

iNSEの現状と今後

遠藤 仁

Hitoshi Endo

Neutron Science Laboratory
Institute for Solid State Physics
The University of Tokyo

Outline

1. 中性子スピネコー法とは？
2. 中性子スピネコーで展開されるサイエンス
3. iNSEの過去・現在・未来

中性子スピネコーとは？

中性子スピネコー法の誕生 「1972年4月ブダペスト」

Lecture Notes
in Physics

Edited by Ferenc Mezei, Institute of Physics, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary

128

Neutron Spin Echo
Proceedings of the
International Meeting on
Neutron Scattering, October 19-20, 1972

Edited by F. Mezei

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York 1980

P R E F A C E

The idea of Neutron Spin Echo was born in April 1972 at a red traffic light at the corner of Alagút street in Budapest. Within two weeks the basic points were experimentally verified at the reactor of the Budapest Central Research Institute for Physics. By the end of the year I was also able to demonstrate (this time at the Institut Laue-Langevin in Grenoble) that by this method one can really observe very small velocity changes of a neutron beam, independently of the velocity spread. Soon after, in January 1973, the ILL Council approved the construction of a proposed spin echo spectrometer (later to become known as IM1) for high resolution inelastic neutron scattering experiments.



by Ferenc Mezei

中性子スピネコーとは？

“強度と分解能の反比例関係を打破する”

通常の手法：例) 三軸分光法・後方散乱分光法・飛行時間分光法

≫ エネルギー分解能を向上させるためには、入射波と散乱波の散乱ベクトルを高精度で決定する必要がある。

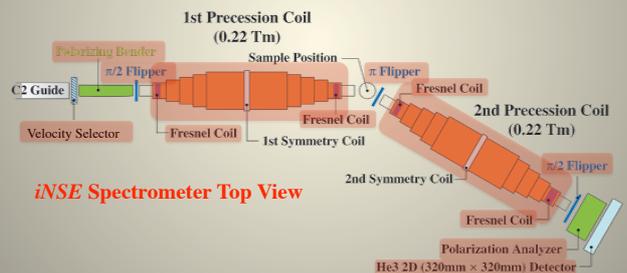
≫ コリメーター・モノクロメーター・チョッパーなどを用い、入射波と散乱波の発散を押さえる必要があるが、その結果ビーム強度は減少する。

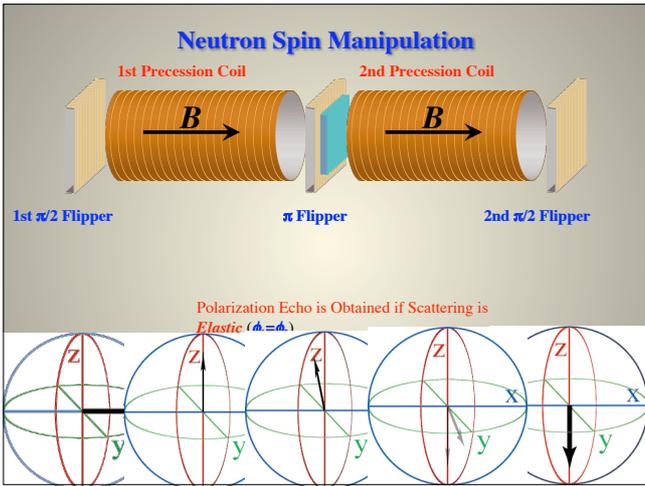
中性子スピネコー法

≫ 中性子の偏極度を用い、入射波と散乱波の散乱ベクトルを評価する。
≫ その結果、発散や波長分散のあるビームを用いても高エネルギー分解能を達成可能となる。

Necessary Elements for NSE Spectrometers

- ✓ Monochromatic Polarized Neutrons ($\Delta\lambda/\lambda \sim 10 - 20\%$)
- ✓ Spin Flippers ($\pi/2 \times 2, \pi \times 1$)
- ✓ Solenoid Coil for Neutron Precession ($\times 2$)
- ✓ Fresnel (Spiral) Coil for Magnetic Field Correction ($\times 4$)
- ✓ Polarization Analyzer
- ✓ Detector





Intermediate Scattering Function : $I(Q, t)$

$$I_{Det} = I(Q, 0) + \int I(Q, \omega) \cdot \cos\left(B\lambda^3 \gamma \frac{m_n^2}{2\pi\hbar^2} \omega\right) d\omega$$

$$= I(Q, 0) + I(Q, t)$$

Fourier Time: $t = B\lambda^3 \gamma \frac{m_n^2}{2\pi\hbar^2}$

Neutron Spin Echo in Polymer Systems by D. Richter, M. Monkenbusch, A. Arbe and J. Colmenero, Adv. Polym. Sci (2005) 174: 1-221

世界中性子スピネコー分光器の性能一覧

装置	型	設置施設	歳差磁場最大値 [Tm]	最大フーリエ時間 [ns]
INI1	Mezei	ILL, Grenoble	0.25	40
INI5	Mezei	ILL, Grenoble	0.27	350
JNSE	Mezei	JRR-3, Tokai	0.22	50
J-NSE	Mezei	FRM-2, München	0.5	350
NIST-NSE	Mezei	NIST, Gaithersburg	0.5	100
SPAN	Mezei-TOF	HMI, Berlin	0.06	8
MUSES	Resonance	LLB, Saclay	640kHz (Max. Frequency of RF Coils)	22
RESEDA	Resonance	FRM-2, München	780kHz (Max. Frequency of RF Coils)	10
SNS-NSE(建設中)	Mezei	SNS, Oak Ridge	1.0	1000

Multi-Detector NSE Spectrometer SPAN at BENSF

Parameter	Value
Neutron guide cross section	Polarizing cavity NL4 with FeCoSi Superalloys produced at the HMI 100 x 50 mm
Beam monochromatization	-15% FWHM (velocity selector)
Incident wavelength	between 0.25 nm and 1 nm
Distance sample - detector	3.5m
Angular range	between 30° and 150°
Range of momentum transfer	at 0.38 nm: 0.006 - 0.32 nm ⁻¹ at 0.9 nm: 0.0025 - 0.126 nm ⁻¹
Maximum sample area	8 x 8 cm ²
Maximum magnetic field integral	6 · 10 ⁴ Oe cm
Fourier time range	at 0.38 nm: 0.005 - 0.6 ns at 0.9 nm: 0.005 - 6 ns
Energy range (NSE)	at 0.38 nm: 120 μeV - 1 μeV at 0.9 nm: 10 μeV - 82 neV
TOF resolution at λ = λ ₀	100 μeV
Instrument responsible	C. Pappas, pappas@hmi.de, direct dialing - 2046

Neutron Resonance Spin Echo Spectrometer RESEDA at FRM-II

Properties
Neutron guide NL5a Length: 65 m
Wavelength selection Velocity selector (max. 28000 rpm) Wavelength range 4-15 Å
Spectrometer Arms and NRSE coils Length L = 2.6 m Doubled Mu-metal shielding Maximum magnetic field strength B = 300 G
Spin echo time range t = 0.001-5 ns (Energy resolution 0.1-600 μeV)
Maximum scattering vector q = 2.3 Å ⁻¹ (at 4 Å)
Flux at sample position ≥ 10 ⁷ neutrons / s cm ² (at 4 Å)

Neutron Resonance Spin Echo Spectrometers at J-PARC (Proposed)

PRODUCED BY KYOTO UNIVERSITY

VILLAGE OF NEUTRON RESONANCE SPIN ECHO SPECTROMETERS

Neutron Resonance Spin Echo is one of the techniques with the highest energy resolution for measuring of quasi-elastic scattering, which cannot be achieved by the other spectrometers. Three compact apparatuses at J-PARC BL17 enable us to perform measurements with the wide range of the momentum and energy transfer.

MIEZE:
 0.01 < Q < 3.5 (1/Å)
 20 < t < 1300 (ps)

High Intensity NRSE:
 0.005 < Q < 3.1 (1/Å)
 1 < t < 170 (ns)

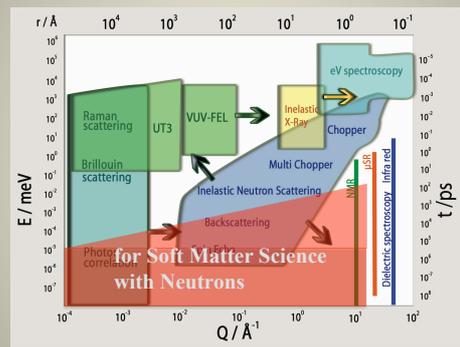
High Resolution NRSE:
 0.003 < Q < 1.2 (1/Å)
 0.03 < t < 1 (μs)

3 SPECTROMETERS J-PARC
 CONTACT PERSON: M. HINO hino@rikyo.tyohy.ac.jp

J-PARC: JAPAN PROTON ACCELERATOR FOR RESEARCH COMPLEX
 MATERIALS AND LIFE SCIENCE EXPERIMENTAL FACILITY, JAPAN SPALLATION NEUTRON SOURCE

中性子スピネコーで展開されるサイエンス

Q-E Range for Various Scattering Methods



VUV-FEL: vacuum UV- Free Electron Laser
UT3: UV-VUV Raman spectrometer (ultimate triple of the third generation)

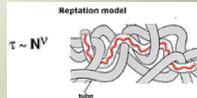
高分子科学における 中性子散乱の果たした功績

高分子溶融体中の一本鎖の広がり Gauss 統計に従う。

- Paul J. Flory: 1974年ノーベル化学賞
- Peter Debye: 高分子におけるDebye関数

高分子溶融体のダイナミクス

- deGennes, Doi & Edwards Model (Reptation Model)の検証。中性子スピネコー法による直接検証 (at ILL in 1980's; Richter, Mezei, etc.)
- deGennes: 1991年ノーベル物理学賞



高分子希薄溶液のダイナミクス

- 中性子スピネコー法によるZimm Modelの直接検証 (at ILL in 1980's; Higgins, Richter, etc.)

Science with Neutron Spin Echo 平成二十一年度iNSE採択課題14件

- トラクチンの構造多形性と運動特性: 結合ヌクレオチドの影響 (JAEA: 藤原悟)
- 球状ミセルの静的および動的構造 (お茶大: 今井正幸)
- 環状分子の充填率によるポリロタキサンおよび環状ゲルの構造とダイナミクスの変化 (東大: 伊藤耕三)
- コポリマーを軸分子とするポリロタキサンのダイナミクス (東大: 伊藤耕三)
- 医療材料開発の基礎としてのポリビニルアルコールゲルの構造とダイナミクス (京大: 金谷利治)
- 超均一構造を有するTetra-PEGゲルの動的・静的構造解析 (東大: 酒井崇匡)
- S=1/2 カゴメ反強磁性体 Volborthite の低エネルギーピン揺動 (東大: 佐藤卓)
- 塩の溶解効果による臨界揺らぎの長距離秩序 (KEK: 瀬戸秀紀)
- 水/有機溶媒/塩混合溶液における圧力誘起lamellar/disorder相転移 (KEK: 瀬戸秀紀)
- 重水素化PEGを用いたtetra-PEGゲルのコンフォメーション解析 (東大: 柴山充弘)
- 力学変形下のナノコンポジットゲル中の高分子鎖のダイナミクスおよび新規ナノコンポジットフィルムの延伸下構造変化 (東大: 柴山充弘)
- アミド誘起によるHFIP 水混合溶液の相分離 (佐賀大: 高橋利幸)
- ナノスケールでみるイオン液体の結晶類似構造からミセルへの転移 (佐賀大: 高橋利幸)
- 小角中性子散乱法による高純度リングポリマーのバルク中における回転半径の精密測定とリニアポリマー添加効果 (名古屋大: 高野敦志)
- 非溶液界面におけるポリメタクリル酸メチルの凝集状態とダイナミクス (九大: 田中敬二)

高分子・溶液・エマルジョン・生物・固体

iNSEの過去・現在・未来

日本に於けるNSEの歴史

1988年: 好村滋洋・武田隆義ら広島大学グループが京都大学研究用原子炉で中性子スピネコー法の実証試験を行う。

1990年3月: JRR-3M(改造20MW炉)が初臨界。

1994年: JRR-3Mの実験ホール冷中性子導管C2-2ビーム孔に、iNSEの前身であるISSP-NSEが完成。(初代担当者・武田隆義先生)

[装置担当者はその後、瀬戸秀紀氏⇒長尾道弘氏と引き継がれる。]

2003年11月: 長尾道弘氏が中心となり、C2-2ビーム孔から、ガイドエンドのC2-3-1ビーム孔に移設され、「iNSE」と改名される。

ISSP-NSE時代



KEK・瀬戸秀紀先生

ビーム：モノクロ結晶により選別。
 検出器：He3-1次元検出器
 偏極子・アナライザー：Co-Fe alloy layer

iNSE時代



長尾道弘氏
 (現NIST)

ビーム：速度選別器 (Dornier社製)
 検出器：He3-2次元検出器(30cm×30cm) (Ordela社製)
 偏極子・アナライザー：FeCoV/TiN ($m = 2.5$) Supermirror (Swiss Neutronics社製)

更なる高度化

平成20年度原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ
 応募テーマ：戦略的原子力共同研究プログラム
 テーマ6：量子ビームを利用した新素材や加工・計測技術の開発

「原子炉型中性子小角散乱分光器群の先鋭的高度化に関する研究」

東京大学・物性研究所・附属中性子科学研究施設
 物質・材料研究機構・量子ビームセンター・中性子散乱グループ
 高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・中性子科学研究系
 京都大学・化学研究所
 北海道大学・大学院工学研究科・量子理工学専攻
 理化学研究所・仁科加速器研究センター・素粒子物性研究部門

研究代表：柴山 充弘

東京大学物性研究所附属中性子科学研究施設

歳差磁場不均一補正

スパイラルコイルの位置調整機構の構築

iNSEで用いられている補正用スパイラルコイル

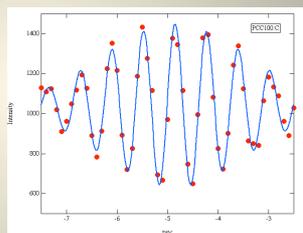
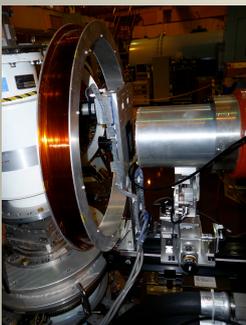


今回新規に製造したスパイラルコイル位置制御装置



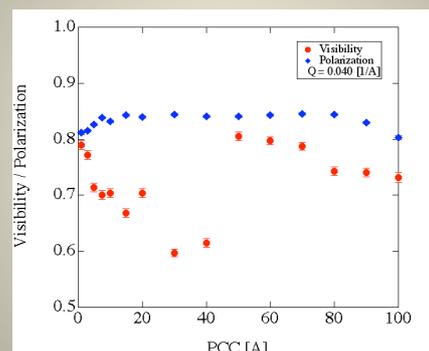
位置調整精度：0.1mm
 非磁性体で製造 (非磁性体スライダ・超音波モーター制御 etc.)

波長10.8Å (最大フーリエ時間50ns)で調整



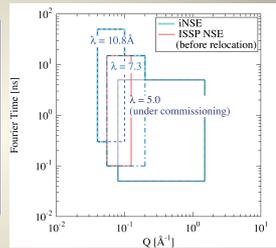
波長10.8Å (最大フーリエ時間50ns)で調整

Polarization & Visibility



iNSE Spec

- $0.040 \leq Q [\text{\AA}^{-1}]$
- 2D Detector (32cm×32cm)
- Maximum Fourier Time
 - 50 [ns] ($\lambda=10.8\text{\AA}$)
 - 15 [ns] ($\lambda=7.3\text{\AA}$)
 - 5 [ns] ($\lambda=5\text{\AA}$)
 for high-Q setup $Q [\text{\AA}^{-1}] \approx 1.5$



Dynamic Range of iNSE

Further Required Upgrade
- Flipper, Magnetic Field Correction, etc.

iNSE IRTグループ

東大物性研・柴山充弘研究室 - 高分子ゲル

東大新領域・伊藤耕三研究室 - ポリロタキサン・環動ゲル

京都大学化学研究所・金谷利治研究室 - 高分子

お茶大・今井正幸研究室 - マイクロエマルジョン

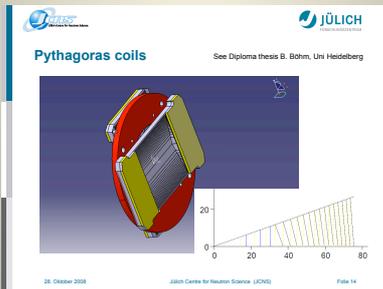
KEK・瀬戸秀紀 - 溶媒和

KEK・山田悟史 - 脂質

首都大・川端庸平 - マイクロエマルジョン

今後の予定

- Current Sheet型フリッパー（武田フリッパー）の設計・開発
- 磁場補正法（新型デバイス）の検討
- ビーム輸送（偏極デバイス・磁気レンズetc）の検討



将来の夢

- Main Precession Coilの磁場強度を増強する。
e.g. 0.2Tm → 0.5Tmで最大FTは125nsとなる。

課題：磁場シミュレーション・超伝導コイル or 通常のソレノイドコイル・……

将来の課題

- iNSEの継続的な装置運営の為に、装置管理グループを組織する必要性は強く感じている。→ IRTグループを活用して行こうとしているが……。