

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：学術創成研究費

研究期間：2004～2008

課題番号：16GS0417

研究課題名（和文） パルス中性子源を活用した量子機能発現機構に関する融合研究

研究課題名（英文） Advanced pulsed-neutron research on quantum functions  
in nano-scale materials

研究代表者

池田 進 (IKEDA SUSUMU)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・教授

研究者番号：80132679

研究成果の概要：本計画では、大強度パルス中性子源の建設が世界的に進む中で、我が国が将来先導することが期待される表面・界面の精密構造研究、グリーンマテリアルの機能発現機構研究、非一様系の構造とダイナミクス研究、水素結合を基調とする生体分子ネットワーク研究、強相関物質の物性発現機構の研究を深化させ、新しい研究方向を確立させた。また、医学や考古学のような全く新しい分野での中性子利用の可能性を示すことに成功した。これに加えて、世界のパルス中性子施設と協力してパルス中性子科学技術の革新を行い、多くの基盤技術や解析手法を実現させ、これらを用いた新しい中性子実験装置の提案に至った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	95,200,000	28,560,000	123,760,000
2005年度	90,200,000	27,060,000	117,260,000
2006年度	94,400,000	28,320,000	122,720,000
2007年度	91,600,000	27,480,000	119,080,000
2008年度	97,200,000	29,160,000	126,360,000
総計	468,600,000	140,580,000	609,180,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学 ・ ナノ構造科学

キーワード：パルス中性子、中性子散乱、物性物理、ナノ物質・材料、計測技術、国際協力

## 1. 研究開始当初の背景

本研究の研究期間は中性子科学にとって画期的な期間であった。フランス ILL 研究所原子炉の完成した 1970 年以降、世界の中性子強度は殆ど増加することなく、中性子科学飛躍の足枷となってきたが、この長年の懸案を解決する 1MW 級大型パルス中性子源が世界の三ヶ所(日本、米国、英国)に建設開始が決定された時期であった。これは、世界的協力によって中性子科学の革新を図る時であるとともに、中性子科学における世界的競争の幕開けを意味していた。このため、J-PARC 完成に向

けて時間が逼迫する中、高エネルギー加速器研究機構(KEK)に設置された日本唯一のパルス中性子施設 KENS や英米の既存パルス中性子施設を利用して、中性子技術革新を実現するとともに将来先導すべき新しい中性子科学を創成することが強く求められていた。

## 2. 研究の目的

大型パルス中性子源建設が世界的に進む中で、世界の既存のパルス中性子施設(KENS、IPNS(米国アルゴンヌ国立研究所)、LANSCE(米国ロスアラモス国立研究所)、

ISIS(英国ラザフォードアプルトン研究所))と協力して、技術開発によりパルス中性子科学技術の革新を計るとともに、日本が将来先導すべき新しい中性子科学の創成を目指して中性子散乱実験を推進し、パルス中性子新時代をリードすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、海外研究施設との協力研究の推進、中性子科学の刷新、中性子技術の高度化、異分野における新しい中性子科学の創成を基軸として研究を推進した。

研究推進のため、次の6班からなる実行組織を編成した：①表面・界面量子組織構造の多次元精密構造解析、②グリーンマテリアルの機能発現機構の解明、③非一様系における量子組織構造とダイナミクス研究、④水素結合を基調とする生体分子ネットワーク研究、⑤強相関物質の超構造とダイナミクスの研究、⑥デバイス開発。

各班は我が国でパルス中性子科学を推進してきた研究者で構成した。各班の班長及び幹事は、当初、研究分担者から任命した。班員(研究協力者)は数名から十数名で構成される。この組織を統括するため研究代表者及び総合幹事(研究分担者)等からなる本部を置いた。国際協力推進のため海外共同研究者を置いた。

研究計画の策定、研究の進捗状況の把握、メンバー間の交流、研究成果の確認、新たな研究テーマの開拓のため班長会議及び研究会を年1~2回開催した。研究会のインターナショナルセッションでは、関連する外国施設からの参加を受け、国際協力における研究計画及び研究成果について議論した。

### 4. 研究成果

#### (1) 海外研究施設との協力研究の推進

日英中性子散乱研究協力事業では、1986年からの第一期協定、1996年からの第二期協定に引き続き、2006年に第三期研究協定が締結された。ISISと随時技術交流を進め、年二回の実験課題の申請を行ない、マシンタイムを確保して実験研究を推進した。単結晶試料の分光器上での結晶方位の制御のための極小ゴニオメータの開発を行ない、非弾性散乱実験における効率的なデータ解析ソフトも開発し、実験の効率化を計った。IPNSとLANSCEとは、それぞれ2005年に研究協定を締結した。研究協定に基づきマシンタイムを確保して、本研究に関わる研究課題を実施した。

#### (2) 中性子科学の刷新

①第1班では、表面・界面や薄膜の構造とダイナミクスの研究を進め、新しい表面科学の創成を目指した。

生体膜のモデルであるリン脂質二分子膜は、添加剤によって細胞サイズの小胞形成効率が

向上する。中性子反射計で実験研究を行った結果、添加塩はリン脂質の二分子膜の間に偏在し、小胞形成効率をあげていることを明らかにした。また、高温で、添加塩によって向かい合う二分子膜が互いに入り組んだ“interdigitated相”へ転移することを初めて見つけた。

高分子を飛躍的に高い密度でグラフトすることで合成された濃厚ポリマーブラシが、準希薄ブラシとはまったく異なる独自の性質を示すことを確認した。高密度での末端固定は、耐摩耗性の向上をもたらし、多様な応用分野への展開が期待される。

高分子薄膜は、膜厚の減少に伴いガラス転移温度や熱膨張係数が低下し、バルクとは異なる性質を示す。ガラス転移温度や熱膨張係数の膜厚依存性は表面の動きやすい層と基板界面の動きにくい層がどの程度それぞれの現象に寄与しているかによるものと考えられる。高分子薄膜の中性子非弾性散乱を行ない、表面の動きやすい層と基板界面の動きにくい層のダイナミクスを研究し、薄膜は不均一な多層構造をとっていることを実証した。

②第2班では、従来の周期構造解析法に加えて、MEM(最大エントロピー法)、PDF(二体分布相関関数法)、RMC(逆モンテカルロ法)を採用し、局所的な乱れを含めたより正確な構造解析技術の開発を行なった。これにより、次のような発見があった。(a)固溶体型水素吸蔵合金Ti-Cr-Mo系では、合金組成のMo量が増加するに従い水素周辺のTiの配位数が増加する。(b)リチウム伝導体(Li<sub>1</sub>La)TiO<sub>3</sub>は焼成過程の違いによりイオン伝導度の違いが生じるが、急冷によりLa原子の配置が不規則になり、イオン伝導度に影響を与えている。(c)CuIは高温の超イオン伝導相では、CuはIの四面体ユニットの中心に存在するが、特定の結晶軸方向に原子変位が広がっている。(d)プロトン伝導体RbMg(PO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>OでPO<sub>4</sub>四面体の連結の違いによって伝導性が変化する。(e)高温酸素分離膜材料であるランタンガレートでは、酸素原子間距離の変化がイオン伝導性を支配している。(f)かご型物質12CaO-7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>中の自由酸素と酸素イオン伝導機構には、特定の酸素のサイトが伝導に寄与している。

これらの研究成果から、今後の材料機能研究には、高速構造解析装置や超高分解能構造解析装置を実現し、局所構造の乱れの研究推進が極めて重要であるとの結論に至った。

③第3班では、ガラス、液体、準結晶、パーコレーション磁性体を実験的に観察及び研究し、普遍性を見つけ出し、新しい研究方向を定めることを目的とした。

金属ガラスの構造と安定化に関する静的構造(ボロノイ多面体解析)ならびにダイナミク

スの研究を行い、金属ガラスの安定性は、二十面体的な多面体が増加し、かつ自由体積の減少が原子の動きを阻害し、原子が動くことによって形成される結晶核の形成と成長を妨げることを明らかにした。これがガラスの安定性に大きく寄与している。

準結晶構造が、なぜ自然界に安定に存在できるのかという重要な問いに答えるため、準周期構造中にスピンを配置した系での磁気励起と緩和励起モードの研究を行った。この結果、励起は準結晶を特徴づける正十二面体クラスター等の小さなクラスター上のスピンの協力的なモードであること、緩和は量子臨界点近傍でよく見られる E/T スケーリングと同じものが観測された。これは準結晶の動的な研究の第1歩となった。

液体構造研究において RMC による構造モデリングという手段を静的構造の解釈に取り入れ、定量的な静的構造の議論を初めて行った。溶融塩 CuI では、Cu が隣の空孔サイトへと拡散したとき、残された空孔の周辺にいる I は空孔をつぶすのではなく、電気的な反発力により、空孔サイトを拡げるように運動し、次の Cu を呼び込むという協同的高速拡散運動の描像が明らかにした。

液体構造の空隙に視点を置いた RMC 法による構造解析を液体 Hg 及び液体 Se-Te 混合系に適用した。この結果、物性の変化に伴う構成原子の構造因子には明確な変化は見られないが、空隙のサイズや配位構造が変化していることを明らかにした。

フラクタルの概念が成り立つのかの検証をパーコレーション磁性体で行った。パーコレーション磁性体は唯一単結晶試料の存在するフラクタル系である。三次元系においてフラクタル次元を実験的に決定するとともに、中性子非弾性散乱実験により集団励起モードであるフラクタルの検証を行なった。動的構造因子が単一特性長でスケールされるという長年の理論的予想をはじめて実験的に完全に証明した。今後、この研究成果をもとに多くの実験研究や理論研究が行われるであろう。

④第4班では水素結合の理解を目指した。我々の生活を彩る物質群において共有結合が構造の骨格形成の役割を担っているのに対し、水素結合は外的刺激に応答する機能に関連した役割を演じている。水素結合の全体像の理解と今後の方向性を探る以下の研究を推進した。

低分子スケールでの水素結合の研究では、メタン-水系で水素結合による水分子の籠の中に捕われたメタンを、生体分子の立体配置のモデルケースとし、その動的構造解析を行ない、メタンと籠との相互作用に起因するダイナミクスを明らかにした。炭酸イオン・アラニン等において、同位体置換法を $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 、

$^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ 、H/D、 $^6\text{Li}/^7\text{Li}$ を用いて、官能基ごとの水和構造を明らかにした。

水素結合のネットワーク構造の特性を、水分子を細管等の制約空間内に閉じ込めることで特徴を引き出し、静的・動的構造を調べた。水-アルコール系において水分子とアルコール分子が作り出す構造揺らぎを、初めて中性子小角散乱データをRMCで解析することで可視化に成功した。水分子によるタンパク質の立体構造の安定化に注目し、アルコール添加による構造変化を調べた。水分子のネットワーク構造は、タンパク質分子の会合形成を含めた高次構造形成およびその安定化に重要な役割を果たしていることを明らかにした。

上述のように原子間の水素結合、水素結合の連結等で形成される分子クラスター、そして生体高分子までの物質群の各階層における構造と機能の研究を行なった結果、水素結合は外的刺激に応答し、構造を決定し、さらにその構造から特徴的な機能を発現している。タンパク質では、水素結合が立体構造の形成と構造の安定化に寄与し、構造の変化が機能の喪失につながることを指摘した。

疾病に関係するタンパク質の形状と機能の関連研究を開始し、次のような成果を挙げた。異常凝集が白内障を引き起こすと考えられる水晶体内タンパク質クリスタリンにおいて、外的ストレスによる異常凝集の過程を明らかにするとともに、クリスタリン構成サブユニットに応じて外的ストレスに対する耐性の相違があることも発見した。このことは、将来の白内障予防薬の創成につながる可能性がある。また、パーキンソン病やアルツハイマー病と関連する脳タンパク質UCLH-1、 $\alpha$ シニクレン、タウの異常凝集機構の解明を行ない、凝集と疾病との関連を明らかにした。

⑤第5班では、当初、酸化物高温超伝導機構の解明に集中した研究体制をとったが、その後、その他の強相関電子系にも研究対象を広げた。高温超伝導体の研究では、いくつかの銅酸化物超伝導体について磁気励起スペクトルの全容を高いエネルギー領域まで測定し、スペクトルや分散関係の普遍的側面を明らかにした。しかし、同時に、この系の電荷励起にはフォノンの関与が重要であることを明らかにした。

また、強い電子間クーロン相関と強い電子・格子相互作用とが共存する多電子系の理論的解析をすすめ、経路積分法での負符号フェルミオン問題を解決し、近似なしでスピンの動的構造を計算する手法を確立した。

これらの研究から、高温超伝導体を含む強相関系物質の機能発現の研究には、高いエネルギー遷移を観測する「高エネルギー分解能散乱装置」やフォノン系とスピン系を区別できる「偏極中性子専用実験装置」の建設が必要であるとの結論に至った。

⑥異分野における新しい中性子科学の創成  
上述の5つの班とは別に、これまで全く中性子研究を行ったことのない研究分野の研究者と共同研究を行う体制を確立し、次のような研究を創成した。

中性子散乱によるタンパク質の形態変化に起因する疾患の診断に関する研究を、医学研究関係機関等(順天堂大学、国立神経精神研究所)と共同で行ない、疾病への応用研究を試みた。詳細は(2)④に示したとおりである。

さらに、国立歴史民俗博物館と共同で中性子考古学の創成を計り、火縄銃や縄文土器に関する研究を行なった

江戸時代における火縄銃の銃身の製法には、細長い鉄板を軸のまわりに巻き、接合部分を鍛接する方法(うどん張)と、うどん張で作られた円筒の上に細長い鉄板を斜めに巻き付ける方法(巻張)があった。走査型電子顕微鏡(SEM)でこれらを識別できるが、銃身表面の研磨が必要であり、外観を損ねる問題があった。中性子回折実験により銃身内部にわたってSEMと一致する結果を得た。中性子散乱は完全非破壊という利点があり、従来の手法で調査できない貴重資料への適用も可能となった。

縄文土器を中心に、弥生土器、近世陶磁器を含む試料の中性子回折実験を行ない、鉱物モデルを構築し、結晶の定量解析を行なった。Si(酸性度に対応)とAl(粘度化率に対応)の重量比に負の相関を見いだした。これと産地や土器形式との関係について今後検討を進める。また、土器中の結晶性 $\alpha$ 石英の存在比が縄文時代中期に急激に増大することがわかった。

### (3) 中性子技術の高度化

中性子散乱実験を効率的に行なうためには、中性子源から中性子検出そしてデータ処理に至るまで、全ての段階を最適化する必要がある。J-PARC 中性子源は繰り返しが25Hzと比較的繰り返しが低く、広いエネルギー範囲の測定が可能である。これは米国SNSと異なる大きな特徴である。減速材は大強度型、高分解能型、中間型の三種があり、様々な散乱実験に対応できる。第6班では、J-PARC 中性子源に対して広範囲の中性子散乱実験を効率化するためのデバイス開発を行なった。

#### ①要素技術の開発

フェルミチョッパーはスリットを加速器周期への同期回転によりパルス中性子を単色化するデバイスであるが、回転制御精度実現に不可欠な磁気軸受の応用をめぐって調達が世界的に困難になっていて、世界の各施設が独自に確保する動きが生じている。国産で独自に製作できない限りこの分野で世界に遅れをとる懸念がある。磁気軸受型ターボ分子ポンプの改造による実現を目指して制御系及び回

転スリットの開発を行なった結果、当初の目標である回転数を十分な回転制御精度で達成し、国産化の可能性を証明した。

T0 チョッパーは鋼材を加速器周期に同期回転させ、分光器に入射する高エネルギー中性子を遮断しバックグラウンドノイズを低減させるデバイスであり、eV 中性子の利用にはより高速の回転が不可欠である。開発当初世界的には50Hzが最大回転数であったが、独自の開発により100Hzの回転を達成させ、eV 中性子分光の可能性を開拓した。

偏極中性子は高精度実験には不可欠であり、3気圧の $^3\text{He}$ を石英セルに封入した偏極子の開発を行なった。セルの洗浄等を注意深く行ない、偏極緩和の限界に近い200時間以上のスピン緩和時間を得た。また中性子ビームにより、世界の他のグループと比較しても高い値である63%の $^3\text{He}$ 偏極率を確認した。

中性子光学素子として、サイトップ材を用いたフレネルレンズの開発を行なった。当初、成型法が困難であったがこれを解決し、中性子ビームに対する集束効果を確認した。

高計数率中性子検出器を目指してマイクロストリップガス比例計数管(MSGC)を開発した。二次元検出器及びチューブ封入型二次元検出器を製作し、電極での検出電荷の処理に新しい方法(GLG法)を考案し、高分解能化を達成した。すなわち陰極での生成電荷を見込み、陰極を挟んで両側に異なる形状の陽極を配置し、一方から大まかな位置(global)情報を他方から一つのglobalドメイン内の詳細な位置(local)情報を得る二段階電荷分割法である。

J-PARC では中性子強度の飛躍的向上により大量のデータが生成される。これを迅速かつ正確に処理し、実験結果を新しい実験や解析にすぐ反映できる計算環境の構築が必須である。要素技術開発を行ない、J-PARC の計算環境フレームワーク実現の礎となった。生成された実験データを処理してデータ解析系に渡すデータ集積ソフトウェアを、素粒子実験用に開発されてきたDAQミドルウェアを導入して中性子実験用に構築し、プロトタイプを開発した。データ解析系で散乱関数に変換する解析フレームワーク(万葉ライブラリー)の概念構築及び基礎開発を行なった。

#### ②新デバイスを応用した集束型小角散乱装置の開発

ビームラインを分岐して小角散乱装置を多数設置できれば、装置を随時に長時間専用するタンパク質溶液散乱等の多数の実験研究を、並行して行うことが可能になる。これには、短距離で集束出来る中性子光学素子を応用した集束型小角散乱装置の実現が必要である。集束素子として回転楕円面集束ミラー及び湾曲化完全シリコン結晶モノクロメーターを用い、小型集束型小角散乱装置を作製した。標

準試料の測定を行ない、小型集束型小角散乱装置の概念が正しいことを証明した。

#### ③J-PARC 中性子分光器実現に向けた開発

高分解能チョッパー分光器の実現により低角高エネルギーを用いた新しい非弾性散乱実験が可能となる。KENS で用いられてきた分光器を移設して、開発したフェルミチョッパーに関する技術により、高分解能の実現可能性を試験した。J-PARC で初めての中性子単色化に成功し、期待される分解能を観測した。これは本格仕様装置が設置されれば高分解能が実現することを示すものである。

高性能試料水平型中性子反射率計の建設では KENS で用いられてきた反射率計を移設して標準試料の測定に成功した。入射ビーム上にスーパーミラーを挿入して二回反射させることにより試料位置を変えずに入射角を選択できると広い Q 領域がカバーできる。曲面ミラーを用いて中性子ビームを集束させると斜入射小角散乱測定が実現する。これらの光学デバイスを開発して性能試験を行ない性能を確認した。これは本格仕様装置が設置されれば高性能化が実現することを示すものである。

#### (4)J-PARC 装置建設への発展

本研究の成果は、J-PARC における以下の中性子分光器の建設に発展した。

特別推進研究「4次元空間中性子探査装置の開発と酸化物高温超伝導機構の解明」(四季分光器)、学術創成研究「中性子光学による基礎物理学」(NOP ビームライン)、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「水素貯蔵材料基盤研究事業」(高強度全散乱装置)、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(ERATO)「異種材料・異種物質状態間の高機能接合界面を実現する革新的ナノ界面技術の創出とその応用」(高性能試料水平型中性子反射率計)、東京大学-KEK 合同建設(高分解能チョッパー分光器)、新学術領域研究「高温高压中性子実験で拓く地球の物質科学」(超高压中性子回折装置)、NEDO「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業」(特殊環境材料構造評価装置)、東北大学-KEK 合同建設提案(偏極中性子回折装置)。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者(分担者であった者も含む)及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 408 件)

①S. Itoh 他 3 名, “Single-length-scaling analysis for antiferromagnetic fractons in dilute Heisenberg system  $\text{RbMn}_{0.4}\text{Mg}_{0.6}\text{F}_3$ ”, *J. Phys. Soc. Jpn.* 78 (2009) 013707-1~4, 査読有。

②M. Sugiyama, 8 名略, T. Fukunaga, “Structural evolution of human recombinant  $\alpha$  B-crystallin

under UV irradiation”, *Biomacromolecules* 9 (2008) 431-434, 査読有。

③Y. Kawakita 他 4 名, “Ionic dynamics of molten cuprous iodide”, *J. Alloys and Compounds*, 452 (2008) 136-139, 査読有。

④R. Inoue, T. Kanaya 他 5 名, “Dynamic anisotropy and heterogeneity of polystyrene thin films as studied by inelastic neutron scattering”, *Eur. Phys. J.E* 24(2007) 55, 査読有。

⑤M. Misawa, 5 名略, T. Otomo, “A visualized analysis of small-angle neutron scattering intensity: concentration fluctuation in alcohol-water mixtures”, *J. Appl. Cryst.* (2007) 40 (Suppl.) s93-s96, 査読有。

⑥T. Yamaguchi, K. Yoshida 他 6 名, “Structure and dynamic properties of liquids confined in MCM-41 mesopores”, *Eur. Phys. J. Special Topics* 141 (2007) 19-27, 査読有。

⑦S. Naito, 3 名略, M. Furusaka, S. Ikeda, 他 8 名, “Characterization of multimetric variants of ubiquitin carboxyl-terminal hydrolase L1 in water by small-angle neutron scattering”, *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 339(2006)717-725, 査読有。

⑧T.J.Sato and A.P.Tsai, “Magnetic excitations in the crystalline and quasicrystalline Zn-Mg-Ho phases”, *Philos. Mag.* 87(2007)2939-2946, 査読有。

⑨N. L. Yamada and N. Torikai, “Kinetic Process of Phase Transition of a Lipid/Salt Mixture Film on a Si Substrate”, *Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.* 32 (2006) 271-274, 査読有。

⑩K. Mori 10 名略 T. Fukunaga, “Structural and hydration properties of low heat Portland cement”, *Trans. Mat. Res. Soc. Jpn.* 31(2006) 83-786, 査読有。

⑪T. Fukunaga, K. Itoh, T. Otomo 他 7 名, “Voronoï analysis of the Cu-Zr and Ni-Zr metallic glasses”, *Intermetallics* 14(2006)893-897, 査読有。

⑫M. Fujita 3 名略 K. Yamada, “Novel spin excitations in optimally electron-doped  $\text{Pr}_{0.89}\text{LaCe}_{0.11}\text{CuO}_4$ ”, *J. Phys. Soc. Jpn.* 75 (2006) 093704, 査読有。

[学会発表] (計 586 件)

①N. L. Yamada, N. Torikai, 11 名略, T. Kanaya, 3 名略, M. Furusaka, A. Takahara, Y. Matsushita, “Current Status and Developemnts of Horizontal Neutron Reflectometer in J-PARC”, 中性子散乱国際会議, 3-7 May 2009, Knoxville, USA.

②河西学, 小林謙一, 神山崇, 池田進, 他 4 名 「中性子回折法, 蛍光 X 線分析法, および岩石学的手法による縄文土器胎土分析の比較」日本文化財科学会 2008.6.14 鹿児島国際大学

③鈴木次郎, 7 名略, 大友季哉 「中性子オブジェクト指向データ解析フレームワーク」日本中性子科学会年会 2007.11.27-28 九州大学

④西岡圭太, 富田憲一, 那須奎一郎 「非負定値・非マルコフ型の経路積分による光電子分光理論」日本物理学会 2007 年春季大会, 2007.3.18-21, 鹿児島大学

- ⑤猪野隆, 2名略, 清水裕彦, 1名略, 武藤豪  
「中性子集光用薄膜フレネルレンズの開発」  
日本物理学会年次大会 2007.9.21 北海道大学
- ⑥S. Itoh, T. Yokoo 他15名 “Recent progress in development and construction of high resolution chopper spectrometer at J-PARC”, 先端中性子源国際協力会議, Dongguan, China, 2007.4.28.
- ⑦M. Furusaka, “First results from a mini-focusing Small-Angle Neutron Scattering (mfSANS) Instrument”, 先端中性子源国際協力会議, Dongguan, China, 25-29 April 2007.

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

- ①名称:チョッパ一分光器および回転制御装置, 発明者:伊藤晋一, 上野健治他1名, 権利者:KEK 他1社, 種類:特許出願, 番号:特願2008-191104, 出願日:2008.7.24, 国内外の別:国内
- ②名称:中性子散乱法を用いたタンパク質の形態変化に起因する疾患の診断方法, 発明者:内藤幸雄, 古坂道弘, 池田進他8名, 権利者:KEK 他5機関, 種類:特許出願(再公表), 番号:特願2006-548864(再公表06-064819), 出願日:2005.12.13, 再公表日:2008.6.12, 国内外の別:国内(国際)

[その他]

ホームページ: <http://neutron-science.kek.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

池田 進 (IKEDA SUSUMU)  
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器  
研究機構・物質構造科学研究所・教授  
研究者番号: 80132679

### (2) 研究分担者

伊藤 晋一 (ITO SHINICHI)  
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器  
研究機構・物質構造科学研究所・准教授  
研究者番号: 00221771

鳥飼 直也 (TORIKAI NAOYA)  
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器  
研究機構・物質構造科学研究所・准教授  
研究者番号: 70300671

神山 崇 (KAMIYAMA TAKASHI)  
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器  
研究機構・物質構造科学研究所・教授  
研究者番号: 60194982

大友 季哉 (OTOMO TOSHIYA)  
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器  
研究機構・物質構造科学研究所・教授  
研究者番号: 90270397

### (3) 連携研究者

古坂 道弘 (FURUSAKA MICHIIHIRO)  
北海道大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 60156966

(H20: 連携研究者)

福永 俊晴 (FUKUNAGA TOSHIHARU)  
京都大学・原子炉実験所・教授  
研究者番号: 17925902

(H20: 連携研究者)

吉沢 英樹 (YOSHIZAWA HIDEKI)  
東京大学・物性研究所・教授  
研究者番号: 00174912

(H20: 連携研究者)

斎藤 努 (SAITO TSUTOMU)  
国立歴史民俗博物館・教授  
研究者番号: 50205663

(H19のみ)

秋葉 悦男 (AKIBA ETSUO)  
独立行政法人産業技術総合研究所・エネルギー  
技術研究部門・総括研究員  
研究者番号: 90356345

(H20: 研究協力者)

那須 奎一郎 (NASU KEIICHIRO)  
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器  
研究機構・物質構造科学研究所・教授  
研究者番号: 90114595

(H20: 研究協力者)

山田 和芳 (YAMADA KAZUYOSHI)  
東北大学・原子分子材料科学高等研究機  
構・教授  
研究者番号: 70133293

(H18~H20: 研究協力者)

新井 正敏 (ARAI MASATOSHI)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・  
J-PARC センター・研究主席  
研究者番号: 30175955  
(H18~H20: 研究協力者)

### (4) 研究協力者

金谷利治(京都大), 鬼柳善明(北海道大), 杉山正明(京都大), 森一広(京都大), 横尾哲也(KEK), 清水裕彦(KEK), 三沢正勝(KEK), 山田悟史(KEK), 高原淳(九州大), 桜井健次(物質材料研究機構), 辻井敬亘(京都大), 日野正裕(京都大), 筑紫格(千葉工業大), 石垣徹(茨城大), 高橋美和子(筑波大), 八島正知(東京工業大), 菅野了次(東京工業大), ステファヌス・ハルヨ(JAEA), 米村雅雄(茨城大), 中村優美子(産業技術総合研究所), 鬼柳亮二(東北大), 佐藤卓(東京大), 伊藤恵司(京都大), 川北至信(九州大), 丸山健二(新潟大), 山室修(東京大), 加美山隆(北海道大), 山口敏男(福岡大), 吉田亨次(福岡大), 亀田恭男(山形大), 澤博(名古屋大), 古川はづき(お茶の水女子大), 李哲虎(産業技術総合研究所), 川合将義(KEK), 上野健治(KEK), 川端節爾(KEK), 猪野隆(KEK), 武藤豪(KEK), 高橋浩之(東京大), 曾山和彦(JAEA), 小林謙一(中央大), 河西学(山梨文化財研究所), 小林正史(北陸学院短期大)