

# 電子とスピンの織りなす新しい物性の開拓

## 鉄系超伝導の機構解明を目指して

- **鉄系超伝導とは:**近年我が国で発見された鉄の化合物による超伝導(鉄系超伝導)の機構解明は、高温超伝導の機構解明さらには夢の室温超伝導の実現への道筋を開くものと期待され、世界中で競争が激化している。
- **中性子で何がわかるか:**その超伝導機構は鉄原子の持つ**スピンの微小振動の様子**(磁気励起の運動量・エネルギー依存性)に反映されるが、それを詳しく調べることができるのは**中性子散乱のみ**である。
- **J-PARCにおける研究とその成果:**すでに国内外の研究グループが鉄系超伝導体における磁気励起の測定を行っている。その結果、 $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$  (図1、論文①) や  $\text{Ca-Fe-Pt-As}$  (図2、論文②) の磁気励起が初めて観測された。これらの実験結果は鉄系超伝導体の機構解明の議論に重要な指針を与えた。

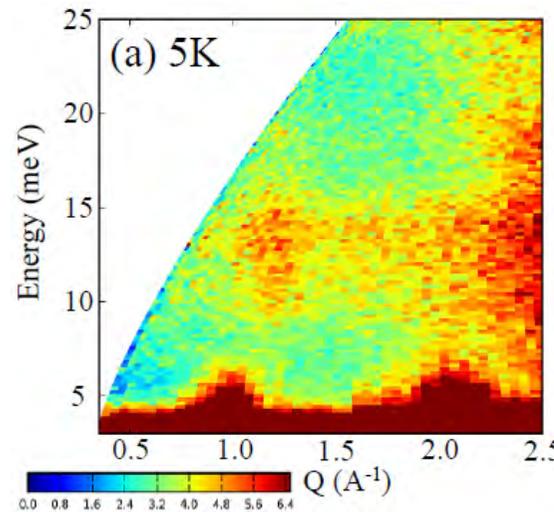


図1

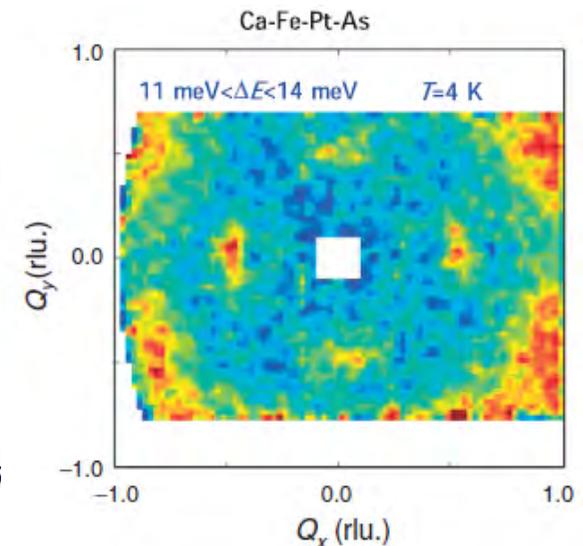


図2

使用ビームライン: BL01 四季

研究グループ: JAEA、産総研、電通大、名古屋大学、東京理科大学、豊田理研、CREST、JST-TRIP、J-PARC

発表論文: ①M. Ishikado 他, *Phys. Rev. B* **84**, 144517 (2011) ②M. Sato 他, *J. Phys. Soc. Jpn.* **80**, 093709 (2011)

# 電子とスピンの織りなす新しい物性の開拓

## マルチフェロイック物質の機構解明に向けて

- **マルチフェロイック物質とは:** 誘電性と磁性が構造を通じて結合し、磁氣的性質と電氣的性質が相互に結びついている物質であり、様々な電子デバイスへの応用が期待される。実用に向けて、機能発現の微視的機構解明が必要。
- **中性子で何がわかるか:** 鍵となる**原子構造**、構造の揺らぎである**原子の微小振動の様子**(格子振動の運動量・エネルギー依存性)を**磁性**と共に同時に詳しく調べることができるのは**中性子散乱のみ**である。
- **J-PARCにおける研究とその成果:** すでに国内外の研究グループがマルチフェロイック

物質の構造、格子振動と磁気励起の関係についての測定を行っている。その結果、 $\text{BiFeO}_3$ において、磁性原子の微細な磁気構造が明らかにされ(論文①)また磁氣的相互作用などを知るための磁気励起の様子の全容(図2、論文②)が初めて観測された。これらの実験結果はマルチフェロイック物質の機能発現の理解に重要な手がかりとなる。

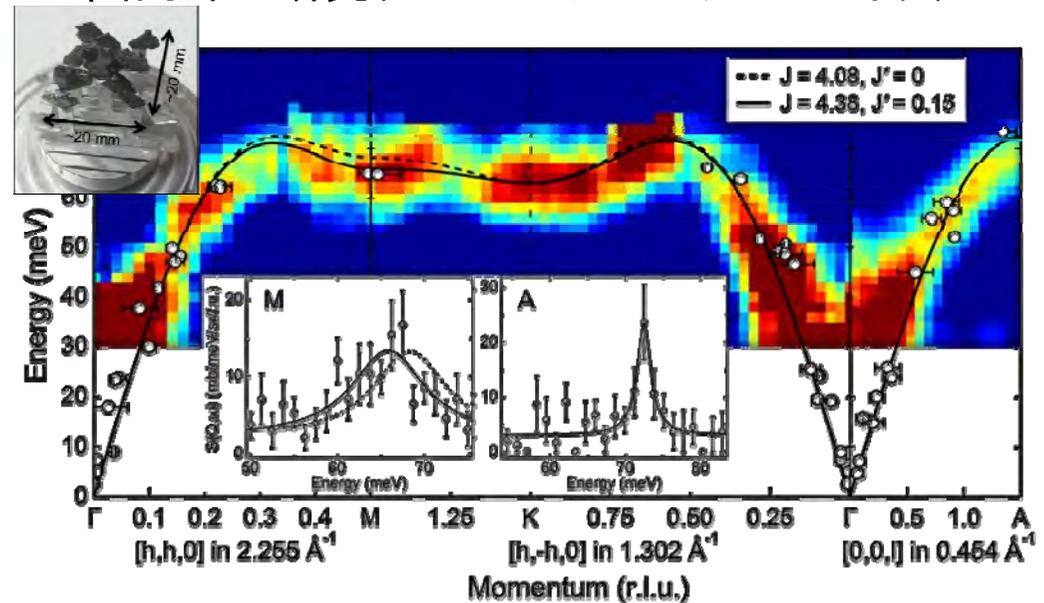


図1

使用ビームライン: BL08 S-HRPD、BL14 AMATERAS

研究グループ: ソウル国立大、東北大、JAEA、KEK、STFC、J-PARC

発表論文: ①R. Kiyonagi他, J. Phys. Soc. Jpn., in press ②J. Jeong他, accepted to Phys. Rev. Lett.

# 蓄電池の革新を目指して

## 世界最高の固体電解質の開発とその構造解明

- **研究の背景:** 電気自動車では高エネルギー密度で安全性が高い**固体電解質**を利用した全固体型リチウム電池が求められてきた。従来高イオン伝導率を持つ固体電解質が得られず、液体電解質では高いイオン伝導率が得られるものの発火の危険があった。開発された物質は室温で  $12 \text{ mS cm}^{-1}$  と液体電解質以上の**高い伝導率**を示す(図1)。
- **J-PARCにおける研究とその成果:** MLF/BL08 (SuperHRPD) を用いて回折データを取得、Z-Codeを用いた構造解析を実施した結果、 $(\text{Ge,P})\text{S}_4$ 、 $\text{LiS}_4$  と  $\text{LiS}_6$  は3次元的なフレームワークを形成していること、**c軸方向のリチウムイオンの伝導経路**があると推測されることがわかった(図2)。

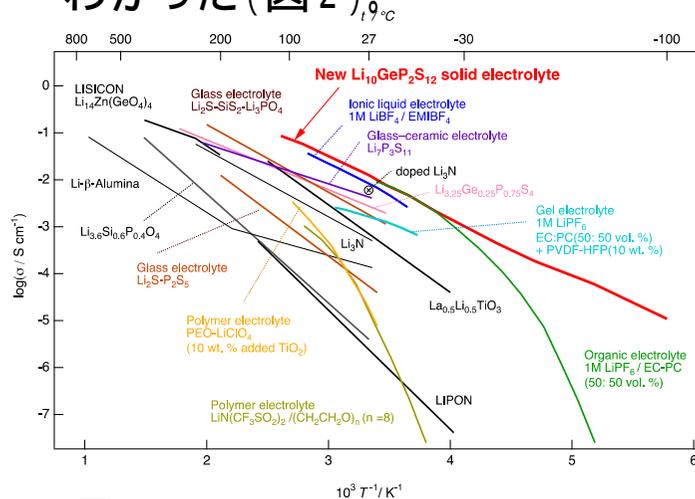


図1

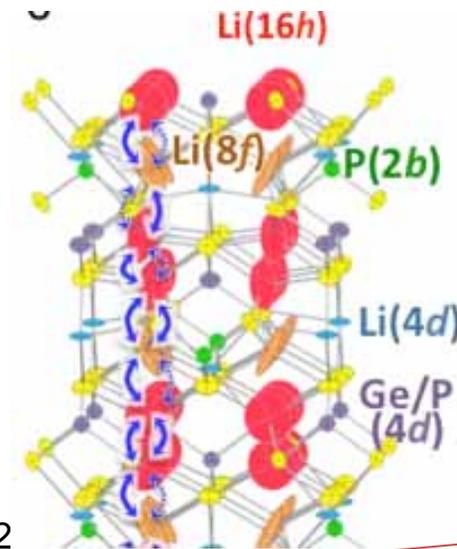


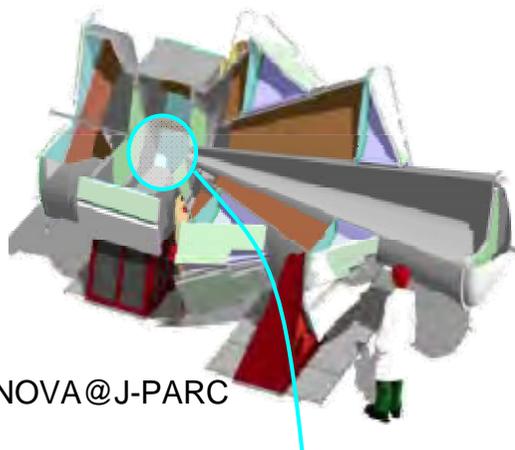
図2

使用ビームライン: BL08 S-HRPD  
 研究グループ: 釜谷則昭他 (東工大、トヨタ自動車、KEK)  
 発表論文: **Nature Materials** **10**, 682-686 (2011)

日経サイエンス2012/1号技術トレンド調査  
 話題性等、第5位

中性子利用  
エネルギー

HYDRO  
STAR

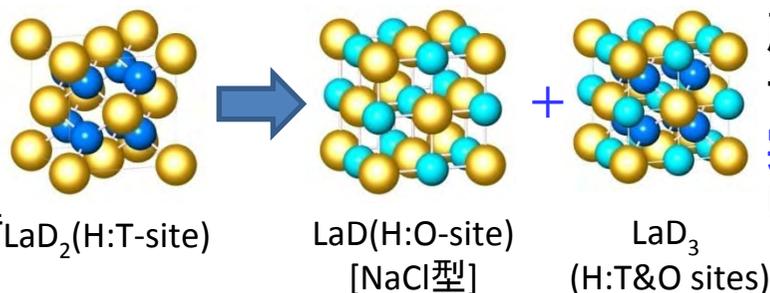
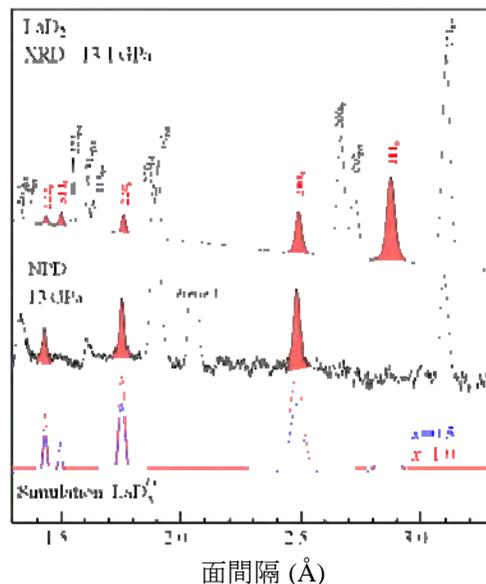


NOVA@J-PARC



パリ・エジンバラ型高压容器

# 放射光X線・中性子回折の協調的観測による 水素貯蔵物質中の水素安定占有サイト特定



- **研究の背景:** 高性能の水素貯蔵物質の開発には、水素吸蔵放出に関わる機構について電子構造的な側面からの研究が不可欠。そのためには占有サイトについての系統的な研究が必要。
- **J-PARCにおける研究とその成果:** 水素安定占有サイトを制御できる可能性のあるランタン水素化物を高圧下で合成。H/M=1、2、3の水素化物合成を検証し、その水素安定占有サイトを特定。水素吸蔵放出の理解にかかる水素占有サイトと電子構造との関係を理論、実験両面から研究する道筋を付ける。

使用ビームライン: BL21 NOVA

研究グループ: JAEA、J-PARC、京都大学、福岡大学、山形大学、新潟大学、九州大学、ケンブリッジ大、カーネギー研

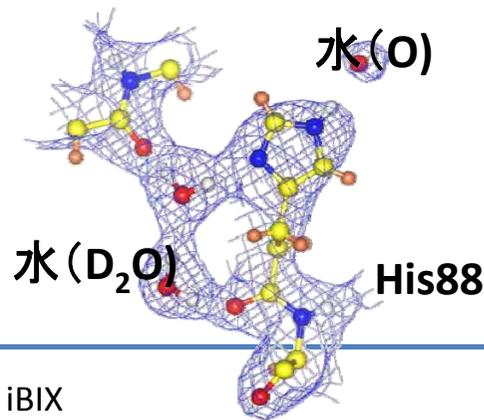
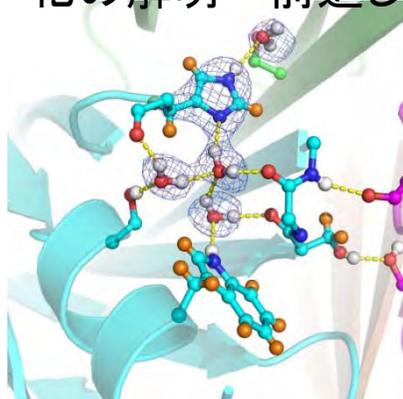
論文発表: accepted to **Phys. Rev. Lett.** 2012

NEDO「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」(H19~H23)

# アミロイド症 原因タンパク質繊維化の解明

## 水素結合ネットワークからpHに依存するアミロイド線維化の解明へ

- **研究の背景:** アミロイド症は繊維状のタンパク質が全身の臓器の細胞外に沈着する疾患である。トランスサイレチン(TTR)タンパク質は通常4量体構造を保っているが、pHの低下で単量体にかい離すると、部分的に**間違った折れ畳み方**をして、交差した $\beta$ シートアミロイド線維を形成する異常な集合体となる。
- **中性子で何がわかるか:** 中性子により4量体を安定化/不安定化するのに重要なプロトネーションの状態と水素原子の位置情報を明らかにし、アミロイド病に効く可能性のある薬剤の設計に貢献する。
- **J-PARCにおける研究とその成果:** 研究により**構造を解明**。水素結合ネットワークを安定化させる残基が明らかになり、異常は**pHによるそのネットワークの崩壊**。アミロイド線維化の解明へ前進した。



使用ビームライン: BL03 iBIX

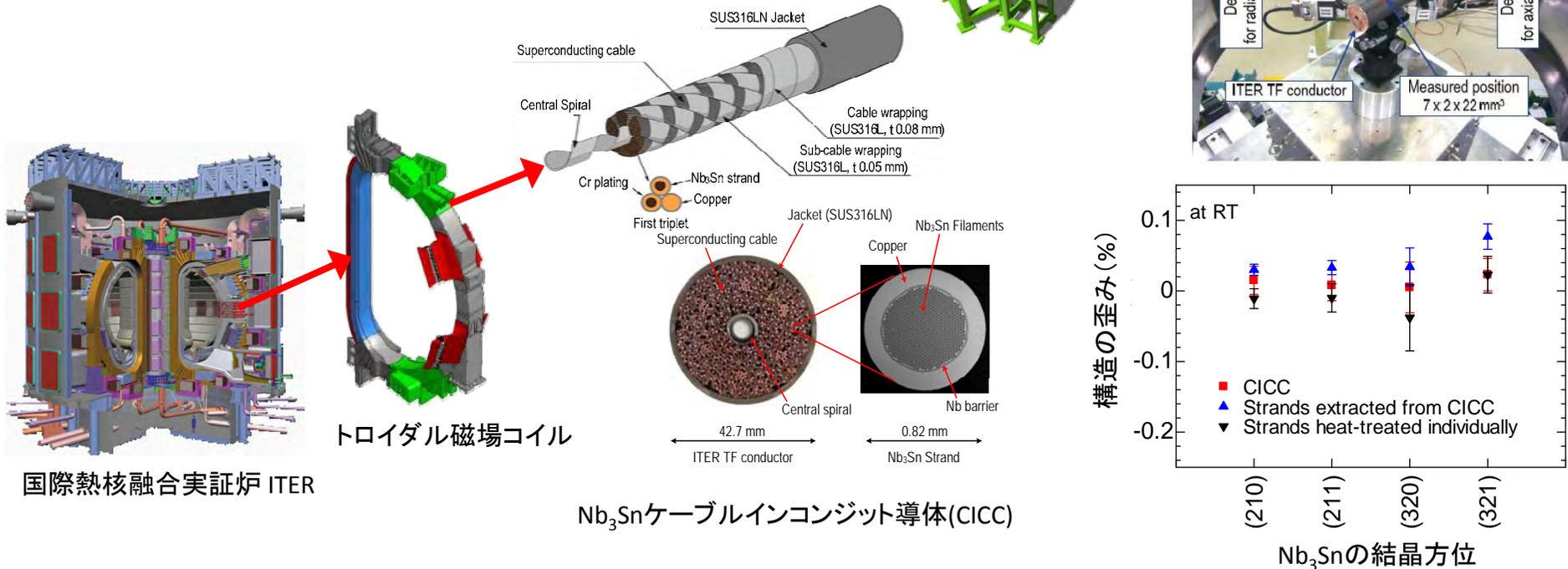
研究グループ: 茨城大、富山大

発表論文: T. Yokoyama *et. al.*, Journal of Structural Biology 177 (2012) 283–290

“Faculty of 1000”により、生物医学分野の総論文数の約2%の論文に選定“TOP2%”

# 中性子の高透過性を利用した実用超伝導ワイヤ (ITERトロイダル磁場コイルの $Nb_3Sn$ )の内部応力評価

- **研究・開発の背景:** 超伝導体の特性は、内部応力で低下する。高性能の実用材料開発のためには、実際に用いられる超伝導ワイヤの内部応力を評価する必要がある。
- **J-PARCにおける研究とその成果:**  $Nb_3Sn$ を用いたITERのトロイダル磁場コイル( $Nb_3Sn$ ケーブルインコンジット導体)の実物について匠にて内部応力を測定。その評価に成功した。  
(国際的(特に米国)に非常に注目されている。)



使用ビームライン: BL19 匠

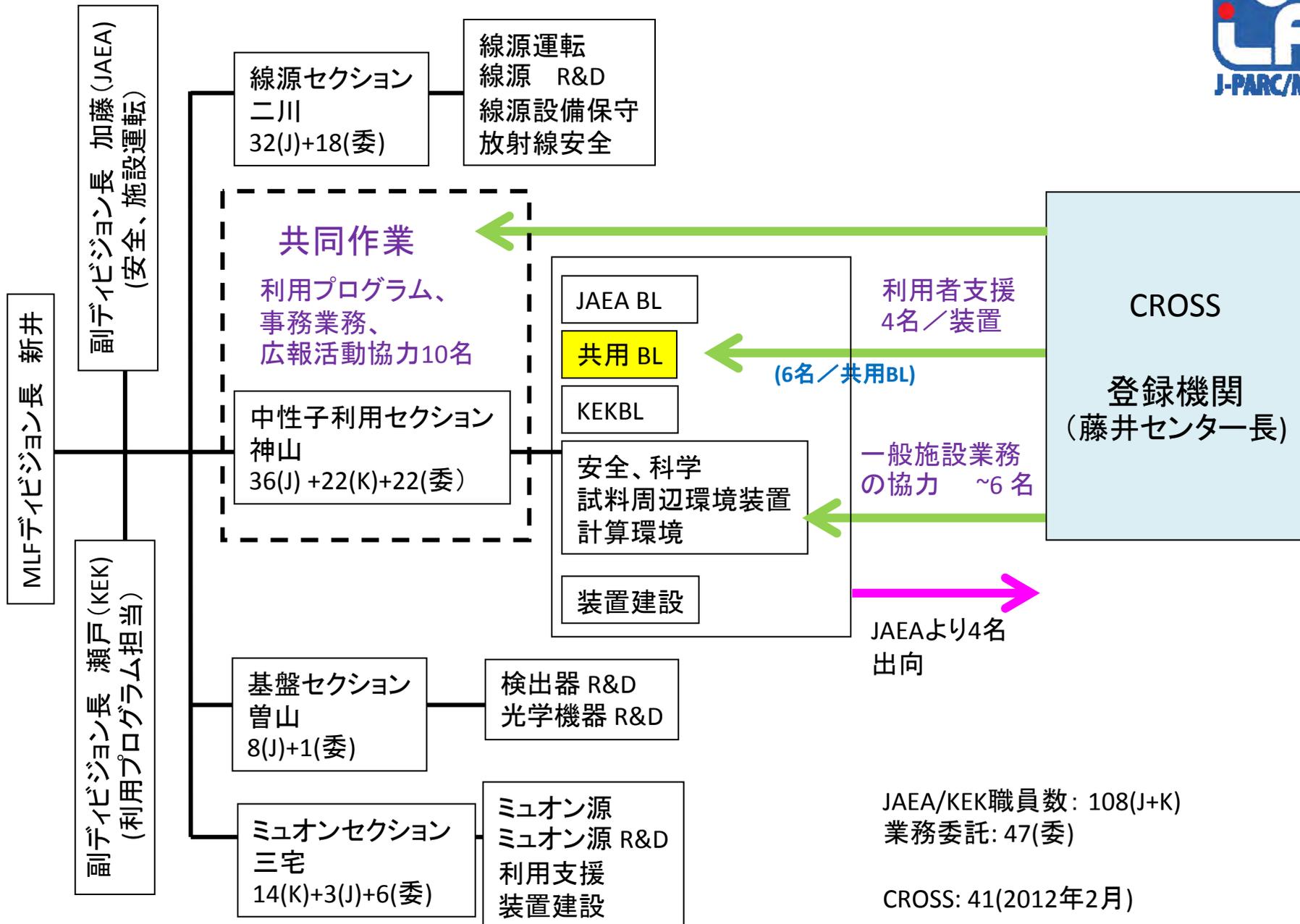
研究グループ: JAEA、J-PARC

発表論文: T. Hemmi, et al. IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, 21, (2011), 2028–2031

## MLFの組織と体制

複雑な組織の集合体 (JAEA, KEK, CROSS, 茨城県)  
CROSSとMLFの連携と協力

# MLFの組織とCROSSとの連携



MLF関連スタッフ(JAEA, KEK, CROSS,茨城県を含む全体制)

KEK, JAEA装置の要員が非常に不足している。

(共用法の装置に関しては国際レベル(6名/装置)にある。)

共用BL

	現有(JAEA, KEK, 茨城県)スタッフ						現有CROSSスタッフ数			現有総数	
			現有職員 (H23)	現有(H23) PD・任期付 研	現有 技開等 (H23)	現有 委託 (H23)	研究員	技術	委託		
中性子源 関連業務	ターゲット開発G		6	0	1					7	
	ステーション開発G		6	0	4	0				10	
	制御・設備技術開発G		7		5	0				12	
	運転計画G		1		1	18				20	
	線源計		20	0	11	18				49	
ビームライン 関連業務		所有組織	建設予算								
	BL01(四季)	JAEA(共用)	科研費	1	1			3	1		6
	BL02(DNA)	JAEA(共用)	共用補助金	2				3	1		6
	BL03(iBIX)	茨城県	茨城県	4	1	2					7
	BL04(ANNRI)	JAEA	電源特会	3							3
	BL05(NOP)	KEK	科研費	2	2						4
	BL06(スピネ コー装置)	KEK	KEK	1							1
	BL08(HRPD)	KEK	KEK	2							2
	BL09(SPICA)	KEK	NEDO		3						3
	BL10(NOBORU)	JAEA	JAEA	1							1
	BL11(PLANET)	JAEA	科研費(東大)	2							2
	BL12(HRC)	KEK	KEK、東大	3	1						4
	BL14(アマテラス)	JAEA	JAEA	1	2						3
	BL15(大観)	JAEA(共用)	共用補助金	1	1			3	1		6
	BL16(SOFIA)	KEK	KEK, CREST	2	1						3
	BL17(写楽)	JAEA(共用)	共用補助金	1	1			3	1		6
	BL18(千手)	JAEA(共用)	共用補助金	1	1			3	1		6
	BL19(匠)	JAEA	JAEA	2	1						3
	BL20(iMATERIA)	茨城県	茨城県	3	1	2					6
	BL21(NOVA)	KEK	NEDO	3	3						6
	BL22(イメージ)	JAEA(共用)	共用補助金	1	1						2
	小計			36	20	4	0	15	5	0	80

20台の装置に80名のスタッフ。平均4名／1台

実験支援共通業務(試料環境、計算環境等)の**職員クラス**の充実が必須  
 業務委託だけでは高度な利用者支援を行うことはできない。  
 (CROSSとの役割分担、連携を強化する必要がある。人的資源の最適化が必要。)

			現有(JAEA, KEK, 茨城県)スタッフ				現有CROSSスタッフ数				
			現有職員 (H23)	現有(H23) PD・任期付 研	現有 技開 等 (H23)	現有 委託 (H23)	研究員	技術	委託	現有総数	
実験支援 共通業務	計算環境支援G	実験制御ソフトウェア	1						1	2	
		データ解析ソフトウェア					1			1	
		計算環境維持・管理			1	2					3
		データ集積エレキ	2								2
	利用促進支援G	利用相談チーム	3	←県			2				5
		広報・情報管理チーム					4		6		10
	放射線一般安全 G	放射線チーム	1			2		1			4
		化学チーム				2			1		3
		生物・重水素化チーム									0
		電気チーム			1	3			1		5
	試料環境利用支援	機器チーム(ポンプ、チョッパー、スリット、ゴニオ)				5			2		7
		低温クライオスタット(真空、炉ガス)			2	2				1	5
		磁場発生装置									0
		高圧発生装置									0
	実験施設支援G	偏極チーム(フィルタ、磁気光学)	1					1			2
実験施設支援チーム					3	6				9	
小計			8	0	7	22	7	2	12	58	
基盤技術開発	中性子制御G		3			1				4	
	中性子検出器G		3		2					5	
	基盤小計		6	0	2	1				9	
ミュオン	ミュオン源		10	5		6				21	
	ミュオン利用支援		2							2	
	小計		12	5	0	6	0	0	0	23	
総計	総計		82	25	24	47	22	7	12	219	

8) コーディネータや技術支援者を育成するためには、適切な評価の仕組みやキャリアパスを検討する必要がある

⇒ 登録機関と連携し、技術支援組織の充実を行い、技術支援者の育成を図る。併せて、その評価やキャリアパスを形成して行く。特に登録機関ではこれらの職員を充足し、今後評価の仕組み等を検討する必要がある。また、MLFでは共通業務を行うために技術者が中心となるセクションの新設等の検討を始めている。

11) J-PARC センターは、県との緊密な連携のもと、コーディネータの人材交流などを実施することが望ましい

⇒登録機関のコーディネータも含め、相互の情報のやり取り、役割分担の明確化を今後進める。現在、登録機関－MLF 間で実務者連携会議を毎月開催し、連携を深めている。

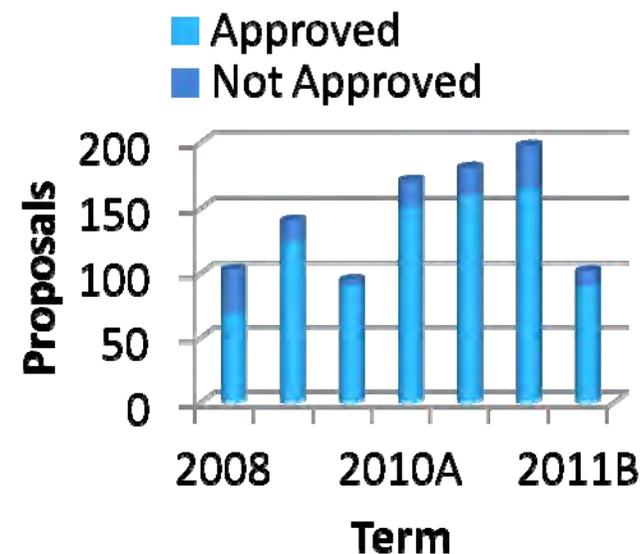
# MLF利用の状況

# 応募一般課題数と利用者数の変遷



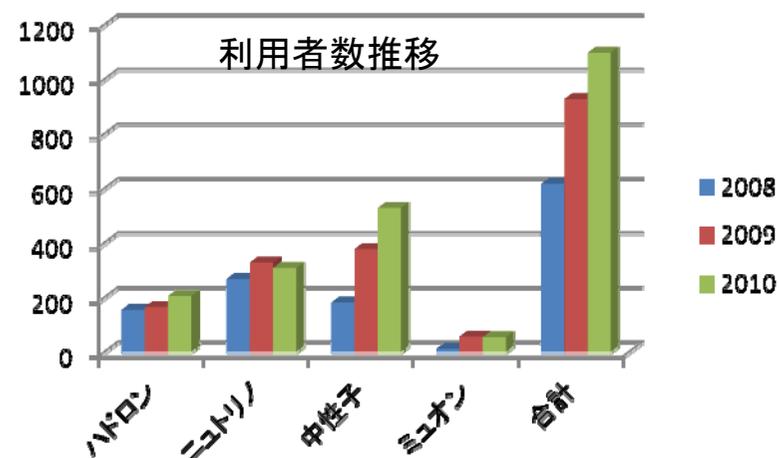
課題数は震災での落ち込みはあるものの概ね順調に増加

Term	2008	2009A	2009B	2010A	2010B	2011A	2011B
応募課題数	102	140	94	171	180	197	101
採択課題数	68	124	90	150	159	164	89
共用時間(日)	40	44	37	50	68	0	44
装置数(中性子)	4	7	8	9	10	16	16
装置数(ミュオン)	1	1	1	2	2	2	2



## 利用者数推移(学生内数)

	2008	学生数 2008	2009	学生数 2009	2010	学生数 2010
ハドロン	155	64	165	75	206	100
ニュトリノ	268	56	328	93	308	97
中性子	182	38	378	95	529	146
ミュオン	12	3	57	24	55	19
合計	617	161	928	287	1098	362

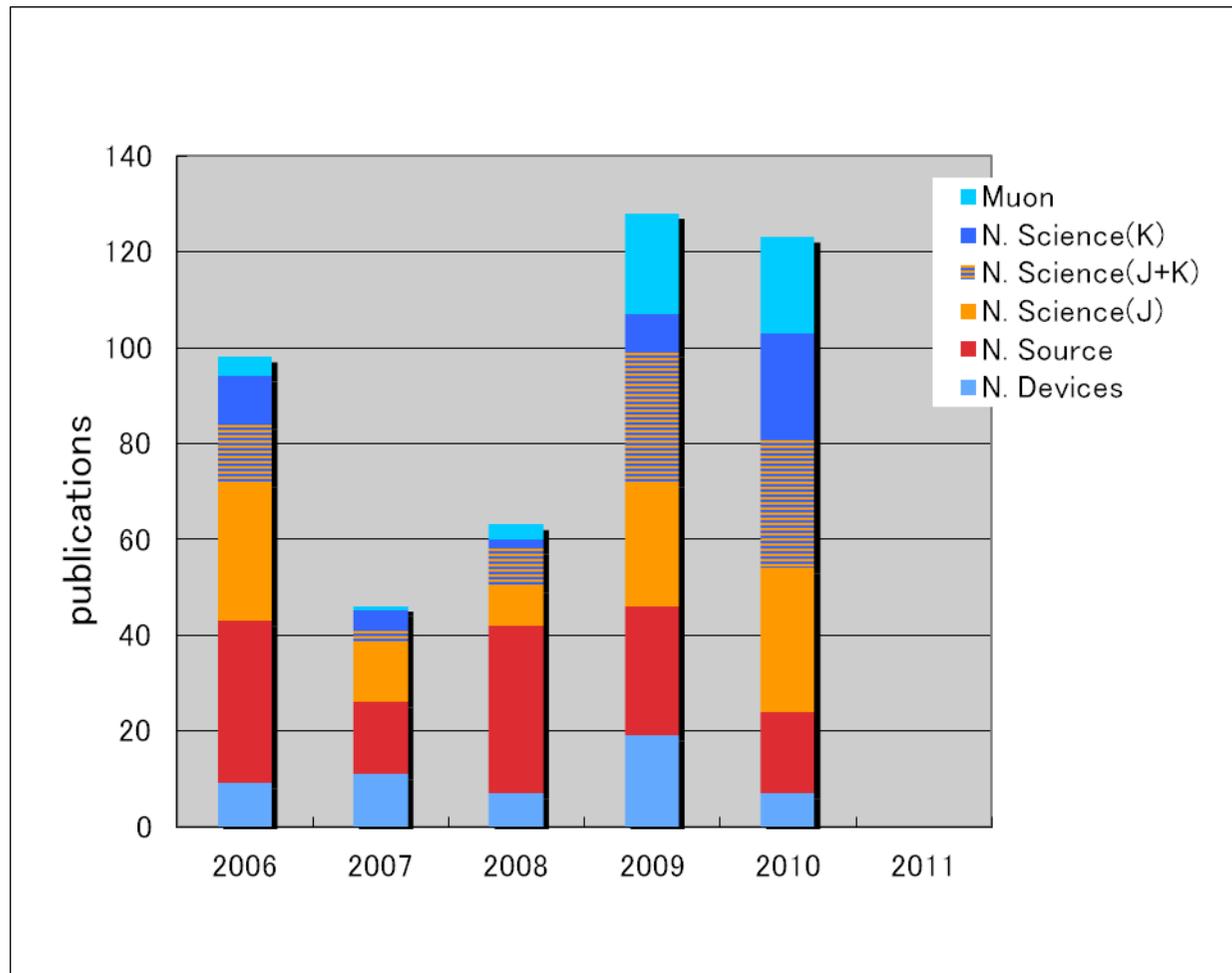


中性子の利用者数の増加が急である。  
大学院学生は全体の3分の1

# 出版論文数

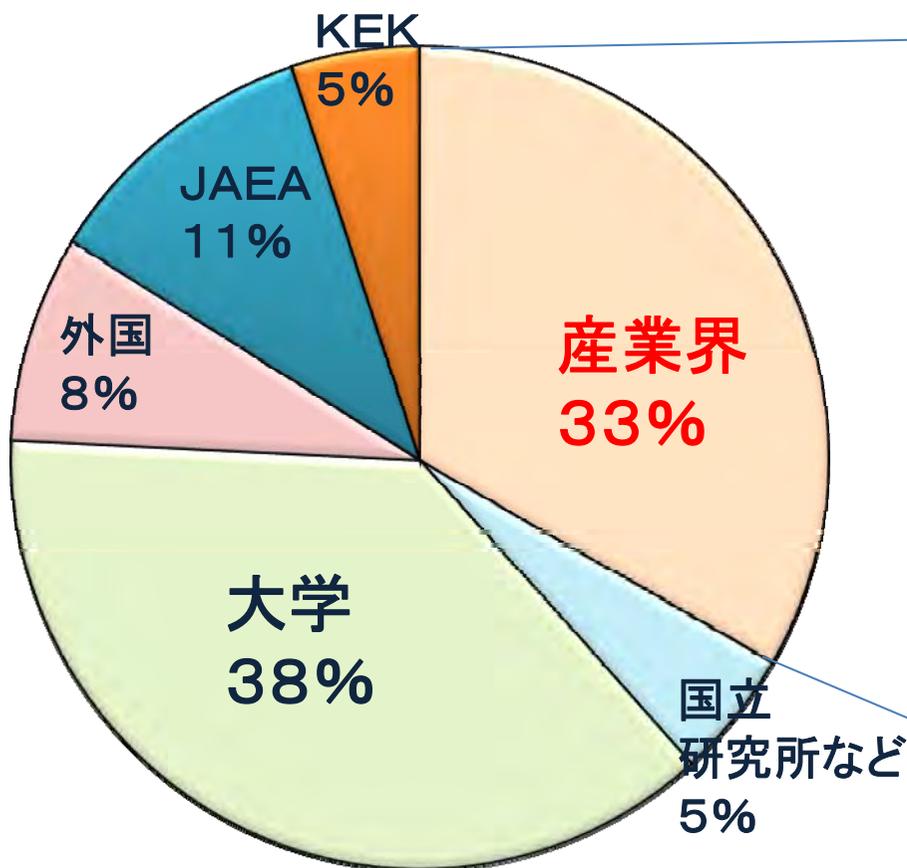
(中性子とミュオン)

2011年になって著名学術誌への発表論文が急増している。



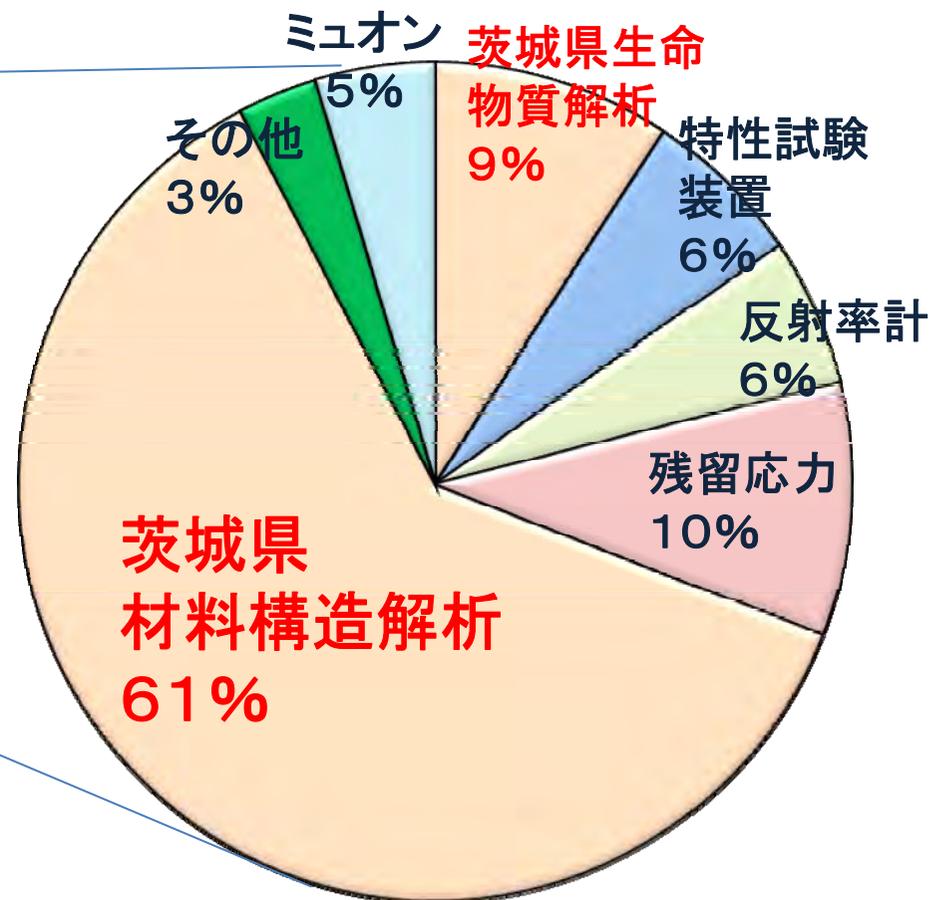
# MLFの産業利用 2008-2011

課題数の申請元割合 2008-2011



産業界の利用が30%を超えている。

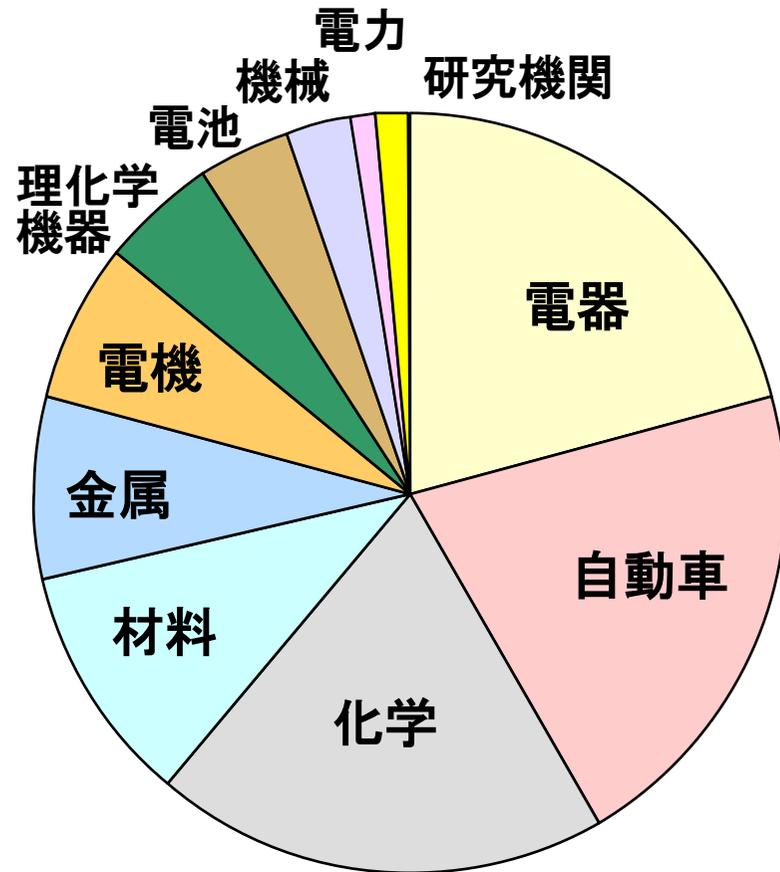
産業利用の装置別割合



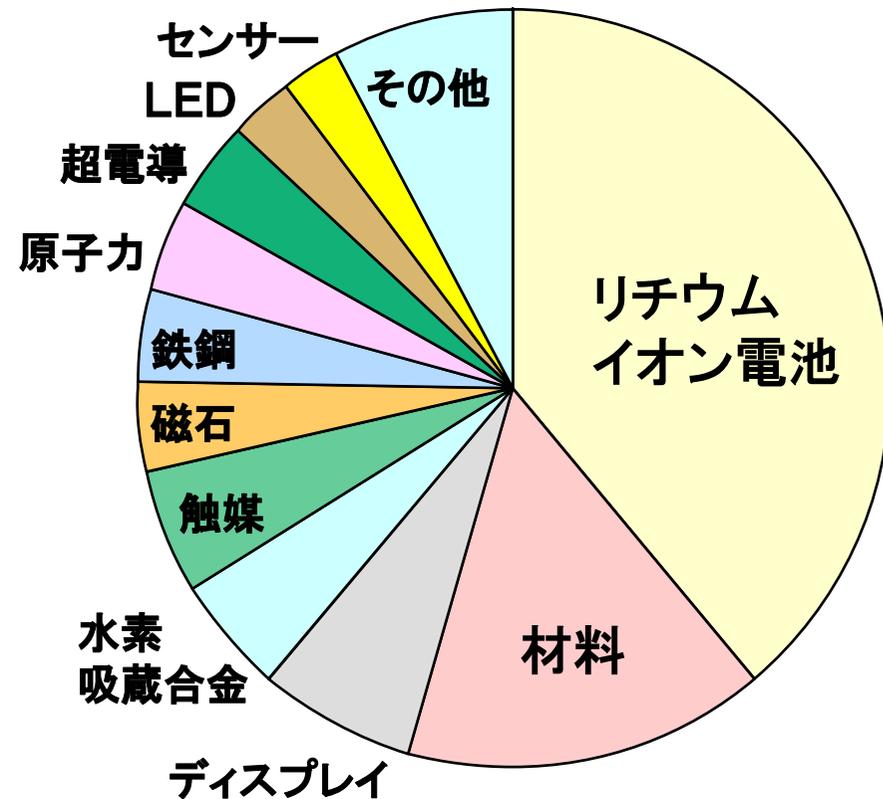
産業利用課題総数: 194件  
 (うち非公開課題は15%、30件)  
 茨城県装置が70%を占める

# 茨城県材料構造解析装置における実施課題分類 (2008～2010B)

全体課題数:77件(産業利用のみ)



課題申請元産業界



利用課題別分類

**Liイオン電池に関する課題数が全体の約40%**

# MLF利用料金について

## 利用経費負担の基本的な考え方

MLF利用料金については、SPring-8等の国内施設や海外施設と同様に、

➤ 成果公開利用

無償

➤ 成果非公開利用

運営費回収方式により利用料金を設定し徴収

## 共用開始前の利用料金

現在のJ-PARCは、所定のビーム強度(1MW)に達しておらず、加速器の試験・調整運転を継続的に実施している段階であり、利用者の負担を抑えるため、当面、運営費(運転経費+施設利用経費)のうち、施設利用経費のみ徴収することとし、利用料金を設定

① 運転経費

施設側が負担

② 施設利用経費

利用者が負担

平成21~23年度(上期)のビーム利用料金: 1,572千円/日・本

- ※ 運転経費 : ビームラインの共用に関わらず、施設側が試験・調整運転や研究開発を行うために定常的に必要となる経費【施設とビームラインの定期点検等の費用、租税公課、人件費、建屋等運転委託費、電気料金(基本料金+施設空調等分の従量料金)等】
- ※ 施設利用経費: 利用者が利用することに伴い必要となる経費【機器保守費(予備品、消耗品等)、加速器・実験装置等運転委託費、利用により発生する電気従量料金、放射性廃棄物処理費(運転により発生する廃棄物)等】

## 共用開始後の利用料金

所定のビーム強度(1MW)に達するまでは、利用者の負担を抑えつつ、段階的にアップ(施設側で負担してきた運転経費の一部徴収)

平成23年度(下期)のビーム利用料金: 1,572千円/日・本

平成24年度のビーム利用料金: 1,729千円/日・本(10%アップ)

※ 今後は状況に応じて適宜見直しを行う。

## 茨城県(専用)ビームラインの利用料金

① ビーム利用料金(J-PARCへ)

- ・成果非公開利用のみ徴収
- ・ビーム発生部分の経費のみ  
(平成23年度: 1,297千円/日・本、平成24年度: 1,454千円/日・本)

+

② 茨城県の利用料金

- ・成果公開、非公開に関わらず徴収
- ・県内企業を優遇(県内1万円/時、県外2万円/時)

## MLF(中性子)の今後の課題

7) 産業界のニーズを掘り起こし、利用を促進して行くにはトライアルユースが非常に有効であることから、J-PARCの中性子利用においてもこれを導入することが適切

⇒ 登録機関が本年度下期よりトライアルユースを開始する。また、MLFとして若手の学校(実験研修含む)をH24より開始する。

9) 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を受けられるような制度も検討することが適当

⇒ 一貫したサービスが受けられよう準備室や人員の配置を進めているが、制度として行うためには更なる検討が必要である。

10) 知的財産権の保護や機密保持の徹底など産業界に使いやすい仕組みを早急に整備することが必要

⇒ 現在非公開課題の取り扱いは限られた職員により行われている。しかし、データの取り扱いについては今後更なる改善が必要である。

# 今後の整備について (後日に詳細説明)

- I. 既存の装置を最大限活用し成果を出す。
- II. 実験条件の最適化のための試料環境と計測結果処理のための計算環境の整備
- III. 実験準備や解析、利用者の快適な研究・生活空間の実現。
- IV. 放射化物を扱うための施設。
- V. 利用支援のための人員の適切な配置と育成。
- VI. 新装置の設置、外部からの導入をコミュニティとともに検討。4台の増設(46億)

## 利用支援体制強化

人的資源の有効活用と最適化

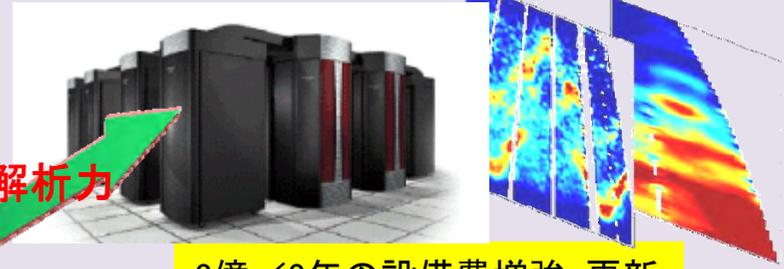
登録機関—MLFの連携の強化



支援力

## 計算環境

膨大なデータの処理  
利用のしやすさ  
セキュリティの保護

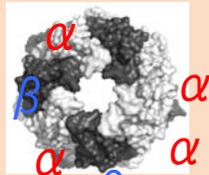


解析力

3億/3年の設備費増強・更新

## 試料環境、重水素化ラボ、偏極子ラボ

実験条件の最適化、  
新発見の増進



分子の重水素化ラベリング

5(11)億

実験条件



高放射化物の  
取り扱い施設  
が必要

6億

研究の場

## 研究基盤棟

実験準備やデータ  
処理、利用者の交  
流の場

世界第1級の研究を  
行うにふさわしい研  
究環境

研究機器の開発・保  
守



21億