

# 中性子ビーム利用高度化技術の開発

研究代表者

加倉井和久(日本原子力研究開発機構)

研究責任者

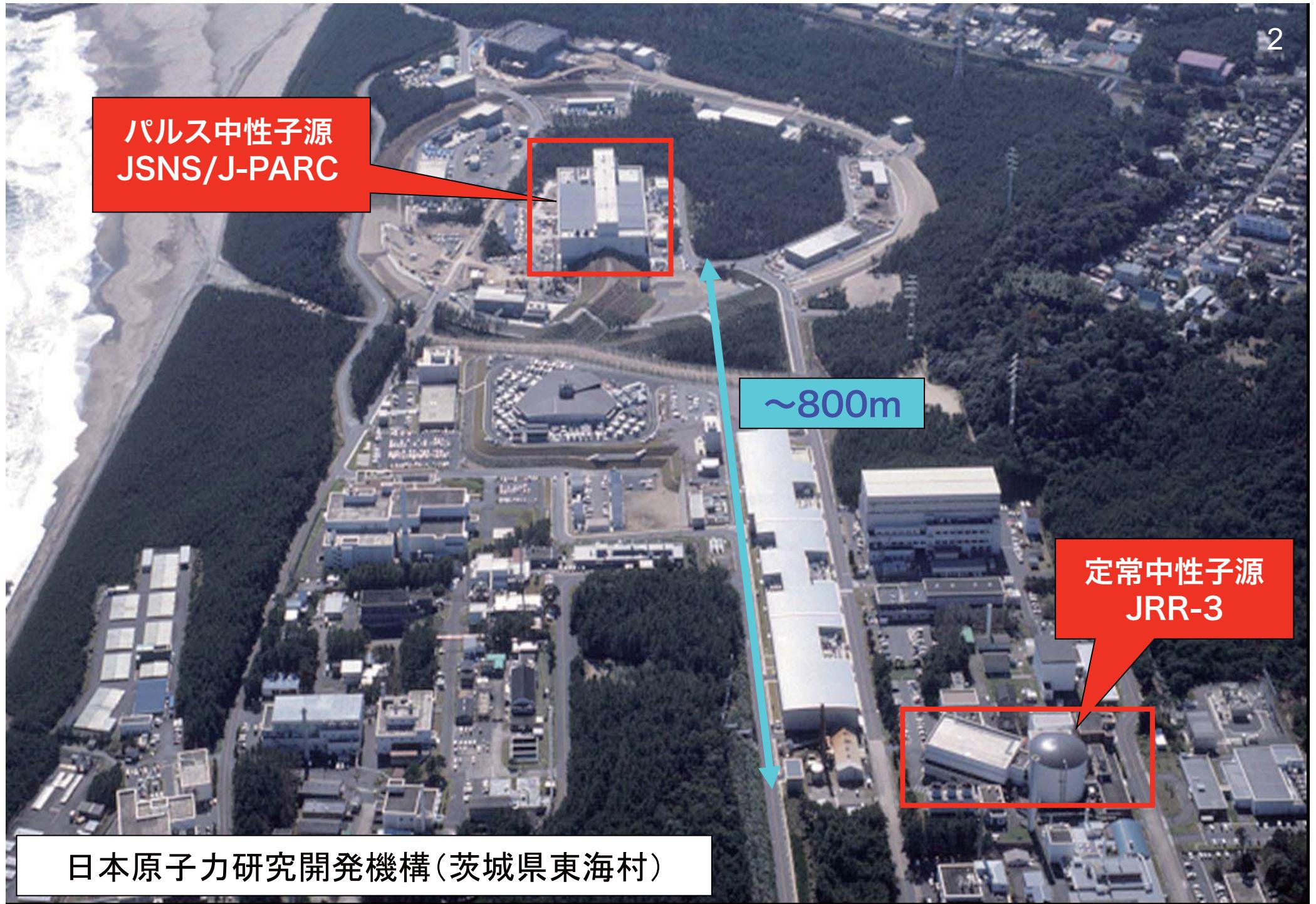
鬼柳善明(北海道大学)

山田和芳(東北大学)

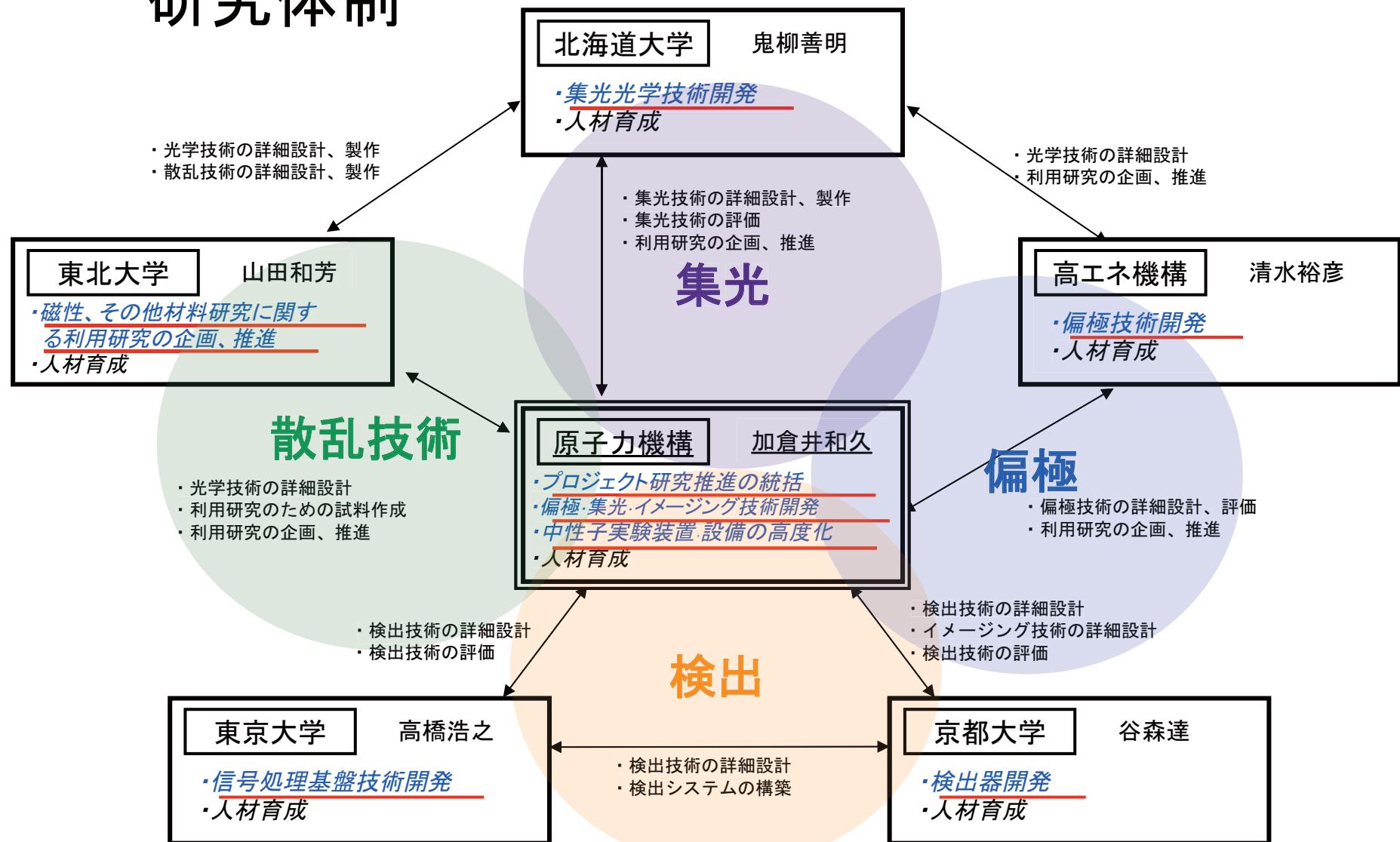
清水裕彦(高エネルギー加速器研究機構)

高橋浩之(東京大学)

谷森 達(京都大学)



# 研究体制





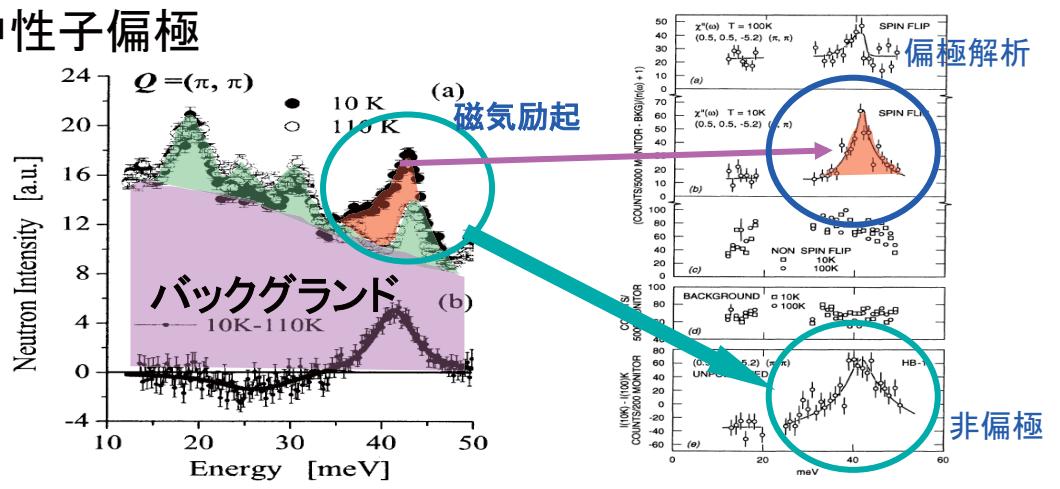
Logo designed by H. Shimizu

# デバイスの高度化 -1- 偏極

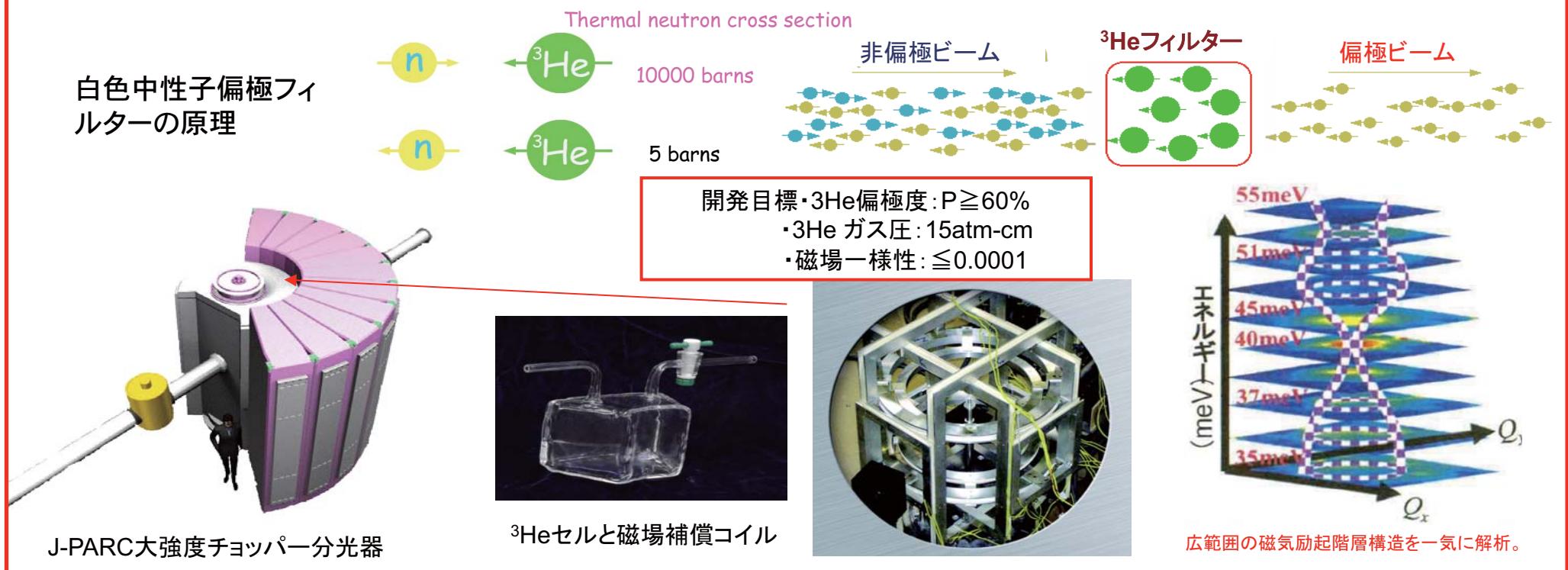
## 従来技術: 単色または狭いエネルギー範囲の中性子偏極



偏極モノクロメータ  
(単波長偏極)



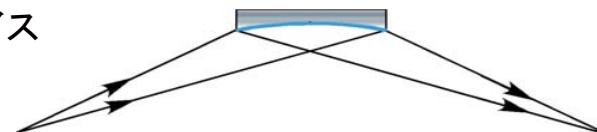
## 新技術: パルス白色または広いエネルギー範囲の中性子偏極



## デバイスの高度化 -2- 集光・整形

従来技術: 単色または狭いエネルギー範囲の中性子集光

既存デバイス



トロイダル形状单層ミラー

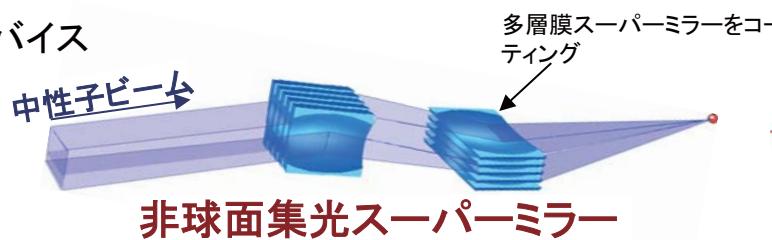


発展型ハルバッハ六極磁石

新技术: パルス白色または広いエネルギー範囲の中性子集光

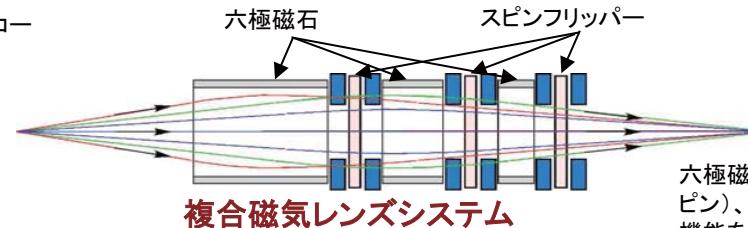
→ J-PARCの大強度パルス中性子源と組合せにより、中性子散乱法の解析能力を約100倍向上できる！

開発デバイス



非球面集光スーパーミラー

開発目標・反射臨界角:  $m \geq 3$   
・反射率:  $R > 80 @ m=4$



複合磁気レンズシステム

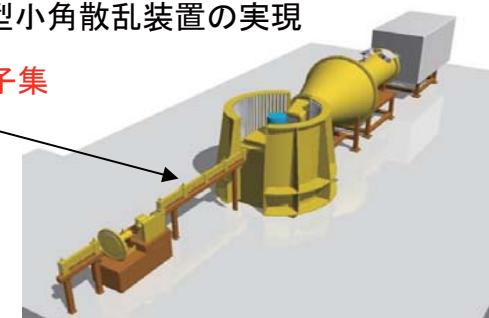
六極磁石の集光(正極性スピン)、発散(負極性スピン)機能を組合せてパルス中性子を一定の焦点距離で集光する。

開発目標  
・集光波長帯域幅  $\Delta\lambda \geq 0.25\text{nm}$

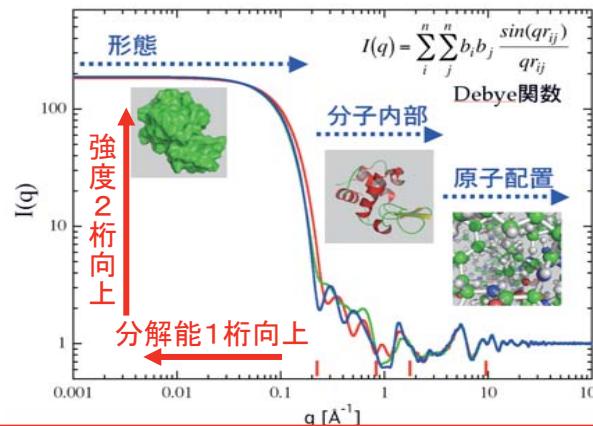
利用研究

パルス中性子集光型小角散乱装置の実現

パルス白色中性子集光素子



J-PARC大強度小角散乱装置(HI-SANS)



ナノメートルからミクロンスケールの階層構造を一気に解析。

# デバイスの高度化-3- 検出

## 中性子ラジオグラフィー

現状技術：エネルギー積分型

白色定常中性子の利用

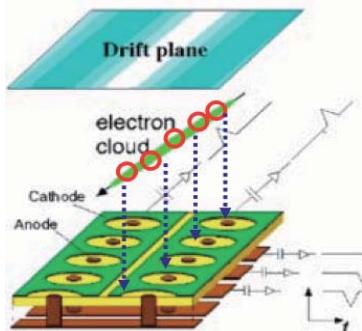
→エネルギー平均低コントラスト像

開発技術：エネルギー分析型

パルス中性子のTOF法利用

→高いエネルギーコントラスト像

### 設置構想



$\mu$ -pic型検出器  
信号処理技術

+

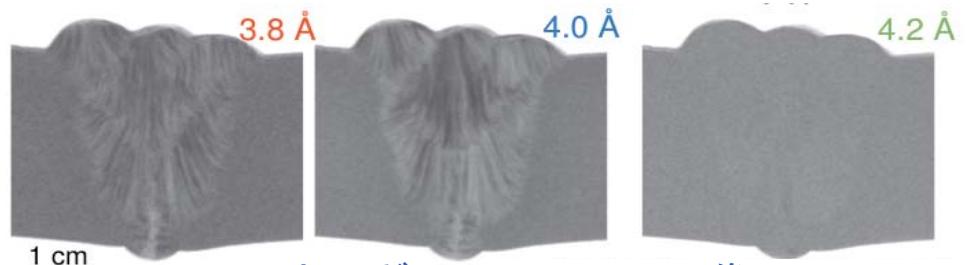
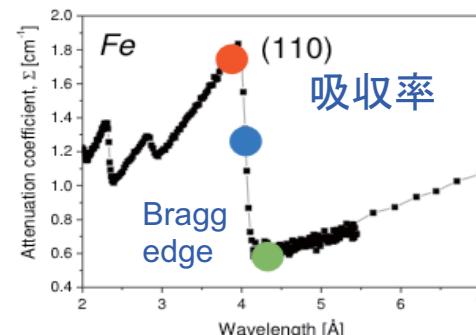
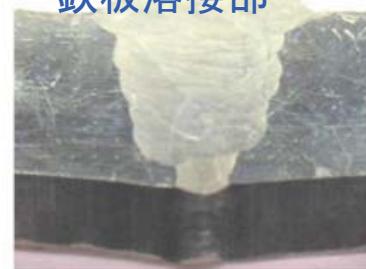


J-PARC新材料解析装置(匠)

開発目標: 高分解能・高計数率  
・検出エリア: 10~30cm<sup>2</sup>  
・位置分解能: 50μm  
・計数能力: 10MHz

### 応用計画: 材料破壊機構解明

#### 鉄板溶接部



エネルギーコントラスト像

歪み集中部の水素分布評価+散乱局所評価  
→水素脆性機構評価・抑制

$^3\text{He}$ フィルター

偏極ラジオグラフィー

# 年次計画

項目	1年度目	2年度目	3年度目	4年度目	5年度目		
偏極	多色入射ビーム偏極技術 開発・実用化(回折・散乱)						
			多色散乱ビーム偏極度解析技術 開発・実用化(回折・散乱)				
				多色入射・散乱ビーム偏極システム 開発・実用化(回折・散乱)			
集光	磁気偏極集光システム 開発・実用化(小角散乱)						
	高精度湾曲集光ミラー 開発・実用化(回折・反射)						
検出	エネルギー分析型高分解能ラジオグラフィー システム設計・開発・実用化						
	信号処理技術開発			偏極ラジオグラフィー技術 開発・実用化			
利用研究	ナノ磁性材料評価		機能性材料評価(高温超伝導体, マルチフェロイック)				
			ナノ磁性材料・会合蛋白質評価				
			工業材料評価(鉄鋼材料水素脆性)				

## 会合、イベント等

9/1-9/5 PNCMI2009 東海村リコッティ

参加者数は111名、海外からの参加者は57名で、52の口頭発表(内29招待講演)が13セッションで行われ、53のポスター発表が2つのポスターセッションで行われた。

10/27 キックオフミーティング 原子力機構東海研究所  
参加者:25名

11/21 パルス中性子イメージングに関する打ち合わせ  
原子力機構-東京事務所  
参加者:13名

予定 3月中  
「量子ビーム基盤技術開発プログラム」の全体会合を北大で

## **PNCMI2008 / QuBS2008**

### **The 7<sup>th</sup> International Workshop on Polarized Neutrons in Condensed Matter Investigations The 2<sup>nd</sup> International Symposium of Quantum Beam Science Directorate of JAEA**

*Techno Community Square RICOTTI, Tokai, Ibaraki, Japan*

*Sept. 1, 2008 – Sept. 5, 2008*

#### **Sponsored by**

Quantum Beam Science Directorate, JAEA

#### **Co-Sponsored by**

Advanced Science Research Center, JAEA

Institute for Materials Research, Tohoku University

Neutron Science Laboratory, ISSP, University of Tokyo

J-PARC Center

KEK

Kyoto University Research Reactor Institute

Quantum Beam Fundamentals Development Program, JST, MEXT

#### **Supported by**

The Japanese Society for Neutron Science

The Magnetics Society of Japan

Ibaraki Prefecture

量子ビーム基盤技術開発プログラム「中性子ビーム利用高度化技術の開発」  
第1回会合（キックオフ会合）

日時：2008年10月27日（月）10:30-17:50

場所：日本原子力研究開発機構 情報交流棟3F第2会議室

参画機関：日本原子力研究開発機構、北海道大学、東北大学、  
高エネルギー加速器研究機構、東京大学、京都大学

プログラム

1. 開会、全体計画(20min)

10:30 「中性子ビーム利用高度化技術の開発」の目標と全体計画 (15min)

加倉井和久

2. 技術の開発と応用

中性子偏極、検出・イメージング、集光・整形に関する国内の基盤技術の現状、世界の動向、  
利用研究の展開、適用を図るサイエンスの対象、開発計画等について紹介、議論

2-1. 中性子偏極(75min)

偏極技術の基礎開発、JRR-3およびMLFでの応用について紹介、議論

10:50 中性子偏極技術の開発(15min) 猪野隆

11:05 中性子ビーム集光システムおよび  
偏極中性子散乱実験システムの評価と応用(15min)

山田和芳、大山研司  
鈴木淳市

11:20 中性子偏極システムの開発と応用(15min)

昼食

2-2. 中性子検出・イメージング(90min)

パルス中性子イメージング、中性子イメージング・検出技術の高度化について紹介、議論

13:00 中性子イメージング技術の開発と応用(15min) 鬼柳善明

13:15 中性子イメージングシステムの開発と応用(15min) 松林政仁、酒井卓郎

13:30 中性子検出・イメージングシステムの最適化(15min) 谷森達

13:45 中性子検出における信号処理技術の高度化(15min) 高橋浩之

休憩(10min)

2-3. 中性子集光・整形(75min)

磁気光学、反射光学技術の開発と応用について紹介、議論

14:40 中性子磁気集光システムの開発と応用(15min) 奥隆之

14:55 中性子反射集光システムの開発と応用(15min) 曽山和彦

15:10 中性子集光技術の開発と応用(15min) 鬼柳善明、古坂道弘

15:25 中性子光学技術の開発(15min) 清水裕彦

## パルス中性子イメージングに関する打ち合わせ

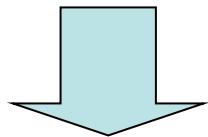
エネルギー選別型の中性子イメージングが世界的に注目されてきています。特にパルス中性子源を用いたイメージングは北大とISISがそれぞれ独立に進めているだけで、まだ、発展途上であり。今後の進展が期待されている分野です。今回は、パルス中性子イメージングについて、日本における研究を高めるために、関係者で当面および将来を見越した研究実施シナリオについて議論することを目的としています。

1. 日時： 11月21日（金）12：20～15：00
2. 場所： 原子力機構-東京事務所 第2会議室 （新生銀行ビル12階）
3. 内容：
  - I. 概要講演
    - (1) パルス中性子イメージングに関して（北大：鬼柳） 15分
    - (2) BL10におけるイメージング申請（JAEA-量子ビーム：松林） 15分
    - (3) 中性子イメージングの最近の手法（J-PARCセンター：篠原） 10分
    - (4) J-PARCセンターとしてのイメージングへの取り組み  
NOBORUの概要とイメージング中性子特性（J-PARCセンター：甲斐） 15分
    - ロータリーコリメーターの概要（J-PARCセンター：及川） 5分
  - II. 研究シナリオなどの議論  
NOBORUビームタイム（J-PARCセンター：前川） 5分  
中性子場評価、マシンタイムの調整、研究シナリオと体制など 100分

# 東北大の貢献 偏極用スピンドル容器の作成

Heガスリークを避けるため、GE180シリケート  
ガラスを使用。

作業温度領域がせまく、加工しにくい。



東北大多元研ガラス工場で作成可能  
猪野さんのテストズミ



## Test of $^3\text{He}$ polarizing filter (SEOP)

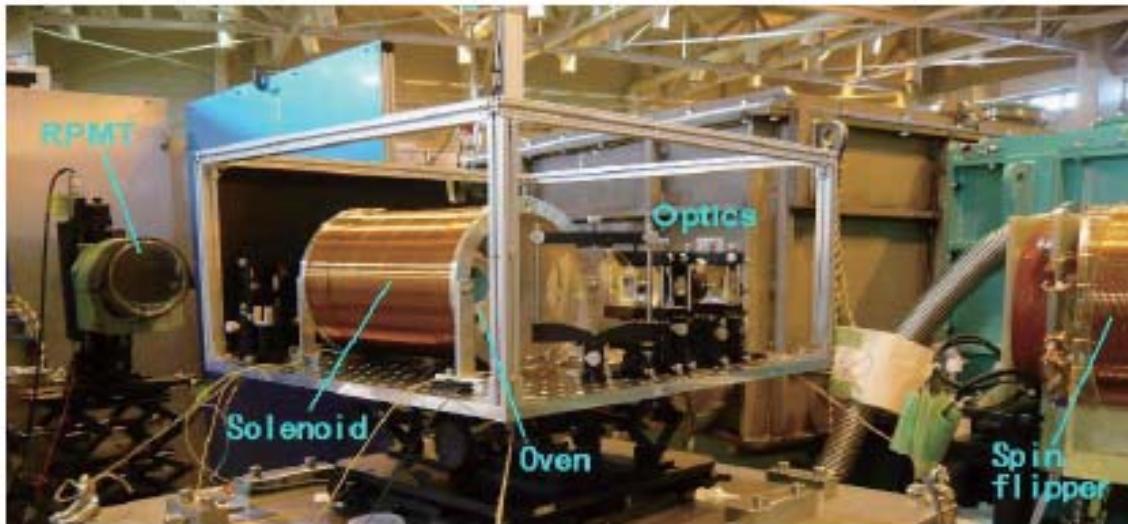
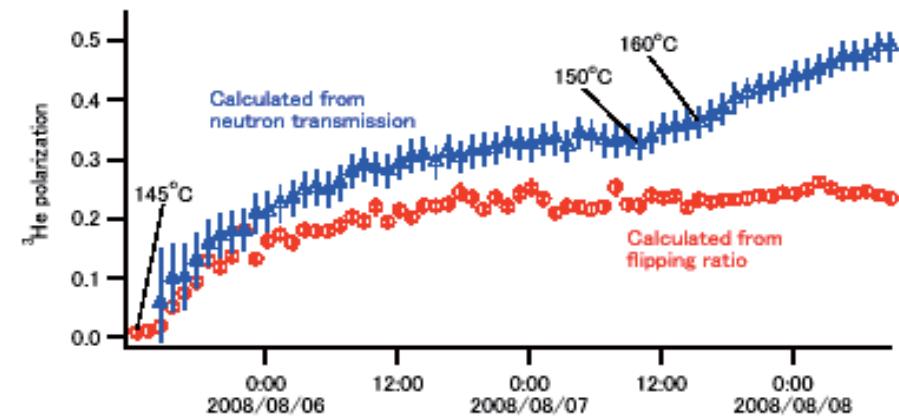
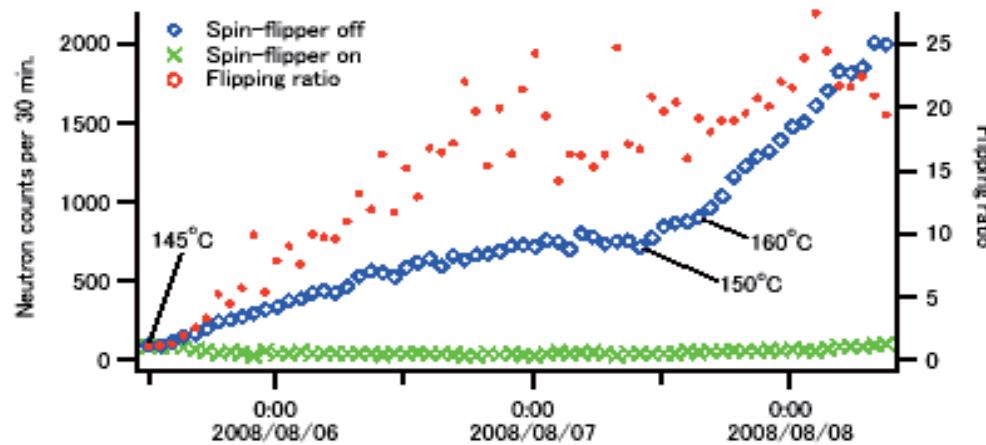
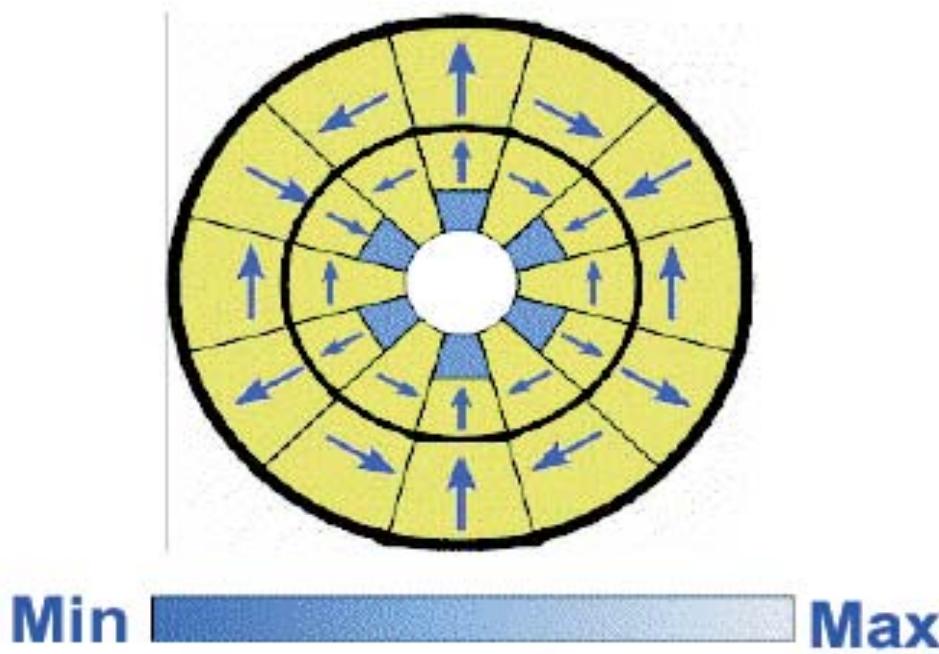


図3 実験準備中のセットアップ。暗箱を閉める前で、セル昇温用のホットガン等は、まだ接続されていない。



# 二重構造回転六極磁石の開発



Focusing Power

Y. Iwashita and H.M. Shimizu

Sextupole Field Strength :

$$|B| = \frac{G}{2} r^2$$

$$4,300 < G < 22,000 \text{ T/m}^2$$

Magnet Length = 2 m

$L_1 = L_2 = 5\text{m}$



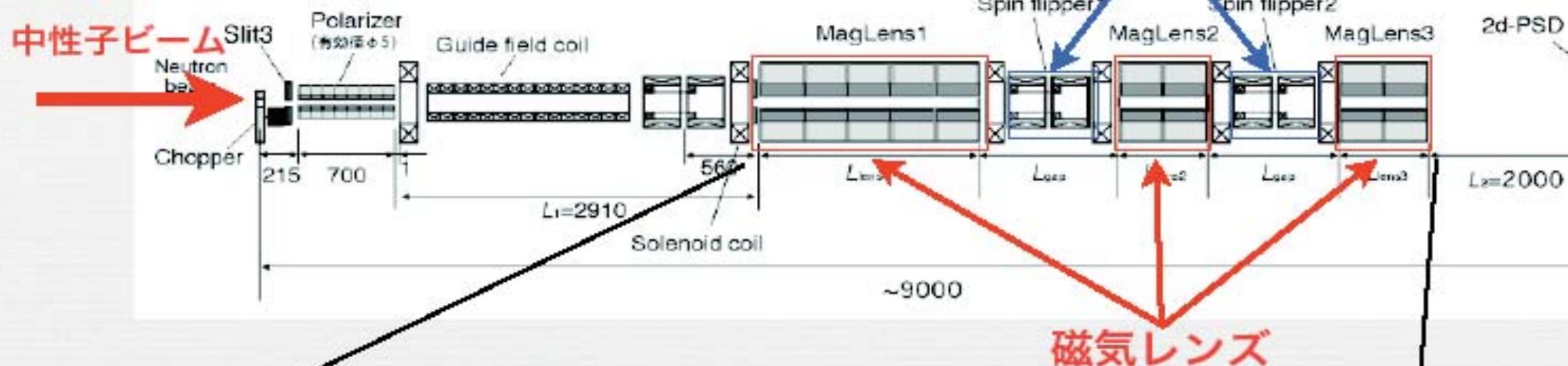
$$6.0 \text{ \AA} < \lambda_f < 8.7 \text{ \AA}$$



# 多重磁気レンズシステムの試作と評価

スピンフリッパー

奥、吉良、篠原、鈴木、他



2008/9/25 JRR-3 NOPビームラインにプロトタイプを構築

# micro-TPCの応用 中性子検出器



2008/9/20

J-PARC 物質生命科学研究施設  
パルス中性子用検出器を目指して開発

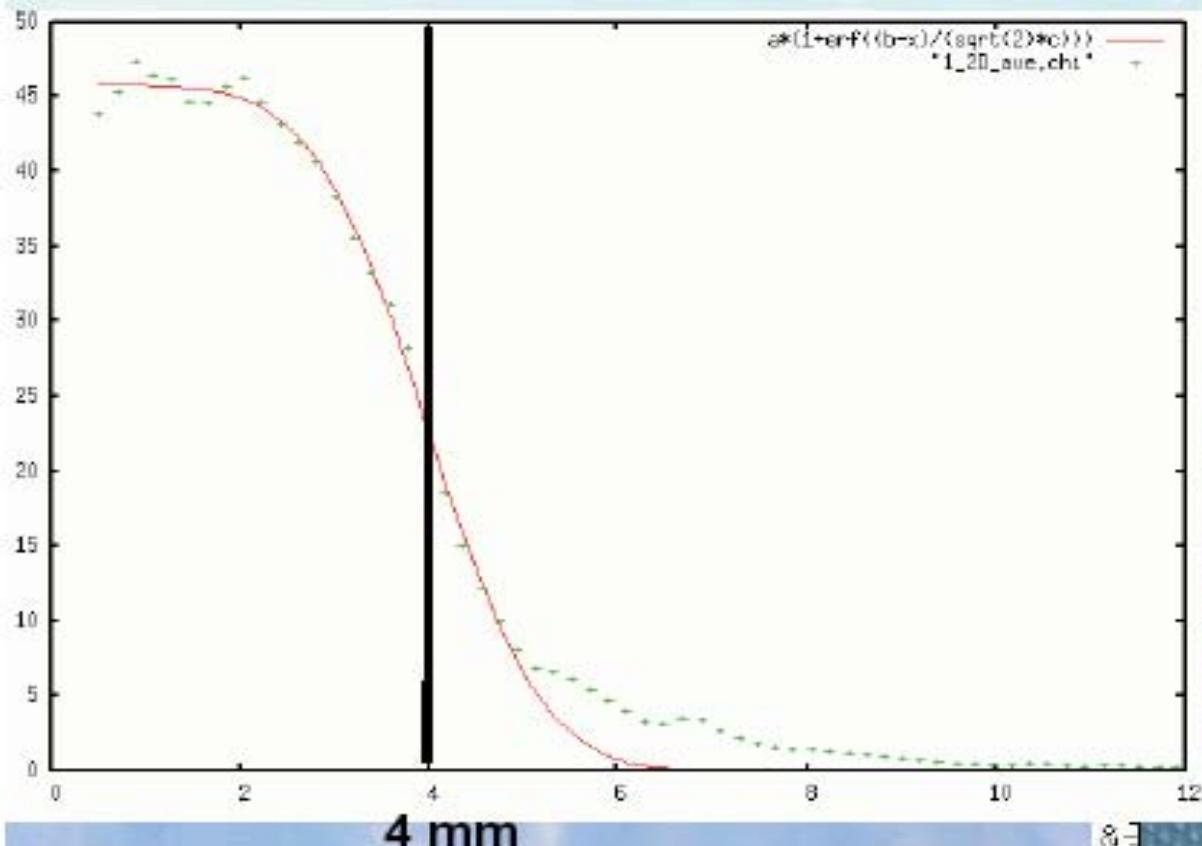
2008年9月  
JRR-3 NOPビームライン  
中心波長7.6Åの冷中性子を照射

Ar 80%, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 9%, <sup>3</sup>He 11%  
検出部 10cm × 10cm × 0.4cm  
第一回目の試験なので検出効率向上は  
考慮していない

新しい読み出しロジックで  
proton (765 keV)+triton (191 keV)  
の飛跡を検出

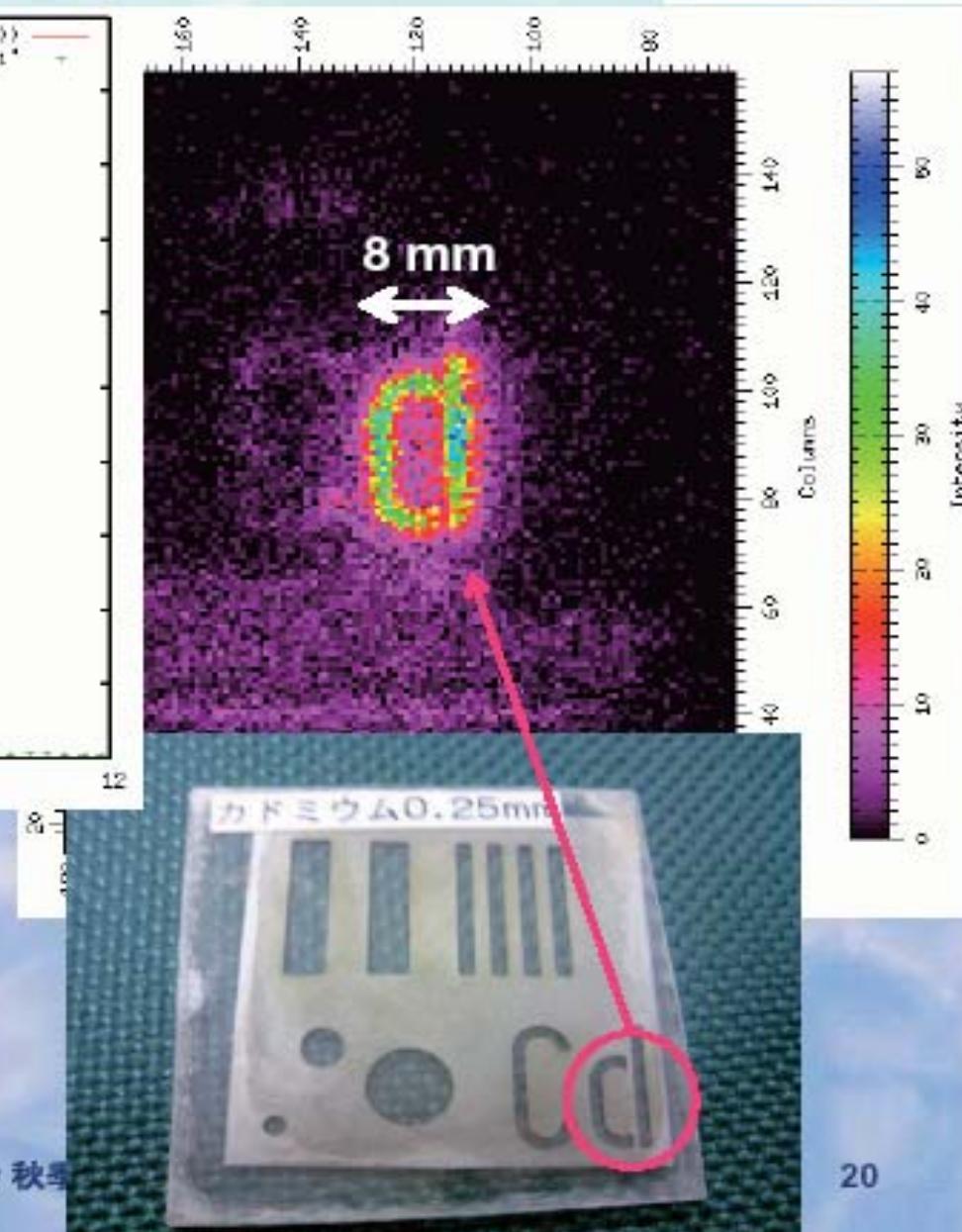
ガス層が薄いため、全飛跡を検出できない  
→ヒットした座標を平均

# 位置分解能



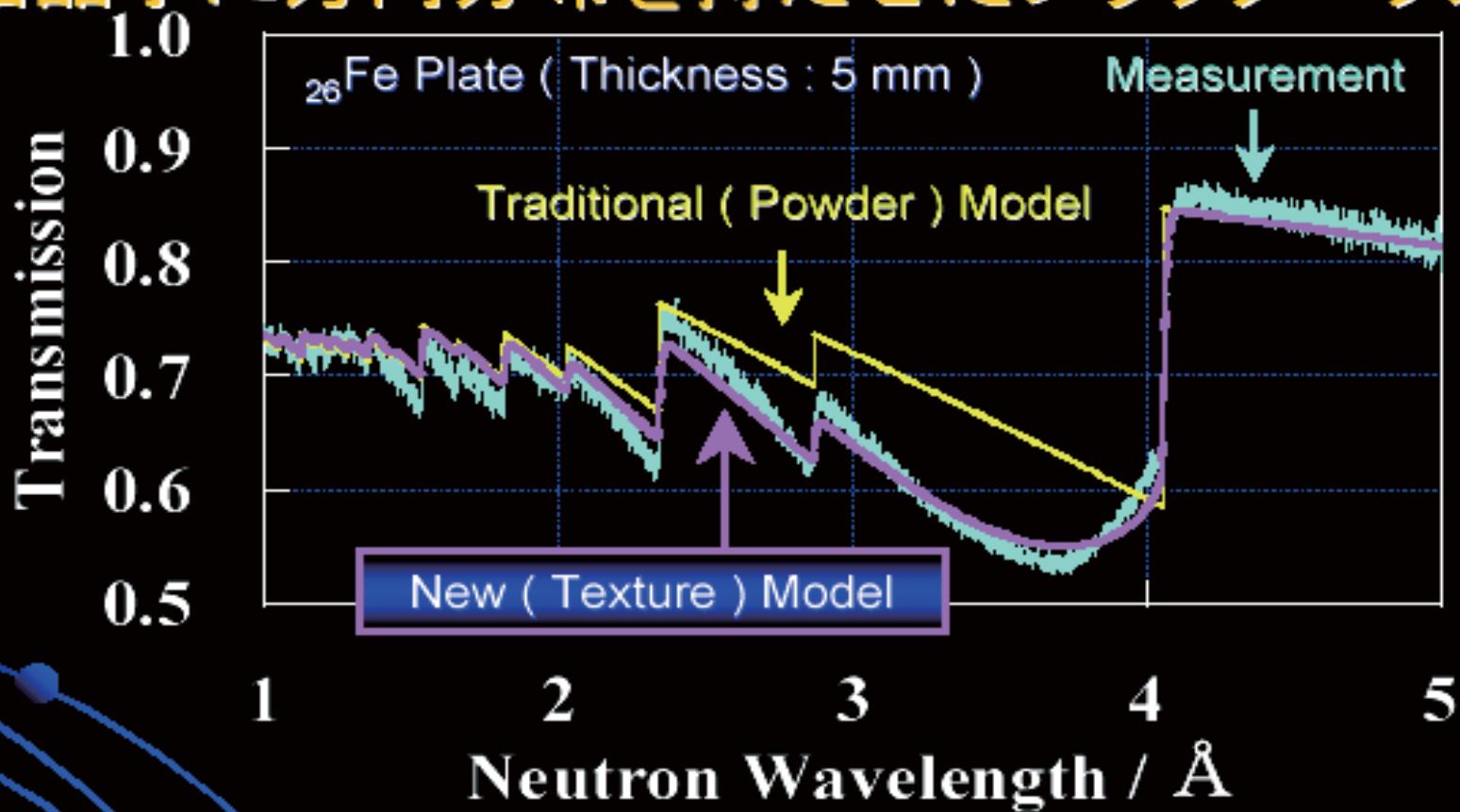
ダイレクトビームをΦ8のCdスリットに照射  
スリット穴を中心として、プロファイルを作成  
 $r = 4$  mmで強度半分  
Error functionでfit

位置分解能 1.0 mm



## ブレックエッジ解析③

### 結晶子に方向分布を持たせたブレックエッジ



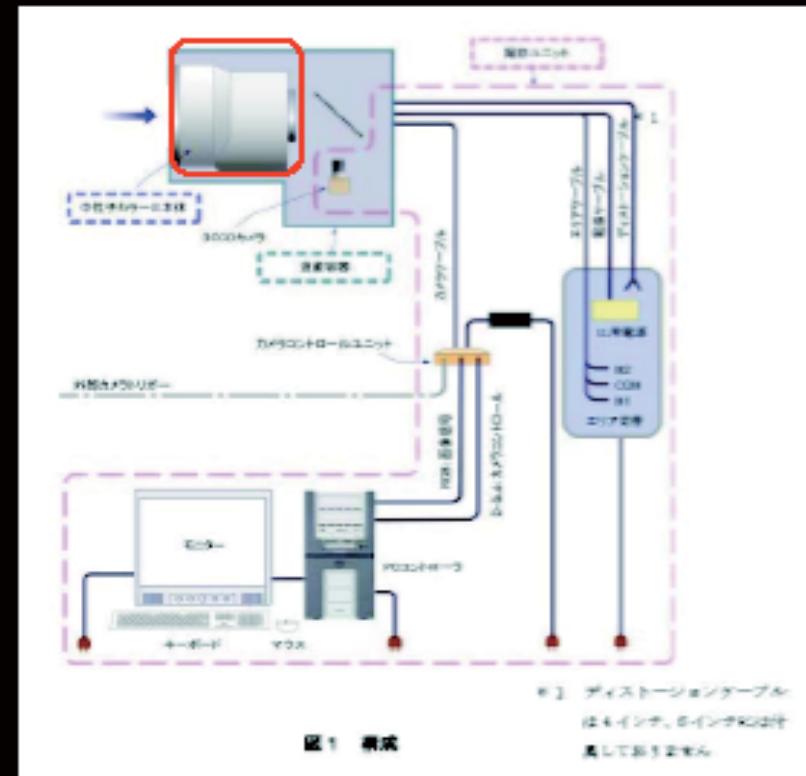
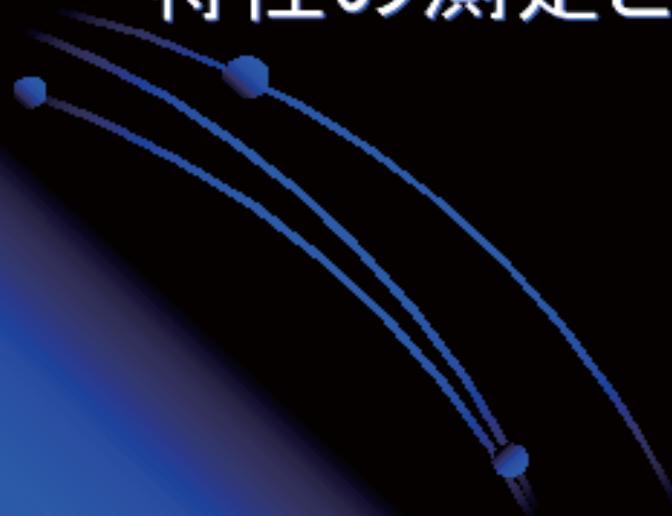
A new Bragg-edge model considering the March-Dollase correction for the preferred orientation of polycrystallite fits the measured result better than the traditional powder model Bragg-edge!

# 2008年度予定

- 中性子カラーLLの整備  
高位置分解能測定用

2月納入予定

- BL10ビームラインのビーム  
特性の測定と改善

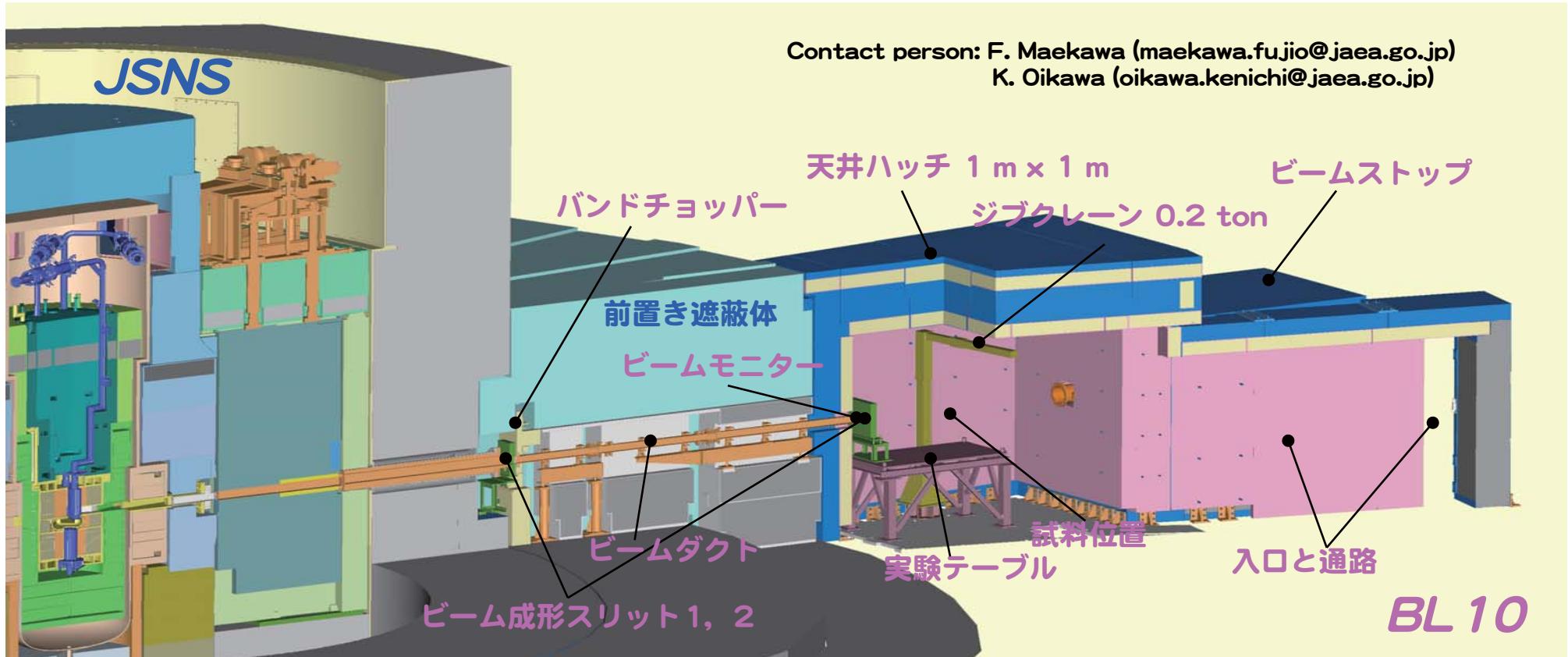


# BL 10 中性子源特性試験装置

NeutrOn Beam-line for Observation and Research Use (NOBORU)

★中性子源施設として自ら責任を持って中性子ビーム性能を把握し、質の高い中性子ビームをユーザーに提供すること。

★ビーム制御、検出器開発などを含むテストポートとしての利用。



ビームライン番号 : BL 10 (非結合型モデレータ)

L1 (モデレーター試料間距離) : 14.0 m

最大ビーム形状 : 100 mm × 100 mm

実験室空間 : 幅2.5 m × 長さ3.5 m × 高さ3.0 m

試料位置での冷中性子束 :  $4.8 \times 10^7$  [n/s.cm<sup>2</sup>]

10 meVのピーク強度 :  $1.5 \times 10^{12}$  [n/eV.s.cm<sup>2</sup>]

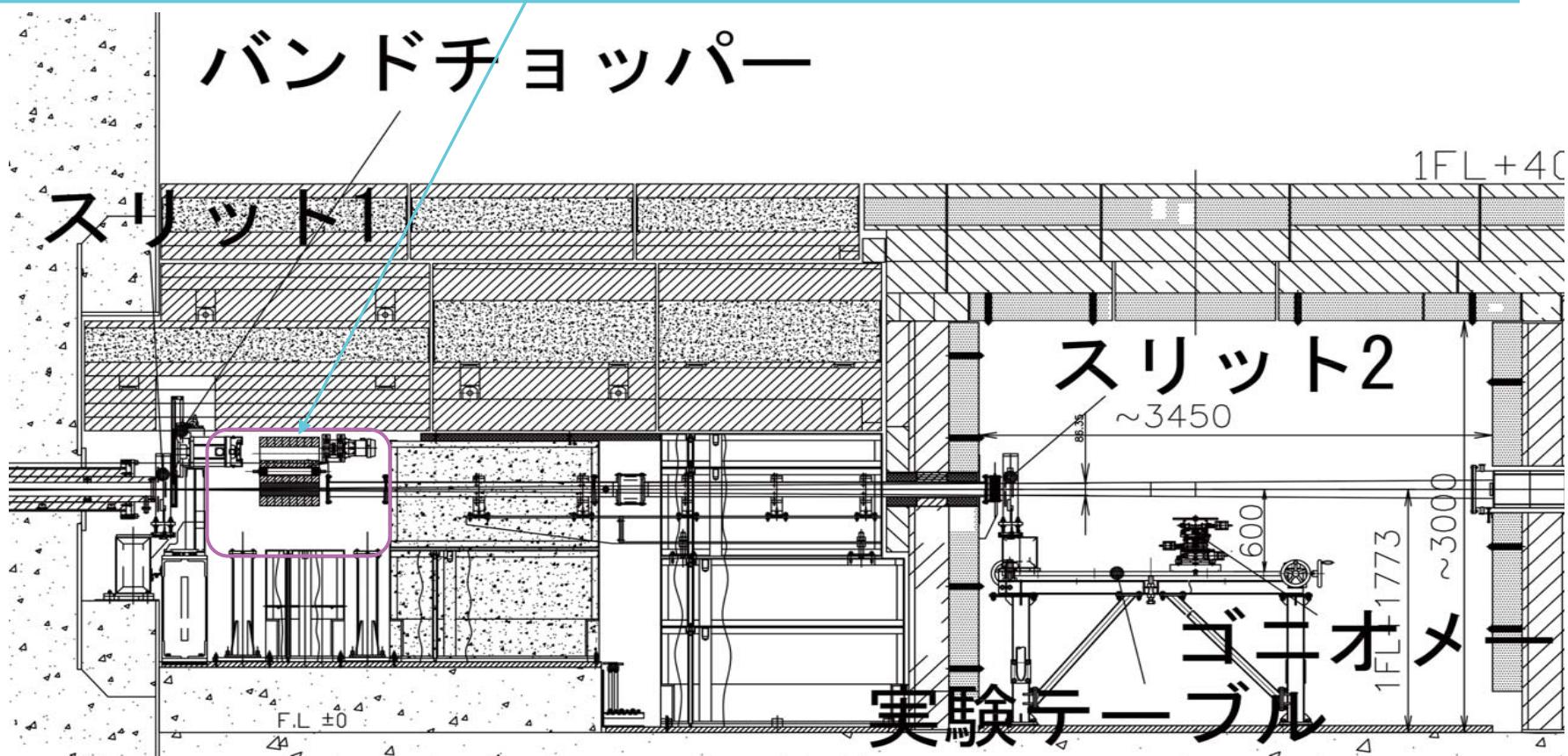
10 meVのパルス幅 (FWHM) : 33 [ $\mu$ s]

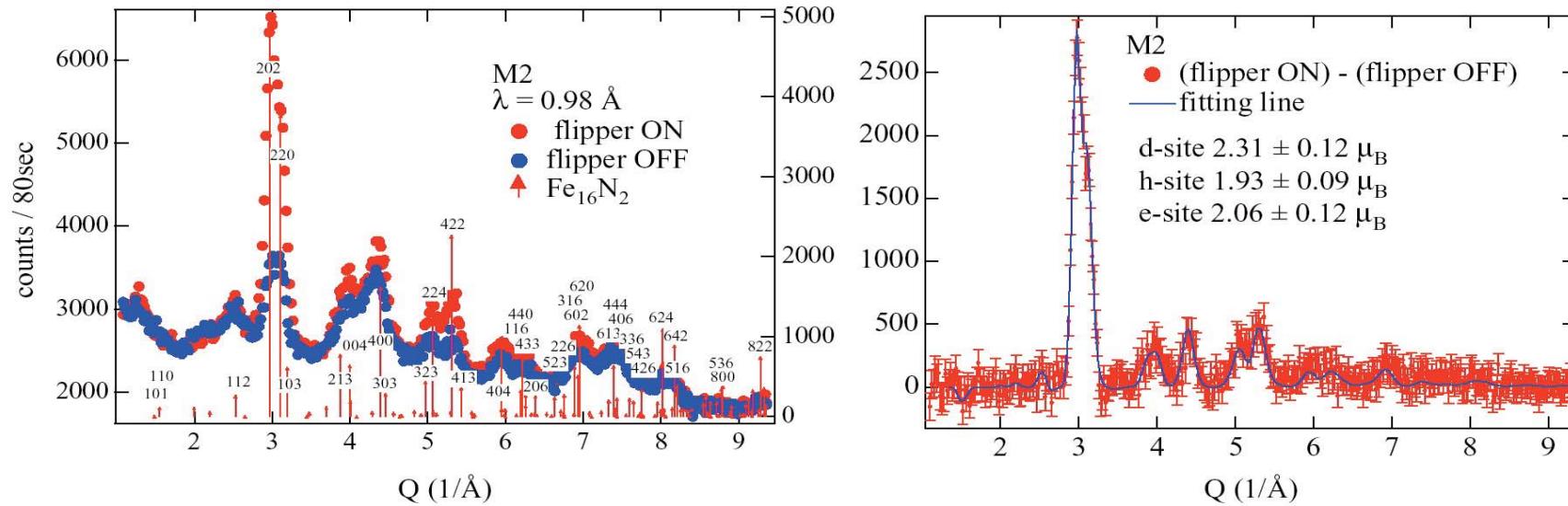
波長バンド幅 : 9 Å (シフト可能)

## NOBORU beam-line 変更案

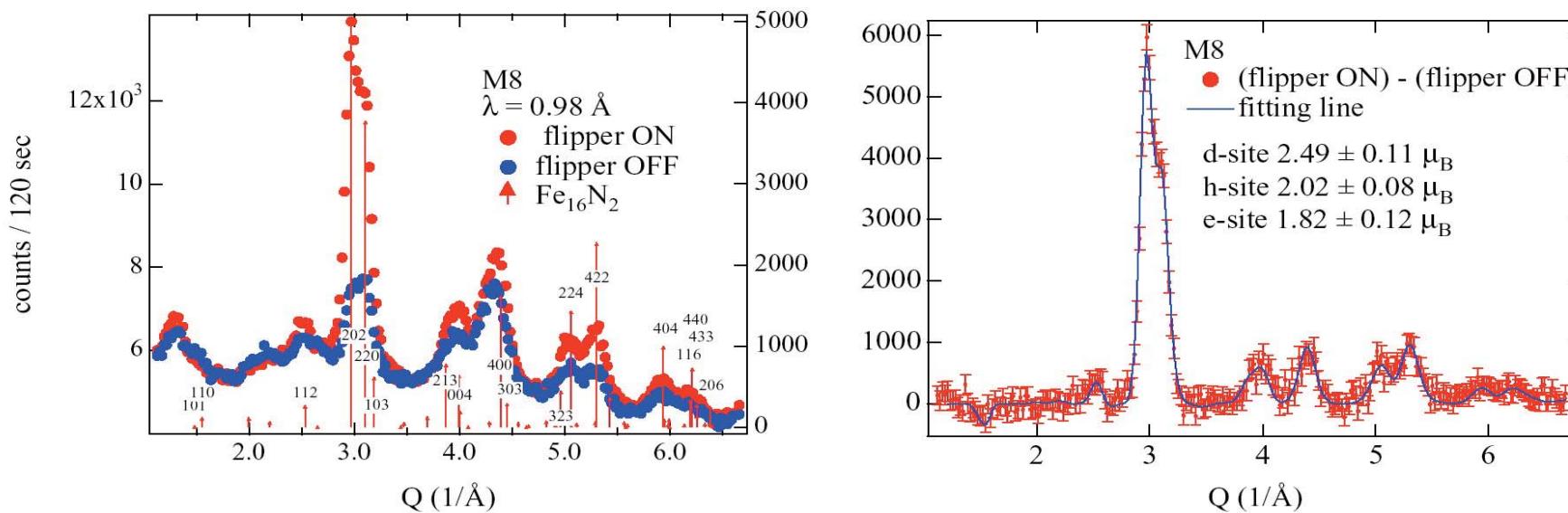
### ロータリーコリメータ 4孔タイプ

- ・1つは100mm角（開放）…これは確定。
  - ・1つはスリット1で3mm角対応の逆テーパー型
  - ・1つは49mm角（既購入品；ビームダクトエンド23mm角と対で使う）
  - ・1つは100mm角でポリエチレンと薄いPb
- \*内挿物は、入替可能。





sample M2:  $\lambda=0.98\text{\AA}$  polarized neutron diffraction pattern and the difference spectrum

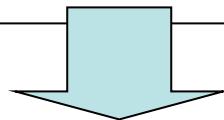


sample M8:  $\lambda=0.98\text{\AA}$  polarized neutron diffraction pattern and the difference spectrum

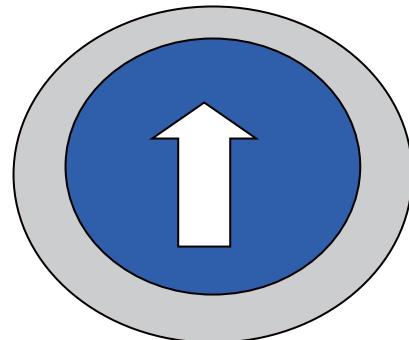
# H21年度

HERMESで偏極ビームを導入する。

Feなどの**対称性の高い強磁性体**で、粉末でFlipping Ratioの測定を行う。  
消衰効果がきかないので、正確な Ratioがえられるはず。



微粒子磁性材料(Fe-N)でのデッドレイヤー評価



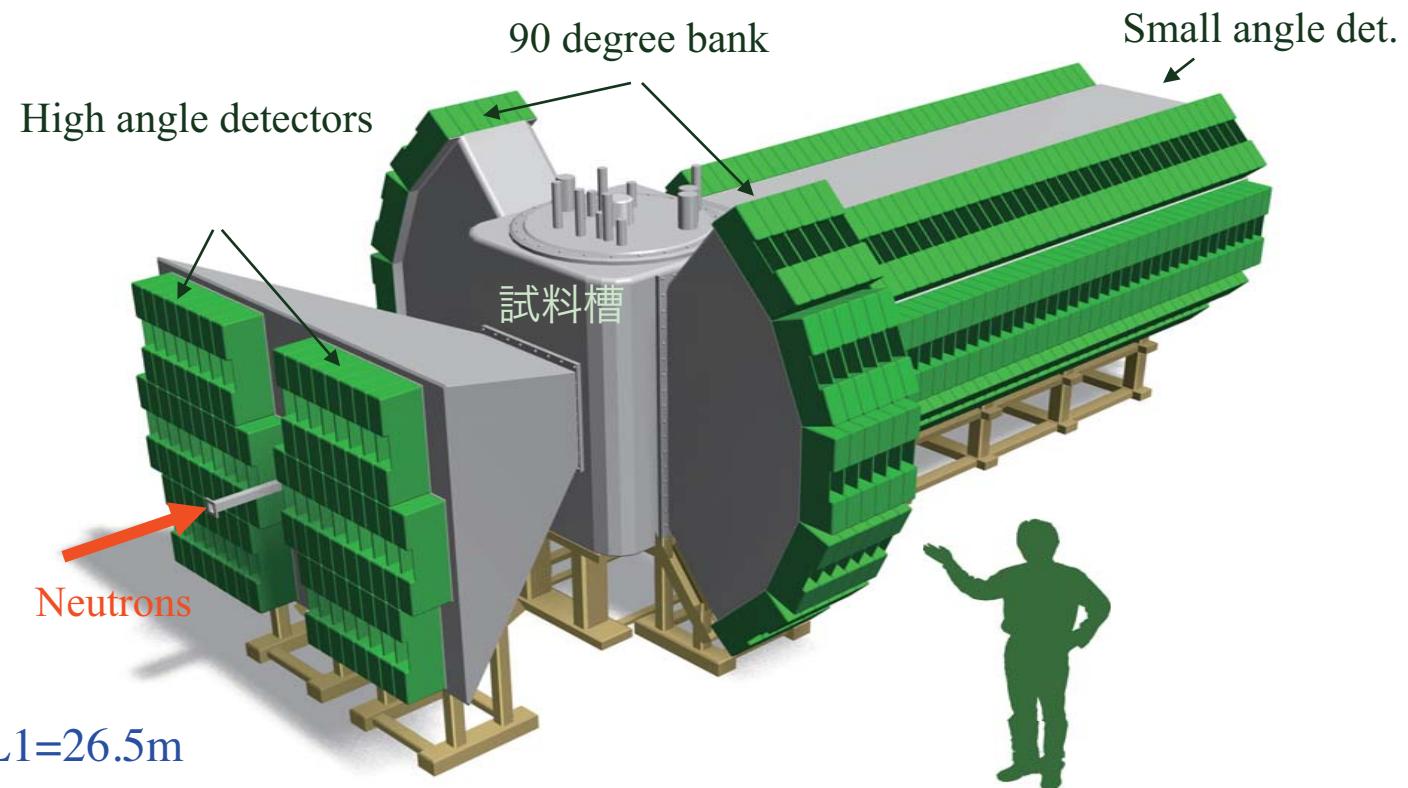
試料には強磁場をかけておく。



HERMES



自前(共通)のレーザーポンピングシステム構築の検討



Ibaraki prefecture high intensity powder diffractometer  
iMATERIA

$^3\text{He}$  polarizing filter

Drawing by courtesy of Prof. Inagaki et al., Ibaraki Prefecture

安心・安全で質の高い  
生活のできる国

国際競争力があり持続的  
発展のできる国

