

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：15401

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2012～2016

課題番号：24109008

研究課題名(和文) 光感応性 単結合化合物の創製と機能

研究課題名(英文) Synthesis and Function of Photo-responsive pi-Single Bonded Species

研究代表者

安倍 学 (ABE, Manabu)

広島大学・理学研究科・教授

研究者番号：30273577

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 89,900,000円

研究成果の概要(和文)：アゾ化合物の光脱窒素反応で生じるジラジカルには、封筒形ジラジカル( $\lambda_{\max} \sim 450$  nm)と平面形ジラジカル( $\lambda_{\max} \sim 570$  nm)が存在することが明らかになり、生成物の立体選択性を制御する事が分かった。

本研究では、初めて、単結合と 単結合の化学平衡の直接観測に成功した。平衡定数に及ぼす温度効果から、単結合の方が 結合よりもエンタルピー的に安定であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Transient and low-temperature absorption spectroscopic analyses revealed that two different singlet diradicals, namely, the envelope-like diradical ( $\lambda_{\max} \sim 450$  nm) and the planar diradicals ( $\lambda_{\max} \sim 570$  nm), intervened in the photodenitrogenation reaction. The envelope-like diradical produced the retention product while the planar diradical selectively afforded the inverted one.

In this study, a thermal equilibrium between a singlet 1,2-diazacyclopentane-3,5-diyl diradical with  $\pi$ -single bonding nature and the corresponding  $\pi$ -bonded compound was directly observed. The  $\pi$ -single bonded species was more stable in enthalpy than the  $\pi$ -bonded compound. The solvent effect clarified key feature, such as the zwitterionic character of the  $\pi$ -single bonded species.

研究分野：基礎有機化学

キーワード： 単結合 光感応性 一重項ジラジカル

## 1. 研究開始当初の背景

分子の機能を司る電子の広がり方向と分子の形は、構成原子の空間的配置を決める化学結合により制御される。有機化合物の場合、結合と結合の二つの結合様式があり、それらの組み合わせで分子が形成され、化学反応性を含む機能がその電子状態と分子構造により決定する。例えば、エタン( $\text{CH}_3-\text{CH}_3$ )の2つの炭素は結合軸方向に電子の広がりを持つ強い結合のみで結ばれており、エタンは3次元的な広がりを持つ分子構造であり化学的に不活性である。一方、エチレン( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ )の二つの炭素間は結合と結合でつながれており、エチレンは平面分子構造である。その平面構造の上下には分子・物質の機能発現の源である電子雲が広がり、軌道の方向が、金属原子等との錯形成の方向性や、付加反応、重合反応などの化学反応に深く関与する。

このように、分子を構成する原子間の結合様式の相違がもたらす分子構造の変化は、分子・物質が本来有する機能に大きく影響を与える。炭素原子間の結合のみで構成されるダイヤモンドと炭素のみで構成されるが結合を持つグラファイトの機能と形状の相違は、その典型的な例の一つである。未開拓な結合様式を持つ物質群を創製することで、新たな物質科学の領域を切り拓くことが出来る。

我々は、以上の観点に立ち、新しい結合様式「分子の機能発現の源である結合のみによる原子と原子の結びつき(単結合)」を提案した(化学, 2009, 64, 12-16; Chem. Soc. Rev., 2012, 41, 3808)。その新規な結合様式により、平面4配位炭素原子を有する新しい分子構造を持つ化合物群を創出することが出来る。また、その分子のフロンティア軌道間(HOMOとLUMO、と\*軌道)のエネルギー差は、既存の結合と共存する結合と比べて小さい事が予測され、可視光吸収や酸化還元反応などの外部刺激に感度よく応答する分子群であることが期待される。その新規な結合様式を実現するためには、少なくとも、基底一重項ピラジカルの発生が必要不可欠となる。我々は、シクロペンタン-1,3-ピラジカルのスピン多重度制御に挑戦し、通常、三重項基底状態であるピラジカルの2位の置換基を酸素官能基にする事で、基底状態が一重項に変化する事を見だし、これまでに室温にてマイクロ秒程度の寿命を持つ単結合性一重項分子の発生に成功してきた(JACS, 1998, 120, 11304; JACS, 2000, 122, 2019; JACS, 2005, 127, 574; ACIE, 2006, 45, 7828; JACS, 2006, 128, 8008; JACS, 2007, 129, 12981; JOC, 2010, 75, 1956; JPOC, 2010, 23, 300)。

## 2. 研究の目的

本研究では、単結合化合物の長寿命化に基づく新しい物質群の創製と新たな機能の

精査を目指して、研究期間内に、炭素 炭素単結合化合物の長寿命化に及ぼす置換基と分子歪効果の精査する。

## 3. 研究の方法

炭素 炭素 単結合化合物の長寿命化を行うために、以下の方法を実施した。

- ・ 高い置換基をラジカル部位に導入し、結合反応を抑制する。
- ・ 単結合をマクロ環骨格内に導入し、新たな分子歪の発現により、結合生成反応を抑制する。

## 4. 研究成果

## 【高い置換基効果】

単結合化合物の寿命に及ぼすアルコキシ基の鎖長効果について調査した。単結合性化合物の寿命はアルコキシ基の鎖長が長くなるにつれて伸びることが分かり、C3以上ではほぼ同じ寿命が得られた。アレニウスプロットから得られた  $\log A$  値は同程度であったが、活性化エネルギー( $E_a$ )は鎖長が長くなることで大きくなり、OR =  $\text{OC}_3\text{H}_7$ 以上の鎖長ではほぼ同じであった。このことは、単結合性を持つ平面構造のピラジカルから結合生成物への環化過程において、アルキル鎖が長くなるにつれて活性化エンタルピー項が増大することを示しており、フェニル基とアルコキシ基との間の立体障害が重要であることを示唆した。そこで、混合アセタール骨格を持つピラジカルの発生を試み、その寿命を測定した。その結果、プロポキシ基とシクロペンタン環がトランス配置した単結合性化合物(959 ns)の方が、シス配置しているもの(533 ns)よりも寿命が長いことが分かった。しかしながら、ジプロポキシ基を持つピラジカル(2593 ns)よりも寿命が短かった。このことは、ピラジカルから環化体に至る遷移状態構造において、エキソ水素とアルコキシ基の相互作用がフェニル基とアルコキシ基との相互作用よりも大きい、両方の立体反発に基づく遷移状態の不安定化が一重項ピラジカルの長寿命化に影響を及ぼしていることが分かった。

## 【分子歪み効果】

局在化一重項ジラジカルの長寿命化に対する戦略として、新たに、環状マクロ環骨格を利用する速度論的な一重項ジラジカルの長寿命化に挑戦した。その結果、室温で200ミリ秒程度の極めて長寿命な一重項ジラジカルの発生に成功した。本研究で発見された一重項ジラジカルの長寿命化に及ぼすマクロ環の効果は、一重項ジラジカルの長寿命化のみならず、他の反応性中間体(オキシリル、トリメチレンメタン、など)にも展開できる成果であり、反応化学の分野での貢献度は極めて高い。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計45件,すべて査読有)

1. Y. Fujita, \*M. Abe, "Computational Study on 1,3-Disilacyclobutane-1,3-diylidene Disilylenes: A Synthetic Strategy for *cis*-Bent Disilenes", *J. Phys. Org. Chem.*, **2017**, in press.
2. Y. Chitose, \*M. Abe, K. Furukawa, J.-Y. Lin, \*T.-C. Lin, \*C. Katan, "Design and Synthesis of a Caged Carboxylic Acid with a Novel Donor- $\pi$ -Donor Coumarin Structure: One-photon and Two-photon Uncaging Reactions Using Visible and Near-Infrared Lights", *Organic Letters*, **2017**, in press.
3. H. Li, Z. Wu, D. Li, H. Wan, J. Xu, M. Abe, \*X. Zeng, "Direct observation of methoxycarbonylnitrene", *Chem. Commun.*, **2017**, in press.
4. \*M. Abe and S. Hatano, "Mechanistic Study of Stereoselectivity in Azoalkane Denitrogenations", *Pure and Applied Chemistry*, **2017**, in press
5. K. Fukuhara, T. Nakashima, M. Abe, T. Masuda, H. Hamada, H. Iwamoto, K. Fujitaka, N. Kohno, \*N. Hattori\*, "Suplatast tosilate protects the lung against hyperoxic lung injury by scavenging hydroxyl radicals", *Free Radical Biology & Medicine*, **2017**, *106*, 1-9.
6. H. D. Sriyathne, S. Sarkar, S. Hatano, M. Abe, \*A. D. Gudmundsdottir, "Photolysis of 3,5-Diphenylisoxazole in Argon Matrices", *J. Phys. Org. Chem.*, **2017**, *30* (4), e3638.
7. J. Xue, M. Abe, \*Ryukichi Takagi, "Paternò-Büchi Photochemical [2+2] Cycloaddition of Aromatic Carbonyl Compounds with 2-Siloxy-1H-Pyrrole Derivatives", *Journal of Physical Organic Chemistry*, **2017**, *30* (4), e3632.
8. T. Ikeda, Y. Ueda, N. Komori, M. Abe, \*T. Haino, "Light-harvesting organogel based on tris(phenylisoxazolyl)benzene", *Supramolecular Chem.*, **29**, 471-476 (2017).
9. S. Yoshidomi, M. Mishima, S. Seyama, \*M. Abe, Y. Fujiwara, \*T. Ishibashi, "Direct Detection of a Chemical Equilibrium between a Localized Singlet Diradical and Its  $\sigma$ -Bonded Species by Time Resolved UV-vis and IR Spectroscopy: Notable Nitrogen-Atom Effects", *Angew. Chem. Int. Ed.*, **56**, 2984-2988 (2017).
10. Y. Nakamura, T. Ogihara, S. Hatano, M. Abe, and S. Yamago\*, "Control of the Termination Mechanism in Radical Polymerization by Viscosity: Selective Disproportionation in Viscous media", *Chem. Eur. J.*, **23**, 1299-1305 (2017).
11. J. Ye, S. Hatano \*M. Abe, \*R. Kishi, Y. Murata, \*M. Nakano, W. Adam, "A Puckered Singlet Cyclopentane-1,3-diyl – Detection of the Third Isomer in Homolysis", *Chem. Eur. J.*, **22**, 2299-2306 (2016).
12. K. Uchida, S. Ito, M. Nakano, \*M. Abe, \*T. Kubo, "Biphenalenylidene: Isolation and Characterization of the Reactive Intermediate on the Decomposition Pathway of Phenalenyl Radical", *J. Am. Chem. Soc.*, **138**, 2399-2410 (2016).
13. Y. Fujita, \*M. Abe, Y. Shiota, T. Suzuki, K. Yoshizawa, "Computational Study of Cyclobutane-1,3-diylidene Dicarbenes: Ground-State Spin Multiplicity and New Strategy Toward the Synthesis of Bicyclo[1.1.0]but-1(3)-enes", *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **89**, 770-778 (2016).
14. S. Jakkampudi, \*M. Abe, N. Komori, R. Takagi, K. Furukawa, C. Katan, W. Sawada, N. Takahashi, \*H. Kasai, "Design and Synthesis of a 4-Nitrobromobenzene Derivative bearing an Ethylene Glycol Tetraacetic acid Unit for a New Generation of Caged Calcium Compounds with Two-Photon Absorption Properties in the Near-IR Region, and Their Application In Vivo", *ACS Omega*, **2016**, *1*(2), 193-201.
15. N. Komori, S. Jakkampudi, R. Motoishi, \*M. Abe, \*K. Kamada, K. Furukawa, \*C. Katan, W. Sawada, N. Takahashi, H. Kasai, B. Xue, T. Kobayashi, "Design and synthesis of a new chromophore, 2-(4-nitrophenyl)benzofuran, for two-photon uncaging using near-IR light", *Chem. Comm.*, **52**, 331-334 (2016).
16. Y. Chitose, \*M. Abe, K. Furukawa, C. Katan, "Design, Synthesis, and Reaction of  $\pi$ -Extended Coumarin-Based New Caged Compounds with Two-Photon Absorption Character in the Near-IR Region", *Chem. Lett.*, **45**, 1186-1188 (2016).
17. \*M. Abe, S. Tada, T. Mizuno, \*K. Yamasaki, "Impact of Diradical Spin State (Singlet vs. Triplet) and Structure (Puckered vs. Planar) on the Photodenitrogenation Stereoselectivity of 2,3-Diazabicyclo[2.2.1]heptanes", *J. Phys. Chem. B*, **120**, 7217-7226 (2016).
18. M. Fréneau, P. Sainte-Claire, \*M. Abe, \*N. Hoffmann, "The structure of electronically excited  $\alpha,\beta$ -unsaturated lactones", *J. Phys. Org. Chem.*, **29**, 718-724 (2016).
19. S. K. Sarkar, O. Osisioma, W. L. Karney, M. Abe, \*A. D. Gudmundsdottir, "Molecular Architecture to Control the Reactivity of a Triplet Vinylnitrene", *J. Am. Chem. Soc.*, **138**, 14905-14914 (2016).
20. J. Ye, S. Hatano, \*M. Abe, \*R. Kishi, Y. Murata, \*M. Nakano, W. Adam, "A Puckered Singlet Cyclopentane-1,3-diyl – Detection of the Third Isomer in Homolysis", *Chem. –Eur. J.* **22**, 2299-2306 (2016).
21. N. Komori, S. Jakkampudi, R. Motoishi, \*M.

- Abe, \*K. Kamada, K. Furukawa, \*C. Kata\*, W. Sawada, N. Takahashi, H. Kasai, B. Xue, T. Kobayashi, "Design and synthesis of a new chromophore, 2-(4-nitrophenyl)benzofuran, for two-photon uncaging using near-IR light", *Chem. Commun.* **52**, 331-334 (2016).
22. K. Kanahara, Md. M. R. Badal, S. Hatano, \*M. Abe, S. Higashibayashi, N. Takashina, H. Sakurai, H. "Intra- and Intermolecular Reactivity of Triplet Sumanenetrione", *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **88**, 1612-1617 (2015).
  23. \*T. Nakamura, M. Niiyama, W. Hashimoto, K. Ida, M. Abe, J. Morita, K. Uegaki, "Multiple crystal forms of N,N'-diacetylchitobiosedeacetylase from *Pyrococcus furiosus*", *Acta Crystallographica Section F*, **50**, 243-254 (2015).
  24. S. Sarkar, A. Sawai, K. Kanahara, C. Wentrup, M. Abe, \*A. D. Gudmundsdottir, "Direct Detection of a Triplet Vinylnitrene, 1,4-Naphthoquinone-2-yl nitrene in Solution and Cryogenic Matrices", *J. Am. Chem. Soc.* **137**, 4207-4214 (2015).
  25. T. Mizuno, \*M. Abe, N. Ikeda, "Simultaneous Observation of Triplet and Singlet Cyclopentane-1,3-diyl Diradicals in the Intersystem Crossing Process", *Aust. J. Chem.* **68**, 1700-1706 (2015).
  26. \*R. Takagi, K. Tanaka, K. Yamamoto, Y. Hiraga, S. Kojima, M. Abe, "Formation of Isomerized *E,Z*-Configured 1,3-Dienes in Construction of Macrocyclic trienes by Diene-Ene RCM", *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **88**, 146-148 (2015).
  27. S. Sugawara, M. Abe, Y. Fujiwara, M. Wakioka, F. Ozawa, \*Y. Yamamoto, 1,8-Disubstituted Xanthylidene-based Remote Carbenes: Photolytic Generation and Isolation of Low-coordinate Palladium(II) Complex", *Eur. J. Inorg. Chem.*, 534-541 (2015).
  28. R. A. A. U. Ranaweera, G. K. Weragoda, J. Bain, S. Watanabe, M. Abe, \*A. D. Gudmundsdottir, "Photolysis of Acetophenone Derivatives with  $\alpha$ -Cyclopropyl Substituents", *J. Phys. Org. Chem.* **28**, 137-146 (2015).
  29. Y. Omokawa, S. Hatano, \*M. Abe, "Electron-spin resonance (ESR) characterization of quintet spin-state bis-nitroxide-bearing cyclopentane-1,3-diyl diradicals", *J. Phys. Org. Chem.* **28**, 116-120 (2015).
  30. S. Konda, Q.-S. Guo, M. Abe, H. Huang, H. Arman, \*J. C.-G. Zhao, "Organocatalyzed Asymmetric Aldol Reactions of Ketones and  $\gamma,\beta$ -Unsaturated  $\alpha$ -Ketoesters and Phenylglyoxal Hydrates", *J. Phys. Org. Chem.* **80**, 806-815 (2015).
  31. S.-i. Fuku-en, K. Furukawa, T. Sasamori, N. Tokitoh, M. Abe, \*Y. Yamamoto, "Oxidation of an Allene Compound Bearing 1,8-Dichloroacridene Moieties and Photolysis of the Halogenated Allene Compound for the Generation of Triplet Carbenes", *J. Phys. Org. Chem.* **28**, 79-87 (2015).
  32. \*S. Nakata, T. Miyaji, Y. Matsuda, M. Yoshii, M. Abe, "Mode Switching of a Self-Propelled Camphor Disk Sensitive to the Photoisomerization of a Molecular Layer on Water.", *Langmuir* **30**, 7353-7357 (2014).
  33. A. Maeda, T. Oshita, \*M. Abe, \*T.-a. Ishibashi, "Time-Resolved IR Spectroscopy of 1,3-Dicyanophenylcyclopentane-1,3-diyl Diradicals: CN Stretching Wavenumber as a Vibrational Signature of Radical Character.", *J. Phys. Chem. B* **118**, 3991-3997 (2014).
  34. R. Kishi, Y. Murata, M. Saito, K. Morita, M. Abe, \*M. Nakano, "Theoretical Study on Diradical Characters and Nonlinear Optical Properties of 1,3-Diradical Compounds.", *J. Phys. Chem. A* **118**, 10837-10848 (2014).
  35. S. Boinapally, B. Huang, \*M. Abe, C. Katan, J. Noguchi, S. Watanabe, H. Kasai, B. Xue, T. Kobayashi, "Caged Glutamates with  $\pi$ -Extended 1,2-Dihydronaphthalene Chromophore: Design, Synthesis, Two-Photon Absorption Property, and Photochemical Reactivity", *J. Org. Chem.* **79**, 7822-7830 (2014).
  36. \*K. Komeyama, Y. Nagao, M. Abe, \*K. Takaki, "Scope and Limitation for FeSO<sub>4</sub>-Mediated Direct Arylation of Heteroarenes with Arylboronic Acids and Its Synthetic Applications", *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **87**, 301-313 (2014).
  37. \*M. Abe, "Diradicals", *Chem. Rev.*, **113**, 7011-7088 (2013).
  38. Y. Sakamoto, S. Boinapally, C. Katan, \*M. Abe, "Synthesis and Photochemical Reactivity of Caged Glutamates with a  $\pi$ -Extended Coumarin Chromophore as a Photolabile Protecting Group", *Tetrahedron Lett.*, **54**, 7171-7174 (2013).
  39. T. Nakagaki, T. Sakai, T. Mizuta, Y. Fujiwara, \*M. Abe, "Kinetic Stabilization and Reactivity of  $\pi$ -Single Bonded Species: Alkoxy Group Effect on the Lifetime of Singlet 2,2-Dialkoxy-1,3-diphenyloctahydro-pentalene-1,3-diyls", *Chem. Eur. J.*, **19**, 10395-10404 (2013).
  40. A. Riahi, \*J. Muzart, \*M. Abe, \*N. Hoffmann, "On the decarboxylation of 2-methyl-1-tetralone-2-carboxylic acid - oxidation of the enol intermediate by triplet oxygen", *New. J. Chem.* **37**, 2245-2249 (2013).

41. J. Ye, Y. Fujiwara, \*M. Abe, "Substituent Effect on the Energy Barrier for  $\sigma$ -Bond Formation from  $\pi$ -Single Bonded Species, Singlet 2,2-Dialkoxycyclopentane-1,3-diyls", *Beilstein J. Org. Chem.* **9**, 925-933 (2013).
42. \*M. Abe, "Synthesis of Macrocyclic Lactams and Lactones Using Photochemical Dimerization Reaction", EPA Newsletter, 70-71 (2012).
43. \*M. Abe, J. Ye, M. Mishima, "The Chemistry of Localized Singlet 1,3-Diradicals (Biradicals): from Putative Intermediates to Persistent Species and Unusual Molecules with a  $\pi$ -Singlet Bonded Character", *Chem. Soc. Rev.*, **41**, 3808-3820 (2012).
44. \*M. Abe, H. Furunaga, D. Ma, L. Gagliardi, G. Bodwell, "Stretch Effects Induced by Molecular Strain on Weakening  $\sigma$ -Bonds: Molecular Design of Long-Lived Diradicals (Biradicals)", *J. Org. Chem.* **77** (17), 7612-7619 (2012).
45. \*M. Abe, I. Iwakura, A. Yabushita, S. Yagi, J. Liu, K. Okamura, T. Kobayashi, "Direct Observation of Denitrogenation Process of 2,3-Diazabicyclo[2.2.1]hept-2-ene (DBH) Derivatives, Using a Visible 5-fs pulse laser." *Chem. Phys. Lett.*, **527**, 79-83 (2012).

[学会発表] (計 78 件)

1. Manabu Abe, Design and Synthesis of New Chromophores from Two-Photon Uncaging Reactions Using Near IR Light, TBSC (2016), 2016 09 25, Jember (Indonesia).
2. Manabu Abe, Chameleonic Character of 1,2-Diazacyclopentane-3,5-diyl Diradical, TSRC Radicals in the Rockies, 2016 08 04, Telluride (USA).
3. Manabu Abe, Is  $\pi$ -Single Bonding Possible?, The 23<sup>rd</sup> IUPAC Conference on Physical Organic Chemistry (ICPOC 23), 2016 07 03, Sydney (Australia).
4. Manabu Abe, Molecular Design for Long-lived Localized Diradicals, The 70<sup>th</sup> Fujihara Seminar on New Development of Physical Organic Chemistry, 2016 04 17, Fukuoka.
5. Manabu Abe, Design and Synthesis of a New Chromophore with Two-photon Absorption Property 2-(4-Nitrophenyl)benzofuran, and Its Application to Two-photon Uncaging Reactions Using Near IR Light, 6<sup>th</sup> International Symposium on Current Trends in Drug Discovery and Research, 2016 02 26, Lucknow (India).
6. Manabu Abe, Nitrogen Atom Effects on the Reactivity of a Singlet Diradical, International Conference on Construction and Application of Functional Organic Molecules, 2015 10 20, Milan (Taiwan),
7. Manabu Abe, Nitrogen Atom Effect on Reactivity of Singlet Diradical, European Symposium on Organic Reactivity (ESOR) 2015 09 05, Kiel (Germany).
8. Manabu Abe, Substituent Effect on the Long-wavelength Emission from Cyclopropane Derivatives, Fordon Research Conference on Photochemistry, 2015 07 22, Boston (USA).
9. Manabu Abe, Design and Synthesis of a New Chromophore with Two-photon Absorption Property 2-(4-Nitrophenyl)benzofuran, and Its Application to Two-photon Uncaging Reactions Using Near IR Light, 2015 Korean-Japan Bilateral Symposium on Frontier Photoscience (2015 KJFP), 2015 06 25, Jeju (Korea).
10. Manabu Abe, Caged Glutamate with  $\pi$ -Extended 1,2-Dihydronaphthalene Chromophore: Design, Synthesis, Two Photon Absorption (TPS) Property and Photochemical Reactivity, The 8<sup>th</sup> Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules, 2014 11 28, Fukuoka (Japan).
11. Manabu Abe, Envelop Form of Singlet Cyclopentane-1,3-diyls: Crucial Role in Stereoselectivity in the Photochemical Denitrogenation of Cyclic Azoalkanes, 2014 08 10, Ottawa (Canada).
12. Manabu Abe, Caged Glutamates with  $\pi$ -Extended 1,2-Dihydronaphthalene Chromophore: Design, Synthesis, Two Photon Absorption (TPA) Property, The 10<sup>th</sup> Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, 2014 06 21, Seoul (Korea).
13. Manabu Abe, Denitrogenation Mechanism, 2013 Korean-Japan Bilateral Symposium on Frontier Photoscience (2013), 2013 11 26, Seoul (Korea).
14. Manabu Abe, Stretch Effects Induced by Molecular Strain on Weakening  $\sigma$ -Bonds, The 7th Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Architecture of Functional Organic Molecules, 2012 10 21, Shichu (Taiwan).

他 64 件

[その他]

ホームページ等

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/mabe/Welcome.html>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

安倍 学 ( ABE MANABU )

広島大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号 : 3 0 2 7 3 5 7 7

(2)研究分担者

古川 貢 (FURUKAWA KO)

新潟大学・研究推進機構・准教授

研究者番号：90342633