
2013年 07月 26日

第8回 SPring-8金属材料評価研究会

Bi系高温超電導線材の解析 - 放射光及び中性子の活用 -

住友電気工業(株)
解析技術研究センター
山口浩司

住友電工と超電導線材

創業(住友伸銅場) 1987年
 売上高 2,059,344 百万円
 経常利益 106,696 百万円
 従業員 194,734 人

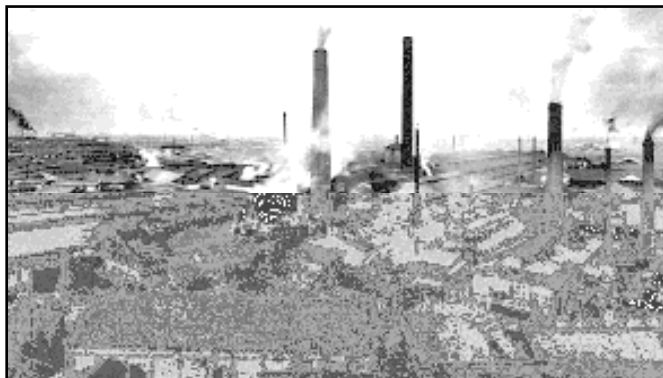
住友の銅事業



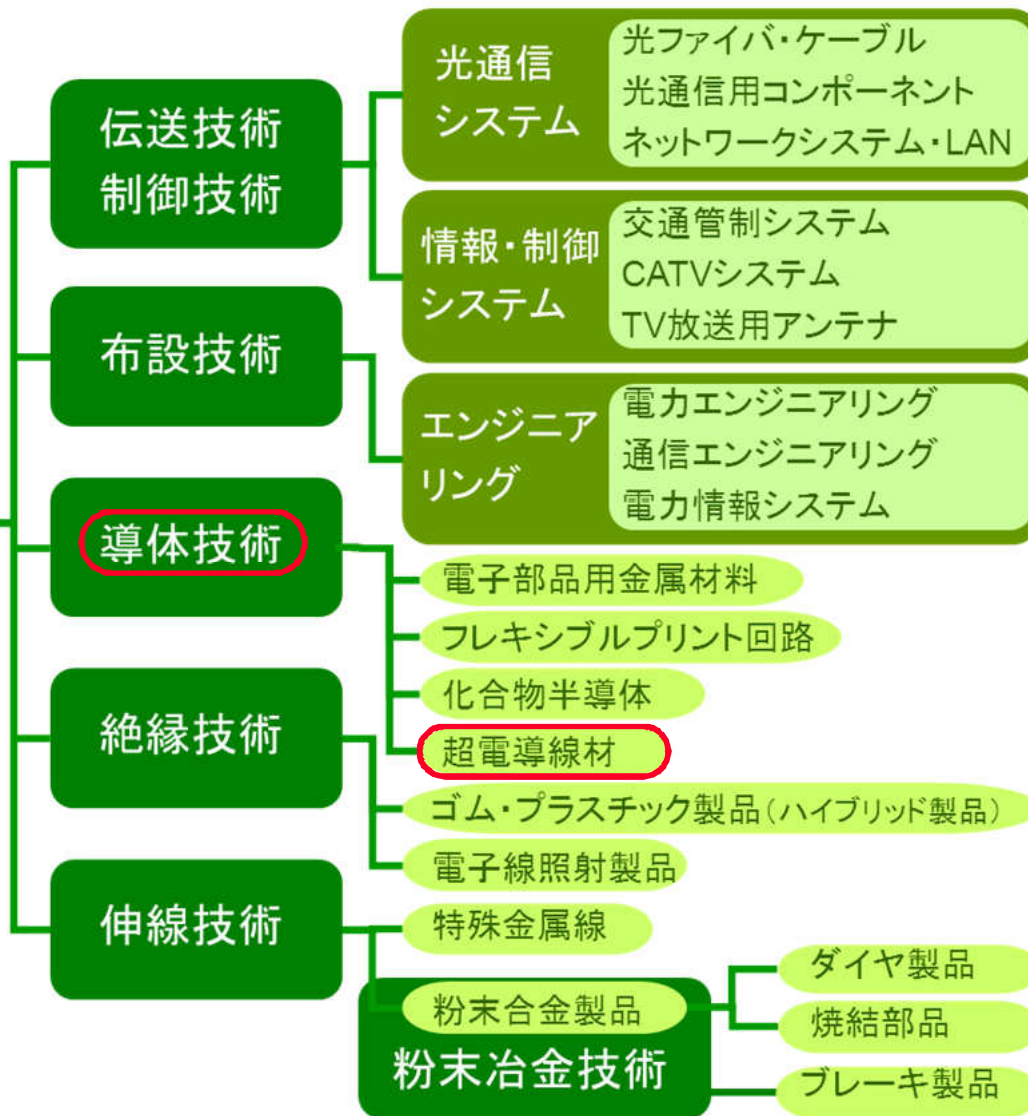
電線・ケーブル

裸銅・アルミ電線
 電力ケーブル
 通信ケーブル
 マグネットワイヤー
 ワイヤーハーネス
 電子ワイヤー

銅の南蛮吹(1590's)



住友伸銅場 (1897)



酸化物超電導材料と住友電工の取組み

年	材料	転移温度 (T _c)	発見者
1911	Hg	4 K	Onnes
1986	LaBaCuO	40 K	Bednorz & Muller
1987	YBa ₂ Cu ₃ O _x	90 K	Tue
1988	Bi ₂ Sr ₂ Ca ₂ Cu ₃ O ₁₀ (Bi2223)	110 K	Maeda
1993	HgBaCaCuO	134 K	Putilin

酸化物(高温)超電導材料

住友電工は、20年以上にわたり、Bi2223超電導材料の実用化に取り組んできました

超電導線材の応用分野

送電ケーブル



結晶成長用マグネット



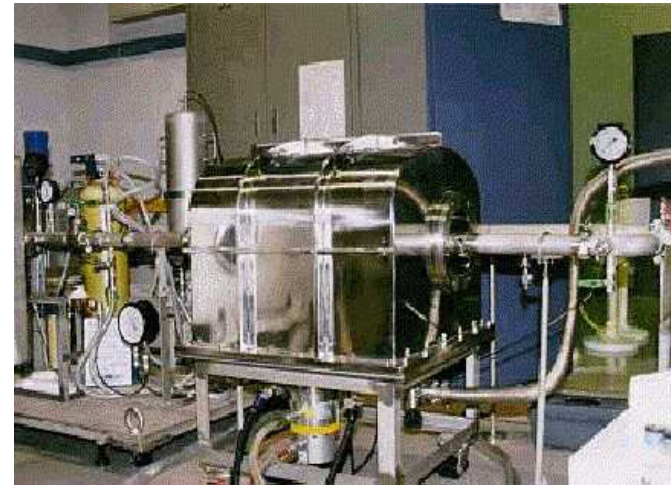
変圧器



船用モータ



磁気分離



酸化物超電導ケーブルを用いた送電

送電実証試験

2006年～2007年

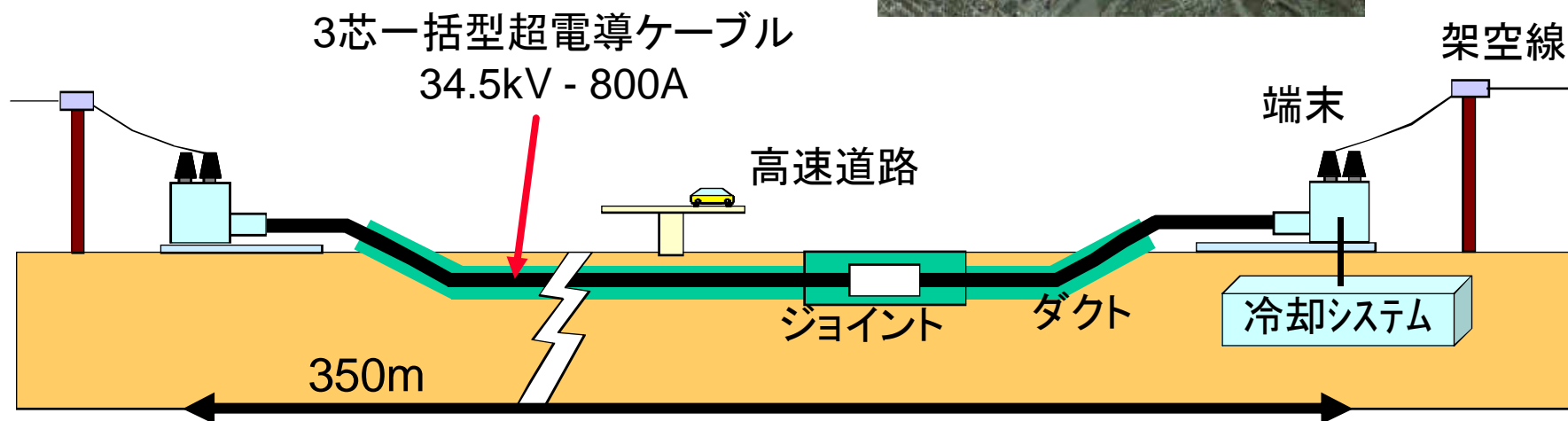
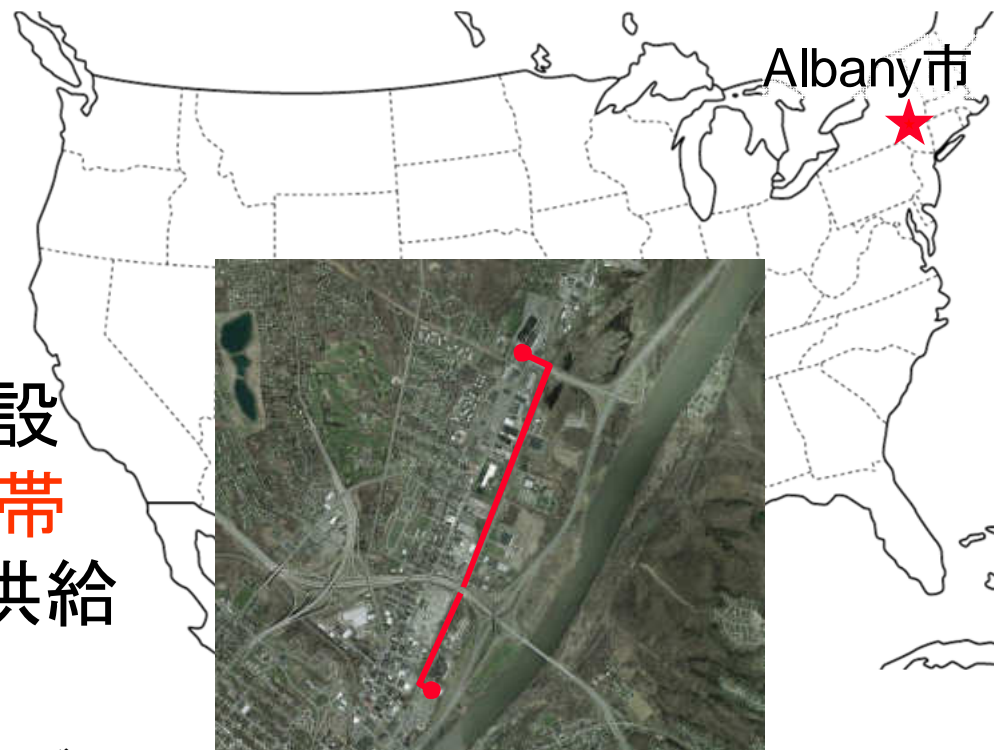
USA NY州 Albany市

変電所間**350m**長に

ケーブルを布設

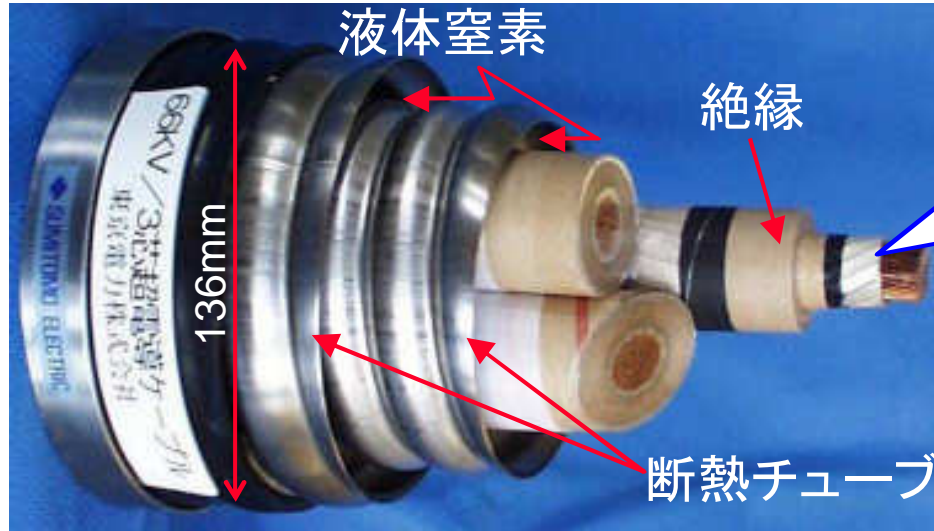
9,000時間・70,000世帯

に実際に電力を供給

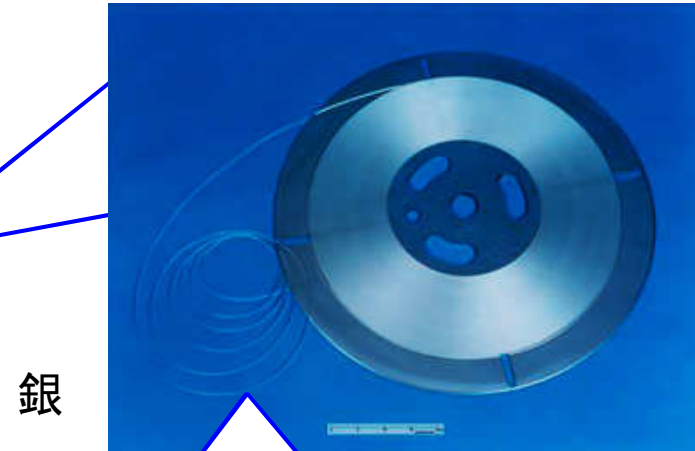


酸化物超電導ケーブル・線材

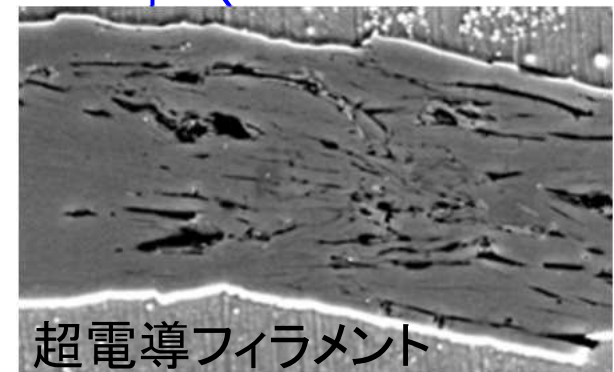
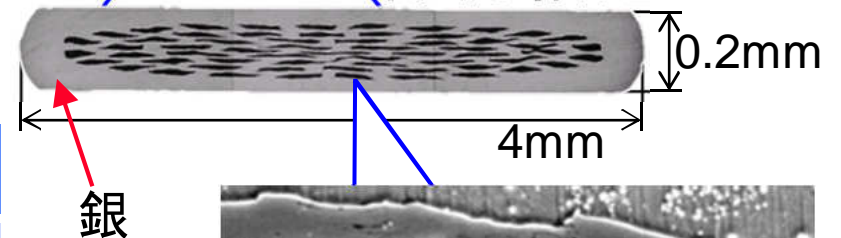
Bi2223 超電導ケーブル



超電導線材



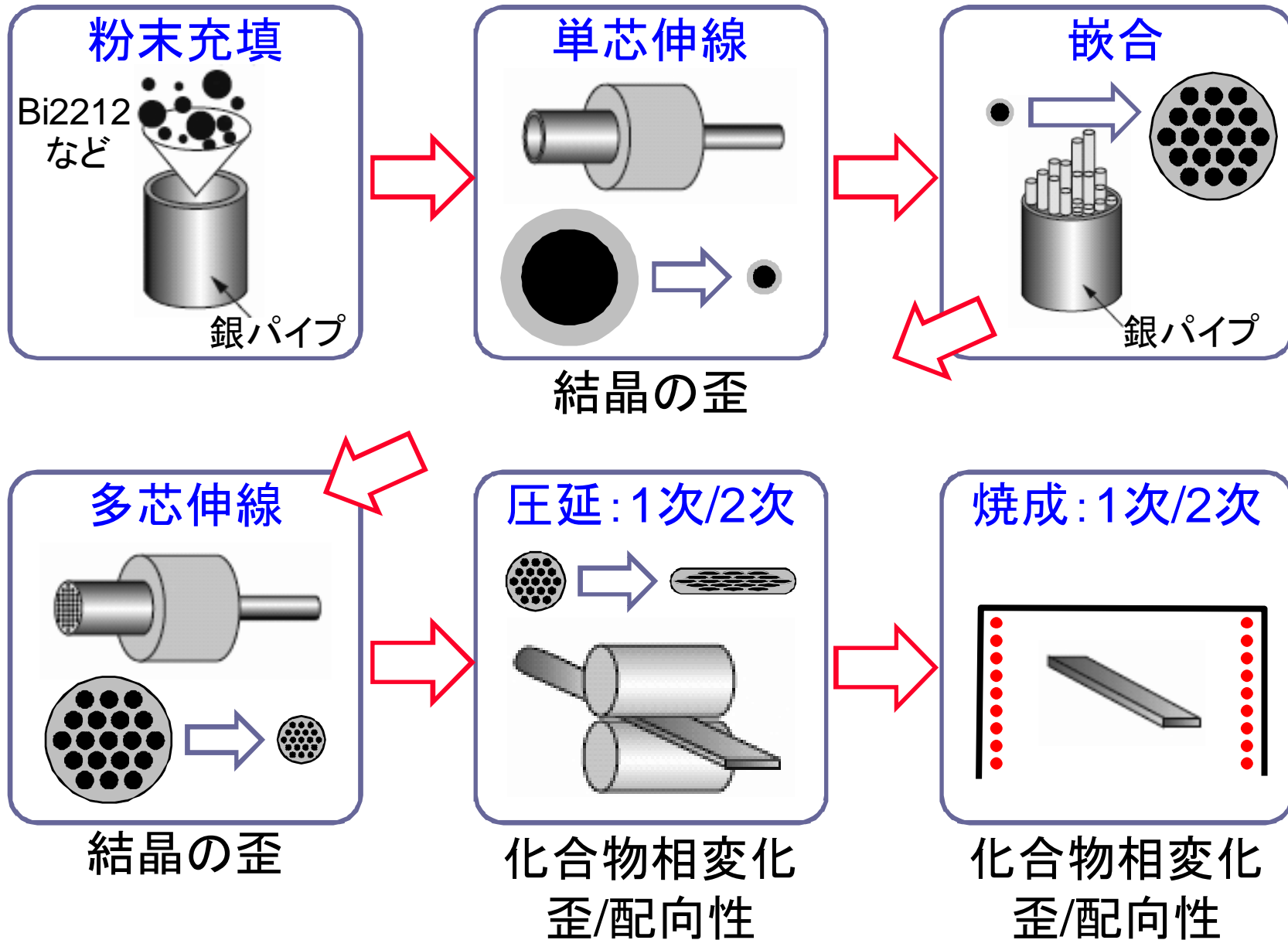
線材構造



銅線との特性比較

	Bi2223	銅
電流密度 (相対比)	200	1
電力損失	0 W/m @77K	2 W/m @RT

超電導線材の製造工程



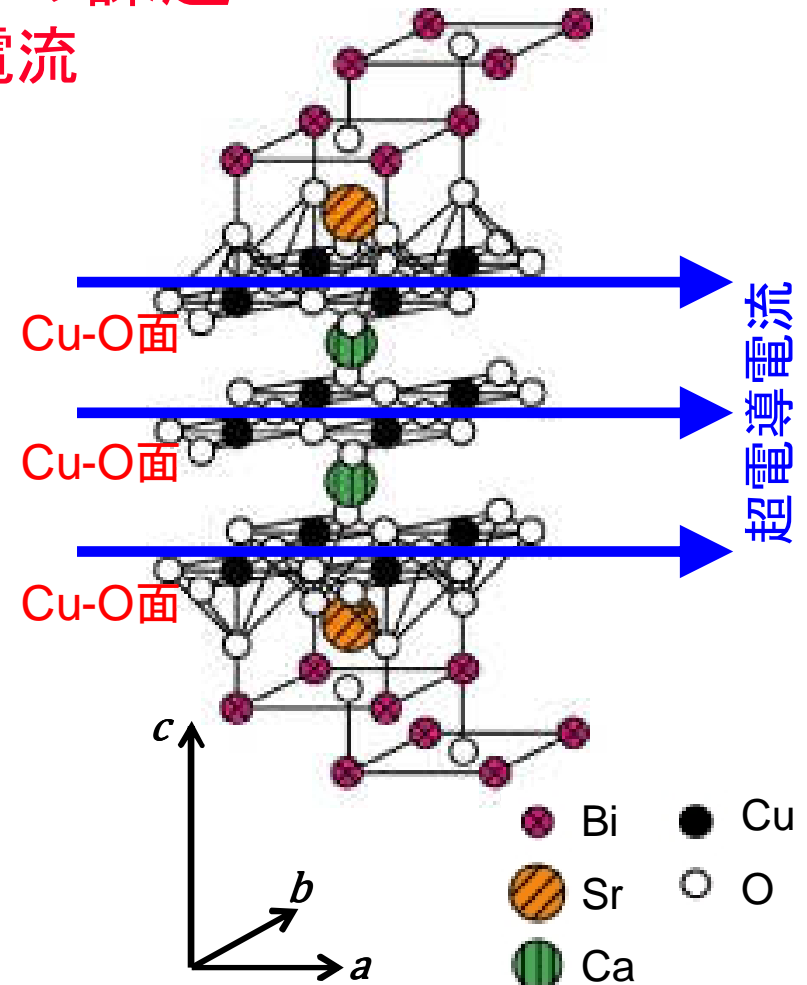
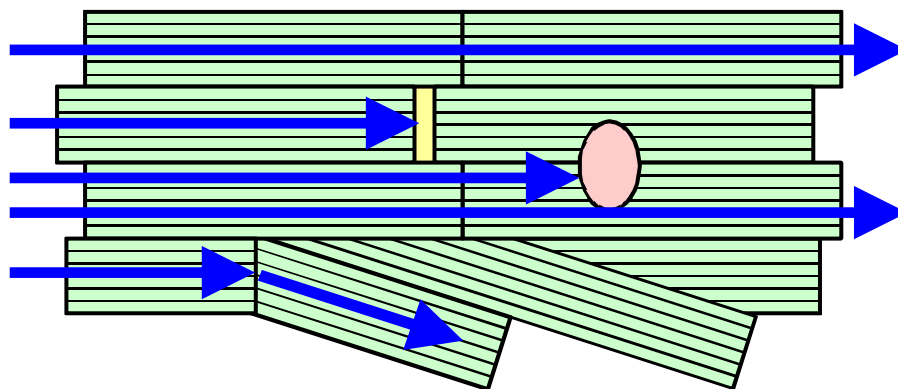
超電導線材の課題：高I_c化

I_c(臨界電流)の向上：実用化への課題
電気抵抗ゼロの状態ですりうる電流

Bi2223結晶内の超電導電流
：Cu-O面内(ab面内)を流れる
(c軸方向には流れない)

超電導電流の障害要因

- ・介在物、空孔(電流パスの狭窄)
- ・配向の乱れ



中性子・放射光を用いた評価の必要性

生成物/配向性等の制御
＝詳細/定量的な評価が必須

課題/問題点

- ・大気と反応する恐れがある
- ・銀を通して酸素が出入りする
- ・冷却時に相変化が起こり得る

非破壊/In-situ評価が必要

① 放射光利用

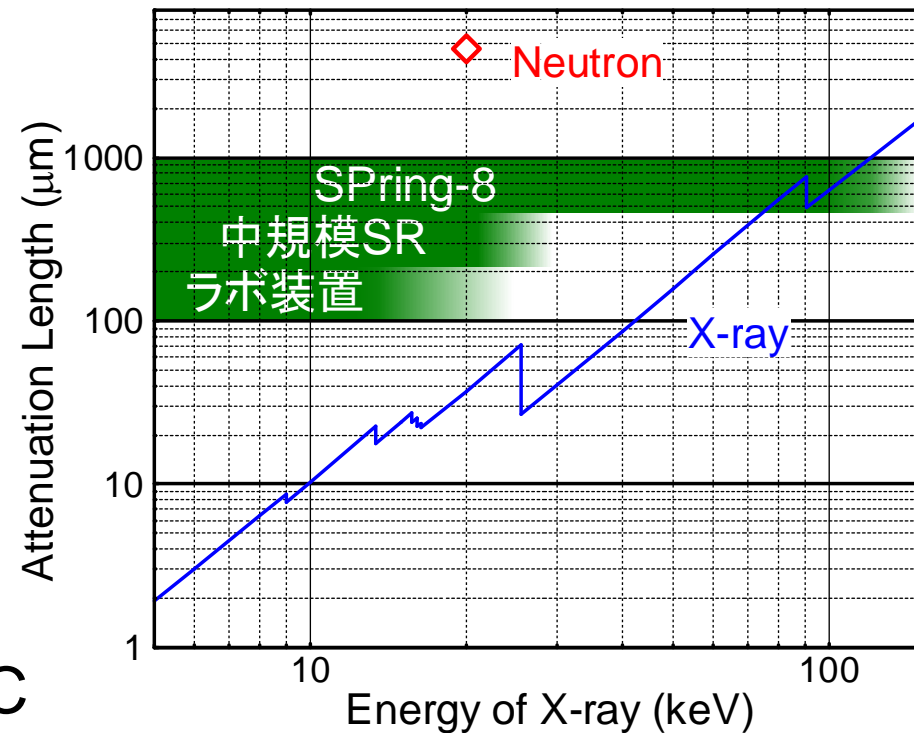
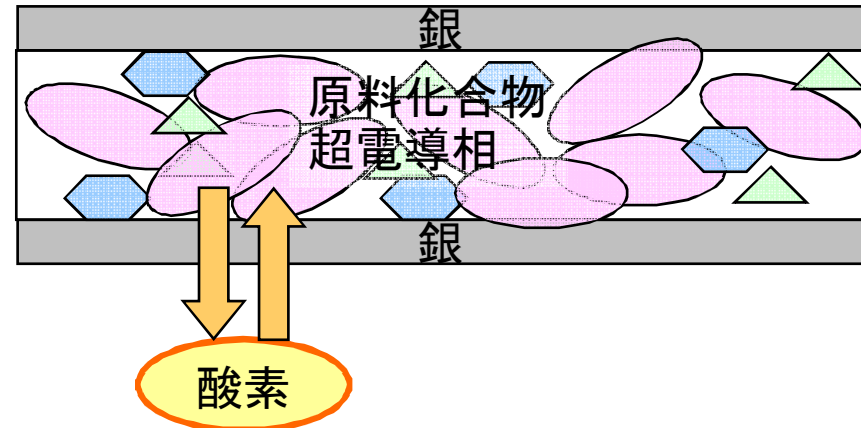
⇒ 圧延後線材の評価

2002年～ @SPring-8

② 中性子利用

⇒ 上工程の丸線の評価

2008年～ @JRR-3/J-PARC



放射光利用: SPring-8 サンビーム

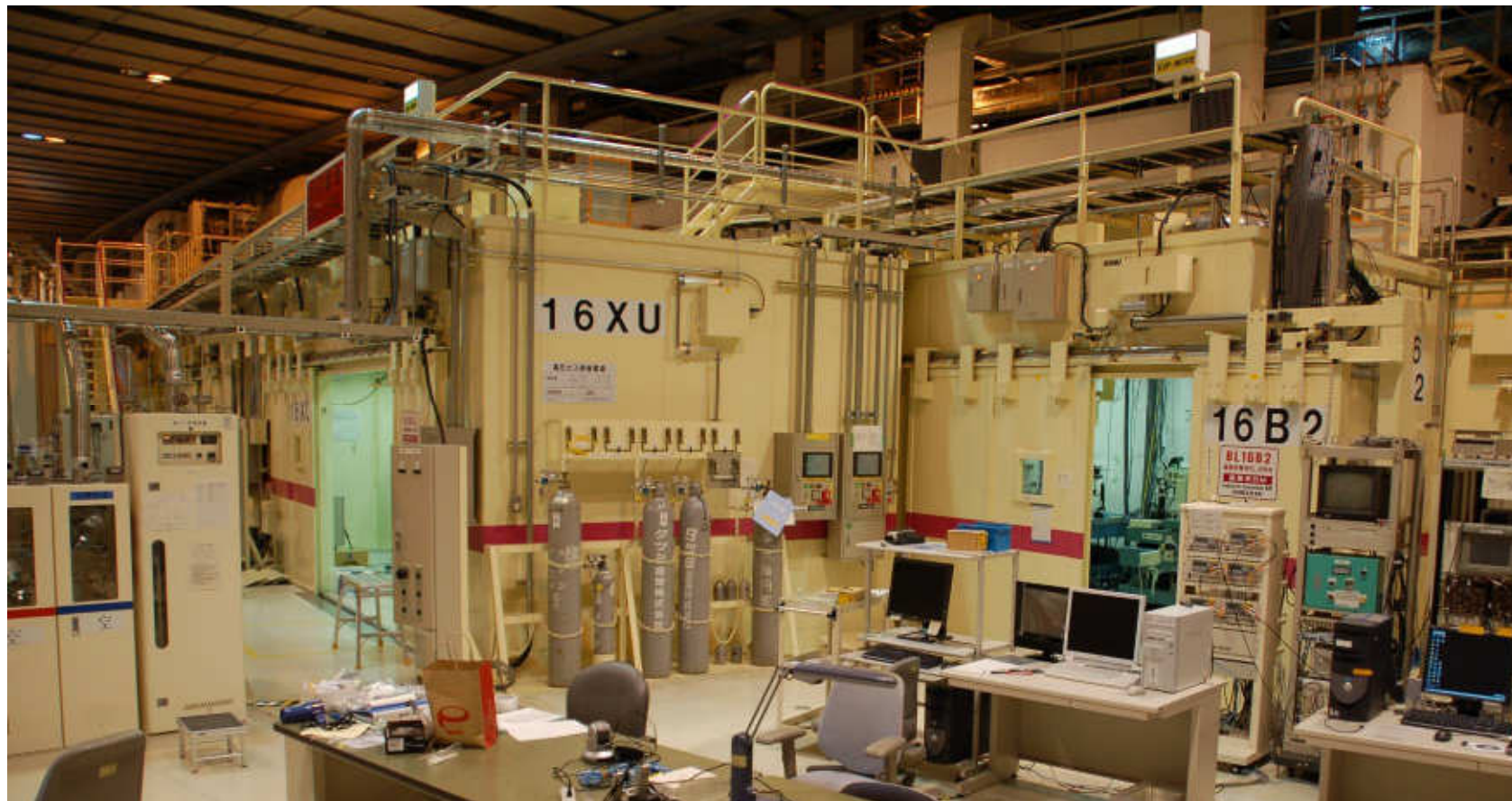
<http://sunbeam.spring8.or.jp/>

SPring-8 BL16XU/B2: サンビーム

13の企業グループにより建設・運営・利用する2本の専用ビームライン

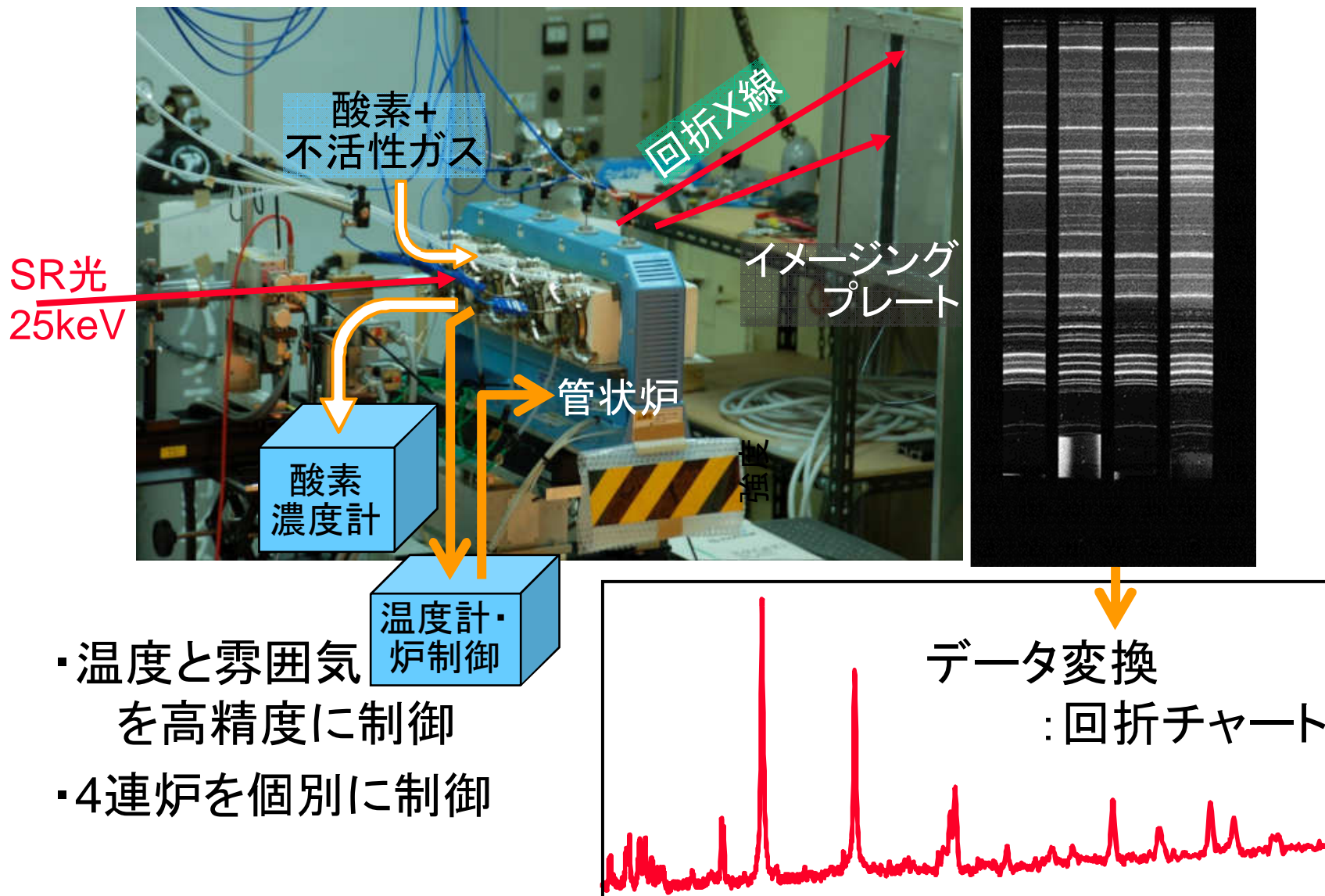
1999年9月より利用開始

川崎重工、神戸製鋼、住友電工、ソニー、電力G(関電、電中研)、東芝、
豊田中研、日亜化学、日産自動車、パナソニック、日立、富士通、三菱電機



焼成過程のその場測定

予備的実験@BL16XU ⇒ 専用炉の製作 + BL46XU成果専有利用



結果のまとめ

焼結中の相の生成・消滅をその場X線回折で可視化・定量化

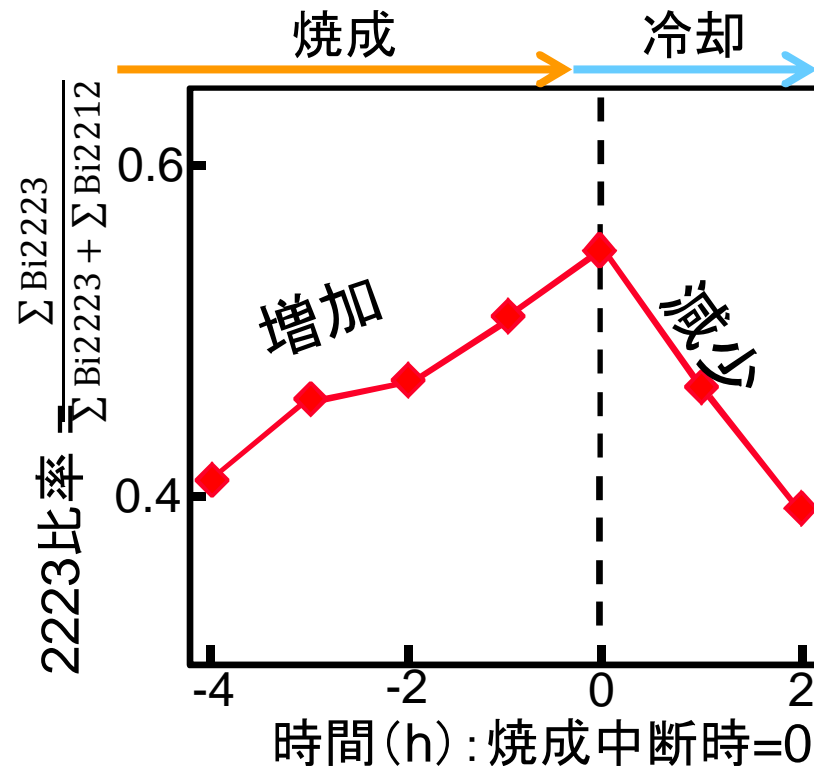
Bi2223 超電導相

焼成中 増加,

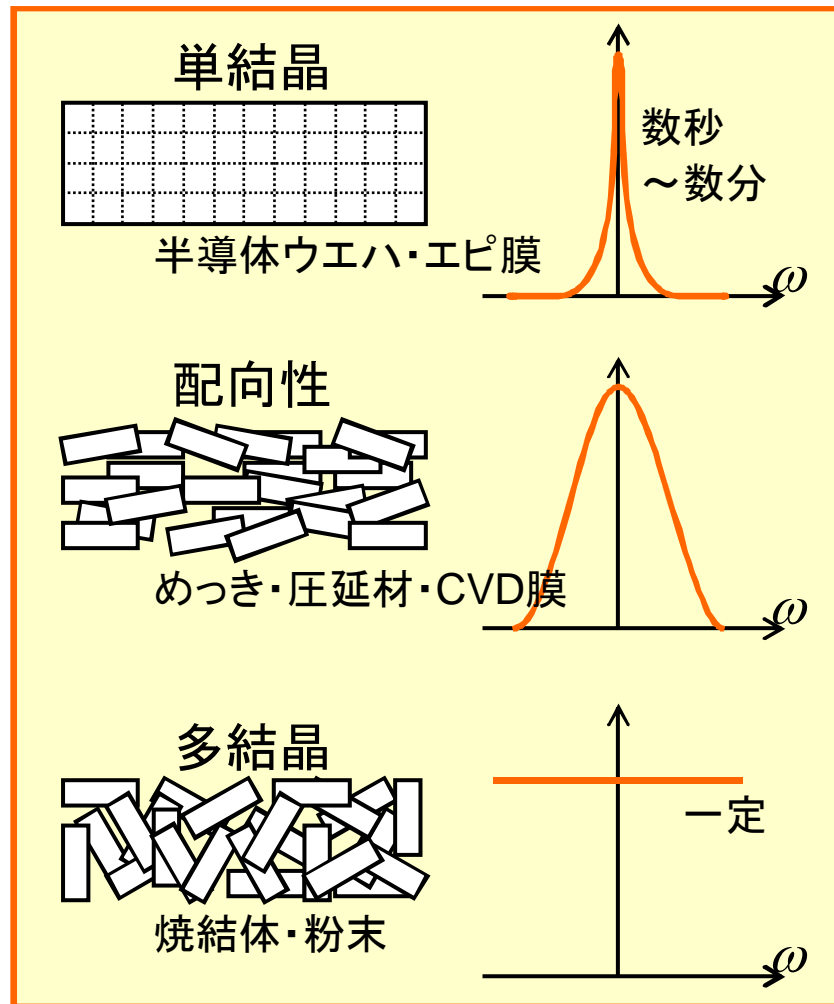
冷却中 減少

⇒ 焼成途上の状態評価
にはin-situ評価が必須
(Quenchによる高温状態
評価は不適)

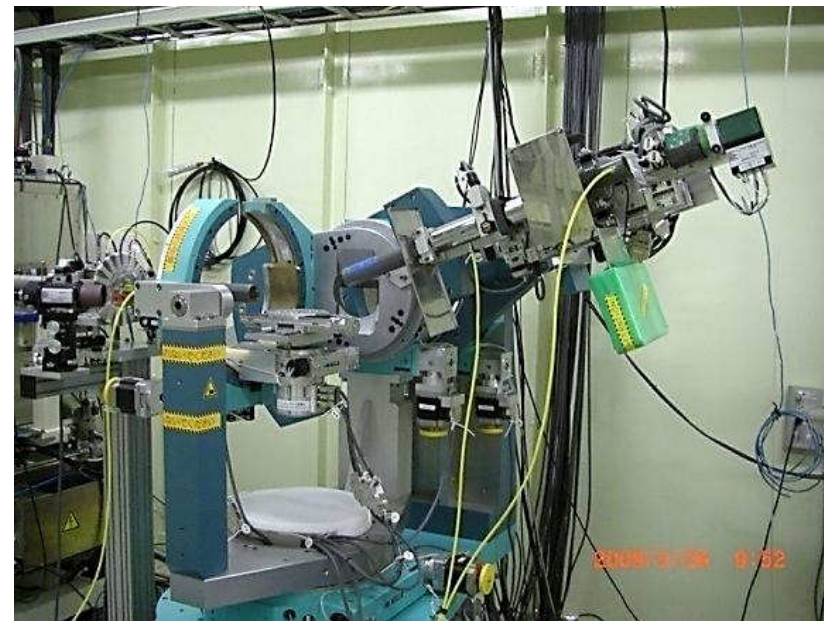
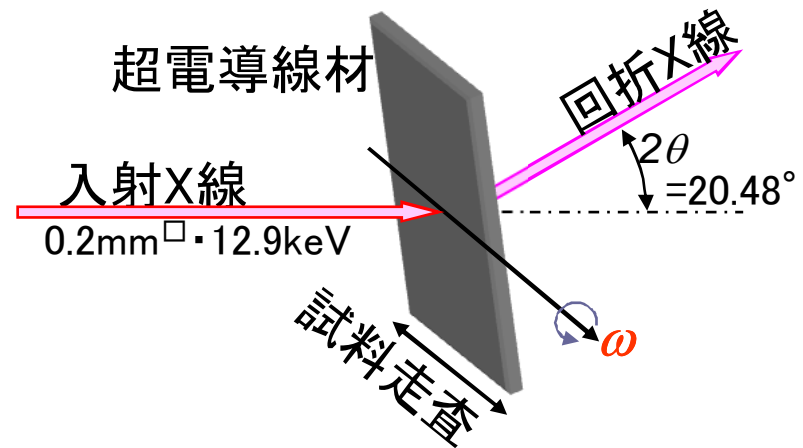
SPring-8を用いたin-situ評価
により、初めてBi2223相の
割合の変化を見出した



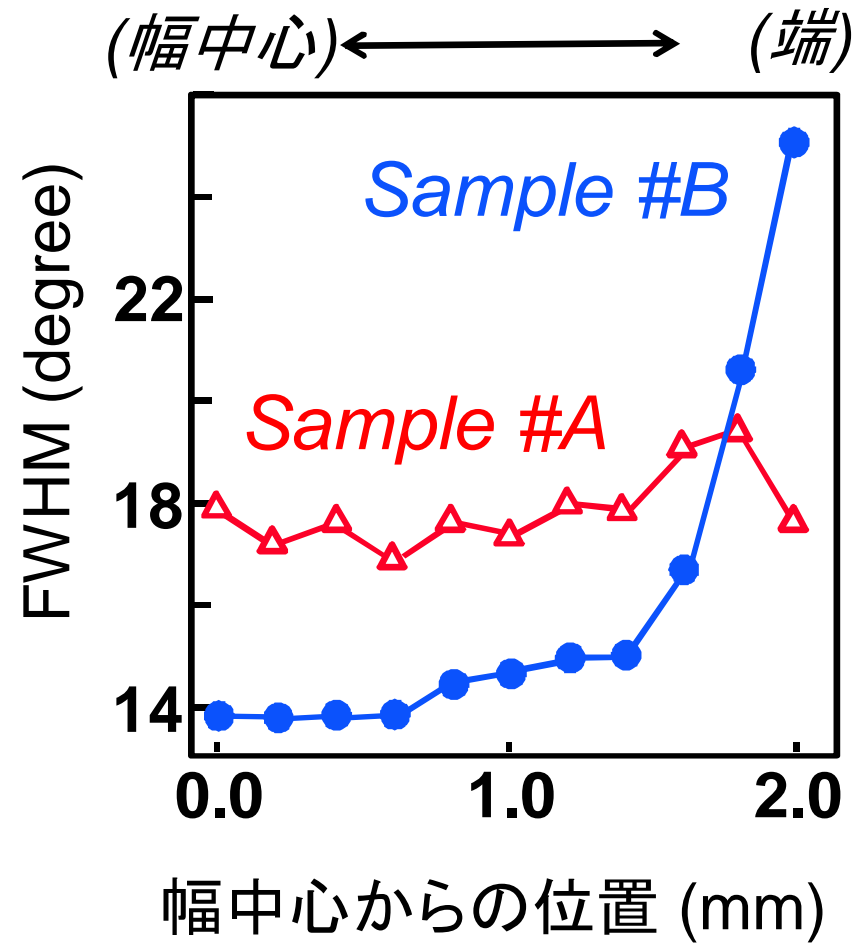
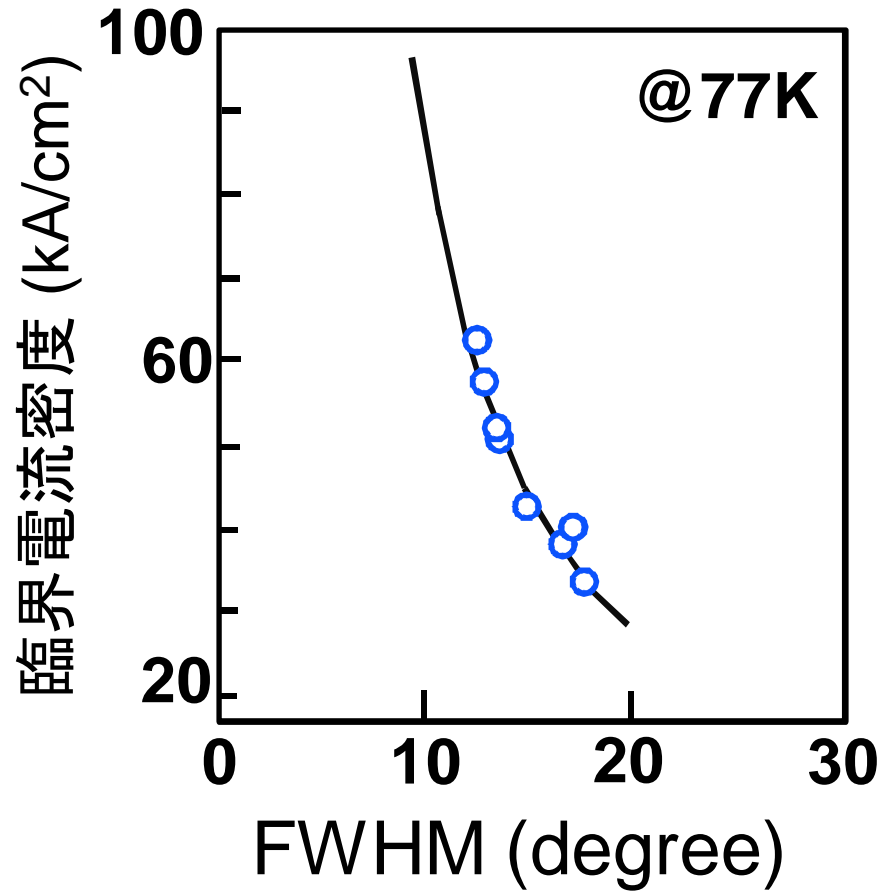
超電導線材の配向性の解析



測定光学系



配向性評価結果の一例



中性子を用いた評価

圧延の**上工程**については、放射光でも非破壊評価は不可能

⇒ **中性子の透過能が必要！**

課題 中性子の利用経験が社内に無い！

⇒ 中性子利用技術移転プログラムの活用

2008年7月 中性子利用技術移転プログラムの活用

11月 **JRR-3 HRPD**にて測定実施(48時間)

◎ 8mmの丸線でも測定可能

× 強度/分解能が不足 ⇒ **J-PARC**利用へ

2009年6月 J-PARC 2009年度下期課題にて採択

◎ **1～3時間で測定可能**であることを確認

⇒ **成果占有(有償)利用**へ

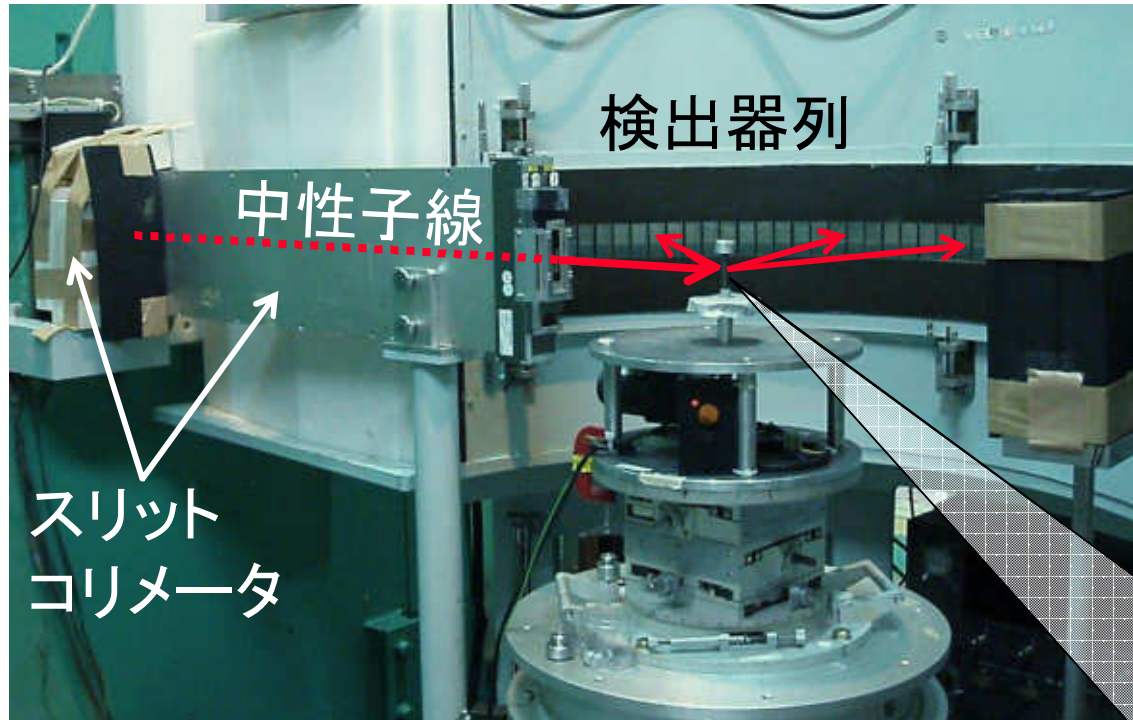
12月～2010年5月：合計 30 h の利用

圧延前後の結晶相の違いを示唆

JRR-3 HRPDによる測定

JRR-3 HRPD

原子炉



スリット
コリメータ

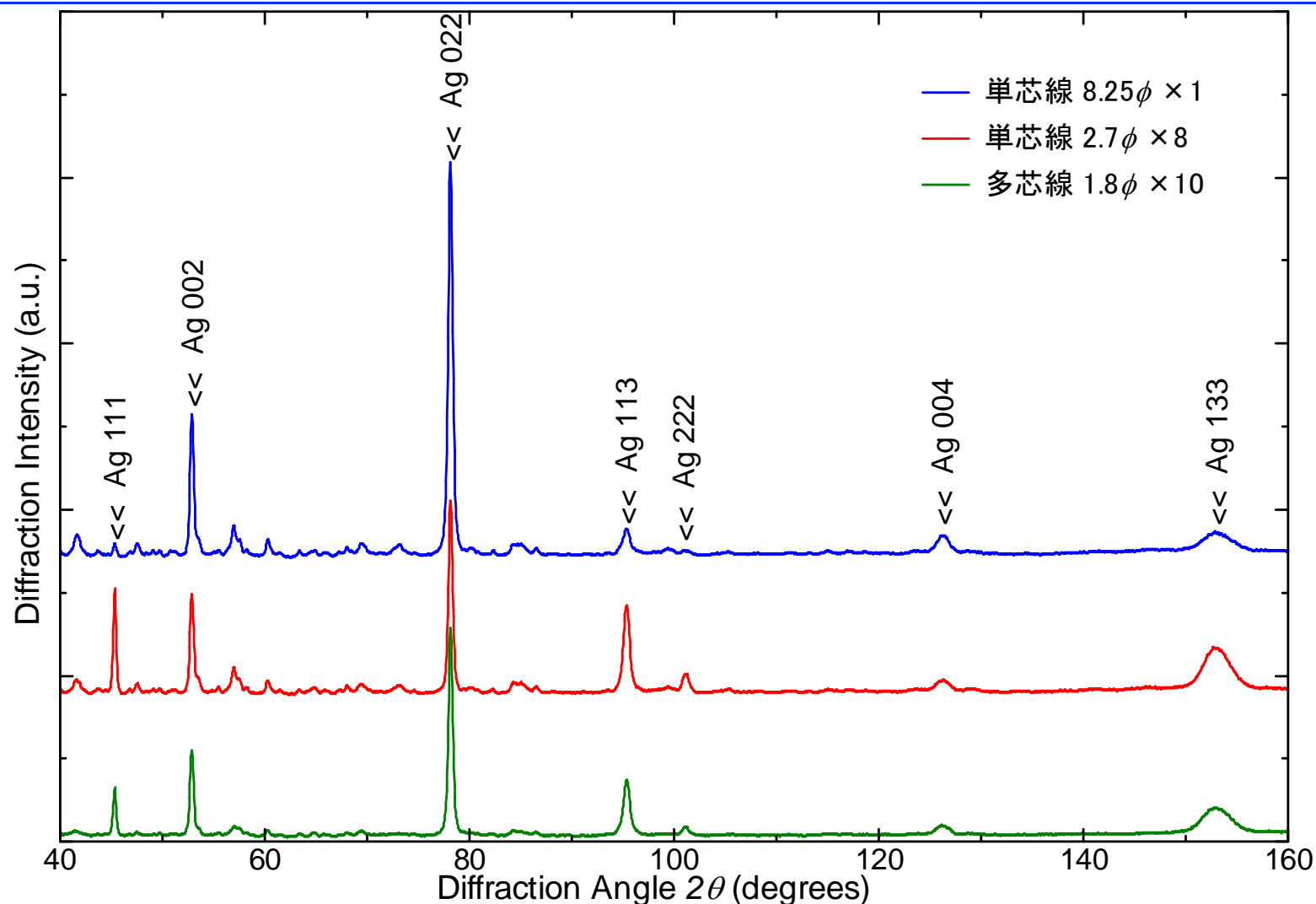
検出器列

中性子線

サンプル
10mmφ × 50mm
のバナジウム筒
に充填する



JRR-3 HRPDでの測定結果-1



強度の大きな銀からの回折ピークの間には超電導相や原料相からの回折ピークが観察されており、上工程の丸線での評価が可能であることを示した。

J-PARC iMATERIAでの測定



サンプル 8mmφ×50mm
のバナジウム筒
に充填する



自動搬送機

Target Station



中性子線

iMATERIA

2009/12/22 15:48

まとめ

高温超電導線材の実用化への課題：臨界電流値向上

- ⇒ キーワード：「非破壊」「in-situ」
放射光 (SPring-8)、中性子 (JRR-3/JPARC) を活用

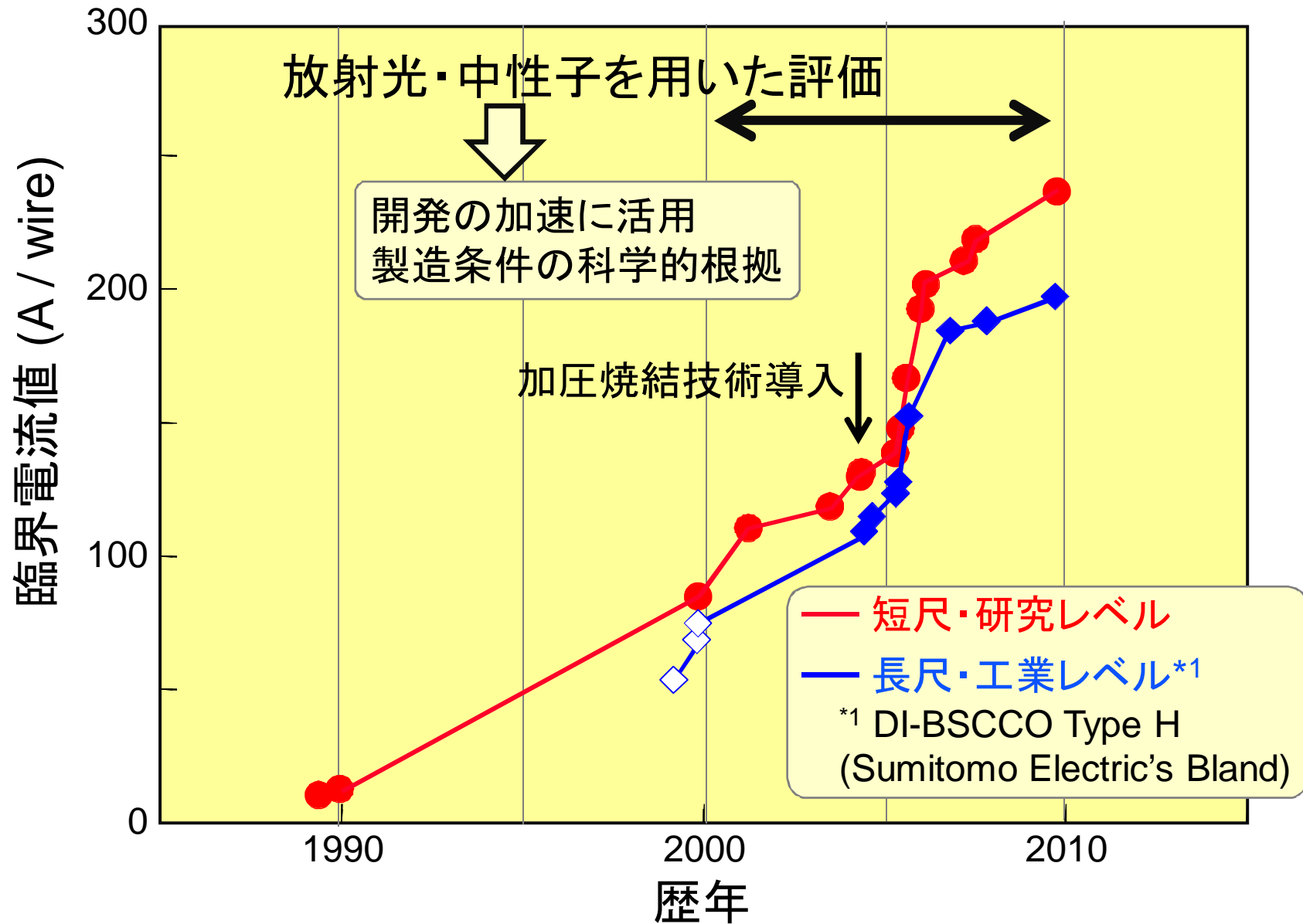
放射光分析

- ・in-situ評価用高温炉を作製、焼成工程の可視化に成功
 - ⇒ 超電導相が焼成時に増加、冷却時に減少ことを見出す
熱処理工程での中間生成物の生成/消滅を把握
- ・非破壊での配向性及びその分布評価に成功
 - ⇒ 配向性-臨界電流の相関の確認
圧延条件により配向分布が異なることを明らかにした

中性子分析

- ・圧延前の太い丸線での非破壊評価が可能であることを確認
 - ⇒ 伸線条件等と生成する相の関係を確認

まとめ：臨界電流値の向上



ご清聴ありがとうございました

謝辞

下記の方々のご協力の下で実施致しました。謝意を表します。

JAEA 内海様、井川様
茨城大学 石垣様、星川様、スリスティアニンティアス様、小黑様
茨城県 林様、森井様、今瀬様、若林様
JASRI 大坂様、佐藤様、廣澤様、古宮様、渡辺様
SES 梅本様、高尾様
住友電工 山崎、加藤、菊池、綾井、中島、小林、林、佐藤、
齊藤、飯原、松本、上村、西澤

放射光利用: SPring-8のBL16-XU/B2、BL19B2、BL46XUにてJASRIの協力の下、以下の課題にて行われたものです。C02B16XU-3018-N, C04A16XU-3030-N, C04B16XU-3031-N, 2005A0373-Ni-np-TU, C05A16XU-3031-N, 2005B0959, 2005B5031, 2006A5030, 2006A5331, 2006B5031, 2007A5031, 2007B1824, 2007B5030, 2008B2112, 2008B5030, 2009A5030, 2009B5030, 2010A5030

中性子利用: 以下で実施したものです。JRR-3利用はJAEA・茨城県・放振協の協力の下、2008年度の中性子利用技術移転プロジェクト S-19で、J-PARC利用は、J-PARCセンター・茨城県の協力の下、課題 2009BM0015、2010AM0016、2010BM0014で、それぞれ実施致しました。