

30GHzミリ波によって駆動する 固体触媒反応

九州大学 大学院農学研究院 生命機能科学部門 准教授 椿 俊太郎

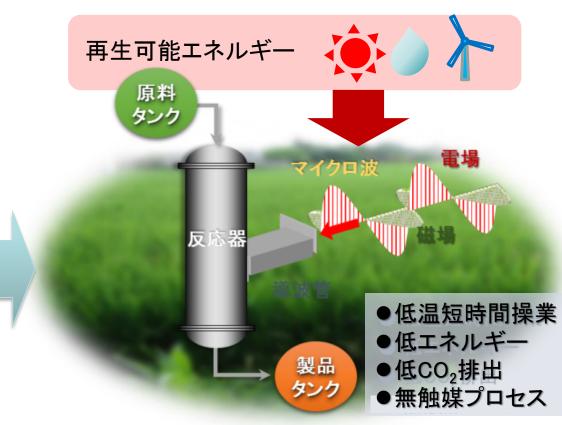
2023年10月20日

1



マイクロ波を用いた化学反応プロセス





既存の化学プロセス

課題

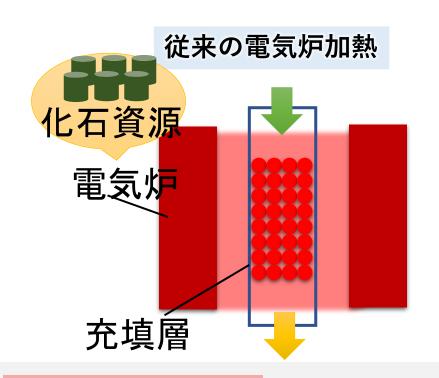
石油化学資源 CO₂·煤煙排出

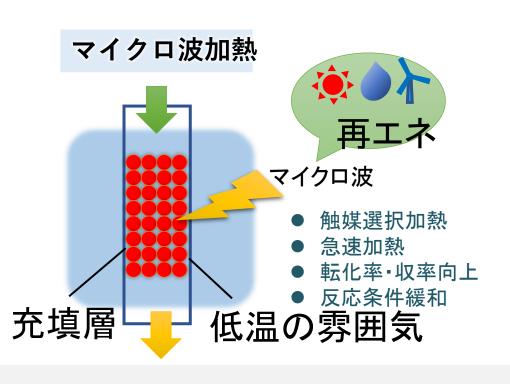
- □ マイクロ波加熱は変動の大きな電力に合わせて瞬時に駆動
- □ 被加熱物質を目的温度に急速加熱
- □ オンデマンドでの物質生産が可能

再生可能エネルギー時代の新産業プロセス



マイクロ波を用いた化学反応プロセス





(1) 脱炭素への貢献

CO₂90%削減

□ CO₂排出量: 254~444 g/kwh

□ エネルギー効率: 40-70%



- □ CO₂排出量: 42~48 g/kwh
- □ エネルギー効率:80-90%

(2) 外部刺激による新しい反応制御手法

従来の触媒化学では困難な反応を達成する手段

光(THz)・マイクロ波(MHz-GHz)・電気(DC)



マイクロ波を用いた化学反応プロセス

従来の加熱

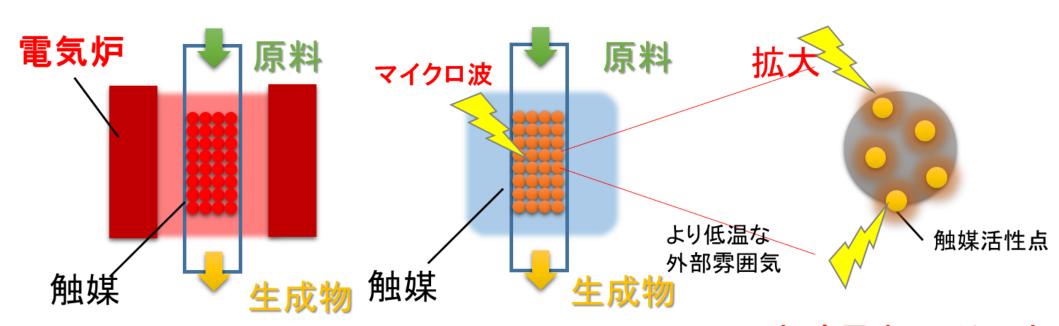
従来の **マイクロ波**加熱

精密制御された 電磁波

反応器全体を加熱

触媒層全体を加熱

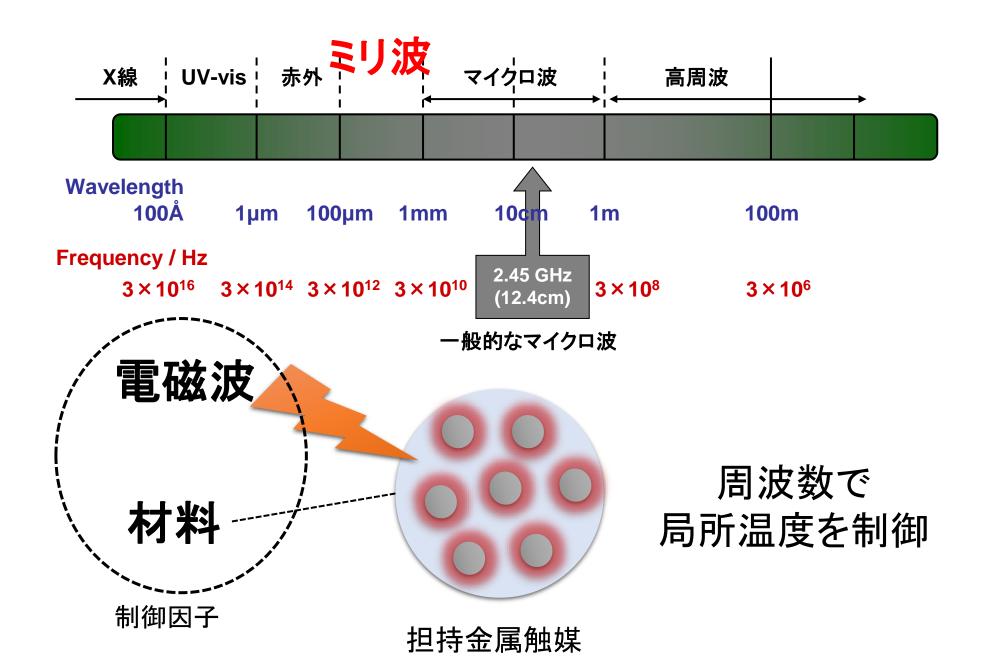
触媒活性点を加熱



ミリ波・高周波・マイクロ波



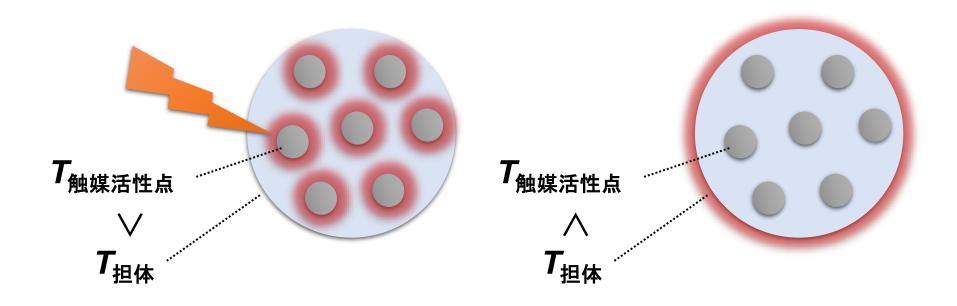
電磁波駆動触媒反応





電磁波駆動触媒反応

触媒上のエネルギーが必要なところにマイクロ波を供給する



触媒セレクション:マイクロ波吸収特性

マイクロ波吸収性触媒活性

X

最適周波数 (独自開発装置)

高密度電磁場 915MHz<2.45GHz<5.8GHz<30GHz



新技術の特徴・従来技術との比較

- 30 GHzシングルモード型ミリ波触媒反応装置を 開発
- 従来の2.45 GHz のマイクロ波と比較して、高速・低温で触媒反応(バイオマスの触媒的急速熱分解)が可能
- ミリ波in situ XAFS測定により、低出力でも触媒 局所が高温化することを確認(数Wのわずかな電 力においても、担持金属触媒上の局所に高温反応 場を形成)



従来技術との比較

	従来の マイクロ波加熱 (電子レンジ)	従来の ミリ波加熱	本技術
周波数	2.45 GHz	東北大 滝澤研 28 GHz	29 GHz – 31 GHz
電磁界強度	低	高	高
発振器	マグネトロン / 半導体	ジャイロトロン (高出力)	半導体 (低出力)
制御性	低(マグネトロン) 高(半導体)	低	高

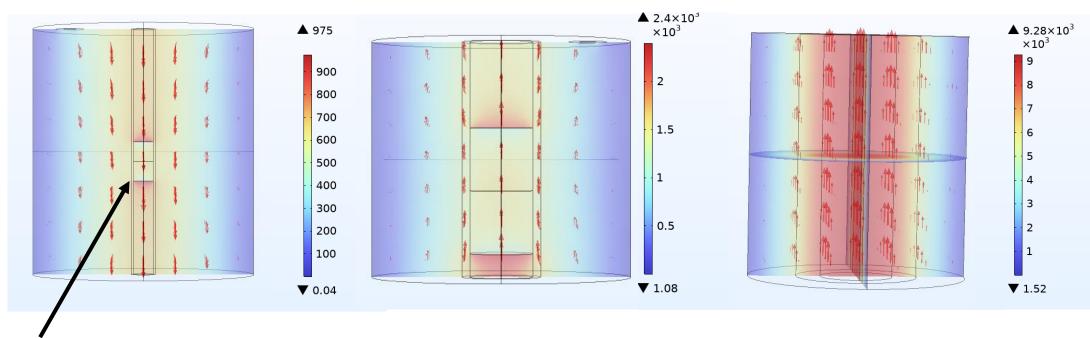


従来技術との比較

2.45 GHz (122 mm)

5.8 GHz (51 mm)

30 GHz (10 mm)



触媒充填層

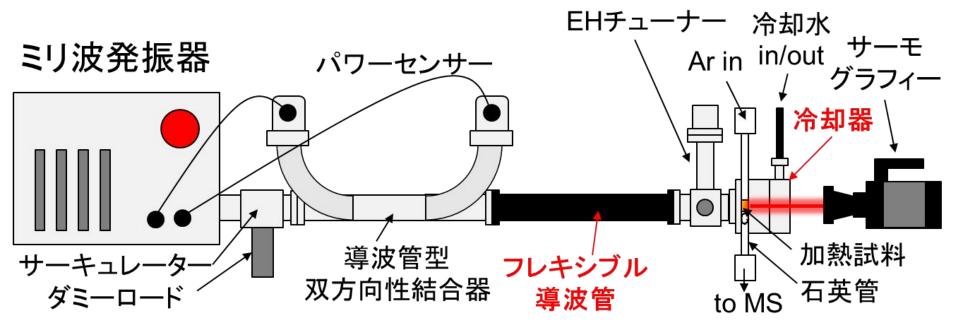
< 1000 V/m

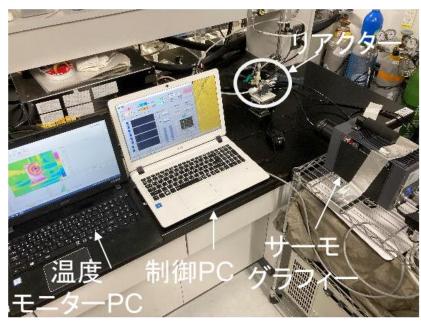
< 2400 V/m

< 9280 V/m

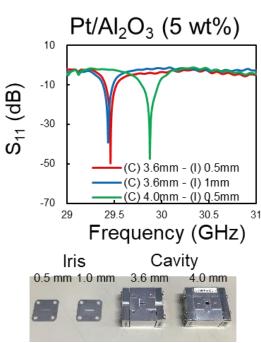


30GHz ミリ波触媒反応装置の設計



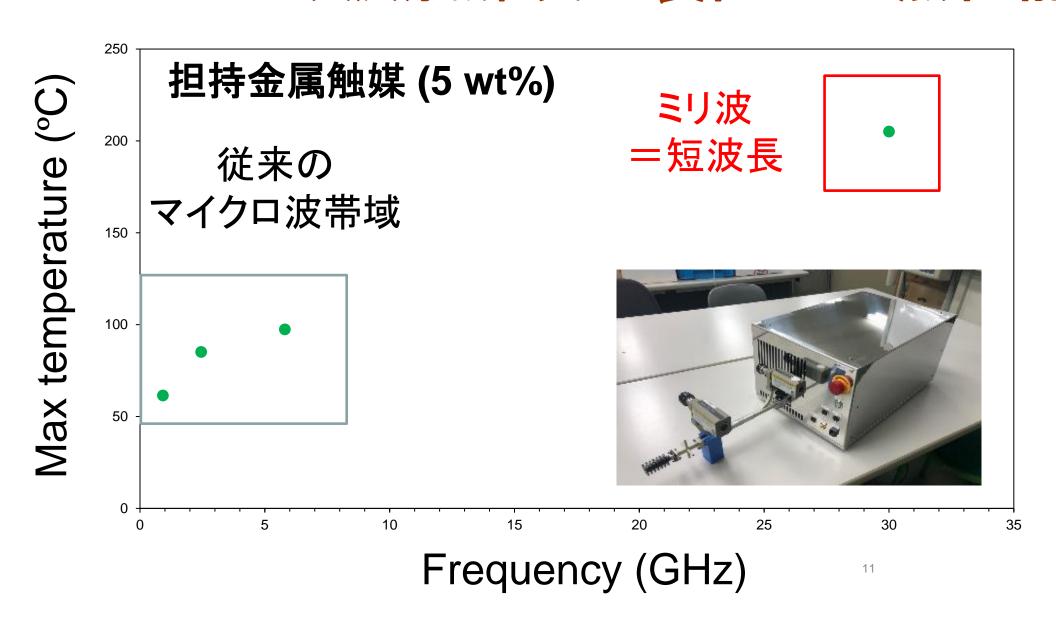






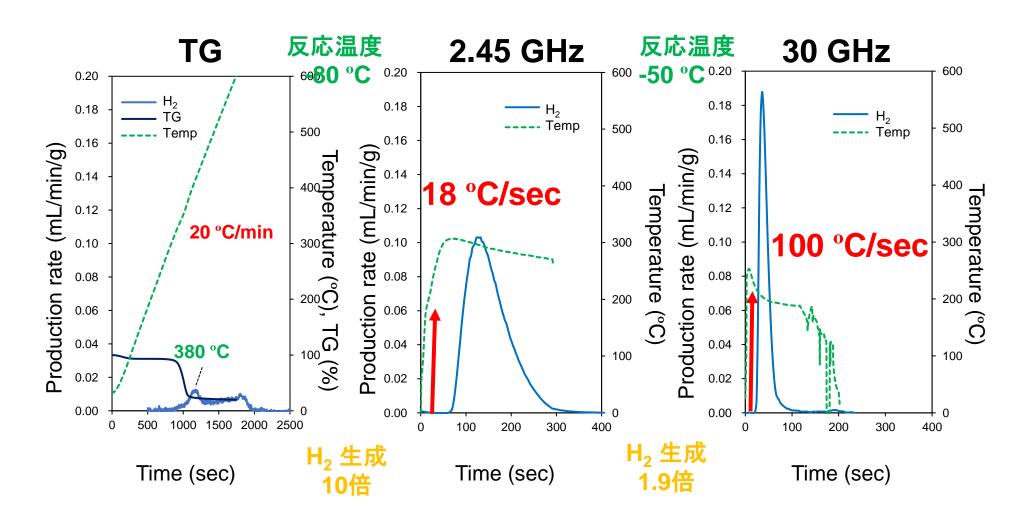


30GHz ミリ波触媒反応装置の加熱性能





担持金属触媒によるセルロースの触媒的熱分解の加速



Cellulose: Cat = 5: 1, Carrier gas; Ar 100 mL/min (TG) 20 mL/min (2.45 GHz) 10 mL/min (30 GHz) Power = 40 W (2.45 GHz), 5 W (30 GHz), Detection; MS



XAFSを用いたマイクロ波照射中の 担持Ptの局所温度の推測

雷気炉



担持金属=担体 温度

マイクロ波

バルク温度 赤外放射温度計

Ptの局所温度 XAFSスペクトルの

担持金属>担体 温度依存性から推測

K吸収端1回散乱の式

$$\chi(k) = S_0^2(E) \sum_{i} \frac{N_i F_i(k_i)}{k_i r_i^2} e^{-2k_i^2 \sigma_i^2} \sin[2k_i r_i + \varphi_i(k_i)]$$

S₀: 多体効果による振幅の減衰

 N_i : i番目の配位圏に対する配位数 $F_i(k_i)$: 後方散乱強度 $(k_i$ はi番目の配位圏の波数)

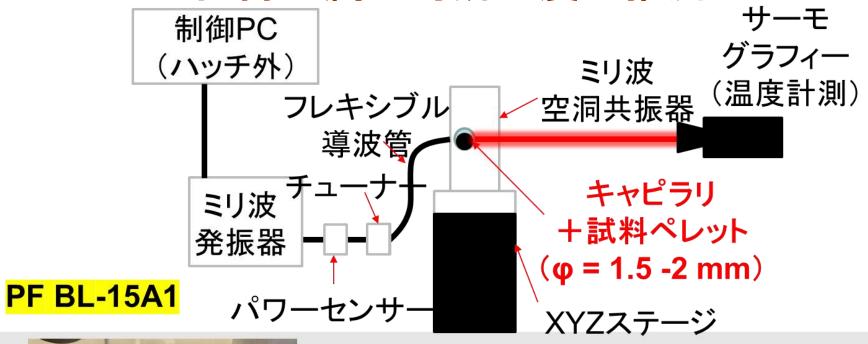
r: i番目の配位圏に対する結合距離

σ: デバイ・ワラー因子:無秩序性(温度依存)

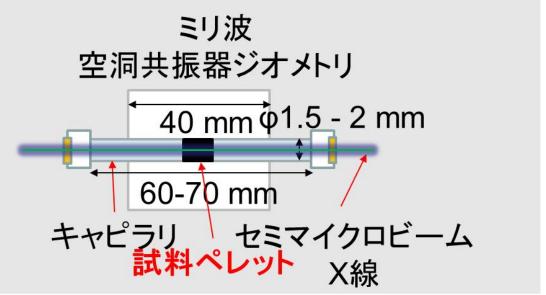
φ_i(*k*_i): 位相シフト



XAFSを用いたマイクロ波照射中の 担持金属の局所温度の推測



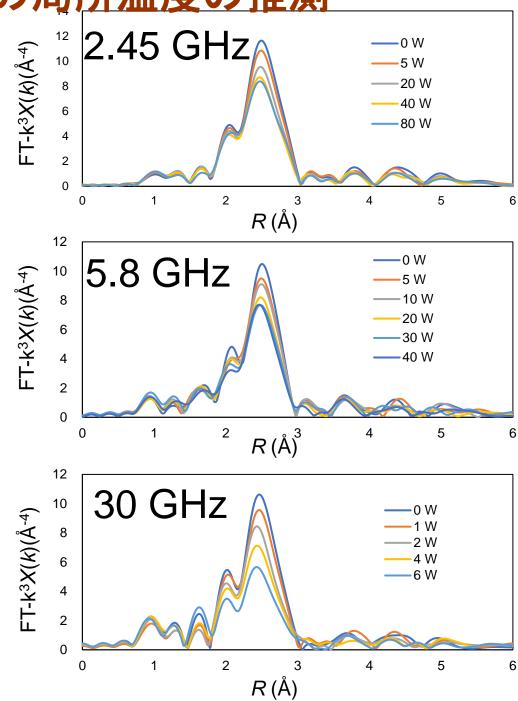






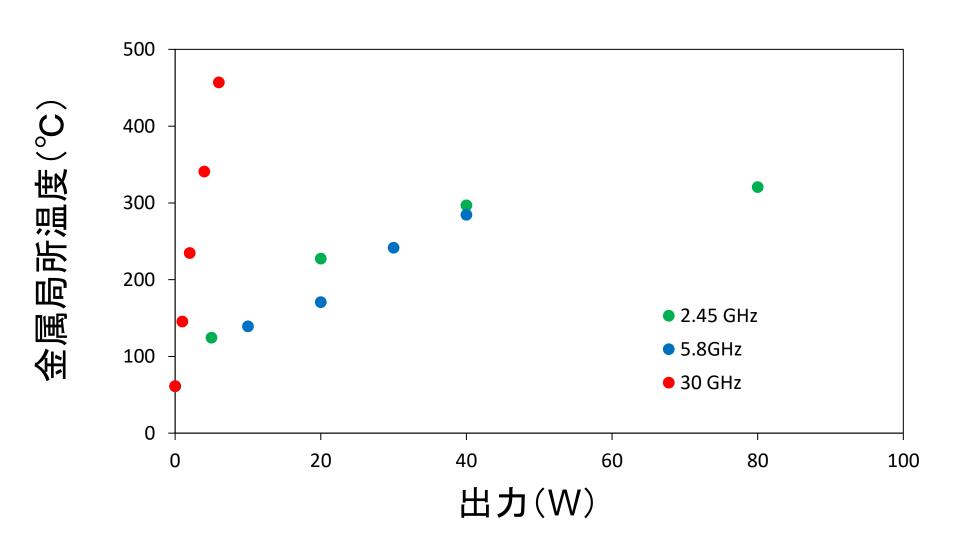
XAFSを用いたマイクロ波照射中の 担持金属の局所温度の推測







XAFSを用いたマイクロ波照射中の 担持金属の局所温度の推測





ミリ波駆動触媒反応の特徴

- 1. 独自開発の30 GHzシングルモード型ミリ波加熱装置を開発
- 2. 半導体発振器を搭載。試料と鋭く共振するシングルモード型共振器や、試料に応じたアイリス、導波管型方向性結合器を介した電力モニタリング、E/Hチューナーによるインピーダンス整合機構を装備
- 3. ミリ波加熱条件を精緻に制御可能
- 4. 本装置とミリ波帯域の電磁波吸収性に優れた担持金属触媒を併用し、従来の電気炉や2.45 GHzのマイクロ波加熱装置と比較して、急速昇温(100℃/min)を実現
- 5. 短時間 (60 sec以内) ・低温 (250°C) で触媒的熱分解が進行
- 6. その他の固体触媒反応にも応用可能

ミリ波:電磁波のうち波長が10 mm 以下、周波数が30 GHz以上のものを指す



実用化に向けた課題

- 30 GHz発振器の広帯域化(5G帯域~40 GHzくらい)発振効率の改良。
- 今後、幅広いモデル触媒反応について実験データを取得し、適用事例を充実(固気・固液不均一系、均一系反応)。
- 触媒カートリッジの簡便な交換機構の開発。



想定される用途

様々な固体触媒反応

- 医薬品・農薬・電子材料などのファインケミカル 生産
- 環境浄化(ウイルス除去)
- エッセンシャルケミカル生産
- マイクロフローリアクターでの有機合成反応(微 小チューブに電磁波を照射)
 - ロ 小型カートリッジ式の反応器
 - ロ 電気を用いた物質生産(産業電化)に貢献



企業への期待

触媒プロセス開発への応用

従来の電気炉やマイクロ波加熱では困難な触媒反応

ミリ波デバイス開発によるミリ波加熱装置性能向上

ミリ波デバイス開発技術、ミリ波吸収材開発技術 (5Gデバイスの高出力化)

カーボンニュートラル型触媒プロセスの達成

- 電磁波加熱技術を活用による産業電化
- 分散型プロセス、オンデマンド物質生産への応用



本技術に関する知的財産権

• 発明の名称

:化学反応装置および化学

反応方法

• 出願番号

: 特願2023-134605

• 出願人

: 国立大学法人九州大学、

国立大学法人豊橋技術科学大学

• 発明者

: 椿 俊太郎、藤井 知



産学連携の経歴

- 2012年-2013年 JST A-STEP探索タイプに採択
- 2016年 JST A-STEP探索タイプに採択(分担)
- 2019年-2023年 JSTさきがけに採択
- 2022年 K社と研究開発コンサルティング実施
- 2022年- R社と共同研究実施
- 2023年- M社と共同研究実施
- その他 東工大物質理工学院所属時代に複数社との共同 研究に従事



お問い合わせ先

九州大学 オープンイノベーションプラットフォーム サイエンスドリブンチーム 古澤 将樹

TEL: 092-400-0494

e-mail: transfer@airimaq.kyushu-u.ac.jp