

平成 30 年 5 月 15 日現在

機関番号：63903

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02173

研究課題名(和文) 微量元素高速時間分解X線吸収分光の開発と機能性材料への展開

研究課題名(英文) Exploitation of fast time-resolved x-ray absorption spectroscopy for dilute systems and application to functional materials

研究代表者

横山 利彦 (Yokoyama, Toshihiko)

分子科学研究所・物質分子科学研究領域・教授

研究者番号：20200917

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,900,000円

研究成果の概要(和文)：これまで報告のなかった多成分・微量成分に対するポンププローブ高速時間分解X線吸収分光計測を世界に先駆けて実現した。従来のポンププローブ高速時間分解X線吸収分光法では、放射光とレーザーの同期の問題からエネルギー分解能に乏しく時間分解能の高いX線検出器の利用が余儀なくされており、研究対象が高濃度金属錯体溶液などに限定されていたが、我が国の世界唯一のシングルバンチ放射光X線源PF-ARを活用することで、高エネルギー分解能を有する蛍光X線検出器が利用でき、迅速かつ容易に高速時間分解(約100ps)微量元素X線吸収スペクトルを計測することが可能となった。今後極めて広い科学技術分野への応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：We have exploited pump-probe fast time-resolved X-ray absorption spectroscopy for dilute systems, which have not been reported so far. In previous pump-probe time-resolved X-ray absorption spectroscopy, due to the synchronization problem between pump lasers and probe synchrotron radiation, only fast time resolved X-ray detectors with low X-ray energy resolution were utilized. Thus the research subject is severely limited only for high concentration materials such as solutions of transition metal complexes. Through the present study, by virtue of the Japanese synchrotron radiation facility Photon Factory Advanced Ring (PF-AR), where the single bunch mode is always operated (only one facility in the world), we can use high energy resolution X-ray detectors and measure fast time resolved (~100 ps) X-ray absorption spectra of diluted systems rather quickly without difficulties. This novel technique is expected to be applied for various scientific and technological subjects in near future.

研究分野：機能物性化学

キーワード：複合物性 X線吸収分光 高速ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

高速時間分解XAFS (X-ray Absorption Fine Structure)法は短寿命励起状態化学種の化学状態や定量的局所構造解析が可能で、先端かつ各種機能材料に有効な手法である。時間分解能はシンクロトロン放射光を用いる場合、パルス幅の<100 ps程度となる。これまでの高速時間分解法では、ポンプレーザーと同期するプローブ放射光信号のみを選別する必然性から、X線検出器に高速時間分解能が必要で、Avalanche Photo Diode等の低エネルギー分解能X線検出器の利用が余儀なくされてきた。時間分解能の低い高エネルギー分解能を有する蛍光X線検出器(半導体検出器SSD, シリコンドリフト検出器SDDなど)を用いることはできなかった。そのため、本来の静的なXAFS法では唯一の解析手法として威力を発揮できる多成分・微量成分の局所構造解析には適用が困難で、研究対象は金属錯体溶液など他の手法でも測定が可能と思われる高濃度試料のみに限定されていた。

2. 研究の目的

XAFS 本来の特徴を最大限に活かせる多成分・微量成分系の定量的局所構造ダイナミクス解析を行うため、高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・放射光研究施設(KEK-PF)の PF-AR(Photon Factory Advanced Ring)から供給される大強度シングルバンチ放射光パルス(繰返し周波数 794 kHz, パルス幅~100 ps)をプローブとし、ごく最近市販されるようになった外部信号と同期可能な高繰返し可視紫外レーザー(繰返し周波数 1 MHz まで応答可能、パルス幅 < 50 ps)をポンプ光として利用することで、すべての放射光パルスとレーザーパルスを同期させる理想的なポンプ-プローブXAFS計測システムを実現することを本研究の目的に据えた。これにより、単一レーザーを利用する赤外~紫外領域のポンプ-プローブ時間分解分光と同様、検出器に時間分解能が必要なく、高エネルギー分解能・低時間分解能の SSD, SDD などが利用可能となる。本計測システムでは、放射光の大強度X線を使用し高エネルギー分解検出器を用いるため、微量元素の高速時間分解 XAFS 測定が、容易に、静的な XAFS 測定と同じ測定時間・同じ S/N 比で実現できると期待される。

3. 研究の方法

ここでは、紙面の都合上、微量成分ピコ秒時間分解 XAFS システムの構築方法についてのみ記述することとする。用いる X 線検出器(SSD, SDD など)は特定エネルギーの蛍光 X 線のみを計測する必要があるため、信号検出するタイミングと計測システムに送られる信号に数 μ s の遅延があり、レーザーに同期しない信号を除去した上でレーザーに同期した信号のみを取り込むことができない。これを回避するため、常時 794 kHz のシングルバンチ運転を行っている PF-AR を光源とし、すべての

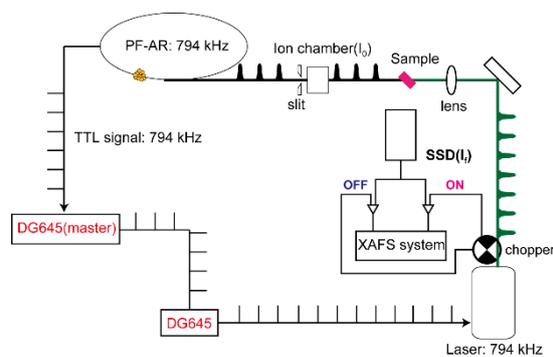


図 1 シングルバンチ放射光施設 PF-AR を用いた微量成分高速時間分解 XAFS 測定システム。

プローブ X 線パルスに高繰返しポンプレーザーを同期させて全蛍光 X 線収量を計測する。これにより、検出器側でレーザーに同期した X 線パルスのみを特定する必要なしに一定遅延時間後の蛍光 XAFS の時間発展が容易に観測できるようになる。

本研究で使用したポンプ-プローブ XAFS 実験のセットアップ概略を図 1 に示す。レーザーと放射光 X 線のタイミングを揃えるには、外部信号と同期可能なレーザーを用い、放射光施設の RF シグナルを基準とした 794 kHz の TTL 信号に従ってレーザー発振を行わせる。外部信号同期可能な大強度レーザーは、研究室現有のスイス Onefive 製 Katana-05XP (波長 1064, 532, 355 nm, 出力>22 μ J/pulse@532nm, >10 μ J/pulse@355nm, ジッター<10 ps, 繰返し<1000 kHz)を用いた。外部信号とのジッターが 10 ps 以下なので時間分解能(~100 ps)にはほぼ影響しない。放射光からの TTL は Delay Generator (SRI 社製 DG645)を使ってタイミングを変えることが可能であり、遅延時間は電氣的に制御できる。このシステムは周波数可変(<1000 kHz)であり、794 kHz のシングルバンチ放射光のすべてのパルスと同期可能となる。

当初計画には考慮されていなかった問題点として、用いたデジタルパルスプロセッサがポンプレーザーの交互の ON/OFF に対応できないという事象が生じた。これについては時間を要したが、メーカーに改良依頼することで最終的に解決できた。

4. 研究成果

(1) 微量成分ピコ秒時間分解 XAFS システムの性能評価

本研究で構築したシステム(X線検出器には SDD を使用)を用いて、可視光応答性の光触媒として注目されている WO_3 について、W-L₃ 吸収端 XANES (X-ray absorption near edge structure)測定を行った。 WO_3 は水に懸濁させ、濃度を比較的低濃度である 1 mM とした。図 2 に結果のスペクトルを示す。比較のため、X 線エネルギー分解能のない光電子増倍管 PMT を用いた測定も行った。

微量成分の測定で最も重要な因子である

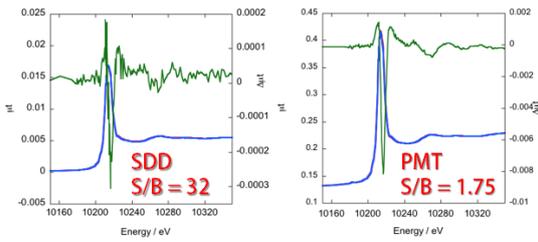


図2 1 mM WO₃ の高速時間分解 W-L₃ 吸収端 XAFS。SDD, PMT を用いた測定と比較。

signal-to-background 比において、SDD を用いると S/B=32, PMT を用いると S/B=1.75 であった。このことから、今回開発し SDD を用いた測定が従来法の約 20 倍 S/B 比に優れ、従来法より 1 桁程度の低濃度試料の観測が可能であることが示された。なお、signal-to-noise 比については、図 2 の PMT を用いた測定の方が優れているが、今回用いた SDD は単素子であり、本格的測定では多素子 SDD を利用することで S/N 比は問題なく改善される。

しかしながら、KEK-PF の予算事情等により PF-AR 運転時間が短縮され、多種の光触媒等の時間をかけた本格的な XAFS 計測は実施に至らなかった。この点は残念ではあったが、本科研費終了後に希薄試料高速時間分解 XAFS 測定を実施することとしたい。

(2) 可視光応答光触媒 WO₃ の光励起電子ポーラロン状態の電子状態と局所構造

可視光応答光触媒 WO₃ の光励起過程について、X 線自由電子レーザー-SACLA (理研、西播磨) とシンクロトロン放射光施設 PF-AR を利用して研究を行った。図 3 は SACLA で測定された時間分解 W-L₃ 吸収端 XANES (時間分解能~700fs) である。光励起により、O2p 価電子が W5d に励起され、W が 6 価から 5 価に還元されることが示された。励起電子は 7 ns⁻¹ の速度で緩くトラップされたポーロン状態を形成し、この状態が基底状態に失活する速度は 0.56 ns⁻¹ であった。この結果は文献⑭で発表し、プレスリリースも行った。

さらに、電子ポーロン状態の局所構造解析を行うため、PF-AR で W-L₃ 吸収端 EXAFS と W-L₁ 吸収端 XANES の測定を行った。その結果、もともと基底状態でも擬 Jahn-Teller 効果により歪んだ正八面体 WO₆ を示す W 周囲の構造が、電子ポーロン状態ではさらに歪が大きくなり、短い W-O 結合がさらに短く、長い W-O 結合はさらに長くなるという構造に変化することが明らかとなった。この結果は現在投稿中である。

(3) 可視光応答光触媒 BiVO₄ の光励起状態

可視光応答光触媒 BiVO₄ の光励起状態について、SACLA および PF-AR を用いて Bi-L₃ 吸収端時間分解 XAFS により検討した。結果を図 4 に示す。光照射により、O2p/Bi6s から形成される価電子帯から V3d 伝導帯に電子が励起される。励起後速やかに(<500fs) Bi 周辺は配位 O 原子が動的に歪んだ構造をとり、この

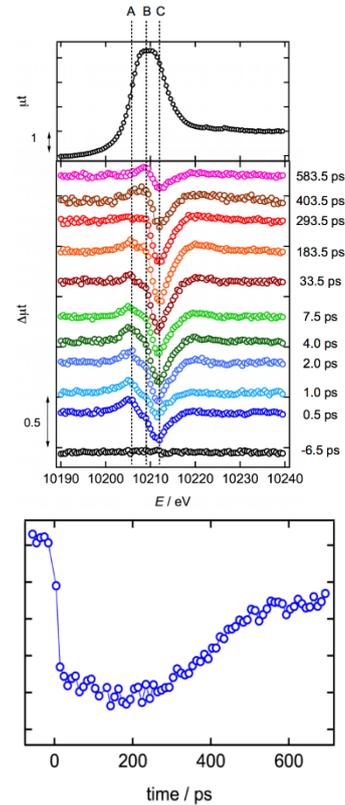


図3 SACLA を用いて測定された WO₃ の超高速時間分解 W-L₃ 吸収端 XAFS と C 点での X 線吸収強度時間発展。

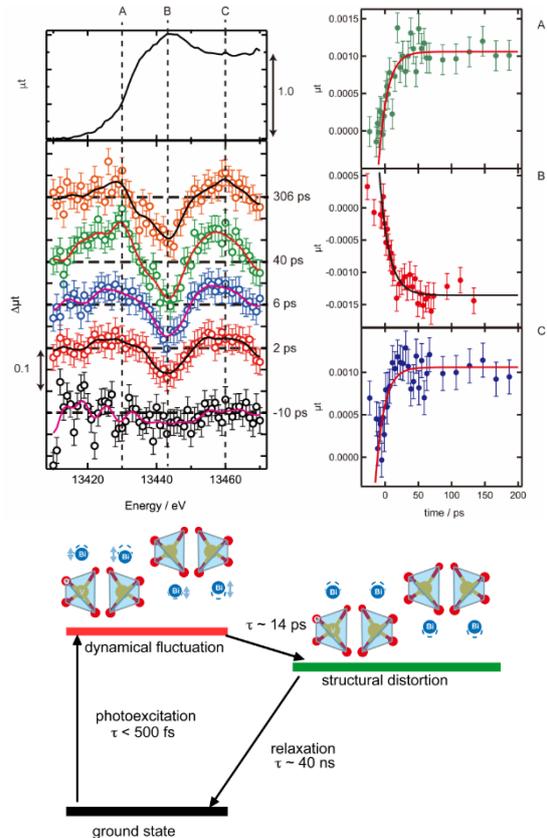


図4 (上) SACLA を用いて測定された BiVO₄ の超高速時間分解 Bi-L₃ 吸収端 XAFS と A, B, C 点での X 線吸収強度時間発展。(下) 測定結果から推定した励起ダイナミクスモデル。

状態は14psの寿命で静的な構造歪を伴ったホールポーラロンの状態に移る(寿命 40ns)ことが明らかとなった。この結果は文献⑧で発表した。

(4) タイムスタンプ時間分解 XAFS 法の開発

本研究計画では明示していなかったが、マルチバンチ放射光を用いたポンプ・プローブ時間分解 XAFS 測定を可能にする目的で、タイムスタンプ時間分解 XAFS 法の開発も本研究の範囲で試みた。この手法は、すべてのポンプ・プローブパルスの検出された時刻を記録することで、ポンプ・プローブが同期していなくとも時間分解計測が可能となる有効な手法である。現在までに XAFS の測定は成功していないが、実験室で別々のレーザーをポンプ・プローブとした予備測定には成功した。

図 5 は VO₂ にポンプ光(1064nm, 5ps, 50mJ/cm²/pulse, 80kHz)を照射することで加熱し、プローブ光(820nm, 70fs, 1MHz)の反射率を計測することで、高速相転移(絶縁体→金属→絶縁体)を観測したものである。速やかに生成した励起金属状態は 0.125ns⁻¹ の速度で失活し絶縁体に戻ることが観測できた。

今後、本手法を高速時間分解 XAFS 測定に応用する予定である。

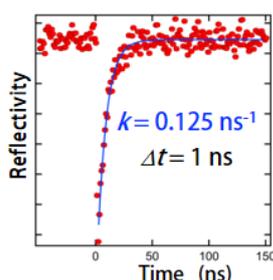


図 5 タイムスタンプ法による VO₂ の高速相転移(絶縁体→金属→絶縁体)追跡。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 19 件)

- ① T. Yokoyama, A. Koide and Y. Uemura, “Local thermal expansions and lattice strains in Elinvar and stainless steel alloys” *Phys. Rev. Materials* **2** (2018) 023601 (7 pages) (DOI: 10.1103/PhysRevMaterials.2.023601) 査読有。
- ② Y. Takagi, T. Uruga, M. Tada, Y. Iwasawa and T. Yokoyama, “Ambient Pressure Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy for Functional Material Systems as Fuel Cells under Working Conditions” *Acc. Chem. Res.* **51** (2018) 719-727 (DOI: 10.1021/acs.accounts.7b00563) 査読有。
- ③ 横山利彦「新しい材料の探索・創成・開発～分子・物質合成プラットフォームの紹介～」金属 **88** (2018) 3-4 (「特集にあたって」), 103-111 (「放射光軟 X 線磁気円二色性を用いた薄膜磁性解析」)(ISSN 0368-6337) 査読無。
- ④ 上村洋平、脇坂祐輝、城戸大貴、高草木達、朝倉清高、丹羽尉博「SACLAによる光触媒の超高速時間分解XAFS研究」日本結晶学会誌 **59** (2017) 24-28 (DOI: 10.5940/jcrsj.59.24) 査読有。
- ⑤ L. Yu, Y. Takagi, T. Nakamura, O. Sekizawa, T. Sakata, T. Uruga, M. Tada, Y. Iwasawa, G. Samjeské and T. Yokoyama, “Non-contact electric potential measurements of electrode components in operating polymer electrolyte fuel cell by near ambient pressure XPS” *Phys. Chem. Chem. Phys.* **19** (2017) 30798-30803 (DOI: 10.1039/c7cp05436j) 査読有。
- ⑥ A. Koide and T. Yokoyama, “Effects of the spin-orbit interaction in chromium on the oxygen K-edge x-ray magnetic circular dichroism spectra in CrO₂” *Phys. Rev. B* **96** (2017) 144419 (9 pages) (DOI: 10.1103/PhysRevB.96.144419) 査読有。
- ⑦ Y. Takahashi, T. Miyamachi, S. Nakashima, N. Kawamura, Y. Takagi, M. Uozumi, V. Antonov, T. Yokoyama, A. Ernst and F. Komori, “Thickness-dependent electronic and magnetic properties of γ'-Fe₄N atomic layers on Cu(001)” *Phys. Rev. B* **95** (2017) 224417 (DOI: 10.1103/PhysRevB.95.224417) 査読有。
- ⑧ Y. Uemura, D. Kido, A. Koide, Y. Wakisaka, Y. Niwa, S. Nozawa, K. Ichianagi, R. Fukaya, S. Adachi, T. Katayama, T. Togashi, S. Owada, M. Yabashi, K. Hatada, A. Iwase, A. Kudo, S. Takakusagi, T. Yokoyama and K. Asakura, “Capturing local structure modulations of photoexcited BiVO₄ by ultrafast transient XAFS” *Chem. Commun.* **53** (2017) 7314-7317 (DOI: 10.1039/c7cc02201h). 査読有。
- ⑨ Y. Takagi, T. Nakamura, L. Yu, S. Chaveanghong, O. Sekizawa, T. Sakata, T. Uruga, M. Tada, Y. Iwasawa and T. Yokoyama, “X-ray photoelectron spectroscopy under real ambient pressure conditions” *Appl. Phys. Exp.* **10** (2017) 076603 (DOI: 10.7567/APEX.10.076603) 査読有。科学新聞2017年7月7日1面。
- ⑩ T. Hirahara, S. V. Ereemeev, T. Shirasawa, Y. Okuyama, T. Kubo, R. Nakanishi, R. Akiyama, A. Takayama, T. Hajiri, S. Ideta, M. Matsunami, K. Sumida, K. Miyamoto, Y. Takagi, K. Tanaka, T. Okuda, T. Yokoyama, S. Kimura, S. Hasegawa, and E. V. Chulkov, “A large-gap magnetic topological heterostructure formed by subsurface incorporation of a ferromagnetic layer” *Nano Lett.* **17** (2017) 3493–3500 (DOI: 10.1021/acs.nanolett.7b00560) 査読有。
- ⑪ S. Yoshizawa, E. Minamitani, S. Vijayaraghavan, P. Mishra, Y. Takagi, T. Yokoyama, H. Oba, J. Nitta, K. Sakamoto, S. Watanabe, T. Nakayama and T. Uchihashi, “Controlled Modification of Superconductivity in Epitaxial Atomic Layer-Organic Molecule” *Nano Lett.* **17** (2017)

- 2287-2293 (DOI: 10.1021/acs.nanolett.6b05010) 査読有.
- ⑫ Y. Takagi, H. Wang, Y. Uemura, T. Nakamura, L. -W. Yu, O. Sekizawa, T. Uruga, M. Tada, G. Samjeské, Y. Iwasawa and T. Yokoyama, “In situ study of oxidation states of platinum nanoparticles on a polymer electrolyte fuel cell electrode by near ambient pressure hard X-ray photoelectron spectroscopy” *Phys. Chem. Chem. Phys.* **19** (2017) 6013-6021 (DOI: 10.1039/c6cp06634h) 査読有.
- ⑬ S. Yamazoe, S. Takano, W. Kurashige, T. Yokoyama, K. Nitta, Y. Negishi and T. Tsukuda, “Hierarchy of bond stiffnesses within icosahedral-based gold clusters protected by thiolates” *Nature Comm.* **7** (2016) 10414 (DOI: 10.1038/ncomms10414) 査読有.
- ⑭ Y. Uemura, D. Kido, Y. Wakisaka, H. Uehara, T. Ohba, Y. Niwa, S. Nozawa, T. Sato, K. Ichyanagi, R. Fukaya, S. Adachi, T. Katayama, T. Togashi, S. Owada, K. Ogawa, M. Yabashi, K. Hatada, S. Takakusagi, T. Yokoyama, B. Ohtani, and K. Asakura, “Dynamics of Photoelectrons and Structural Changes of Tungsten Trioxide Observed by Femtosecond Transient XAFS” *Angew. Chem. Int. Ed.* **55** (2016) 1364-1367 (DOI: 10.1002/ange.201509252) 査読有. 科学新聞2016年1月1日2面.
- ⑮ Y. Wakisaka, Y. Uemura, T. Yokoyama, H. Asakura, H. Morimoto, M. Tabuchi, D. Ohshima, T. Kato and S. Iwata, “Anomalous structural behavior in the metamagnetic transition of FeRh thin films from a local viewpoint” *Phys. Rev. B* **92** (2015) 184408 (DOI: 10.1103/PhysRevB.92.184408) 査読有.
- ⑯ Y. F. Wang, S. B. Singh, M. V. Limaye, Y. C. Shao, S. H. Hsieh, L. Y. Chen, H. C. Hsueh, H. T. Wang, J. W. Chiou, Y. C. Yeh, C. W. Chen, C. H. Chen, S. C. Ray, J. Wang, W. F. Pong, Y. Takagi, T. Ohgashi, T. Yokoyama and N. Kosugi, “Visualizing chemical states and defects induced magnetism of graphene oxide by spatially resolved-X-ray microscopy and spectroscopy” *Sci. Rep.* **5** (2015) 15439 (DOI: 10.1038/srep15439) 査読有.
- ⑰ J. Okabayashi, S. Miyasaka, K. Hemmi, K. Tanaka, S. Tajima, H. Wadati, A. Tanaka, Y. Takagi and T. Yokoyama, “Investigating Orbital Magnetic Moments in Spinel-Type MnV_2O_4 Using X-ray Magnetic Circular Dichroism” *J. Phys. Soc. Jpn.* **84** (2015) 104703 (DOI: 10.7566/JPSJ.84.104703) 査読有.
- ⑱ K. Eguchi, T. Nakagawa, Y. Takagi and T. Yokoyama, “Direct Synthesis of Vanadium Phthalocyanine and its Electronic and Magnetic States in Monolayer and Multilayer on Ag(111)” *J. Phys. Chem. C* **119** (2015) 9805-9815 (DOI:10.1021/jp512935v) 査読有.
- ⑲ 「燃料電池電極の即時観察法」高木康多, 横山利彦, エネルギーデバイス **2** (2015) 58-64 (ISSN 21881383) 査読無.
- [学会発表] (計 36 件)
- ① Y. Uemura, “Femtosecond transient XAFS” XTRAM (国際会議招待講演) 2017.
- ② Y. Uemura, “Structural dynamics of photocatalysts observed by ultrafast time resolved XAFS” EMN Meeting on Ultrafast (国際会議招待講演) 2017.
- ③ A. Koide, Y. Uemura, D. Kido, Y. Wakisaka, Y. Niwa, S. Nozawa, S. Adachi, T. Katayama, M. Yabashi, K. Hatada, S. Takakusagi, K. Asakura, B. Ohtani, T. Yokoyama, “Investigation of excited states of WO_3 in picoseconds by L1-edge XANES” International Conference on Photochemistry (国際会議) 2017.
- ④ Y. Uemura, D. Kido, A. Koide, Y. Wakisaka, Y. Niwa, S. Nozawa, S. Adachi, T. Katayama, T. Togashi, M. Yabashi, A. Iwase, A. Kudo, S. Takakusagi, T. Yokoyama, K. Asakura, “Ultrafast structural modulation in the photoexcited $BiVO_4$ observed by transient XAFS spectroscopy” International Conference on Photochemistry (国際会議) 2017.
- ⑤ Y. Uemura, D. Kido, A. Koide, Y. Wakisaka, Y. Niwa, S. Nozawa, S. Adachi, T. Katayama, T. Togashi, M. Yabashi, A. Iwase, A. Kudo, S. Takakusagi, T. Yokoyama, K. Asakura, “Structural dynamics of photocatalysts observed by ultrafast time resolved XAFS” International Symposium on Novel Energy Nanomaterials, Catalysts and Surface for Future Earth (国際会議) 2017.
- ⑥ A. Koide, Y. Uemura, D. Kido, Y. Wakisaka, Y. Niwa, S. Nozawa, S. Adachi, T. Katayama, M. Yabashi, K. Hatada, S. Takakusagi, K. Asakura, B. Ohtani, T. Yokoyama, “Anisotropic Local Structural Change in Excited States of WO_3 ” International Symposium on Novel Energy Nanomaterials, Catalysts and Surface for Future Earth (国際会議) 2017.
- ⑦ 横山利彦「X線分光の現状と展望」、日本金属学会東北支部第16回研究発表大会(招待講演)2017年。
- ⑧ 横山利彦「磁気円二色性の30年」日本物理学会2017年秋季大会シンポジウム「放射光を用いた磁性研究の30年—磁気円二色性の新たな展開—」(招待講演)2017年。
- ⑨ Y. Uemura, “Time-resolved X-ray Absorption

- Spectroscopy and Catalytic Reactions” The 5th International Conference on MEXT Project of Integrated Research on Chemical Synthesis (国際会議招待講演) 2016.
- ⑩ T. Yokoyama, “Novel synchrotron radiation methodology for materials science” Pre-ICMM2016 in Nagoya (Satellite meeting of ICMM2016) New Research Crossroads in Molecular Conductors and Magnets, (国際会議招待講演) 2016.
- ⑪ Y. Uemura, A. Koide, T. Yokoyama, D. Kido, Y. Wakisaka, S. Takakusagi, B. Ohtani, K. Asakura, Y. Niwa, S. Nozawa, T. Sato, K. Ichianagi, R. Fukaya, S. Adachi, T. Katayama, T. Togashi, S. Owada, K. Ogawa, M. Yabashi, “Photoexcited process of WO₃ photocatalyst in femtoseconds to picoseconds region observed by time-resolved XAFS” VUVX2016 (国際会議) 2016.
- ⑫ T. Yokoyama, Y. Takagi, “Ambient Pressure Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy of Polymer Electrolyte Fuel Cells under Working Conditions” New Trends in X-ray Absorption and Photoelectron Spectroscopy and Multiple Scattering Theory (MSNano) (国際会議招待講演) 2015.
- ⑬ Y. Uemura, D. Kido, H. Uehara, Y. Wakisaka, T. Ohba, Y. Niwa, S. Nozawa, T. Sato, K. Ichianagi, R. Fukaya, S. Adachi, T. Katayama, M. Yabashi, S. Takakusagi, T. Yokoyama, B. Ohtani, K. Asakura, “Electronic states and structural changes of WO₃” New Trends in X-ray Absorption and Photoelectron Spectroscopy and Multiple Scattering Theory (MSNano) (国際会議) 2015.
- ⑭ Y. Uemura, D. Kido, Y. Wakisaka, H. Uehara, T. Ohba, Y. Niwa, S. Nozawa, T. Sato, K. Ichianagi, R. Fukaya, S. Adachi, T. Katayama, T. Togashi, S. Owada, K. Ogawa, M. Yabashi, S. Takakusagi, T. Yokoyama, B. Ohtani, K. Asakura, “Photoexcited state of tungsten trioxide studied by picosecond and femtosecond XAFS” XAFS16 Satellite meeting: Soft X-ray in Energy and Time (SXET) (国際会議) 2015.
- ⑮ Y. Uemura, D. Kido, Y. Wakisaka, H. Uehara, T. Ohba, Y. Niwa, S. Nozawa, T. Sato, K. Ichianagi, R. Fukaya, S. Adachi, T. Katayama, T. Togashi, S. Owada, K. Ogawa, M. Yabashi, S. Takakusagi, T. Yokoyama, B. Ohtani, K. Asakura, “Femto to Picosecond Transient States of a Photoexcited WO₃ Photocatalysts” 16th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure (XAFS16) (国際会議) 2015.
- ⑯ Y. Uemura, D. Kido, Y. Wakisaka, H. Uehara, T. Ohba, Y. Niwa, S. Nozawa, T. Sato, K. Ichianagi, R. Fukaya, S. Adachi, T. Katayama, T. Togashi, S. Owada, K. Ogawa,

- M. Yabashi, S. Takakusagi, T. Yokoyama, B. Ohtani, K. Asakura, “Femto to Picosecond Transient States of a Photoexcited WO₃ Photocatalysts” PACIFICHEM2015 (国際会議) 2015.
- ⑰ 横山利彦 「X線吸収微細構造分光の将来展望」、第56回高圧討論会シンポジウム「コヒーレント放射光を利用した新しい高圧力科学 III」(招待講演) 2015年。

[図書] (計3件)

- ① 太田俊明・朝倉清高・阿部仁・稲田康宏・横山利彦編「XAFSの基礎と応用」講談社, 2017, 352 pages.
- ② Y. Uemura, T. Yokoyama *et al.* “XAFS Techniques for Catalysis, Nanomaterials and Surfaces” Springer, 2017, 556 pages.
- ③ Y. Uemura *et al.* “X-ray and Neutron Techniques for Nanomaterials Characterization” Springer, 2016, 830 pages.

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
○取得状況 (計0件)

[その他]

- ① プレスリリース「完全大気圧下での光電子分光測定に世界で初めて成功(横山教授、高木助教ら)」https://www.ims.ac.jp/news/2017/06/28_3731.html, 2017/6/28.
- ② 受賞「上村洋平助教が第21回日本放射光学会奨励賞を受賞:超高速時間分解XAFSによる不均一触媒のメカニズムの研究」https://www.ims.ac.jp/news/2017/01/19_3609.html, 2017/1/19.
- ③ プレスリリース「酸化タンゲステン光触媒の光キャリア超高速構造追跡に成功(横山ら)」https://www.ims.ac.jp/news/2015/12/10_3344.html, 2015/12/10.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 利彦 (YOKOYAMA, Toshihiko)
分子科学研究所・物質分子科学研究領域・教授
研究者番号: 20200917

(2) 研究分担者

上村 洋平 (UEMURA, Yohei)
分子科学研究所・物質分子科学研究領域・助教
研究者番号: 30723647

高木 康多 (TAKAGI, Yasumasa)
分子科学研究所・物質分子科学研究領域・助教
研究者番号: 30442982

(3) 連携研究者