

## 1 はじめに

北海道大学大学院工学研究科化学系 3 専攻（当時）、理学研究院化学部門および触媒化学研究センターを中心に活動した文部科学省グローバル COE プログラム「触媒が先導する物質科学イノベーション」（平成 19 年度～平成 23 年度）は、本学の化学教育・研究システムを世界基準で再編する重要な転機となった。主要大学として初めて大学院化学教育組織を統合した大学院総合化学院の設立（平成 22 年度）や東アジアの拠点大学と連携した物質科学アジア国際連携大学院（AGS：平成 24 年度から国際先端物質科学大学院に名称変更）の設置（平成 20 年度）は、その典型的な成果である。また、工学部教授を務められた鈴木章名誉教授（北海道大学ユニバーシティプロフェッサー）が、Richard F. Heck 教授（米国、デラウェア大学）、根岸英一教授（米国、パデュー大学）らとともに 2010 年ノーベル化学賞を受賞されたことは、慶事であることに加え、本学の化学研究が世界的に認められたことを意味する。

このように、本学の化学系組織は我が国を代表する物質科学教育・研究拠点として成長したが、その活動を発展的に継続するため、文部科学省特別経費「次世代型クロスカップリング反応が拓く分子構築イノベーション」（平成 24 年度～平成 27 年度）を新規教育研究支援事業としてご承認いただいた。この事業（MMC 事業）を実施する拠点組織として工学研究院に「フロンティア化学教育研究センター（FCC）」を平成 24 年 6 月 1 日付けで設置し、活動を開始した。

本報告書は、FCC を拠点とする MMC 事業に係る最終年度（平成 27 年度）の活動記録である。4 年間の短い期間内に「分子構築イノベーション」の名に相応しい数々の優れた研究成果を挙げることができた。また、教育支援事業においても、AGS に代表されるグローバル人材育成等で中心的な役割を果たした。工学研究院、総合化学院をはじめ、化学系関連部局の方々の力強いご支援・ご協力の賜物である。この場を借りて篤く御礼申し上げる。次年度以降も、本学化学教育・研究の発展に資するべく、一同邁進する所存である。ご指導、ご鞭撻賜るようお願いする次第である。

平成 28 年 9 月

フロンティア化学教育研究センター  
センター長 大熊 毅

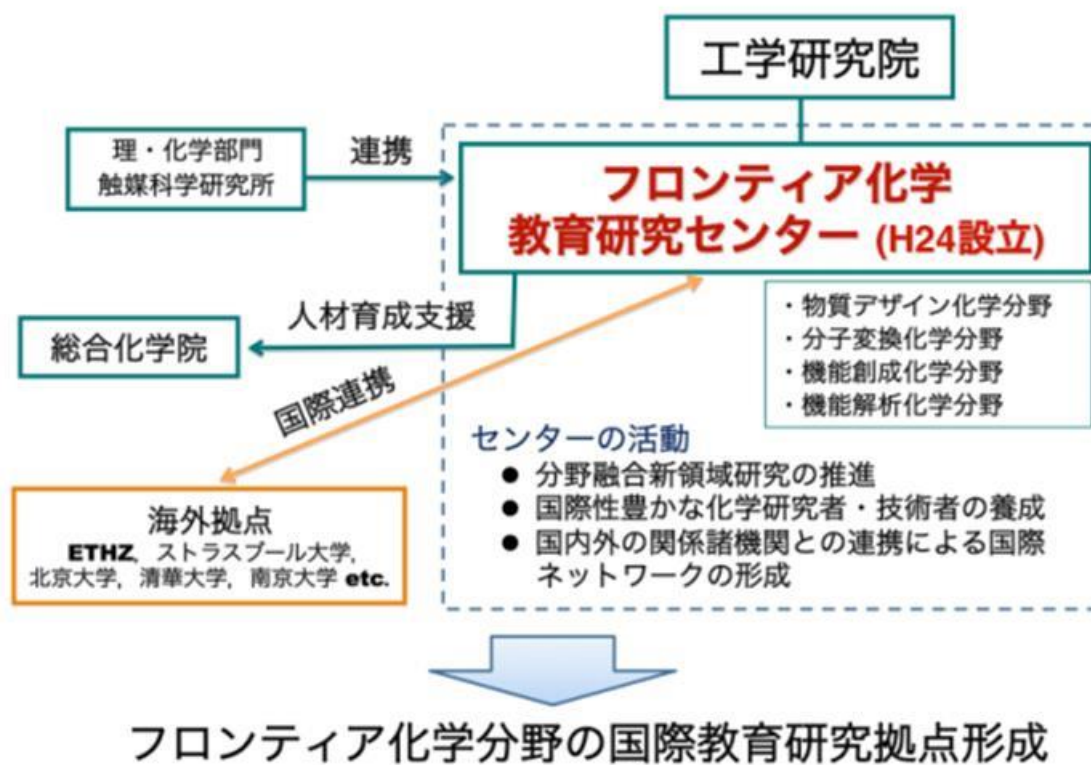
## 2 フロンティア化学教育研究センター (FCC) および特別経費事業 (MMC 事業) の目的と概要

「化学」は有機・無機化合物を含む広範な物質を対象とし、原子・分子のレベルで現象を解明する基礎研究から、医薬、プラスチック、セラミックス、発光材料等、人々の暮らしに欠かせない機能をもつ物質を創製する展開研究まで網羅する。北海道大学においては、学術的・技術的に優れた化学研究を通して我が国の革新的なイノベーションの創出と活気ある持続可能な社会の構築に貢献するとともに、多様化した社会のリーダーとなる人材を継続的に輩出してきた。本学大学院工学研究科化学系3専攻(当時)、理学研究院化学部門および触媒化学研究センター(当時)を中心組織として発足した文部科学省グローバルCOEプログラム「触媒が先導する物質科学イノベーション」(平成19年度～平成23年度)では、本学が世界に誇る触媒研究を物質科学の中心的課題である物質変換と物質創製の基盤研究として捉え、主要大学として初めての大学院化学教育組織を統合した大学院総合化学院(CSE)の設立(平成22年度)、東アジアの拠点大学と連携した物質科学アジア国際連携大学院(AGS:平成24年度から国際先端物質科学大学院に名称変更)の設置(平成20年度)を行うとともに、様々な人材育成事業・国際交流事業を推進した。この事業を通し、本学の化学系組織は我が国を代表する物質科学教育拠点として成長した。

この間、本学最初のユニバーシティプロフェッサーであり、工学部教授を務められた鈴木章先生が、Richard F. Heck教授(米国、デラウェア大学)、根岸英一教授(米国、パデュー大学)らとともに2010年にノーベル化学賞を受賞されたことは、本拠点にとっても大変喜ばしい出来事であった。受賞理由は「パラジウム触媒を用いるクロスカップリング反応の開発」であり、鈴木先生が工学研究院特別招聘教授である宮浦憲夫先生とともに開発された「鈴木—宮浦カップリング反応」の化学における優れた貢献度が評価されたことによる。

このように本学が築き上げてきた世界最高水準の化学研究、国際的に通用する次世代リーダーの養成事業、国際連携事業は、本拠点の中心的教育研究活動として発展的に継続されるべきである。この主旨にご賛同頂き、文部科学省特別経費「次世代型クロスカップリング反応が拓く分子構築イノベーション」(平成24年度～平成27年度)が採択され、新規教育研究支援事業を開始した。本事業(MMC事業)を実施する拠点組織として工学研究院に「フロンティア化学

教育研究センター（FCC）」を平成 24 年 6 月 1 日付けで設置した。同センターは工学研究院応用化学部門と理学研究院化学部門、触媒科学研究所が連携して活動を行うものである（センター概要図を参照）。これにより、世界をリードするフロンティア化学の研究を推進し、産学連携等を通じて社会が求めるグリーンイノベーション、ライフイノベーションの実現を目指す。また、大学院学生の教育においては、欧米・アジアおよび国内の教育研究拠点との学术交流ネットワークを強化し、次世代のグローバルリーダーを養成するための人材育成支援事業を展開する。



### 3 センター (FCC) の組織

平成 27 年度フロンティア化学教育研究センター (FCC) の組織構成を以下に示す。

#### 【教育研究組織】

工学研究院、理学研究院、触媒科学研究所に所属する 25 名の教員を 4 分野に編成し、これを核として物質変換および物質創製におけるフロンティア化学を推進する。

センター長：大熊 毅 (MMC 事業責任者)

副センター長：向井 紳

#### 1) 物質デザイン化学分野

増田隆夫、覚知豊次、下川部雅英、鈴木孝紀、石森浩一郎、  
陳 友根 (FCC 専任)

#### 2) 分子変換化学分野

大熊 毅、伊藤 肇、福岡 淳、谷野圭持、山本靖典

#### 3) 機能創製化学分野

吉川信一、向井 紳、田口精一、長谷川靖哉、稲辺 保、関 朋宏、  
柳瀬 隆 (FCC 専任)

#### 4) 機能解析化学分野

幅崎浩樹、村越 敬、武次徹也、加藤昌子、坂口和靖、村上洋太

顧問：鈴木 章 ユニバーシティプロフェッサー

宮浦憲夫 工学研究院特別招聘教授

#### 【運営組織】○：委員長を示す

#### 1) 運営委員会

○大熊 毅、向井 紳、覚知豊次、吉川信一、増田隆夫、幅崎浩樹、  
坂口和靖、村上洋太、武次徹也、福岡 淳、下川部雅英、  
(工学研究院事務部長)

[業務内容]

- ① 組織運営および教育研究方針の決定
- ② 人材育成支援事業に関する方針決定

- ③ 予算および決算の確定
- ④ その他センターに関する需要事項の決定

2) 人材育成事業委員会

○増田隆夫、大利 徹、武田 定、佐田和己

[事業]

- ① 海外インターンシップ（海外研究機関へ学生を派遣）
- ② 中長期企業インターンシップ（国内企業へ学生を派遣）

3) 国際先端物質科学大学院（AGS）運営委員会

○武次徹也、大熊 毅、石森浩一郎、向井 紳

[事業]

- ① 博士後期課程学生 RA 支援事業（AGS 学生に限定）
- ② 外国人教員による実践的英語講義支援事業（AGS 集中講義）
- ③ 海外現地入学面接試験に係る教員派遣

4) 国際交流委員会

○吉川信一、大熊 毅、村越 敬、稲辺 保

[事業]

- ① 海外拠点大学との連携支援事業
  - ・ 国際シンポジウム開催、連携機関とのジョイントシンポジウム開催、スタンプラリー講義運営

5) イノベーション研究企画委員会

○幅崎浩樹、伊藤 肇、谷野圭持、福岡 淳

[事業]

- ① 分野融合新領域研究・産学連携研究企画支援事業
  - ・ 国内講演やシンポジウム開催の企画・参加支援
  - ・ 産業実学講義・技術者倫理講義の企画

6) 事務局

○下川部雅英、河辺亮子、山中みれい、小原美香、深林亜希子

## 4 FCC および MMC 事業の実施計画

FCC と MMC 事業の目的達成を目指した取組の全体計画（平成 24 年度～平成 27 年度）と平成 27 年度の実施計画を以下に示す。

### 1) 全体計画

- ① 関連分野の著名な外国人研究者の招聘・学术交流の実施、産・官への長期インターンシップや海外への長期インターンシップを実施する。
- ② 企業研究者による産業実学講義・科学技術政策講義の開講、大学院海外現地入試の実施、修士博士一貫教育実施に向けた検討の開始。
- ③ 新しく使い易いカップリング原料として次世代有機ボロン酸化合物を開発する。
- ④ これを用いて可能となる高選択的不斉合成や高効率炭素-炭素結合形成法により、多彩な構造を持つ有機分子を合成する次世代型クロスカップリングを開発する。
- ⑤ 次世代型クロスカップリングにより、各種医療において有用な医薬品を中心に、最先端産業分野で重要な機能材料の簡便かつ高効率な合成に展開する。

### 2) 平成 27 年度実施計画

- ① 国内外のインターンシップ派遣を継続して行う。また、海外拠点校とのジョイントシンポジウム、派遣・招聘事業等による学生・研究者交流を実施する。
- ② 企業研究者を講師とする産業実学講義・科学技術政策講義（大学院講義「応用化学研究先端講義」）を継続して開講する。また、国内外の研究者を講師とする英語講義や講演会（英語・日本語）を継続的に実施する。さらに、私費博士課程留学生を RA 経費によりリサーチ・アシスタントとして雇用することで、教育・研究の進展を促すとともに、外国人修士課程学生に対し、海外現地における博士課程入学試験を継続して実施する。
- ③ 新規有機ボロン酸化合物の設計・合成検討を行う。また、炭素-水素結合や水素-水素結合を活性化して、新たに炭素-炭素結合、炭素-水素結合、

炭素-ヘテロ原子結合を作るためのカップリング反応を高性能化する。さらに、カップリング反応の多様化に向けた検討を実施する。

- ④ 不斉合成反応や高効率合成反応の性能向上（高立体選択性や高反応性等）や環境調和性獲得（バイオマス資源やカーボンニュートラル材料利用等）を目指した検討を実施する。
- ⑤ 医薬原料等生物活性物質の効率的合成に向けた検討を行う。また、高分子材料、光機能材料、電子材料等の高性能化を目指した検討を実施する。

## 5 FCC および MMC 事業の実施内容

フロンティア化学教育研究センター (FCC) を中心に、総合化学院 (CSE)、国際先端物質科学大学院 (AGS)、理学研究院化学部門および触媒科学研究所と緊密に連携し、当初計画よりも広範かつ高密度に本事業における教育・研究を推進した。本年度はさらに、北海道大学で推進している「物質科学フロンティアを開拓する Ambitious リーダー育成プログラム」や海外一流研究者を講師に招聘する「トップランナーとの協働教育機会拡大支援事業 (トップコラボ事業)」に協力し、本事業の規模を拡張することができた。

教育においては、グローバル化に欠かせない海外の一流研究者を招聘した英語集中講義や学術講演会を十分に提供することができた。英語集中講義においては、本学の「トップコラボ」事業との協力により、講義数を増やすとともに、海外大学院生と一緒に講義を受ける機会を設けることができた。主催した国際シンポジウムでは、若手研究者を中心とする組織委員会が運営することで、海外の一流研究者と直接交流を持つことができた。また、大学院生の海外インターンシップ派遣においては、CSE と協力し「国際連携総合化学プログラム ショートビジット」として規模を拡大して実施した。「国際連携総合化学プログラム ショートステイ」により、海外学術協定校等の学生滞在人数も多く確保することが出来た。さらに、海外大学院受験生の現地入試を継続して行い、海外の優秀な大学院留学生の獲得にも貢献した。

次世代型クロスカップリング研究においては、世界に先駆けた脱芳香族化を伴う光学活性有機ホウ素化合物の合成法や、原子効率 100% の不斉分子間ヒドロアリアル化反応の開発において顕著な成果を得た。高機能不斉シアノ化触媒の試薬販売計画を連動させた産学連携研究でも進展が見られた。また、実験化学と計算化学の連携による新たな反応開発に向けた道筋を付けることも出来た。さらに、光アイソレーター研究でキラル情報を導入する斬新な学術成果や、新規発光材料研究における顕著な成果が得られる等、世界最高水準の研究を実施した。

さらに、FCC を拠点とする組織的な新研究課題創出に向けた取り組みとして、平成 26 年度 11 月に開始した「鈴木章記念未来創造ラボ」事業において早くも優れた研究成果が得られた。



このように、本事業は北海道大学における化学の教育・研究の充実とグローバル化に大きく貢献しており、当初の計画以上の「質」と「量」で成果を挙げることができた。

以下に具体的な事業成果を説明する。

## I. インターンシップおよび招聘・学術交流

### 【インターンシップ】

インターンシップの単位認定科目である「総合化学先端講義（インターンシップ）」についてカリキュラム ガイダンス等で周知し、引き続き学生がインターンシップに積極的に参加するよう努めた。本年度の実施状況を以下に示す。

- ① 総合化学院と協力し、大学院生 1 名を国内企業に派遣した。詳細は資料 8-1 に示したとおりである。
- ② 総合化学院と協力し、「国際連携総合化学プログラム ショートビジット」として、大学院生 12 名（ヨーロッパ 7 名、北米 3 名、アジア 2 名）を海外研究機関に派遣した。また、派遣学生の成果報告会を実施した。派遣者、派遣先の詳細は資料 8-2-1 に示したとおりである。
- ③ 総合化学院と協力し、「国際連携総合化学プログラム ショートステイ」として、海外協定校等との連携強化を目的に、海外大学院生 14 名（英国 1 名、イタリア 1 名、ロシア 1 名、中国 6 名、台湾 3 名、韓国 2 名）の研究滞在受入れを行った。受入学生、派遣元所属大学の詳細は資料 8-2-2 に示したとおりである。

### 【招聘・学術交流・産学連携・人材育成】

外国人研究者の招聘や学術交流について、以下のとおり実施した。

- ① 国内外講師等の招聘、講演会、集中講義、セミナー、シンポジウム  
〈講演会・集中講義〉

- ・本拠点が展開する物質科学イノベーションにおける基礎と最先端研究の教育を留学生も含めてグローバルに推進するため、AGS に所属する外国人学生のカリキュラムは、英語講義だけで必要単位をすべて取得できる。FCC と CSE 協働の AGS 運営委員会が主導して、国内外から招聘した一流研究者を講師とする英語集中講義と、外国人研究者による講演会から選定した英語スタンプ

ラリー講義、更に本学の教員による英語オムニバス講義を実施した。本年度からは、CSE とともに北海道大学が主導する「トップラボ事業」に積極的に参画し、英語集中講義を 4 科目増やすことに貢献した。これらの講義は、CSE 所属の日本人学生にも単位が認められており、FCC と MMC 事業が支援する海外インターンシッププログラムを推進するための英語力の増強と国際的視野を身につける好機となった。

- 国内外から 9 名の一流研究者を講師として招聘し、それぞれ 1 単位の英語による集中講義「先端総合化学特論 II」を実施した。このうち 4 名は本学「トップラボ事業」の一環である。

講演者：ドイツ 1 名、フランス 1 名、オランダ 1 名、米国 1 名、  
カナダ 1 名、中国 1 名、台湾 1 名、韓国 1 名、国内 1 名  
講師名、講義題目名等の詳細は資料 8-3-1 に示したとおりである。

- オムニバス形式による英語講義（学内講師 15 名）を実施した。  
講師名、講義題目名等の詳細は資料 8-3-2 に示したとおりである。
- 一流外国人研究者による英語学術講演会を実施し、スタンプラリー形式の英語講義として単位認定した。

外国人講師による講演会 25 件（主催 13 件、共催 12 件）

講演者名、講演題目名等の詳細は資料 8-3-3 に示したとおりである。

- 国内外の一流研究者を招聘して学術講演会・シンポジウム・セミナーを実施した（外国人研究者分 20 件、国内研究者分 16 件）。

講演者名・講演題目名等の詳細は資料 8-3-4 に示したとおりである。

〈シンポジウム〉

- 第 4 回フロンティア化学教育研究センター国際シンポジウム主催
- MMC 事業最終年度を迎え、化学および物質科学の分野を網羅した国際シンポジウムを主催した。テーマを“Future Dreams in Chemical Science and Technology: Bridges to Global Innovations”とし、工学研究院 フロンティア応用科学研究棟に設けられた講演会場「鈴木章ホール」にて実施した。工学研究院、理学研究院、触媒科学研究所等の部局から約 320 名の出席者があり、和やかな雰囲気の中で活発な議論が交わされた。鈴木章先生のご臨席も賜った。CSE 学生 87 名によるポスター発表も行い、一流研究者らとの密度の濃い討論を経験する機会を提供するとともに、国際交流・異分野交流の促進に役立った。また、

このシンポジウムは若手研究者を中心として企画され、その研究意識の向上に貢献した。

講演者：米国2名、オランダ1名、国内3名、北大6名

本シンポジウムの詳細は、資料8-4-1に示したとおりである。



Ben L. Feringa 教授による講演の様様



Ben L. Feringa 教授による講演の様様



Ben L. Feringa 教授による講演の様様



福島孝典教授による講演の様様



Bruce A. Parkinson 教授による講演の様様



質疑応答の様子



Banquet での鈴木章名誉教授のスピーチの様子



Banquet での Ben L. Feringa 教授のスピーチの様子



Banquet の様子



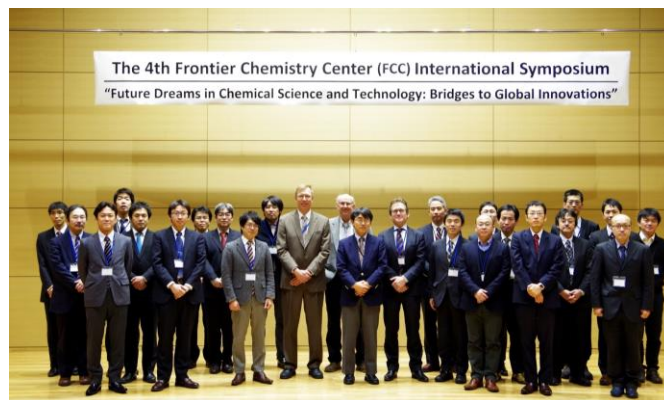
Banquet の様子



Poster Session の様子



Poster 賞受賞者



全体写真

- 教育・研究連携機関とのジョイントシンポジウムへの派遣
- ・ 教育・研究において、CSEに限らず、本学工学研究院および理学研究院と連携している国内外機関とのジョイントシンポジウムの開催を支援した。CSE教育経費事業との連携によるものである。
  - ・ 日本・台湾高分子研究シンポジウム  
シンポジウムの詳細は、資料 8-4-2 に示したとおりである。
  - ・ 植物高分子研究所・グルノーブル大学ジョイントシンポジウム  
シンポジウムの詳細は、資料 8-5-1 に示したとおりである。
  - ・ 名古屋大学・トヨタ自動車・精華大学・新疆師範大学ジョイントシンポジウム  
シンポジウムの詳細は、資料 8-5-2 に示したとおりである。
  - ・ カリフォルニア大学バークレー校ジョイントシンポジウム  
シンポジウムの詳細は、資料 8-5-3 に示したとおりである。



## II. 大学院講義および海外現地入試

### 【AGS プログラムおよび海外現地入試】

- ・ AGS プログラムでは、すべて英語による講義で必要単位を取得することができる。海外から優れた留学生を集めるため、本学の教員を現地に派遣して面接試験を行った。学生の募集、書面審査、現地入試のアレンジ、合格者の決定等は、FCC と CSE が協力した AGS 運営委員会が主導して行った。面接試験は、現地に派遣された教員と本学滞在の教員を交え、複数の審査員によるテレビ会議システムを用いて実施した。本年度は、ジャカルタ（インドネシア）1件、ダッカ（バングラデシュ）2件、ラホール（パキスタン）1件、ソウル（韓国）2件、上海（中国）1件の7名が受験した。
- ・ 外国人留学生を対象としてきた AGS に、教育のグローバル化を目的として平成 25 年度に日本人学生枠を設けたが、本年度は日本人学生 4 名が入学した。いずれも海外短期留学経験がある。また、昨年度入学した博士後期課程学生 5 名に研究奨励金を給付した。

### 【大学院講義および人材育成】

#### ① 最先端物質科学研究に関する集中講義の実施

- ・ 本拠点が開発する物質科学イノベーションにおける基礎と最先端研究の教育を推進するため、CSE 教育プログラムと連携して世界的に第一線で活躍する 6 名の国内研究者を非常勤講師に任用し、最先端物質科学研究に関する「化学特別講義」や「応用化学特別講義」（それぞれ 1 単位）を集中講義として行った。講師名、講義題目等の詳細は資料 8-6 に示したとおりである。

#### ② 産業実学講義および企業に関する講演会の実施

- ・ 本事業が育成を目指すグローバルリーダー像には、広く産業界で活躍できる人材も含まれている。このような人材の育成には産業界との連携が不可欠と考え、CSE 教育プログラムと協力し、企業研究者および企業研究経験者 2 名を非常勤講師とする「科学倫理安全特論」講義を開講した。講師名等の詳細は資料 8-7 に示したとおりである。

#### ③ 大学院学生のリサーチ・アシスタント雇用

- ・ 海外からの優秀な大学院学生を確保するため、AGS の外国人学生 10 名をリサ

ーチ・アシスタント（RA）として雇用し、就学支援を行った。

### 【研究環境の充実と測定技術向上教育】

フロンティア応用科学研究棟内の共用分析装置スペースに設置した 5 台（このうち 2 台を本事業で設備）の核磁気共鳴分析装置（NMR：分子構造を解析する最も有効な装置の一つ）および、FCC 研究スペースに設置した 2 台（このうち 1 台を本事業で設備）の X 線結晶構造解析装置を一括管理・運営し、広く使用提供することで構成員の研究推進に大きく貢献した。なお、本システムの運営には工学研究院から派遣された技術職員 2 名（木村悟、栗城夢実）の寄与が不可欠である。以下に使用実績の概要を示す。



- ① 設備総稼働時間：4621 時間
- ② 測定サンプル数：14125 検体
- ③ 登録使用者数：138 名
- ④ 測定技術向上教育

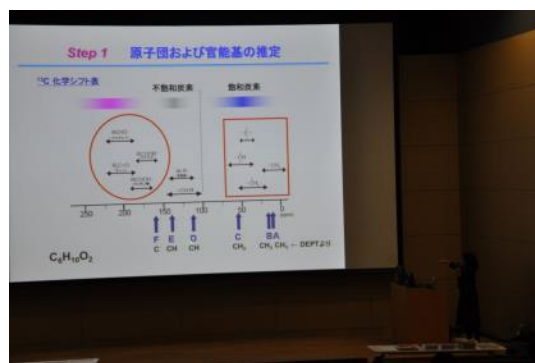
#### ● 講習会開催

- ・ユーザー講習会（3 回開催）

装置の概要・利用法、測定法等について解説した。

- ・データ解析法・測定原理講習会

大学院生を対象に、本学職員およびメーカー技術者を講師として、NMRによる分析・測定方法等、測定の原理や新規導入の解析ソフトによるデータ解析法の講習会を継続して実施した。講習会の詳細は、以下の写真のとおりである。



- ホームページの整備
- ・ 共同利用システムとしてのホームページを整備し、Web 上で機器利用予約ができることに加え、講義の動画や講演資料へのアクセス、データ解析が便利になるように工夫した。

### Ⅲ. 研究推進および啓蒙活動

#### 【異分野交流・若手研究者支援】

フロンティア応用科学研究棟内に整備した FCC ラボスペースを活用し、昨年度始動した「鈴木章記念未来創造ラボ」において、引き続き組織的な各種連携研究・若手支援研究事業の支援を行った。平成 26 年 11 月に開始した 2 件の課題（分野横断型連携研究、若手連携研究）において、すでに優れた成果が報告されている。

- 分野横断型連携研究

課題名：分野横断エレメント工学産学国際連携研究

研究者名：伊藤 肇（工学研究院 応用化学部門・フロンティア化学教育研究センター）、長谷川 靖哉（工学研究院 応用化学部門・フロンティア化学教育研究センター）、大川 徹（工学研究院 応用化学部門）、島田 敏宏（工学研究院 応用化学部門）、小笠原 泰志（工学研究院 応用化学部門）、柳瀬 隆（工学研究院 フロンティア化学教育研究センター）成果概要については、「6. 研究成果概要」に記載した。



- 若手連携研究

課題名：光機能制御を指向した新奇フォトニック分子材料の創製

研究者名：関 朋宏（工学研究院 応用化学部門・フロンティア化学教育研究センター）、中西 貴之（工学研究院 応用化学部門）成果概要については、「6. 研究成果概要」に記載した。

- ・ 発表論文

- 1) Noike, M.; Matsui, T.; Ooya, K.; Sasaki, I.; Ohtaki, S.; Hamano, Y.; Maruyama, C.; Ishikawa, J.; Satoh, Y.; Ito, H.; Morita, H.; Dairi, T.  
*"A peptide ligase and the ribosome cooperate to synthesize the peptide pheganomycin"*  
*Nature Chem. Biol.* **2015**, *11*, 71.
- 2) Yanagisawa, K.; Nakanishi, T.; Kitagawa, Y.; Seki, T.; Akama, T.; Kobayashi, M.; Taketsugu, T.; Ito, H.; Fushimi, K.; Hasegawa, Y.  
*"Seven-Coordinate Luminophores: Brilliant Luminescence of Lanthanide Complexes with C-3v Geometrical Structures"*  
*Eur. J. Inorg. Chem.* **2015**, 4769.
- 3) Omagari, S.; Nakanishi, T.; Seki, T.; Kitagawa, Y.; Takahata, Y.; Fushimi, K.; Ito, H.; Hasegawa, Y.  
*"Effective Photosensitized Energy Transfer of Nonanuclear Terbium Clusters Using Methyl Salicylate Derivatives"*  
*J. Phys. Chem. A* **2015**, *119*, 1943.
- 4) Hirai, Y.; Nakanishi, T.; Kitagawa, Y.; Fushimi, K.; Seki, T.; Ito, H.; Fueno, H.; Tanaka, K.; Satoh, T.; Hasegawa, Y.  
*"Luminescent Coordination Glass: Remarkable Morphological Strategy for Assembled Eu(III) Complexes"*  
*Inorg. Chem.* **2015**, *54*, 4364.
- 5) Hasegawa, Y.; Sato, N.; Hirai, Y.; Nakanishi, T.; Kitagawa, Y.; Kobayashi, A.; Kato, M.; Seki, T.; Ito, H.; Fushimi, K.  
*"Enhanced Electric Dipole Transition in Lanthanide Complex with Organometallic Ruthenocene Units"*  
*J. Phys. Chem. A* **2015**, *119*, 4825.
- 6) Nakanishi, T.; Suzuki, Y.; Doi, Y.; Seki, T.; Koizumi, H.; Fushimi, K.; Fujita, K.;

Hinatsu, Y.; Ito, H.; Tanaka, K.; Hasegawa, Y.

*"Enhancement of Optical Faraday Effect of Nonanuclear Tb(III) Complexes"*

*Inorg. Chem.* **2014**, *53*, 7635.

【化学研究に関する啓蒙活動等】

フロンティア応用科学研究棟内に昨年度設置した、鈴木章先生のノーベル化学賞ご受賞を記念した展示や動画コンテンツを用い、海外大学から訪問された賓客やオープンキャンパスで訪れた中高生にたいし、クロスカップリング反応をはじめ鈴木先生の御業績について説明し、啓蒙に努めた。

## 6 研究成果概要

本拠点は平成 27 年度の研究開発目標として、以下の項目を掲げた。

1. 新規有機ボロン酸化合物の設計・合成検討を行う。
2. 炭素-水素結合や水素-水素結合を活性化して、新たに炭素-炭素結合、炭素-水素結合、炭素-ヘテロ原子結合を作るためのカップリング反応を高性能化する。
3. カップリング反応の多様化に向けた検討を実施する。
4. 不斉合成反応、高効率合成反応の性能向上（高立体選択性や高反応性等）や環境調和性獲得（バイオマス資源やカーボンニュートラル材料利用等）を目指した検討を実施する。
5. 医薬原料等生物活性物質の効率的合成に向けた検討を行う。
6. 高分子材料、光機能材料、電子材料等の高性能化を目指した検討を実施する。

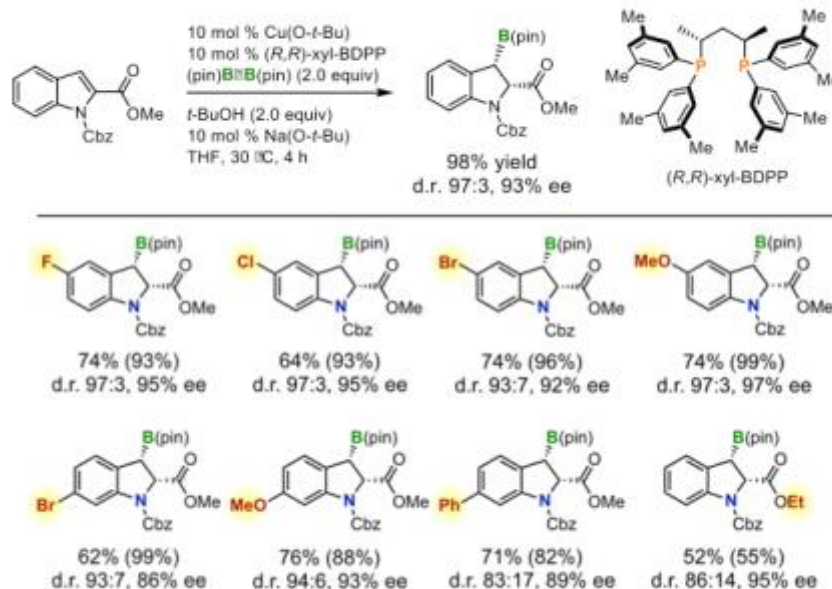
以下に研究成果例の概要を示す。

# 1. 新規有機ボロン酸化合物の合成および反応機構解明研究

## ① インドール類の脱芳香族化を経る不斉ホウ素化反応

・窒素等のヘテロ原子を含み、かつ不斉中心を持つ化合物は医薬品やアルカロイドなどの生理活性を持つ天然有機化合物に多く含まれる構造であるため、その合成を効率良く行う方法の開発は、医薬品産業、化学産業の分野で重要視されている。有機ホウ素化合物は、炭素-ホウ素結合を立体選択的に他の官能基や置換基に変換できるため、有用な合成中間体である。今回、光学活性銅錯体触媒を用い、ヘテロ芳香族化合物の一種であるインドールの脱芳香族化を経る不斉ホウ素化反応の開発に世界で初めて成功した。生成物は、医薬品合成の中間体等として有用な光学活性インドリン誘導体前駆体として需要が期待される。本研究内容は、*Angewandte Chemie International Edition* 誌（インパクトファクター 11.261）に掲載された。（工学研究院 応用化学部門 フロンティア化学教育研究センター 伊藤肇 教授）

事業成果：不斉脱芳香族化による光学活性有機ホウ素化合物の合成 法人名：北海道大学



*Angewandte Chemie International Edition* 誌 (I.F. = 11.261) に掲載

伊藤 肇 教授 工学研究院 応用化学部門 フロンティア化学教育研究センター

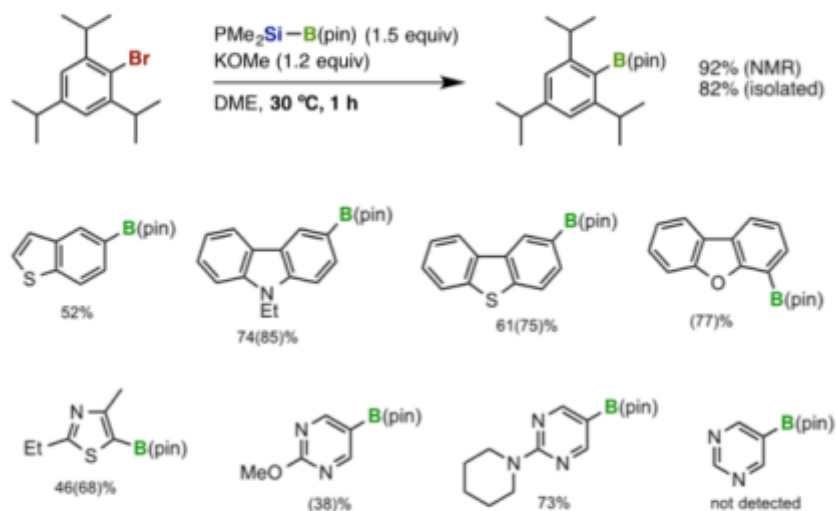
## ② シリルボラン試薬による遷移金属フリーのホウ素化反応

- 有機ホウ素化合物は鈴木カップリング等を利用することにより、医薬品、機能性材料の合成中間体となるため、重要な化合物である。これまでその合成は、有機リチウムなどの高活性な反応剤か、遷移金属触媒を用いる反応が主に使われていたが、それぞれ欠点があった。本事業において、2012年にシリルボラン試薬を用い、遷移金属を使わない新しいホウ素化反応を開発していたが、この反応を医薬品合成中間体として重要なヘテロ芳香族化合物に拡張することに成功した。さらに、その反応機構を実験と計算化学の連携により解明した。*Journal of the American Chemical Society* 誌 (インパクトファクター 11.444) 等に掲載された。工学研究院の伊藤肇教授を代表とする FCC「鈴木章記念未来創造ラボ」事業 分野横断型連携研究「分野横断エレメント工学産学国際連携研究」の成果である。

事業成果： シリルボランによる遷移金属フリーのホウ素化反応

法人名： 北海道大学

### 分野横断型連携研究成果例： 実験と計算化学の協力による反応機構解明



Yamamoto, E.; Izumi, K.; Horita, Y.; Ito, H. *J. Am. Chem. Soc.* 2012, 134, 19997.

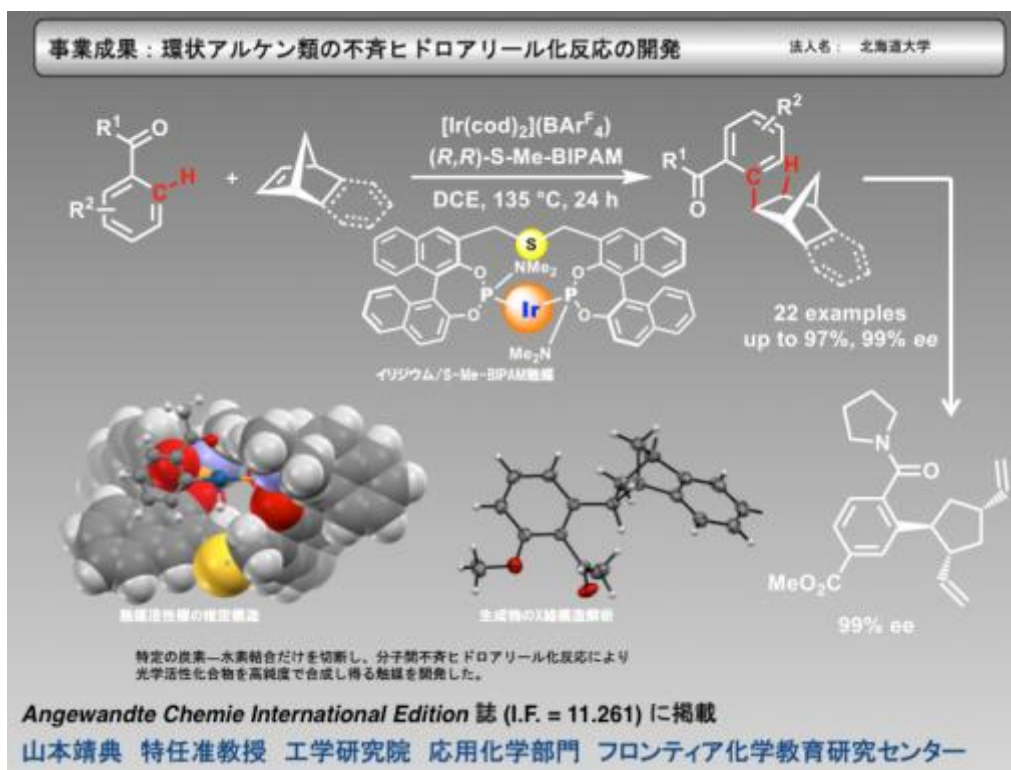
Yamamoto, E.; Ukigai, S.; Ito, H. *Chem. Sci.* 2015, 6, 2943.

Uematsu, R.; Yamamoto, E.; Maeda, S.; Ito, H.; Taketsugu, T. *J. Am. Chem. Soc.* 2015, 137, 4090.

## 2. 効率的な不斉合成反応・触媒の開発研究

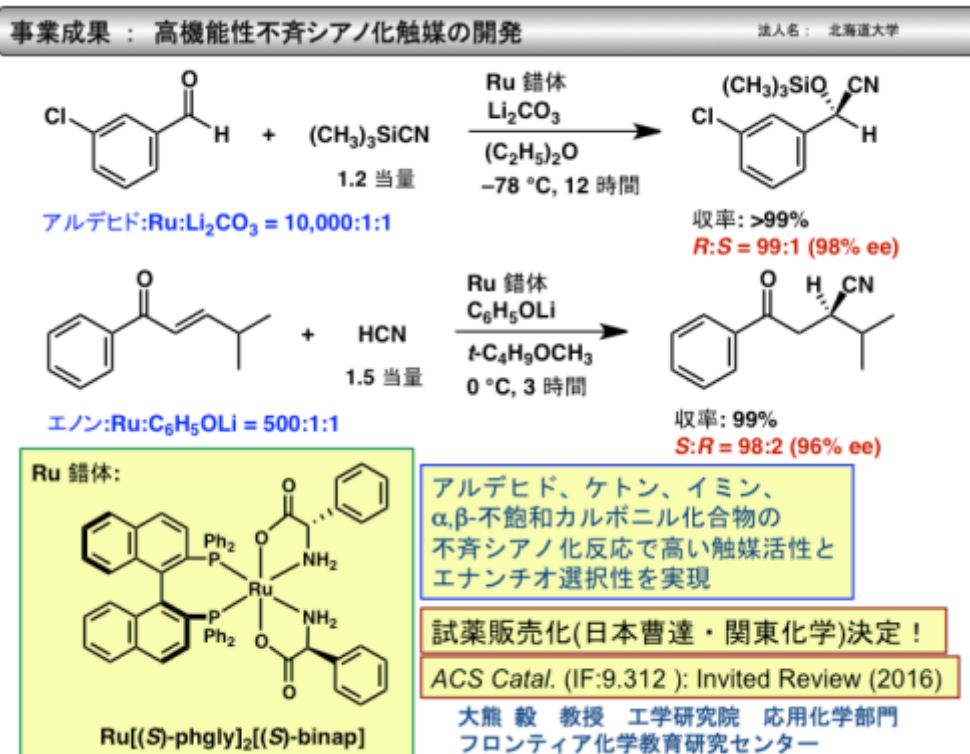
### ① 環状アルケン類の不斉ヒドロアリール化反応

- 炭素-水素結合の触媒的活性化を経由するビスクロアルケンの分子間不斉ヒドロアリール化反応の開発に成功した。新たに開発した硫黄架橋 BINOL 骨格を有する不斉配位子 **S-Me-BIPAM** により、カチオン性イリジウム錯体が 2-ノルボルネンの分子間不斉ヒドロアリール化反応を高収率かつ高エナンチオ選択的に触媒することを見出した。配向基としてケトンおよびアミドが適しており、特に第三級のアミドを用いた場合には反応し得る 2 つのオルト位のうちモノヒドロアリール化反応のみが選択的に進行した。また、本反応は完全なエキソ選択性で生成物が得られる。本成果は *Angewandte Chemie International Edition* 誌（インパクトファクター 11.261）に掲載された。（工学研究院 応用化学部門 フロンティア化学教育研究センター 山本靖典 特任准教授）



## ② 高機能性シアノ化触媒の開発

- ・独自に開発した PhGly/BINAP-ルテニウム錯体とリチウム化合物から成る触媒系は、アルデヒド、ケトン、イミン、 $\alpha,\beta$ -不飽和カルボニル化合物の不斉シアノシリル化反応および不斉ヒドロシアノ化反応において、従来の触媒に比較して 10~100 倍程の高い触媒活性と最高水準のエナンチオ選択性を示す。また、その広い基質適用範囲も特筆に値する。触媒の基本骨格をなすルテニウム触媒は化学安定性に優れ、大気下のシリカゲルカラムによる回収・再利用が可能である。本触媒の高い性能が評価され、PhGly/BINAP-ルテニウム錯体の試薬販売化（日本曹達・関東化学）が決定した。また、学術的貢献が評価され、不斉シアノ化反応に関する総説を *ACS Catalysis* 誌（インパクトファクター 9.312）に依頼され執筆した。（工学研究院 応用化学部門 フロンティア化学教育研究センター 大熊毅 教授）






### ③ 微量エチレンを酸化分解する白金触媒の開発

- 果物や野菜などの植物から微量のエチレンが放出される。エチレンは植物の腐敗を進める植物ホルモンとして作用し、食品ロスの原因となる。そこで微量エチレンの効率的な除去方法が重要である。特に、冷蔵下で野菜、果物の鮮度を保って保管や輸送を行うために、低温下でエチレンを除去できる技術の開発が求められてきた。そこで、担持金属触媒を用いて微量エチレンの酸化を検討した結果、メソポーラスシリカを担体とする白金ナノ粒子を触媒として用いると、0℃でも 50 ppm のエチレンが完全に除去され、二酸化炭素と水が生成することを見出した。この触媒を搭載した冷蔵庫が 2015 年 8 月に日立アプライアンス社より発売され、現在、市販されている。(触媒科学研究所 フロンティア化学教育研究センター 福岡淳 教授)

事業成果： 微量エチレンを酸化分解する白金触媒の開発 法人名： 北海道大学

**エチレン：植物ホルモン**

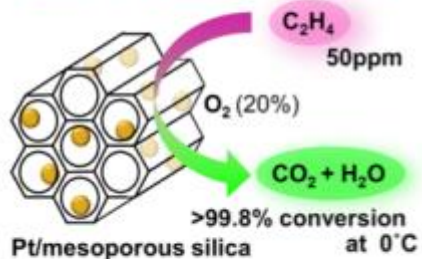
低温でも微量エチレン (ppmオーダー) が放出され植物の熟成を促進




**食品ロス  
もったいない**

福岡 淳 教授  
触媒科学研究所  
フロンティア化学教育研究センター

**メソポーラスシリカ担持白金触媒による低温エチレン酸化**



**冷蔵庫触媒としての実用化 (2015.8)**



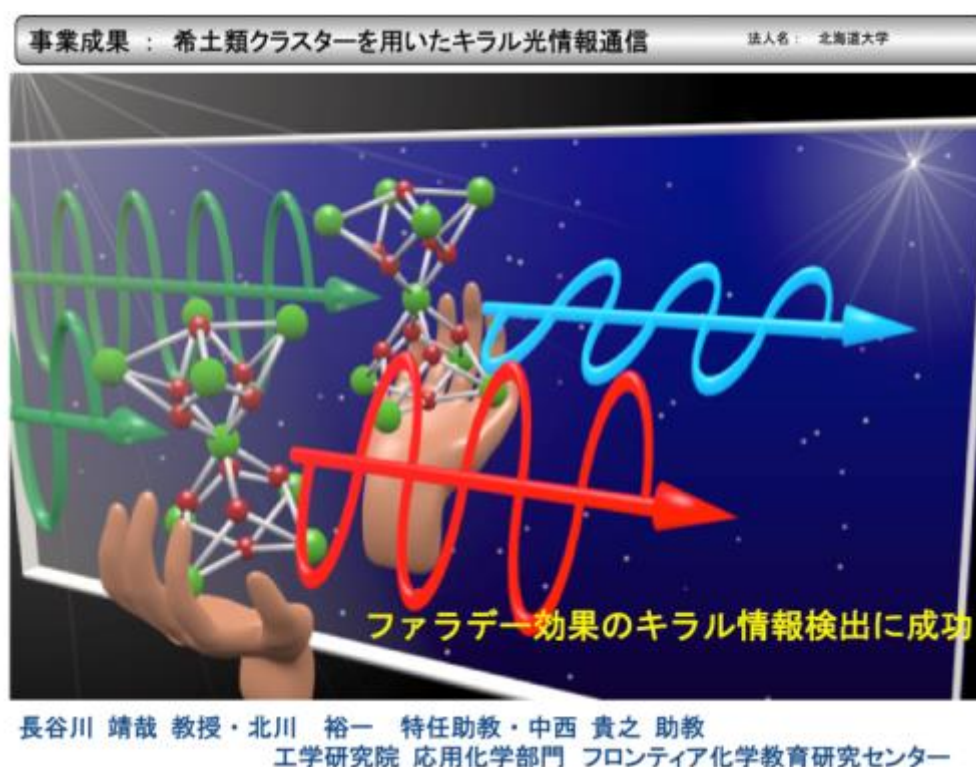


### 3. 光機能材料、高分子材料、電子材料等の設計・合成検討

#### ① 希土類クラスターを用いたキラル光情報通信

- ・現代の高度情報化社会は高速で情報通信が可能な「光情報通信技術」によって支えられている。この光情報通信を円滑に行うため、光の伝播方向を制御する「光アイソレーター素子」が現在使用されている。

この光アイソレーターは磁場中で偏光面が回転するファラデー効果を利用している。これまで無機結晶のファラデー効果が多く研究されてきたが、我々は初めてファラデー効果のキラル情報検出に成功した。この効果はファラデー効果を発現する希土類クラスターにキラル構造を導入した分子で観測され、その研究成果をまとめた学術論文は Nature 出版グループ (NPG) の *Asia Materials* 誌 (インパクトファクター 9.042) に掲載された。(工学研究院 応用化学部門 フロンティア化学教育研究センター 北川裕一 特任助教/中西貴之 助教/長谷川靖哉 教授)

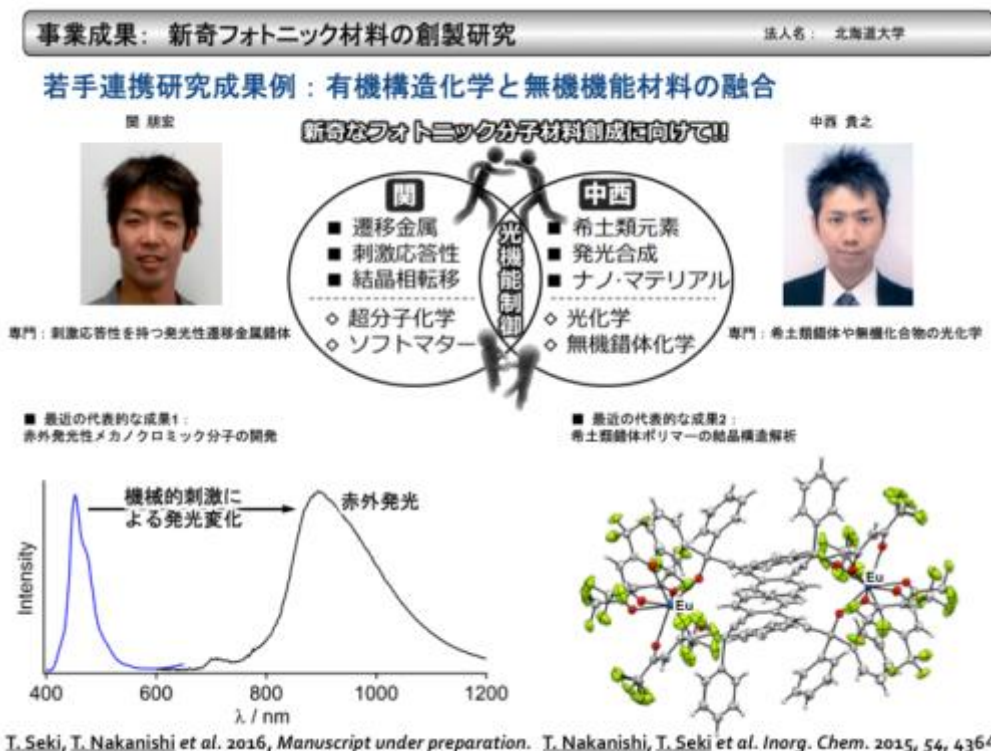


この一連の研究成果が注目され、テレビ番組で放映紹介された。

## ② 新奇フォトニック材料の創製研究

FCC「鈴木章記念未来創造ラボ」事業 若手連携研究「光機能制御を指向した新奇フォトニック分子材料の創製」が平成 26 年 11 月にスタートしたが、短い研究期間ですでに顕著な成果が上がっている。刺激応答性を持つ発光性遷移金属錯体を専門とする関朋宏 助教（工学研究院 応用化学部門 フロンティア化学教育研究センター）と希土類錯体や無機化合物の光化学を専門とする中西貴之 助教（工学研究院 応用化学部門）が共同研究を展開し、それぞれの専門領域の境界において共同研究論文 4 報を報告している。代表的な研究成果として以下の 2 件がある。

- ・ 構造化学と光化学の異分野連携により、赤外発光特性を示すメカノクロミック分子を世界に先駆けて発見した。その前例のない発光メカニズム解明についても検討した。（関助教を中心とする課題）
- ・ 特異な発光機能が注目される希土類錯体ポリマーの複雑な構造を、X 線構造解析技術を駆使して高精度に解明した。発光メカニズム解明への展開が期待される。（中西助教を中心とする課題）



平成 27 年度の研究実績一覧は、以下のとおりである。  
なお、詳細は巻末の資料を参照されたい。

投稿論文数（査読付）	440 件
解説・総説数	65 件
著書数	25 件
国際学会発表（口頭発表）	253 件
国際学会発表（ポスター発表）	351 件
基調講演・招待講演	367 件
受賞	148 件
大学および研究機関との共同研究	199 件（国内:130 件 国際:69 件）
産学共同研究	69 件（国内:66 件 国際:3 件）

## 7 事業の総括と今後の展望

文部科学省特別経費「次世代型クロスカップリング反応が拓く分子構築イノベーション」事業（MMC 事業）は平成 27 年度末をもって終了し、当初の期待以上の成果を上げることが出来た。事業の開始に呼応して工学研究院に設立された「フロンティア化学教育研究センター（FCC）」を事業推進拠点とし、研究においては、工学研究院応用化学部門、理学研究院化学部門、触媒科学研究所等と、教育においては、総合化学院（CSE）と組織的に協力することができたことが成功の主要因であろう。

2010 年にノーベル化学賞を受賞された鈴木章先生の御業績と「精進努力」の精神を継承し、次世代型クロスカップリング研究を始動したのはつい 4 年前のことであるが、世界最先端の成果を上げ、医薬合成プロセス等において実用化をなし得たのは、個々の研究者の能力が優れていたことに加え、FCC に整備したラボスペースを活用した「鈴木章記念未来創造ラボ」事業において、各種連携研究・若手支援研究事業の支援を行う等の組織的取り組みが功を奏したことによる。こうした組織的研究支援制度は FCC の事業として今後も継続し、新しい分野・特徴的な研究への展開を目指していく。

教育プログラムにおいても CSE との組織的な連携により、計画以上の成果を得た。特に教育のグローバル化に顕著な貢献をすることができた。大学院学生の海外研究機関への派遣（国際連携総合化学プログラム ショートビジット）および海外大学院生の研究派遣受け入れ（国際連携総合化学プログラム ショートステイ）の制度を整備し、国際交流・国際共同研究の機会を大幅に増やした。また、著名な外国人講師による英語集中講義「先端総合化学特論Ⅱ」等の実施において中心的な役割を担い、大学院講義の英語化に貢献した。国際先端物質科学大学院（AGS）の海外現地入試を主導し、優秀な大学院留学生獲得にも大きく貢献した。このように制度化した教育プログラムを今後も継続し、本学の”Hokkaido Summer Institute”等の新しい取り組みも加え、化学教育の高度化・国際化に邁進する。

本事業により、FCC を中心とする教育・研究プログラム推進体制が出来つつある。この仕組みを改良・充実し、世界を先導する物質科学教育研究拠点への発展を目指したい。