

## 3-7 極端紫外光科学研究系

### 基礎光化学研究部門

小 杉 信 博 (教授) (1993年1月1日着任)

A-1) 専門領域：軟X線光化学、光物性

A-2) 研究課題：

- a) 軟X線内殻分光による分子間相互作用の研究
- b) 内殻励起を利用した禁制価電子状態の研究
- c) 内殻励起の理論的アプローチの開発

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 軟X線内殻分光による分子間相互作用の研究：孤立分子，分子クラスター，マトリックス分離した分子，低温で凝縮させた分子，分子イオンを含む分子結晶や高分子鎖等の電子構造を比較するために，種々の実験を行っている。内殻分光では内殻励起した原子のサイトで局所的に射影した電子構造（電子構造そのものが局在しているわけではない）がわかる。最近の分光技術では100 eVを越える軟X線領域でも1 meV精度の高分解能実験が可能になり，注目した原子サイトに影響を及ぼしている弱い相互作用を抜き出して明らかにできる。例えば，サイズに依存したいろいろなサイト（角，末端，面，クラスター内部など）での分子間相互作用を区別でき，それらの成分比からクラスターの大きさや構造が推定できる。分子イオンの電荷分布が電子状態により違うこともわかる。さらに，内殻励起軟X線吸収エネルギーのシフト量（赤方，青方の違いもある）から分子間の配向までわかる。
- b) 内殻励起を利用した禁制価電子状態の研究：これまで内殻電子の大きなスピン軌道相互作用を利用して1重項基底状態分子から1光子イオン化で4重項状態を観測する共鳴光電子分光法，および1重項基底状態分子から1光子励起で3重項励起状態を観測する軟X線共鳴ラマン分光法の開発を行ってきた。これら全く新しいスピン禁制光電子放出，スピン禁制価電子励起は軟X線を利用することで初めて可能となる2次光学過程に基づく。特に軟X線発光を観測する装置は従来のものと全く違う新しい発想でデザインしたものであり，現在，分子振動が分離できるレベルであるエネルギー分解能5000を越えるところまで開発が進んでいる。
- c) 内殻励起の理論的アプローチの開発：本グループで開発した軟X線吸収スペクトルの量子化学計算コードGSCF3は世界の放射光施設（スウェーデンMAX，米ALS，独BESSY，独DESY，カナダCLS，米Aladdin，伊Elettraなど）の利用者によって簡単な分子から高分子などの大きな分子まで10年以上前から活用されてきた。ところが，ここ10年ほどの間に放射光源の性能向上によって内殻励起の実験研究が大きく進み，多電子励起，スピン軌道相互作用，円偏光度などの新たな観測データに対して理論支援が要求されるようになった。そのため，実験家のための使いやすい内殻励起計算用量子化学CIコードGSCF4を開発・整備している。

#### B-1) 学術論文

**M. HIYAMA and N. KOSUGI**, “Application of R Matrix/MQDT Method to Valence and Core Excitations in NO,” *J. Phys. B* **39**, 1797–1811 (2006).

**I. L. BRADEANU, R. FLESCH, N. KOSUGI and E. RÜHL**, “C 1s- $\pi^*$  Excitation in Variable Size Benzene Clusters,” *Phys. Chem. Chem. Phys.* **8**, 1906–1913 (2006).

**N. KOSUGI**, “Orbital Picture in Molecular Inner-Shell Excited States of Rydberg-Valence Mixed Character,” *Brazilian J. Phys.* **35**, 957–960 (2005).

#### B-3) 総説、著書

加藤浩之、古川雅士、初井宇記、谷口正輝、川合知二、小杉信博、川合真紀, 「電子構造計測から探るDNA分子内の電荷移動機構」*表面科学* **27**, 469–474 (2006).

#### B-4) 招待講演

**N. KOSUGI**, “Soft X-ray spectroscopy for molecular systems,” Taiwan-Japan Workshop on Scientific Opportunities with Taiwan Photon Source (NSRRC), Hsinchu (Taiwan), April 2006.

**T. HATSUI, T. HORIGOME and N. KOSUGI**, “Development and Performance of a Transmission-Grating Spectrometer for Soft X-ray Emission Studies,” The 9th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation SRI2006, Daegu (Korea), May-June 2006.

**N. KOSUGI**, “Molecular Spectroscopy and Electronic Structure Theory,” Sokendai Asian Winter School on Frontiers in Molecular Science: Electronic and Structural Properties of Molecules and Nano Materials, Okazaki (Japan), November 2006.

#### B-6) 受賞、表彰

小杉信博, 分子科学研究奨励森野基金研究助成 (1987).

初井宇記, 日本放射光学会奨励賞 (2006).

#### B-7) 学会および社会的活動

##### 学協会役員、委員

日本放射光学会庶務幹事 (1994).

日本放射光学会評議員 (1994-1995, 1998-1999, 2002-2003, 2006-2007).

日本放射光学会将来計画検討特別委員会 (2001-2003).

日本放射光学会先端的リング型光源計画特別委員会 (2005-2006).

日本分光学会東海支部幹事 (1993-1997).

日本化学会化学技術賞等選考委員会委員 (2001-2002).

##### 学会の組織委員

VUV 真空紫外光物理国際会議国際諮問委員 (2004-2012).

ICESS 電子分光及び電子構造国際会議国際諮問委員 (2006- ).

X線及び内殻過程の国際会議国際諮問委員 (2006- ).  
SRI シンクロトロン放射装置技術国際会議国際諮問委員 (1994, 1997, 2000, 2003, 2006).  
VUV-12, VUV-14 真空紫外光物理国際会議プログラム委員 (1998, 2004).  
ICESS-8,9,10 電子分光及び電子構造国際会議国際プログラム委員 (2000, 2003, 2006).  
IWP 光イオン化国際ワークショップ国際諮問・プログラム委員 (1997, 2000, 2002, 2005).  
COREDEC 内殻励起における脱励起過程国際会議プログラム委員 (2001).  
ICORS2006 第20回国際ラマン分光学会議プログラム委員 (2006).  
IWSXR 軟X線ラマン分光及び関連現象に関する国際ワークショップ組織委員長 (2006).  
XAFS-VII X線吸収微細構造国際会議プログラム委員及び実行委員 (1992).  
XAFS-XI X線吸収微細構造国際会議組織委員及びプログラム委員 (2000).  
XAFS-XII X線吸収微細構造国際会議国際諮問委員 (2003).  
SRSM-2 シンクロトロン放射と材料科学国際会議組織委員 (1998).  
ICFA-24 次世代光源に関する先導的ビームダイナミクス国際ワークショップ組織委員 (2002).  
原子分子の光イオン化に関する王子国際セミナープログラム委員 (1995).  
アジア交流放射光国際フォーラム組織委員及び実行委員 (1994, 1995, 2001, 2004).  
日仏自由電子レーザーワークショップ副組織委員長 (2002).  
XAFS 討論会プログラム委員 (1998, 2000-2006).  
ISSP-6 放射光分光学国際シンポジウムプログラム委員 (1997).

#### 文部科学省、学術振興会等の役員等

文部科学省科学技術・学術審議会専門委員(研究計画・評価分科会)(2005-2007).  
文部科学省大学共同利用機関法人準備委員会自然科学研究機構検討委員 (2003).  
日本学術振興会特別研究員等審査会専門委員 (1997-1999).  
日本学術振興会国際科学協力事業委員会委員 (2002-2003).  
新技術開発事業団創造科学技術推進事業研究推進委員 (1985-1990).  
大学共同利用機関法人自然科学研究機構教育研究評議員 (2004-2006).  
高エネルギー加速器研究機構運営協議会委員 (2001-2003).  
高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所運営協議会委員 (2001-2003).  
高エネルギー加速器研究機構加速器・共通研究施設協議会委員 (2001-2003).  
東京大学物性研究所軌道放射物性研究施設運営委員会委員 (1994- ).  
日本学術会議放射光科学小委員会委員 (2003-2005).  
広島大学放射光科学研究センター顧問 (1996-1999).

#### 学会誌編集委員

*Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, Editorial Board member (2005- ).

#### その他

極紫外・軟X線放射光源計画検討会議光源仕様レビュー委員会委員 (2001-2002).  
SPring-8 (BL01B1, BL27SU, R&D) 評価委員会委員 (2002, 2003, 2004).  
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共同利用実験審査委員 (1997-2001).

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評価分科会委員 (2001-2002).

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戦略WG委員 (2006-).

#### B-10)外部獲得資金

基盤研究(B),「内殻励起による分子性遷移金属化合物の光物性研究」小杉信博 (1999年-2001年).

基盤研究(B),「内殻励起を利用したスピン禁制イオン化・励起状態の研究」小杉信博 (2003年-2005年).

科学技術振興調整費(若手任期付研究員支援)「次世代軟X線発光分光器の開発」初井宇記 (2003年-2006年).

科学技術振興機構戦略創造事業さきがけ,「価電子をその場観測する顕微軟X線発光分光法の開発」初井宇記 (2006年-2009年).

#### C) 研究活動の課題と展望

今年度は方法論の開発に集中したため成果発表の機会があまりなかったが,その一方で,多くの国際会議の運営に関わり研究分野の国際交流に貢献した。我々はこれまで孤立分子系や弱い相互作用系に対して直線偏光軟X線を励起源として内殻励起過程とその脱励起過程の研究で貢献してきた。特に最近では脱励起過程の研究に重点をシフトし,基底状態からの直接過程では見ることのできない価電子領域のイオン化・励起状態の研究を展開すべく実験装置と理論計算コードの開発に着手した。内殻励起状態を中間状態とするこの種の二次光学過程では,寿命の短い内殻励起状態の寿命幅に支配されない高分解能分光が可能となるが,遷移確率の少ない過程でもあるので,高輝度で高分解能軟X線分光の最新技術を導入することが不可欠である。そこで,高度化されたUVSOR光源の性能をフルに引き出せるように,アンジュレータ,分光器,測定装置のマッチングを最適にした最新の軟X線ビームラインを建設し,クラスター研究用光電子分光システムと高分解能軟X線発光分光システムの開発に取り組んだ。今後,これらの装置を利用して測定試料の状態に依らないその場観測可能な分光法としての方法論の確立と基礎過程の研究を展開していく。

菱川 明 栄 ( 助教授 ) ( 2003 年 4 月 1 日着任 )

A-1) 専門領域 : 光子場物理化学

A-2) 研究課題 :

- a) 極短パルス光による強レーザー場中分子ダイナミクスの解明
- b) クーロン爆発イメージングによる超高速反応追跡
- c) 高次高調波による極短パルス軟 X 線の発生と応用

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 分子内のクーロン場に匹敵するほどの極めて強いレーザー場における分子は摂動領域に比べて本質的に大きく異なったふるまいを示す。強レーザー場における分子ダイナミクスが分子座標系におけるレーザー偏光方向に対してどのように依存するかを明らかにするために、10 フェムト秒領域の極めて短いパルス幅をもつ高強度レーザー光源を構築し、これを集光して得られた極短パルス強レーザー場 ( $0.2 \times 10^{15}$  W/cm<sup>2</sup>, 12 fs) と H<sub>2</sub>S との相互作用によって生成した解離イオンをコインシデンス運動量画像法を用いて検出した。分子座標系は 3 体クーロン爆発過程,  $H_2S^{3+} \rightarrow H^+ + S^+ + H^+$ , によって生成した H<sup>+</sup> の運動量を用いて定義した。その結果、レーザー偏光方向が分子平面に対して平行な場合、H<sub>2</sub>S は偏光方向に対して伸張した構造をとることが見いだされた。一方、偏光方向が分子平面に対して垂直である場合は、顕著な構造変形が起こらないことが明らかとなった。すなわち、分子座標系において「電子をどの方向に揺さぶるか」によって分子ダイナミクスのコントロールが可能であることが初めて示された。
- b) 反応過程における分子構造の変化を実時間で可視化するために、サブ 10 フェムト秒レーザーパルスによるクーロン爆発イメージングを行った。AOPDF 波形成型器をレーザーシステム増幅段に前置することによって、出力パルス波形の最適化を行い、サブ 10 フェムト秒領域の高強度レーザーパルスを得た。強レーザー場 (5 PW/cm<sup>2</sup>, 8 fs) における CS<sub>2</sub> のクーロン爆発過程には 6 種類の対称クーロン爆発過程  $CS_2^{2+} \rightarrow S^{p+} + C^{q+} + S^{r+}$ ;  $(p, q, r) = (1, 1, 1), (1, 2, 1), (2, 1, 2), (2, 2, 2), (3, 2, 3), (4, 2, 4)$  がコインシデンス計測によって観測され、特にポテンシャル曲面の形状がクーロンポテンシャルで十分に記述できる高イオン化状態から生成した解離イオンの運動量分布に基づいて分子構造の決定ができることが示された。
- c) 超高速分子ダイナミクス追跡に必要な超短パルス軟 X 線の発生を行うために、レーザー高次高調波発生用チャンパーおよび軟 X 線分光器を設計・製作した。希ガス非線形媒質 (He, Ne, Ar) を用いて発生させた高調波のスペクトル測定を行い、希ガス圧、セル長、集光強度を制御変数として最適化を行った結果、59 次高調波 (波長: 13.5 nm) において、ビーム広がり 1.5 mrad の高強度短パルス軟 X 線を得ることに成功した。

B-1) 学術論文

- A. HISHIKAWA, E. J. TAKAHASHI and A. MATSUDA, "Electronic and Nuclear Responses of Fixed-in-Space H<sub>2</sub>S to Ultrashort Intense Laser Fields," *Phys. Rev. Lett.* **97**, 243002 (4 pages) (2006).
- K. HOSHINA, A. HISHIKAWA, K. KATO, T. SAKO, K. YAMANOUCI, E.J. TAKAHASHI, Y. NABEKAWA and K. MIDORIKAWA, "Dissociative ATI of H<sub>2</sub> and D<sub>2</sub> in Intense Soft X-Ray Laser Fields," *J. Phys. B* **39**, 813–829 (2006).

**M. FUSHITANI, N. SCHWENTNER, M. SCHRÖER and O. KÜHN**, “Cage Motions Induced by Electronic and Vibrational Excitations: Cl<sub>2</sub> in Ar,” *J. Chem. Phys.* **124**, 024505 (7 pages) (2006).

**Y. MORISAWA, M. FUSHITANI, Y. KATO, H. HOSHINA, Z. SIMIZU, S. WATANABE, Y. MIYAMOTO, Y. KASAI, K. KAWAGUCHI and T. MOMOSE**, “Correlation between Nuclear Spin Ratio of Cyclic C<sub>3</sub>H<sub>2</sub> and Chemical Evolution in TMC-1 Cores,” *Astrophys. J.* **642**, 954–965 (2006).

**S. OGUCHI, A. MATSUDA, K. KONDO and K. G. NAKAMURA**, “Time-Resolved Coherent Anti-Stokes Raman Scattering of Cyclohexane under Shock Compression,” *Jpn. J. Appl. Phys., Part 1* **45**, 5817–5820 (2006).

**A. MATSUDA, K. KONDO and K. G. NAKAMURA**, “Nanosecond Rapid Freezing of Liquid Benzene under Shock Compression Studied by Time-Resolved Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy,” *J. Chem. Phys.* **124**, 054501 (4 pages) (2006).

#### B-3) 総説、著書

菱川明栄, 「サブ10フェムト秒強レーザー場における分子過程」*しょうとつ* **3**, 7–14 (2006).

#### B-4) 招待講演

**A. HISHIKAWA**, “Steering Electrons in Molecular Frame to Control Coulomb Explosion in Intense Laser Fields,” 5th Photo-Molecular Science Forum, “Frontiers in Photo-Molecular Science 1,” Okazaki (Japan), May 2006.

**A. HISHIKAWA**, “Coincidence Momentum Imaging of Molecules in Sub-10fs Intense Laser Fields,” Molecular Physics Seminar, Stockholm (Sweden), October 2006.

**A. HISHIKAWA**, “Molecules in Few-Cycle Intense Laser Fields,” SOKENDAI Asian Winter School 2006, Okazaki (Japan), November 2006.

**A. HISHIKAWA**, “Molecules in sub-10fs Intense Laser Fields,” International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science 5, Lijiang (China), November 2006.

**A. HISHIKAWA**, “Molecules in Few-Cycle Intense Laser Fields,” The 1st Winter School of JSPS ASIA CORE Program in Beijing, Beijing (China), December 2006.

菱川明栄, 「極短パルス強光子場による反応イメージング」分子研研究会「凝縮系のコヒーレンス制御と超高速ダイナミクス」分子科学研究所, 岡崎, 2006年3月.

#### B-6) 受賞、表彰

菱川明栄, 原子衝突研究協会若手奨励賞 (2000).

菱川明栄, 日本分光学会賞論文賞 (2001).

#### B-7) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

日本分光学会企画委員 (1999-2003).

原子衝突研究協会企画委員 (2001- 2003, 2006-).

分子科学研究会委員 (2002-2006).

日本分光学会中部支部幹事 (2003-).

強光子場科学懇談会企画委員 (2004-).

#### 学会の組織委員

分子構造総合討論会プログラム委員 (2000).

分子構造総合討論会シンポジウム「レーザー場による分子過程コントロール」主催者 (2000).

日本分光学会装置部会・理研合同シンポジウム「強光子場の科学とその応用」主催者 (2000).

日本分光学会装置部会・理研合同シンポジウム「超短パルス電子線・X線技術の現状と新展開」主催者 (2002).

第8回東アジア化学反応ワークショップ主催者 (2004).

第22回化学反応討論会実行委員 (2005-2006).

原子衝突研究協会第31回研究会実行委員 (2005-2006).

#### B-8) 他大学での講義、客員

京都大学大学院理学研究科化学専攻, 連携併任助教授, 2005年4月-.

#### B-10) 外部獲得資金

松尾学術助成, 「強光子場中分子の電子相関ダイナミクス」 菱川明栄 (1999年).

基盤研究(C), 「多原子分子ドレスト状態の高分解能干渉ドップラー分光」 菱川明栄 (1999年).

基盤研究(B)(2), 「同時計数運動量測定による強光子場中多原子分子ドレスト状態の解明」 菱川明栄 (2000年-2001年).

若手研究(A), 「電子-イオンコインシデンス運動量計測による強光子場中分子ダイナミクス」 菱川明栄 (2002年-2004年).

特定領域研究(公募) 「分子ドレスト状態における核波束実時間追跡: コインシデンス画像法によるアプローチ」 菱川明栄 (2004年-2005年).

科学技術振興機構戦略的創造事業さきがけ, 「光電子ホログラフィーによるレーザー場反応追跡」 菱川明栄 (2005年-2009年).

#### C) 研究活動の課題と展望

- a) 強レーザー場中における基礎的な過程のうちイオン化を取り上げ, 特にトンネルイオン化領域における電子励起状態の寄与について研究を進める。
- b) 得られたサブ10フェムト秒強レーザーパルスをプローブとして, クーロン爆発イメージングを利用した化学反応実時間追跡を行う。特に高速で運動することが知られている水素原子のふるまいに着目して研究を進める。
- c) 高次高調波発生による超短パルス軟X線をコインシデンス運動量画像計測チャンバーに導入するためのビームラインの構築を進めており, これを用いたポンプ-プローブ計測に早期に着手したい。

## 反応動力学研究部門

宇理須 恒 雄 (教授) (1992年5月1日着任)

A-1) 専門領域：電子シンクロトロン放射光化学反応、ナノバイオエレクトロニクス

A-2) 研究課題：

- a) 放射光エッチングによる Si 表面の微細加工とその表面への生体情報伝達システムの構築と生命機能の発現
- b) 生体材料の AFM および赤外反射吸収分光法 (BML-IRRAS) による評価
- c) 神経細胞ネットワーク診断素子開発と基礎医学応用

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 放射光エッチングの特性を生かして、生体情報システムと Si 電子回路システムの融合を目指す。前者はイオンによる電気伝導系で後者は電子による電気伝導系である。両者を結合する基本素子は膜タンパクのイオンチャンネルである。Si 基板に貫通穴を形成し、そこに脂質二重膜 / イオンチャンネル集積構造を形成しチャンネル前後に電極を取り付けた構造 (イオンチャンネル電流記録素子) を作成する。2006 年度も分子研装置開発の多大な協力を得て、プレーナー型イオンチャンネルバイオセンサーの雑音特性を明らかにし、従来雑音が大きいとされていた Si 基板について、SOI 構造を採用することによりテフロン基板並の雑音特性が得られることを実証した。イオンチャンネルの一種である TRPV1 を発現した HEK293 細胞を、Si 基板の微細貫通孔に設置し、これにカプサイシンをリガンドとして作用させて、リガンド刺激型のイオンチャンネル電流を観測することに成功した。このセルメンブレ型センサーは、任意のイオンチャンネルについてセンサー化が容易であるので、上記 c) の神経細胞ネットワーク診断素子開発に展望が開けたと言える。
- b) 脂質二重膜 / 膜タンパク集積系は、脂質-タンパクやタンパク-タンパク相互作用を調べる興味深い反応場と言える。この構造と機能の研究は分子科学の新分野であるとともに、上記の素子構造形成にも重要である。2006 年度は TiO<sub>2</sub> 単結晶基板表面でのベシクルフュージョンを行い、脂質二重膜のドメイン構造が、一定の条件下で結晶の単一ステップに追随することを示し、ドメイン構造制御の新しい方法を提案した。Aβ40 の凝集がアルツハイマー病発症の原因とする機構が提案されている。スフィンゴミエリン (SM)、コレステロール (Co) およびガングリオシド (GM1) からなる平面脂質二重膜をマイカおよび SiO<sub>2</sub> 表面に形成した。GM1 濃度を増加するとともにユニークなドメイン構造が観察され、これに Aβ40 を添加すると GM1 リッチと考えられるドメイン内に選択的に Aβ40 の凝集が見出された。GM1 を含む脂質二重膜の極微構造が Aβ40 の凝集を左右していると考えられる。水中で脂質二重膜構造や膜タンパクの構造を評価するための、水中その場観察用赤外反射吸収スペクトル装置の立ち上げを進めた。
- c) 神経細胞ネットワーク診断素子開発の第一歩として、神経細胞に変化することが知られている PC12 細胞について、マイクロ流路内での培養技術を開発するための実験設備を整備した。

B-1) 学術論文

C. WANG, X. PAN, C. SUN and T. URISU, "Area-Selective Deposition of Self-Assembled Monolayers on SiO<sub>2</sub>/Si(100) Patterns," *Appl. Phys. Lett.* **89**, 233105 (2006).

H. UNO, Z. -L. ZHANG, K. SUZUI, R. TERO, Y. NONOGAKI, S. NAKAO, S. SEKI, S. TAGAWA, S. OIKI and T. URISU, "Noise Analysis of Si-Based Planar-Type Ion-channel Biosensors," *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, L1334–L1336 (2006).

R. TERO, H. WATANABE and T. URISU, "Supported Phospholipid Bilayer Formation on Hydrophilicity-Controlled Silicon Dioxide Surfaces," *Phys. Chem. Chem. Phys.* **8**, 3885–3894 (2006).

S. -B. LEI, R. TERO, N. MISAWA, S. YAMAMURA, L. -J. WAN and T. URISU, "Aggregation and Microdomains in Gramicidin A—Reconstructed Tethered Lipid Membrane on Oxidized Silicon Surface," *Chem. Phys. Lett.* **429**, 244–249 (2006).

N. MISAWA, S. YAMAMURA, R. TERO, Y. NONOGAKI and T. URISU, "Orientation of Avidin Molecules Immobilized on COOH-Modified SiO<sub>2</sub>/Si(100) Surfaces," *Chem. Phys. Lett.* **419**, 86–90 (2006).

Y. -H. KIM, Md. M. RAHMAN, Z. -L. ZHANG, R. TERO and T. URISU, "Supported Lipid Bilayer Formation by the Giant Vesicle Fusion Induced by Vesicle-Surface Electrostatic Attractive Interaction," *Chem. Phys. Lett.* **420**, 569–573 (2006).

#### B-4) 招待講演

H. UNO, Z. -L. ZHANG, C. T. -Y., K. SUZUI, R. TERO, S. NAKAO and T. URISU, "Si- Based Planar Type Ionchannel Biosensor," The 1<sup>st</sup> International Workshop on Approaches to Single-Cell Analysis, Uppsala (Sweden), June 2006.

T. URISU, "Development of Miniaturized Biomolecular Sensor for Detection of Neurotransmitter Molecules," The forth International Forum on Post-Genome Technologies (4'IFPT), Hangzhou (China), September 2006.

T. URISU, "Fabrication of Ion-channel Biosensor and Interface Control," Fifth East Asian Biophysics Symposium, & Forty-Forth Annual Meeting of the Biophysical Society of Japan, Okinawa, November 2006.

宇理須恒雄,「イオンチャンネルバイオセンサー製作と界面制御」表面科学講習会, 市ヶ谷, 2006年10月.

宇理須恒雄,「小型高性能イオンチャンネルバイオセンサーの開発」表面科学講演大会ソフトナノバイオロジー部会, 大阪大学コンベンションセンター, 2006年11月.

#### B-5) 特許出願

特願 2006-105188,「イオンチャンネルタンパク質バイオセンサー」宇理須恒雄(自然科学研究機構)2006年.

#### B-7) 学会および社会的活動

##### 学協会役員、委員

レーザー学会評議員 (1983-1985).

日本放射光学会評議員 (1993-1994, 1997-1998, 2001-2002).

電気学会, 放射光励起プロセス技術調査専門委員会幹事 (1992-1994).

電気学会, 放射光による材料加工技術調査専門委員会委員長 (1994-1997).

大型放射光施設安全性検討委員会委員 (1993-).

東北大学電気通信研究所研究外部評価委員 (1995-).

日本工業技術振興協会, 放射光の半導体への応用技術研究委員会顧問委員 (1995-2000).

新機能素子研究開発協会, 新世紀素子等製造評価技術の予測委員会 / ハードフォトン技術研究部会委員 (1995).

姫路工業大学ニューズパル利用検討委員会委員 (1996-1998).

姫路工業大学ニュースパル新素材開発利用専門委員会委員 (1999-2000).  
近畿通産局, 超次世代原子デバイスの自己形成技術に関する調査委員会委員 (1997-1998).  
電気学会, 放射光・自由電子レーザープロセス技術調査専門委員会委員 (1997-1999).  
放射線利用振興協会, 放射線利用技術指導研究員 (1997.11.18-20).  
日本原子力研究所, 研究嘱託 (1998.4-2002.3).  
科学技術庁, 「顕微光電子分光法による材料, デバイスの高度分析評価技術に関する調査」調査推進委員会委員 (1998-1998).  
科学技術庁, 「顕微光電子分光法による材料, デバイスの高度分析評価技術に関する調査」研究推進委員会委員 (1999-2000).  
日本原子力研究所, 博士研究員研究業績評価委員 (1998-1999).  
佐賀県シンクロトン光応用研究施設整備推進委員会委員 (2000-2001).  
科学技術振興調整費「顕微光電子分光法による材料・デバイスの高度分析評価技術に関する研究」研究推進委員 (1999-2002).  
科学技術振興調整費「カーボンナノチューブエレクトロニクス研究」外部運営委員 (2001-2003).  
日本学術振興会学術創生研究費書面審査委員 (2001).  
科学技術交流財団「ナノ反応場とバイオエレクトロニクスインターフェイス制御研究会」座長 (2001.4-2003.3).  
日本原子力研究所研究評価委員会, 光科学研究専門部会専門委員 (2002.11.1-2003.3.31).  
電気学会「量子放射ビームを用いたナノ・バイオプロセッシング技術調査専門委員会」アドバイザー (2004.5- ).  
日本表面科学会評議員 (2003.4- ).  
日本放射光学会評議員 (2003.4-2006.12).  
財団法人放射線利用振興協会, 放射線利用技術指導研究員 (2006.3.28-29).

#### 学会の組織委員

マイクロプロセス国際会議論文委員 (1992- ).  
第1回光励起プロセスと応用国際会議論文委員 (1993).  
VUV-11組織委員会, プログラム委員会委員 (1993-1995).  
International Workshop on X-ray and Extreme Ultraviolet Lithography, 顧問委員 (1995-2000).  
SRI97組織委員会プログラム委員会委員 (1995-1997).  
SPIE's 23<sup>rd</sup> Annual International Symposium on Microlithography, 論文委員 (1997).  
SPIE's 24<sup>th</sup> Annual International Symposium on Microlithography, 論文委員 (1998).  
SPIE's 25<sup>th</sup> Annual International Symposium on Microlithography, 論文委員 (1999).  
レーザー学会第19回年次大会プログラム委員 (1998-1999).  
レーザー学会第23回年次大会プログラム委員 (2002-2003).  
UK-JAPAN International Seminar, 組織委員長 (1999, 2000).  
Pacifichem 2000, Symposium on Chemical Applications of Synchrotron Radiation, 組織委員 (2000).  
MB-ITR2005, 組織委員長 (2005).

#### 学会誌編集委員

JJAP 特集論文特別編集委員 (1992-1993).

電気学会, 電子情報システム部門誌特集号編集委員 (1995-1996).  
JJAP 特集論文特別編集委員 (1998).  
*Appl. Surf. Sci.*, 編集委員 (2001-2003).  
*e-Journal of Surface Science and Nanotechnology*, Advisory Board (2003).  
日本真空協会「真空」誌編集部会委員 (2004- ).  
日本表面科学会, 出版委員 (2005.6-2007.5).

B-8) 他大学での講義、客員

岡山大学, 非常勤講師, 2006年 月 21日-22日.

B-9) 学位授与

三澤宣雄, 「シリコン基板表面へのタンパク質の固定化とその配向に関する研究」2006年 3月, 博士(理学)

B-10) 外部獲得資金

総合研究大学院大学, 共同研究, 「化学的ナノ加工の基礎の確立」宇理須恒雄 (1996年-1998年).  
基盤研究(B), 「放射光励起反応による新ナノ反応場の構築とSTMによる評価」宇理須恒雄 (2000年-2003年).  
総合研究大学院大学, 共同研究, 「シリコン基板上への生体機能物質の集積——ナノバイオエレクトロニクスの構築——」宇理須恒雄 (2001年-2003年).  
特定領域研究(公募研究)「放射光赤外反射吸収分光による膜タンパク・脂質二重膜表面反応場の極微構造解析」宇理須恒雄 (2005年-2006年).  
特定領域研究(公募研究)「イオンチャンネルレコーディング固体素子の開発とペインプロテオーム時空間解析応用」宇理須恒雄(2006年)  
財団法人コスメトロジー研究振興財団第16回研究助成, 「二酸化チタン上に形成した脂質二重膜への表面特性の影響およびUV照射効果」手老龍吾 (2005年-2006年).  
財団法人花王芸術・科学財団平成18年度研究助成, 「固体表面機能を利用した平面脂質二重膜の物性制御とその評価」手老龍吾 (2006年-2007年).  
若手研究(B), 「固体表面機能を活用した脂質二重膜の構造・物性・非対称性制御とその評価」手老龍吾 (2006年-2008年).

C) 研究活動の課題と展望

パッチクランプ法は細胞生物学の分野で最も多く利用されている計測技術であるが, その測定系は高度な除震設備とファラデーケージによる電氣的誘導雑音の遮蔽を必要としている。それと比較して, 我々を含む生き物においてはそのようなものがいっさい装備されていないにもかかわらず, 振動や電気誘導雑音の影響を全く受けずに, 生命機能維持に必要な信号伝達が常時行われている。この違いはなぜか? この素朴な疑問について私は, 生物においては, 信号伝達を電気信号と化学物質信号とを交互に組み合わせることで伝達し, それぞれがナノレベルの微小素子あるいは回路となっており, 全体がそれらの高度な集積体として機能を発現していることにより, 外部擾乱に強いシステムとなっているものと考え。私はこのような集積構造自体, およびこのようなものを人工的に作るのに(自分の専門である)放射光エッチングとシリコンの素材としての長所が役立つことに興味を持ち, 細胞膜構造を, 分子構造の明確な化学物質を素材として, 微細加工をほどこしたシリコン表面に

自己組織反応により形成し、この集積体の構造と物性を解明するとともに、生命機能を発現させることをめざす。また、このような集積構造体の形成術を応用し神経細胞ネットワーク診断素子を開発し、アルツハイマーなどの神経細胞変性疾患の原因解明研究への応用をはかる。構造や物性の解明においてはAFM, STM, 我々が開発した新赤外反射吸収分光BML-IRRAS, ナノ加工, 分子動力学計算など分子科学の最先端的手法を適用し、表面化学の新分野開拓と位置づけて研究を進める。

## 見 附 孝一郎 (助教授) (1991年4月1日着任)

A-1) 専門領域：化学反応素過程、軌道放射分子科学

A-2) 研究課題：

- a) 高分解能斜入射分光器の研究開発とフラーレン科学への利用
- b) レーザーと軌道放射を組合せたポンプ・プローブまたは2重共鳴分光
- c) 極端紫外励起状態や高励起イオン化状態の分光学と動力学
- d) 原子・分子・クラスターの光イオン化研究に用いる粒子同時計測法の開発
- e) 極端紫外域の偏極励起原子の光イオン化ダイナミクス

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 軌道放射光施設に、気相光励起素過程の研究を目的とした高分解能高フラックスの斜入射分光器を建設した。25から160 eVの光子エネルギーの範囲で、フラックス  $10^{10}$  光子/秒と分解能3000が同時に達成された。偏光に対して水平または垂直方向に飛来した解離イオンを検出することで、励起状態の対称性を分離した吸収スペクトルを測定した。続いて、「フラーレンの極端紫外分光専用ビームライン」の実用化を目指して、実験ステーションの改良と調整を施した。そしてフラーレン類の質量分析と光電子分光を遂行している（装置に関し特許出願中）。最近では  $C_{60}$  や  $C_{70}$  の巨大共鳴ピーク（ $\sim 20$  eV）に付随する形状共鳴遷移を初めて観測した。また、遷移金属原子の4d電子励起軟巨大共鳴が、金属内包フラーレンの炭素ケージの中でどのような影響を受けるかを検討した。さらに、多価イオンやフラグメントの収量曲線を精密に測定し、求めたしきい値や極大値を検討した結果、通常の分子では前例のない特異な単分子解離現象を見出した。解離遷移状態のポテンシャルエネルギー曲面の情報を得るための画像観測装置を製作した。
- b) 紫外モードロックレーザーとアンジュレータ光を組み合わせ、電子振動励起分子の光イオン化や光解離のダイナミクス、イオンの前期解離ダイナミクスなどに関する研究を行った。レーザー誘起蛍光励起分光やレーザー多光子イオン化分光を起用して、超励起状態から解離生成したイオンまたは中性フラグメントの内部状態の観測を初めて実現した。フラグメントの回転分布から、解離の際のエネルギー分配について議論した。最近では、特定の化学結合を選択的に切断したり、特異的な化学反応を起こすような光励起過程を実現するための方法論の開発と実用化を目指している。具体的には可視又は近赤外レーザーで生成する振動励起した水分子に放射光を照射して、振動基底分子の放射光解離とは全く異なる反応分岐比や分解確率を得るという実験を開始した。
- c) 軌道放射光施設に分子線光解離装置を製作し、 $CO_2$ 、 $SO_2$ 、ハロゲン化メチル、フロンなど20種余の分子についてイオン対を生成する過程を初めて見いだした。また、同施設の直入射分光器ラインに2次元掃引光電子分光装置を建設し、 $NO$ 、 $C_2H_2$ 、 $OCS$ 、 $SO_2$ 、 $CS_2$ 、 $HI$ 等の2次元光電子スペクトルを測定した。さらに、アンジュレータ斜入射分光器ラインで、 $OCS$  や  $H_2O$  の極端紫外励起状態の緩和過程で放出される可視・紫外発光を検出し、蛍光分散および蛍光励起スペクトルを測定した。以上、得られた負イオン解離効率曲線、2次元光電子スペクトル、蛍光スペクトル等から、超励起状態のポテンシャルエネルギー曲面を計算しイオン化状態との電子的結合を評価したり、自動イオン化や前期解離のダイナミクスおよび分子の2電子励起状態や解離性イオン化状態の特質などについて考察した。

- d) 正イオン・負イオン同時計測法を初めて開発し、複数の光解離過程の識別と放出されるイオンの並進エネルギーの測定を可能とした。また、光電子・イオン飛行時間同時計測法により始状態が選別されたイオンの光解離の研究を行った。
- e) 直線偏光した放射光を用いて、基底状態原子をそのリュドベリ状態へ共鳴遷移させ、偏光方向に偏極した特定量子状態の励起原子を生成させる。この偏極原子を、直線偏光した高出力レーザーでイオン化する。光電子角度分布の解析と理論計算を併用して、選択則で許される複数の終状態チャンネルの双極子遷移モーメントの振幅と位相差を決定した。究極的には、希ガス偏極原子の光イオン化における「量子力学的完全実験」を目指している。このテーマに関連して、円錐型の高効率角度分解電子エネルギーアナライザーを設計・製作し、感度や各種分解能などの性能を評価した（特許取得）。

#### B-1) 学術論文

**K. MITSUKE, H. KATAYANAGI, J. KOU, T. MORI and Y. KUBOZONO**, “Fragmentation Mechanism of Highly Excited  $C_{70}$  Cations in the Extreme Ultraviolet,” *AIP Conf. Proc.* **811**, 161–166 (2006).

**B. P. KAFLE, I. RUBINSTEIN and E. A. KATZ**, “Analytical Model of Electrodiffusion of Metals in Fullerene Thin Films,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **44**, 2803–2805 (2005).

**T. YOSHIDA, K. TANAKA, H. YAGI, A. INO, H. EISAKI, A. FUJIMORI and Z. -X. SHEN**, “Direct Observation of the Mass Renormalization in  $SrVO_3$  by Angle Resolved Photoemission Spectroscopy,” *Phys. Rev. Lett.* **95**, 146404 (4 pages) (2005).

**H. YAGI, T. YOSHIDA, A. FUJIMORI, Y. KOHSAKA, M. MISAWA, T. SASAGAWA, H. TAKAGI, M. AZUMA and M. TAKANO**, “Chemical Potential Shift in Lightly Doped to Optimally Doped  $Ca_{2-x}Na_xCuO_2Cl_2$ ,” *Phys. Rev. B* **73**, 172503 (4 pages) (2006).

#### B-4) 招待講演

見附孝一郎, 「気相分子やフラーレンの放射光イオン化と解離の実験的研究」岡山大学理学部セミナー, 岡山, 2006年10月.

片柳英樹、見附孝一郎, 「難揮発性物質の気相分光装置の開発とイオン液体への応用」特定領域研究「イオン液体の科学」第1班 班会議, 淡路市, 2006年10月.

#### B-6) 受賞、表彰

見附孝一郎, 日本化学会欧文誌BCSJ賞 (2001).

#### B-7) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

原子衝突研究協会委員 (1987, 1998-2003).

原子衝突研究協会, 企画委員 (1996-2003).

原子分子データベース協会, 設立準備委員.

学会の組織委員

質量分析連合討論会, 実行委員 (1993).

第9回日本放射光学会年会, 実行委員 (1995-1996).

第12回日本放射光学会年会, 組織委員およびプログラム委員 (1998-1999).

第15回化学反応討論会, プログラム委員および実行委員長 (1998-1999).

International Symposium on Photo-Dynamics and Reaction Dynamics of Molecules, Okazaki, Cochair (1998-1999).

原子衝突協会第25回研究会, 実行委員 (1999-2000).

International Workshop on the Generation and Uses of VUV and Soft X-ray Coherent Pulses, Lund, Sweden, Member of the Program Committee (2001)(真空紫外・X線コヒーレント光の発生と利用に関する国際集会, プログラム委員)

XIV International Conference on Vacuum Ultraviolet Radiation Physics, Cairns, Australia, Member of the Program Committee (2003-2004)(第14回真空紫外光物理国際会議, プログラム委員)

IV International Conference on Atomic and Molecular Data and their Applications, Toki, Japan, Member of the Program Committee (2003-2004)(第4回原子分子データとその利用に関する国際会議, プログラム委員)

第19回日本放射光学会年会, 組織委員, 実行委員およびプログラム委員長 (2005-2006).

第22回化学反応討論会, プログラム委員および実行委員 (2005-2006).

原子衝突研究協会第31回研究会, 実行委員 (2005-2006).

その他

東京大学物性研究所高輝度光源計画推進委員会測定系小委員会委員 (1998-2003).

SuperSOR 高輝度光源利用者懇談会幹事 (1999-2002).

All Japan 高輝度光源利用計画作業委員 (2002-2004).

#### B-10)外部獲得資金

井上科学振興財団, 井上フェロー研究奨励金, 「レーザーと軌道放射の同時吸収による化学結合の選択的開裂」見附孝一郎 (1997年-1999年).

日本学術振興会, 重点研究国際協力派遣研究員, 「米国バークレー研究所 ALS 施設への派遣」見附孝一郎 (1998年).

分子科学研究奨励森野基金, 学術集会開催援助金, 「International Symposium on Photo-Dynamics and Reaction Dynamics of Molecules」見附孝一郎 (1999年).

大幸財団, 学会等開催助成金, 「International Symposium on Photo-Dynamics and Reaction Dynamics of Molecules」見附孝一郎 (1999年).

基盤研究(C), 「放射光とレーザーの同時照射による分子の多光子電子励起」見附孝一郎 (1998年-2000年).

松尾科学振興財団, 学術研究助成, 「放射光励起で生成した偏極原子のレーザー光イオン化——光イオン化完全実験を目指して」見附孝一郎 (1998年).

基盤研究(B), 「レーザーと放射光を組合わせた振動高次倍音励起分子の光解離制御」見附孝一郎 (2002年-2004年).

光科学技術研究振興財団, 研究助成, 「ナノ分子場中の原子と光の相互作用——金属内包フラーレンに軟X線巨大共鳴は存在するか?」見附孝一郎 (2002年-2003年).

大幸財団, 海外学術交流研究助成, 「XIV International Conference on Vacuum Ultraviolet Radiation Physics」見附孝一郎 (2004年).

独立行政法人科学技術振興機構, 平成17年度シーズ育成試験研究, 「新奇高沸点物質の質量分析装置の開発と実用化試験」見附孝一郎 (2005年-2006年).

基盤研究(B), 「炭素ナノケージに貯蔵された物質の放射光共鳴制御」見附孝一郎 (2006年-2007年).

C) 研究活動の課題と展望

光電子分光，蛍光分光，質量分析，同時計測，ポンプ・プローブ分光などを用い，気相分子やクラスターの光イオン化過程を詳細に研究する。また，真空紫外領域の中性超励起状態の構造や電子状態に関する情報を集積しその動的挙動を明らかにする。将来の目標は次の通りである： 振動励起分子の放射光解離による反応分岐比制御， フラレーンの波長掃引光電子分光と高励起フラレーンイオンの解離ダイナミクスの解明， 励起分子や解離フラグメントの内部状態観測と，発光・解離・異性化・振動緩和などの過渡現象の追跡。