

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 12 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760684

研究課題名（和文）中性子スピントラフグラフィによる燃料電池内部の水及び電流密度分布の同時可視化

研究課題名（英文）Visualization of distribution of water and current density in a fuel cell using neutron spin phase contrast imaging method

研究代表者

林田 洋寿（HAYASHIDA HIROTOSHI）

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：50444477

研究成果の概要（和文）：中性子スピントラフグラフィ法をパルス中性子源に適応させることで磁場に対する分解能を向上させ、燃料電池を模擬した試料を用いて電流密度分布の可視化に成功した。

研究成果の概要（英文）：Neutron spin phase contrast (NSPC) method was applied to a pulsed neutron source in order to improve a resolution of NSPC and current density on a test sample of fuel cell was visualized.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：放射線工学・ビーム光学

1. 研究開始当初の背景

燃料電池は家庭用としては既に実用化もなされているが、それ以外でも自動車用、携帯電話用、ノート PC 用など、多岐にわたる実用化が期待されている。これらの中でも、自動車用においては、加速時や高速移動に伴う高負荷発電が前提であり、実用化を達成するためには、より発電効率を向上させることが最重要課題の一つとされていた。

燃料電池ではセパレーターを通して、アノードには水素ガスが、カソードには酸素ガスが供給される。高分子膜を H^+ が移動し、一方で電子が外部回路を移動して電力が発生する。カソードでは、供給された酸素ガスが H^+ および電子と反応して水が生成され、セパ

レーターを通して排出される。セパレーターには流路とリブという領域があり、リブで生成された水は流路に浸み出すように排出されるため、流路部分と比べて排出されにくい。そのため、「流路に接している高分子膜部分」と「リブに接している高分子膜部分」では電流密度が異なっていることが予測されていた。したがって、発電効率を向上させるためには、流路とリブでの電流密度の差異とそのときの生成水の挙動を明確にすることが求められていた。研究用燃料電池では、典型的な流路およびリブの幅が 1mm であるので、1mm 以下の空間分解能でこれらを明らかにする必要があった。更にこれらの知見より、より最適化された高分子膜およびセパレーターの開発が要求されていた。

2. 研究の目的

燃料電池のような金属に囲まれたものの内部にある水を観測する際に、透過力に優れた中性子は非常に強力なプローブである。また、中性子は磁気モーメントをもつため、磁場中で歳差回転を行う。磁場に分布があると歳差回転にも分布が生じる。歳差回転とは、自転している中性子の回転軸が磁場の周りで回転する現象である。この原理を応用した中性子スピン干渉計は、中性子の歳差回転を観測でき、ラジオグラフィ技術と組み合わせることで2次元的可視化が可能となる。

本研究ではこの技術を用いて発電時の燃料電池中の水の挙動と電流密度分布を同時に可視化し、燃料電池の発電効率向上につながる知見を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

過去の実験結果から、燃料電池の電流密度を可視化するためにはスピン干渉イメージング法における磁場に対する感度(分解能)の向上が必要であることが分かっていた。スピン干渉法の分解能は、中性子の波長分散に依存しているため、分解能向上のためには波長分散を小さくすることが必要であったが、波長分散を小さくすることは中性子強度の減衰を意味するため、限界があった。しかしパルス中性子を用いると、飛行時間法により強度の減衰なく波長分散を小さくすることが可能であった。

(1)そこで本研究ではまず中性子スピン干渉イメージング法をパルス中性子源に適応させることを試みた。図1にスピン干渉イメージングの模式図および実験の写真を示す。スピン干渉計をパルス中性子に適応させることは、2つの共鳴スピントリッパー(Resonance Spin Flipper, RSF)をパルス中性子に適応させることで実現される。本研究ではファンクションジェネレータで、パルス中性子源のトリガーとRSFに流す電流とを同期させることが必要となる。

(2)燃料電池を模擬した試料を用いて電流密度の可視化を試みた。(1)によってパルス中性子源に適応させた中性子スピン干渉イメージング法によって、燃料電池の電流密度分布の可視化実験を行った。本実験ではまず、燃料電池実機を用いる前にアルミニウムブロックとアルミプレートで作成した燃料電池を模擬した試料を用いた。図2に模式図を示す。50mm×20mmで厚さ5mmのアルミブロック2枚を燃料電池の電極に見立て、この2枚の電極間距離を10mmにして、厚さ1mmのアルミ板で橋渡しをした。アルミ板の間隔を1mmとして、計5枚のアルミ板を用いた。本実験では電極に5Aの電流を流して、その電

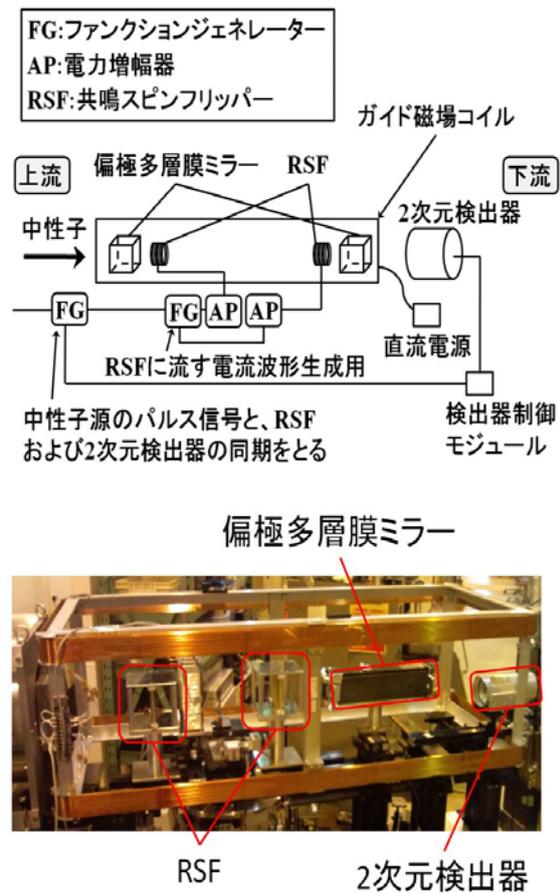


図 1. スピン干渉イメージング法の体系模式図(上)と実験写真(下)

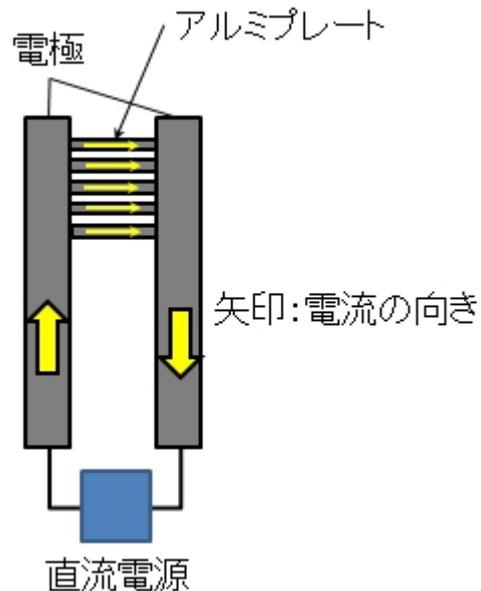


図 2. 燃料電池の模擬試料

流の作る磁場をスピン干渉イメージング法

で観測することを試みた。

4. 研究成果

(1)により、パルス中性子に適応させたスピン干渉イメージング法による2次元イメージの測定結果を図3に示す。縦軸横軸共に、1ピクセルあたり1mmの空間分解能で示した。スケールは中性子スピンの回転数である。本実験では、縦30mm、横2mmの縦長のビームを用いている。スピン干渉イメージングのセットアップが縦方向の磁場に感度を持つセットアップとなっていたので、試料の側面にビームを通して、電流の流れるアルミ板が作る縦方向の磁場を観測している。測定の結果、1mmピッチでの濃淡が得られており、アルミ板に流れる電流の作る磁場を観測することに成功している。縦ピクセルの0~20の領域はアルミ板の無い領域である。そのため0~20ピクセルでは特徴的なコントラストは得られていない。0~15ピクセルと15~20ピクセルの領域に見られるコントラストは、アルミ板の作る磁場が若干広がっているために得られたものと考えられる。また、この時の中性子スピンの回転数のコントラストは、小さいところで約0.01回転であった。これは定常中性子源では測定が困難であった分解能であり、パルス中性子源に適応させた効果も確認できた。

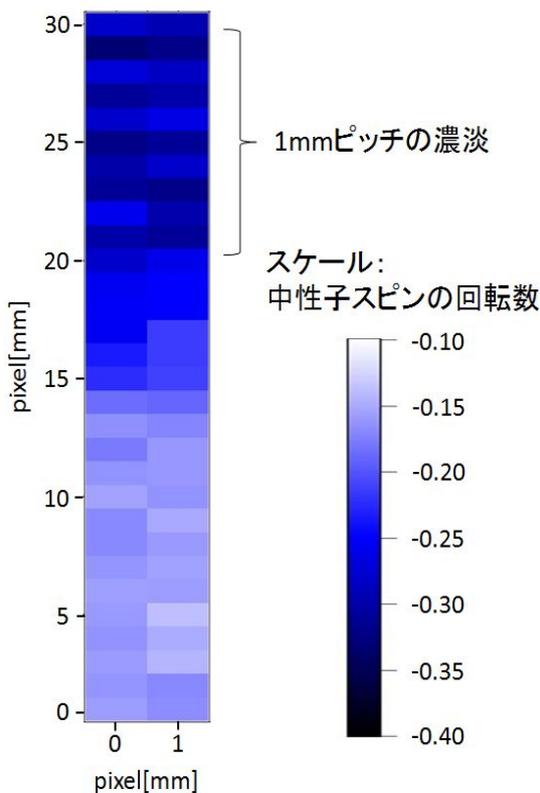


図3. 電流密度分布可視化結果

本研究では、大震災の影響で十分なマシンタイムの確保ができていなかったため、燃料電池実機を用いた測定には至らなかった。今後は燃料電池実機を用いて、発電中の電流密度分布と水の同時可視化を行っていく。

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)

[学会発表] (計1件)

林田洋寿「中性子スピン干渉計による磁区可視化の試み」日本原子力学会 2011年秋の大会, 北九州国際会議場

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林田洋寿 (HAYASHIDA HIROTOSHI)

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: 50444477

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし