

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2016

課題番号：24249001

研究課題名(和文)レアメタルを用いない革新的カップリング法に基づく新規機能性物質の合成研究

研究課題名(英文) Synthetic study of new functional compounds based on the novel rare metal-free coupling methods

研究代表者

北 泰行 (Kita, Yasuyuki)

立命館大学・総合科学技術研究機構・教授

研究者番号：00028862

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,900,000円

研究成果の概要(和文)：希少金属の使用減に役立つ環境調和型新反応や反応剤を開発し、持続可能な手法として有用物質の合成へと応用した。さらに超原子価ヨウ素反応剤を用いるメタル触媒フリー酸化的カップリング反応を、申請者らが培ったヨウ素や硫黄、さらに酸素(オキソニウム)などの性質を利用した合成法と組み合わせ、天然物やその類縁体、機能性分子などの合成研究を展開することで、創薬研究や物質化学の発展に資する有用な手法とした。

研究成果の概要(英文)：We have developed new environmentally-friendly reactions and reagents for reducing the use of rare metals, and applied them as the sustainable methods for the synthesis of useful compounds. By performing the synthetic researches of natural products and their analogues, and functional molecules, the new metal catalyst-free oxidative coupling reactions using hypervalent iodine reagent, in combination with synthetic methods utilizing the unique reactivities of iodine, sulfur, and oxygen (oxonium), have become the useful methods for advances of drug development study and material chemistry.

研究分野：合成化学

キーワード：有機化学

1. 研究開始当初の背景

これまでに申請者らは優れた生物活性を有するが微量しか得られず複雑な高次構造を有する天然物の全合成を達成し、これらを創薬リード化合物とする研究を行ってきた。今世紀に入ってからは、地球環境にやさしい持続可能な化学技術として、資源として豊富で安全な元素を利用した新しい合成化学が評価されるようになっており、創薬研究においてもグリーン・サステナブルケミストリーに合致した合成反応の開発がますます重要となる。

特にカップリング法は、遷移金属触媒等を用いて有機化合物中の炭素と炭素とを繋ぐ革新的な手法であり、20世紀に日本の化学者が大きく貢献した化学技術として有名である。芳香環をつなぐ方法としては、熊田・玉尾・コリューや鈴木・宮浦カップリング、根岸カップリングなどが代表的で、現在、様々な有用化合物の合成に利用されている。これらのハロゲン化やメタル化等の官能基化が予め必要な遷移金属を用いた結合形成法に対し、官能基化を必要としない芳香族化合物間の酸化的クロスカップリング反応は、カップリング戦略において原料の構造修飾を必要としない直接的かつ簡便で、副産物の少ないより理想的な方法である。低収率であるが、官能基化を必要としない直接的なインドール類やピロール類などの選択的な酸化的クロスカップリング反応が2007年頃から報告され、注目を集めているが、目的とするカップリング体の他にホモダイマーの副生や、生成物の過剰酸化等の問題があり、反応の制御が困難でこれまでに効果的な手法はあまり報告されていない。

申請者らが開発して、世界から注目されているメタル触媒フリー条件下での芳香族酸化的クロスカップリング法は、ヨウ素反応剤を用いて異なる芳香族化合物の一方に選択的にカチオンラジカル中間体を生成させる興味深い手法である(*Angew. Chem., Int. Ed.*, **2008**, *47*, 1301; *Very Important Paper and Cover of Issue*, *月刊化学* 6月号 2008年注目の論文)。また、続いて見出したヘテロ芳香族化合物のクロスカップリング反応は、超原子価ヨウ素官能基を含むヘテロ芳香族中間体を經由する点が特徴である(*J. Am. Chem. Soc.*, **2009**, *131*, 1668; 2011年2月8日、*エコノミスト*、「レポート 危機が新産業を生み出す レアメタル代替材料最前線」に掲載)。これらは効率の良い芳香環炭素への直接的ヨウ素導入と基質-超原子価ヨウ素複合体の新規活性化法により達成できる類例のない方法である。

現在の有機合成化学においても、希少金属触媒を使用する炭素-水素結合の直截的な変換反応や炭素-炭素結合形成による骨格構築などを、目標とする医薬品候補化合物や機能性物質などの合成へと応用することは容易ではなく、未だ挑戦的な課題である。こ

の課題を、従来必要な希少金属触媒を用いずに行うことができれば、革新的な合成化学の概念として大きなインパクトを与え、広く一般化できると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、これ迄、有機合成で重要な役割を果たしてきたレアメタルに代わる触媒として、豊富な資源である典型元素の未知の反応性や酸化還元挙動の開拓を行う。さらに、これを基盤とするサステナブル型合成手法をさらに深化させ、天然に勝る医薬品候補化合物や有用機能性材料などの創生へとつなげることを目的とする。

すなわち、本研究のまず一つ目の目的は、従来必要なレアメタル触媒を使用せずに、様々なクロスカップリング反応を実現することである。ヨウ素を用いるクロスカップリングの実現に関する最近の大きな発見は、一つのヨウ素に二つの炭素基が結合したヨードニウム塩の秘める興味深い反応性である。このようなヨードニウム型の化合物は従来のヨウ素化合物とは異なり、その特異な反応性や酸化能を利用することで(*ACIE*, **2010**, *49*, 3334.) 遷移金属による活性化無しに官能基化されていない芳香族と反応し、ピアリアル成績体を与えるなど驚くべき挙動を示す(*JACS*, **2009**, *131*, 1668.)。ヨウ素の合成的利用価値を遷移金属に匹敵するまで飛躍的に高めるには、既知の反応の応用的利用のみではなく、このような未知の化学的挙動を開拓し、金属を用いる手法でも困難な分子変換に挑戦することが重要である。

合成化学的に、典型元素を反応剤として用いる方法は、一般に官能基を消費して結合生成を行う金属を用いる方法に比べ、より入手困難な多数の官能基が残った生成物を得るのに都合が良い。本法により得られる各種ピアリアル類は、有機材料の構成要素や興味深い生物活性を示す天然物の鍵骨格として、また、その光学活性体は不斉配位子として有用な化合物であり、天然型および非天然型に関わらずそれら新規化合物の供給は新しい機能性物質の創生につながる。また、すでに全合成に成功したディスコハブディン類、ルプロマイシン類、スキホスタチン類などの数種の生物活性天然物の合成ルートをメタルフリー法へと改良し、より複雑で官能基化された広範囲の誘導体を得る。また、現在精力的に取り組んでいるラクトナマイシンのメタルフリー合成を含む、2,3の有用な生物活性を有する天然物の全合成を達成し、創薬研究に必要な独自の低分子化合物群を構築する。さらに、申請者らの手法を立体選択的反應へと発展させ、目標とする生物活性化合物の効率的な不斉合成を行い、生物活性と光学活性の関係を明らかにする。得られた化合物を用い、これまでの基礎研究を通じて構築した製薬・ファインケミカルズ分野で実績を持つ信頼できる企業との関係のもと、主として

新規抗がん剤の開発を目的とした創薬研究を推し進める。同様にサステナブル型手法を用いて、有機材料の構成要素や不斉配位子、また興味深い生物活性を示す天然物の鍵骨格として有用な各種ピアリール類などを合成し、天然および非天然型の新規化合物を供給することで、新しい機能性物質の創生につなげる。

ヨウ素に関するこれらの基盤化学技術を柱に、領域研究者間の協力の下、理論化学的アプローチに基づく触媒や実践的有用物質の合成に役立つ反応へと最適化することが、本研究課題のゴールである。

3. 研究の方法

希少資源の使用や環境への負荷が低い新反応や反応剤を開発し、持続可能な合成的手法へと発展させ、それらを有用物質の合成に役立つように最適化する。メタルフリー酸化的カップリングの基礎研究の完遂に加えて、すでに全合成の完了した数種の天然物に関してはサステナブル型合成法への改良と合成的アプローチによる機能解明を行う。新たに合成目標とする生物活性天然物の全合成やその立体中心の選択的な構築を目指し、これまでに申請者らが培ったヨウ素や硫黄、さらに酸素（オキシニウム）などの性質を利用した新反応や反応剤を開発する。研究の後半には適宜、天然物や類縁体合成などの応用研究を展開し、得られた有用な低分子化合物群を用い、新規機能を持った物質の創生へとつなげ、創薬研究や物質化学の発展に貢献する。

4. 研究成果

[超原子価ヨウ素反応剤によるメタルフリー酸化的クロスカップリングの開発]

酸化反応が炭素 - 水素結合を、直接結合形成や官能基化に用いる魅力的な合成戦略であることを考慮し、超原子価ヨウ素反応剤を用いる酸化的カップリング法の開発を精力的に行った。通常、芳香族化合物の酸化的カップリングでは、酸化剤に加えて遷移金属触媒の使用が必須であるが、超原子価ヨウ素反応剤の優れた芳香環選択性を利用することで、メタル触媒フリーで、選択的な反応を実現した。

(1) 超原子価ヨードニウム塩を利用したクロスカップリング反応の開発

申請者らはヨードニウム塩の酸性条件下における一電子酸化能を利用することで、電子豊富なヨードニウム塩全般において、芳香環カップリングが起こることを明らかにした。特にフェニルエーテル由来のヨードニウム塩が電子豊富芳香族化合物の一電子酸化を起こし、芳香族カチオンラジカル種の生成を経由する、酸化的カップリングを起こすことがわかった。この時、ヨードニウム塩の芳香環は電子豊富なものが選択的に反応した。一方、塩基性条件下ではカチオンラジカル生成

は起こらず、ヨードニウム塩の熱分解によるアリールラジカル生成が起こることがわかった。これを利用して、アリールラジカルアクセプターであるヘテロ芳香族化合物とのメタルフリー酸化的クロスカップリングにも成功した。

また、ピロール類についてはヨードニウム中間体が不安定なため、本反応に適用することができなかったが、ヨードニウム中間体のアリール部位やリガンドの分子設計により安定化し、これを適切に活性化することで、クロスカップリングに適用できることを明らかにした。

(2) 超原子価ヨウ素反応剤を用いた炭素 - 窒素結合形成ピアリールカップリング

続いて、ピロール類およびインドール類から調製できるヨードニウム塩のアゾール類に対する反応性を調べたところ、適切な活性化剤存在下、アゾール窒素のピロールおよびインドール環に対する炭素 - 窒素結合形成が効果的に進行することがわかった。本反応は、これまでに報告されたアゾール類の N_2 窒素選択的な酸化的カップリングとは相補的なものとなる。

(3) フェノールおよびアニリン類の酸化的クロスピアリールカップリング反応

一般に、反応性の高いフェノール類の酸化的カップリングでは、反応後の生成物にフェノール水酸基がそのまま残り、これが残った酸化剤とさらに反応するため、過剰酸化が問題となる。今回、我々はフェノール類の酸化的クロスカップリングで、酸の添加による顕著な収率向上の効果を見出した。本法は様々な組み合わせのフェノール類と芳香族化合物との反応に適用できることがわかり、ここではフェノール酸素とヨウ素原子との配位子交換過程 (k_1) の速度向上により、原料フェノール類の活性化がその後のカップリングより早く起り、超原子価ヨウ素反応剤が早く消費されたため、生成物の過剰酸化が抑制されたと考えられる。さらに、このフェノール酸化的カップリングの反応機構を検討していた際に副生するキノンモノアセタールに対して、適切な Brønsted 酸触媒を作用させることでフェノールピアリール類が生成することを明らかにした。

一方、アニリン類は窒素原子上での反応が問題となり、超原子価ヨウ素を用いるピアリールカップリングの成功例はなかった。今回我々は、アニリン窒素上の保護基による制御を利用したアニリン芳香環選択的な酸化的ピアリールカップリングを確立した。さらに生成物の本酸化条件における安定性を調べたところ、保護基として導入したメシル基とアリール基の嵩高さにより、生成物の過剰酸化は抑制されていることを明らかとした。

以上の全てのカップリング反応形式にお

いて、我々が以前に開発した回収・再利用が容易なヨウ素反応剤がこれまで同様用いることを確認した。このように超原子価ヨウ素反応剤を用いる酸化的カップリングは、酸化反応自身が有する合成化学的な直截性に加え、生成物の単離と酸化剤の回収を容易にする省力的かつ廃棄物の少ない環境調和型の合成手法になる。

(4) フェノールおよびアニリン類の有機ヨウ素触媒酸化的カップリング法の開発

高度に酸化されたフェノール由来のピアリール類は天然物や生体関連分子中に多く見られ、医薬品関連物質や機能性分子の合成に重要である。そこで、適切なヨウ素触媒種や再酸化剤をスクリーニングし、フェノール類の酸化的クロスカップリング反応の触媒化をピロガロール誘導体を用いて検討した。高極性で求核性の低い溶媒であるヘキサフルオロイソプロパノール(HFIP)中、種々検討したところ、共酸化剤として Oxone を用い、相関移動触媒として 18-crown-6 を添加すると、目的のクロスカップリング体が中程度の収率で得られることが分かった。更なる収率の向上として、4-メトキシヨードベンゼンを触媒に用いると、フェノール類と求核性を有する種々の芳香族化合物のクロスカップリング反応が円滑に効果的に進行し、対応するフェノールカップリング体が得られることがわかった。

さらにアニリンの酸化的カップリングにおいては、酸素架橋型の高活性ヨウ素触媒(CC, 2010, 46, 7697.)を用いることで、触媒的な反応に成功した。ここでは単純なヨウ化ベンゼンは効果的な触媒とならず、高活性触媒の使用が必須となる。本法はアニリン類に対して求核性を有する様々な芳香族化合物に適用でき、不斉補助基として光学活性なカンファースルホン酸で保護されたナフチルアミン類を用いて反応を行うと、軸不斉を有するピアリールアミン類の両方の光学活性体が入手できる。

ヨウ素触媒を用いるこれらのフェノール類やアニリン類と芳香族化合物との反応は、有機酸化触媒を用いる酸化的ピアリールカップリングの初めての例である。

[クロスカップリングに有用な新規官能基化ヨードニウム塩の合成]

新規合成モジュールとして、ホウ素やケイ素で官能基化されたヨードニウム塩の合成に取り組んだ。電子豊富な芳香族ホウ素化合物は極性の高いフルオロアルコール溶媒中で芳香環 C-H 結合と、ジホウ素化芳香環は酢酸により一つの C-B 結合が選択的に活性化され、ヨウ素反応剤との選択的な縮合でホウ素官能基化された芳香族ヨードニウム塩を効果的に得られた。一方、C-Si 結合はヨードニウム塩形成の際に反応せず、代わりに C-H 結合が反応することで、ケイ素官能基ヨードニ

ウム塩が生成した。得られた官能基化ヨードニウム塩は、ヨウ素クロスカップリングに加え、従来の金属触媒下での反応でもヨウ素部位選択的に反応し、ホウ素やケイ素で官能基化された幅広いカップリング生成物を与える有用な合成モジュールとなることがわかった。

[超原子価ヨウ素を用いた高不斉分子内カップリング]

申請者らは、酸素架橋構造を有する二核超原子価ヨウ素化合物がフェノール類に対して高い反応性と化学選択性を示すことを明らかとした。これらを有機触媒として活用し、その高い再生能も活かし、ヨウ素有機触媒に関する諸課題の包括的な解決に取り組んだ。またそのキラル構造の修飾を行い、ヨウ素のオルト位の置換基が大きく不斉収率を向上させることを見出した。これにより室温付近で世界最高水準の触媒的な分子内スピロ環化に成功し、共同研究で行った X 線構造解析の結果と合わせ、フェノール脱芳香族化の不斉誘起メカニズムを明らかとした。以上により、触媒回転数の向上、より実用的な化学酸化剤の選択、さらには高度な不斉合成法の実現に貢献した。

[メタルフリーヨウ素カップリングを鍵とする機能性物質の合成研究]

ピアリール類はファーマコアとして製薬業界や関連分野において近年注目度が高く、その重合体やハイブリッド型連結体は材料科学分野で実用化されている。創薬研究や物質化学の発展への貢献を視野に、申請者らがすでに有するヘテロ原子等の導入技術や連続的カップリング法等と上記の基礎研究を組み合わせた、有用化合物の合成研究を展開した。ヨウ素を用いるメタルフリーカップリング法を、液晶分子であるヘキサヒドロキシトリフェニレン(HHTP)と世界最高水準の光変換効率を示す太陽電池用増感色素 MK-2 の誘導体合成に役立つ簡便合成へと応用した。カテコールの反応より、二量化と続くクロスカップリング、分子内カップリングが一挙に進行し、HHTP がわずか一工程で、既法より良い純度と収率で得られた。オリゴチオフェン骨格を有する MK-2 は非金属系では最高レベルの増感色素で、10%以上の光変換効率を示す太陽電池の作成を目指して類縁体の開発が現在盛んに研究されている。しかし非対称型 head-to-tail チオフェン 4 量体構造の存在により、MK-2 の合成には現在 7~11 工程かかり、総収率も 6~27%と低く、類縁体の合成に莫大な時間を要している。一方、3 位アルキルチオフェンのカップリングでは非対称ダイマーのみが選択的に生成し、これを鍵中間体として用いた 7 工程での従来の総収率 27%を遥かに上回る効率的ルートを確立した。

[メタルフリー合成法を鍵とする天然物や類]

縁体の合成研究]

希少金属触媒に近い反応性を示す超原子価ヨウ素や硫黄などの性質を利用した新反応や反応剤の基盤技術を、目標として設定した生物活性物質の効率的な構築へと最適化させた。すなわち、脱芳香化を伴う分子内メタルフリーカップリング法を利用した官能基化スピロ環構築を軸にラクトナマイシンの全合成プロセスの改良や核構造の不斉構築、ディスコハプディン類縁体などのキノン-スピロ型新規抗がん剤を標的とした精密合成を行った。さらに、キラルオキシニウムイオン中間体を利用する有機合成反応では、日本および中国で鎮咳薬、駆虫薬として用いられてきた百部根に含まれるステモナルカロイドの代表的な化合物であるステニン類の全合成等、当初計画した目標化合物の合成を概ね達成した。

最後に、我々の革新的カップリング手法の相対的評価を図る尺度として、本研究で開発した反応に対して慣用的な遷移金属触媒を用いたカップリング法との比較を行い、その優位性や特徴を明らかとした。現在、関係のある物理化学や計算化学の研究者との連携を基に、得られた実験化学的結果に対して、理論化学的な整合化を試みている。

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 45 件)

森本功治、土肥寿文、北 泰行

Metal-free Oxidative Cross-Coupling Reaction of Aromatic Compounds Having Heteroatoms

Synlett **28**, 印刷中 (2017) 査読有

森本功治、坂本一真、大鹿貴男、土肥寿文、北 泰行

Organo-Iodine(III) Catalyzed Oxidative Phenol-Arene and Phenol-Phenol Cross-Coupling Reaction

Angew. Chem. Int. Ed. **55**, 3652-3656 (2016) 査読有

DOI: 10.1002/anie.201511007

土肥寿文、北 泰行

Pioneering Metal-Free Oxidative Coupling Strategy of Aromatic Compounds Using Hypervalent Iodine Reagents

Chem. Rec. **15**, 886-906 (2015) 査読有

DOI: 10.1002/tcr.201500020

土肥寿文、北 泰行

New Site-Selective Organoradical Based on Hypervalent Iodine Reagent for Controlled Alkane sp^3 C-H Oxidations

ChemCatChem. **6**, 76-78 (2014) 査読有

DOI: 10.1002/cctc.201300666

伊藤元氣、久保浩子、井谷 樹、森本功治、土肥寿文、北 泰行

Organocatalytic C-H/C-H' Cross-Biaryl Coupling: C-Selective Arylation of Sulfonanilides with Aromatic Hydrocarbons

J. Am. Chem. Soc. **135**, 38, 14078-14081 (2013) 査読有

DOI: 10.1021/ja407944p

土肥寿文、武永尚子、仲江朋史、豊田洋輔、山崎幹緒、城 始勇、藤岡弘道、丸山明伸、北 泰行

Asymmetric Dearomatizing Spirolactonization of Naphthols Catalyzed by Spirobiindane-Based Chiral Hypervalent Iodine Species

J. Am. Chem. Soc. **135**, 4558-4566 (2013) 査読有

DOI: 10.1021/ja401074u

伊藤元氣、井谷 樹、豊田洋輔、森本功治、土肥寿文、北 泰行

Synthesis of Boron-Substituted Diaryliodonium Salts and Selective Transformation into Functionalized Aryl Boronates

Angew. Chem. Int. Ed. **51**, 12555-12558 (2012) 査読有

DOI: 10.1002/anie.201206917

[学会発表](計 153 件)

北 泰行

Metal-Free Oxidative Aryl Coupling Reactions by Hypervalent Iodine Reagent 5th International Conference on Hypervalent Iodine Chemistry, 2016年7月6日、Les Diablerets (Switzerland)

北 泰行

Metal-Free Oxidative Biaryl Coupling Reactions by Hypervalent Iodine Reagent Pacificchem 2015, 2015年12月18日、Hawaii (USA)

北 泰行

Metal-Free Oxidative Coupling Reactions by Hypervalent Iodine Reagent 39th 内藤コンファレンス, 2015年7月7日、シャトレゼ ガトーキングダム サッポロ ホテル(北海道 札幌)

北 泰行

Metal-Free Oxidative Coupling Reactions 4th International Conference on Hypervalent Iodine Chemistry, 2014年7月3日、ヒルトン成田ホテル(千葉 成田)

北 泰行

Hypervalent Iodine Reagent as an Entrance to Metal-Free Oxidative Coupling Reactions 1st International Conference of Advanced Molecular Transformations by Organocatalysts, 滋賀プリンスホテル 滋賀県大津 2013年5月27日

北 泰行

Metal-Free Coupling Reactions- Hypervalent iodine Mediated Synthesis of Biaryl and Heterobiaryl Compounds- First Japan-USA Organocatalytic Symposium in Hawaii 2012年12月16日 ハワイ USA

〔図書〕(計 10件)

北 泰行、土肥寿文

超原子価ヨウ素触媒反応～メタルフリー酸化のカップリング反応への触媒設計～ CSJ Current Review 有機分子触媒の化学 (監修; 秋山隆彦、岩澤伸治、竹本佳司、寺田眞浩、林 雄二郎、丸岡啓二), 化学同人、(2016), 244 ページ, 157-166

土肥寿文、北 泰行

Hypervalent Iodine Chemistry (Editor: T. Wirth) Chapter 1 "Hypervalent Iodine-Induced Oxidative Couplings (New Metal-Free Coupling Advances and Their Applications in Natural Product Syntheses)" Springer, (Switzerland), (2016), 373 ページ, 1-23

土肥寿文、北 泰行

Iodine: Chemistry and Applications (Editor: Kaiho Tatsuo) Chapter 7 "Hypervalent Iodine", Chapter 16 "Oxidizing Agents", Chapter 17 "Reaction of iodo compounds" Wiley-Blackwell, (Hoboken, New Jersey), (2014), 656 ページ, 103-158, 277-328

土肥寿文、北 泰行

Quinones: Occurrence, Medicinal Uses and Physiological Importance " Quinone Monoacetal Compounds in Application to Controlled Reactions with Nucleophiles NOVA Science Publisher (New York), (2013), 182 ページ, 85-140

藤岡弘道、北 泰行

Natural Products (edited by Kishan Gopal Ramawat, Jean-Michel Mérillonby) "Marine Pyrroloiminoquinone Alkaloids, Makaluvamines and Discorhabdins, and Marine Pyrrole-Imidazole Alkaloids", Springer, (2013), 604ページ, 251-283

北 泰行、土肥寿文

超原子価ヨウ素～金属に代わる酸化剤および触媒としての利用～

CSJ Current Review 未来を拓く元素戦略 持続可能な社会を実現する化学 (監修; 西原寛、岩澤伸治、林 克郎、辻 勇人), 化学同人、(2012), 216 ページ, 68-76

〔産業財産権〕

取得状況 (計 3 件)

名称: 有機色素 MK-2 の製造方法

発明者: 北 泰行、土肥寿文

権利者: 学校法人立命館

種類: 特許権

番号: JP 5963167

取得年月日: 2016年8月3日

国内外の別: 国内

名称: 2,3,6,7,10,11-ヘキサヒドロキシトリフェニレン類の製造方法

発明者: 森本功治、土肥寿文、北 泰行

権利者: 和光純薬工業株式会社 学校法人立命館

種類: 特許権

番号: JP 5878842, JP 5882162

取得年月日: 2016年3月8日, 2016年3月9日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

http://www.ritsumei.ac.jp/research/center/drug_discovery/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北 泰行 (KITA YASUYUKI)

立命館大学・総合科学技術研究機構・教授
研究者番号: 00028862

(2) 研究分担者

土肥寿文 (DOHI TOSHIFUMI)

立命館大学・薬学部・准教授

研究者番号: 50423116

藤岡弘道 (FUJIOKA HIROMICHI)

大阪大学・薬学研究科・教授

研究者番号: 10173410