

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2005 年 2008 年
 課題番号：17350032

研究課題名（和文）アクチノイド系低次元層状化合物の物性研究

研究課題名（英文）Physical-property study of low-dimensional layered actinide compounds

研究代表者

中村 彰夫（NAKAMURA AKIO）

独立行政法人日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センター・研究主幹

研究者番号：80370443

研究成果の概要：5f 電子を持つアクチノイド(An)系の多様な低次元の層状化合物、例えば、トリウム(Th)、ウラン(U)、ネプツニウム(Np)などの窒化塩化物 $AnNCl$ 、錯体、カルコゲナイド(硫化物)、プニクタイト(リン化物)、酸化物、金属間化合物などを対象に、物質創製と、5f 電子特有の低次元構造に由来する新規な電子物性(磁性、電気伝導性、超伝導など)を探索、両者の相関を明らかにする研究に取り組んだ。窒化ハロゲン化物研究では、 $UNCl$ がキュウリー温度 $T_C=32K$ の強磁性体であり、Li 挿入によりネール温度 $T_N=180K$ までの反強磁性体へと変化することを明らかにした。特異な陽イオン-陽イオン結合を持つネプツニル錯体研究では、対応するランタノイド(4f 電子系)のツリウム(Tm)錯体を含め、その特異な分子磁性挙動を、構造の次元性(0、1、2 次元)との関連で系統的に明らかにし、未開拓のアクチノイド分子磁性研究に大きな進展をもたらした。同時に、Np 化合物研究の有力な武器である ^{237}Np メスバウアー分光測定法の開発・整備を大きく前進させた。また $NpPd_5Al_2$ 単結晶を育成しこれが Np 系で世界初の重い電子系超伝導体であるここを発見するとともに、U 硫化物が An 系ではきわめて稀有な大きな磁気抵抗効果を示すことを見出した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	10,500,000	0	10,500,000
2006 年度	1,200,000	0	1,200,000
2007 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
総計	14,100,000	720,000	14,820,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：無機化学

キーワード：アクチノイド、層状化合物、物質創成、構造、磁性、電気伝導性、超伝導、

1. 研究開始当初の背景

2002 年米国ロスアラモス国立研究所で世界初の臨界温度 $T_C=18K$ の超ウラン・プルトニウム(Pu)化合物の高温超伝導体 $PuCoGa_5$ が発見され、従来ウラン(U)系に限られていた我が国のアクチノイド化合物の基礎物理・化学研究を、ネプツニウム(Np)、プ

トニウム(Pu)、アメリシウム(Am)といった超ウラン化合物へと広げ、これらのアクチノイド元素を特徴付ける 5f 電子の奥深く未知の振る舞い、特性を、系統的・総合的に解明しようとする機運が俄かに盛り上がった。これを受け、2004 年 4 月、旧原研(現日本原子力研究開発機構)先端基礎研究センターと

東北大学金属材料研究所の間で、塩川佳伸教授（本研究の研究分担者）をリーダーとする共同研究「超ウラン化合物の物理と化学の研究」が発足し、筆者、本研究代表者の中村も、その原研側サブリーターとしてこれに参画した。

本共同研究の主な研究対象はもちろん高い電子伝導性（金属性の遍歴電子）を持つ Np、Pu、Am 等の超ウラン金属間化合物である。しかし、同時に、原子力により直結した様々のイオン性化合物（例えば、窒化物、錯体、酸化物、硫化物、リン化合物など）についても、むしろ逆の絶縁体に近い局在電子系の側から今一度より基礎科学的な解明が必要であるとの認識が強かった。付言すれば、前者、金属間化合物（例えば、上の PuCoGa_5 に代表される 115 系化合物など）は、アクチノイド（An）の 5f 電子と遷移金属元素（Co）の d 電子の混成した多源的で複雑な電子構造とそれに由来する一筋縄では行かない複雑微妙な遍歴（伝導）電子（例えば典型的にはいわゆる重い電子など）を持つことが知られている。ある意味、そこにこれら An 金属間化合物研究の醍醐味があるとも言える。

これに対して、後者は、一般にアクチノイド（An）元素 5f 電子と非金属元素（窒素、ハロゲン、酸素、イオウ、リンなど）の s、p 電子からなる格段に簡明な電子構造を持ち、モデル化の容易な局在電子の側からアクチノイド 5f 電子の挙動をより直接的に精査、解明するための格好の舞台であるかと期待される。また、5f 電子の多重で異方的な（方向性の強い）電子空間分布から、これらのアクチノイド化合物は、しばしば独特の低次元構造や層状構造をとるという顕著な構造化学的特徴をも合わせ持っている。このような観点から、筆者らは、金属間化合物研究と絡めつつ、後者のイオン性局在電子系の立場からのアクチノイド化合物の物質創成、物性解明を進めることを意図し、表記研究テーマを提案した。

2. 研究の目的

本研究で対象とした主な化合物と各々の研究の狙いを、以下にまとめる。

(1) An 窒化塩化物 AnNCl (An=Th, U, Np) 及び関連硫化物 (UOS, US_2 , USTe)、プニクタイト NpSb_2 等の物質合成と物性研究：

AnNCl は、Li 挿入により最高臨界温度 $T_c=26\text{K}$ の超伝導になる $(\text{Zr}, \text{Hf})\text{NCl}$ などの軽ランタノイド窒化塩化物と類似の 2 次元層状構造を持つ。同系の合成、構造・物性解明と、さらにその Li 挿入時の物性変化（磁気特性変化、金属化もしくは超伝導化の可能性）の追求を目標とした。UOS 他硫化物や NpSb_2 は一連の An tetragonal compounds (アクチ

ノイド正方晶化合物)と称され、前者と相似の層状ないしジグザグ構造系である。まだ良く理解されていないその低次元性と物性との相関の解明を目指した。

(2) ネプツニル錯体系の分子磁性研究：

陽イオン - 陽イオン・ニル結合による特異な低次元構造を持つ本系の物質創成と局在 5f 電子由来の分子磁性の解明を目指した。本分野は、新規な単分子磁石、分子記憶素子等の応用も絡み、近年大きな注目を集めているが、現在までその研究対象は遷移金属 3d 電子系やランタノイド 4f 電子系の錯体や分子性化合物に限られている。大きな磁気異方性、スピン - 軌道結合を持つアクチノイド系への研究の拡張は、予想外の新現象発見に結びつく可能性を秘めた未踏の領域である。これらの Np 化合物研究に必須の ^{237}Np メスバウアー分光法の開発・整備と並行して、物質合成・物性解明を行った。

(3) 金属間化合物、酸化物の構造、物性研究：

1 で述べた共同研究の主要ターゲットは、Np 系金属間化合物並びに核燃料酸化物として重要なアクチノイド二酸化物 AnO_2 (An=U, Np, Pu, Am など) である。これらについても、本研究と絡めて、5f 電子の織り成す新規物性の解明、探求を行った。前者では、新しい Np 系超伝導体の発見を目指した。また、後者は室温では等方的な立方晶の結晶構造を持ち必ずしも低次元化合物ではないが、低温で対象性の低下を伴う未解明の高次の相転移（新規な 8 重極転移か？）の存在が示唆されており、本研究と深い内的連関を有する。次元性の絡んだ新規な電子状態・相転移の解明を目指した。

3. 研究の方法

Th, U と Np, Pu, Am 等の超ウラン元素系では、取扱いに大きな違いがある。前者がホット施設内ならばグローブボックス (GB) 外でも取扱えるのに対し、後者は、その高放射能ゆえ、試料調製は GB 内での作業に限定され、厳重に密封（石英管封入ないし樹脂固め）した状態でのみ GB 外での各種物性測定に供しうる。両者の実験に対応すべく、東北大・大洗施設内に、Np 化合物調製用 GB を設置するとともに、X 線回折、電導度、磁化率、比熱、核磁気共鳴 (NMR) 等の一連の構造・物性評価を遂行しうる装置を整え、その上で、各研究へと進んだ。

(1) An 窒化塩化物、硫化物等の物性研究：

放射能の問題に加え、これらの AnNCl 化合物が空気中で不安定なため、空気を遮断した不活性雰囲気グローブボックス (GB) の構築を先ず行なった。本 GB を用いて出発物

質 (AnN、CdCl₂ 等) の初期混合粉末の作成
これを石英管中に密封封入後 GB 外に搬出、加熱・反応による試料調製： $2\text{AnN} + \text{CdCl}_2 \rightarrow 2\text{AnNCl} + \text{Cd}$ 再び GB 内で AnNCl 試料への溶液からの Li 挿入実験
密封後、GB 外にて X 線回折及び物性評価、という手順で実験を行なった。一方、硫化物、プニクタイトは空气中で安定であり、格段に取り扱い易い。通常の化学輸送法やフラックス法を用い、UOS は多結晶粉末試料を調製できた。また USTe、US₂ 及び NpSb₂ は良質の単結晶試料を育成でき、詳細な物性評価を行った。

(2) ネプツニル錯体系の分子磁性研究：

水溶液からの析出・沈殿法により、5 価、6 価のネプツニウム陽イオン (Np⁵⁺、⁶⁺)、つまり 1 価、2 価のネプツニル陽イオン (NpO₂)¹⁺、²⁺、を持つ幾種類かの錯体 (ぎ酸塩、シュウ酸塩、フタル酸塩など) 粉末試料を調製した。また、酸素の代わりに窒素配位子を持つ 4f 電子系ツリウム (Tm) 錯体は、有機溶媒からの同様の析出・沈殿法により粉末試料を得た。これらの粉末試料の磁化測定を、前者では ²³⁷Np メスbauer 分光測定、また後者では比熱、中性子散乱測定などと組み合わせ、磁気特性と低次元構造との相関を検討した。

現在の ²³⁷Np メスbauer 測定は 10 年以上前旧ソ連から購入した密封 ²⁴¹Am 金属薄膜を線源としているが劣化が激しく (酸化による線幅の増大やピーク強度の減少)、新たな線源の確保を迫られている。既にロシアでの製造は中止され、自前でこれを作成するより他に道はない状況である。そこで本研究では、カップリング還元反応： $x\text{AmO}_2 + (1-x)\text{Pd} (\text{Am}_x\text{Pd}_{1-x}) + \text{O}_2(\text{g}) (x < 0.10)$ を用いた Am 線源の調製にも取り組んだ。

(3) 金属間化合物、酸化物の構造、物性研究：

Np 系金属間化合物研究では、PuCoGa₅ に対応する一連の Np 115 系の単結晶試料を育成し、系統的な物質探索と物性解明を進めた。同時に NpPd₂Al₅ などの新規化合物の育成にも取り組み、新超伝導体の発見に結び付けた。二酸化物 AnO₂ (An=U、Np、Pu、Am) 研究では、UO₂ 研究の成果を踏まえ、¹⁷O で置換した NpO₂ の粉末及び単結晶試料を育成し、¹⁷O - NMR 法によるその 25K での謎めいた相転移に微視的検討を加えた。同種研究を目下 PuO₂ や AmO₂ へと展開しつつある。

4. 研究成果

(1) An 窒化塩化物、硫化物等の物性研究：

放射能的に取扱いの容易な An=Th、U 系から実験に取り掛かった。これらが空气中で不安定であるため、まず不活性 GB の構築とこれを用いての試料取扱い技術の確立に取り組

んだが、これらに予想以上の時間と労力を要した。U 系では、二つの反応ルート：固気相反応 (a) $2\text{UN} + \text{CdCl}_2 \rightarrow 2\text{UNCl} + \text{Cd}$ 、及び、固相反応 (b) $\text{U}_2\text{N}_3 + \text{UCl}_3 \rightarrow 3\text{UNCl}$ 、いずれにおいても、UNCl 粉末試料を調製できた。X 線回折結果から単相の UNCl 層状構造相が生成しており、また比熱及び磁化測定からこれが電子比熱係数 γ がほぼゼロ (=0; つまり絶縁性) の T_c=32K の強磁性体であることを発見した (文献 6 - 9)。次にその Cl-Cl 層間への Li 挿入を試み、その結果、Li 挿入量の増加とともに、磁気転移温度は次第に上昇するが、飽和磁気モーメントは逆に顕著に減少していき、最高ネール温度 T_N=180K までの弱強磁性体ないし反強磁性体へと変化していくことを見出した。これに伴う系の結晶構造変化の X 線回折による追跡を試みたが、Li 挿入時 UNCl 系は益々空气中で不安定となり、十分再現性のあるデータの取得には至っていない。また、粉末試料しか得られないため、その電導特性変化 (絶縁体 金属への変化) についても不明である。最終的に論文に纏めるにはもう一押しの実験とデータの蓄積が必要である。超伝導の報告されている Li-(Zr,Hf)NCl 系との関連で当初最も期待した ThNCl については、上記反応 (a) での試料調製を試みたが、UNCl と同一ないし類似条件下ではこれを調製することは出来なかった。目下、色々条件を変えた実験に取り組んでいる所である。

これらの AnNCl と同一層状構造をとる硫化物 UOS は、UO₂ と硫化炭素 (CS₂) との固気相反応： $2\text{UO}_2 + \text{CS}_2 \rightarrow 2\text{UOS} + \text{CO}_2$ 、により調製した均一単相試料について、低温 (12K) で ²³⁸U メスbauer 分光測定を行い、特異な 2 次元層状構造による大きな 4 重極分裂を示すことを見出した (発表 6 - 2)。本系は、ネール温度 T_N=53K の反強磁性体であるのでより高温まで現在測定を進めており、磁気分裂との分離や詳細な考察を行なう予定である。本系は空气中でも安定であり、格段に取り扱い易いので、Li 挿入実験にも取り組んでいる。

USTe、US₂ 研究では、ヨウ素 (I₂) を輸送剤とする気相成長法により良質の単結晶を育成できた。これらは、上記系とは若干違った 2 次元ジグザグ構造の U-U チェーン (鎖) を有している。詳細な物性評価から、前者は常圧では T_c = 80K の強磁性体、後者は常磁性体であること、構造から予想されるように、きわめて異方性の強い擬 2 次元系であり、U 金属間化合物とは異なり、電導性、磁性共にきわめて強い圧力並びに磁場依存性を示すことを見出した (論文 5 - 4、発表 6 - 3)。例えば、前者では、圧力を常圧から 8 Gpa に上げると T_c は 80K から 170K まで上昇し、ま

た電気抵抗は数桁以上減少する。このような大きな圧力効果や磁気抵抗効果が観測されるのはアクチノイド系では本硫化物が初めてであり、今後の An 系物性研究の一つの新たな展望を開くものである。

NpSb₂系は、本研究において初めて超ウラン Np に拡張できた唯一のプニクタイト系である。Sb 自己フラックス法により、大型良質の単結晶の育成ができ、詳細な物性評価から、本系が類似の SmSb₂ 構造型の 2 次元性の強い T_c = 47K のアイジング型強磁性体であることを明らかにした(論文 5 - 6)。これは、日本における初の超ウラン Np 系プニクタイト化合物の合成と物性研究である。今後の展開が期待される。

(2) ネプツニル錯体系の分子磁性研究：

X 線構造解析、マクロな磁化測定、ミクロな ²³⁷Np メスバウアー分光測定、三者の有機的な組み合わせにより、本研究は、世界に先駆けて、特異な一軸性ニル分子構造、(O=Np=O)¹⁺, ²⁺ を持つ一連の本錯体系の構造、微視的及び巨視的磁気特性の間の相関を系統的に明らかにしたものである(論文 5 - 7、発表 6 - 5, 6)。その結果を下に簡潔にまとめる：

(i) Np⁵⁺(5f²) の 1 価ニル(O=Np=O)¹⁺ 錯体は、陽イオン・陽イオン・ニル結合に基づくすべての 0、(1)、2、(3) 次元構造を形成する。(本研究では、まだ()の 1、3 次元系の合成には至っていないが。) これらは全て、長距離磁気秩序の有無に関わらず、ニル分子自身及びそれらの間の相互作用に基づくと考えられる大きな内部磁場(約 550 テスラ(T)で一定)を持った遅い常磁性磁気緩和を示す。孤立ニルの 0 次元系がマクロには常磁性にとどまるのに対し、これらがお互いに繋がり網目(ネットワーク)構造を形成した 2 次元系はすべて一軸性アイジング型の長距離磁気秩序を実現し、最高 T_c = 12K の強磁性体(シュウ酸塩)となる。特に 2 種類の Np⁵⁺ サイトを有する 2 次元フタル酸塩は、2 段磁化曲線を持つ T_N = 4.5K のメタ磁性体であることを発見した。

(ii) Np⁶⁺(5f²) に基づく 2 価のニル(O=Np=O)²⁺ 錯体は、より大きなクーロン反発により一般にニル結合は作らず、基本的に各ニルが孤立した単核錯体であることが分かった。その常磁性磁気緩和の内部磁場も約 300T とかなり小さ目である。一方、構造的には、ほぼ前者の 1 価ニル錯体より 2 倍近く大きな四極子分裂(200-250mm/s)を有し、より小さな 6 価 Np⁶⁺ のニル分子自身はより大きな一軸異方性の構造歪みを持つことを明らかにした。これらはすべて長距離磁気秩序を示さず、常磁性体である。しかし、非ニル酸素(O)の一部を窒素(N)で置換した

ピリジン系錯体では、巨大常磁性磁気緩和とも呼ぶべき直流磁化の磁場過渡応答現象が低温(10K 以下)で観測される。これは、ニル分子の異常に大きな空間的・時間的磁気揺らぎを体現している可能性がある。本現象のより詳細な実験的検討とその機構解明は、本研究の提起するアクチノイド分子磁性研究の次の大きなステップを示すものと考えている。

対応する代表的な 4f 電子系分子磁性体、いわゆるダブルデッカー型の Tm フタロシアノ錯体(すべてシアン基からの 8 個の窒素(N)配位子を持っている)は、現在の所 4f 電子系では最も理想的な単分子磁性体と目されており、多くの研究が行なわれてきた。しかし、その Tm 周囲の N 原子配置の対称性に関しては諸説あり、決着を見ていなかった。今回我々の作成した多量(約 500mg)の同錯体について、低温での中性子回折、光吸収、比熱、磁化等の詳細かつ系統的な一連の測定を行い、本系が、従来言われていた理想的な D₄ 対称性からはずれた C₄ 点対称性を持つことを明らかにした(論文 5 - 2)。本結果は、今後の一連の 4f 電子系(ランタノイド)ダブルデッカー錯体(さらにはその将来の An 対応系)の詳細な分子磁性挙動の解明に大きなインパクトを与える成果である。

²³⁷Np メスバウアー分光測定用の新しい ²⁴¹Am 線源開発については、更に高放射性の Am を取り扱う所から、原子力機構他部門の協力も得て、新規な Pd 合金系の(5%Am)Pd 線源作成に向け、鋭意実験並びにこれに関わる許認可作業を進めている。鋭い単一の線スペクトルを持った実用的な線源を得るためには、AmO₂ が Pd 中に均一に還元・固溶され、しかも磁気ないし四極子分裂などを示さないことが必須である。CeO₂ でのコールドでの予備実験や少量の AmO₂ 試料を用いたそれでは、この両条件を満たす線源作成の見込みはほぼ立っている(論文 5 - 1、発表 6 - 1)。本実験での実用 ²⁴¹Am 線源開発まで後一步である。このような研究者の自作による ²⁴¹Am 線源が開発され実用に供されれば、これが今後の超ウラン Np 化合物研究に与えるインパクトは計り知れない程大きいと言える。

(3) 金属間化合物、酸化物の構造、物性研究：

職務上はメインであるが、本研究の流れからはむしろサブテーマに属する標記研究についても、最後にその成果に簡単に触れたい。18K 超伝導体 PuCoGa₅ の一連の Np 対応 115 系単結晶試料 NpTM₅(M = Fe, Co, Ni, Ru, Ru 他, M = Ga, In)を育成し、系統的な物性解明を進めた。その結果、これらの 115 系 Np 化合物は、一般に多段磁気転移を示す擬 2 次元性の重い電子系の金属であることを明

らかにした。しかし、いずれの系でも低温（1K 前後）まで超伝導は見出せなかった。そこで他の構造系へと探索を広げ、アクチノイド(An)系としては全く新規な層状化合物 NpPd_5Al_2 に辿り着き、これが $T_c = 6\text{K}$ 系の超ウラン Np としては世界初の強結合 d 波の重い電子系超伝導体であることを発見した。(論文 5 - 3 及び 5 - 8) 本系は Np Pd 2 次元平面が Al と Pd からなる複合ブロック層で c 軸方向に隔てられた 115 系よりも更に 2 次元性の強い結晶構造及び電子(バンド)構造を持っており、これがその超伝導と深い関係を有していると予想されるが、その詳細な機構解明は今後の課題である。超ウラン化合物物性研究の新たな 1 ページ、展望を切り開いた成果である。

また、酸化物研究においても、 UO_2 での先の成果(2000 年 $T_N = 31\text{K}$ での反強磁性転移が酸素格子の歪みを伴う一次相転移であることを ^{235}U - NMR で世界で初めて実証)を踏まえて、 NpO_2 系での諸説紛々として素性の不明であった 25K での相転移について、 ^{17}O NMR 法による微視的検討を加えた。その結果、これが、従来考えられていたような UO_2 系での磁気転移などとは全く次元の異なるより高次の Np-O 配位系の 8 重極転移であることを疑問の余地なく証明した(論文 5 - 5、発表 6 - 4)。これは、本転移では、中心 Np 原子が 8 重極転移を起こし、その結果、配位酸素電子に 8 重極変位をもたらす 3 対 1 (6 個 対 3 個)の 2 種類の異なった酸素サイトが ^{17}O NMR により観測されるからである。この成果は、アクチノイド科学のみならず、より広く凝縮系物性研究に大きな一石を投ずるものである。 AmO_2 系での 16K の転移も同様の高次相転移ではと推測されている。目下更にこの AmO_2 への NMR 実験の展開を図っている。

最後に、全体を総括して、4 年間にわたり貴重な科研費の助成を頂き、充実した研究生活を送らせていただき、深く感謝致します。

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 9 件)

1) 本間佳哉、中田正美、芳賀芳範、赤堀光雄、逢坂正彦、那須三郎、中村彰夫、北条喜一、
" ^{241}Am 合金線源を用いた高分解能 ^{237}Np メスバウアー分光測定の開発 ”、平成 29 年度黎明研究成果報告書、日本原子力研究機構・先端基礎研究センター (2009) 印刷中。(査読なし)

2) N. Magnani, R. Caciuffo, E. Colineau, F. Wastin, A. Baraldi, E. Buffagni, R. Capelletti, S. Carretta, M. Mazzer, D. T. Adroja, M. Watanabe and A. Nakamura, “The low-energy spectrum of a Tm-based double-decker complex”, *Phys. Rev.* **B79** (2009) 104407 (1-5). (査読有り)

3) Y. Haga, D. Aoki, Y. Homma, S. Ikeda, T. D. Matsuda, E. Yamamoto, H. Sakai, N. Tateiwa, N. D. Dung, A. Nakamura, Y. Shiokawa and Y. Onuki, “Crystal structure and magnetic properties of the new ternary actinide compounds AnPd_5Al_2 (An=U,Np)”, *J. Alloys and Compounds*, **464** (2008) 47-50. (査読有り)

4) S. Ikeda, H. Sakai, T. D. Matsuda, D. Aoki, Y. Homma, E. Yamamoto, A. Nakamura, Y. Shiokawa, Y. Haga and Y. Onuki, “Transport properties of ferromagnetic UTeS ”, *J. Magnetism and Magnetic Materials*, **310** (2007) 1718-1720. (査読有り)

5) Y. Tokunaga, H. Sakai, T. Fujimoto, S. Kambe, R.E. Walstedt, K. Ikushima, H. Yasuoka, D. Aoki, Y. Homma, Y. Haga, T.D. Matsuda, S. Ikeda, E. Yamamoto, A. Nakamura, Y. Shiokawa, K. Nakajima, Y. Arai and Y. Onuki, “NMR Studies of Actinide Dioxides”, *J. Alloys and Compounds*, **444-445** (2007) 241-245. (査読有り)

6) Y. Homma, D. Aoki, Y. Haga, H. Sakai, S. Ikeda, E. Yamamoto, A. Nakamura, Y. Shiokawa and Y. Onuki, “Electrical and Magnetic Properties of an Ising-Type Ferromagnet NpSb_2 ”, *J. Phys. Soc. Jpn.* **76** (2007) 074715 (1-6). (査読有り)

7) A. Nakamura, M. Nakada, T. Nakamoto, T. Kitazawa and M. Takeda, “Molecular magnetism in some neptunyl (+1,+2) complexes: ^{237}Np - Moessbauer and magnetic Study”, *J. Alloys and Compounds*, **444-445** (2007) 621-633. (査読有り)

8) D. Aoki, Y. Haga, T. D. Matsuda, N. Tateiwa, S. Ikeda, Y. Homma, H. Sakai, Y. Shiokawa, E. Yamamoto, A. Nakamura, R. Settai and Y. Onuki, “Unconventional heavy-fermion superconductivity of a new transuranium compound NpPd_5Al_2 ”, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **76** (2007) 063701 (1-4). (査読有り)

9) A. Nakamura, M. Akabori, T. Ogawa and M. Huntelaar, "Uranium nitride chloride UNCl: 30K class ferromagnet with layered structure", *Physica B: Condensed Matter*, **359-361** (2005) 1021-1023. (査読有り)

〔学会発表〕(計 6 件)

1) 本間佳哉, 中田正美, 逢坂正彦, 中村彰夫, 芳賀芳範, 那須三郎, " ^{237}Np メスパウアー分光測定の開発", 日本物理学会第64回年次大会(立教学院池袋キャンパス)平成21年3月27-30日

2) 正木信行, 中田正美, 赤堀光雄, 荒井康夫, 中村彰夫, 佐藤修彰, "UOSのU-238メスパウアースペクトル", 第45回アイソトープ・放射線研究発表会、平成20年7月2-4日、東京。

3) S. Ikeda, H. Sakai, T.D. Matsuda, N. Tateiwa, A. Nakamura, E. Yamamoto, D. Aoki, Y. Homma, Y. Shiokawa, M. Hedo, Y. Uwatoko, Y. Haga and Y. Ounki, "Pressure effect on paramagnetism of UO_2 ", Int I Symp. Strongly-Correlated Electron Systems (SCES)-2007, May 13-18, 2007, Houston, USA.

4) Y. Tokunaga, R. E. Walstedt, Y. Homma, D. Aoki, S. Kambe, H. Sakai, T. Fujimoto, S. Ikeda, E. Yamamoto, A. Nakamura, Y. Shiokawa, and H. Yasuoka, " ^{17}O NMR spin-lattice relaxation in NpO_2 : Field-dependent cross-relaxation process driven by ^{237}Np spins", Int I Symp. Quantum Beam Science Directorate of JAEA (QuBS), Aug. 28-30, 2006, Tokai, Japan.

5) A. Nakamura, M. Nakada, T. Nakamoto, T. Kitazawa and M. Takeda, "Magnetic property of neptunyl (+2) complexes $\text{NpO}_2(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2)_2(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})$ ", Int I Conf. Magnetism (ICM), Aug. 20-25 2006, Kyoto.

6) A. Nakamura, M. Nakada, T. Nakamoto, T. Kitazawa and M. Takeda, "Molecular magnetism of neptunyl (+1,+2) complex $\text{NpO}^2(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2)_2(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})$ ", Int I Symp on ASR-WYP-2005 - Advances in the Physics and Chemistry of Actinide Compounds, Sep. 27-29, 2005.

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 彰夫 (NAKAMURA AKIO)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・
先端基礎研究センター・研究主幹
研究者番号：80370443

(2)研究分担者

塩川 佳伸 (SHIOKAWA YOSINOBU)
東北大学金属材料研究所・教授
研究者番号：50111307
本間 佳哉 (HOMMA YOSHIYA)
東北大学金属材料研究所・教授
研究者番号：00260448
山本悦嗣 (YAMAMOTO ETSUJI)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・
先端基礎研究センター・研究副主幹
研究者番号：50343934
中田正美 (NAKADA MASAMI)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・
原子力基礎基盤研究部門・研究副主幹
研究者番号：60370441
吉井賢資 (YOSHII KENJI)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・
量子ビーム応用研究部門・研究副主幹
研究者番号：90354985
酒井宏典 (SAKAI HIRONORI)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・
先端基礎研究センター・研究職
研究者番号：80370401

(3)連携研究者

池田修吾 (IKEDA SHUGO)
兵庫県立大学大学院・物質理学研究科・
助教
研究者番号：80414580

(3)研究協力者

大貫惇睦 (ONUKI YOSHICHIKA)
大阪大学理学研究科・教授
研究者番号：40118659
赤堀光雄 (AKABORI MITSUO)
独立行政法人日本原子力研究開発機構・
原子力基礎基盤研究部門・研究主幹
研究者番号：10469801