

JRR-3中性子ビーム利用の現状と将来

東京大学物性研究所
附属中性子科学研究施設
柴山 充弘

<http://neutrons.issp.u-tokyo.ac.jp/>

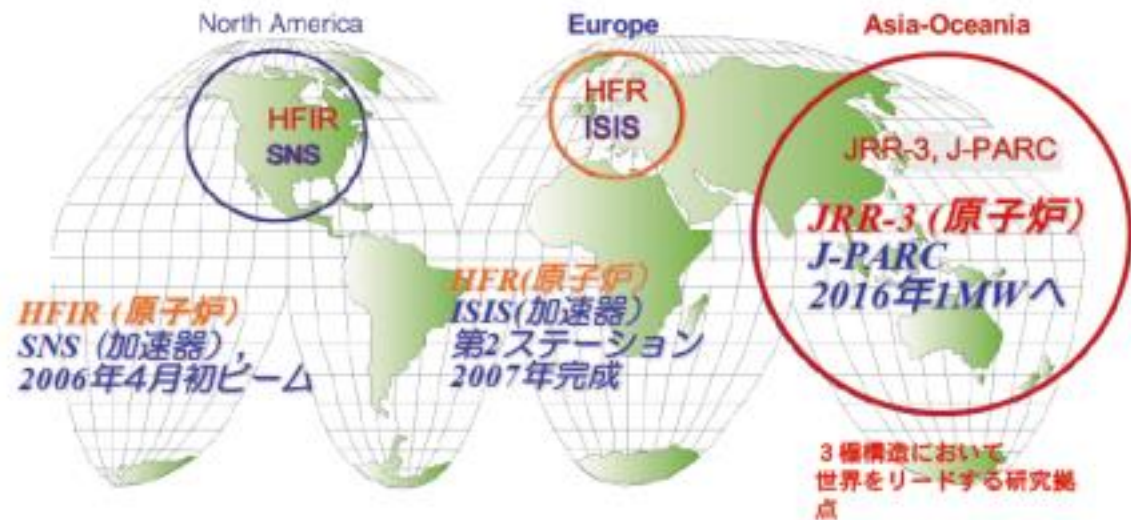
資料1
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
原子力科学技術委員会
原子力研究開発基盤作業部会（第4回）
H29.11.22

- I. 中性子ビーム利用の特徴
- II. 中性子ビーム利用の現在と将来
- III. JRR-3に設置された装置群と利用実態、共同利用統計
- IV. 海外実験支援プログラム
- V. ビーム炉長期停止による問題
- VI. 次世代原子炉のあり方
- VII. 次期原子炉の必要性
- VIII. 再稼働後のJRR-3の利用
- IX. 新研究炉構想
- X. 資料

東大物性研全国共同利用(共同利用・共同研究研究拠点)の歴史と現状、
論文統計、研究ハイライト、
利用体制のあり方、中性子ロードマップ、

中性子ビーム利用の特徴

1. **多目的プローブ**: 回折、散乱、反射、ラジオグラフィなど、さまざまな手法や装置を用いて、物質や材料の結晶構造、磁気構造、非晶構造、ダイナミクス、励起、緩和、などを調べることができるユニークな研究手段。また、放射化分析による微量元素定量。
2. **巨大施設・多種多様サイエンス**: 世界中で、より大規模な中性子ビーム利用施設の建設や装置の高度化が進み、世界をリードする研究施設に世界中から研究が集中し、ハイインパクト研究を独占
3. **定常中性子とパルス中性子**: 定常中性子(原子炉)とパルス中性子(核破砕)の2種の中性子が、それぞれの特徴を生かしたプローブとして多様なサイエンスを支援



中性子ビーム利用の現在と将来

パルス中性子源との相補性:

それぞれに適したサイエンスがあり、両者が健全に運転されることが必要

・装置の特性面からみた例

	原子炉中性子	パルス中性子
小角散乱(メソスコピック構造)		
反射率(表面構造)		
回折(結晶・磁気構造)		
ラジオグラフィ(透視)		

・外国施設の例

米国: HFIR と SNS

欧州: ILL と ISIS(ESS)

中国: CARR と CSNS

豪州: OPALと放射光施設(メルボルン)

突出したサイエンスで世界を先導:

エネルギー: リチウム電池、燃料電池、太陽電池

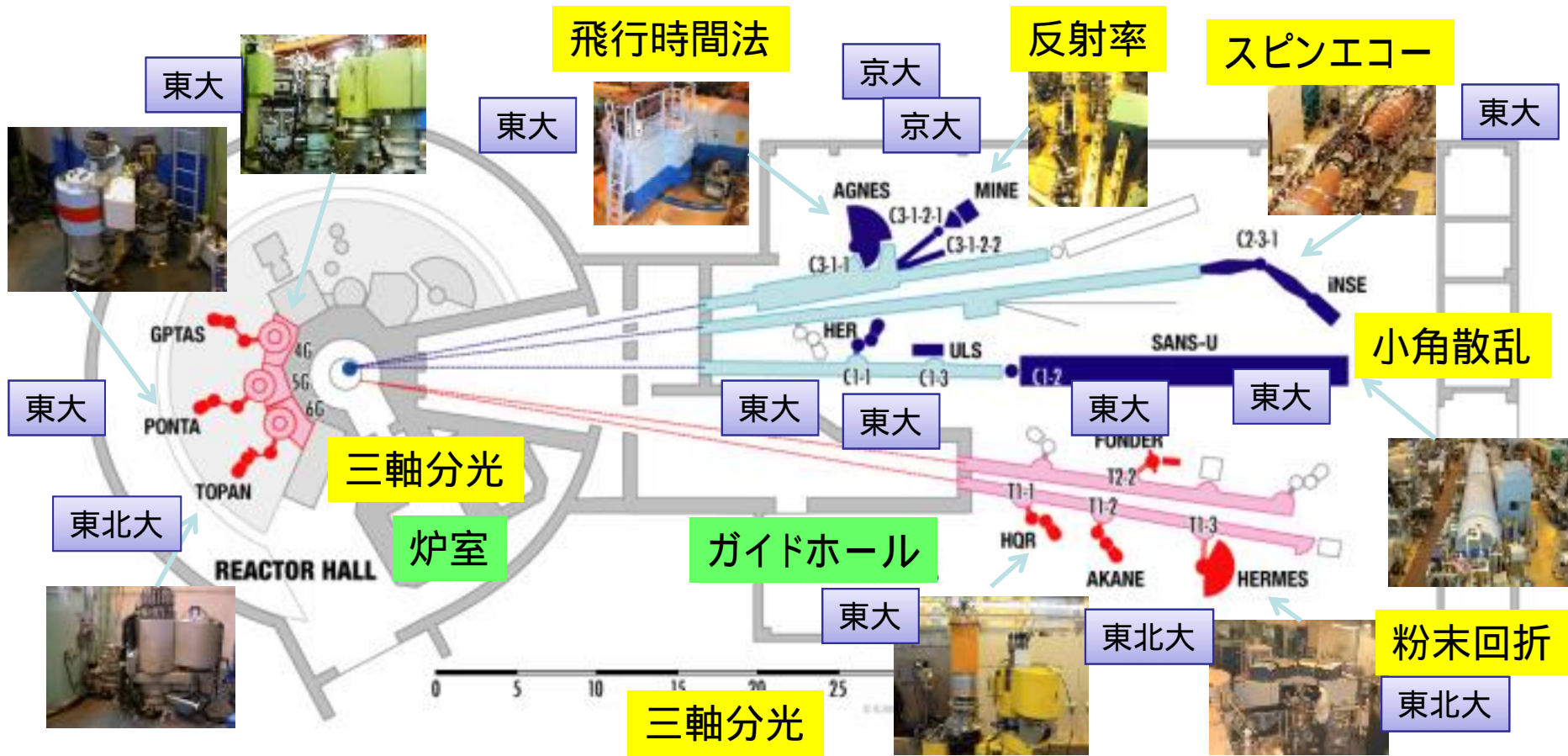
新材料: 高温超伝導、超強磁性、マルチフェロイクス、高密度メモリ

省エネ材料: しなやかタフポリマー、高吸水性樹脂、アクチュエーター、センサー

バイオ・医学・薬学: タンパク質結晶構造解析、医用応用(治療、代替器官)

文化財保護・非破壊検査: 中性子ラジオグラフィを使った調査・検査

JRR-3に設置された共同利用装置



大学所有散乱装置: 14台, 東大物性研 9, 東北大 3, 京大 2
 年間申請課題: ~300
 年間利用者数 (人・日): 職員 2000, 外部利用者 4000, 計 6000
 ユニーク利用者数 (フィルムバッジ): > 400 (2010年度)
 年間論文発表数: ~100

参考: JAEA所有装置
 散乱装置: 14台
 分析装置: 2台
 ラジオグラフィー: 2台

中性子散乱共同利用統計

利用分野と人材育成

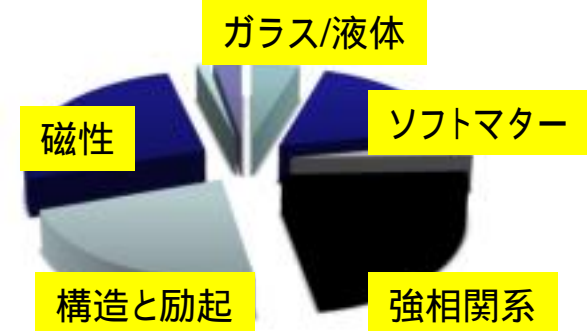
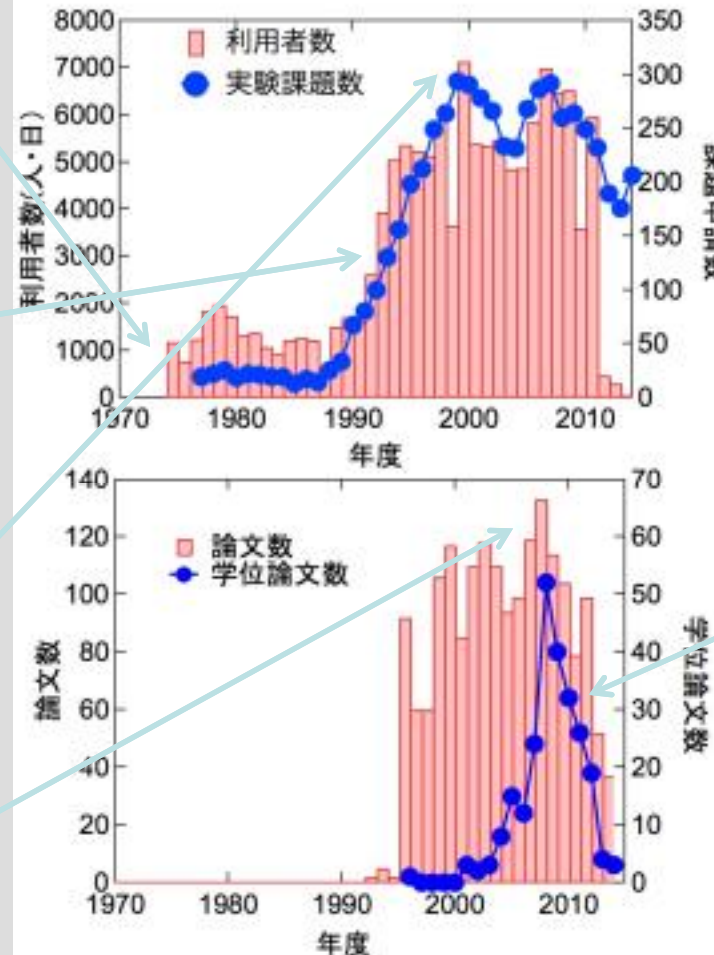
1960年の共同利用開始以来
日本の中性子散乱研究を
牽引

1990年の中性子散乱研究施設
改組、東海移転以後、爆発的に
共同利用拡大

概算要求・補正予算・
原子カイニシアティブなどの
予算投入による数回の高度化

2000年以降は、
利用者: 6000人・日、
課題数: 300課題/年
発表論文: ~100報/年
で推移

(2011.3の震災以降、原子炉
停止のため利用激減。
再稼働に備え準備中)



3/4 がハードマター
1/4 がソフトマターほか

累計(1996 - 2017.11.7現在)
学術論文: 1968,
博士・修士論文 268

人材育成に大きく貢献
してきた!

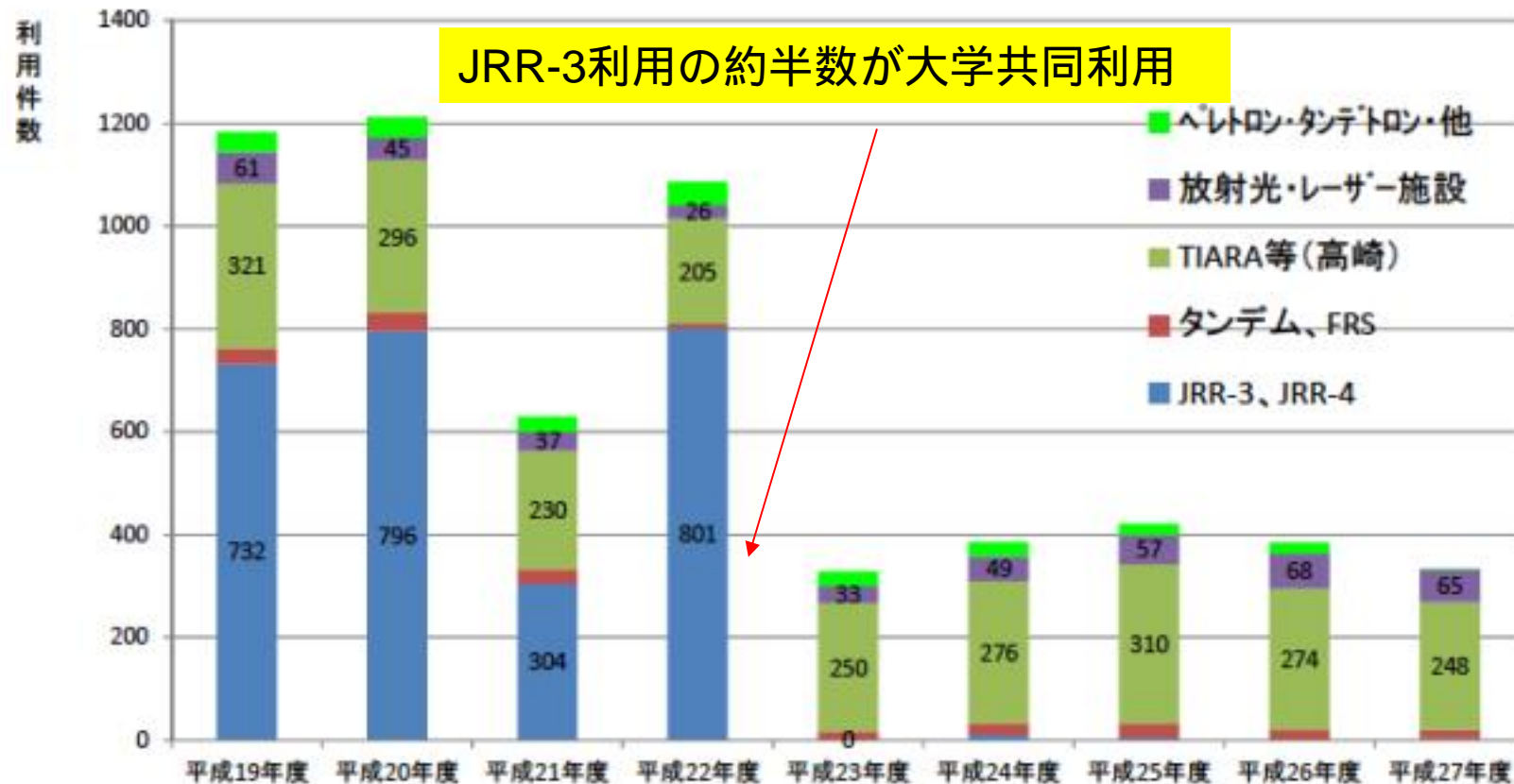
<http://quasi.issp.u-tokyo.ac.jp/db/index.php>

現在、これらがすべて活動を停止!

JAEAの施設利用推移

資料7
 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
 原子力科学技術委員会
 原子力研究開発基盤作業部会（第2回）
 H29. 5. 29

平成27年度までの施設利用状況 —施設別利用件数の推移—



海外実験支援派遣プログラム

海外実験支援プログラム

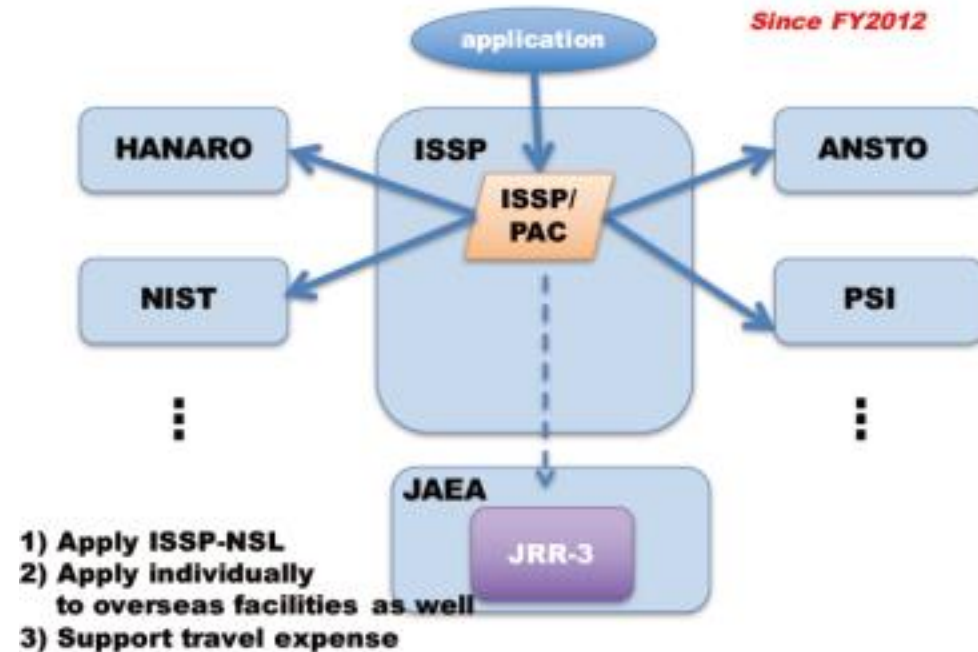
http://neutrons.issp.u-tokyo.ac.jp/modules/pico/index.php?content_id=112

発表論文リスト

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/neutron/oversea/OverseasPubList.htm>

JRR-3の利用ができない期間、
海外施設を利用した研究を支援する
プログラム

1. 東大物性研共同利用に応募し、
採択された課題
2. ユーザー自身が海外施設に課題を
応募し、採択された課題が対象
3. 旅費・滞在費を支援(上限35万円)
4. 帰国後、出張報告書を提出
論文発表報告



問題点: 短期的には研究の継続性を担保し、人材の確保を維持するも、
長期的には、研究の衰退、人材の枯渇につながる。物性科学、先端物質科学
などにおいて世界から大きく遅れる。

物性研中性子海外実験支援プログラム 統計

http://neutrons.issp.u-tokyo.ac.jp/modules/pico/index.php?content_id=112

2017.10.31現在

海外施設			派遣者数						
			FY2011	FY2012	FY2013	FY2014	FY2015	FY2016	FY2017
ILL	ILL	France	3	9	0	4	3	1	0
OPAL	ANSTO	Australia	7	7	4	18	22	34	19
HANARO	KAERI	Korea	2	7	7	0	0	0	0
FRM-	MLZ (Munich)	Germany		4	1	0	8	1	4
ISIS	Rutherford Appleton Laboratory	UK		4	2	4	4	0	4
SINQ	PSI	Switzerland		1	4	5	6	1	3
NBSR	NIST	USA			3	13	5	2	9
BER II	HZB (Berlin)	Germany			2	0	7	3	2
HFIR	ORNL	USA	13		1	1	1	6	3
SNS	ORNL	USA			4	2	1	5	6
LLB	CEA-CNRS	France			1	1	1	1	2
Total			25	32	29	48	58	54	52

韓国HANAROは2014年より地震対策のため運転停止

赤字表記の施設は原子炉型中性子源

ユーザーの多くは原子炉型中性子源を必要としている

説明: (1) 震災の年、2011年は各施設・拠点(JAEA, KEK, ISSP, KUR)から海外施設へ派遣。
 (2) 2012年からは、物性研中性子が支援。
 (3) 2014年に物性研-ANSTO研究協定を締結。

採択課題・未実施課題および海外実験支援課題数の推移

	課題採択 一般課題	課題採択 緊急課題	課題総計	派遣者数	海外実験実 施した課題	未実施 課題数
2011	268	0	268	25	40	228
2012	265	0	265	32	21	244
2013	228	0	228	29	27	201
2014	189	8	197	48	28	169
2015	153	6	159	58	27	132
2016	122	16	138	54	26	112
2017	122	6	128	52	32	96
計	1347	36	1383	298	201	1182

* 2017.10.31現在

J-PARCが稼働しているものの、依然として課題申請が多い。

>> 原子炉型中性子の利用ニーズが多い。

海外実験支援プログラムにより全採択課題の約15%を救済しているが、本質的な解決には至っていない。

ビーム炉長期停止による重大問題

1. **(研究の沈滞化)** 中性子ビームを利用した基礎研究(固体物理、物性物理、高分子科学、生物物理など)をはじめ、物質科学、特に新物質開発などの研究に大きな打撃を与えている。
2. **(研究・ノウハウの海外流出)** 日本で発見された新物質の多くが海外施設にて研究され、海外施設の成果としてハイインパクトジャーナル等に発表されている。
物性研(量子相転移近傍でのエキゾチック超伝導など) -> NIST(米)
京大原子炉(タンパクの構造解析) -> ILL(仏)
3. **(研究者の中性子ばなれ)** X線その他の手法を利用した研究へと研究シフト
国内の中性子関連の研究室(京大、阪大、東北大など)がどんどん消滅していている
4. **(人材育成の遅延・低下)** 原子炉に設置した散乱装置は、回折、散乱、反射などの原理を学び、それを生かしたり、改良することが容易であるため、学生の教育や技術者の養成に適しているが、それができないと実験物性物理学や材料科学の発展に大きな支障をきたし、ひいては日本の学術レベル、技術力の低下につながる。
5. **(装置の老朽化)** 運転停止の長期化により、装置が老朽化し陳腐化。再稼働後の運転時に多くのトラブルが発生する危険性が高まる。
6. **(装置、共同利用ノウハウの途絶)** 装置を運転、管理できる人材が欠乏。

次世代原子炉のあり方

7. まとめ

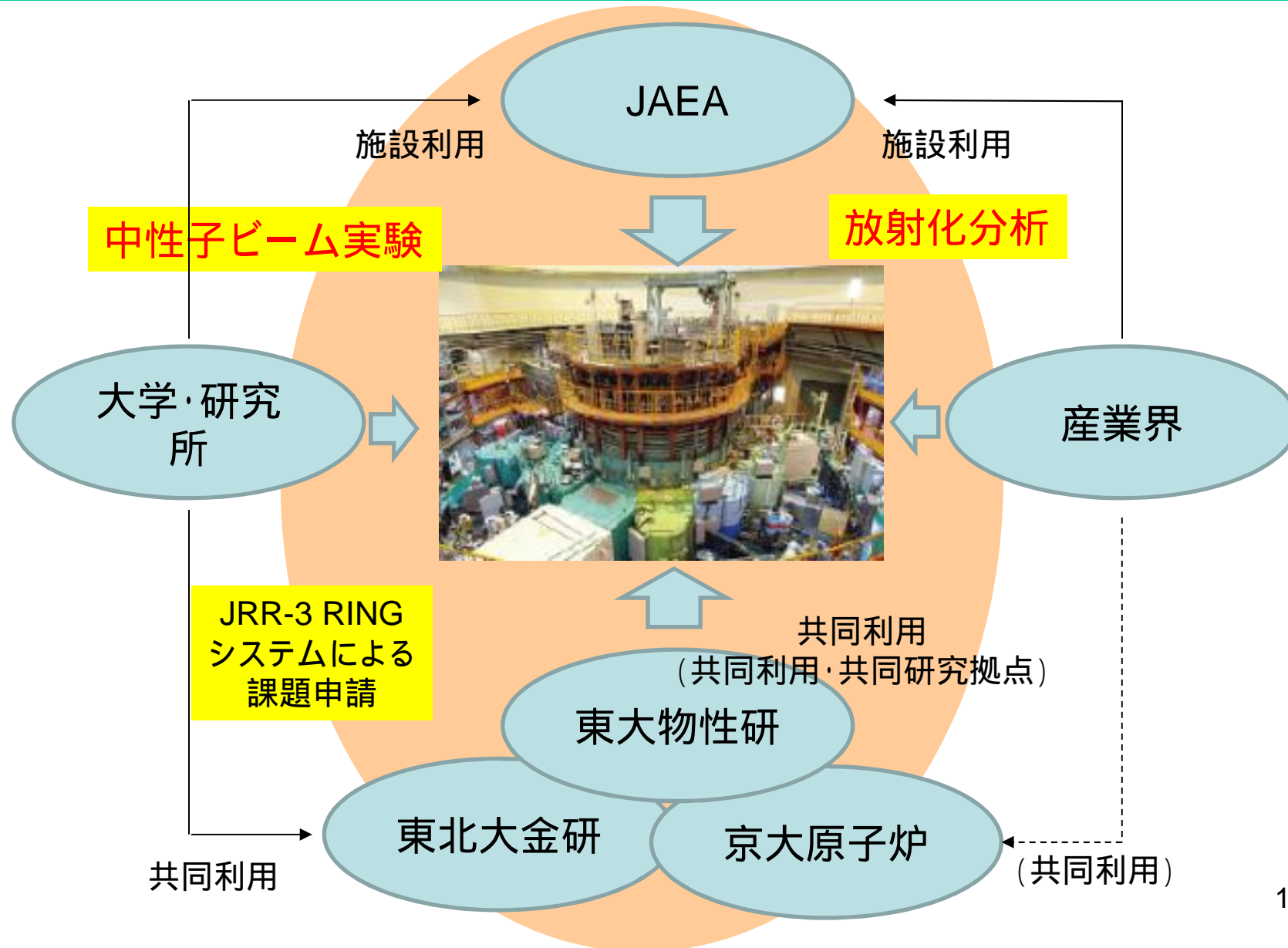
持続可能な社会構築のために中性子科学は有益であり、研究炉とパルス中性子源を相補的かつ戦略的に用いることで、科学・技術の発展に大きく貢献する。中性子科学を将来的に発展させるためには、臨界後 20 年を経過した JRR-3 の高経年化対策を継続的に実施し、J-PARC との共存を念頭に実験装置の更新や冷中性子源を高度化することが望まれる。また、パルス中性子源である J-PARC や小型・中規模中性子源と有機的に連携し、相補的な利用を行うべきである。そのためには、JRR-3 の運転停止が予想される 2030 年頃までに次世代中性子源の建設が必要である。大強度の中性子ビームと利便性の高いスペクトル、そして高性能の装置群による総合的で自由度の大きな研究環境を実現し、医療用 RI 生産やシリコンドーピング、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)によるがん治療などといった他分野にも利用可能な研究炉の建設を目指すべきである。

中性子科学会 次世代原子炉検討特別委員会報告書(2012-12-10)より

JRR-3の経年化対策および次期研究炉の必要性

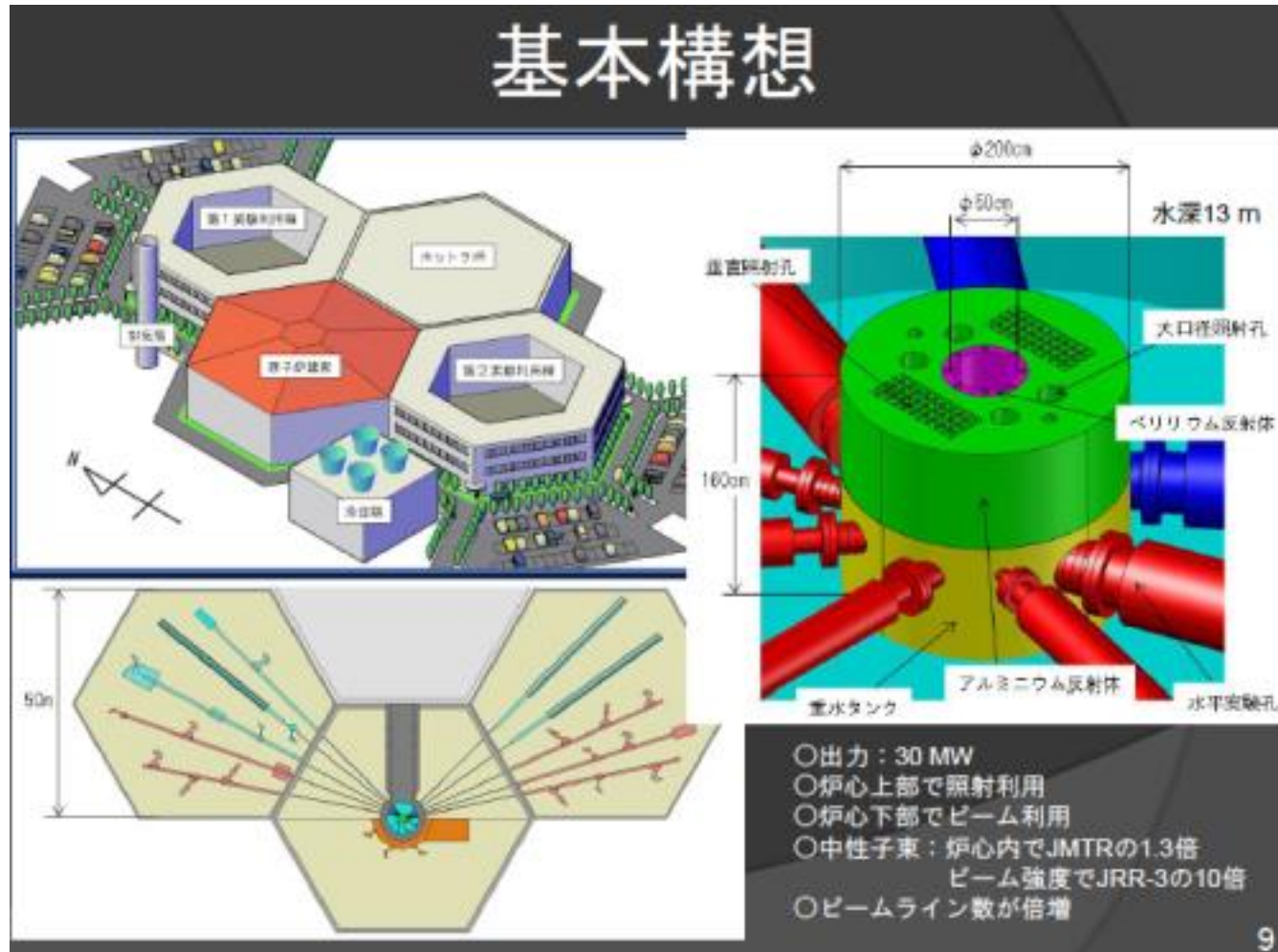
1. 日本発の優れた研究を維持するために不可欠
原子力工学はもとより、
物性物理学の発展、新材料の開発、
エネルギー材料、電子材料、
アイソトープ製造、
医学・薬学・農学などへの波及効果、
2. 研究炉の運転や研究炉建設はJAEAの再活性化につながる
研究炉建設に触発される原子力工学等の技術革新、
原子力工学・技術をもつ人材の育成

再稼働後のJRR-3の利用



新研究炉(JRR-5)構想

JAEA研究炉部WG, 2015



- ・照射とビーム利用の両方のニーズを満たす複合炉
- ・設置条件として、周辺に大学、国研など、運転や研究、共同利用を支える組織があることが望ましい。

東京大学物性研究所 附属中性子科学研究施設沿革

	東京大学物性研究所	日本原子力研究開発機構
1956		日本原子力研究所発足
1957	物性研、共同利用研として発足	JRR-1臨界
1960	中性子散乱共同利用開始	JRR-2臨界
1962		JRR-3臨界(国産第1号)
1969	中性子回折部門増設	
1980	中性子回折物性部門へ再編、日米科学技術協力	
1990	第1回中性子解析装置共同利用運営委員会	改3号炉JRR-3M臨界、運転開始
1993	中性子散乱研究施設の新設	
1994	研究員宿泊施設竣工	
2003	中性子科学研究施設へ改組	
2005		日本原子力研究機構(JAEA)
2010	共同利用・共同研究拠点(物性科学研究拠点)	
2010	高強度汎用チョッパ分光器(HRC、J-PARC)	



JRR-3 (1990 -)



ガイドホール(1992 -)

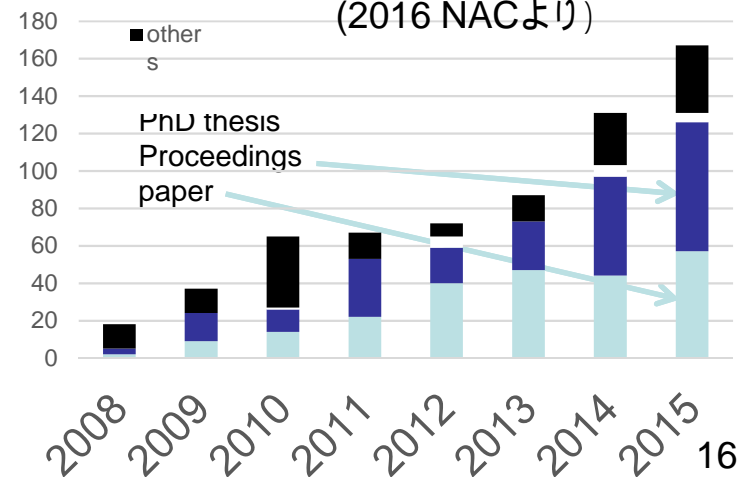


研究員宿泊施(1994-)



2017.7.25現在

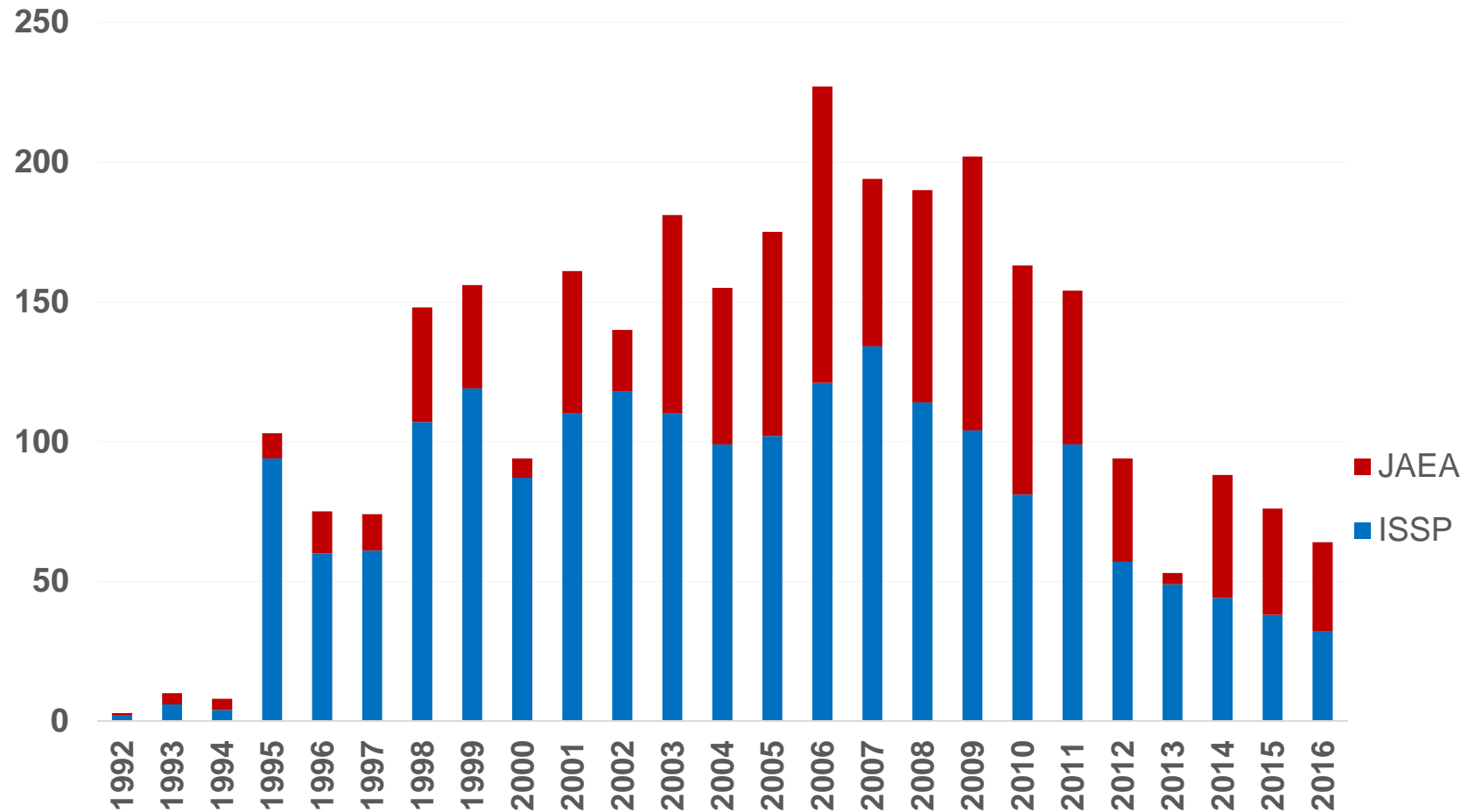
比較: J-PARC/MLF
(2016 NACより)



論文数はJRR-3停止後、激減。
最近では、海外施設利用成果が少数あるのみ。
(しかし、J-PARC/MLFと比較すると、よく健闘しているとおもわれる)。
他の統計と異なる理由は、調査後にユーザーが追加登録しているため

資料3 JRR-3からの発表論文推移

http://jrr3uo.jaea.go.jp/results/results_02.htm



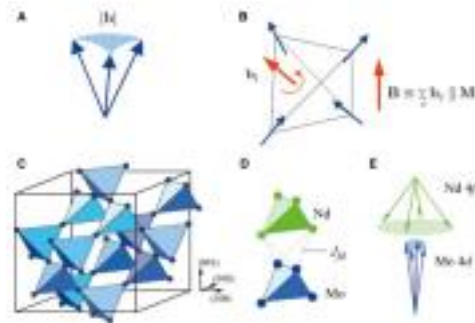
説明: JRR-3中性子ビーム利用成果の検索システムを使った発表論文検索結果

参考: 物性研中性子検索システム

<http://quasi.issp.u-tokyo.ac.jp/db/search.php>

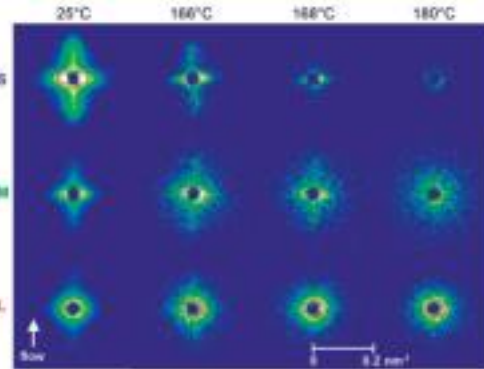
資料4

研究成果ハイライト1

 フラストレート系強磁性体の
 スピンキラリティ


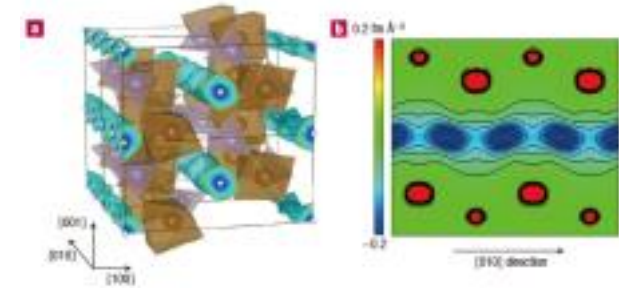
Science, 2001

ポリプロピレンのシシケバブ構造

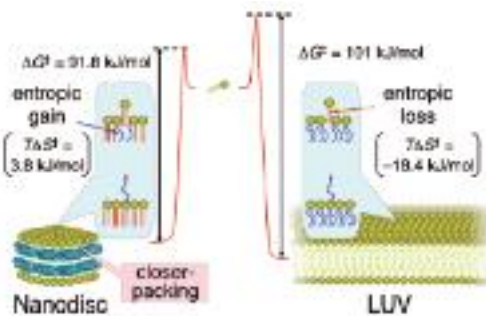


Science, 2007

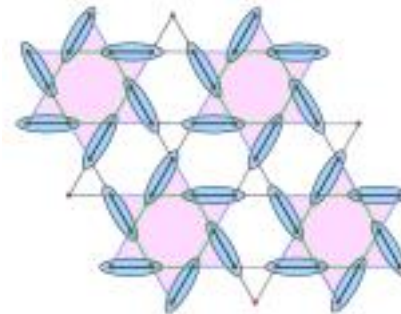
リチウム電池: リチウム拡散



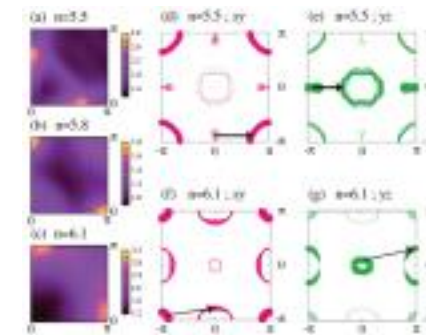
Nature Materials, 2008

 リン酸脂質2重膜ディスクの
 静的・動的性質


JACS, 2009

 籠目格子反強磁性体の
 非磁性基底状態を解明


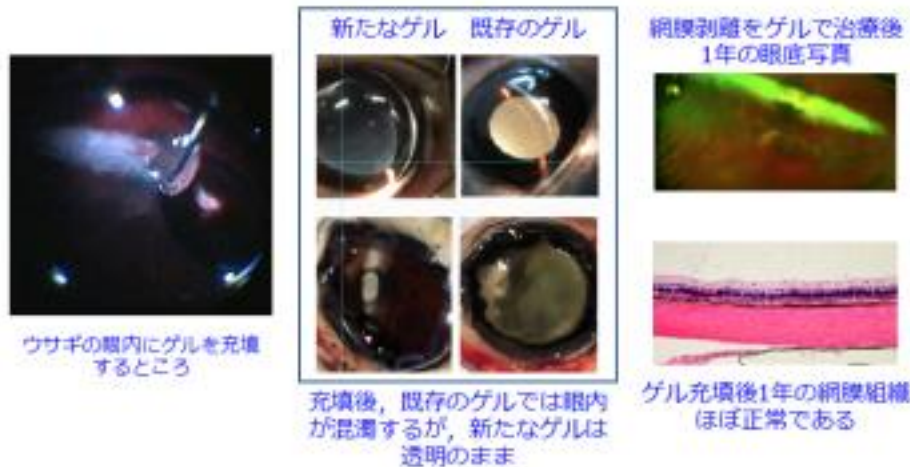
Nature Physics, 2010

 過剰ホールドープ系
 超伝導体のスピンゆらぎ


PRL, 2011

世界初の長期埋植型の人工硝子体の開発

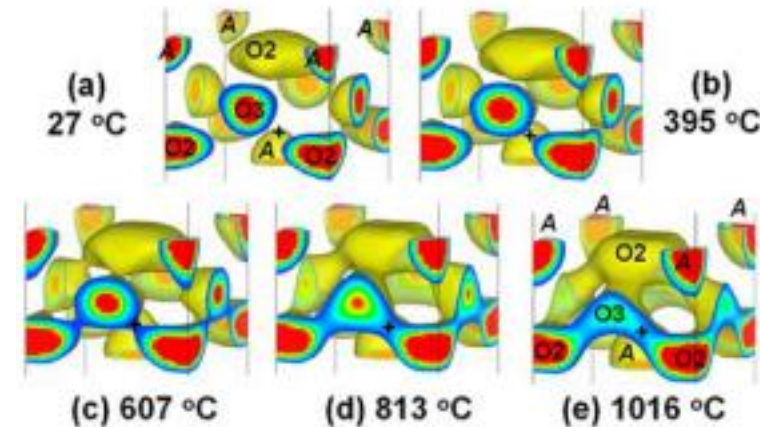
分子量分布が極めて広くかつ多分岐の高分子クラスターを用いて、従来高分子ゲルを作成できない低濃度領域 (< 1 wt%) において初めて高分子ゲルの作製に成功



Nature Biomedical Engineering, 2017

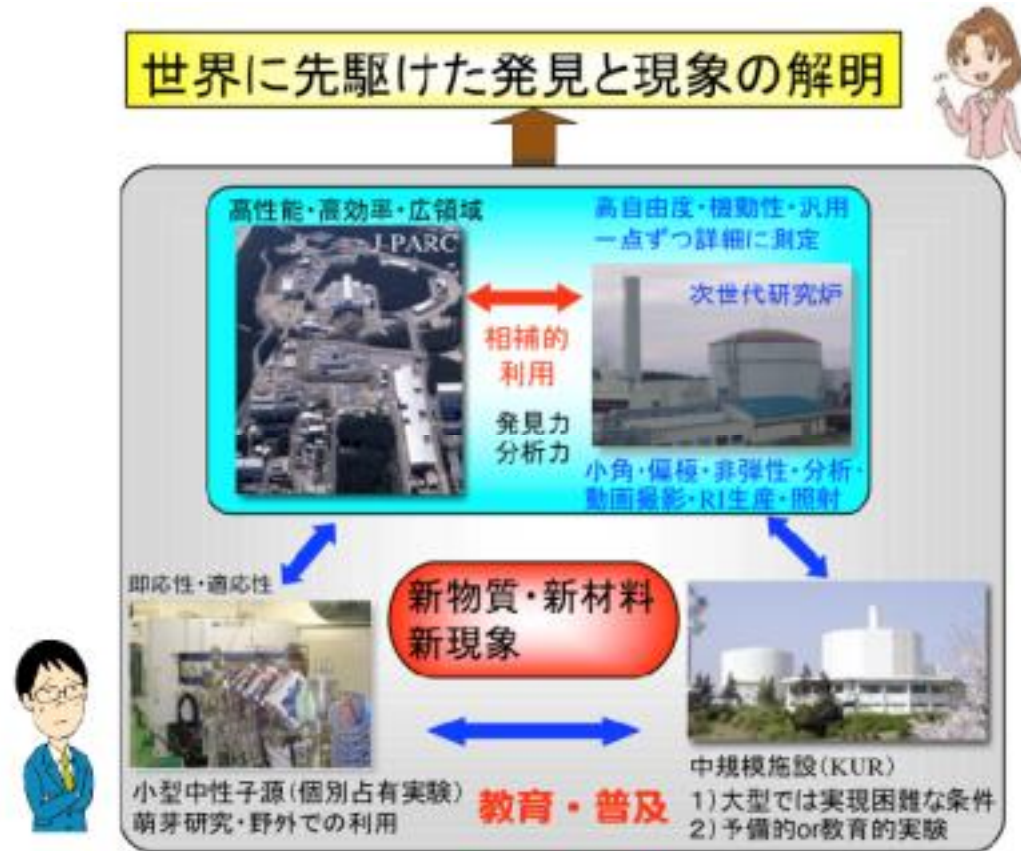
燃料電池や酸素透過膜におけるイオンの動きの可視化に成功

X線では難しい軽元素の固体中の位置や運動を詳しく調べる事ができる中性子を使って、燃料電池中のリチウム元素の位置や動きを調べることに成功



Journal of American Chemical Society, 2010

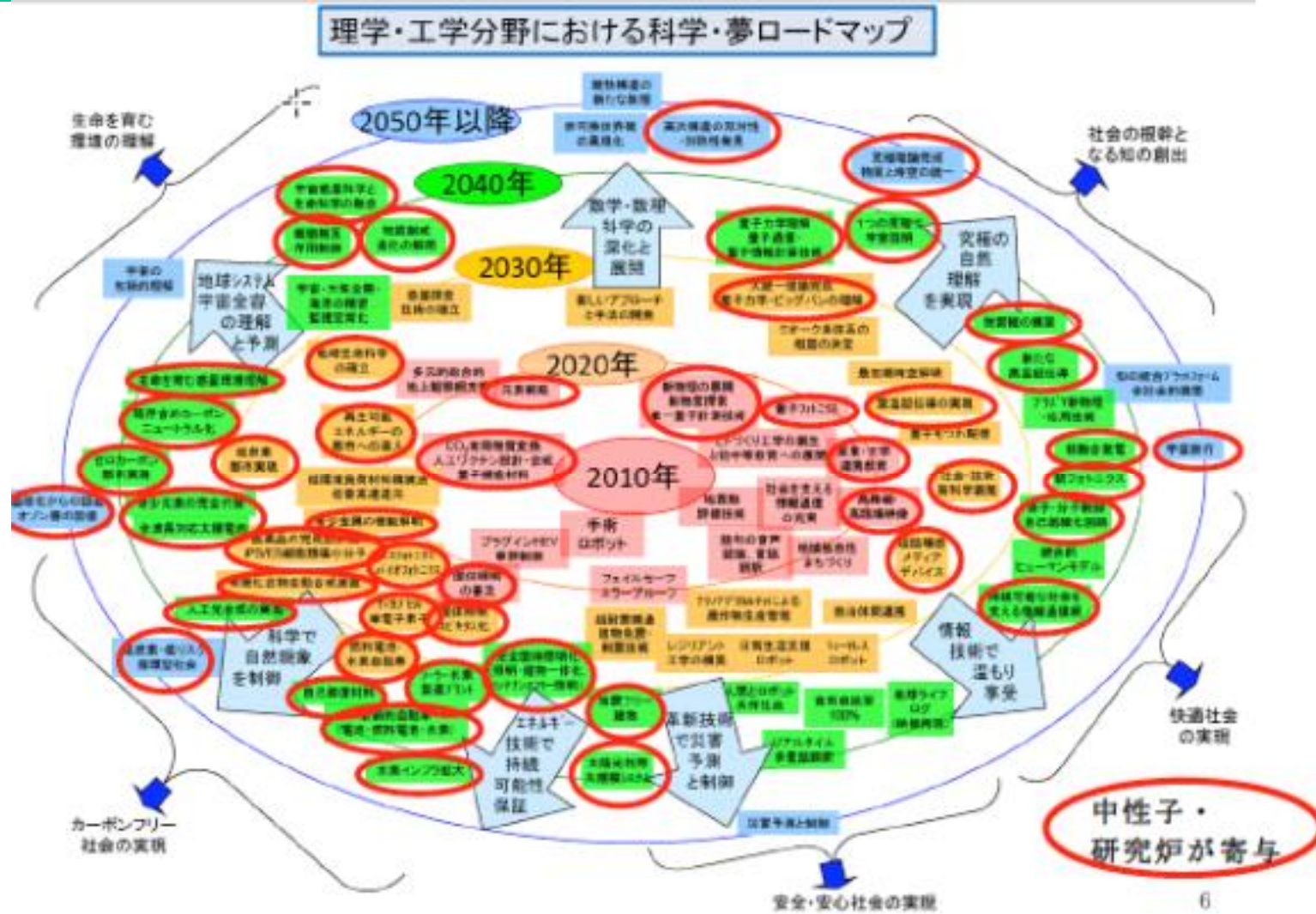
資料6 将来の中性子利用体制



研究炉とJ-PARCの
相補利用による
国際的先端科学の推進

大・中・小型中性子源の
特徴を生かした
研究、教育の推進、
社会貢献

中性子科学会 次世代原子炉検討特別委員会報告書(2012-12-10)より



中性子科学会 次世代原子炉検討特別委員会報告書(2012-12-10)より

http://www.jsns.net/jp/html/committee/Next_Reactor_Final_Report_2012Dec.pdf