

# 大強度陽子加速器施設（J-PARC） 中間評価フォローアップ － 物質・生命科学実験施設 －

令和4年12月27日

## J-PARCセンター

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構  
一般財団法人 総合科学研究機構 中性子科学センター

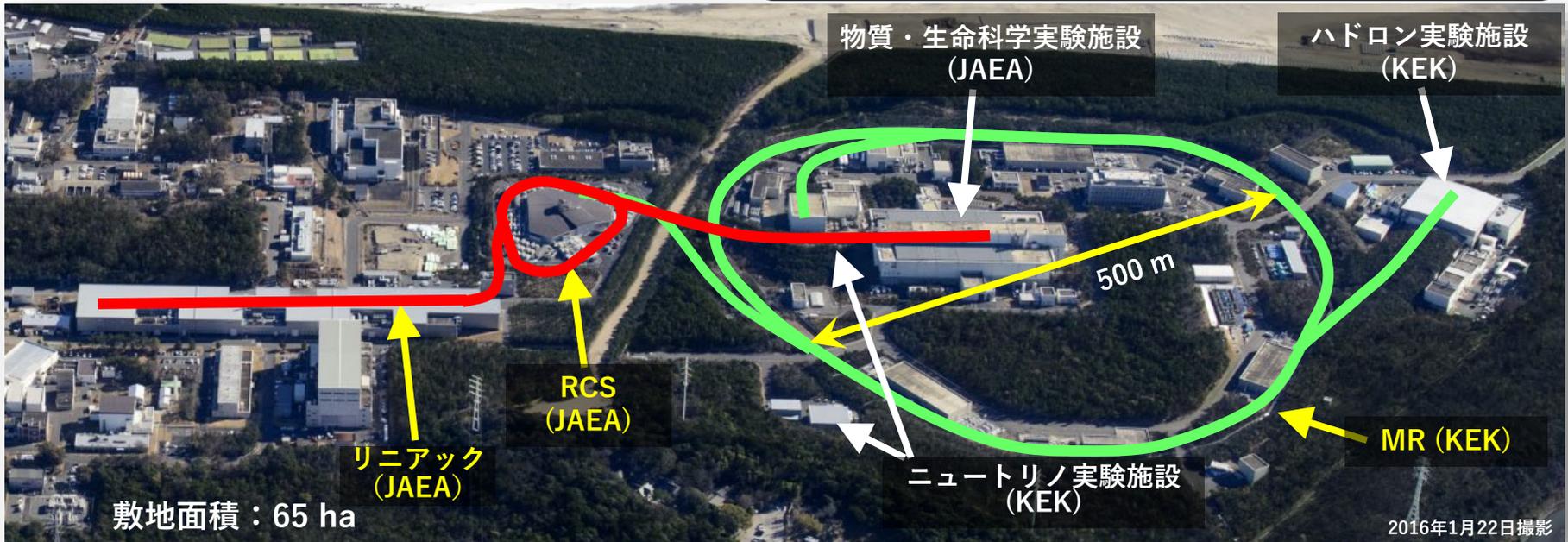
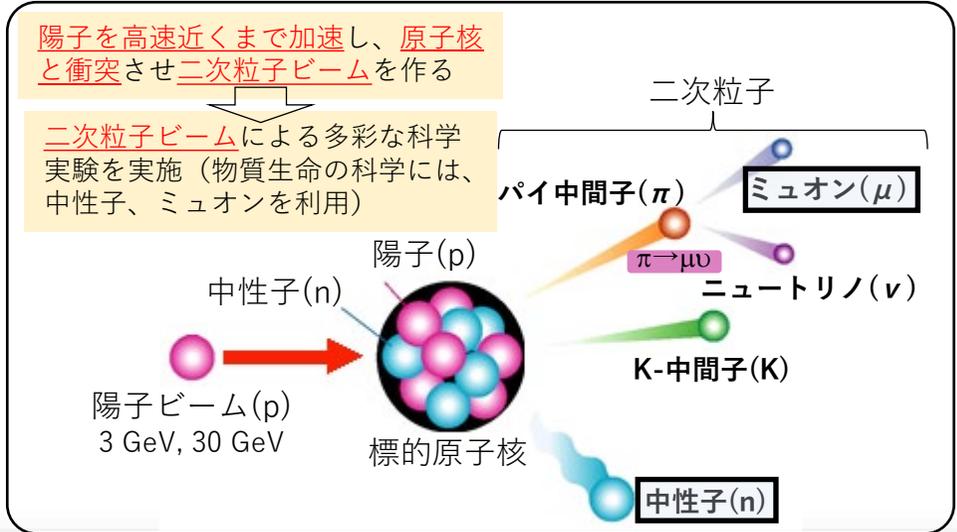


# 大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の概要

## J-PARC : Japan Proton Accelerator Research Complex

- ▶ 世界最高レベルのビーム強度を有する陽子加速器により様々な分野の最先端の研究を展開
- ▶ 物質科学、生命科学、原子核・素粒子物理学など、広範な研究分野を対象に、基礎科学から産業応用まで様々な研究開発を推進
- ▶ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (JAEA) と大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 (KEK) が共同で運営

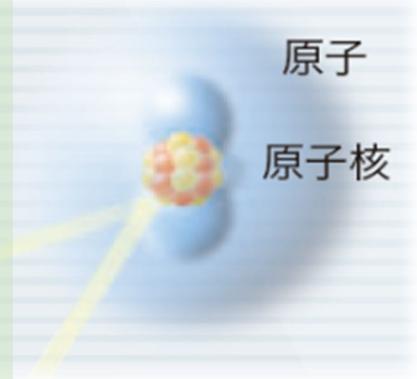
## J-PARCの原理



# J-PARCで展開するサイエンス

## 物質や生命の多様性の起源にせまる

- ▶ 水素やリチウムなど軽い原子核に感度の高い中性子散乱実験  
エネルギー材料 (e. g. 電池など)  
ソフトマター・生命 (e. g. タンパク質・ポリマー)  
ハードマター (e. g. 超伝導・磁性など)
- ▶ **マイクロ磁性プローブ**としてのミュオン  
 $\mu$ SR、ミュオン原子からのX線、ミュオン顕微鏡  
基礎物理への応用
- ▶ 産業利用  
SPring-8/PF、J-PARC、スーパーコンピュータ “京”の協奏的利用

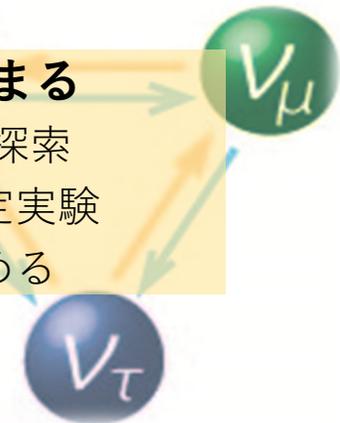


電池のオペランド測定



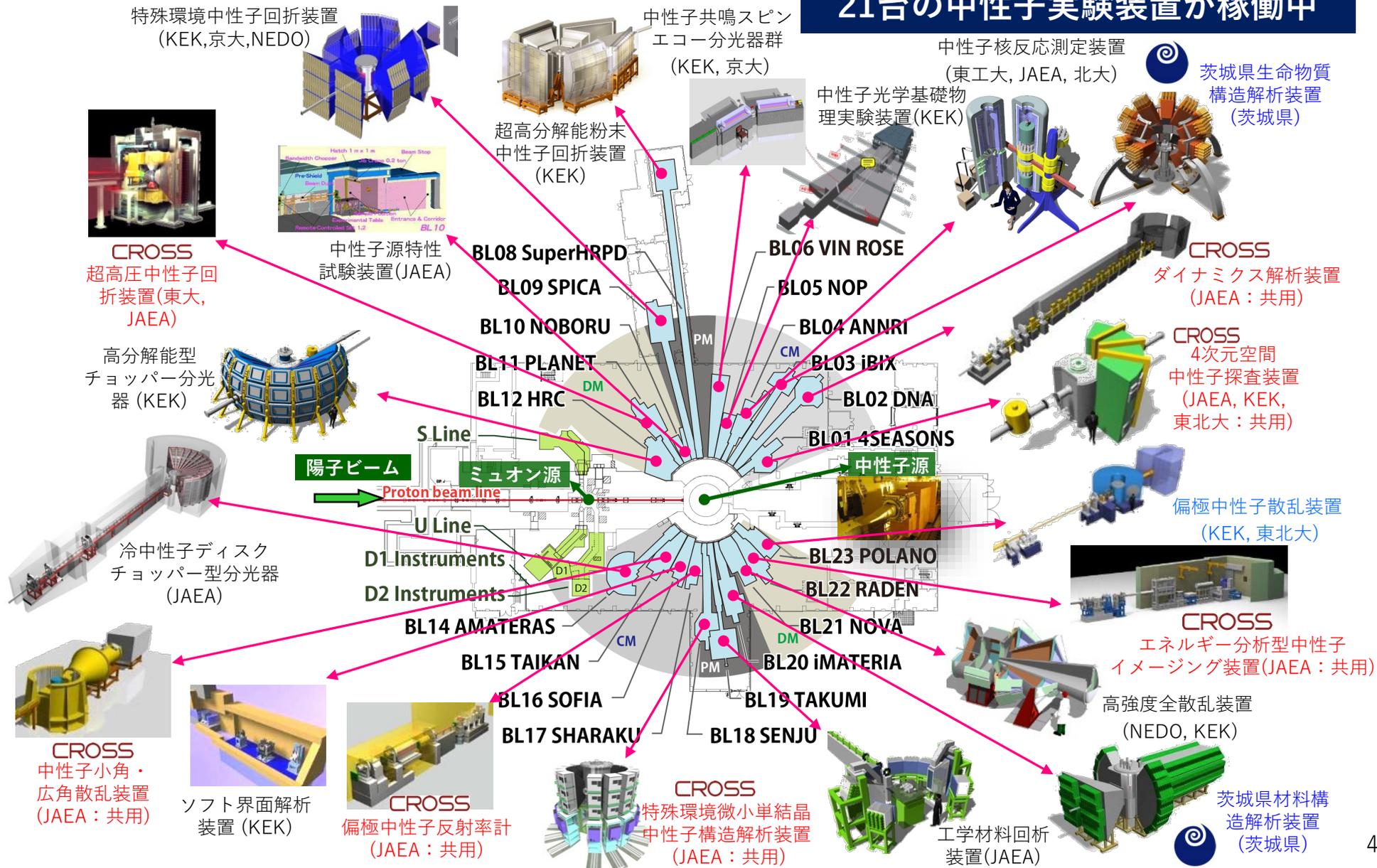
## 宇宙の始まりと物質の起源にせまる

- ▶ ニュートリノ振動とCPの破れの探索
- ▶  $u$  ミュー粒子やクォークの精密測定実験
- ▶ 核力・強い相互作用の理解を深める



# 物質・生命科学実験施設 (MLF) のビームライン

21台の中性子実験装置が稼働中



# 産業・社会への貢献と他機関との連携

## J-PARC施設の特徴

- 米国SNS（オークリッジ国立研究所）、英国ISIS（ラザフォードアップルトン研究所）と並ぶ三大中性子源。パルスあたりの中性子数は世界最高
- 2016年度以降、徐々にビーム出力を上げつつ、90%を超える高い稼働率を維持

## J-PARC中性子科学研究の特徴

- 世界最高峰の分析装置を有する21本のビームラインにより、年間約400件の中性子科学研究の課題を実施。産業利用は約25%
- 中性子は軽元素、磁気に敏感な性質を持つため、グリーン戦略、防災、文化財等の研究に貢献

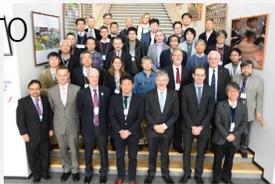
## 産業界、他機関・海外施設等との連携

- 国内大学21校と連携、J-PARC内に大学の分室設置
- 中性子産業利用推進協議会に参画する約50社と連携
- 米国SNS、豪国ANSTO、瑞国ESSと研究連携

ESS



ANSTO



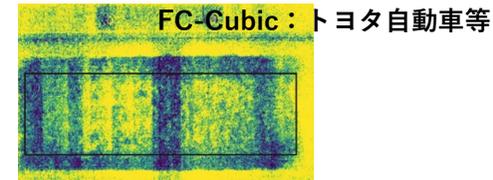
SNS



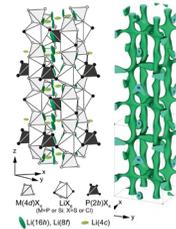
パルスあたりの中性子数の比較（2021年度）

施設名	ビーム出力 (kW)	中性子数 (n/sr・pulse)
J-PARC MLF	800	$14.4 \times 10^{12}$
	1,000	$18.0 \times 10^{12}$
SNS (米国)	1,400	$5.9 \times 10^{12}$
ISIS (英国)	48	$4.0 \times 10^{12}$

## 燃料電池の高性能化のための産学連携研究



燃料電池セル生成水分分布の世界初の可視化

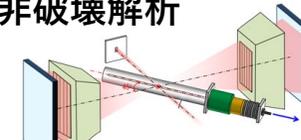


全固体セラミックス電池用の超イオン伝導体の開発  
3次元イオン拡散伝導体の開発、従来の3倍の出力性能を達成



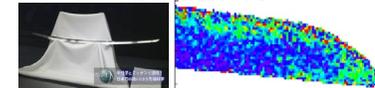
トヨタ自動車、東京工業大ほか

## 震災被害鉄筋コンクリートの非破壊解析



補修技術の確証評価・企業コンソーシアム設立へ

## 日本古刀の作刀技術の謎を解明



『ガリレオX』BSフジ  
中性子とミュオンで透視  
日本刀の謎に迫る！



# 中間評価報告書（平成30年度）における委員からのコメント

	区分	ID	コメント
1	施設の整備・運用	1-1	安定運転の実現を第一としつつ、十分なビームタイムを確保するとともに、 <b>初期の目標のビーム強度（MLF: 1 MW）の早期達成</b> を目指す。
		1-2	学術コミュニティからの期待が高く、世界的にもし烈な競争下にある <b>生命科学用実験装置の整備</b> については、重要な研究課題開発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。
2	施設の運営	2-1	施設の安定的な有効利用を促進するため、J-PARCの運営に「 <b>経営的視点</b> 」を取り入れ、経年劣化対策や更なる <b>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</b> 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。
		2-2	利用者の利便性向上及び効率的な運営のため、J-PARCとしての <b>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）</b> 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。
3	中性子・ミュオン利用の推進	3-1	<b>中性子・ミュオン利用の振興に係る課題</b> （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な役割を果たすべき。
		3-2	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、 <b>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</b> に取り組むべき。
		3-3	また、 <b>他施設との連携</b> （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 <b>効率的・効果的な取り組み</b> （施設間の申請課題の連携、人材育成等）を検討する。
		3-4	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 <b>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</b> を行い、課題審査等に活用していくべき。
4	総論	4-1	J-PARCの運営は安全第一として行われるべきであり、 <b>安全文化の醸成、安全管理体制の不断の見直し</b> を継続するとともに、 <b>地元住民をはじめ、国民全体からの理解を促進</b> し、J-PARCが広く開かれた施設になるよう活動を継続していくことが重要。
		4-2	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、 <b>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</b> について常に検討を進めることが重要である。



# 中間評価フォローアップ：資料の内容について

	区分	ID	報告内容
	概要等		<ul style="list-style-type: none"><li>施設概要、産業・社会への貢献と他機関との連携など</li></ul>
1	施設の整備・運用	1-1	<ul style="list-style-type: none"><li>ビーム強度（MLF: 1 MW）の早期達成を目指して中性子源の運転状況</li><li>中性子標的容器の耐久性向上に関する取組み</li><li>低消費電力加速空洞の導入について</li></ul>
		1-2	<ul style="list-style-type: none"><li>生命科学に必要なサイドラボの充実、AMED-BINDSへの協力</li></ul>
2	施設の運営	2-1	<ul style="list-style-type: none"><li>利用体系の見直しについて</li><li>「有償随時課題」の導入について</li></ul>
		2-2	<ul style="list-style-type: none"><li>アクセス道路の整備について</li></ul>
3	中性子・ミュオン利用の推進	3-1	<ul style="list-style-type: none"><li>中性子産業利用報告会における学術／産業の交流</li></ul>
			<ul style="list-style-type: none"><li>「一般課題（長期）」制度の導入による学術成果</li><li>豊田中研との共同研究による人材の交流と育成</li></ul>
		3-2	<ul style="list-style-type: none"><li>研究DXの導入による成果創出の効率化向上、利便性の向上</li></ul>
		3-3	<ul style="list-style-type: none"><li>ESSとの協定更新、ワークショップ、人材交流</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>JRR-3との連携の成果</li><li>マルチビーム連携と利用者への技術情報支援</li></ul>			
3-4	<ul style="list-style-type: none"><li>論文分析</li></ul>		
4	総論	4-1	<ul style="list-style-type: none"><li>安全への取組み</li></ul>
			<ul style="list-style-type: none"><li>地元との交流</li></ul>
		4-2	<ul style="list-style-type: none"><li>施設・設備の高度化</li></ul>

# 1 施設の整備・運用

ID	報告内容
1-1	<ul style="list-style-type: none"><li>• ビーム強度（MLF: 1 MW）の早期達成を目指して 中性子源の運転状況 中性子標的容器の耐久性向上に関する取組み 低消費電力加速空洞の導入について</li></ul>
1-2	<ul style="list-style-type: none"><li>• 生命科学に必要なサイドラボの充実、AMED-BINDSへの協力</li></ul>



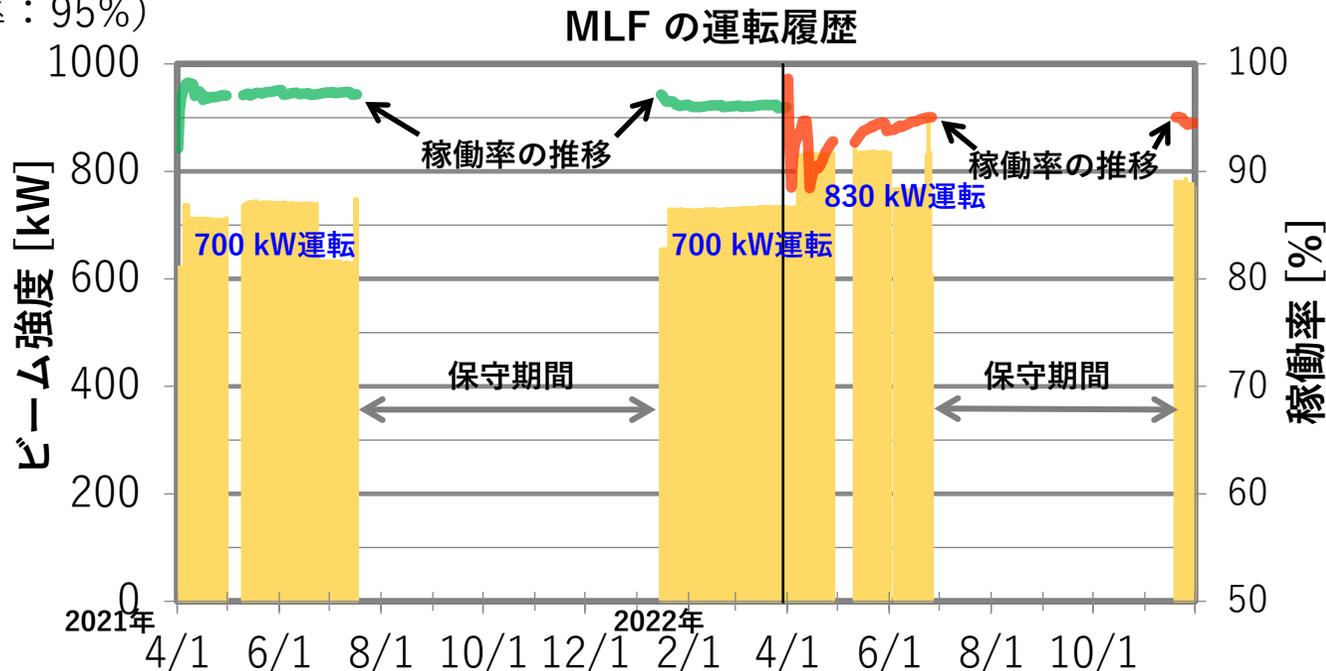
# ビーム強度（MLF: 1 MW）の早期達成を目指して

## － 中性子源の運転状況 －

1-1

- 2021年度、700 kWのビーム強度で安定な利用運転を実施
  - ✓ 高出力運転に伴う標的容器等の保守作業について、放射線リスクの高い作業を並行して行わない安全確保に配慮した工程に見直したため、計画した7.2サイクル（159日）を調整し、6.9サイクル（151.5日）の利用運転を行った。
  - ✓ 利用運転期間中の稼働率は96%（目標稼働率：90%以上）。上記した運転日数減を加味しても91%。新型コロナウイルス感染症拡大の影響により利用者が来所できなくなった123課題に対して施設側が試料を受け取り実験を支援したことで398課題を実施した。
- 2022年度、ビーム強度を830 kWに増強し、利用運転を実施中
  - ✓ 2022年度上期（4月から6月まで）に予定どおり61日の利用運転を実施した。

（稼働率：95%）



# ビーム強度（MLF: 1 MW）の早期達成を目指して

## — 中性子標的容器の耐久性向上に関する取組み —

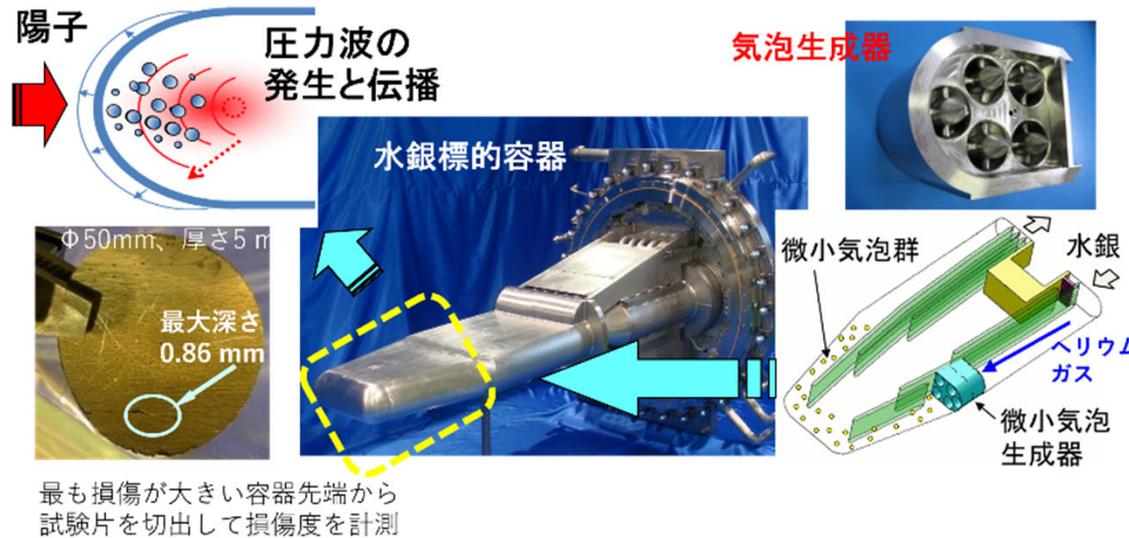
### 1 MW安定運転のための中性子源の課題

➤ 圧力波に起因する中性子標的容器のピッキング損傷の抑制

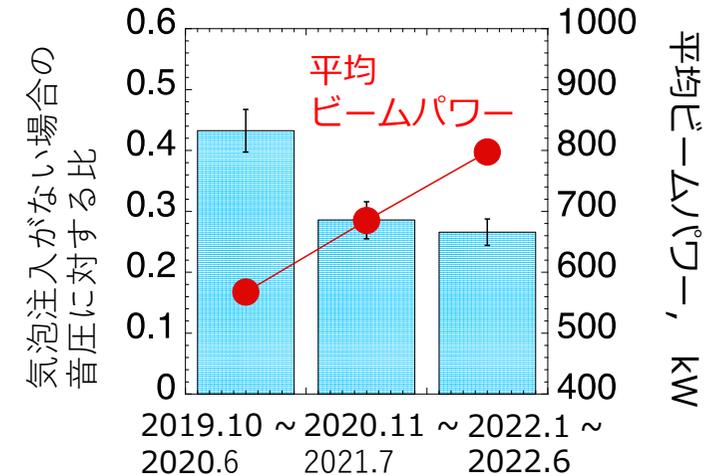


➤ 抑制方策として微小気泡を注入  
➤ 注入される気泡量を増やし、圧力波の抑制度合いを向上させる。

● ヘリウムガスを自ら吸引するよう設計した気泡生成器を含むシステムを最適化し、微小気泡生成量を増加した運転を継続。（R3年度下期～R5年度上期）



陽子ビーム入射時に標的容器で生じる音圧が気泡注入によって低下（最近3基分）  
音圧が低いほど損傷抑制効果が大



● 気泡生成器の標的內位置、旋回流を発生するベーンや羽根の角度等を最適化設計し、気泡注入密度をさらに2.5倍程度高め得る標的容器を製作中である。本容器は、1 MW相当のビームパワーで5,000時間の運転（年間最大運転時間）に対する耐久性を持つことが期待できる。



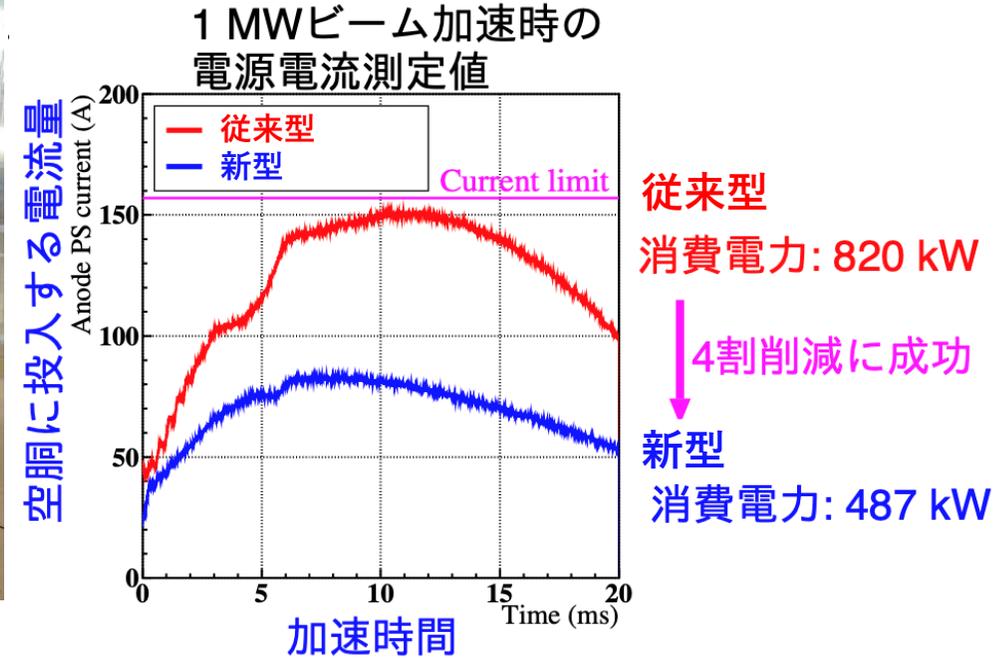
# ビーム強度（MLF: 1 MW）の早期達成を目指して — 低消費電力加速空洞の導入について —

## 大強度陽子ビーム加速の消費電力の改善

- ▶ 1 MWのビーム運転時においては、従来型のRCS加速空洞では投入できる電流量に裕度がなく、限界値付近での運転となっていた。また、J-PARCで使用する電力のうち約半分がRCSで消費しており、そのうち約半分が加速空洞で消費している。



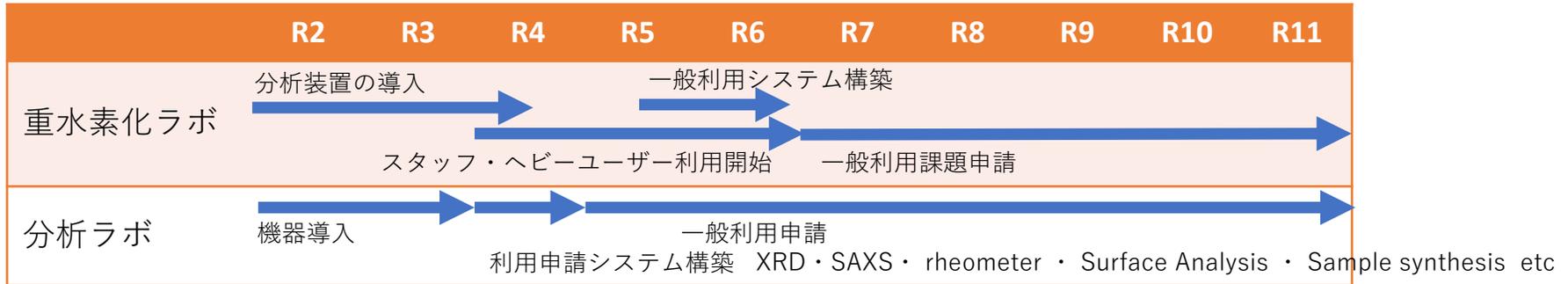
加速器トンネルに設置したシングルエンド型  
加速空洞



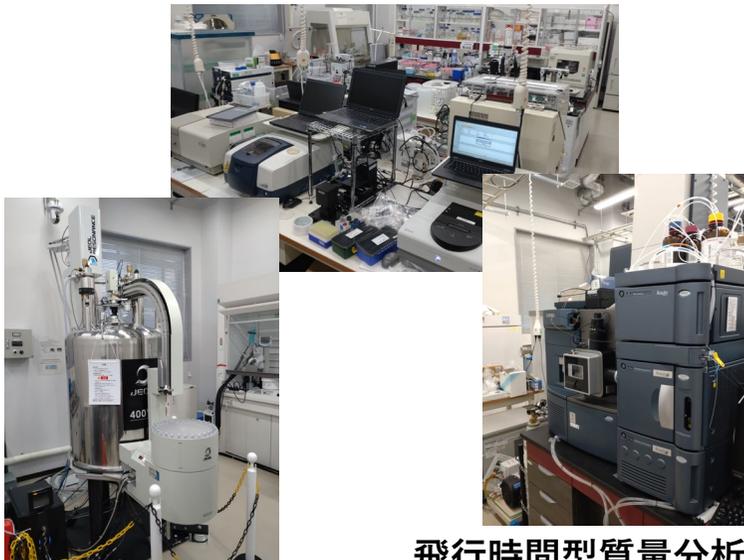
- ▶ 加速空洞への高周波電力の投入方式を改良することで、1 MWでのさらなる安定運転に向け、**40%の使用電力の削減**に成功。
- ▶ 現在、1台の新型加速空洞が利用運転に使用されており、令和4年度の補正予算の措置を受け、導入を加速。今後、全12台の加速空洞を順次新型へ置き替え予定。
- ▶ 電気代高騰の対策としても貢献。



# 生命科学に必要なサイドラボの充実 AMED-BINDSへの協力



## 重水素化ラボの整備

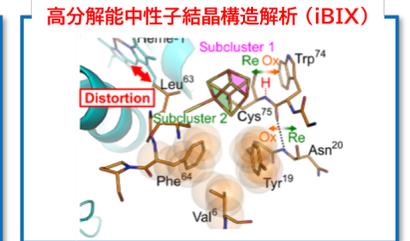
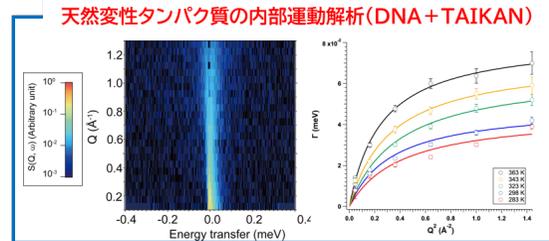


$^1\text{H}/^2\text{H}$   $q$  NMR

飛行時間型質量分析器  
Q ToF MS-MS

重水素化度の分析機器

BINDS2 (生命科学・創薬研究支援基盤事業)\*に参加し、多くの生命科学者に向けた中性子散乱・回折技術及び、高度重水素化試料作製・データ解析の支援を開始



**BINDS (Basis for Supporting Innovative Drug Discovery and Life Science Research) 事業紹介より抜粋：**

<https://www.binds.jp/about>

「生命科学・創薬研究支援基盤事業」は、我が国の幅広い生命科学関連研究に立脚し、その中の優れた研究成果を創薬研究などの実用化研究開発に繋げることを目的とした事業です。構造解析に係る大型機器では、クライオ電子顕微鏡、放射光施設、**中性子線構造解析施設**等を備え、(以下略)

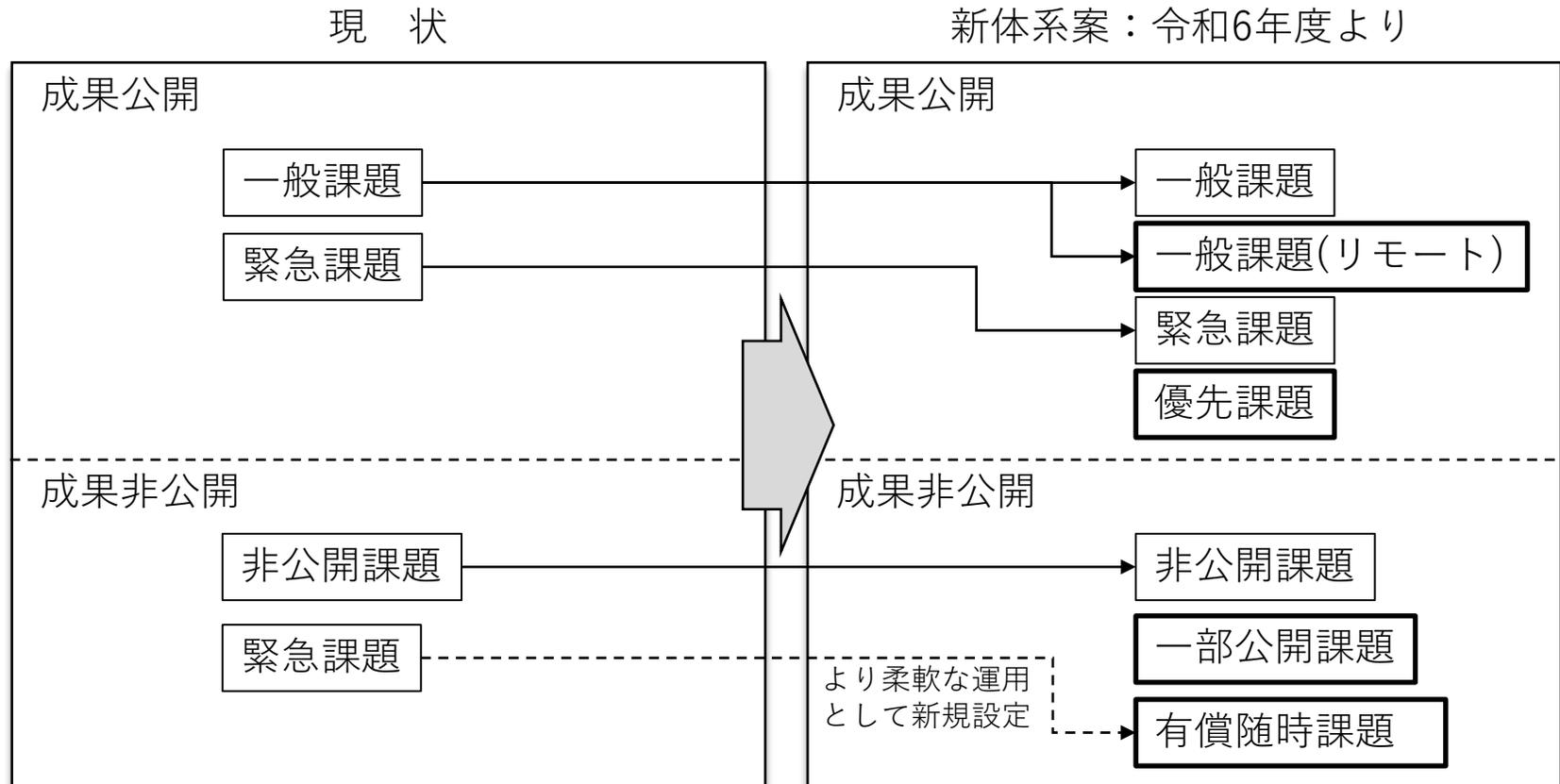
## 2 施設の運営

ID	報告内容
2-1	<ul style="list-style-type: none"><li>• 利用体系の見直しについて</li><li>• 「有償随時課題」の早期運用開始について</li></ul>
2-2	<ul style="list-style-type: none"><li>• アクセス道路の整備について</li></ul>

# 利用体系の見直しについて

## 中性子利用体系の見直し（案）

- ▶ 共用開始から、成果公開利用は無償、成果非公開利用は有償で運用してきたが、産業界から柔軟な利用ができるような制度の導入の要望が寄せられるとともに、国からは平成30年の中間評価において、「経営的視点」の導入が求められている。
- ▶ 利用ニーズに応える新たな利用体系を令和6年度の導入を目指し検討中。



\*太枠は新規に設定した利用形態



# 利用体系の見直しについて

## 中性子利用体系の見直し（案）：つづき

青太字：新規に設定を予定している利用形態

成果公開	一般課題	無償	◆ 学問上の価値、産業利用の価値、社会的意義、技術的実行の可能性、実験組織の能力、J-PARCの必要性、実施の安全性などの観点から総合的かつ専門的に審査を行い実施する。	公募 (年2回)
	緊急課題	無償	◆ 学術的に緊急性の高い課題について、MLFディビジョン長・CROSSセンター長の判断のもと緊急的に実施する。	随時
	<b>一般課題 (リモート)</b>	有償	◆ 一般課題のうち、課題申請者が来所せずにリモートで実験を行う。	公募 (年2回)
	<b>優先課題</b>	有償	◆ 国プロなどの大型研究資金に審査を経て採択された課題で、安全性、実施の技術的可能性を確認の上実施する。	公募 (年2回)
成果非公開	非公開課題	有償	◆ 成果を非公開とする課題。安全性、実施の技術的可能性を確認の上実施する。	公募 (年2回)
	<b>一部公開課題</b>	有償	◆ 非公開課題のうち、特許や製品開発につながる（もしくはつながった）旨を公開することを前提とする課題。安全性、実施の技術的可能性を確認の上実施する。	公募 (年2回)
	<b>有償随時課題</b> * R5年度運用開始予定	有償	◆ 産業界ユーザーを対象とし、産業利用の観点で緊急性、今後の産業利用の発展の観点から簡便かつ早期に実施することが適切である課題。J-JOINを窓口とする。	随時

# 「有償随時課題」の導入について

- ▶ 成果非公開型の緊急課題をより柔軟に運用するために「有償随時課題」を導入
- ▶ 「J-JOIN」を窓口として、MLFとJRR-3で統一的に成果非公開での有償随時課題の制度を令和5年度より運用する予定
- ▶ 産業界のニーズに応えるとともに、J-JOINに付加価値を持たせ有償利用の裾野拡大を図る

## 制度設計（案）

### ○ 成果非公開型の有償随時課題

- ▶ 基本産業界を対象とし、成果非公開利用としての各施設のフルコスト料金を徴収

### ○ 窓口・申請フロー

- ▶ J-JOINを窓口とする
- ▶ コーディネーターがアレンジし、装置担当者・実施希望者と打合せの上、申請手続きへ

### ○ 制度の開始時期

- ▶ 令和5年度の利用より運用予定



# アクセス道路の整備について

## アクセス道路の整備計画

- アクセス性向上の観点から原子力科学研究所（原科研）中央地区を通過することなく直接 J-PARCへ入退域できるアクセス道路が要望されている
- 東海村からも周辺地域へのアクセス性向上と渋滞緩和の点から支持いただき、村との合同事業として整備する計画
- 令和4年度より詳細設計及びかかる許認可手続きを順次開始しているところ

