

# 大強度陽子加速器施設 (J-PARC)

## 中間評価報告書

平成 30 年 6 月 25 日

科学技術・学術審議会

大強度陽子加速器施設評価作業部会

## 目次

1. はじめに	1
2. 前回中間評価（平成 24 年 6 月）以降の取組	2
3. これまでの主な成果	2
4. 前回中間評価（平成 24 年 6 月）の主な指摘事項に対する対応等	5
(1) 研究能力の更なる向上	5
(2) 教育及び研究者育成の役割	14
(3) 国際研究拠点化の役割	14
(4) 中性子線施設の共用の促進の役割	16
5. 前回中間評価以降に起きた主な事象とその対応・対策	18
(1) ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故	18
(2) MLF における中性子標的容器の不具合	19
6. 今後重要となる論点	19
(1) 経営的視点の導入	20
(2) 本格的産学連携の実施	20
(3) 成果指標の検討	21
7. 評価のまとめ	22
8. おわりに	24
○ 参考資料	25

## 1. はじめに

### (J-PARC の概要)

大強度陽子加速器施設（以下「J-PARC」という。）は、日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）と高エネルギー加速器研究機構（以下「KEK」という。）が共同で茨城県東海村に建設した複合研究施設である。本施設では、世界最高レベルのビーム強度を有する大型陽子加速器により発生する多彩な二次粒子（ニュートリノ、中性子、ミュオン、K 中間子等）を用いた新しい研究手段を提供しており、素粒子・原子核物理学、物質科学、生命科学、原子力工学などの基礎科学から、新規材料開発、非破壊検査などの産業応用に至る幅広い研究開発を推進している。

### (これまでの経緯)

J-PARC は平成 13 年に建設に着手し、平成 20 年から「物質・生命科学実験施設」（以下「MLF」という。）において中性子ビームの供用を開始し、平成 21 年から「ニュートリノ実験施設」、「原子核・素粒子実験施設」（以下「ハドロン実験施設」という。）において原子核・素粒子実験を開始した。平成 24 年からは、MLF は共用法<sup>※</sup>に基づく特定中性子線施設として、中性子実験装置を広く産学官の共用に供している。

これまで、東日本大震災（平成 23 年 3 月）により大きな被害を受けるなど、予期せぬ困難に直面するも、ビーム強度の増強およびビームの安定供給に努め、基礎科学から産業応用まで幅広い研究分野で多くの成果を創出してきた。

### (本中間評価の位置付け)

「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 日最終改訂）において、研究開発プログラムは、5 年ごとを目安に評価を実施することとされている。また、J-PARC は大型研究施設として技術開発を重ねながら、ビーム強度の増強など施設の高度化を図っていくものであるが、運転開始から凡そ 10 年が経過し、施設の安定運転の達成を見越した先見的な取組を開始していく時期に来ている。

このため、前回の中間評価（平成 24 年 6 月）における指摘事項への対応状況について評価を行うとともに、安定運転の達成を見越した今後の運営に係る課

---

<sup>※</sup> 特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律（平成 6 年法律第 78 号）

題と方向性を明確にすることを目的とし中間評価を行った。

評価は、研究計画・評価分科会量子科学技術委員会、原子力科学技術委員会および学術分科会研究環境基盤部会の下に合同設置した「大強度陽子加速器施設評価作業部会」で行った。本報告書は、上記評価作業部会での審議をまとめたものである。

## 2. 前回中間評価（平成 24 年 6 月）以降の取組

- ・ ニュートリノ実験施設およびハドロン実験施設では、宇宙の始まりと物質の起源にせまる研究を、MLF では、物質の機能や生命の起源にせまる研究開発を推進している。
- ・ 年間約 30,000 人日の利用者が来訪している。  
※利用者の割合：ニュートリノ実験施設：約 40%  
ハドロン実験施設：約 24%  
MLF：約 30%
- ・ ビーム出力は、ニュートリノ実験施設で 481kW、ハドロン実験施設で 50kW、物質・生命科学実験施設で 500kW を達成した。
- ・ MLF においては、1 MW 相当出力での試験運転にも成功した。
- ・ 施設の稼働率は、ニュートリノ実験施設で約 77%、ハドロン実験施設で約 84%、MLF で約 93% と高い安定性を維持している（平成 29 年度末時点）。
- ・ 平成 25 年 5 月 23 日、ハドロン実験施設において放射性物質漏えい事故が発生し、約 9 か月間、施設は運転を停止した。事故原因を解明し対応策を講じるとともに、組織の安全管理体制を強化した（詳細は後述）。
- ・ 平成 27 年 4 月と同年 11 月、MLF にて中性子標的容器に不具合が発生し、約 3 か月間、MLF の利用運転を停止した。不具合の原因を解明し、対応策として新たな設計による中性子標的容器を製作。新たな標的容器を使用して、平成 30 年 4 月より 500kW での連続運転が行われている（詳細は後述）。

## 3. これまでの主な成果

（ニュートリノ実験施設）

- ・ J-PARC で発生させたニュートリノをスーパーカミオカンデ(岐阜県神岡町)

で測定する国際共同実験 T2K（平成 22 年 1 月開始）により、ニュートリノが飛行中に別の種類に移り変わる物理現象（ニュートリノ振動）の観測を行っている。大強度ビームによる長期間の継続的な測定により、以下のような重要な成果が創出されている。

- ・ 平成 25 年、世界で初めてミュー型ニュートリノから電子型ニュートリノへの振動現象の「兆候」を観測。その後、継続的なデータ収集により「証拠」、「観測」、「測定」と着実に確度を上げ成果を発表している。関連論文は計 2,000 回以上引用され、仁科記念賞、ブレークスルー基礎物理学賞など多数の賞を受賞。
- ・ 平成 28 年、世界で初めてニュートリノの CP 対称性の破れの「兆候」を捕えた（被引用数：125）。現在は確度の向上を目指しデータ収集を継続中である。
- ・ T2K 実験全体で発表された論文は計 75 報であり、合計 5,500 回以上引用されている（平均引用数 74.2）。

#### （ハドロン実験施設）

- ・ K 中間子等を用いて素粒子・ハドロン・原子核に係る複数のテーマの基礎物理学実験を行っている。3 本のビームラインに、それぞれの実験に特化された測定器を設置し長期間の継続的な測定を行う。これまでに 10 件の実験課題を実施し、計 12 報の論文が発表されている。以下に主な成果を示す。
  - ハイパー核における荷電対称性の破れを発見（Physical Review Letters 誌, 2015）。本論文は Editors' Suggestion（注目論文） に選ばれた。
  - 重いフッ素ハイパー核のエネルギー準位を世界で初めて測定（Physical Review Letters 誌, 2018）。
  - K 中間子と二つの陽子が束縛された新しい形態の原子核の生成に成功（Progress of Theoretical and Experimental Physics 誌, 2015）

#### （MLF）

- ・ 中性子やミュオンを用いて、物質や生命の機能に係る基礎研究から材料開発等の産業利用まで幅広い分野の実験が行われている。現在、中性子実験装置は 20 台、ミュオン実験装置は 3 台が稼働中であり、年間 450 件以上の実験が実施されている。

- ・ これまで累計約 970 報の論文を発表しており、J-PARC と同時期に稼働を開始した米国の類似施設（SNS）と比較すると、論文生産性の費用対効果は高い（稼働時間・出力あたり）。
- ・ NCI\*の高い世界的に注目される成果を始め、インパクトファクターの高い雑誌等に多くの論文が発表されている。以下に主な成果を示す。
  - 高出力な全固体セラミックス電池を実証（Nature Energy 誌, 2016）、NCI=82.1
  - 世界一イオン伝導率の高い超イオン伝導体を発見（Nature Material 誌, 2011）、NCI=51.6
  - 次世代太陽電池材料として注目されるペロブスカイト半導体における、高い発電効率の起源を解明（Nature communications 誌, 2017）
  - ヒドリドイオン（H<sup>-</sup>）が伝導する新たなイオン伝導体を発見（Science 誌, 2016）
  - 鉄系超電導物質における新しい型の磁気秩序相を発見（Nature physics 誌, 2014）
  - 貴金属を使わない燃料電池向けの新たな触媒を開発（Science 誌, 2013）
- ・ 産業利用割合は約 3 割で諸外国の同様の施設と比較して高い。以下に実製品に繋がった産業利用の成果例を示す。
  - 低燃費で耐摩耗性に優れた高性能タイヤの開発・製品化（平成 28 年）
  - 全固体セラミックス電池の自動車への搭載（平成 34 年見込み）

その他、J-PARC における研究活動等が下記表彰を受けている。

- 平成 26 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞（研究部門）  
業績名：「地球深部における鉱物中の水素結合と同位体効果の研究」  
受賞者：古川（佐野）亜沙美（J-PARC センター）
- 平成 24 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（研究部門）  
業績名：「パルス中性子による高効率ナノダイナミクス計測技術の研究」  
受賞者：新井正敏（J-PARC センター）、他 2 名
- 平成 24 年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（理解増進部門）

---

\* Normalized Citation Impact の略：分野間の論文数等の不均衡を平坦化した、論文の被引用回数の指標。平均値は 1 となる。

業績名：「市民へのわかりやすい説明による最先端科学への理解増進」

受賞者：鈴木國弘（J-PARC センター）

#### 4. 前回中間評価（平成 24 年 6 月）の主な指摘事項に対する対応等

前回中間評価時の報告書において指摘された主な項目に関し、指摘事項に対する対応状況およびそれを踏まえた今後の課題と推進方策について、以下に述べる。

##### (1) 研究能力の更なる向上

（前回中間評価での指摘）

納税者である国民に成果を適切に還元することが重要であることから、特に MLF に関しては、課題解決を目指したトップダウン型の手法により J-PARC センターやコミュニティが主導して重点的に研究を推進する仕組みが必要である。

##### 【対応状況】

- ・ MLF では、平成 28 年度から、成果最大化に向けた「MLF 改革」を実施しており、以下の PDCA サイクルの実現に向けた取組を進めている。
  - （1）良質な課題を、（2）確実に実行し、（3）実験結果をまとめ、（4）結果を論文等に具現化し、（5）戦略的に公表し、（6）更なる研究展開へと続ける
- ・ MLF では、以下の会議体やグループ等を新たに設置し、トップダウン型の研究開発の実現に向けた検討を行っている。
  - ✓ MLF 研究企画会議において、研究の基本方針及び重点研究課題を決定する。
  - ✓ サイエンスグループを設置し、組織横断的な研究の実施、研究者の研究能力の向上及び利用者支援の質の向上を図る。
  - ✓ サイエンスプロモーションボードにおいて、上記活動や成果、運営方針等に対し助言・提言を行う。
- ・ さらに、MLF 研究企画会議においては、「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」、「ミュオン科学」の 5 つの重点エリアを決定することで、研究開発の重点化を進めている。

- ・ 重点課題優先枠として、元素戦略プロジェクト用の課題枠を確保しており、プロジェクト開始より計 24 課題を実施している。

(前回中間評価での指摘)

グリーン・ライフイノベーションに貢献するため、学术界が産業界と連携した戦略的な取組が必要である。

【対応状況】

- ・ 中性子の産業利用を促進するため、中性子産業利用推進協議会の設置や産業界の利用者向けの講習会等の開催、KEK が設置するビームラインにおける産業利用の受付を新たに開始する等の取組を行っており、産業利用率は実施課題数において約 3 割と高い利用水準を維持している（平成 24 年度～平成 29 年度）。
- ・ 平成 28 年度から、民間企業の研究員が J-PARC に常駐する「企業ポスドク制度」を設置しており、平成 29 年度から 1 名を受け入れている。平成 30 年度からは、更に 1 名を受け入れた。

【今後の課題と推進方策】

- ・ MLF については、社会・産業が抱える重要課題に対してソリューションを提供できる大型共用研究施設として最大限活用を進めるべきであり、産業界との連携においては、非競争領域での企業コンソーシアムの形成による産学官の連携など、「組織」対「組織」の本格的産学連携を進めていくべき。この際、民間企業が参画しやすいよう、競争領域と非競争領域の研究開発を柔軟に実施できる体制を整備することが重要である。

(前回中間評価の指摘)

国民の信頼と支持を得ていくためには、効果的な広報を通して、日本の施設が国際的な拠点となり科学技術や學術の最先端に挑戦する研究活動が行われていることを示していく取組が必要である。

【対応状況】

- ・ 世界をリードする J-PARC での研究について広く広報するため、ニュートリノ研究を共同で行う東京大学宇宙線研究所と連携した一般向けの講演会（講



演者：梶田隆章氏（2015年ノーベル物理学賞受賞）等を開催した。

- ・ プレスリリースに必要な手続きの整理により、プレスリリース数は着実に増加している。また、取材誘致活動によるメディア取材数や記事への掲載割合の増加により、研究成果に関する記事数が増加した。
- ・ 国民の信頼と支持を得ていくため、ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故（詳細は後述）後の取り組みとして、「事故の発生状況」や「事故対応の取り組み」、「再発防止策」等についての住民説明会を3度開催し、これらの説明会で使用した資料や各種報告書等は、J-PARC センターのホームページや東海村コミュニティーセンターで閲覧できるようにした。また、専用のホットライン（電話および電子メール）を設置し、個々の問い合わせにも対応した。

#### 【今後の課題と推進方策】

- ・ 広報戦略を策定できる常勤職員の雇用や、広報戦略チームの正式な組織化などの取組を行い、国内唯一の大強度陽子加速器施設かつ複合研究施設としての特徴を活かした、費用対効果の高い広報（ターゲットの明確化、成果の国際的なアピール等）を実施していくべき。
- ・ 地域社会との交流をより一層深めるため、オープンアクセス可能な施設となるよう環境整備を進めていくべき。

#### （前回中間評価での指摘）

更なる研究成果の創出に向けて、他の大規模先端施設との有機的な連携・活用を図り、他国にない我が国の強みとして、研究開発を推進する。

#### 【対応状況】

- ・ SPring-8、SACLA、「京」との連携利用課題制度を平成26年度に新設し、これまで計89課題を採択・実施している。
- ・ 平成26年度から、「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」を開催し、連携利用の促進を図っている。
- ・ 素粒子・原子核分野では、「京」におけるシミュレーションと、J-PARCにおける実験の密接な連携がなされている。

(前回中間評価での指摘)

共用法に基づく共用を促進し、イノベーションの創出と国際競争力及び産業競争力の強化に貢献する。

**【対応状況】**

- ・ MLF において、以下のような卓越した研究成果が創出されており、イノベーション創出や産業競争力および産業競争力の強化に貢献している。

(主な研究成果の例)

- イ) 次世代太陽電池材料として注目されるペロブスカイト半導体における高い発電効率の起源を解明 (平成 29 年)
- ロ) NEDO が実施する革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発への参画による新規リチウムイオン電池材料の開発 (平成 28 年)
- ハ) 充放電しているリチウム電池の内部挙動の解析に成功 (平成 28 年)
- ニ) 鉄系超電導物質に新しい型の磁気秩序相を発見 (平成 26 年)
- ホ) 高性能タイヤの製品化 (平成 28 年) や全固体セラミックス電池の実用化 (平成 34 年見込み)。

**(加速器・ニュートリノ)**

(前回中間評価での指摘)

世界トップの成果を創出し続けていくためには、ビーム強度の増強が必要である。当面の目標として MLF で 1 MW、ハドロン実験施設で 100kW、ニュートリノ実験施設で 750kW のビーム強度に一刻も早く達することが必要である。

**【対応状況】**

- ・ MLF では 500kW の連続利用運転に成功している (平成 30 年 4 月～)。既に、1 パルス当たりの中性子発生数は世界一となっている (平成 26 年 4 月)。
- ・ 1 MW 相当出力での試験運転に成功している (平成 27 年)。また、1 MW 陽子ビームの定常的な入射に向けて水銀ターゲットを改良し、1 MW での安定運転の実現に向けて着実に準備を進めている。
- ・ 安定運転の実現には堅牢なターゲットの開発が極めて重要であり、使用済み

中性子標的容器の更なる詳細な調査・検証（PIE：Post Irradiation Examination）に取り組んでいる。

- ・ ハドロン実験施設では 50kW での運転に成功している（平成 30 年 2 月）。「遅い取り出し」で世界最高の取り出し効率を実現しており（99.5%）、100kW での運転の技術的目途は立っている。
- ・ ラムダ粒子を入れたハイパー核の「荷電対称性の破れ」の発見（平成 27 年）や重いハイパー核の「エネルギー準位」の初めての測定（平成 30 年）を実現した。
- ・ CP 対称性を破る中性 K 中間子の稀な崩壊により、標準模型を超える新しい物理の探索を行っている。
- ・ ニュートリノ実験施設では 481kW での運転に成功しており（平成 29 年 12 月）、パルスあたりの陽子数は世界最高となっている。
- ・ 世界に先駆けてミュー型ニュートリノから電子型ニュートリノの変化を発見し（平成 25 年）、J-PARC 建設当初の目標を達成した。
- ・ ニュートリノにおける CP 対称性の破れの兆候を観測し（平成 28 年）、より高い確度での証拠の捕捉に向け、平成 28 年度から所期の目標強度（750kW）の実現に向けた電源の高度化に着手している。

#### 【今後の課題と推進方策】

- ・ MLF については、電池などの新材料開発や生命科学分野の研究開発において、大強度の中性子ビームによる新たな成果創出が期待されるため、安定運転を第一としつつ、1 MW 出力を着実に目指していくべきである。また、そのために重要となるターゲット開発や PIE 等について引き続き取り組む。
- ・ また、将来的なニーズや国際競争を見据えた、第 2 ターゲットステーションの具体的な検討を引き続き進めるべきである。
- ・ 主リングについては、所期の目標強度（ニュートリノ実験施設：750kW、ハドロン実験施設：100kW）を早期に達成すべきであり、そのために必要な措置（主リング電磁石電源アップグレード等）について引き続き取り組む。
- ・ また、今後も世界をリードする研究を続けるため、技術的な検証を終えている 1.3MW への増強や十分なビームタイムの確保に向け引き続き努力すべき。但し、国際競争の状況や財政環境、施設の効率的な整備・運用等も考慮し、

中長期的な戦略を立てて取組むことが重要である。

### (中性子)

(前回中間評価での指摘)

試料の前処理からデータ取得・解析までの一貫した分析サービスの提供などに取り組む必要がある。

#### 【対応状況】

- ・ 茨城県が設置した装置において、メールインサービスを開始し、平成 28 年度は 7 課題を採択した。その他、一部の装置で Fast Track Proposal (メールインサービスに類似した課題実施方法) を導入した (平成 29 年度～)。
- ・ 茨城県が設置した装置において、毎月、課題を募集する随時受付課題制度を開始し、平成 28 年度は 46 課題を採択している。

#### 【今後の課題と推進方策】

- ・ メールインサービスや随時受付課題制度は、利用者のニーズが高い。今後は、これらの本格的導入とともに、学術、産業の利用者視点に立って、高度な解析サービスの導入等も進めていくべき。

(前回中間評価での指摘)

1 MW 運転が実現される頃までに、大きな格子を持つ超分子複合体の結晶に対応できる装置も含め、複数の生命科学用の装置の整備が望まれる。

#### 【対応状況】

- ・ 中性子は、タンパク質構造解析において、全原子構造情報を取得できる唯一の手法である。加えて、広い空間・時間スケールにおける構造やダイナミクスの理解によるタンパク質の機能発現の解明に鍵となる手法である。
- ・ 国内関係学会 (日本蛋白質科学会、日本結晶学会、日本生物物理学会、日本放射光学会等) において、タンパク質の中性子回折に関わるシンポジウムが開催されるなど、学術コミュニティにおける大型タンパク結晶構造解析装置に対する期待は高い。

- ・ 欧米の類似施設においても大型分子解析可能装置が建設されるなど、世界的にも将来のイノベーションを見越した熾烈な競争下にあり、J-PARC としても実現に向けた取組を行っている。
- ・ MLF では、生命科学分野の専門家の採用、重水素化施設への若手研究者の派遣、重水素化ワークショップを開催するなど、生命科学分野の強化を図っている。

#### 【今後の課題と推進方策】

- ・ 生命科学用の装置の整備に当たっては、学術研究から産業利用までを見据えて、重要な研究開発課題やイノベーション創出を加速する装置の有効利用を進める仕組み等の検討を、ユーザーコミュニティが主体となり施設とともに進めていくことが求められる。

#### (ミュオン)

(前回中間評価での指摘)

グリーン・ライフイノベーション等への具体的な波及効果を明瞭にする必要がある。

#### 【対応状況】

- ・ 低速ミュオン装置 (S1 ライン) は平成 29 年度から外部ユーザーに供用を開始し、電池材料のオペランド観察や鉄鋼材料の評価等の測定が行われている。
- ・ 超低速ミュオンビーム装置 (U ライン) は、装置の供用に向けて装置整備と予備実験が進んでいる。スピントロニクスデバイスにおける電子状態や、触媒における水素の働きの解明などの実験が予定されている。
- ・ ミュオンの基礎物理研究や透過型ミュオン顕微鏡の整備等を行う H ラインの建設に向けた電源ヤードを建設した。

#### 【今後の課題と推進方策】

- ・ 学術・産業界のニーズを踏まえた装置整備の優先順位を明確にしつつ、当面

は S ライン・H ラインの整備を進めていくべき。

### (ハドロン)

(前回中間評価での指摘)

高運動量ビームラインと  $\mu$ -e 変換実験用ビームラインの上流部分は共通化されており、効率的な整備が可能であることから、共通化された計画を推進するべきである。

#### 【対応状況】

- ・ 高運動量ビームラインと  $\mu$ -e 変換実験用ビームラインの上流部分を共通化し効率的な設計とした。現在、遮蔽体や検出器を整備中であり、ハドロンの質量に関する研究や COMET 実験 ( $\mu$ -e 変換実験) を実施する予定である。
- ・ 平成 25 年度から荷電粒子ビームライン 2 本と中性粒子ビームライン 1 本を整備し運用している。
- ・ 多様な実験を同時に行うことで複数の重要課題を効率的に実施可能となるよう、ハドロン実験施設の拡張を計画中である。
- ・ 国内外の専門家によるレビューと評価を受け、装置整備や課題実施の優先順位を明確にしながらか実験施設を運営している。

#### 【今後の課題と推進方策】

引き続き、施設全体の運用計画のもと、学術コミュニティのニーズを踏まえた装置整備の優先順位を明確にしつつビームラインの整備を進めるとともに、実験施設の拡張計画など、施設・設備の高度化や効率的利用に向けた計画の検討を更に進めるべきである。

### (核変換)

(前回中間評価での指摘)

国の原子力政策に大きく依存することから、今後の原子力政策における位置付けを踏まえて、状況の変化に応じた柔軟な対応をとることが必要である。

#### 【対応状況】

- ・ JAEA において、ADS ターゲット試験施設 (TEF-T) の技術設計書及び核変

換物理実験施設 (TEF-P) の安全設計書の取りまとめを行った。

- ・ 引き続き、核変換実験施設 (TEF-T および TEF-P) の要素技術検証のための研究開発等を実施している。

#### 【今後の課題と推進方策】

- ・ 大強度陽子ビーム加速器に関する技術蓄積等の基礎研究を引き続き進めていくことが重要であるが、国際協力の推進や計算科学の活用など、より合理的かつ効率的な進め方についての検討が必要である。

#### (施設整備)

(前回中間評価での指摘)

総合研究基盤施設については、全分野の J-PARC 利用者が使用する重要な施設であり、研究促進と研究者の安全確保の両面から、今後整備されることが必要である。

#### 【対応状況】

- ・ 総合研究基盤施設 (J-PARC 総合研究棟) は平成 26 年度に完成し、平成 27 年度から J-PARC 利用者の実験準備や研究者間の交流などに幅広く利用されている。

(前回中間評価での指摘)

放射化物使用棟については、放射化物増加の影響により J-PARC の運転を停止せざるを得ない状況とならないよう留意しながら、他の方策や経済合理性も含めて検討すべきである。

#### 【対応状況】

- ・ MLF の使用済ターゲット容器等の放射化物を保管するための放射化物使用棟については、平成 29 年 12 月に完成し、平成 30 年度から運用を開始している。

## (2) 教育及び研究者育成の役割

(前回中間評価での指摘)

施設を単に最先端の研究の場に使用するだけでなく、高度な教育を受ける場としてこれまで以上に有効かつ積極的に活用し、研究施設等を支える人材も含め我が国の将来を支える研究者等の人材育成に努めることが重要である。

### 【対応状況】

- ・ 大阪大学、京都大学、九州大学が分室を設置しており(平成30年4月現在)、大学教員の常駐、施設の大学教育への活用等、高度研究人材の育成に資する取組が行われている。
- ・ 大学とのクロスアポイントメントによる大学教員の雇用を進めるとともに、施設スタッフによる他大学での非常勤講師も積極的に推進している。
- ・ 各種スクールの開催や外部の若手研究者の受け入れなどを行い、若手研究者の育成を図っている。

### 【今後の課題と推進方策】

- ・ 高度研究人材の育成や利用者の開拓、異分野研究との連携を促進する観点から、各種スクールや研究会・シンポジウム等の活動を今後も継続的に行い、若手研究者やこれまで J-PARC を利用した研究を行ってこなかった研究者に対して、積極的に教育の機会を提供していくべき。

## (3) 国際研究拠点化の役割

(前回中間評価の指摘)

国際公共財としての役割を果たすための更なる常駐外国人研究者の受け入れ、生活支援などに係る地元自治体との連携・協力、海外からの非公開利用の取扱基準の検討などが課題である。

### 【対応状況】

(更なる常駐外国人研究者の受け入れ)

- ・ 外国人ユーザーは年間約 900 人を受け入れており、平成 29 年度はそのうち 52 名が 30 日以上滞在した。



- ・ 平成 27 年度より、海外の学生が数か月滞在し実習を行う取組を開始しており、平成 29 年度は 26 名を受け入れている。特に平成 29 年度は「さくらサイエンスプラン」の採択により大きく増加した。

(生活支援等に係る地元自治体との連携・協力)

- ・ J-PARC ユーザーズオフィスに外国人研究者専任スタッフを配置し、各種行政手続き等の支援を実施している。
- ・ 地元自治体(東海村)と協力し、地元広報誌(広報とうかい)の英語版(Koho Tokai)や東海村国際交流協会(TIA)からの行事案内等を配布している。
- ・ 日本語教室や文化教室など滞在外国人向けイベントを多数開催している。

(海外からの非公開利用の取扱基準の検討)

- ・ 海外企業等が成果占有利用を希望する場合の取扱いについては、文部科学省 科学技術・学術審議会 研究開発プラットフォーム委員会において「区別なく受け入れる」との方針が決められた(平成 25 年 8 月)。MLF もこの方針に従い「海外からの非公開課題も国内からの申請と同様に扱うこと」を新たに規定した。

(世界トップレベルの研究開発とそれを支える環境の整備)

- ・ 世界の代表的な研究機関の所長等が委員を務める国際アドバイザー委員会及び、その下部組織である各領域の専門部会を毎年開催し、世界最先端の知見を反映している。

(参考)

国際アドバイザー委員会 専門部会 (国際アドバイザー委員会へ報告)

- 核変換実験施設技術アドバイザー委員会
- 中性子アドバイザー委員会
- ミュオン科学アドバイザー委員会
- 加速器技術アドバイザー委員会
- 大強度陽子加速器における原子核素粒子共同利用実験審査委員会
- ・ 海外の同様の施設との協力協定を締結し技術交流・情報交換を実施している。
  - 平成 27 年 7 月に、豪国 ANSTO と「中性子科学分野の相互協力に関する取決め」を締結し、定期的なワークショップや技術交換のための長期

滞在を開始した。

▶ 平成 29 年 7 月に、瑞国 ESS との研究協力に関する覚書を締結し、定期的なワークショップを開始した（平成 30 年 1 月から）。

- ・ 国際共同実験である T2K 実験を継続的に実施する等、国際公共財として、実験装置建設や運転維持に対して国際的な協力を得つつ、国際共同プロジェクトを推進する体制・環境は整備されている。

#### 【今後の課題と推進方策】

- ・ 真の国際研究拠点となるために、安定運転を実現するとともに、利用者の利便性を向上するため、J-PARC としての一体的な組織運営やオープンアクセスの推進（アクセス道路の整備等）について、投資対効果を踏まえた具体的な検討を進めるべき。

#### （4）中性子線施設の共用の促進の役割

（前回中間評価での指摘）

利用者支援等の充実・強化、潜在的利用者の掘り起こし、ビームラインの有効利活用、ビームタイムの有効活用、JRR-3 との一体的な利用、産学連携ビームラインの整備などが課題である。

#### 【対応状況】

（利用者支援の充実・強化）

- ・ 課題申請者への審査後のフィードバックの実施、課題申請前の装置担当者との相談の促進、課題審査方法の改善など、実施課題の質の向上に着手している。
- ・ 効率的な成果創出に繋げるため平成 28 年度より装置担当者裁量枠（最大 10%）を設定した。
- ・ 平成 27 年度より、サイエンスコーディネータ等の企業訪問による啓蒙活動、研究支援活動を実施している。

（潜在的利用者の掘り起こし）

- ・ 新規利用者拡大のため、平成 24 年度からトライアルユース制度（初心者優先制度）によるビームタイム枠を設置した（平成 27 年度以降は New User Promotion 制度として実施）。

- ・ 新規利用者に対する継続的な相談・技術支援など、サポート体制を充実させた。
- ・ MLF 利用者の利便性向上や新規利用者が MLF に関する情報に容易にアクセスできるようにするため、平成 27 年度から、MLF に関する情報を一元的に集めた MLF web site (Meet@MLF) の運用を開始した。
- ・ 研究会・シンポジウム等における装置性能情報や具体的な利用成果に関する報告や、成果報告書の Web ページでの公開を実施した。

(ビームラインの有効利活用、ビームタイムの有効活用)

- ・ 複数の装置において試料自動交換システムを導入し、測定効率の大幅な向上が実現した。
- ・ 競争的資金により建設された装置について、各プロジェクト終了後に一般利用に供している。

(JRR-3 との一体的な利用)

- ・ JRR-3 は平成 22 年より停止しており、現在、原子力規制委員会による安全審査が行われている。J-PARC では、JRR-3 の再稼働後の一体的な利用に向けて以下の項目について検討を進めている。
  - JRR-3 の各装置のスクラップ&ビルドも考慮した高度化との連携
  - MLF および JRR-3 に適した課題の連携
  - MLF および JRR-3 の間での機器等の連携
  - 小型中性子源、JRR-3、MLF の各施設に適した人材育成と役割分担
  - MLF と JRR-3 のシナジー効果を加速する施設共用（オープンラボ、重水素化ラボ等）との連携

(産学連携ビームラインの整備)

- ・ 特定の産業利用装置を設置するよりも、専用ビームラインを含めた各ビームラインに共用ビームタイム枠を設け、産業利用を促進することがより効果的であると判断し、その方向での検討を進めている。

### 【今後の課題と推進方策】

- ・ 産業界も含めた利用ニーズに即した課題審査を行えるよう、課題審査の仕組みをいっそう改善していくべき。
- ・ より費用対効果の高い潜在的利用者の掘り起こしの仕掛けを検討すべき。また、他の中性子源との連携などにより、更なる利用者の開拓、人材育成、効率的な成果創出に努めるべき。
- ・ 次世代放射光施設の整備・運用に関わる検討も踏まえて、共用ビームタイムの創設等、効果的運用を検討するべき。

## 5. 前回中間評価以降に起きた主な事象とその対応・対策について

### (1) ハドロン実験施設における放射性物質漏えい事故

#### (概要)

- ・ 平成 25 年 5 月 23 日 11 時 55 分に、制御装置の誤作動により発生した異常なビームにより金標的が溶融・蒸発し、放射性物質が実験室内に漏えいした。その際、実験室内で作業中であった実験作業員 34 名が被ばくした。
- ・ 排風ファンの運転により放射性物質が管理区域外へ拡散した。
- ・ 事故の原因については、技術的検証により、電源の基板の劣化によるものであることが判明している。

#### (対策)

- ・ ハドロン実験ホール内の排風ファンを封止し、ホール内に空気モニタを新設するとともに、排気ガス中の放射性物質を監視しながらフィルタを通して排気するよう新たな機器を設置した。
- ・ 多層防護による安全強化のため、標的容器の気密化、1 次ビームライン室の気密強化を実施した。
- ・ J-PARC 内の他の施設でも気密管理や負圧管理による多層防護により安全が担保されていることを確認した。
- ・ 組織的な安全管理体制を強化するため、安全を統括する副センター長の配置、外部の放射線安全評価委員会の設置等を行った。
- ・ J-PARC 内で働く全ての人員（職員、外部からの作業員を含む）の安全意識の向上のため、「安全教育」「事故対応訓練」等による安全文化の醸成を

推進している。

## (2) MLF における中性子標的容器の不具合

(概要)

- ・ 平成 27 年 4 月と同年 11 月に中性子標的容器内の冷却水滲出が発生し、MLF の運転が停止された。
- ・ 技術的検証の結果、標的容器の拡散接合面の剥離や溶接部の初期欠陥の疲労亀裂の進展が原因と判明した。

(対策)

- ・ 溶接部の初期欠陥をできる限り無くするため、製作時の試験検査の強化や溶接部等を極力排除した設計に変更した。
- ・ 平成 29 年 11 月より、新たな設計による中性子標的容器の使用を開始し、平成 30 年 4 月からは 500kW での連続運転を行っている。
- ・ 今後、中性子標的容器に不具合が生じた場合に迅速に運転再開ができるよう、容器交換に係るシステム・手法を改良し、交換に要する期間を 1.5 か月から 3 週間程度に短縮した。

### 【今後の課題と推進方策】

- ・ 引き続き安全文化の醸成に取り組みつつ、安全管理体制の不断の見直しが必要である。また、地元に対する、J-PARC の理解促進に資する活動を継続していくことが重要である。

## 6. 今後重要となる論点

J-PARC は運転開始から凡そ 10 年を迎え、建設期から本格的な運用期へと移行している。今後は、財政環境等も踏まえた上で、既にある資産を有効に活用しつつ安定的にビームタイムを確保し、効率的に成果を創出していくために、中長期的な視点に立った運営が重要となる。また、社会・経済への更なる貢献に向けた施設のより効果的な利活用や J-PARC の価値を広く理解してもらうことにつながる取組などもより一層重要となる。このような問題意識のもと、下記の論点に関し議論を行った。

## (1) 経営的視点の導入

(論点)

- ・施設の運営に「経営的視点」を取り入れ、最先端の研究成果を持続的に創出できる環境を計画的に維持、高度化していく取組が必要。
- ・限られた資金や人員を効果的に活用するため、MLF の一体的な運営を進めるべき。

【現状】

- ・ J-PARC は運転開始から凡そ 10 年以上経過しており、今後、経年劣化対策が必須であり、予備品の確保、放射化対策、高度化を計画的に進める必要がある。
- ・ J-PARC として一体的な運営に取り組んでいるものの、装置や人員の所属組織が異なることにより運営上非効率となっている部分が存在する（人員の流動性の低下、装置間のユーザーサポートの不均衡等）。

【今後の課題と推進方策】

- ・ 今まで獲得してきた競争優位性を更に高め、様々な研究を進展させるとともに、施設の安定的な有効利用を促進するため、J-PARC の運営に「経営的視点」を取り入れ、経年劣化対策や更なる財源の多様化、施設の高度化に向けた重点投資等を一体的に検討した中長期的な経営計画を策定し、施設の経営基盤を強化していくべき。その際、経営の専門家の活用が重要である。
- ・ MLF においては、共通基盤技術等の一元管理、定型業務の外部委託、共用ビームタイム枠の導入など、利用者の利便性向上にも資する、より効率的・効果的な一体的運営に取り組むべき。また、他施設（JRR-3、中・小型中性子源、ミュオン源等）との連携により、コミュニティ全体として効率的・効果的な取組（施設間の申請課題の連携、人材育成等）を検討する。

## (2) 本格的産学連携の実施

(論点)

- ・ 大型陽子加速器施設を産学連携のプラットフォームとして最大限活用し、本格的産学連携を実施していく仕組みを導入するべき。
- ・ 次世代放射光施設の検討も踏まえた利用料金設定の再検討（ニーズに合わせた柔軟化、見直し等）が必要。

### 【現状】

- ・ 産・学・施設で資金・人材・実験環境を分担する産・学・施設連携コンソーシアムの設立を計画している。
- ・ 平成 27 年の料金改訂以降、利用料金の変更は行っていない。
- ・ 成果非公開課題の実施数は平成 24 年度から減少傾向にある。断続的な運転、出力の低下が原因と考えられる。
- ・ データ分析業務の外部委託、長時間測定が必要な大口利用者への値引きなど、高度なサービスや柔軟な利用料金設定の検討を始めている。

### 【今後の課題と推進方策】

- ・ コンソーシアムの設立に関しては、非競争領域におけるニーズの高い課題の設定が重要であり、そのような課題探索に注力すべき。
- ・ 成果非公開課題に関して、施設側と利用者側の意見を取り入れ、ニーズに即した柔軟な利用料金を検討すべき。
- ・ 実験支援から解析結果の解釈までの一貫したサポート等の付加価値の高いサービスの提供や、施設を利用した人材育成等を検討し、持続的な正のサイクルが構築されるような取組が重要である。

## (3) 成果指標の検討

### (論点)

- ・ J-PARC の特長を表現できる新たな成果指標を検討すべきではないか。

### 【現状】

- ・ MLF では、年間当たりの論文の総数及び Top10%論文数は増加傾向にある。NCI (Normalized Citation Impact) による分類では、海外施設と比較しても、インパクトの非常に高い論文が多く出ている。
- ・ 全実施課題数に対する論文に寄与した課題数(論文化率)は約 20%と海外他施設(50%)に比べ低いものの、J-PARC と同時期に稼働を開始した米国 SNS と比較すると、稼働時間・出力あたりの論文数は多い。今後の安定的な出力増強により論文数の増加が期待される。

### 【今後の課題と推進方策】

- ・ 質の高い研究成果を効率的に創出していくため、IR(論文分析を含めた研究力分析、ベンチマーク)による研究組織評価や、MLF の特長を適切に評価

できる指標の検討を行い、課題審査等に活用していくべき。指標の検討においては、施設の成熟度や産業利用成果も取り込む工夫が必要である。

- ・ 論文化率を改善するような取組を実施するべき。その際、施設側から利用者へのサポートが重要である。

## 7. 評価のまとめ

前回中間評価から現在までに、ニュートリノ実験施設においては物質の起源に迫るニュートリノ振動に関する重大な発見があり、ハドロン実験施設においてはハイパー核における荷電対称性の破れなど、原子核内の核力に関する新たな知見が得られている。MLFにおいても、次世代電池材料として期待される高イオン伝導材料の発見や高性能タイヤの開発など、基礎から応用に至る多くの成果が創出されており、今後とも、学術・産業の幅広い研究分野において数多くの利用と成果の創出が期待される。前回中間評価の指摘事項に対しても、概ね着実な取組が行われており、我が国の科学技術イノベーション政策における重要な大型研究基盤施設として、引き続き J-PARC の開発、利用を行っていくことが重要である。

一方、運転開始から約 10 年が経過し、施設の安定運転の達成を見越した先見の取組を実施していくべき時期に来ており、施設全体を通じた今後の展開としては、以下の点に留意し取り組むべきである。

### (施設の整備・運用)

- 利用者の獲得、成果の創出、国際研究拠点化等の最も重要な基盤となる安定運転の実現を第一としつつ、世界トップの成果を創出し続けていくため、十分なビームタイムを確保するとともに、所期目標のビーム強度（ニュートリノ実験施設：750kW、ハドロン実験施設：100kW、MLF：1MW）の早期達成を目指す。ニュートリノ実験施設については、今後も世界をリードする研究を続けるため、1.3MW への増強に向け引き続き努力すべき。但し、国際競争の状況や財政環境、施設の効率的な整備・運用等も考慮し、中長期的な戦略を立てて取り組むことが重要である。
- 学術コミュニティからの期待が高く、世界的にも熾烈な競争下にある生命



科学用実験装置の整備については、重要な研究開発課題やイノベーション創出を加速する仕組等の検討を、ユーザーコミュニティが主体となり施設とともに進めていくことが求められる。

#### (施設の運営)

- 今まで獲得してきた競争優位性を更に高め、様々な研究を進展させるとともに、施設の安定的な有効利用を促進するため、J-PARC の運営に「経営的視点」を取り入れ、経年劣化対策や更なる財源の多様化、施設の高度化に向けた重点投資等を一体的に検討した中長期的な経営計画を策定し、施設の経営基盤を強化していくべき。その際、経営の専門家の活用が重要である。
- 利用者の利便性向上および効率的な運営のため、J-PARC としての一体的な組織運営やオープンアクセスの推進(アクセス道路の整備等)について、投資対効果を踏まえた具体的な検討を進めるべき。

#### (中性子・ミュオン利用の振興)

- J-PARC は、日本全体の中性子・ミュオン利用の振興に係る課題(成果創出、人材育成、産業利用、国際化など)を、大学、施設、企業等の組織横断的に議論する場を提供し、その中核として主導的役割を果たすべき。これまでに蓄積された人材、施設、ネットワークを最大限有効に活用することが重要である。
- MLF においては、共通基盤技術等の一元管理、定型業務の外部委託、共用ビームタイム枠の導入など、利用者の利便性向上にも資する、より効率的・効果的な一体的運営に取り組むべき。また、他施設(JRR-3、中・小型中性子源等)との連携により、コミュニティ全体として効率的・効果的な取組(施設間の申請課題の連携、人材育成等)を検討する。
- 質の高い研究成果を効率的に創出していくため、IR(論文分析を含めた研究力分析、ベンチマーク)による研究組織評価や、MLF の特長を適切に評価できる指標の検討を行い、課題審査等に活用していくべき。

上記に加え、J-PARC の運営は安全第一として行われるべきであり、安全文化の醸成、安全管理体制の不断の見直しを継続するとともに、地元住民をはじめ

め、国民全体からの理解を促進し、J-PARC が広く開かれた施設となるよう活動を継続していくことが重要である。

また、J-PARC が将来にわたり世界をリードする成果を継続的に創出するため、将来的なニーズや国際動向を見据えた施設・設備の高度化や施設の更なる効率的利用方法等について常に検討を進めることが重要である。

## 8. おわりに

「第5期科学技術基本計画」（平成28年1月閣議決定）において、光・量子技術は「新たな価値創出のコアとなる技術」と位置付けられ、「世界最先端の大型研究施設や産学官が共用可能な研究施設・設備等は研究開発の進展に貢献するのみならず、科学技術イノベーションの持続的な創出や加速が期待される」とされている。J-PARC は我が国の科学技術イノベーション政策における重要な大型研究基盤施設としてその果たすべき役割は大きい。J-PARC が、科学技術及び学術の振興、産業の発展に大いに貢献し、我が国の未来を築いていくことを期待する。関係者においては、本中間評価の結果を踏まえ、課題に適切に対応し、J-PARC による研究開発成果の最大化が図れるよう、取組を進めていってほしい。

今後、内外の動向等を踏まえつつ、概ね5年後を目安に、本中間評価報告書での指摘事項や課題等について、改めて評価を実施することが適当である。

## 参考資料

参考資料 1 大強度陽子加速器施設 (J-PARC) のこれまでの評価の経緯

参考資料 2 大強度陽子加速器施設評価作業部会の設置について

参考資料 3 大強度陽子加速器施設評価作業部会 開催経緯

参考資料 4 大強度陽子加速器施設評価作業部会 委員名簿

参考資料 5 大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の概要

## 大強度陽子加速器施設（J-PARC）のこれまでの評価の経緯

平成 12 年 8 月

「大強度陽子加速器計画評価報告書」（大強度陽子加速器施設計画評価専門部会<sup>※1</sup>）

※1：原子力委員会、学術審議会加速器科学部会のもとに共同設置

平成 15 年 12 月

「大強度陽子加速器計画中間評価報告書」（大強度陽子加速器計画評価作業部会<sup>※2</sup>）

※2：科学技術・学術審議会学術分科会基本問題特別委員会、研究計画・評価分科会原子力分野の研究開発の評価に関する委員会のもとに共同設置

平成 19 年 6 月

「大強度陽子加速器計画中間評価報告書」（大強度陽子加速器計画評価作業部会<sup>※3</sup>）

※3：科学技術・学術審議会学術分科会学術研究推進部会、研究計画・評価分科会原子力分野の研究開発の評価に関する委員会のもとに共同設置

平成 24 年 6 月

「大強度陽子加速器施設中間評価報告書」（大強度陽子加速器施設評価作業部会<sup>※4</sup>）

※4：科学技術・学術審議会先端研究基盤部会、学術分科会研究環境基盤部会、研究計画・評価分科会原子力科学技術委員会のもとに共同設置

## 大強度陽子加速器施設評価作業部会の設置について

研究計画・評価分科会量子科学技術委員会  
研究計画・評価分科会原子力科学技術委員会  
学術分科会研究環境基盤部会

### 1. 設置の趣旨

大強度陽子加速器施設（J-PARC）は、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構と大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構の共同プロジェクトとして、平成13年より建設が着手された。

「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日最終改訂）により、研究開発プログラムは5年ごとを目安に中間評価を実施することとなっているところ、前回の中間評価（平成24年6月）から凡そ5年が経過しているため、前回評価における指摘事項への対応状況等について評価を行うとともに、今後の課題と方向性について検討を行う。

### 2. 主な検討事項

- (1) 前回の中間評価における指摘事項への対応状況等についての評価
- (2) 今後の課題と方向性についての検討

### 3. 設置の形態

「大強度陽子加速器施設評価作業部会」を科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会量子科学技術委員会及び原子力科学技術委員会並びに学術分科会研究環境基盤部会の下に合同で設置する。

### 4. 庶務

関係課室の協力の下、科学技術・学術政策局研究開発基盤課量子研究推進室が処理する。

### 5. 当面の予定

平成30年2月下旬に第1回を開催（全5回程度を予定）

## 大強度陽子加速器施設評価作業部会 開催経緯

第 1 回：平成 30 年 2 月 26 日

- 議題
- (1) 作業部会の設置趣旨・運営等について
  - (2) J-PARC の概要および現状説明
  - (3) 中間評価にあたっての主な論点について
  - (4) 作業部会の今後の進め方等について
  - (5) その他

第 2 回：平成 30 年 3 月 29 日

- 議題
- (1) 前回部会の議論等について
  - (2) 前回中間評価の主な指摘事項に対する対応
    - ① 研究能力の更なる向上について
    - ② 教育及び研究者育成の役割について
  - (3) その他

第 3 回：平成 30 年 4 月 13 日

- 議題
- (1) 前回部会の議論等について
  - (2) 前回中間評価の主な指摘事項に対する対応
    - ① 研究能力の更なる向上について（ニュートリノ・ハドロンに関する部分）
    - ② 国際研究拠点化の役割について
    - ③ 中性子線施設の共用の促進の役割について
  - (3) 前回中間評価以降に起こった主な事象とその対応・対策について
  - (4) その他

※ 平成 30 年 4 月 25 日 J-PARC 現地調査

第4回：平成30年5月18日

- 議題
- (1) 前回部会の議論等について
  - (2) その他の論点について
    - ① 経営的視点の導入について及び本格的産学連携の実施について
    - ② 成果評価指標の検討について
  - (3) 今後の計画について
  - (4) 報告書（素案）について
  - (5) その他

第5回：平成30年5月31日

- 議題
- (1) 前回部会の議論等について
  - (2) 大強度陽子加速器施設中間評価報告書（案）について
  - (3) 大強度陽子加速器施設中間評価票（案）について
  - (4) その他

## 大強度陽子加速器施設評価作業部会 委員名簿

◎：主査 ○：主査代理

氏名	所属・役職
石切山 一彦	株式会社東レリサーチセンター 常務理事
長我部 信行	株式会社日立製作所 理事・ヘルスケアビジネスユニット CSO/CTO
◎菊池 昇	株式会社豊田中央研究所 代表取締役所長
鬼柳 善明	名古屋大学工学研究科 特任教授
熊谷 教孝	国立研究開発法人科学技術振興機構 未来社会創造事業 プログラムマネジャー
久保 謙哉	国際基督教大学教養学部 教授
住吉 孝行	首都大学東京 名誉教授
高梨 千賀子	立命館大学大学院テクノロジー・マネジメント学科 准教授
田村 裕和	東北大学大学院理学研究科物理学専攻 教授
○福山 秀敏	東京理科大学 理事長補佐・学長特別補佐（研究担当）
山縣 ゆり子	熊本大学 名誉教授
横山 広美	東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構 教授

(敬称略、五十音順、平成 30 年 5 月現在)



# 大強度陽子加速器施設(J-PARC)の概要

参考資料5

## 宇宙の始まりと物質・生命の起源にせまる

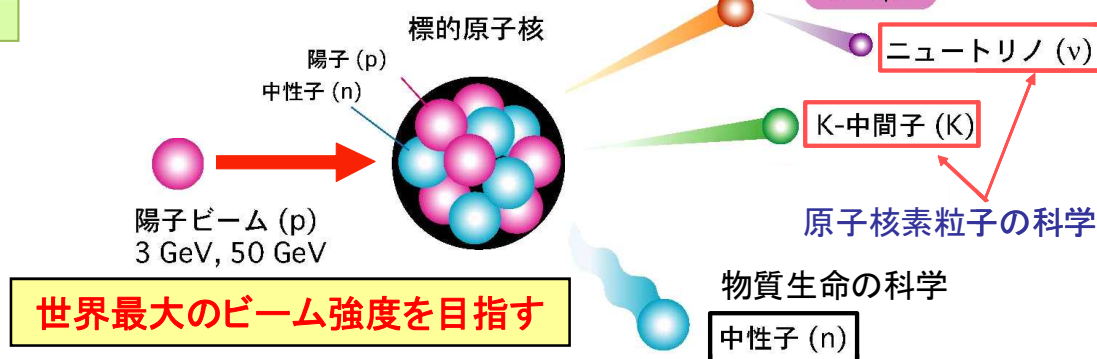
- 日本原子力研究開発機構(JAEA)と高エネルギー加速器研究機構(KEK)が両者のポテンシャルを活かし、共同して運営
- 世界最高レベルのビーム強度を有する大型陽子加速器施設により多彩な二次粒子を用いた新しい研究手段を提供し、基礎物理から産業応用までの幅広い研究開発を推進する。
- このうち特定中性子線施設を、共用促進法(※)に基づき、産学官の多様な分野の研究者へ広く共用
- 平成13年建設着手、平成20年施設運用開始。平成24年度は4,354時間(8サイクル)、平成28年度は3,669時間(7サイクル)の共用運転

(※)特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律



陽子を光速近くまで加速し、原子核と衝突させ二次粒子ビームを作る。

二次粒子ビームによる多彩な科学



# J-PARCの経緯

---

- 平成13年12月 建設着手
- 平成20年12月 物質・生命科学実験施設の供用開始
- 平成21年02月 ハドロン実験施設の利用開始
- 平成21年04月 ニュートリノ実験施設の利用開始
- 平成23年03月 東日本大震災により運転停止
- 平成24年01月 共用促進法による中性子線施設の共用開始
- 平成25年05月 ハドロン実験施設にて放射性物質漏えい事故発生
- 平成26年02月 MLFの利用運転を再開
- 平成26年05月 ニュートリノ実験施設の利用運転を再開
- 平成27年04月 ハドロン実験施設の利用運転を再開
- 平成27年04月 11月 中性子標的容器不具合によるMLFの利用運転停止
- 平成28年02月 MLFの利用運転を再開

# ニュートリノ実験施設

## ニュートリノにおける「CP対称性の破れ」の検証実験を実施

- J-PARCにおいて大強度ミュー型ニュートリノビームを生成し、295km離れた神岡にあるスーパーカミオカンデで検出するT2K実験を実施。
- 世界に先駆けてミュー型ニュートリノから電子型ニュートリノへの変化を発見。
  - 「兆候」(確度99.3%)
  - 「証拠」(確度99.9%)
  - 「観測」(確度7.3 $\sigma$ )
  - 数々の世界的な賞を受賞  
Pontecorvo 賞、Breakthrough 賞、仁科記念賞、Le Prix La Recherche
- 世界に先駆けてCP対称性の破れの兆候を捉える。



小林・益川理論を超える  
CP非対称の探索

物質の起源へ



# ハドロン実験施設

## π、K中間子やミュオンを用いた原子核・素粒子実験を展開



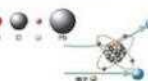


- K中間子でストレンジ核物理の新しい局面を開く(高密度核物質、一般化された核力の理解の推進)(ハドロン物理、ストレンジネス核物理)
- K中間子の稀崩壊を通じ、小林益川理論を超えるCP非保存現象を探索する(K稀崩壊)
- 高運動量ビームライン整備し、ハドロンの質量獲得機構の解明を目指す(ハドロン質量)
- μ-e変換実験(COMET)ビームラインを整備することにより、標準模型を超える物理法則の発見を目指す(μ-e変換実験)

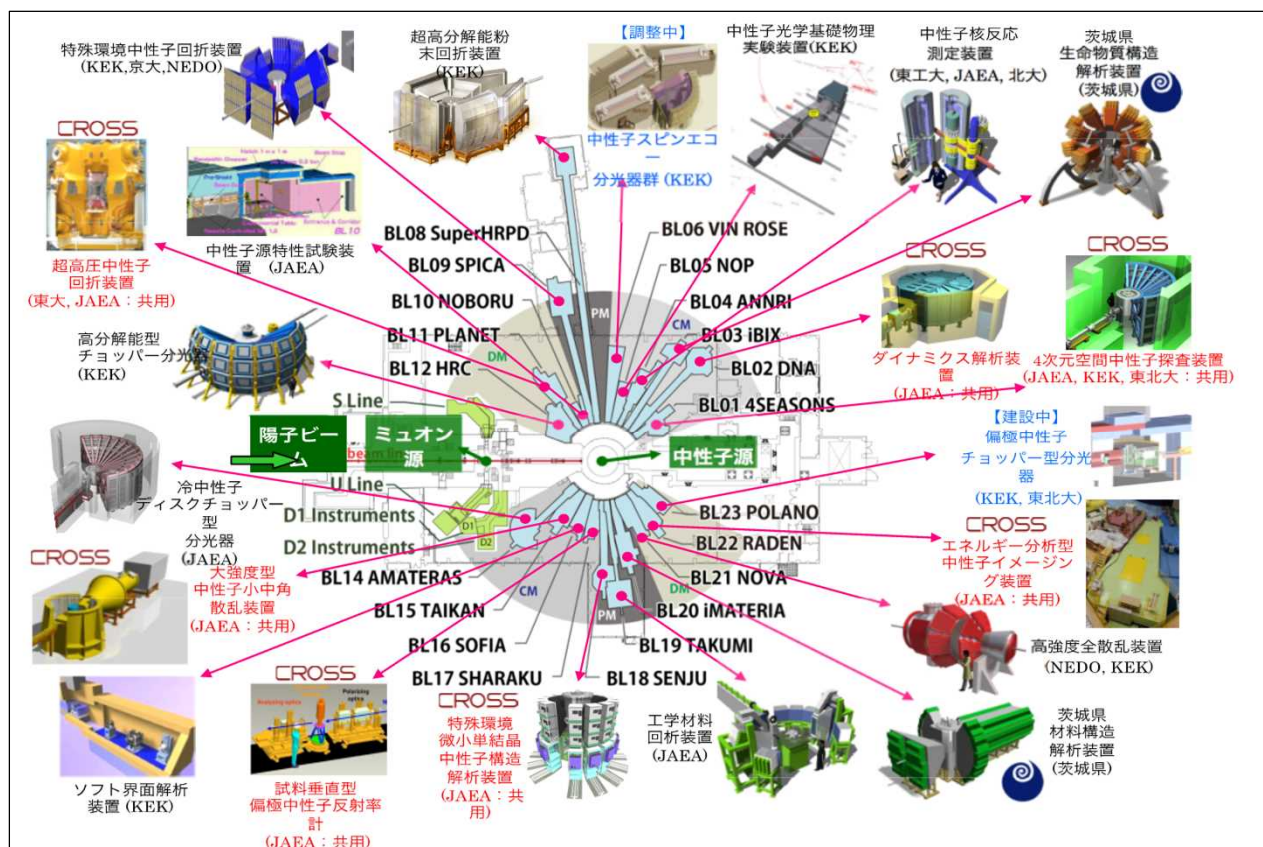


# 物質・生命科学実験施設(中性子実験施設)

世界最高強度の中性子ビームを利用し物質材料から生命科学まで幅広い研究開発を実施

- 中性子実験施設は「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」等に基づく利用施設。
- 設置可能ビームラインは23本。うち20本が運用、1本が建設中
- 標的容器の堅牢性を強化し500 kWで運転中。
- 最近の主な研究成果として以下のプレス発表を行なった。
  - ・ シリコンを使わない太陽電池の設計に道筋
  - ・ 充放電しているリチウム電池の内部挙動の解析に成功
  - ・ セメント(C12A7)への水素照射で現れる光誘起伝導の起源の解明
  - ・ 超イオン伝導体を発見し全固体セラミックス電池を開発
  - ・ SPring-8・J-PARC・スーパーコンピュータ「京」を連携活用させたタイヤ用新材料開発技術「ADVANCED 4D NANO DESIGN」を確立
  - ・ 鉄系超伝導物質に新しい型の磁気秩序相を発見

<p><b>1. 物を通り抜ける能力</b></p> <p>電化を持たない中性粒子なので、物質を通り抜けやすく壊さずに物質の中の様子を見ることができます</p>		<p><b>4. 原子の並び方を見る</b></p> <p>中性子は波の性質も持つので、入射波が原子により散乱されて波紋を作ります。この波紋を観察することで波長の大きき程度の原子の配列がわかります</p>	
<p><b>2. 同位体も見分ける能力</b></p> <p>中性子核と相互作用するので、軽元素の検出や同位体の区別ができます</p>		<p><b>5. 原子の動きを見る</b></p> <p>原子間距離程度の波長の中性子は、ちょうど原子やスピンの動きと同程度のエネルギーを持ちます。だから、原子、スピンの構造と同時に、それらの運動もわかります</p>	
<p><b>3. 中性子はマイクロな磁石</b></p> <p>中性子はマイクロな磁石なので、物質内部の磁場で散乱され、原子のみならず、原子磁石(スピン)の作る構造や運動も判ります</p>			



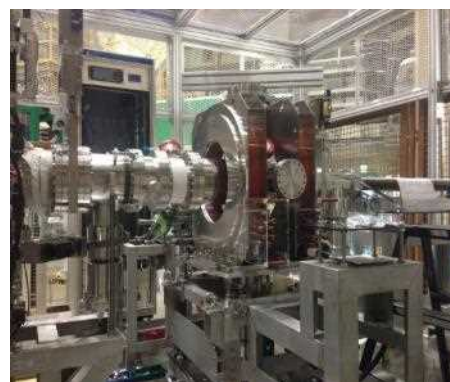
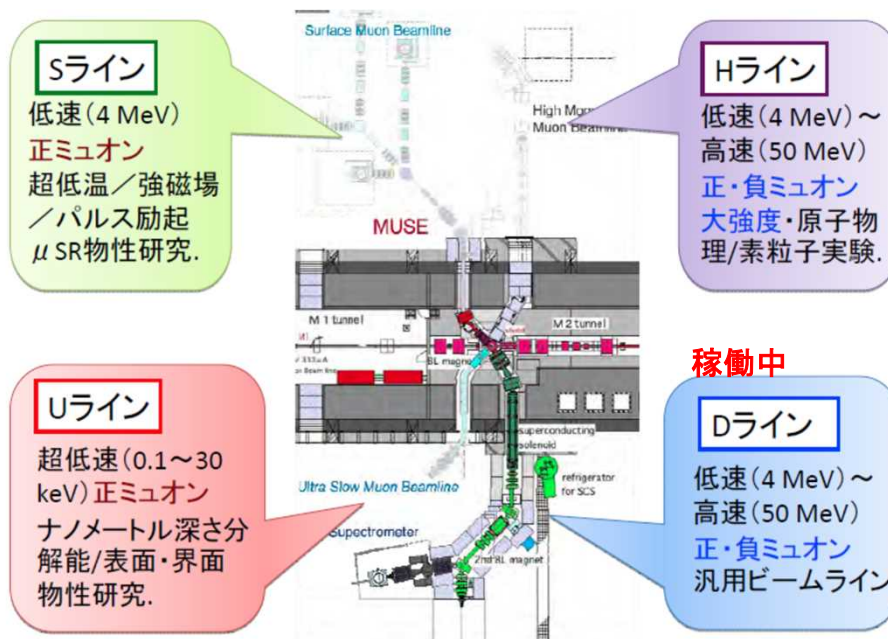


# 物質・生命科学実験施設(ミュオン実験施設)

多彩な世界最大強度のミュオンビームを用いて幅広い物質・生命研究、基礎物理研究

- **Dライン:**
  - 稼働中。高温超伝導体やLi電池、非破壊検査、他多くの成果を輩出。
- **Uライン:**
  - 低消費電力スピントロニクスデバイス開発等に向けた超低速ミュオンビーム装置(Uライン)の建設(H28年度)。
  - フル稼働に向けての装置整備と予備実験が進行。
- **Sライン:**
  - 複数の特殊装置専用ビームラインで多彩な $\mu$ SR物質科学を展開
  - S1 line:  
2017(H29)年度:一般共同利用実験開始。  
11月末時点で13研究課題を実施。
  - S2 - S4 line:  
エリア建設。
- **Hライン:**
  - ミュオンの異常磁気能率の研究や生きたままの細胞の顕微イメージ等を可能とするHラインの建設に向けて電源ヤードの建設に着手(H29年度)。

## MUSE: MUon Science Establishment



超低速ミュオン実験用分光器



S1実験装置

# 核変換技術のR&D

## 加速器を用いた核種変換による放射性廃棄物の処理・処分に関する技術開発

### ➤ 核変換実験施設設計を進め、設計書取り纏め

- 技術設計書 (H29.3 公刊)
- 安全設計書 (H30.2 公刊)

### ➤ 液体鉛ビスマス取扱技術の開発

- 材料腐食試験
- 計装技術 (超音波流量計等)
- 酸素濃度制御
- 遠隔操作技術

### ➤ レーザー荷電変換技術

- TEF-P向け微弱陽子ビーム取り出し技術を実証

核変換物理実験施設 (TEF-P)

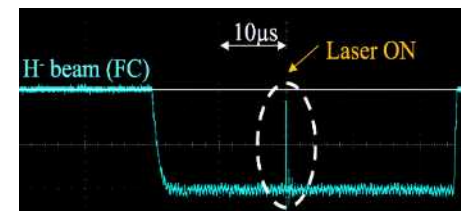
ADSターゲット試験施設 (TEF-T)



液体鉛ビスマス取扱技術の開発

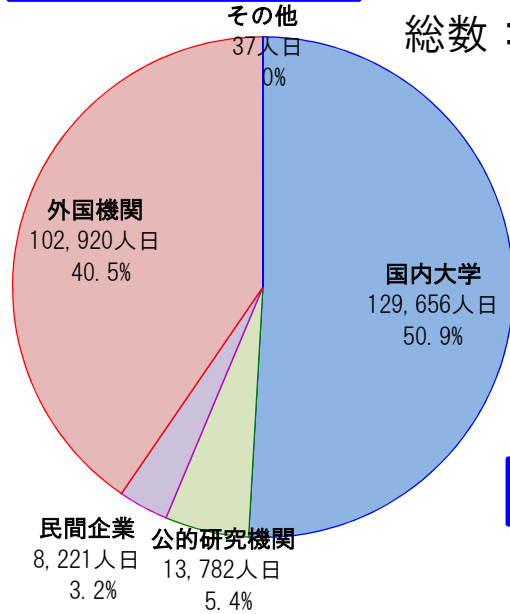


レーザー荷電変換技術



# ユーザー推移

所属機関別



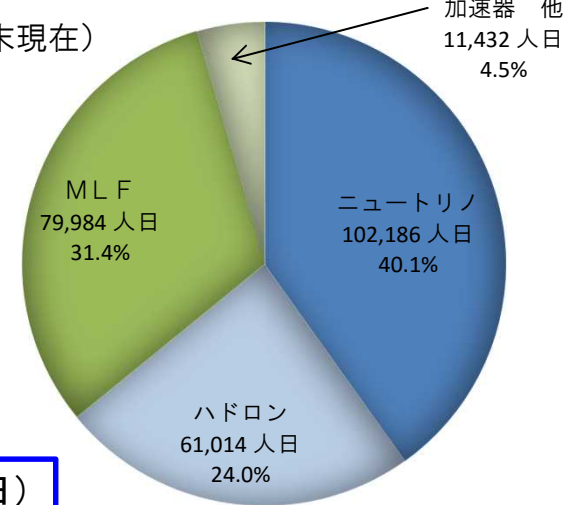
平成20年12月の稼働開始以来、多くのユーザーがJ-PARCを訪れている。

総数：延べ **254,616人日** (平成29年度末現在)

うち、

H20年度	3,947人日
H21年度	27,555人日
H22年度	29,030人日
H23年度	15,539人日
H24年度	32,242人日
H25年度	21,728人日
H26年度	30,825人日
H27年度	28,691人日
H28年度	32,576人日
H29年度	32,483人日

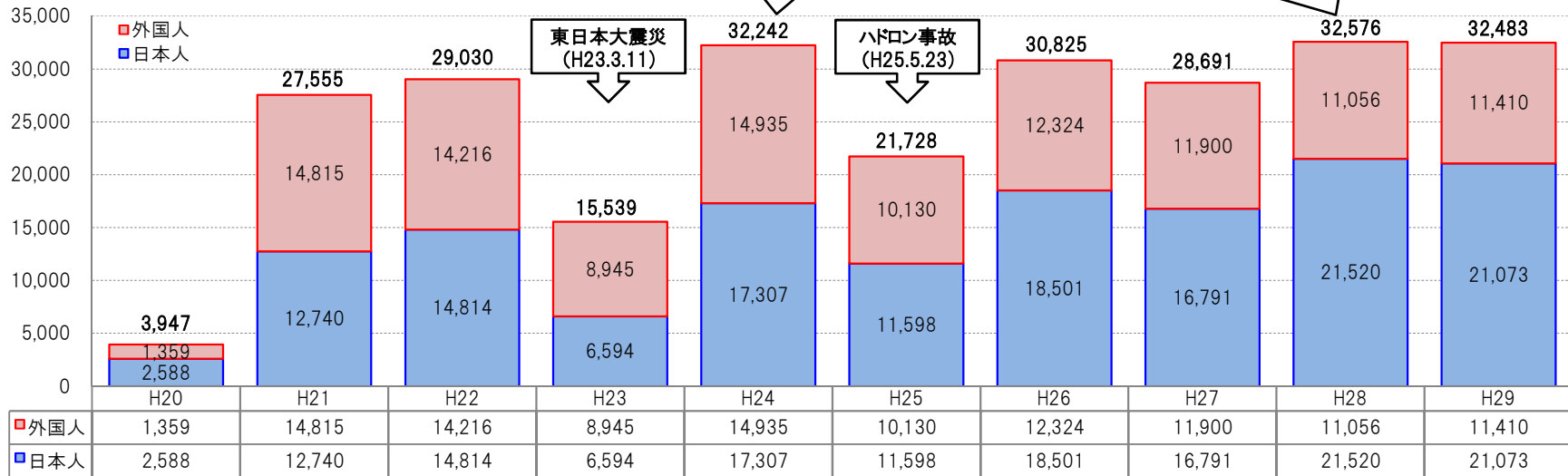
来訪施設別



外国人・日本人別来所数推移(人日)

1日最大外国人数 **167人**(H25.1.23)

1日最大人数 **248人**(H28.5.27)  
1日最大日本人数 **132人**(H28.6.20)



H20.12 - H21.3



# ニュートリノ実験施設の研究力分析

## ■ 世界に先駆けてミュー型ニュートリノから電子型ニュートリノへの変化を発見

- 「兆候」(確度99.3%)論文(2011)**1376引用**
- 「証拠」(確度99.9%)論文(2013)**191引用**
- 「観測」(確度7.3 $\sigma$ )論文(2014)**474引用**
- 「測定」論文(2015)**267引用**
- **合計2308引用** (2018/5/29現在)



## ■ 世界に先駆けてCP対称性の破れの兆候を捉える

- 物理学最大の謎の1つである、宇宙の物質優勢の謎に迫る。
- 2016年8月90%の確度で兆候(PRD: **40引用**、PRL: **85引用**)
- 2017年8月95%の確度で兆候(to be submitted)



## ■ 数々の世界的な賞を受賞

- 2014年: 仁科記念賞(小林隆(前実験代表者)、中家剛(現実験代表者))
- 2015年: 読売ゴールドメダル(小林)
- 2016年: 米国ブレークスルー賞(西川公一郎(元実験代表者))
- 2017年: ポンテコルボ賞受賞(西川)
- Le Prix La Recherche(フランスの著名な雑誌の賞)
- 英国物理学会「Physics World」誌において、2011年の物理学におけるブレークスルー・トップ10にランクイン



実験全体で75報の論文を発表。合計5,568回引用されている。



高エネルギー加速器研究機構  
素粒子原子核研究所 前所長  
J-PARC 前副センター長  
西川 公一郎 T2K実験 元代表

ブレークスルー賞 ホームページより

BREAKTHROUGH PRIZE

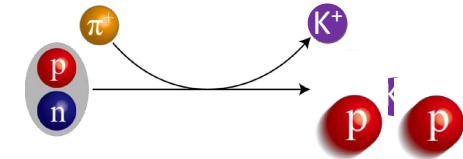
# ハドロン実験施設の研究力分析

- 利用運転開始～2013年:3課題を実施

陽子ビーム量: 560kW\*days - これまでの積算の10%

- 物理成果論文:7、被引用数:152 [平均22]

□ **K中間子と二つの陽子が束縛**された新しい形態の原子核を生成(2015年、被引用数:40)。



- 2015年～2016年:3課題を実施

陽子ビーム量: 3213kW\*days - これまでの積算の55%

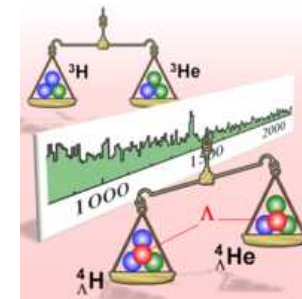
- 物理成果論文:2、被引用数:44 [平均22]

□ **ラムダ粒子  $\Lambda$  を入れたハイパー核**で

- 「荷電対称性」の破れを発見(2015年、被引用数:44)。

Phys Rev Lett誌のEditors' Suggestion (注目論文)に選出

- 重いフッ素ハイパー核のエネルギー準位を初めて測定(2018年)。



- 2017年度:2課題を実施

陽子ビーム量: 2024kW\*days - これまでの積算の35%

- J-PARCでの実験のために開発した手法を用いて過去の実験データを解析した論文が

2017年日本物理学会論文賞を受賞

- 2018年度(実施中):4課題

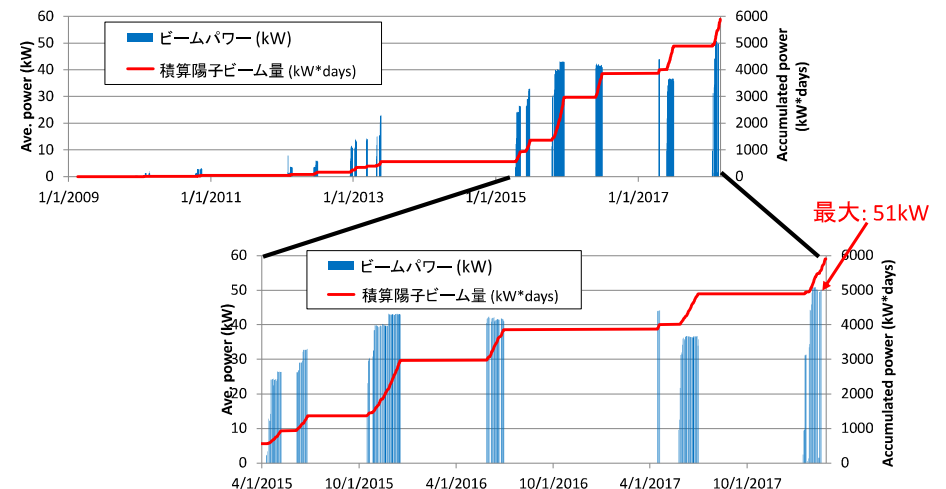
- 物理成果論文:3、被引用数:81 [平均27]

□ 高密度のハドロン束縛状態の探索

(2015年、被引用数:38)

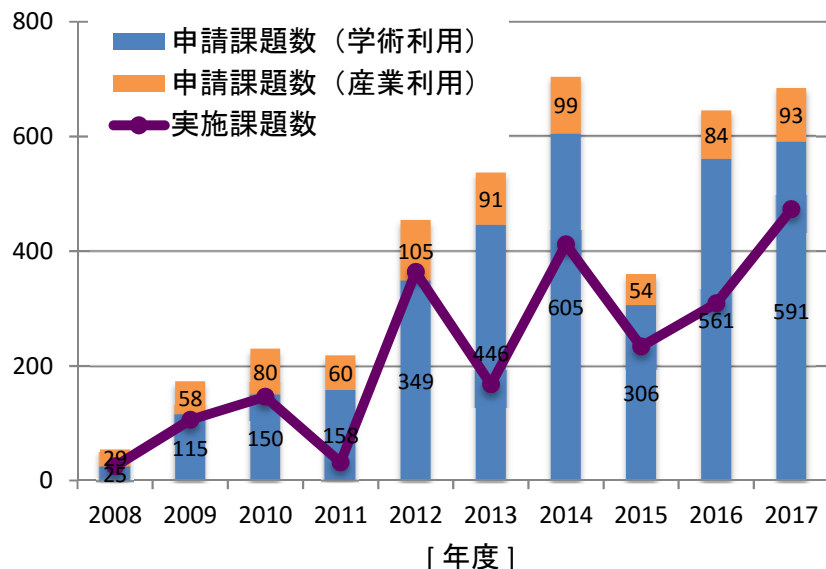
□ CP対称性を破る**中性K中間子の希な崩壊**の探索

(2017年、被引用数:16)

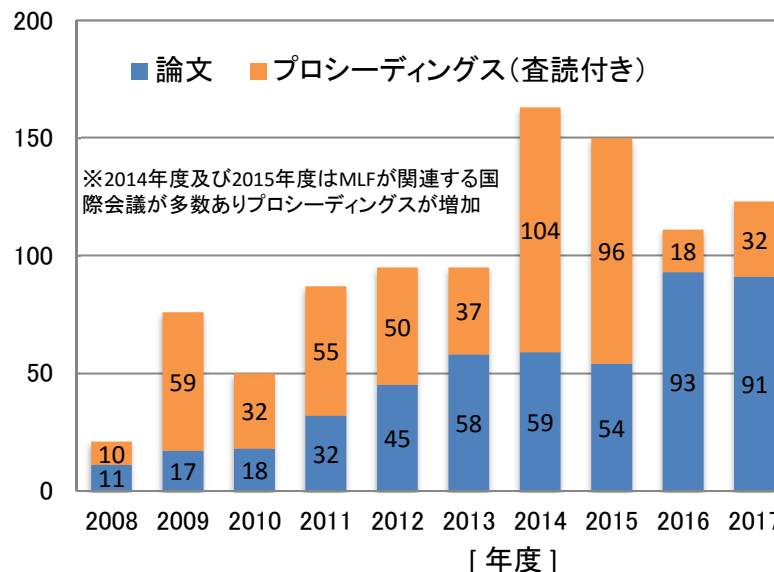


# MLFにおける課題数・論文数等の推移および主な成果

## 申請課題数と実施課題数推移



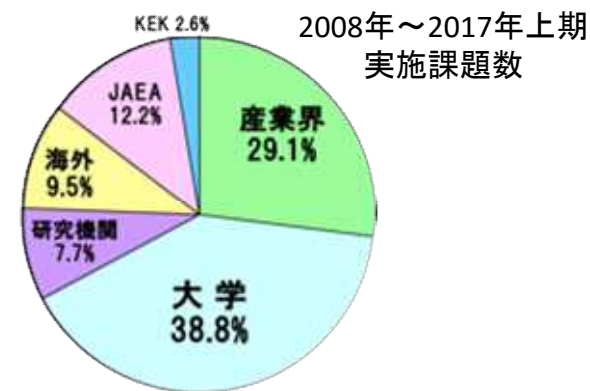
## 論文数推移



## 研究成果実績(例)

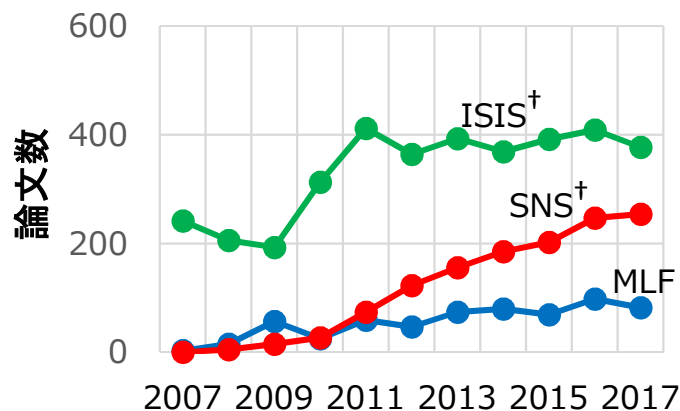
- 平成28年3月 **中性子**  
超イオン伝導体を発見し全固体セラミックス電池を開発  
- 高出力・大容量で次世代蓄電デバイスの最有力候補に -
- 平成29年8月 **中性子**  
次世代太陽電池材料として注目されるペロブスカイト半導体における、高い発電効率の起源を解明
- 平成26年3月 **ミュオン**  
鉄系超電導物質における新しい型の磁気秩序相を発見
- 平成27年11月 **中性子、ミュオン**  
SPring-8・J-PARC・スーパーコンピュータ「京」を連携活用させたタイヤ用新材料開発技術「ADVANCED 4D NANO DESIGN」を確立

## 産業利用率



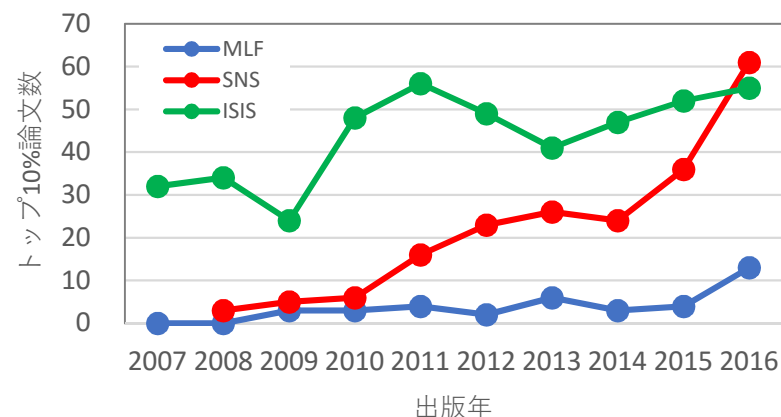
# MLFの研究力分析①

## 論文数の類似施設との比較\*



\* DOI付き、WoS掲載論文で比較(2018年1月18日現在)

## Top10%論文数の類似施設との比較\*,\*\*



\* DOI付き、WoS掲載論文で比較(2018年1月18日現在)

\*\* 2017年のトップ10%論文数については、書誌情報が十分含まれていないため調査対象としない

## 米国SNSと積算出力による比較

	SNS	J-PARC MLF
論文数 (2007-2017)	1,288	609
稼動時平均出力 (kW)	823	234
積算出力あたりの論文数 (No./GWh)	34.46	119.22

†ISIS: 英国のラザフォード・アップルトン研究所(オックスフォード州)が所有するパルス中性子線実験施設

1984年に運転を開始。出力は0.16MW

SNS: 米国のオークリッジ国立研究所(テネシー州)が所有するパルス中性子線実験施設

2007年に運転を開始。出力は1.4MW

# MLFの研究力分析②

NCI※による海外類似施設との比較（2007年–2016年）

## MLF

※NCI: Normalized Citation Impact

順位	被引用回数	NCI	タイトル	雑誌名	出版年	研究分野
1	147	<b>82.1</b>	High-power all-solid-state batteries using sulfide superionic conductors	Nature Energy	2016	全固体電池
2	869	<b>51.6</b>	A lithium superionic conductor	Nature Materials	2011	リチウムイオン伝導体
3	33	<b>12.7</b>	Magnetic ground state of FeSe	Nature Communications	2016	超伝導/磁性

## SNS

順位	被引用回数	NCI	タイトル	雑誌名	出版年	研究分野
1	118	<b>35.8</b>	Proximate Kitaev quantum spin liquid behaviour in a honeycomb magnet	Nature Materials	2016	量子物性
2	104	<b>31.2</b>	A precipitation-hardened high-entropy alloy with outstanding tensile properties	Acta Materialia	2016	金属材料
3	301	<b>21.6</b>	Mixed close-packed cobalt molybdenum nitrides as non-noble metal electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction	Journal of the American Chemical Society	2013	電気触媒

## ISIS

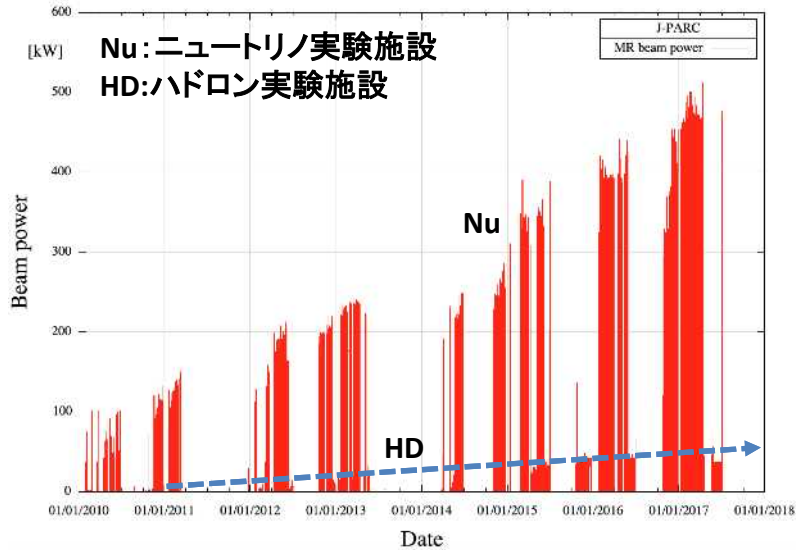
順位	被引用回数	NCI	タイトル	雑誌名	出版年	研究分野
1	146	<b>56.4</b>	Reproducibility in density functional theory calculations of solids	Science	2016	固体物性
2	212	<b>31.5</b>	The dynamics of methylammonium ions in hybrid organic-inorganic perovskite solar cells	Nature Communications	2015	太陽電池
3	161	<b>19.9</b>	Mantid—Data analysis and visualization package for neutron scattering and $\mu$ SR experiments	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A	2014	ソフトウェア



# 加速器出力の推移と今後の予定

## ニュートリノ実験施設・ハドロン実験施設

- ニュートリノ実験施設(目標750kW): 481kWを達成(H29)
- ハドロン実験施設(目標:100kW): 50kWを達成(H30)

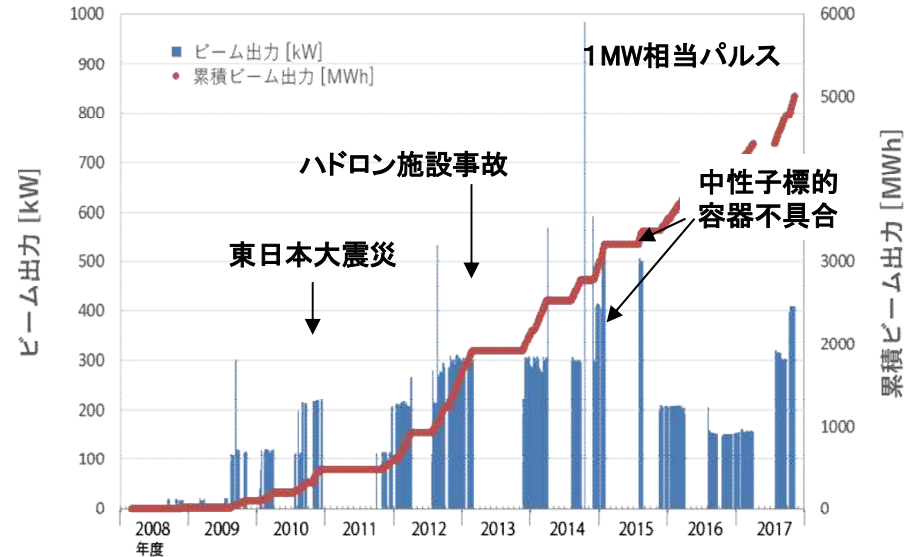


### 今後の予定

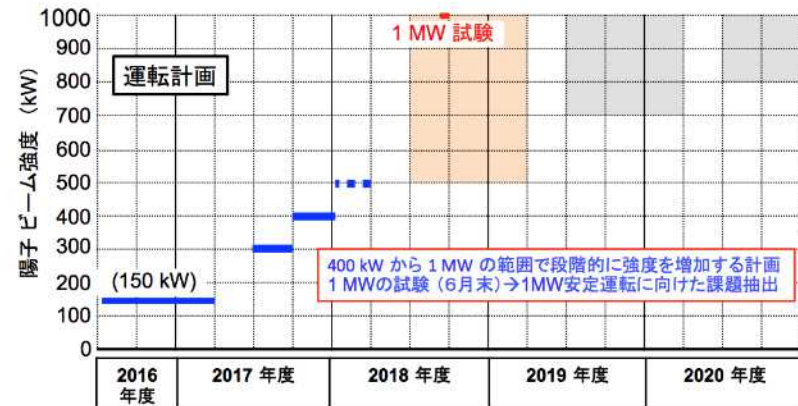
JFY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ニュートリノ実験施設 ビーム強度 [kW]	475	>480	>480	>480	電源更新長期停止	>700	800	900
ハドロン実験施設 ビーム強度 [kW]	50	50	50	70		>80	>80	>80
主電磁石電源の 繰り返し時間	2.48 s	2.48 s	2.48 s	2.48 s		1.32 s	<1.32 s	<1.32 s
主電磁石電源製作	電源量産・据え付け							

## 物質・生命科学実験施設(MLF)

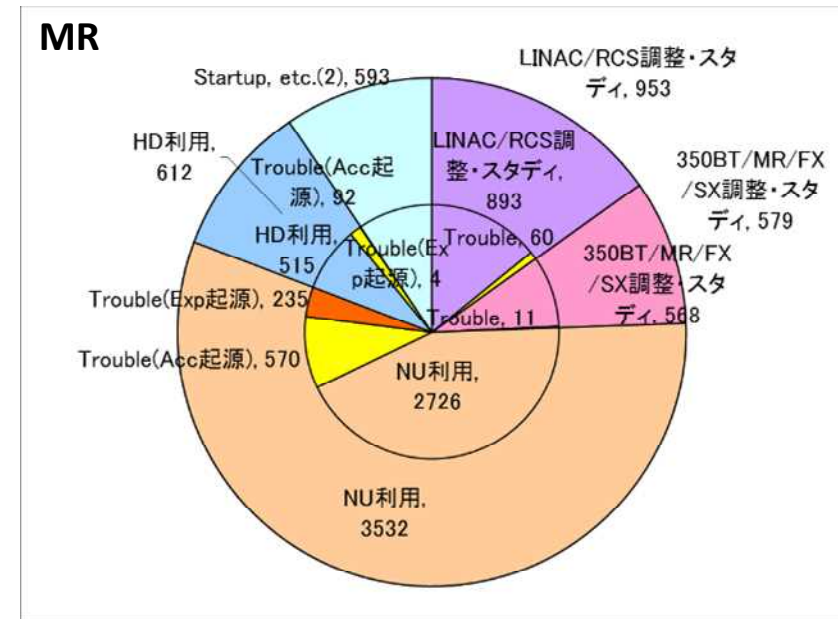
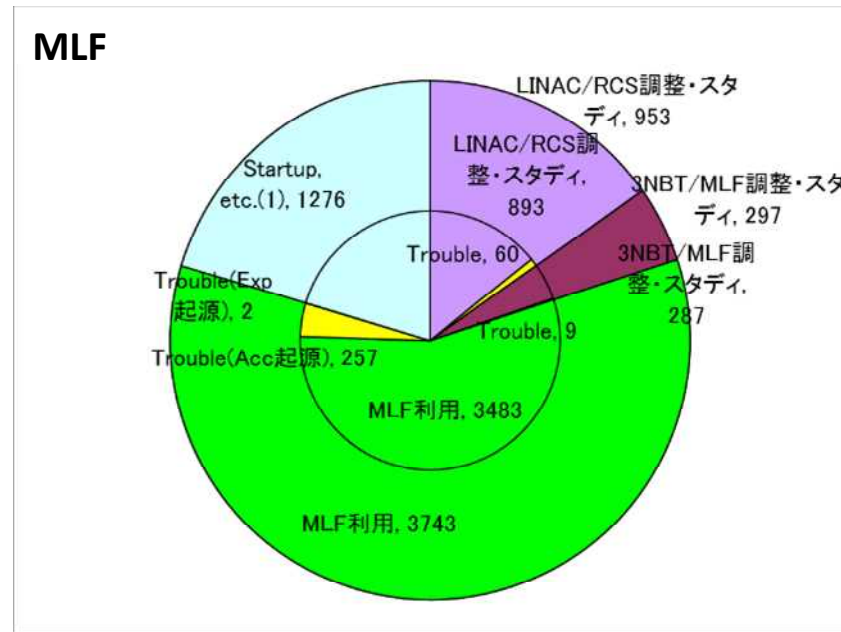
- MLF(目標1MW): 500kWの連続運転実施(H30.4~)
- 1MW相当パルスでの試験運転成功(H27)



### 今後の予定



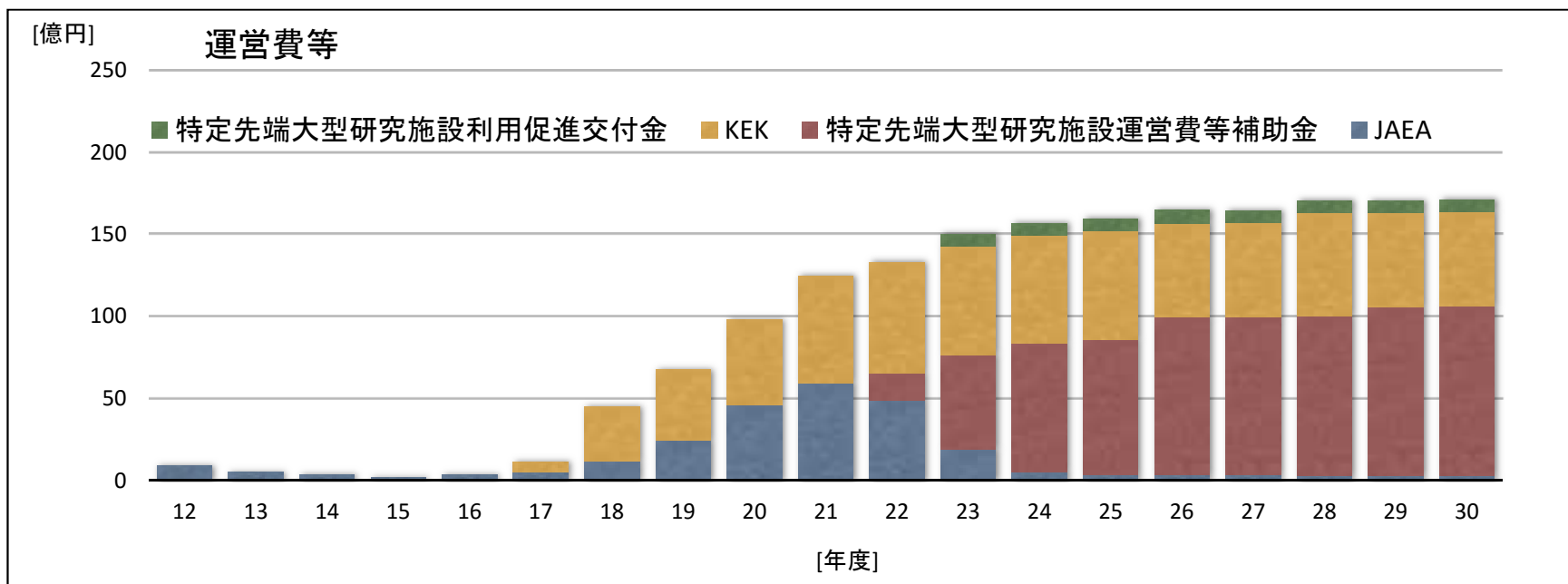
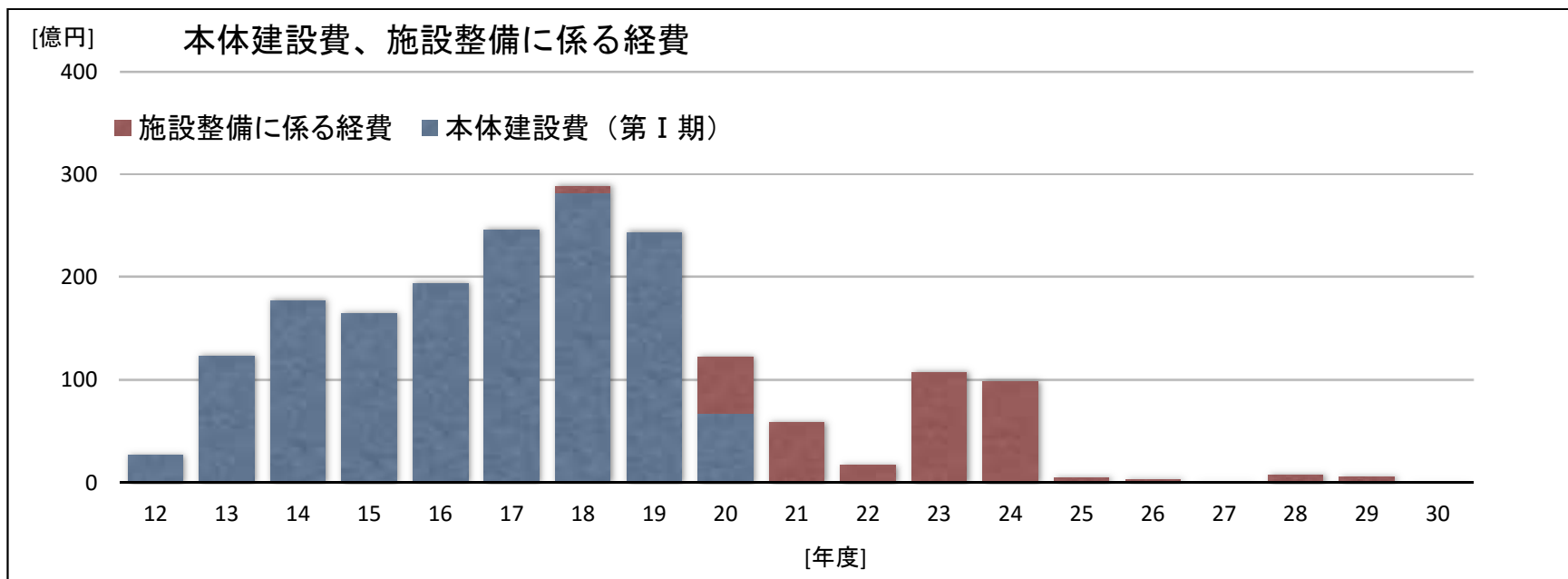
# 運転統計 (平成28年度)



※2016年4月4日9:00から2017年3月31日24:00まで: Total 6,271 時間

施設名	利用者供用 (時間)	加速器トラブル (時間)	加速器以外のトラブル (時間)	実質供用時間 (時間)	稼働率 (%)
MLF	3,743	257	2	3,483	93.1
ニュートリノ実験施設	3,532	570 (稼働率低下への寄与16%)	235 (稼働率低下への寄与7%)	2,726	77.2%
ハドロン実験施設	612	92	4	515	84.1

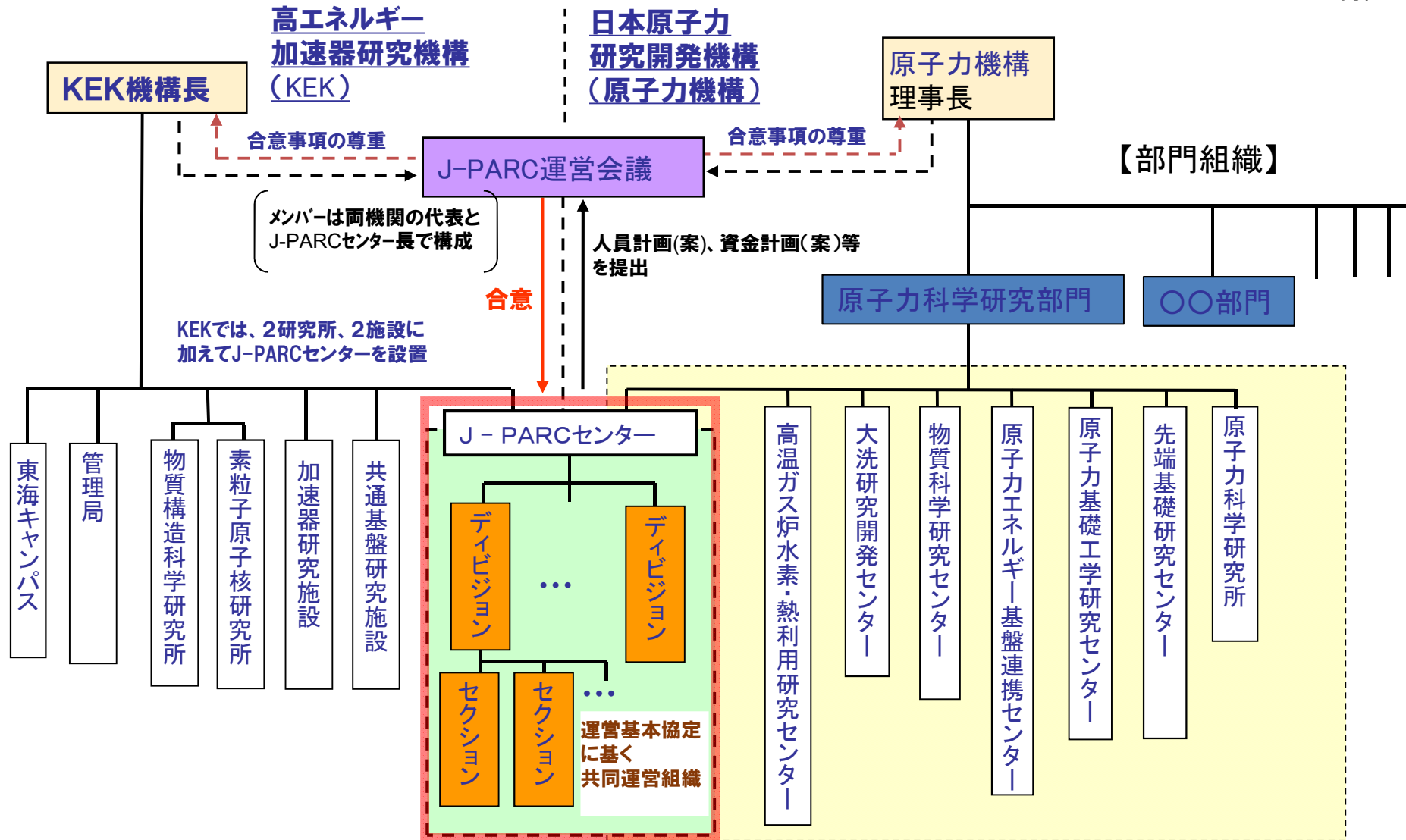
# J-PARCの予算推移





# J-PARCの運営組織

H30.3.31 現在

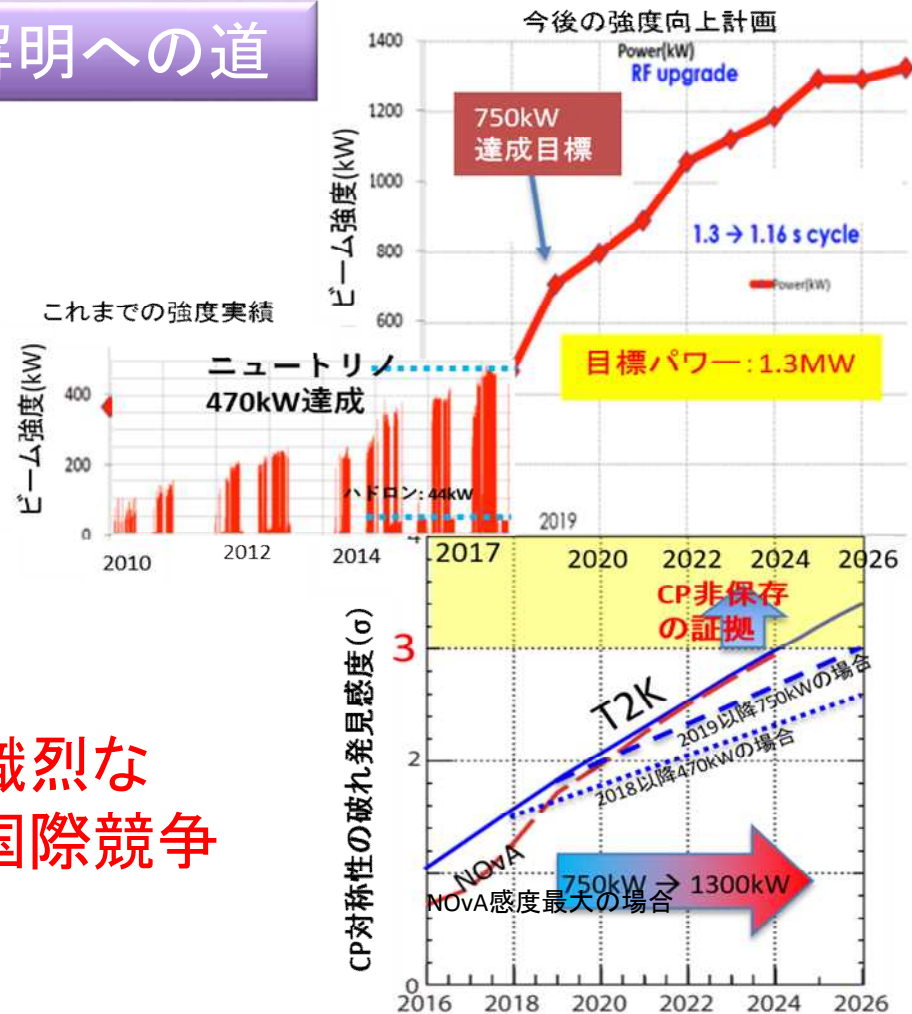
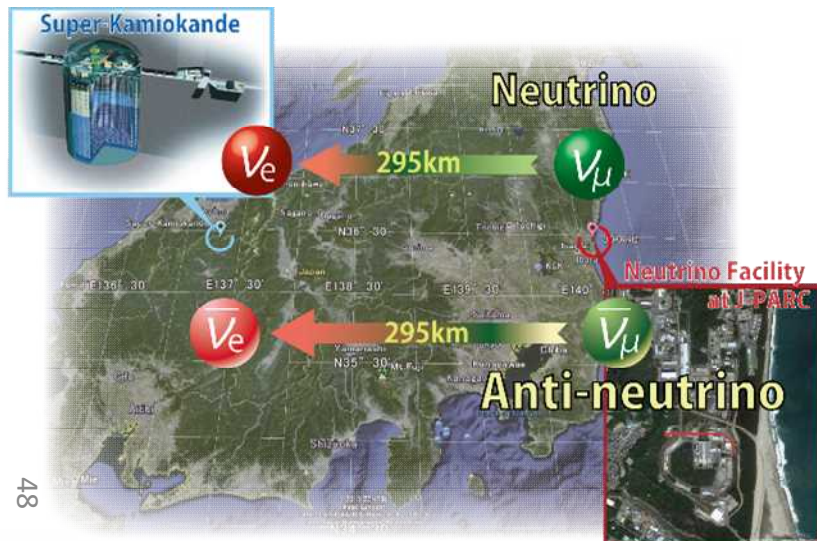


# 今後の計画(ニュートリノ実験施設)

## T2KからT2K-II: 宇宙の物質起源解明への道

**新たな目標: 750kWから1.3MWへ**  
**反電子ニュートリノ出現発見**  
**CP対称性の破れ発見 をめざして。**

- **CP対称性の破れ $3\sigma$ (99.7%)以上の確度で証拠を捉えることを目指す**
  - CP対称性の破れが最大の場合
- **1. 3MWの必要性**
  - 反電子ニュートリノ反応3分の1
  - 小さい変化同士の違いを精密に測定
  - 国際競争: 米国NOvAと熾烈な競争
  - さらなる大強度が必要(MR21+NU12億)



**熾烈な国際競争**

主リング電源の予算措置が遅れば750kW達成が2021年度以降に遅れる

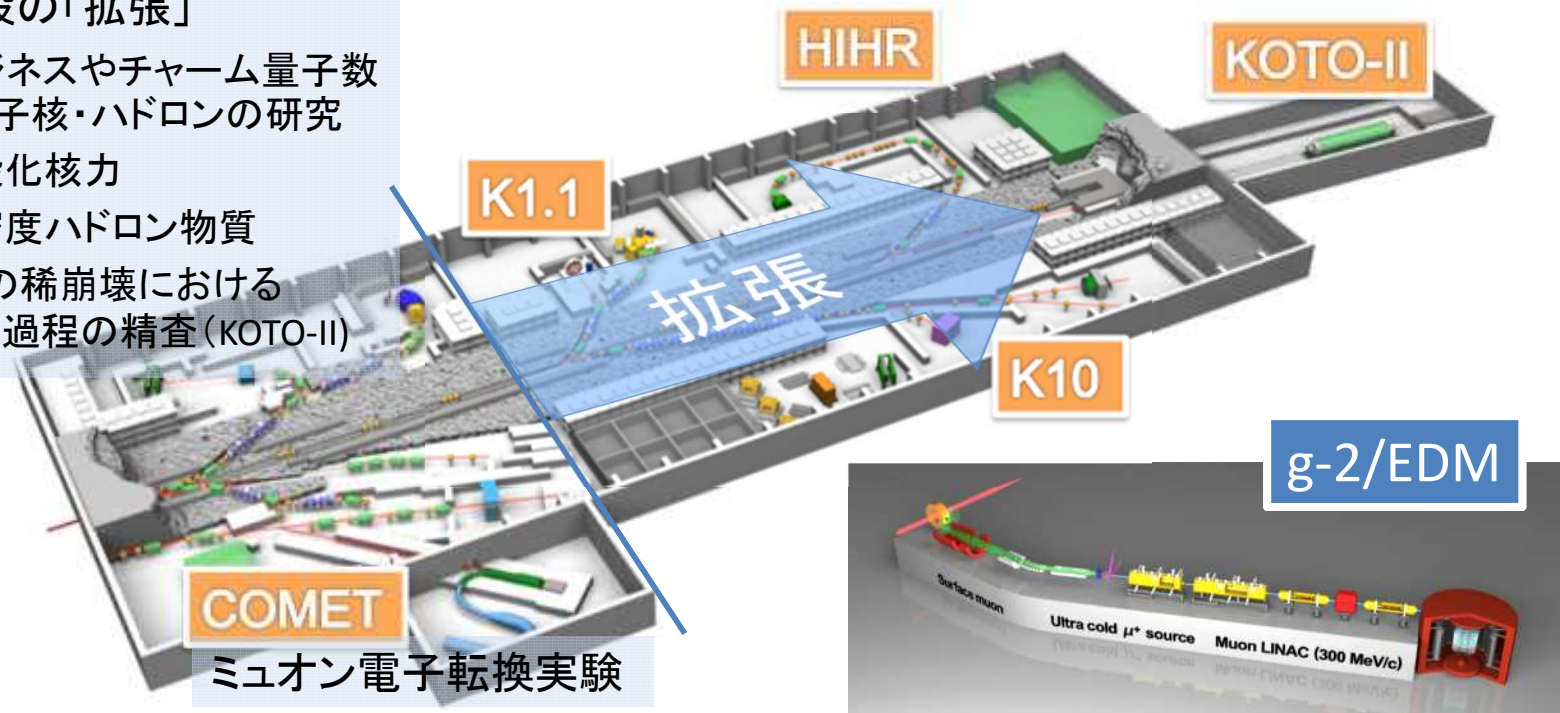
JFY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Event	New buildings			HD target	電源更新 長期停止			
FX power [kW]	475	>480	>480	>480		>700	800	900
SX power [kW]	50	50	50	70		> 80	> 80	> 80

# 今後の計画(ハドロン実験施設)

## 将来計画 - 新しい実験ビームラインの整備に向けて 「J-PARC実験施設の高度化による物質の起源の解明」

### ハドロン実験施設の「拡張」

- スレンジネスやチャーム量子数を持つ原子核・ハドロンの研究
  - 一般化核力
  - 高密度ハドロン物質
- K中間子の稀崩壊におけるCP非保存過程の精査(KOTO-II)



ミュオン磁気／電気双極子能率の超精密測定

研究テーマを組み合わせることにより他にはない、「物質の起源」研究ができる。

- 多様な実験を一カ所で行えるというJ-PARCの独自性
- 複数の重要課題を時間的に並行して効率良く取り組む
- 多様なビームを用いて多様な実験を一カ所で行える

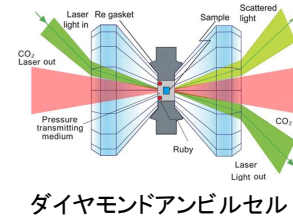
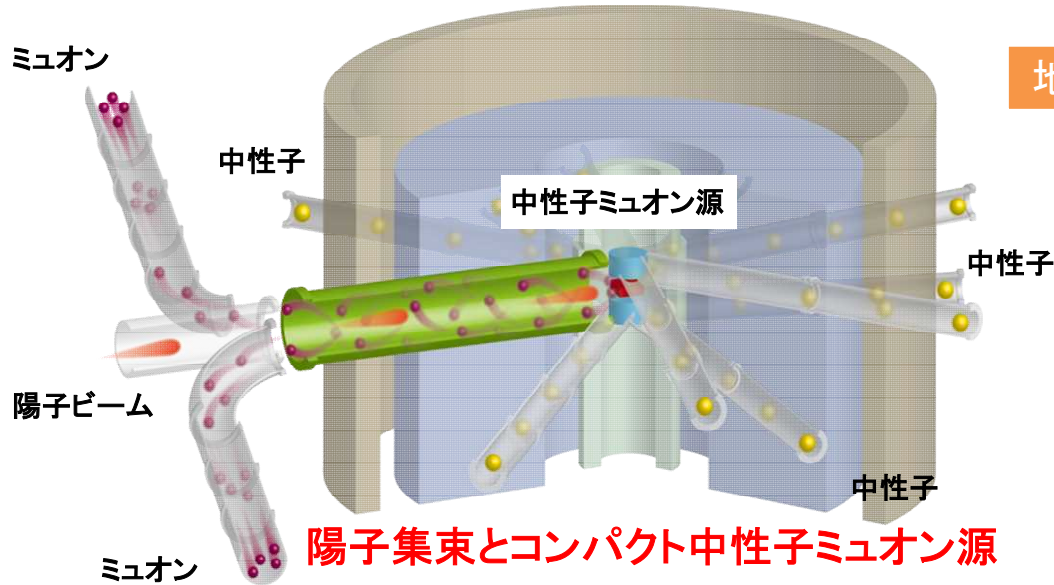
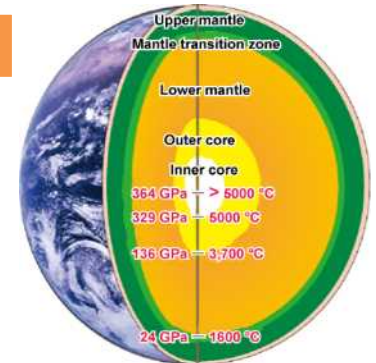


# 今後の計画(物質・生命科学実験施設)

## 第二ターゲットステーション(TS2)

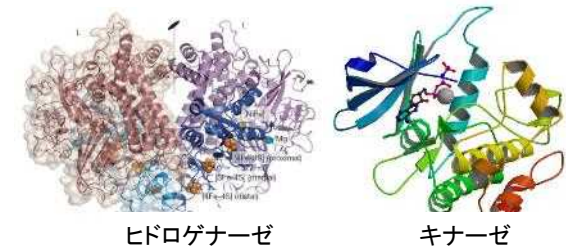
高輝度中性子ビームと  
ミュオンマイクロビーム利用

地球中心核構成物質の解明

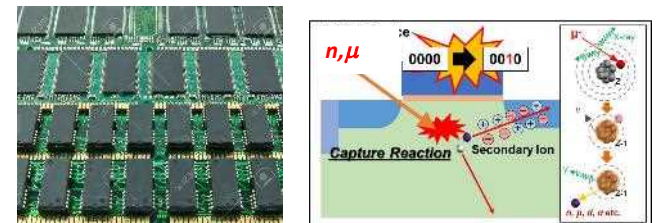


ダイヤモンドアンビルセル

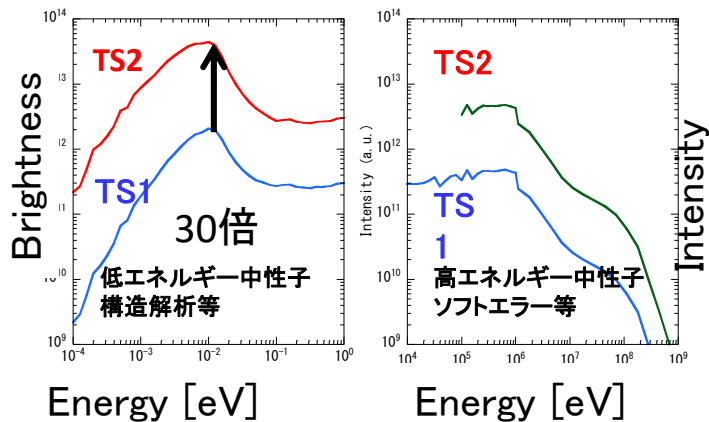
タンパク質の構造と機能の解明



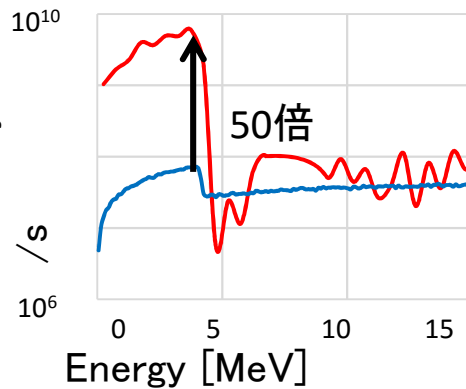
産業利用: 半導体ソフテラー等



中性子輝度: 30倍以上



ミュオン強度: 50倍以上



SNS TS2はJ-PARC TS1の約5倍, J-PARC TS2はそれを凌駕