

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 23 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420905

研究課題名(和文) 常温無機イオン液体と有機溶媒の界面でのウランの無電解析出の実現

研究課題名(英文) Spontaneous Deposition of Uranium Oxide at the Interface between Room Temperature Inorganic Ionic Liquid and Organic Solution

研究代表者

上原 章寛 (Uehara, Akihiro)

京都大学・原子炉実験所・助教

研究者番号：30402952

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：塩化カルシウム6水和物は、常温で液体の濃厚電解質である。濃厚電解質中でのイオンの挙動は希薄な電解質水溶液中と異なる挙動を示すため、本研究ではこの液体を「常温無機イオン液体」と名付け、次のことを明らかにした。ウランイオンはU(VI)からU(V)に電気化学的に還元され、その後不均化反応によってU(VI)及びU(IV)を生成する。また、希薄な電解質中では短寿命のU(V)は常温無機イオン液体中では比較的長寿命で同化学種を電解吸分光法により検出することに成功した。U(VI)を含む水相と酸化還元体を含む有機相の界面において水相中のU(VI)の還元及び有機相の還元体の酸化に起因する電子移動電流を検出した。

研究成果の概要(英文)：The redox reaction of  $UO_2^{2+}$  in calcium chloride hexahydrate,  $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ , was investigated by electrochemical and spectroscopic methods. The hexavalent uranium  $UO_2^{2+}$  was dissolved and stabilized without hydrolysis in  $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ . Two step cathodic currents were observed corresponding to the reduction of  $UO_2^{2+}$ . The reversible redox reaction of the  $UO_2^{2+}/UO_2^+$  couple was observed at the first cathodic current. The second cathodic reaction corresponding to the reduction of  $UO_2^+$  was irreversible. The deposit formed at a bulk and a surface area of the platinum working electrode was determined to be uranium dioxide  $UO_2$  by X-ray diffraction analysis. The  $UO_2^+$  was formed for very short lifetime at the first cathodic current resulting into  $UO_2$  formation because of  $UO_2^+$  disproportionation reaction as the following reaction;  $2UO_2^+ \rightarrow UO_2^{2+} + UO_2$ . The electron transfer reaction was observed at the interface between aqueous phase containing  $UO_2^{2+}$  and organic phase containing a reductant.

研究分野：工学

キーワード：電解還元 ウラン 水和物溶融体 析出 XAFS

### 1. 研究開始当初の背景

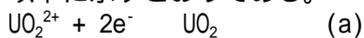
放射性廃棄物低減化のための元素の分離法として水溶液を用いた湿式法と水溶液を用いない乾式法が挙げられる。乾式処理技術では数百程度のアルカリ塩化物溶融塩を溶媒として、電気化学的手法、還元剤を用いた手法、沈殿法などを利用して、アクチノイド元素の分離回収が行われる。乾式処理は、溶解した使用済燃料から直接MOX(ウランプルトニウム混合酸化物)として電極に回収することができるので、廃棄物量が少ない及びプロセスが比較的単純である。ところが、溶媒の融点が400以上の高温であるため、操作性や安全性に問題があり実用化には至っていない。そこで申請者は、無機物でかつ常温で液体である「水和物溶融体」を用い、ウランイオン(UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>)の還元挙動を検討し、二酸化ウラン(UO<sub>2</sub>)として析出することを発見した[1](H19年度科学研究費；水和物溶融体を媒体とするウランの電解還元法による回収、19760611)。この液体を(有機)イオン液体[2]と区別して「無機イオン液体」と名づけた。ところが、工学的な視点に基づけば、電解によるウランの析出分離はプロセスが単純であるが、反応面積が小さいため溶媒抽出のような湿式法に比べて分離に長時間を有するという短所がある。一方、申請者は水と有機溶媒の界面で生じるイオン移動反応および電子移動(酸化還元)反応を電流と電位差の関係曲線として計測し、溶媒抽出機構あるいは生体類似反応機構を明らかにしてきた[3]。本申請では、上述の手法をウランに適用し、UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>を含む無機イオン液体と還元体(Red)を含む有機溶媒を用いて、界面での酸化還元反応を実現し、UO<sub>2</sub>として析出させ分離する技術を構築する。

#### [文献]

1. A. Uehara, et al., J Appl. Electrochem., 42 (2012) 455-461.
2. K. A. Venkatesan, et al., Inter. J. Electrochem., 2012 (2012) 1-12.
3. A. Uehara, et al., J. Electroana. Chem., 604, 115-124, (2007).
4. Liquid-Liquid Interfaces Theory and Methods, A.G. Volkov, eds., CRC press, 1996.

### 2. 研究の目的

無機イオン液体中でのUO<sub>2</sub><sup>2+</sup>の還元反応は以下に示すとおりである。



申請者は、同溶媒中において、UO<sub>2</sub><sup>2+</sup>は電極での可逆な反応(b)を経て、電極で直接還元されUO<sub>2</sub>として析出する反応(c-1)と不均化反応で析出する反応(c-2)のどちらも生じることを明らかにした[1]。本研究は、上述の還元反応を、ウランを含む水相と還元体

(Red)を含む有機相の界面で生じさせようというものである。反応の素過程を液液界面電荷移動電気化学測定法(Voltammetry for the electron transfer at an Interface of Two Immiscible Electrolyte Solutions, VITIE S [4])を用いて解析する。VITIE Sは水相有機相界面に電位差すなわちエネルギーを印加し、反応の生じる電位における界面電荷移動を電流として記録する手法である。同法を用いれば、ウランイオンの界面での還元電位を確定することができる。固体電極を用いてウランイオンの還元反応について研究された例は多数あるが、水相と有機溶媒界面でのウランイオンの還元反応について研究された例はない。酸化還元電位、反応速度等を解析するため、サイクリックボルタンメトリー、クロノアンメロメトリー、パルスボルタンメトリー及び定電位差電解等を行う。反応化学種を同定する手法として、紫外可視吸光分光法、ラマン分光法、X線回折法を用いる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 各種塩化ウラン化合物の合成(UO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, UCl<sub>4</sub>, UCl<sub>3</sub>)

無機イオン液体を用いた実験を行う前に各種ウラン化合物の合成を行う。上記ウラン化合物は、大気雰囲気下で酸化されやすくかつ吸湿しやすいため、雰囲気が制御されたグローブボックスを使用する。高純度で大量に合成するには、実験温度やガス流量比を緻密に制御しなければいけないため、合成に最適な条件を示差熱天秤(TG-DTA)を用いて最適条件を見つける。申請者は、別のウラン化合物合成のため、同研究所において実験を行った経験を有するのみならず核燃料物質の受け払いに関する報告書作成作業経験を有する。

#### (2) 液液界面におけるウランの酸化還元反応解明

申請者はこれまで固体電極を用いてウランイオンの酸化還元反応を明らかにしてきた[1]。本研究では、無機イオン液体と有機溶液の界面でウランイオンの酸化還元反応を生じさせるのが目的である。

ウランイオンを還元させるために必要な還元剤の選定、有機溶媒の選定等を、今までに得られた知見および文献[2]に基づいて調査する。実験には、近年発達した液液界面電荷移動ボルタンメトリー(VITIE S)を用いる。ウランイオンとしてUO<sub>2</sub><sup>2+</sup>を含む無機イオン液体と還元剤および支持電解質を含む有機溶媒間に電位差を印加し、ウランイオン及び還元体がそれぞれ還元および酸化するときに界面を横切る電子の移動を電流として記録する手法である。VITIE Sを用いれば、ウランの還元電位を決定することができる。また、還元の過程で生じるウラン(V)(UO<sub>2</sub><sup>+</sup>)の観察を可視紫外吸光分光法を用いて行う。有機相中の還元体の種類や濃度を変

化させることで、還元反応速度、反応量を制御することが期待される。VITIE Sによって電荷移動反応が観察され、ウランイオンが  $UO_2$  まで還元されれば、電解によってウランを酸化物として回収することも可能である。また、電解によって生じた析出物をラマン分光法、X線回折法、電子顕微鏡等の分析装置を用いて化合物および粒径等の分析を行う。液液界面における金ナノ粒子の生成法として Brust 法[3]が有名であるが、同手法をウランに適用された例は今までになく、物理化学的にもきわめて興味深い。

### (3) 無電解による $UO_2$ の析出

3.2.において得られたウランの還元電位に基づいてバッチによる  $UO_2$  の析出反応を実現する。この時、両相の電気的中性を満足するための対イオンを選定する必要がある。有機相中に加える還元体の種類あるいは、対イオンの種類や濃度によって析出量が制御されることが期待される。同時にこの反応で得られた析出物および反応生成物を可視紫外分光法、X線回折法、電子顕微鏡等の分析装置を用いて分析する。

#### [文献]

1. A. Uehara, et al., IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 9 (2010) 012080.
2. H. Shiba, et al., Journal of Electroanalytical Chemistry 556 (2003) 1 - 11.
3. M. Brust, et al., J. Chem. Soc., Chem. Comm., (1994) 801-802.

## 4. 研究成果

### (1) 各種塩化ウラン化合物の合成

$U_3O_8$  は、酸化ウラン試料をあらかじめ 700 大気雰囲気下において一昼夜加熱して調製した。 $UCl_4$  は、 $U_3O_8$  を入れた石英ボートを、400 にて  $CCl_4$  を  $20 \text{ ml min}^{-1}$  で約 2 時間通気し、420 において約 3 時間通気し結晶を成長させることによって合成した。 $U_3O_8$  と  $CCl_4$  は (1) 式の反応によって  $UCl_4$  を生成する。 $U_3O_8 + 3CCl_4 \rightarrow 3UCl_4 + 3CO_2 + O_2$  (1)  
1 粒 2 mm 程度の粗結晶を得た。Ar 雰囲気のグローブボックスにて  $UCl_4$  試料をポリエチレン製チャックシールに封入し、XRD 測定を行った。 $UCl_4$  ピークはデータベース (00-009-0056) とピーク位置が一致した。

### (2) 無機イオン液体中でのウランイオンの酸化還元反応

無機イオン液体として  $CaCl_2 \cdot 6H_2O$  中のウランイオン  $U(VI)$ ,  $UO_2^{2+}$  の酸化還元反応をサイクリックボルタンメトリー及びリニアスイープボルタンメトリーを用いて調べた。還元第 1 波  $UO_2^{2+}/UO_2^+$  の酸化還元反応は可逆であった。第 2 波において  $UO_2^+$  から  $UO_2$  の還元反応 (非可逆反応) が電気化学的に室温大気雰囲気下で生じることが分かった。還元第 1 波で生成した  $UO_2^+$  は、不均化反応によって  $UO_2^{2+}$  及び  $UO_2$  を自発的に生じることが分かった。

室温において水和物溶融体中のウランの再処理が使用済燃料の再処理に適用できることを示唆した。

### (3) In-situ 電解 X 線吸収分光法を用いたウランイオンの還元反応の解析

広域 X 線吸収微細構造 (EXAFS) を用いて、ウランの還元反応メカニズムを解析した。ウランイオン  $U(VI)$  を含む各種水溶液にて電解還元しながら EXAFS 測定を行ったところ、 $U(VI)$  に特徴的な  $U=O$  結合に起因するピークが減少し、ウラン  $U$  と水分子  $H_2O$  の結合に起因する  $U-OH_2$  のピークが増加することを確認した。限界還元中に測定した溶液内電位と  $U=O$  及び  $U-OH_2$  結合から算出した  $U(VI)$  及び  $U(IV)$  の濃度の比をプロットすることにより、見かけの  $U(VI)/U(IV)$  の酸化還元電位を見積もった。また、 $Na_2CO_3$  水溶液中において生成する  $U(V)$  の EXAFS 測定を測定し、 $U(VI)$  の錯体構造と異なることを明らかにした。

## 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 15 件)

T. Nagai, N. Sato, S. Kitawaki, A. Uehara, T. Fujii, H. Yamana, M. Myochin, Synthesis and investigation of uranyl molybdate  $UO_2MoO_4$ , Journal of Nuclear Materials, 査読有, 433, 1-3 (2013) 397-403. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2012.10.010>

A. Uehara, T. Nagai, T. Fujii, O. Shirai, H. Yamana, Spectrophotometric and electrochemical study of neptunium ions in molten  $NaCl-CsCl$  eutectic, Journal of Nuclear Materials, 査読有, 437, 1-3 (2013) 166-170. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2013.02.003>

T. Nagai, A. Uehara, T. Fujii, H. Yamana, Reduction behavior of  $UO_2^{2+}$  in molten  $LiCl-RbCl$  and  $LiCl-KCl$  eutectics by using tungsten, Journal of Nuclear Materials, 査読有, 439, 1-3 (2013) 1-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2013.03.078>

A. Uehara, T. Hashimoto, R.A.W. Dryfe, Au Electrodeposition at the Liquid-Liquid Interface: mechanistic aspects, Electrochimica Acta, 査読有, 118 (2014) 26 - 32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2013.11.162>

R.A.W. Dryfe, A. Uehara, S. G. Booth, Metal Deposition at the Liquid-Liquid Interface, The Chemical Record, 査読有, 14 (2014) 1013-1023. DOI: [10.1002/tcr.201402027](http://dx.doi.org/10.1002/tcr.201402027).

T. Nagai, A. Uehara, T. Fujii, N. Sato, H. Kofuji, M. Myochin, H. Yamana, Redox equilibrium of the  $UO_2^{2+}/UO_2^+$  couple in  $Li_2MoO_4$ - $Na_2MoO_4$  eutectic melt at 550 °C, *Journal of Nuclear Materials*, 査読有, 454 (2014) 159-163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2014.07.070>.

A. Uehara, O. Shirai, T. Fujii, N. Sato, H. Yamana, Formation of Uranium Fluoride Complex by Addition of Fluoride Ion to Molten NaCl-CsCl Melts, *Molten Salts Chemistry and Technology*, 査読有, M.G.-Escard, G.M. Haarberg, Eds., John Wiley and Sons, 2014, 421-426. ISBN: 97811118448731.

T. Uda, K. Fukasawa, A. Uehara, K. Kinoshita, T. Koyama, H. Yamana, Quantitative Analysis of Lanthanides in Molten Chloride by Absorption Spectroscopy, *Molten Salts Chemistry and Technology*, 査読有, M.G.-Escard, G.M. Haarberg, John Wiley and Sons, 2014, 475-480. ISBN: 97811118448731.

T. Fujii, A. Uehara, Y. Kitatsuji, H. Yamana, Theoretical and experimental study of the vibrational frequencies of  $UO_2^{2+}$  and  $NpO_2^{2+}$  in highly concentrated chloride solutions, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 査読有, (2015) 303:1015-1020. DOI: 10.1007/s10967-014-3340-6

S.Y. Chang, A. Uehara, S.G. Booth, K. Ignatyev, J.F.W. Mosselmans, R.A.W. Dryfe, and S.L.M. Schroeder, Structure and Bonding in Au(I) Chloride Species: A Critical Examination of X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) Data, *RSC Advances*, 査読有, 5 (2015), 6912-6918. DOI: 10.1039/c4ra13087a

Samuel G. Booth, A. Uehara, S.-Y. Chang, J.F.W. Mosselmans, S.L.M. Schroeder, and R.A.W. Dryfe, Gold Deposition at a Free-Standing Liquid/Liquid Interface: Evidence for the Formation of Au(I) by Microfocus X-ray Spectroscopy ( $\mu$ XRF and  $\mu$ XAFS) and Cyclic Voltammetry, *Journal of Physical Chemistry C*, 査読有, 119 (2015) 16785 - 16792. DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b05127.

A. Uehara, T. Fujii, H. Yamana, and Y. Okamoto, An in-situ X-ray absorption spectroelectrochemical study of the electroreduction of uranium ions in HCl,  $HNO_3$ , and  $Na_2CO_3$  solutions, *Radiochimica Acta*, 査読有, 104 (2016) 1-9. DOI: 10.1515/ract-2015-2436.

A. Uehara, S.G. Booth, S.-Y. Chang, S.L.M. Schroeder, T. Imai, T. Hashimoto, J.F.W. Mosselmans, and R.A.W. Dryfe,

Electrochemical Insight into the Brust-Schiffrin Synthesis of Au Nanoparticles, *Journal of the American Chemical Society*, 査読有, 137(2015) 15135-15144, Nov 11., DOI: 10.1021/jacs.5b07825

A. Uehara, S.-Y. Chang, S.G. Booth, S.L.M. Schroeder, J.F.W. Mosselmans, and R.A.W. Dryfe, Redox and Ligand Exchange during the Reaction of Tetrachloroaurate with Hexacyanoferrate(II) at a Liquid-Liquid Interface: Voltammetry and X-ray Absorption Fine-Structure Studies, *Electrochimica Acta*, 査読有, 109 (2015) 997-1006, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2015.12.108>

S.-Y. Chang, Y. Gründer, S. G. Booth, L.B. Molleta, A. Uehara, J.F.W. Mosselmans, G. Cibir, V.-T. Pham, L. Nataf, R.A.W. Dryfe and S.L.M. Schroeder, Detection and characterisation of sub-critical nuclei during reactive Pd metal nucleation by X-ray absorption spectroscopy, *CrystEngComm*, 査読有, 18 (2016) 674-682, DOI: 10.1039/c5ce01883h

〔学会発表〕(計 22 件)

上原 章寛, Y. Grunder, 橋本晃男, R. Dryfe; 液液界面における金ナノ粒子の合成とその素過程の解明; 日本分析化学討論会、(2013.5.18-19、北海道大学函館キャンパス)

上原 章寛、R.A.W. Dryfe, S.L.M. Schroeder, J. F.W. Mosselmans, S.Y. Chang; ヘキサシアノ鉄(II)酸による四塩化金イオンの還元及び錯生成反応; 日本分析化学討論会、(2014.5.24-25、日本大学工学部福島県郡山市)

上原章寛, S.G. Booth, S.Y. Chang, S.L.M. Schroeder, J.F.W. Mosselmans, R.A.W. Dryfe、金ナノ粒子生成過程の電荷移動ポルタンメトリーによる解析; ポーラログラフ及び電気分析化学討論会 (2014.11.15-16 京都市、京都工芸繊維大学)

上原 章寛, S.G. Booth, S.Y. Chang, S.L.M. Schroeder, R.A.W. Dryfe, ドデカンチオールを用いた金ナノ粒子生成過程における金(I)の存在; 日本分析化学会 2015 年討論会 (2015.5, 23-24, 山梨県、山梨大学)

上原章寛, S.G. Booth, S.Y. Chang, S.L.M. Schroeder, R.A.W. Dryfe, ドデカンチオールを用いた金ナノ粒子合成過程の液液界面イオン移動ポルタンメトリーに基づく理解; 日本分析化学会 2015 年第 64 年会 (2015.9, 9-11, 福岡市、九州大学)

上原章寛, S.G. Booth, S.Y. Chang, 今井崇人, S.L.M. Schroeder, R.A.W. Dryfe; 金ナノ粒子合成メカニズムの液液界面イオン移動ポルタンメトリーによる解明; ポーラログラフ及び電気分析化学討論会 (2014.11.

24-25) 兵庫県、姫路市イーグレひめじ

A. Uehara, T. Fujii<sup>1</sup>, H. Yamana, Y. Okamoto, In-situ XAFS analysis of electrochemical reduction of uranium(VI) in highly concentrated LiCl, Actinide2013 21<sup>st</sup>-26<sup>th</sup> July, Karlsruhe, Germany

A. Uehara, S.G. Booth, S.-Y. Chang, S.L.M. Schroeder, J.F.W. Mosselmans, and R.A.W. Dryfe, Electrochemical insight into the Brust-Schiffrin synthesis of Au nanoparticles, 65th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, 31 August - 5 September 2014, Lausanne, Switzerland

S. Booth, S.-Y. Chang, A. Uehara, F. Mosselmans, R. Dryfe and S. Schroeder, Brust-Schiffrin synthesis: mechanistic study, Electrochem North West 2014, 23rd Jul.2014 University of Liverpool UK,

S.G. Booth, S.-Y. Chang, A. Uehara, J.F.W. Mosselmans, M.L. Schlossman, R.A.W. Dryfe, and S.L.M. Schroeder, XAS analysis of the electrochemical deposition of gold at the liquid/liquid interface, Gordon Research Conference on Electrodeposition, 27th Jul - 1<sup>st</sup> Aug.2014, University of New England, Biddeford ME, USA

S.-Y. Chang, Y. Gründer, A. Uehara, J.F.W. Mosselmans, G. Cibir, R.A.W. Dryfe, S.L.M. Schroeder, Evidence for a Pre-Nucleation Equilibrium? X-ray Absorption Fine Structure (XAFS) Studies of Pd Nanoparticle Formation at a Liquid-Liquid Interface, British Association of Crystal Growth 2014, 13th-15th July 2014, University of Leeds, UK

S. G. Booth, S.-Y. Chang, A. Uehara, J.F.W. Mosselmans, M.L. Schlossman, R.A.W. Dryfe, and S. L. M. Schroeder, XAS analysis of the electrochemical deposition of gold nanoparticles at a windowless liquid/liquid interface, British Association of Crystal Growth 2014, 13th-15th July 2014, University of Leeds, UK.

S.-Y. Chang, S.G. Booth, Y. Gründer, L.B. Molleta, A. Uehara, J.F.W. Mosselmans, G. Cibir, R.A.W. Dryfe, S.L.M. Schroeder, Pd Nanoparticle and Cluster Formation at a Liquid/Liquid Interface, Faraday Discussion, 30th Mar - 2nd Apr 2015. University of Leeds, UK.

S. G. Booth, S.-Y. Chang, A. Uehara, J.F.W. Mosselmans, M.L. Schlossman, R.A.W. Dryfe, and S.L.M. Schroeder, XAS analysis of the electrochemical deposition of gold nanoparticles at a windowless liquid/liquid interface,

Electrochemistry 7<sup>th</sup>-9<sup>th</sup>, Sep. 2014, Loughborough University, UK.

S.-Y. Chang, S.G. Booth, A. Uehara, K. Ignatyev, J.F.W. Mosselmans, R.A.W. Dryfe, S.L.M. Schroeder, Structure and Bonding in Au(I) Chloride Species: A Critical Examination of X-ray Absorption Spectroscopy (XAS) Data, GOLD2015, 26th-29th July 2015, Cardiff University, UK.

S. G. Booth, A. Uehara, S.-Y. Chang, J. F. W. Mosslemans, S. L. M. Schroeder and R. A. W. Dryfe, Brust-Schiffrin Synthesis: A mechanistic study", GOLD2015, 26th-29<sup>th</sup>, July 2015, Cardiff University, UK.

S.-Y. Chang, S. Booth, R. Dryfe, A. Uehara, K. Ignatyev, F. Mosselmans, S. Schroeder, Evidence for a Strongly Bound Solvent Molecules: XANES and EXAFS of Aqueous Au(III) Cyanide, XAFS16, 16th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure, 23rd-28th August 2015, Karlsruhe, Germany.

S.-Y. Chang, S.G. Booth, Y. Gründer, L.B. Molleta, A. Uehara, J.F.W. Mosselmans, G. Cibir, R.A.W. Dryfe, S.L.M. Schroeder, In Situ XAS Studies of Pd Nanoparticle Nucleation at an Interface of Two Immiscible Phase, XAFS16, 16th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure, 23rd-28th August 2015, Karlsruhe, Germany.

S.-Y. Chang, S.G. Booth, A. Uehara, K. Ignatyev, J.F.W. Mosselmans, R. A.W. Dryfe, and S.L.M. Schroeder, Why Au L<sub>3</sub> XANES White Line Intensities Can Be a Poor Predictor of Oxidation State, XAFS16, 16th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure, 23rd-28th August 2015, Karlsruhe, Germany.

S. G. Booth, A. Uehara, S.-Y. Chang, J. F. W. Mosslemans, S. L. M. Schroeder and R. A. W. Dryfe, Brust-Schiffrin Synthesis: A mechanistic study, XAFS16, 16th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure, 23rd-28th August 2015, Karlsruhe, Germany.

① A. Uehara, S. G. Booth, S.-Y. Chang, S.L.M. Schroeder, T. Imai, T. Hashimoto, J.F.W. Mosselmans, R.A.W. Dryfe, Electrochemical insight into the Brust-Schiffrin synthesis of Au nanoparticles, 48th Heyrovský Discussion, June 14th-19th 2015, castle Trest, Czech Republic

② A. Uehara, S.G. Booth, S.-Y. Chang, S.L.M. Schroeder, T. Imai, T. Hashimoto, J.F.W. Mosselmans, and R.A.W. Dryfe, Electrochemical insight into the Brust-Schiffrin synthesis of Au

nanoparticles, Faraday Discussion,  
Nanoparticle Assembly: From Fundamentals  
to Applications, 7th-9th, January, 2016,  
Mumbai IIT, India

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

上原章寛 (UEHARA Akihiro)

京都大学・原子炉実験所・助教

研究者番号：3 0 4 0 2 9 5 2