

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20612004

研究課題名(和文) 放射光による分子・クラスター研究のための
多種類・多粒子同期計測装置の開発研究課題名(英文) Developments of multiple-kind and multiple-particle detection
apparatus for synchrotron experiments of molecule and cluster

研究代表者

永谷 清信 (NAGAYA KIYONOBU)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：30273436

研究成果の概要(和文)：放射光X線や自由電子レーザー等の高エネルギー光と、ナノ粒子(単一分子、クラスター)との相互作用を研究するための、画像検出型の粒子検出装置の製作と、実験技術開発を行った。作成した装置を用いて、X線励起を用いる単一分子内の電荷移動の評価や、自由電子レーザーとクラスターの相互作用の素過程の解明を進めた。

研究成果の概要(英文)：We have developed multiple-kind and multiple-particle detection apparatus for study of the interaction of high energy photons (such as hard x-ray and free electron laser) with nano-particles such as molecule and cluster. Charge migration processes within single molecules have been studied by using hard x-ray excitation and multiple-ion detection apparatus. Interaction between free electron laser pulses and nano-clusters has been studied by using electron-ion detection apparatus.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：不規則系物理

科研費の分科・細目：量子ビーム科学

キーワード：放射光、クラスター、内殻励起、多重同期計測

1. 研究開始当初の背景

波長が原子スケール以下となる短波長光、特にエネルギーが10keV以上の硬X線は、その励起の局所性や元素選択性等から、広域X線吸収分光(EXAFS)や共鳴非弾性X線散乱を始めとして、物性測定における重要な手法を提供している事は周知の通りである。特定元素周辺の局所的性質が得られるため、分子・クラスターを始めとしたナノ粒子のように、周期的構造を持たない系への適用が期待

されている。しかしながら実験的な困難さから、硬X線とクラスター等の相互作用に関しては基礎的な研究報告もわずかであった。近年、自由電子レーザーや高調波レーザー発振、第3世代放射光源といった新しい短波長光源の開発が進んでいる。これらを活用してゆく上でも、分子やクラスターなどと高エネルギーX線の相互作用の素過程を理解する事が急務であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では多種類・多粒子の同時計測装置を製作し、X線や自由電子レーザーパルス光を吸収して後の分子やクラスターの脱励起過程を詳細に明らかにする。これまでのイオンの同時計測に加えて、エネルギー選別した電子や蛍光X線検出等も目指す。これらを総合して、X線吸収後のクラスターのダイナミクスの解明を目指す。

特に、これまでの研究例が僅かな硬X線領域の放射光利用研究に加えて、近年利用が開始された極紫外自由電子レーザーの照射効果の研究を進めた。自由電子レーザーは現時点での光子エネルギーは低く ($h\nu \sim 20\text{eV}$)、相互作用の素過程がX線とは大きく異なるが、多光子吸収過程が重要となるため、1回の照射イベント当たりに試料に吸収されるエネルギーはX線照射の場合と同等かそれ以上となる。また、現在建設中のX線自由電子レーザー利用実験に向けた技術開発の側面もあり重要である。

3. 研究の方法

分子・クラスタービーム生成には当グループでこれまでに開発した装置や技術を用いた。

希ガスクラスター生成には、高圧の試料ガスをピンホールから真空中に噴出させる、超音速ジェット法によって行った。

特徴的な試料として、自発的にコアシェル型構造を形成する事が知られている希ガス2成分クラスターや、特定の部位にX線吸収試料を有する分子などを用いた。クラスターや分子のサイズ・形状に伴う変化を系統的に探索し、X線や光吸収の起こる部位を特定し、光吸収後のダイナミクスについて検討した。

放射光X線を用いた計測には、既存のイオン運動量測定装置を用い、これに電子エネルギー分析器等を付加して行くことで、X線吸収に伴い放出されるイオン・電子・蛍光の同時計測の実現を目指している。電子エネルギー分析器には2次元検出器を用いた運動量画像法を採用した。放出される電子のエネルギーを考慮して、100eV程度までの低エネルギー電子用と keV 程度までの高エネルギーの電子用分光器を設計・製作する。いずれの場合も電子検出に2次元検出器を用い、電子の引き込み電極部分を変更して対応する。

自由電子レーザー利用実験では、東北大学の上田潔教授グループや、産業技術総合研究所の斎藤則生室長グループと協力の協力を

得て装置開発を進めた。高強度の光照射に伴いクラスターから生成されるきわめて多数の荷電粒子を同時計測するために、ディレイライン型検出器を用いた多粒子同時計測システムや、運動量画像計測法を用いたイオン・電子検出装置の開発を進めた。

4. 研究成果

本研究の主たる成果として、下記の3項目の結果が得られた。(1)硬X線を用いる分子イメージングと分子内電荷移動の観測。(2)異核ダイマークラスターの内殻励起後の電子緩和過程の観測。(3)自由電子レーザーによるクラスターの多光子吸収過程の観測。以下に各項目の概要をまとめる。

(1)硬X線を用いる分子イメージングと分子内電荷移動の観測の試み

硬X線を重元素に照射すると、深い内殻電子の励起に引き続き vacancy cascade が起こり、多数の正孔が生成される。重元素を付加した分子の場合には、重元素上で生じる多数の正孔は最終的に分子内で分配され、クーロン爆発によって解離する。この時に生成される解離イオンの3次元運動量には解離直前の電荷分布が強く反映されるため、イオンの運動量計測によって分子内の電荷分配に関する情報が得られると期待される。我々は、臭化芳香族分子や直鎖アルコール分子を試料として取り上げ、イオンの運動量イメージング実験から分子形状と分子内の電荷分配の関係について研究を行った。[雑誌論文 4, 5, 14]

実験は大型放射光施設 SPring-8 のアンジュレータービームライン BL37XU で行った。試料には、芳香族分子としてベンゼン環を1つあるいは2つ有する芳香族分子 Bromophenol、4-Bromo-4'-hydroxybiphenyl、6-bromo-2-naphthol を用いた。鎖状分子には鎖長の異なる、臭化プロパノール ($\text{BrC}_3\text{H}_6\text{OH}$)、臭化ヘキサノール ($\text{BrC}_6\text{H}_{12}\text{OH}$)、臭化デカノール ($\text{BrC}_{10}\text{H}_{20}\text{OH}$) を用いた。さらに構造異性体の効果について検討するために、臭化フッ化ベンゼンや、臭化二フッ化ベンゼンの計測を行った。入射X線のエネルギーを臭素原子のK吸収端直上の 13.5keV とすることで、分子内の臭素原子を選択的に内殻励起した。運動量イメージング計測により解離イオンの3次元運動量を決定し、生成したイオンの運動量や角度相関などを得た。

実験で得られた放出イオン運動量相関の解析を行い、X線照射によって得られるイオ

ンの運動量相関に分子形状が明瞭に反映されることを見出した。実験結果から単一分子の形状を弁別した電荷分配の計測が可能であることが示唆された。

さらにイオン収量の解析から、分子内での電荷移動について検討を進めた。芳香族分子と直鎖アルコール分子では、X線吸収元素から分子を横断して生成されるイオン種の収量に明確な相違が見られ、分子内の電荷移動に非局在化した π 電子が顕著に影響することを見出した。さらに、アルコール分子では分子長に増大に対して、分子を横断して生成されるイオンの収量の系統的な減少が観測された。本研究で得られた成果は、硬X線を用いた局所励起によって、単一分子の電荷移動の評価が可能であることを示唆していると考えられる。

(2) 希ガスダイマークラスターの内殻励起後の電子緩和過程の観測

同期計測装置の技術習得を一つの目的として、上田潔教授グループと協力して希ガスダイマークラスターの電子分光を行った。実験は、SPring-8の直線偏光軟X線ビームライン27SUで、COLTRIMS (Cold Target Recoil Ion Momentum Spectroscopy) 型の電子-イオン同期計測装置を利用して行った。標的として、ArNeダイマーやArダイマーの電子緩和過程、特にICD (Interatomic Coulombic Decay) 過程とETMD (Electron transfer-mediated decay) 過程の観測を行った。

励起原子において、原子内での脱励起がエネルギー的に不可能な場合でも、近接原子が電子を放出することで脱励起することがある。このような過程として、ICD過程とETMD過程が提案されている。ICD過程は原子間でエネルギーや電子が移動して、それらが移動した先の原子から電子が放出される。一方、ETMD過程は励起原子へ電子が移り、移動元の原子から電子が放出される。ICD過程については、その発見以来、数々の実験が行われているが、ETMD過程については遷移確率が小さくICD過程と混在することから、実験的に研究された例が無かった。我々はArNeダイマーやArダイマーで電子-イオン三次元運動量同時計測法を用いて、解離チャンネル毎の電子スペクトル計測を行うことで、ICDやETMDに関わる電子スペクトルの計測に成功した[雑誌論文2, 21]。

(3) 自由電子レーザーによるクラスターの多光子吸収過程の観測

近年の自由電子レーザー (FEL) 技術の発

展により、高強度の短波長コヒーレント光と物質の相互作用に関する新しい研究分野が開拓されつつある。国内においても理研播磨研究所のSCSS試験加速器が2008年度から利用可能となり、波長51nmから62nmのコヒーレント極紫外(EUV)光を用いた原子・分子やクラスターの多光子イオン化の研究が可能となっている。極紫外よりも短波長領域では1光子による原子・分子の直接イオン化の寄与が大きく、従来活発に研究が行われてきた近赤外領域とはイオン化過程から異なるため、短波長の高強度光パルスと物質の相互作用について、新たな検討が必要になる。特に、原子が数個から数万個程度凝集したクラスターは原子分子と凝縮系を橋渡しする系であり、サイズ依存性を詳細に検討することで、原子から凝縮系に至る物質と光の相互作用について包括的な理解が得られると期待される。

我々はFELによるクラスターの多重イオン化ダイナミクスについて研究を行うために、様々なサイズ・組成の希ガス・クラスターを生成可能なパルス・クラスター源と多粒子同期計測が可能な検出システムを共同研究グループと共に開発し、これらを用いたFEL利用実験技術の開発を進めた[雑誌論文9, 10, 17]。具体的には、ディレイライン型検出器を有する2次元検出器と、高速デジタイザを組み合わせた多粒子検出システムにより、多数のイオンについてそれぞれの質量電荷比と運動エネルギーを同時に決定できる装置を用いた。電子分光の為には、放出される光電子を検出角の異なる4台の飛行時間型電子分光器により計測するシステムおよび、運動量画像計測装置を用いて、光電子スペクトルと同時に、FEL光の偏光方向に対する異方性を観測可能な装置を用いた。

クラスターとFELの相互作用により放出される多数のイオンや電子の同時計測を行うことで、クラスターの多重イオン化ダイナミクスに関する知見を集積し、FELと物質の相互作用に関する研究を進めた。

顕著な成果として、(a)EUV-FEL光をクラスターに照射した際に見られるイオン化の抑制[雑誌論文16]、(b)コア-シェル型Ar-Neクラスターでの電荷・エネルギー移動の観測[学会発表1,10]、(c)ネオンクラスター多重共鳴励起により誘起される新しい電子緩和過程の観測[学会発表1,6]、が得られた。

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27件)

1. Metallic-like droplets produced by irradiating rare-gas clusters with free electron laser pulses, M. Yao, K. Nagaya, H. Iwayama, H. Fukuzawa, K. Ueda, M. Nagasono and T. Ishikawa, European Physical Journal, Special Topics "Liquid and Amorphous metals: current trends and future perspectives" 印刷中. 査読有
2. Electron-Transfer-Mediated Decay and Interatomic Coulombic Decay from Triply Ionized States in Argon Dimers, K. Sakai, S. Stoychev, T. Ouchi, I. Higuchi, M. Schröffler, T. Mazza, H. Fukuzawa, K. Nagaya, M. Yao, Y. Tamenori, A. I. Kuleff, N. Saito and K. Ueda, Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 033401-1-4. 査読有
3. Formation of the energetic doubly charged ion by the irradiation of intense EUV-FEL pulses to neon clusters at 52 nm, K. Nagaya, A. Sugishima, H. Iwayama, H. Murakami, M. Yao, H. Fukuzawa, X. J. Liu, K. Motomura, K. Ueda, N. Saito, A. Rudenko, M. Kurka, K.-U. Kühnel, J. Ullrich, L. Foucar, A. Czasch, R. Dörner, R. Feifel, M. Nagasono, A. Higashiya, T. Togashi, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Kimura, and H. Ohashi, J. Phys.: Conf. Ser. 235 (2010) 012019 (IWES2009 proceedings). 査読有
4. Contactless measurements of charge migration within single molecules, K. Nagaya, H. Iwayama, A. Sugishima, Y. Ohmasa, M. Yao, Appl. Phys. Lett. 96 (2010) 233101. 査読有
5. Coulomb explosion imaging of bromobenzene and bromophenol molecules following Br K-shell ionization, H. Iwayama, K. Nagaya, H. Murakami, Y. Ohmasa, and M. Yao, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 43 (2010) 185207. 査読有
6. Inhomogeneous charge redistribution in Xe clusters exposed to intense extreme ultraviolet free electron laser, H. Iwayama, A. Sugishima, K. Nagaya, M. Yao, H. Fukuzawa, K. Motomura, X.-J. Liu, A. Yamada, C. Wang, K. Ueda, N. Saito, M. Nagasono, K. Tono, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, H. Kimura, and T. Togashi, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. Fast track 43 (2010) 161001(5pp). 査読有
7. Investigation of the interaction of xenon cluster with intense EUV-FEL pulses using pulsed cluster beam source and momentum imaging spectrometer, K. Nagaya, H. Iwayama, H. Murakami, M. Yao, H. Fukuzawa, K. Motomura, K. Ueda, N. Saito, L. Foucar, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Kimura, and H. Ohashi, J. Electr. Spectrosc. Relat. Phenom. 181 (2010) 125-128 (ICISS invited talk). 査読有
8. EUV-FELによるクラスターの多重イオン化ダイナミクス、永谷清信、福澤宏宣、上田潔、八尾誠、放射光 23 巻第 5 号 (2010) 299-302. 査読有
9. Ion-ion coincidence studies on multiple ionizations of N₂ and O₂ molecules irradiated by EUV free-electron laser pulses, A. Yamada, H. Fukuzawa, K. Motomura, X.-J. Liu, L. Foucar, M. Kurka, M. Okunishi, K. Ueda, N. Saito, H. Iwayama, K. Nagaya, A. Sugishima, H. Murakami, M. Yao, A. Rudenko, K. U. Kühnel, J. Ullrich, R. Feifel, A. Czasch, R. Dörner, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, H. Kimura, and T. Togashi, J. Chem. Phys. 132, 204305 (2010). 査読有
10. Photoelectron spectroscopy of sequential three-photon double ionization of Ar irradiated by EUV free-electron laser pulses, H. Fukuzawa, E. V. Gryzloza, K. Motomura, A. Yamada, K. Ueda, A. N. Grum-Grzhimailo, S. I. Strakhova, K. Nagaya, A. Sugishima, Y. Mizoguchi, H. Iwayama, M. Yao, N. Saito, P. Piseri, T. Mazza, M. Devetta, M. Coreno, M. Nagasono, K. Tono, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, H. Kimura, T. Togashi, and Y. Senba, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. Fast track 43 (2010) 111001. 査読有
11. Multi-coincidence ion detection system for EUV-FEL fragmentation experiments at SPring-8, K. Motomura, L. Foucar, A. Czasch, N. Saito, O. Jagutzki, H. Schimidt-Böcking, R. Dörner, X.-J. Liu, H. Fukuzawa, G. Prümper, K. Ueda, M. Okunishi, K. Shimada, T. Harada, M. Toyoda, M. Yanagihara, M. Yamamoto, H. Iwayama, K. Nagaya, M. Yao, A. Rudenko, J. Ullrich, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, and H. Kimura, Nuclear Instr. Methods in Phys. Research A606 (2009) 770-773.

- 査読有
12. Deadtime-free ion detection system for EUV-FEL experiments at SPring-8, K. Motomura, L. Foucar, A. Czasch, N. Saito, O. Jagutzki, H. Schmidt-Böcking, R. Dörner, X.-J. Liu, H. Fukuzawa, G. Prümper, K. Ueda, M. Okunishi, K. Shimada, T. Harada, M. Toyoda, M. Yanagihara, M. Yamamoto, H. Iwayama, K. Nagaya, M. Yao, A. Rudenko, J. Ullrich, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, and H. Kimura, Nucl. Inst. Meth. Phys. Res. A 606, 770 (2009). 査読有
 13. Dissociation dynamics of C_6H_6 and C_6H_5F molecules following carbon 1s and fluorine 1s photo ionization studied by a 3D momentum imaging method, A. Sugishima, K. Nagaya, H. Iwayama, M. Yao, J. Adachi, Y. Kimura, M. Yamazaki and A. Yagishita, J. Chem. Phys. 131 (2009) 114309-1-6. 査読有
 14. ナノ構造体の電荷移動ダイナミクス—非接触で測定する原子レベルの電気伝導—、八尾 誠, 永谷 清信、応用物理 78 巻 6 号 (2009) 549-553. 査読有
 15. Ion momentum spectroscopy of N_2 and O_2 molecules irradiated by EUV free-electron laser pulses, H. Fukuzawa, K. Motomura, X.-J. Liu, G. Prümper, M. Okunishi, K. Ueda, N. Saito, H. Iwayama, K. Nagaya, M. Yao, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, and H. Kimura, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 42, 181001 (2009). 査読有
 16. Frustration of direct photoionizations of Ar clusters in intense extreme ultraviolet pulses from a free electron laser, H. Iwayama, K. Nagaya, M. Yao, H. Fukuzawa, X.-J. Liu, G. Prümper, M. Okunishi, K. Shimada, K. Ueda, T. Harada, M. Toyoda, M. Yanagihara, M. Yamamoto, K. Motomura, N. Saito, A. Rudenko, J. Ullrich, L. Foucar, A. Czasch, R. Dörner, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, and H. Kimura, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 42 (2009) 134019(5pp). 査読有
 17. Dead-time-free ion momentum spectroscopy of multiple ionization of Xe clusters irradiated by euv free-electron laser pulses, H. Fukuzawa, X.-J. Liu, G. Prümper, M. Okunishi, K. Shimada, K. Ueda, T. Harada, M. Toyoda, M. Yanagihara, M. Yamamoto, H. Iwayama, K. Nagaya, M. Yao, K. Motomura, N. Saito, A. Rudenko, J. Ullrich, L. Foucar, A. Czasch, R. Dörner, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, and H. Kimura, Phys. Rev. A. 79 031201(R) (2009). 査読有
 18. Multiple ionization of atomic argon irradiated by EUV free-electron laser pulses at 62 nm: Evidence of sequential electron strip, K. Motomura, H. Fukuzawa, L. Foucar, X.-J. Liu, G. Prümper, K. Ueda, N. Saito, H. Iwayama, K. Nagaya, H. Murakami, M. Yao, A. Belkacem, M. Nagasono, A. Higashiya, M. Yabashi, T. Ishikawa, H. Ohashi, and H. Kimura, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 42, 221003 (2009). 査読有
 19. Photoelectron-Photoion-Photoion Momentum Spectroscopy as a Clock for Core-Hole Decay of Ne Dimers, M. Yamazaki, J. Adachi, Y. Kimura, A. Yagishita, M. Stener, P. Decleva, N. Kosugi, H. Iwayama, K. Nagaya, and M. Yao, Phys. Rev. Letts. 101 (2008) 043004-1-4. 査読有
 20. Observation of Site Specific Decay Processes in Ar-Kr Mixed Clusters following Krypton K-Shell Excitation, K. Nagaya, H. Murakami, H. Iwayama and M. Yao, Electron Spectr. and Related Phenom. 166-167 (2008) 11-15. 査読有
 21. Evidence of interatomic Coulombic decay in ArKr after Ar 2p Auger decay, Y. Morishita, N. Saito, I.H. Suzuki, H. Fukuzawa, X.-J. Liu, K. Sakai, G. Pruemper, K. Ueda, H. Iwayama, K. Nagaya, M. Yao, K. Kreidi, M. Schöffner, R. Dörner, J. Harris and Y. Tamenori, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 41 (2008) 025101 (5pp). 査読有
 22. Fragmentation channels of K-shell excited rare-gas clusters studied by multiple-ion coincidence momentum imaging, H. Murakami, H. Iwayama, K. Nagaya and M. Yao, J. Chem. Phys. 128 (2008) 054303-1-9. 査読有
 23. Interatomic Coulomb decay following the Auger decay: experimental evidence in rare-gas dimers, K. Ueda, H. Fukuzawa, X.-J. Liu, G. Pruemper, Y. Morishita, N. Saito, I.H. Suzuki, K. Nagaya, H. Iwayama, M. Yao, K. Kreidi, M. Schoeffer, T. Jahnke, S. Schoessler, R. Doerner, T. Weber, J. Harris and Y. Tamenori, Electron

〔学会発表〕 (計 47 件)

1. 永谷清信、「EUV-FEL によるクラスターの多重イオン化とダイナミクス」(招待講演)、日本物理学会 第 66 回年次大会、2011 年 3 月 25 日(金) - 28 日(月)、新潟大学
2. 永谷清信、「硬 X 線を用いた有機分子の運動量イメージング計測」、第 24 回放射光学会年会・放射光化学合同シンポジウム、2011 年 1 月 7-10 日、つくば市 国際会議場
3. 永谷清信、「硬 X 線を用いた直鎖臭化アルコール分子の運動量イメージング計測」、日本物理学会 秋季大会、2010 年 9 月 23 日~26 日、大阪府立大 中百舌鳥キャンパス
4. Kiyonobu Nagaya, "Anisotropy of photoelectron emission from giant xenon cluster irradiated by EUV free-electron laser at SPring-8", 37th International conference on Vacuum Ultraviolet and X-ray Physics (VUVX2010), July 11-16, 2010, Vancouver, Canada
5. Makoto YAO, "Self-organized charge redistribution in pure and mixed rare-gas clusters" (invited), International Workshop (DyNano2010): Structure and Dynamics of Nano-objects using short wavelength radiation, April 21-25, 2010, France, Corsica.
6. 永谷清信、「最外殻電子の多重共鳴励起により誘起される Interatomic Coulombic Decay の観測」、日本物理学会 秋季大会、2010 年 9 月 23 日~26 日、大阪府立大 中百舌鳥キャンパス
7. K. Nagaya, "Studies on Interaction of Clusters with Intense EUV-FEL Pulses at SPring8" (invited), International conference on many particle spectroscopy of atoms, molecules, clusters and surfaces (MPS2010), 4-7 Sep. 2010, Sendai, Japan
8. K. Nagaya, "Studies of multiphoton processes of clusters by using Japanese EUV-FEL facility at SPring8/RIKEN" (invited), 11-th International Conference on Electronic Spectroscopy and Structure, Oct. 6-10, 2009 Nara, Japan
9. K. Nagaya, "Fragmentation of large

halogenated aromatic molecules following deep inner-core excitation studied by molecular imaging method", International Workshop on Electronic Spectroscopy for Gas-Phase Molecules and Solid Surfaces, Oct. 12-15, 2009, Sendai, Japan

10. 杉島明典、「コア-シェル型ネオンアルゴン混合クラスターの EUV-FEL による多重イオン化 II」 物理学会 第 65 回年次大会、2010 年 3 月 20 日~23 日、岡山県 岡山大学
11. 永谷清信、「硬 X 線により励起された複数の環を有する芳香族分子の運動量イメージング」、物理学会 第 64 回年次大会、2009 年 3 月 27 日~30 日、立教学院 池袋キャンパス
12. 永谷清信、「ベンゼンおよびその誘導体の内殻励起後の解離ダイナミクス」(招待講演)、PF 研究会「BL2C ユーザー研究会:PF の挿入光源における新しい研究の探究」、2009 年 1 月 13~14 日、高エネルギー加速器研究機構 国際交流センター つくば

6. 研究組織

(1) 研究代表者

永谷 清信 (NAGAYA KIYONOBU)

京都大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号: 30273436