

AGNES の再稼働に向けて

山室 修

(東京大学 物性研究所 附属中性子科学研究施設)

Toward Restarting of AGNES

Osamu Yamamuro

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

1. はじめに

東京大学 物性研究所 附属中性子科学研究施設の山室グループでは高分解能パルス冷中性子分光器 AGNES (Angle-focusing Neutron Spectrometer) を管理し、全国共同利用に供しています。この記事では、再稼働に向けての AGNES の現状と今後について解説します。

2. AGNES について

AGNES[1-3]は JRR-3 のガイドホール C3 冷中性子導管の最上流のビーム孔 (C3-1-1) に設置されています。Fig. 1 は AGNES の全景写真です。ただし、現在は装置上部からアクセスできるように 2 階ステージを設置したため、全景を見ることはできません。

Fig. 2 を用いて AGNES の測定原理を説明します。まず、5 枚の PG002 モノクロメータの散乱角とフェルミチョッパーの回転速度を調節することで ($\Delta\lambda/\lambda=0.03$)、ビームを試料位置に集光するとともに、検出器に中性子が同時刻に到達する条件を実現します。エネルギー分解能は平均取り出し角 ($2\theta_M$) とチョッパーの回転速度により調整できます。試料で散乱された中性子は、1.8 m 離れた同心円上に設置した 328 本 ^3He 検出器により、飛行時間の関数として観測されます。最終的には、J-PARC のチョッパー分光器と同様に $S(Q, \omega)$ 空間のデータが得られます。代表的な設定での分解能および運動量とエネルギーの測定範囲は Table 1 の通りです。まだ実績はありませんが、Mica002 モノクロメータ ($\lambda=8 \text{ \AA}$) を使用することにより、エネルギー分解能が $15 \text{ \mu eV}$ 程度の測定も可能です。この装置の原型は ILL の IN6 で、その後、AGNES を模して ANSTO の PELICAN が製作されています。J-PARC の $S(Q, \omega)$ 測定装置と比べると、エネルギー範囲や分解能は DNA と AMATERAS の中間にあたります。

AGNES の一番の特長は豊富な試料環境です。温度変化は、専用のトップローディング式クライオファースにより 3-800 K、物性研共通の 1 K 冷

凍機により 0.7 K から測定できます。圧力は任意の液体圧媒体で 500 MPa まで、気体圧媒体で 200 MPa までの測定が可能です (ともにクライオファースを使用)。なお、気体高圧の実験は法的な問題で現時点ではペンディングになっています。それ以外にも、水蒸気などの任意の気体雰囲気や電場下の実験も可能です。

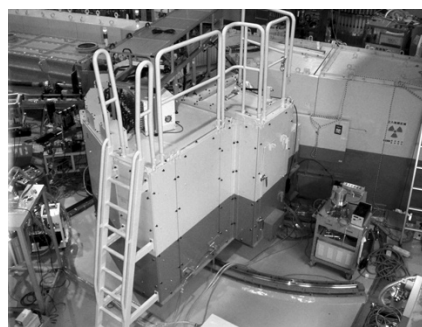


Fig. 1. Outward appearance of AGNES.

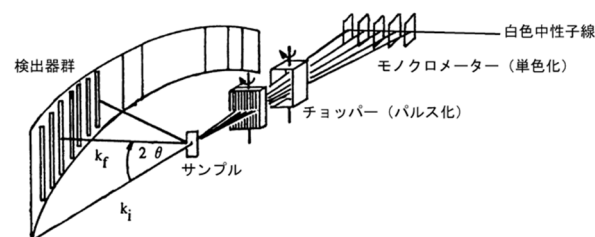


Fig. 2. Schematic structure of AGNES.

Table 1. Spec of AGNES.

取り出し角	78°	110°
中性子波長	4.22 Å	5.50 Å
ΔE 領域	-4~20 meV	-2~6 meV
ΔE 分解能	120 μeV	49 μeV
Q 領域	0.2-2.7 $\text{\AA}^{-1}$	0.15-2.1 $\text{\AA}^{-1}$
ビームサイズ	2(横)×4(縦) cm^2 (共通)	
温度範囲	0.7~800 K (共通)	

3. AGNES を用いた測定例

AGNES は検出器が位置敏感型でなく、分解能もあまり高くないので ($\Delta Q/Q=3\%$ 程度)、単結晶より液体や粉末試料の準弾性散乱 (QENS) や非弾性散乱 (INS) の測定に向いています。特に非干渉性散乱が主である含水素物質の自己拡散係数やフォノン状態密度の測定には最適です。震災前に行われていた AGNES の研究対象をあげると、液体ダイナミクス (イオン液体、水溶液など)、ナノ細孔中の水 (シリカ多孔体、MOF など)、水素吸蔵固体 (金属水素化物など)、高分子固体 (気体透過性高分子など)、ゲル (PNIPA、多糖類ゲルなど)、ガラス (ボゾンピーク、 β 緩和)、蛋白質 (ボゾンピーク、動力学転移)、固体物理系物質 (熱電半導体、単分子磁石など) などです。以下に、一例として MOF 型プロトン伝導体であるシュウ酸亜鉛錯体水和物の結果を紹介します。

Fig. 3 は $(\text{NH}_4)_2[\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}][\text{Zn}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$ に水を取り込んだ高性能固体プロトン伝導体 (室温で $\sigma = 10^{-2} \text{ Scm}^{-1}$) の QENS スペクトルです [4]。高分解能モード ($\lambda = 5.50 \text{ \AA}$) と標準モード ($\lambda = 4.42 \text{ \AA}$) で異なる緩和が観測されています。Fig. 4 はこれら 2 つの緩和に加え、エネルギー分解能が異なる海外の分光器で測定した緩和の緩和時間のアレニウスプロットです。この結果から、水分子と NH_4^+ イオンの運動 (それぞれ 2 つ) がプロトン伝導に関わっており、特に NH_4^+ イオンが重要であることが分かりました。このように、QENS 研究は広い時間領域を測定する必要があり、AGNES は一番速い領域を担当することが多いです。

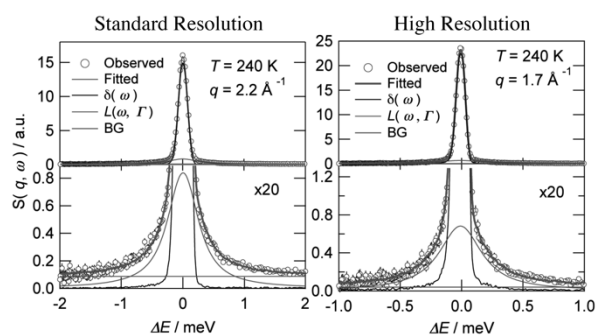


Fig. 3. QENS data of $\text{ZnADP} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

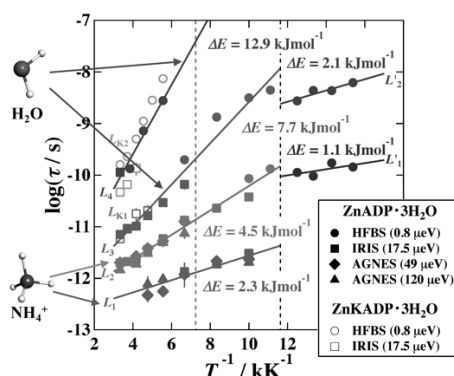


Fig. 4. Arrhenius plot for H_2O and NH_4^+ motions.

4. 停止期間中の高度化

震災後、C3 ガイドおよびコリメータのスーパーミラー化、高速チョッパー、検出器回路、クライオスタート (3 時間で 3 K まで冷却可) の更新を行いました。これらの高度化により、 $4.2 \text{ \AA}$ の中性子強度は 5 倍以上増大し、水などの準弾性散乱は 1 時間程度で測定できるようになります。また、 $2.5 \text{ \AA}$ の中性子強度は 20 倍以上になることから、Ge311 や PG004 などのモノクロを用いることにより、広いエネルギーロス側の非弾性散乱測定、高 Q 領域の準弾性散乱測定が可能になるはずです。さらに、高効率化で生じたマシンタイムの余裕を活かし、前述の Mica002 モノクロ (強度は PG の 10% 程度) による高分解能測定も計画しています。

5. 利用者へのメッセージ

以上に述べてきたように AGNES は 10 年間止まっている間の高度化により、十分世界と戦える装置になったと思います。ぜひ、J-PARC の DNA や VIN ROSE のような高分解能装置と組みあわせてお使い下さい。もちろん J-PARC には AMATERAS という競合する装置がありますが、AMATERAS よりはるかにマシンタイムの確保が容易だと思います。なお、AGNES の詳細については、以下のホームページもご覧下さい。

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/neutron/inst/AGNES/index-j.html>

参考文献

- [1] T. Kajitani, K. Shibata, S. Ikeda, M. Kohgi, H. Yoshizawa, K. Nemoto, K. Suzuki, *Physica B* 213–214, 872–874 (1995).
- [2] O. Yamamuro, Y. Inamura, Y. Kawamura, S. Watanabe, T. Asami, H. Yoshizawa, *Annual Report of Neutron Science Laboratory, Institute for Solid State Physics, University of Tokyo*, 12, 12–13 (2005).
- [3] 山室修, 稲村泰弘, 波紋 17, 85–89 (2007).
- [4] S. Miyatsu, M. Kofu, A. Nagoe, T. Yamada, M. Sadakiyo, T. Yamada, H. Kitagawa, M. Tyagi, V. Garcia Sakai and O. Yamamuro, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 16, 17295–17304 (2014).

山室 修 (やまむろ おさむ)

略歴: 1987 年 大阪大学院理学研究科博士課程修了。同年 大阪大学理学部助手, 1997 年 同講師, 2004 年 東京大学物性研究所助教授, 2013 年 同教授, 2020 年 同附属中性子科学研究施設長 (現職)。



所属: 東京大学 物性研究所 附属中性子科学研究施設
e-mail: yamamuro@issp.u-tokyo.ac.jp

専門: 物性化学物理, 中性子散乱

趣味: テレビドラマ・映画鑑賞, テニス