

触媒による物質変換の展望： 先導的物質変換領域(ACT-C)の取り組み

2015年9月11日

ACT-C研究総括 國武 豊喜

(公益財団法人北九州産業学術推進機構 理事長)

自己紹介

- 1936年** **福岡県久留米市生まれ**
- 1962年** **ペンシルベニア大学 博士号（化学）**
- 1962-1963年** **カリフォルニア工科大学 博士研究員**
- 1963-1974年** **九州大学工学部 助教授**
- 1974-1999年** **九州大学工学部 教授**
- 1999-2007年** **理化学研究所フロンティア研究システム
時空間機能材料研究グループ グループディレクター**
- 2001-2008年** **北九州市立大学 副学長**
- 2007年-現在** **株式会社ナノメンブレン 取締役**
- 2009年-現在** **公益財団法人北九州産業学術推進機構 理事長**

自己紹介(研究内容)

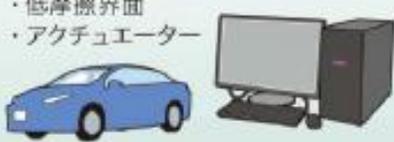
医療・診断材料

- ・ドラッグデリバリー
- ・診断デバイス
- ・バイオセンサー



IT・電子・機械

- ・低摩擦界面
- ・アクチュエーター



環境・エネルギー

- ・燃料電池
- ・電解質膜
- ・水素貯蔵



界面科学

超分子化学

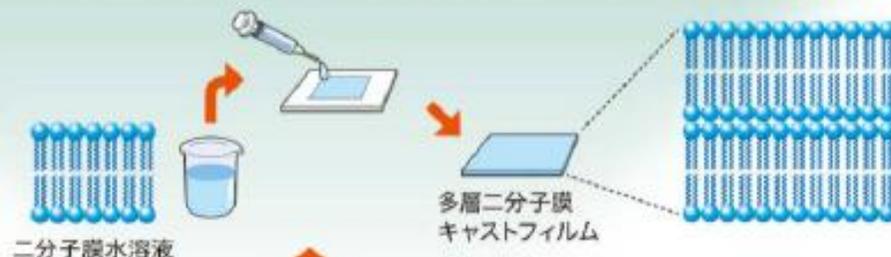
自己組織化材料

高分子材料科学

分子組織化学の創成

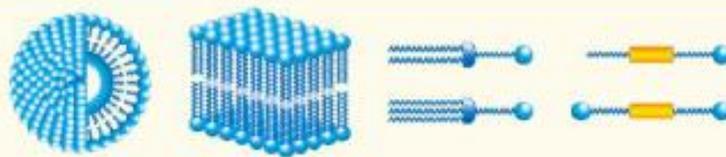
— 分子の自己組織化を化学・材料科学の新しいパラダイムへ —

二分子膜の
固定化技術を開発



二分子膜水溶液 → 多層二分子膜キャストフィルム

合成二分子膜の発見 (1977)



ACT-Cとは？

2012年度（平成24年度） 戦略目標
『環境、エネルギー、創薬等の課題対応に向けた
触媒による先導的な物質変換技術の創出』



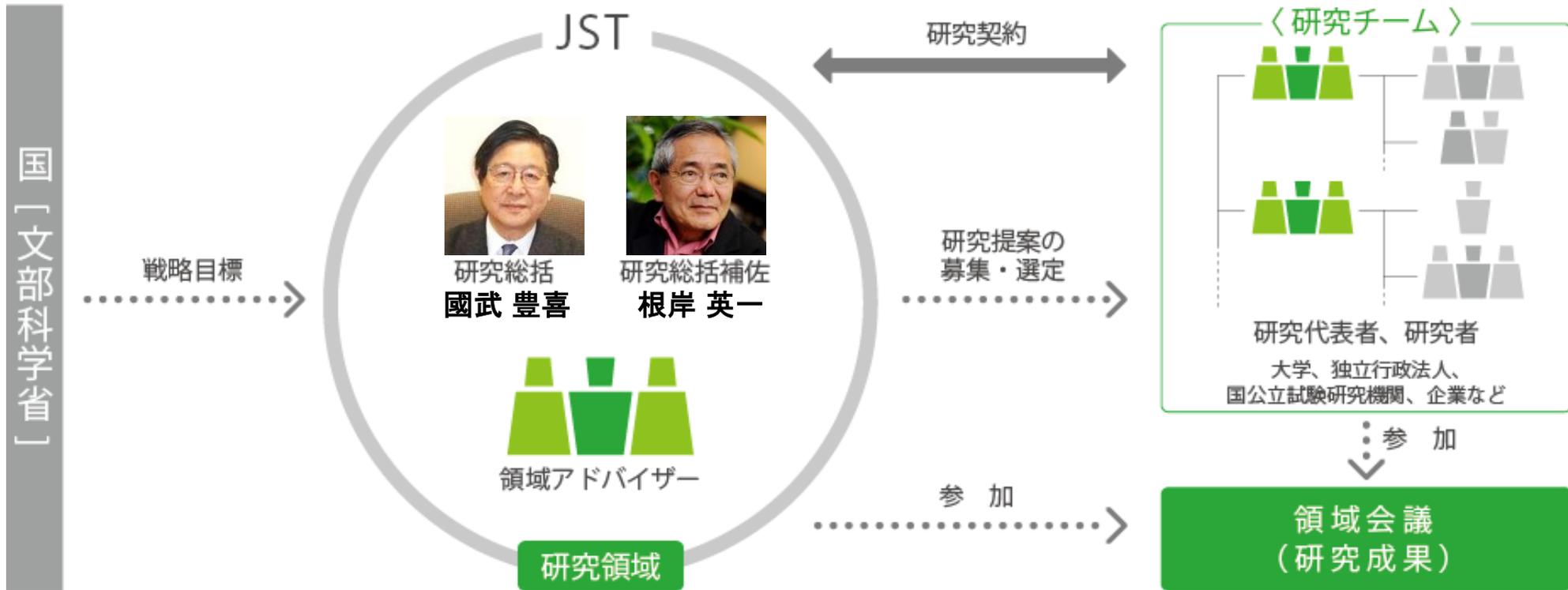
2010年根岸英一先生のノーベル化学賞
受賞を契機として、触媒科学の重要性に
ついて検討会・ワークショップ等を開催。

「低エネルギー、低環境負荷で持続可能なものづくりのための
先導的な物質変換技術の創出」
（先導的物質変換領域）

Advanced Catalytic Transformation program for Carbon
utilization

（ACT-C:アクトシー）

ACT-Cの運営体制(1)



ACT-Cの運営体制(2)

- 研究総括：國武 豊喜 (公財)北九州産業学術推進機構 理事長
- 研究総括補佐：根岸 英一 パデュー大学教授/JST総括研究主監
- 領域アドバイザー：
 - 碓屋 隆雄 東京工業大学 名誉教授
 - 鈴木 啓介 東京工業大学大学院理工学研究科化学専攻 教授
 - 玉尾 皓平 理化学研究所 研究顧問、グローバル研究クラスタ長
 - 筒井 哲夫 九州大学 名誉教授
 - 堂免 一成 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻 教授
 - 平本 昌宏 自然科学研究機構分子科学研究所 教授
 - 藤田 照典 三井化学株式会社 シニアリサーチフェロー、特別研究室長
 - 村井 眞二 奈良先端科学技術大学院大学 特任教授
 - 村橋 俊一 大阪大学 名誉教授
 - 森 美和子 北海道医療大学薬学部 客員教授



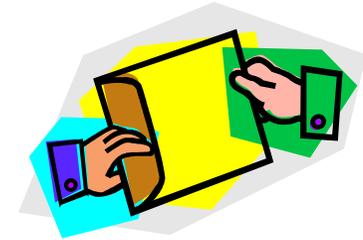
ACT-Cの運営体制(3)

- チーム型、個人型で研究を推進
- 研究期間は**5年間**（平成29年度末まで）
- 課題数は**51件**（平成27年9月現在）



ACT-Cの領域運営の特徴

- きめ細やかな研究進捗フォローと研究進捗に応じたダイナミックな予算増減



- 領域会議での研究成果発表およびネットワーク形成



- 領域内のシナジー効果の創出



経済危機後の化学産業の姿 伊丹敬之(2009年)

二つの長期的トレンド

➤ 日本産業の化学化

産業の化学化とは、さまざまな産業の生産プロセスと製品の根幹部分に、化学反応や化学素材が必須の部分として使われること。

⇒70年代以降日本の産業に「エレクトロニクス化」が起きたが、次は化学化が起きる。

➤ 化学産業の基礎原料生産部分の非石油化学化

基礎石化部分の石油精製との統合

石油以外の化石原料への転換

非化石原料への炭素源、水素源の転換

研究項目(3つの中心項目)

- 有用物質へ変換する二酸化炭素還元法等の創出
- 高収率、高効率、高選択、経済的、安全に不斉炭素－炭素結合等を直截的に生成する触媒的物質変換技術の創出
- 優れた機能を有する π 電子系分子の合成法の創出

研究項目1:

有用物質へ変換する二酸化炭素還元法等の創出

- ・ 低炭素化に向けて、二酸化炭素は有用な化学資源
- ・ しかし反応性に乏しく、効率よく変換し再資源化することは非常に困難

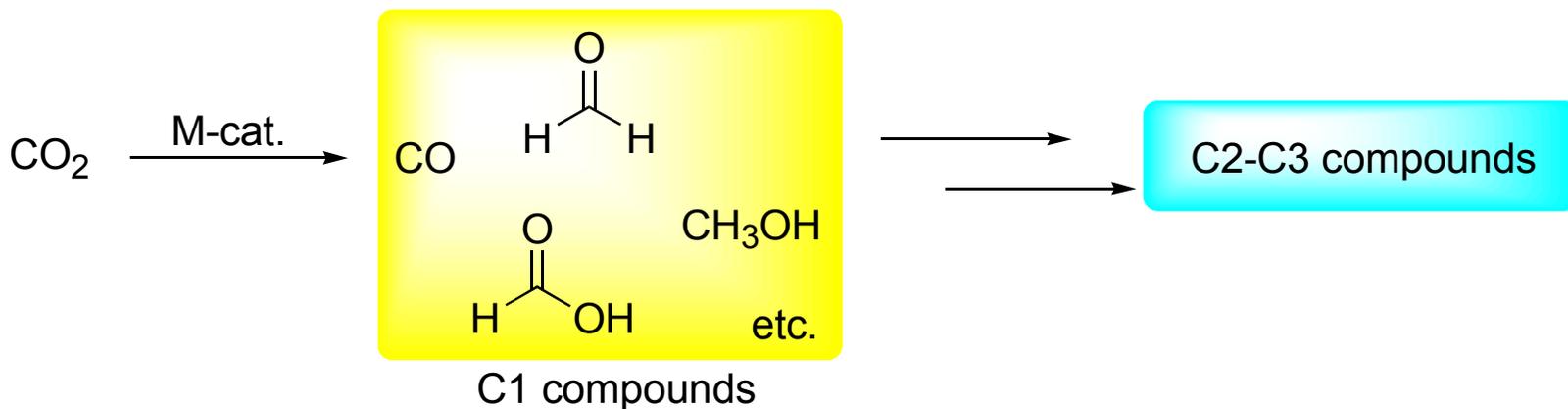


脱化石資源に向け、二酸化炭素を原料にして、一酸化炭素、メタノール、エチレン等の非常に汎用性の高いC1～C3化合物への変換を目指す。



有用物質へ変換する二酸化炭素還元法等の創出

- ① 二酸化炭素等の安定小分子を資源として活用する反応研究
- ② 還元的手法による二酸化炭素から有用なC1、C2、C3化合物への効率的変換研究



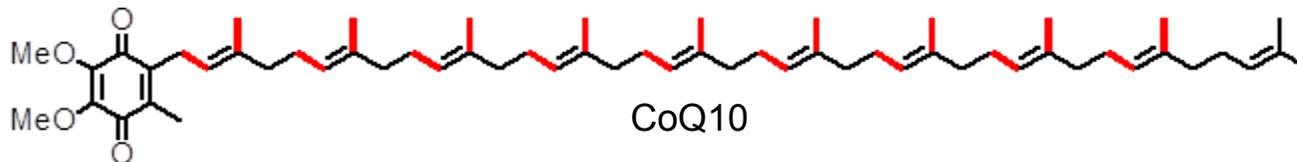
研究項目2:

高収率、高効率、高選択、経済的、安全に不斉炭素-炭素結合等を直截的に生成する触媒的物質変換技術の創出

- ・ **不斉合成** → 医農薬や機能性材料の持続的かつ発展的供給に必須
- ・ **不斉炭素-炭素結合生成反応**
→ 不斉酸化・還元と比較すると、工業化には力量が大きく不足
(触媒回転効率(TON)は特に未熟)



複雑な構造を持つ医薬品等の工業的な合成を可能とする
不斉炭素-炭素結合反応の実現を目指す。

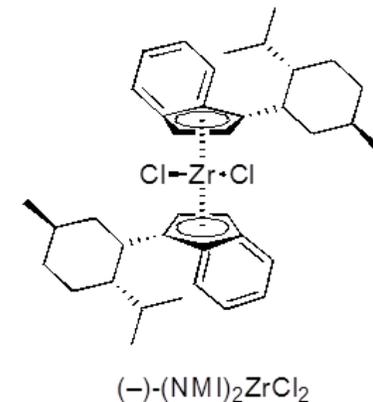


研究項目2:

高収率、高効率、高選択、経済的、安全に不斉炭素-炭素結合等を直截的に生成する触媒的物質変換技術の創出

工業的な利用につながる不斉炭素-炭素結合生成や高位置選択性等の革新的な触媒反応の創出

- 実用レベルの不斉触媒プロセスの開発
- 高収率、高選択性、高い触媒回転効率 (10^6 - 10^9)



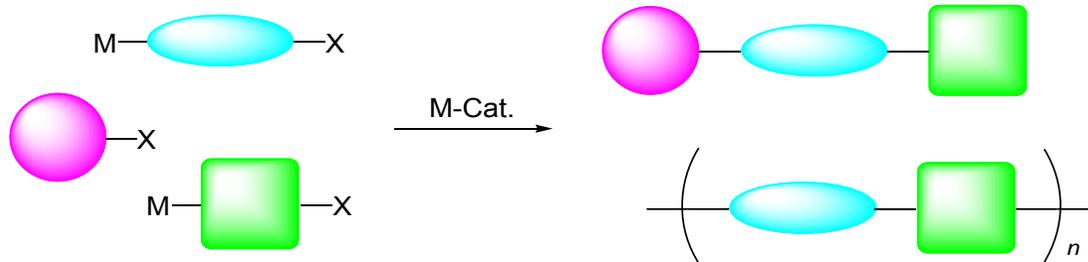
研究項目3:

優れた機能を有するπ電子系分子の合成法の創出

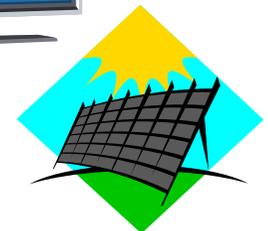
- ・ クロスカップリングによる有機導電性材料, 液晶, 発光材料などの効率的供給
→有機エレクトロニクス分野は21世紀に大きく貢献できるものの一つ
- ・ 有機合成化学と材料科学の連携、基礎研究・応用研究の同時展開
→我が国の優位性を如何に担保するか



高効率な合成・官能基導入等による、
C1、C2、C3化合物からの高性能有機材料の創出を目指す。



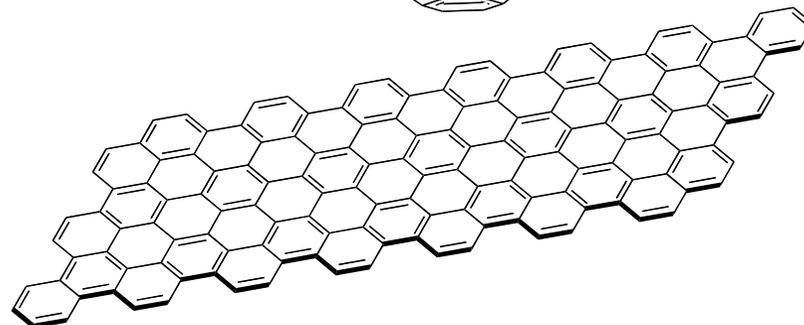
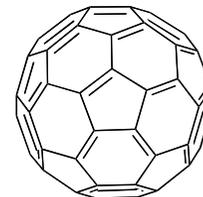
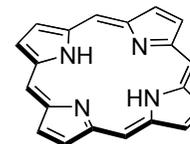
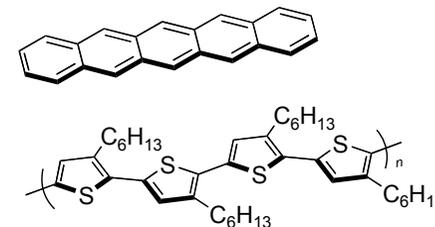
- ・導電性材料
- ・液晶
- ・発光材料
- ・.....



優れた機能を有する π 電子系分子の合成法の創出

- ① 革新的な結合形成、開裂および組み換えにより、優れた機能を有する π 電子系分子の創出研究
- ② π 電子系分子に官能基導入を行う等による新機能物質の創成研究

- 有機光・電子材料
- 芳香環骨格の形成・結合
- 化合物の機能、素子特性
- 機能性材料ライブラリ



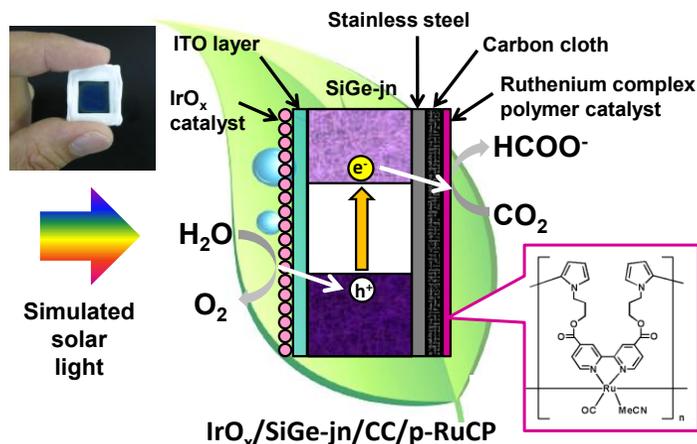
Efficient Synthesis & Functionalization !!



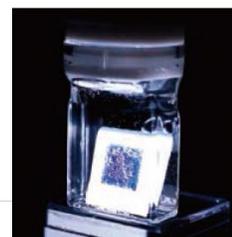
太陽光と水で二酸化炭素を資源化する光触媒反応系の開発

- 太陽光エネルギーと水とCO₂のみからC1化合物を合成する「人工光合成系」の性質向上(太陽光変換効率を、現状の0.04%から1%にまで向上)

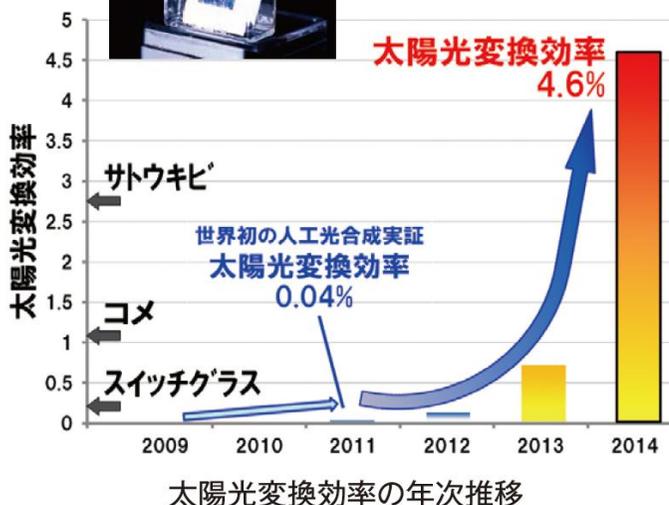
目標値を大きく上回る 太陽光変換効率4.6%を達成



一体型人工光合成デバイスの模式図



擬似太陽光(1 SUN, AM1.5)照射下で一体型人工光合成デバイスからO₂が発生する様子



植物の理論限界
 効率と同等

Energy Environ. Science, 8, 1998 (2015).



先進的・実践的協奏機能型不斉触媒の開発と医薬合成の刷新

- 先進性と実践性を併せ持つ、新規触媒的不斉炭素-炭素結合形成反応の開発
- 新規反応を活用する重要医薬品群の低環境負荷合成

高性能で再利用可能な「ナノチューブ触媒」を開発

効率的な医薬品合成に新たな展開

Angew. Chem. Int. Ed., 52, 6196 (2013).

微小ナノクラスター化して封じ込められた触媒

- >比表面積増大
- >高活性化
- >再利用可能

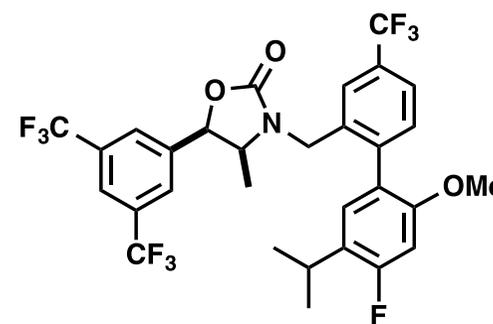
自己組織化型触媒とカーボンナノチューブの融合により、高触媒活性を維持した再利用可能な不斉触媒の創製に成功

医薬品の効率的な不斉合成に適用が期待される

多層カーボンナノチューブ

自己組織化する Nd/Na 協奏機能型不斉触媒

+ $\text{Nd}_5\text{O}(\text{O}^i\text{Pr})_{13}$
+ NaHMDS



アナセトラピブ
(高脂血症治療候補薬)



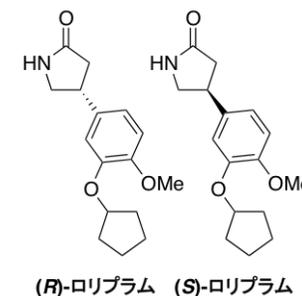
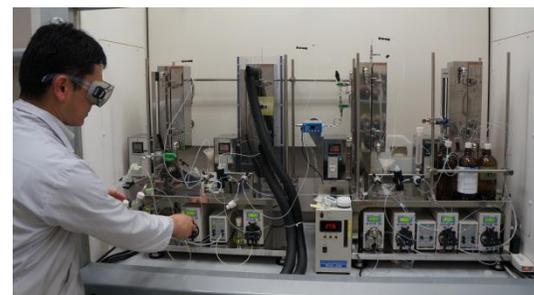
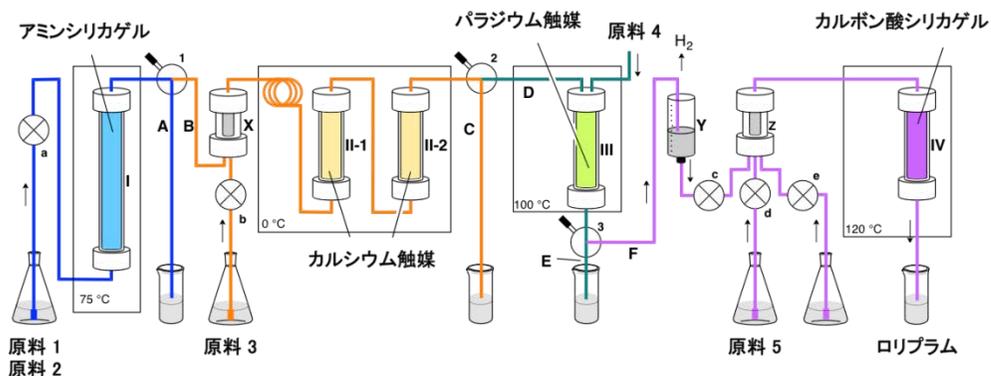
独自の基礎科学に基づく革新的不斉炭素-炭素結合生成反応の創成と展開

- 工業レベルでも使用できる真に有効な「不斉触媒」の創成
- 独自の触媒を用いた不斉炭素-炭素結合生成反応の開発

原料から直接医薬品の連続合成が可能な「フロー精密合成」を開発

医薬品、ファインケミカルの新しい製造法

Nature 520, 329 (2015).





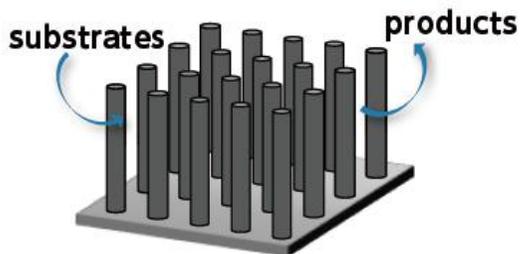
次元制御されたナノ空間体と不均一系集積型遷移金属ナノ触媒に融合した先導的π電子物質創製触媒システムの創出

- ppm-ppbレベルの触媒量で標的有機化合物を合成し、触媒が再利用できる、先導的不溶性金属触媒システム群の開発

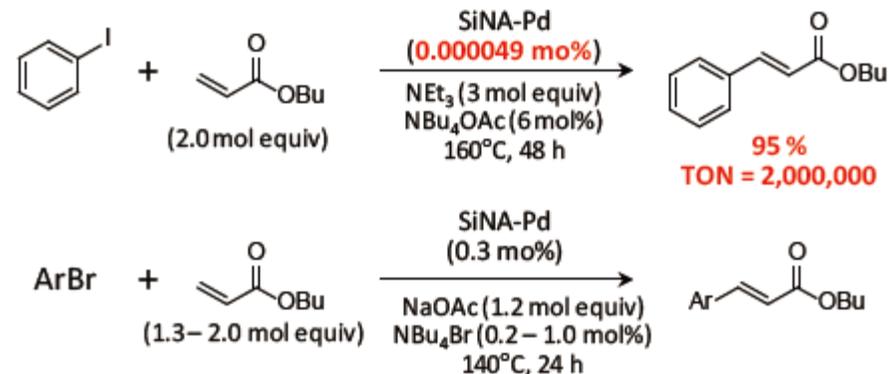
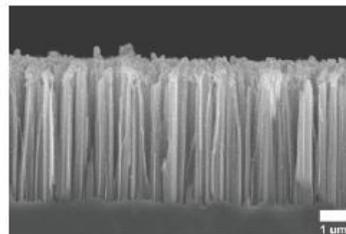
従来の数万分の1の触媒量で機能するパラジウム触媒を開発

省資源化の実現、レアメタル依存の低下

Angew. Chem. Int. Ed., 53, 127 (2014).



Pdナノ粒子を表面担持したシリコンナノ剣山基板 (SiNA-Pd)



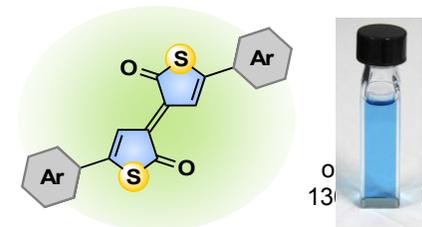
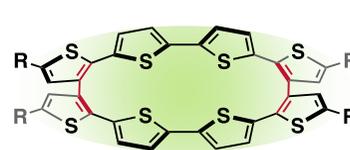
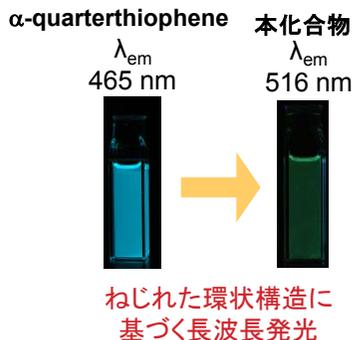
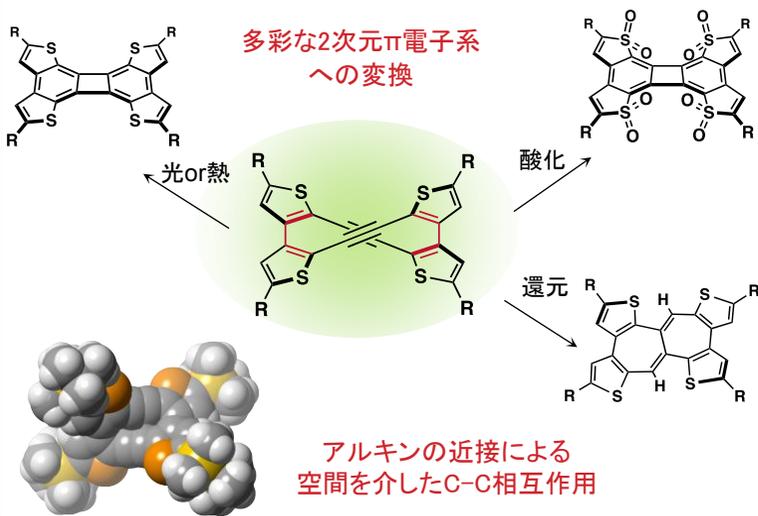


ブタジエンを鍵とする非平面π電子系の創製と機能発現

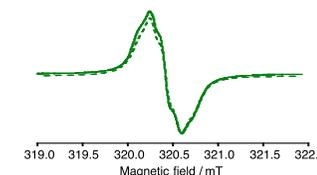
- 有機エレクトロニクスの進歩を先導するπ電子材料の創出
 (平面性と非平面性をあわせもつ新たなπ共役分子群の創出と機能発現)

非平面π共役拡張ユニットを持つ 様々な化合物を開発

有機エレクトロニクスの革新的進歩への貢献



- ・ピチオフェンを鍵骨格とする迅速合成
- ・フラーレン C₆₀ に匹敵する高い電子受容性



ラジカルカチオンの EPR スペクトル
 β位結合を介した不對電子ス
 ピンの非局在化を実証

ご清聴ありがとうございました

