

第2回総合スピン科学シンポジウム
2011年10月15日16日 山形大学小白川キャンパス

数10meV領域での偏極中性子散乱実験による物質科学研究

中性子スピンを偏極させると何ができるのか

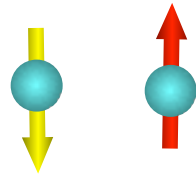
東北大学金属材料研究所 中性子物質材料研究センター

大山研司

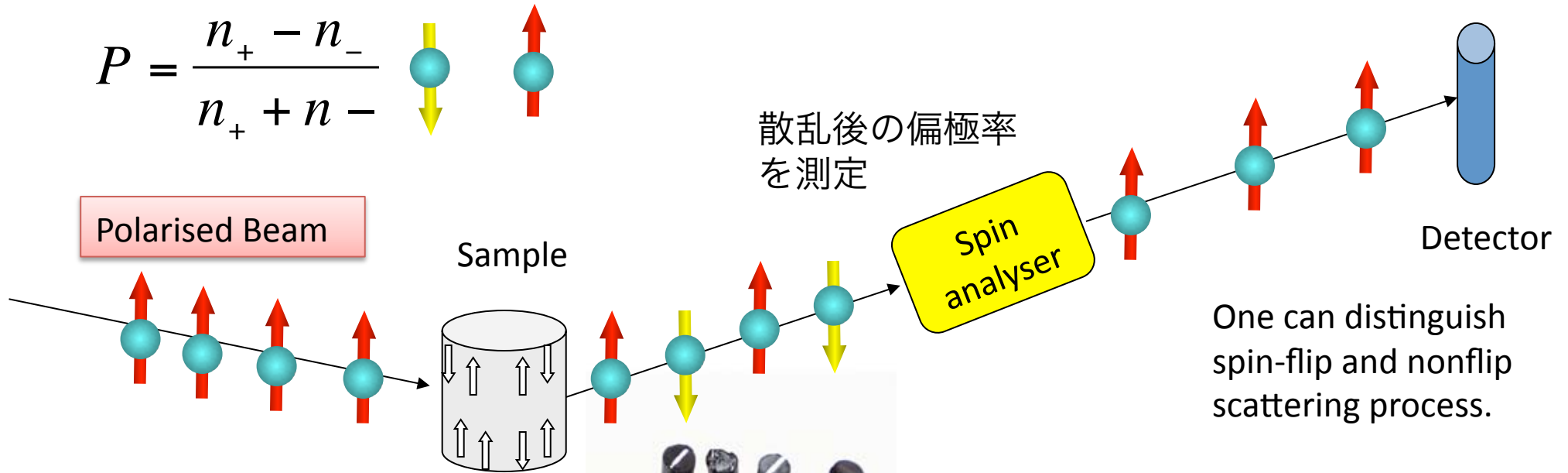


Polarised Neutron Scattering

$$P = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-}$$



散乱後の偏極率
を測定

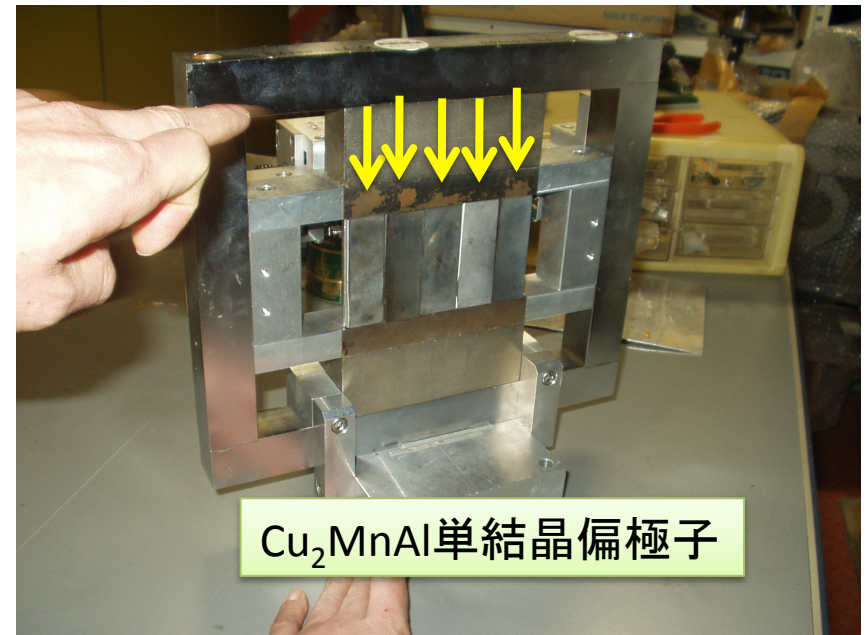


One can distinguish
spin-flip and nonflip
scattering process.

偏極中性子散乱

散乱強度・偏極度変化により、
他の方法では本質的にえられな
いスピン情報が精密にえられる。

5cm



Cu₂MnAl単結晶偏極子

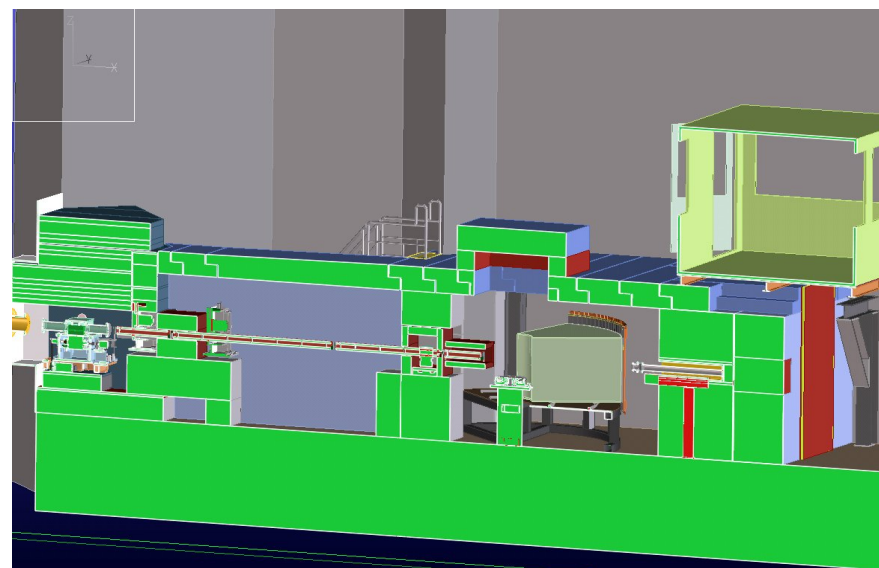
内容

偏極中性子が拓く新しい物質科学

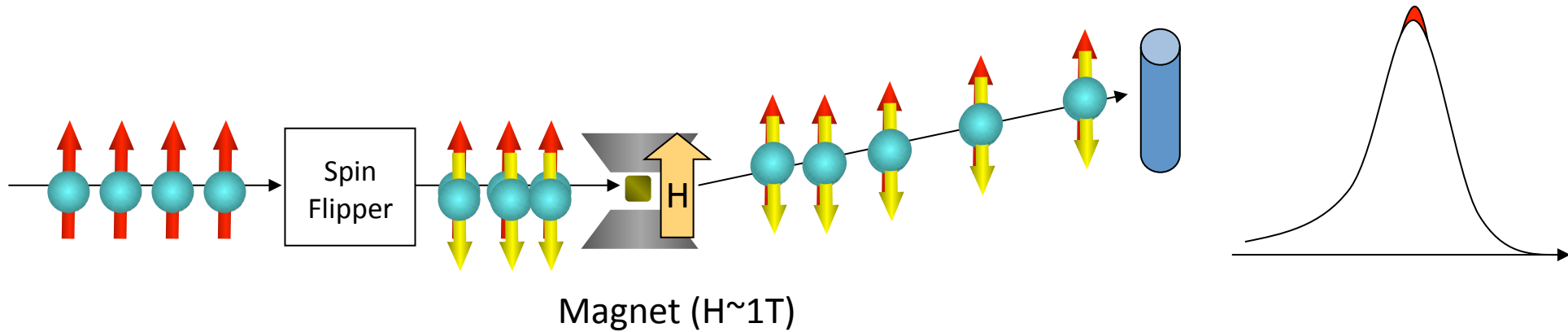
純粹磁気成分の分離

東北大－KEK J-PARC偏極分光器計画

陽子偏極への期待



Flipping Ratio Measurements



Cross section of Bragg Reflections in **Ferromagnets**

For $\left| \frac{F_M}{F_N} \right| = 0.1$

Unpolarised Beam:

$$\frac{d\sigma}{dQ_{unpol}} \propto |F_N|^2 + |F_M|^2 = |F_N|^2 \left(1 + \left| \frac{F_M}{F_N} \right|^2 \right) = |F_N|^2 \times 1.01$$

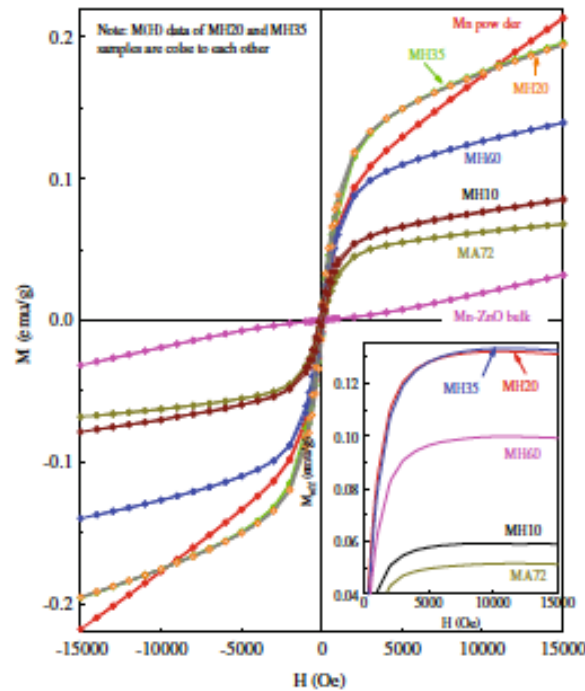
Polarised Beam:

$$\frac{d\sigma}{dQ_{\pm}} \propto |F_N|^2 + |F_M|^2 \pm \underline{2P|F_N||F_M|} = |F_N|^2 \left(1 \pm 2P \left| \frac{F_M}{F_N} \right| + \left| \frac{F_M}{F_N} \right|^2 \right) = |F_N|^2 \times \begin{cases} 1.21 \\ 0.81 \end{cases}$$

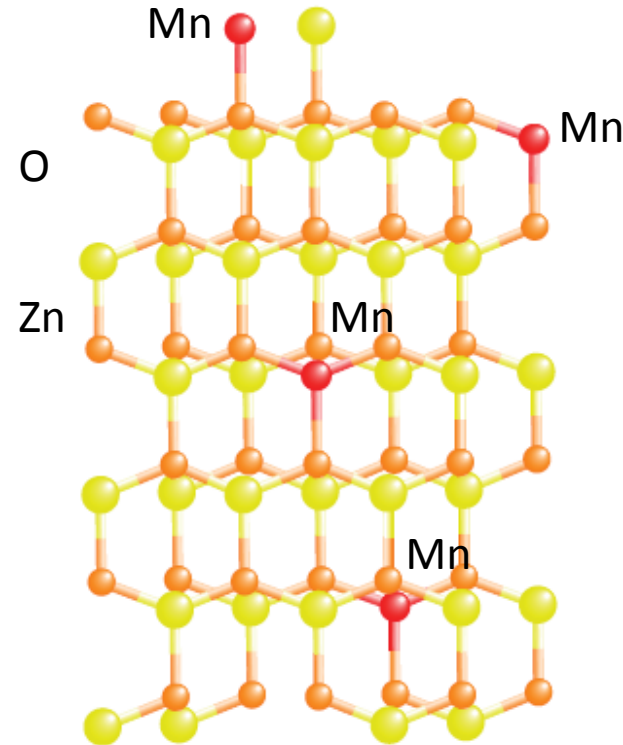
Pol. Neutron is much more sensitive than Unpol. Neutron.

ナノデバイス:ドーピング誘起強磁性

ZnO - Mnドーピング by milling



Bhowmik et al (2010)



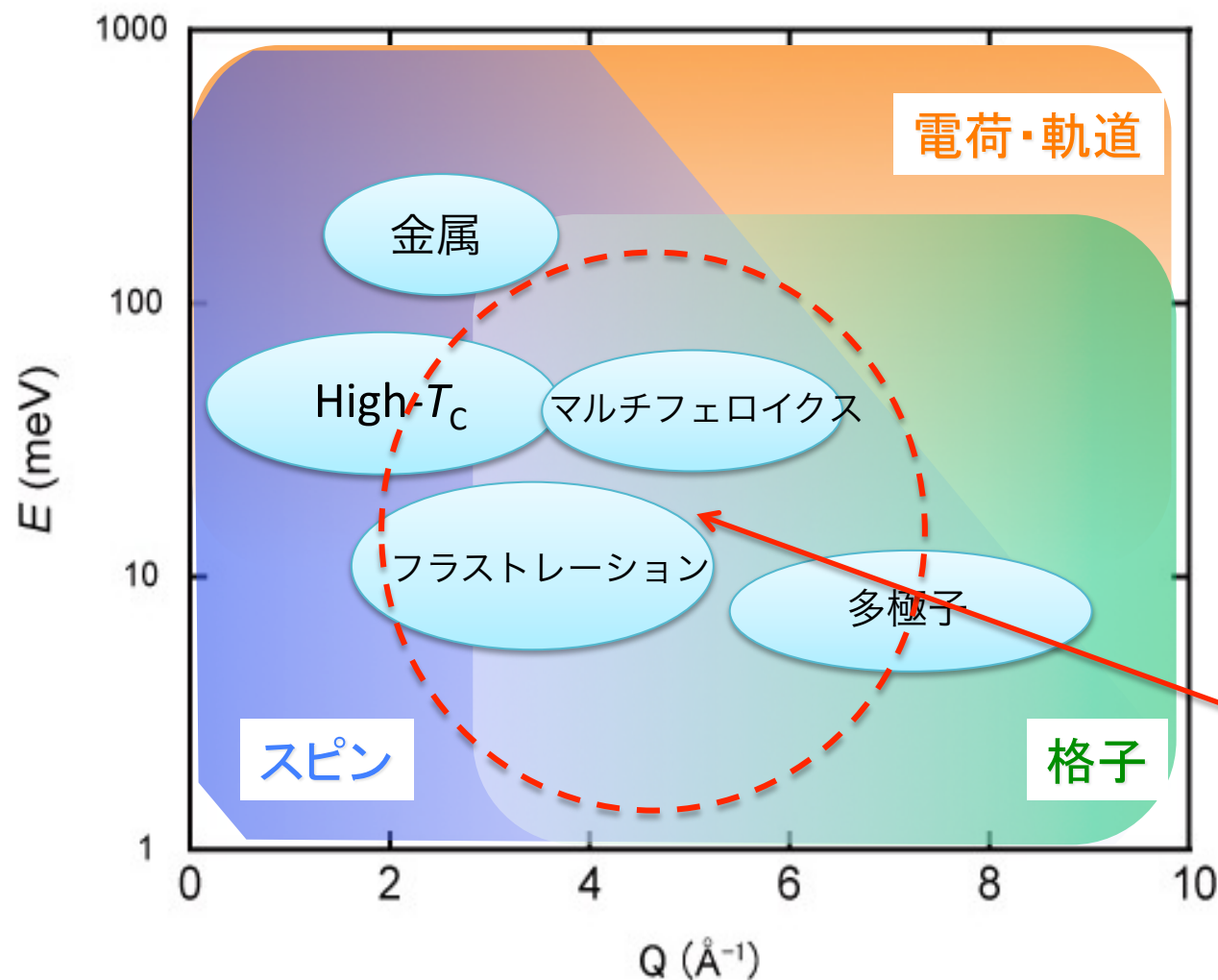
ZnO- FeO
ZnO – CoO
ZnO-MnO

Lisenkov et al (2011)

本質的な強磁性であることを証明

強相関の物理：自由度の結合

強相関電子系



多自由度の結合が重要

どこでどう結合？
1点か複数点か面か？

非偏極では難しい

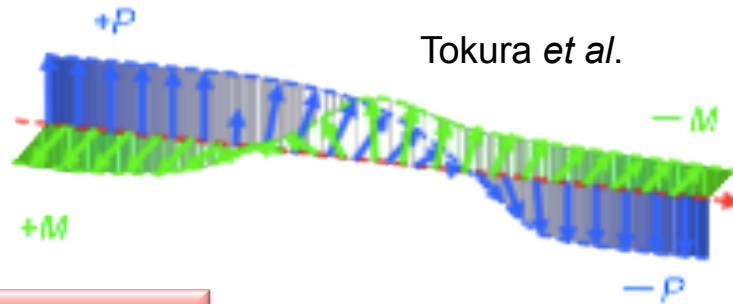


wide-Q- ω の偏極分光で
なら詳細説明が可能

全体像の理解が重要

自由度が重なる領域が重要。

新奇的な磁気—格子交差相関関係：Multiferroics



交差相関系

スピン S

磁場

電気分極
格子(電荷) P

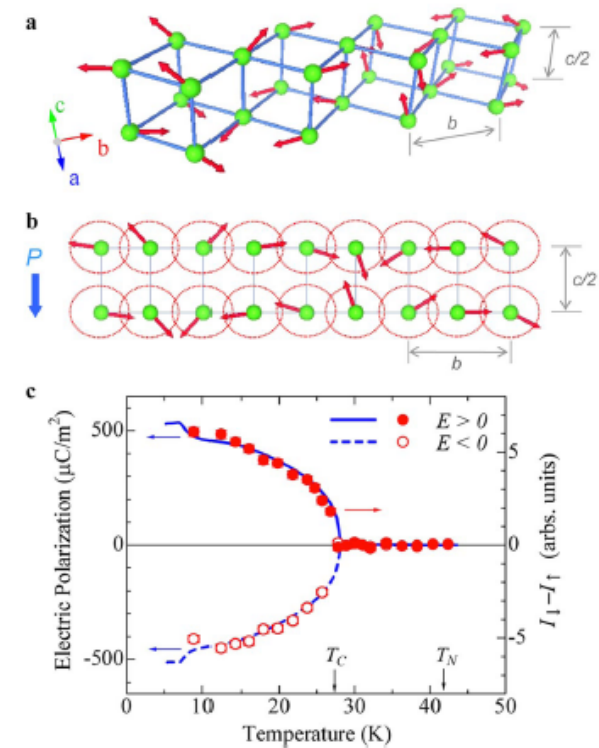
電場

本来反応しないはずの組み合わせ
での相関がおきている。

電場でスピン制御
磁場で格子制御

RMnO_3 , RMn_2O_5 , $\text{Ni}_3\text{V}_2\text{O}_8$, MnWO_4

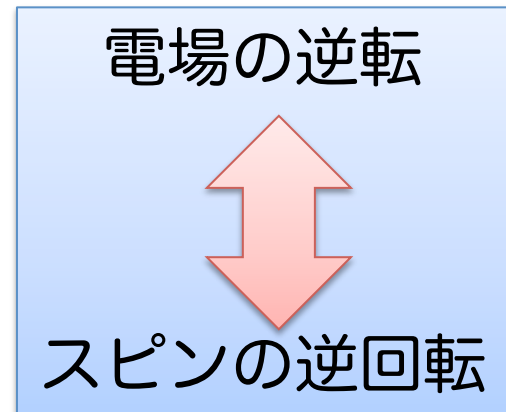
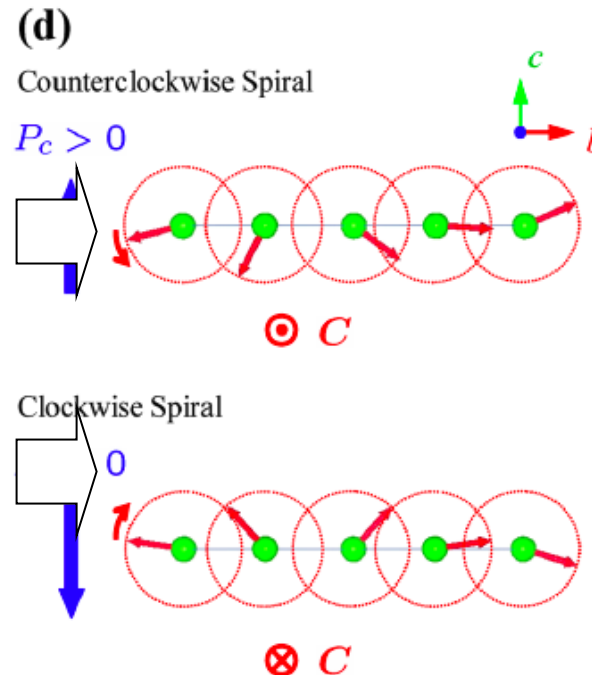
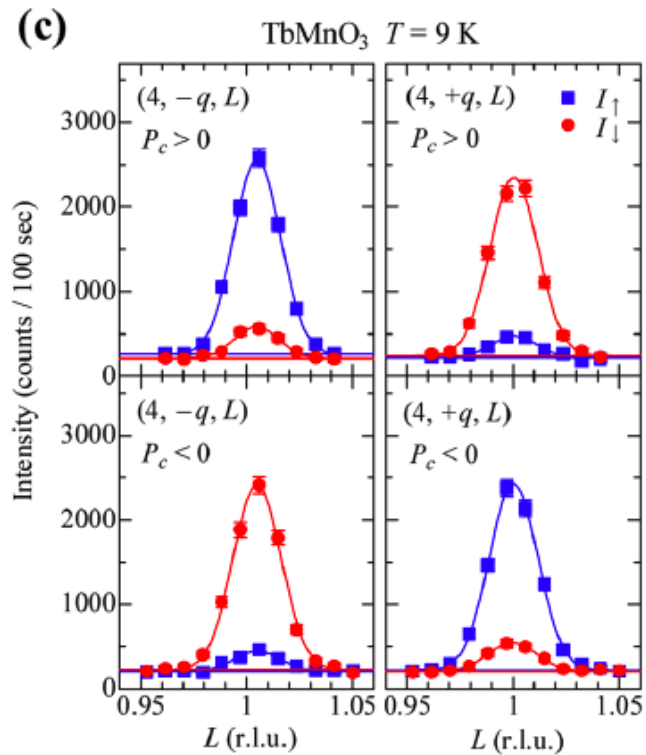
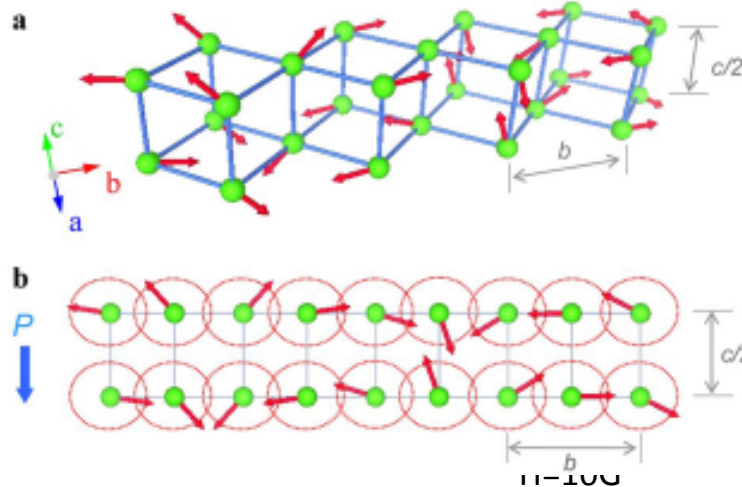
Coupling between electric polarization P and magnetization M in magnetic ferroelectrics induced by **cycloidal (helical) magnetism**



Yamazaki et al (2007)

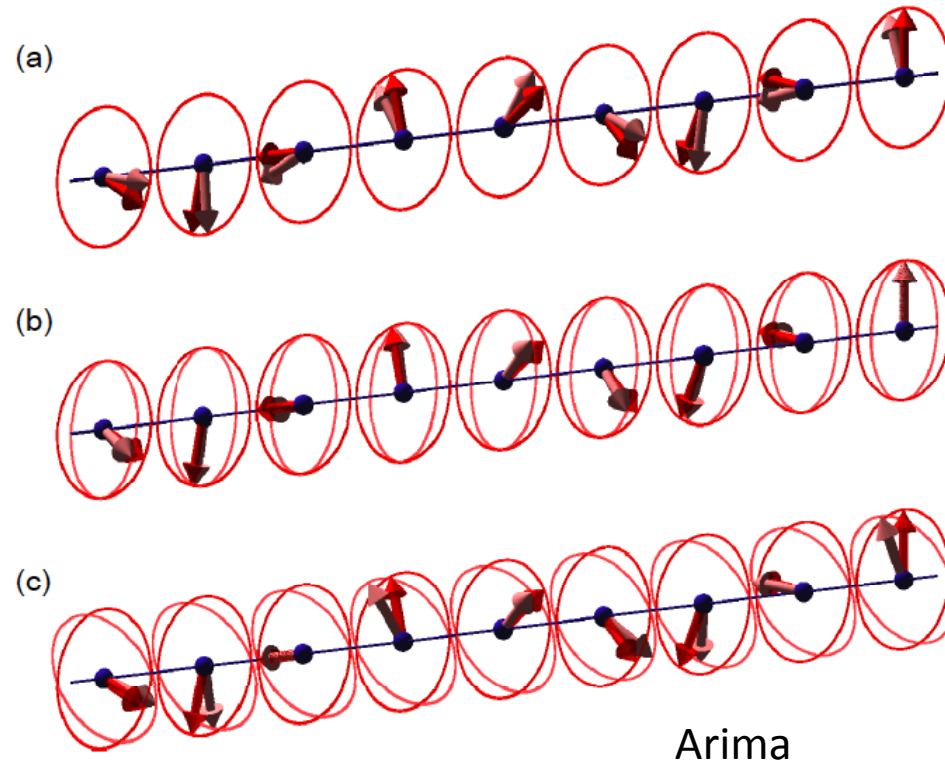
電場によるChirality 逆転：TbMnO₃

Yamazaki et al. PRL (2007)



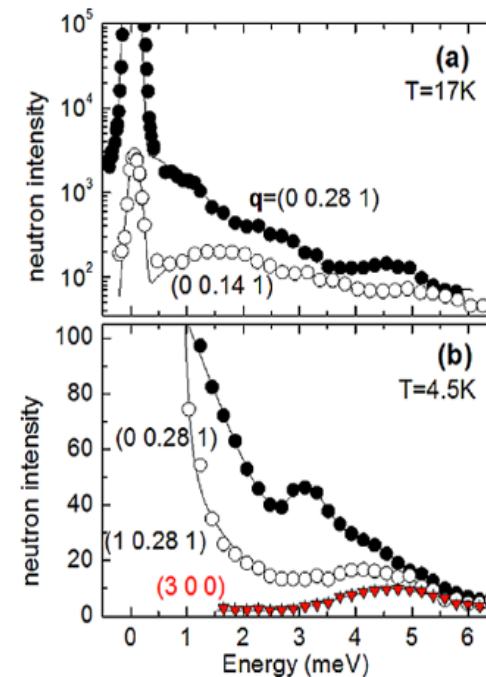
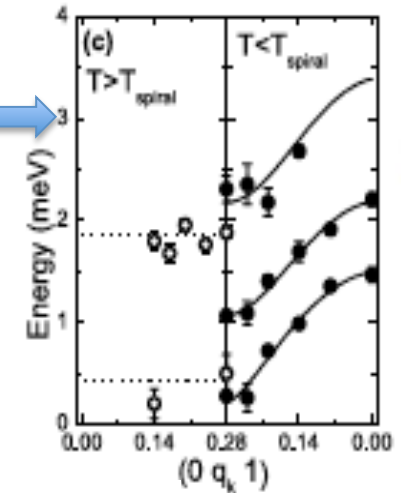
Excited states from Chirality states

Expected 3 models of excitations



モードの特定には、3D偏極度解析
+中性子分光が必須

3meV



ff et al. (2007)

内容

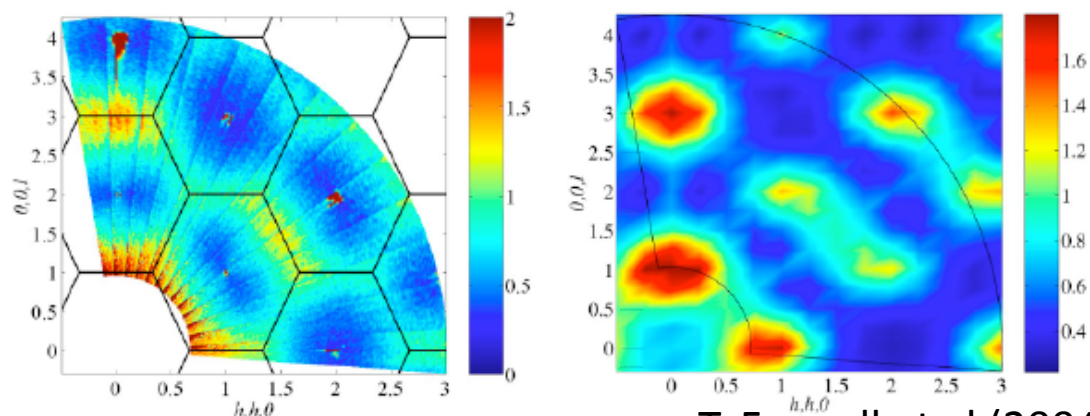
偏極中性子が拓く新しい物質科学

ここ

純粹磁気成分の分離

東北大—KEK J-PARC偏極分光器計画

陽子偏極への期待

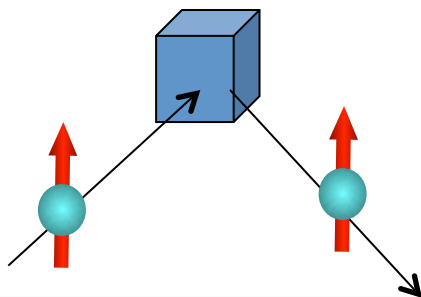


T. Fennell et al (2004)

偏極中性子でないといけないこと

純粹磁気成分の分離

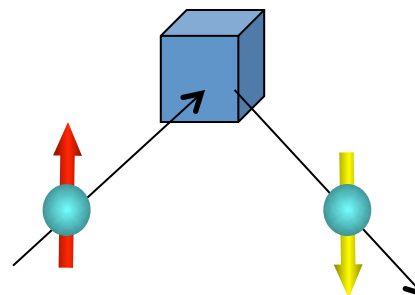
Non Flip散乱



核散乱

一部の磁気ブラッグ反射
バックグランド

Spin Flip散乱



磁気散乱

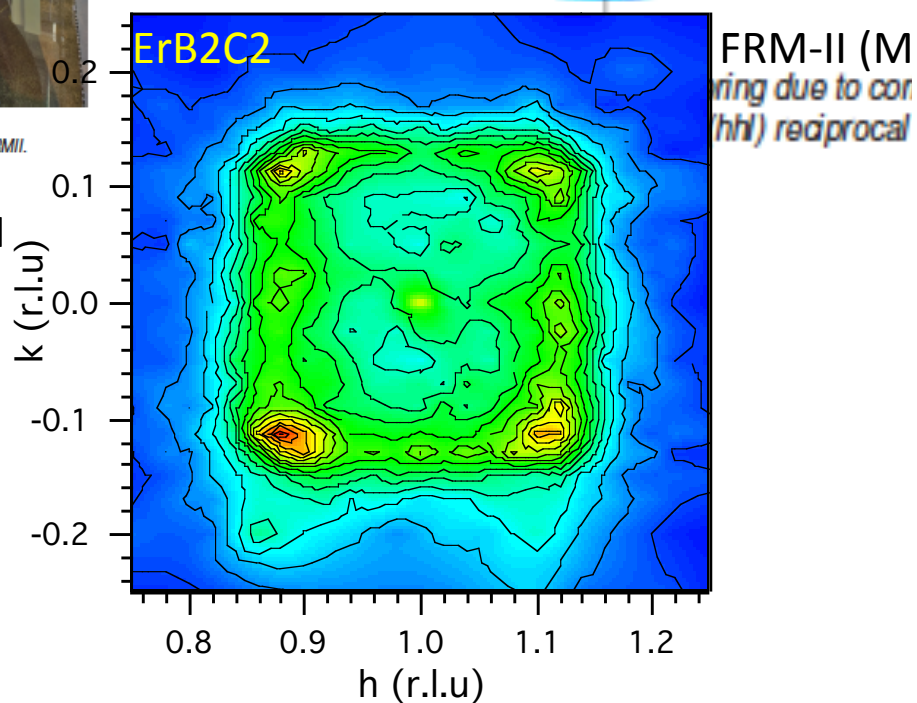
核スピンからの非干渉性散乱

核散乱の除去：磁気散漫散乱観測



FIG. 1: Current look of DNS at FRMII.

DNS in FRM-II



Spin Ice系

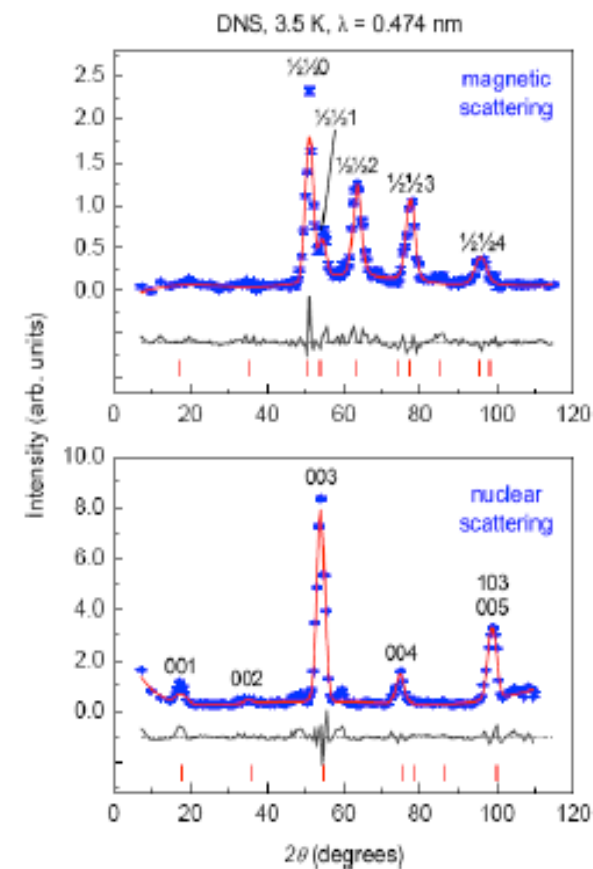
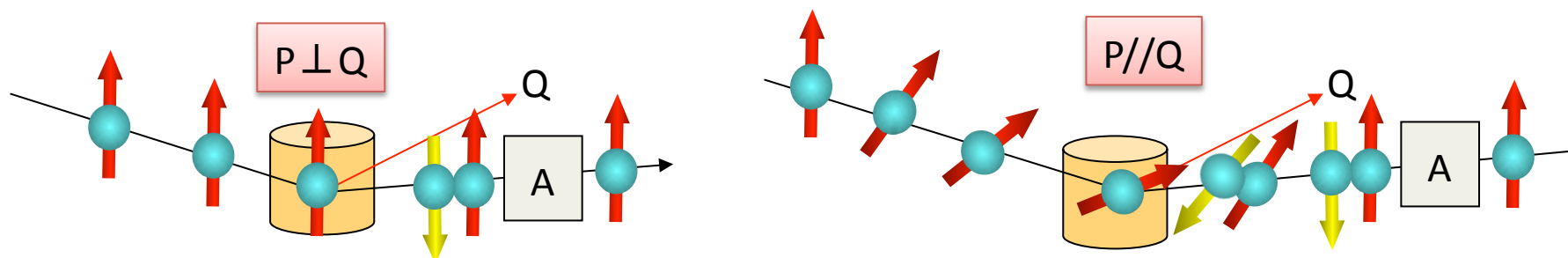


FIG. 3: Magnetic and nuclear reflections of $\text{Sr}_2\text{CrO}_3\text{FeAs}$ (blue) and Rietveld fit (red) at 3.5 K measured at DNS [3].

HP of FRM-II (Munich)

純粋磁気成分の取出

純粋な磁気成分を分離できる



	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow$
P//Q	$M + 2/3NSI + B$	$1/3NSI + N + B$
P ⊥ Q	$1/2M + 2/3NSI + B$	$1/2M + 1/3NSI + N + B$

M: Magnetic
NSI: Nuclear Spin incoherent
N: Nuclear
B: Background

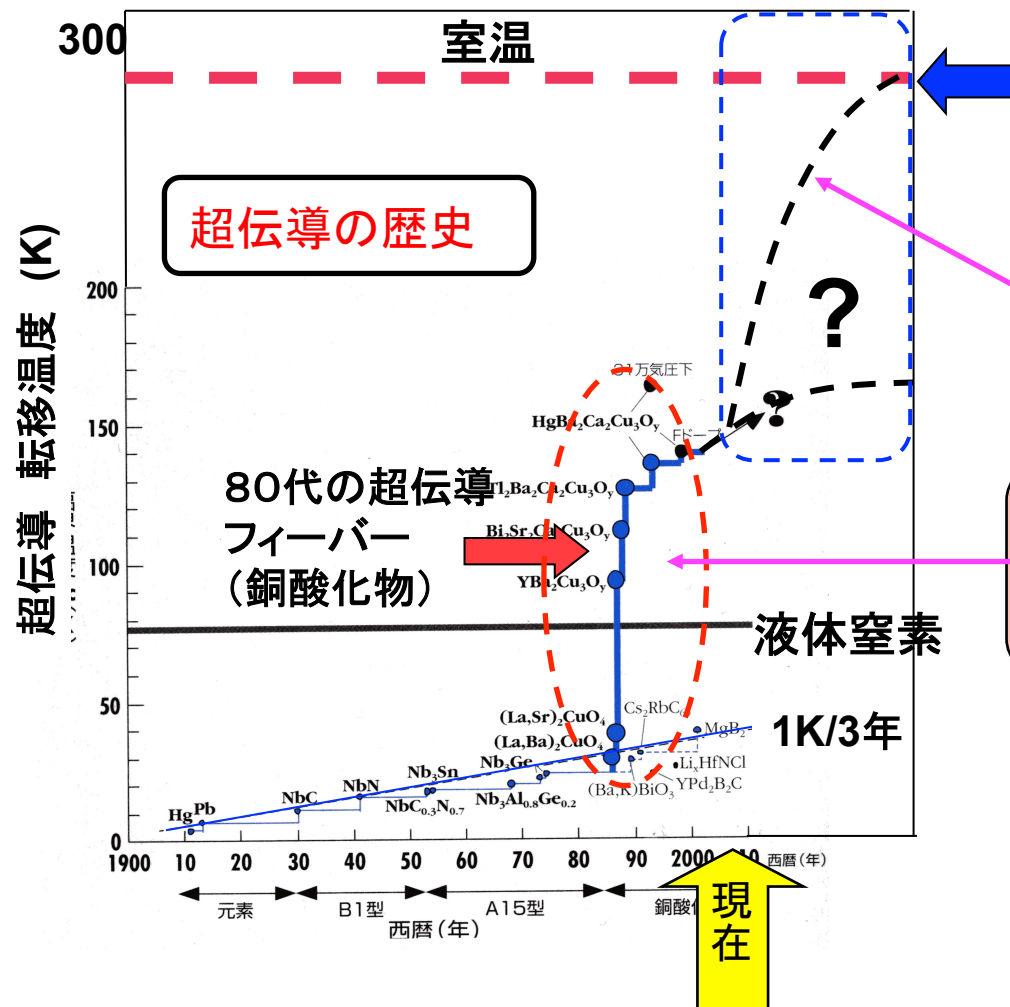
$$I_{P//Q}^{\uparrow\downarrow} - I_{P\perp Q}^{\uparrow\downarrow} = 1/2M$$

Pure Magnetic Component

$$I_{P//Q}^{\uparrow\uparrow} \quad \text{No Magnetic Signal}$$

$$I_{P//Q}^{\uparrow\downarrow} \quad \text{No Nuclear Signal (except NSI)}$$

高温超伝導の解明



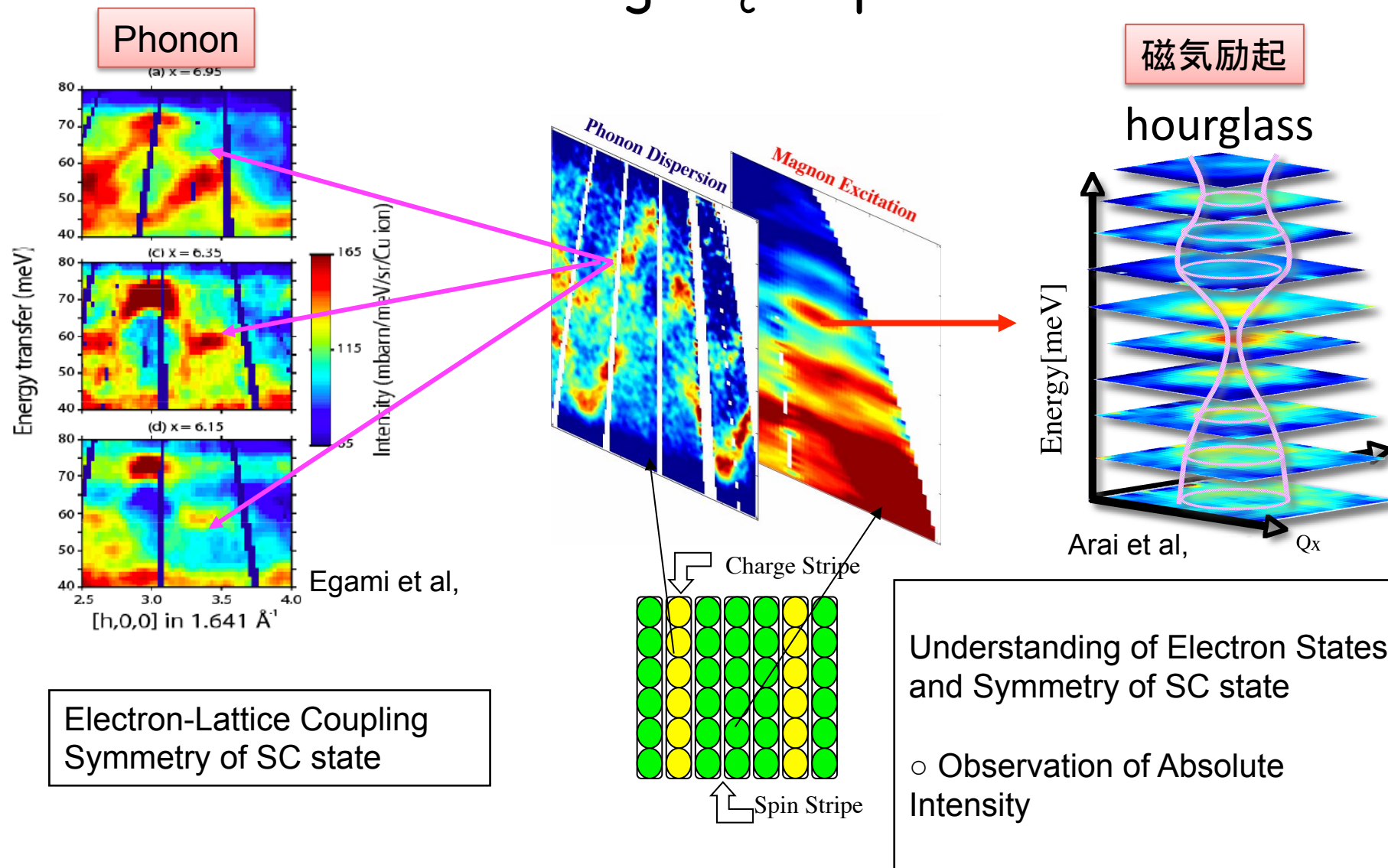
夢の室温超伝

無限に広がる応用
産業の国際競争力強化

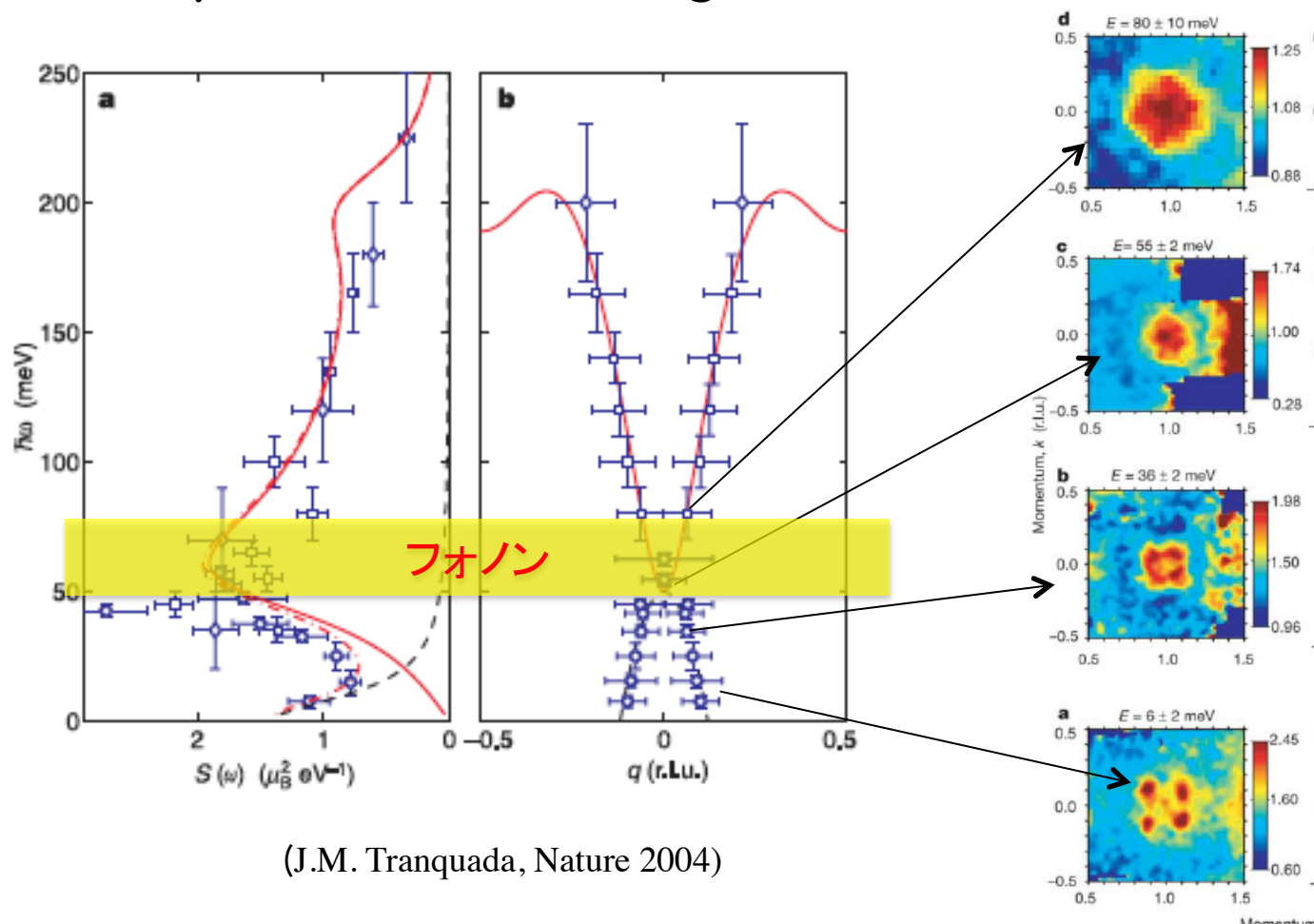
第2のジャンプが必要

銅酸化物高温超伝導とは何なのか？

Excitations in High T_c -Cuprates



Separation of Magnetic Excitations and Phonon



(J.M. Tranquada, Nature 2004)

電気伝導

磁性

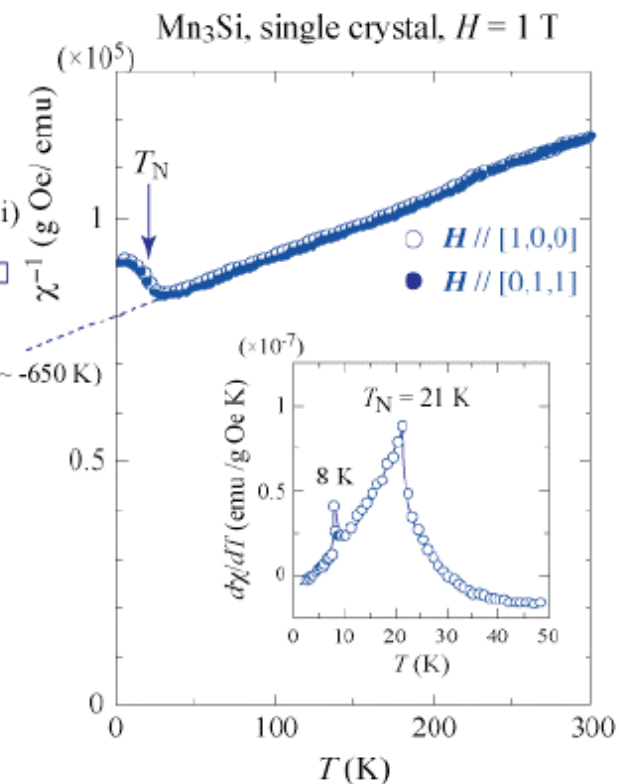
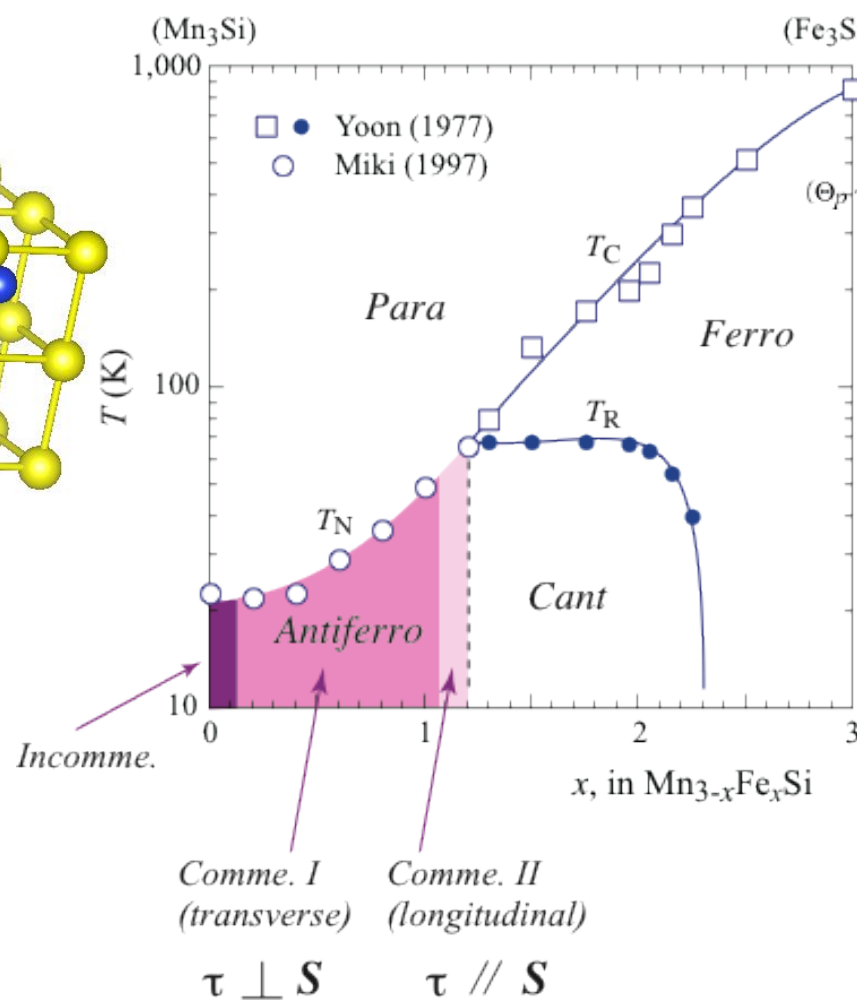
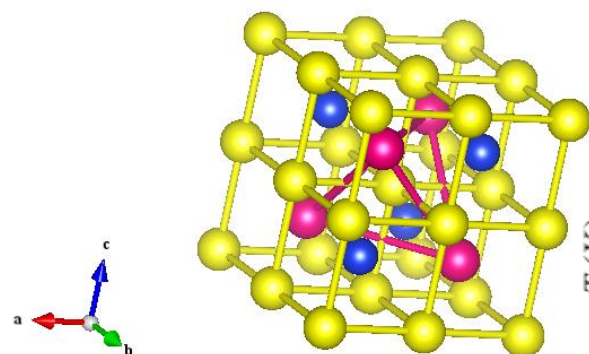
Are these excitations really magnetic?

Separation of magnetic and lattice components is indispensable.

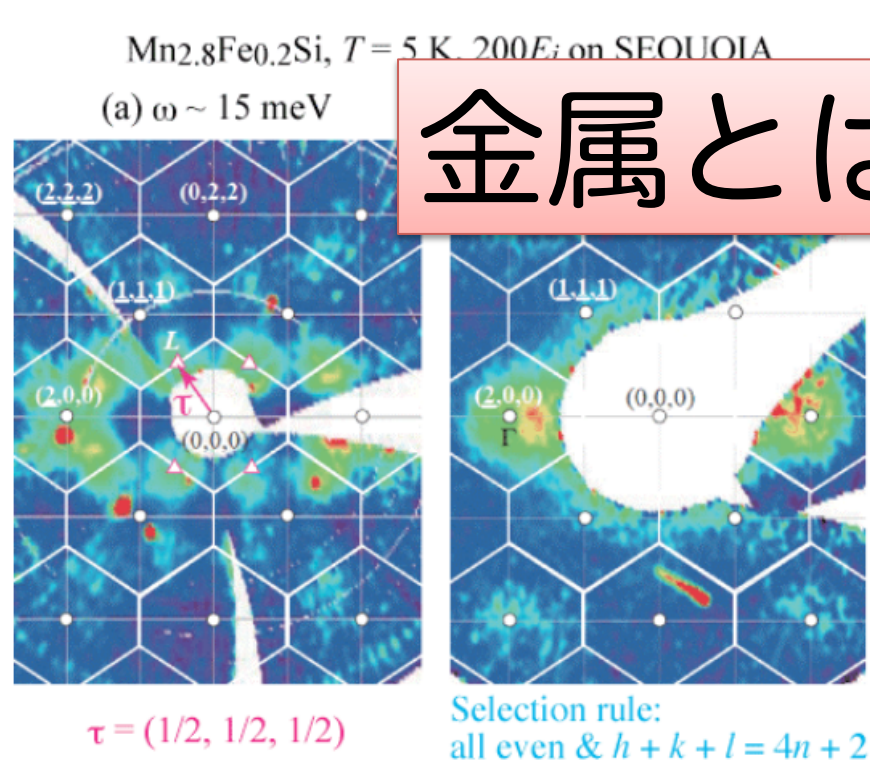
Mn₃Si- Fe₃Si金属磁性問題

金属磁性

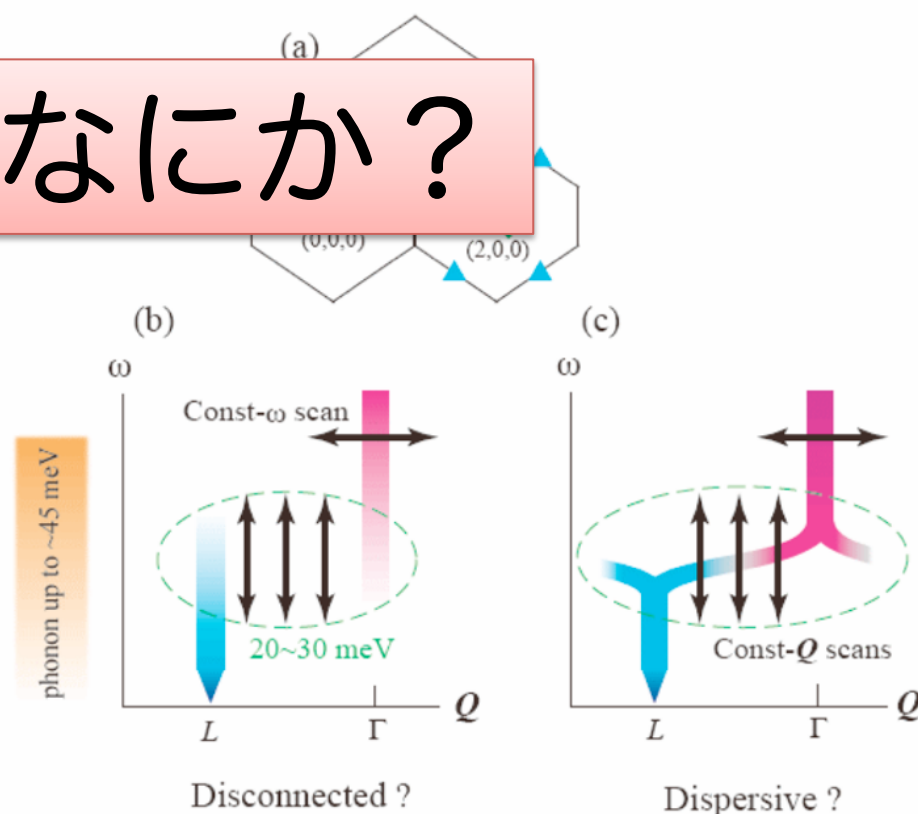
磁性と伝導が不可分の世界を支配するものは何？



TAS1:Mn₃Si系での特異な磁気励起



金属とはなにか？



$\hbar\omega < 30$ meV

反強磁性的

$\hbar\omega > 30$ meV

「強磁性」？的

局在的

？

遍歴的

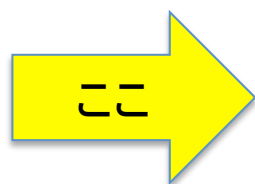
「点励起は磁気励起？

共存？連続？

内容

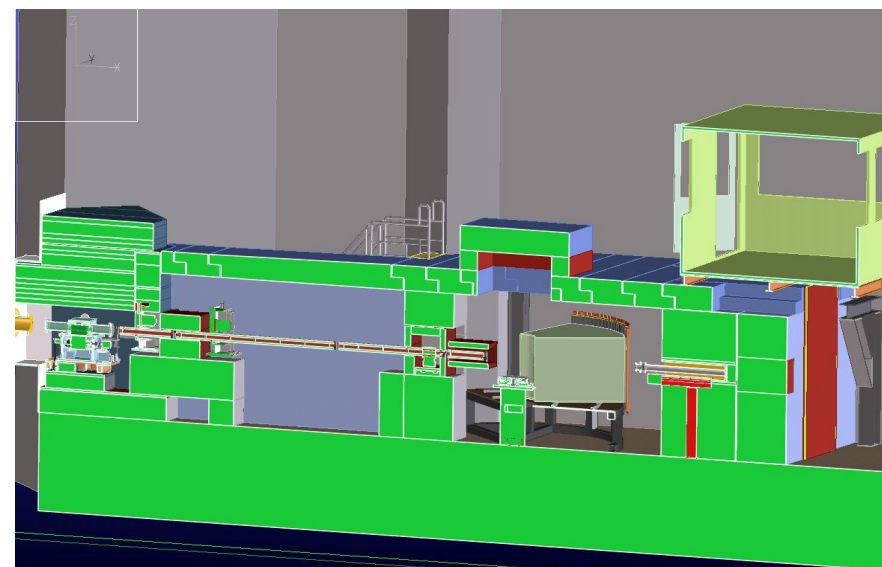
偏極中性子が拓く新しい物質科学

純粹磁気成分の分離



東北大－KEK J-PARC偏極分光器計画

陽子偏極への期待



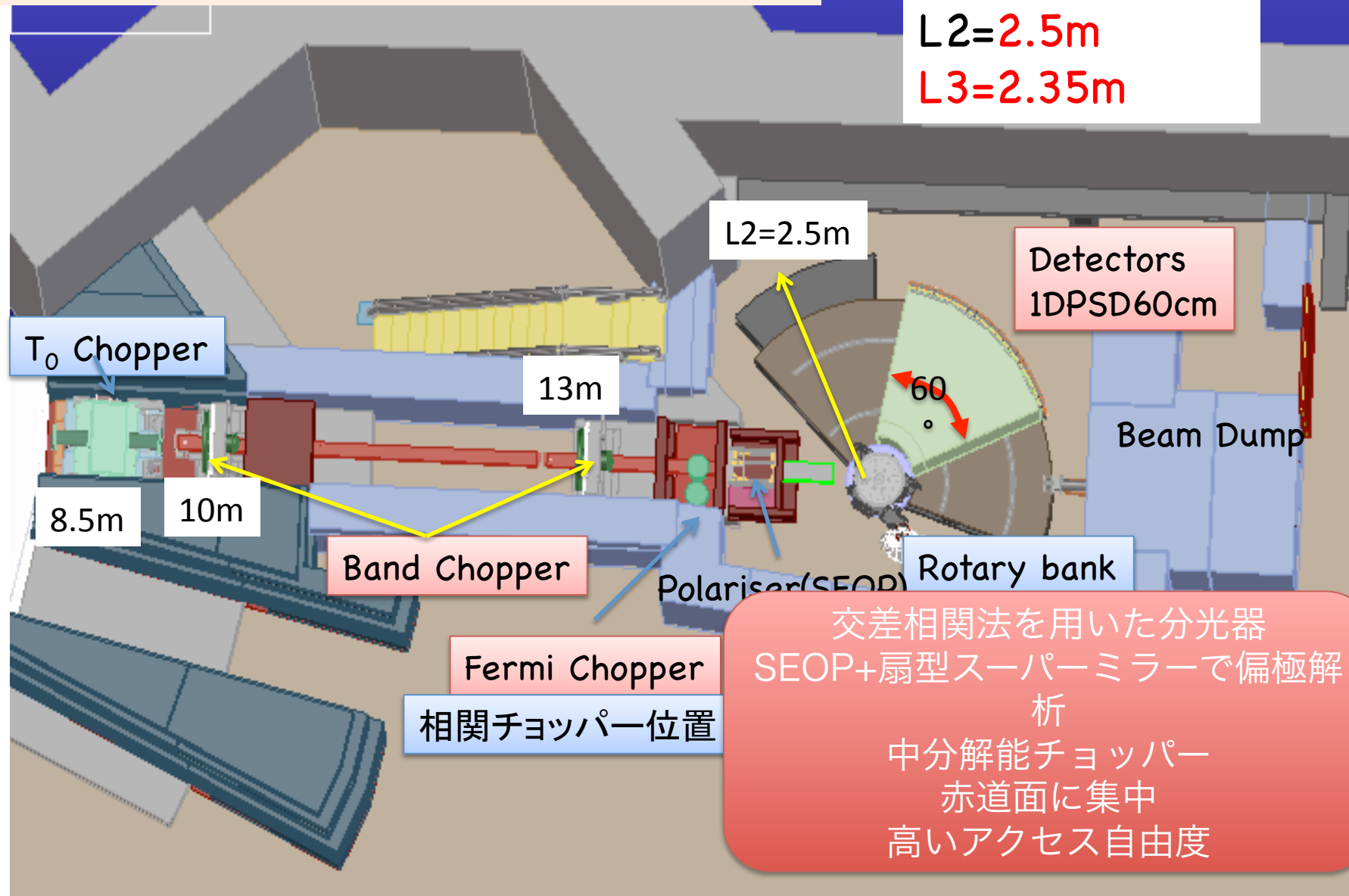
偏極度解析相関法チョッ パー分光器 POLANO

BL23 (非結合)

L1=17.55m

L2=2.5m

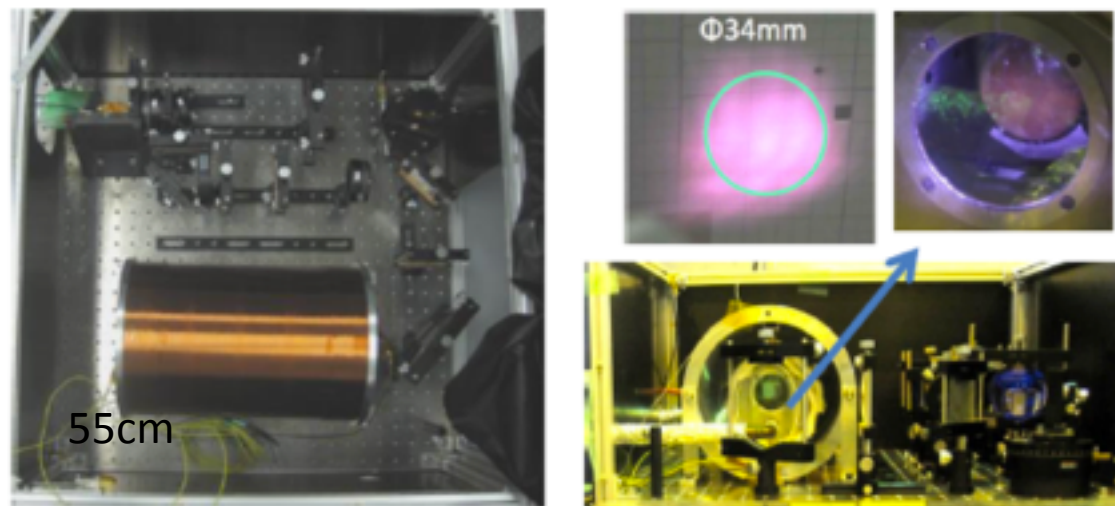
L3=2.35m



偏極子： ^3He ガススピンフィルター

spin-exchange optical pumping (SEOP) technique

猪野ら(KEK)グループ
吉良らJAEA-NOPグループ



安定した ^3He 偏極を実現

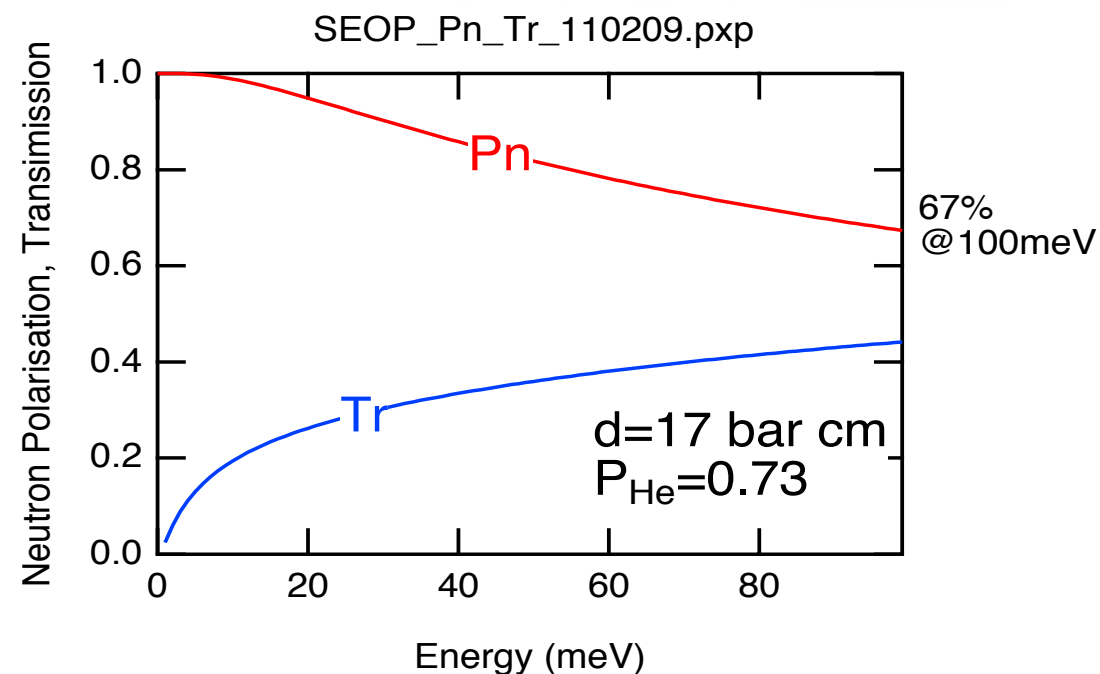
$P_{\text{He}}=73\%$

World Record $\sim 80\%$

中性子偏極率

$E < 30\text{meV}$: $P_n > 90\%$

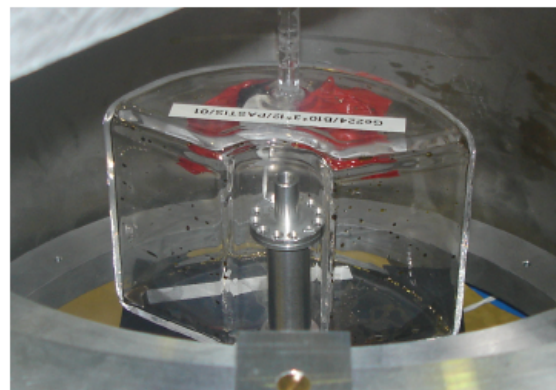
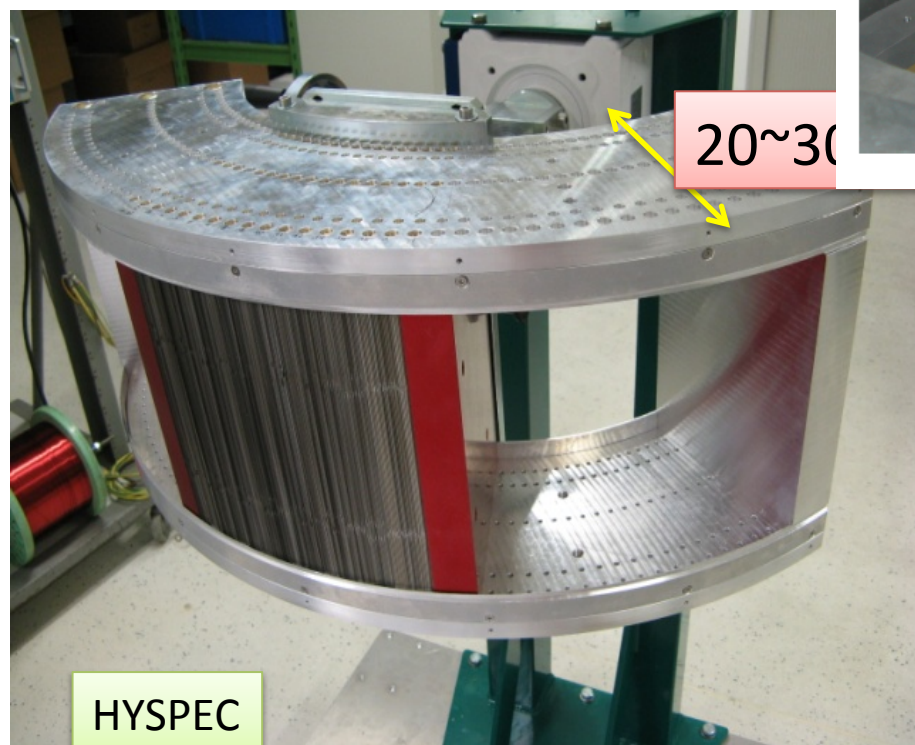
$E = 100\text{meV}$: $P_n = 67\%$



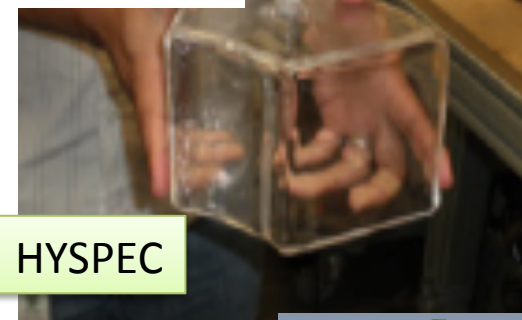
偏極アナライザー：未解決

(Swiss Neutronics社)

扇型スーパーミラー

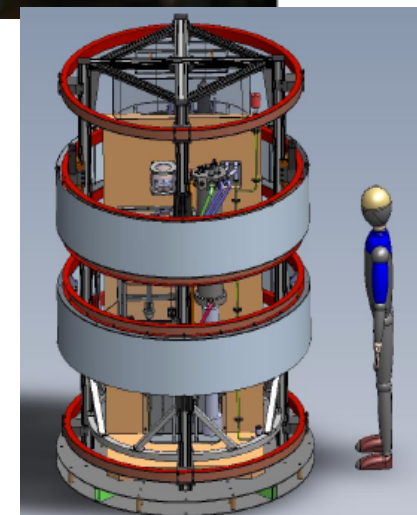


MEOP/SEOP

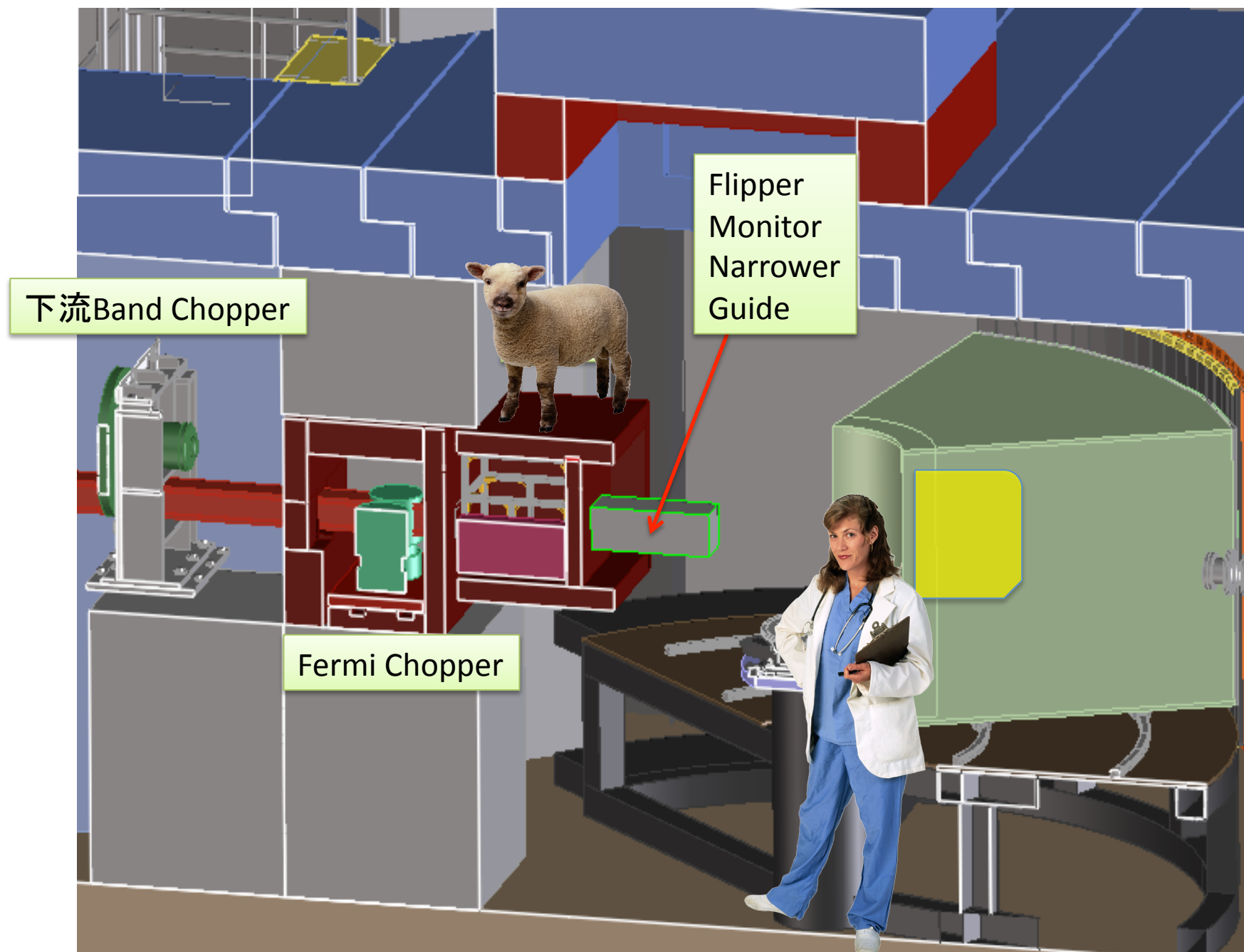


HYSPEC

MEOPステーション



まだ打合せを始めている



内容

偏極中性子が拓く新しい物質科学

純粹磁気成分の分離

東北大—KEK J-PARC偏極分光器計画

ここ

陽子偏極への期待

高い偏極度
磁場への耐性
水素物性研究



陽子偏極への期待：高い偏極度

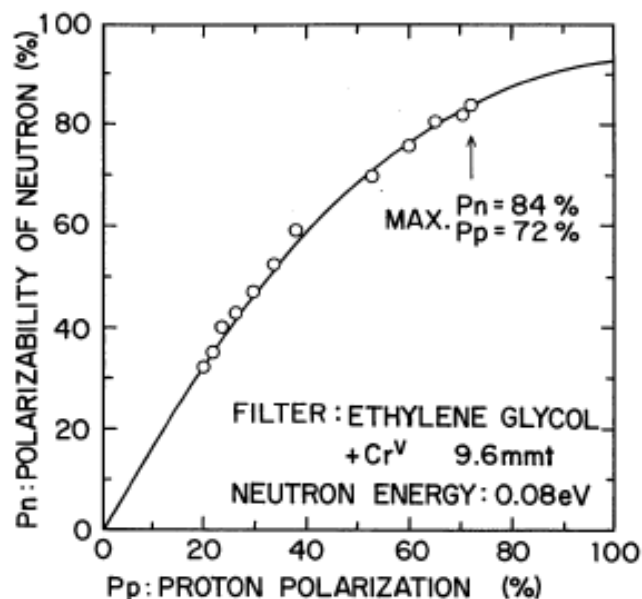


Fig. 4. The polarizability of neutrons as a function of proton polarization. A solid line shows the calculated value of eq. (1) with $\sigma_p = 27$ b.

Hiramatsu et al.(1978)

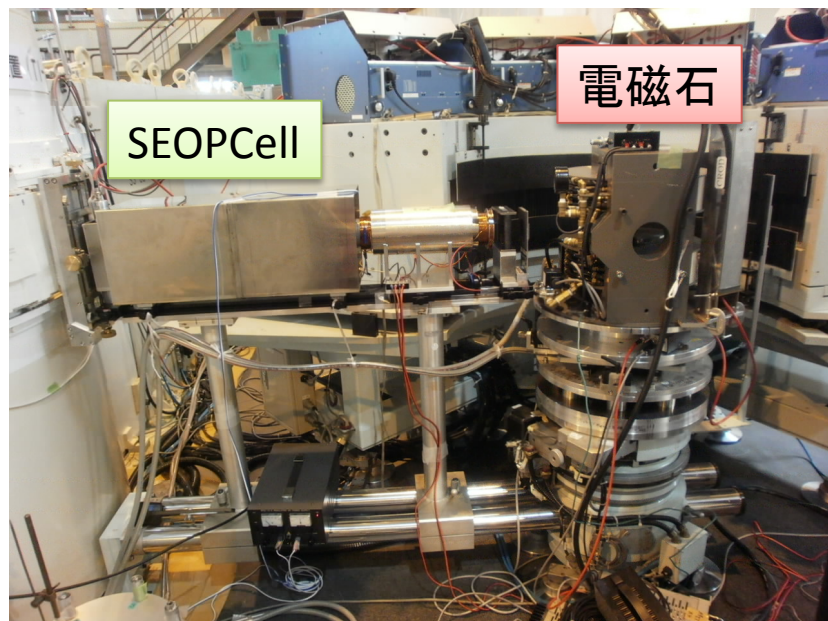
Polariser/ Analyser とも $P_n \sim 90\%$ 以上ほしい。

エネルギー ~ 100 meV

周辺機器の小型ができるか？

室温陽子偏極に期待

陽子偏極への期待：磁場への耐性

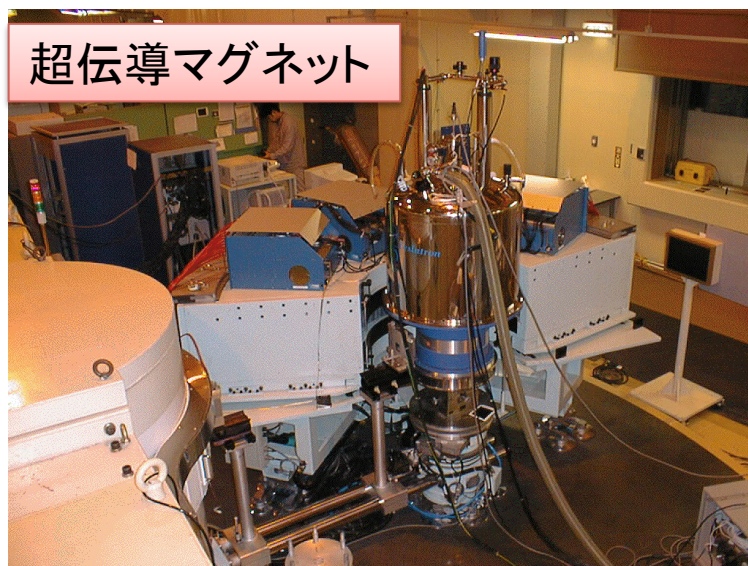


磁性研究には磁場下の測定が必須

国内ではB~13T



磁石からの漏えい磁場で、
SEOPが使えなくなる。



陽子偏極でないと難しい

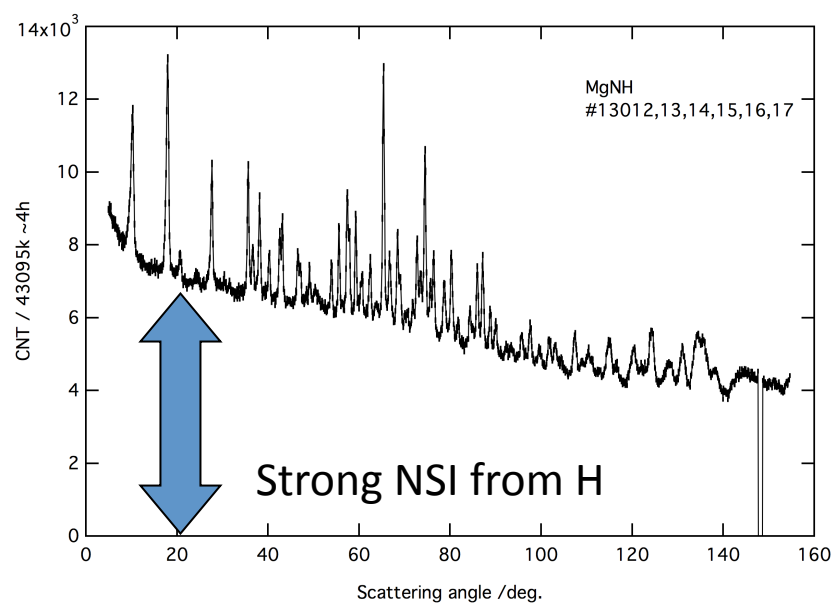
課題：
大面積 (5cm*5cm)
大立体角化(0.2 strad)

試料環境の期待：水素化合物

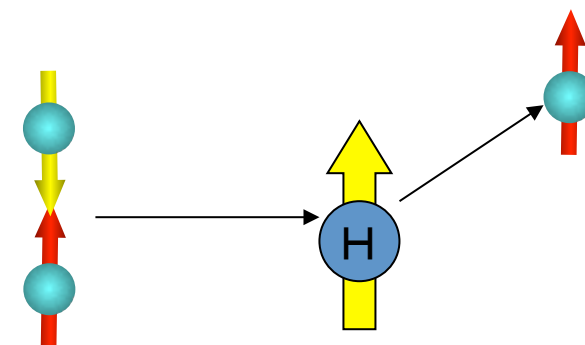
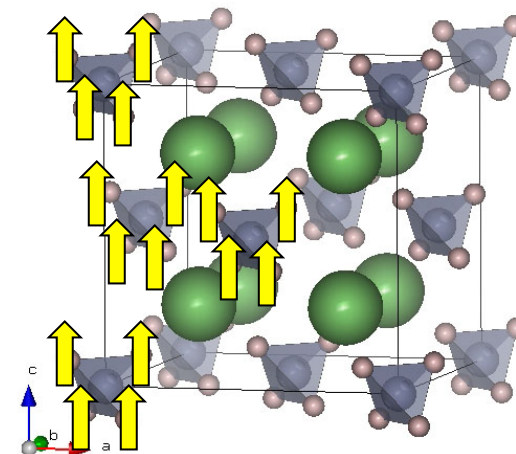
27/28

	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow$
P//Q	$M + 2/3\text{NSI} + B$	$1/3\text{NSI} + N + B$
P $\perp$ Q	$1/2M + 2/3\text{NSI} + B$	$1/2M + 1/3\text{NSI} + N + B$

NSI: Nuclear Spin Incoherent



Proton Polarization Method



スピンコントラスト法により
水素情報のみ抽出

Polarised analysis makes the NSI component Null.

まとめにかえて

スピン科学による東北地方の学術連携へ

山形大学
総合スピン科学研究所

東北大学
金属材料研究所
中性子物質材料研究センター

山形

宮城



モンテディオ山形

ベガルタ仙台

