

未踏

A 領域 次世代省エネエレクトロニクス

(045) 少数のキャリアを活用する省エネルギー光電融合情報基盤の開発 (2023年度)	57
(046) 高耐圧・低損失ダイヤモンドパワーデバイスの開発 (2022年度)	58
(047) デジタルアクティブゲート技術を駆使したノイズフリー・パワエレ電力ネットワークの創生 (2021年度)	59
(048) コンパクトで安価かつ汎用的な限流遮断器の開発 (2021年度)	60
(049) 低消費電力フレキシブルCMOSの創製 (2020年度)	61
(050) スマートグリッドの先へ導くパワエレ技術 (2020年度)	62
(051) パワーデバイスの技術革新 (2019年度)	63
(052) 酸化アルミニウムを用いた低価格パワーデバイスの開発 (2019年度)	64

B 領域 環境改善志向次世代センシング

(053) ゴニオ極性材料の開拓と革新的熱電モジュールの開発 (2023年度)	65
(054) メタサーフェスSiハイパースペクトル赤外光センシングデバイス (2023年度)	66
(055) アモルファス半導体を使った革新的環境ガスセンシング技術の開発 (2022年度)	67
(056) 自立センサノードのためのバイオミメティック汎用電源回路 (2022年度)	68
(057) 昇圧回路不要の熱電発電デバイス (2021年度)	69
(058) 涙液糖発電センサとパッシブ通信による自立血糖モニタコンタクト (2021年度)	70
(059) 厳環境対応SiC量子センサーの開発 (2020年度)	71
(060) 光波発電を用いた赤外光エネルギー利用 (2020年度)	72
(061) 湿度変動発電素子の研究開発 (2019年度)	73



C 領域 導電材料・エネルギー変換材料

(062) ドープフリー二次元有機透明金属電極膜の開発 (2023年度)	74
(063) 熱線遮蔽能を有する発電窓ガラスの研究開発 (2023年度)	75
(064) 卓上NMRに適するリング状強力超電導バルク磁石の開発 (2022年度)	76

D 領域 未来構造・機能材料

(065) 極限環境において高強度・高靱性な異種接合に関する研究開発 (2023年度)	77
(066) 革新的セラミック材料設計のための材料パターン情報学の創成 (2022年度)	78
(067) 環境・健康・安全に配慮した電力機器用SF6代替ガスの創成 (2022年度)	79
(068) 高次機能の実現を目指すナノ材料の精密制御手法の開発 (2021年度)	80
(069) チタン合金の新規リサイクルプロセスの開発 (2020年度)	81
(070) 自己増殖型資源を利用したセルプラスチックス軽量素材の実現 (2019年度)	82

E 領域 CO₂有効利用

(071) CO ₂ によるプロパン酸化脱水素に有効な多元素酸化物担体の開発 (2023年度)	83
(072) 中温電解によるCO ₂ 由来化成品原料合成 (2022年度)	84
(073) 光アシスト型逆シフト反応触媒システムの開発 (2022年度)	85
(074) 高効率太陽光CO ₂ 電解還元システムの研究開発 (2021年度)	86
(075) 二酸化炭素回収と資源化の複合化技術開発 (2020年度)	87
(076) 二酸化炭素水素化による有用物質ワンパス合成 (2019年度)	88
(077) 遷移金属触媒を基盤としたCO ₂ 変換に関する技術開発 (2019年度)	89
(078) 二酸化炭素のリサイクル・資源化のための新しい触媒プロセス開発 (2019年度)	90
(079) メタンチオール経由でCO ₂ をオレフィン化する革新的物質変換系の開拓 (2019年度)	91

少数のキャリアを活用する省エネルギー光電融合情報基盤の開発

Energy-saving optoelectronic fusion information system utilizing a small number of carriers

研究開発の背景

高度な情報社会を発展させるためには、情報処理や通信に必要な消費電力を抜本的に削減する必要があります。現代の情報社会は電子コンピューティングと光通信により発展してきましたが、情報キャリアである電子や光子の数を削減していくと信号のS/N比が低下する根本的な問題があります。そこで、これまで活用されてこなかった電子のスピンの状態に注目し、少数のキャリアによる省エネルギーの光電融合情報基盤を開発していきます。すでに、半導体量子ドットを用いることで、室温において極めて高い電子スピン偏極（スピン情報の生成）を実現しています。

研究開発の内容と目標

これまでに、実用の光デバイス材料であるIII-V族化合物半導体量子ドットを光学活性層に用いたスピン偏極発光ダイオード（スピンLED）を開発し、室温動作を達成しています。そこで、半導体積層構造の精密な成長制御や新規な量子構造の導入によりスピンLEDの高性能化を図るとともに、世界的にも研究が進んでいないスピン偏極情報を受光可能な光デバイスを開発します。また、電界により光スピン偏極を広範囲に制御可能な新技術の開発も目指します。以上により、実用に不可欠な室温において超高速で動作し、抜本的な省エネルギーを目指すことが可能な光電融合情報基盤の要素技術を確認します。

研究開発項目

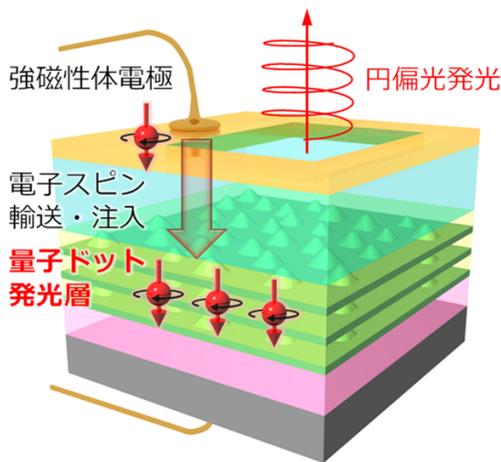
1. 半導体量子ドットスピンLEDの高性能化
2. スピン偏極受光デバイスの開発
3. 光スピン偏極の電界制御技術の開発

研究開発の実施体制

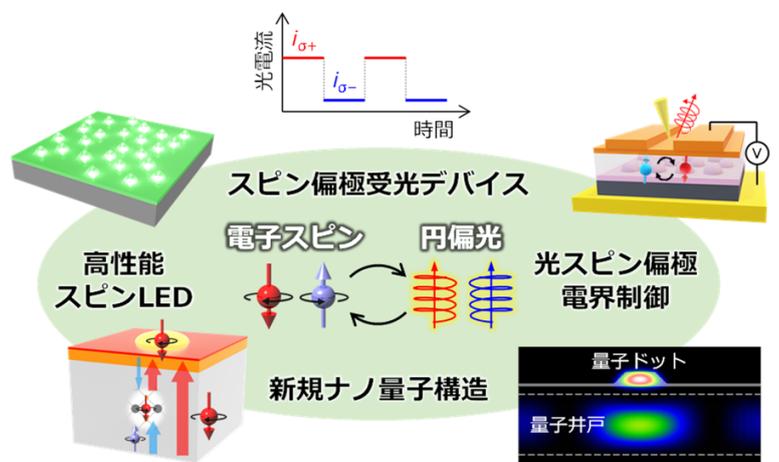
国立大学法人北海道大学



樋浦 諭志
北海道大学・准教授



量子ドットスピンLEDによる電子スピンと円偏光の光電スピン情報変換



本研究開発が目指す省エネルギー光電融合情報基盤の要素技術・要素デバイス

高耐圧・低損失ダイヤモンドパワーデバイスの開発

High-voltage low-loss diamond power devices

研究開発の背景

日々の生活において、我々は電力を様々な機器で利用しています。電力を利用する機器の多くでは、パワーデバイスと呼ばれる半導体素子を使って、電圧や電流、周波数を変換しています。電力を変換する際に電力損失が生じてしまいますが、電力の無駄をなくしエネルギーを有効に活用するためには、電力損失を低減することが必要です。本研究テーマでは、現在広く利用されている半導体材料であるシリコン(Si)や次世代半導体材料として期待される炭化シリコン(SiC)や窒化ガリウム(GaN)を超える優れた特性を有し、低損失化に有利なダイヤモンドを利用することによって、電力損失が少ないパワーデバイスの実現を目指しています。

研究開発の内容と目標

パワーデバイスのひとつである電界効果トランジスタ(FET)の損失低減のためには、電流を担うキャリアの動きやすさを示す指標である移動度が高い方が有利です。これまでに、FETのゲート絶縁体として六方晶窒化ホウ素(h-BN)を用いるとともに、水素で終端したダイヤモンド表面を大気に晒さない新しい作製プロセスを利用することによって、従来のダイヤモンドFETよりも高いチャネル移動度($680\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$)を得ることに成功しています。本研究テーマでは、h-BN/ダイヤモンドヘテロ界面の更なる高品質化によって $1000\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 以上の高い移動度を実現させるとともに、パワーデバイスに適した構造にすることによって、高耐圧と低損失を両立させたダイヤモンドFETの実現を目指します。

研究開発項目

1. ダイヤモンド/h-BN界面の高品質化
2. ダイヤモンドFETの移動度と電流密度の向上
3. 高耐圧と低損失を両立させたダイヤモンドFETの開発

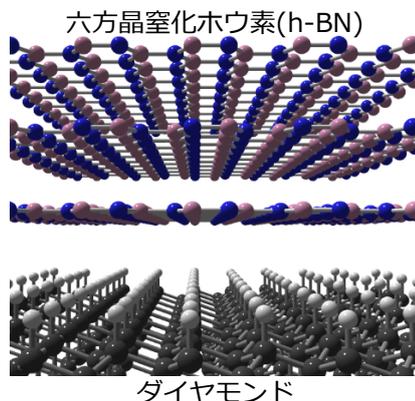
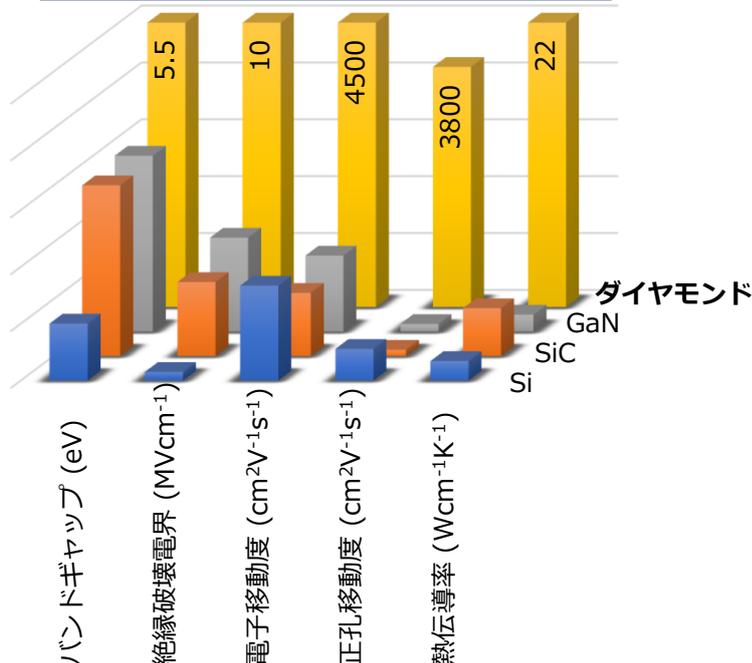
研究開発の実施体制

国立研究開発法人物質・材料研究機構



菅間 陽介
国立研究開発法人物質・材料研究機構
ICYS研究員

ダイヤモンド：究極の半導体材料として期待



六方晶窒化ホウ素(h-BN)をゲート絶縁体として用い、耐圧が高くかつ損失が小さいダイヤモンドFETの実現を目指します。

デジタルアクティブゲート技術を駆使した ノイズフリー・パワエレ電力ネットワークの創生

Noise-free Power Electronics Network Using Digital Active Gate Driving Technology

研究開発の背景

電力部門の脱炭素化と最終エネルギーの電化は重要課題であり、省エネルギーかつ安定した高効率電力供給ネットワークの構築が必要です。

そこで、高効率な電力変換器の大量導入とデジタル技術を活用した電力需給の効率化と脱CO₂化(グリーンbyデジタル)の実現が重要です。しかし、電力変換器の高効率化と電磁ノイズの低減はトレードオフの関係にあり、かつ、電磁ノイズの問題は電力変換器を接続するネットワーク全体に波及するため、持続可能な省エネ化社会を実現するには、電力変換器の効率を犠牲にすることなく、電磁ノイズを抑制する新概念の「ノイズフリー化技術」が必要です。

研究開発の内容と目標

本研究開発では、AI技術を適用したデジタルアクティブゲート駆動を用いて、大量の電力変換器が接続されるパワーエレクトロニクス電力ネットワークのノイズフリー化を実現するノイズオートチューニング技術を構築し、電力変換器の効率と電磁ノイズのトレードオフを克服することで、CO₂削減を目指します。

さらに、ノイズオートチューニング技術を電力変換器単体だけでなく、複数の電力変換器が接続されるネットワークレベルに拡張し、電力変換器群の統合的ノイズ削減が可能なノイズフリー・パワエレ電力ネットワークを創生します。

本研究開発では、4台のモータ駆動システムを使って、1-30 MHzのノイズ値を任意の目標値に制御できることの実験実証を目指します。

研究開発項目

1. アクティブゲート駆動によるノイズオートチューニング技術の研究開発
2. ノイズオートチューニングを実現するハードウェア基盤技術の研究開発

研究開発の実施体制

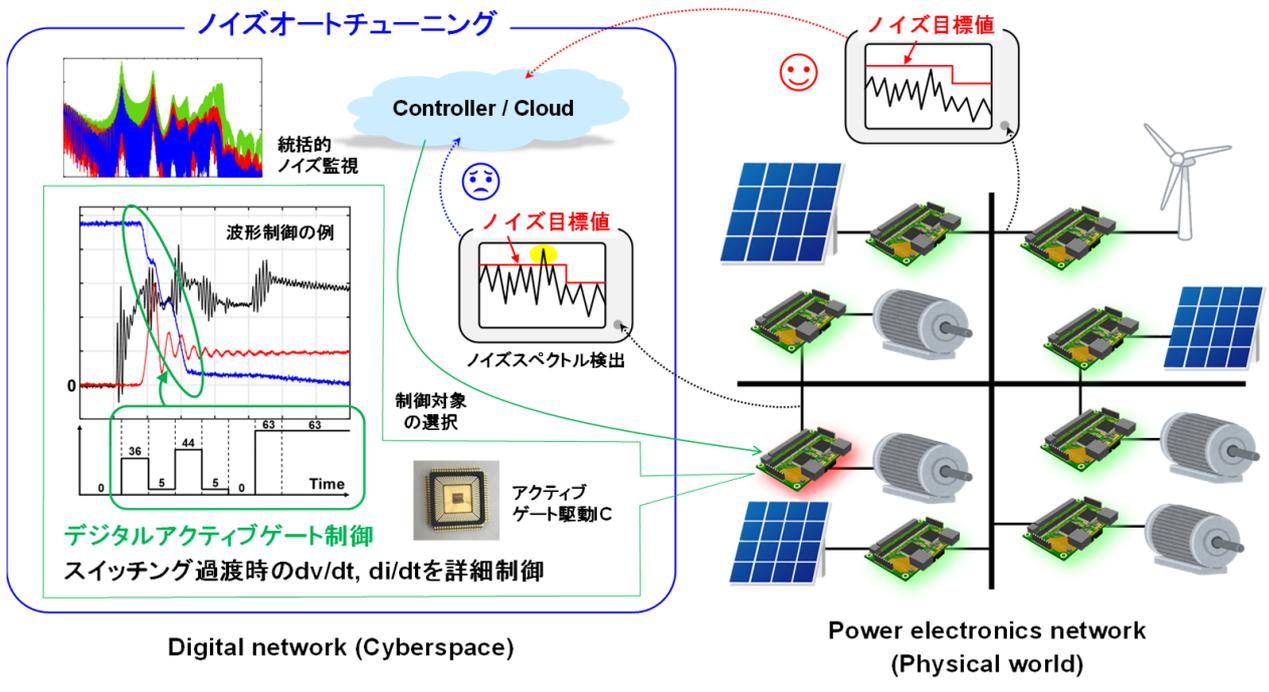
国立大学法人東京大学
国立大学法人横浜国立大学



畑 勝裕
東京大学・助教



小原 秀嶺
横浜国立大学・准教授



コンパクトで安価かつ汎用的な限流遮断器の開発

Compact, low-cost, versatile current-limiting circuit breaker

研究開発の背景

パリ協定2016が掲げる「抜本的なCO₂削減」を達成するには、①再生可能エネルギー電源の大量導入と②最終エネルギーの電力化率向上が必須です。これらを実現する電力システムや電化機器は、既に普及した交流だけでなく、「直流」でも運用されます(図1)。さらに、電力の安全運用は、2011年東日本大震災を機に、是が非でも死守すべき最優先事項に位置づけられています。こうした背景のもと、安全安心とカーボンニュートラルが両立した未来社会を実現すべく、既存の交流に加え、急激な需要増を迎える直流にも適用できる「汎用的な安全装置(=遮断器)」が世界中で必要とされています。

研究開発の内容と目標

そこで本研究では、過電流がピーク値に達する前に、過電流を即座に、毎回確実に抑制(=限流)してから遮断する革新的な動作原理を採用した「限流遮断器」を開発します(図2)。これは、従来比1/10以下のサイズ・コストにも関わらず、直流・交流・過電流値を問わず、ありとあらゆる電流が毎回確実に遮断できるため、様々な電力システムや電化機器への導入が可能です。本研究ではこれまでに、データセンターや半導体製造システムなどに適用可能な限流遮断器の開発に成功しました。本研究では、限流遮断器の更なる高電圧化・大電流化により①②の実現を抜本的に推進し、大幅なCO₂削減を目指します。

研究開発項目

1. 高速限流ヒューズの開発
2. 絶縁回復速度に優れた機械的開閉器の開発
3. 限流遮断器に適用可能なパワエレ技術の開発
4. 超高速・高精度位置決め制御技術の開発

研究開発の実施体制

国立大学法人埼玉大学
 国立大学法人東海国立大学機構
 (再委託先)
 国立大学法人東京大学
 国立大学法人東京工業大学
 国立大学法人金沢大学



稲田 優貴
埼玉大学・准教授



兒玉 直人
東海国立大学機構・助教



大西 亘
東京大学・准教授



全 俊豪
東京工業大学・助教



中野 裕介
金沢大学・助教

本研究の開発テーマ
 交流・直流・過電流を問わずあらゆる電流を確実に遮断する
 半導体パワーデバイスをベースとした新しい遮断器

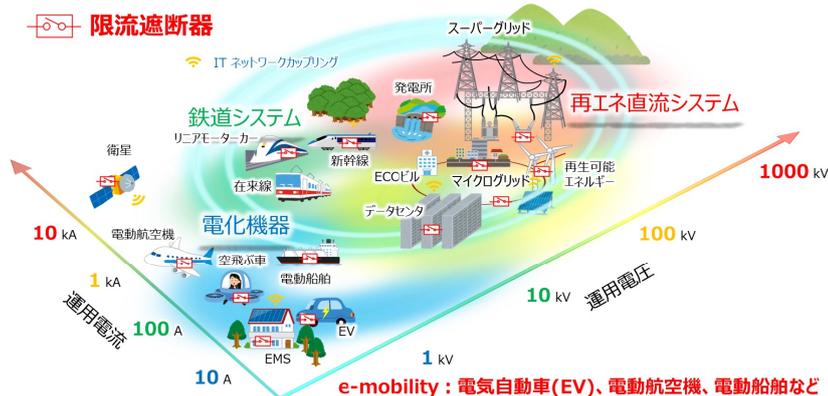


図1 限流遮断器が切り拓く持続可能なカーボンニュートラル社会

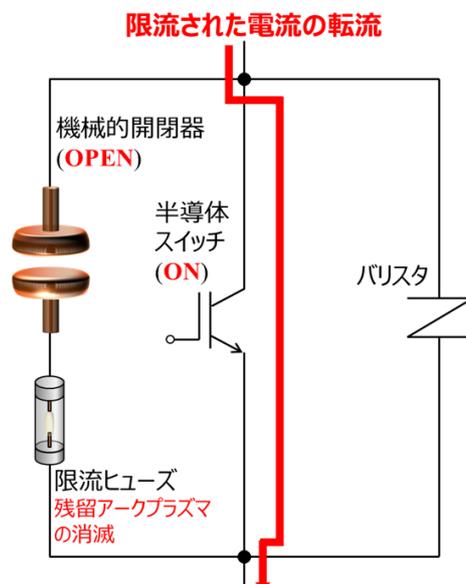


図2 限流遮断器の構成例

低消費電力フレキシブルCMOSの創製

Low power consumption flexible CMOS

研究開発の背景

室効果ガスの排出削減が緊急の課題となっている一方、我々の身の回りの電子デバイスは加速的に増え続けています。高度IoT社会においては、低消費電力かつ汎用性の高い情報端末の開発が必要となります。Si基板上に構築されてきたCMOS回路をディスプレイ部に組み込んだ「システム・イン・ディスプレイ」は、軽量・コンパクト・低コスト・低消費電力・高速・高信頼性など、多くのメリットがあります。特に、安価・軽量・丈夫・柔軟なプラスチック上に高性能なCMOSを構築することができれば、ウェアラブルかつどこにでも設置可能な、究極の情報端末が創出されます。

研究開発の内容と目標

フレキシブルCMOSの実現には、プラスチック上に高性能なp/nチャネル薄膜トランジスタを構築する必要があります。本研究では、高いキャリア移動度をもつGe系材料に着眼し、筑波大学の「高移動度Ge系薄膜の結晶成長技術」および九州大学の「Ge系MOSFET技術」を融合・発展させます。これまでに、世界最高性能のGe薄膜トランジスタの開発に成功しました。Si-MOSFETを上回る高移動度p/nチャネル薄膜トランジスタをプラスチック上に構築し、従来のプラスチック上Si-CMOSと比して一桁高い発振周波数(300 MHz)、および低消費電力動作(1/100) を実証することを目標とします。

研究開発項目

1. 高キャリア移動度薄膜の低温合成技術
2. フェルミ準位および粒界の制御技術
3. ソース・ドレイン接合技術
4. 低消費電力・高性能フレキシブルCMOS技術

研究開発の実施体制

国立大学法人筑波大学
国立大学法人九州大学

筑波大学



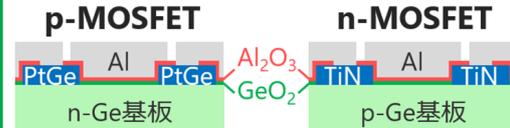
$$\mu_{\text{Hall}} = 690 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$p = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$$

世界最高移動度p型半導体薄膜のプラスチック上合成技術

Sci. Rep. 7, 16981 (2017), Sci. Rep. 8, 14832 (2018)
APEX 12, 015508 (2019).

九州大学

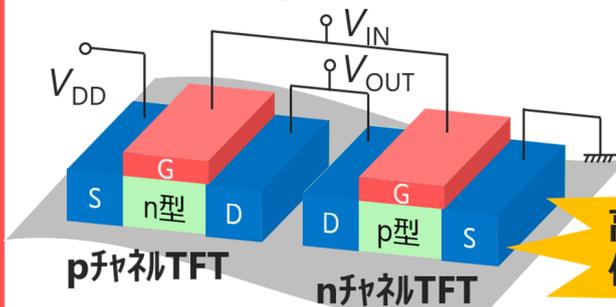


低温Geトランジスタとして世界最高の電界効果移動度（ゲートスタック）
低Off電流（ショットキーS/D）

APL 103, 122106 (2013); APL 104, 132109 (2014).

融合・発展

本研究：フレキシブルCMOS



$$\mu_n > 600 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

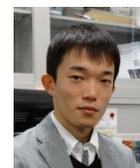
$$\mu_p > 400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$$

$$\text{On/Off} > 10^5$$

高速発振 (> 300 MHz)
低消費電力 (< 1/100)



都甲 薫
筑波大学
准教授



山本 圭介
九州大学
准教授

スマートグリッドの先へ導くパワエレ技術

Powerelectronics technology to lead beyond “smart grid”

研究開発の背景

世界的なエネルギー・環境問題への取り組みとして、現在、各国では、持続可能な開発目標(SDGs)に向けて自然エネルギーの導入が進められています。効率的な電力マネジメントを行うスマートグリッドによって、自然エネルギー利用増加が期待されています。しかし、現在の送配電網では、電力の効率的な輸送ができないため、自然エネルギー活用へのボトルネックとなります。

本研究では、電力輸送に有利な網目状の送配電網普及によるボトルネック解消を目指して、網目状の送配電網の直接的かつ能動的な電力潮流制御を可能とする技術開発を行います。これにより、スマートグリッドのさらに先を見据えた新しい電力ネットワークシステムの実現を目指します。

研究開発の内容と目標

本研究では、パワーエレクトロニクスの技術を基盤として、送配電網に直列接続する電力変換器とこれに特化したパワー半導体デバイスを開発します。

これまでに、オン抵抗が1/5となるパワー半導体デバイスを作成し、送配電網と直列に接続する電力変換器に適用することによって、電力変換器の損失を1/4以下にしました。これにより、電力変換器の挿入損失は送電電力に対して0.1%以下と極めて小さいながらも、電力の潮流制御ができます。

しかし、落雷等の事故時には、直列機器を流れる電流が通常時の数十倍となり、これが最長で1秒続きます。本研究では、直列機器の実用化に向けて、事故電流に対して壊れずに耐える短時間過負荷耐量を4倍に向上する技術を目指します。

研究開発項目

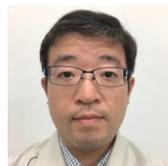
1. 送配電網に直列接続する力率調整装置の開発
2. 半導体化多頻度電力潮流切り替え器の開発
3. 短時間過負荷耐量を有する電力変換器の開発
4. 超低オン抵抗パワー半導体デバイスの開発
5. 過負荷耐量の大きいデバイスの開発

研究開発の実施体制

国立大学法人筑波大学
(再委託先) 国立研究開発法人産業技術総合研究所



萬年 智介
筑波大学 数理物質系
理工学域・助教



染谷 満
産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域
先進パワーエレクトロニクス研究センター
パワーデバイスチーム・主任研究員

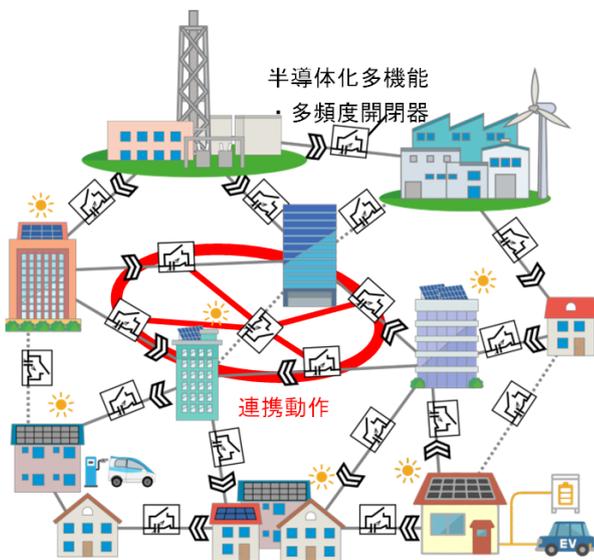


図1 電力輸送にボトルネックのない網目状送配電システム

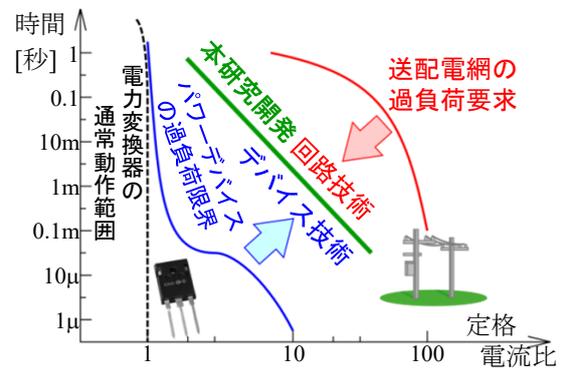


図2 機器の短時間過負荷動作範囲

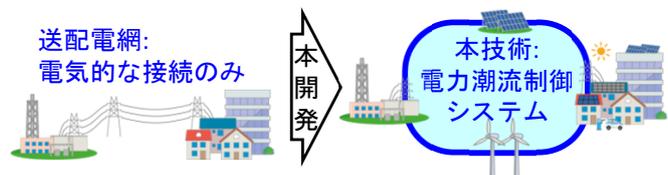


図3 最終的な社会実装イメージ:
インテリジェントな電力ネットワーク

パワーデバイスの技術革新

Technological innovation of power devices

研究開発の背景

2050年までに温室効果ガス排出の大幅削減を実現するため、新規半導体材料による超高効率パワーデバイスの開発を進めています。しかし、現状のパワーデバイス構造では、ドリフト層の抵抗がオン抵抗を大きく制限するとともに、ワイドギャップ半導体では深い不純物準位による低いキャリア密度も課題となっています。シリコンパワーエレクトロニクスの延長ではなく、新しい物理・構造によるワイドギャップ半導体のパワーエレクトロニクス産業の創出を目指しています。

研究開発の内容と目標

本研究では、ワイドギャップ半導体の中で特に物性値が優れるダイヤモンド半導体を対象に新しいパワーデバイス構造の研究開発を進めています。従来のMOSFET構造において、オン抵抗を制限していたドリフト層のない新しいデバイス構造を提案し、動作実証をすることが目標です。これまでに、従来よりも簡易な構造で反転層チャンネルダイヤモンドMOSFETでは最高となる600Vを超える耐圧を実証しています。今後は、新しいデバイス構造の優位性を実証すべく、チャンネル移動度の向上に挑戦しています。

研究開発項目

1. デバイス作製技術の開発
2. 新規デバイス構造の開発
3. ダイヤモンド成膜技術の開発

研究開発の実施体制

国立大学法人金沢大学



研究代表者：松本 翼
金沢大学ナノマテリアル研究所パワーデバイス開発グループ グループ長・准教授

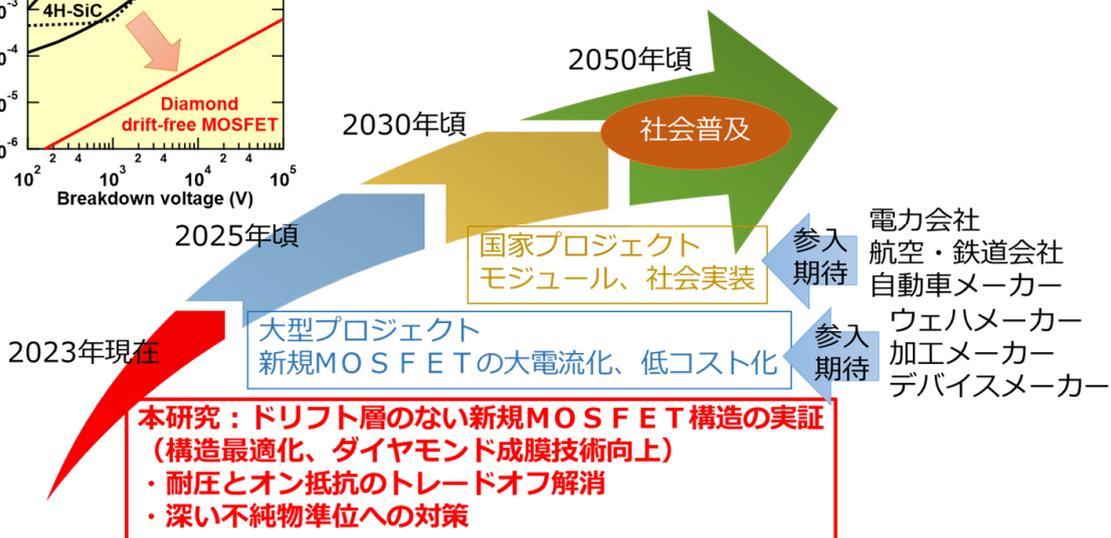
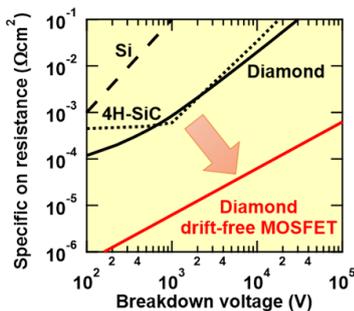


図. 今後イメージする本研究のステップアップと、本研究および次の大型プロジェクトで目指すパワーデバイスのオン抵抗・耐圧の未踏領域

酸化アルミニウムを用いた低価格パワーデバイスの開発

Aluminum-Oxide based power devices

研究開発の背景

低炭素社会実現に向けて、機器の消費エネルギーの低減が求められています。最近、バンドギャップの大きい固体材料(ワイドギャップ材料)を用いた低損失パワーデバイスの開発が進んでいますが、高価格であるため、大きな普及に至っていません。本研究では、酸化アルミニウム(Al_2O_3)を用いた低価格パワーデバイスを開発します。 Al_2O_3 は、最も大面積・低価格化が進んでいるワイドギャップ材料の一つです。 Al_2O_3 が電気伝導性を示した報告はなく、挑戦的な研究ですが、 Al_2O_3 パワーデバイスが実現すれば、自動車や家電などの幅広い製品に普及でき、消費エネルギーの大幅な低減が期待できます。

研究開発項目

1. 高品質 Al_2O_3 結晶成長
2. 導電性 $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 結晶成長
3. $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ ヘテロ界面で 2DEG形成
4. $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 層の電気的特性評価
5. Al_2O_3 ベースのパワーデバイスの作製と評価

研究開発の内容と目標

目標

一般的に絶縁体に分類される Al_2O_3 では、大きな動作電流を持つデバイス実現が困難です。 Al 組成の異なる $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 膜を作製し、ヘテロ界面に形成される2次元電子ガス(2DEG)層を用いて、mAlレベルの電流を得ることを目指します。

内容

- ・不純物添加 Al_2O_3 結晶成長による導電性制御
- ・ Al_2O_3 に格子整合した $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 結晶成長
- ・ $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ ヘテロ界面での2DEG形成

現在の成果

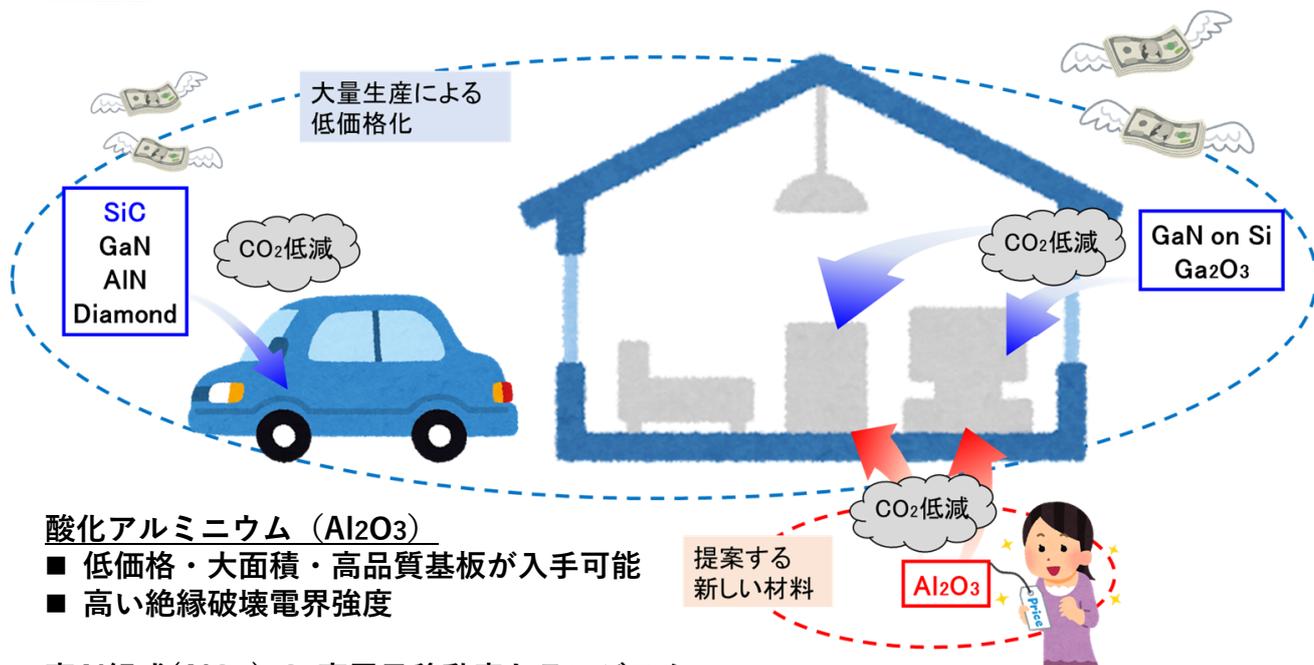
導電性 Al_2O_3 膜を実現しました。今後、 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 結晶で2DEG形成を試みます。

研究開発の実施体制

国立大学法人筑波大学



奥村宏典
筑波大学 助教



酸化アルミニウム (Al_2O_3)

- 低価格・大面積・高品質基板が入手可能
- 高い絶縁破壊電界強度

高Al組成 $(\text{AlGa})_2\text{O}_3$ 高電子移動度トランジスタ

- 格子緩和のない結晶成長が可能
- 2DEGによる高電子移動度

ゴニオ極性材料の開拓と革新的熱電モジュールの開発

Novel transverse thermoelectric module using goniopolar materials

研究開発の背景

インターネットの普及によるユビキタス社会は年々進み、膨大な数のセンサーから収集した情報を活用する技術IoTが普及しつつあります。現在用いられている乾電池では交換作業が発生し、保守コストがかかるため、電池不要の自立型電源の開発が求められています。その一つとして、環境中に未利用のまま捨てられている排熱を直接電力に変換する熱電変換技術が挙げられますが、従来の熱電モジュールは、高温熱源と接触した電極界面の反応により劣化してしまうという本質的な課題を抱えており、日常に広く普及するためにはこの解決が不可欠です。

研究開発の内容と目標

本プロジェクトでは、ひとつの材料中でキャリア極性(p型・n型)が方向により変化するという極めて特異な「ゴニオ極性」を持つ高性能材料を新規に開発します。ゴニオ極性材料を用いた熱電モジュールでは、温度差方向と発電方向を直交させることができます。すなわち、電極界面と高温熱源を分離することで、従来の課題を抜本的に解決する革新的な熱電モジュールを実現します。材料設計指針を確立し、世界最高の横方向熱電性能指数(700℃で0.7)の更新を目指すとともに、社会実装を見据えた高性能モジュール開発に取り組みます。

研究開発項目

1. 高性能なゴニオ極性材料の大型化
2. モジュール構築
3. 第一原理計算を用いた材料設計

研究開発の実施体制

国立研究開発法人産業技術総合研究所
 国立大学法人島根大学



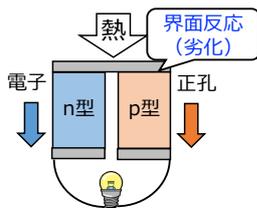
後藤陽介
 産業技術総合研究所
 主任研究員
 実験的アプローチを担当



白井秀知
 島根大学
 助教
 理論的アプローチを担当

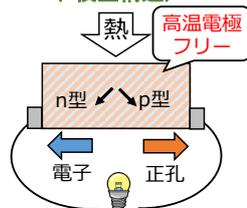
縦型から横型へ：熱電モジュール構造の刷新

従来の熱電モジュール
 (縦型構造)

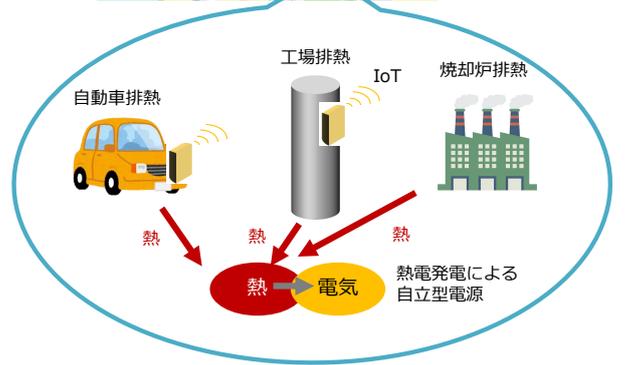


- 高温部での電極界面が**必須**
- **耐久性に乏しい** (界面反応)
- 直列接続による高出力化
- p型・n型材料が必要

ゴニオ極性材料を用いた
 新型熱電モジュール
 (横型構造)



- 高温部での電極界面が**不要**
- **高耐久性** (界面反応フリー)
- 薄型化・大面積化が容易
- 材料ひとつで構成可能



メタサーフェスSiハイパースペクトル赤外光センシングデバイス

Metasurface Si Hyperspectral Infrared Sensing Device

研究開発の背景

近年、自動運転車やロボットの外界把握に、赤外光イメージャが盛んに利用されています。また、大気中のガスなど環境センシングにおいては、赤外光センサが広く利用されています。最も普及している赤外光センサデバイスは熱型検知型のボロメータですが、熱型は応答速度の問題で、高速に動く物体の認識に不向きという問題があります。一方、量子型の赤外線検出器は、応答速度は速いものの、通常は化合物半導体を用いて作られているので、高価で環境負荷が高い欠点があります。そこで、物質固有のスペクトルを赤外光領域で分光分析できる性能を持ち、なおかつ高感度・高速に赤外線を検出できる量子型のセンシングデバイスを、環境中に豊富にあるシリコンで実現できれば、産業的・科学的に大きなインパクトがあります。本研究開発はその技術の実現に取り組みます。

研究開発の内容と目標

本研究開発では、目標の達成のために下の図に示す、Si基板中に金属メタサーフェス構造が完全に埋没した構成のセンサを開発します。メタサーフェスとは、光の波長以下のサイズの光共鳴体をアレイ状に二次元面に配置したもので、特定の波長の光を吸収できる機能を実現できます。赤外光はシリコンを透過するので、入ってきた赤外光はシリコンの内部のメタサーフェスに到達して吸収されます。吸収されたエネルギーは、シリコンによって電流として取り出すことができます。シリコン単体では赤外光を検出することはできませんが、メタサーフェス構造とのハイブリッドにより赤外光をセンシング可能となるのがポイントです。この技術を発展させて、中赤外の光を効率よく検出可能にするのが、本研究開発が目指す目標となります。

研究開発項目

1. Si赤外光センシングデバイスの設計
2. メタサーフェスの試作
3. Si赤外光センシングデバイスの評価検証
4. 研究開発推進委員会の開催

研究開発の実施体制

国立大学法人電気通信大学
 一般財団法人マイクロマシンセンター
 国立研究開発法人産業技術総合研究所

研究開発の主要メンバー



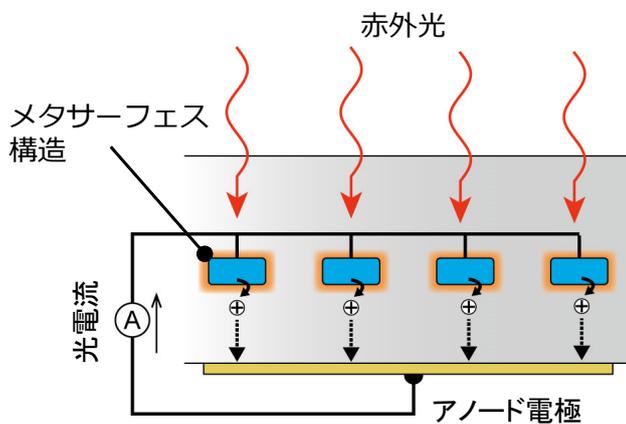
菅 哲朗
電気通信大学
・教授



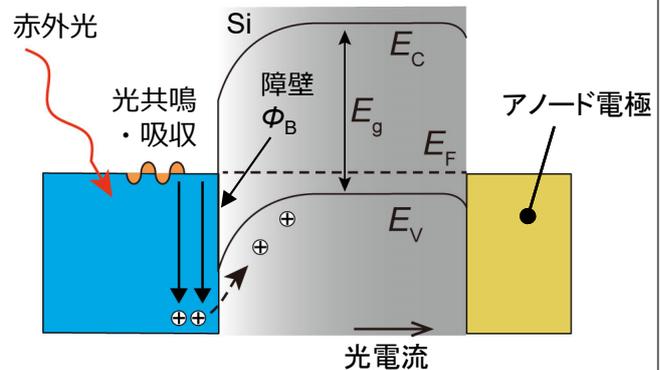
倉島 優一
産業技術総合研究所
・研究グループ長



太田 亮
マイクロマシン
センター
・開発センター長



赤外光センシングデバイスの構造



赤外光を電流に変換するメカニズム

アモルファス半導体を使った革新的環境ガスセンシング技術の開発

Innovative gas sensor using amorphous semiconductors

研究開発の背景

ガスセンサは、現代の工業化社会に欠かせない重要な電子デバイスの一つです。今後はカーボンニュートラルの実現にむけ、様々なガスを、高感度にあらゆる場所で安定してセンシングできるシステムを構築していく必要があります。様々なセンシング方式の中で、酸化物半導体を使ったガスセンサは丈夫であり、また素子構造が単純なため小型化が容易でIoT社会にも対応した次世代センサとして期待できます。しかし酸化物半導体ガスセンサは、比較的高感度とは言われますが、それでも数ppmの検知能力にとどまります。そのうえガス選択性が悪いことや、消費電力が高いことも問題です。これらの本質的な半導体ガスセンサの問題を解決するため、1960年代より長く使われてきた従来材料を置き換える、革新的な半導体材料の開発が必要です。

研究開発の内容と目標

本プロジェクトでは半導体ガスセンサの検知部に、アモルファス酸化物半導体を用います。アモルファス酸化物半導体とは、2004年に登場した比較的あたらしい材料系で、室温で作製しても簡単に優れた電気特性を得ることができる有用な半導体として知られています。この材料系はIGZOトランジスタとして2012年より実用化していますが、その開発過程で様々な特有の欠陥が報告されてきました。そこで本研究ではそのようなアモルファス半導体中に特有の欠陥を利用することで、SnO₂という旧来材料を置き換える、独自の・革新的なガスセンサ材料を開発することを目標としています。高感度化、選択性、消費電力の改善に取り組みます。

研究開発項目

1. 構造制御による高感度化
2. 構成元素の最適化と選択性向上
3. 動作温度の低温下・消費電力の低減

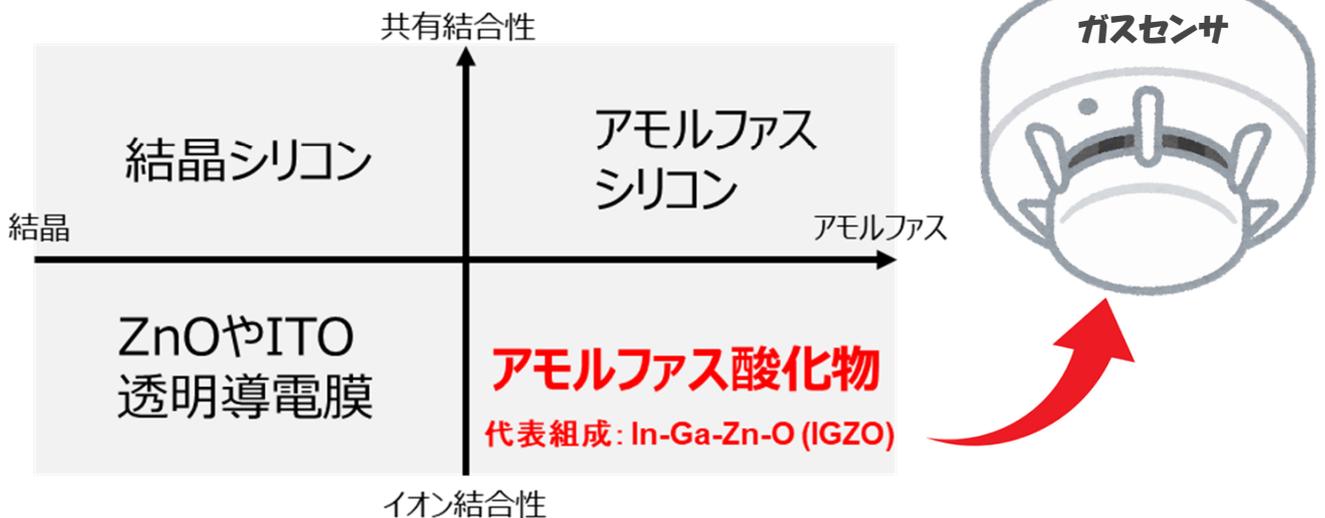
研究開発の実施体制

国立大学法人東京工業大学



井手啓介
東京工業大学
助教

酸化物ガスセンサの 高感度化・選択性・低消費電力化



自立センサノードのためのバイオミメティック汎用電源回路

Biomimetic general-purpose power supply circuit for autonomous sensor nodes

研究開発の背景

一般ユーザーが無線センサノードを手軽に利用できるようになるには、無線センサノードの電源となる「環境発電」を誰もが低コストに利用できなければなりません。この環境発電の利便性を決定づけるのが、発電素子から電力を取り出すための電源回路技術です。しかし環境発電の電源回路設計では、整合性・低コスト性・低消費電力性が互いにトレードオフの関係にあり、既存技術で解消することができません。本研究では、バイオミメティックな手法である「陰的制御」を世界で初めて電子回路に応用し、このトレードオフを解消して理想的な電源回路を実現します。こうして実現される汎用電源回路チップは、一般ユーザーでも容易に幅広く利用する事ができ、無線センサノードの普及を強く後押しすると考えています。

研究開発の内容と目標

本研究ではまず、「陰的制御」というロボット工学で注目されてきたバイオミメティックな手法を、世界で初めて電子制御に適用します。陰的制御とは、各部位が個別に動作しているにもかかわらず、身体場を介した相互作用によって全体機能を創発するような分散制御の手法です。陰的制御を採用することで、デジタル制御のようなシステム設計の簡便さと、アナログ制御のような超低消費電力性とを、両立できると考えられます。さらに環境発電の汎用電源回路には自律的な「適応制御」が不可欠である点に着目し、陰的制御の一環として強化学習ハードウェアを開発します。必要なタイミングで間欠動作するデジタル回路ブロックを電源回路に埋め込み、消費電力を $1\mu\text{W}$ 以下に抑えたまま簡便なリアルタイム学習機能を実現します。

研究開発項目

1. 陰的制御に基づく汎用電源回路の開発
2. 適応制御のための強化学習ユニットの開発

研究開発の実施体制

国立大学法人九州大学



矢嶋 超彬
九州大学大学院
システム情報科
学研究院
准教授



川上 哲志
九州大学大学院
システム情報科
学研究院
准教授

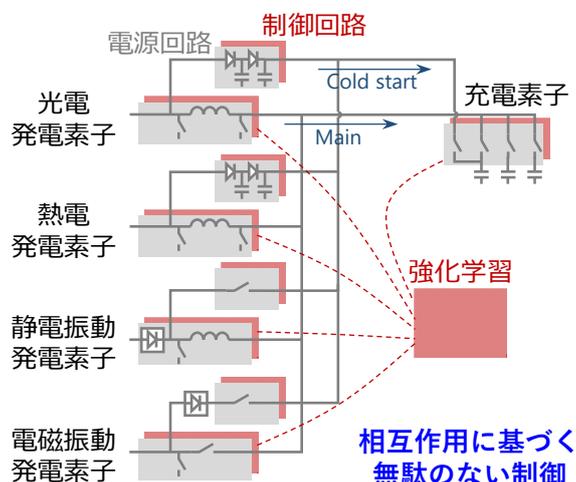


高野 恵輔
九州大学大学院
システム情報科
学研究院
准教授

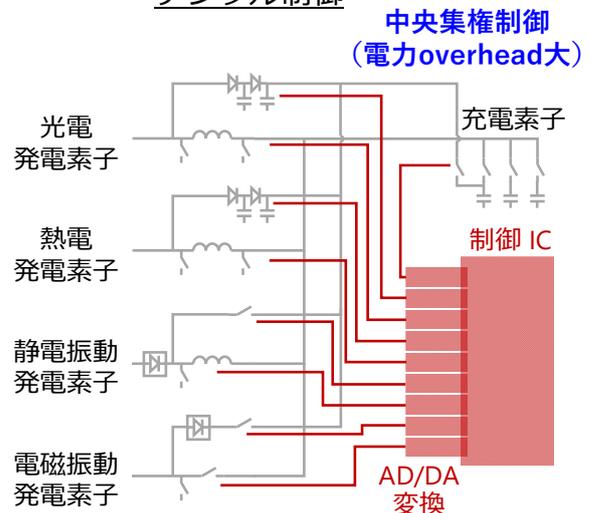


Nyi Nyi Tun
九州大学大学院
システム情報科
学研究院
准教授

陰的制御



デジタル制御



昇圧回路不要の熱電発電デバイス

Thermoelectric energy harvester without the use of a DC-to-DC converter

研究開発の背景

IoTは、家庭や産業のあらゆる場面においてエネルギー投入量・投入タイミングの最小化・最適化につながることから、環境改善に多大な役割を果たします。しかし数兆個規模のIoTセンサに対し充電や電池交換などのメンテナンス作業を行うことは現実的ではなく、いかに電力を供給するかが課題となっています。電力の地産地消技術としての環境発電、中でも熱電発電は身の回りの排熱を利用した発電技術であることから期待されています。しかし従来の熱電素子では発生電圧が低いことから昇圧が必須であり、昇圧回路とのインピーダンスマッチングまで考慮して素子を設計する必要がありました。

研究開発の内容と目標

中低温排熱をエネルギー源とした熱電発電デバイスとして「熱電キャパシタ」を提案します。従来の半導体や熱化学電池以上の高い開放端電圧(温度差1度あたり数ミリ〜数十ミリボルト)に基づき、(1) 熱電モジュールの製造に係るエネルギーコストの削減や、(2) 昇圧回路を省略した簡便な回路構成ながらも、微小温度差から得られた電圧でIoTセンサを直接駆動可能にすることを目標としています。

現在までに、熱起電力が最大17 mV/Kの材料を見出すとともに、昇圧回路不要で断続的に無線センサの駆動を可能にする回路技術を開発するに至っています。

研究開発項目

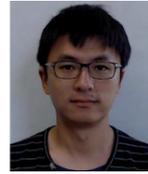
1. 高ゼーベック係数界面の構築
2. 熱電キャパシタの設計と試作

研究開発の実施体制

国立大学法人神戸大学
国立研究開発法人産業技術総合研究所



堀家匠平
神戸大学大学院工学研究科
助教



衛慶碩
産業技術総合研究所ナノ材料研究部門
主任研究員

図. IoTと環境発電(熱電発電).
膨大なセンサに対し、電力を各ユースポイントで供給する手段として環境発電が期待されています。



図. 熱電キャパシタの概念図.
電解液を電極で挟んだ単純な構造でありながら、高い熱起電力を発生可能です。昇圧回路不要で電力をデバイスに直結できる利点があります。

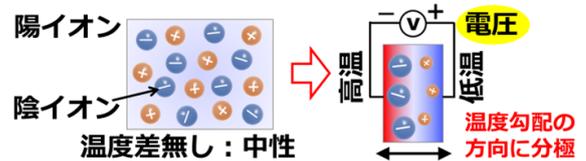
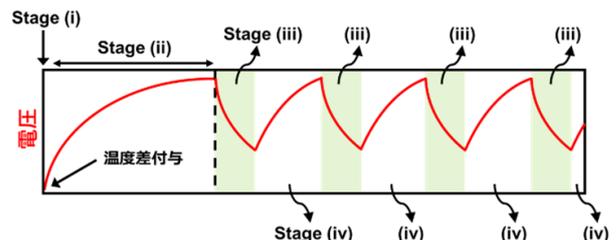


図. 熱電キャパシタの給電方式の概念図.
熱電キャパシタに温度差を与えることで電圧を発生させ (stage i~ii)、負荷の接続 (閉回路: stage iii) と開放 (stage iv) を繰り返すことで、断続的に給電します。



涙液糖発電センサとパッシブ通信による自立血糖モニタコンタクト

Stand-alone CMOS-based continuous glucose monitoring contact lenses using tear-glucose-driven energy-harvesting-and-sensing-combined technique and passive data communication

研究開発の背景

持続可能かつ豊かな生活を享受可能な脱炭素社会の実現に向けて、高エネルギー効率IoTシステムの構築を目指します。IoTの安定駆動におけるエネルギー効率向上に向けて、エネルギーとデータの地産地消化技術を創出します。

全ての人に健康と福祉を提供することを目指し、高エネルギー効率な単独自立動作型持続血糖モニタリングコンタクトレンズIoTを開発します。IoT駆動に必要なエネルギーの地産地消と常時モニタリングを同時に可能とする涙液糖発電センシング技術を開発します。また、IoTで得られたモニタリングデータの地産地消を可能とするオンデマンドパッシブ通信技術を開発します。

研究開発の内容と目標

涙液に含まれる涙液糖(グルコース)から発電・センシングを行い、その涙液糖値量データをメモリに蓄積し、必要な時のみ、すなわちオンデマンドにパッシブ通信可能なスマートコンタクトレンズ技術を開発します。集積されたシステムを量産工程に適応可能な包埋技術を確認します。12nm/22nm/65nm世代の先端半導体集積回路でコンセプトの実証を行います。

これによりスマートコンタクトレンズなどのIoTの運用において大きな電力ロスを生んでいる電力生成・通信において劇的な高エネルギー効率化を達成し、2050年におけるカーボンニュートラル社会に貢献します。

研究開発項目

1. 涙液糖発電センシング・オンデマンドパッシブ通信システムの研究開発
2. 涙液糖発電センシング・パッシブ通信システムのコンタクトレンズ包埋技術の研究開発

研究開発の実施体制

国立大学法人京都大学
株式会社メニコン



新津葵一
京都大学
教授



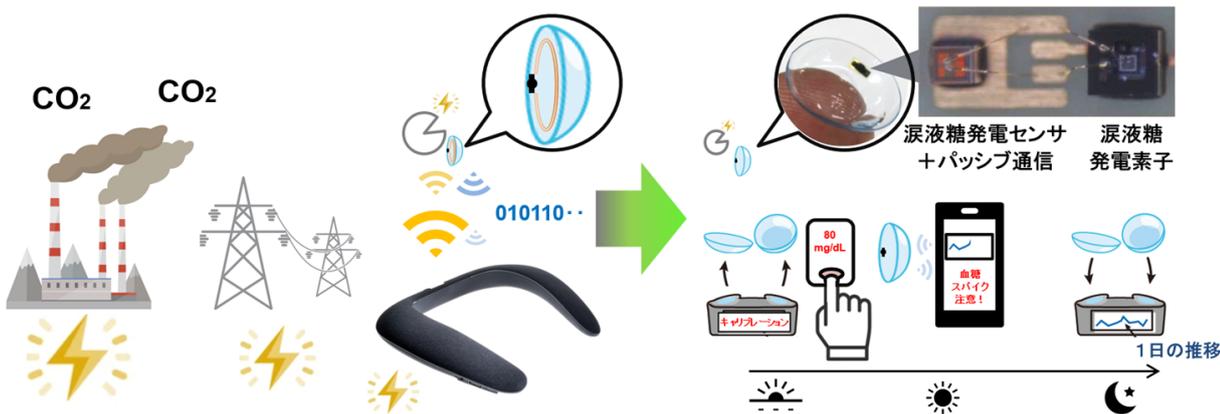
鈴木弘昭
株式会社メニコン
研究員



林祐樹
株式会社メニコン
研究員

研究開発の概要と解決手段

- IoT版エネルギー地産地消化による電力伝送ロス削減
- 装着時にキャリブレーションし、血糖スパイク検出により予防医療に貢献
- 世界初の**涙液糖発電センサ & パッシブ通信**持続血糖モニタコンタクト
- 涙液糖発電センサ導入により、アナログ電圧印加回路を削減し低消費電力化
- オンデマンドパッシブ通信導入により、無線送信回路を削減し低消費電力化



厳環境対応SiC量子センサーの開発

SiC-based quantum sensor for harsh environment

研究開発の背景

エネルギー消費のさらなる高効率化および省エネ化(低炭素社会)を実現するためには、様々な環境下での機器や装置の動作状況や健全性の情報を取得することが要求されます。しかし、宇宙や原子力施設、地底など、低温、高温、放射線といった厳環境下において利用可能なセンサーは限られており、既存技術のみでは十分な情報収集を行うことはできません。また、省エネ化を実現するためには、増大するセンサーのメンテナンス頻度の低減も必要不可欠となるでしょう。そこで本テーマでは、メンテナンスフリーで長期間継続使用可能、かつ耐環境性の高い「量子センサー」の実現を目指します。

研究開発の内容と目標

量子センサーは、固体中のスピン欠陥(結晶中の点欠陥や不純物イオン)が有する不対電子をプローブとし、外部環境(磁場・温度)との相互作用による電子状態の変化を検出することで、外部環境の情報を得ることを原理としています。本テーマでは、高品質化および大規模化が可能な炭化ケイ素(SiC)半導体に着目し、量子センサーの実用化に必要な、材料合成技術やセンシング技術などの要素技術の研究開発を実施します。開発した要素技術を適用した量子センサー(磁場センサー)を試作し、パワーデバイス等に流れる電流の高精度検出を目標とします。

研究開発項目

1. スピン欠陥の制御技術および基礎特性評価
2. スピン情報のセンシング技術の開発
3. 量子センサーの試作

研究開発の実施体制

一般財団法人電力中央研究所
 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構



村田 晃一
 (研究代表者)
 電力中央研究所・エネルギー変換・エネルギー変換研究本部・材料科学研究部門 主任研究員



浅田 聡志
 電力中央研究所・エネルギー変換・エネルギー変換研究本部・材料科学研究部門 主任研究員



佐藤 真一郎
 量子科学技術研究開発機構・量子技術基礎研究部門・高崎量子応用研究所・量子機能創製研究センター 上席研究員



増山 雄太
 量子科学技術研究開発機構・量子技術基礎研究部門・高崎量子応用研究所・量子機能創製研究センター 主任研究員

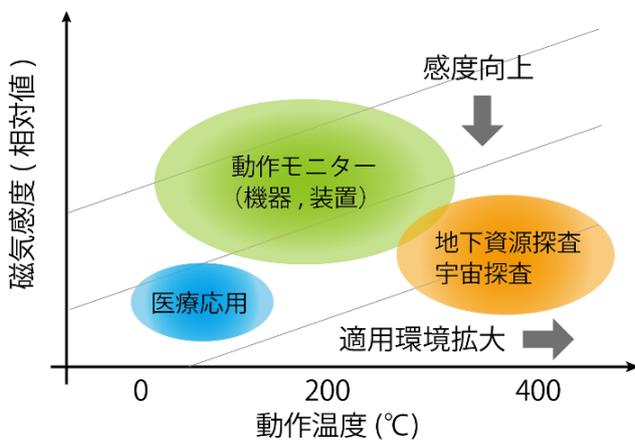


図1.量子センサーの動作環境の拡大
 (適用環境の拡大には高感度化が有効となる)

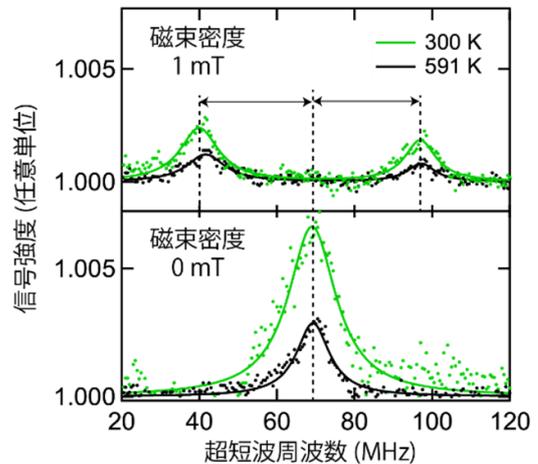


図2. スピン情報のセンシング技術
 (マイクロ波共鳴を利用し、磁場や温度の環境情報を読み出す)

参考文献: J. Appl. Phys. 133, 154402 (2023)

光波発電を用いた赤外光エネルギー利用

Photoelectric conversion based on the wave nature of light for energy utilization of infrared light

研究開発の背景

Society5.0の社会実現に向け、無線センサ需要が近年急速に拡大しています。将来的にはあらゆるモノ・ヒトにセンサが存在することで合理的かつ効率的な情報伝送やエネルギー利用を可能とする社会形態へのシフトが予想されますが、そのための大きな課題の一つが自立型電源の確保です。

無線センサ用電源としては小型かつメンテナンスフリーである必要性からエネルギーハーベスティング技術の応用が望まれておりますが、発生する電圧の安定性や発電出力の観点から決定的な技術はまだありません。これに対し本研究開発では、あらゆる物体から放出される赤外光のエネルギーハーベスティングを可能とする光波発電技術に基づいた自立型電源システムの実現を目指します。

研究開発の内容と目標

環境温度物体から主に放出される赤外光は光子エネルギーが低く光電変換は困難です。本研究開発では光波発電を用いた赤外光の光電変換を目指します。これまでにマイクロ波領域の電磁波に対しては93%という非常に高い効率で実証されていますが、赤外光の場合はテラヘルツ以上の周波数に応答可能な整流素子実現が課題となり、これまでの変換効率は約10⁻³%に留まります。

本研究開発では金属-誘電体-金属トンネルダイオードにおけるトンネル障壁形状制御により高効率な(>10⁻¹%)赤外光電力変換を可能とするダイオード開発および発電構造開発を行い、環境温度物体からの赤外光エネルギーハーベスティング技術実現を目指します。これまでにダイオード特性の向上および変換効率10⁻⁵%を達成しております。

研究開発項目

1. 光波発電用ダイオードの開発
2. 光波発電用アンテナダイオード結合構造の開発
3. 光波発電デバイスの電源システム化

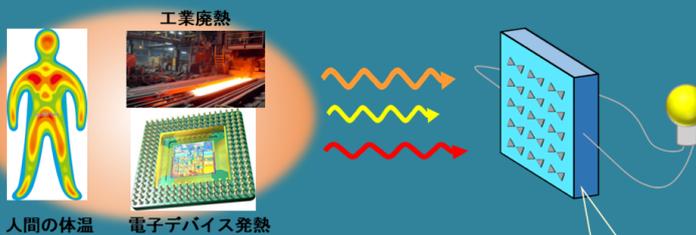
研究開発の実施体制

国立大学法人東北大学



清水 信
東北大学 大学院工学研究科・准教授

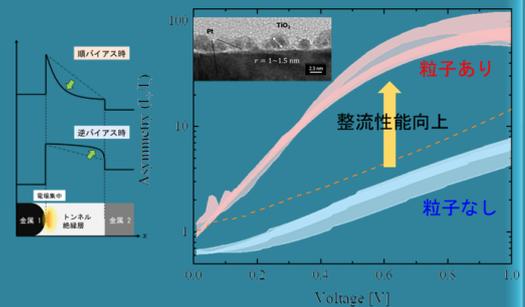
＜光波発電による赤外光電力利用のイメージ＞



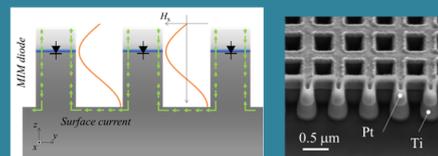
光の波動性に基づく光波発電



ダイオード性能向上および高効率なアンテナダイオード結合が実現の鍵



金属ナノ粒子による電場集中効果を用いたダイオード性能向上



空洞共振器を用いたアンテナダイオード結合構造の開発

湿度変動発電素子の研究開発

Hygro-electric Generator that Generates Electricity from Humidity Changes

研究開発の背景

現在、IoTが社会に普及しつつありますが、様々な場所にたくさんのIoT機器を設置する際の電源確保が問題になっています(IoTの電源問題)。本研究では、利便性の高いIoT機器向け自立電源の実現に向けて、場所によらずどこでも安定した発電が可能な環境発電素子の開発を目指しています。これにより、IoT機器の電池交換や電源配線が不要となり、より気軽にたくさんのIoT機器を様々な場所に設置できるようになるため、社会のスマート化がより一層進むことが期待されます。

研究開発の内容と目標

本研究では、「空気中の湿度の変動」をエネルギー源とする新たな環境発電技術を開発することで左記の課題の解決に取り組んでいます。空気中の湿度は比較的場所によらず昼夜で大きく変化するため、「どこでも発電できる」環境発電技術の創出につながることを期待できます。既に湿度変化を用いた発電の実証に成功しており、最終的には湿度変動を用いた発電によって500 μ Wの出力が得られる素子を開発し、IoT機器向けの自立電源としてセンサや省電力無線通信モジュールなどの駆動を実証することを目標としています。

研究開発項目

1. 湿度変動発電の原理検証
2. 発電性能の向上
3. 発電量シミュレーション技術の開発
4. 発電実証試験

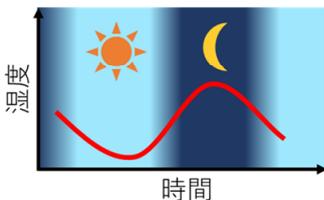
研究開発の実施体制

国立研究開発法人産業技術総合研究所

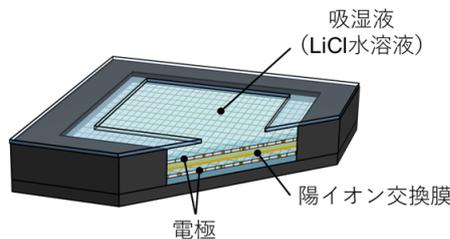
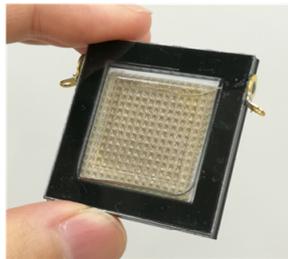


研究代表者 駒崎 友亮
産業技術総合研究所・研究員

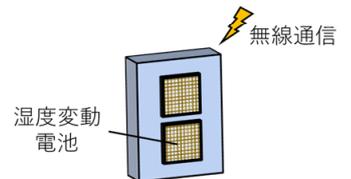
場所依存性の少ない
昼夜の湿度変化



湿度変動電池



場所によらない
環境発電の実現、
IoTの電源問題の
解消



湿度変動電池を搭載した
IoTセンサのイメージ

ドーピングフリー二次元有機透明金属電極膜の開発

Doping-free two-dimensional transparent organic-metal films

研究開発の背景

透明電極は多岐に渡るIT分野で重要な役割を担っています。地球上に豊富に存在する元素を用いて環境に優しいウエットプロセスで製造可能な有機材料による優れた透明電極が開発出来れば、産業界を一変するほどのインパクトがあります。本研究では、高い化学的安定性とITOに匹敵する性能を併せ持つ二次元有機透明電極膜を結晶工学に基づいて開発します。二次元(量子)物質の有する優れた電子・光物性および有機物特有のフレキシブル性は、脱CO₂社会を支えるコスト低減や環境面でのメリットのみならず、既存材料では実現出来ないまだ未知のIT技術創成の高いポテンシャルを秘めています。

研究開発の内容と目標

単一分子自己集積による有機金属分子を用いて、二次元有機透明金属電極膜を開発します。ここでは、結晶工学を駆使して弱い分子間力を合目的に配列するための単結晶成長制御技術開発を行い、ナノスケール膜厚の自己集積化金属分子膜の合成法を確立します。また、より高い伝導性の獲得を狙って、新規有機金属分子の設計・合成を行うと共に有機薄膜へのプリント配線技術および導電インク開発も同時に行います。最終目標は、標準的なITOのベンチマークを上回るシート抵抗率1 Ω/□, 可視光透過率T (%) > 97 (@550 nm) の性能を達成する微小サイズの有機透明電極の試作を想定しています。

研究開発項目

1. 有機金属単結晶成長制御
2. 二次元有機金属薄膜の合成
3. 新規有機金属分子の合成
4. 有機薄膜へのプリント配線技術の確立
5. 水系伝導性インクの開発

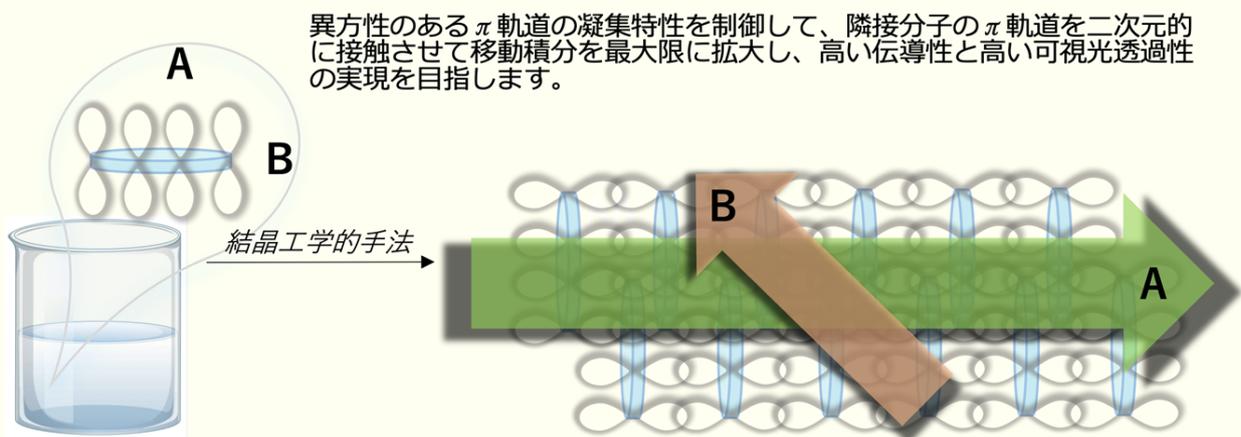
研究開発の実施体制

国立研究開発法人物質・材料研究機構



小林 由佳
国立研究開発法人 物質・材料研究機構・主幹研究員

結晶工学を駆使した有機金属分子の合目的自己集積技術の確立



溶液内分子の自己集積イメージ

2次元移動積分を有する自己集積ナノスケール有機薄膜のイメージ図

熱線遮蔽能を有する発電窓ガラスの研究開発

Photovoltaic window glass with heat shielding ability

研究開発の背景

環境、エネルギー問題が人類全体の課題となっている昨今、クリーンで持続可能な太陽光エネルギーにかつてないほどの大きな注目が集まっています。

本プロジェクトでは、未利用エネルギー資源である赤外域の太陽光(熱線)を有効利用するために、熱線を選択的に吸収して電力に変換する透明な発電窓ガラスの開発を進めます。発電窓ガラスは、①発電によるエネルギー生産効果に加えて、②熱線である赤外線を電力に変換する事に由来する省エネルギー効果(熱線遮蔽効果)を有するため、透明性を活かして窓ガラスの代替品として用いることで、省エネと発電の組み合わせで大きなCO₂削減を実現できることが特徴です。

研究開発の内容と目標

窓ガラスとして使用可能な水準の透明性、耐久性を有する太陽光発電デバイスの研究開発と社会実装に向けた実証を行います。最終目標として、研究期間内に可視光透過率70%以上、変換効率2%以上を有する太陽光発電デバイスの開発を実現します。

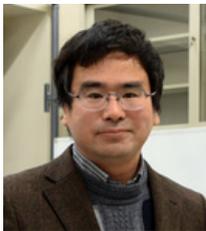
研究代表者は、赤外光(熱線)を選択的に吸収する無機ナノ粒子(ヘビードープ半導体ナノ粒子)を活性層として用いる事で無色透明の太陽電池の開発が可能であることを実証しています。本申請研究では、当該技術を発展させることで窓ガラスとして使用可能な透明な太陽電池の開発とそれに立脚した新しい太陽エネルギー産業の創発を目指します。

研究開発項目

1. 透明太陽電池の開発
2. 透明太陽電池の活性層の候補材料の開発
3. 熱線発電ガラスの活性層として有望な材料の量産技術の開発検討

研究開発の実施体制

国立大学法人京都大学
株式会社OPTMASS

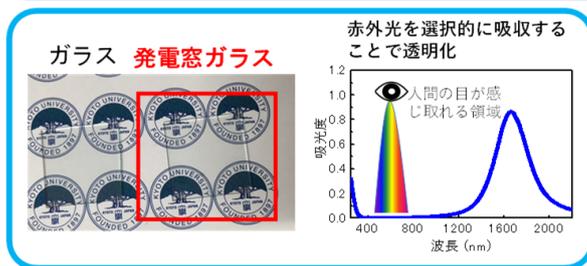


坂本 雅典
京都大学 化学研究所・
准教授
(株)OPTMASS・
取締役



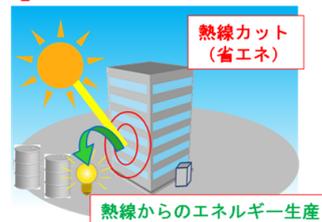
中川 徹
(株)OPTMASS・
代表取締役

熱線で発電する窓ガラス



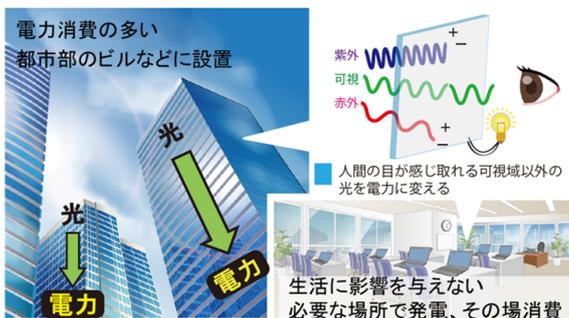
■ 市場規模
2.2兆円
(2025年時点) N-tech research社調べ

■ CO₂削減



1%の効率のデバイスを実装すると、
年間2200万トンのCO₂削減 (国内) 自社調べ

省エネで削減 創エネで削減



卓上NMRに適するリング状強力超電導バルク磁石の開発

Strong ring-shaped superconducting bulk magnets suitable for desktop NMR

研究開発の背景

核磁気共鳴(NMR)装置は、医薬や食品等の様々な産業で研究開発に活用されています。NMRには時間的・空間的に極めて均一な強磁場が求められ、大型の超電導コイルを液体ヘリウムで冷却することで実現しています。従来のNMR装置は広い設置スペースが必要で、導入・維持コストが大きいことから大型の研究拠点でのみ運用が可能でした。高温超電導体を用いた均質かつ大型のバルク磁石の開発ができれば、従来と同等の性能のNMRを液体ヘリウムを用いず、卓上に設置可能な超小型サイズで実現できます。小型、安価で省エネルギーな卓上NMRの実現が広範な産業応用に求められています。

研究開発の内容と目標

高温超電導体を用いたバルク磁石は、これまで3次元の複雑な結晶成長に起因して、大型化が困難で再現性・均質性が低く、特にNMRに求められるリング形状のような複雑形状かつ高機能なバルクを育成することは困難でした。本事業では、複雑な育成プロセスを1次元の結晶成長に単純化する手法を考案し、原理的にサイズや形状に制限の無い均質な大型バルクの直接育成手法の開発を進めます。様々な応用展開が期待されますが、中でも大型(直径60mm以上)かつ高均質なリング形状の超電導バルク磁石の開発を進め、液体ヘリウムを必要としない革新的な200MHz級の卓上NMRの実現を目指します。

研究開発項目

1. 均質な超電導バルク磁石の育成
2. 大型リング状バルク磁石の直接育成
3. 中低温・強磁場着磁による電磁特性評価

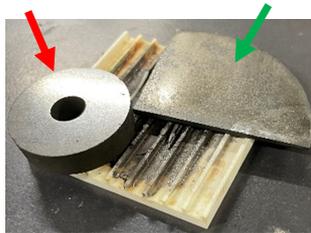
研究開発の実施体制

学校法人青山学院青山学院大学

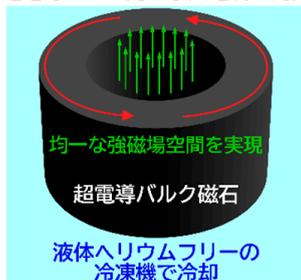


元木 貴則
青山学院大学理工学部 助教

超電導バルク磁石 二軸配向種基板



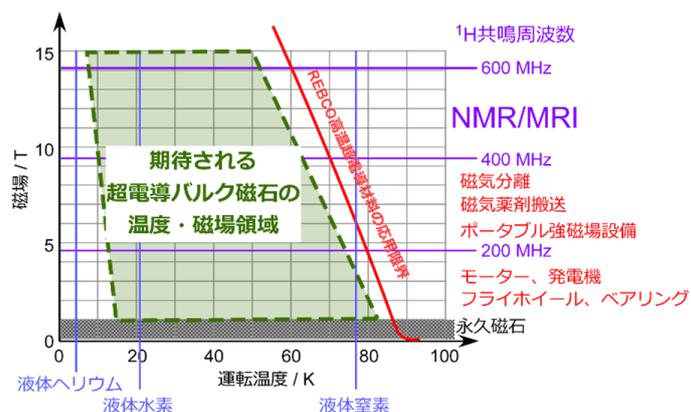
超電導バルク内に永久電流が周回



液体ヘリウムフリーの冷凍機で冷却

超電導バルク磁石を用いた液体ヘリウムフリー小型NMRの構想

一方向熔融成長法を用いたリング状の擬単結晶希土類系高温超電導(REBCO)バルク磁石の直接育成



超電導バルク磁石の期待される応用

極限環境において高強度・高靱性な異種接合に関する研究開発

High-strength and high-toughness dissimilar joints in extreme environments

研究開発の背景

輸送機器によるCO₂排出削減のために、次世代エネルギーを応用した研究開発が進められています。それに伴い、構造重量の軽量化や高・低温環境における材料の長期信頼性確保が求められています。異種材料の接合技術を確立出来れば、製品性能を高めるマルチマテリアル化を多分野へ応用することが可能です。本研究は接合界面の性状を制御することによって、高温から低温に至るまで極限環境においても高い接合特性を有し、さらにトレードオフ関係ある接合強度と層間破壊靱性の両方を飛躍的に向上させる異種接合技術を開発します。

研究開発の内容と目標

本研究は、陽極酸化・エッチング処理及びレーザー加工技術を組み合わせて、金属表面に3Dナノ空間構造体を作製します。さらに、その表面にシランカップリング剤を用いた化学修飾を施し、界面強度を制御して有機材料と無機材料を強固に接合します。接合性能を定量的に評価するマイクロメカニクスに基づく接合界面の力学モデルを構築し、常温環境のみならず、極限環境においてもトレードオフ関係ある接合強度と層間破壊靱性の両方を飛躍的に向上する技術の開発を目指します。

研究開発項目

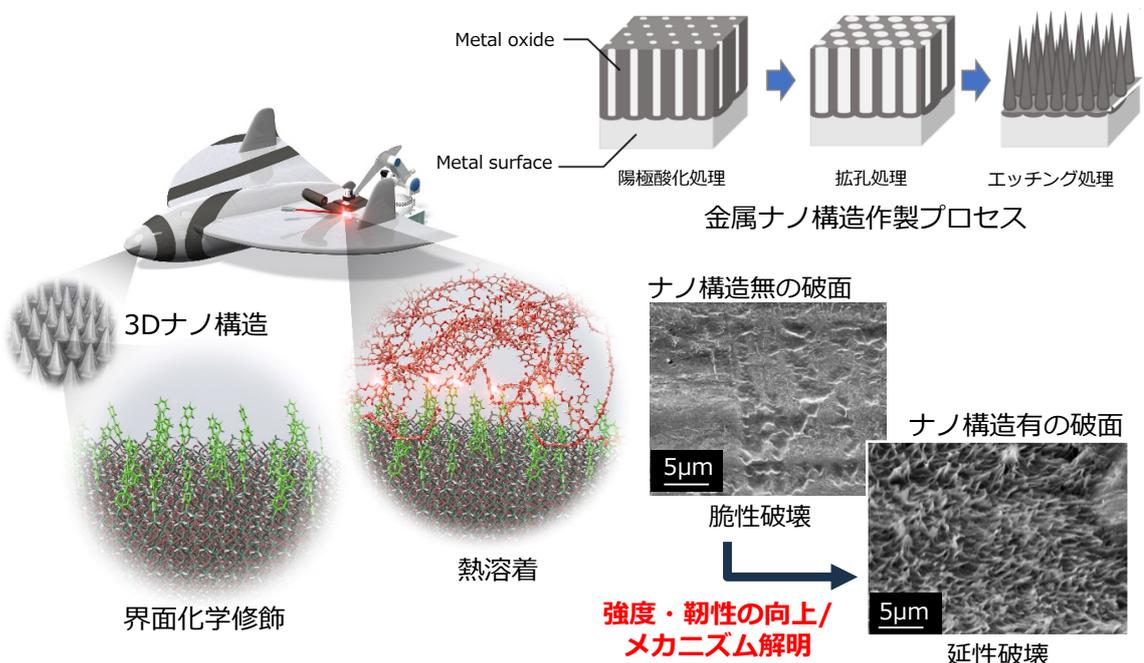
1. 金属表面の3Dナノ空間構造体の開発
2. 接合界面の化学修飾材料の開発
3. 異種接合界面の力学モデルの構築と評価

研究開発の実施体制

学校法人早稲田大学



細井厚志
早稲田大学・教授



革新的セラミック材料設計のための材料パターン情報学の創成

Material Pattern Informatics for Ceramic Material Design

研究開発の背景

強度と靱性を高めたセラミックス系構造材料として、規則的な材料組織構造と乱雑な材料組織構造を組み合わせたセラミックス基複合材料(CMC)のような構造が用いられています。CMCのような繊維とマトリックスという単純な構造を超えるより柔軟な材料構造の設計を実現することで、革新的なセラミック材料の開発が可能になることが期待されます。そのような材料の製造には、化学反応をともなうパターンダイナミクスである前駆体ポリマーからSiC多結晶セラミック形成法が有用であると考えられます。一方でこの過程は、制御が大変に困難であるため、材料製造時の材料組織パターンの形成過程を高精度に予測するモデル化技術を開発する必要があります。

研究開発の内容と目標

化学反応をともなうパターンダイナミクスである前駆体ポリマーからのSiC多結晶セラミックの形成過程をモデル化し予測・制御するには、化学結合の変化を伴う化学反応や、原子・分子から大域的なパターンの構造形成といった、結合状態や時間的・空間的スケールの異なる現象を統合してモデル化する必要があります。このようなパターンダイナミクスをモデル化する手法はまだ確立していません。そこで本研究提案では、パターンダイナミクスをモデルとして組み込んだ材料情報学の枠組みを構築することで、材料構造の時間発展や形成される結晶粒、結晶粒界構造を制御・予測する機械学習モデルを開発することを目的とします。

研究開発項目

1. 機械学習モデル構築・検証用データセット整備
2. 計測データからの構造推定手法の整備
3. 多結晶SiC形成過程の機械学習モデル構築

研究開発の実施体制

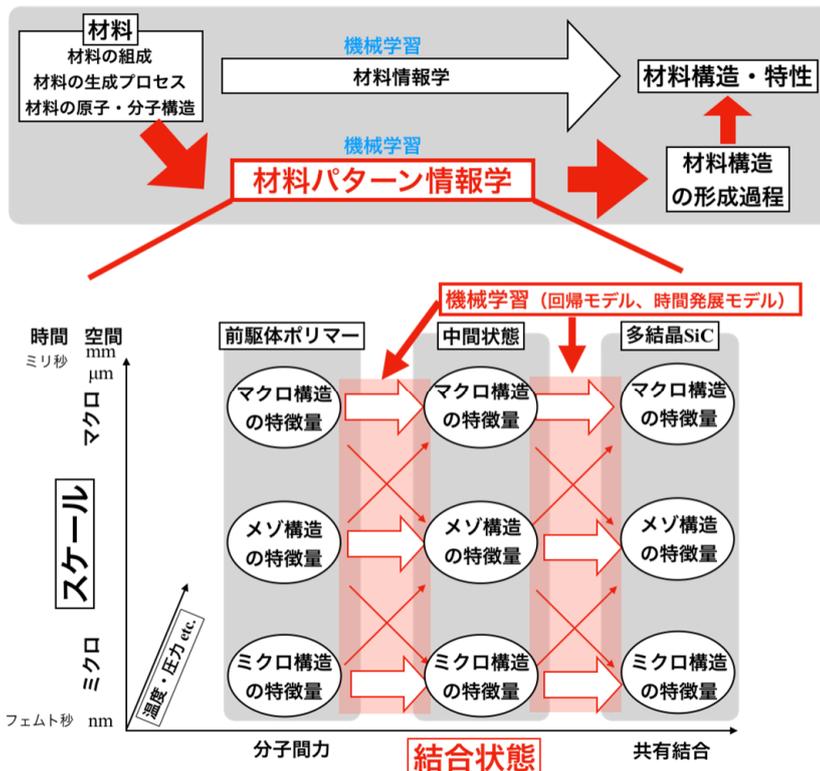
国立大学法人 一橋大学



本武 陽一 (研究代表者)
一橋大学大学院ソーシャル・データサイエンス研究科・准教授
専門分野：データ駆動理学、解釈可能AI物理学、機械学習



熊添 博之 (研究員)
一橋大学大学院ソーシャル・データサイエンス研究科・特任助教
専門分野：データ駆動理学、物性物理第一原理計算、ベイズ統計モデリング



環境・健康・安全に配慮した電力機器用SF6代替ガスの創成

SF6 alternative gas free from environmental, health, and safety hazards

研究開発の背景

地球温暖化ガス(主に、CO₂、メタン、N₂O、人工F-ガス)の削減に向けた取り組みが精力的に進められています。代表的なF-ガスであるSF₆は最も強力な温室効果ガス(CO₂の25200倍)の一つであり、規制強化が進んでいますが、SF₆はスマートで高効率な電力システムを成立させる唯一無二の基幹材料で、未だにこれを完全に代替できるガスは見つかっていません。

本研究では、SF₆代替となる未踏の新ガスを開発することで我が国が排出する温室効果ガスを数%削減、電力機器のライフサイクルCO₂排出量もあわせて500万ton/年以上削減しようとしています。

研究開発の内容と目標

第一原理計算を基本とした計算科学的な手法を用いて、巨視物性発現の物理に立脚したスマートなAIモデルを構築することで、スモールデータからなるガス分子物性の高精度予測を実現します。加え、所望物性群を持つガスの分子を広大な材料空間から生成できるAIモデルを構築することで、SF₆を代替できる(絶縁破壊電界10 kV/cm以上、沸点-10℃以下、GWP10以下の)新規環境調和型高性能ガスを創成します。

設計したガスを合成し、電気特性やマテリアルコンパチビリティ等を評価します。新ガスを用いた絶縁・遮断方式の実用化に向け、評価結果をもとに電力機器設計指針を提案します。

研究開発項目

1. 高精度物性予測モデルの開発
2. 分子構造予測AIモデル開発
3. 自律的な毒性評価AIモデルの開発
4. 物性間トレードオフ打破分子の設計
5. 新ガスによる電力機器設計方法の提案

研究開発の実施体制

国立大学法人東京大学



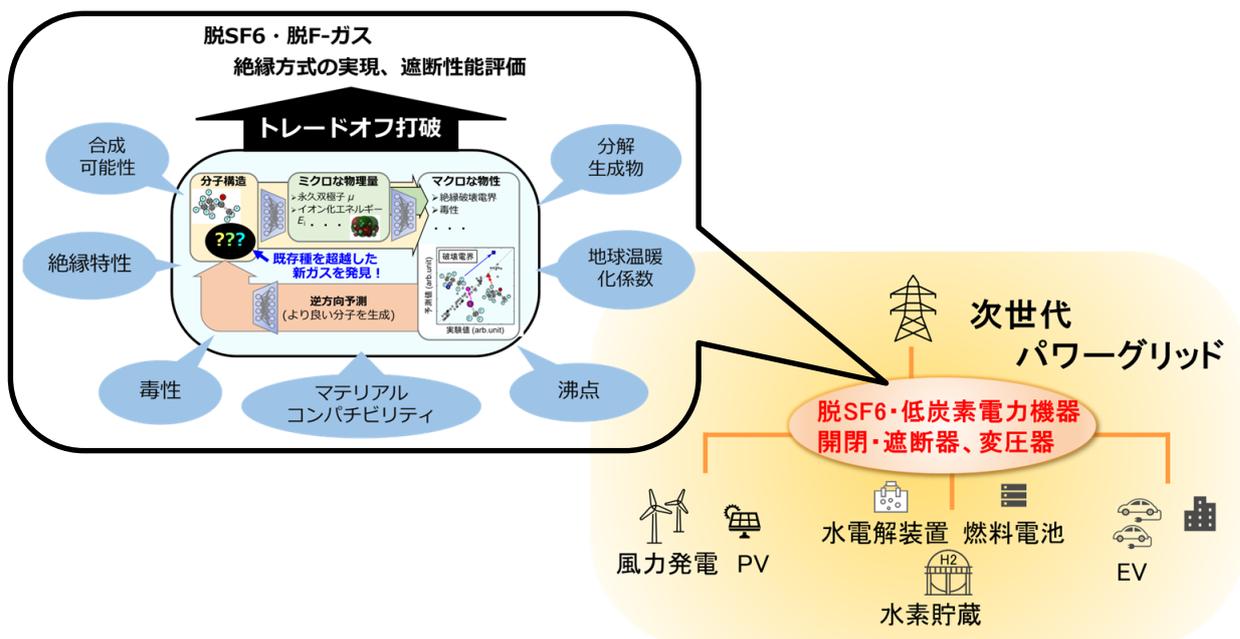
佐藤正寛
東京大学
工学系研究科
准教授



松井勇佑
東京大学
情報理工学系研究科
講師



小室 淳史
東京大学
新領域創成科学研究科
助教



スマートなAIモデルを用いた物性量のトレードオフを打破した実用的な材料設計と次世代パワーグリッドの基幹をなす新SF6代替ガスを用いた電力機器

高次機能の実現を目指すナノ材料の精密制御手法の開発

Precise control of nanomaterials aimed for multi-functions

研究開発の背景

2050年にはきっと今よりスマートで無駄のない高効率な社会が実現されているでしょう。そんな未来を実現するためには、あらゆる場所で高効率に機能する材料の開発が、いま求められています。例えば、あらゆる場所で太陽光発電ができる材料などがイメージしやすいかもしれません。こうした、あらゆる場所に利用できる素材として、ナノ材料はナノメートルオーダーの小ささと多様な機能性から、ナノ材料は社会の高機能化に寄与できるポテンシャルのある材料です。精緻に設計した機械のように、ナノスケールで高度に制御する技術が確立できれば、生活のありとあらゆる場面の異なるニーズに対応できる基幹技術が醸成されるでしょう。

研究開発の内容と目標

ナノ材料のもつ多様な機能を実社会に実装するためには、ナノ材料を自在に配列する技術は極めて重要な技術シーズです。中でも、このナノ材料をできる限り精密に制御し、さらに接合する技術は未踏の技術です。本研究では、このナノ材料の接合に主眼を置いて、精密に制御されたナノ材料を精緻に接合する技術を確立することを目指しています。これにより、利用用途に応じた機能性ナノ材料を自在に創製でき、さらにこの機能を迅速に最適化できるようになります。現在までに新たな制御手法を開発し、2系統の新物質の合成に成功しています。今後この手法をさらに洗練させ、6種以上の材料創製するとともに、接合手法の開発に本格的に着手し、接合技術を用いて未踏材料を創製します。

研究開発項目

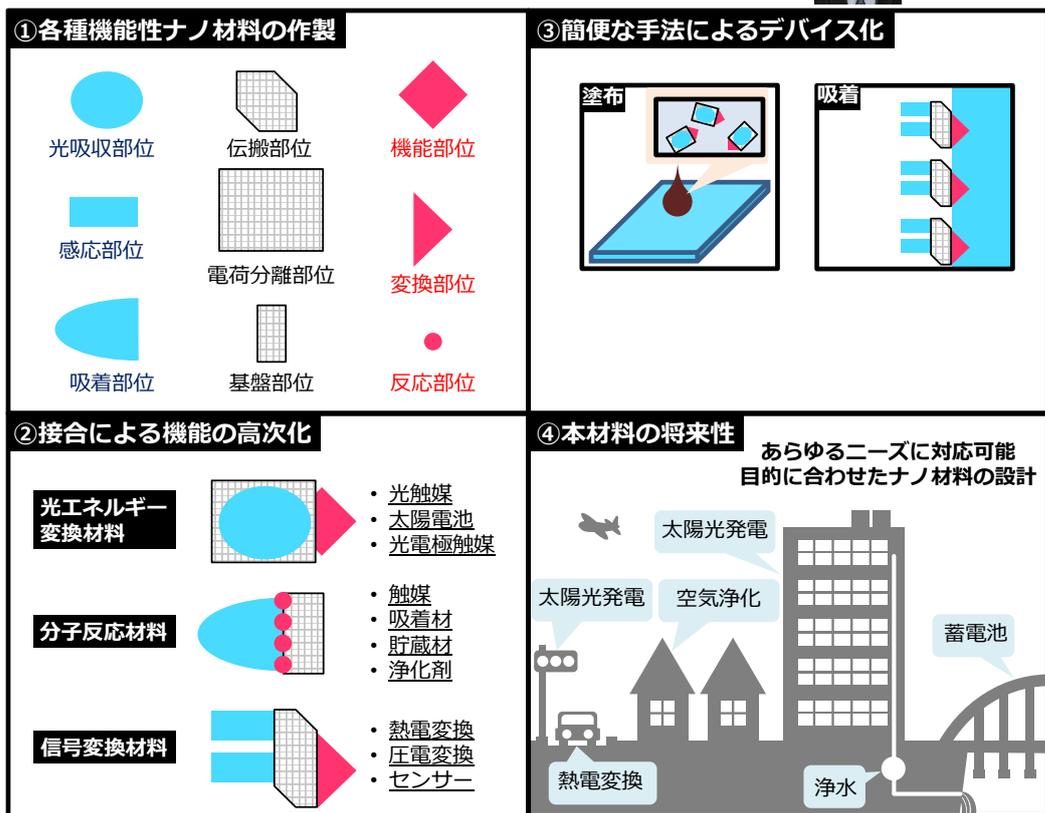
1. ナノ材料の精緻な制御
2. ナノ材料の接合手法の開発

研究開発の実施体制

国立大学法人京都大学



高畑遼
京都大学・助教



チタン合金の新規リサイクルプロセスの開発

New process to recycle titanium alloys

研究開発の背景

Tiは資源量が豊富で、耐食性に優れ、極めて高い比強度を有することから、様々な分野における未来材料として期待されています。しかし、Ti製品を鉱石から製造するプロセスは、莫大な消費エネルギー・CO₂排出を伴い、また歩留まりが低く、酸素や鉄に汚染された多量のスクラップが発生することから、高環境負荷・高コストという問題があります。本研究では、世界に先駆けてTi合金スクラップのアップグレードリサイクル技術を開発し、Ti製品製造プロセスの消費エネルギー・CO₂排出量・環境負荷の低減を図ります。この新しい技術によりTi製品の低価格化とそれによるTi製品の爆発的普及を実現し、ひいては、高機能のTi製品により、2050年の持続型社会の実現に大きく貢献することを目指しています。

研究開発の内容と目標

Ti製品の製造過程で多量に発生するスクラップは主に鉄と酸素に汚染されています。鉄はスクラップ管理や表面洗浄により除去可能ですが、TiやTi合金スクラップからスポンジTi（バージン材料）と同程度の酸素濃度(500 mass ppm O以下)まで酸素を効率的に取り除く実用プロセスが存在していません。本研究では、希土類金属のオキシハライドの生成反応をTi合金スクラップの脱酸に応用することで、Ti合金スクラップをスポンジTiより低酸素濃度化してリサイクルする技術を開発します。希土類金属のオキシハライド生成反応、およびTi合金中に含まれるO、Fe、Al、Vなどの元素の脱酸反応中の挙動を解明することで、500 mass ppm O以下の極低酸素濃度のTi合金を製造可能なプロセスの実現を目標としています。

研究開発項目

1. 脱酸限界と技術的課題の調査
2. 脱酸生成物および溶融塩除去法の開発
3. 電気化学脱酸反応の設計
4. 脱酸生成物再生手法の開発
5. 高速脱酸法の開発

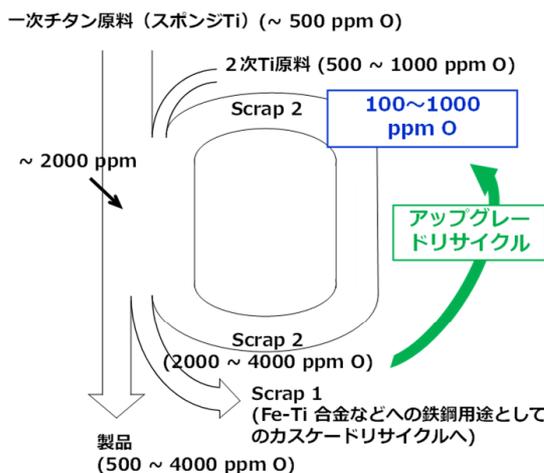
研究開発の実施体制

国立大学法人東京大学



大内隆成
東京大学生産技術研究所・講師

Ti合金のアップグレードリサイクルの意義と未来構想



- ・ 鉱石からのTi合金製品生産プロセスには、**莫大な消費エネルギーとCO₂排出**が伴い、**多量のスクラップが発生** ⇒高コスト(**100万円/トン**) (cf. Al: **20万円/トン**)
- ・ 将来、チタンの生産が増えるとカスケードリサイクルに限界が生じる
- ・ 現時点では、**酸素濃度が高いTiスクラップから直接酸素を除去する工業プロセスは存在しない**

本研究のアプローチ

Ti合金スクラップ中の主たる不純物である酸素を除去する新しいタイプの**アップグレードリサイクル法**の開発



高純度・高価格のTiのバージン材（スポンジTi）に低純度・低価格のスクラップを多量に混合可能となる

2050年の構想

- ▶ チタン製品の価格低減
- ▶ 省エネ・CO₂排出量削減



世界中からスクラップを集め、高付加価値製品として輸出する新しいビジネススキームを構築

- ▶ 資源確保 ⇒ 資源輸出
- ▶ TiおよびTi製品製造において国際的なイニシアティブ確保
- ▶ Ti社会の実現 ⇒ **省エネ・低CO₂の持続型社会構築**

自己増殖型資源を利用したセルプラスチック軽量素材の実現

Cell-plastics as light-weight materials with self-proliferating resources

研究開発の背景

サステナブルの観点から世界規模でバイオマスプラスチックの開発が行われています。従来の製法では、発酵や抽出など多段階の工程が必要となり、高バイオマス度のプラスチックを得るには大きなエネルギーが必要とされます。それを解決するために、単細胞緑藻そのものを素材として樹脂化するセルプラスチックの開発を進めてきました。

この方法では、緑藻細胞は光合成により大気中のCO₂を炭素源に自己増殖が可能なので、従来のバイオマスプラスチックの炭素循環システムを維持して低エネルギーでの生産の可能性があります。さらには緑藻の親水性を利用した吸水性の付与、緑藻中のタンパク質の変性による力学特性のコントロール、細胞壁のヒドロキシ基を利用した硬化剤としての利用など、多様な特性を有するプラスチックの創出を目指します。

研究開発の内容と目標

緑藻と母材を複合化し、日常生活で利用できる程度の強度をもつセルプラスチックの開発を目指しています。母材としては、細胞内容物やポリマー材料を用いています。また、緑藻を硬化剤としたエポキシおよびウレタン樹脂の開発も行っています。その結果、フレキシブルフィルムや緑藻含有率80wt%の熱硬化樹脂が作製できました。

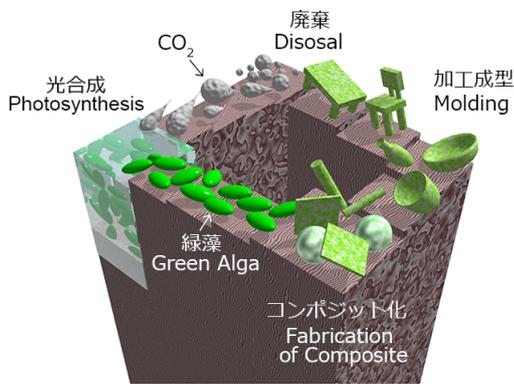
しかし、緑藻含有率の増加に伴い強度が著しく低下する問題に直面しています。そこで緑藻中のタンパク質の解析により細胞間および細胞-母材間の相互作用の向上を狙っています。また細胞の粒子径の制御、または異分子との化学修飾による緑藻の表面改質によりフィルムの力学特性が向上できるか研究しています。これらの樹脂が使い捨て食器や包装材など身近なプラスチック製品の代替として利用できる力学特性や機能性をもつセルプラスチックの開発を目標としています。

研究開発項目

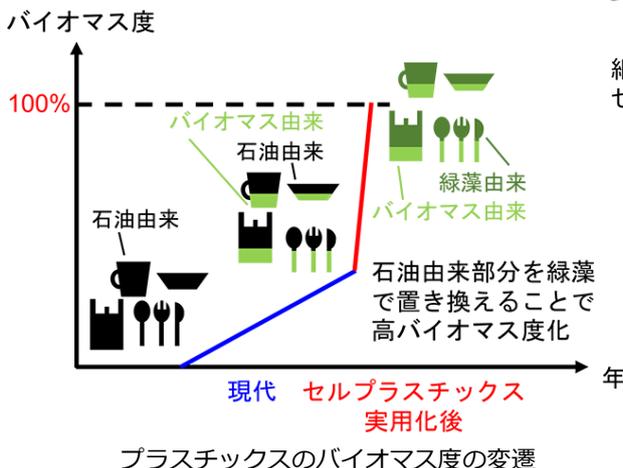
1. 力学特性向上についての原理の究明
2. 細胞プラスチック用品の成形技術の開発

研究開発の実施体制

学校法人片柳学園東京工科大学



単細胞緑藻を素材とするセルプラスチック創出の概略



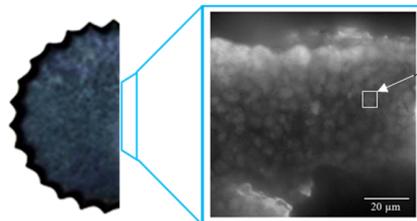
プラスチックのバイオマス度の変遷



中西 昭仁
学校法人片柳学園
東京工科大学
応用生物学部



入谷 康平
学校法人片柳学園
東京工科大学
工学部



断面

細胞由来の接合成分で作製されたセルプラスチック断面構造の光学顕微鏡像



緑藻複合化ポリマーフィルムと熱硬化性樹脂

CO₂によるプロパン酸化脱水素に有効な多元素酸化物担体の開発

Multinary oxide support for oxidative dehydrogenation of propane using CO₂

研究開発の背景

化学産業における基幹化学品である低級オレフィンの需要は、途上国の成長を背景に今なお世界的に増加の一途をたどっています。これに伴い原料となる化石資源の消費とCO₂排出も増大するため、石油化学プロセス自体のカーボンニュートラル化を早急に進める必要があります。

例えば、低級オレフィンの1つであるプロピレンの世界市場は年間1億トン以上であり、大変規模の大きなものです。そこでプロピレン製造プロセスにCO₂を利用することができれば、CO₂の削減と有効利用に加え、化学産業のカーボンニュートラル化にも大きく貢献することができます。

研究開発の内容と目標

本研究ではこれを可能とする反応として「CO₂を用いたプロパン酸化脱水素」に着目し、本反応を高効率に行える革新触媒の開発を目指します。具体的には、独自に開発した先行触媒(PtCoIn/CeO₂触媒)の担体である酸化セリウム(CeO₂)のセリウムサイトを多元素化することでコーク燃焼能を高め、触媒の耐久性を飛躍的に向上させることで実用に耐える触媒の開発につなげます。最終目標としては①プロパン・CO₂の初期転化率がともに40%以上、②プロピレン選択率95%以上、③転化率が100時間後に初期の80%を維持、を達成することを目指します。

研究開発項目

1. 多元素化による CeO₂担体の性能向上
2. 多元素化による性能変化に関する原理解明
3. 酸化物担体の高比表面化手法の確立
4. 触媒の最適化による高性能触媒の開発

研究開発の実施体制

国立大学法人大阪大学



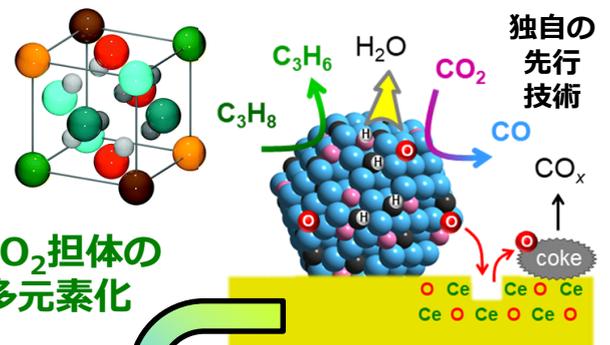
古川 森也
大阪大学大学院工学研究科
教授

CO₂を用いたプロパン酸化脱水素



- ①プロピレン製造 (世界需要増加)
- ②CO₂有効利用 (CO製造)
- ③既存プロセスのカーボンニュートラル化
- ④水素を用いないCCUプロセス

同時達成可能な画期的技術



CeO₂担体の
多元素化

触媒技術
の革新
(本研究)

世界規模でのCO₂削減

化学産業における
2050 Net Zero Emission
への大きな貢献

中温電解によるCO₂由来化成品原料合成Intermediate-temperature CO₂ electrolysis to chemical feedstocks

研究開発の背景

2050年までにカーボンニュートラルを実現することが強く求められています。二酸化炭素(CO₂)を化成品の原料として再利用する反応のひとつに、電気エネルギーを用いてCO₂を還元する反応(電解反応)があります。電解反応系を構築するためには、触媒とイオン伝導膜を組み合わせる必要があります。しかし、Nafion®など従来のイオン伝導性材料が利用できる温度の制約から、この反応は常温付近でのみ検討されていました。したがって、反応系の加熱による効率向上、特に大部分が200°C以下である産業排熱の活用は困難でした。

研究開発の内容と目標

本研究開発では、百数十°Cの中温かつ無加湿・低加湿(~30%RH)域で固体電解質として利用できるプロトン(H⁺)伝導材料を開発します。また、固体電解質とCO₂還元触媒との融合法を明らかにすることで、CO₂ガスの高効率電解に必要な膜-電極複合体(MEA)を開発します。これまでに、MEAに利用可能な数μm厚の固体電解質膜を作成し、ここにCO₂還元触媒を固定化する方法を見出しました(下図)。これらの技術は、再生可能エネルギー由来の電力や現状捨てられている産業排熱を再利用した、高効率かつクリーンなCO₂由来化成品原料合成系に応用することができます。

研究開発項目

1. 中温域で利用可能なH⁺伝導材料の開発
2. 中温域で利用可能な触媒の開発
3. CO₂由来化成品原料合成

研究開発の実施体制

国立大学法人京都大学

研究代表者

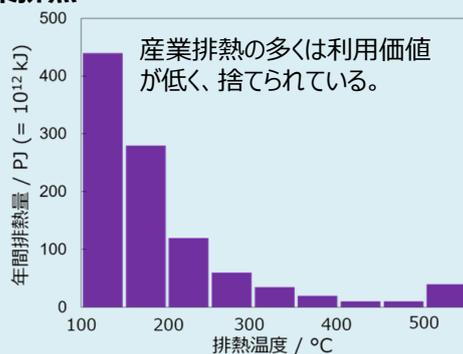


田部 博康
京都大学高等研究院
物質-細胞統合システム拠点
特定講師

研究者

魏 永生 (京都大学)
竝木 裕司 (京都大学)
他 技術補佐員

産業排熱



工場群の排熱実態調査 ((一財)省エネルギーセンター、2000年)

CO₂、排熱を同時に再利用したい

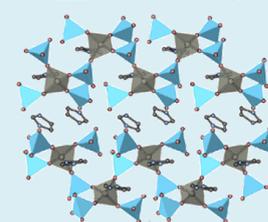
波及効果

- ◆ 余剰電力、排熱の有効活用
- ◆ 高出力・小型の中温型燃料電池に応用

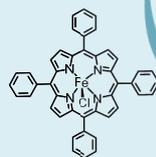
関連分野に成果を波及させ、さらなるCO₂削減に貢献

新しいプロトン (H⁺) 伝導材料

例：亜鉛イオン-有機物のハイブリッド化合物



H⁺伝導度：
2.6×10⁻⁴ S/cm
(120°C、無加湿)
融点：185 °C



融解・触媒導入・冷却

膜-電極複合体 (MEA) に利用可能なCO₂還元触媒含有固体電解質膜 (令和4年度の研究開発成果)

H. Izu, H. Tabe, Y. Namiki, H. Yamada, S. Horike, *Inorg. Chem.* **2023**, 62, 11342.

光アシスト型逆シフト反応触媒システムの開発

Light-assisted Catalytic System for Reverse Water-Gas Shift Reaction

研究開発の背景

2050年のカーボンニュートラル社会の実現に向け、地球温暖化の原因物質である二酸化炭素(CO₂)を有効利用するための技術が求められています。CO₂を水素(H₂)と反応させて化学原料となる一酸化炭素(CO)を得る反応(逆シフト反応)は工業的に有用ですが、低温では低い反応率しか得られず非効率という課題があります。持続可能なカーボンニュートラル技術構築のためには、産業廃熱や太陽光などの有効に利用されていないエネルギーを積極的に利用し、CO₂水素化反応を効率よく促進できる触媒システムの開発が重要です。

研究開発の内容と目標

MoやWなどを主成分とする金属酸化物は逆シフト反応に高い触媒活性を示すと同時に、可視光から近赤外光域にかけた強い光吸収を示します。本研究では、このような金属酸化物を触媒に利用し、熱と光エネルギーの併用により、200℃以下の低温域でも商業化可能なレベルのCO生成速度(15 mol/kg-cat./h以上)を達成できる光アシスト型逆シフト反応触媒システムの開発を実施します。触媒の開発と性能評価、光アシスト型反応器の設計、実証試験を通じて実用性を評価し、CO₂を省エネルギーで有用物質へと変換するためのクリーンな触媒技術の確立を目指します。

研究開発項目

1. 逆シフト用触媒の開発
2. 触媒性能の評価
3. 光アシスト型逆シフト反応触媒システムの設計・机上評価
4. 光アシスト型反応器の試作・実証試験

研究開発の実施体制

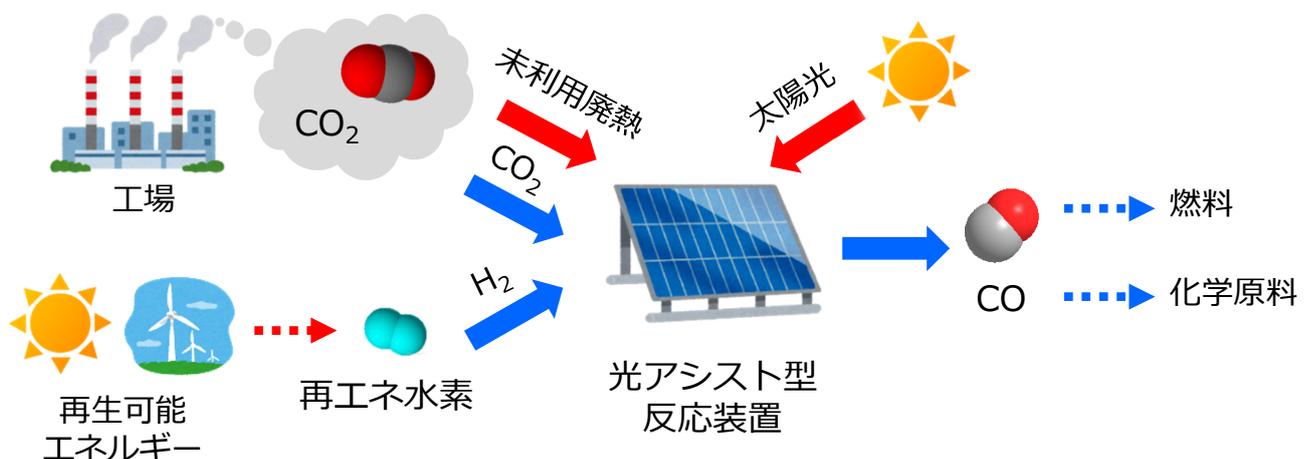
国立大学法人大阪大学
(再委託先) コスモ石油株式会社



(研究代表者)
桑原 泰隆

国立大学法人大阪大学
大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻・准教授

未利用の廃熱と無尽蔵な太陽光エネルギーを利用



省エネルギーで二酸化炭素と水素から化学原料を製造

高効率太陽光CO₂電解還元システムの研究開発

Highly Efficient Solar Driven CO₂ Reduction System

研究開発の背景

太陽光を用いて水(H₂O)から電子を取り出してCO₂を有用な炭素化合物に還元する人工光合成型反応を高効率に進行させる技術には、将来のカーボンニュートラル社会への多大な貢献が期待されています。人工光合成型の反応は、CO₂還元反応を駆動する電気化学システムと太陽電池を直接連結した太陽光CO₂電解還元システムで進行させることができます。しかし、現状の技術では、触媒に貴金属が用いられており、またその反応電位が高いことから、汎用太陽電池の出力では、高い太陽光変換効率は実現できていません。社会実装には、汎用金属を活用しかつ低電位駆動が可能なCO₂電解還元システムの開発が必要です。

研究開発の内容と目標

本研究では、社会実装の実現に向けて、希少金属を用いない高効率太陽光CO₂電解還元を実証します。CO₂還元触媒としてMnなどの汎用金属イオンを用いた金属錯体を、またH₂Oの酸化触媒としてFe系酸化物触媒を開発します。さらに、CO₂を従来の液相ではなく気相で反応させることができ、かつ反応系全体の電気抵抗を低減できる、膜/電極接合体を用いたガス拡散型リアクターを適用することで、CO₂電解還元反応の低電位駆動を実現させます。このリアクターと汎用金属触媒を組み合わせたCO₂電解還元システムを、汎用のシリコン太陽電池と直接連結することで、20%を超える太陽光変換効率の実現を目指します。

研究開発項目

1. 高効率太陽光CO₂ 変換の実証
2. 資源量豊富な新規CO₂還元触媒の研究開発
3. 高活性 Fe 系 H₂O 酸化触媒の研究開発

研究開発の実施体制

株式会社豊田中央研究所
 国立大学法人東京大学
 公立大学法人岡山県立大学



関澤 佳太
豊田中央研究所



坂本 直柔
豊田中央研究所

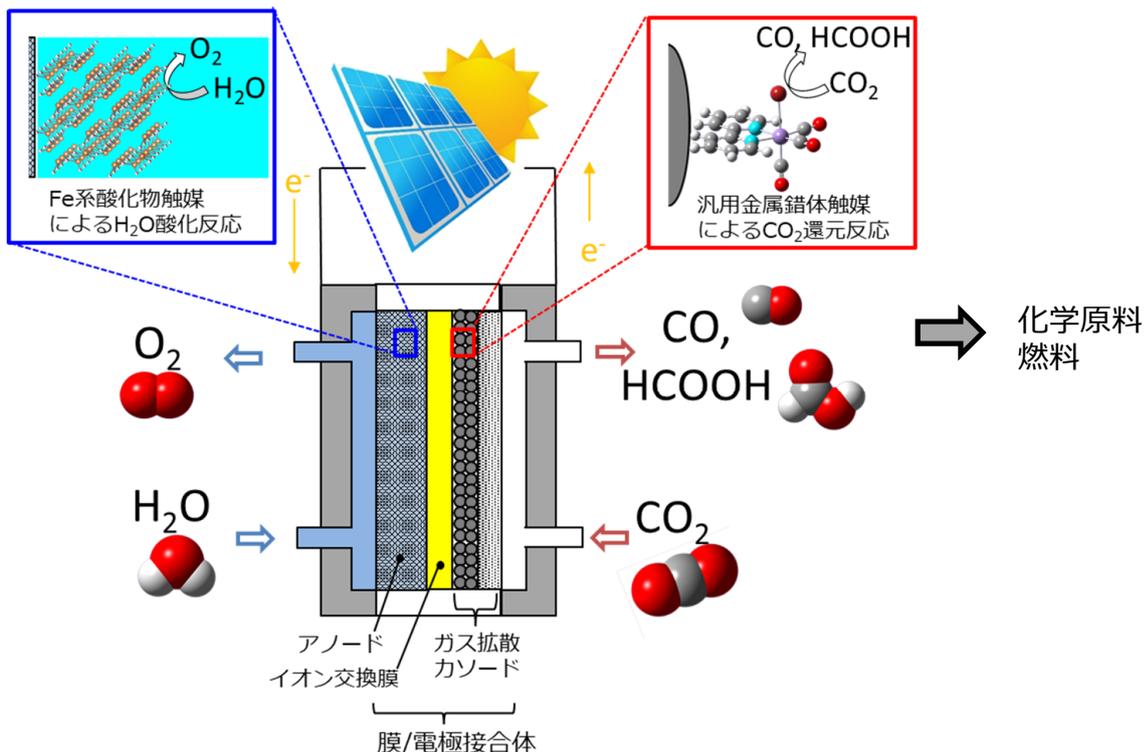


山崎 康臣
東京大学
助教



野田 祐輔
岡山県立大学
准教授

他8名



二酸化炭素回収と資源化の複合化技術開発

Dual function material for CO₂ capture and conversion

研究開発の背景

二酸化炭素を回収し他の炭素原料へ変換(資源化) することができれば、温室効果ガスを削減しつつその利用も可能です。しかしながら、現状、この回収・資源化のプロセスは、①吸着材から二酸化炭素を回収するための高温処理、②二酸化炭素高濃度化や回収前処理、③二酸化炭素の還元反応(資源化)の低い反応効率、等が要因となって多量のエネルギーを必要とします。この多量のエネルギー消費は結果的に温室効果ガス発生に繋がってしまうため、将来的に、根本的な温室効果ガスの削減を目指すためには、回収・資源化のプロセス(カーボンリサイクル)を省エネルギー化する必要があります。

研究開発の内容と目標

本未踏チャレンジでは、二酸化炭素の回収と資源化を同時にかつ低エネルギーで進行させることのできる複合材料を開発します。具体的には、吸着した二酸化炭素を複合材料上でより吸着相互作用の弱い部分還元化合物(一酸化炭素)へ変換し、さらに物質変換の駆動力として外部刺激を用いる特異な反応場を利用することで、回収・資源化プロセスの省エネルギー化を目指します。

現在、単一材料上で吸着した二酸化炭素を選択的に一酸化炭素に変換できる材料の開発に成功しており、更なる性能向上(目標生成速度: 600 μmol g⁻¹ h⁻¹) に向け研究開発を進めています。

研究開発項目

1. 二酸化炭素吸着と物質変換機能の複合化技術の開発
2. 吸着した二酸化炭素の選択的変換技術の開発

研究開発の実施体制

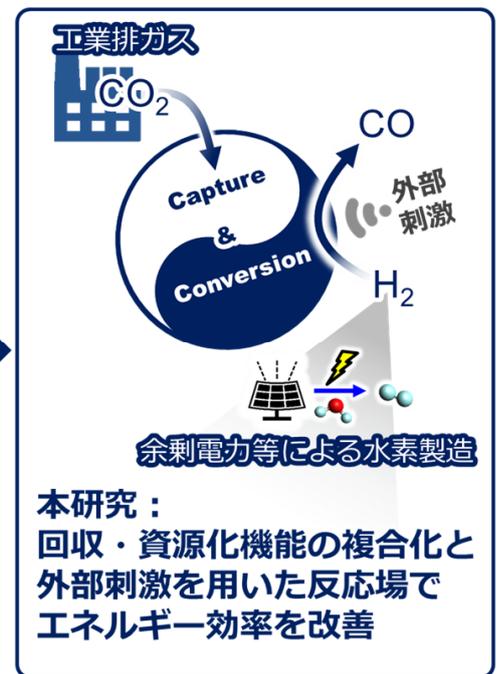
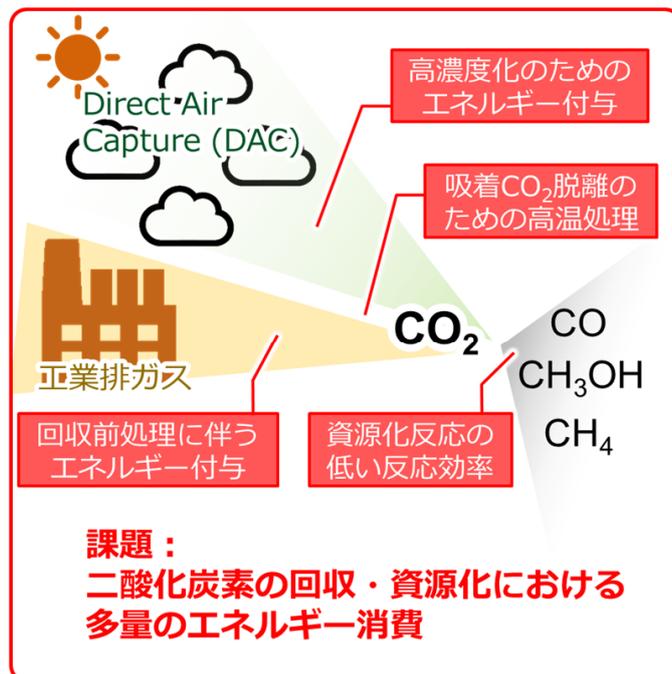
国立大学法人広島大学
(再委託先)
中国電力株式会社
国立大学法人高知大学



津野地 直
広島大学・助教



小河 脩平
高知大学・講師



二酸化炭素水素化による有用物質ワンパス合成

One-pass synthesis of useful substances by carbon dioxide hydrogenation

研究開発の背景

NESTI2050や内閣府“CO₂利用に当たってのボトルネック課題及び研究開発の方向性”においては、高付加価値品、特に従来のCO₂有効利用技術では合成が困難である含酸素炭化水素についての検討を国家戦略として実行していく必要があると示されています。化石資源を用いることなくCO₂を資源化するためには、既存の技術を組み合わせただけでは不十分であり、CO₂を起源としてその場で化学種を生成させ、適切な触媒上にてトラップするなどといった、CO₂水素化からはじまる多段階反応を制御可能な革新触媒が求められています。

研究開発の内容と目標

本研究は、削減すべきCO₂を原料とし、水素化によりメタノールに変換する前段の反応と、得られたメタノールを有用物質に変換する後段の反応を、連続して行うことによりワンパス(一つの反応器、特に一つの触媒)でCO₂から有用物質を得る触媒反応プロセスの開発を目的としています。そのために、CO₂水素化からはじまる多段階反応のそれぞれに適した活性点をナノサイズ制限空間内にて配置・制御・利用する技術を確認することを目指しています。2023年度は100時間を超える長時間耐久の達成を目指しています。

研究開発項目

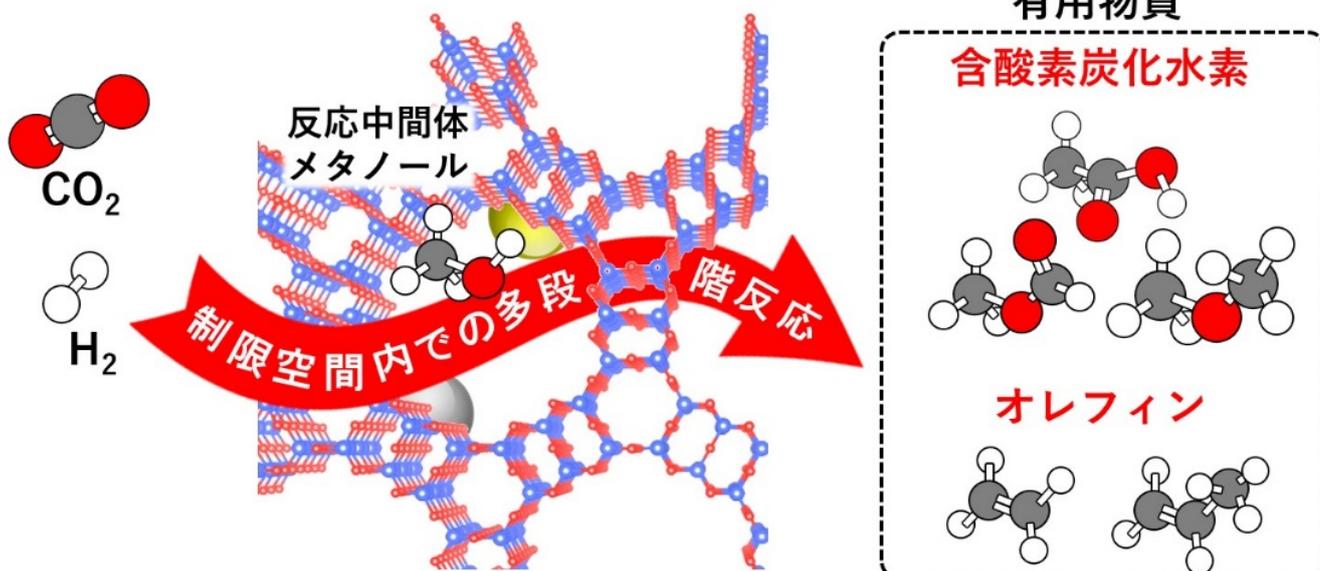
1. 複合酸化物触媒の開発に関する研究
2. 複合酸化物触媒の構造の評価に関する研究
3. 新規複合酸化物触媒の酸点の定性・定量
4. 反応中間体に着目した反応機構の研究
5. CO₂水素化からのワンパス有用物質合成の研究

研究開発の実施体制

国立大学法人東京大学
(再委託先) 国立大学法人北海道大学



伊與木健太
東京大学大学院工学系研究科
化学システム工学専攻
講師



遷移金属触媒を基盤としたCO₂変換に関する技術開発

Carbon Dioxide Utilization Technology by Multinuclear Transition Metal Catalyst

研究開発の背景

2050年までにCO₂の排出量の大幅削減が求められ、CO₂を有用化学品へと変換し利用する技術の開発が進められています。なかでも、合成ガスから生産されるメタノールは、液体燃料や化学品の基幹原料として世界的に巨大な市場をもちます。もし、CO₂からメタノールを直接製造ができれば、排出量の削減効果が大きな生産プロセスの構築が期待できます。しかし、これまで研究されてきた固体触媒では、大きく平衡の制約がかかる200℃以上の温度が必要であり、効率的なプロセスは期待できません。このため、平衡制約の影響が小さい低温で駆動する触媒が望まれています。

研究開発の内容と目標

本研究開発では、CO₂からのメタノールの直接合成について、新規触媒による反応の低温・低圧化ならびに高効率な反応プロセスの構築を目的としています。具体的には、低温・低圧条件でのCO₂のメタノールへの直接変換を目指し、金属の多核化を設計指針とした新規触媒開発を行います。また、反応の生産性を向上させることを目指して、遷移金属触媒を固定化する手法ならびにフロー反応プロセスの開発を行います。さらに、遷移金属触媒と電解反応を融合し、触媒と電位制御による高選択的な反応プロセスの開発を行います。

研究開発項目

1. 多核遷移金属触媒の開発
2. フロー反応プロセスの開発
3. CO₂の電解還元反応の開発
4. PEM型電解セルの開発

研究開発の実施体制

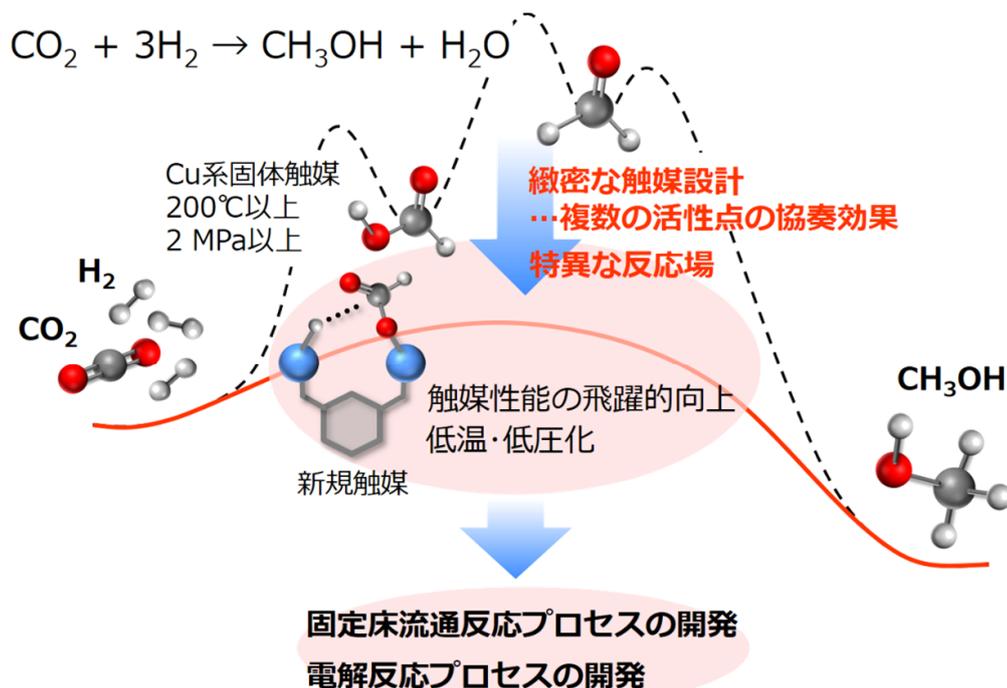
国立研究開発法人産業技術総合研究所



研究代表者：兼賀量一
産業技術総合研究所・主任研究員



研究者：尾西尚弥
産業技術総合研究所・主任研究員



二酸化炭素のリサイクル・資源化のための新しい触媒プロセス開発

Innovative catalytic processes for CO₂ capture and utilization

研究開発の背景

2050年時点での二酸化炭素実質排出量ゼロに向けて、二酸化炭素回収・利用(CCU)技術が注目を集めています。二酸化炭素の回収では、アミン吸着法が主流ですが、既存のアミン吸着法では空気中の低濃度CO₂の吸収が困難、吸収したCO₂を回収する際に100℃以上の加熱が必要、といった課題が散見されます。また、回収したCO₂を有用な化成品に変換する技術は確立されていないのが現状です。こうした課題を克服し、低コスト・高効率なCCUプロセスの開発が望まれています。

研究開発の内容と目標

本研究では、二酸化炭素のリサイクル・資源化により空気からプラスチック等を作り出すネットゼロエミッション(NZE)の世界を実現するため、革新的二酸化炭素固定化・利用技術の基盤構築に取り組みます。具体的には、相分離現象を利用して、400 ppmの二酸化炭素を90%以上の効率で除去・固定化する技術、60℃程度の低温で固定化した二酸化炭素を脱離回収する技術、回収した二酸化炭素からプラスチック等の有用化合物を合成する触媒反応技術をそれぞれ開発します。

研究開発項目

1. 二酸化炭素「固定化」反応系の開発
2. 二酸化炭素「回収」反応系の開発
3. 二酸化炭素「変換」触媒反応系の開発

研究開発の実施体制

東京都立大学法人東京都立大学

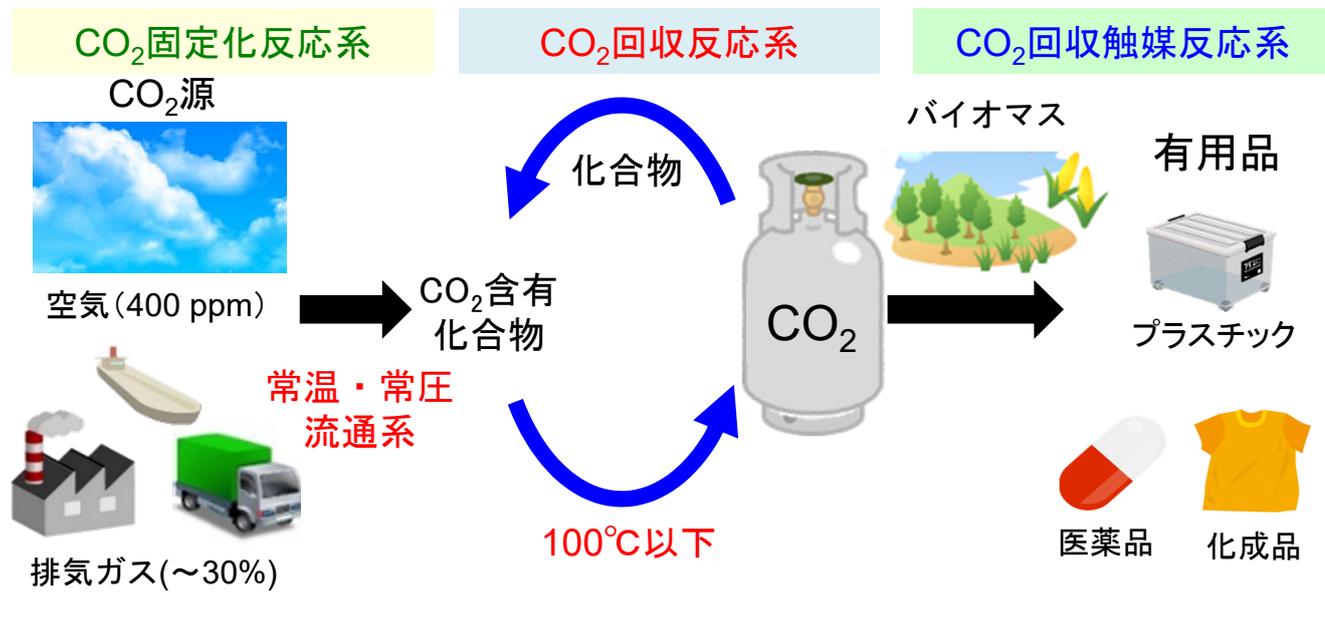


山添 誠司
東京都立大学
大学院理学研究科
教授



三浦 大樹
東京都立大学
大学院都市環境学研究科
准教授

触媒を利用した低コスト二酸化炭素回収・利用 (CCU) 技術の開発



メタンチオール経由でCO₂をオレフィン化する革新的物質変換系の開拓

Innovative process for CO₂ conversion to olefin via methanethiol

研究開発の背景

2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロとし、脱炭素社会を実現する必要があります。再生可能エネルギーの一つであるバイオマス資源の有効活用は、温室効果ガスの排出抑制だけでなく、循環型社会の形成を促進します。バイオマス資源の中でも特に、食品廃棄物系バイオマスの利用が注目されています。しかし、現在その多くは焼却処理されており、この未利用資源の有効活用が一つの課題となっています。食品廃棄物系バイオマスの活用法には、食品廃棄物を発酵させてメタンを生成し、それを原料にしてガスエンジンで発電する方法が一般的です。このプロセスにおいて大量に副生するCO₂の変換は、これまで検討されてきませんでした。

研究開発項目

1. H₂SとCO₂、H₂から高効率にCH₃SHを合成する触媒の開発
2. CH₃SHからオレフィン類や芳香族類に転換する反応系の開拓
3. CO₂を出発物質にCH₃SHを経由してオレフィンに変換するプロセスの創成
4. Net Zero Emissionを志向し、高効率な熱交換機能をもつ構造体触媒システムの開発

研究開発の内容と目標

バイオガス中にはメタンやCO₂だけでなく、硫化水素(H₂S)も含まれます。この硫化水素を利用して高反応性の中間体を合成し、CO₂からオレフィンに転換する新しい物質変換系の開拓を目指します。我々が提案するプロセスでは、CO₂と水素を原料にしてメタンチオール(CH₃SH)を合成します。このメタンチオールは、メタノールと構造が類似しているため、酸系触媒により軽質オレフィンへの転換が期待できます。本研究ではCH₃SH合成のための触媒、そしてCH₃SHからオレフィンに変換するための触媒を開発すること、さらに「Net Zero Emission」で要求されるエネルギーロスのない反応システム(構造体触媒)を創製することを目標としています。

研究開発の実施体制

国立大学法人静岡大学
国立大学法人九州大学



渡部 綾 (准教授)
静岡大学学術院 工学領域
化学バイオ工学系列



大島 一真 (助教)
九州大学工学研究院
化学工学部門

