

**「新たな生産プロセス構築のための
電子やイオン等の能動的制御による
革新的反応技術の創出（革新的反応）」**

領域中間評価委員会

研究総括 柳 日馨

2023年2月20日

目次

1. 研究領域の概要：戦略目標
2. 研究総括のねらい
3. 研究課題の選考
4. 領域アドバイザー
5. 研究領域の運営
6. 研究の進捗状況
7. 総合所見と展望

1. 研究領域の概要：戦略目標



文部科学省

平成30年度戦略目標及び研究開発目標の決定について

■ 戦略目標

「持続可能な社会の実現に資する新たな生産プロセス構築のための革新的反応技術の創出」

■ 達成目標

社会・経済に大きなインパクトを与える「**革新的反応技術**」を創出し、電気や光等を用いた革新的反応プロセスの構築を目指す

- (1) 電子やイオンを制御する化学反応の機構解明及びそれによる新しい反応ルートを開拓
- (2) 革新的反応プロセス構築のための新材料創製
- (3) 革新的反応プロセスの構築

1. 研究領域の概要：CREST研究領域

「新たな生産プロセス構築のための電子やイオン等の能動的制御による革新的反応技術の創出」

- 電気や光等の古典的な熱エネルギー以外のエネルギーを積極的に利用した革新的反応技術を創出する
- 電気化学、光化学、触媒化学、合成化学、材料科学、理論・計算、計測等に立脚して化学反応場における電子やイオンの能動的な高度制御を探求し、物質合成・生産に資する革新的反応技術を創出する
- **具体的な取り組み**
 - (1) 理論・計算と計測の連携による反応機構解明とそれに基づいた**革新的反応の設計**
 - (2) 革新的反応を可能にするための**新材料の創製**
 - (3) 新材料や新技術を活用し、電気や光等、単独のエネルギーによる**革新的反応プロセスの構築**
 - (4) **複数のエネルギー**を組み合わせた革新的反応プロセスの構築
- 持続可能な社会の実現に向けた革新的反応技術を生み出すとともに、この分野のさらなる発展を担う研究者を輩出する

2. 研究総括の狙い

- **革新的反応**の出現が人間社会が必要とする有用物質の化学製造と供給に決定的な影響を与えるものであることは歴史的に明らかである
- 現代の革新的反応には**優れたエネルギー効率**とともに**環境への負担が圧倒的に少ない反応**であることが求められている
- **電気化学・光化学の研究**は、日本から国際的な研究者を多数輩出し、世界をリードしてきた研究分野であり、革新的反応をめざす**最先端研究で主導性を発揮**できる十分な潜在力がある
- 革新的反応の開発で国際的に牽引しうる**研究リーダーの輩出**と新反応開発に果敢に挑戦・リードする次世代の**若手研究者の育成**が重要である
- **電気や光などのエネルギーを効率よく駆使した革新的な物質変換反応の創製**を本研究領域の研究者に期待する

3. 研究課題の選考

採択年度	応募件数 (女性)	書類選考 採択件数	面接選考 採択件数	採択率
2018年度	76(1)	10	4	5.3%
2019年度	57(2)	10	4	7.0%
2020年度	39(2)	9	4	10.3%
合計	172(5)	39	12	7.0%

募集説明会:





【推奨する研究提案:ポイント】

- 電気や光などのエネルギーをどのように活用するのか
- 電子やイオンなどをどのように能動的(意図的)に制御するのか
- 「革新的反応」につながる理論・計測・材料・システム研究であるか
- 構想実現のための複合的多視点を有するチーム構成であるか
- 世界を大きくリードする研究としての特筆点とその手がかりはなにか

【留意事項】





- 研究費:全期間1.5億円 (課題中間評価結果により研究費を増額)

2018年度採択課題(4課題)

研究代表者	所属・役職 (領域中間評価時)	研究課題名
跡部 真人	 横浜国立大学・教授	固体高分子電解質電解技術に基づく革新的反応プロセスの構築
小江 誠司	 九州大学・教授	電子貯蔵触媒技術による新プロセスの構築
生越 友樹	 京都大学・教授	新物質群「3次元カーボン構造体」と革新的触媒反応
白川 英二	 関西学院大学・教授	アニオンラジカル制御が拓く革新的電子触媒系





- 電解合成デバイスとプロセス開発(跡部チーム)、電子貯蔵触媒(小江チーム)、新しい電極材料(生越チーム)、電気と光による有機合成(白川チーム)の4課題を採択
- 研究分野のバランスを考慮して採択

2019年度採択課題(4課題)

研究代表者	所属・役職 (領域中間評価時)	研究課題名
伊藤 肇 	北海道大学・教授	レドックスメカノケミストリーによる固体有機合成化学
千葉 一裕 	東京農工大学・教授	電子移動制御による連続脱水縮合反応
野崎 智洋 	東京工業大学・教授	非平衡プラズマを基盤とした電子駆動触媒反応の創成
依光 英樹 	京都大学・教授	不飽和結合への電子注入に基づく高度官能基化法の創出

- メカノケミストリー(伊藤チーム)、ペプチドの電解合成(千葉チーム)、プラズマ触媒(野崎チーム)、有機金属中間体による合成手法(依光チーム)の4課題を採択
- 独創的な発想の研究課題を採択

2020年度採択課題(4課題)

研究代表者	所属・役職 (領域中間評価時)	研究課題名
垣内 史敏	 慶應義塾大学・教授	電気・光・磁場で誘導する革新的分子変換法の創成
前田 和彦	 東京工業大学・教授	ヒドリド含有酸化物を活用した電気化学CO ₂ 還元
安田 誠	 大阪大学・教授	「ルイス酸-外部刺激」系によるイオン性中間体の活性化
吉信 淳	 東京大学・教授	時空間で精密制御した輻射場による表面反応プロセス

- 複合エネルギーによる有機合成(垣内チーム)、高効率型固体触媒(前田チーム)、外部刺激によるイオン反応(安田チーム)、テラヘルツ波による表面化学反応(吉信チーム)の4課題を採択

- 既存チームとの共同研究にも期待

研究課題のポートフォリオ

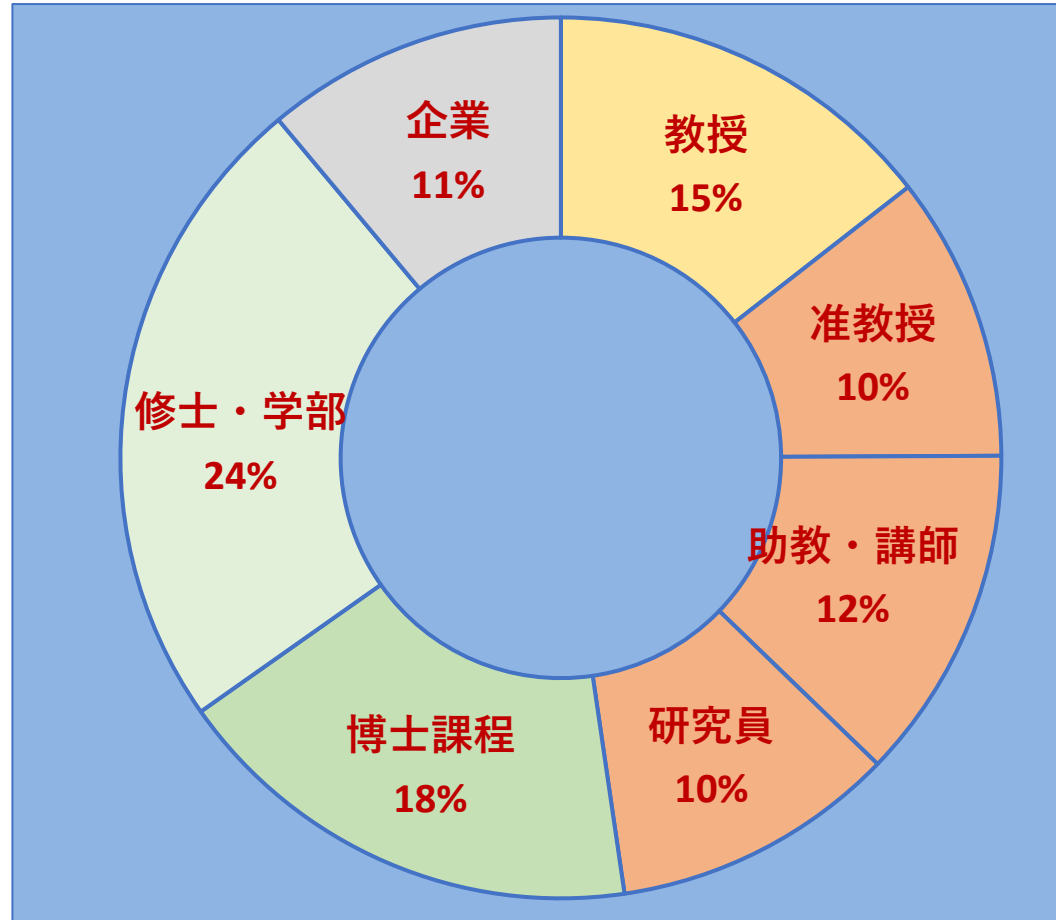
2018年チーム

2019年チーム

2020年チーム

反応場 学域	電気	電気／光 複合	光	プラズマ ・力学
触媒化学 表面科学	前田チーム 小分子還元法 ヒドリド含有触媒	小江チーム 小分子変換 電子貯蔵触媒技術	吉信チーム 輻射場による表 面反応プロセス	
材料 プロセス	跡部チーム 固体高分子電解質 電解技術	生越チーム 三次元カーボン 構造体電極材料		野崎チーム 非平衡プラズマ 電子駆動触媒
有機合成 有機反応	依光チーム 不飽和結合への電子 注入と官能基化法	千葉チーム 液相ペプチド合成 脱水縮合触媒	白川チーム 電子触媒による クロスカップリング	
	安田チーム ルイス酸-外部刺激 系によるイオン反応	垣内チーム 脂肪族の官能基化 電気・光複合系		伊藤チーム クロスカップリング メカノケミストリー

研究チームのメンバー構成



研究チームの人員

	[名]
教授	47
准教授	34
助教・講師	40
研究員	34
博士課程	57
修士・学部	77
企業	36
合計	325
男性	291
女性	34
合計	325

- 若手研究者(准教授、助教・講師、研究員)は全体で約100名、女性研究者は34名
- 国内外での認知度を高め、積極的に研究に取り組めるように領域で支援

4. 領域アドバイザー

青字： 企業所属

氏名	所属	分野
江口 久雄	東ソー・ファインケム(株) 代表取締役	電解合成
川田 達也	東北大学 大学院環境科学研究科 教授	固体イオニクス
近藤 寛	慶応義塾大学 理工学部 教授	触媒化学・表面科学
関根 泰	早稲田大学 理工学術院 教授	触媒化学・化学工学
滝澤 博胤	東北大学 理事・副学長	マイクロ波・材料化学
富岡 清	関西大学 客員教授／京都大学 名誉教授	有機化学
堂免 一成	東京大学 特別教授／信州大学 特別特任教授	触媒化学
西田 まゆみ	(株)ウェストコーナー 代表取締役社長(元北大教授)	有機反応化学
西原 寛	東京理科大学 大学院 教授	錯体化学
長谷川 龍一	三菱ケミカル(株) 分析物性研究所長 フェロー	有機合成・計測分析
山川 一義	東京大学 特任研究員 (元富士フイルム(株))	有機合成
四橋 聡史	パナソニックホールディングス(株) シニアリサーチャー	光合成・電池

安藤 香織 岐阜大学 工学部 教授

有機化学 2018～2020

領域アドバイザーの構成

- 研究分野の融合と連携を意識した、有機化学、無機化学、電気化学、光化学、触媒化学など多様な分野における指導的研究者
- 新しい学理を創出し、コミュニティの信頼が高い研究者
- 生産プロセスの革新性を理解しうる化学関連の研究者、特に企業研究者
- さきがけ「反応制御」領域との連携を踏まえ、関根研究総括が本領域のアドバイザーとして参画し、当CREST研究総括もさきがけ「反応制御」のアドバイザーとして参画

5. 研究領域の運営

CREST「革新的反応」

領域会議

サイトビジット

総括面談

若手育成

革新的反応
の創出

共同研究

国際交流

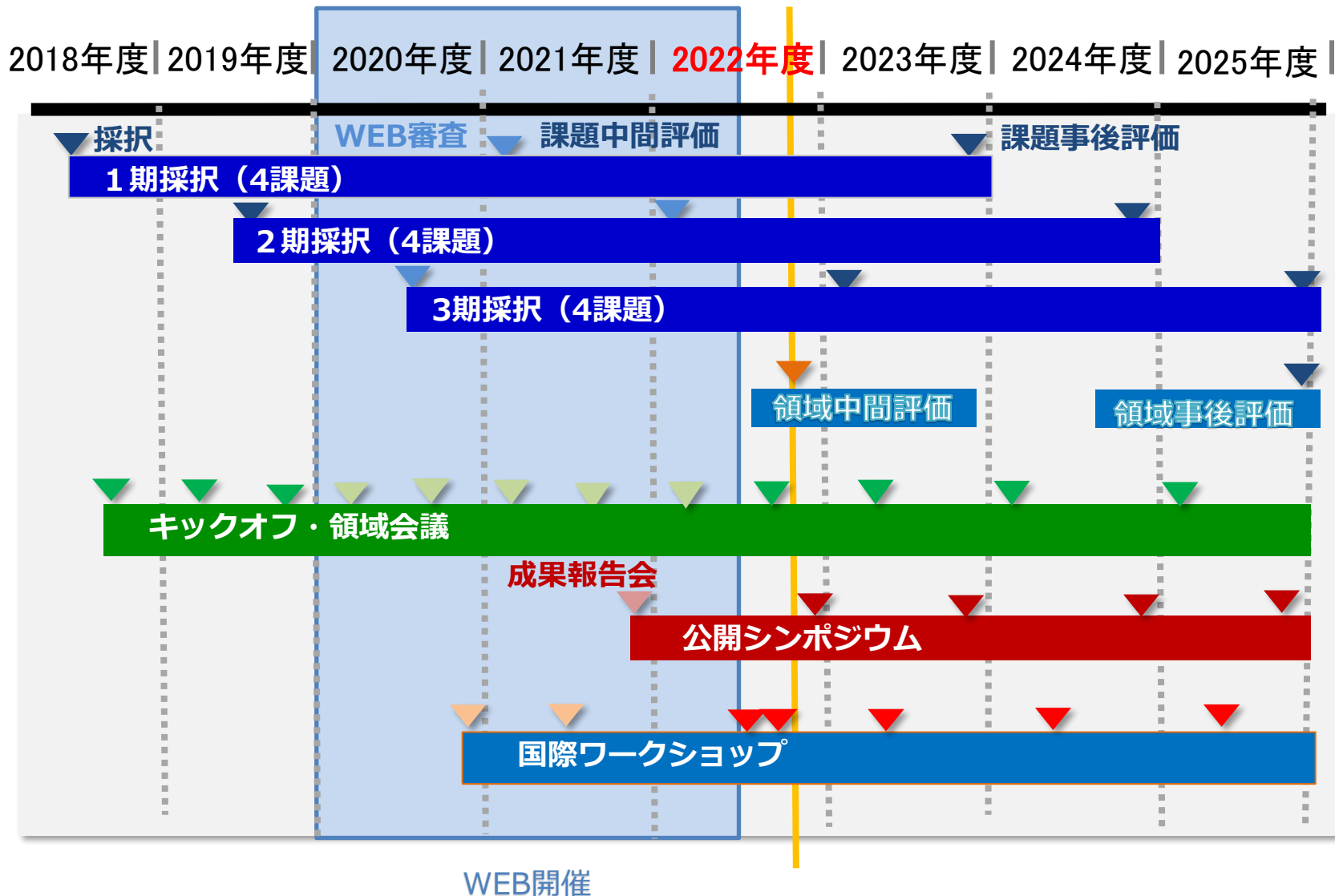
学会連携の
成果報告会

国際ワーク
ショップ

若手発表の
機会提供

研究総括裁量経費
(研究増強、チーム間共同研究、
国際研究交流など)

全体スケジュール



領域主催の会議

年度	月日	会議	方式	参加
2018	10/31	キックオフ会議1期	リアル開催	38名
2019	4/21~22	第1回領域会議	リアル開催	59名
	11/4	キックオフ会議2期	リアル開催	64名
2020	6/5,10,11	第2回領域会議	Web開催	77名
	11/7	キックオフ会議3期	Web開催	55名
	11/11~12	第3回領域会議	Web開催	98名
2021	4/24,28	第4回領域会議	Web開催	116名
	11/4,27	第5回領域会議	Web開催	116名
	3/23	研究成果報告会 I	Web開催	134名
2022	5/26~27	第6回領域会議	Web開催	137名
	12/2~3	第7回領域会議	リアル/Web開催	117名
	3/24(予定)	研究成果報告会 II	リアル開催	—

- 2、3期キックオフ会議は、新チームに加えて全研究代表が参加し情報共有
- 2020年以降は全てWeb開催の会議となり、2022年12月から対面方式が復活
- 研究成果報告会は日本化学会春季年会のコラボレーション企画とした

領域会議



第1回領域会議
2019/4/21 JST東京別館

■ 研究課題の進捗・成果の情報共有と研究討議

総括・領域ADの指導・助言(コメント表を研究代表に展開)

⇒ 研究の方向性、研究の成果の情報共有

チーム間の共同研究、研究計画の変更などに反映

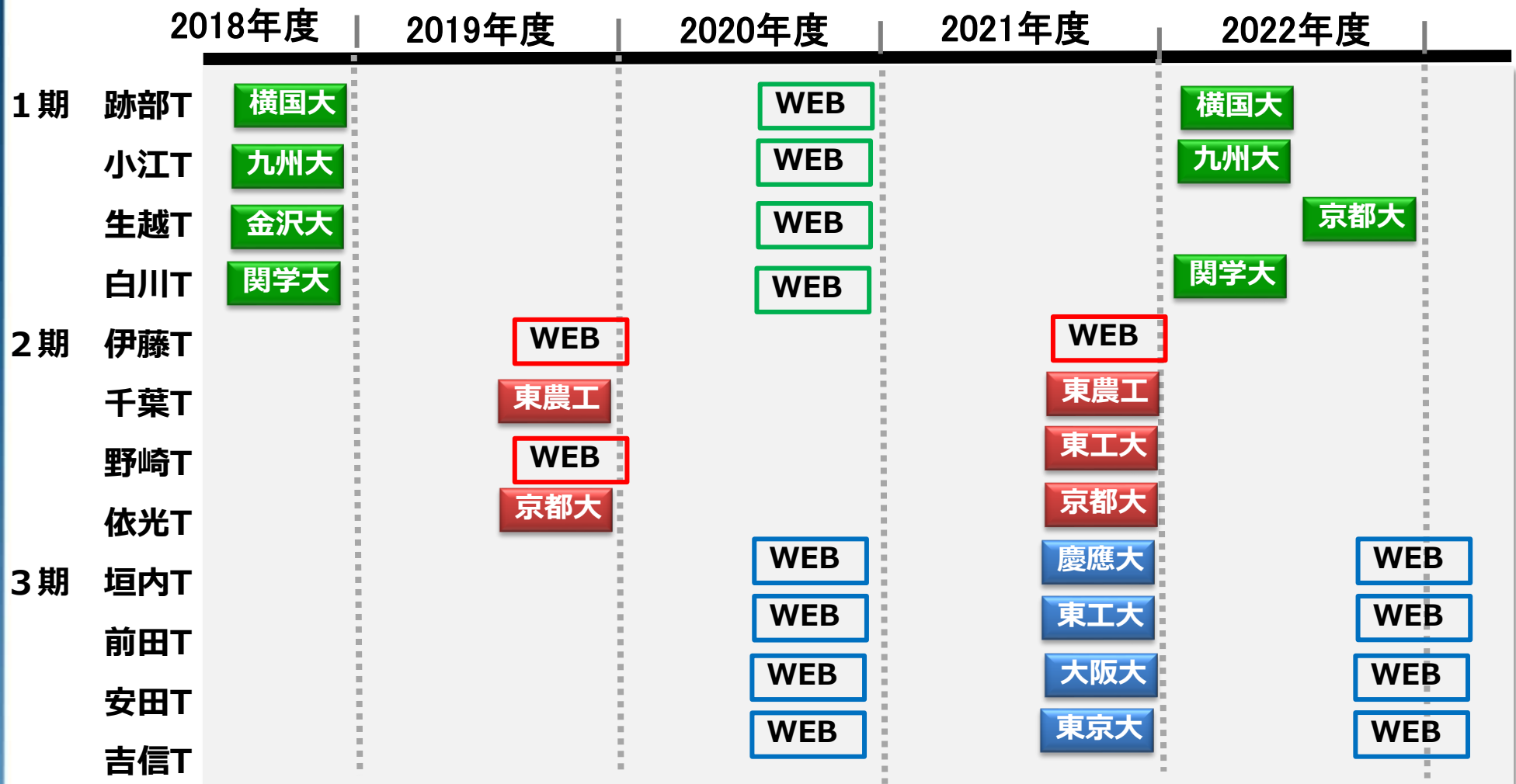
■ 各チームからの研究進捗と特筆すべき研究トピックスを報告

研究トピックスでは**若手研究参加者の報告**を推奨

⇒ 有望な若手研究者の発掘と認知、モチベーション向上

■ JST知財部が参加、研究成果の情報共有、出願候補の提案

サイトビジット・WEB会議



総括/ADより研究進捗・研究体制の情報共有、指導・助言
他チームとの共同研究を提案

国際研究交流

年度	会議	日程	チーム	参加
2020	Mini-CREST-Workshop on Innovative Reactions [Web meeting]			
	Vol.1 Photoinduced Reactions of Aryl Halides	11/24	白川T	10名
	Vol.2 Electron Transfer and Carbanions	1/16, 2/3, 2/16,	依光T	22名
	Vol.3 International Webinar Series on Chemical Design of Carbon-based Catalysts	3/9 1/19, 1/27, 2/5	生越T	20名
2021	CREST-ICReDD International Seminar [Webinar]	12/10	伊藤T	80名
2022	Workshop on Radical and Electron Transfer Reactions (RETR) [Kwanseigakuen Univ.]	9/23~24	白川T	40名
	International Symposium on Innovative Reactions through Controlling Electrons (ISIRCE) [Todaiji Culture Center]	11/23~24	依光T	100名

- 2020年度に計画した国際会議はパンデミックによりすべてキャンセルされたが「コロナ禍に負けない国際研究交流」としてWeb会議、Webセミナーの開催
- リアル開催の国際会議は2022年秋よりスタート、9月にRETR、11月にISIRCEを開催

人材育成(主な表彰者)

■ 主な表彰者

- 2019/12/01 永木愛一郎(北大) 東ソー・環境エネルギー賞 有機合成化学協会
- 2020/02/17 依光英樹 (京大) 日本学術振興会賞 日本学術振興会
- 2020/02/18 依光英樹 (京大) 日本学士院学術奨励賞 日本学士院
- 2020/02/27 跡部真人 (横国大) 手島精一記念研究賞 東京工業大学
- 2020/03/17 岡田洋平 (東農工大) 電気化学会進歩賞 電気化学会
- 2020/12/17 西本能弘 (大阪大) 有機合成化学奨励賞 有機合成化学協会
- 2020/12/17 西原洋知 (東北大) 日本学術振興会賞 日本学術振興会
- 2020/12/17 生越友樹 (京大) 日本学術振興会賞 日本学術振興会
- 2021/04/26 高橋大介 (慶應大) The Carbohydrate Research Award for Creativity in Carbohydrate Chemistry The Editorial Board and Publisher of Carbohydrate Research
- 2021/11/16 前田和彦 (東工大) Highly Cited Researchers 2021 Clarivate Analytics
- 2022/02/21 生越友樹 (京大) 高分子学会学術賞 高分子学会
- 2022/04/01 古川森成 (北大) 文部科学大臣表彰若手科学者賞 文部科学省
- 2022/12/17 小西彬仁 (大阪大) 有機合成化学奨励賞 有機合成化学協会
- 2022/12/17 清水章弘 (大阪大) 有機合成化学奨励賞 有機合成化学協会
- 2022/12/17 下山敦史 (大阪大) 有機合成化学奨励賞 有機合成化学協会

6. 研究の進捗状況

戦略目標達成に向けた状況

■ 具体的な取り組み

(1) 反応設計

理論・計算と計測の連携による反応機構解明とそれに基づいた革新的反応の設計

(2) 新材料

革新的反応を可能にするための新材料の創製

(3) 反応プロセス

新材料や新技術を活用し、電気や光等、単独のエネルギーによる革新的反応プロセスの構築

(4) 複合エネルギー

複数のエネルギーを組み合わせた革新的反応プロセスの構築

研究成果

白川チーム

反応設計/複合エネルギー/光・電気

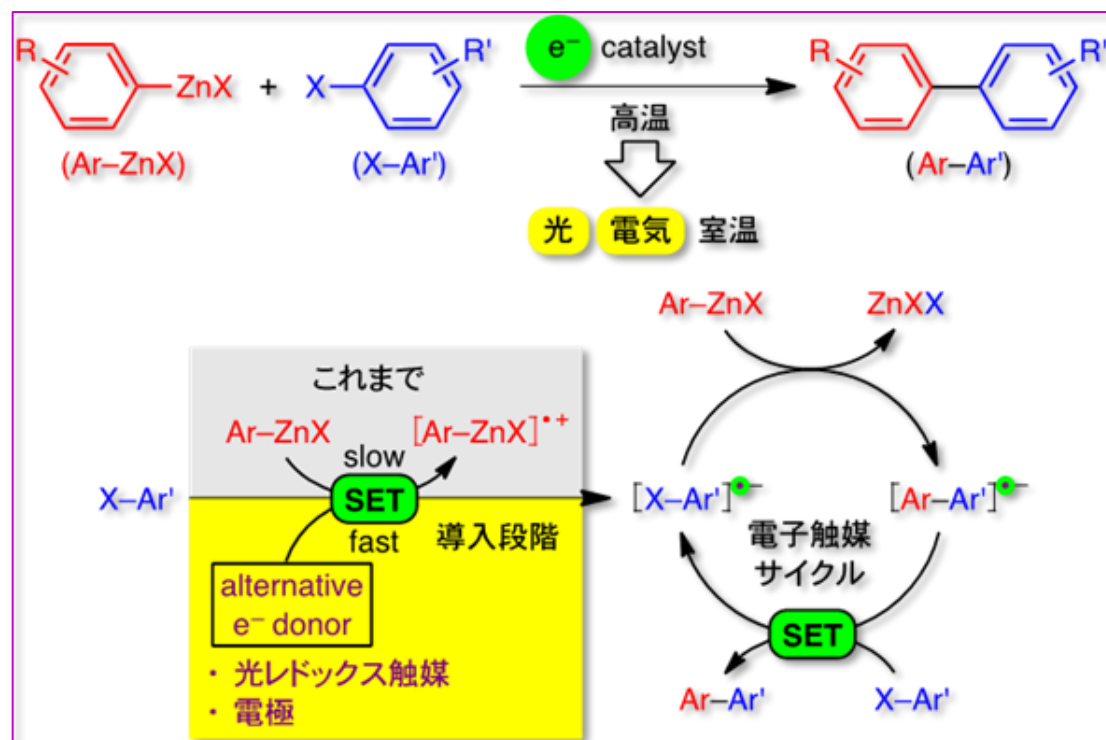
電子を触媒とするクロスカップリング反応

光二波長照射または電気・光による二重励起法の開発

ハロゲン化アリールのクロスカップリング反応は、高価な遷移金属触媒が必要とされていたが、**電子を触媒とする革新的な反応プロセスを開発**

反応機構の研究から、光レドックス触媒系あるいは陰極還元によって電子を供給する手法の採用により、**加熱は不要となり反応は室温で進行**

光化学・電気化学・分析技術のチーム内融合により、**電子移動制御の新しい学理を創成**



K. Aoki, E. Shirakawa, et al. *Adv. Synth. Catal.* **2020**, 362, 2200–2204.

研究成果

反応設計/反応プロセス

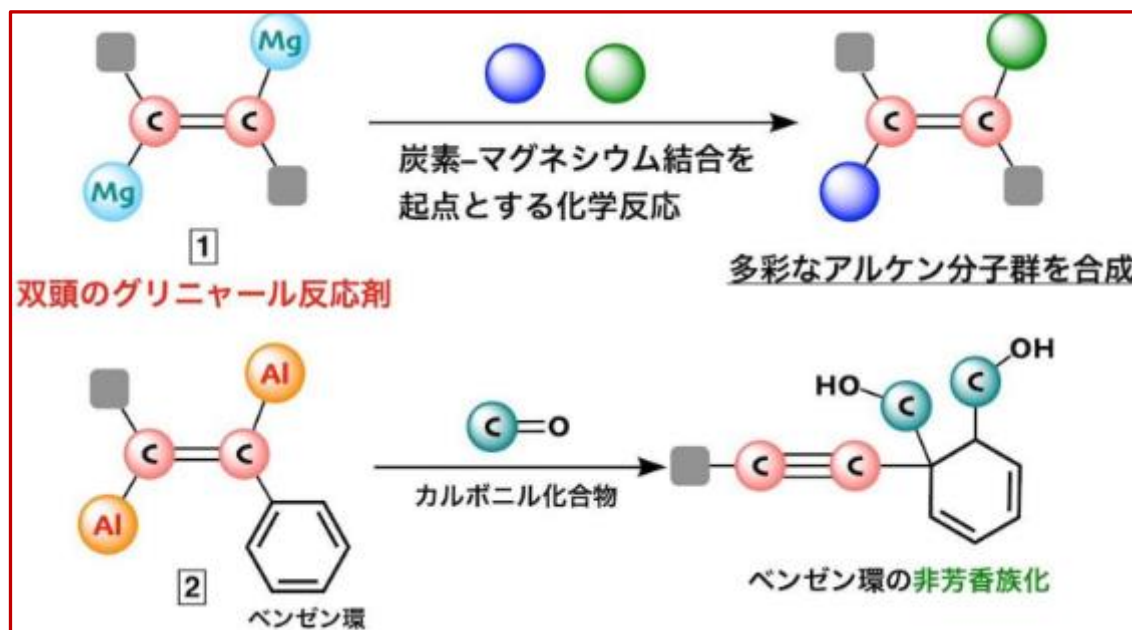
依光チーム

炭素と金属を結ぶ新しい方法 ～単純分子から有用物質を短工程で製造可能に～

炭素—炭素三重結合に電子を注入する独自の手法により、入手容易なアルキン为原料として2本の炭素—金属結合を構築し、従来法では困難な**二重官能基化法を創成**

この双頭型の有機金属化合物が新規な化学反応をおこすことも明らかにし、**中間体としての有用性を開拓**

基礎化学品の合成効率の向上と生産プロセスへの応用が可能



F. Takahashi, H. Yorimitsu et al., *Nature Synthesis* **2023**, 2, 162-171

研究成果

千葉チーム

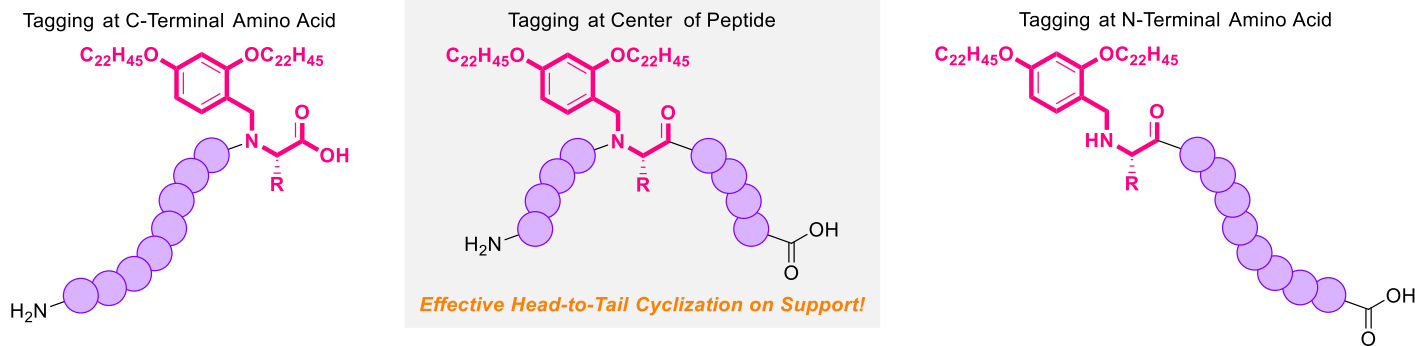
反応設計/反応プロセス・電気

高純度なペプチド合成のプロセス開発に成功

～分離精製工程がない医薬品生産への応用に期待～

電子移動型のアミド結合形成による**中分子ペプチドの電解合成**の実用化を目指したプロセス開発
従来型固相法では多量の処理廃棄物が副生

イオン反応型の脱水剤を用いずにアミド結合形成後に生じるトリフェニルホスフィンの電解酸化と**逆ミセル化を促すTAGの活用**で生理活性ペプチドの合成を達成



S. Nagahara, K. Chiba, et al., *Chem. Sci.* **2021**, 12, 12911–12917.

研究成果

生越チーム

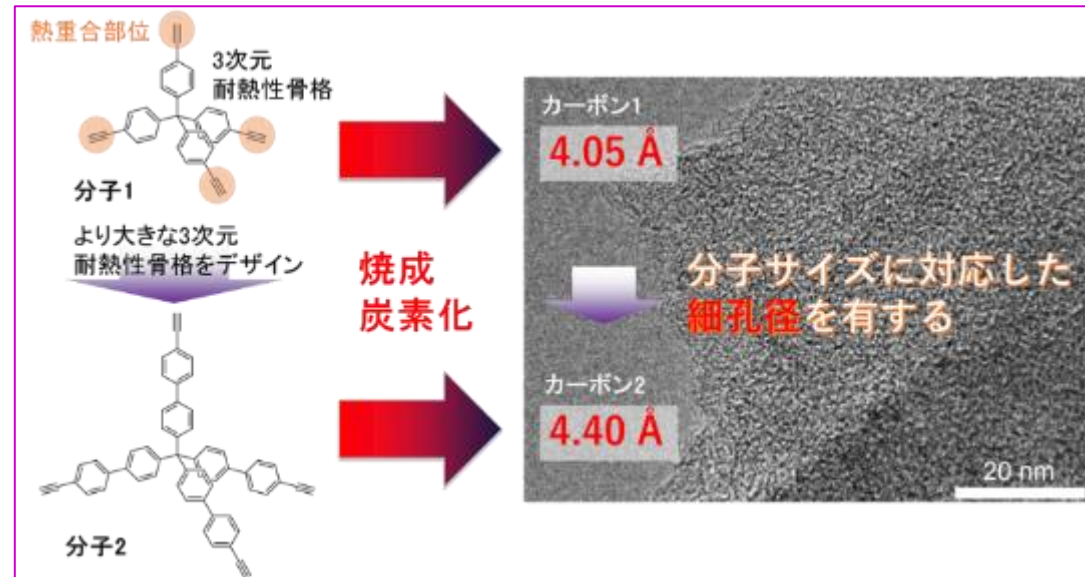
新材料/電気

分子構造により細孔径を制御したカーボン
～特定サイズの基質が反応する触媒への応用が期待～

炭素源の有機分子設計の最適化により焼成のみで細孔径が分子レベルで制御できる多孔性カーボンを創製

本創製法はカーボン化効率が良いため、元の分子構造を保持し、かつ再現性が高いことを実証

特定サイズの基質のみが反応する電解反応の電極材料などに展開



T. Ogoshi, et al., *Commun. Chem.* **2021**, 4, 75.

研究成果

新材料/反応プロセス/光エネルギー

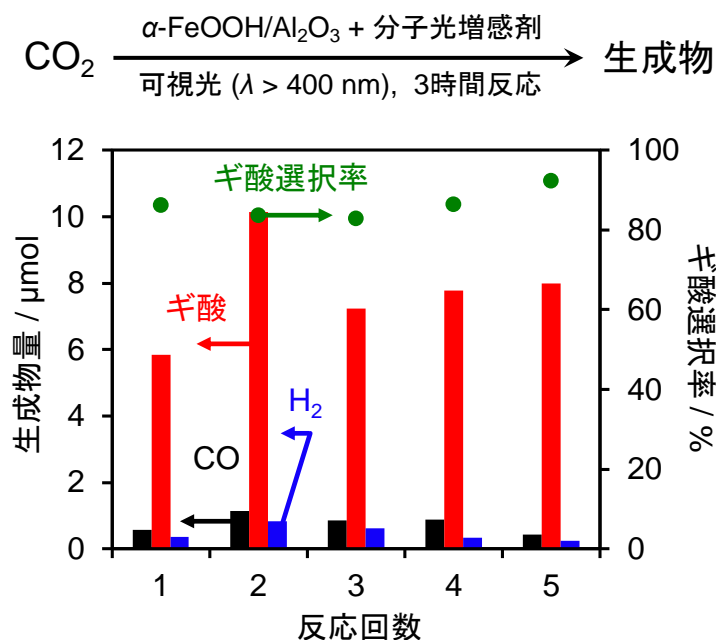
前田チーム

鉄さびの主成分を使って二酸化炭素を再資源化
～多存物質を活用した人工光合成の実現に期待～

鉄さびの主成分である α 型酸水酸化鉄が分子光増感剤の共存下において CO_2 のギ酸への還元的変換反応に対して、高い反応効率を有することを発見

α 型酸水酸化鉄をアルミナに担持した触媒では80～90%の CO_2 還元選択率を実現

安価な触媒による CO_2 還元は、将来のカーボンニュートラル社会への貢献に期待



D. An, K. Maeda, *Angew. Chem. Int. Ed.*
DOI : 10.1002/anie.202204948

研究成果

野崎チーム

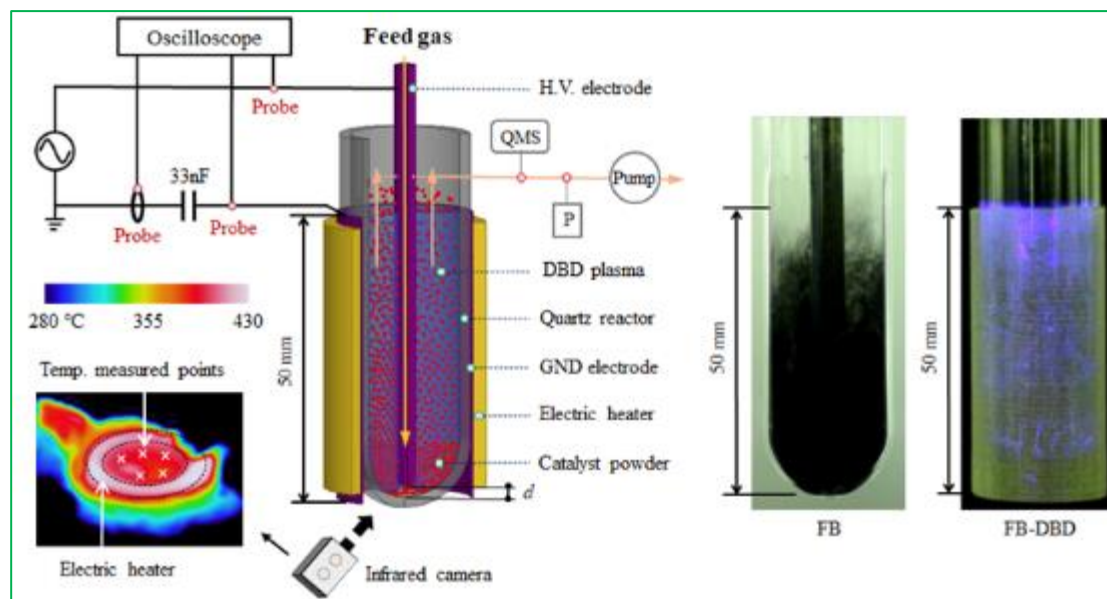
新材料/反応プロセス

「二酸化炭素の資源化」を実現する新たな触媒反応系をデザイン
～非平衡プラズマでCO₂転換効率を大幅に向上～

非平衡プラズマによって二酸化炭素を一酸化炭素、メタン、メタノールなど有用物質に変換する合成法を創成

独自に開発したプラズマ反応装置はCO₂分子を**選択的に振動励起**を誘発

この反応システムに適合する固体触媒開発により、CO₂還元反応効率を既存法の約3倍に向上



D. Y. Kim, T. Nozaki, et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 14140–14149

研究成果

跡部チーム

反応プロセス・電気

水を原料とし電気駆動するグリーンな化学合成システムを開発
～香料や医薬品の中間体を持続可能な方法で効率的に製造～

プロトン交換膜型電解リアクターを用いることで、アルキンや環状ケトン
を電気化学的に還元し、立体選択的にアルケンや環状アルコールを得る
反応開発に成功

水を原料とし、電気エネルギーで
駆動するクリーンな合成技術であり、
持続可能なファインケミカル製造の
実現に貢献することが期待



Y. Shimizu, M. Atobe, et al., *ACS Energy Letters*, 2023, 8, 1010–1017

研究成果

千葉チーム(内山・宮本グループ)

反応設計

世界初 室温における炭素二原子分子 (C_2) の化学合成
～新たな化学結合論と宇宙における炭素資源の起源～

高温・高エネルギーが必要不可欠と考えられてきた C_2 を常温常圧で初めて化学合成することに成功

実験化学者と理論化学者間で長く論争となっていた C_2 の化学結合について、電荷シフト結合を含む4つの結合が存在することを初めて実証

C_2 が常温常圧下で、炭素ナノ材料(フラーレン、カーボンナノチューブ、グラフェン)が合成されることを発見



K. Miyamoto, M. Uchiyama, *et al.*, *Nature Commun.*, **2020**, *11*, 2134.

研究成果

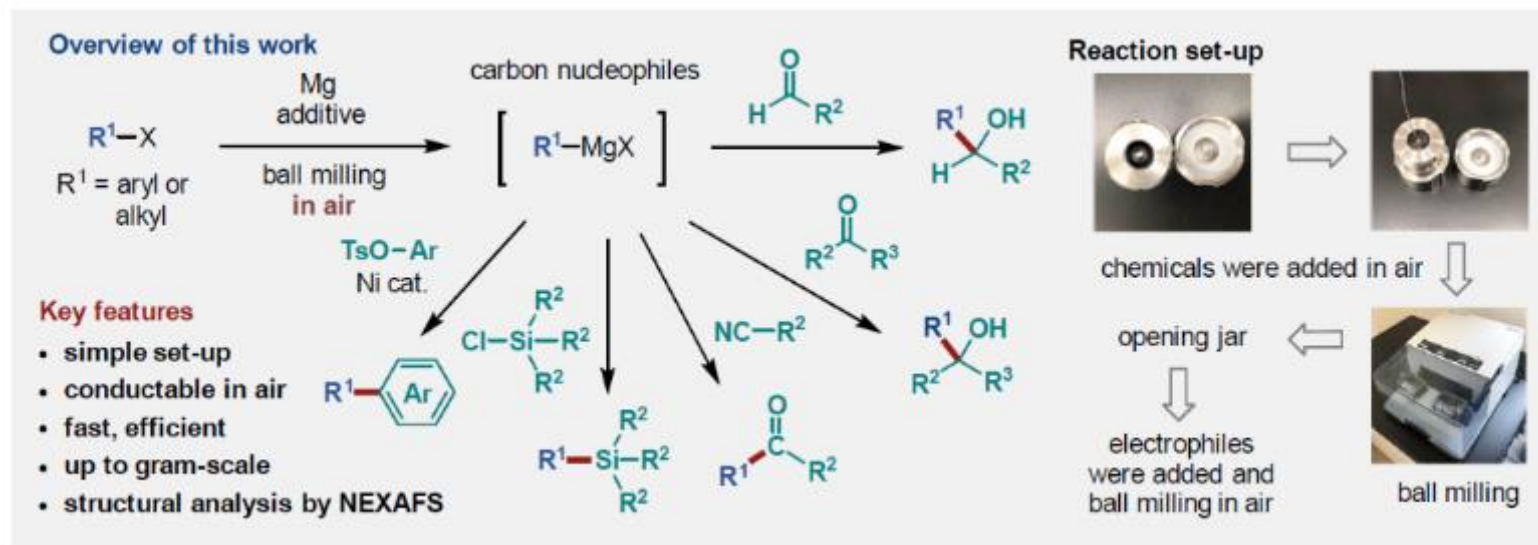
伊藤チーム

反応プロセス

ペースト状グリニャール試薬の合成に初めて成功
～有機溶媒を低減する新しい物質生産プロセスの構築へ～

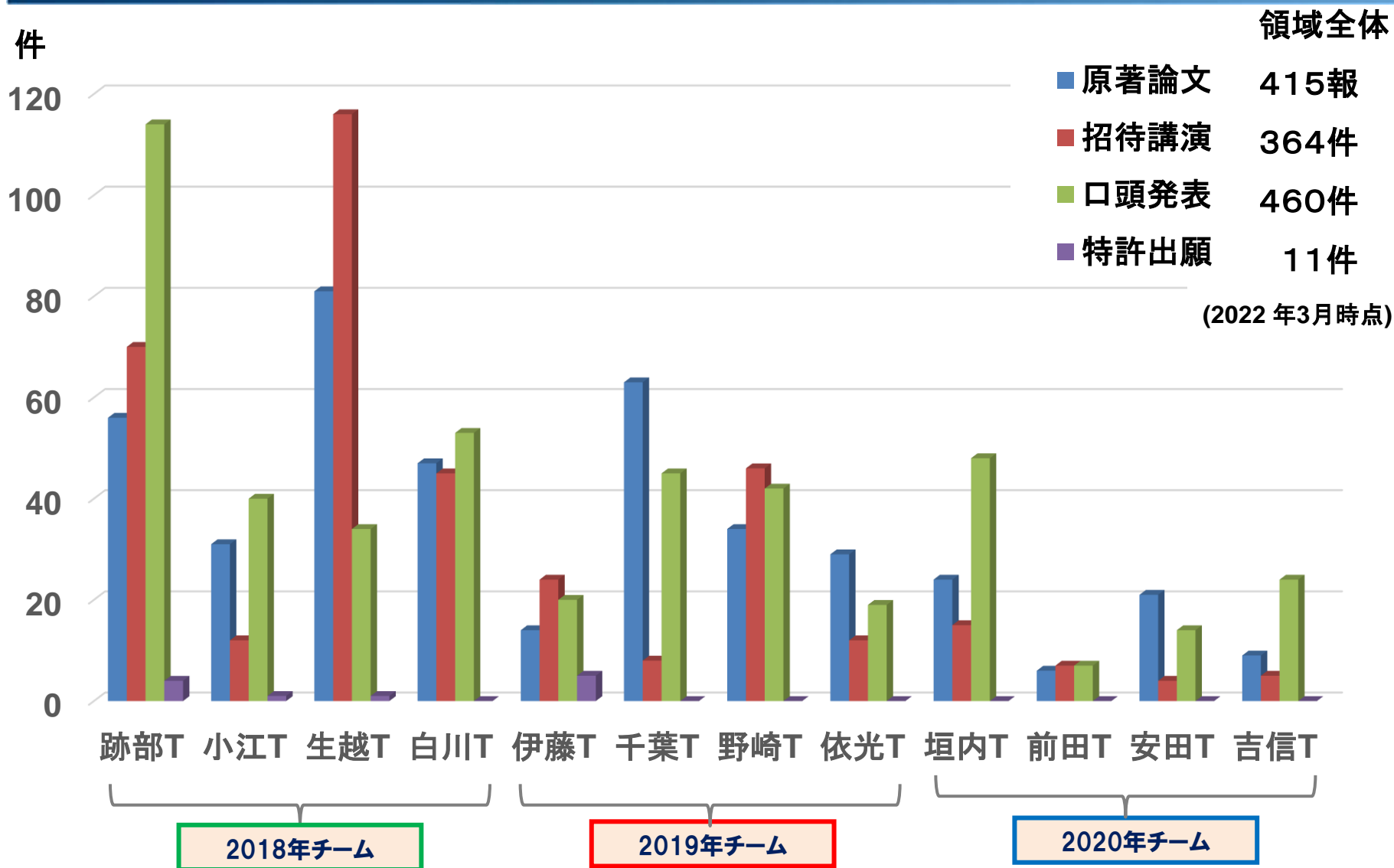
基本合成試薬であるグリニャール試薬を、**有機溶媒をほとんど使用せず**に簡便に合成する方法の開発に成功、ボールミルによるペースト状のグリニャール試薬の合成は世界初の快挙

このグリニャール試薬はさまざまな無溶媒有機反応に利用でき、環境調和型の物質変換の生産プロセスとして期待



K. Kubota, R. Takahashi, H. Ito, *et al.*, *Nature Commun.* **2021**, *12*, 6691.

研究成果の発表



7. 総合所見と展望

■ 研究成果

「革新的反応」の名に相応しい研究成果を次々と世界へ発信
世界をリードする研究成果をあげたチームは全体の半数、当初計画を上回るチームも3割を占める

成果に関心を示す製薬・化学企業の数にはCREST研究開始前に比して大きく増加

■ 共同研究

異なるバックグラウンドを有する研究者間の連携と共同研究が進展
光化学と電気化学のエキスパートによる反応機構の研究により学理が大きく深化

■ 若手研究者

革新的な反応の開発に果敢に挑戦する有望な若手研究者を輩出し、
世界にショーアップ、昨年秋の2度の国際ワークショップで確かな手応え

■ 国際研究交流

研究者にとって国際的な鍛錬は覚醒化の糧
領域関係者との緊密な連携で後半も引き続き積極的に実施

■ 領域アドバイザー

有機合成化学に加えて触媒化学、表面化学など幅広いチーム構成ゆえ、様々な専門分野を背景とした領域アドバイザーの助言は研究発展の有効なスパイスとして機能