

総長室総括プロジェクト機構
「革新分子技術」総括寄付講座・理学系研究科化学専攻

Scientists should
provide
solutions to social
problems and
dreams for people

大村智先生・山内薫先生と、2019年12月



中村研究室のモットー

QUOTES & PHOTOS OF THE YEAR

Chemical & Engineering News Dec 23, 2013 Quotes

A look at some of the **MOST INTRIGUING** statements
and photos that made it onto our pages in 2013

JULY 29

**“Scientists should
provide solutions to
social problems and
dreams for people.”**

EIICHI NAKAMURA, UNIVERSITY OF TOKYO

共有結合の科学から非共有結合の科学に移行しつつある
化学研究を合成と電顕で先導する

中村研研究室 メンバー (2020年1月20日)

スタッフ

特任教授 中村 栄一
特任准教授 原野 幸治
特任講師 ルイ シャン
特任助教 中室 貴幸

特任研究員 兼子 隆雄
秘書 丸山 明美

客員共同研究員 Wei Zheng
(南京大学)

客員共同研究員 Nobu Yasuda

客員共同研究員 脇田文博
(東和)

共同研究員 佐藤 済 (三菱
化学)

学生

博士3年 (D3)

浜田 拓実

博士2年 (D2)

関根 良輔 (MERITコース生)

清水 俊樹 (ALPSコース生)

花山 博紀 (MERITコース生)

Zhi-Xi Liu(特別研究生 浙江大学)

博士1年 (D1)

亀井 恒 (ALPS, 学振特別研員)

道場 貴大 (学振, MERIT)

修士2年 (M2)

坂巻 拓海 (MERITコース生)

劉 東欣 (学振, XPSコース生)

Olivier Chevalier (XPSコース生)

Mengqing Chen

Keyi Sun

修士1年(M1)

千代 悠貴

竹内 啓志

友塚 壱晶 (FoPMコース生)

川嶋 愛 (特別研究学生; 早
稲田大学)

卒研究生

榭原 雅也

Hlib Razumkov (GSC)

大学院在学中の短期留学(Sending Ph.D. Students Abroad)

1988 UC, Berkeley, USA (Prof. Peter Vollhardt)	山子 茂	2005 RWTH Aachen University, Germany (Prof. Carsten Bolm)	藤本 泰典
1989 University of Cambridge, UK (Prof. Ian Paterson)	伊坂 雅彦	2005 University of Illinois, USA (Prof. Scott E. Denmark)	伊藤 慎庫
1990 Sandoz Co., Basel (現Novartis Co.), Switzerland	徳山 英利	2006 Merck Research Laboratories, USA	真島 紘子
1990 UC Santa Barbara, USA (Prof. Bruce Lipshutz)	荒井 雅之	2006 University of Chicago, USA (Prof. Rustem F. Ismagilov)	Laur Ilies
1991 Sandoz Co., Basel (現Novartis Co.), Switzerland	中村 正治	2007 University of Cambridge, UK (Prof. Ian Paterson)	藤田 健志
1991 Scripps Institute, San Diego, USA (Prof. Dale Boger)	江尻 聡	2007 University of Munich, Germany (Prof. Paul Knochel)	山形 憲一
1992 Sandoz Co., Basel (現Novartis Co.), Switzerland	久保田克巳	2008 MPI for Polymer Research, Germany (Prof. Klaus Müllen)	三津井親彦
1994 Emory University, Atlanta, USA (Prof. Keiji Morokuma)	森 聖治	2008 University of Groningen, Netherland (Prof. Ben L. Feringa)	本間 達也
1995 Princeton University, USA (Prof. Daniel Kahne)	磯部 寛之	2008 Weizmann Institute, Israel (Prof. Milko E. van der Boom)	一木 孝彦
1997 Emory University, USA (Prof. Lanny S. Liebeskind)	平井 敦	2009 MIT, USA (Prof. Mohammad Movassaghi)	中村 優希
1997 SUNY, Stony Brook, USA (Prof. Iwao Ojima)	坂田 剛	2009 University of Ulm, Germany (Prof. Peter Bäuerle)	Ying Zhang
1999 Emory University, Atlanta, USA (Prof. Keiji Morokuma)	山中 正浩	2009 University of Michigan, USA (Prof. Melanie Sanford)	松本 有正
2000 SUNY, Stony Brook, USA (Prof. Iwao Ojima)	原 賢二	2010 Philipps-University Marburg, Germany (Prof. Eric Meggers)	南 皓輔
2000 Emory University, USA (Prof. Frank McDonald)	戸叶 基樹	2011 Northwestern University, USA (Prof. Michael R. Wasielewski)	助川潤平
2001 SIOC, Shanghai, China (Prof. L. Wu)	富田 直輝	2011 UPMC, France (Prof. Max Malacria)	浅子 壮美
2002 University of Madrid, Autonoma (Prof. A. Echavarren)	國信洋一郎	2011 University of Groningen, Netherland (Prof. Ben L. Feringa)	小島 達央
2002 University of Munich, Germany (Prof. Paul Knochel)	松尾 敬子	2011 University of Madrid, Autonoma, Spain (Prof. A. Echavarren)	関根 真樹
2002 Stockholm University, Sweden (Prof. Jan Bäckvall)	吉戒 直彦	2012 Eindhoven Univ of Technology, Netherland (Prof. E. W. Meijer)	新田寛久
2002 Hong Kong University, PRC (Prof. Dan Yang)	畠山 琢次	2012 University of Melbourne, Australia (Prof. A. Holmes)	Ricardo M. Gorgoll
2003 University of Geneva, Switzerland (Profs. S. /N. Matile)	Ai-jan Chen	2012 ETH Zürich, Switzerland (Prof. Jeffery W. Bode)	上田 祥之
2003 SUNY, Stony Brook, USA (Prof. Benjamin Chu)	中西 和嘉	2013 RWTH Aachen University, Germany (Prof. Jun Okuda)	松原 立明
2003 University of Dortmund, Germany (Prof. Norbert Krause)	田原一邦	2013 University of Würzburg, Germany (Prof. Frank Würthner)	庄山 和隆
2003 University of Alberta, Canada (Prof. Jeffrey Stryker)	佐藤 宗太	2013 University of Münster, Germany (Prof. Bart Jan Ravoo)	山田 純也
2003 National Taiwan University, Taiwan (Prof. Tien-Yau Luh)	遠藤 恒平	2013 ESPCI ParisTech, France (Prof. Ludwik Leibler)	岡田 賢
2003 Peking University, PRC (Prof. Zhenfeng Xi)	村松 彩子	2015 University of Münster (Prof. Frank Glorius)	Junfei Xing
2004 Caltech, USA (Prof. Brian M. Stoltz)	岩下 暁彦		
2005 University of Geneva, Switzerland (Prof. Stefan Matile)	田中 隆嗣		

- 国内外大学・研究機関における活躍
- [教授]
- 北海道大学理学部 澤村 正也
- 東北大学薬学部 徳山英利
- 茨城大学理学部 森 聖治
- 東京大学理学部 磯部寛之
- 立教大学理学部 山中正浩
- 名古屋大学・中国科学技術大学 松尾 豊
- 京都大学化学研究所 山子茂
- 京都大学化学研究所 中村正治
- 京都大学理学部 依光英樹
- 大阪大学医学部 鈴木一博
- 東京工科大学 原 賢二
- 神奈川大学理学部 辻 勇人
- 九州大学先導研 國信洋一郎
- 慶尚大学校 Sung Chul SHIN
- 慶尚大学校 Sang Gyeong LEE
- 南開大学 Shou-Fei ZHU
- 中国科学院化学研究所 Xiaozhang ZHU
- 中国科学院化学研究所 Yu-Wu ZHONG
- 中国科学院化学研究所 Yunlong GUO
- 四川大学 Xiaoming ZENG
- 浙江大学化学科 Chang-Zhi LI
- 青島科学技術大学 Zhongming Zhou
- 杭州師範大学 Hua Lu
- Biotech, Thailand 伊坂雅彦
- University of Zurich Cristina NEVADO
- [准教授]
- 山形大学理学部 金井塚 勝彦
- 物質・材料研究機構 中西和嘉
- 東京大学新領域 岡本 敏宏
- 東京大学工学部 伊藤 喜光
- 東京大学理学部 佐藤宗太
- 東京大学総括プロジェクト 原野 幸治

- 東京大学理学部 Laurean ILIES
- 東京大学理学部 Rui Shang
- 東京理科大学理学部 遠藤 恆平
- 明治大学 田原一邦
- 関西学院大学理工学部 畠山 琢次
- 京都造形芸術大学環境デザイン学科 望月 公紀
- 理化学研究所 浅子 壮美
- Nanyang Technological University 吉戒 直彦
- Nanyang Technological University 伊藤 慎庫
- 沖縄科学技術大学 (OIST) 成田 明光
- Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes Loic LEMIEGRE
- Würzburg University Prince Ravat
- Yonsei University Dom Lungerich
- 中国科学院化学研究所 Yonggang ZHEN
- 国家納米科学中心 Zuo XIAO
- 中国科学院大学 Baolin LI
- 中国華東理工大学 Qifan YAN
- 甘肅農業大学 山川 剛
- Mahidol University Nopporn RUANGSUPAPICHAT
- Linköping University Niclas SOLIN
- Polish Acad. of Sci. Adam Mieczkowski
- Visva-Bharati University Alakananda HAJRA
- [助教]
- 金沢大学薬学系 安田 茂雄
- 筑波大学数理物質系化学域 藤田 健志
- 東京大学物性研究所 藤野智子
- 東京大学理学部 中室貴幸
- 東京大学教養教育高度化機構 中村 優希
- 東京大学総合文化研究科 小島 達央
- 埼玉大学理工学研究科 古川 俊輔
- 京都大学エネルギー理工学研究所 中江 隆博
- 奈良女子大学理学部 松本 有正
- 九州大学工学部 戸叶 基樹
- 中村研出身者が日本化学会進歩賞8年連続受賞
(化学全分野で受賞者10名, 37歳以下)

我々の開拓する新領域

分子世界
量子力学



分子と実社会を繋ぐ
ナノ・メゾ境界領域



実社会
古典力学

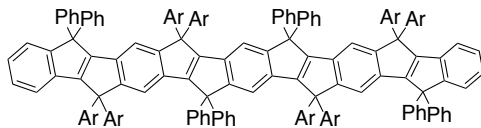
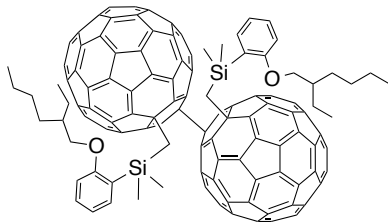
0.1 nm

10 nm

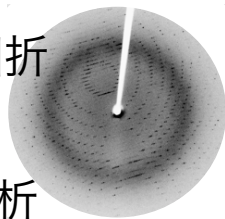
100 nm

1 μ m

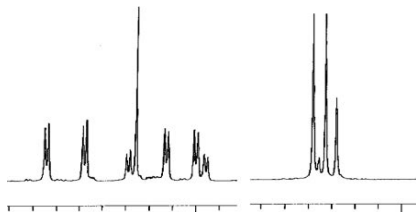
1 mm



X線結晶回折



スペクトル分析

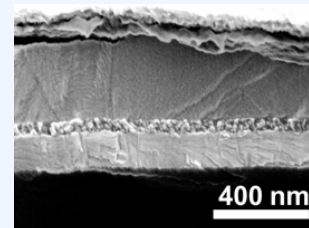
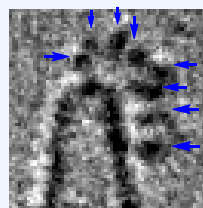


構造の非周期性と
構造のゆらぎ
一分子一分子、一塊
一塊の分子集合体が
異なる挙動を取る

(1) 有機合成

(2) 電子顕微鏡

(3) 物理有機化学

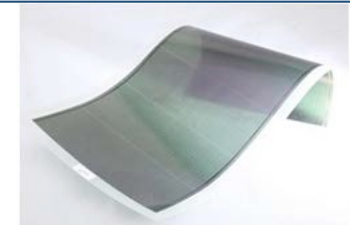


医薬品製造



高効率触媒

プリンタブル太陽電池



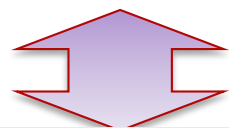
高速原子分解能透過電顕で拓く分子科学の新領域

電顕に馴染みの少ない
有機化学の世界



有機分子に馴染みの
少ない電顕の世界

単分子原子分解能実時間電顕法 (SMART-EM法)
「ミリ秒の2次元分子動画」から「3次元動画」
撮影へ

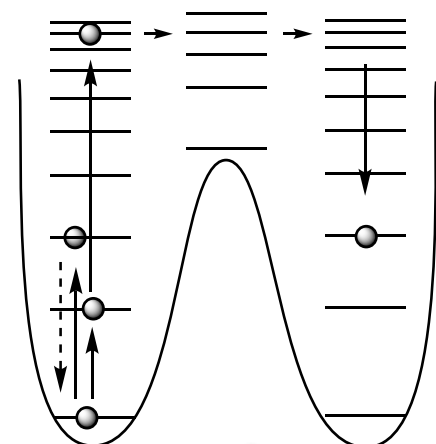


触媒, 太陽電池, 生命科学に関する
基礎科学の革新

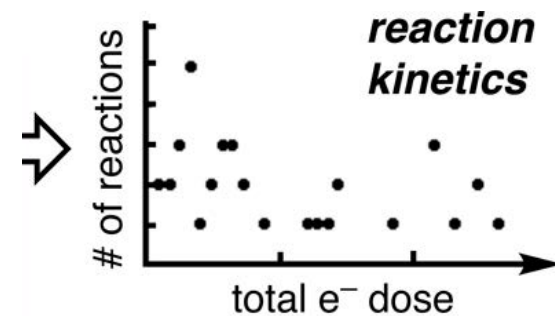
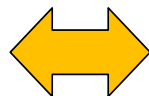
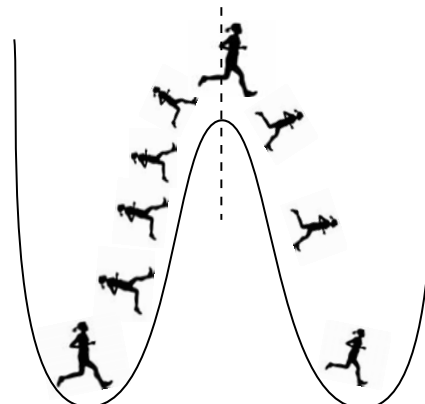
量子論的遷移状態理論を初めて実験で証明 (山内教授と共同研究)



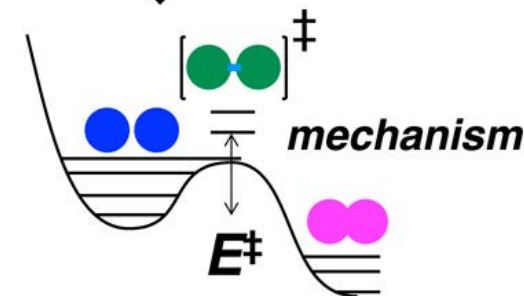
量子力学的描像：
個々の分子の確率論的挙動



古典的描像：
多数の分子の流れ



at various T



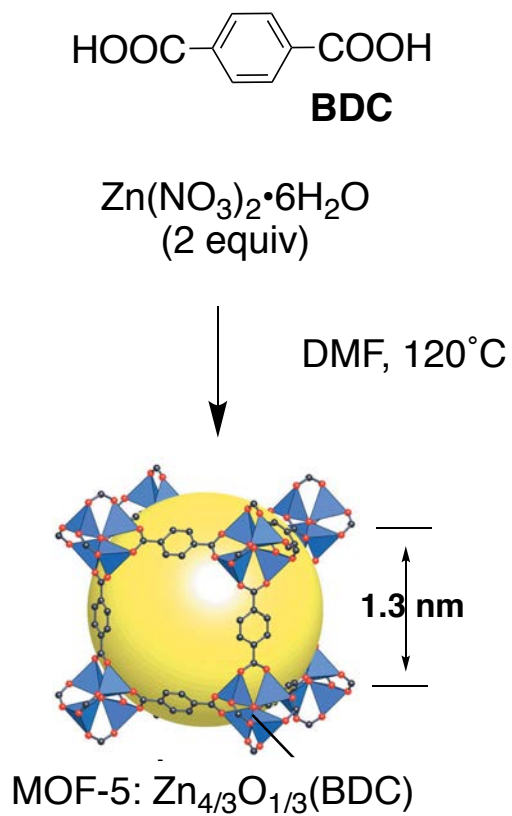
ランダム (確率論的) に起きる個々の化学反応の原子分解能顕微鏡観察

積算

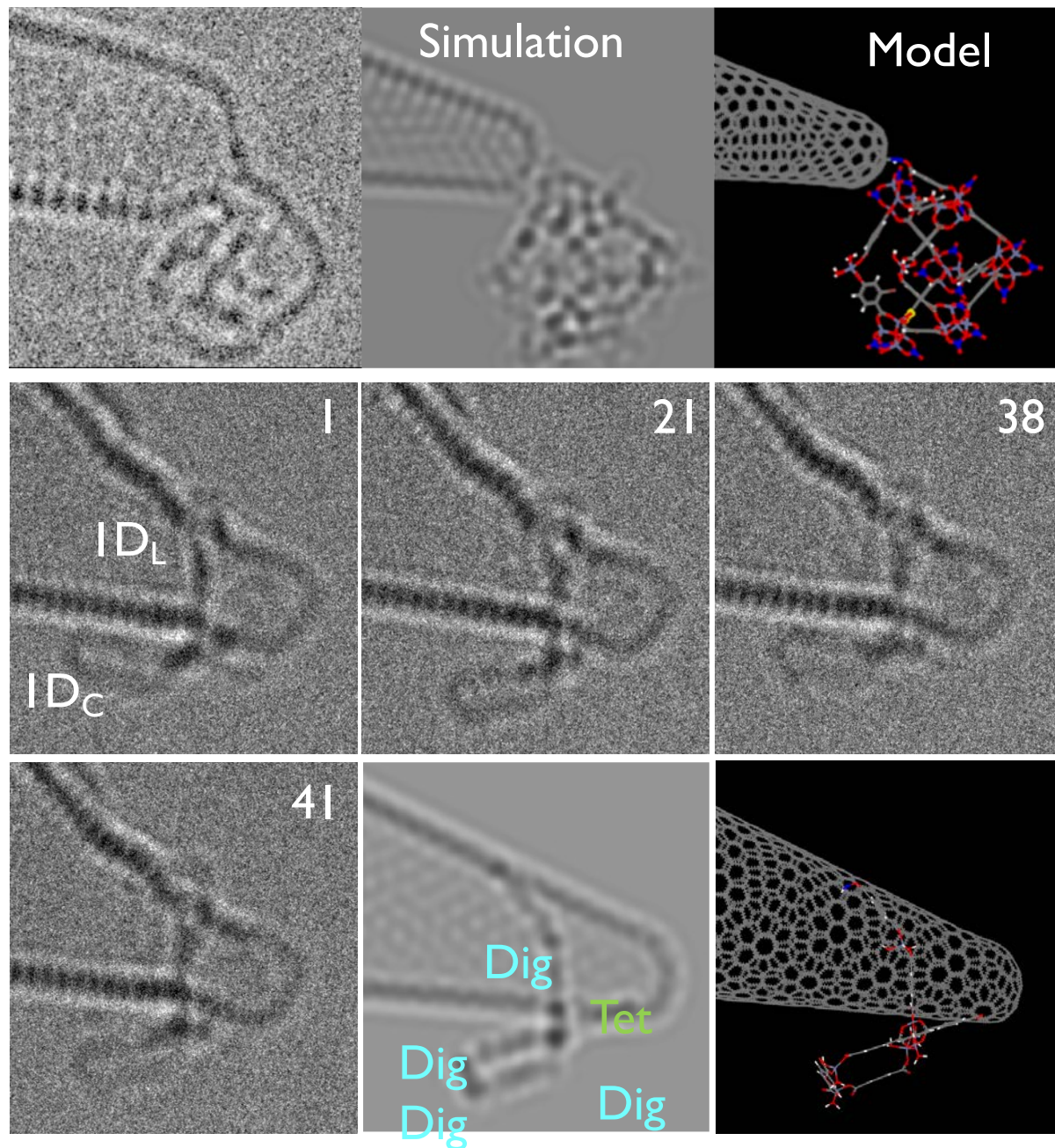
量子力学の予測を実証

Direct Microscopic Analysis of Individual C₆₀ Dimerization Events: Kinetics and Mechanisms, *J. Am. Chem. Soc.*, (2018).

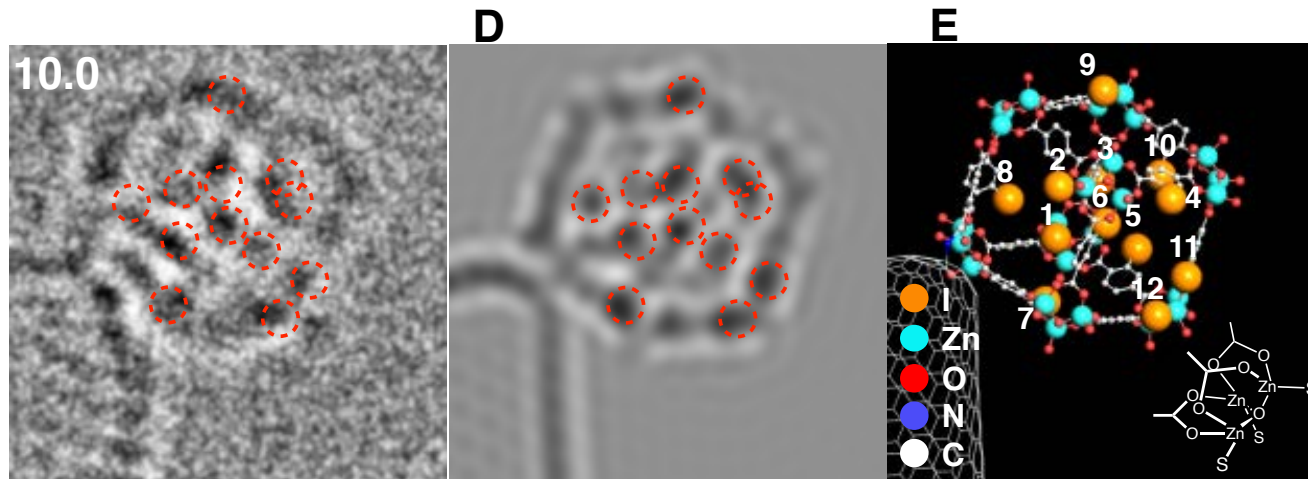
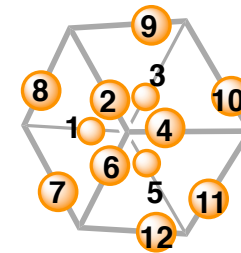
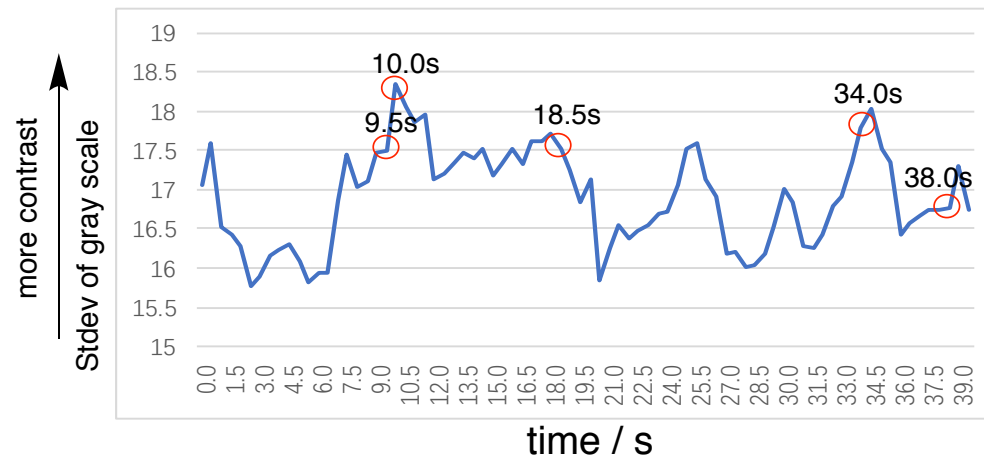
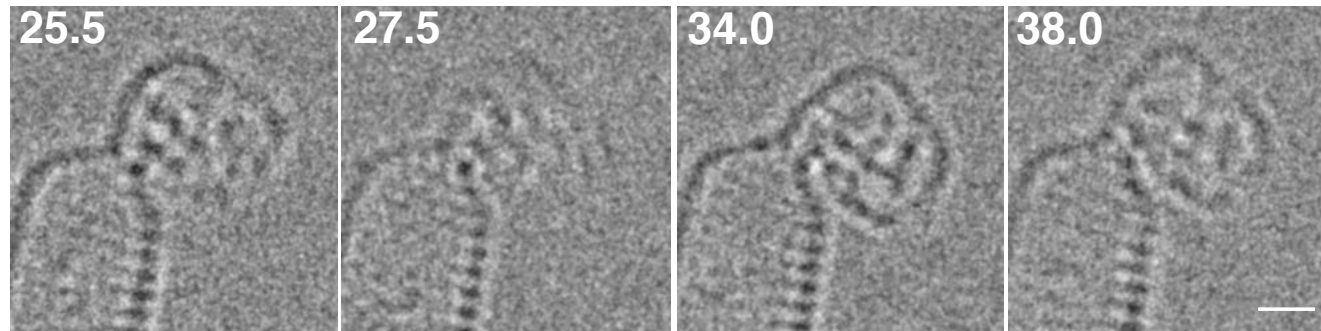
化学反応中間体一分子の単離構造決定



Nature Comm. 2019

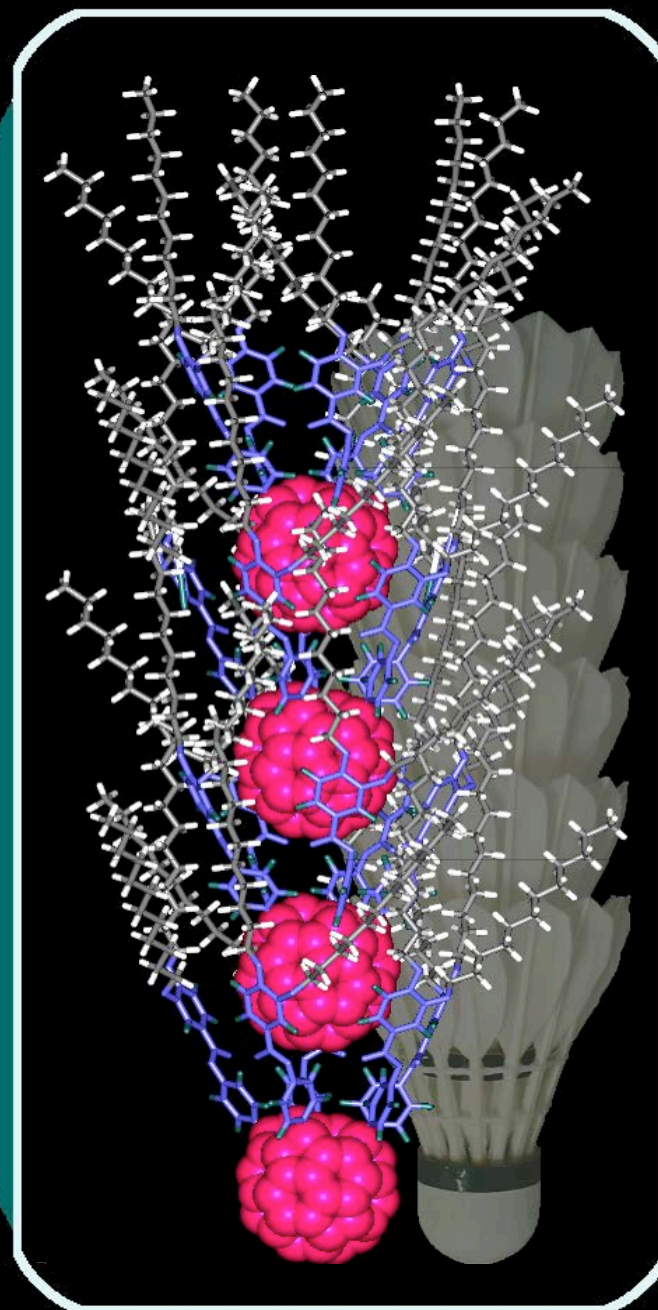
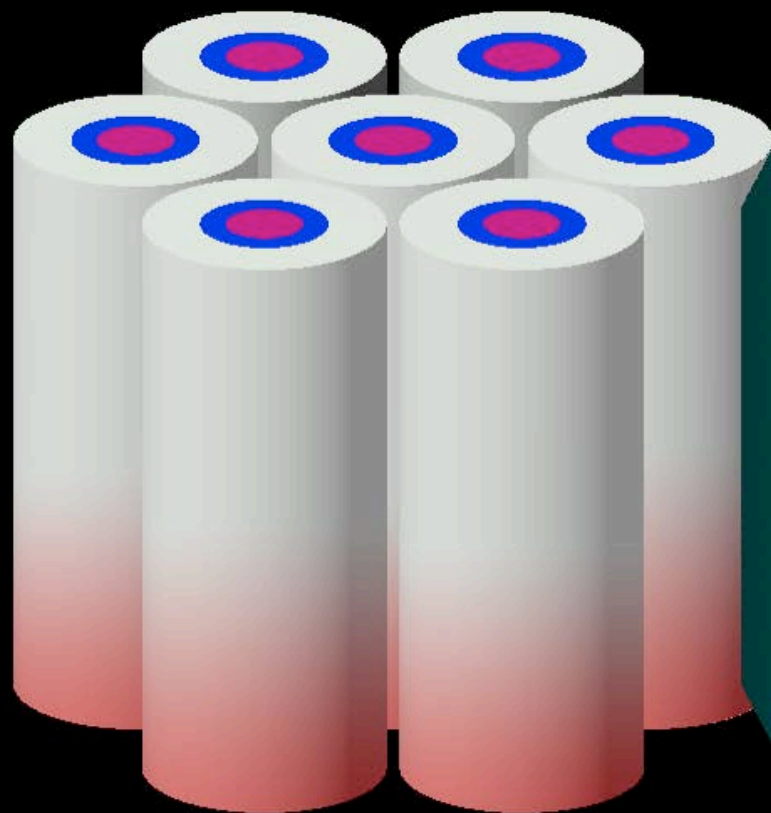


無機錯体の動的挙動と3次元構造を一分子で決定



新型有機半導体分子の設計・合成

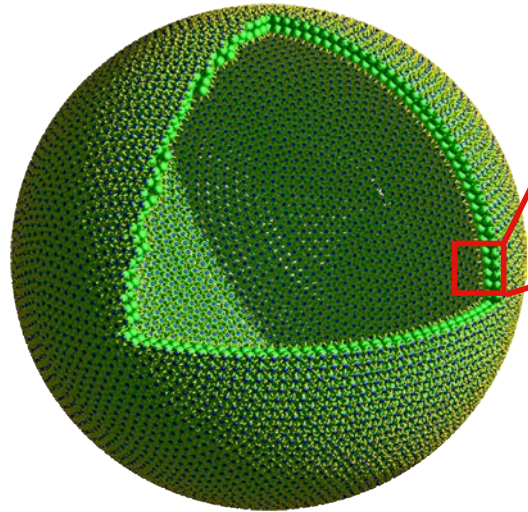
With Drs. Sawamura, Matsuo
and Prof. Takashi Kato



Nature, 419, 702-705 (2002)

分子集合体の科学 (2000-)

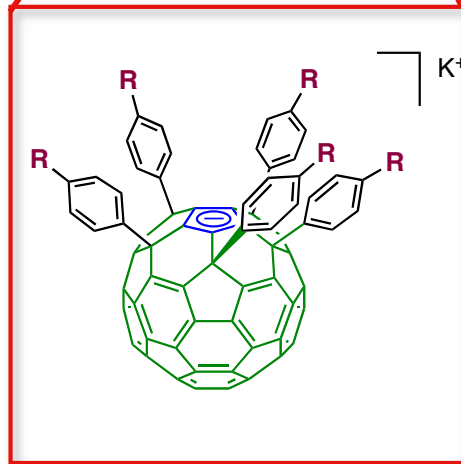
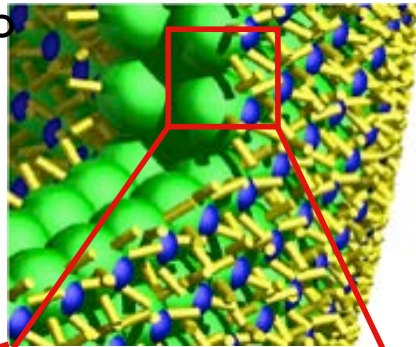
With Drs. Sawamura, Isobe and Harano
and Prof. Ben Chu



← 30 nm →

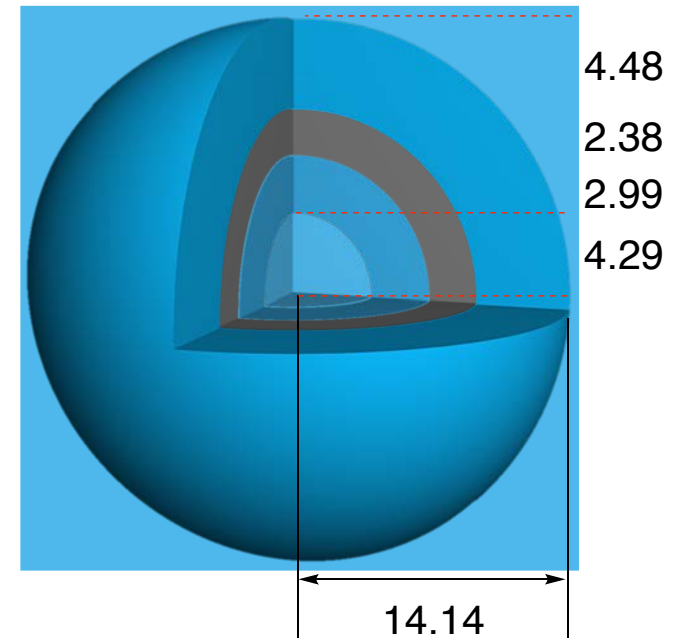
Science 2001, 291, 1143–1146.

PNAS 2007, 104, 14895–14898.



**Ph₅C₆₀K
(PhK)**

中性子散乱によって中に水
が入っていることを発見
(田中求教授；Heidelberg)



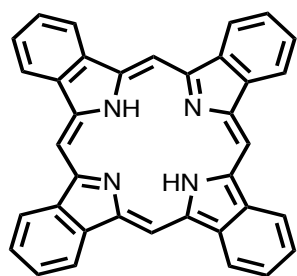
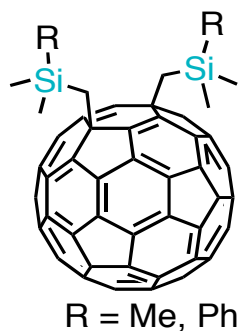
Neutron Scattering Reveals Water Confined in a Watertight Bilayer Vesicle, W. Abuillan, A. S. Becker, B. Demé, T. Homma, H. Isobe, K. Harano, E. Nakamura, M. Tanaka, *J. Am. Chem. Soc.*, 140, 11261–11266 (2018).

有機化学でエネルギー問題を解決！

Univ of Tokyo (2004-10)



Mitsubishi Chemical's
window solar cells (2017)



BP

Nakamura, JACS (2009)



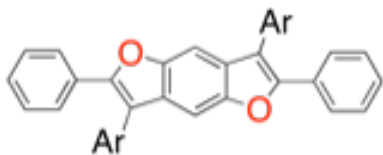
イノベ棟7階のデバイス作製室
(三菱化学からの出向者と共同研究)



新規炭素骨格を持った有機半導体

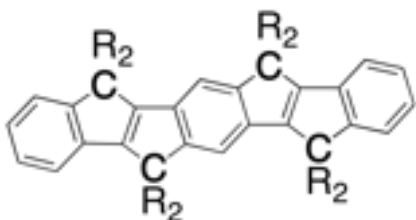
p-type

1. HTM (OLED)



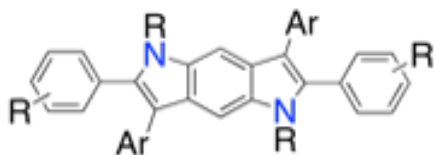
JACS 2007, Chem. Lett, 2011

2. HTM, EMM?



JACS 2009

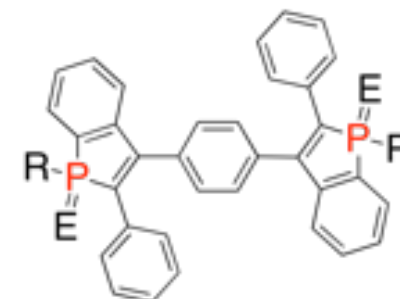
3. HIM (OLED, OPV)



Chem. Asian J. 2009

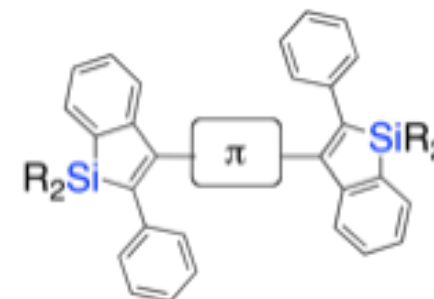
n-type

1. ETM (OLED) Buffer layer (OPV)

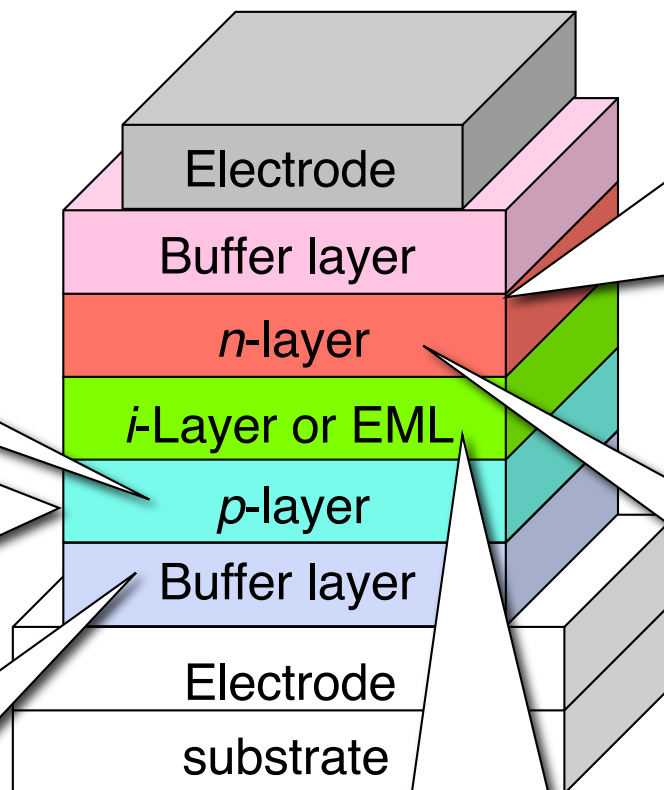


Org. Lett. 2008
J.Mater.Chem. 2009
Chem. Asian J. 2010

2. ETM (OLED)

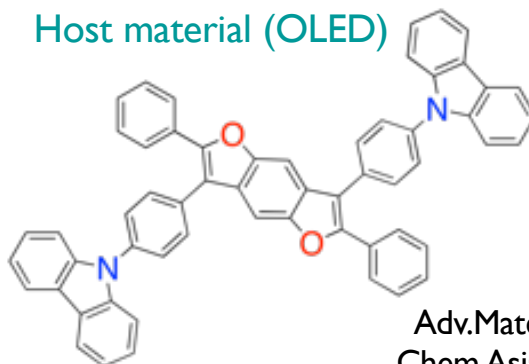


JACS 2008
Org. Lett. 2009
Chem. Asian J. 2010



ambipolar

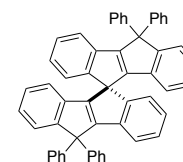
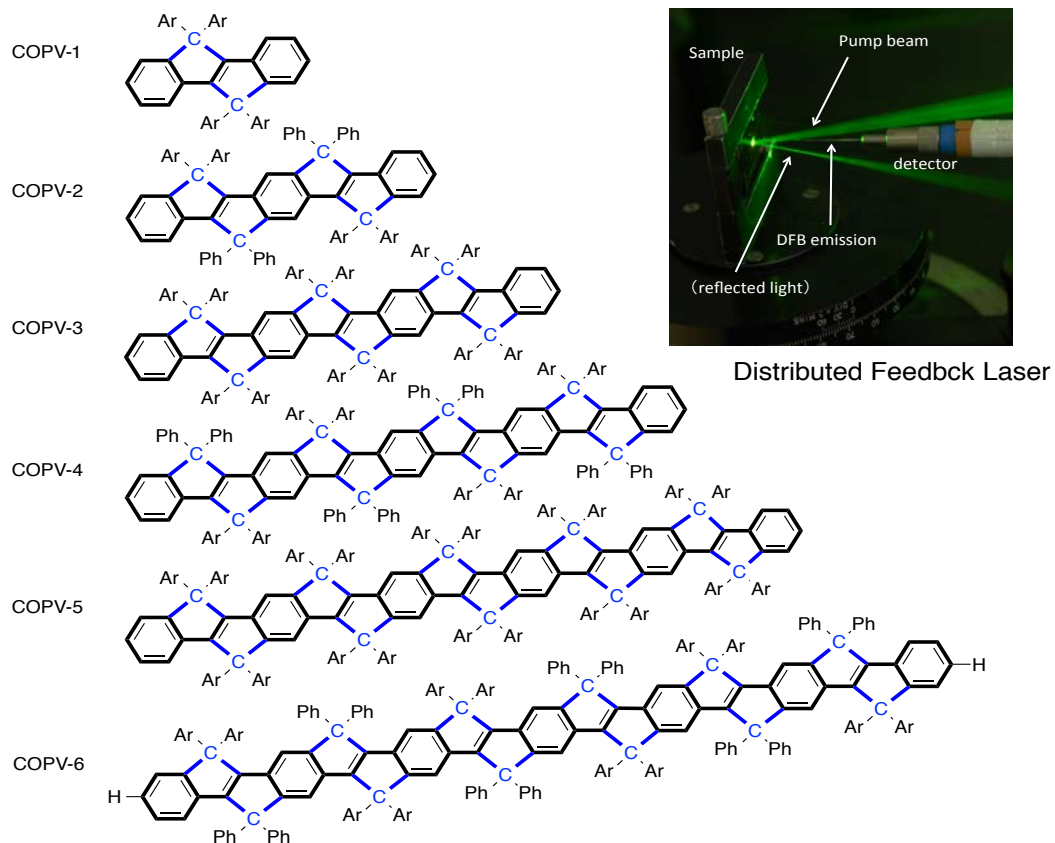
Host material (OLED)



Adv.Mater. 2009,
Chem Asian J 2011

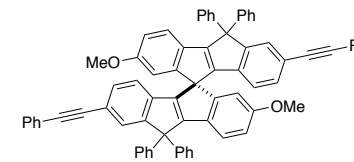
Carbon-bridged Oligo(phenylenevinylene) (COPVs)

Carbon-bridged oligo(phenylenevinylene)s (COPVs)



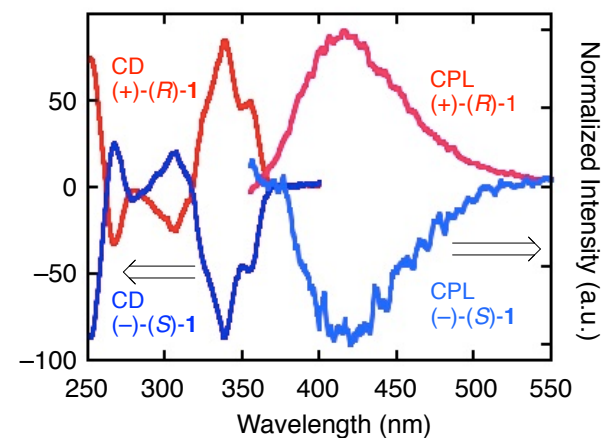
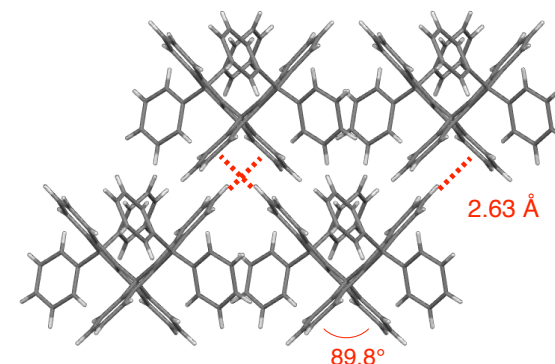
$$\Phi_{FL} = 0.74$$

$$|g_{lum}| = 6.3 \times 10^{-4}$$



$$\Phi_{FL} = 0.99$$

$$|g_{lum}| = 2.7 \times 10^{-4}$$



Hamada, Shang, JACS 2020

Managing the scarcity of chemical elements

The issues associated with the supply of rare-earth metals are a vivid reminder to all of us that natural resources are limited. towards the sustainab

Eiichi Nakamura and K

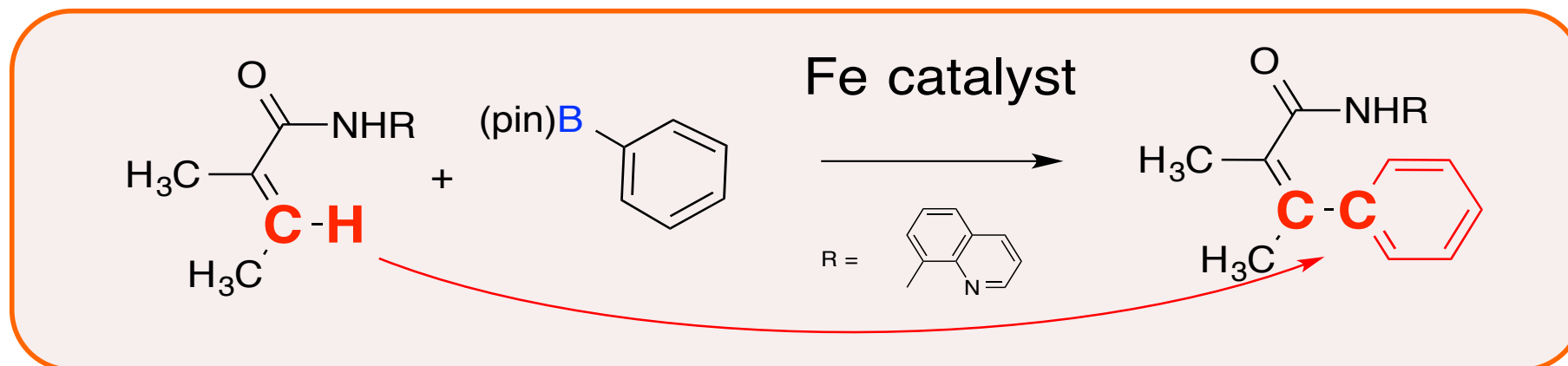
For chemists and materials the period from the 1960s 1980s was an era when pic racing through the unexplored wilderness of the periodic tabl treasure suitable for technical Indeed, a number of new mate

For chemists and materials scientists, the period from the 1960s to the 1980s was an era when pioneers were racing through the unexplored and fertile wilderness of the periodic table, searching for treasure suitable for technical applications.

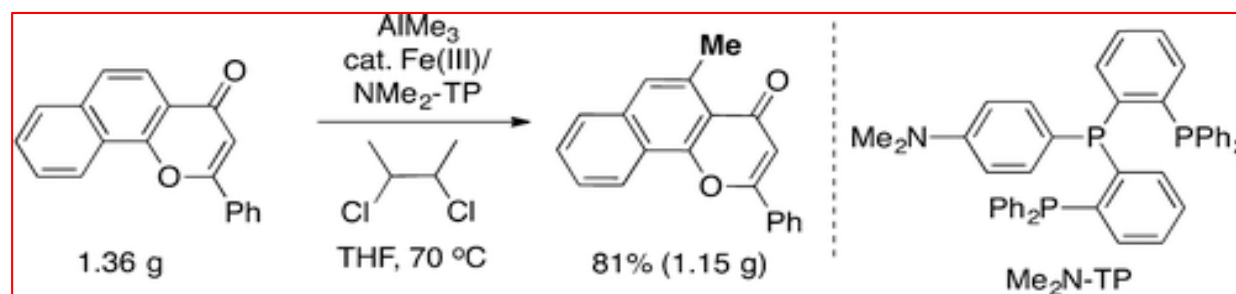
"Element Strategy Initiative" (元素戦略)
Proposed in 2004 for the Japanese Government

鉄やクロムが貴金属 (Pd)を越えた！

鉄触媒を使うと炭素-水素結合を自由自在に
「炭素-炭素結合」に1段階で変換できることを発見！

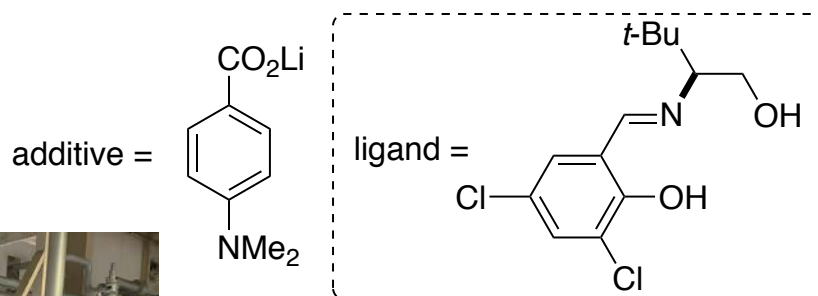
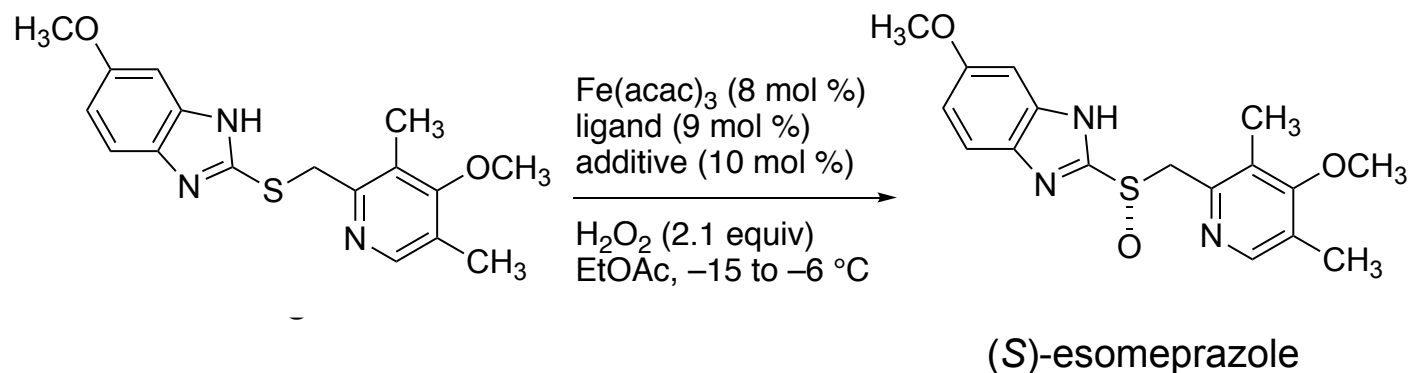


Pd, Rh触媒で作れない化合物がどんどんできる



Iron-catalyzed ortho C-H Methylation of Aromatics Bearing a Simple Carbonyl Group with Methylaluminum and Tridentate Phosphine Ligand, J. Am. Chem. Soc., 138, 10132-10135 (2016).

Enantioselective Iron Catalysis on 10 kg scale



HPLC: 87%, 99.4% ee;
Sulfone: 12%

Isolated as K salt: 77%, > 99.9% ee



東京大学・東和薬品
ACS Catal., 8, 9738–9743 (2018).

Iron-catalyzed enantioselective sulfoxidation: C. Bolm, ACIE 2003, 115, 5645; ACIE 2004, 43, 4225; Chem. Eur. J. 2005, 11, 1086.

目標:世界から顔が見える科学者を育てる

卒業研究から大学院に向けて身に付けて欲しいこと:世界に誇る教育と研究

英語で話せる, 読める, 書ける, 生活できる, 世界を知るようになる

- * 外国人学生, 博士研究員, 短期留学生との研究生生活
- * 英語文献の英語講読(毎週木曜で年に2回担当)
- * 自分自身の研究の英語発表と英語資料作成(毎週木曜で4週ごとに回る)
- * 外国研究室での短期研究留学(D1学生全員; 欧米・中国)
- * 外国人講演者との昼食会(大学院生)
- * Academic English in Chemistry(DI, COE講義)

良く話せ, 良く人を納得させるようになる

- * 4年生全員が3月の日本化学会で発表を目標
- * サブグループセミナー(非公式討論会; 毎週木曜夕方, 通年・4グループで一順), グループセミナー(公式発表会; 春秋2回, 持ち時間10分で全員発表)
- * 研究室での様々なレベルでの議論(大学研究室とERATO研究室)
- * 国内外研究室との共同研究

「人まねでない研究とは何か」がわかるようになる

そのための必要条件

良く食べ, 良く飲む, 良く遊べる

- * 公式: お花見・新人歓迎会, 春季蓼科セミナー+ハイキング+バーベキュー, 理学部園遊会打ち上げ, 春季研究室運動会, ソフトボール祝勝会, 短期留学歓送迎会, 夏の大掃除, 院試合格祝い, 秋季研究室運動会, 秋季蓼科セミナー+ハイキング+バーベキュー, 研究室同窓会, 忘年会, 学位審査通過祝賀会
- * 非公式: 各グループ毎の懇親会, スキー旅行

まずは1C: 好奇心(探求心)



ストーク教授(コロンビア大学)と会食

好奇心 (curiosity) を大切にして、勇気(courage)を持って困難な問題に挑戦すること(challenge)。必ずできるという自信(confidence)を持って、全精力を集中(concentration)し、そして諦めずに継続すること(continuation)。その中でも最も重要なのは、curiosity, challenge, continuation の3Cである。これが凡人でも優れた独創的と言われる研究を仕上げるための要素であると私は考える。(本庶佑京大医学部教授)

Our challenges may be new. ...But those values upon which our success depends - hard work and honesty, courage and fair play, tolerance and curiosity, loyalty and patriotism - these things are old. These things are true.

Roald Hoffmann教授と (2016年4月)



習得して欲しいこと : モノ(分子)作りの技術 + コト(概念)作りの考え方

反応機構・電子顕微鏡

*1 Chemical Kinetics Study through Observation of Individual Reaction Events with Atomic-Resolution Electron Microscopy, E. Nakamura, K. Harano, *Proc. Jpn. Acad., Ser. B*, **94**, 428–440 (2018)

*2 Atomistic Structures and Dynamics of Prenucleation Clusters in MOF-2 and MOF-5 Syntheses, J. Xing, L. Schweighauser, S. Okada, K. Harano, E. Nakamura, *Nat. Commun.*, **10**, 3608 (2019).

全員が習得: 有機・無機合成

*3 Axially Chiral Spiro-conjugated Carbon-bridged *p*-Phenylenevinylene Congeners: Synthetic Design and Materials Properties

H. Hamada, Y. Itabashi, R. Shang, and E. Nakamura, *JACS* 2020

*4 Homocoupling-free Iron-catalysed Twofold C–H Activation/Cross-couplings of Aromatics via Transient Connection of Reactants, T. Doba, T. Matsubara, L. Ilies, R. Shang, E. Nakamura, *Nat. Catal.*, **2**, 400–406 (2019)

新反応・新分子

*5 Air- and Heat-Stable Planar Tri-*p*-quinodimethane with Distinct Iron-Catalyzed C–H Bond Activation, R. Shang, L. Ilies, E. Nakamura, *Chem. Rev.*, **117**, 9086–9139 (2017).

*6 Interfacial Chemistry of Conical Fullerene Amphiphiles in Water, K. Harano, E. Nakamura, *Acc. Chem. Res.*, **52**, 2090–2100 (2019).

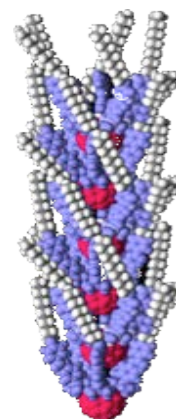
新機能

*7 Design and Functions of Semiconducting Fused Polycyclic Furans for Optoelectronic Applications, H. Tsuji, E. Nakamura, *Acc. Chem. Res.*, **50**, 396–406 (2017).

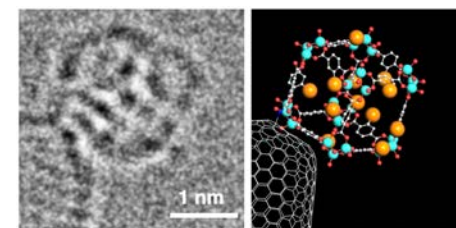
*8 Axially Chiral Spiro-conjugated Carbon-bridged *p*-Phenylenevinylene Congeners: Synthetic Design and Materials Properties
H. Hamada, Y. Itabashi, R. Shang, and E. Nakamura, *JACS* 2020

人類の未来を救う(太陽電池・元素戦略・医療)

9 Chemical Formation and Multiple Applications of Organic–Inorganic Hybrid Perovskite Materials, K. Liu, Y. Jiang, Y. Jiang, Y. Guo, Y. Liu, E. Nakamura, *J. Am. Chem. Soc.*, **141**, 1406–1414 (2019). 10 In vivo gene delivery by cationic tetraamino fullerene, R. Maeda-Mamiya, E. Noiri, H. Isobe, W. Nakanishi, K. Doi, T. Sugaya, T. Homma, and E. Nakamura, *Proc. Nat. Acad. Sci., U.S.A.*, (2010)

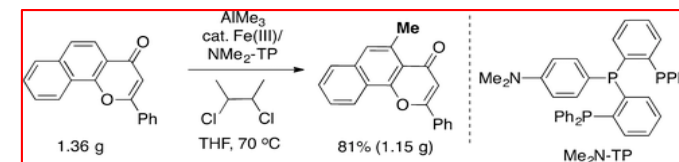


シャトルコック分子集合
Nature 2002, JACS 2006, 7, 10

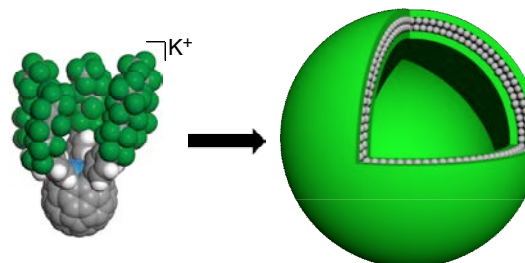


Science 2007
Nat. Nanotech 2008
JACS 2008

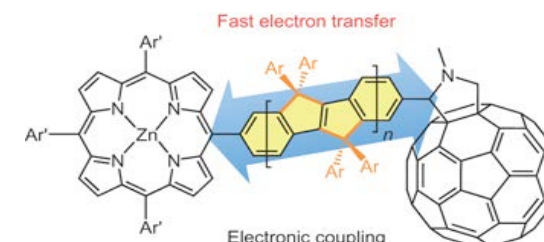
Nat. Chemistry 2010
Nat Materials 2012, 2019



JACS 2008--2020

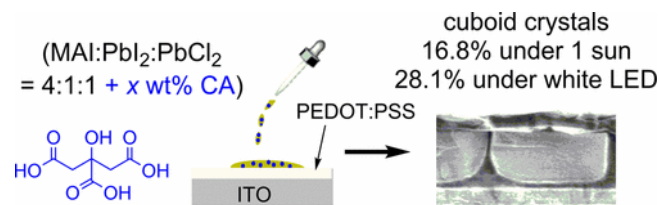


高安定性ベシクル
Science 2001
PNAS 2007
Angew Chem 2010
JACS 2019

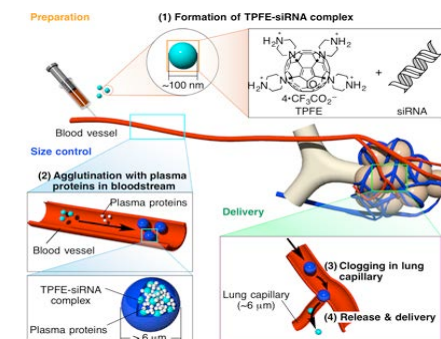


高速電子伝導分子ワイヤー Nat Chem 2014

有機薄膜太陽電池 JACS (2009-19) Ad Mater (2013)



cuboid crystals
16.8% under 1 sun
28.1% under white LED



マウス肺でsiRNA発現 Sci Rep (2014)