

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム  
産業ニーズ対応タイプ 完了報告書(公開版)概要

技術テーマ	:コンパクト中性子源とその産業応用に向けた基盤技術の構築
研究課題名	:He-3 代替位置敏感型中性子検出器の開発
プロジェクトリーダー	
機関名	:国立大学法人 名古屋大学
氏名	:瓜谷 章

## 1. 研究の目的

He-3位置敏感型検出器群は、中性子回折実験等には必須の物であるが、これら従来のHe-3位置敏感型検出器は長尺で、かつ検出効率を上げるためガス充填圧力を高くするために、大量のHe-3ガスを必要とする。しかしながら昨今のHe-3ガスの価格高騰はすさまじいものがあり、特に予算が限られている施設では使用が難しくなりつつある。今後の小型中性子源の産業応用展開を考える上で、検出器の高コスト化は大きな障害となりうる。そこで本研究では、このHe-3位置敏感型検出器の代替検出器として、シンチレータを用いた位置敏感型検出器を開発することを目的としている。

今回使用するシンチレータには、わが国で開発された中性子用シンチレータであるLiCaAlF<sub>6</sub>(以下LiCAF)あるいは従来からより使用実績のあるZnS(Ag)(以下ZnS)を用いる。LiCAFについては、さらにこれを微細化して透明樹脂中に分散させたTRUST LiCAF(Transparent RUBber SheeT LiCAF)を用いる。

上述の新型シンチレータを用いて実現を目指す検出器形態の一つは、従来の中性子回折実験で用いられてきたHe-3位置敏感型比例計数管を代替する長軸一次元位置敏感型検出器である。これに新型シンチレータを採用して高検出効率化する。もう一つの実現を目指す検出器形態は、図1に示すように円環状のTRUST LiCAFをすきまなく球殻状に配置して、4 $\pi$ ジオメトリの小型でかつ高検出効率の回折実験用の中性子検出器である。

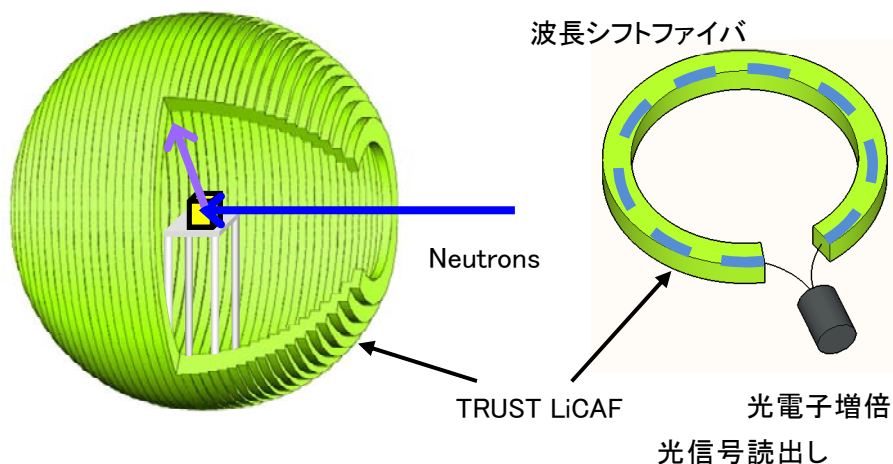


図1 球殻状配置多重円環中性子検出器群と信号読出

検出器開発に加え、要素技術として、用いる材料に関しても検討を行う。本研究で主に用いるTRUST LiCAFの開発はごく最近であり、用いる LiCAF の組成や製法を改良することで更なる特性の向上が見込まれる。現状は Eu を添加した LiCAF の単結晶を微小に破碎して樹脂に充填する手法で製造しているが、そもそも当初からセラミック化する事で製造の手間の軽減が期待される。微小片の樹脂埋め込み型シンチレータは、LiCAF 以外にもあらゆる固体シンチレータに適用が可能な方法であるため、LiCAF 以外の中性子用シンチレータの組成（例えば、希土類添加 LiF、 $\text{Li}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3$  ガラス）の探索もあわせて行う。

今回主として用いるLiCAFは、日本で開発された中性子用検出器であり、なかでもTRUST LiCAFはHe-3比例計数管に優るとも劣らない諸特性を有している。今回開発する2種類の位置敏感型検出器はもとより、本プロジェクト内で開発する新規シンチレータ、シンチレータの安価な製造方法等を総合的に利用した中性子計測システムとして世に出したい。また、放射線検出器メーカーとの協力が前提ではあるが、開発した中性子計測システムの世界的な展開を図ることを目標の一つに据えている。

## 2. 研究成果の創出状況

マイルストーン	達成状況
(1) 長軸位置敏感型検出器の開発:50cm 程度の有効長を有する、長軸位置敏感型検出器を実際に作製することと、中性子の検出が可能であることを実証すること。	長軸 TRUST LiCAF シンチレータの中に波長シフトファイバを通し、波長シフトファイバ両端の光量比より、発光位置を推定する方式について試験を行った結果、長軸検出器を構成できる見通しを得たが、位置情報の取得に関しては容易ではないことが確認された。
(2) 多重円環中性子検出器の開発:実際に直径 30 cm 程度の球殻に、10 本程度の円環検出器を配置した試作機を実際に作製すること。	TRUST LiCAF の持つ柔軟性を利用し、この検出器円環状にし、これを球殻の一部に複数本配置した検出器を試作した。円環上の位置に寄らず一様な感度応答を示すことを確認した。
(3) 長軸位置敏感型検出器の開発:50cm 程度の有効長を有する、長軸位置敏感型検出器を実際に作製することと、中性子の検出が可能であることを実証すること。両面読出しによる信号波高の向上を確認。	全長 1 m 程度の波長シフトファイバ分断型一次元位置敏感型検出器を作製した。動作検証試験を行い、位置検出が可能であることを実証した。また、波長シフトファイババンドルをシンチレータの両面に配置することで、集光効率が向上し信号波高が向上することを確認した。
(4) 長軸位置敏感型検出器の開発:有感長を、おおむね 1m 程度に延ばすこと。中性子に対する位置分解能として、10%程度が達成されていることを確認すること。	有感部 840 mm の長軸波長シフトファイバ分断型一次元位置敏感型検出器を作製し、応答評価試験を実施した結果、相対位置分解能で目標としていた 10%を達成されていることが確認された。
(5) 多重円環中性子検出器の開発:円環検出器の設置密度を、2 倍程度に上げる。実際に散乱中性子を計測できることを実験的に実証すること。	多重円環中性子検出器として全立体角の 95%をカバーでき、角度分解能 $2^\circ$ 以下を達成できるように断面積 $4 \times 4$ mm の円環検出器を 79 本配置したも

	のを製作した。小型中性子源 KUANS にて中性子回折実験を行い、鉄粉末の回折ピークを観測することに成功した。
(6) LiCAF セラミックスの製法確立:一般的なセラミックスの確認手法である SEM による粒界観察を行い、LiCAF セラミックスが合成出来ている事を確認する。	SPS 法、メカノケミカル法のそれぞれを用い、LiCAF セラミックスの合成手法を確立した。これらを用いて、材料メーカーの協力のもと、問題なく TRUST 化が行えることを確認した。これらの結果はコスト低減的な観点において、大きく進んだ部分であると言える。
(7) LiCAF の組成最適化および新規シンチレータ探索: LiMAF、LiCAF、LiSAF、LiF、Li <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> -AlPO <sub>4</sub> 、Li <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、MgO-B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ベースなど合わせて 100 種類以上の新規シンチレータを開発し、シンチレーション物性を評価する。	100 種以上の新規シンチレータの開発を行い、約三割の物質からパルス波高値スペクトル計測において、明瞭な熱中性子ピークの観測に成功した。特に有望なものとして、LiMgAlF <sub>6</sub> 、LiAlO <sub>2</sub> 、LiGaO <sub>2</sub> 、LiF-CaF <sub>2</sub> 等を見出した。
(8) 長軸位置敏感型検出器の開発:有感長を、おおむね 1m 程度に延ばすこと。中性子に対する位置分解能として、10%程度が達成されていることを確認すること。	高い検出効率を維持したまま、位置分解能を持つ検出器を試作できた。有感長が 96cm 長で 3cm、つまり 3.1%の位置分解能を示す検出器システムを完成できた。
(9) 長軸位置敏感型検出器の開発: TRUST LiCAF 型と ZnS 型の検出器の比較を行い、双方の位置分解能を実験的に比較する事。	平成 29 年度の評価において頂いた一次元検出器の開発については打ち切り、多重円環状検出器および二次元検出器の開発に注力すべきとの PO コメントに従い実施せず。
(10) TRUST LiCAF を用いた非位置敏感型中性子検出器(2次元位置敏感型検出器としても動作可能)を、信号処理法を含めて名古屋大学・KEK と共同で開発する。	ADC を 64 入力持つ LiTA12h 読み出し回路の改良として、LiCAF シンチレータの発光量を十分に積分することができるよう回路の時定数を調整した結果、中性子ピークを観測できるようになった。また、LiTA12h 読み出し回路のプログラムを変更し、2次元処理回路に使用できるようにし、中性子画像を取得することに成功した。

### 3. 今後の展開

今回開発を進めた技術をもとに放射線計測器メーカー等と協力し製品化等に向け進めたい。中性子回折実験用の多重円環中性子検出器については、小型中性子源の中でも比較的中性子強度の低い KUANS においても粉末試料の回折像を取得することが可能であることを実証したので、より一層の性能向上を図るとともに、小型中性子源への普及も視野に入れたい。

以上