

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18560799  
 研究課題名（和文）ソフトなウランⅢ価・ウェルナー型錯体における新しい物性化学的機能の  
 開発  
 研究課題名（英文）Softness of Uranium(III) in its Werner-type complexes and their  
 physicochemical features  
 研究代表者  
 山村 朝雄（YAMAMURA TOMOO）  
 東北大学・金属材料研究所・助教  
 研究者番号：20281983

## 研究成果の概要：

風力発電等の出力平滑化のために電極反応が高速なウランがレドックスフロー電池の活物質として期待されているが、充電状態における負極活物質であるウランⅢ価の安定性、反応性はよく知られていない。我々は物性化学的な研究により、いくつかのウラン・アミド錯体の構造、磁性、分光、電気化学について検討した結果、ウランⅢ価アミド錯体において酸化状態は安定であるが、中性配位子の脱離が生じやすいことが判明した。この結果は、活物質錯体として陰イオン性配位子との錯体が望ましいことを示し、今後のウラン電池の開発に資するものである。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,800,000	0	1,800,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	510,000	4,010,000

## 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：ウラン3価、ウラン・レドックスフロー電池、ウェルナー型錯体、物性化学

## 1. 研究開始当初の背景

天然ウラン（ウラン-235の比率は0.7%）から1kgの原子炉用の濃縮ウラン（同2～5%）を製造すると、5～10kgの劣化ウラン（同0.2～0.3%）が派生する。この劣化ウランは、燃料製造用にはMOX燃料に一部が使われているに過ぎない。この残りである保管量は、1999年に世界中で120万トン、2015年に210万トンと予測され、この増大する劣化ウランの貯蔵管理は原子力発電の潜在的な問題点

である。

阪大名誉教授の伊達宗行氏は、劣化ウランのことを現代のコールタールであると説いている。すなわち、コールタールは19世紀には照明用ガスの無用の派生物であり、処理することも難しい保管物にすぎなかった。しかし、ドイツの科学者はこのコールタールを徹底的に調べ、染料、医薬品、高分子等の有用物を見だし、化学工業を成立させる主役に変貌した。劣化ウランも有効に利用しよう

と検討が行われ、航空機のカウンターウェイト、使用済燃料輸送容器の放射能遮へい等に使用されているが、使用量は前述の膨大な保管量と比べれば微々たるものである。他の用途の開発も進んでいない。

ウランの化学的性質に着目すれば、ウランのⅢ価からⅥ価までのイオンは  $U^{3+}$ 、 $U^{4+}$ 、 $UO_2^+$ 、 $UO_2^{2+}$  であり、ウランは2組の等構造イオン対 ( $U^{3+}/U^{4+}$  と  $UO_2^+/UO_2^{2+}$ ) を有している。等構造のイオン対の反応は活性化エネルギーが低く、これら2組のイオン対の酸化還元反応が速いことは古くから知られている。他方、アクチノイド以外の元素がもつ等構造のイオン対は高々1組であり、ウランが2組の速い酸化還元対をもつことは特異と言える。ウランは水溶液ではⅤ価の不均化 ( $UO_2^+ + 4H^+ \rightarrow UO_2^{2+} + U^{4+} + 2H_2O$ ) やⅢ価の酸化を生じるが、非プロトン性溶媒の利用によりその進行を防げると知られている。この速い2組の酸化還元対を電池の両極反応として利用すれば、両極における過電圧が小さく、バトラー・ボルマー式から予想されるように、エネルギー効率の優れた電池が期待できる。

代表者らはβ-ジケトンで二量化したテトラケトン配位子 T を用いると、このウラン錯体の溶液中での電極反応は、2組の酸化還元対において酸化体と還元体が等構造となることを見いだした。この反応の実用化として、劣化ウランを利用した非プロトン性溶媒によるレドックスフロー電池（以下ウラン電池）を提案した。資源エネルギー庁によれば、出力変動が激しい風力発電の発電量を現在より増やすなら、電力系統安定性を保つためにレドックスフロー電池による出力平滑化が必須であり、現在はバナジウム電池が用いられている。

ウラン電池では活物質がⅥ価とⅤ価で、Ⅳ価とⅢ価で等構造のため電極反応が速いことから、ウラン電池はバナジウム電池よりもエネルギー効率は大幅に高いと期待できる。電池隔膜であるイオン交換膜を有機溶液中で使用するための検討を経て、ウラン・テトラケトン錯体を電池活物質として用いた電池を製作し、モーターを回す程度の放電に成功した。

この電池の充放電曲線を解析したところ、電池のエネルギー効率が低く、この問題が、アクチノイド化学の教科書や文献でも知られていない、非プロトン性溶液中におけるウランⅢ価の酸化に起因することが判明した。そこでこの研究に着手し、ウランのⅢ価が、予想外なことに、Ⅳ価、Ⅴ価、Ⅵ価とは異なりβ-ジケトンとの錯体を単離できないことが判明した。そこで、ジアミドとの錯体を単離し、溶液中で1日程度安定であることを明らかにした。

## 2. 研究の目的

無機化学の理論からは、この実験結果は、イオン結合性の高い「ハードな」カルボニル基をもつβ-ジケトンは同じく「ハードな」ウランⅣ価、Ⅴ価、Ⅵ価とは錯体をつくるが、共有結合性の高い「ソフトな」Ⅲ価とは錯体をつくらない、と説明できる。また、アミド基のようなやや「ソフトな」配位子を選ぶことにより「ソフトな」ウランⅢ価と共有結合によらない「ウェルナー型」錯体の形成が可能であることも実験結果は示している。「ソフトな」ウランⅢ価錯体では、このウェルナー型錯体はむしろ珍しく、既知の多くは共有結合を伴う有機金属錯体、すなわち「非ウェルナー型」錯体である。しかし、ウラン電池の活物質材料の構成には、Ⅲ価がⅣ価と等構造の酸化還元対をつくる必要があり、ウランのⅢ価はソフトであるが、共有結合を伴う「非ウェルナー型」錯体でなく、ウェルナー型錯体を利用する必要がある。

これまで、陰イオン性のβ-ジケトン配位子を二量化したテトラケトン配位子を用いて電池充放電に至った経緯を鑑みると、陰イオン性のジアミド配位子を二量化してアミド配位子を用いる方法が成功に最も近い位置にあると期待できる。本研究では劣化ウランを機能材料とするウラン電池の実用化のため、負極活物質である「ソフトな」ウランのⅢ価のアミド錯体の物性化学的研究を行うことを目的とする。すなわち、この錯体の合成・単離、その結晶構造解析、錯体の電極反応機構の解明、ソフト性を反映する磁性の解析を行う。

## 3. 研究の方法

電池活物質として優れたウラン・アミド錯体を創製するため、アミド配位子の分子設計、合成、電気化学的検討という一連の過程を繰り返しながら、速い電極反応速度をもつウランの新規アミド錯体を探索する。

活物質という機能材料を考えると、正負極で同一の配位子を用いれば電池隔膜を通じた異なる配位子の相互汚染も防げるため、ウラン(Ⅲ)と同様にウラン(Ⅳ)の錯体が安定であることが必要である。そこで、研究の焦点はウラン(Ⅲ)におくが、ウラン(Ⅳ)とウラン(Ⅵ)の錯体も同時につくりながら、これらの問題点を明らかにし、対処することとする。

### <段階1>ウラン・アミド配位子の選定

アミド配位子とアクチノイド(Ⅲ)の錯形成に造形の深い研究者と定期的に議論しており、適切な配位子の選定に反映させる。

### <段階2>ウラン・アミド錯体の単離と結晶

## 構造解析

ウランⅢ価錯体の出発物質として、ウランⅥ価の塩酸を電解還元して塩酸ガスを飽和まで吹き込みにより四塩化ウラン(Ⅲ)アンモニウムを調製するため、腐食耐性のあるアクリル製グローブボックスを新規購入して行う。

このウラン(Ⅲ)塩を、不活性ガスグローブボックス(既存)に搬入する。酸化を防ぐために酸素濃度を1 ppm以下に維持することが必要であるが、酸素濃度計の老朽化が進んでいるため、新規購入品と交換して機能を維持する。テトラヒドロフラン、あるいはN,N-ジメチルホルムアミドの中で、<段階1>で得た配位子との反応により、ウラン(Ⅲ)・アミド錯体を得る。この錯体はジエチルエーテルあるいはテトラヒドロフランに溶解して塩の沈殿を除去した後、ジエチルエーテルで何度も洗浄して錯体を単離する。CHNSO 元素分析装置(既存)およびICP 発光分光装置(既存)で錯体組成を同定する。

ウラン・アミド錯体の分子構造は、単結晶X線構造解析装置(原子力機構)を用いて明らかにする。アミド錯体は重いウラン原子と軽い水素原子を含むことから、中性子回折構造解析装置(原子力機構)も併用して、この錯体の信頼できる分子構造を明らかにする。

## <段階3>ウラン(Ⅲ)・アミド錯体の帯磁率の評価

100 mg 前後の試料を、デルリン製の円筒型の台にワニスで固定し、それを普通のストローにはめ込む。このストローを専用のロッドに取り付ける。デルリンやストローは有機物であるので、殆ど磁性を持たないから、試料の取り付けに適している。SQUID 磁束計(東北大学低温科学センター)を使って、錯体の帯磁率の温度依存性を、5-300Kの温度領域で印加磁場  $H = 0.1 \text{ T}$  において測定する。この測定では液体ヘリウムを使用するため、この予算を計上した。

ウランⅢ価アミド錯体では、ウラン間の磁気相互作用はないと想定できるため、測定された帯磁率を修正キュリー・ワイス則により解析する。ここで得られる有効磁子モーメントは、ウラン(Ⅲ)と配位子の間の錯形成の強さの重要な指標となる。

## <段階4>ウランⅢ価錯体の安定性評価

ウランⅢ価錯体が溶液の中での安定性は、4F7/2に基づく800 nm付近の吸収帯強度を可視紫外・近赤外吸収分光装置(既存)により測定する。

## <段階5>ウラン(Ⅲ)・アミド錯体の分光学的測定

不活性ガスグローブボックス中でKBr粉末

中に錯体を混合して、よく粉砕し、これを圧力下でペレットを成形する。これを用いて、固体における可視領域の吸収スペクトル測定を行う。一方、N,N-ジメチルホルムアミド等の非プロトン性有機溶媒に溶解して、溶液における同様のスペクトル測定を行う。f-f遷移のスペクトルの位置と強度は劇的な変化を示さないが、電子運膨張効果により錯形成に関する指標を提供する。

## <段階6>ウラン(Ⅲ)・アミド錯体の電極反応の検討

不活性ガスグローブボックスに設置した電極反応観測装置(既設)により、非プロトン性溶媒中でのサイクリックボルタンメトリーを行い、ウランⅢ価/Ⅳ価の電極反応の可逆性と反応速度定数を決定する。フロー電解セルによりバルク電解と可視紫外・近赤外領域の吸収分光装置によるその場測定を行い、ウランⅢ価→Ⅳ価の酸化反応と、Ⅳ価→Ⅲ価の還元反応における電解の収率、生成物の安定性を評価する。

## 4. 研究成果

置換マロンアミドのうちN,N,N',N'-テトラメチルマロンアミド(tmma)配位子(Fig. 1)のウランⅢ価錯体(U(tmma)<sub>4</sub>(BPh<sub>4</sub>)<sub>3</sub>)の調製法が知られている。我々はU(tmma)<sub>4</sub>(BPh<sub>4</sub>)<sub>3</sub>のN,N-ジメチルホルムアミド中での電気化学的検討を行い、U(Ⅲ)/U(Ⅳ)酸化還元電位が過塩素酸塩のそれとほぼ同じで、溶媒分子がtmma配位子とウランⅢ価イオンに対して競争的であることを示唆する結果を得た。

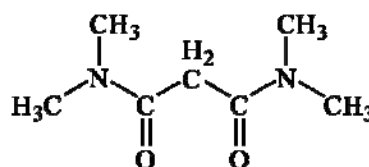


Fig. 1 N,N,N',N'-テトラメチルマロンアミド(tmma)配位子

本研究では、溶媒中においてウランⅢ価に対する安定な配位を目的として、ウランと希土類のtmma錯体において、結晶構造を決定し、比較、検討を行った。

ウランⅢ価の簡便な調製法を用いて、tmmaを配位子としたウランと希土類(La, Eu, Gd)のⅢ価錯体を調製し、単結晶構造解析を行った(Fig. 2)。

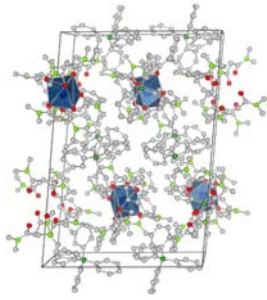


Fig. 2  $U(tmma)_4(BPh_4)_3$  の結晶構造  
crystal data : 123 K, Monoclinic  $P2_1/a$ ,  
 $R1 = 0.0617$

それぞれの金属中心に対して  $tmma$  配位子が4つ配位しており、酸素原子が八配位した square antiprism の配位構造を取っている (Fig. 3)。

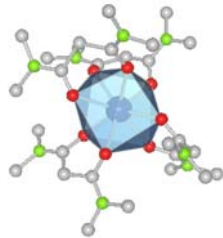


Fig. 3  $U(tmma)_4(BPh_4)_3$  のウラン第一配位圏

M-O の平均結合距離は、希土類に対してはイオン半径の増大により、長くなっているが、ウランは希土類のイオン半径に対する M-O 距離の直線からはずれており、希土類より結合が強いと考えられる。また、 $tmma$  の C=O の平均結合距離は希土類ではすべて同じ程度であるのに対し、ウランでは希土類より長くなっている。U-O の結合が強いことにより、C=O の結合が弱くなっていることを示唆する (Fig. 4)。

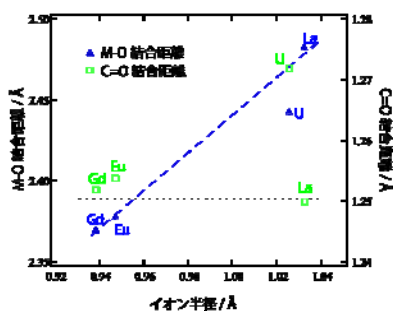


Fig. 4  $M(tmma)_4(BPh_4)_3$  (M ; U, La, Eu, Gd) の金属イオン半径に対する M-O と C=O の平均結合距離

## 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 18 件)

- ① K. Yubuta, T. Yamamura, D. X. Li, Y. Shiokawa, Direct observations of ordered  $R_2CuSi_3$  (R = Ce and Nd) cluster-glass compounds in real space by HRTEM, Solid State Communications, 149, 286-289, 2009, 査読有
- ② K. Yubuta, A. Nomura, T. Yamamura, T. Shishido, Anomalous behavior of hardness and crystal structure in  $CeRh_3B$  ( $x = 0-1$ ) phase, J. Alloys Compd, 451, 301-304, 2008, 査読有
- ③ T. Yamamura, D. X. Li, M. Kuznietz, Y. Shiokawa, Magnetic ordering in  $(Th, U)Co_2X_2$  (X=Ge, Si) solid solutions, J. Appl. Phys. 103, 07A916, 2008, 査読有
- ④ D. X. Li, S. Nimori, T. Yamamura, Y. Shiokawa, Ac susceptibility studies of the spin freezing behavior in  $U_2CuSi_3$ , J. Appl. Phys, 103, 07B715, 2008, 査読有
- ⑤ T. Yamamura, D. Li, M. Kuznietz, Y. Shiokawa, Magnetic ordering in  $(Th, U)Co_2X_2$  (X=Ge, Si) solid solutions, J. Appl. Phys, 103, 07A916, 2008, 査読有
- ⑥ M. Kuznietz, D. X. Li, T. Yamamura, Y. Shiokawa, Magnetic properties of the comopunds  $ThCo_2Ge_2$  and  $ThCo_2Si_2$ , J. Magn. Mater, 320, 2402-2405, 2008, 査読有
- ⑦ A. V. Andreev, E. A. Tereshina, E. Santava, I. Satoh, T. Yamamura, Y. Shiokawa, K. Koyama, K. Watanabe, Magnetic properties of  $U_2(Fe_{1-x}Ni_x)_{13.6}Si_{3.4}$  single crystals, J. Alloys Compd, 461, 6-8, 2008, 査読有
- ⑧ A. V. Andreev, E. A. Tereshina, E. Santava, K. Koyama, Y. Homma, I. Satoh, T. Yamamura, Y. Shiokawa, K. Watanabe, Magnetic properties of  $U_2Co_{17-x}Si_x$  single crystals, J. Alloys Compd, 450, 51-57, 2008, 査読有
- ⑨ T. Yamamura, K. Shirasaki, H. Sato, Y. Nakamura, H. Tomiyasu, I. Satoh, Y. Shiokawa, Enhancements in the electron transfer kinetics of uranium-based redox couples induced by tetraketone ligands with potential chelate effect. J. Phys. Chem., 111C, 18812-18820, 2007, 査読有
- ⑩ T. Yamamura, K. Yubuta, I. Satoh, Y. Yoshida, Y. Shiokawa, T. Sekine, W. Sugiyama, K. C. Park, H. Tomiyasu, Reductive atmosphere of supercritical water with  $RuO_2$  resulting in  $TcO_2$  colloid: Spectroscopic, morphological

and crystallographic study on solutions and precipitates in Hasteroy C-22, J. Supercritical Fluids, 43, 317-323, 2007, 査読有

- ⑪ 塩川佳伸, 山村朝雄, 青木大, 本間佳哉, 大貫惇睦, ウラン・ネプツニウムの新しい金属調製法を端緒としたアクチノイド科学への新展開, .日本原子力学会誌, 49, 755-761, 2007, 査読有
- ⑫ A. V. Andreev, E. A. Tereshina, E. Santava, K. Koyama, Y. Homma, I. Satoh, T. Yamamura, Y. Shiokawa, K. Watanabe, Crystal structure and magnetic properties of  $U_2Co_{17-x}Si_x$  single crystals, 310, E596-E600, 2007, 査読有
- ⑬ T. Yamamura, N. Watanabe, Y. Shiokawa, Energy efficiency of neptunium redox battery in comparison with vanadium battery, J. Alloys Compds, 408-412C, 1260-1266, .2006, 査読有
- ⑭ T. Yamamura, K. Shirasaki, D. X. Li, Y. Shiokawa, Electrochemical and spectroscopic investigations of Uranium(III) with  $N, N, N', N'$ -tetramethylmalonamide in DMF, J. Alloys Compds., 418, 139-144, 2006, 査読有
- ⑮ T. Yamamura, D. X. Li, K. Yubuta, Y. Shiokawa, Crystal structure and magnetic state of  $U_2XSi_3$  (X= Fe, Pt), J. Alloys Compds. 408-412, 1324-1328, 2006, 査読有
- ⑯ K. Shirasaki, T. Yamamura, Y. Shiokawa, Electrolytic preparation, redox titration and stability of pentavalent state of uranyl tetraketonate in dimethyl sulfoxide, J. Alloys Compds, 408-412C, 1296-1301. 2006, 査読有
- ⑰ K. Shirasaki, T. Yamamura, T. Herai, Y. Shiokawa, Electrodeposition of uranium in dimethyl sulfoxide and its inhibition by acetylacetone as studied by EQCM, J. Alloys Compds. 418, 217-221, 2006, 査読有
- ⑱ 山村朝雄, 塩川佳伸, アクチノイド錯体によるレドックスフロー電池, 化学工業, 2006・5・1, 381-387, 2006, 査読無

[学会発表] (計 23 件)

- ① 古谷昌, 山村朝雄, 大田卓, 佐藤香織, 塩川佳伸, 佐藤伊佐務, 富安博, 4 座テトラケトン配位子のキレート効果 (2) 量子化学計算との比較, 日本原子力学会「2009 年春の年会」, 2009. 3. 23-25, 東京、東京工業大学
- ② 山村朝雄, 5 価と 3 価のアクチノイド・ウエルナー型錯体の構造と磁性, 第 2 回錯体化学若手の会 北海道・東北支部勉強

会, 2008 年 11 月 29 日, 仙台、東北大学大学院理学研究科

- ③ 山村朝雄, ウランの酸化状態とその応用 -3 価と 5 価の錯体の物性化学-, 価数不安定性をもつアクチノイド化合物に特有の新奇量子状態に関する研究会, 2008 年 9 月 24 日, 仙台、東北大学金属材料研究所
- ④ 佐藤香織, 山村朝雄, 白崎謙次, 大田卓, 塩川佳伸, 佐藤伊佐務, 富安博, 4 座テトラケトン配位子の分子設計とそのキレート効果, 第 58 回錯体化学討論会, 2008 年 9 月 20 日, 金沢、金沢大学
- ⑤ 大田卓, 山村朝雄, 白崎謙次, 李徳新, 塩川佳伸, 佐藤伊佐務, ウラン(V)  $\beta$ -ジケトン錯体における構造と磁性の研究, 第 58 回錯体化学討論会, 2008 年 9 月 20 日, 金沢、金沢大学
- ⑥ 山村朝雄, 大田卓, 鷲山幸信, 塩川佳伸, 佐藤伊佐務, 核医学利用のためのアクチノイド EDTMP 錯体の構造と安定性, 第 58 回錯体化学討論会, 2008 年 9 月 20 日, 金沢、金沢大学
- ⑦ 山村朝雄, 大田卓, 白崎謙次, 李徳新, 佐藤伊佐務, 塩川佳伸, 高エネルギー効率のウラン・レドックスフロー電池の活物質としてのウランの 3 価と 5 価の錯体の構造と物性, 第 58 回錯体化学討論会, 2008 年 9 月 20 日, 金沢、金沢大学
- ⑧ 佐藤香織, 山村朝雄, 大田卓, 塩川佳伸, 佐藤伊佐務, 富安博, 4 座テトラケトン配位子のキレート効果, 日本原子力学会「2008 年秋の大会」, 2008. 9. 4-6, 高知、高知工科大学
- ⑨ T. Yamamura, K. Sato, S. Ohta, D. X. Li, K. Shirasaki, I. Satoh, Y. Shiokawa, Studies on structure, spectroscopy and magnetism of  $M(tmma)_4(BPh_4)_3$  (M= Gd, U), Plutonium Futures : The Science conference 2008, 7-11, July, 2008, Dijon, France
- ⑩ S. Ohta, T. Yamamura, K. Shirasaki, D. X. Li, I. Satoh, Y. Shiokawa, Uranium(V) complexes with 5f1 configuration and their functional chemistry, Plutonium Futures : The Science conference 2008, 7-11, July, 2008, Dijon, France
- ⑪ S. Ohta, T. Yamamura, D. X. Li, T. Komatsubara, I. Satoh, Magnetic Properties of  $Ce_2CuSi_3$  and  $Nd_2CuSi_3$  Single Crystals, 25th Rare Earth Research Conference (RERC08), June 22-26, 2008, Tuscaloosa, AL, U. S. A.
- ⑫ T. Yamamura, K. Shirasaki, S. Ohta, D. X. Li, Y. Homma, I. Satoh, Crystal structure, magnetism and electrochemistry of diamide complexes of Europium(II), 25th Rare Earth

Research Conference (RERC08), June 22-26, 2008, Tuscaloosa, AL, U.S.A.

- ⑬ K. Shirasaki, T. Yamamura, Y. Homma, S. Ohta, D. X. Li, I. Satoh, Magnetism and Mössbauer Spectroscopy of Europium(II)  $\beta$ -diketone complexes, 25th Rare Earth Research, June 22-26, 2008, Tuscaloosa, AL, U.S.A.
- ⑭ 白崎謙次, 山村朝雄, 佐藤伊佐務, 塩川佳伸, 遍歴性の高い 5f 電子系ウラン(III)価錯体出発物質の簡便な調製法, 日本原子力学会 2008 年春の年会, 2008. 3. 26-28, 大阪大学
- ⑮ 大田卓, 山村朝雄, 李徳新, 白崎謙次, 佐藤伊佐務, 塩川佳伸, ウラン(V)価分子性固体における分子内相互作用と物性, 日本原子力学会 2008 年春の年会, 2008. 3. 26-28, 大阪大学
- ⑯ 佐藤香織, 山村朝雄, 富安博, 佐藤伊佐務, 塩川佳伸, 新規ジアミド配位子の溶液内平衡の第一原理量子化学計算による検討, 日本化学会第 88 春季年会, 2008. 3. 26-28, 東京立教大学
- ⑰ 佐藤香織, 山村朝雄, 大田卓, 佐藤伊佐務, 塩川佳伸, 新規ジアミド配位子による希土類ウェルナー型錯体の構造と物性, 日本化学会第 88 春季年会, 2008. 3. 26-28, 東京, 立教大学
- ⑱ T. Yamamura, D. X. Li, Y. Shiokawa, MAGNETIC ORDERING IN (Th, U)Co<sub>2</sub>X<sub>2</sub> (X=Ge, Si) SOLID SOLUTIONS, 52nd Magnetism and Magnetic Materials, Nov 5-12, 2007, Tampa, Florida, U.S.A
- ⑲ 大田卓, 山村朝雄, 白崎謙次, 李徳新, 塩川佳伸, 佐藤伊佐務, 5f<sup>1</sup> 配置を持つウラン(V)価錯体の調製法の開発とその構造と物性, 錯体化学討論会, 2007. 9. 25, 名古屋工業大学
- ⑳ 山村朝雄, 大田卓, 吉田裕, 白崎謙次, 李徳新, 佐藤伊佐務, 塩川佳伸, 新規多座配位子による希土類およびウラン(III)ウェルナー型錯体の構造と物性, 錯体化学討論会, 2007. 9. 25, 名古屋工業大学
- T. Yamamura, T. Yano, Y. Shiokawa, Energy Efficiency of Vanadium Redox-Flow Battery: Dependence on Concentration and Charge Density, 211th ECS Meeting, May 5-10, 2007, Chicago, Illinois, U.S.A
- K. Shirasaki, T. Yamamura, Y. Shiokawa, I. Satoh, Uranium Redox-Flow Battery, 211th ECS Meeting, May 5-10, 2007, Chicago, Illinois, U.S.A
- K. Shirasaki, T. Yamamura, T. Herai, Y. Shiokawa, I. Satoh, M. Oku, Electrodeposition of Lanthanum in Aprotic Solvents Studied by HMDE, EQCM and XPS, 211th ECS Meeting, May 5-10,

2007, Chicago, Illinois, U.S.A

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

- ①名称: アクチノイド酸化物の結晶の製造方法  
発明者: 山村朝雄, 白崎謙次, 佐藤伊佐務, 富安博, 森知紀  
権利者: 東北大学  
種類: 特許  
番号: PCT/JP2009/05545  
出願年月日: 2009 年 3 月 19 日  
国内外の別: 外国
- ②名称: 使用済核燃料の再処理方法  
発明者: 富安博, 加納千之, 山村朝雄  
権利者: 富安博, 加納千之  
種類: 特願  
番号: 2008-028616  
出願年月日: 2008 年 2 月 8 日  
国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山村 朝雄 (YAMAMURA TOMOO)  
東北大学・金属材料研究所・助教  
研究者番号: 20281983

### (2) 研究分担者

李 徳新 (Li Dexin)  
東北大学・金属材料研究所・助教  
研究者番号: 40281985  
塩川 佳伸 (SHIOKAWA YOSHINOBU)  
東北大学・金属材料研究所・教授  
研究者番号: 50111307  
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・研究員  
研究者番号: 80370443

### (3) 連携研究者