

平成22年 4月 1日現在

研究種目： 特別推進研究
 研究期間： 2006～2009
 課題番号： 18002011
 研究課題名（和文） 高次環境調和型反応の開発-反応空間と触媒機能の同調的相乗化-
 研究課題名（英文） Development of environment-conscious synthetic reactions:
 construction of reaction coordinate-response catalyst
 研究代表者
 香月 勗 (KATSUKI TSUTOMU)
 九州大学・大学院理学研究院・教授
 研究者番号： 40037271

研究成果の概要（和文）：環境・資源保護は差し迫った課題である。持続可能な社会を実現するためには、物質やエネルギーを浪費することなく、また、不要物の副生を抑制した合成法の開発が不可欠である。一方、環境調和型である生合成反応には、しばしば複数の酵素が関与している。本研究では、触媒に複数の機能を与え、反応の進行に応じて最適な機能を示す「反応場応答性を備えた動的触媒」の開発を行い、一つの触媒で、生体反応系に匹敵する高選択的酸化反応の実現が可能であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）： Environment and resource conservation is the most urgent issue that human beings face. To address this issue and construct a sustainable society, development of selective, atom-efficient and eco-friendly synthetic reactions is essential. Biological material transformation systems are highly selective and atom-efficient and green, but several enzymes participate in most biological systems that are difficult to be implemented by the current chemical way. To realize equally green and efficient reactions with a catalyst, we designed complexes that can change their structure and exhibit an appropriate catalytic performance along reaction coordinate. With such complexes as catalyst, we could successfully achieve highly enantioselective and atom-efficient oxidation reactions using molecular oxygen or hydrogen peroxide as the terminal oxidant. This research demonstrated the effectiveness of a catalyst that can change its catalytic performance along reaction coordinate, for realizing a green reaction.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-------------|------------|-------------|
| 2006年度 | 138,100,000 | 41,430,000 | 179,530,000 |
| 2007年度 | 39,000,000 | 11,700,000 | 50,700,000 |
| 2008年度 | 47,158,000 | 14,147,400 | 61,305,400 |
| 2009年度 | 39,000,000 | 11,700,000 | 50,700,000 |
| 年度 | | | |
| 総計 | 263,258,000 | 78,977,400 | 342,235,400 |

研究分野：化学

科研費の分科・細目：分科・細目=複合化学・合成化学、分科・細目=基礎化学・有機化学

キーワード：環境調和、多重機能触媒、過酸化水素水、分子状酸素、水素結合、エポキシ化、光分子デバイス、水素生成触媒

1. 研究開始当初の背景

有機合成化学は有用化合物の高選択的合成を目標に発展を続けており、高活性反応剤や高機能性触媒の導入によって、今日ほぼその目標を達成しつつある。しかし、資源の枯渇や環境の劣化が大きな問題となる中、資源・環境保護の観点から、合成に伴って消費される物質やエネルギーの節減、合成に伴って生じる各種副生成物の大幅な削減が強く求められている。このような状況下、高選択性や高触媒回転数を維持しつつ、物質とエネルギー消費を必要最小限に留め、かつ環境に負荷となる反応副生物の生成を抑制した高次の環境調和型合成方法論の開拓は合成化学上の緊急の課題であった。

2. 研究の目的

現時点で最も高選択的で環境調和性に富む物質変換は生合成反応である。生合成では、多くの場合、一つの変換反応に複数の酵素が関与し、理想に近い効率を実現している。しかし、今日の化学合成では、複数の触媒を同時に働かせることは困難である。本研究では、背景欄で述べた課題解決に向け、複数の触媒の同時使用に代わる方法論として、多重機能をもつ触媒の開発を目指した。すなわち、多重機能性触媒の働きを反応座標に沿って制御し、多段階プロセスの各過程において、その反応場に同調して最適な機能を発現する「反応場応答性」を備えた動的触媒の開発を行った。これにより、酸素分子などの安定、かつ、原子効率の高い反応剤を必要最少量のエネルギーコストで活性化すると共に生体反応系に匹敵する高選択性かつ環境調和性に優れた各種官能基導入反応の実現を目指した。

3. 研究の方法

本課題の主題である「反応場応答性」の概念の有効性を明らかにするとともに、それに基づいて環境調和型反応、特に不斉酸化反応および関連反応の開発を行った。

(1) 水素結合による活性種の反応性の制御と不斉反応場の構築：反応場応答性の発現には、反応活性種の反応性とその配向を、反応の進行に応じて可逆的に制御することが不可欠である。本研究では、過酸化水素と金属イオンとの反応により生じるヒドロペルオキシ種の反応性を水素結合生成により制御し、エポキシ化とスルホ酸化などの高選択的酸素原子移動反応を確立した。

(2) 配位構造の制御による特異反応場の構築：遷移金属錯体の多くは正八面体構造を有

するが、第2および第3遷移金属系列の錯体では7配位錯体を取り易い傾向がある。後者の錯体のこの特徴に着目し、配位構造の変化を利用して、従来法では困難な過酸化水素水を用いるアリルアルコールのエポキシ化を達成した。

(3) アピカル位の補助配位子と不斉配位子間の弱い相互作用を利用した反応場の制御：アピカル位にアリール配位子を導入し、サレン錯体の反応場の制御を試みた。酸化活性種であるオキセノイド種と等電子構造をもつカルベノイド種の反応の制御を実現した。

(4) 光水素エネルギー製造を担う光水素発生分子システムの構築と電子伝達過程の解明：電子伝達（電子移動）は化学反応の重要なプロセスであり、その機構解明は反応制御に不可欠である。本研究では、近い将来に必要な新たなエネルギー確保に関する研究の一環として光増感剤/電子伝達剤/水素発生触媒を高度に組織化することにより、環境調和型のエネルギー製造技術として注目される水と太陽光からの水素エネルギー製造を担う光水素発生分子システムの構築を行い、電子伝達過程の解明と光触媒機能の評価を行った。

(5) 鉄錯体触媒の開発：これまでに高不斉誘起能をもつ金属錯体触媒が数多く開発されているが、その多くは枯渇が心配されるPd, Ru, Vなどの希少金属の錯体である。本研究では、「反応場応答性」の概念を利用して、非希少金属である鉄の錯体の不斉酸化触媒機能の開発を行った。

(6) 分子状酸素を用いる不斉酸素酸化反応の開発：生体内酸化反応は高立体選択性と高原子効率を示すが、それを実現するためには酸素活性化の過程で複雑なプロトンおよび電子移動システムを必要としている。本研究では、水分子を利用する「反応場応答性」錯体の開発とプロトンおよび電子移動システムを必要としない不斉酸素原子移動反応系の構築を検討した。

4. 研究成果

「反応場応答性」の概念に基づいて立案した上記の研究方法に従って研究を実施し、以下の成果を得ることができた。

(1) 金属に配位したアミノ基は水素結合供与体として機能する。不斉誘起能の高いサレン錯体を還元して得られるアミノ基を持つサラン配位子（論文①）とチタンとの錯体を利用して、過酸化水素より導かれるペルオキシ種の反応性と配向を制御し、高エンタチオ選択的かつ環境調和型不斉エポキシ化を実現

した。本研究は、日産化学工業株式会社との共同研究として実施された(論文⑧, ⑩, ⑲)。サラン錯体と同様な構造を有し、1個のアミノ基をもつチタンサラン錯体も同様の不斉エポキシ化触媒能を示し、過酸化水素水を用いる非共役オレフィン(論文⑦)やビニルシラン(論文⑨)のエポキシ化で高エナンチオ選択性が達成された。さらに同様の機能をもつアルミニウムサラン錯体を創製して、過酸化水素水を利用する高エナンチオ選択的不斉スルホ酸化を達成した。同反応を用いて無溶媒条件下での不斉酸化も実現することができた。触媒回転数も不斉酸化触媒としては極めて高い5万回が達成されている(論文⑳, ㉑)。

(2) 7 配位構造をとり得るニオブ錯体の特性を活かし、ニオブサラン錯体の水素結合形成機能と組み合わせ、活性種の制御と構造を反応の進展に応じて制御し、過酸化水素水を用いるアリールアルコールの高エナンチオ選択的エポキシ化を初めて実現することができた(論文③, ⑬)。

(3) 通常の金属サレン錯体と異なり、アピカル位にハロゲン配位子をもつイリジウムサレン錯体は不安定である。しかし、アリール置換基をアピカル位に導入すると安定化され、しかもアピカル配位子とサレン配位子の相互作用で特異な反応場が構築されることを見出した。この場を利用して、以下のカルベン移動反応を検討し、従来法では実現困難な高選択性を実現した。①ジアゾ酢酸エステルを用いる高シス/高エナンチオ選択的シクロプロパン化(論文⑰, ㉒)。②ジアゾラクトンを用いる高トランス/高エナンチオ選択的シクロプロパン化(論文⑬)。③ジアゾプロピオナートを利用する高ジアステレオ/高エナンチオ選択的 C-H 挿入反応(論文⑦)。④ α -アルキル- α -ジアゾエステルを用いる高エナンチオ選択的 Si-H 挿入反応の実現と不斉 Si-H 挿入反応に基づく初めての不斉ケイ素原子の構築(論文④)。一方、アルミニウムサラン錯体を用いて、カルベン移動反応の一つである Simmons-Smith 反応を触媒的かつ高エナンチオ選択的に実現することができた(論文⑱)。

(4) 光増感剤 $\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{phen})^{2+}$ と水素生成触媒 $\text{PtCl}_2(\text{bpy})$ を適切に空間配置させた単一分子光水素発生デバイス(*J. Am. Chem. Soc.* Sakai et al., 2006) の構造をヒントに、その光誘起電子移動効率の制御、ならびに、水素発生触媒サイトの活性制御を目的とし、①分子連結様式の制御、②光誘起電子移動機構の精密解析、③触媒活性サイトにおける水素生成機構の解明と高効率触媒開発への応用、④ビオローゲン電子受容サイトを導入した多電子貯蔵空間の構築と応用、⑤分子軌道計算による水素発生機構の解明、⑥水からの電

子引き抜き反応(酸素発生触媒反応)などについて多角的に研究を展開した。分子連結制御 ①については、シクロデキストリンとアダマンタンの水中自己集合を利用した超分子化学的手法に基づき、新しい光水素発生デバイス構築法の確立に成功した。また、電子移動の第一受容サイトである白金触媒サイトの LUMO の置換基制御により電子移動効率及び光水素発生効率の制御が可能であることを明らかにした(論文①)。電気化学的研究により、白金(II)錯体による水素生成が白金単体触媒と全く異なる機構で進行することを初めて明らかにした(*in preparation*)。均一系水素生成触媒に対する暗反応の追跡に世界で初めて成功し報告した(論文⑩)。多電子貯蔵能を有する水素生成用白金錯体触媒の合成と機能評価に成功すると同時に、DFT 計算に基づく反応経路の推定に成功した(submitted to *J. Am. Chem. Soc.*)。光水素発生デバイスにおける光誘起電子移動過程がピコ秒時間領域に進行することを明らかにした(論文②)。単一の白金(II)単核錯体により光増感作用及び水素生成触媒作用を併せ持つ特異的な光水素発生系を発見した(論文⑪)。光増感部に複数の水素生成触媒部を導入することにより水素発生効率が向上することを見出した(*ChemSusChem*, submitted (invited paper))。単核のルテニウム錯体が極めて高い酸素発生触媒作用を要するという驚くべき事実を発見した(論文⑮)。天然の光合成に迫る高速多電子移動・貯蔵を実現する優れた光電荷分離素子の構築にも成功した(特許出願準備中、投稿準備中)。

(5) 鉄はクラーク数が大きく枯渇の心配のない金属である。鉄サラン錯体は固体であり、さらに水に難溶であるため、水中反応の触媒として利用困難であった。しかし、スルフィドが存在すると液体の複合体を形成する。この特性を利用して、過酸化水素水と鉄サラン錯体を用いる高エナンチオ選択的スルホ酸化を達成した。界面活性剤を用いることなく水中で高選択的不斉酸化を実現した初めての例である(論文㉓)。一方、鉄イオンはサラン錯体を形成することによりイオン化ポテンシャルが小さくなる。この結果可能となる Fe(III)/Fe(IV)系の酸化還元を利用して酸素分子を酸化剤とする不斉酸化の検討を行い、基質適用範囲が広く高エナンチオ選択的な 2-ナフトール類の不斉カップリング反応の開発を行った(論文⑫)。

(6) 本研究者らは、ルテニウムサレン錯体が光照射条件下でアルコール類の不斉酸素酸化を触媒することを報告している。この反応の詳細な反応機構の解析に基づいて、水分子をプロトン移動メディエーターとして用いる不斉酸素原子移動反応、エポキシ化および

スルホ酸化、を実現しており、現在成果を取纏めて投稿準備中である。なお、この研究過程で、非光照射条件下でもアルコールの酸素酸化が進行することが見出された(論文⑥)。現在、この反応の機構についてさらに検討中である。

以上の結果は、「反応場応答性」が環境調和型不斉触媒の設計に有効な概念であることを明らかにするものである。また、その概念に基づいて設計された錯体を触媒に用いて、酸素分子や過酸化水素を酸化剤に用いる環境に負荷を掛けない高エナンチオ選択的不斉酸化法を提供することができた。

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64件)

① “Frontier Orbital Engineering of Photo-Hydrogen-Evolving Molecular Devices: a Clear Relationship Between the H₂-Evolving Activity and the Energy Level of the LUMO”
Shigeyuki Masaoka, Yuichiro Mukawa and Ken Sakai

Dalton Trans., **2010**, in press, 査読有

② “Photo-Hydrogen-Evolving Molecular Catalysts Consisting of Polypyridyl Ruthenium(II) Photosensitizers and Platinum(II) Catalysts: Insights into the Reaction Mechanism”
Hironobu Ozawa, Masayuki Kobayashi, Bijitha Balan, Shigeyuki Masaoka and Ken Sakai

Chem. Asian J., **2010**, in press, 査読有

③ “Oxidation Catalysis of Nb(salan) Complexes: Asymmetric Epoxidation of Allylic Alcohols Using Aqueous Hydrogen Peroxide as Oxidant”

Hiromichi Egami, Takuya Oguma, and Tsutomu Katsuki

J. Am. Chem. Soc., **2010**, *132*, 5886-5895, 査読有

④ “Iridium(III)-Catalyzed Enantioselective Si-H Bond Insertion and Formation of Enantioenriched Silicon Center”

Yoichi Yasutomi, Hidehiro Suematsu and Tsutomu Katsuki

J. Am. Chem. Soc., **2010**, *132*, 4510-4511, 査読有

⑤ “Photoinduced Electron Transfer in Tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II)-Viologen Dyads with Peptide Backbones Leading to

Long-Lived Charge Separation and Hydrogen Evolution”

Makoto Ogawa, Bijitha Balan, Gopalakrishnan Ajayakumar, Shigeyuki Masaoka, Heinz-Bernhard Kraatz, Masayasu Muramatsu, Syoji Ito, Yutaka Nagasawa, Hiroshi Miyasaka and Ken Sakai

Dalton Trans., **2010**, *39*, 4421-4434, 査読有

⑥ “Ru(PPh₃)(OH)-salen complex: a designer catalyst for chemoselective aerobic oxidation of primary alcohols”

Hiroataka Mizoguchi, Tatsuya Uchida, Kohichi Ishida, Tsutomu Katsuki

Tetrahedron Lett., **2009**, *50*, 3432-3435, 査読有

⑦ “Iridium(III) Catalyzed Diastereo- and Enantioselective C-H Bond Functionalization”

Hidehiro Suematsu and Tsutomu Katsuki

J. Am. Chem. Soc., **2009**, *131*, 14218-14219, 査読有

⑧ “Highly Enantioselective Epoxidation of Styrenes Catalyzed by Proline-Derived C₁-Symmetric Titanium(Salan) Complexes”

Kazuhiro Matsumoto, Takuya Oguma, and Tsutomu Katsuki

Angew. Chem. Int. Ed., **2009**, *48*, 7432-7435, 査読有

⑨ “Highly Enantioselective Epoxidation of *cis*-Alkenylsilanes”

Kazuhiro Matsumoto, Takuya Kubo, and Tsutomu Katsuki

Chem. Eur. J., **2009**, *15*, 6573-6575, 査読有

⑩ “Evidence for Pt(II)-Based Molecular Catalysis in the Thermal Reduction of Water into Molecular Hydrogen”

Kosei Yamauchi, Shigeyuki Masaoka and Ken Sakai

J. Am. Chem. Soc., **2009**, *131*, 8404-8406, 査読有

⑪ “Photo-Hydrogen-Evolving Activity of Chloro(terpyridine)platinum(II): a Single-Component Molecular Photocatalyst”

Reiko Okazaki, Shigeyuki Masaoka and Ken Sakai

Dalton Trans., **2009**, 6127-6133, 査読有

⑫ “Iron-Catalyzed Asymmetric Aerobic Oxidation: Oxidative Coupling of 2-Naphthols”

Hiromichi Egami and Tsutomu Katsuki

J. Am. Chem. Soc., **2009**, *131*, 6082-6083, 査読有

- ⑬ “Efficient Construction of α -Spirocyclopropyl Lactones: Iridium-Salen Catalyzed Asymmetric Cyclopropanation”
Masami Ichinose, Hidehiro Suematsu, and Tsutomu Katsuki
Angew. Chem. Int. Ed., **2009**, *48*, 3121-3123, 査読有
- ⑭ “Hydrogen Production from Water Catalyzed by an Air-stable Di-iron Complex with a Bio-relevant $\text{Fe}_2(\text{m-S})_2$ Core”
Toshiki Yamaguchi, Shigeyuki Masaoka and Ken Sakai
Chem. Lett., **2009**, *38*, 434-435, 査読有
- ⑮ “Clear Evidence Showing the Robustness of a Highly Active Oxygen-Evolving Mononuclear Ruthenium Complex with an Aqua Ligand”
Shigeyuki Masaoka and Ken Sakai
Chem. Lett., **2009**, *38*, 182-183, 査読有
- ⑯ “ μ -Oxo- μ - η^2 : η^2 -Peroxo Titanium Complex as a Reservoir of Active Species in Asymmetric Epoxidation Using Hydrogen Peroxide”
Shoichi Kondo, Kowichiro Saruhashi, Kenichi Seki, Koutatsu Matsubara, Katsuaki Miyaji, Takuya Kubo, Kazuhiro Matsumoto, and Tsutomu Katsuki
Angew. Chem. Int. Ed., **2008**, *47*, 10195-10198, 査読有
- ⑰ “Construction of Aryliridium-Salen Complexes: Enantio- and *Cis*-Selective Cyclopropanation of Conjugated and Non-conjugated Olefins”
Hidehiro Suematsu, Shigefumi Kanchiku, Tatsuya Uchida, and Tsutomu Katsuki
J. Am. Chem. Soc., **2008**, *130*, 10327-10337, 査読有
- ⑱ “Nb(salen)-Catalyzed Asymmetric Epoxidation of Allylic Alcohols with Hydrogen Peroxide”
Hiromichi Egami and Tsutomu Katsuki
Angew. Chem. Int. Ed., **2008**, *47*, 5171-5174, 査読有
- ⑲ “Asymmetric Simmons-Smith Reaction of Allylic Alcohols with Al Lewis Acid/N Lewis Base Bifunctional Al(Salalen) Catalyst”
Hiroaki Shitama and Tsutomu Katsuki
Angew. Chem. Int. Ed., **2008**, *47*, 2450-2453, 査読有
- ⑳ “Asymmetric oxidation of sulfides under solvent-free or highly concentrated conditions”
Kazuhiro Matsumoto, Tetsufumi Yamaguchi, and Tsutomu Katsuki
Chem. Commun., **2008**, 1704-1706, 査読有
- ㉑ “Asymmetric catalysis of metal complexes with non-planar ONNO ligands: Salen, Salalen and Salan”
Kazuhiro Matsumoto, Bunnai Saito and Tsutomu Katsuki
Chem. Commun., **2007** (35), 3619-3627, 査読有
- ㉒ “Homogeneous catalysis of platinum(II) complexes in photochemical hydrogen production from water”
Ken Sakai and Hironobu Ozawa
Coord. Chem. Rev., **2007**, *251*, 2753-2766, 査読有
- ㉓ “An Effect of Structural Modification in the Photo-hydrogen-evolving $\text{Ru}^{\text{II}}\text{Pt}^{\text{II}}$ Dimers”
Hironobu Ozawa and Ken Sakai
Chem. Lett., **2007**, *36*, 920-921, 査読有
- ㉔ “Syntheses, Characterization, and Photo-Hydrogen-Evolving Properties of Tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II) Derivatives Tethered to a *cis*-Pt(II) Cl_2 Unit: Insights into the Structure-Activity Relationship”
Hironobu Ozawa, Yuki Yokoyama, Masa-aki Haga and Ken Sakai
Dalton Trans., **2007**, 1197-1206, 査読有
- ㉕ “Fe(salen)-Catalyzed Asymmetric Oxidation of Sulfides with Hydrogen Peroxide in Water”
Hiromichi Egami and Tsutomu Katsuki
J. Am. Chem. Soc., **2007**, *129*, 8940-8941, 査読有
- ㉖ “Asymmetric Oxidation Catalysis by a Chiral Al(salalen) Complex: Highly Enantioselective Oxidation of Sulfides with Aqueous Hydrogen Peroxide”
Tetsufumi Yamaguchi, Kazuhiro Matsumoto, Bunnai Saito and Tsutomu Katsuki
Angew. Chem. Int. Ed., **2007**, *46*, 4729-4731, 査読有
- ㉗ “Titanium-Catalyzed Asymmetric Epoxidation of Non-Activated Olefins with Hydrogen Peroxide”
Yuji Sawada, Kazuhiro Matsumoto, and Tsutomu Katsuki
Angew. Chem. Int. Ed., **2007**, *46*, 4559-4561, 査読有
- ㉘ “Construction of an Aryliridium-salen Complex for Highly *Cis*- and Enantioselective

Cyclopropanations”

Shigefumi Kanchiku, Hidehiro Suematsu,
Kazuhiro Matsumoto, Tatsuya Uchida, and
Tsutomu Katsuki

Angew. Chem. Int. Ed., **2007**, *46*, 3889-3991, 査
読有

⑳ “Titanium(salan)-catalyzed Asymmetric
Epoxidation with Aqueous Hydrogen Peroxide as
Oxidant”

Yuji Sawada, Kazuhiro Matsumoto, Shoichi
Kondo, Hisayuki Watanabe, Tomoyuki Ozawa,
Kenji Suzuki, Bunnai Saito, and Tsutomu
Katsuki

Angew. Chem. Int. Ed., **2006**, *45*, 3478-3480, 査
読有

[学会発表] (計 191 件)

① “Tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II)-Based
Photo-Hydrogen-Evolving Molecular Devices
Using Platinum(II)-Based Hydrogenic
Activation”

Ken Sakai

*18th International Symposium on Photochemistry
and Photophysics of Coordination Compounds*
Gateaux Kingdom Sapporo Hotel & Spa Resort,
Sapporo, Japan, July 4-9, **2009**, 招待講演

② “Development of Atom-Efficient
Asymmetric Oxygen Atom Transfer Reaction”
Tsutomu Katsuki

10th International Symposium: Activation of
Dioxygen and Homogeneous Catalytic
Oxidation, San Servolo, Venice, Italy. 20-25
July 2008, plenary lecture.

[図書] (計 3 件)

① “Asymmetric Oxidations and Related
Reactions” Kazuhiro Matsumoto and Tsutomu
Katsuki. In "Catalytic Asymmetric Synthesis
(third edition)," ed by Ojima, I. Wiley-VCH,
New York, 2010, Chapter 11, pp. 839-890.

② 「白金(II)錯体を水素生成触媒とする単一
分子水素発生デバイスの開発」、酒井健、配
位空間の化学—最新技術と応用—(北川進監
修)、シーエムシー出版、p. 214 - 222, **2009**.

③ “Asymmetric Epoxidation of Non-Activated
Olefins” Kazuhiro Matsumoto and Tsutomu
Katsuki. *Asymmetric Synthesis -The Essentials-*
ed by S. Bräse and M. Christmann, Wiley-VCH,
Weinheim, 2007, pp. 116-120.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 光学活性エポキシ化合物の製造方法、
並びに該方法に用いる配位子、錯体、該配位
子の製造方法、及び該錯体の製造方法

発明者: 松本和弘、小熊卓也、近藤章一、栗
原一典、香月 勲

権利者: 日産化学工業株式会社および国立大
学法人九州大学

種類: 特許願

番号: 特願 2009-168885

出願年月日: 平成 21 年 7 月 17 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ:

<http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/Yuhan/main/publish/SPR.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

香月 勲 (KATSUKI TSUTOMU)

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号: 40037271

(2) 研究分担者

酒井 健 (SAKAI KEN)

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号: 30235105

内田 竜也 (UCHIDA TATSUYA)

九州大学・大学院理学研究院・助教

研究者番号: 50380564

入江 亮 (IRIE RYO)

九州大学・大学院理学研究院・助教授

研究者番号: 70243889

(H18)

(3) 連携研究者

松本和弘 (MATSUMOTO KAZUHIRO)

九州大学・大学院理学研究院・助教

研究者番号: 40512182

(H20-H21)

(4) 研究協力者

川端裕寿 (KAWABATA HIROTOSHI)

九州大学・大学院理学研究院・博士研究員

(H19)

江上寛通 (EGAMI HIROMICHI)

九州大学・大学院理学研究院・学術振興会

特別研究員

(H20)

末松英浩 (SUEMATSU HIDEHIRO)

九州大学・大学院理学研究院・学術振興会

特別研究員

(H19-H21)