

京大炉におけるビーム利用のための 次期中性子源の検討IVワークショップ

平成28年12月27日（火），京都大学原子炉実験所

パルス及び定常中性子源による物性研究を例とした
中性子科学ロードマップの重要性

東北大学金属材料研究所

量子ビーム金属物理学研究部門

中性子物質科学研究センター

TOHOKU
UNIVERSITY

藤田 全基

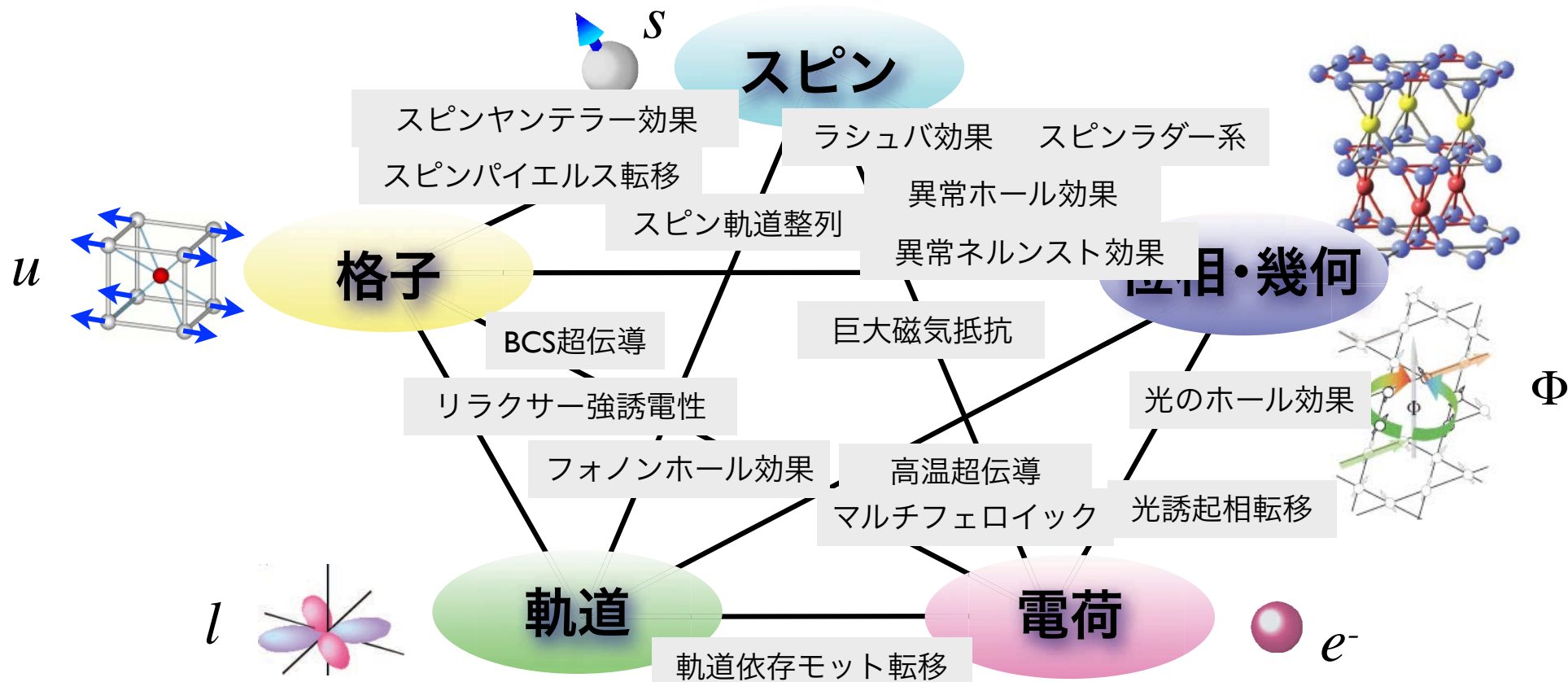
Research

物性科学 — 多彩な相互作用が織りなす世界 —



電子の内部自由度とトポロジーの協奏

➡ 様々な物性・機能性が発現する

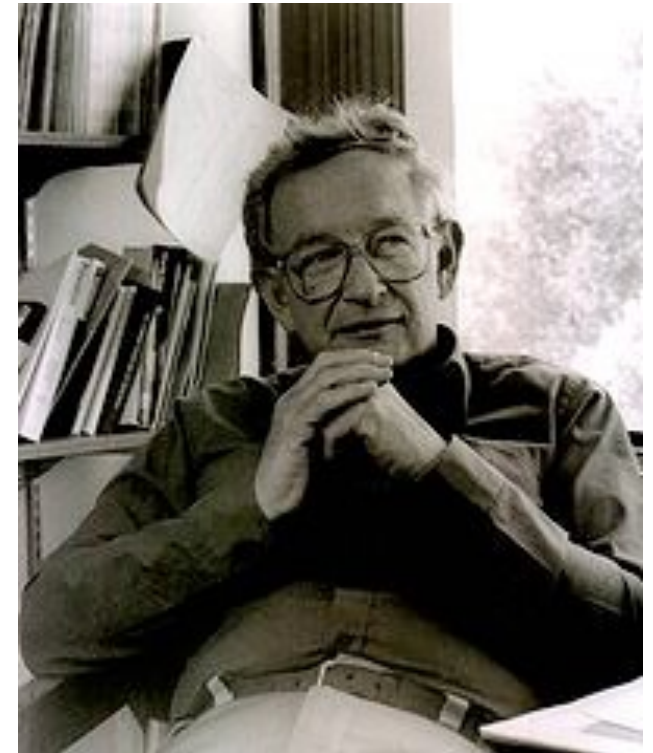


small science

More Is Different

Broken symmetry and the nature of
the hierarchical structure of science.

P. W. Anderson

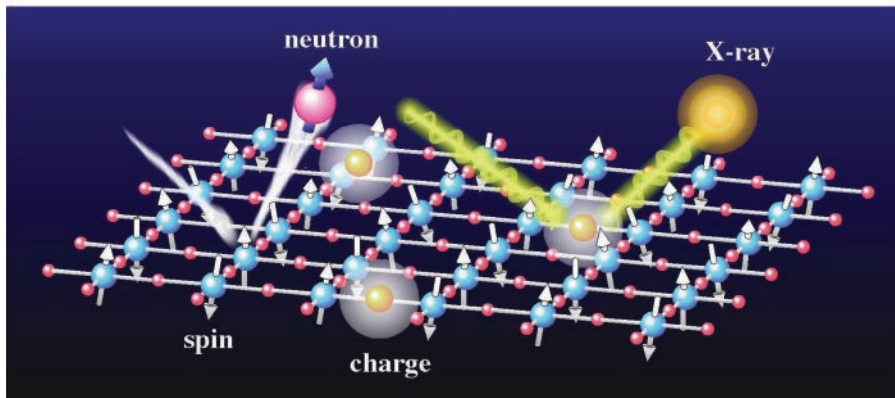
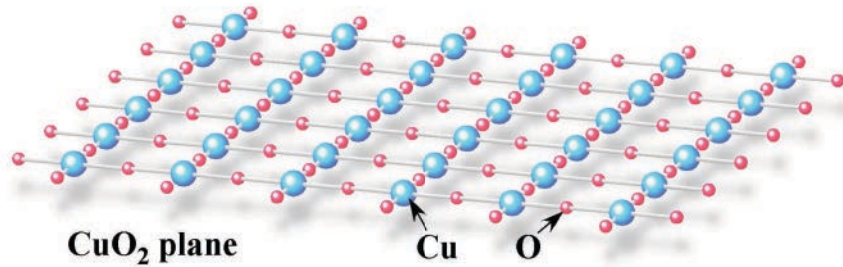


Science 177, 4 August 1972

多は異なり … 電子の持つ多面性が顔を出す

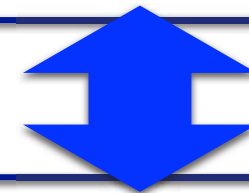
多様性の科学

銅酸化物高温超伝導体 → スピンと電荷の結合系



**small science
@large facility**

スピン … 中性子散乱



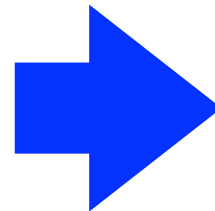
相補利用

電荷 … X線散乱

静的構造

枠組みの設定

定常中性子源



ダイナミクス

発現機構の理解

パルス中性子源

静的構造, 低エネルギーダイナミクス 定常中性子源での研究



VOLUME 88, NUMBER 16

PHYSICAL REVIEW LETTERS

22 APRIL 2002

Competition between Charge- and Spin-Density-Wave Order and Superconductivity in $\text{La}_{1.875}\text{Ba}_{0.125-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$

6G@JRR-3

M. Fujita,¹ H. Goka,¹ K. Yamada,¹ and M. Matsuda²

4名のチーム

¹*Institute for Chemical Research, Kyoto University, Gokasho, Uji 610-0011, Japan*

²*Advanced Science Research Center, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai, Ibaraki 319-1195, Japan*

(Received 18 July 2001; published 9 April 2002)

PHYSICAL REVIEW B **70**, 104517 (2004)

Stripe order, depinning, and fluctuations in $\text{La}_{1.875}\text{Ba}_{0.125}\text{CuO}_4$ and $\text{La}_{1.875}\text{Ba}_{0.075}\text{Sr}_{0.050}\text{CuO}_4$

6G@JRR-3

M. Fujita,* H. Goka, and K. Yamada

Institute for Materials Research, Tohoku University, Katahira, Sendai 980-8577, Japan

5名のチーム

IN22@LLB

J. M. Tranquada

Physics Department, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973, USA

L. P. Regnault

CEA/Grenoble, Département de Recherche Fondamentale sur la Matière Condensée, 38054 Grenoble cedex 9, France

(Received 16 March 2004; revised manuscript received 14 June 2004; published 24 September 2004)

自由度が高く小回りが効く、学生の貢献度も大きい

広エネルギー帯域ダイナミクス パルス中性子源・放射光X線源での研究



ARTICLE

Received 7 Nov 2013 | Accepted 24 Mar 2014 | Published 25 Apr 2014

DOI: 10.1038/ncomms4714

High-energy spin and charge excitations in electron-doped copper oxide superconductors

K. Ishii¹, M. Fujita², T. Sasaki², M. Minola³, G. Dellea³, C. Mazzoli³, K. Kummer⁴, G. Ghiringhelli³,
L. Braicovich³, T. Tohyama^{2,†}, K. Tsutsumi², K. Sato², R. Kajimoto⁶, K. Ikeuchi⁷, K. Yamada⁸,
M. Yoshida^{1,9}, M. Kurooka⁹ & J. Mizuki^{1,9}

K. Ishii, M. Fujita, Nature Commum. 2014

中性子散乱実験 … J-PARC, 7days

硬X線散乱実験 … SPring-8, 7days

軟X線散乱実験 … ESRF(France), 6days

17名のチーム

博士学生2名

修士学生1名

最先端研究が行える、大勢と共同研究ができる

物性科学 (small science) の醍醐味は、自分の手と頭を使って自分なりに問題の解決を目指すこと

→ 思わぬところからノーベル賞級の研究が現れる



大型施設において大学研究室は、

- ※ 一人一テーマの研究遂行が難しい (マシンタイムの制限)
- ※ 独自の技術開発を行いにくい (予算規模の拡大)

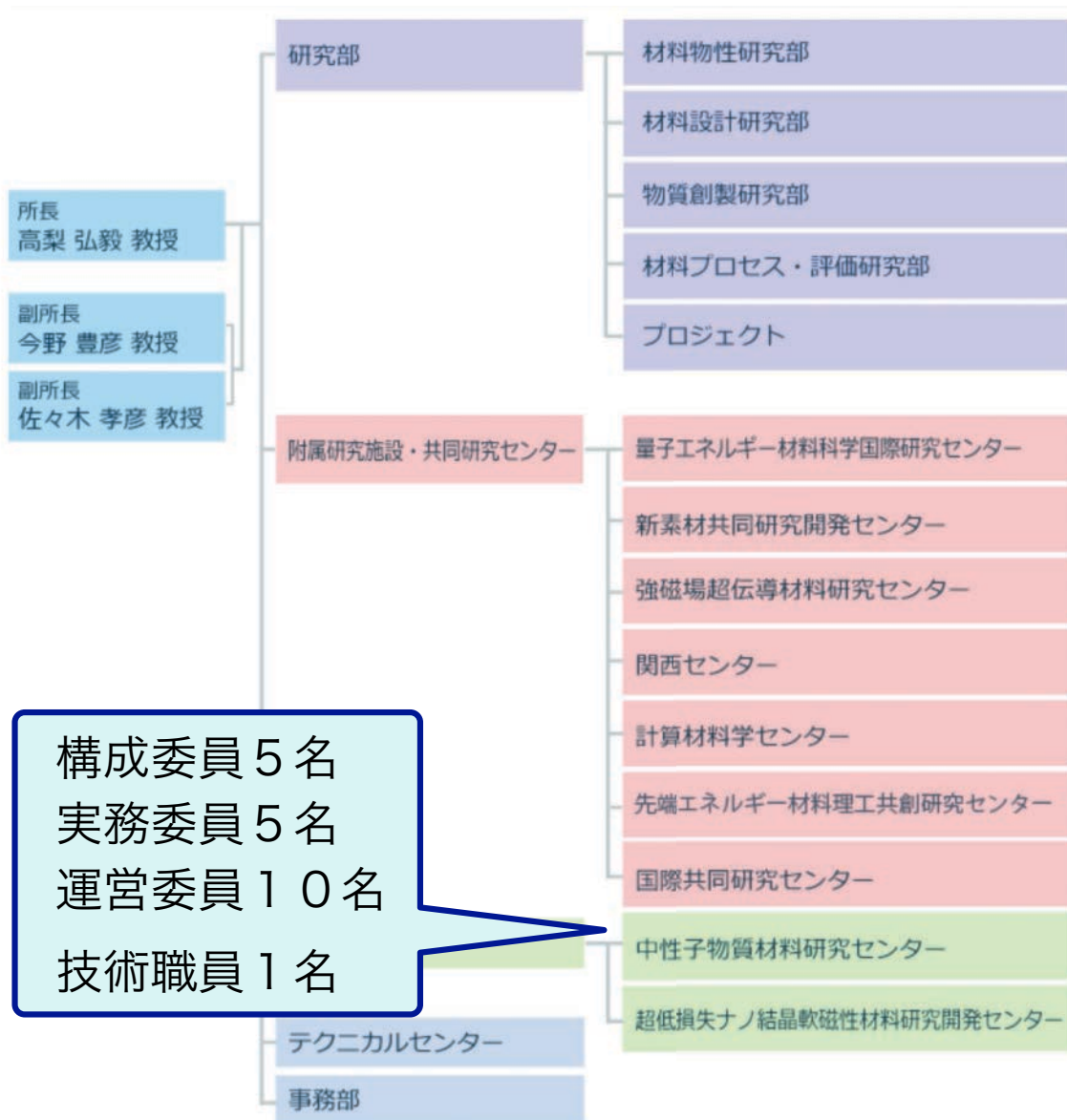
→ 大学研究グループのユーザー化 (単発利用)

中性子利用を取り巻く環境が多様化、複雑化するなかで、

如何に持続した利用を推進するのか

→ ビジョンが必要 (施設+利用者)

金研機構マップ



金研内にセンター設立

(平成22年4月1日)

「東北大学金属材料研究所 中性子物質材料研究センター設置内規」

(設置)

第1条 東北大学金属材料研究所（以下「研究所」という。）に、東北大学金属材料研究所中性子物質材料研究センター(以下「センター」という。)を置く。

(目的)

第2条 センターの目的は以下の3つである。

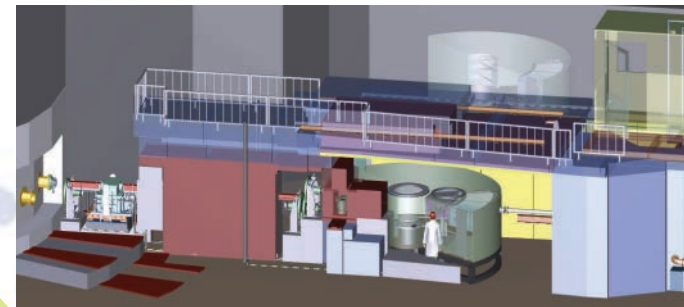
(1)物質材料研究における中性子利用の促進、新しいシーズ発掘と情報発信を行い、材料科学分野における中性子プラットフォームの形成を担う。

(2)国内外関係諸機関との連携を通して中性子研究の若手育成人材育成に努めると共に、国際連携活動を推進し、アジアにおける中性子分野の国際的研究協力体制の構築に貢献する。

(3)J-PARC、JRR-3等に金研が設置した分光器の運営と管理を行い、共同利用に供するとともに、非常時等において関係機関との窓口となる。

東北大装置の活用

-人材の確保と育成・トップサイエンスの発信-



金研管理の2台の
JRR3装置 (理学部1台)

洗練された
入門機

トライアルユース・教育

トライアルマシンタイム
所内優先利用枠
プロジェクトテーマ発掘
若手の学校

研究テーマの吸い上げ
新規分野の開拓



新技術の導入

架け橋

東北大/KEKが建設中の
J-PARC装置

最高性能を有する
専門機

専門的・高度な研究

オールジャパンでの建設
海外研究者の招聘
マシンタイムのバーター

シナジー効果
セレンディピティー効果

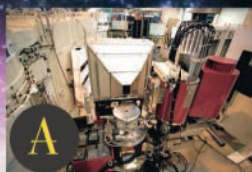
東北大装置の活用 -人材の確保と育成・トップサイエンスの発信-



原子とスピンの時空間構造をみる目 -中性子散乱-

物性の発現機構の解明において、原子やスピンの静的配列とその動的挙動の決定は、もともと基本的なことで重要なことです。原子核とスピンの構造と運動を広い時空間スケールで観測できる手法が、中性子散乱法です。東北大では、研究用原子炉JRR-3に3台の中性子散乱装置を設置し、高強度中性子ビームが得られるJ-PARCの物質・生命科学実験施設に最先端分光器を新設しています。これら装置群(PATH)にて、中性子散乱測定の実験機会を提供します。軽元素を含むエネルギー基盤材料の結晶構造から金属磁性体や強相関電子系物質における磁気励起まで、幅広い対象の研究にご活用下さい。

東北大 中性子散乱装置群 (PATH)



- POLANO (P)
チョッパー型偏極中性子散乱装置
- AKANE (A)
三軸型中性子分光器
- TOPAN (T)
三軸型偏極中性子分光器
- HERMES (H)
高効率中性子粉末回折装置

- ★ 構造解析 H, P, A, T
- ★ 分光解析 P, A, T
- ★ 偏極度解析 P, T



共同利用・共同研究拠点制度により、全国の研究者にご利用頂けます。
ご利用は、JRR-3の再稼働後、または、建設中の最先端分光器POLANOの完成後となります。

PATHでみる - 中性子散乱で切り拓くサイエンス -

- ★ 軽元素を含む機能性材料の結晶構造、および、局所構造
- ★ 量子磁性体、スピントロニクス材料の磁気構造
- ★ 不均質系のマルチスケールな空間構造とダイナミクス
- ★ 強相関電子系のマグノン、および、フォノンと複合励起



東北大

PATH Tohoku University Neutron Scattering Instruments 東北大学中性子散乱装置群

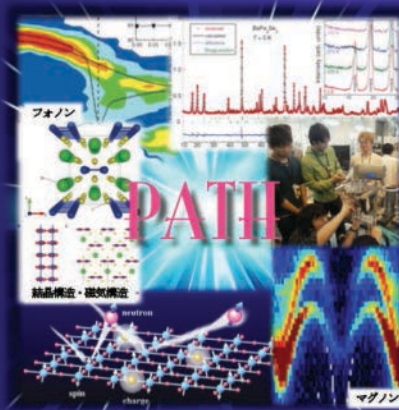
PATH to truth

PATHは異なる特徴を持った中性子散乱装置群の総称です。物質中の原子核とスピンの配列は、HERMESを用いて精密に決定できます。その運動の様子は、POLANO, AKANE, TOPANにより詳細に調べることができ、観測するエネルギー・運動量領域の違いに応じて装置を使い分けます。また、偏極中性子ビームが利用できるPOLANOとTOPANでは、原子核成分と磁気成分の分離が可能で、スピンの運動を詳細に知ることができます。PATHは東北大学金属材料研究所の中性子物質材料研究センターで一体運営しており、重層的な中性子利用プラットフォームにより、物性研究や物質材料研究の発展に貢献致します。

- ★ JRR-3に設置している装置の稼働申請窓口は、東京大学物性研究所になります。
- ★ POLANOの建設、および、運営は高エネルギー加速器研究機構と共同で行っています。



共同利用



利用案内

JRR-3に設置している中性子散乱装置は、共同利用・共同研究拠点制度に基づき運営しており、JRR-3の再稼働が予定されている平成29年度末以降に、全国の研究者にご利用頂けます。また、建設の最終段階を迎えている物質・生命科学実験施設のPOLANOは、今後、コミッシュンング期間を経た後、供用を開始いたします。ご利用に際しては、金属材料研究所の職員が支援いたします。興味をお持ちの方は、下記の連絡先にお問い合わせ下さい。

実績

東北大では、約40年に渡り中性子散乱に関する共同利用を推進してきました。毎年の利用者数は70グループ、途へ200人に及び、これまで多数の研究者にご利用頂いております。東北大装置による出版論文数は、共同利用全体の1/3を占めています。また、実践的な教育により、散乱実験、および、物性研究のスキルを身につけた人材を多く輩出しています。

共同利用による査読別論文数



2008年以降 (2011年11月以降、JRR-3は運転停止中)

★ 震災によるJRR-3の停止前の統計です。

所在地

研究用原子炉 JRR-3

物質・生命科学実験施設 MLF

東北大学金属材料研究所

ご利用とサポートに関するお問合せ

東北大学金属材料研究所
中性子物質材料研究センター
〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1
E-mail: nc-imr@imr.tohoku.ac.jp
Tel: 022-215-2035
代表: 藤田全基

東北大学 (仙台)
JRR-3/MLF (東海村)
センター東宮分室

量子ビーム金属物理学研究部門
Tel: 022-215-2039
スタッフ: 南部雄亮, 池田隆一, 鈴木謙介

東北大装置の活用 -人材の確保と育成・トップサイエンスの発信-



東北大学中性子散乱研究グループ関係

高エネルギー加速器研究機構大学等連携支援事業



中性子Practice Tour2014
@JRR3 ガイドホール



教育用装置の活用
HERMES-E



J-PARCツアー2016

座学の受講



計測科学の基礎を学ぶ

J-PARC/MLFの見学



量子ビームの理解を深める

構造解析の実践



研究に役立つ知識を得る



↓ 藤田着任（2014年）



東北大学マスタープラン「機能性材料中性子散乱システム」

国内共同利用拠点から J-PARC装置も用いた

金研装置@JRC



- 高度化(H23~)
- 偏極中性子実験
- ホログラフィー実験
- 大強度化

多様性の確保には
計画性が重要

高グレードアップ

構造決定装置
折装置

金研の卓越
結晶モノ

理念に即した新プランを作成中

引き起

の物理
月



装置の建設・運用

材育成と輩出

J-PARC装置（2017年完成予定）

ラウエ・回折装置など共用環境の整備

所内での結晶
系研究のバツ
クアップ

小型中性子源を金
研に設置

- イメージング検出器独自開発研究
- 水素系回折実験
- 学生実験

連携強化・拡大：KEK、JAEA、物性研中性子、東北地域連携、韓国原研、スイスPSI、

会長、藤井保彦、第1期特別委員会、委員長：福永俊晴

会長、遠藤康夫、第2期特別委員会、委員長：金谷利治
[包括的中性子利用のあり方について-最終報告書-\(2006-3\)](#)

会長、遠藤康夫、第3期特別委員会、委員長：金谷利治
[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\(2007-4\)](#)

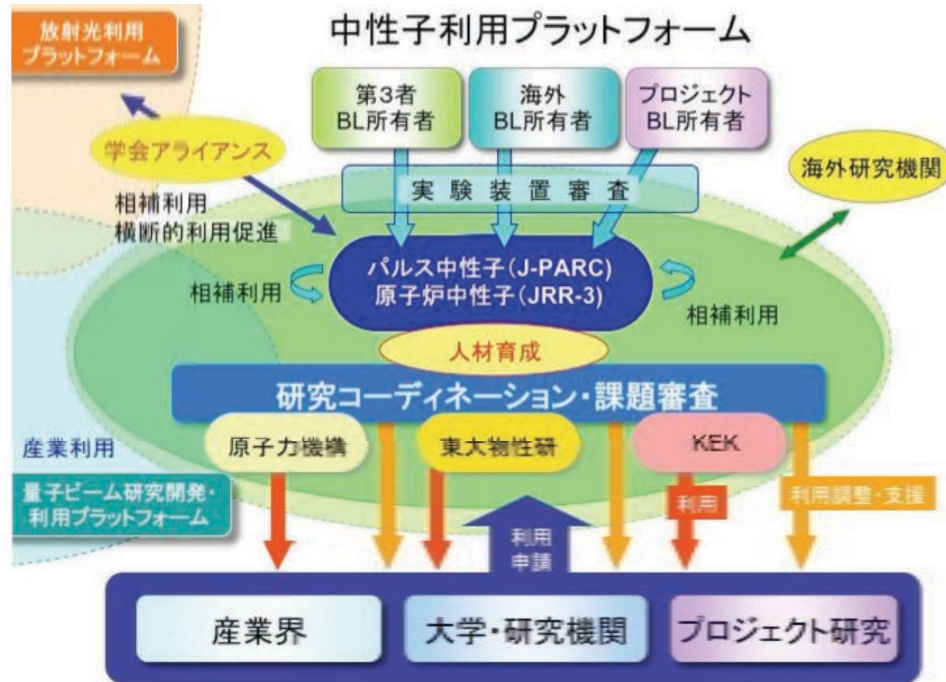
会長、山田和芳、第4期特別委員会、委員長：金谷利治
[J-PARC グランドデザイン策定に向けて最終報告書：
第4期大型施設共用問題特別委員\(2008-10\)](#)

会長、山田和芳、第5期特別委員会、委員長：金谷利治
[共用促進法に適合する装置選定にむけて\(最終報告書\)：
第5期大型施設共用問題特別委員会\(2010-9-13\)](#)

会長、金谷利治、第6期特別委員会、委員長：鬼柳善明
[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\(2011-8-11\)](#)

会長、金谷利治、第6期特別委員会、委員長：鬼柳善明
[次世代研究用原子炉検討特別委員会報告書\(2012-12-10\)](#)

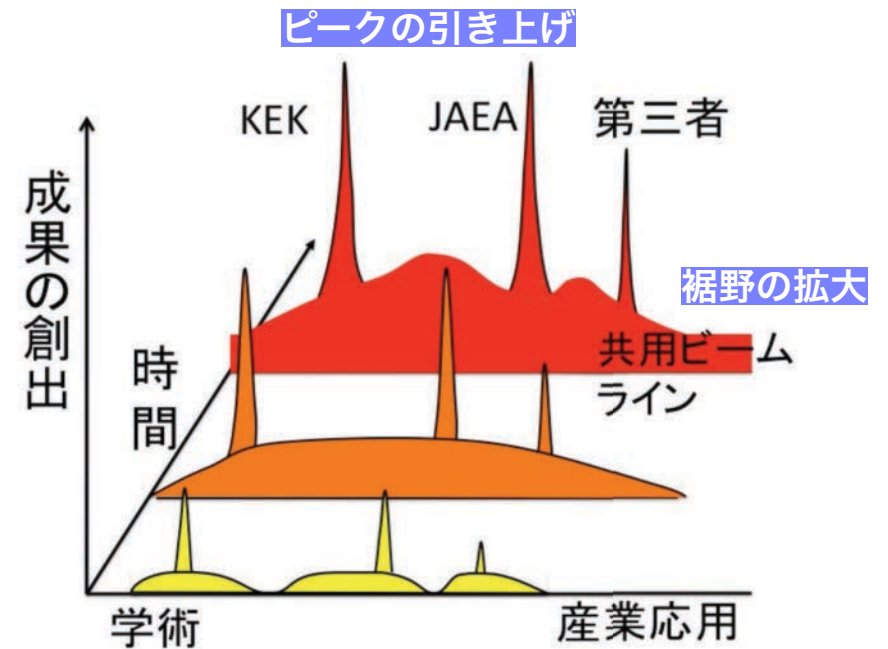
包括的中性子利用のあり方について
最終報告書



平成18年3月

中性子利用プラットフォームの提言

共用促進法に適合する装置選定に向けて
最終報告書



図表2-1。KEK ビームライン、JAEA ビームライン、第三者ビームライン、共用ビームラインのシナジー効果による成果創出のシナリオ

平成22年9月

広い学術分野と産業応用分野の裾野を
広げる汎用的で高性能な装置の提言

次世代研究用原子炉検討特別委員会報告書

一次世代研究用原子炉の建設に向けて一

最後に、小型中性子源と中規模施設（強度は弱いですが共同利用等が運営される規模）の役割に言及する。小型中性子源は、その即応性、適応性の高さが特徴であり、強度は低いものの、萌芽的研究の推進、予備実験、大学や企業での日常的な利用による中性子の有用性の理解と普及、分野の拡大に役立つ。産業会からもその実現を強く要望されている[9]。将来的には、野外での活用も可能となり、新たな利用分野の拡大へつながることが期待される。KURに代表される中規模施設には、以下に示す2つの観点がある[21]。

- 1) 中規模施設では、遮蔽が容易で中性子発生源廻りの発熱が少ないことから、実験配置の自由度が高く配置変更が容易である。低中性子束による実験精度の低下は避けられないものの、大型施設では実施困難な条件による実験が可能となる。
- 2) 中型や小型の施設を大型施設と相補的なものとするため、新規研究分野の開拓や学生等の教育目的、そして予備実験に利用可能である。

中性子フロンティアの開拓と分野の拡大、人材育成の面で、小型・中規模施設の役割は大きく、思わぬイノベーション発掘もありうる。ただし、中性子強度や装置性能が一定のレベルに達して初めてブレークスルーが実現できる場合が少なくなく、その意味では大型施設の運営を一部弾力的に実施し、新規ユーザー獲得や分野の拡大、人材育成を積極的に進める努力を行うべきである。将来の中性子利用形態を図表6に示す。

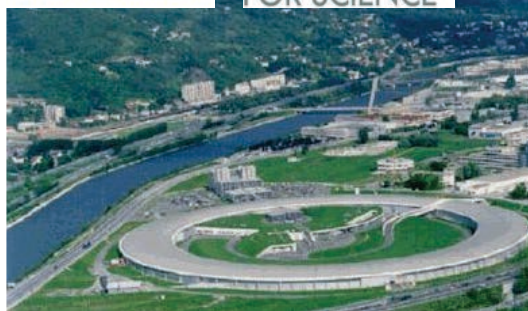
次世代研究用原子炉検討特別委員会報告書

一次世代研究用原子炉の建設に向けて



図表6 将来の中性子利用体制

複合量子ビーム施設



ユーザーの関わり方



量子ビームの特徴に合わせた教育



It takes a village (to raise a child) .
コミュニティ全体が（研究者の成長に）関わる

大学と施設でのシームレス人材育成

定常中性子源＋パルス中性子源

中高校生

すごい！（感動）

ex. 施設見学@J-PARC

学部生 ↓

楽しい！（実体験）

ex. サマチャレ@KEK

院生 ↓

研究者になりたい！（夢）

研究室（配属）

若手研究者 ↓

知識を得たい！（目標と努力）

コミュニティ, ex. 若手の学校

研究者（実現）

研究室・施設

肝要を見抜く
力の養成
@ 大学



研究者の育成
教育者の育成
俯瞰的視野を持つ者の育成

新分野創生

人材の輩出

組織の先導

【10年先の理想型を見据えた5年先の将来計画】

10年後：世界最先端の中性子科学（量子ビーム科学）の推進と継続的発展
5年後に向けた現状での問題点の整理と検討

1. コミュニティー

- ・サイエンス分科会と装置分科会の活動推進
- ・コミュニケーションの場の形成
- ・活動・成果アピール（戦略的広報活動）

2. 中性子コラボラトリー

- ・中性子源を基軸とする施設間連携
- ・大学・施設連携によるシームレスな人材教育
- ・産業界とのつながり
- ・人材交流の仕組み

3. サイエンス

- ・科学の潮流を追う＋中性子科学の追求
- ・次期大型プロジェクトの策定と提案
- ・マルチ量子ビーム研究の推進

4. ヘッドクォーターの設置

ロードマップを作成中



ご静聴，ありがとうございました

TOHOKU
UNIVERSITY

Research