

大強度陽子加速器施設(J-PARC)の概要

資料5

宇宙の始まりと物質・生命の起源にせまる

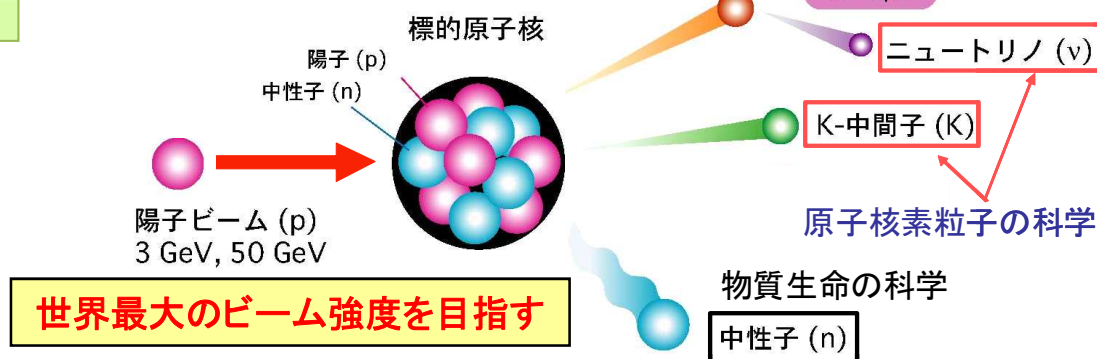
- 日本原子力研究開発機構(JAEA)と高エネルギー加速器研究機構(KEK)が両者のポテンシャルを活かし、共同して運営
- 世界最高レベルのビーム強度を有する大型陽子加速器施設により多彩な二次粒子を用いた新しい研究手段を提供し、基礎物理から産業応用までの幅広い研究開発を推進する。
- このうち特定中性子線施設を、共用促進法(※)に基づき、産学官の多様な分野の研究者へ広く共用
- 平成13年建設着手、平成20年施設運用開始。平成24年度は4,354時間(8サイクル)、平成28年度は3,669時間(7サイクル)の共用運転

(※)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 σ)
 - 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)

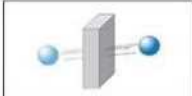


物質・生命科学実験施設(中性子実験施設)


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


1. 物を通り抜ける能力
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




4. 原子の並び方を見る
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



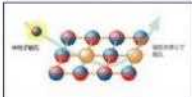
2. 同位体も見分ける能力
原子核と相互作用するので、軽元素の検出や同位体の区別ができます

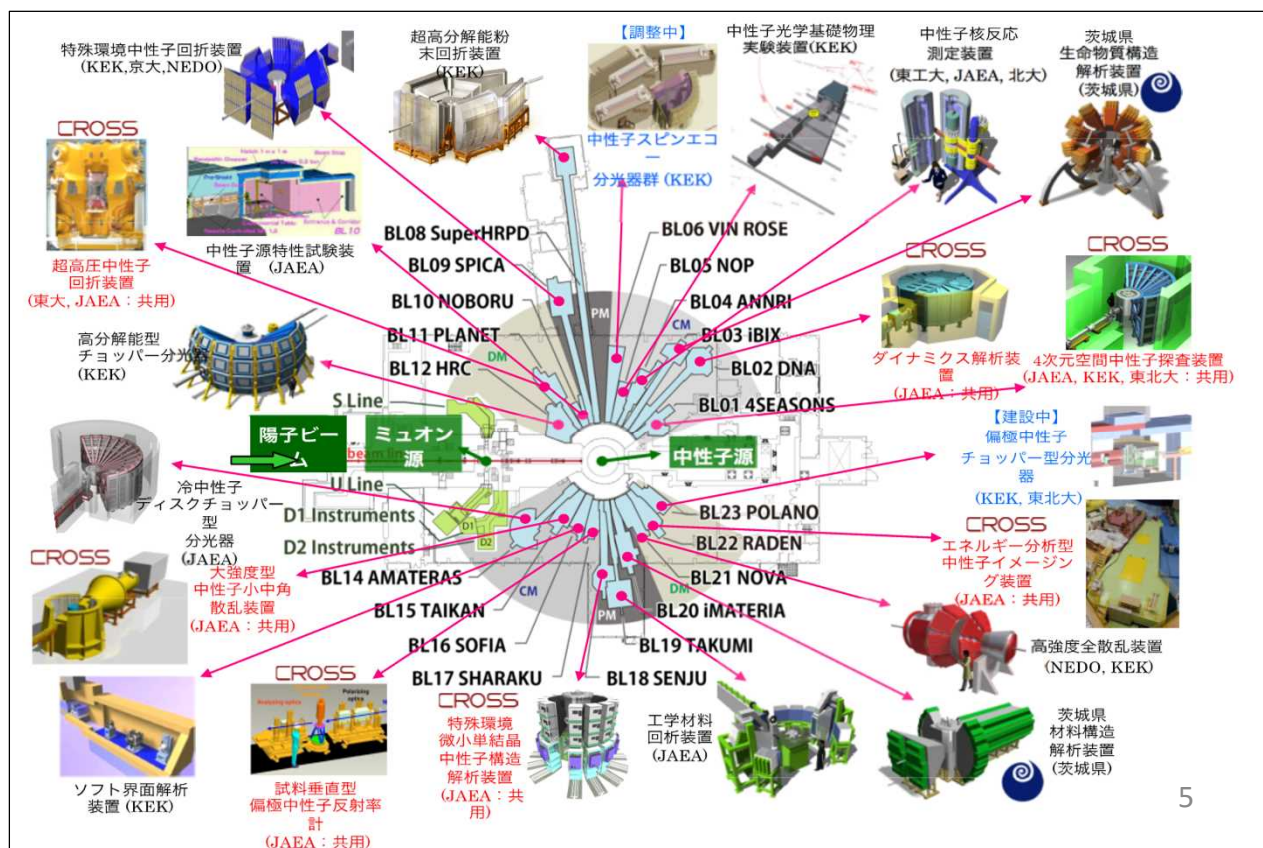


5. 原子の動きを見る
原子間距離程度の波長の中性子は、ちょうど原子やスピンの動きと同程度のエネルギーを持ちます。だから、原子、スピンの構造と同時に、それらの運動もわかります



3. 中性子はマイクロな磁石
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



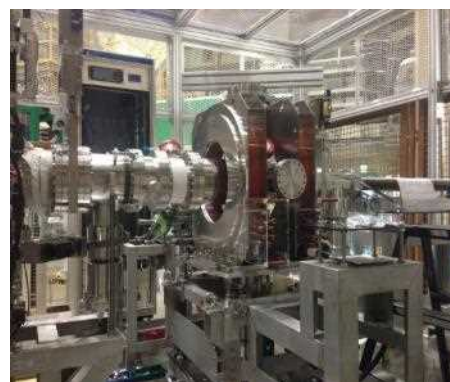
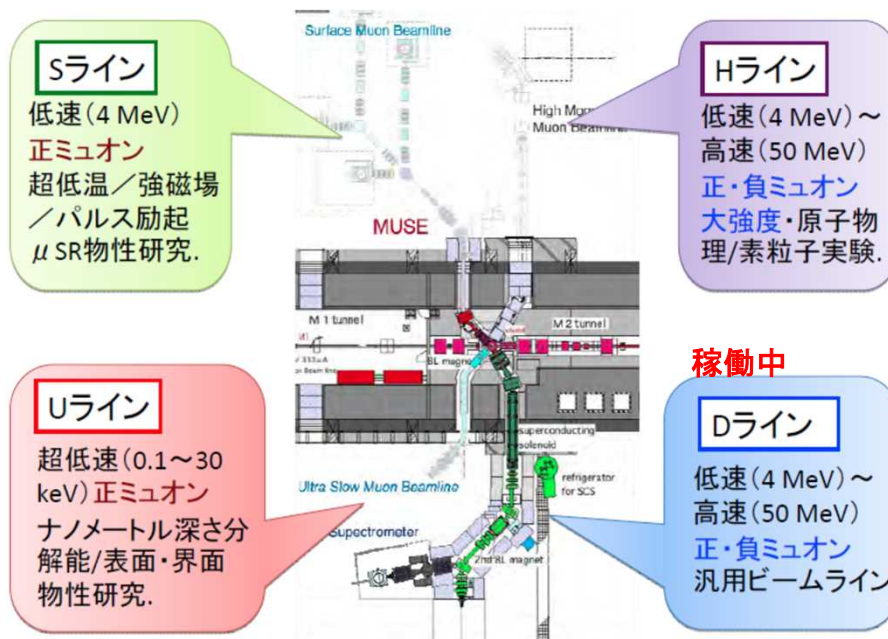


物質・生命科学実験施設(ミュオン実験施設)

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:**
 - 低消費電カ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 μ 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)

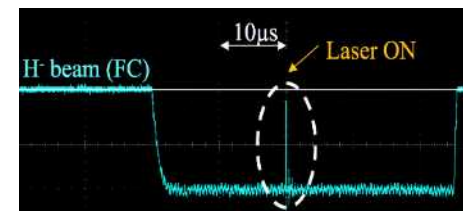
ADSターゲット試験施設 (TEF-T)



液体鉛ビスマス取扱技術の開発

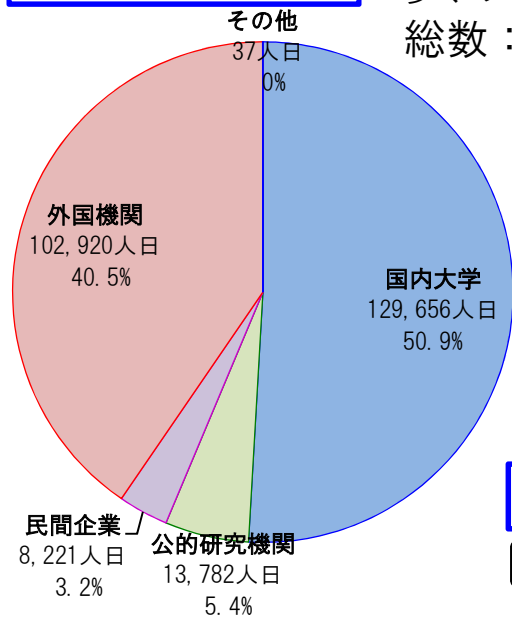


レーザー荷電変換技術



ユーザー推移

所属機関別

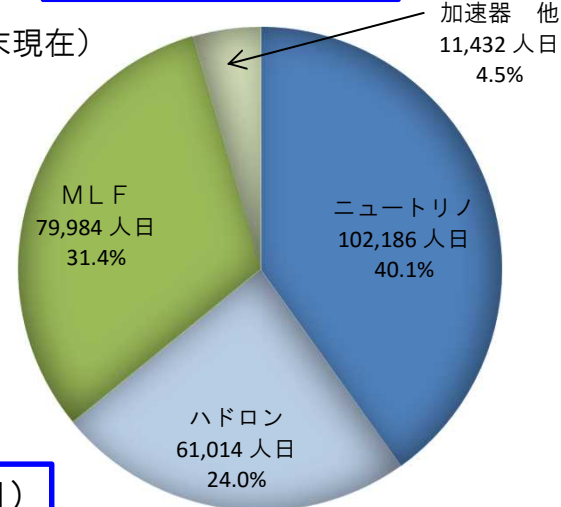


平成20年12月の稼働開始以来、多くのユーザーがJ-PARCに訪れている。

総数：延べ **254,616人日** (平成29年度末現在)

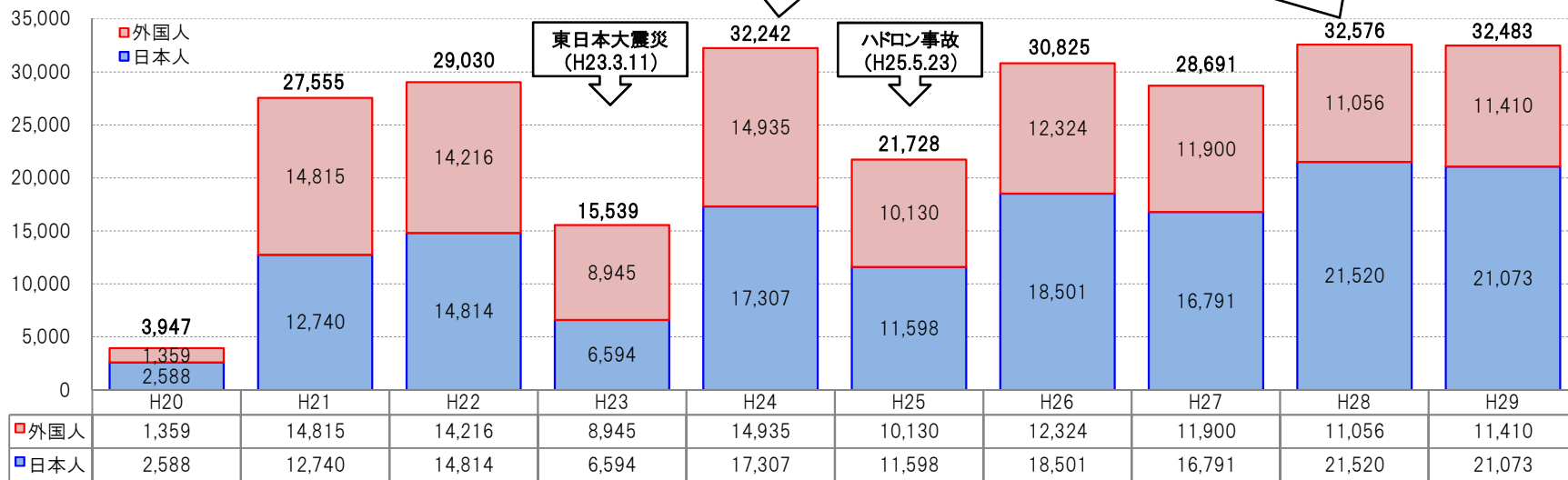
うち、H20年度 3,947人日
 H21年度 27,555人日
 H22年度 29,030人日
 H23年度 15,539人日
 H24年度 32,242人日
 H25年度 21,728人日
 H26年度 30,825人日
 H27年度 28,691人日
 H28年度 32,576人日
 H29年度 32,483人日

来訪施設別



外国人・日本人別来所数推移(人日)

1日最大外国人人数 **167人**(H25.1.23)
 1日最大日本人人数 **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 σ)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**

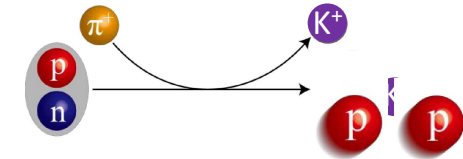
ハドロン実験施設の研究力分析

- 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%

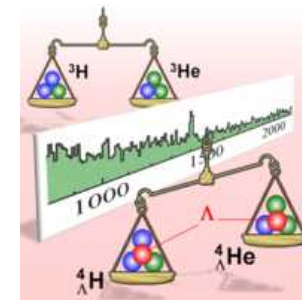
- 物理成果論文:2、被引用数:44 [平均22]

□ **ラムダ粒子 Λ 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%

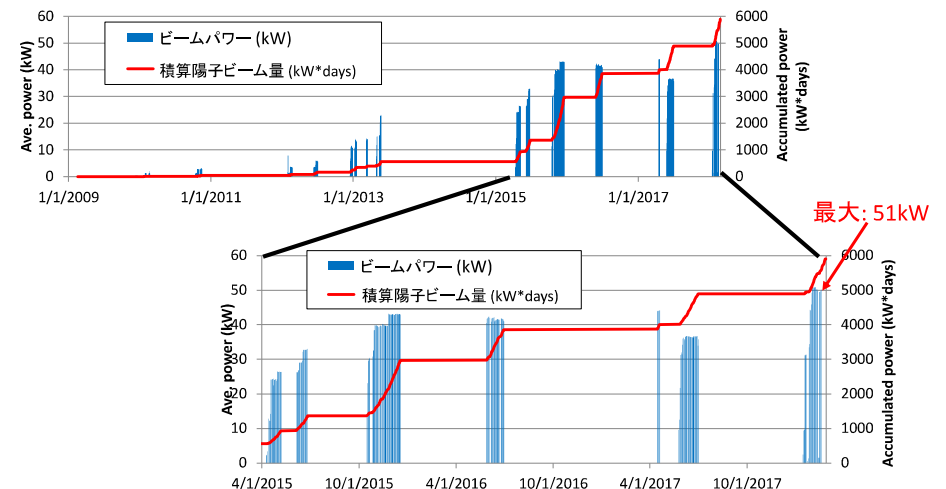
- J-PARCでの実験のために開発した手法を用いて過去の実験データを解析した論文が
2017年日本物理学会論文賞を受賞

- 2018年度(実施中):4課題

- 物理成果論文:3、被引用数:81 [平均27]

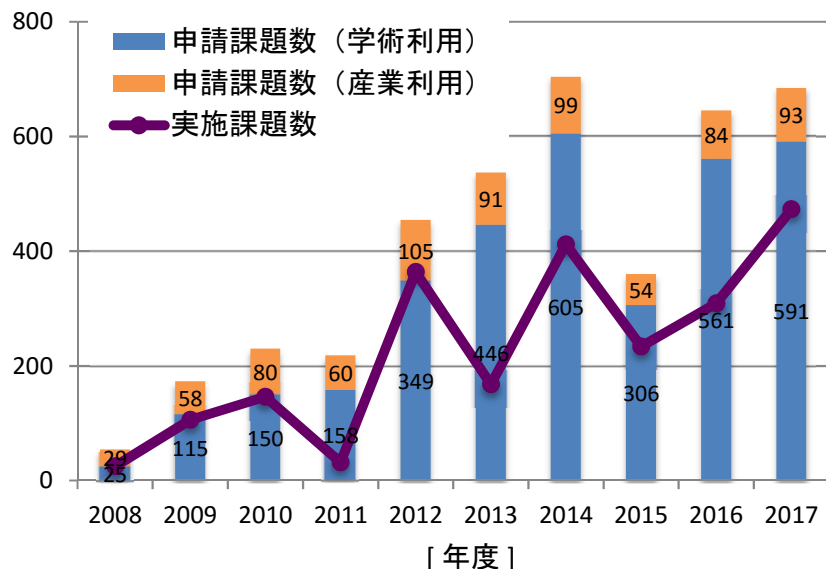
□ 高密度のハドロン束縛状態の探索
(2015年、被引用数:38)

□ CP対称性を破る**中性K中間子の稀な崩壊**の探索
(2017年、被引用数:16)

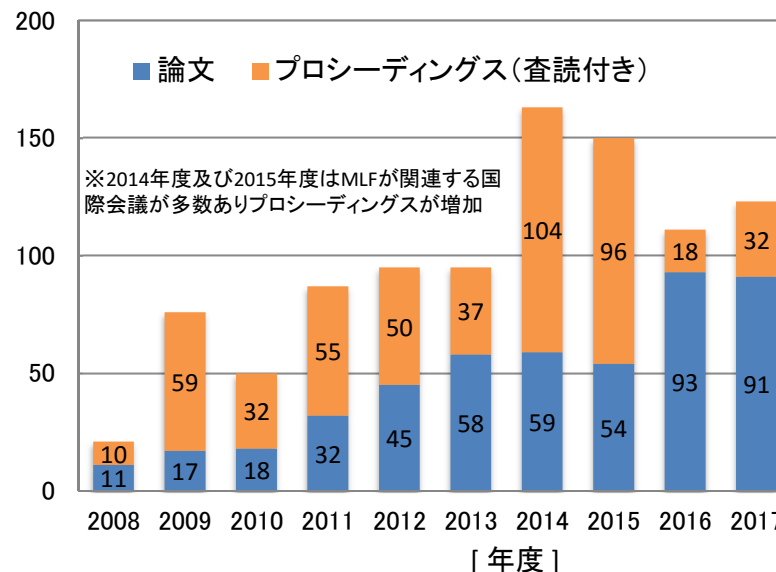


MLFにおける課題数・論文数等の推移および主な成果

申請課題数と実施課題数推移



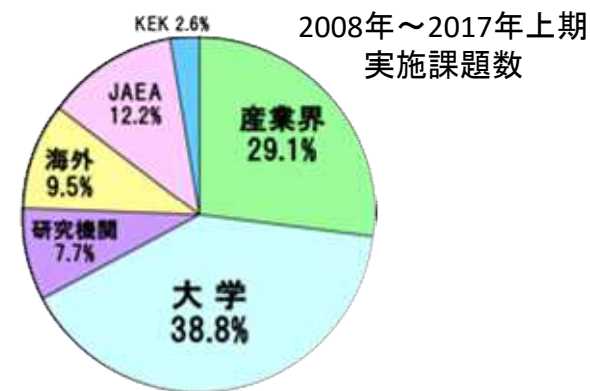
論文数推移



研究成果実績(例)

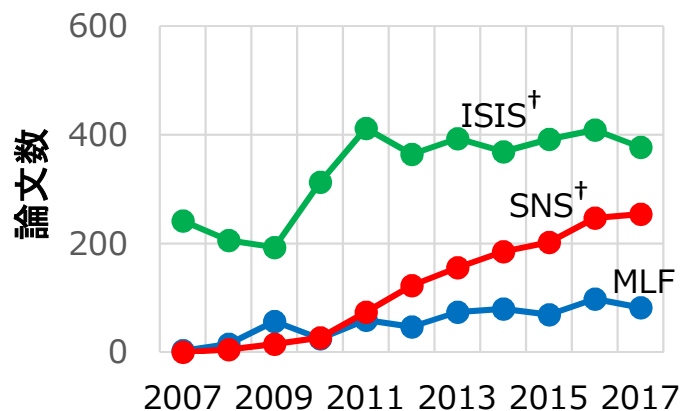
- 平成28年3月 **中性子**
超イオン伝導体を発見し全固体セラミックス電池を開発
- 高出力・大容量で次世代蓄電デバイスの最有力候補に -
- 平成29年8月 **中性子**
次世代太陽電池材料として注目されるペロブスカイト半導体における、高い発電効率の起源を解明
- 平成26年3月 **ミュオン**
鉄系超電導物質における新しい型の磁気秩序相を発見
- 平成27年11月 **中性子、ミュオン**
SPring-8・J-PARC・スーパーコンピュータ「京」を連携活用させたタイヤ用新材料開発技術「ADVANCED 4D NANO DESIGN」を確立

産業利用率



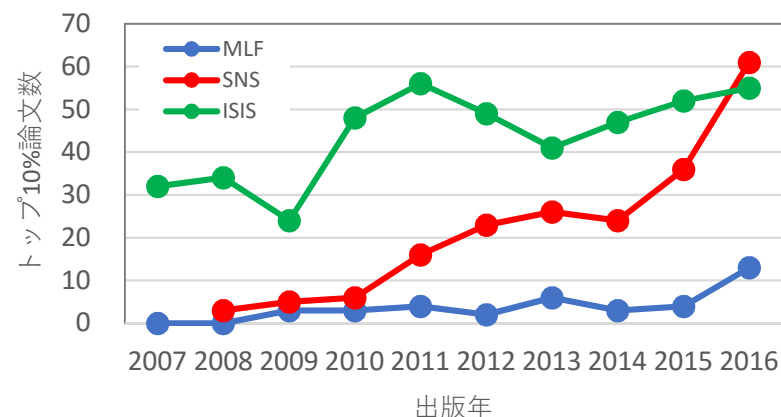
MLFの研究力分析①

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	82.1	High-power all-solid-state batteries using sulfide superionic conductors	Nature Energy	2016	全固体電池
2	869	51.6	A lithium superionic conductor	Nature Materials	2011	リチウムイオン伝導体
3	33	12.7	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	35.8	Proximate Kitaev quantum spin liquid behaviour in a honeycomb magnet	Nature Materials	2016	量子物性
2	104	31.2	A precipitation-hardened high-entropy alloy with outstanding tensile properties	Acta Materialia	2016	金属材料
3	301	21.6	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

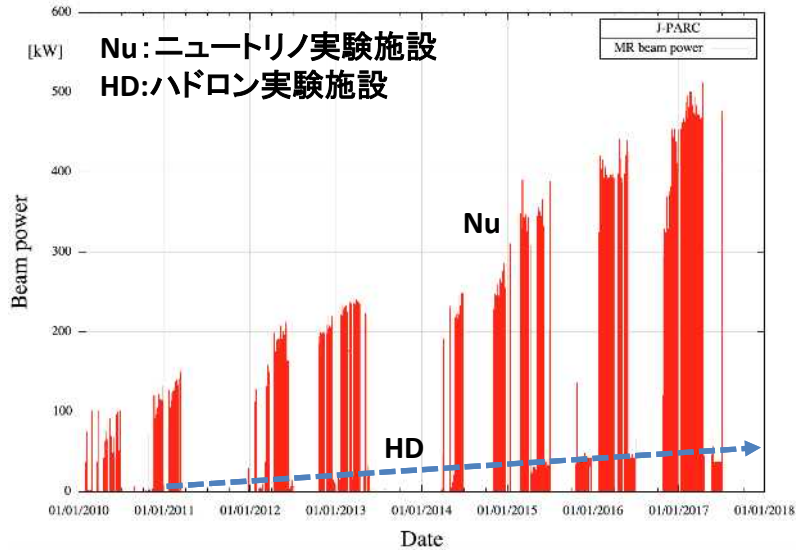
ISIS

順位	被引用回数	NCI	タイトル	雑誌名	出版年	研究分野
1	146	56.4	Reproducibility in density functional theory calculations of solids	Science	2016	固体物性
2	212	31.5	The dynamics of methylammonium ions in hybrid organic-inorganic perovskite solar cells	Nature Communications	2015	太陽電池
3	161	19.9	Mantid—Data analysis and visualization package for neutron scattering and μ 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)

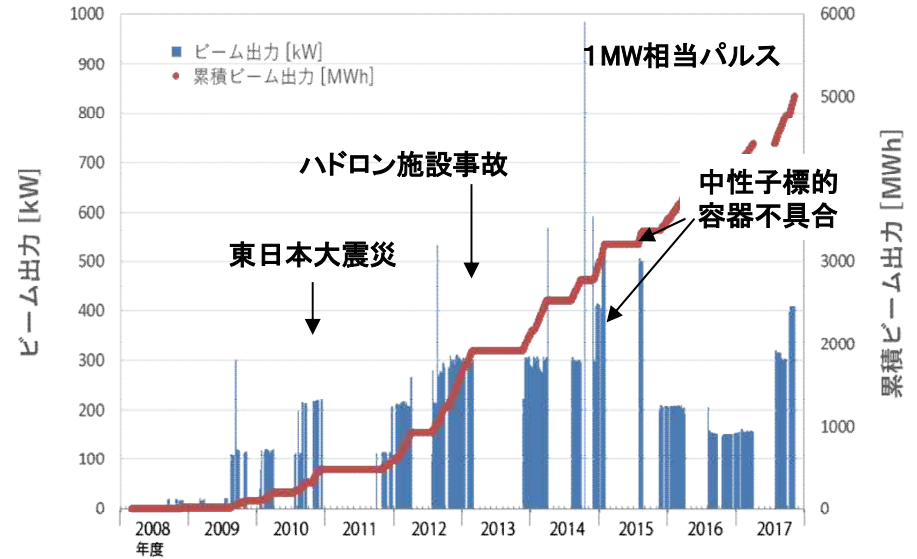


今後の予定

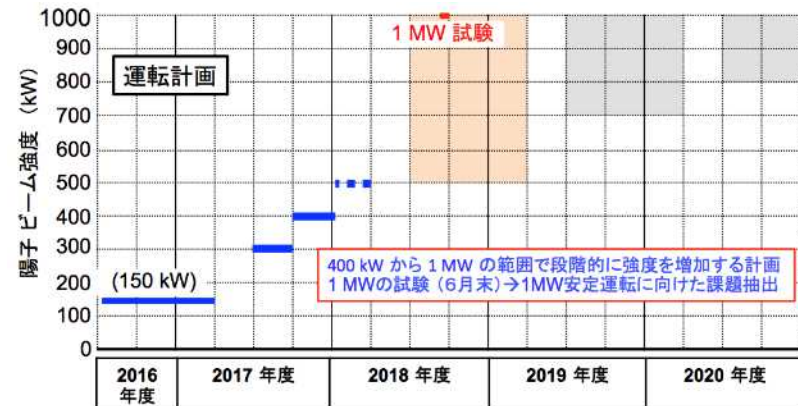
JFY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ニュートリノ実験施設 ビーム強度 [kW]	475	>480	>480	>480	電源更新長期停止	>700	800	900
ハドロン実験施設 ビーム強度 [kW]	50	50	50	70		>80	>80	>80
主電磁石電源の 繰り返し時間	2.48 s	2.48 s	2.48 s	2.48 s		1.32 s	<1.32 s	<1.32 s
主電磁石電源製作	電源量産・据え付け							

物質・生命科学実験施設(MLF)

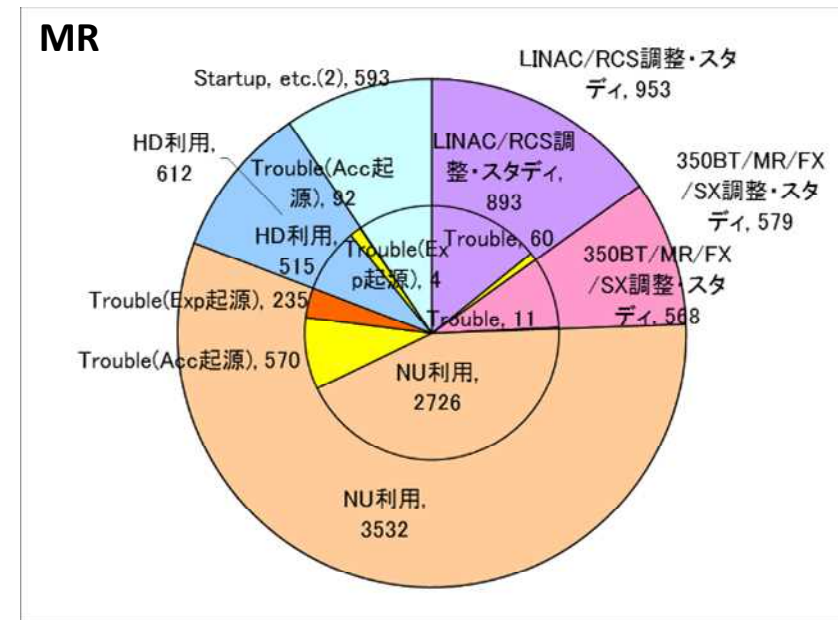
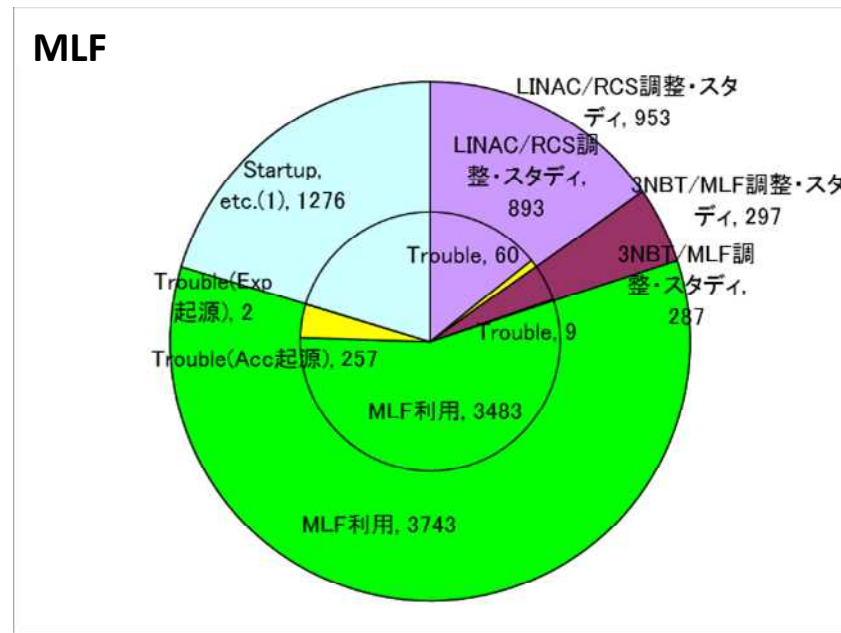
- MLF(目標1MW): 500kWの連続運転実施(H30.4~)
- 1MW相当パルスでの試験運転成功(H27)



今後の予定



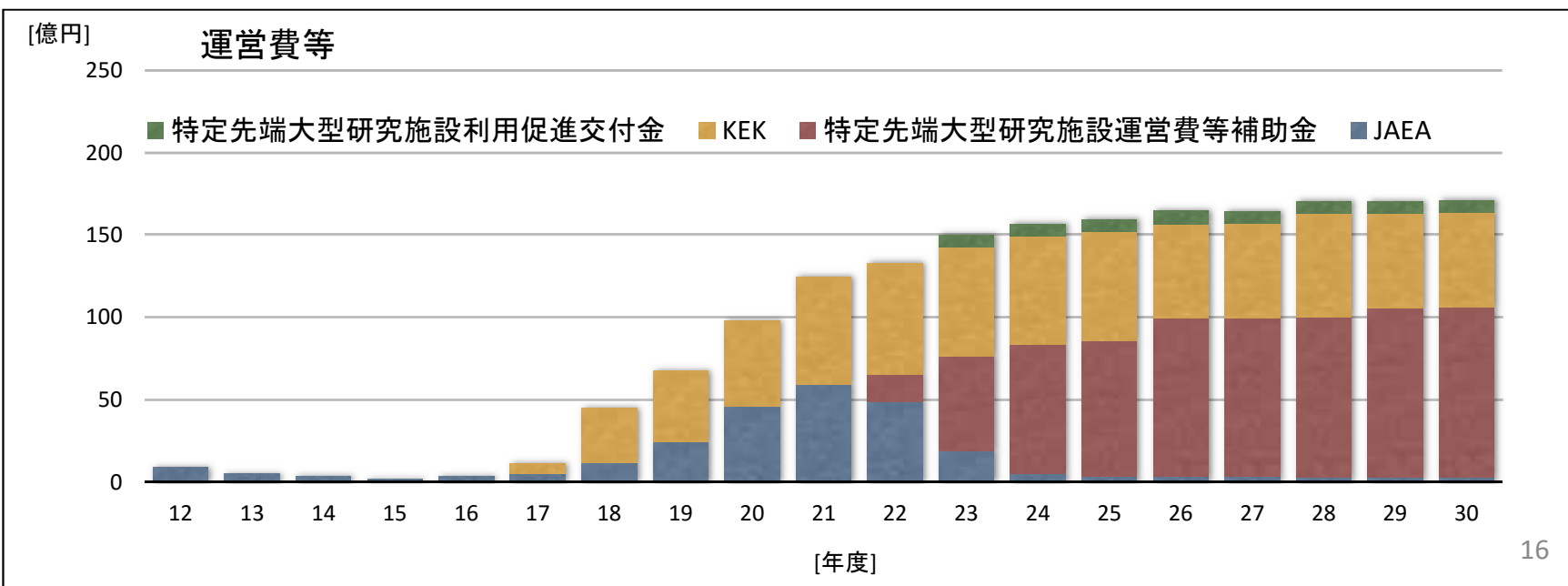
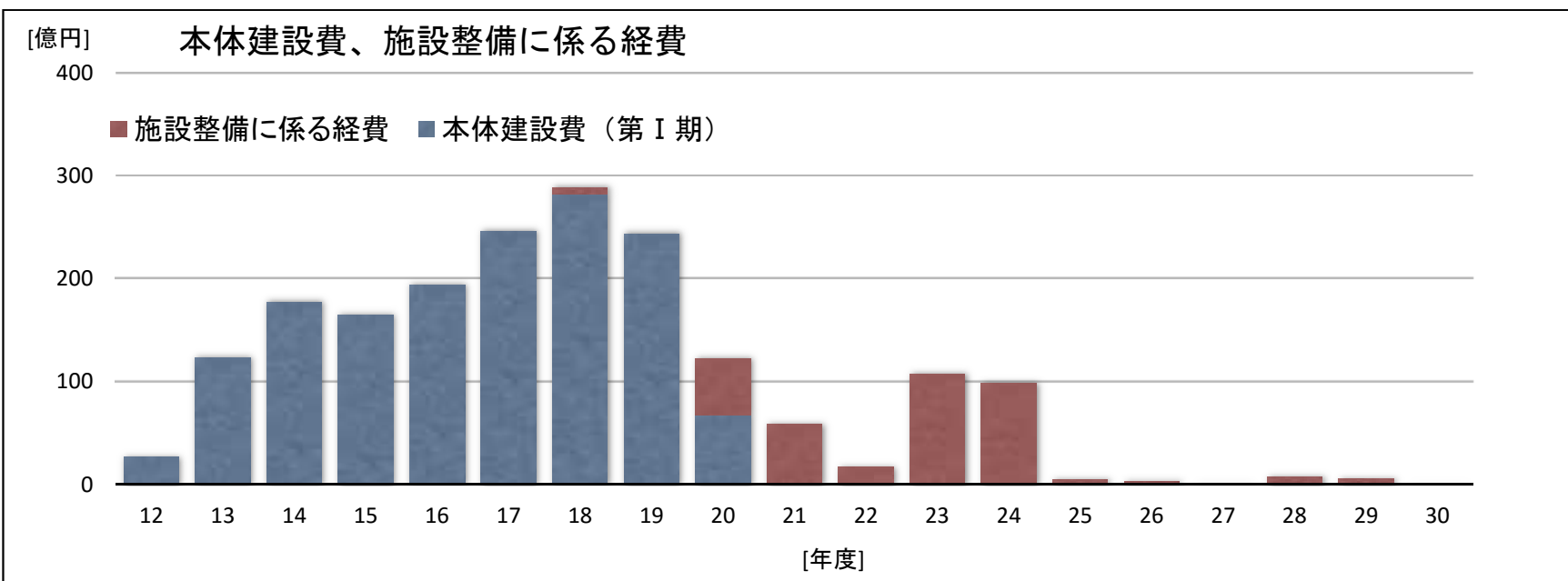
運転統計 (平成28年度)



※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

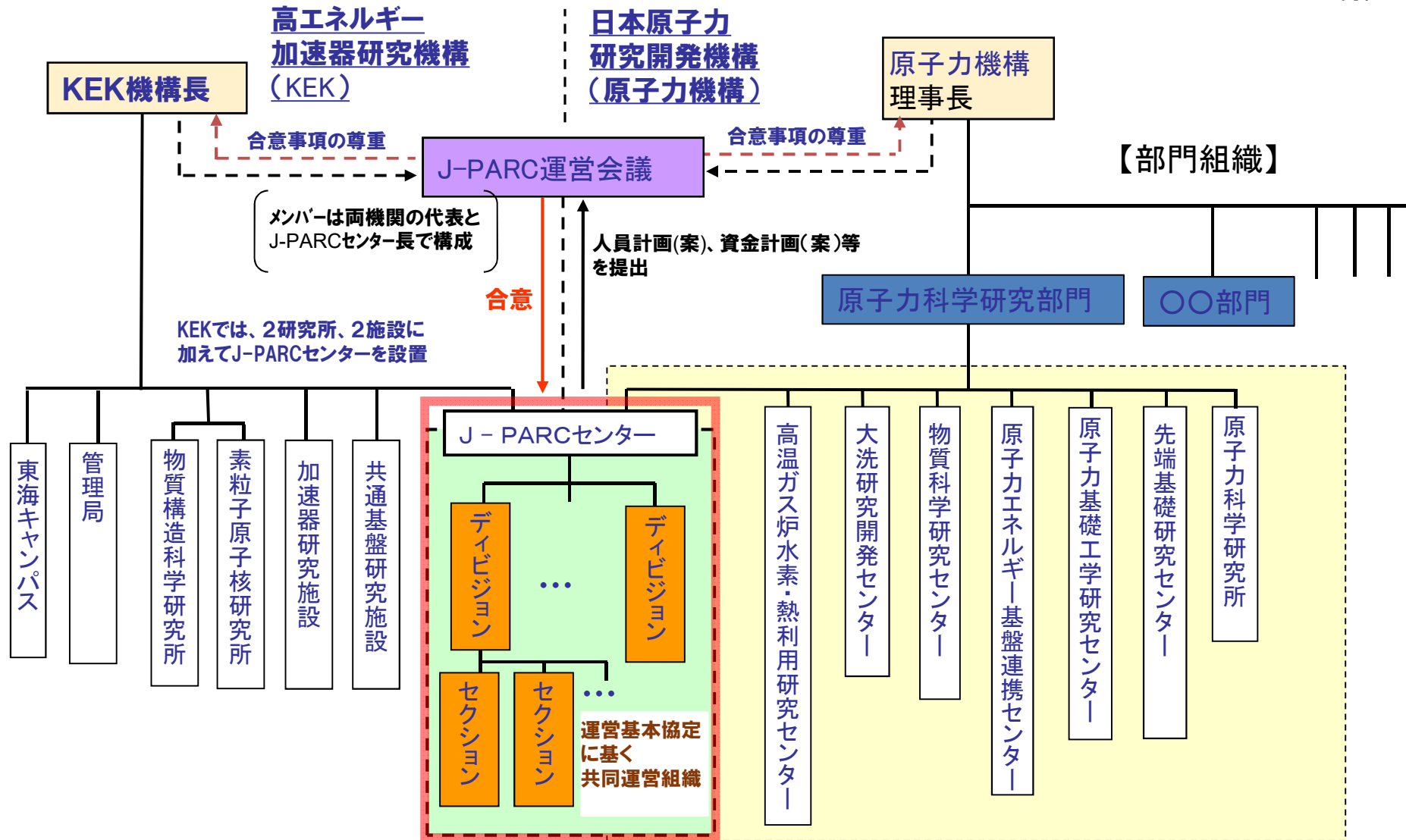
施設名	利用者供用 (時間)	加速器トラブル (時間)	加速器以外のトラブル (時間)	実質供用時間 (時間)	稼働率 (%)
MLF	3,743	257	2	3,483	93.1
ニュートリノ実験施設	3,532	570 (稼働率低下への寄与16%)	235 (稼働率低下への寄与7%)	2,726	77.2%
ハドロン実験施設	612	92	4	515	84.1

J-PARCの予算推移



J-PARCの運営組織

H30.3.31 現在

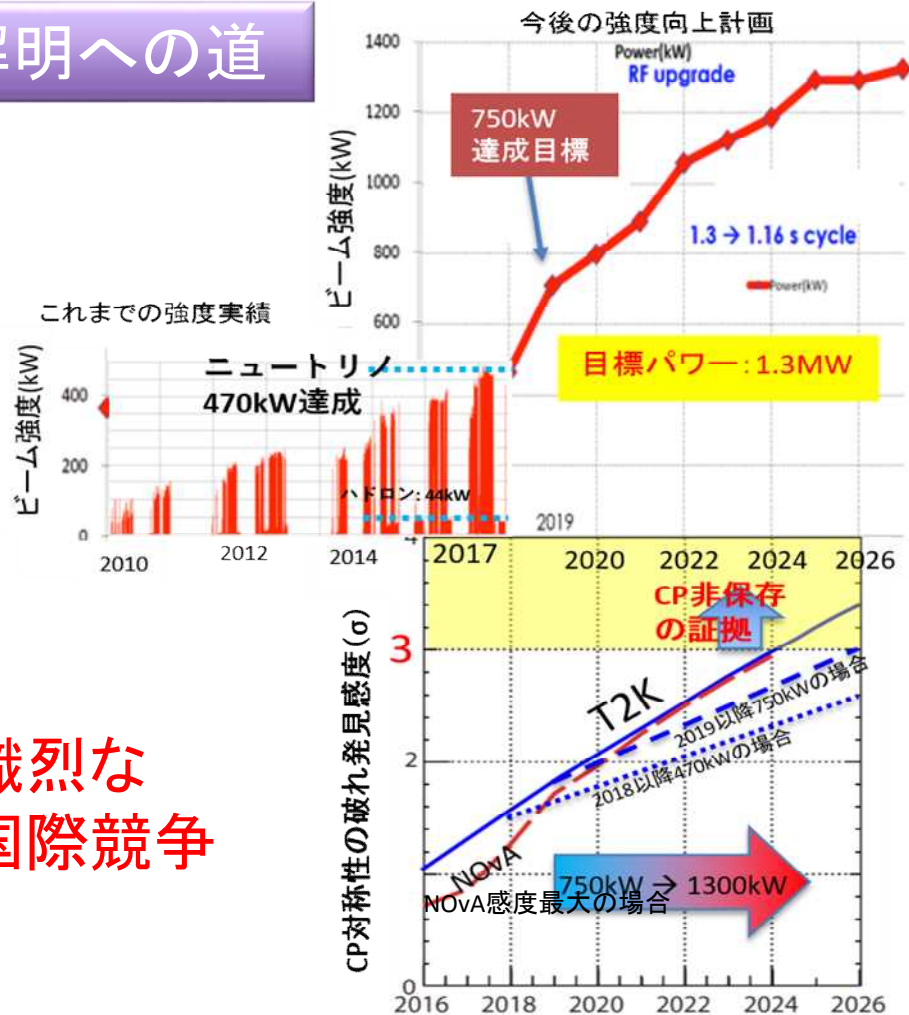


今後の計画(ニュートリノ実験施設)

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 3σ (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

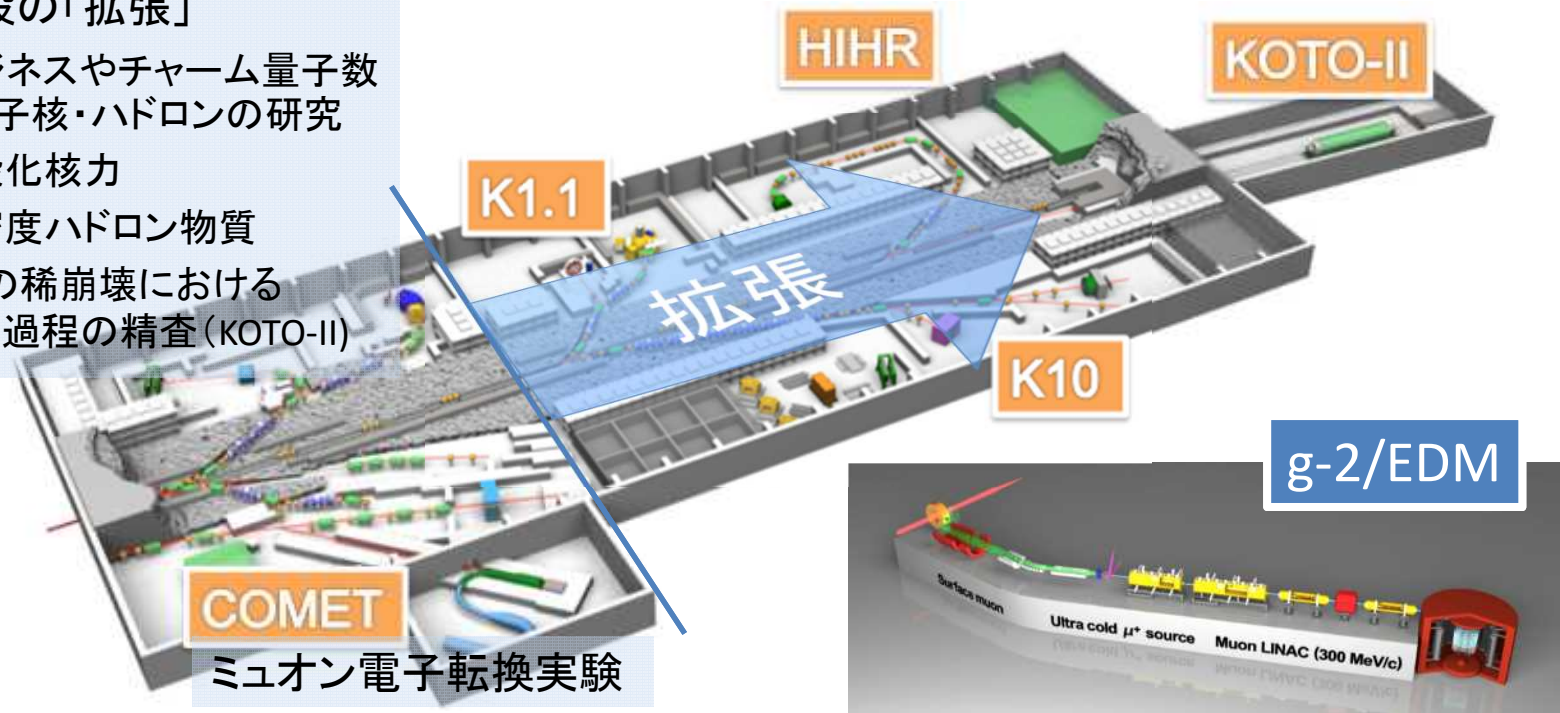
JFY	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Event	New buildings			HD target	電源更新 長期停止			
FX power [kW]	475	>480	>480	>480		>700	800	900
SX power [kW]	50	50	50	70		> 80	> 80	> 80

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)



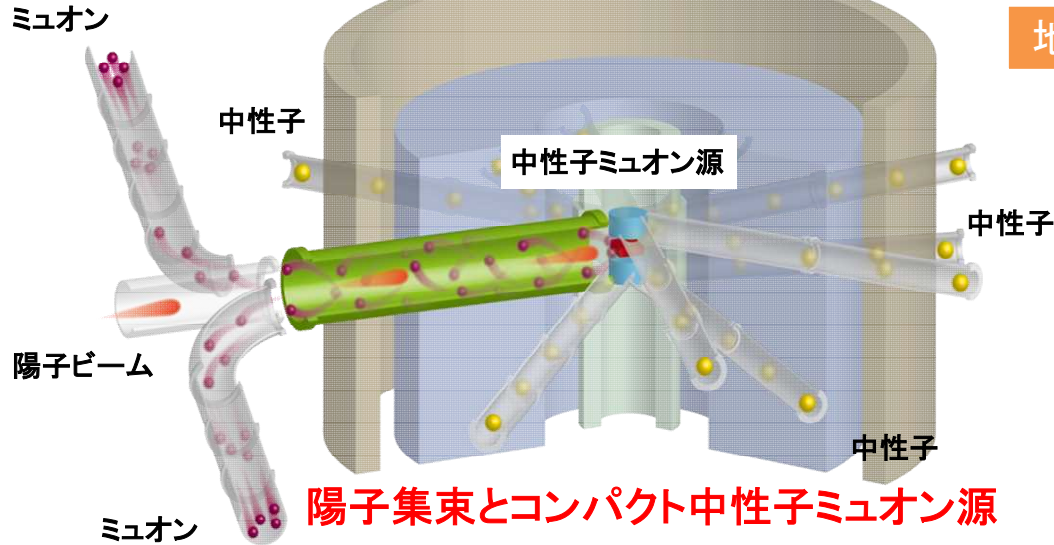
研究テーマを組み合わせることにより他にはない、「物質の起源」研究ができる。

- 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)

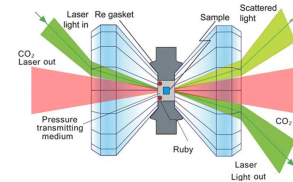
第二ターゲットステーション(TS2)

高輝度中性子ビームと
ミュオンマイクロビーム利用

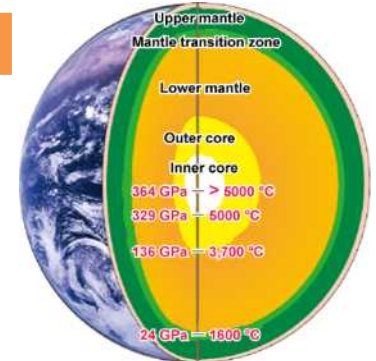


陽子集束とコンパクト中性子ミュオン源

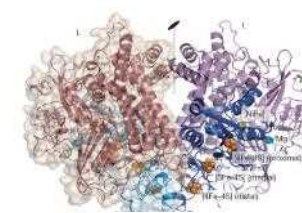
地球中心核構成物質の解明



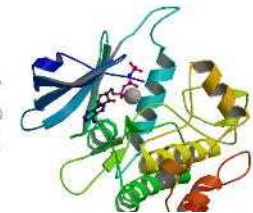
ダイヤモンドアンビルセル



タンパク質の構造と機能の解明

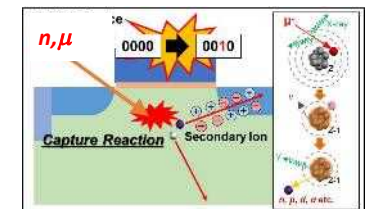


ヒドロゲナーゼ

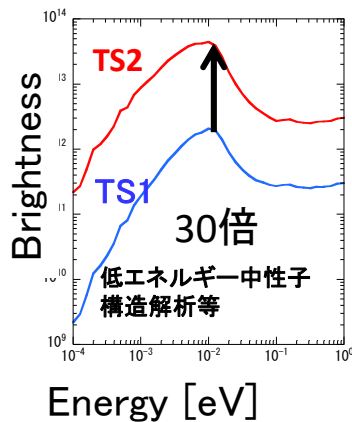


キナーゼ

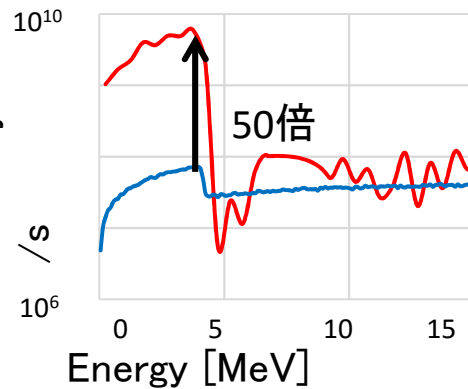
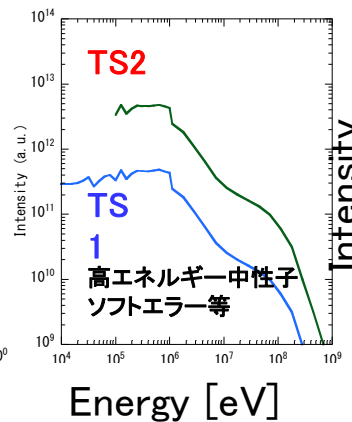
産業利用: 半導体ソフテラー等



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