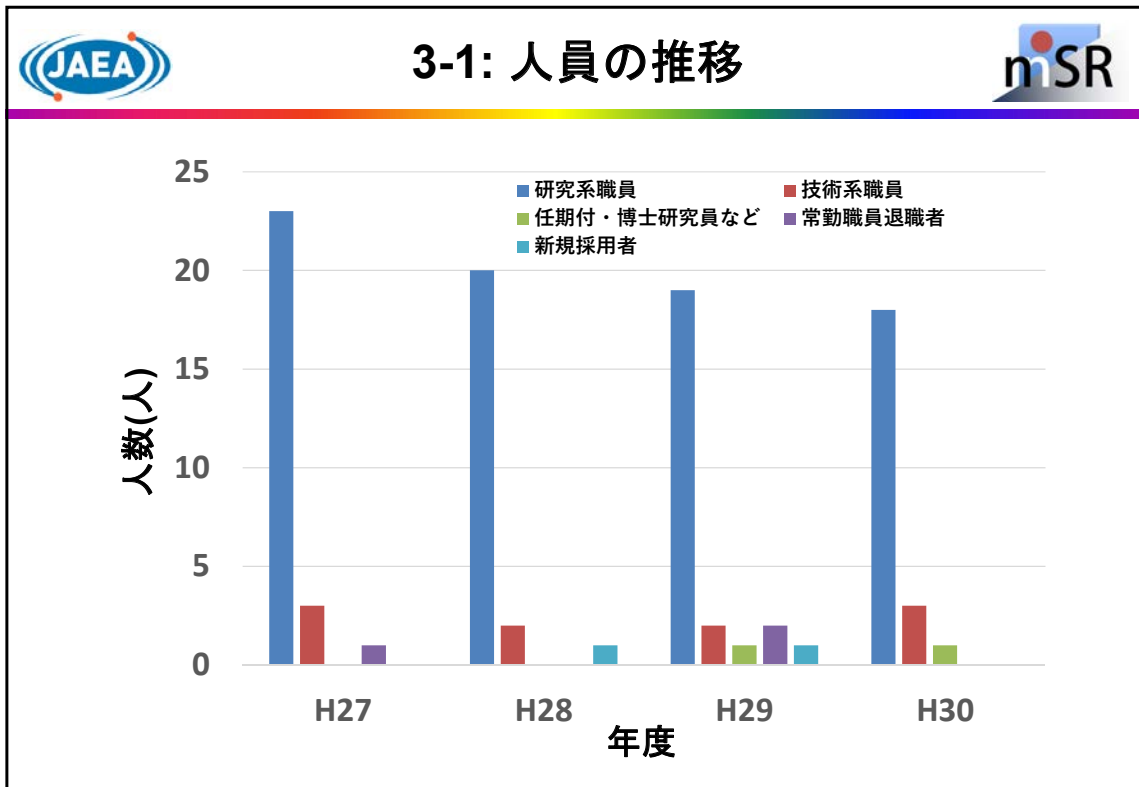
## 2-3: JRR-3の利用ニーズとその実績



## 2-4: JRR-3の運転再開までの道のり



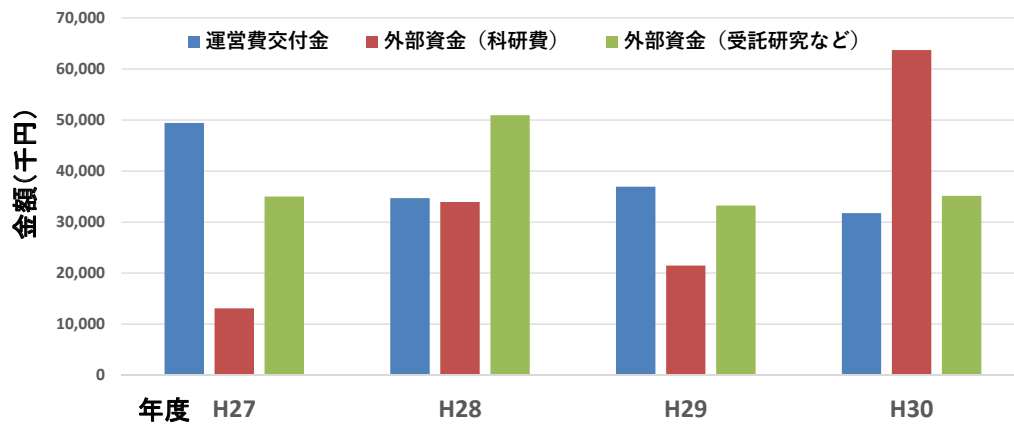
1. 原子力機構における  
中性子材料解析研究ディビジョンの位置づけ
2. 施設の運転・利用状況
- 3. ディビジョンの研究開発進捗状況**
4. ディビジョンの課題
5. まとめと展望







### 3-2: 研究費の推移



主要な機構内外の競争的資金

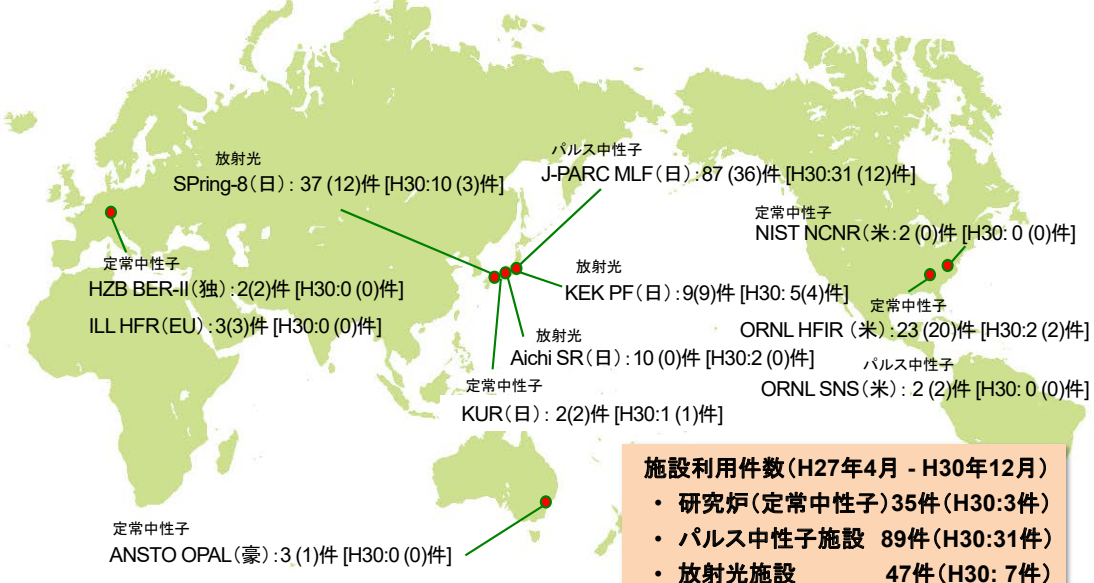
|                                                                                    |          |          |                           |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|---------------------------|
| 文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」「原子力発電機器における応力改善工法の長期安全性評価のための基盤技術開発」 | H26～28年度 | 文部科学省    | 38,000千円<br>(H27, 28年度分)  |
| 戦略的創造研究推進事業(個人研究(さきがけ))「中性子散乱と計算機科学の融合によるタンパク質のドメインダイナミクスの解析」                      | H26～29年度 | JST      | 47,000千円<br>(H27 - 29年度分) |
| 理事長裁量経費「重水素化に頼らない中性子構造解析技術の開発」                                                     | H30年度    | 機構内競争的資金 | 58,000千円                  |



### 3-3: JRR-3の運転停止期間中の活動

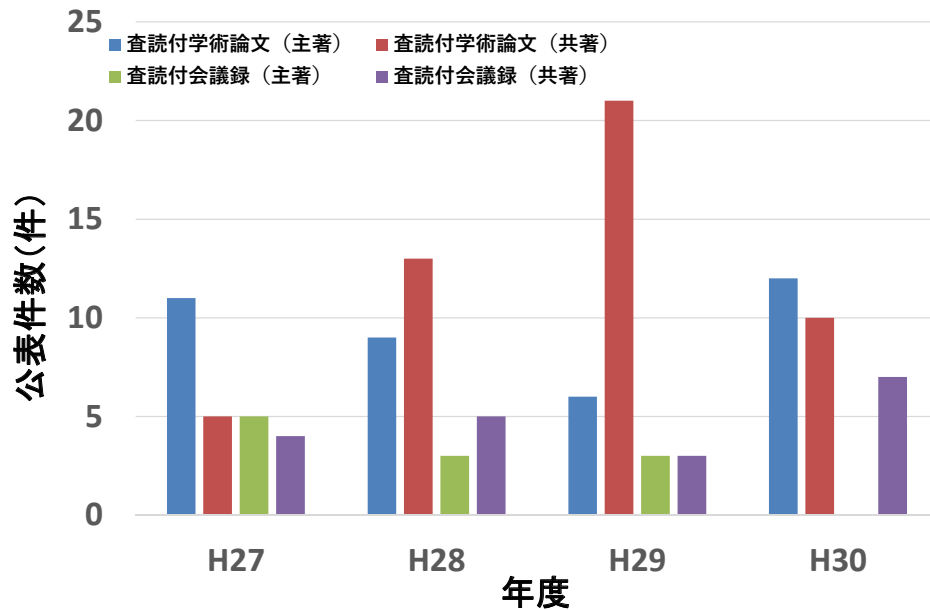


J-PARC, SPring-8をはじめ国内外の中性子・放射光実験施設で研究を推進

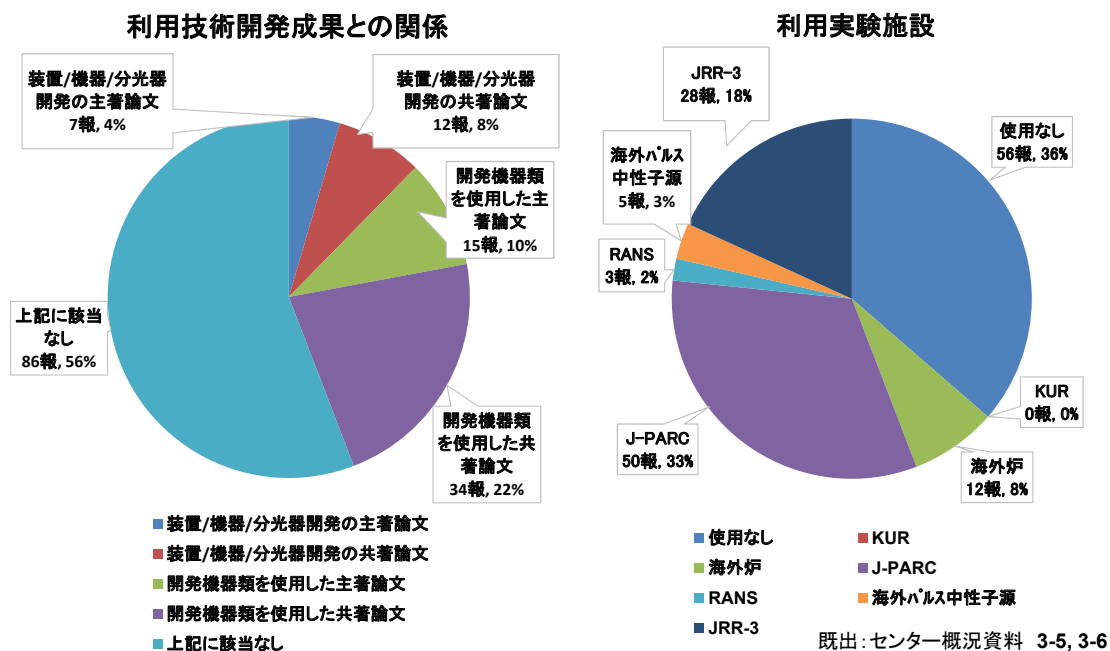




### 3-4: 論文数の推移



### 3-5: 論文の分類





### 3-6: ディビジョンの成果のまとめ



#### 多重自由度相関研究Gr:

世界に例のない独自の高圧下物性測定手法や磁気PDF解析手法の開発により強相関電子系の研究を推進

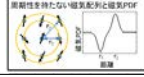
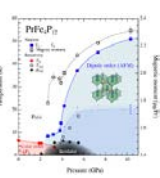


Fig.4 in K. Kodama *et al.*, JPSJ **86**, 124708 (2017).

高圧下中性子-電気同時測定技術の開発と電子化合物への応用

磁気PDF理論式の導出と中性子回折データへの適用

#### 階層構造研究Gr:

放射光と中性子を用い原子レベルからサブミクロンスケールの階層構造を決定しその機能発現メカニズムを解明

Fig.1 in R. Motokawa *et al.*, Macromolecules **49** (2016).

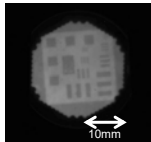
重合誘起フォトニック結晶作製法の開発

Fig.2 in R. Motokawa *et al.*, ACS Cent. Sci. **5** (2019).

抽出溶液における第三相生成機構解明

#### イメージング・分析技術研究Gr:

測定技術の高度化研究を推進、さらに培われた知識・経験・技術を他分野の応用へ展開



微細細管構造を利用した中性子用蛍光版の開発

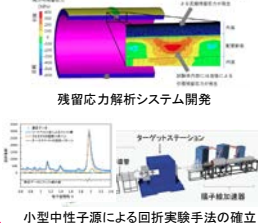
右: ロボットによる試料の自動処理技術



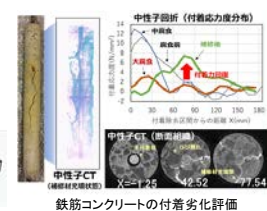
イメージング測定技術による植物体内放射性セシウム動態観察

#### 応力評価技術研究Gr:

大型構造物の強度信頼性評価を実現するための測定・解析技術の開発およびその応用研究を推進



小型中性子源による回折実験手法の確立



鉄筋コンクリートの付着劣化評価

1. 原子力機構における  
中性子材料解析研究ディビジョンの位置づけ
2. 施設の運転・利用状況
3. ディビジョンの研究開発進捗状況
4. ディビジョンの課題
5. まとめと展望



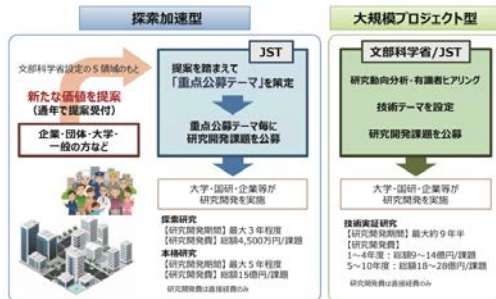


## 4-3: 予算削減への対応

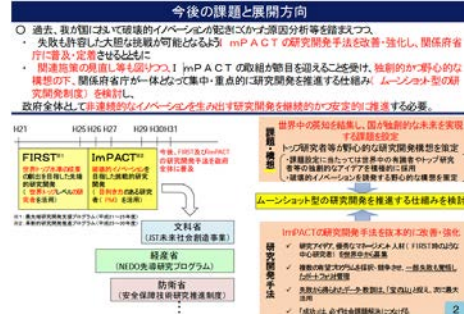


### 国が事業展開する大型研究競争の資金への基盤研究施設としての参画を目指す

#### 未来社会創造事業



#### ムーンショット型研究開発制度



### 機構内競争的資金の獲得を目指す（播磨に主担当をおきセンターとして活動）

理事長ファンド「萌芽研究開発制度」 センター内採択数 H30 2名, H29 2名, H28年 0名  
200万円/年程度個々の研究者の研究動機維持に有効

#### 理事長裁量経費 H30年度から

- ・重水素化に頼らない**中性子構造解析技術の開発** 58百万円
- ・マイクロデバイスを用いた環境分析プラットフォームの構築 20百万円
- ・JRR-3ハブ構想の実現に向けて（JRR-3冷中性子導管スーパーミラーの更新による**中性子強度5倍化**）120百万円



## 4-4: 研究者の減少とその対策

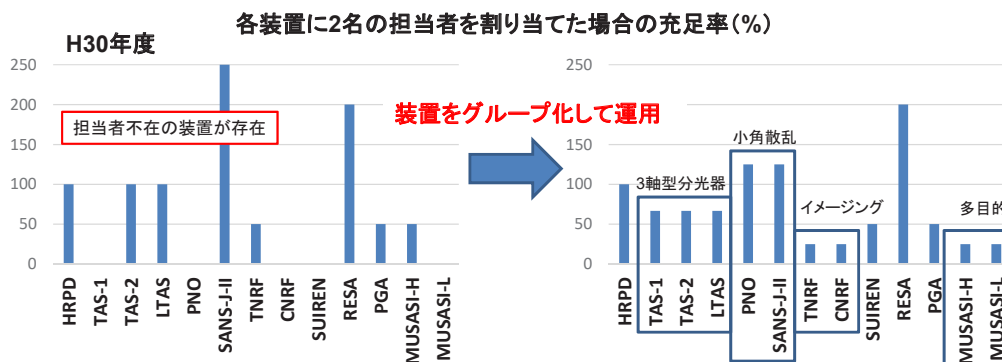


### 研究者数は微減だがJRR-3の運用に支障がある状況になっている

研究職の平均年齢は 44.1歳（技術職: 47.3 歳） H30.4.1時点

H20年度: 合計22名\*の装置担当者が14台の装置を担当

H30年度: 合計18名の装置担当者が13台の装置を担当



\*総数は30名: J-PARC所属、量子科学技術研究開発機構に転籍した方は除いた数字





## 4-5: 機構内外の研究者との連携



### 機構内外の連携によるイメージングプラットフォームの構築

齋藤泰司リーダー（客員研究員）\*

京都大学複合原子力科学研究所 教授

H30.10.1より活動開始

\*H31.4.1のグループ再編でリーダーは退任

KUR(E-2 & B-4)

省略

（本務者）

酒井卓郎マネージャー（主任研究員）

大澤崇人研究主幹

飯倉寛技術副主幹

JRR-3 (TNRF)

H31.4.1付 研究系職員採用予定

（兼務者 中性子利用セクション）

及川健一研究主幹

篠原武尚研究主幹

甲斐哲也研究副主幹

MLF(螺鈿)

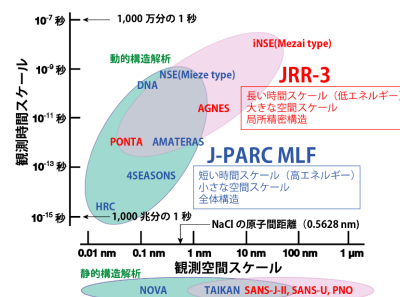
（小型中性子源）



## 4-7: 物質生命科学ディビジョンとの連携



省略



運転再開後に、大強度定常中性子源(JRR-3)と大強度パルス中性子源(MLF)の  
相補利用による中性子科学の推進が可能に

両者の密接な連携は必要不可欠

中性子材料解析Div.

物質・生命科学Div.

日本の大きな優位性

研究成果の最大化  
国際競争力の維持

具体的な連携については検討中



1. 原子力機構における  
中性子材料解析研究ディビジョンの位置づけ
2. 施設の運転・利用状況
3. ディビジョンの研究開発進捗状況
4. ディビジョンの課題
5. まとめと展望



## 5-1: 評価期間内の成果のまとめ



- ・JRR-3の運転再開に向けた準備
- ・中性子利用技術開発
- ・国内外の中性子実験施設及び放射光施設を使った研究

を実施して下記の結果を得た（）内はH30年度分

査読付論文\* 87報[内主著 38報]（22 報[内主著 12報]）  
プレス発表 6件（1 件）

基調講演 2件（0 件）  
招待講演 31件（8 件）

特許取得 1件（1件）  
特許申請 2件（1件）

外部資金 286百万円(98百万円)  
内科研費以外の外部資金 154百万円(35百万円)

\*会議録は含まず



## 5-2: 評価期間内の成果のまとめ



### 科研費以外の外部資金で実施している研究開発

- ・戦略的創造研究推進事業(さきがけタイプ)  
中性子散乱と計算機科学の融合による蛋白質のドメインダイナミクスの解析
- ・原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ  
原子力発電機器における応力改善工法の長期安全性評価のための基盤技術開発
- ・「国家課題対応型研究開発推進事業」廃炉加速化研究プログラム  
ロボット制御技術を用いた廃棄物中放射性核種分析の自動前処理システムの開発
- ・産学共創基礎基盤研究プログラム\*(2件)  
「鋼材／潤滑油」界面における機能性ヘテロノ構造制御に基づく  
転動疲労高特性化のための指導原理の確立
- マイクロな内部応力の不均一分布形成機構の理解とその制御技術の確立

\*「革新的構造用金属材料創製を目指したヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築」



## 5-3: JRR-3運転再開に向けた取り組み



### 事業計画統括部(東京), 研究炉加速技術部, 研究連携成果展開部 との連携により活動



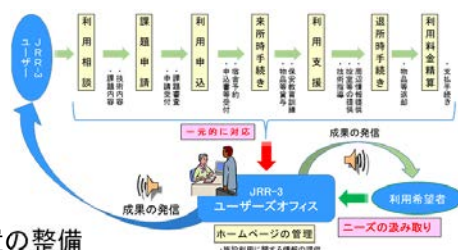
概算要求, 大型競争的資金の獲得を  
狙った将来計画の策定

J-PARC MLFとの相補性を意識

物質と物性の理解を究め物質観を構築し, 新物質を探索すると同時に, 新機能物質の創成を目指す  
新しい技術や産業の根幹をなす知と技を生み出す  
日本学術会議「理学・工学分野における科学・夢ロードマップ2014」より

### 運転再開後の利用者支援の 充実を目指した取り組み

センター内に運転再開準備WGを設置し,  
H29.1から活動を開始  
1班: 装置, 2班 UO, 課題審査, 3班 試料環境装置の整備







## 5-4: 次期中長期目標期間に向けた活動 mSR

### JRR-3の将来計画検討

原子力機構と東京大学との間の連携協力協定に基づく、JRR-3中性子ビーム利用推進委員会の下に、装置の再配置や組織の壁をまたいだ協力体制などを議論するためのJRR-3将来計画委員会設置

#### ○JRR-3 将来計画検討委員会(固体物理分野)検討結果報告書

(主査:東北大学 多元研 佐藤卓教授) 2018年7月30日

#### ○小角・高分解能装置検討委員会

(主査:京都大学 複合原子力科学研究所 杉山正明教授)  
2018年7月28日発足(今年度末報告書提出予定)

○応力評価, ラジオグラフィ, 放射化分析などは,  
研究会形式で利用者とその分野の将来計画を議論



## 5-5: 次期中長期目標期間に向けた活動 mSR

### 日本学術会議や日本中性子科学会など関係学協会との連携



委員として議論に参加,  
または積極的に意見を  
発信

#### ●提言 研究と産業に不可欠な中性子の供給と研究用原子炉のあり方

平成30年8月16日

##### 3 提言の内容

(3) 中性子ビームの利用を促進するために、JRR-3の早期の再稼働を進め、冷中性子源の増強と中性子導管のスーパーミラー化等の高度化を図ることが必要である。また、長期的な観点から時間を要するJRR-3の次期炉の検討を早急に進めるべきである。

日本学術会議

上記以外にも関連するふたつの提言が公表されている

- ・平成25年(2013年)10月16日 研究用原子炉のあり方について
- ・平成26年(2014年)9月26 発電以外の原子力利用の将来のあり方について

#### ●ロードマップ検討特別委員会提言と評議員会の決定に関する報告

(2018.07.09)

##### 第四章中性子源を基軸とする施設間連携のあり方

中性子利用の体系化、及びコミュニティの将来ビジョンと施設の将来計画の調和といった課題を踏まえ、多様な中性子施設が連携してプラットフォームを構築することを提言する。

日本中性子科学会

- ・次世代研究用原子炉検討特別委員会報告書(2012-12-10)
- ・次世代研究用原子炉検討特別委員会(中間報告):  
J-PARC/MLFと共存するJRR-3の役割と重要性(2011-8-11)
- ・包括的中性子利用を支える施設運営について  
- 中性子プラットフォーム構築へのロードマップ - 最終報告(2007-4)
- ・包括的中性子利用のあり方について-最終報告書-(2006-3)
- ・大型施設共用問題特別委員会報告(2004-8)

## 参考資料 代表的成果

### (H27.4.1 – H30.12.31)



#### 代表的成果(1): 磁気対相関関数(磁気PDF)解析法の開発



研究目的: 中性子回折データから磁気対相関関数(磁気PDF)を導出し、それを用いて短距離相関しか持たない磁気構造を解析する手法を開発する。

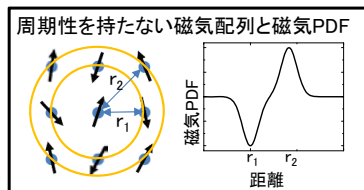
研究成果: 修正を加えた磁気PDFの理論式を提案し、さらに標準試料を用いて磁気PDFの実験値と理論値が一致することを確認し、その妥当性を示した。

磁気PDFをシミュレートする式を提案

$$G_M(r) = \frac{1}{N} \frac{3}{2M^2} \sum_{i,j} \left\{ \frac{A_{i,j}}{r} \delta(r-r_{i,j}) + B_{i,j} \frac{r}{r_{i,j}^3} [1-H(r-r_{i,j})] \right\} - \frac{3}{2M^2} 4\pi\rho_0 \langle A \rangle$$

標準試料で得られた磁気PDFと比較

修正によって追加された項



反強磁性体  
MnF<sub>2</sub>

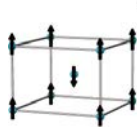


Fig.4 in K. Kodama *et al.*, JPSJ **86**, 124708 (2017).

強磁性体  
MnSb



Fig.5 in K. Kodama *et al.*, JPSJ **86**, 124708 (2017).

実験値(○)と  
計算値(実線)  
が一致

*J. Phys.  
Soc. Jpn.*  
誌掲載  
(2017)

今後の計画・課題: スピングラス、スピン液体など長距離周期のない磁気構造をもつ物質系に適用することにより、新奇な磁性を示す磁性体の磁気構造解析を行うとともに、磁気PDF解析法の有効性を示す。



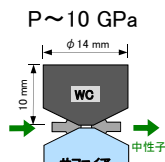
## 代表的成果(2): 極限環境下中性子利用技術の高度化



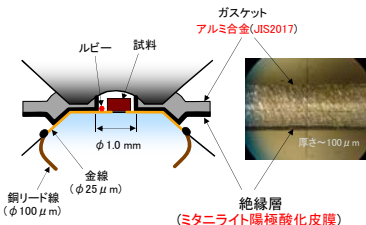
研究目的: 圧力が誘起する新奇物性を構造-磁性-電気(伝導・分極)から探索してメカニズムを解明する。特に、圧力環境に左右されない精密なデータ取得のため、機構独自の中性子用高压技術に特殊な電気測定手法を開発導入し、中性子との同時測定を目指す。

研究成果:

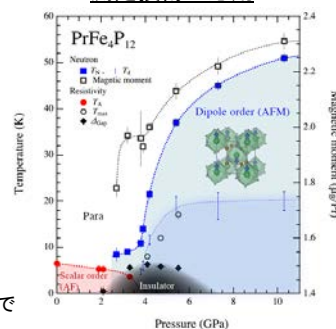
中性子用ハイブリッドアンビル(HA)



電気伝導・電気分極測定技術の導入



測定技術の応用



【世界に例のない独自の高压下物性測定手法】 高压力の科学と技術 誌掲載 (2015)

A2017アルミ合金にミタニライト皮膜を組み合わせた絶縁ガスケットを開発し、6GPa程度までの電気伝導との同時測定技術を構築。電気分極との同時測定技術も開発中。

➡ 充填スクッテルダイト化合物 $\text{PrFe}_4\text{P}_{12}$ の高压下反強磁性秩序相内で $c-f$ 混成(近藤効果, 混成ギャップ)が明瞭に存在し、これらが競合している様子を明らかにした。中性子回折と同一加圧条件の測定が可能になった事による成果

今後の計画・課題: JRR-3運転再開後、強相関希土類化合物やマルチフェロイック物質等の遷移金属酸化物の中性子と電気(伝導あるいは分極)の高压下同時測定を実施。また、MLF(BL18)の単結晶回折実験やILLの偏極解析実験等、国内外中性子施設へのHA高压技術を展開。



## 代表的成果(3): 放射性廃棄物処理に用いる抽出錯体のナノ構造解析



研究目的: 使用済み核燃料抽出溶液において抽出を阻害する第三相の形成メカニズムを解明することで、分離技術の高効率化につながる抽出溶媒開発の指針を得る。

研究成果: 広域X線吸収微細構造(EXAFS)法と中性子小角散乱(SANS)法を組み合わせ使用済み核燃料抽出溶液における第三相前駆体の構造解析を行った

実験結果(原子力機構)

Fig.3 in R. Motokawa et al., ACS Cent. Sci. 5 (2019).

分子動力学計算(マンチェスター大)

Fig.2 in R. Motokawa et al., ACS Cent. Sci. 5 (2019).

水素結合による一次凝集体 ファンデルワールスによる高次凝集体

溶質濃度増加に伴い、水素結合による一次凝集体同士がファンデルワールス相互作用によってさらに集まり高次凝集体を作る

ACS Central Science誌に掲載(IF11.2、ハイライトに選出)

今後の計画: 本研究の知見を、分離技術の高効率化に資する抽出溶媒の開発、またADS用新規抽出溶媒の開発に生かす。



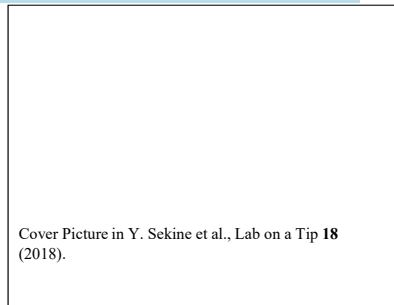
### 代表的成果(4):ウェアラブルデバイスの開発



研究目的: 微細加工技術、蛍光評価技術を集約して、汗を利用した簡易なヘルスマニタリングを可能にするウェアラブルマイクロ流路デバイスを実現する。

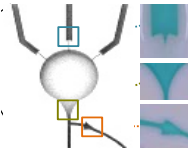
研究成果: 柔軟性を有する薄膜フィルムに反応流路を微細加工することにより、皮膚に貼るだけで汗の定量収集に成功した。さらに蛍光評価技術を集約させ、汗に含まれる微量マーカのその場観察を行った。

#### ウェアラブル流路による汗の収集とバイオマーカのその場観察



\*Northwestern大との共同研究

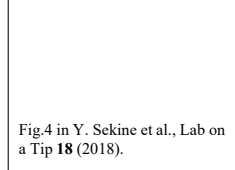
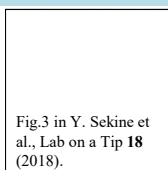
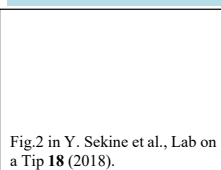
#### 流体力学に基づくバルブ設計



$$BP = -2\sigma \left[ \frac{\cos\theta_1}{b} + \frac{\cos\theta_2}{h} \right]$$

BP: 破壊圧力,  $\sigma$ : 液体の表面張力,  $\theta_1$ : チャンネルの接触角,  $\theta_2$ :  $\min[\theta_1 + \beta; 180^\circ]$ ,  $\beta$ : チャンネルの分岐角,  $b$  と  $h$ : 分岐部分の幅と高さ

#### スマートフォンによる蛍光イメージング



Lab on a Chip誌に掲載 (IF5.9, Back coverに選出)

今後の計画: 微細加工技術と中性子解析により開発を進めるプローブ分子を組み合わせ、超小型重金属センサーやヘルスマニタリング新規センサーの開発に生かす。

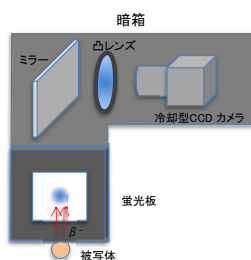


### 代表的成果(5): 中性子イメージング測定技術に応用した植物体内放射性セシウムの動態観察技術



研究目的: 福島環境回復・食の安心安全のため、放射性セシウムなどの有害元素の植物体内動態を可視化する技術開発を行う。

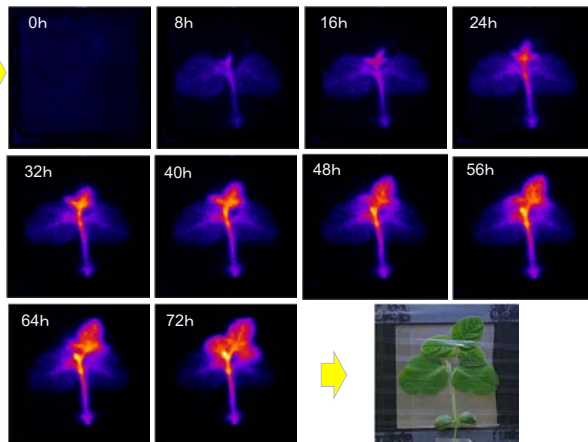
研究成果:  $\beta$  線による発光をカメラで観測、植物体内の放射性セシウムの移行・吸収過程を可視化することに成功。



測定系模式図  
(独自開発した蛍光板により、 $\beta$ 線を高効率に検出)



ダイズを $^{137}\text{Cs}$ 含有水耕液で栽培



Cs濃度低 Cs濃度高

撮影後

10分間隔で植物体内のセシウム移行過程を連続撮影

今後の計画: 共同研究先である量研機構、東大(農)の植物研究者と共に研究を進め、ファイトレメディエーションによる除染技術、安全な農作物の供給に貢献する。

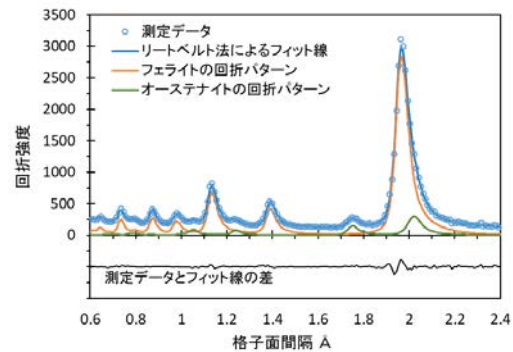
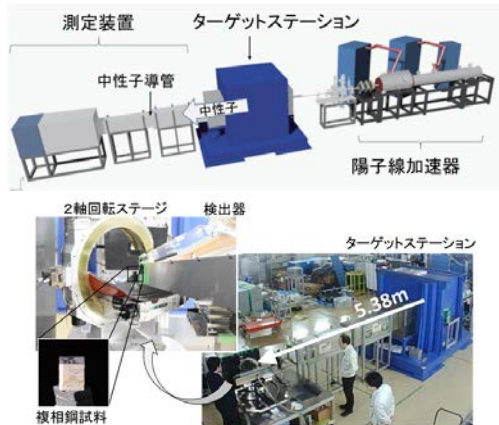


### 代表的成果(6):軽量化を可能にする鋼材開発に向けた 新たな分析手法の確立



研究目的: 小型加速器中性子源を利用した中性子回折実験手法を確立するとともに、それにより鉄鋼材料開発や加工プロセス開発に重要な残留オーステナイト測定を実現する。

研究成果: 小型加速器中性子源を利用した中性子回折手法の開発により、1%以内の精度で鉄鋼材料の残留オーステナイトの相分率測定に成功した。



**残留オーステナイト相分率: 13.1%**  
J-PARC MLFの匠で測定した結果**13.9%**  
(差1%以内で一致)

今後の計画: 小型加速器中性子源を利用した中性子回折集合組織測定技術を確立するとともに、小型加速器中性子源を利用したひずみ測定技術についても検討を開始する。

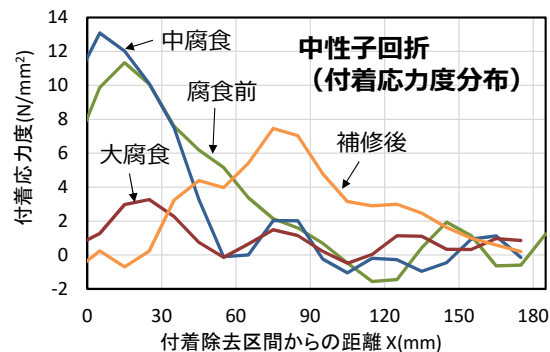
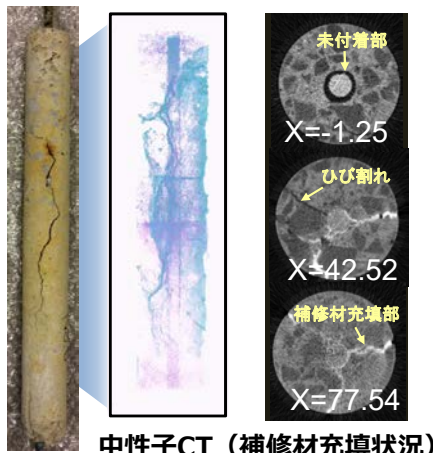


### 代表的成果(7):鉄筋コンクリートの付着性能評価技術の開発とその応用



研究目的: 中性子回折法や中性子イメージング技術を用いることにより、鉄筋コンクリートの新しい付着性能評価技術を確立し、それを新しい施工技術の開発に応用する。

研究成果: 中性子回折法と中性子イメージング技術の相補利用により、鉄筋腐食に伴う付着劣化と、腐食ひび割れの補修による付着力回復の効果を明らかにした。

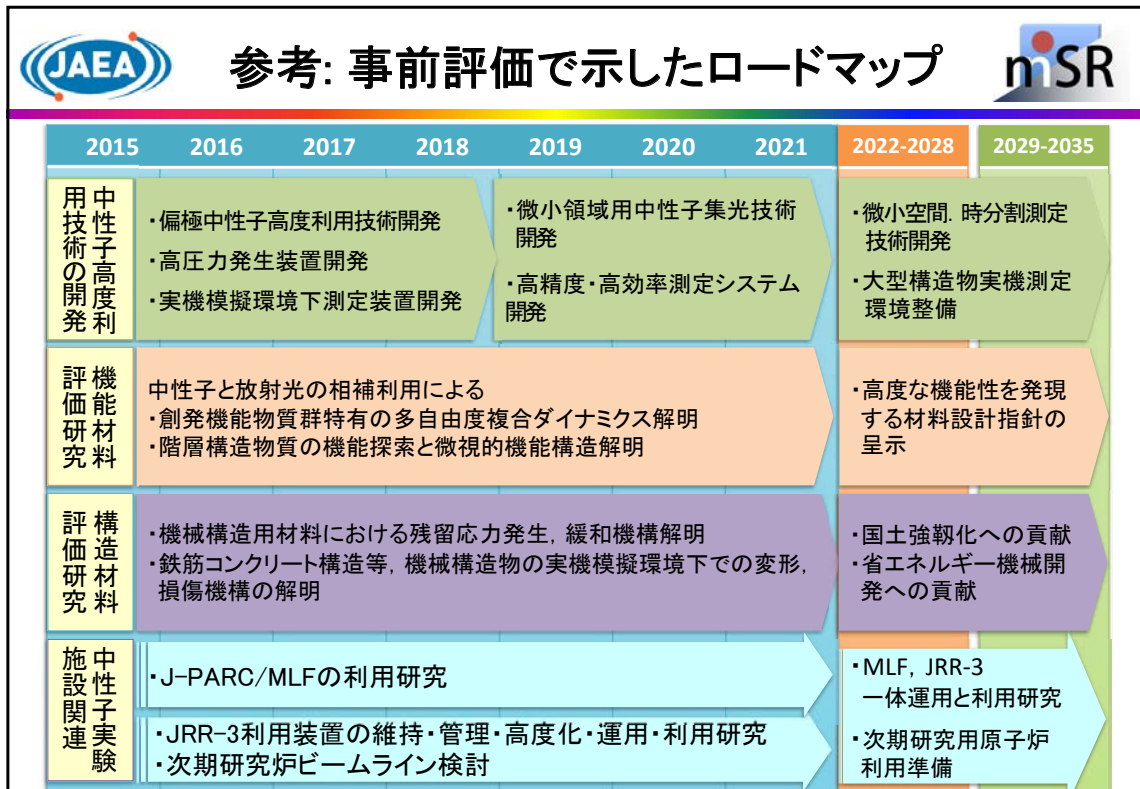


- 中性子回折法により付着応力度分布の変化を実測
- 中性子CTにより補修材の充填状態を直接観察

今後の計画: 防食鉄筋の利用や接着系あと施工アンカー技術に着目し、それらの付着性能とその長期耐久性に関する研究を進めるとともに、本測定技術の産業利用への普及を図る。



## 参考資料 ロードマップ





第3回中性子及び放射光利用研究開発・評価委員会

資料 3-7

平成31年2月4日

**物質科学研究センターにおける放射光利用研究開発  
(評価期間 H27.4.1 – H30.12.31)**

**放射光による材料の構造解析技術開発とその利用研究  
(播磨地区)**

**物質科学研究センター  
放射光エネルギー材料研究ディビジョン長：西畑保雄**

- 1. 原子力機構における  
放射光エネルギー材料研究ディビジョンの位置づけ**
2. 施設の運転・利用状況
3. ディビジョンの研究開発進捗状況
4. ディビジョンの課題
5. まとめと展望





## 1-1: 第3期中長期目標での位置づけ



### 4. 原子力の基礎基盤研究と人材育成

- (1) 原子力を支える基礎基盤研究，先端原子力科学研究  
及び中性子利用研究等の推進

放射光利用技術開発とそれを使った  
幅広い科学技術・学術への貢献

放射光利用技術開発とそれを使った  
原子力技術・開発への貢献

研究成果の社会への還元



## 1-2: 第3期中長期計画での位置づけ



中長期目標を受け，  
放射光エネルギー材料ディビジョンが立てた計画

- ・ マイナーアクチノイド(MA)分離等のための  
新規抽出剤の開発
- ・ 土壌等への放射性物質の  
吸脱着反応メカニズムの解明など
- ・ 上記による廃炉・廃棄物処理や  
安全性向上への貢献



## 1-3: 研究テーマの3本柱



1. 原子力機構における放射光エネルギー材料研究ディビジョンの位置づけ
2. 施設の運転・利用状況
3. ディビジョンの研究開発進捗状況
4. ディビジョンの課題
5. まとめと展望



## 2-1: 大型放射光施設SPring-8の概要



## 2-2: ビームライン所管の経緯と現状



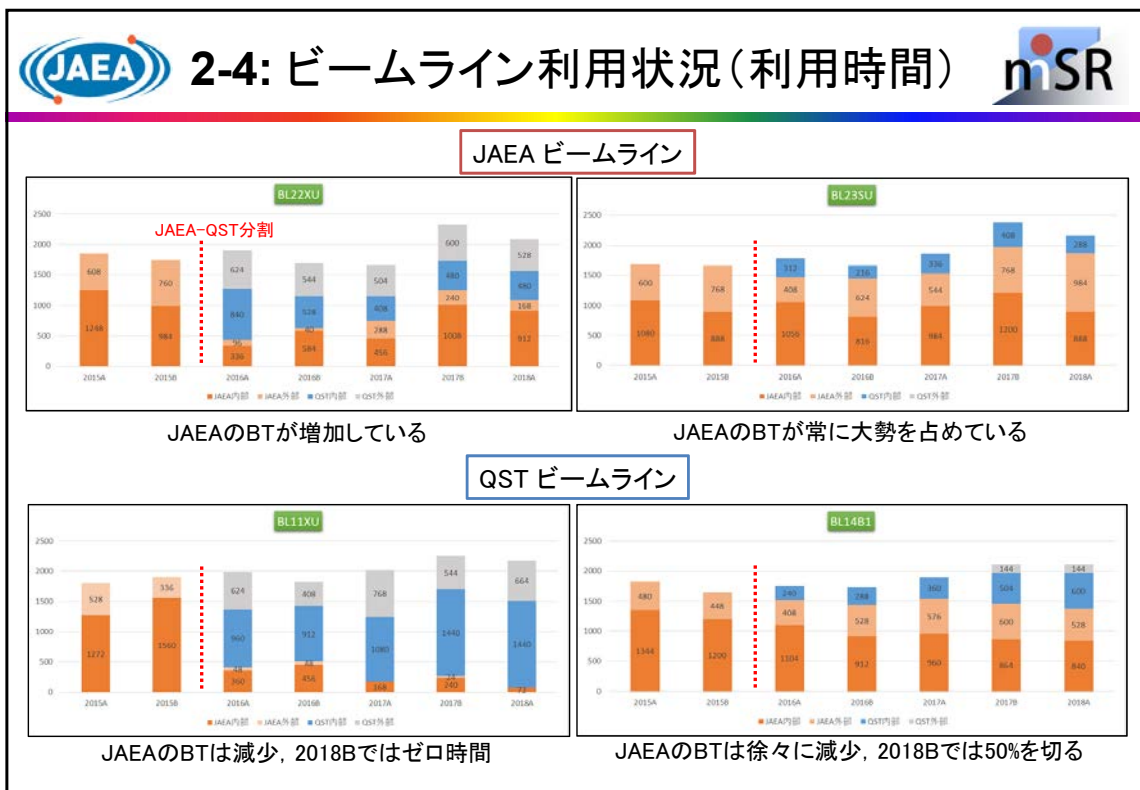
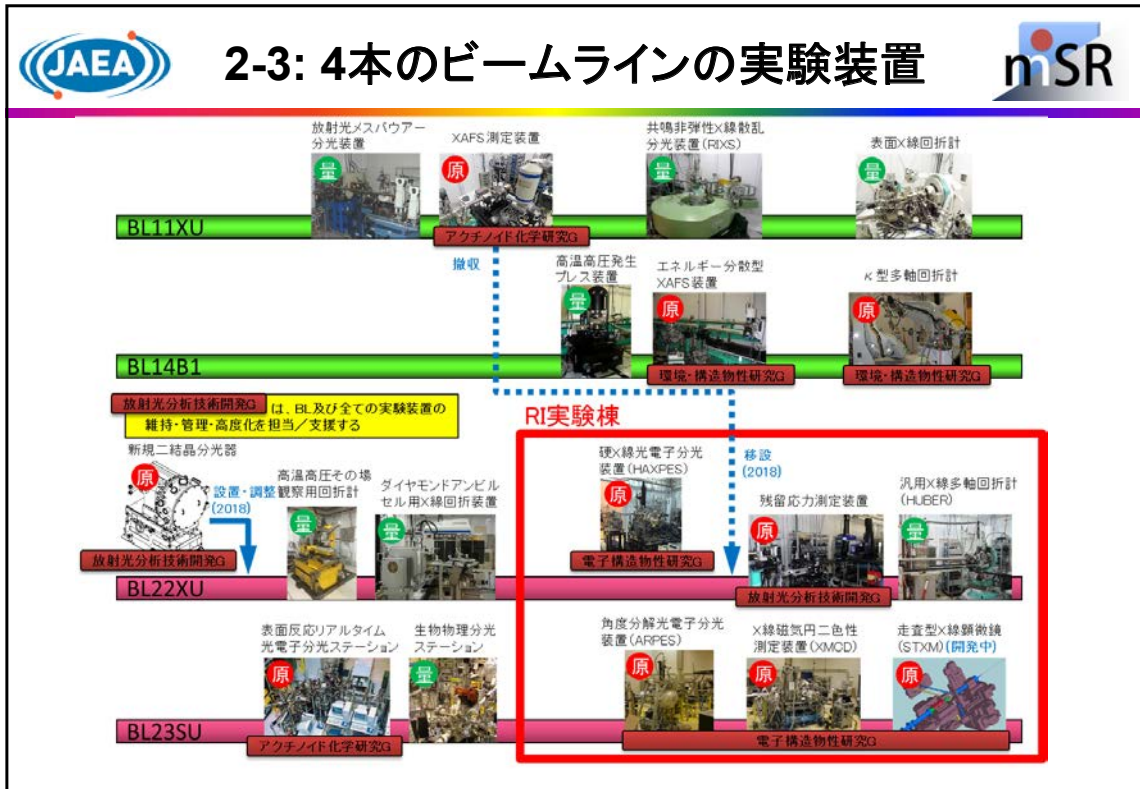
- 量子科学技術研究開発機構 (QST) の発足 (平成28年4月1日) に伴い、播磨地区も含む JAEA の一部業務を QST に移管
- 業務移管に伴い、4本の専用ビームライン (BL) を以下のように分離

BL11XU } QSTへ移管  
BL14B1 }

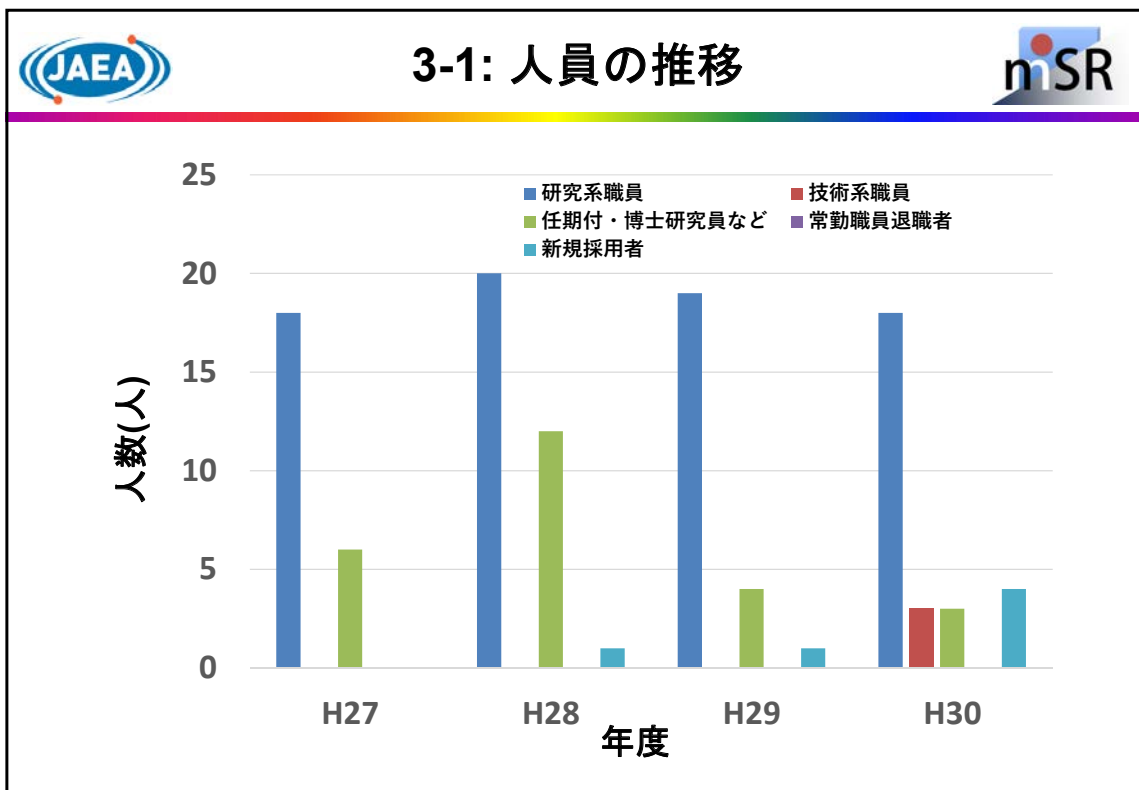
BL22XU } JAEAのミッション (原子力科学の推進)  
BL23SU } を遂行するためにRI実験棟のこれら2本のBLを維持

### □ RI実験棟を活用し物質科学研究を推進

RI実験棟の特徴を活かした放射性物質取扱実験をさらに強力に推進するため実験装置の再配列を計画 → 「今後の研究展開」



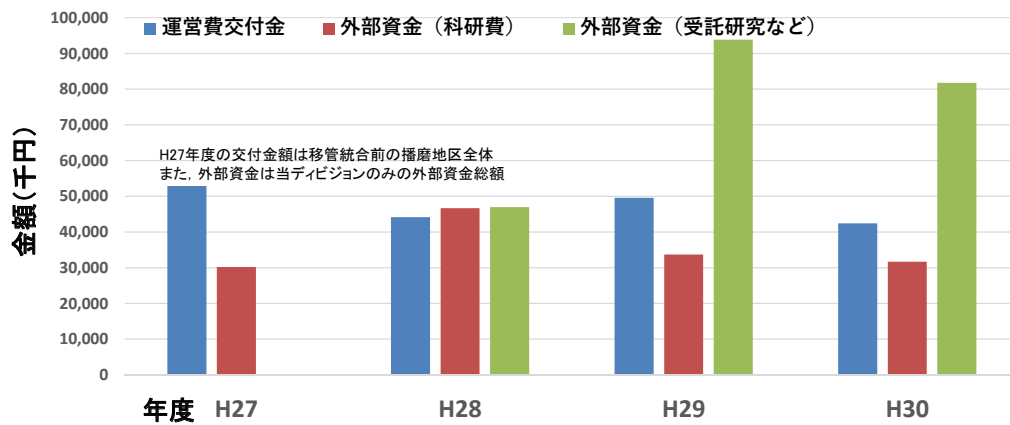
1. 原子力機構における  
放射光エネルギー材料研究ディビジョンの位置づけ
2. 施設の運転・利用状況
3. ディビジョンの研究開発進捗状況
4. ディビジョンの課題
5. まとめと展望







### 3-2: 研究費の推移

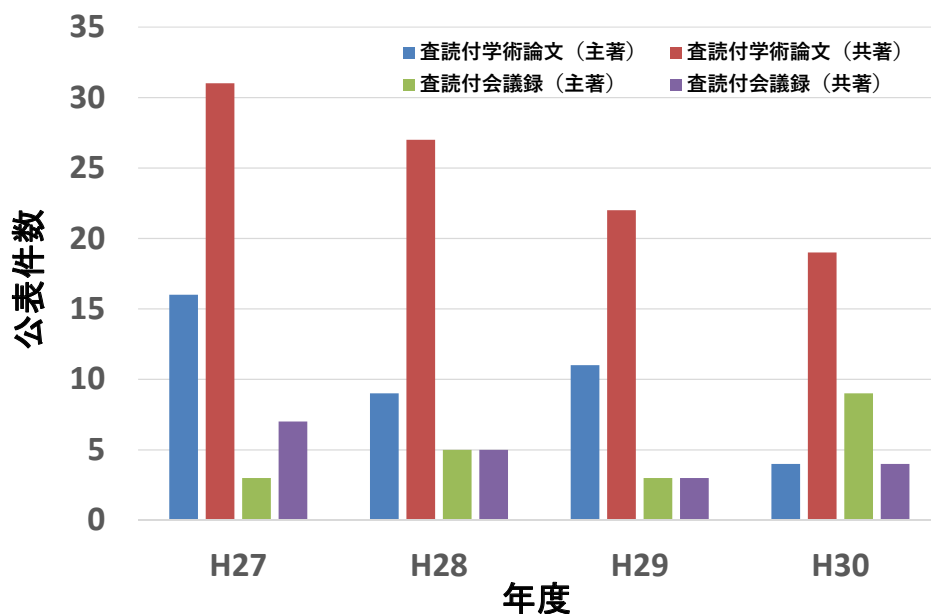


RI実験棟の高度化について、主として以下の予算の獲得により実施している

|                                                                          |          |              |                           |
|--------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|---------------------------|
| 高効率な資源循環システムを構築するためのリサイクル技術の研究開発事業<br>「鋳型分離技術を利用した希土類元素の高精密金属イオンサイズ認識分離」 | H29～34年度 | NEDO         | 106,8759千円<br>(H29, 30年度) |
| 理事長裁量経費「高分解能イメージング技術開発による<br>放射光Spring-8 RI棟の高度化」                        | H30年度    | 機構内<br>競争的資金 | 52,000千円                  |
| 1F廃炉研究開発推進費「デブリ等微粒子解析を目指した放射光分析による<br>放射性元素の化学的挙動の解明」                    | H30～32年度 | 機構内<br>競争的資金 | 100,000千円                 |



### 3-3: 論文数の推移

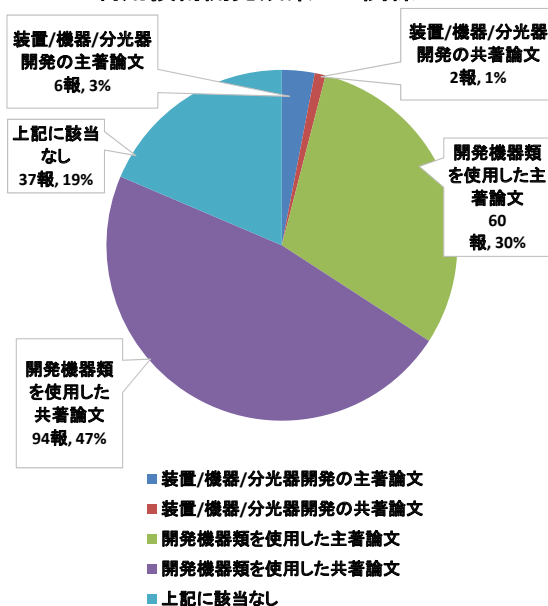




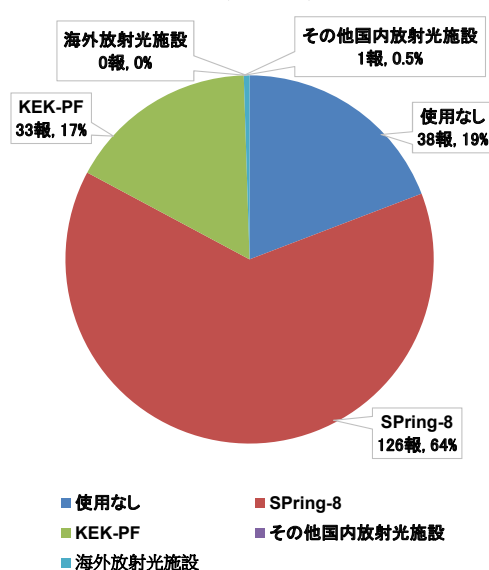
### 3-4: 論文の分類



#### 利用技術開発成果との関係



#### 利用実験施設



既出: センター概況資料 3-5, 3-6

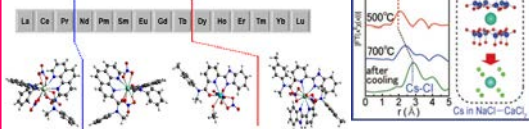


### 3-5: ディビジョンの成果のまとめ



#### アクチノイド化学研究Gr:

放射光分析に基づく分子設計により、アクチノイド分離剤、Cs分離剤を開発し、都市鉱山からの有用元素の回収へ応用した。Cs土壌の減容化に取り組んだ。世界初のEsのXAFS実験を実施した。



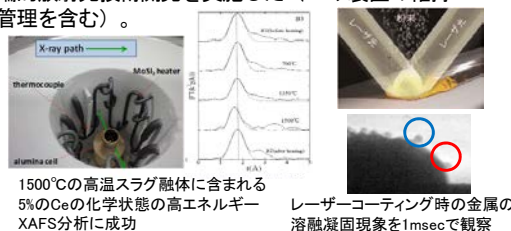
#### 環境・構造物性研究Gr:

XAFS, XRD, SXRDなどを駆使して、物質の機能のメカニズム解明（基礎）と高機能化（応用）に挑む



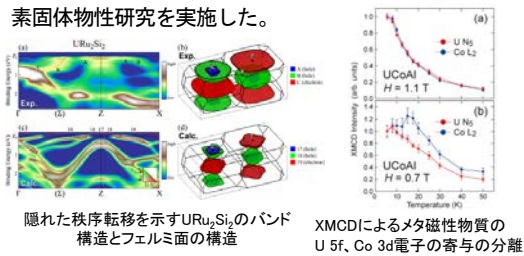
#### 放射光分析技術開発Gr:

原子力や一般産業への放射光分析の応用研究の実施、先端放射光技術開発を実施した (BLや装置の維持・管理を含む)。



#### 電子構造物性研究Gr:

世界で数少ない軟X線を利用したアクチノイドなど重元素固体物性研究を実施した。





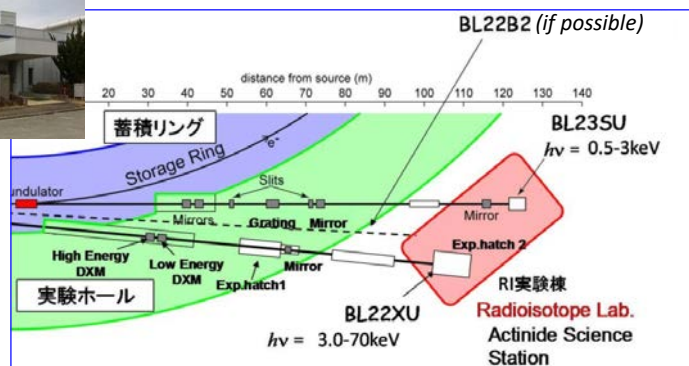
1. 原子力機構における  
放射光エネルギー材料研究ディビジョンの位置づけ
2. 施設の運転・利用状況
3. ディビジョンの研究開発進捗状況
4. ディビジョンの課題
5. まとめと展望



## 4-1: RI実験棟の許認可申請



2019年以降に予定されている世界で初めての福島原発からの実デブリ及び  
MCCI生成物の分析に向け、**RI実験棟**の核燃料使用施設への**許認可申請**を行う  
(MCCI: 溶融炉心コンクリート相互作用)



現在使用可能な核種

| ビームライン | 密封／非密封     | 核種                                |
|--------|------------|-----------------------------------|
| BL23SU | 非密封／コーティング | Tc, Th, U, Np                     |
| BL22XU | 密封／非密封     | Tc, Th, U, Np, Am, Cm, Bk, Cf, Es |

➡ 1F実デブリ取扱い

1. 原子力機構における  
放射光エネルギー材料研究ディビジョンの位置づけ
2. 施設の運転・利用状況
3. ディビジョンの研究開発進捗状況
4. ディビジョンの課題
5. まとめと展望



## 5-1: 中長期目標期間前半の成果



| 研究の3本柱                    | 代表的成果                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| アクチノイド基礎科学                | <ul style="list-style-type: none"> <li>MAの選択的認識化合物、環境負荷の小さいCs抽出剤等の創生に成功した。都市鉱山からの特定のランタノイドの回収に優れており、現在、NEDOプロジェクトとして展開している。</li> <li>ウランを含む化合物の磁性及び電子状態の研究を系統的かつ精密に進めた。</li> <li>世界初のアインスタイニウムの放射光実験を行い、その水和構造を明らかにした。</li> </ul>                                  |
| 環境・エネルギー材料研究              | <ul style="list-style-type: none"> <li>貴金属を使わないアニオン燃料電池の電極触媒の反応メカニズムを解明した。</li> <li>高効率金属材料開発、レーザー加工技術の高度化に貢献した。</li> </ul>                                                                                                                                        |
| 福島事故回復に資する研究（廃炉に資する研究を含む） | <ul style="list-style-type: none"> <li>Csの風化黒雲母への濃集及び化学結合特性の解明により、電気化学的方法、機械的方法など、複数の土壌処理法の提案を行い、土壌の再資源化、低コスト処理法への開発へ展開した。</li> <li>PARの開発では、室温でもCOに被毒されず、水素処理を可能とするメカニズムを解明した。</li> <li>イメージングXAFSによるガラス中の白金族元素の分布及び電子状態の相関関係を明らかにし、ガラス固化プロセスの検討に貢献した。</li> </ul> |



## 5-2: 評価期間内の成果のまとめ



- ・RI実験棟の整備
- ・放射光利用技術開発
- ・SPring-8を主として利用した放射光利用研究

を実施して下記の結果を得た（）内はH30年度分

査読付論文\* 139報[内主著 40報] (33報[内主著 4報])  
プレス発表 5 件 (2 件)

招待講演 17 件 (1 件)

特許取得 3 件 (0 件)

外部資金 365百万円(113百万円)  
内科研費以外の外部資金 222百万円(81百万円)

\*会議録は含まず



## 5-3: 評価期間内の成果のまとめ



### 科研費以外の外部資金で実施している研究開発

- ・微細構造解析プラットフォーム(文部科学省委託 施設供用事業)
- ・エネルギー・環境新技術先導プログラム(NEDO)
  - 動静脈産業連携による循環制御型資源再生技術
  - 情報技術を活用したレアメタル等金属を高効率にリサイクルする革新プロセスの開発-
- ・戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)(NEDO)
  - 高付加価値設計・製造を実現するレーザーコーティング技術の研究開発
- ・国家課題対応型研究開発推進事業(文部科学省)
  - (原子力基礎基盤戦略研究プログラム・廃炉加速化研究プログラム)
  - 発電所隣接サイト外領域における放射性核種の環境動態特性に基づくサイト内放射性核種イベントリ評価に関する研究
- ・光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)(文部科学省)
  - 超短パルスレーザー加工時の原子スケール損傷機構の解明に基づく材料強靱化指導原理の構築



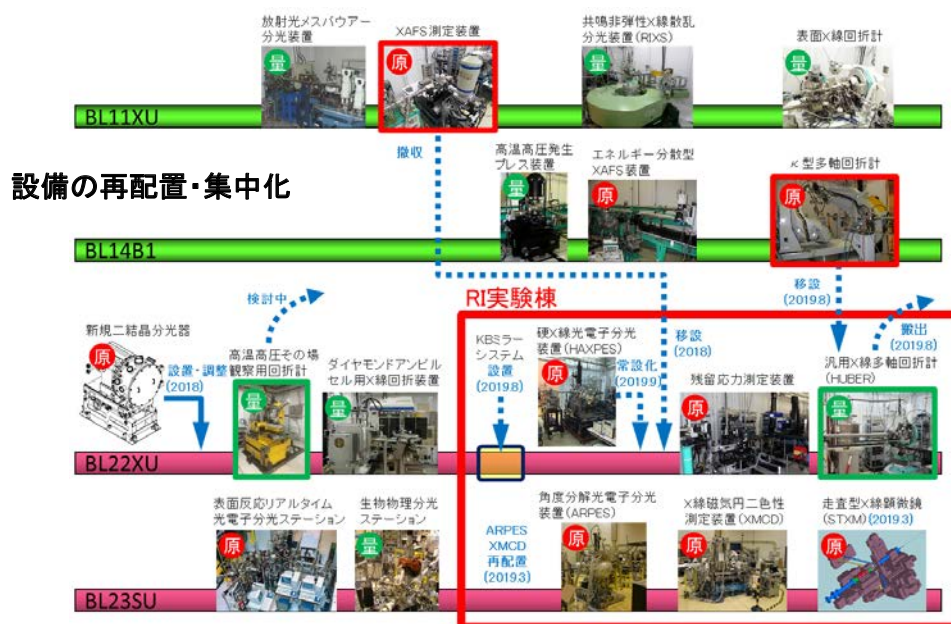
## 5-4: 中長期計画達成に向けた計画

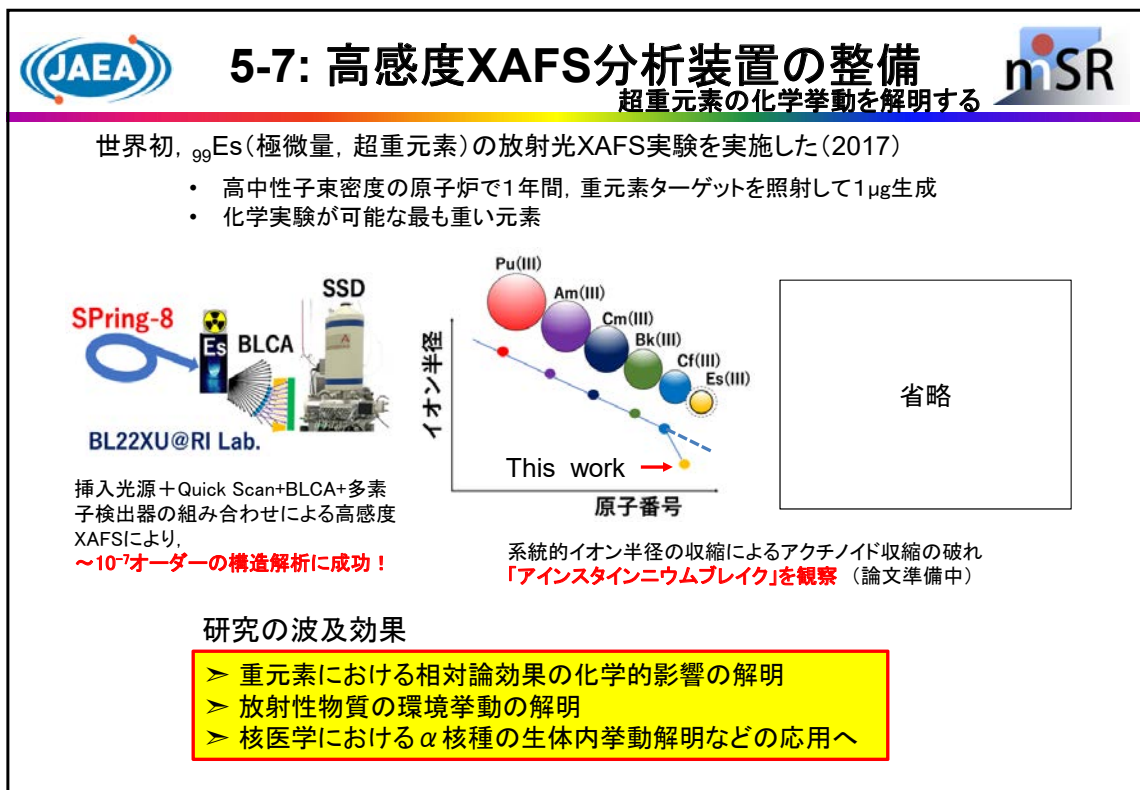
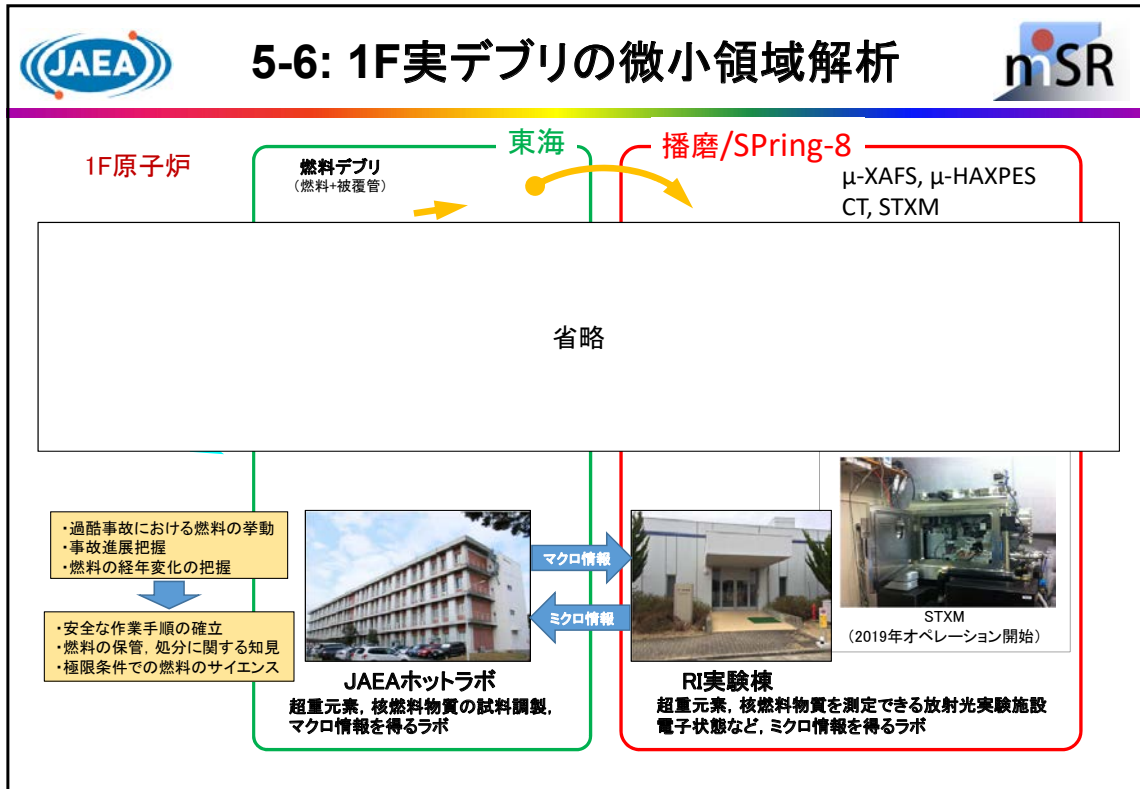


| 研究展開                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ディビジョンの研究の3本柱                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| (1) 1F実デブリの微小領域解析                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 福島事故回復に資する研究<br>(廃炉に資する研究を含む) |
| <p>「高度分光分析応用検討チーム」(2018.6.1発足)<br/>廃炉国際共同研究センター(CLADS)との協力体制</p> <p>① RI実験棟の高度化</p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-right: 10px;">           STXM@BL23SU<br/> <math>\mu</math>-beam@BL22XU<br/>           (<math>\mu</math>-HAXPES, <math>\mu</math>-XAFS, CT)         </div> <div style="font-size: 2em; color: red; margin: 0 10px;">➔</div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px;">           イメージング技術の高度化         </div> </div> <p>② 設備の再配置・集約化 (BL22XU, BL23SU)<br/>2018年より着手しており, 2019年中に完了見込み</p> <p>③ RI実験棟の許認可 (原子力規制庁)<br/>2020年までに, 1F実燃料デブリの受入体制を整える</p> |                               |
| (2) 超重元素の化学                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | アクチノイド基礎科学                    |
| (3) 廃エネルギー変換                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 環境・エネルギー材料研究                  |



## 5-5: RI実験棟の高度化







## 5-8: 廃エネルギー変換技術開発

～ RIの特性を活かしてエネルギー資源に～



ただ埋めておくだけでなく:

- ・RIは長寿命
  - ・安定して放射線エネルギーを放出
- ➡ 天候に依らないエネルギー源  
CO<sub>2</sub>ゼロエミッションにも寄与

省略

参考資料 代表的成果  
(H27.4.1 – H30.12.31)





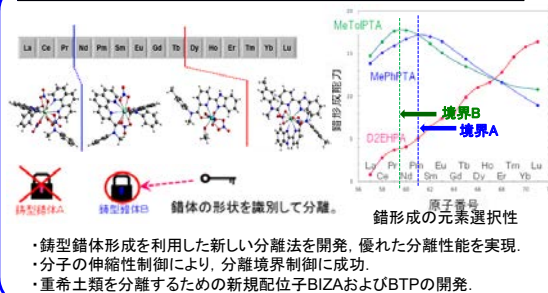
## 代表的成果(1):アクチノイド分離における 新規ハインパクト分離剤の開発と一般産業への応用



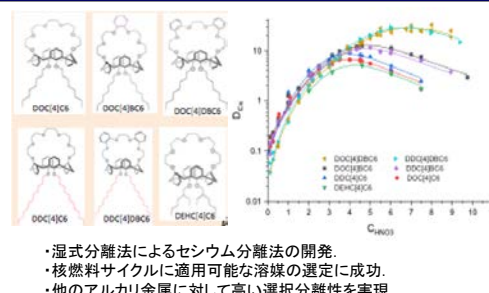
研究目的:放射光X線分析などによる詳細な構造解析に基づく分子設計により,新しい視点でのアクチノイド分離剤, Cs分離剤の開発を行った。また,一連の研究の中で開発したヘテロドナー配位子フェナントロリンアミドを,ハイテク部品からの金属リサイクルへの応用に関する研究を実施する。

研究成果:高レベル廃液処理のために開発されたフェナントロリンアミドが,ランタノイドに対して分離に有効な錯体を形成する事を明らかにし, NEDO大型プロジェクトへの参画を得た(左)。(右)福島環境回復や核燃料サイクルへ適用可能な新規Cs分離剤の開発に成功した(右)。

### ○アクチノイドやランタノイドの認識化合物の開発



### ○セシウム認識化合物の開発



NEDO受託事業に採択されH29～H34年度にて実施中,  
特開2018-168424 (2018.11.1), 特開2018-141189(2018.9.13),特開2018-066709(2018.4.26), *Solv. Extra. Ion Exch.*(2019),  
*Prog.Nucl.Sci.Tech.*(2018), *Tetrahedron*(2017), *Solv.Extr.Res.Dev.Jpn*(2017), *Sep.Sci.Tech.* (2015)他に掲載

今後の計画:NEDO受託事業における実用化への高性能分離剤の提供を目指す。超プルトニウム元素の基礎科学研究データの蓄積と応用を目指す。汚染土壌の超減容化研究への適用を目指す。



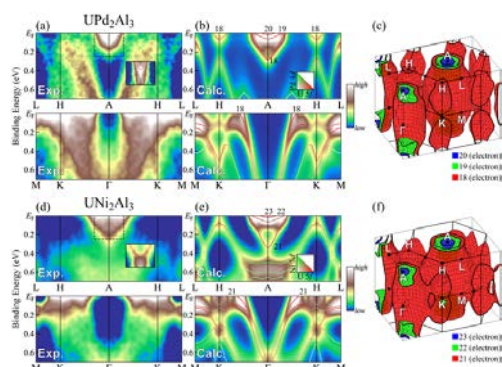
## 代表的成果(2):ウラン超伝導体の 角度分解光電子分光によるフェルミ面の決定



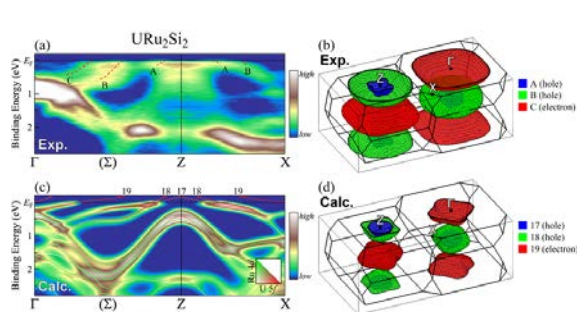
研究目的:軟X線分光により,ウラン超伝導化合物フェルミ面の実験的決定およびバンド計算を行うことにより,ウラン5f電子の振る舞いを明らかにする

研究成果:超伝導・磁性共有系ウラン化合物のバンド構造・フェルミ面の構造を角度分解光電子分光で明らかにすると共に,ウラン5f電子が基本的に遍歴的であることを明らかにした。

### 反強磁性と超伝導が共存する $\text{UPd}_2\text{Al}_3$ と $\text{UNi}_2\text{Al}_3$ の結果



### 隠れた秩序転移を示す $\text{URu}_2\text{Si}_2$ の結果



*J. Phys. Soc. Jpn. (invited review paper)掲載 (2016)*

S. Fujimori et al., *J. Phys. Soc. Jpn.* **85**, 062001 (2016).

今後の計画:系統的な基礎物質研究により,アクチノイドおよび希土類化合物における物性発現メカニズムを明らかにする。





### 代表的成果(3): メタ磁性転移を示すUCoAlにおける XMCDによる元素選択的磁化過程の観測

H30年度成果

mSR

研究目的: UCoAlが示す常磁性・強磁性転移の様子をXMCDの系統的な温度・磁場依存性を調べることで、U 5f電子とCo 3d電子の磁気的性質を分離して観測し、バルク磁性へのそれぞれの寄与を明らかにする。

研究成果: Co 3d電子の磁性は、U 5f電子により誘起されていると考えられていたが、それぞれ異なる磁性を示すことが明らかになった。メタ磁性転移直前においては、むしろCo 3d電子の磁性の寄与が顕著になり、Co 3d電子も強磁性秩序に重要な役割を果たしていることを示唆した。

UCoAl 六方晶

●  $T < 15\text{K}$ ,  $H \sim 1\text{T}$ においてメタ磁性転移  
(常磁性 → 強磁性)

● c軸が磁化容易軸で強い異方性

実験: 軟X線内殻吸収磁気円二色性測定によりU 5f電子とCo 3d電子のそれぞれの磁気的性質を調べた。

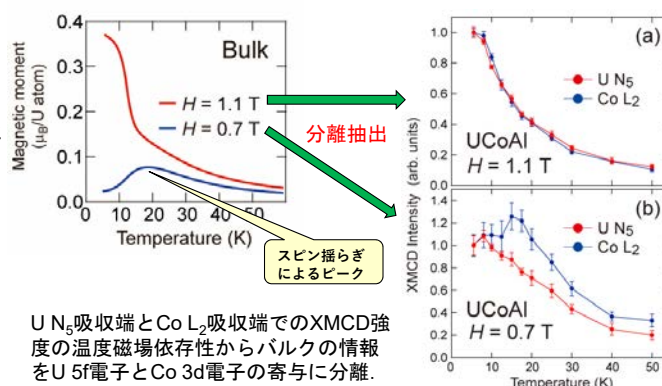
結果: U 5f電子とCo 3d電子との比較

$H = 1.1\text{T}$ では一致、 $H = 0.7\text{T}$ ではCoの方が顕著な温度依存性。

U 5f電子だけでなくCo 3d電子が強磁性発現機構に重要な役割を果たしていることを示唆。

*Phys. Rev. B*誌掲載 (2018)

Y. Takeda et al., *Phys. Rev. B* 97, 184414 (2018).



今後の計画: 本研究の結果を踏まえ温度・磁場依存XMCDを活用し、強磁性超伝導体UCoGeをはじめとした複数磁性元素を含む物質の元素・電子軌道選択的磁気研究を展開する。

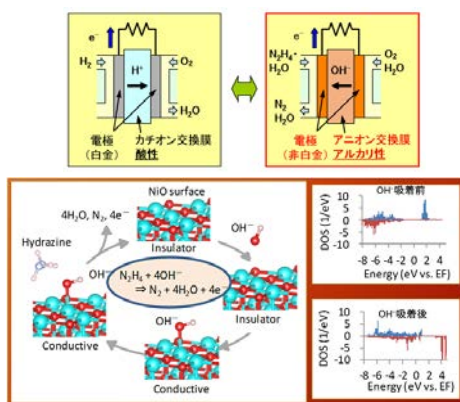


### 代表的成果(4): 貴金属フリー・アニオン交換膜形液体 燃料電池の研究開発

mSR

研究目的: アニオン交換膜形液体燃料電池は触媒電極に遷移金属を使用するために貴金属の省資源化に貢献する。また、ヒドラジン燃料( $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )は水素キャリアであり、水素社会のもう一つの選択肢を提示する。電極触媒反応メカニズムを放射光で調べ、高効率かつ安全な燃料電池の開発に貢献する。

研究成果: XAFSによる「その場」観察により、動作中燃料電池の電極触媒の局所構造と電子状態より、反応メカニズムを解明し、Ptより高性能なNi触媒の開発に貢献した(ダイハツとの共同研究)。



省略

Ptより高効率  
なNi触媒の  
開発に成功



SPRING-8構内を走る  
ダイハツFC凸DECK

Niに吸着したOH<sup>-</sup>イオンを通して、Niの3d軌道に電子が流入し、ヒドラジンN<sub>2</sub>H<sub>4</sub>が酸化・分解されて触媒反応が進行する。

文科省ナノテクノロジープラットフォーム H27年度利用6大成果

*J. Electrochem. Soc.* 掲載 (2016)

T. Sakamoto et al., *J. Electrochem. Soc.* 162, H951 (2016).

今後の計画: アンモニア等の副生成物抑制のメカニズム、系統的な合金系触媒の探索を行う。自動車のみならず、燃料取扱いの容易性を生かし、地方のエネルギー供給や非常用電源の用途の開拓を行う。



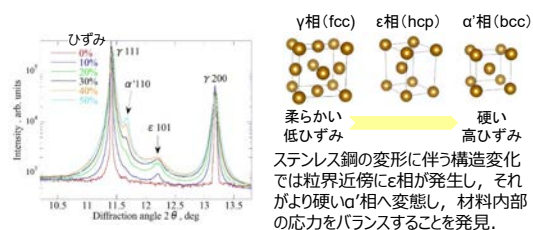
### 代表的成果(5): 材料開発及び加工技術開発への放射光分析技術の適用



研究目的: SPring-8の特徴である高エネルギー放射光X線と集光技術の高度化及び高時間分解能2次元検出器利用を組み合わせることにより、材料開発及び加工技術開発における課題を解決する。

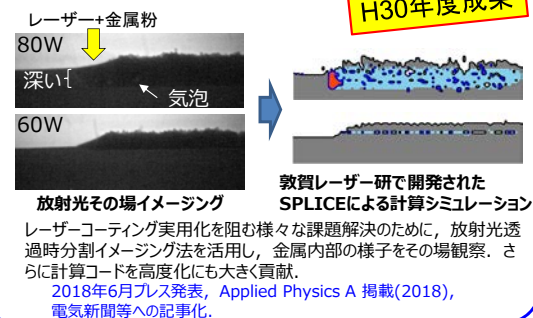
研究成果: 国土強靱化、省エネルギー社会を実現するため、基盤基礎研究を、学(基礎)、産(アウトカム)と2つをつなぐ官(技術支援)が連携・役割分担を明確にする体制をとり進めた。その結果、高効率金属材料開発(左)及び加工技術開発(右)における課題解決に成功した。

#### ○鉄鋼材料変形機構の解明と高強度高延性材料開発への貢献



2016年6月, Philosophical Magazine lettersに掲載, プレス発表。

#### ○異種金属をレーザーコーティングする技術の高度化への貢献(所内外連携協力研究)



今後の計画: 各種産業応用、特に実材料に直結した研究開発に展開する。分析においては、更に高度化した測定技術の確立を目指す。1F廃炉に係る研究、具体的には燃料デブリの経年変化に伴う疲労破壊予測のための基礎基盤研究を実施する。



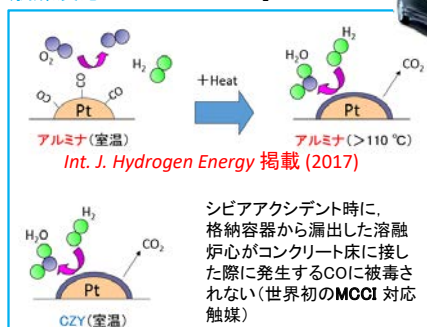
### 代表的成果(6): 水素爆発防止のための水素再結合触媒(PAR)の研究開発



研究目的: 電源を必要としない水素処理装置PAR(Passive Autocatalytic Recombiner)の世界的関心が高まっており、軽水炉の安全確保、放射性廃棄物保管時に発生する水素処理に適している。小型軽量、低コストな自動車触媒を適用し、PARの実環境下での触媒反応メカニズムを放射光で解明する。

研究成果: XAFSによる「その場」観察により、水素再結合反応においては、Ptナノ粒子の表面の酸化膜形成が重要な役割を果たすことが分かった。一般的に低温ではCOは触媒毒となるが、CZY上では触媒反応は室温でも阻害されないことが分かった。PAR試作機の試験を独・ユーリッヒ研究所(FZJ)で実施し、良好な結果を得た(ダイハツ、関西学院大、長岡技科大等との共同研究)。

#### 触媒反応メカニズム $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$



省略

今後の計画: 高分解能XAFS実験により、水蒸気の影響をより詳細に調べ、野外貯蔵に対応するための低温での触媒反応メカニズムを解明する。モノリス触媒のメッシュサイズ等の設計・検討も行う。



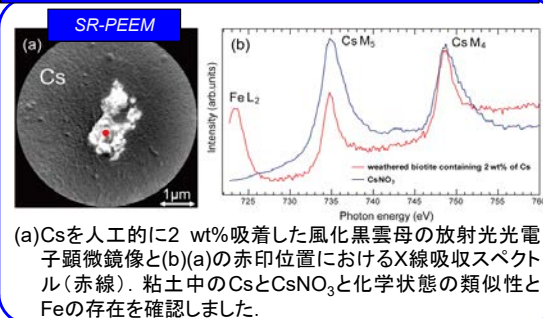
## 代表的成果(7): 福島環境回復のための粘土鉱物へのCs吸脱着機構解明と廃棄物の減容化・資材化



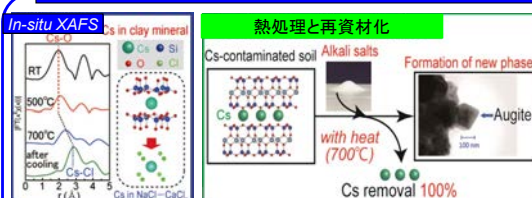
**研究目的:** 放射光X線分析、電顕および量子科学シミュレーションなどによる詳細な構造・電子状態解析により、福島県で産出した風化黒雲母等へのセシウム吸着特性を解明すると共に、これらの知見を活かし経済性、環境負荷低減を目的とした新しい処理法の開発を実施する。

**研究成果:** 福島県土壌中に存在する風化黒雲母への選択的吸着、セシウムの凝集、化学結合状態などを包括的に明らかにすると共に、(左) 低温の溶融塩から塩析的にセシウムを分離し、残渣は再利用可能な材料を作るという新しい処理法に関する基礎概念を見いだした。(右)

### ○福島環境回復にかかる粘土鉱物へのCs吸着特性



### ○その場観察高温XAFSによる除去メカニズム解明



H28年機構理事表彰 特賞(研究開発功績賞), JPC.Solids(2019), Appl. Phys.Lett.(2018), Global Environ. Res.(2017), ACS-Omega(2017), JCP(2016), e-jssnt (2016), 分析科学(2016), Appl.Sur.Sci. (2016), JPC.A(2015), 粘土科学(2015)他に掲載。

**今後の計画:** 放射光分析技術を元にした廃炉における科学的知見の蓄積と放射光の高度化の目指す。廃棄物の減容化、再生利用を可能とする新しい化学プロセスの要素技術開発を行う。



## 代表的成果(8): ガラス固化技術の高度化へ、放射光分析技術を駆使して貢献する。

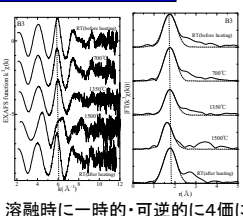
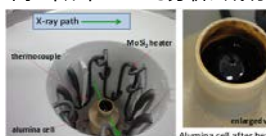


**研究目的:** 放射性廃棄物の低減を目指した技術開発において、廃棄物成分の性状を調べる分析手段として、放射光分析法を活用し、同分野の新しい技術開発や高度化に貢献する。

**研究成果:** 高エネルギーXAFSを利用して、高温融体中の廃棄物成分の化学状態を明らかにした(右)。ガラス固化体における課題である白金族元素の挙動について、熱力学では説明が付かないロジウム(Rh)の化学形問題を、イメージングXAFSによる異種元素間解析を駆使して解明した(右)。

### ○高温溶融時の廃棄物成分その場分析

1500℃の高温スラグ融体に含まれる5%のCeの化学状態の高エネルギーXAFS分析に成功

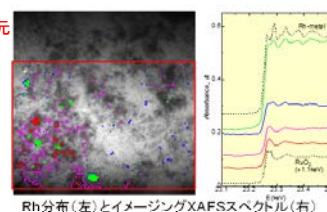


【結論】セリウムが安定に取り込まれることを示す結果である。  
【関連】類似した性質を持つウランでも同様な性質が予想されるので、燃料デブリの処理法においても有用な情報である。  
Journal of Molecular Liquids 誌(IF:4.513)に掲載 (2017年4月)

### ○白金族元素の化学状態の謎を解明

イメージングXAFSの異種元素間相関解析による成果

ガラス中のRhの化学形は金属だが、Ruと一緒にいる時だけ、(Ru,Rh)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>固溶体として、4価を示す。そのため、3価のRh<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が存在しない。

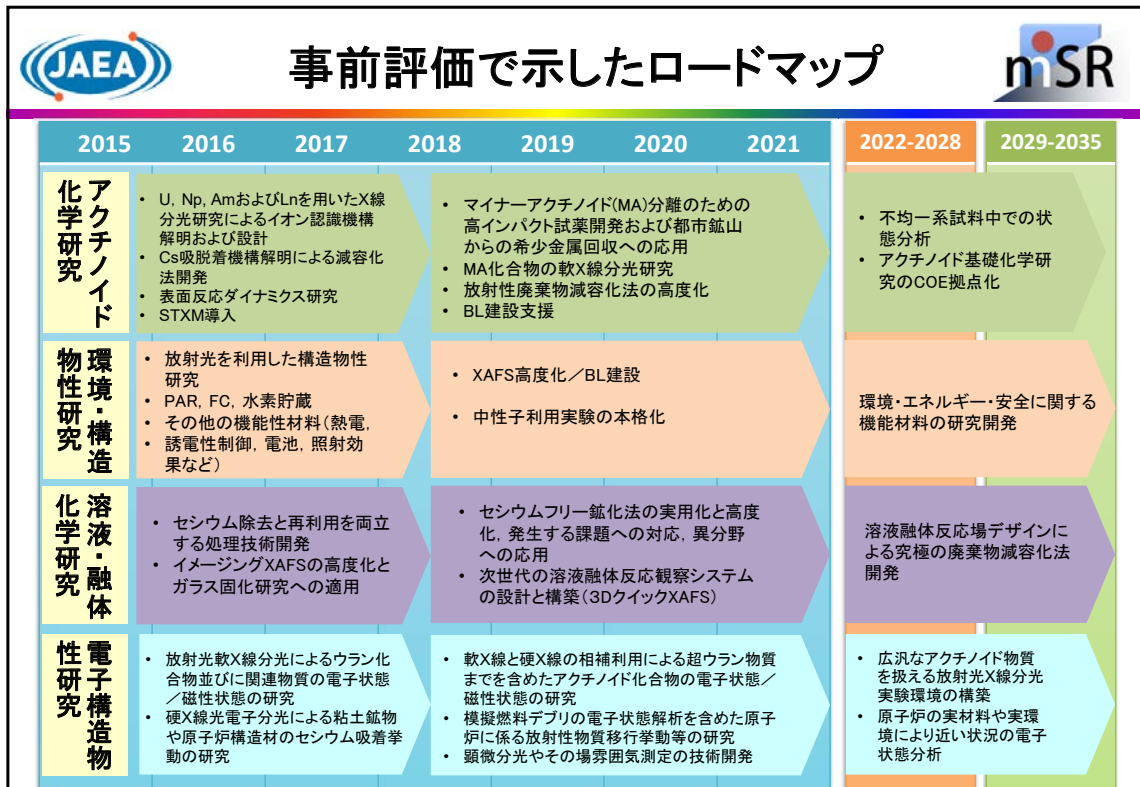


【結論】Rhの化学状態が、Ruとの分布相関に強く支配されていることにより、Rh(0)とRh(IV)O<sub>2</sub>が観測され、Rh(III)O<sub>2</sub>が観測されない。

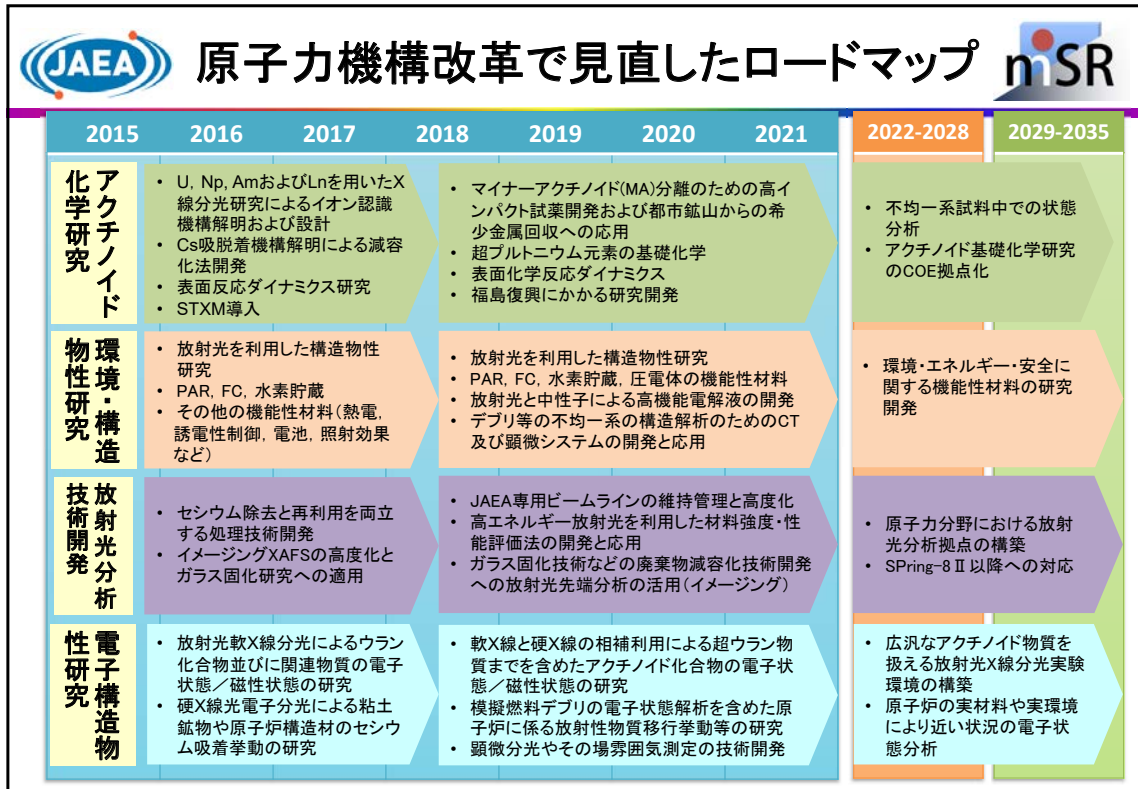
日本原子力学会和文論文誌, 16(4), 180-190 (2017)  
日本放射光学会誌「放射光」, 31(4), 274-280 (2018)

**今後の計画:** 2019年度から開始する資源エネルギー庁によるガラス固化技術高度化プロジェクトに、放射光・中性子を総合的に利用する体制で臨む。支援を通じて、蛍光イメージングXAFSなどの、放射光分析技術の高度化も同時並行で進める。

## 参考資料 ロードマップ









第3回中性子及び放射光研究開発評価委員会  
平成31年2月4日



資料3-8

## J-PARC概況及び物質・生命科学ディビジョンに おける中性子利用研究

日本原子力研究開発機構 原子力研究開発部門  
J-PARCセンター 物質・生命科学ディビジョン

研究主席 中島 健次

①

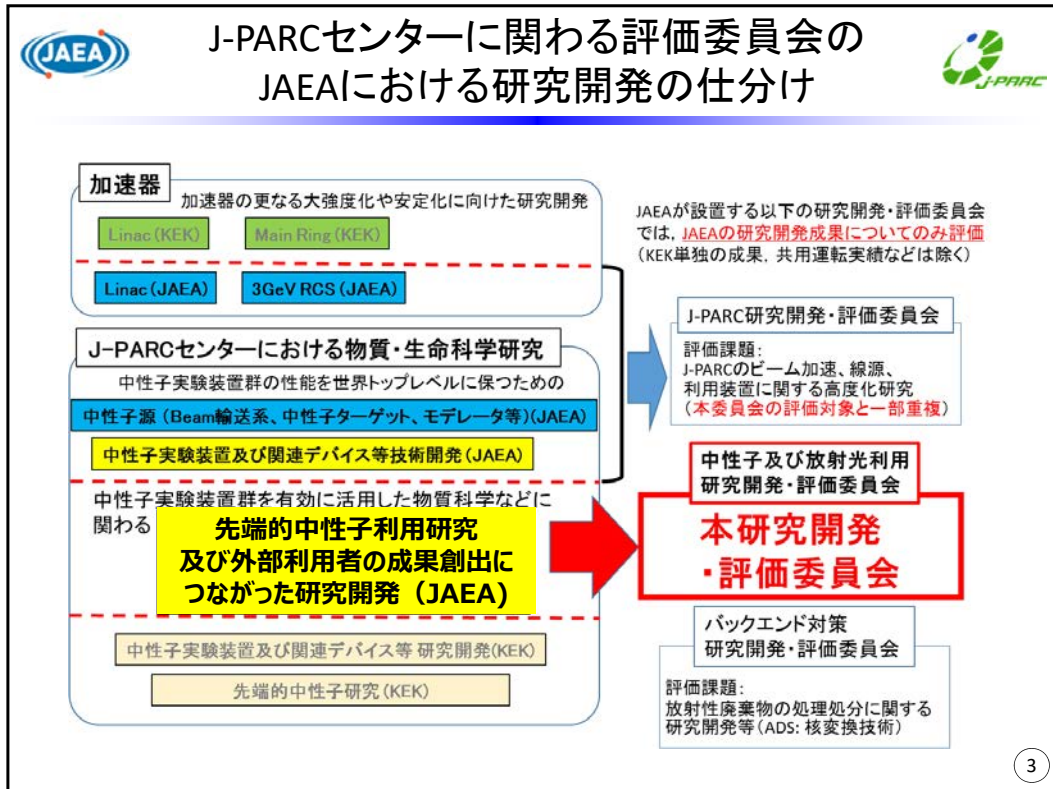


## 目 次

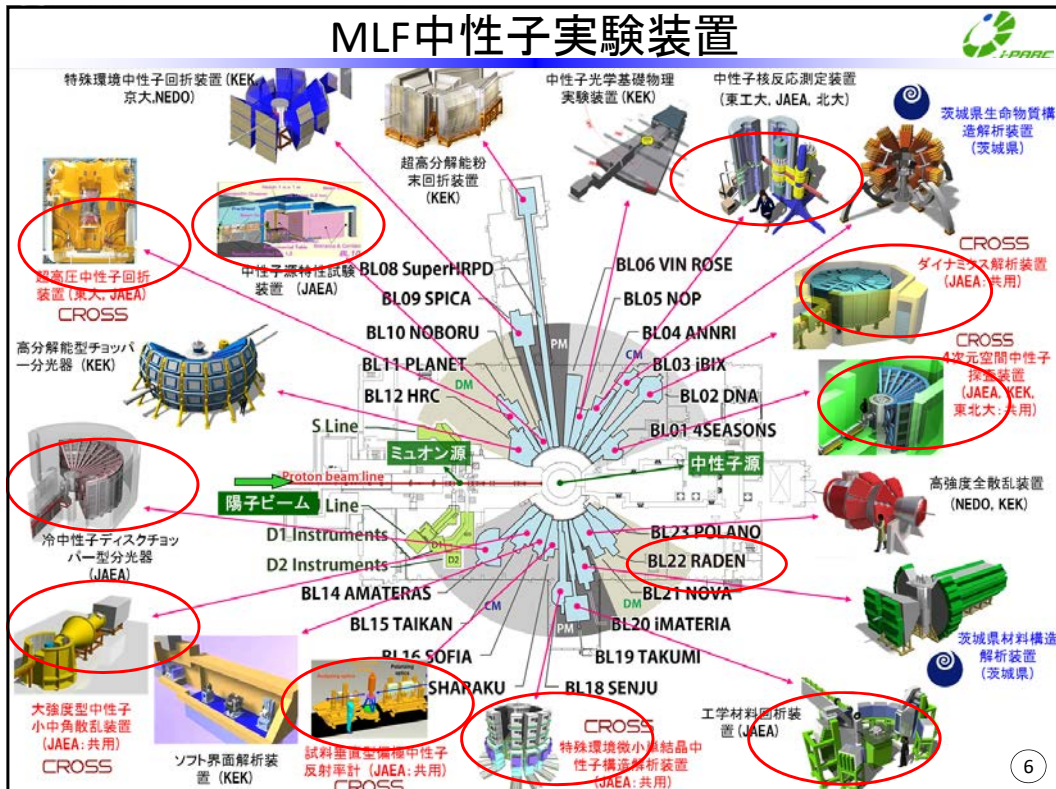
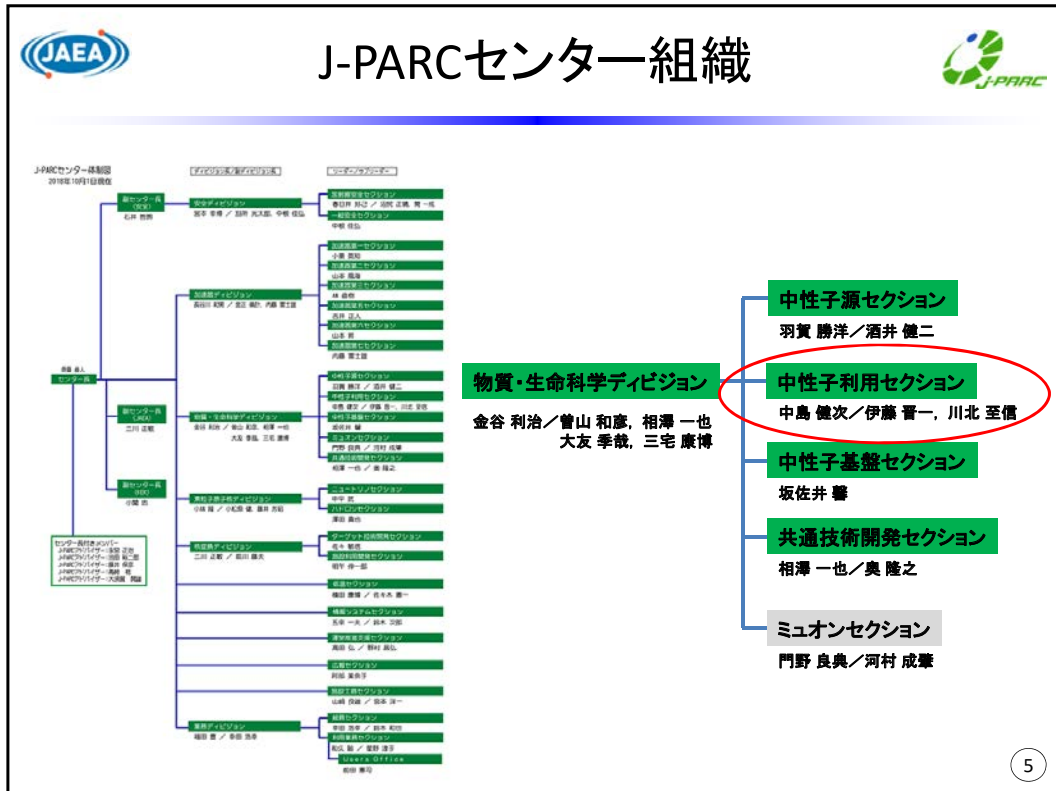


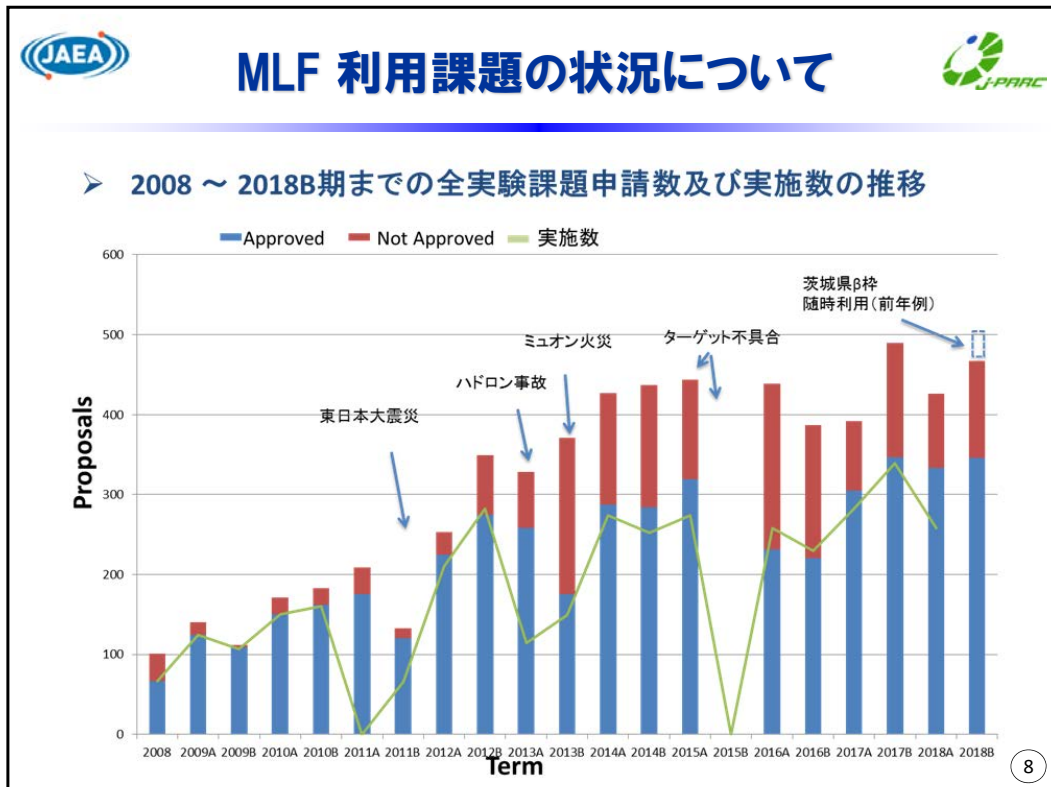
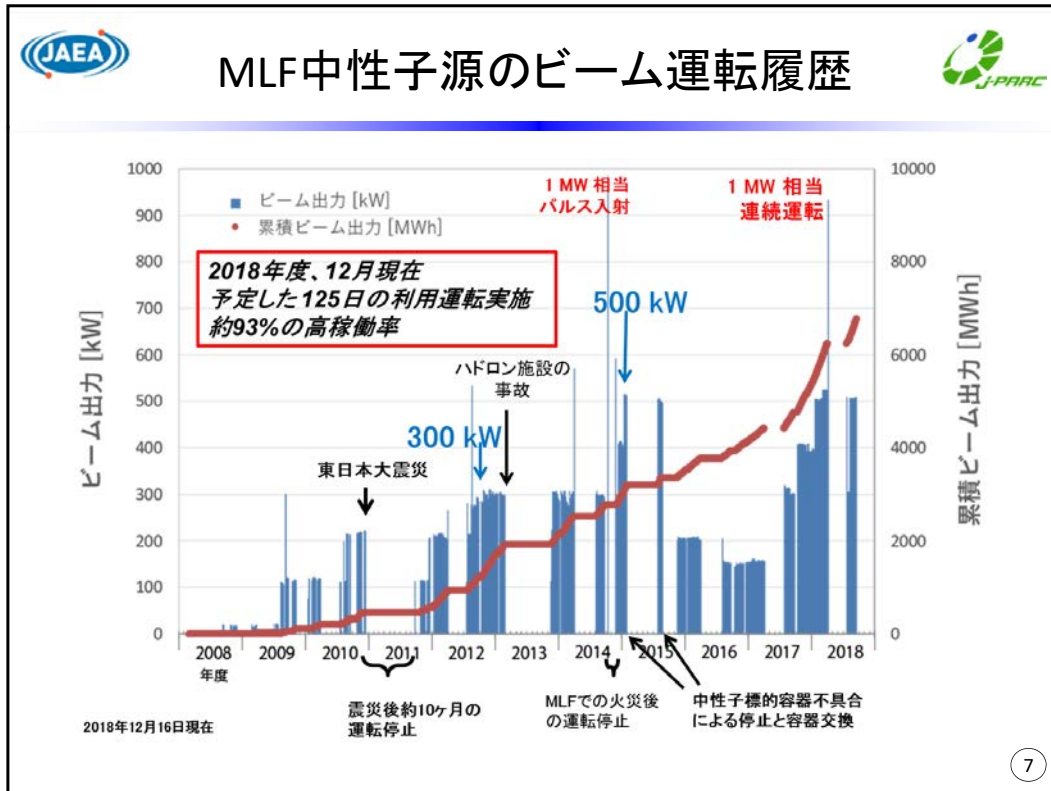
1. J-PARC施設の現状
2. 研究開発の基本方針と体制
3. 装置を活かした先導研究
4. 1MWに向けた取り組み
5. 大学、研究機関、産業界との連携
6. 国の公募事業への参画
7. 研究成果、プレス発表、表彰等

②











## 研究開発の基本方針

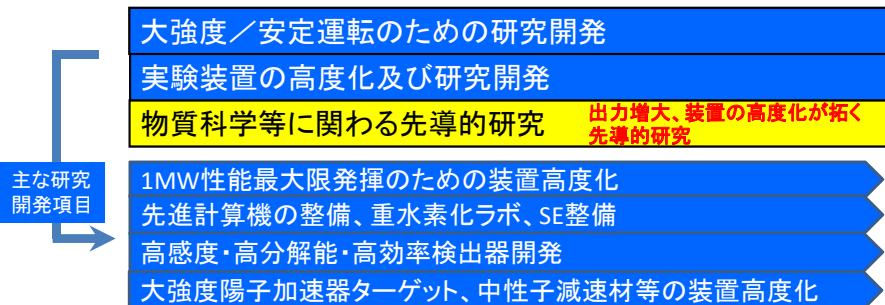
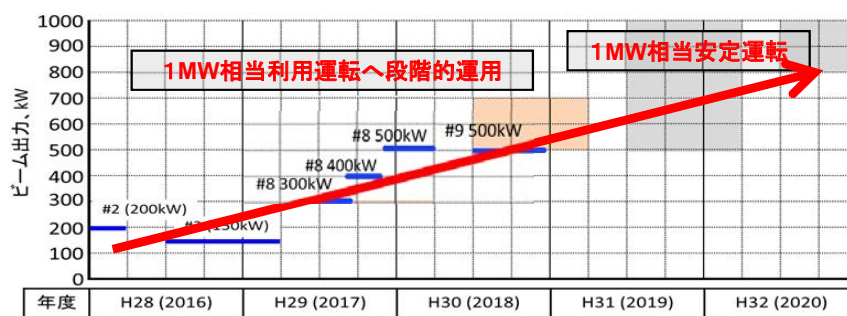


- (1) KEKと共同で運営するJ-PARC物質・生命科学実験施設の中性子実験装置群を有効に活用した物質科学などに関わる先導的研究を実施する。
- (2) 科学的意義や出口を意識した社会的にニーズの高い研究開発に取り組み、機構内の研究センター・研究拠点間の協働を促進し国内外の大学、研究機関、産業界等との連携を積極的に図る。
- (3) こうした連携協力を軸として、科学技術イノベーション創出を目指す国の公募事業への参画を目指す。

9



## 年次計画



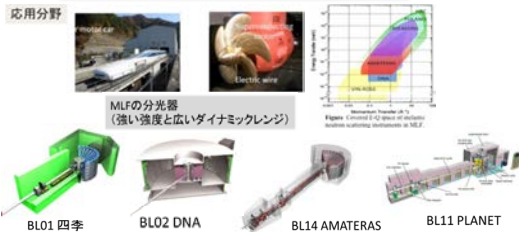
10

# (1) J-PARC物質・生命科学実験施設の中性子実験装置群を有効に活用した物質科学などに関わる先導的研究

## MLFとして4つの重点研究エリアを決定

中性子の特徴が活かした、サイエンス及び産業利用にインパクトのある分野を先導

### 1 ハードマター分野



### 2 非晶質・ソフトマター分野



### 3 エネルギー材料分野



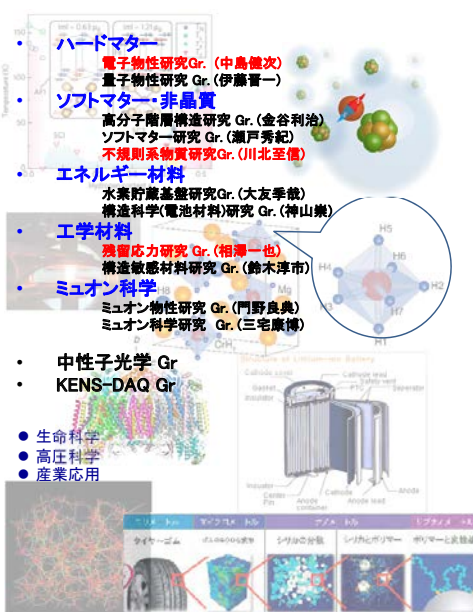
### 4 工学材料分野



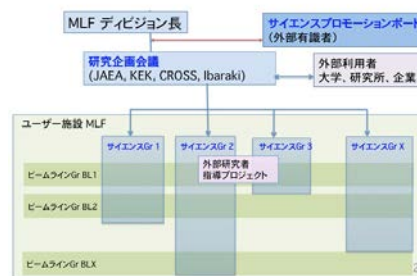
11



## MLFにおけるサイエンス&テクノロジー グループ ビームラインGrの活動を基盤にした、各研究分野のハブ的役割

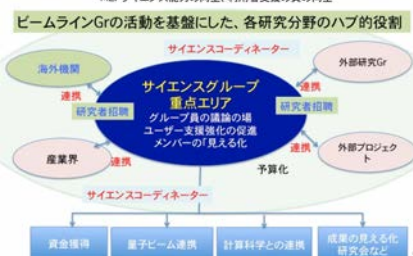


### 運営体制の改革



### サイエンスグループ

メンバー: 装置担当者、利用支援者  
MLFサイエンス能力の向上、利用者支援の質の向上



12



## (1) 中性子実験装置群を有効に活用した主な先導的研究

## 平成27年度～平成30年度主な成果

## 1 ハードマター分野

- ① 低温高圧装置の開発と氷研究への応用  
Scientific Report (2016)
- ② 超伝導体中の特異な磁気励起の観測  
Scientific Report (2016)
- ③ 高温高圧セルの開発と地球科学への応用研究  
Nature Communications (2017)
- ④ フラストレーションと量子効果が織りなす  
新奇な磁気励起の全体像を中性子散乱で観測  
Nature Communications (2017)
- ⑤ 鉄リン系鉄系超伝導体  $\text{LaFePO}_{1-y}$  の  
反強磁性磁気ゆらぎを初めて発見  
Scientific Report (2018)
- ⑥ 地球深部で含水鉱物におきる水素  
結合の対称化を初めて直接観察  
Scientific Report (2018)

## 3 エネルギー材料分野

- ⑦ 固体電解質内  $\text{Li}$  イオン伝導の直接観察  
Physical Review Applied (2015)
- ⑧ 中性子と計算機を相補的に利用した  
イオン液体のイオン伝導機構の解明  
J. Phys. Chem. Letter (2017)
- ⑨ アパタイト型酸化物イオン伝導体における  
高イオン伝導度の要因を解明  
J. Mater. Chem. A (2018)

## 2 非晶質・ソフトマター分野

- ⑩ タイヤゴムの飛躍的な性能向上  
Journal of Physics, Press release (2015)
- ⑪ シリコンを使わない太陽電池の設計に道筋  
Nature Communications (2018)
- ⑫ 液体の振舞いが熱電材料の高性能化の鍵に  
Nature Materials (2018)

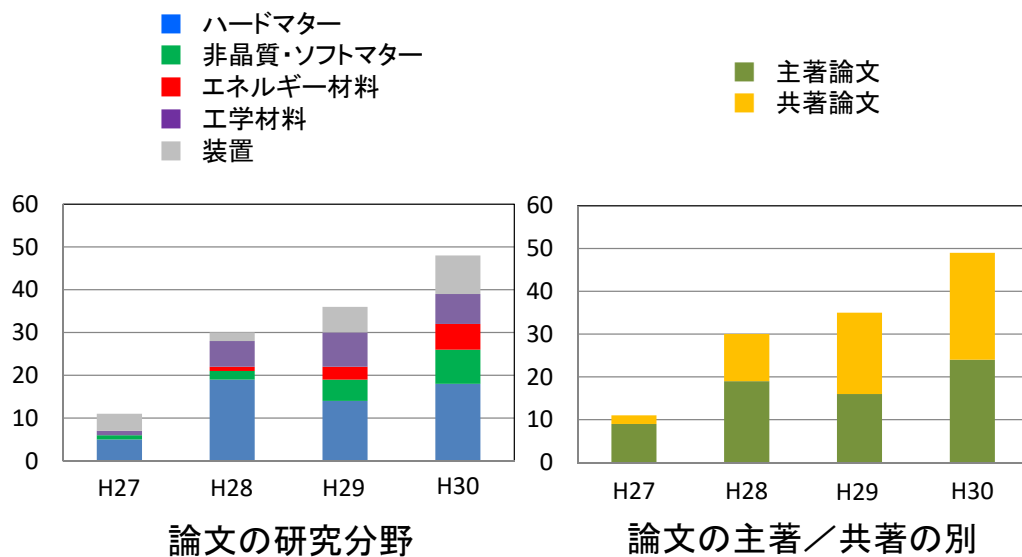
## 4 工学材料分野

- ⑬ 塑性加工した鋼板のエネルギー分析型イメージング  
Materials Science and Engineering (2016)
- ⑭ 転位評価の開発及び応用研究  
Metallurgical and Materials Transactions (2017)
- ⑮ 先端鉄鋼のTRIP鋼の特性を中性子回折で解析  
Scientific Report (2017)
- ⑯ 高強度ラスマルテンサイト鋼の強化機構解析  
Metallurgical and Materials Transactions (2017)
- ⑰ 3次元中性子偏極度解析を用いた  
磁場イメージング技術の開発と応用  
Scientific Report (2018)
- ⑱ 周期的に変化する外場に対する物質  
構造の応答を観測する手法の開発  
J. Appl. Cryst. (2018)

13

## (1) 中性子実験装置群を有効に活用した先導的研究

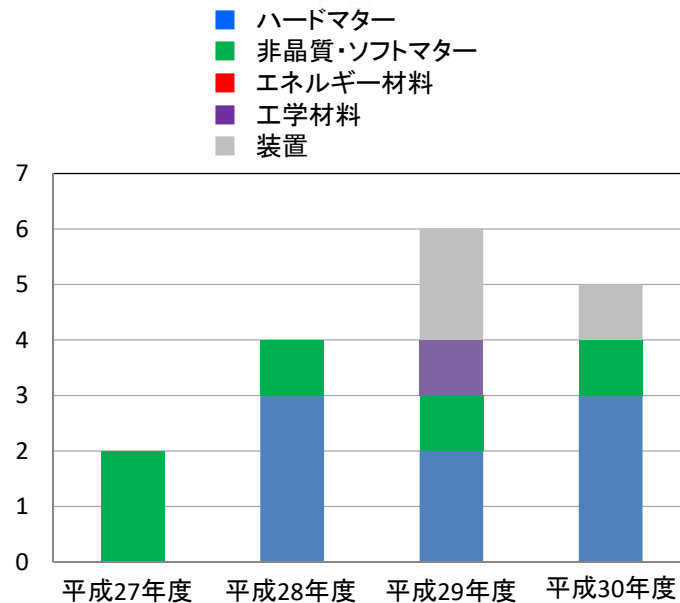
## 論文数の推移



14

(1) 中性子実験装置群を有効に活用した先導的研究

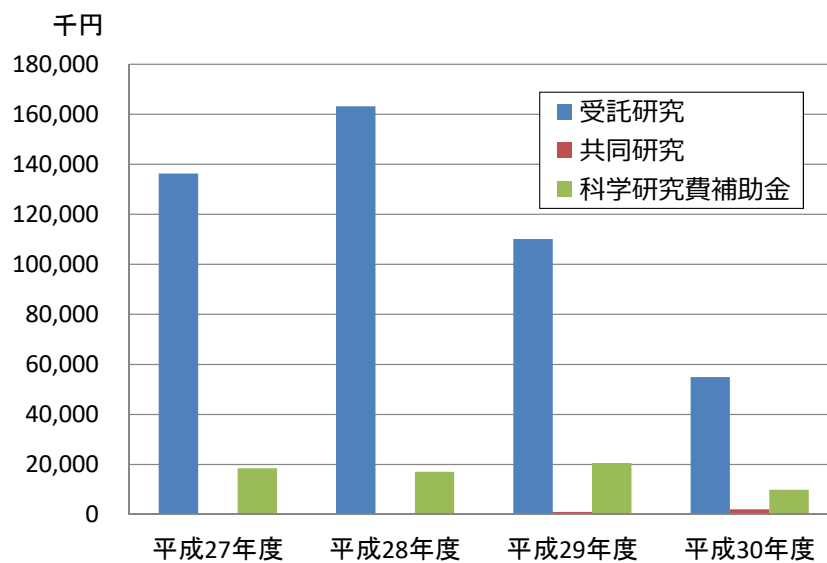
## プレス発表の状況



15

(1) 中性子実験装置群を有効に活用した先導的研究

## 外部資金の獲得状況



16



## JAEAプロジェクト研究(2019A～)

J-PARC MLF 設置者ビームタイム枠を活用した研究



| 担当者            | 研究課題                                                                                                                                                                      | 個別課題             | BL        |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------|
| 相澤一也<br>(JAEA) | Elucidation of Dynamical Function of Engineering                                                                                                                          | 相澤一也<br>S. Harjo | BL19      |
| 奥隆之<br>(JAEA)  | Development of Application of Neutron Optical devices and Detection System                                                                                                | 奥隆之              | BL10      |
| 川北至信<br>(JAEA) | Origin of functional properties that disorder and atomic dynamics interweave                                                                                              | 川北至信             | BL02      |
| 原田正英<br>(JAEA) | Measurement of neutron-scattering data of moderator, reflector and structure materials, and construction of their scattering kernels for a next-generation neutron-source | 原田正英             | BL10、BL14 |
| 服部高典<br>(JAEA) | Development of techniques for inelastic, quasi-elastic and small angle scattering experiments under pressure <sup>3</sup>                                                 | 服部高典             | BL11      |
| 木村敦<br>(JAEA)  | Research on nuclear data and trace-elements using the highest intensity pulsed neutrons                                                                                   | 木村敦              | BL04      |
| 甲斐哲也<br>(JAEA) | Development of neutron application techniques for reactor decommissioning studies                                                                                         | 甲斐哲也             | BL22      |

17



## 福島第一原子力発電所廃炉への 中性子イメージングの貢献

J-PARCセンター、廃炉国際共同研究センター、  
高速炉基盤技術開発部、大阪大学工学研究科



### 1F廃炉への貢献

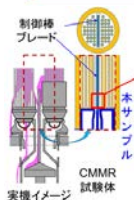
ホウ素の3次元分布可視化・定量化技術

2号機

- ・塊状の金属ホウ化物や崩壊燃料ロッドの一部などにホウ化物含有の可能性大
- ・2号機条件を模したCMMR試験体中のホウ素分布を測定

3号機

- ・2号機よりも燃料溶融が顕著で、ペDESTALに相当量の燃料が流出
- ・CMMR試験体の一部を再加熱・溶融した試料を作成・測定



東京電力ホールディングス 福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2017を参考とした

「東京電力ホールディングス福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2017, 原子力映画館 廃・廃炉等支援機構, 2017年8月31日, p. 4-23」より

2号機、3号機の廃炉を考える上で重要な超高硬度ホウ化物物の分布・状況、及びホウ素の含有量を現実的に予測するための根拠を得る

18





# 表 彰



## 【平成30年度】

日本原子力研究開発機構理事長表彰(研究開発功績賞)

**エネルギー分析型中性子イメージング装置の建設と先導研究**

パルス中性子イメージンググループ 篠原 武尚 他15名

日本中性子科学会第16回奨励賞

**J-PARCパルス中性子回折装置委関連する技術開発と物質研究**

川崎卓郎

## 【平成29年度】

日本原子力研究開発機構理事長表彰(研究開発功績賞)

**ダイナミクス解析装置DNAの建設とそれによる先導研究**

ダイナミクス解析装置グループ 柴田 薫 他7名

日本中性子科学会プレジデントチョイス

**「fcc Fe 中の重水素原子のサイト占有状態」**

青木勝敏、町田晃彦、齋藤寛之、服部高典、佐野亜佐美

## 【平成28年度】

日本原子力研究開発機構理事長表彰(研究開発功績賞)

**J-PARC工学材料回折装置の設計・建設・先導研究の完遂**

「匠」建設・運営グループ ステファヌス・ハルヨ 他10名

## 【平成27年度】

日本中性子科学会第13回技術賞

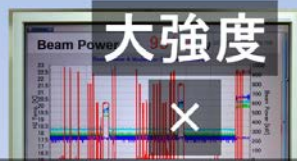
**超高压中性子回折装置による高温高压中性子回折実験の実現**

PLANET建設グループ 服部高典、佐野亜沙美、有馬 寛

(1) 中性子実験装置群を有効に活用した先導的研究

# 1 MWに向けて取り組んできたこと

## なにが変わるのか？



## J-PARCの最新装置



## 技術革新

1MW安定運転に成功！

## これまでの常識を覆す新たな常識の創出

(1) 中性子実験装置群を有効に活用した先導的研究

## 1 MWに向けて取り組んできたこと

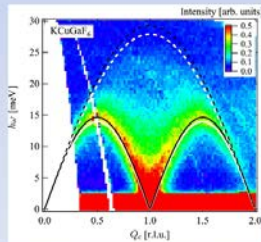
## □ 新たな技術・可能性 | 微量試料、微量シグナル測定の可能性

AMATERAS

KCuGaF<sub>6</sub>

S=1/2 2D AF System

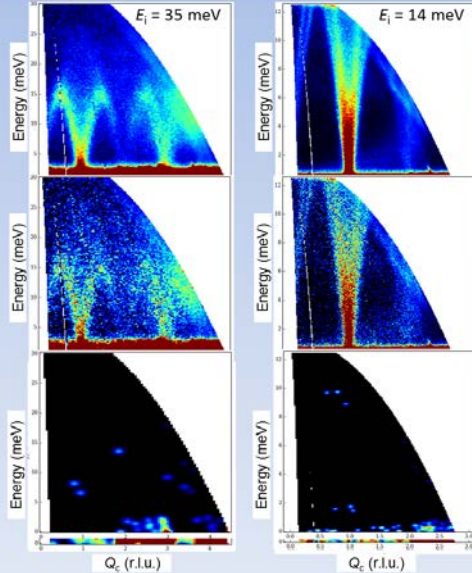
0.3 cc

I. Umegaki et al., PRB **92**, 174412 (2015)

1hour

5min.

1pulse

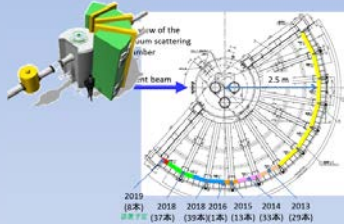


(1) 中性子実験装置群を有効に活用した先導的研究

## 1 MWに向けて取り組んできたこと

## □ 装置を完全な状態へ持って行く

## 【BL01 四季 検出器整備】

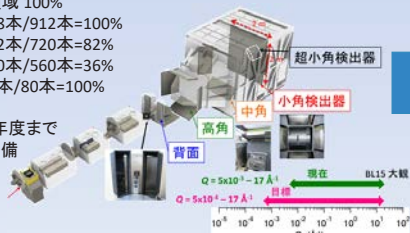


- 2019年度内に完全整備
- フォノン等、格子系の研究への展開
- Dynamical PDF

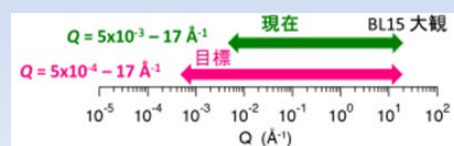
## 【BL15 大観 検出器整備】

H31年度までに  
超小角領域 100%  
小角 768本/912本=100%  
中角 592本/720本=82%  
高角 200本/560本=36%  
背面 48本/80本=100%

残りH33年度まで  
に完全整備



## ■ 広角散乱装置として完成へ



(1) 中性子実験装置群を有効に活用した先導的研究

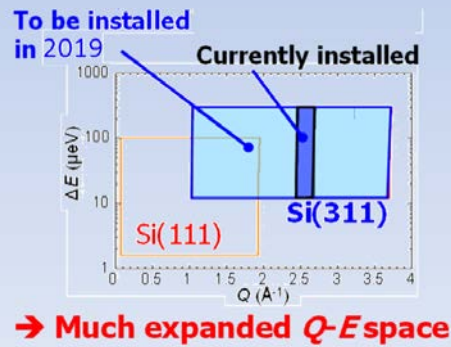
## 1 MWに向けて取り組んできたこと

## □ 装置を完全な状態へ持っていく

【BL02 DNA アナライザ、チョッパー】



- Si311アナライザーバンクの整備 (H31年度)
- チョッパー高速化による目標分解能達成 (H30年度内)

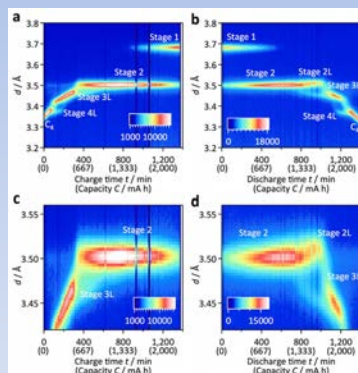


(1) 中性子実験装置群を有効に活用した先導的研究

## 1 MWに向けて取り組んできたこと

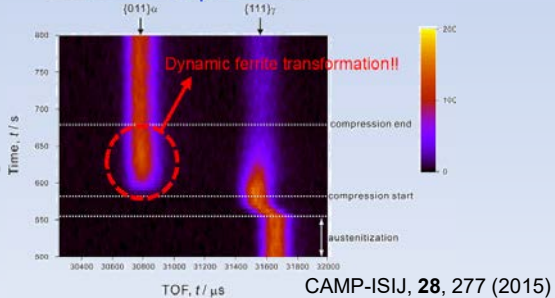
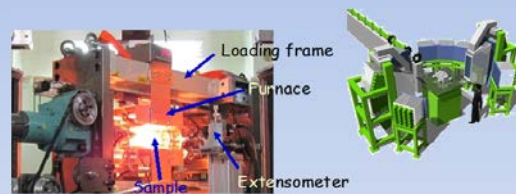
## □ 新たな技術・可能性II 大強度を利用した時分割測定

電池の'In operando'測定



Scientific Reports 6, Article number: 28843 (2016)

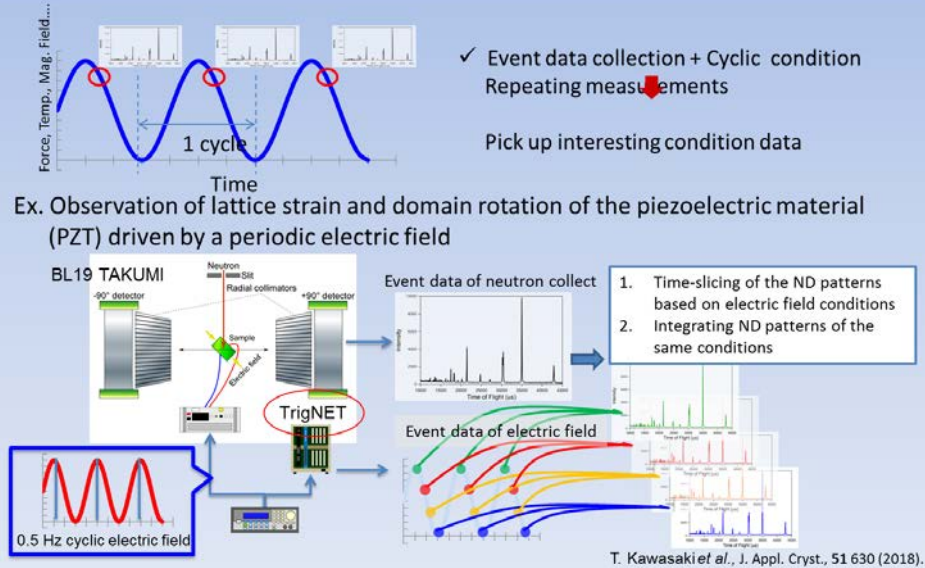
鉄鋼材料の熱加工プロセスシミュレーション



(1) 中性子実験装置群を有効に活用した先導的研究

## 1 MWに向けて取り組んできたこと

### ■ 新たな技術・可能性Ⅲ 大強度を利用したストロボスコピック測定



(2) 科学的意義や出口を意識した社会的にニーズの高い研究開発に取り組み、**機構内の研究センター・研究拠点間の協働を促進し国内外の大学、研究機関、産業界等との連携を積極的に図る。**

- ユーザーとの連携
- 国内研究機関との連携
- 産業利用の拡大に向けた活動
- AONSA Young Research Fellowship
- 海外実験施設との連携
- 中性子・ミュオンスクール



## (2) ユーザーとの連携

### MLFチョッパー分光器ミーティング



四重分光器(BL01)の現状を報告する講演者(左から右へ)：(左)FAC センター中核子利用セクション



ミーティング会場の様子

2017年10月16-17日



### DIRECTION 2018

2018年10月11日



研究会開催の挨拶をする

- MLF 中性子分光器
- ・四次元空間中性子探査装置 四季 (BL01)
  - ・ダイナミクス解析装置 DNA (BL02)
  - ・中性子共鳴スピンエコー分光器群 VIN ROSE (BL06)
  - ・高分解能チョッパー分光器 HRC (BL12)
  - ・冷中性子ディスクチョッパー型分光器 AMATERAS (BL14)
  - ・偏極中性子散乱装置 POLANO (BL23)



### 工学材料回折装置「匠」ユーザーミーティング

### ダイナミクス解析装置 DNAユーザーミーティング

2016年10月20日

2018年10月12日



### 量子ビームサイエンスフェスタ・MLFシンポジウム

2016年3月15日-16日



## (2) ユーザーとの連携

### 量子ビームサイエンスフェスタ・MLFシンポジウム

2016年3月15日-16日



### 量子ビームサイエンスフェスタ・MLFシンポジウム

2018年3月2日-4日



### 量子ビームサイエンスフェスタ・MLFシンポジウム

2017年3月14日-15日



### 物構研サイエンスフェスタ・MLFシンポジウム

2015年3月17日-18日



## (2) 国内機関との連携

### 茨城大学—J-PARC連携大学院



### 山形大学—大学分室(予定)

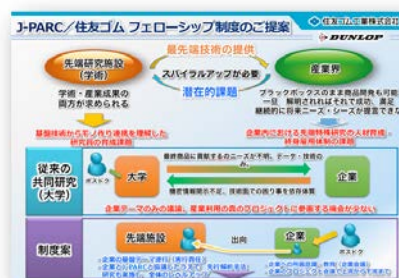
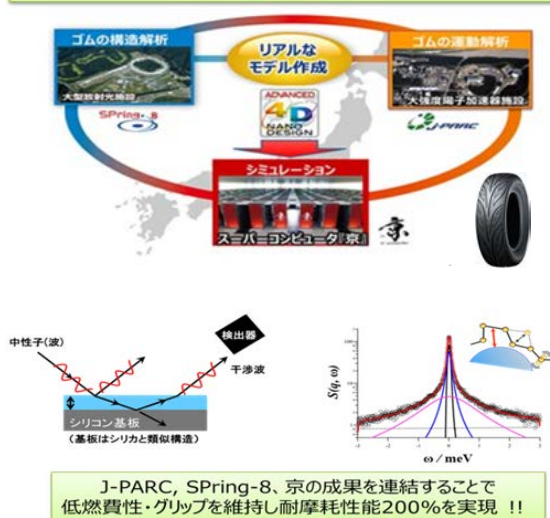


### J-PARC中性子生命科学研究会



## (2) 産業利用の拡大に向けた活動

### SPring-8・J-PARC・京の連携活用による新材料開発技術『ADVANCED 4D NANO DESIGN』を完成





## (2) 産業利用の拡大に向けた活動

- J-PARC/MLF 産業利用報告会
- 物質科学研究会
- 金属組織研究会
- 残留ひずみ・応力解析研究会
- 電池材料研究会
- 薄膜・界面研究会
- ソフトマター中性子散乱研究会
- 液体・非晶質研究会
- 非破壊検査・可視化・分析技術研究会
- 中性子実験技術基礎講習会(レベル1講習会)
- 中性子産業応用セミナー

## (2) 海外実験施設との連携

### ANSTO-J-PARC Collaboration

○ANSTOの重水素化施設へ若手研究者を派遣(H29年1-3月)  
○重水素化WSを合計3回開催

2015年～2017年



### ESS - J-PARC Collaboration

第1回 2018年1月18-20日



安倍首相とローベン首相の立会いの元行われた研究協力に関する覚書取り交わし交換式(7月9日)

Deuterated Materials Enhancing Neutron Science for Structure Function Applications

J-PARC Workshop 2017 2017年 10月19-20日



第2回 2018年1月18-19日 (スウェーデン ルンド)



第3回 2018年11月13-15日

駐日スウェーデン大使マグヌス・ローバック閣下J-PARC訪問



## (2) 大規模先端施設との有機的な連携

### 1. 大型実験施設とスーパーコンピュータとの連携利用シンポジウム

QSpring-8、J-PARC MLF等の大型実験施設と「京」をはじめとするスーパーコンピュータとの連携利用は、数値シミュレーション手法と実験の手法の特性を相互に補い合う形での研究成果の創出につながり、その推進は多方面から期待されている。この連携利用促進のため、研究事例や今後の連携利用を見据えた実験側、計算側の研究内容を紹介、議論しあい、今後のさらなる成果創出を目指す。

- 第1回:「京」と大型実験施設との連携利用シンポジウム(2014.9.2、東京) 103名  
 第2回:ソフトマター科学を中心として(2015.9.2、東京) 120名  
 第3回:最先端電池材料(2016.9.1、東京) 135名  
 第4回:生体物質のダイナミクス(2017.9.8、東京) 125名

### 2. 放射光・中性子の相補利活用セミナー(JASRI、CROSS共催)

○中性子と放射光を相補的に利用することで、優れた研究成果を創出できることを情報発信し、また放射光利用者に中性子利用の効果の説明し、さらなる中性子利用促進を図る。

- 第1回:放射光・中性子の相補利活用セミナー(2013.3.22、東京) 54名  
 第2回:XAFS利用者から見た中性子散乱への期待(2016.2.19、東京) 79名  
 第3回:量子ビームで観る物質の内部構造(2017.2.17、東京) 71名

### 3. 計算科学に関する勉強会(JASRI、RIST、CROSS等共催)

○大型実験施設の利用支援者は計算科学の現状、成果情報を得、計算機側の利用支援者は実験に関する理解を深め、実験側・計算機側双方のニーズ、課題等を共有し、高度な利用者支援に結び付ける。

- 計算科学勉強会(2015.2.21、大阪) 70名  
 第1回大型実験施設とスーパーコンピュータとの連携利用勉強会「ThCr<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>型結晶構造における強相関電子物性と格子物性の関わり～鉄系超伝導体を中心に～」(2017.1.10、神戸) 22名

省略

第3回:「最先端電池材料」



第3回: 量子ビームで観る物質の内部構造



連携利用勉強会～鉄系超伝導体を中心に～

## (2) AONSA Young Research Fellowship

### 2017年度

October 1 to December 27  
 Dr. Ahmed A. Saleh  
 Wollongong University, Australia  
 エジプト国籍



Dr. Saleh Ahmed (ANSTO)  
 at BL19 TAKUMI

### 2018年度

November 1<sup>st</sup> – December 27, 2018  
 Dr. Xingxing Zhang  
 Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences  
 中国国籍



Dr. Xingxing Zhang  
 at BL19 TAKUMI

2019年度 予定 BL01四季 & BL14 AMATERAS

## (2) 中性子・ミュオンスクール

### 第1回中性子・ミュオンスクール

(2016年5月17-18日)



### 第6回AONSA中性子スクール /第2回中性子・ミュオンスクール

(2017年11月16-20日)



### 第3回中性子・ミュオンスクール

(2018年11月20-24日)



### スウェーデン ルンド大学他 MIRAIプロジェクト

2016年10月4日J-PARC訪問

2019年  
中性子&ミュオンスクール  
を共同開催予定

## (3) 科学技術イノベーション創出を目指す国の公募事業への参画 光・量子科学研究拠点形成に向けた基盤技術開発 「光・量子融合連携研究開発プログラム」H25ーH29

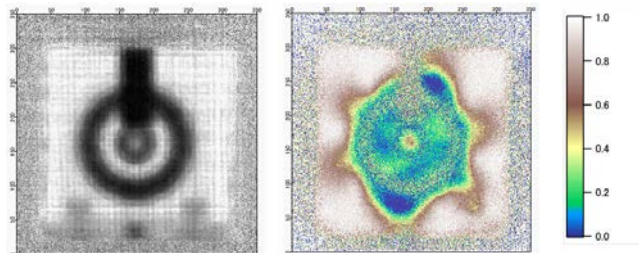
「実用製品中の熱、構造、磁気、元素の直接観察による革新エネルギー機器の実現」

【研究代表者】 JAEA 篠原 武尚

【代表機関】 JAEA

【参画機関】 北海道大学、東京都市大学、トヨタ自動車、日立製作所、KEK

受賞：R&D100(2017年)  
日本産業技術大賞  
総理大臣賞(2018年)



□ RADENでの交流磁場イメージング



## まとめと展望



### ■ H27-30 年度

研究企画会議、サイエンスプロモーションボードによる研究推進

150kW→500kWでの加速器運用

MLFの中性子実験装置7+4台の利用

査読付き論文 125報(49報)

プレス 17件(5件)

企業との連携による産業利用推進

### ■ 今後

1MWに向けた装置整備、測定技術の開発とそれによる先導研究

先進計算環境、重水素化ラボ、先進SE、共通支援基盤の整備

「組織」対「組織」の連携推進による学術研究、産業利用推進

最先端計測技術を駆使する専門家集団としての学術、産業利用  
におけるプレゼンスの確立

2



## 平成30年度の主な研究成果

(中性子利用セクション分)



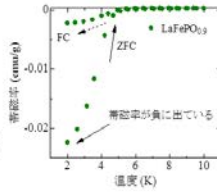
プレス発表 2018年11月5日

代表的成果(1)

鉄リン系鉄系超伝導体 $\text{LaFePO}_{1-y}$ の反強磁性磁気ゆらぎを初めて発見

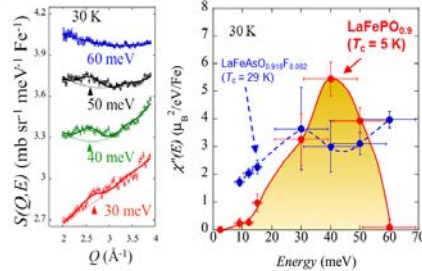
研究目的：その存在が謎であった鉄リン系鉄系超伝導体 $\text{LaFePO}_{1-y}$ における磁気ゆらぎを非弾性中性子散乱実験により探る。

- 成果**
- ✓ 鉄リン系超伝導体 $\text{LaFePO}_{1-y}$ では鉄系超伝導体の超伝導起源の鍵となるはずの磁気ゆらぎが見つかっておらず、この物質の磁気ゆらぎの有無は長らく謎であった。
  - ✓ J-PARCのバルス中性子ビームと高性能実験装置を用いて、 $\text{LaFePO}_{0.9}$  ( $T_c \sim 5 \text{ K}$ )においてこれまでの研究よりも幅広いエネルギー領域に亘る測定を行うことで、当初 $T_c$ から推測されたエネルギー( $\sim 2 \text{ meV}$ )よりもずっと高エネルギー( $30 \sim 50 \text{ meV}$ )に反強磁性磁気ゆらぎが存在することを初めて明らかにした。
  - ✓ 磁気ゆらぎのエネルギー依存性には依然として理論的予測と一致しないところがある。本研究をきっかけとして鉄系超伝導体の超伝導起源に対する磁気ゆらぎの役割の理解がさらに深まると期待。



Scientific Reports誌掲載 (2018)、  
2018年11月5日プレス発表

$\text{LaFePO}_{0.9}$ の帯磁率測定結果。超伝導転移に伴い負に大きくシグナルが出る。



(左) 30 Kでの中性子非弾性散乱強度の波数依存性。波数 $2.5 \text{ \AA}^{-1}$ に反強磁性磁気ゆらぎによるピークが見える。(右) 磁気ゆらぎによる中性子散乱強度のエネルギー依存性。

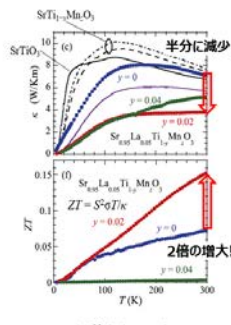
今後の計画・課題： $\text{LaFePO}_{1-y}$ の超伝導転移温度 $T_c$ は酸素欠損濃度 $y$ に依存するため、今後は $y$ の異なる試料へ研究を進展させ、 $T_c$ と磁気ゆらぎの関係を明らかにする。

代表的成果(2)

La、Mn置換した $\text{SrTiO}_3$ の格子ダイナミクスとその熱伝導度との関係

研究目的：n型酸化物熱電材料の候補物質であるLa、Mn置換 $\text{SrTiO}_3$ が示す低熱伝導度の起源を中性子散乱を用いた研究により明らかにする。

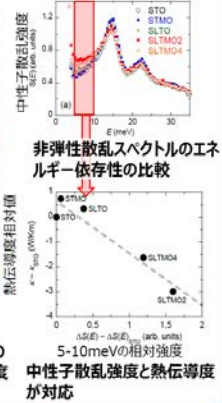
- 成果**
- ✓ 電子ドーピングした $\text{SrTiO}_3$  ( $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{TiO}_3$ )は良い熱電特性を示すことが知られていたが、最近、さらにTiサイトを微量のMnで置換することで熱伝導度が大幅に減少し、その結果性能指数も向上することが分かった。
  - ✓ J-PARCのバルス中性子ビームと高性能実験装置を用いて数種のLa、Mn置換試料に対して非弾性散乱実験を実施した結果、結晶格子の低エネルギーの動的ゆらぎが熱伝導度を支配していることが明らかになった。
  - ✓ この現象はこの物質系特有の電子・格子結合の強さに起因すると考えられ、同様のメカニズムによるより高性能な熱電材料の開発が期待される。



Scientific Reports誌掲載 (2018)

La、Mn置換した $\text{SrTiO}_3$  ( $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ti}_{1-y}\text{Mn}_y\text{O}_3$ )の熱伝導度 $\kappa$ と熱電性能指数 $ZT$ の温度変化

室温での $\text{SrTiO}_3$ と $\text{Sr}_{0.95}\text{La}_{0.05}\text{Ti}_{0.98}\text{Mn}_{0.02}\text{O}_3$ の粉末中性子非弾性散乱強度(波数-エネルギー依存性)



5-10 meVの相対強度 中性子散乱強度と熱伝導度が対応

今後の計画・課題：電子・格子結合がもたらす格子ゆらぎの詳細を明らかにするため、単結晶試料によるフォノン分散の観測を計画している。

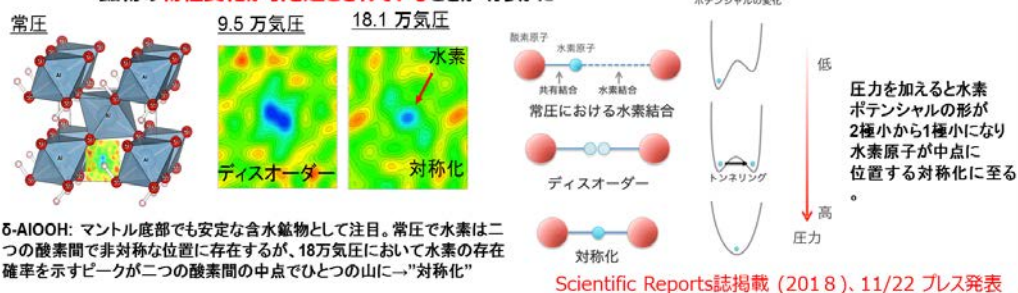
プレス発表 2018年11月22日

代表的成果(3)

## 地球深部で含水鉱物における水素結合の対称化を初めて直接観察

研究目的: 地球深部に相当する条件で含水鉱物中の水素結合における変化をパルス中性子を用いて観測。圧力により引き起こされる結合様式の変化を直接とらえる。

- 成果** ✓ 含水鉱物“ $\delta$ -AlOOH”中の水素結合について、地球深部に相当する高圧力下でおきる変化を J-PARC MLFの大強度中性子ビームを用いて観測
- ✓ 地下520 kmに相当する圧力18万気圧において、水素が二つの酸素間の中点に位置する“対称化”が起きることを初めて実験的に直接観測
- ✓ 今回見つかった水素結合の対称化によって、弾性波速度の急激な上昇や圧縮挙動の変化など鉱物の物性変化が引き起こされていることが明らかに



今後の計画・課題: 今回は常温高圧の結果であるが、地球深部は高温でもある。圧力だけでなく高温条件も再現し、より地球深部条件に近い条件では対称化にどのような影響があるか検討する。

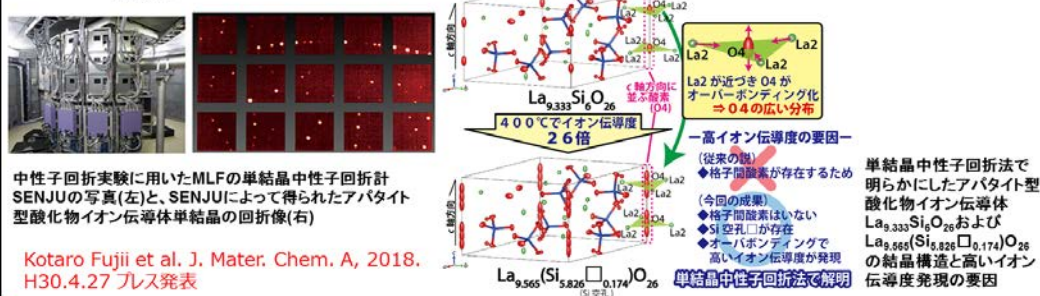
プレス発表 2018年4月27日

代表的成果(4)

アパタイト型酸化物イオン伝導体における高イオン伝導度の要因を解明  
定説をくつがえす格子間酸素の不在

研究目的: 非常に高い酸化物イオン伝導度を示し、次世代の固体燃料電池等への応用が期待されるアパタイト型酸化物イオン伝導体について、単結晶中性子およびX線構造解析法に加えて量子化学計算を用いることで、未解明とされていた酸化物イオン伝導の解析を行った。

- 成果** ✓ アパタイト型酸化物イオン伝導体にはこれまで示唆されてきた格子間酸素は存在せず、一方でSi空孔が存在することが、X線回折ならびにMLFの単結晶回折計SENJUを用いた中性子回折から明らかとなった。
- ✓ 得られた結晶構造を基にした量子化学計算により、高いイオン伝導度の要因は結晶構造中に存在する酸化物イオンの不安定化であることが明らかとなった。
- ✓ イオン伝導のメカニズムとして、「酸化物イオンの不安定化によるイオン伝導度向上」という新たな概念を提唱できた。



今後の計画・課題: 今回明らかにした高いイオン伝導度の要因を基盤とし、革新的な燃料電池やセンサー、酸素分離膜などに繋がる新規アパタイト型酸化物イオン伝導体の開発を促進する。



## 代表的成果(5)

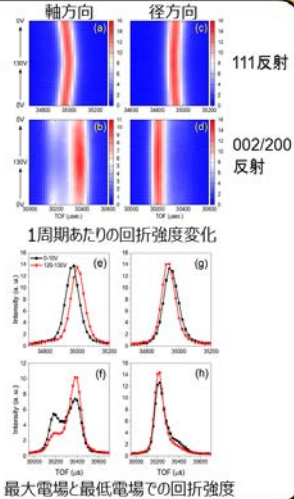
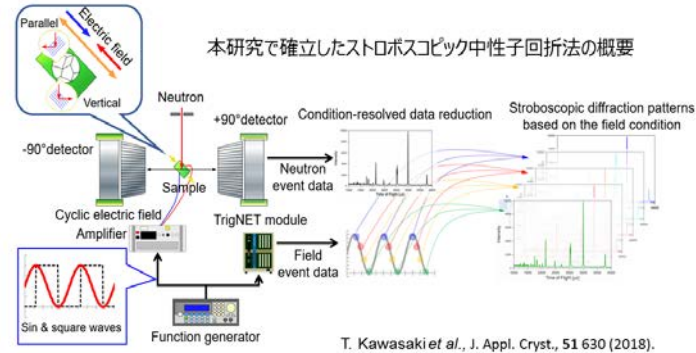
## 周期的に変化する外場に対する物質構造の応答を観測する手法の開発

研究目的: MLFではイベントデータ形式を利用した時分割測定が行われているが、外場の変化が早いと十分な統計精度が得られない。本研究では周期的に変化する外場に対して、同位相に相当する中性子データを任意に取り出し足し合わせることで、外場の早い変化に対する物質構造の応答を観測する手法を開発した。

成果 ✓ 外場イベントデータに基づくストロボスコピック中性子回折測定法を確立

✓ 0.5 Hzの周期的電場で駆動する実用ピエゾアクチュエータ内部の圧電体の格子ひずみとドメイン回転の観測に成功

✓ 可逆的な現象に限るが、早い物質構造変化の観察に広く適用可能



今後の計画・課題: 本手法は産・学・官が連携した発電素子開発プロジェクトでの主要材料評価手法として使用している。今後も他の適用対象の探索を継続する。



## 平成27-29年度の研究活動成果

(中性子利用セクション分)









## 国際協力の状況



| No. | 協 定 名                                                                          | 国 名     | 相手先                                                                          |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | J-PARCセンターとIHEPとの間の核破砕中性子源開発の分野における研究協力取決め                                     | 中国      | 中国科学院高能物理研究所 (IHEP)                                                          |
| 2   | JAEA及びKEKと科学技術施設評議会 (STFC) との間の大強度加速器の開発分野に関する協力の取決め                           | 英国      | 英国科学技術施設会議(STFC)                                                             |
| 3   | JAEA及びKEKと科学技術施設評議会 (STFC) との間の中性子科学技術の開発に関する分野における協力についての取決め                  | 英国      | 英国科学技術施設会議(STFC)                                                             |
| 4   | 欧州原子核研究機構とJAEA及びKEKとの間の陽子リニアックの開発における協力についての取決め                                | 欧州      | 欧州原子核研究機構 (CERN)                                                             |
| 5   | ILLとの間の中性子科学分野における協力に関する取決め                                                    | フランス    | ラウエ・ランジェヴァン研究所 (ILL)                                                         |
| 6   | 高エネルギー加速器研究機構及び日本原子力研究開発機構とオーストラリア原子力科学技術機構との間の中性子科学分野における協力に関する取決め            | オーストラリア | オーストラリア原子力科学技術機構 (ANSTO)                                                     |
| 7   | ドイツ重イオン研究所(GSI)と高エネルギー加速器研究機構(KEK)、日本原子力研究開発機構(JAEA)との間の大強度陽子加速器分野における研究協力取決め  | ドイツ     | ドイツ重イオン研究所(GSI)                                                              |
| 8   | 高エネルギー加速器研究機構、日本原子力研究開発機構及び欧州核破砕中性子源有限責任公社との間の核破砕中性子源開発に関する分野における協力についての取決め    | スウェーデン  | 欧州核破砕中性子源有限責任公社 (ESS ERIC)<br>The European Spallation Source ERIC (ESS ERIC) |
| 9   | J-PARCセンターでの中性子散乱研究とその関連技術に関する協力(「原子力の平和利用分野におけるインドネシア原子力庁とJAEAとの間の取決め」下の附属書Ⅲ) | インドネシア  | インドネシア原子力庁 (BATAN)                                                           |



## 国際協力の状況(締結中)



| No. | 協 定 名                                  | 国 名 | 相手先                |
|-----|----------------------------------------|-----|--------------------|
| 1   | JAEA及びKEKとPSIとの間の科学技術の開発分野に関する協力取決め(仮) | スイス | ポール・シェラー研究所 (PSI)  |
| 2   | J-PARCとSNSにおける核破砕中性子源開発分野の研究協力(仮)      | 米国  | オークリッジ国立研究所 (ORNL) |

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表 1. SI 基本単位

| 基本量   | SI 基本単位 |     |
|-------|---------|-----|
|       | 名称      | 記号  |
| 長さ    | メートル    | m   |
| 質量    | キログラム   | kg  |
| 時間    | 秒       | s   |
| 電流    | アンペア    | A   |
| 熱力学温度 | ケルビン    | K   |
| 物質량   | モル      | mol |
| 光度    | カンデラ    | cd  |

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

| 組立量                     | SI 組立単位      |                    |
|-------------------------|--------------|--------------------|
|                         | 名称           | 記号                 |
| 面積                      | 平方メートル       | m <sup>2</sup>     |
| 体積                      | 立方メートル       | m <sup>3</sup>     |
| 速度                      | メートル毎秒       | m/s                |
| 加速度                     | メートル毎秒毎秒     | m/s <sup>2</sup>   |
| 波数                      | 毎メートル        | m <sup>-1</sup>    |
| 密度, 質量密度                | キログラム毎立方メートル | kg/m <sup>3</sup>  |
| 面積密度                    | キログラム毎平方メートル | kg/m <sup>2</sup>  |
| 比体積                     | 立方メートル毎キログラム | m <sup>3</sup> /kg |
| 電流密度                    | アンペア毎平方メートル  | A/m <sup>2</sup>   |
| 磁界の強さ                   | アンペア毎メートル    | A/m                |
| 量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度 | モル毎立方メートル    | mol/m <sup>3</sup> |
| 質量濃度                    | キログラム毎立方メートル | kg/m <sup>3</sup>  |
| 輝度                      | カンデラ毎平方メートル  | cd/m <sup>2</sup>  |
| 屈折率 <sup>(b)</sup>      | (数字の) 1      | 1                  |
| 比透磁率 <sup>(b)</sup>     | (数字の) 1      | 1                  |

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

| 組立量                           | SI 組立単位               |                   |                      |                                                                |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------|
|                               | 名称                    | 記号                | 他のSI単位による表し方         | SI基本単位による表し方                                                   |
| 平面角                           | ラジアン <sup>(b)</sup>   | rad               | 1 <sup>(b)</sup>     | m/m                                                            |
| 立体角                           | ステラジアン <sup>(b)</sup> | sr <sup>(c)</sup> | 1 <sup>(b)</sup>     | m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>                                 |
| 周波数                           | ヘルツ <sup>(d)</sup>    | Hz                |                      | s <sup>-1</sup>                                                |
| 力                             | ニュートン                 | N                 |                      | m kg s <sup>-2</sup>                                           |
| 圧力, 応力                        | パスカル                  | Pa                | N/m <sup>2</sup>     | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>                             |
| エネルギー, 仕事, 熱量                 | ジュール                  | J                 | N m                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>                              |
| 仕事率, 工率, 放射束                  | ワット                   | W                 | J/s                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>                              |
| 電荷, 電気量                       | クーロン                  | C                 |                      | s A                                                            |
| 電位差 (電圧), 起電力                 | ボルト                   | V                 | W/A                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>              |
| 静電容量                          | ファラド                  | F                 | C/V                  | m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup> |
| 電気抵抗                          | オーム                   | Ω                 | V/A                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>              |
| コンダクタンス                       | ジーメンズ                 | S                 | A/V                  | m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup> |
| 磁束                            | ウェーバ                  | Wb                | Vs                   | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>              |
| 磁束密度                          | テスラ                   | T                 | Wb/m <sup>2</sup>    | kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>                             |
| インダクタンス                       | ヘンリー                  | H                 | Wb/A                 | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>              |
| セルシウス温度                       | セルシウス度 <sup>(e)</sup> | °C                |                      | K                                                              |
| 光束度                           | ルーメン                  | lm                | cd sr <sup>(c)</sup> | cd                                                             |
| 照射度                           | ルクス                   | lx                | lm/m <sup>2</sup>    | m <sup>-2</sup> cd                                             |
| 放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>      | ベクレル <sup>(d)</sup>   | Bq                |                      | s <sup>-1</sup>                                                |
| 吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ           | グレイ                   | Gy                | J/kg                 | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                 |
| 線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量 | シーベルト <sup>(g)</sup>  | Sv                | J/kg                 | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                 |
| 酸素活性化                         | カタール                  | kat               |                      | s <sup>-1</sup> mol                                            |

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。

(g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

| 組立量             | SI 組立単位           |                       |                                                                                      |
|-----------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | 名称                | 記号                    | SI 基本単位による表し方                                                                        |
| 粘着力のモーメント       | パスカル秒             | Pa s                  | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>                                                   |
| 表面張力            | ニュートンメートル         | N m                   | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>                                                    |
| 角速度             | ニュートン毎メートル        | N/m                   | kg s <sup>-2</sup>                                                                   |
| 角加速度            | ラジアン毎秒            | rad/s                 | m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>                                   |
| 熱流密度, 放射照度      | ラジアン毎秒毎秒          | rad/s <sup>2</sup>    | m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>                                   |
| 熱容量, エントロピー     | ワット毎平方メートル        | W/m <sup>2</sup>      | kg s <sup>-3</sup>                                                                   |
| 比熱容量, 比エントロピー   | ジュール毎ケルビン         | J/K                   | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>                                    |
| 比エネルギー          | ジュール毎キログラム毎ケルビン   | J/(kg K)              | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>                                       |
| 熱伝導率            | ジュール毎キログラム        | J/kg                  | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                                       |
| 体積エネルギー         | ワット毎メートル毎ケルビン     | W/(m K)               | m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>                                                 |
| 電界の強さ           | ジュール毎立方メートル       | J/m <sup>3</sup>      | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>                                                   |
| 電荷密度            | ジュール毎平方メートル       | V/m                   | m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>                                                 |
| 表面電荷密度          | クーロン毎立方メートル       | C/m <sup>3</sup>      | m <sup>-3</sup> s A                                                                  |
| 電束密度, 電気変位      | クーロン毎平方メートル       | C/m <sup>2</sup>      | m <sup>-2</sup> s A                                                                  |
| 誘電率             | クーロン毎平方メートル       | C/m <sup>2</sup>      | m <sup>2</sup> s A                                                                   |
| 透磁率             | ファラド毎メートル         | F/m                   | m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>                        |
| モルエネルギー         | ヘンリー毎メートル         | H/m                   | m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>                                                 |
| モルエントロピー, モル熱容量 | ジュール毎モル           | J/mol                 | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>                                  |
| 照射線量 (X線及びγ線)   | ジュール毎モル毎ケルビン      | J/(mol K)             | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>                  |
| 吸収線量率           | クーロン毎キログラム        | C/kg                  | kg <sup>-1</sup> s A                                                                 |
| 放射線強度           | グレイ毎秒             | Gy/s                  | m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>                                                       |
| 放射輝度            | ワット毎ステラジアン        | W/sr                  | m <sup>4</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> |
| 酵素活性濃度          | ワット毎平方メートル毎ステラジアン | W/(m <sup>2</sup> sr) | m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>                |
|                 | カタール毎立方メートル       | kat/m <sup>3</sup>    | m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup> mol                                                  |

表 5. SI 接頭語

| 乗数               | 名称  | 記号 | 乗数                | 名称   | 記号 |
|------------------|-----|----|-------------------|------|----|
| 10 <sup>24</sup> | ヨタ  | Y  | 10 <sup>-1</sup>  | デシ   | d  |
| 10 <sup>21</sup> | ゼタ  | Z  | 10 <sup>-2</sup>  | センチ  | c  |
| 10 <sup>18</sup> | エクサ | E  | 10 <sup>-3</sup>  | ミリ   | m  |
| 10 <sup>15</sup> | ペタ  | P  | 10 <sup>-6</sup>  | マイクロ | μ  |
| 10 <sup>12</sup> | テラ  | T  | 10 <sup>-9</sup>  | ナノ   | n  |
| 10 <sup>9</sup>  | ギガ  | G  | 10 <sup>-12</sup> | ピコ   | p  |
| 10 <sup>6</sup>  | メガ  | M  | 10 <sup>-15</sup> | フェムト | f  |
| 10 <sup>3</sup>  | キロ  | k  | 10 <sup>-18</sup> | アト   | a  |
| 10 <sup>2</sup>  | ヘクト | h  | 10 <sup>-21</sup> | ゼプト  | z  |
| 10 <sup>1</sup>  | デカ  | da | 10 <sup>-24</sup> | ヨクト  | y  |

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

| 名称    | 記号   | SI 単位による値                                                                                   |
|-------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 分     | min  | 1 min=60 s                                                                                  |
| 時     | h    | 1 h=60 min=3600 s                                                                           |
| 日     | d    | 1 d=24 h=86 400 s                                                                           |
| 度     | °    | 1°=(π/180) rad                                                                              |
| 分     | ′    | 1′=(1/60)°=(π/10 800) rad                                                                   |
| 秒     | ″    | 1″=(1/60)′=(π/648 000) rad                                                                  |
| ヘクタール | ha   | 1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>                                      |
| リットル  | L, l | 1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> |
| トン    | t    | 1 t=10 <sup>3</sup> kg                                                                      |

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

| 名称       | 記号 | SI 単位で表される数値                                |
|----------|----|---------------------------------------------|
| 電子ボルト    | eV | 1 eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J   |
| ダルトン     | Da | 1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg  |
| 統一原子質量単位 | u  | 1 u=1 Da                                    |
| 天文単位     | ua | 1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m |

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

| 名称        | 記号   | SI 単位で表される数値                                                                                  |
|-----------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| バール       | bar  | 1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 <sup>5</sup> Pa                                                      |
| 水銀柱ミリメートル | mmHg | 1 mmHg=133.322 Pa                                                                             |
| オングストローム  | Å    | 1 Å=0.1 nm=100 pm=10 <sup>-10</sup> m                                                         |
| 海里        | M    | 1 M=1852 m                                                                                    |
| バイン       | b    | 1 b=100 fm <sup>2</sup> =(10 <sup>12</sup> cm) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup> |
| ノット       | kn   | 1 kn=(1852/3600) m/s                                                                          |
| ネーパ       | Np   | SI単位との数値的な関係は、<br>対数量の定義に依存。                                                                  |
| ベレル       | B    |                                                                                               |
| デシベル      | dB   |                                                                                               |

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

| 名称                    | 記号  | SI 単位で表される数値                                                                            |
|-----------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| エルグ                   | erg | 1 erg=10 <sup>-7</sup> J                                                                |
| ダイン                   | dyn | 1 dyn=10 <sup>-5</sup> N                                                                |
| ポアズ                   | P   | 1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1 Pa s                                                  |
| ストークス                 | St  | 1 St=1 cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> |
| スチルブ                  | sb  | 1 sb=1 cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>                          |
| フオット                  | ph  | 1 ph=1 cd sr cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> lx                                       |
| ガリ                    | Gal | 1 Gal=1 cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>                           |
| マクスウェル                | Mx  | 1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb                                           |
| ガウス                   | G   | 1 G=1 Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T                                           |
| エルステッド <sup>(a)</sup> | Oe  | 1 Oe ≡ (10 <sup>3</sup> /4 π) A m <sup>-1</sup>                                         |

(a) 3 元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≡ 」は対応関係を示すものである。

表 10. SIに属さないその他の単位の例

| 名称        | 記号   | SI 単位で表される数値                                                      |
|-----------|------|-------------------------------------------------------------------|
| キュリー      | Ci   | 1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq                                      |
| レントゲン     | R    | 1 R = 2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg                                  |
| ラド        | rad  | 1 rad=1 cGy=10 <sup>-2</sup> Gy                                   |
| レム        | rem  | 1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv                                   |
| ガンマ       | γ    | 1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T                                       |
| フェルミ      | f    | 1 フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m                                   |
| メートル系カラット |      | 1 メートル系カラット=0.2 g = 2×10 <sup>-4</sup> kg                         |
| トル        | Torr | 1 Torr = (101 325/760) Pa                                         |
| 標準大気圧     | atm  | 1 atm = 101 325 Pa                                                |
| カロリ       | cal  | 1 cal=4.1858 J (「15℃」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ) |
| マイクロン     | μ    | 1 μ =1 μm=10 <sup>-6</sup> m                                      |



