

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25410115

研究課題名(和文)電気学的手法に基づくオリゴ糖自動合成装置の開発

研究課題名(英文)Development of an Automated Synthesizer of Oligosaccharides Based on the Electrochemical Method

研究代表者

野上 敏材 (Nokami, Toshiki)

鳥取大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60402963

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では生物活性などを有する有用なオリゴ糖を効率的に合成する目的で、電気化学的な手法に基づくオリゴ糖自動合成装置を開発した。本研究で糖鎖ビルディングブロックとして用いたチオグリコシドは化学的に安定であるため取り扱い易く、合成も比較的容易である。また、本装置は液相合成法であるため合成のスケールアップや反応追跡が容易であり、装置自体も安価に構築出来ることから将来的な普及にも期待が十分に出来る。

研究成果の概要(英文)：To synthesize biologically active oligosaccharide efficiently, we have developed an automated synthesizer for oligosaccharide based on electrochemical method. Carbohydrate building blocks used in this study were stable, easy to handle, and easy to prepare. It is also easy to perform large-scale synthesis and analyze the reactions, because the method is based on solution-phase synthesis. We expect that the synthesizer can be a popular edition of an automated oligosaccharide synthesizer, which is available in reasonable price.

研究分野：有機合成化学

キーワード：糖鎖 自動合成 有機化学 電解合成

### 1. 研究開始当初の背景

本研究の目的は電気化学的手法に基づく糖鎖の自動合成装置の原理検証と基盤技術の確立であり、本研究期間内(平成 25 年から 27 年までの 3 年間)において装置を用いた生物活性糖鎖の合成までを実施する計画であった。また、本研究はこれまで進捗の乏しかった、有機合成化学における合成反応自動化の一端を担うものであり、真に実用的な自動合成装置の開発を目指した。なお、オリゴ糖の迅速かつ自在な合成が可能になれば、複合糖質の機能解明や生物活性糖鎖の創出、新規機能性糖鎖の開発など幅広い研究分野への波及効果が期待出来る。従って、糖鎖の自動合成装置は合成反応自動化において開発の優先順位が最も高く、その基盤となるグリコシル化反応の効率化が鍵となっていた。

糖鎖の自動合成装置としては、化学法に基づく Seeberger らのペプチドシンセサイザーを改良した装置(*Science* 2001, 291, p1523)や酵素法に基づく西村らの「GolgiTM」(*J. Am. Chem. Soc.* 2005, p11804)などがあるが、いずれの自動合成装置も現段階では普及には至っていない。最近では、同じく Seeberger が様々なオリゴ糖合成に適用可能な第二世代の自動合成装置を完成させており(*Chem. Sci.* 2012, p1617)、Demchenko らのグループも独立に HPLC を改造した反応のモニタリングが可能な自動合成装置を開発している(*Org. Lett.* 2012, p3036)。それぞれの装置が汎用性あるいは実用性と言う観点から大きな進歩を遂げているが、固相合成に基づいている点、長期保存が難しいトリクロロアセトイミデート糖を糖供与体に用いている点などに課題を残しており、実用的かつ汎用性の高い装置が待たれる状況にあった。

有機合成化学的手法による糖鎖合成における問題点として 時間がかかる、熟練を要する、スケールアップが難しい(固相合成は特に難しく、液相合成でも収率が反応スケールの影響を受けることは多い)という 3 つが挙げられる。これまでもオリゴ糖骨格の構築の効率化を目指して Schuerch らによる研究以降(*J. Am. Chem. Soc.* 1971, p492)、固相合成を利用したオリゴ糖合成が、多数報告されている。しかしながら、基質の固相担体への導入や切り出し、固相上の基質の低い反応性のため糖供与体を大過剰用いてグリコシル化反応を行う必要があるなど、固相合成がオリゴ糖合成の効率化に結びついていないとは言い難い。また、収率の高い液相でのグリコシル化反応であったとしても、反応性の

低い中間体を用いるとグリコシル化反応に時間がかかる。また、各段階での単離精製を行うと一つのグリコシド結合の形成に丸一日以上要する場合もある。

### 2. 研究の目的

本研究の最終目標は安価で、取扱いとスケールアップが容易な糖鎖の自動合成装置の開発であり、そのための基本的反応と自動化手法の確立が本研究の目的である。先にも述べたように、これまでも糖鎖の自動合成装置はいくつかのグループによって開発されているが、普及には至っていない。従来の装置は化学法によるグリコシル化反応と固相法とを組み合わせた合成プロセスを機械的に自動化したに過ぎなかった。一方、我々は電気化学的なグリコシル化反応とワンポットでの液相合成法とを組み合わせ、合成プロセスの効率化を実現した上で糖鎖の自動合成装置を開発しようとしており、装置自体の簡略化に伴う信頼性の向上やコストの低減が見込める点でアドバンテージがある。

### 3. 研究の方法

以上のような背景を踏まえ、我々はグリコシル化反応自体を効率化しなければ、オリゴ糖骨格の構築は迅速化出来ないと考え、液相ワンポット合成(モデル反応)の原理検証を行う自動合成装置を開発する基質の拡張と生物活性糖鎖の合成を行うことを検討項目とした。

これまでに我々はグルコサミンから誘導したチオグリコシドから、対応するグリコシルトリフラートが定量的に発生・蓄積出来ることも見出している(*Chem. Eur. J.* 2009, p2252 他)。アミノ糖は生物活性糖鎖の多くに含まれ、グルコサミンのみで構成されるポリグルコサミンも黄色ブドウ球菌などが形成するバイオフィルムの構成成分として知られている。そこで、グルコサミンを含むオリゴ糖を中心に糖鎖伸長とグリコシド結合の立体選択性制御を行い、ならびにヘキソースやシアル酸などへの基質拡張を検討し、いくつかの生物活性糖鎖の合成をデモンストレーションする。

#### 1. モデル反応による原理検証(平成 25 年 4 月~平成 26 年 3 月)

オリゴグルコサミンのワンポット合成をモデル反応として、電気化学的なチオグリコシドの活性化とグリコシル化反応の温度・時間の最適化を行い、原理検証する。

## 2. 自動合成装置の開発（平成 25 年 4 月～平成 27 年 9 月）

温度制御装置、直流電源、シリンジポンプから構成される自動合成装置を PC によって制御し、プログラムに従って、モデル反応を忠実に再現できる装置を開発する。

## 3. 基質の拡張と生物活性糖鎖の合成（平成 26 年 4 月～）

アミノ糖を足掛かりとして、保護基の異なるアミノ糖やグルコシドやマンノシドといったヘキソースへと基質を拡張し、生物活性糖鎖の合成によって装置の有用性を実証する。

## 4. 研究成果

### 平成25年度

我々はグルコサミンから誘導したチオグリコシドが電気化学的手法によって対応するグリコシルトリフラートへと定量的に変換可能であることを見出していた(*Org. Lett.* 2011, p1544)。このグリコシルトリフラートはアノマー位にアリアルチオ基を有する糖受容体（糖ビルディングブロック）との反応によって二糖のチオグリコシドを与え、さらにこの二糖も電気化学的に活性化が可能であることが分かっていた。そこで、この合成スキームを繰り返すことで、オリゴ糖が合成可能であり、原理的にはワンポットでの多段階のグリコシル化反応も可能であると考えられた。まず我々は予備的な検討として、ワンポットでの活性化ーグリコシル化反応を2回繰り返して三糖合成を行い、原理検証を実施した。この時通電量と糖受容体については厳密に化学量論量として、過剰通電により反応系中に酸化能を有する化学種が蓄積したり、過剰な糖受容体が残存したりするのを避けた。原理検証は初年度の平成25年度内に終了し、この間にグリコシルトリフラート中間体の安定性に基づくグリコシル化反応の温度・時間の最適化を行い、装置開発や生物活性糖鎖合成に必要な情報を十分に集めた。

本研究に着手して間もなく、我々は電解反応の自動化を目的として下記に示すような自動合成装置の初号機を作成し、電気化学的手法に基づく自動合成装置の実証試験を開始した。



自動合成装置初号機

初号機は 電解セル 極低温反応装置（バス、スターラー付） シーケンサー 直流安定電源 シリンジポンプの大きく5つのデバイスで構成されている。この装置では単一の繰り返し構造を有する糖鎖しか合成出来なかったが、その装置構成は極めて単純であり、信頼性も高い。装置全体を制御するシーケンサーはプログラムによって決まった通電時間、反応剤（糖受容体）の投入時間、反応温度・時間で反応を繰り返して行うようになっているが、初号機では制御出来るパラメータが少ないため、拡張性や汎用性が乏しかった。より複雑なオリゴ糖を自在に合成するためには、複数の糖ビルディングブロックを任意の順番で導入出来るよう、複数のシリンジポンプとこれらを制御するための拡張性の高い制御システムが不可欠である。そこで、初号機の完成とほぼ同時に、システム開発ソフト「LabVIEW™」を利用してオリゴ糖合成プロセスのプログラムを作成し、PCによって制御ユニットを介して各装置を制御する方式へと改良を進めた。



自動合成装置一号機

### 平成26年度

モデル反応を忠実に自動合成装置で再現した上で、電解グリコシル化反応の標準的な条件として、活性化（通電）とグリコシル化反応にそれぞれ1時間程度要しているため、グリコシド結合を一つ形成するプロセスを1サイクルとして、1サイクル1時間半を目安にして、オリゴ糖合成の迅速化を図った（通電量を最大 24 mA にまで増やし、活性化段階

を短縮)。

### 基質拡張と生物活性糖鎖の合成

天然に存在するオリゴグルコサミンは窒素上がアセチル化されているものばかりではなく、一部脱アセチル化されていたり、イミド化されていたり多様性に富んでいる。従って、このような部分構造の違いが生物活性に与える影響を明らかにするためには、構造を制御して化学合成することが不可欠である。そこで、フタルイミド基とは異なる窒素上置換基を有する糖ビルディングブロックを用いて電解グリコシル化反応を行い、多様なオリゴグルコサミンを自動合成することにした。具体的には2位にアジド基を有する糖鎖ビルディングブロックを用いた。

### 平成27年度

アミノ糖についてはグリコシルトリフラート中間体からのグリコシル化反応は一般的なフタロイル基によって立体化学の制御が可能であるが、ヘキソースについては山子らの開発した特殊なリン酸エステル保護基が知られているのみであった(*Angew. Chem. Int. Ed.* **2006**, p7575)。そこで、一般的な保護基であり、糖鎖ビルディングブロックの反応性を損なわないベンジル基を用いても高い選択性を発現する反応条件を探索した。その結果、二種類の支持電解質を混合した場合に、選択性が向上することを見出した。

### 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 11 件)

- (1) The  $\beta$ -Silyl Effect on the Memory of Chirality in Friedel-Crafts Alkylation Using Chiral  $\alpha$ -Aryl Alcohols. T. Nokami, Y. Yamane, S. Oshitani, J. Kobayashi, S. Matsui, T. Nishihara, H. Uno, S. Hayase, T. Itoh, *Org. Lett.* (査読有) 17 巻、3182-3185 ページ、2015 年
- (2) Automated Electrochemical Assembly of the Protected Potential TMG-chitotriomycin Precursor Based on Rational Optimization of the Carbohydrate Building Block. T. Nokami, Y. Isoda, N. Sasaki, A. Takaiso, S. Hayase, T. Itoh, R. Hayashi, A. Shimizu, J. Yoshida, *Org. Lett.* (査読有) 17 巻、1525-1528 ページ、2015 年
- (3) Switching the Reaction Pathways of Electrochemically Generated  $\alpha$ -Haloalkoxysulfonium Ions. Synthesis of

Halohydrins and Epoxides. A. Shimizu, R. Hayashi, Y. Ashikari, T. Nokami, J. Yoshida, *Beilstein J. Org. Chem.* (査読有) 11 巻、242-248 ページ、2015 年

(4) 進歩し続けるグリコシル化反応とオリゴ糖合成、野上敏材、有機合成化学協会誌、(査読有) 72 巻、797-807 ページ、2014 年

(5) Continuous Flow Synthesis of Ionic Liquids Equipped with 2-Methoxyethoxymethyl/Methoxymethyl Groups Using a Simple Microreactor System. T. Nokami, K. Matsumoto, T.-a. Itoh, Y. Fukaya, T. Itoh, *Org. Process Res. Dev.* (査読有) 18 巻、1367-1371 ページ、2014 年

(6) Synthesis of gem-Difluoromethylene Building Blocks through Regioselective Allylation of gem-Difluorocyclopropanes. D. Munemori, K. Narita, T. Nokami, T. Itoh, *Org. Lett.* (査読有) 16 巻、2638-2641 ページ、2014 年

(7) Redox Active Dendronized Polystyrenes Equipped with Peripheral Triarylamines. T. Nokami, N. Musya, T. Morofuji, K. Takeda, M. Takumi, A. Shimizu, J. Yoshida, *Beilstein J. Org. Chem.* (査読有) 10 巻、3097-3103 ページ、2014 年

(8) Effect of Cation Structure of Ionic Liquids on Anode Properties of Si Electrodes for LIB. M. Shimizu, H. Usui, K. Matsumoto, T. Nokami, T. Itoh, H. Sakaguchi, *J. Electrochem. Soc.* (査読有) 161 巻、1765-1771 ページ、2014 年

(9) Iron-catalyzed Nazarov Reaction of Indole, Benzofuran, and Benzo[b]thiophene Derivatives. M. Sakae, S. Oshitani, C. Ibara, M. Natsuyama, T. Nokami, T. Itoh, *Heteroatom Chem.* (査読有) 25 巻、482-491 ページ、2014 年

(10) Halogen and Chalcogen Cation Pools Stabilized by DMSO. Versatile Reagents for Alkene Difunctionalization. Y. Ashikari, A. Shimizu, T. Nokami, J. Yoshida, *J. Am. Chem. Soc.* (査読有) 135 巻、16070-16073 ページ、2013 年

(11) Automated Solution-Phase Synthesis of Oligosaccharides via Iterative Electrochemical Assembly of Thioglycosides. T. Nokami, R. Hayashi, Y. Saigusa, A. Shimizu, C.-Y. Liu, K.-K. Mong, J. Yoshida, *Org. Lett.* (査読有) 15 巻、4520-4523 ページ、2013 年

[学会発表](計 35 件)

- (1) 電解グリコシル化反応に基づくオリゴ糖の効率的合成法の開発、野上敏材、磯田悠太、佐々木紀彦、高柳恵輔、早瀬修一、伊藤敏幸

第 39 回有機電子移動化学討論会、2015 年 6 月 25 日、長崎大学 (長崎市)

(2) 電解グリコシル化反応におけるイオン液体タグのアニオン効果、佐々木紀彦、磯田悠太、野上敏材、伊藤敏幸、第 39 回有機電子移動化学討論会、2015 年 6 月 25 日、長崎大学 (長崎市)

(3) 電解液相自動合成法に基づく TMG-キトトリオマイシンの全合成、磯田悠太、佐々木紀彦、野上敏材、早瀬修一、伊藤敏幸、第 34 回日本糖質学会年会、2015 年 7 月 31 日、東京大学 (東京都)

(4) 合成糖鎖の分離精製迅速化を目指したベンジルエーテル型イオン液体タグの開発、佐々木紀彦、野上敏材、伊藤敏幸、第 34 回日本糖質学会年会、2015 年 7 月 31 日、東京大学 (東京都)

(5) Automated Electrochemical Assembly (AEA) for Rapid Synthesis of Natural & Unnatural Oligosaccharides、野上敏材、磯田悠太、高柳恵輔、佐々木紀彦、北村京、佐藤匠、林詩穂、早瀬修一、伊藤敏幸、若手化学者のための化学道場、2015 年 8 月 27 日、淡路夢舞台国際会議場 (淡路市)

(6) 電解グリコシル化反応の精製プロセス迅速化を指向したイオン液体タグの開発、佐々木紀彦、野上敏材、伊藤敏幸、2015 年日本化学会中国四国支部大会、2015 年 11 月 15 日、岡山大学 (岡山市)

(7) ポイントフッ素化糖の自在合成、野上敏材、高柳恵介、林詩穂、原田晃典、伊藤敏幸、2015 年日本化学会中国四国支部大会、2015 年 11 月 15 日、岡山大学 (岡山市)

(8) TMG-キトトリオマイシンの全合成、磯田悠太、佐々木紀彦、野上敏材、早瀬修一、伊藤敏幸、2015 年日本化学会中国四国支部大会、2015 年 11 月 15 日、岡山大学 (岡山市)

(9) 電解グリコシル化反応の立体選択性におけるイオン液体タグの影響、佐々木紀彦、磯田悠太、北村京、野上敏材、伊藤敏幸、日本化学会第 96 春季年会 2016 年 3 月 25 日、同志社大 (京田辺市)

(10) 液相電解自動合成のための 2-デオキシ-2-アジド糖糖鎖ビルディングブロックを用いた立体選択的グリコシル化反応、北村京、磯田悠太、佐々木紀彦、野上敏材、伊藤敏幸、日本化学会第 96 春季年会 2016 年 3 月 24 日、同志社大 (京田辺市)

(11) 液相電解自動合成法を基盤とする TMG-キトトリオマイシンの全合成、磯田悠太、北村京、佐々木紀彦、野上敏材、伊藤敏幸、日本化学会第 96 春季年会 2016 年 3 月 24 日、

同志社大 (京田辺市)

(12) 電解グリコシル化反応の立体選択性に対する支持電解質の影響、野上敏材、磯田悠太、佐々木紀彦、北村京、佐藤匠、伊藤敏幸、電気化学会第 83 回大会、2016 年 3 月 29 日、大阪大学 (吹田市)

(13) Reaction Integration Using Electrochemically Generated Cationic Reactive Intermediates, R. Hayashi, Y. Ashikari, A. Shimizu, T. Nokami, J. Yoshida, The 225th ECS Meeting, May 11, 2014, Orland (USA)

(14) TMG-キトトリオマイシンの電解自動合成、磯田悠太、野上敏材、伊藤敏幸、第 38 回有機電子移動化学討論会、2014 年 6 月 26 日、長良川国際会議場 (岐阜市)

(15) The scope and limitations of electrochemical assembly of oligosaccharides, Toshiaki Nokami, Asia-Canada Glycoscience Meeting, May 31, 2014, Vancouver (Canada)

(16) Electrochemical Automated Synthesis of Chitin Derivatives by Assembling Thioglycoside Building Blocks, Toshiaki Nokami, Yuta Isoda, Toshiyuki Itoh, The 97<sup>th</sup> Canadian Chemistry Conference and Exhibition, June 1, 2014, Vancouver (Canada)

(17) 電気化学的手法による TMG-キトトリオマイシンの合成、野上敏材、磯田悠太、佐々木紀彦、伊藤敏幸、第 33 回日本糖質学会年会、2014 年 8 月 10 日、名古屋大学 (名古屋市)

(18)  $\beta$ -1,4-グリコシド結合を有するオリゴ糖の電解自動合成、磯田悠太、佐々木紀彦、野上敏材、伊藤敏幸、第 30 回若手化学者のための化学道場、2014 年 8 月 29 日、兎島ホテル (倉敷市)

(19) Electrochemical Automated Synthesis of TMG-chitotriomycin, Toshiaki Nokami, Yuta Isoda, Toshiyuki Itoh, Electrochemistry September 22, 2014, Mainz (Germany)

(20) チオグリコシドを用いた電解グリコシル化反応におけるフッ素置換基の効果、佐々木紀彦、磯田悠太、高磯亜季、早瀬修一、野上敏材、伊藤敏幸、第 37 回フッ素化学討論会、2014 年 10 月 30 日、ドーンセンター (大阪市)

(21) オリゴ糖の液相自動合成を目指して、野上敏材、2014 年日本化学会中国四国支部大会、2014 年 11 月 14 日、山口大学 (山口市)

(22) 四級アンモニウム塩イオン液体タグ導入糖供与体を用いた電解グリコシル化反応、野上敏材、佐々木紀彦、松本訓伸、深谷幸信、伊藤敏幸、電気化学会第 82 回大会、2015 年

3月15日、横浜国大(横浜市)

(23) TMG-キトトリオマイシン四糖液相電解自動合成のための糖鎖ビルディングブロックと反応条件の最適化、磯田悠太、早瀬修一、野上敏材、伊藤敏幸、日本化学会第95春季年会、2015年3月26日、日本大学(船橋市)

(24) 電解グリコシル化反応のためのベンジルエーテル型イオン液体タグの開発、佐々木紀彦、野上敏材、伊藤敏幸、日本化学会第95春季年会、2015年3月27日、日本大学(船橋市)

(25) Electrochemical method as an enabling tool for glycosylation, Toshiki Nokami, Gordon Research Conference Carbohydrates, June 20, 2013 West Dover (USA)

(26) 電気化学的手法によるオリゴグルコサミンの液相自動合成、野上敏材、林竜太郎、吉田潤一、第32回日本糖質学会年会、2013年8月5日、大阪国際交流センター(大阪市)

(27) 有機電気化学に基づく糖鎖、機能性高分子へのアプローチ、野上敏材、第29回若手化学者のための化学道場、2013年8月31日、KKR 広島ホテル(広島市)

(28) Electrochemical Iterative Synthesis of Oligosaccharides, Toshiki Nokami, Ryutaro Hayashi, Yoshihiro Saigusa, Akihiro Shimizu, Chih-Yuen Liu, Kwok-Kong Tony Mong, and Jun-ichi Yoshida, International Symposium on Organic Reaction-11 (ISOR-11), Nov. 21, 2013 Taipei (Taiwan)

(29) Automated Oligosaccharide Synthesis Based on Iterative Integration of Electrochemical Glycosylation, Toshiki Nokami, Ryutaro Hayashi, Akihiro Shimizu, Jun-ichi Yoshida, The eighth International Symposium on Integrated Synthesis, Nov. 29, 2013 Nara (Japan)

(30) Electrochemical Automated Synthesis of Oligoglucosamines, Toshiki Nokami, Ryutaro Hayashi, Akihiro Shimizu, Jun-ichi Yoshida, The 4th German-Japanese Symposium on Electrosynthesis, Dec 1, 2013 Kyoto (Japan)

(31) One-pot solution-phase synthesis of oligoglucosamines using automated electrochemical synthesizer, Toshiki Nokami, Ryutaro Hayashi, Yoshihiro Saigusa, Akihiro Shimizu, Chih-Yueh Liu, Kwok-Kong Tony Mong, Jun-ichi Yoshida, The 27<sup>th</sup> International Carbohydrate Symposium, January 15, 2014, Bangalore (India)

(32) Electrochemical assembly for oligosaccharide synthesis, Toshiki Nokami, The 247th ACS National Meeting & Exposition,

March 17, 2014 Dallas, (USA)

(33) オリゴマンノシドの電解自動合成を指向した糖鎖ビルディングブロックの開発、野津育未、野上敏材、伊藤敏幸、日本化学会第94春季年会、2014年3月27日、名古屋大学(名古屋市)

(34) 電気化学的手法を用いたオリゴグルコサミン自動合成における糖鎖ビルディングブロックの最適化、野上敏材、磯田悠太、伊藤敏幸、林竜太郎、吉田潤一、日本化学会第94春季年会、2014年3月28日、名古屋大学(名古屋市)

(35) オリゴグルコサミンの電解自動合成を指向した糖鎖ビルディングブロックの開発、野上敏材、磯田悠太、伊藤敏幸、林竜太郎、吉田潤一、電気化学会第81回大会、2014年3月29日、関西大学(吹田市)

〔図書〕(計2件)  
電解グリコシル化  
野上敏材

「糖鎖の新機能開発・応用ハンドブック~創薬・医療からヘルスケアまで~」第4編 糖鎖の光学-合成・機能, 第1章 糖鎖合成-合成手法, 4 新規合成手法  
監修 秋吉一成、pp337-338, 2015年8月12日、エヌ・ティー・エス、東京

The Electrochemistry of Organoelemental Compounds  
Yoshida, J.; Nokami, T.; Suga, S.  
The 24th Chapter of the “Organic Electrochemistry, 5th Edition  
Hammerich, O.; Speiser, B. Eds., September 25, 2015, CRC Press, Boca Raton, FL

〔産業財産権〕  
出願状況(計1件)  
名称: 立体選択的な糖鎖の製造方法  
発明者: 野上敏材、伊藤敏幸  
権利者: 鳥取大学  
種類: 特許  
番号: 特許願 2016-64646 号  
出願年月日: 2016年3月9日  
国内外の別: 国内

〔その他〕  
ホームページ URL  
<http://www.chem.tottori-u.ac.jp/~itoh/Profile/J/TN/nokami.htm>

6. 研究組織  
(1)研究代表者  
野上 敏材 (NOKAMI Toshiki)  
鳥取大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 60402963