

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 7 日現在

機関番号：82110

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21604007

研究課題名（和文）独創的な集光理論に基づく、時間・空間同時集光型結晶アナライザーの開発

研究課題名（英文）Development of time-spatial-focusing crystal-analyzer based on an unique focusing theory

研究代表者

高橋 伸明（TAKAHASHI NOBUAKI）

独立行政法人日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター・研究員

研究者番号：80378877

研究成果の概要（和文）：本研究は、中性子実験装置の性能を高めることを目的とするものであり、新しいデバイス（結晶アナライザー）の性能を実証したものである。この実験装置の原理は飛行時間法と呼ばれるもので、実験試料から散乱された中性子が、結晶アナライザーで反射され、検出器に到達する、その到達時刻の確かさが要求されるものである。同時に、検出器に到達する中性子の空間分布も出来るだけ狭くする必要がある。そこで我々は、時間的に、そして空間的に集光させることが可能な結晶アナライザーの設計理論を構築し、その集光効果を計算機シミュレーションと実験により実証した。

研究成果の概要（英文）：This research was aiming to improve a neutron scattering instrument and we have demonstrated innovative performances of a novel device, which was a crystal-analyzer. The principle of the instrument is called as the time-of-flight method, i. e., neutrons which is scattered by an experimental sample reflect by a crystal-analyzer and reach to a detector. The method demands preciseness of the arriving time. And also, spatial distribution of neutrons should be narrow. Therefore, we developed a novel design concept of the crystal-analyzer which simultaneously implements the time-focusing and the spatial-focusing. We have demonstrated its focusing performances by Monte-Carlo simulations and experiments.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：時限

科研費の分科・細目：量子ビーム科学

キーワード：中性子実験装置開発



図 1. 時間・空間同時集光型アナライザーユニット試験体とその設置治具の設計図面



図 2. 時間・空間同時集光型アナライザーユニット試験体とその設置治具を含めた全体写真。

図 2 に示すバナジウムロッド試料の位置に中性子ビームが入射し、試料で散乱され、散乱された中性子のうち特定の波長の中性子が、アナライザーで Bragg 反射され、2D 検出器 (RPMT) において検出されるというジオメトリとなっている。ビーム実験には、この「試料」-「アナライザー」-「検出器」の位置関係が重要であるため、図 3 に示すように、試料位置にレーザ光源を設置し、アナライザー位置に鏡面反射板を設置し、検出器位置でその位置を確認する試験を行った。



図 3. ビーム実験に先立ち行ったレーザ光源を用いた「試料」-「アナライザー」-「検出器」の設置位置確認実験の様子。

試験の結果、検出器位置の中心に反射レーザ光が来ることが確認できた。

平成 22 年度には、結晶アナライザーユニット試験体に高精度のモザイク性 (0.4-0.5 度) を有するグラファイト結晶を設置した (図 4)。



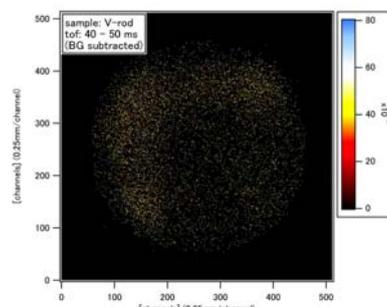
図 4. 結晶アナライザーユニット試験体。1 段に 5 枚の焼結グラファイト (PG) の結晶 (12mm 角) が設置されている。

当該アナライザーユニット試験体及びその設置治具を J-PARC センター物質・生命科学実験施設のビームライン 19 番 (BL19) に設置し、中性子ビーム実験を行った。図 5 に、設置の様子を示す。



図 5. J-PARC センター物質・生命科学実験施設 BL19 へ設置した結晶アナライザーユニット及び治具の様子。紙面奥からパルス中性子ビームが入射し、バナジウムロッド試料により散乱される。散乱中性子のうち、波長 6.6 Å の中性子が紙面右手 (散乱角は 90 度) の結晶アナライザーユニットにより Bragg 反射 (Bragg 角は 80 度) され、紙面中央の 2 次元検出器により検出される。

アナライザーとして用いた結晶は、PG (002) であり、その面間隔は 3.355 Å である。結晶アナライザーの Bragg 角は 80° であるため、Bragg 反射される中性子の波長は 6.6 Å と定められる。一方、BL19 のパルス中性子源から試料位置までの飛行距離が 40m、試料から検出器までの光路長が 1.4m であることから、試料で散乱された波長 6.6 Å の中性子の検出器への到達時刻は、69.15ms と計算される。そこで、2 次元検出器により得られる中性子の空間分布を 10ms 毎の時間幅で切り出し、プロットした (図 6)。



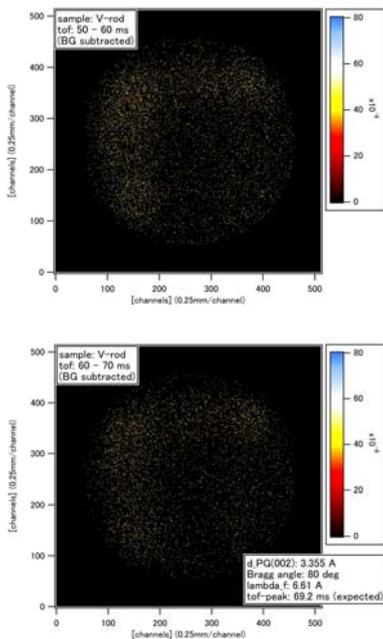


図 6. 2 次元検出器により得られた中性子の空間分布。上から飛行時間が 40-50ms、50-60ms、60-70ms のデータを示す。

結果は、どの時間帯にも明確な強度ピークを示さなかった。図 7 に、このジオメトリでの実験を計算機シミュレーション上で実行したときの結果を示す。

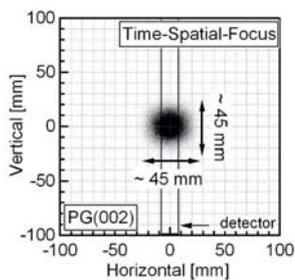


図 7. 中性子ビーム実験でのジオメトリを計算機シミュレーションにより実行した時の検出器位置での中性子空間分布。シミュレーションで用いた結晶アナライザユニットは、1 段が 5 枚の PG(002) を 21 段連ねたものである。

計算条件は、結晶アナライザユニットが 5 列を 1 段として 21 段実装したものであるため、横方向の集光のみ評価すると、検出器位置への空間分布は、横幅 45mm 程度に集光された中性子が検出されるはずである。即ち、中性子ビーム実験では、検出器位置に散乱中性子を結晶アナライザで反射させて導くことが出来なかった事が分かる。

そこで、結晶アナライザ設置治具の改良を行うこととした。即ち、結晶アナライザ

ユニット背面に 2 軸アーク稼働のゴニオステージを設置し、Bragg 角の微調整が可能な設計に変更した。一方で、中性子飛行経路にコリメータを設置し、バックグラウンドを改善するための試みを実施した。さらに、次回のビーム実験へ向け、多段型となる結晶アナライザユニット本体 (7 段×5 列) を設計し、製作に着手した。しかし、茨城県に位置する当研究所も 3 月 11 日の東日本大震災により大きく被災し、当該製作案件については平成 23 年度へ繰越を行った。

平成 23 年度においては、多段型ユニット本体 (7 段×5 列) の製作を完成させた。これは、1 段にグラファイト結晶を最高 7 列分配置出来るものとし、散乱ビームのうち同じ Debye-Scherrer コーン上のもを受け、反射させることが出来るようにした。これにより、結晶アナライザユニットの設置散乱角が 90 度以外の角度にも対応可能となった。しかし、前年の大震災による BL19 の損傷が激しく、平成 23 年度中には復旧が叶わなかったため、ビーム実験は実施出来なかった。当初計画にあった原子力機構東海研究所の 3 号炉の中性子実験装置を用いるという代替案も、3 号炉の運転が再開されなかったため実施出来なかった。そこで、結晶アナライザ型中性子非弾性散乱分光器の性能向上を目的としたデバイスの高度化設計を行い、計算機シミュレーションによりその性能を実証する研究を行い、その成果を誌上発表した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Nobuaki TAKAHASHI, Kaoru SHIBATA, Yukinobu KAWAKITA, Kenji NAKAJIMA, Yasuhiro INAMURA, Takeshi NAKATANI, Hiroshi NAKAGAWA, Satoru FUJIWARA, Taku J. SATO, Itaru TSUKUSHI, Ferenc MEZEI, Dan NEUMANN, Hannu MUTKA, Masatoshi ARAI, Repetition Rate Multiplication: RRM, an Advanced Measuring Method planed for the Backscattering Instrument, DNA at the MLF, J-PARC, Journal of the Physical Society of Japan, 80, SB007 (2011), 査読 有。  
<http://jpsj.ipap.jp/journal/JPSJS-80SB.html>

[学会発表] (計 24 件)

- ① Nobuaki TAKAHASHI, The novel measuring method in inelastic region: RRM planned for the backscattering spectrometer DNA at the MLF, J-PARC, 1st Asia-Oceania

Conference on Neutron Scattering (AOCNS), 2011年11月23日、茨城県つくば市。

② Nobuaki TAKAHASHI, RRM: An Advanced Measuring Method in Inelastic Region by the Backscattering Instrument DNA at the MLF, J-PARC, The International Workshop on Neutron Applications on Strongly Correlated Electron Systems 2011, 2011年2月24日、茨城県那珂郡東海村。

③ 高橋伸明、時間・空間同時集光型結晶アナライザーの開発 I、日本中性子科学会第10回年会、2010年12月10日、宮城県仙台市。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋 伸明 (TAKAHASHI NOBUAKI)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・  
J-PARC センター・研究員  
研究者番号：80378877

### (2) 研究分担者

柴田 薫 (SHIBATA KAORU)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・  
J-PARC センター・研究員  
研究者番号：60183836

### (3) 連携研究者

佐藤 卓 (SATO TAKU)  
東大・物性研・准教授  
研究者番号：70354214

### (4) 連携研究者

川北 至信 (KAWAKITA YUKINOBU)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・  
J-PARC センター・研究副主幹  
研究者番号：50264015

### (5) 連携研究者

相澤 一也 (AIZAWA KAZUYA)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・  
J-PARC センター・研究主幹  
研究者番号：40354766

### (6) 連携研究者

中島 健次 (NAKAJIMA KENJI)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・  
J-PARC センター・研究主幹  
研究者番号：10272535