

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 21 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510262

研究課題名(和文)有機電気化学的手法を活用する有用生物活性物質の創製研究

研究課題名(英文)Synthesis of biologically important molecules by means of electrochemical procedures

研究代表者

西山 繁(Nishiyama, Shigeru)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号：20137988

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：環境に負荷のかからない有機電気化学の方法論により、有用な生物活性物質の合成を行った。すなわち、含ホウ素ダイヤモンド電極をメタノール中陽極として用いた場合においてメトキシラジカルが反応活性種として発生することを明らかにし、有用な化合物の合成に適用した。さらに、同電極により還元反応を行って新規ネオリグナンの合成を行った。また、連続して電極反応を行うことにより活性物質の重要な部分構造を合成するとともに、電解酸を活用した新しいオルソエステルのグリコシル化反応を見出した。以上のように電気エネルギーを駆使した新しい物質合成の方法論を開発した。

研究成果の概要(英文)：A new synthetic methodology provided biologically important organic molecules by using environmentally benign electroorganic chemistry. Active species of anodic oxidation in methanol solvent employing the boron-doped diamond electrode, was determined to be a methoxy radical, and application of this electrode to organic synthesis produced several new molecules involving new-type neolignans. In addition, the core diary ether moiety of several bioactive substances was synthesized by successive electrochemical reactions. A new glycosidation was developed by reactions of extremely stable sugar orthoesters with appropriate aglycons in the presence of electrogenerated acid. As mentioned above, new synthetic procedures using electric energy have been proposed.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：生物分子科学・生物分子科学

キーワード：陽極酸化 陰極還元 有機電気化学 ダイヤモンド電極 超原子価ヨウ素 メトキシラジカル 生物活性物質 電解酸

## 1. 研究開始当初の背景

近年、様々な感染症に対する有効な化学療法剤が開発されてきた。それらの中で、耐性菌による代表的な院内感染症として知られる MRSA に対する最強の化学療法剤として、グリコペプチド抗生物質バンコマイシンが知られている。この抗生物質の活性の発現は、ジアリールエーテルによって結合した複数のベンゼン環により保持された分子中のペプチドの立体化学に起因している。従って、バンコマイシン関連物質の合成においては、ジアリールエーテルの構築が鍵反応となり報告者が独自に開発した生合成類似タリウム(III)酸化法は、一般的なジアリールエーテル構築法の一つとして認知されてきた。通常、ジアリールエーテルの構築は Ullmann 反応等をはじめとして有機金属試薬の特性を引き出すために基質に特殊な官能基を配置するなど天然のアミノ酸などの基質に様々な修飾を行う必要上、場合によっては独自に適切な官能基を有する基質を合成しなければならず、煩雑な工程を必要とすることが多い。これに対し本研究は、アミノ酸基質に簡便なハロゲン化反応を施し、タリウムにより一挙に環構造を構築できる点に特長がある。しかし、このタリウム酸化は化学量論量の有毒酸化試薬を必要とする問題点を残している。一方、平行して有機電極反応によるフェノール酸化を開発してきた。この方法は上記のタリウム酸化とは異なり、1電子酸化反応による二量化あるいは2電子酸化によるスピロ化合物の合成に適していることを見出し、化学的および電気化学的手法を駆使したフェノール酸化反応を鍵として一連の陸産・海産天然物の全合成研究を展開してきた。

## 2. 研究の目的

上述のようにタリウム酸化法等は優れた生合成経路類似反応であるが、化学量論量の有毒酸化試薬を必要とするため、生物活性評価に供する試料の合成法として改良の余地がある。従って、本研究では有毒酸化試薬の触媒化など、合成の安全性を念頭に置いたクリーンな有機電極反応と化学合成をジョイントさせた方法論による天然・非天然生物活性物質の創製を目指すこととする。さらに、合成された化合物のライブラリー構築を目指す。この電気エネルギーによるクリーンな合成の方法論を確立していく一環として、多様性に富んだ生物活性が期待されるアルカロイド類の基本骨格の構築を試みるものとする。すなわち、電気化学的に発生させた超原子価ヨウ素によるアミド基の酸化を行い、これを同一基質中の芳香環に求電子付加させることで環構造を構築する。これを基軸として、新規な生物活性を有する天然・非天然型アルカロイド類の合成を行うものとする。

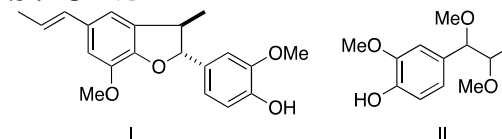
以上のように、抗 MRSA 活性を含む抗菌活性にのみ留まらず、酵素阻害活性など広範

困な生物活性発現の重要な要因として低分子量有機化合物が、格好の合成標的として多くの研究が世界規模でなされているが、通常有毒試薬を多用するなど実用性に難点が見受けられる。本研究は、クリーンな電気エネルギーを駆使する有機電気化学の手法を鍵反応として活用し、さらに固相反応あるいはフローセル法など大量合成にも適応できる方法論をも合わせ持つ環境低負荷型の化学合成を指標としている。化学的には有効でも強力な毒性に問題のある反応試薬を通常の反応では酸化・還元反応試剤で触媒サイクルを回すのに対し、電極反応を活用することで有害な化学廃棄物を低減する点に特長がある。特に、有機電気化学と生物活性を密接に関連させた研究は非常に少ないため、人類の福祉への貢献を目指して、効果的な化学療法剤のリードとなる生物活性物質の創製研究を強力に推進させることを目的としている。

## 3, 4. 研究の方法 研究成果

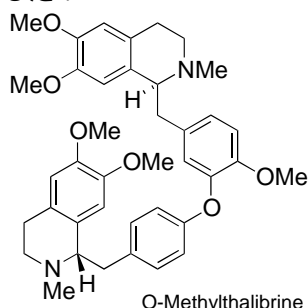
本研究における成果を以下に列挙する。

**BDD 電極によるフェノール酸化反応**。ホウ素ドープダイヤモンド電極(BDD)を電極として、メタノール中で陽極酸化を行うとメトキシラジカルが反応活性種として存在することが予想されてきた。本研究で電解反応液の ESR スペクトルを測定することでラジカルの存在を初めて実証することができた。特に、メトキシラジカルは BDD 電極を用いたときに多く発生するのに対し、白金電極では弱くグラッシーカーボン電極ではほとんど観測されなかった。実験的にはシグナル伝達系に作用物質の合成研究において、ハイドロキノンのエーテル誘導体をメタノール中 BDD 電極あるいは白金電極を用いて陽極酸化を行うとジアセタールが生成するのに対し、グラッシーカーボン電極ではベンジル位が酸化されたアルデヒド体が生成することを見出した。つづいて、イソオイゲノールの BDD 電極による陽極酸化を行い、従来のグラッシーカーボンより良好な収率で天然に産するリカリン A(I)の合成を行うことができた。さらに、マイクロフローセル方式を用いて、メトキシラジカルとの接触を多くすると化合物 II が定量的に得られることが明らかになった。

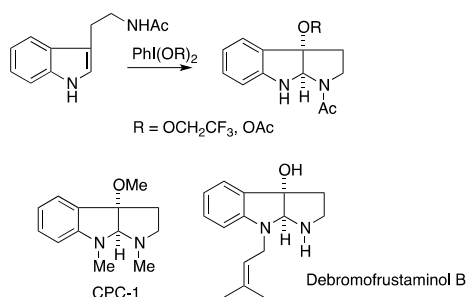


**光学活性 O-メチルタリブリンの合成**。4-ヒドロキシフェニル酢酸メチルエステルより、連続4段階(1. 電解ハロゲン化, 2. 電解酸化, 3. 電解還元, 4. 電解脱ハロゲン化)の電気化学的手法でジアリールエーテルを合成した後、光学活性補助基を活用した不斉 Bischler-Napieralski 反応を行い、遠隔な位

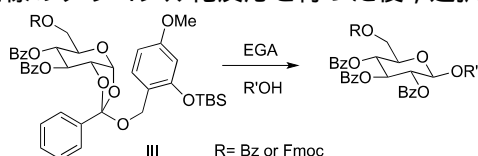
置に存在する2カ所の不斉中心を同時に構築しつつ光学活性 O-メチルトリブリンの合成に成功した。



**ピロロインドール類の合成**．電気化学的に発生させた超原子価ヨウ素試薬  $\text{PhI}(\text{OCH}_2\text{CF}_3)_2$  の反応性を調べるために、ピロロインドール関連化合物の合成を行った。すなわち、一級アミノ基をアシル基で保護したトリプタミンは、インドールの1位を含めて、2カ所の環境の異なる窒素官能基を有する。このような化合物を基質として酸化反応条件を検討した結果、一級アミノ基がインドールの2位に攻撃し、3位に求核剤（電気化学的手法の場合はトリフルオロエチル基）が導入されたピロロインドール環が生成することが判明した。天然物の合成を行うために PIFA を用いて環化反応を行った後、窒素官能基を修飾することにより CPC-1 (*Chimonanthus praecox* f. の成分) と デブロモフルスタミノール B (*Flustrafoliacea* L. 由来の海産アルカロイド) の合成に成功した。

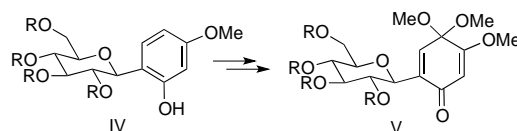


**電解酸 (EGA) を活用した糖オルソエステルグリコシル化反応**．臭素化糖より合成されるオルソエステル誘導体 (III) はきわめて安定であり、クロマトグラフィーを含む通常の後処理操作を行うことが出来る。この化合物を、支持塩として過塩素酸塩を用いたシクロヘキサノールの陽極酸化反応によって得られる電解酸 (無水過塩素酸) の存在下にアルコールと反応させると相当するグリコシド誘導体を得ることが出来た。また、6位に Fmoc 基を有するオルソエステルについても、同様のグリコシル化反応を行った後、選択的

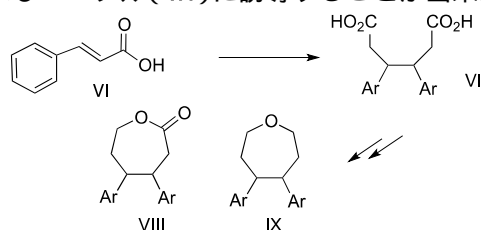


に6位保護基を除去して得られる誘導体をアグリコンとして糖鎖を延長させることが出来た。

**糖の不斉場を活用する合成反応の開発**．糖の不斉を他に転写する試みとして、フェニルグリコシドについて、O-Cグリコシドの転位を行い、C-グリコシド (IV) を合成した。この化合物をメタノール中 BDD 電極により酸化し、ジエノン誘導体 (V) とした後、選択的接触還元を行ったところ、溶媒に依存して選択性が異なり、最高 99:1 までジアステレオ選択性を上げることが出来た。さらに、立体選択性を理論計算より見積もることが出来た。



**BDD 電極を活用する陰極還元と新ネオリグナンの合成**．BDD 電極は、炭素の  $\text{sp}^3$  性に伴う安定性と低いバックグラウンド電流など、様々な利点があるにも関わらず、有機化合物への活用はあまり実施されていなかった。そのような状況において、BDD 電極を陰極とした場合の特性を引き出すために桂皮酸誘導体 (VI) について還元反応を精査した結果、ベンジル位間でのカップリング生成物 (VII) を得ることができた。本化合物は、閉環反応に付すことにより、7員環ラクトン (VIII) およびエーテル (IX) に誘導することが出来た。



## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計16件, 査読有り)

- Glycosylation of a newly functionalized orthoester derivative. K. Kawa, T. Saitoh, E. Kaji, S. Nishiyama, *Molecules*, **19**, 2602-2611 (2014).
- Development of glycosylation using the glucopyranose 1,2-ortho-benzoate under electrochemical conditions. K. Kawa, T. Saitoh, E. Kaji, S. Nishiyama, *Organic Letters*, **15**, 5484-5487 (2013).
- Synthesis of (+)-O-methylthalibrine employing a stereocontrolled Bischler-Napieralski reaction and an electrochemically generated diaryl ether. Y. Kawabata, Y. Naito, T. Saitoh, K. Kawa, T. Fuchigami, S. Nishiyama, *European Journal*

- of *Organic Chemistry*, **2014**, 99 – 104.
- Application of electrochemically generated hypervalent iodine oxidant to natural products synthesis. D. Kajiyama, T. Saitoh, S. Nishiyama, *Electrochemistry*, **81**, 319-324 (2013).
  - Catalytic electrochemical C-H iodination and one-pot arylation by on/off switching of electric current. H. Aiso, T. Kochi, H. Mutsutani, T. Tanabe, S. Nishiyama, F. Kakiuchi, *Journal of Organic Chemistry*, **77**, 7718-7724 (2012).
  - Oxidative cyclization reactions of tryptamine utilizing hyper-valent iodobenzene in routes for pyrroloindole alkaloid synthesis. D. Kajiyama, T. Saitoh, S. Yamaguchi, S. Nishiyama, *Synthesis*, **44**, 1667-1671 (2012).
  - Anodic oxidation on a boron-doped diamond electrode mediated by methoxy radicals. T. Sumi, T. Saitoh, K. Natsui, T. Yamamoto, M. Atobe, Y. Einaga, S. Nishiyama, *Angewde Chemie International Edition English*, **51**, 5443-5446 (2012).

[学会発表](計63件)

- T. Kojima, K. Natsui, T. Yamamoto, Y. Einaga, S. Nishiyama. Cathodic reduction on a boron-doped diamond electrodes. International Symposium on Diamond Electrochemistry. Yokohama, March 18, 2014.
- K. Kawa, T. Saitoh, S. Nishiyama. Glycosylation of a sugar orthoester under electrochemical conditions. The 4<sup>th</sup> German-Japanese Symposium on Electrosynthesis (GJSE-4). Kyoto, December 2, 2013.
- 西山 繁. 電気化学を活用する有機合成. 第66回有機合成化学協会関東支部シンポジウム(東工大シンポジウム). 東京, 2013年11月30日
- S. Nishiyama. Natural products synthesis by using electroorganic chemistry. ISOR-11. Taipei, November 19-22, 2013.
- K. Kawa, T. Saitoh, E. Kaji, S. Nishiyama. Development of electrochemical glycosylation using the glucopyranose 1,2-ortho-benzoate. ISOR-11. Taipei, November 19-22, 2013.
- S. Yajima, T. Saito, Y. Einaga, S. Nishiyama. Anodic oxidation of sugar derivatives and asymmetric induction using sugars as chiral templates. ISOR-11. Taipei, November 19-22, 2013.
- K. Kawa, T. Saitoh, S. Nishiyama. Glycosylation of a novel sugar orthoester under electrochemical conditions. 9th Keio LCC-Yonsei CBMH Joint Symposium. Seoul, October 25-26, 2013.
- K. Kawa, T. Saitoh, E. Kaji, S. Nishiyama.

- Development of regioselective electrochemical glycosylation oriented natural products synthesis. PRiME 2012. Honolulu, October 7-12, 2012.
- T. Sumi, T. Saitoh, K. Natsui, T. Yamamoto, M. Atobe, Y. Einaga, S. Nishiyama. Application of methoxy radical generation on a boron-doped diamond electrode. PRiME 2012. Honolulu, October 7-12, 2012.
  - D. Kajiyama, T. Saitoh, S. Yamaguchi, S. Nishiyama. Synthesis of alkaloid skeletons using the hyper-valent iodobenzene oxidant. PRiME 2012. Honolulu, October 7-12, 2012.
  - Y. Kawabata, Y. Naito, T. Saitoh, Y. Ishikawa, S. Nishiyama. Synthetic study of O-methyltalibrine using anodic oxidation. PRiME 2012. Honolulu, October 7-12, 2012.
  - 矢嶋彩希, 河 皓平, 齋藤 毅, 栄長泰明, 西山 繁. 糖誘導体の電解反応および不斉炭素構築に関する合成化学的研究. 2013年電気化学秋季大会 東京, 2013年9月27日.
  - 河 皓平, 齋藤 毅, 梶 英輔, 西山 繁. ベンジルグリコシド誘導体を活用した電解グリコシル化反応の開発. 第55回天然有機化合物討論会. 京都, 2013年9月18日.
  - 西山 繁. 電気化学を活用する有機合成. 理研シンポジウム: 第8回有機合成化学のフロンティア JST-ERATO シンポジウム: 生細胞分子化学. 2013年7月5日.
  - 河 皓平, 齋藤 毅, 梶 英輔, 西山 繁. ベンジルグリコシド誘導体を活用した電解グリコシル化反応の開発. 第37回有機電子移動化学討論会. 岡山, 2013年6月20~21日.
  - 矢嶋彩希, 河 皓平, 齋藤 毅, 西山 繁. 糖誘導体の電解反応および不斉炭素構築に関する合成化学的研究. 第37回有機電子移動化学討論会. 岡山, 2013年6月20~21日.
  - 西山 繁. 有機・電気化学との出会い. 第9回有機電子移動化学若手の会. 倉敷下電ホテル, 2013年6月21~22日.
  - 西山 繁. 有機電気化学を活用する天然有機化合物の合成. 2013年電気化学会第80回大会. 仙台, 2013年3月29日.
  - 河 皓平, 齋藤 毅, 梶 英輔, 西山 繁. ベンジルグリコシド誘導体を活用した電解グリコシル化反応の開発. 2013年電気化学会第80回大会. 仙台, 2013年3月30日.
  - 矢嶋彩希, 齋藤 毅, 河 皓平, 西山 繁. 糖誘導体の電解反応および不斉炭素構

- 築に関する合成化学的研究 . 日本化学会第 93 春季年会 . 草津 , 2013 年 3 月 22 日 .
21. S. Nishiyama. Electroorganic chemistry as a synthetic tool of biologically important molecules. The First Mini-Symposium Between Keio University and National Tsing Hua University. Hsinchu Taiwan, February 23-24, 2013.
  22. 西山 繁. 電気エネルギーを活用する環境低負荷型物質生産法の開発 . 第 1 回慶應義塾大学戦略的研究基盤形成支援事業シンポジウム グリーンイノベーションのための分子ナノテクノロジー-拠点形成-. 横浜 2012 年 12 月 15 日 .
  23. 矢嶋彩希, 齊藤 毅, 西山 繁. 糖誘導体を活用した不斉炭素構築法に関する合成化学的研究 GlycoTOKYO2012 シンポジウム . 東京 , 2012 年 11 月 17 日 .
  24. 河 皓平, 齊藤 毅, 西山 繁. 天然物合成を指向した新規電解グリコシル化反応の開発 . GlycoTOKYO2012 シンポジウム . 東京 , 2012 年 11 月 17 日 .
  25. Y. Kawabata, Y. Naito, T. Saitoh, S. Nishiyama. Synthesis of O-methylthalibrine using electrochemical dimerization of the dihalogenated phenol derivative. 8th Keio LCC-Yonsei CBMH Joint Symposium. Sapporo, October 26-27, 2012.
  26. 梶山大地, 齊藤 毅, 井上桂輔, 山口智史, 石川裕一, 西山 繁. 超原子価ヨウ素試薬を活用した含窒素化合物の合成研究 . 第 54 回天然有機化合物討論会 . 東京 , 2012 年 9 月 18 日 .
  27. Y. Kawabata, Y. Naito, T. Saitoh, S. Nishiyama. Synthesis of O-methylthalibrine using electrochemical dimerization of the dihalogenated phenol derivative. 3<sup>rd</sup> German-Japanese Symposium on Electrosynthesis, Mainz Germany. August 16-18, 2012.
  28. K. Kawa, T. Saitoh, E. Kaji, S. Nishiyama. Development of electrochemical glycosylation oriented natural products synthesis. 3<sup>rd</sup> German-Japanese Symposium on Electrosynthesis, Mainz Germany. August 16-18, 2012.
  29. D. Kajiyama, T. Saitoh, S. Yamaguchi S. Nishiyama. Synthesis of alkaloid-skeletons using the hyper-valent iodobenzoene oxidant. 3<sup>rd</sup> German-Japanese Symposium on Electrosynthesis, Mainz Germany. August 16-18, 2012.
  30. T. Sumi, T. Saitoh, K. Natsui, T. Yamamoto, M. Atobe, Y. Einaga, S. Nishiyama. Anodic oxidation on a boron-doped diamond electrode. 3<sup>rd</sup> German-Japanese Symposium on Electrosynthesis, Mainz Germany. August 16-18, 2012.
  31. 角 武法, 齊藤 毅, 夏井敬介, 山本崇史, 跡部真人, 栄長泰明, 西山 繁. BDD 電極を用いたマイクロフロー型セルによる生物活性物質の合成研究 . 第 36 回有機電子移動化学討論会 . 府中 , 2012 年 6 月 21 マイナス 21 ~ 22 日 .
  32. 角 武法, 齊藤 毅, 夏井敬介, 山本崇史, 跡部真人, 栄長泰明, 西山 繁. BDD 電極を用いた陽極酸化反応による生物活性物質の合成研究 . 新規素材研究会第 11 回セミナー . 横浜 , 2012 年 6 月 8 日 .
  33. 梶山大地, 齊藤 毅, 山口智史, 西山 繁. 超原子価ヨウ素試薬を活用した含窒素化合物の合成研究 . 新規素材研究会第 11 回セミナー . 横浜 , 2012 年 6 月 8 日 .
  34. 矢嶋彩希, 河 皓平, 齊藤 毅, 西山 繁. 糖誘導体を活用した不斉炭素構築に関する合成化学的研究 . 新規素材研究会第 11 回セミナー . 横浜 , 2012 年 6 月 8 日 .
  35. 齊藤 毅, 角 武法, 西山 繁. 有機電気化学的手法を活用した生物活性化合物の合成 . 2012 年電気化学会第 79 回大会 . 浜松 , 2012 年 3 月 30 日 .
  36. T. Saitoh, S. Nishiyama. The application of firefly bioluminescence, how to tune the emission color. 7th Keio LCC-Yonsei CBMH Joint Symposium. Jeju Korea, October 28-29, 2011.
  37. D. Kajiyama, K. Inoue, T. Saitoh, Y. Ishikawa, S. Nishiyama. Synthesis of alkaloids skeletons using electrochemical methodology. The 62nd ISE Meeting, Niigata, Japan. September 10-11, 2011.
  38. Y. Kawabata, Y. Naito, T. Saitoh, Y. Ishikawa, S. Nishiyama. The synthetic study of O-methylthalibrine using anodic oxidation. The 62nd ISE Meeting, Niigata, Japan. September 10-11, 2011. Poster Award.
  39. T. Sumi, K. Natsui, T. Saitoh, T. Yamamoto, Y. Ishikawa, Y. Einaga, S. Nishiyama. Synthetic study of bioactive natural products by means of anodic oxidation using BDD electrode. The 62nd ISE Meeting. Niigata, September 10-11, 2011.
  40. 角 武法, 夏井敬介, 山本崇史, 齊藤 毅, 栄長泰明, 西山 繁. BDD 電極を用いた陽極酸化反応による生物活性物質の合成研究 . 2011 年電気化学秋季大会 . 新潟 , 2011 年 9 月 9 日 .
  41. 松井香織, 齊藤 毅, 小神野孝尚, 西山 繁. 海洋生物由来含臭素天然物の合成 . 2011 年電気化学秋季大会 . 新潟 , 2011 年 9 月 9 日 .
  42. 川端有紀, 内藤 雄, 齊藤 毅, 石川裕一, 西山 繁. 陽極酸化法を鍵段階とし

- た光学活性 O-methylthalibrine の合成研究 . 2011年電気化学秋季大会 . 新潟 , 2011年9月9日 .
43. 柏木恒雄, 雨宮史尋, 淵上寿雄, 西山 繁, 跡部真人 . 電気マイクロリアクターを用いる光触媒反応に類似した連続的レドックス反応システムの開発 . 2011年電気化学秋季大会 . 新潟 , 2011年9月9日 .
44. 平間さおり, 宇野加奈子, 斉藤 毅, 西山 繁 . 陽極酸化法を用いたアセロゲニン類の合成研究 . 第35回有機電子移動化学討論会 . 福岡 , 2011年6月 .
45. 柏木恒雄, 雨宮史尋, 柿崎慶喜, 淵上寿雄, 西山 繁, 跡部真人 . マイクロリアクターを利用する有機電解合成 . 第35回有機電子移動化学討論会 . 福岡 , 2011年6月 .
46. 梶山大地, 石川裕一, 斉藤 毅, 西山 繁 . 有機電極反応を活用した新規アルカロイド骨格構築法の開発 . 第35回有機電子移動化学討論会 . 福岡 , 2011年6月 .
47. 川端有紀, 内藤 雄, 斉藤 毅, 石川裕一, 西山 繁 . 陽極酸化法を鍵段階とした O-methylthalibrine の合成研究 . 第35回有機電子移動化学討論会 . 福岡 , 2011年6月 .
48. 角 武法, 斉藤 毅, 夏井敬介, 山本崇史, 石川裕一, 栄長泰明, 西山 繁 . BDD 電極を用いた陽極酸化反応による生物活性天然物の合成研究 . 第35回有機電子移動化学討論会 . 福岡 , 2011年6月 .
49. 松井香織, 斉藤 毅, 西山 繁 . 光学活性なスピロイソキサゾリン類の合成研究 . 新規素材研究会第10回セミナー . 横浜 , 2011年6月10日 .
50. 平間さおり, 小川 裕, 斉藤 毅, 実光讓, 西山 繁 . 除草活性を有する新規含窒素複素環化合物の合成研究 . 新規素材研究会第10回セミナー . 横浜 , 2011年6月10日 .
51. T. Sumi, T. Saitoh, K. Natsui, T. Yamamoto, Y. Ishikawa, Y. Einaga, S. Nishiyama. Synthetic study of neolignans by anodic oxidation using BDD electrode. International Conference on New Diamond and Nano Carbons 2011. Matsue, May 18, 2011.

〔図書〕(計4件)

1. Electrochemical functional transformation. S. Nishiyama. In Encyclopedia of Applied Electrochemistry, Springer. 印刷中
2. 有機電解合成 . 西山 繁, 未来を拓く元素戦略, CSJ カレントレビュー11, 日本化学会編, 化学同人, 62-67 (2013).
3. ダイヤモンド電極を用いた環境低負荷型有機電解反応. 斉藤 毅, 角 武法,

西山 繁, 栄長泰明, ニューダイヤモンド107, 20-23 (2012).

〔産業財産権〕  
出願状況(計1件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西山 繁 (NISHIYAMA SHIGERU)  
慶應義塾大学・名誉教授  
研究者番号: 20137988

(2) 研究分担者

該当なし)

(3) 連携研究者

該当なし