

1. はじめに

北海道大学工学研究科化学系 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（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 2 年目（平成 25 年度）の活動記録である。工学研究院と化学系関連部局の方々の力強いご支援を賜り、教育・研究の両面で計画した以上の成果を挙げることができた。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 26 年 12 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)

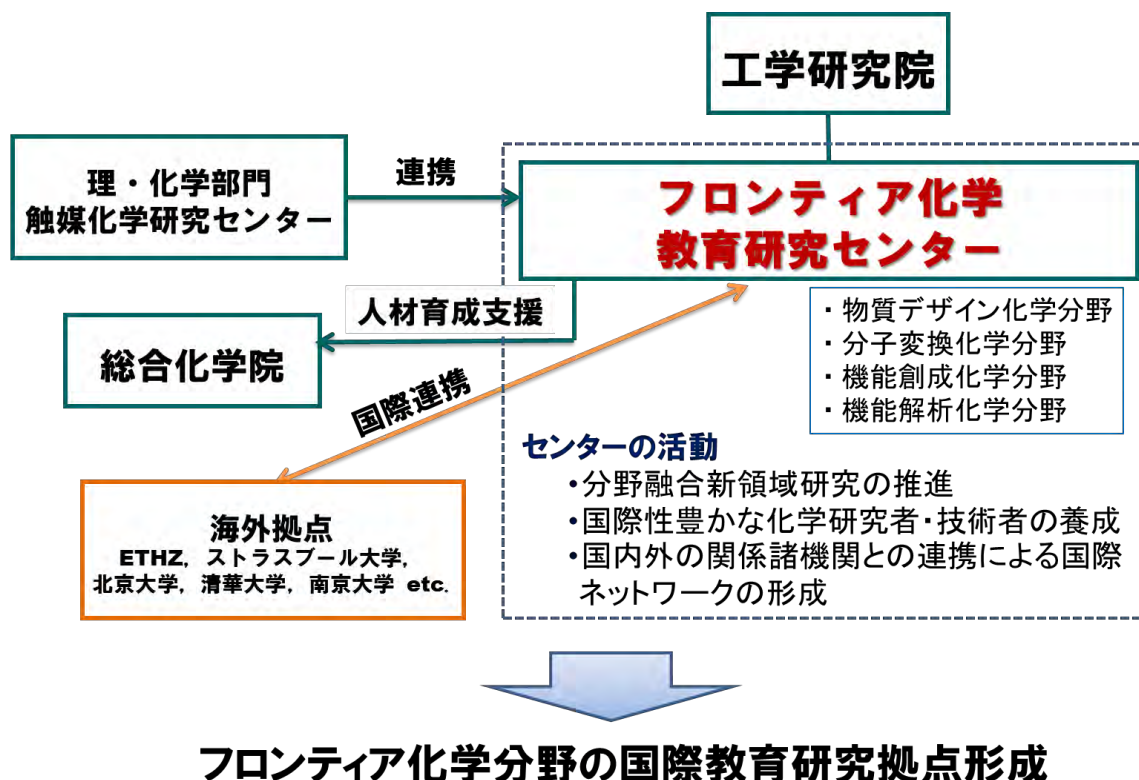
および特別経費事業 (MMC 事業) の目的と概要

「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17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、本学名誉教授であり、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」を平成24年6月1日付けで設置した。同センター（FCC）は工学研究院有機プロセス工学部門、同生物機能高分子部門、同物質化学部門と理学研究院化学部門、触媒化学研究センター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術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 25 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、触媒化学研究センターに所属する 18 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

2) 分子変換化学分野

大熊 毅、伊藤 肇、山本靖典（FCC 専任）、福岡 淳、谷野圭持

3) 機能創製化学分野

吉川信一、向井 紳、稲辺 保、関 朋宏（FCC 専任）、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

顧問：鈴木 章 名誉教授、宮浦憲夫 名誉教授

【運営組織】○：委員長を示す

1) 運営委員会

○大熊 毅、吉川信一、増田隆夫、覚知豊次、幅崎浩樹、向井 紳、
村越 敬、石森浩一郎、武次徹也、谷野圭持、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（海外研究機関への学生派遣）
- ② 国内インターンシップ（国内企業等への学生派遣）

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支援事業

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、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、三浦葉子

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 25 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 25 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 RA 経費により講演会（英語・日本語）を実施する。さらに、私費博士課程留学生を雇用することで、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実施する。加えて、修士博士一貫教育実施に向けた検討をワーキンググループで開始する。
- ③ 新規有機ボロン酸化合物合成のための炭素-ホウ素結合形成法開発を実施する。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カップリング法開発に向けた条件（反応剤、触媒等）検討を実施する。

- ④ 新規不斉合成反応や高効率合成反応の開発を目指した検討（反応条件、触媒構造、バイオマス資源利用等）を行う。
- ⑤ 医薬原料、高分子材料、光機能材料、電子材料等の設計・合成検討を行う。

5. FCC および MMC 事業の実施内容

本事業推進のため昨年度工学研究院に設置したフロンティア化学教育研究センターを中心に、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化学研究センターと組織的に連携し、教育・研究推進に大きく貢献した。フロンティア化学教育研究センターに人材交流推進部を設置し、国際人材交流や大学院講義の英語化の推進、国際先端物質科学大学院の外国人受験生現地入試の実施、産業界との連携の充実等に先導的役割を担った。また、国際シンポジウムや講演会の開催を主導し、学术交流の推進にも貢献した。

次世代型クロスカップリング研究においても、世界最高水準の学術成果を挙げることができた。産学連携による実用化研究にも長足の進歩が見られ、事業化の目処がついた研究もでてきた。計画した以上の成果となった。

このように、本事業は本学における化学教育・研究組織の充実とグローバル化に顕著な貢献をなしている。当初の予定以上の「質」と「量」で成果を挙げることができた。

1) インターンシップ及び招聘・学术交流

【インターンシップ】

カリキュラムを見直し、インターンシップを単位認定科目「総合化学先端講義（インターンシップ）」とした。これにより、学生がより積極的にインターンシップに参加できる環境が整備された。本年度の実施状況を以下に示す。

① 国内インターンシップ

大学院生 10 名を企業研究所へ派遣した。派遣者、派遣先の詳細は資料 8-1 に示したとおりである。

② 海外インターンシップ

大学院生 18 名（ヨーロッパ 9 名、北米 7 名、アジア 1 名、オセアニア 1 名）を海外研究機関へ派遣した。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。

また、海外の大学院（アジア）に所属する学生 5 名の研究滞在を受け入れた。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 の AGS 運営委員会が主導して、国内外から招聘した講師による英語集中講義と、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、更に本学若手教員による英語オムニバス講義を実施した。これらの講義は、CSE 所属の日本人博士課程（一部修士課程）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に貢献している。また、単位認定に関わらず多くの修士課程学生も出席し、国際的視野を身につける好機となった。

- ・海外から 6 名の講師を招聘し、それぞれ 1 単位の英語による集中講義を実施した。

講演者：フランス 1 名、米国 1 名、中国 1 名、韓国 1 名、ロシア 1 名、
スイス 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。

- ・外国人講師による英語講演会を対象とし、スタンプラリー形式による英語講義を実施した。

講演者：外国人講師 27 名（主催 21 件、共催 6 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。

- ・国内から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（主催 27 件、共催 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2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

・有機、無機、高分子、生体関連物質等、広範な先端機能物質科学の分野で世界的に活躍している研究者を講演者として招待した。工学研究院、理学研究院、触媒化学研究センター等の部局から多くの出席者があり、活発な議論が行われた。また、AGS 学生やCSE 学生のスタンプリナー講義の対象としても指定し、教育振興に貢献した。

講演者：米国1名、スイス1名、フランス1名、ニュージーランド1名、国内4名、北大4名

・AGS 学生やCSE 学生 61 名によるポスター発表を行い、国際交流・異分野交流の促進に貢献した。

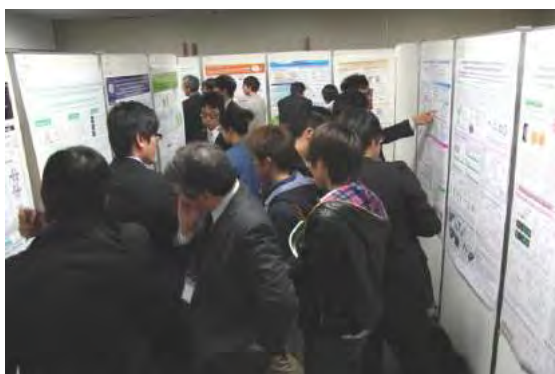
本シンポジウムの詳細は、資料 8-4-1 に示したとおりである。



センター長・大熊毅教授による
Opening Remarks



講演会場の様子



Poster Session の様子



全体写真

- ポーランド AGH 科学技術大学とのジョイントシンポジウム共催
 - ・本学工学研究院との海外連携機関である当該大学研究者を招待して実施した。主題：物質科学研究 講演者：AGH 4 名、北大 13 名、ポスター：29 名
 - 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。
- 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、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に教員と学生を派遣した。文部科学省平成 25 年度研究拠点形成費等補助金「卓越した大学院拠点形成支援補助金」および CSE 教育経費との連携を図ることにより実現した。
 - ・南京大学
 - 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・清華大学・トヨタ自動車（株）・北海道大学（NTTH）
 - 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。
 - ・ソウル国立大学校
 - 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。
 - ・その他（派遣者：学生 2 名）

② 海外研究者派遣および共同研究

- 日本学術振興会 平成 25 年度 頭脳循環を加速する若手研究者戦略的海外派遣プログラム「物質変換と機能創出に関わる化学を担う若手研究者海外派遣プログラム」（平成 24 年度～平成 26 年度：主担当研究者 大熊 毅）による派遣及び共同研究

・FCC および MMC 事業は、「物質変換と機能創出に関わる化学研究分野」で次世代リーダー（若手研究者）を恒常的に輩出する人材育成システムの構築を目的とする。本海外派遣プログラムが掲げる「学術研究の国際水準と多様性を理解する若手研究者」の育成は、FCC および MMC 事業の目的と正に合致し、将来の頭脳循環につながる国際的なネットワークの構築を念頭に置いた海外派遣を計画した。以下に概要を示す。

・世界最先端の自然科学研究を推進しているドイツのマックス・プランク石炭研究所（化学領域論文数 世界 3 位、被引用件数 世界 2 位（トムソン・ロイター）に所属する Klusmann 博士の研究室に黒野暢仁助教を 1 年間派遣する。Klusmann 博士は環境調和型の酸素酸化反応の世界的権威であり、申請研究組織は「カップリング」に代表される炭素—炭素結合形成反応において国際的に認

知されている。両者の卓越した科学技術の融合により、アミノ酸等の光学活性含窒素有機化合物の効率的合成を目指す。平成 25 年度は 201 日間の派遣研究を行った。

本課題は 1 段階目のアミド・カーバメート類の酸素酸化、2 段階目の酸化で得られた *N*-アシルイミニウム中間体の不斉シアノ化から構成されている。アミド・カーバメート類の酸素酸化は 3 過程で構成されると考えられるが、平成 25 年度は、第 2 および第 3 の過程について検討を行った。第 2 過程については、ニトロキシラジカルを化学量論量の 2 価銅によりオキソアンモニウム塩へ酸化する条件を見いだすことができた。第 3 過程の検討において、ニトロキシラジカル、1 価銅、および硝酸をそれぞれ触媒量用い、酸素雰囲気下で *N*-アシルイミニウム塩と芳香族化合物とのカップリング生成物を収率良く得ることに成功した。すなわち、1 段階目のアミド・カーバメート類の酸素酸化に成功した。優れた性能を示す 3 種類の触媒を見いだした。また、2 段階目の不斉シアノ化についての検討を開始した。代表基質に選定したアセトフェノン *N*-アシルイミンのシアノ化において、光学活性ジホスフィンとアミノ酸を配位子とするルテニウム錯体とリチウムアルコキシドによる複合金属錯体が良好な触媒作用を示すことを見いだした。

・ ドイツの工学系研究で高い評価を得ている大学の一つであるカールスルーエ工科大学（学術的な貢献度（scholarly impact）ドイツ国内 2 位、ヨーロッパ内 6 位）に所属する Barner-Kowollik 教授の研究室に瀧瀬啓太博士研究員を約 2 年半派遣する。Barner-Kowollik 教授は高分子、コロイド、生体分子等、ソフトマター材料研究の世界的権威である。とくに、ソフトマター材料の機能評価法に卓越している。申請研究組織では、高分子化合物の精密合成法の開発において数々の成果を挙げてきた。両者の科学技術協力により、刺激応答性ポリロタキサンの合成とソフトマター材料への展開を図る。平成 25 年度は二度にわたり、合計 341 日間の派遣研究を行った。

平成 25 年度は、(I)昨年度に分子設計した輪分子と軸分子にアジド基とアルキニル基をそれぞれ有するロタキサンモノマーの合成研究、(II)クラウンエーテルとアンモニウム部のホスト-ゲスト相互作用を用いるポリロタキサン合成法の開発、(III) アニオンテンプレート効果に基づくポリロタキサン合成法の開発、を行った。(I)については、軽微な分子設計変更を施し、合成経路を短縮した。この計画に沿って合成を開始し、軸分子については 10 段階、輪分子前駆体につい

では3段階合成した。(II)については、軸分子にアンモニウム部を、輪分子にクラウンエーテル部をもつポリロタキサンを設計し、合成に成功した。また、このポリロタキサンにホスト-ゲスト相互作用による構造安定化機能のあることを見いだした。(III)については、塩化物イオンを中心に、ともにアミド構造(RCONHR)をもつ軸分子と輪分子が集合するポリロタキサンを設計し、合成に成功した。

それぞれの派遣研究者について主担当研究者を主査とする「育成評価委員会」を組織し、研究成果の年度評価を行った。

- ・黒野助教の育成評価委員会委員
大熊 毅、原 正治、伊藤 肇
- ・瀧瀬博士研究員の育成評価委員会委員
大熊 毅、覚知豊次、田口精一

長期海外派遣プログラムの実施

法人名： 北海道大学

日本学術振興会 平成24年度 頭脳循環を加速する
若手研究者戦略的海外派遣プログラム
「物質変換と機能創出に関わる化学を担う若手研究者
海外派遣プログラム」
予定事業期間：平成24年10月～平成27年3月
予定交付金額：59,840千円
派遣者：助教1名、博士研究員1名



【派遣先】

平成24年度研究総長賞受賞！

マックス・プランク石炭研究所（ドイツ）

- ・マックス・プランク研究所のうち、最先端の化学研究を行っている石炭研究所（ミュールハイム）のKlussmann博士の研究室へ助教を1年間派遣し、共同研究を行う。
- ・マックス・プランク研究所は、化学領域の論文数：世界3位、被引用件数：世界2位（トムソン・ロイター）である。
- ・代表的研究者としてKarl Ziegler(1963年にノーベル化学賞受賞)が知られている。

カールスルーエ工科大学（KIT）（ドイツ）

- ・Barner-Kowollic教授の研究室へ博士研究員を2年半派遣し、共同研究を行う。
- ・KITは、化学領域の論文数：世界57位、被引用件数：世界64位である。
- ・代表的研究者としてFritz Haber(1918年にノーベル化学賞受賞)が知られている。

2) 大学院講義および海外現地入試

【日本人学生英語プログラムの設置】

・グローバルに活躍する人材育成を目的に、これまで外国人留学生を対象としてきた英語プログラムであった国際先端物質科学大学院（AGS）に日本人学生枠を設け、初年度生として5名が入学した。

【海外現地入試の実施】

・AGS 外国人学生プログラムでは、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。海外の優れた人材を集めるため、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、本センター（FCC）の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複数名を交えたテレビ会議システムを用いて実施した。本年度は、フランクフルト（ドイツ）1件、ムンバイ（インド）1件、バンガロール（インド）1件、ダッカ（バングラデシュ）7件、テヘラン（イラン）1件、北京（中国）6件であった。

【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推進するため、CSE 教育プログラムと連動して世界的に活躍している国内大学教員5名と企業研究者ら2名を非常勤講師に任用し、最先端物質科学研究に関する集中講義（それぞれ1単位）を行った。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 産業実学講義及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。化学を学術的見地からだけでなく、社会のニーズや技術的将来性をも含めた視点から捉える能力が望まれる。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 教育プログラムと連動して講義および講演会を開催した。

- 「応用化学研究先端講義（産業実学講義）」及び「科学倫理安全特論」開講
- ・非常勤講師：大学教員あるいは企業研究者3名

講師名等の詳細は資料 8-7 に示したとおりである。

- 企業研究に関する講演会開催

- ・ 講演者：本学 CSE あるいは工学研究院から企業に就職した修士課程あるいは博士課程修了者 3 名

講師名等の詳細は資料 8-8 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 11 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】

- ・ 工学研究院から派遣された技術職員 1 名の協力を得て、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) の運営組織を設置した。本 MMC 事業で設備した 2 台を加えた計 5 台の装置を効率的に活用することで、研究推進に大きく貢献した。以下に活動の概要を示す。

① 設備総稼働時間：5076 時間

② 測定サンプル数：17033 検体

③ 登録使用者数：116 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。

- ・ データ解析法講習会

- 新しく導入した解析ソフトについて解説した。

- ホームページの開設

- ・ 装置説明、装置使用マニュアル、ユーザー講習会ビデオ等の閲覧等を可能にした。

- ・ ユーザー講習会受講者に ID を与え、Web 上で利用予約できるシステムを立ち上げた。

6. 研究成果概要

本拠点は平成 25 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合成のための炭素－ホウ素結合形成法開発を行う。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より直接的なカップリング法開発に向けた条件検討を実施する。3. 新規不斉合成反応や高効率合成反応の開発を目指した検討を行う。4. 医薬原料、高分子材料、光機能材料、電子材料等の設計・合成検討を行う。以下に研究成果例の概要を示す。

1) 新規ホウ素化反応等の開発研究

① 炭素－水素結合の直接ホウ素化反応

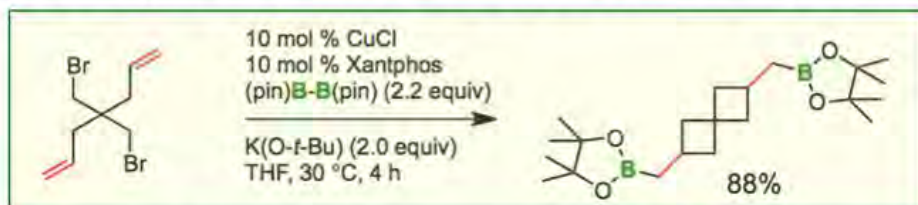
・有機化合物の炭素－水素結合直接ホウ素化反応は、有機ハロゲン化物を経由しない効率的かつ環境調和型反応として世界的に注目を集めている。イリジウム錯体触媒を用いる α , β -不飽和エステル類のビニル位直接ホウ素化の開発に成功した。ホウ素の導入位置を高度に制御できる。このホウ素化とクロスカップリング反応を組み合わせた生理活性物質の合成も達成した。

② アルケン類のホウ素化反応

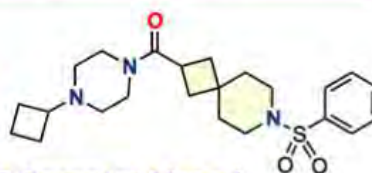
・様々な置換様式をもつアルケン類をホウ素化することで、新規あるいは有用な有機ホウ素化合物を効率的に合成することに成功した。

● 銅錯体触媒を用いて分子内にハロゲン置換部位をもつアルケンのホウ素化を行い、新規な環状ホウ素化合物の合成に成功した。また、クロスカップリング反応と組み合わせることで、複雑な骨格をもつ有機化合物を短段階で合成することができた。*Journal of the American Chemical Society* 誌 (インパクトファクター 10.677) 等掲載

有機ホウ素化合物は「医薬品」、「液晶」などを合成するための原料として、ファインケミカル分野で極めて重要である。
これまで合成が難しかった環状ホウ素化合物の高効率合成に成功



**新たに開発した反応を用いて
 医薬品の候補となる生理活性化合物
 の高効率な合成を実施した。**



Histamine H3 Receptor Ligand

Journal of the American Chemical Society
 誌(I.F. = 10.677)に掲載

伊藤 肇 教授
 工学研究院 有機プロセス工学部門
 フロンティア化学教育研究センター

● 光学活性（右または左型分子）銅錯体触媒を用いることで、アルケニルシランの不斉ホウ素化反応に成功した。合成上有用なケイ素置換基をもつ光学活性有機ホウ素化合物が高選択的に得られる。この手法は抗ウイルス薬の原料等の合成にも適用できる。

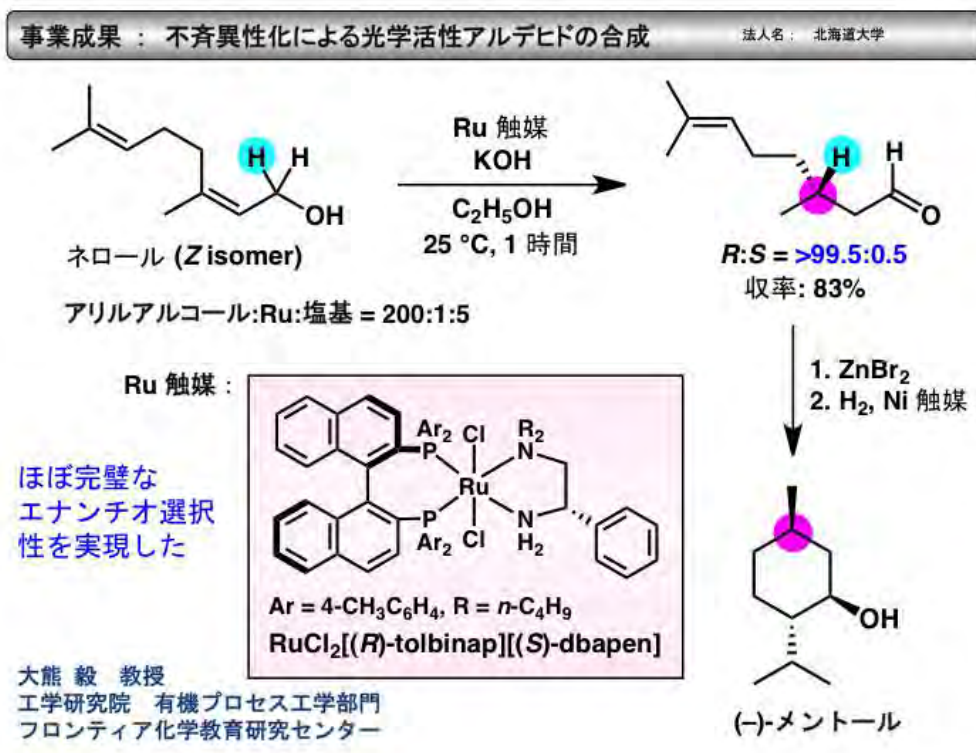
③ 新規フッ素化試薬の開発

・新しい機能性材料や医薬開発の分野で有機フッ化物が世界的に注目されているが、一般に用いられているフッ素化試薬は空気や水に不安定で、特殊な操作技術や装置が必要となるため、容易に取り扱えるフッ素化試薬の開発が急務であった。種々検討を行った結果、IF₅-Pyridine-HFの組成をもつ試薬が優れたフッ素化能と空気や水に対する高い安定性を併せ持つことを見いだした。スルフィド類等の選択的フッ素化に成功した。

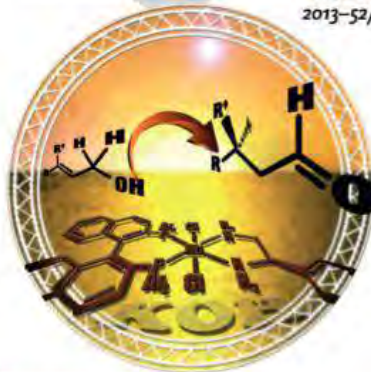
2) 新規不斉合成反応や高効率合成反応の開発研究

① 不斉異性化反応による光学活性アルデヒド類の合成

・独自に開発した光学活性ルテニウム錯体触媒を用い、入手容易なアリルアルコール類の異性化反応（水素原子の位置の移動）を行うことで、光学活性アルデヒド類の合成に成功した。100分の1から1000分の1の少ない触媒量で反応し、99%以上のほぼ完璧な選択性を達成した。光学活性アルデヒド類は、医薬品や香料の原料として需要が多い。*Angewandte Chemie International Edition* 誌（インパクトファクター 13.734）に掲載され、Very Important Paper (VIP) に選定された。VIPは重要度が上位5%以内と評価された論文である。また、掲載誌の内表紙に研究内容がハイライトされた。新聞報道による研究内容紹介もなされた。



A Journal of the Gesellschaft Deutscher Chemiker
Angewandte Chemie
 International Edition
 www.angewandte.org
 2013-52/29



Enantioselective isomerization

In a landmark discovery, the authors use the 2D-irradiated alkylidene with the H₂O₂ and H₂O₂ to develop the 2D-irradiated system to describe the 2D-irradiated system in their 2D-irradiated system. The 2D-irradiated system is a 2D-irradiated system and a 2D-irradiated system, including a 2D-irradiated system and a 2D-irradiated system. It is contained in the 2D-irradiated system.

125 **Angewandte**

WILEY-VCH

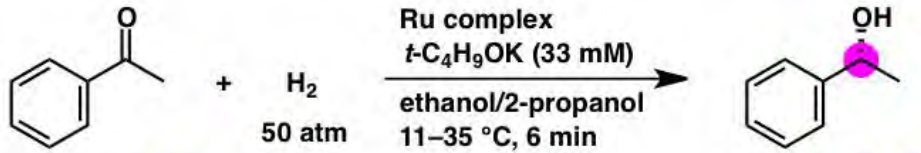
この分野で最も権威のある学術誌 *Angew. Chem. Int. Ed.* (IP: 13.734) の Very Important Paper (上位5%以内の評価) に選定され、内表紙に研究内容が紹介された。

② 超高活性不斉水素化触媒の開発

・ケトン類や環状イミン類の不斉水素化において極めて高い活性と選択性を示す触媒の開発に成功し、高砂香料工業との共同研究を経て **STREM** 社から試薬として販売するに至った。触媒 1 分子あたり、1 分間に最高 35,000 分子もの生成物が得られる。しかも、分子の左右をほぼ完璧に見分けることができる。研究成果の新聞報道もなされた。

事業成果： 超高活性不斉水素化触媒の開発

法人名： 北海道大学



ケトン:Ru = 100,000:1

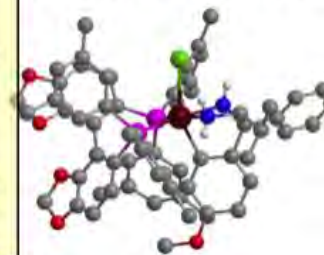
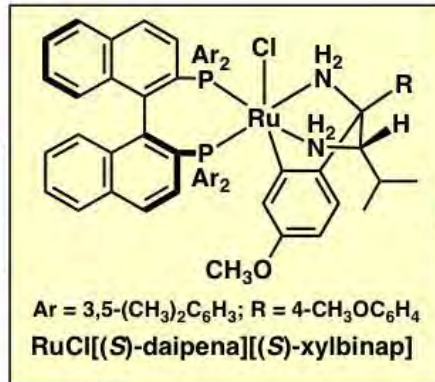
R:S = >99.5:0.5

収率: >99%

TOF = 35,000 min⁻¹

(1分あたりの仕事効率)

Ru complex:



世界一の反応性、
エナンチオ選択性
を達成

大熊 毅 教授
工学研究院 有機プロセス工学部門
フロンティア化学教育研究センター

高砂香料との産学連携研究

事業成果： RUCY: 水素化触媒の販売

法人名： 北海道大学

Project: RUCY Subject: Activity Test: 5°C = 100,000

触媒の販売を開始!

Time	Conversion (%)	OP (%)
3min	33.00	33.00
3min	34.20	34.00
4min	35.00	34.00
5min	37.50	34.00
5min	37.50	34.00

Completed within 6min !!
TOF: 35,000min⁻¹

Project: RUCY Subject: H₂ pressure

The newly developed (S)-RUCY-XylBINAP is even superior to those of the previous RUCY-type efficient catalysts.

Takeshi Okuma
Okuma, university of Yamagata

ストレム社から販売

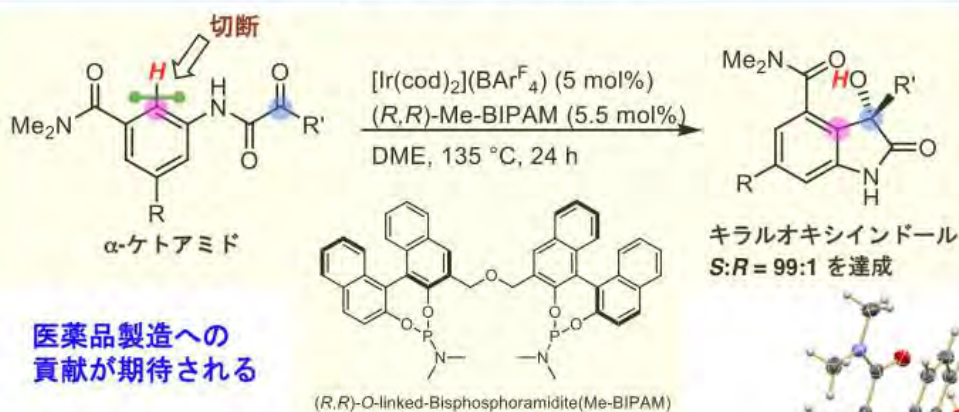
③ 炭素-水素結合活性化を経る不斉分子内環化反応の開発

・合成容易な α -ケトアミドの特定の炭素-水素結合を切断し、分子内で新たな炭素-炭素結合を形成する反応を一度期に行うことで医薬等の原料となるオキシインドール類と呼ばれる化合物群の効率的合成に成功した。触媒に光学活性イリジウム錯体を用いることで、高選択的な不斉合成反応を達成した。*Angewandte Chemie International Edition* 誌 (インパクトファクター 13.734) に掲載され、裏表紙に研究内容がハイライトされた。また、新聞で研究内容が報道された。

事業成果：炭素-水素結合活性化を利用した反応開発

法人名：北海道大学

炭素-水素結合の切断を経る医薬原料「キラルオキシインドール」の効率的合成に成功！

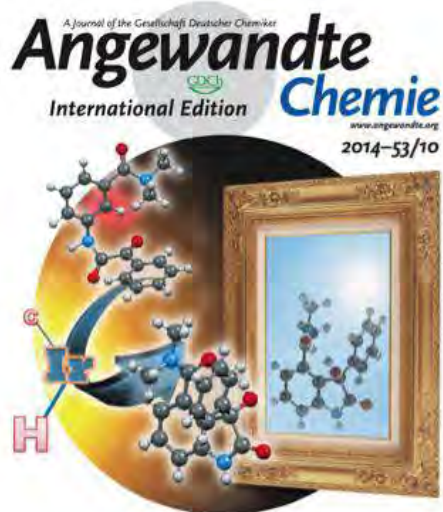


医薬品製造への
貢献が期待される

- ❖ 独自の配位子Me-BIPAMを活用
- ❖ 無駄のない環境に優しい有機合成法
- ❖ 多種の化合物を合成できる

山本 靖典 特任准教授
工学研究院
フロンティア化学教育研究センター





Asymmetric intramolecular ...

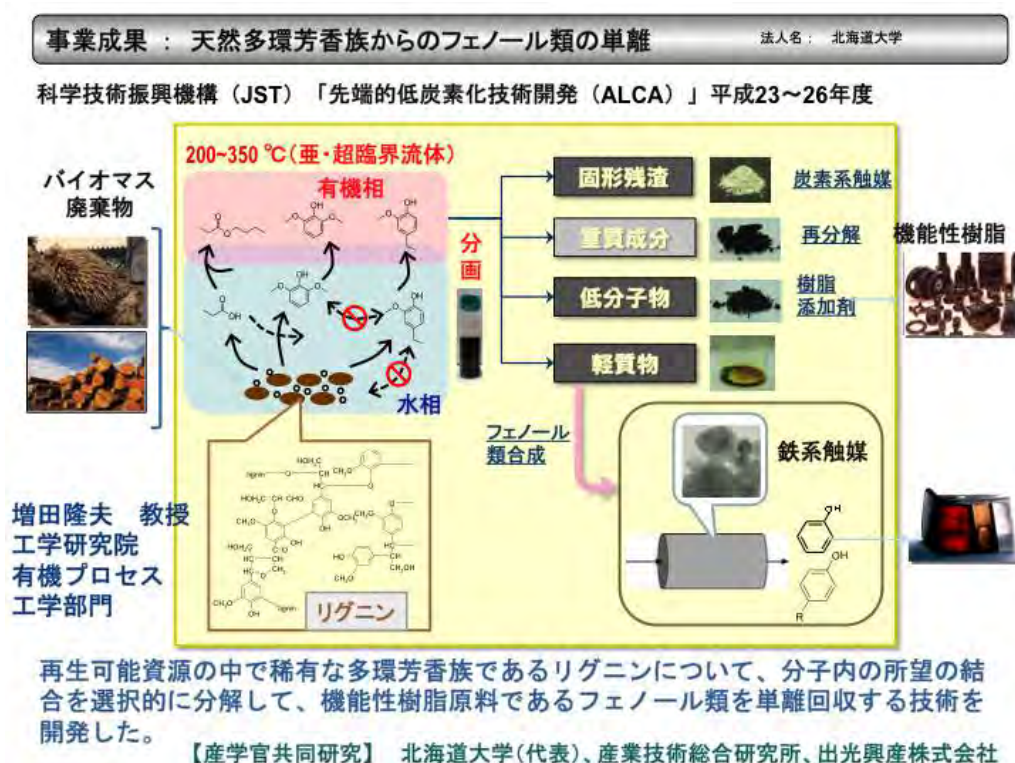
... (short hydroxylation of a ketone) gives a new species, the 7-hydroxy-2-oxo-1,4-dioxane-3-carboxylic acid, which is highly enantioselective and high enantioselective. As shown by Y. Yamamoto et al. in their Communication on page 2058 of this volume is related to the use of an asymmetric catalyst which provides a new class of chiral auxiliary at the new functional center. It results in a chiral group.

WILEY-VCH

この分野で最も権威のある学術誌 *Angew. Chem. Int. Ed.* (IP: 13.734) の裏表紙に研究内容が紹介された。

④ バイオマス資源利用研究

・植物由来バイオマスの主成分であるリグニンを分解し、プラスチックや化学製品の原料として需要の多いフェノール類を回収製造するプロセスの開発研究を出光興産、産業技術総合研究所と共同で行い、2018年に実用化する目処をつけた。酸化鉄触媒等を用いて分解する独自の技術である。産学連携研究の成果として新聞報道等がなされた。



⑤ 新触媒機能開発研究

・果物、野菜、花の腐敗をもたらすエチレンガスを低温で分解する新触媒を開発した。規則的な形の微小な孔をもつメソポーラスシリカ内に固定化した白金微粒子を触媒に用い、0℃の低温下、50 ppmの低濃度エチレンを分解し、ほぼ完全に除去（0.1 ppm未滿）することに成功した。悪影響をもたらす揮発性有機化合物（VOC）除去への応用が期待される。太陽化学との共同研究成果である。Angewandte Chemie International Edition 誌（インパクトファクター13.734）に掲載され、新聞報道もなされた。

3) 新機能材料の設計・合成検討

① 外部刺激により結晶の内部構造を「ドミノ倒し」的に変化させる物質の発見
・ 微小な針による刺激をきっかけに結晶中の分子配列が「ドミノ倒し」的に変化する物質を世界で初めて発見した。この物質（フェニルフェニルイソシアニド金錯体）はねじれた構造と平面型構造のいずれでも結晶を形成する。ねじれ構造の結晶に微小な刺激を与えると、分子は平面型になるが、その変化が結晶全体に伝搬する。ねじれ型の結晶は青色発光し、平面型の結晶は黄色に発光するため、この結晶構造変化を視覚的に観測できる。有機半導体材料等の性能や耐久性の向上に貢献すると期待される。*Nature Communications* 誌（インパクトファクター 10.015）掲載および、*Angewandte Chemie International Edition* 誌（インパクトファクター 13.734）に掲載、Very Important Paper (VIP) に選定された。VIP は重要度が上位 5%以内と評価された論文である。また、新聞報道による研究紹介もなされた。

事業成果：結晶中分子配列が「ドミノ倒し」的に変化する物質

法人名： 北海道大学

わずかな刺激で結晶の構造と発光色に変化する物質を発見！ → 超高感度センサー材料への応用が期待できる。

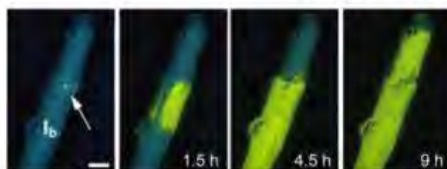


図1. 微小な針で突ついた外部刺激（白い矢印）を引き金として結晶相転移が広がる。突ついた部分の発光色が青から黄色に変化し、9時間後には結晶全体が黄色い状態になった。

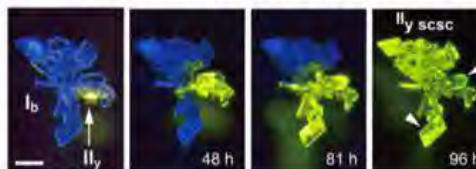


図2. 「シーディング」による【自己増幅】型結晶相転移のようす。安定相を不安定相と接触させると相転移が結晶を超えて広がる。

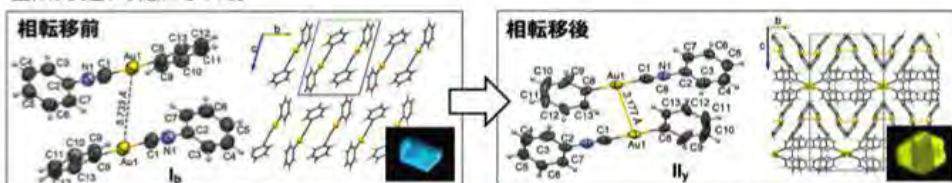


図3. 単結晶-単結晶相転移前後の結晶構造。相転移前（左）と相転移後（右）における結晶構造と分子間相互作用のパターンは大きく異なっている。

*Nature Communications*誌
(I.F. = 10.015)に掲載

伊藤 肇 教授
工学研究院 有機プロセス工学部門
フロンティア化学教育研究センター

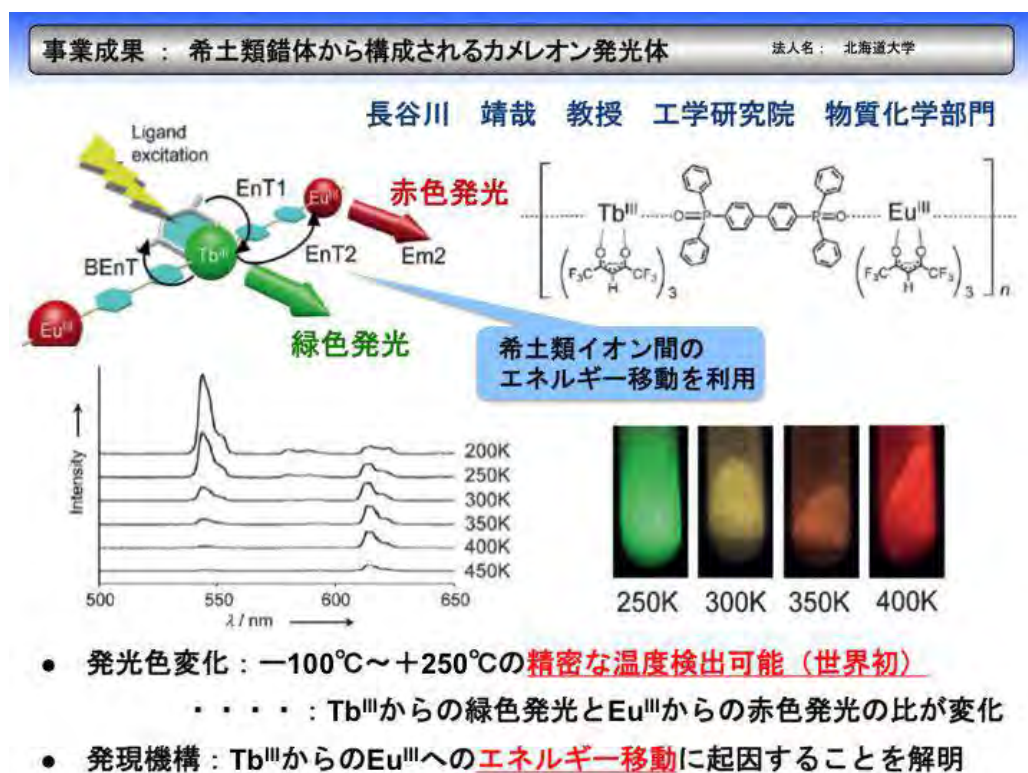
② 温度変化により発光色が変化する「カメレオン発光体」の開発

・低温域で緑、中温域で黄色、高温域で赤く輝く発光体の開発に成功した。
-80°C から 220°C までの広領域で温度測定を可能にした。ユーロピウムとテルビウムの二種類の希土類元素を含む 3 次元ネットワーク型有機金属ポリマーで、300°C の高温でも分解せず、再利用できる。宇宙船や航空機の機体表面温度を色の変化により精密に測定できる。温度センサーとして多様な応用が期待される。
Angewandte Chemie International Edition 誌 (インパクトファクター 13.734) に掲載され、多種の新聞紙面において成果が報じられた。また、以下のテレビ番組で紹介された。

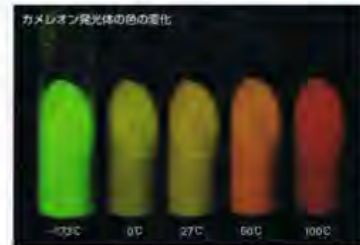
◎ BS フジ全国版 『ガリレオ X』

平成 25 年 6 月 9 日 (日) 11:30~12:00 [6 月 16 日 (日) 再放送]

～海底のレアアース資源～



テレビ放映内容紹介 2013_6_9 (日) 11:30~12:00 BSフジ全国版「ガリレオX」ー 海底のレアアース資源 ー



光の輝きを当てると色の色の変化から、温度を知ることができる。

ドキュメンタリー／教養

毎週日曜日 11:30~12:00 (※隔週新作)

工学研究院 長谷川教授 出演

みどころ

【今回の放送日時】 2013年6月 9日 (日) 11:30~12:00

【再放送】 2013年6月16日 (日)

日本のハイテク製品に欠かすことのできないレアアース。ところがこの資源物質は必要量の大半を中国からの輸入に依存しており、時として起こる供給不安や大幅な価格変動に巻き込まれる危険性を抱えている。

2013年2月、日本の排他的経済水域(EEZ)である南鳥島周辺に高濃度のレアアースを含む泥が存在することが明らかにされた。驚くことにその総量は日本の必要量の数百倍に相当するといわれている。南鳥島周辺になぜ高濃度のレアアース泥がたまっていたのか。果たしてこの泥を海底から回収し、レアアースを生産することは可能なのか。

今、世界中から注目されている日本のレアアース泥開発に迫った。

Newton 2013年 第8巻 (8月7日発行) に掲載
塗る温度計

色の変化から温度がわかる「カメレオン発光体」が開発された

③ 新素材「発酵ナノセルロース」の開発

・果物から新規に単離した微生物を用い、バイオディーゼル燃料作製時の副産物である廃グリセリンや安価な糖蜜から直径が約 20 ナノメートルの超極細セルロース繊維である新素材「発酵ナノセルロース」を大量に合成することに成功した。日本甜菜製糖との産学共同研究成果である。年間 2 トンの試験製造を始める計画である。化粧品や医療品、電子機器等への応用が期待される。多種の新聞紙面で成果が報じられた。



④ 自己組織化による「機能化ナノワイヤー」の開発

・アルツハイマー病患者等の脳内蓄積物として発見されたアミロイドペプチドは自己組織化によりナノワイヤーを形成する分子として知られる。この分子末端に 3 つのアミノ酸を付加した新規アミロイドペプチド (SCAP ペプチド) を設計し、従来の 10 倍以上長いアミロイド繊維形成に成功した。また、機能分子と特異的に結合するプローブ分子を SCAP に修飾した P-SCAP を導入することで、無機物性ナノワイヤー等の機能化ナノワイヤー作製法を確立した。ナノ電子デバイスやセンサーの開発に応用が期待される。物質・材料研究機構およびカリフォルニア大学サンタバーバラ校との共同研究成果である。Advanced Functional Material 誌 (インパクトファクター 9.765) に掲載され、新聞報道もなされた。

7. 今後の事業展望

本学ではすでに教育組織改革を行い、主要国立大学で初めての理工融合の大学院化学教育組織「総合化学院」（平成 22 年度）と海外の優秀な博士課程大学院留学生を教育する「国際先端物質科学大学院」（平成 20 年度）を組織している。本事業では、平成 24 年度に「フロンティア化学教育研究センター」を設立し、上記大学院組織と密に連携して教育・研究の推進に貢献している。「クロスカップリング」関連分野の研究推進は、ノーベル化学賞を受賞した本学の特徴ある研究成果をさらに発展させるもので、1)「基幹総合大学として幅広い領域で世界水準の研究を展開する」とした本学の教育研究等の質の向上に関する中期目標、および 2)「世界トップレベルの教育研究拠点の形成」と「最先端の研究成果の実用化によるイノベーションの創出」を掲げた文部科学省による「国立大学改革プラン」の「大学機能強化の方向性」に合致する。また、国内外のインターンシップ派遣・受け入れ、外国人大学院留学生の入学・教育、外国人特任助教の雇用、英語講義の充実等に尽力し、「国立大学改革プラン」の重点課題となっている「大学の国際化」と「積極的な留学生支援」の推進で先導的な貢献をしている。

今後は、これまで取り組んできた教育・研究推進事業を発展的に継続するとともに、平成 25 年度に開始した北海道大学博士課程教育リーディングプログラム「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」と協力し、修士博士一貫教育を実施する予定である。このプログラムでは外国人留学生を含めたグローバル教育を推進する計画であるが、そのために必要となる、博士課程に限られていた大学院英語コースに修士課程を増設する組織改編を検討し、実施したい。

研究については、既に世界一流の成果が得られているので、学術的および実用的観点からさらに発展させたい。炭素－水素結合の直接ホウ素化や活性化されていないアルケン化合物等へのホウ素化を活用するカップリング反応の開発、さらに効率的な不斉合成反応の開発において成果が期待される。医薬原料や研究用製品合成で実用化が達成された事例もあり、今後の社会貢献が望まれる。触媒開発研究においてもバイオマスの分解や有害物質除去の用途で実用化が視野に入っている。カップリング反応等により合成された有機金属化合物に新機能が見いだされ、国際的に高く評価されているが、さらにその現象解明やセンサ

一等としての実用化も期待される。分子の自己組織化等を利用したナノメートルサイズの繊維やワイヤーも開発され、新機能材料としての実用化が期待される。

以上のように、本事業は教育・研究の両面において当初の計画以上の成果を収めており、今後さらなる発展が期待できる。

平成 25 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）	461 件
解説・総説数	70 件
著書数	28 件
国際学会発表（口頭発表）	152 件
国際学会発表（ポスター発表）	255 件
基調講演・招待講演	295 件
受賞	109 件