

PRESS RELEASE (2026/08/03)

マイクロ波による触媒上の局所高温場を観測

— 再生可能電力でバイオマスを化学原料へ変換する電化プロセスに道 —

ポイント

- ① 半導体式マイクロ波（※1）により、竹などのバイオマスを水素等へ高速変換する触媒熱分解法を開発
- ② ニッケルナノ粒子上の局所高温場を、放射光 X 線を用いたその場（in situ）観察で実証
- ③ マイクロ波条件の制御により、バイオマス由来合成ガスの生成と組成制御に道筋

概要

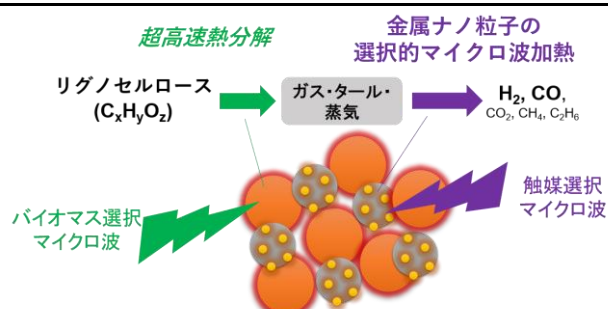
脱炭素社会の実現に向けて、化石資源に依存しない化学品・燃料製造プロセスの開発が求められています。なかでも、植物由来のリグノセルロース系バイオマスは再生可能な炭素資源として期待されていますが、熱伝導性が低く、従来の外部加熱では高速反応が難しいという課題がありました。

九州大学大学院工学研究院の椿 俊太郎 教授らを中心とする研究グループは、東北大学、みなも株式会社、国際基督教大学、高エネルギー加速器研究機構、東京工業大学（当時・現東京科学大学）と共同で、精密に制御したマイクロ波をニッケル担持触媒（Ni/SiO₂-Al₂O₃）に照射し、竹などのリグノセルロース系バイオマスを短時間で熱分解して、水素や一酸化炭素を含む有用ガスへ変換する触媒反応を開発しました。本研究では、半導体式マイクロ波発振器（※2）で周波数や共振条件を制御しながら、Ni 担持触媒と結晶性セルロースまたは竹粉を加熱しました。その結果、急速な昇温と触媒反応が進み、通常加熱と比べて水素生成が大きく促進されることを確認しました。また、周波数や空洞共振器の Q 値（※3）により、エネルギー供給や生成ガス量を制御できることを示しました。

さらに、放射光 X 線を用いた測定により、マイクロ波照射下で Ni ナノ粒子が周囲より強く加熱され、局所的な高温場を形成することを実験的に示しました。さらに、見かけ温度が 350–400 °C 程度でも Ni 粒子の焼結が急速に進む一方、通常加熱では 1000 °C でも同様の焼結が起こりにくく、マイクロ波による選択的加熱が裏付けられました。

本成果は、再生可能電力でバイオマスを高速かつ選択的に化学原料へ変換する電化プロセスの基盤として期待されます。

本研究成果は雑誌「Chemical Engineering Journal」に 2026 年 7 月 7 日（火）にオンライン掲載されました。



マイクロ波電場による急速熱分解と、マイクロ波磁場によるバイオチャーの急速加熱の概念図

研究者からひとこと：

マイクロ波加熱は、触媒ナノ粒子のような反応の起点へエネルギーを集中できる点に大きな特徴があります。本研究では、放射光 in situ 測定により、ニッケルナノ粒子上の局所高温場を実験的に示しました。今後は、このマイクロ波加熱を精密に制御し、バイオマスから水素などを効率よくつくる技術へ発展させたいと考えています。

【研究の背景と経緯】

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、石油などの化石資源に代わる再生可能な炭素資源として、植物由来のリグノセルロース系バイオマスの有効利用が重要になっています。バイオマスを熱分解すると、水素や一酸化炭素を含む合成ガス、液体成分、炭素材料などへ変換でき、これらは燃料や化学品の原料として利用できます。

一方、従来の外部加熱では、熱が試料の外側から内側へ伝わるため、熱伝導性の低いバイオマスを急速に加熱することが難しく、効率化には限界がありました。マイクロ波は物質内部へ直接エネルギーを供給できるため、バイオマスや触媒を短時間で加熱できる可能性があります。特に、金属ナノ粒子を担持した触媒では、マイクロ波エネルギーが触媒活性点に選択的に供給され、局所的な高温場を形成することが期待されます。

【研究の内容と成果】

本研究では、半導体式マイクロ波発振器と単一モード空洞共振器を用いて、マイクロ波を精密に制御しながら Ni 担持触媒へ照射し、結晶性セルロースおよび竹バイオマスの触媒熱分解を行いました。その結果、マイクロ波照射により急速な昇温と水素生成が進み、従来の熱平衡条件での外部加熱と比べて、竹バイオマスからの水素生成速度が大きく向上しました。

半導体式マイクロ波発振器とシングルモード空洞共振器を用い、竹バイオマスと Ni 担持₃触媒の混合物を急速加熱しました（図 1）。マイクロ波の周波数を 915 MHz、2.45 GHz、5.8 GHz で比較したところ、触媒の加熱性とガス生成挙動は大きく変化しました。特に 5.8 GHz では Ni 担持触媒が効率的に加熱され、竹バイオマスの触媒熱分解における水素生成が顕著に促進されました。また、空洞共振器の Q 値を変えることで、マイクロ波エネルギーの集中度と触媒反応の進行が変化することを示しました。加えて、複素誘電率測定から、触媒がマイクロ波を吸収しやすい周波数は一様ではなく、触媒の誘電特性に応じた選択的な周波数を利用することが望ましいことが分かりました。

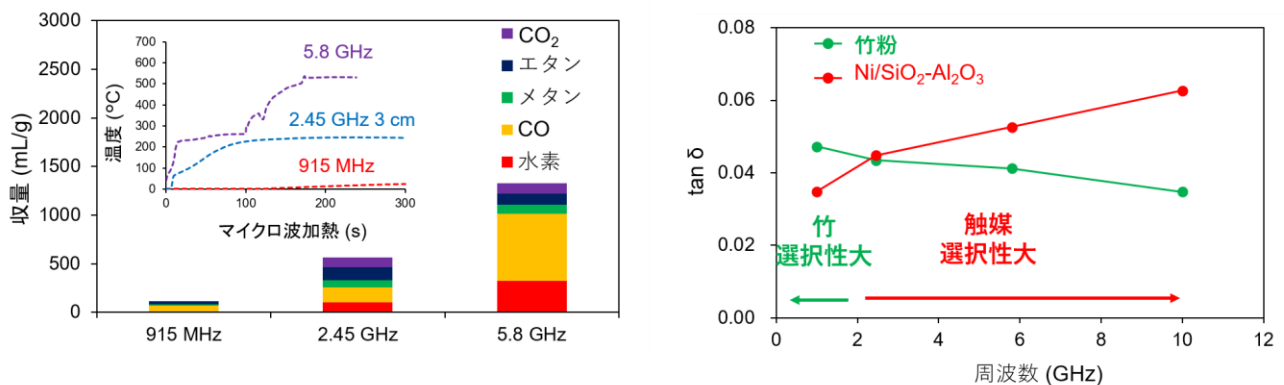


図 1. Ni 担持触媒を用いたバイオマスのマイクロ波触媒熱分解と周波数依存性

（左）竹バイオマスのマイクロ波触媒熱分解における周波数依存性。（右）Ni 担持触媒および竹粉の複素誘電率の周波数依存性。

さらに、放射光を用いた in situ in situ X 線吸収微細構造 (XAFS※3) 測定により、マイクロ波照射下で Ni サイトが周囲より強く加熱されることを元素選択的に評価しました（図 2）。また、実際の高濃度 Ni 担持触媒を用いた in situ X 線回折 (XRD※4) 測定では、見かけの温度が 350–400 °C 程度でも Ni 粒子の焼結が急速に進行することが観察されました（図 3）。通常加熱では 1000 °C でも同様の焼結が起こりにくかったことから、マイクロ波が Ni ナノ粒子に選択的に結合し、局所的な高温場を形成していることが強く示されました。

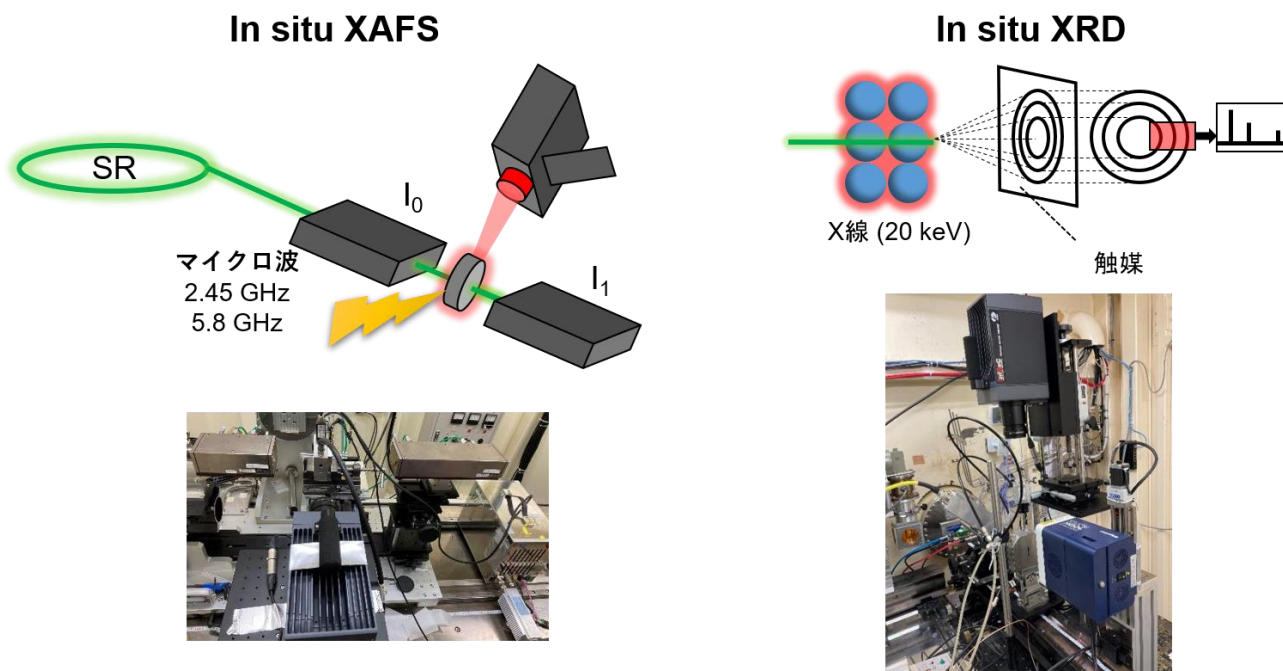


図 2. 放射光 in situ 測定系の概略図

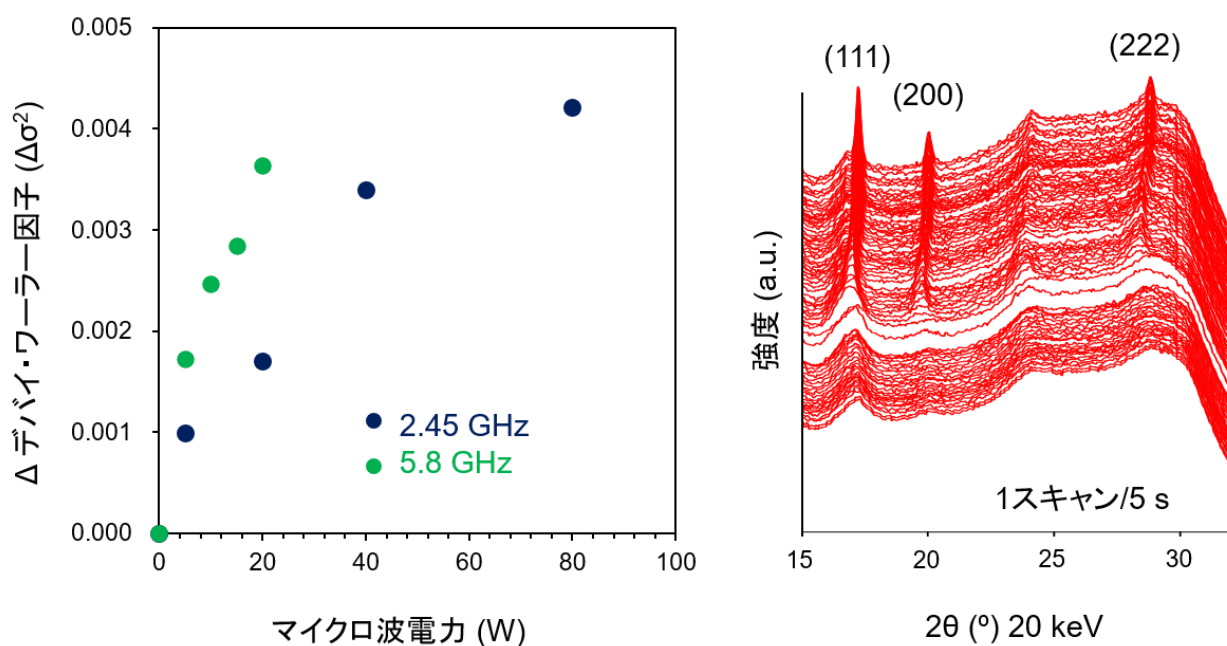


図 3. 放射光 in situ 測定による局所高温場の実証

(左) in situ XAFS による Ni サイトの温度評価。(右) in situ XRD による Ni 粒子の焼結の直接観察。

【今後の展開】

本研究により、マイクロ波エネルギーを触媒ナノ粒子へ選択的に供給し、局所的な高温場を利用してバイオマスの触媒変換を加速できることが示されました。今後は、Ni 粒子の焼結を抑制する高耐久触媒の開発や、マイクロ波周波数・共振器設計・反応雰囲気最適化により、水素や一酸化炭素の生成効率と選択性のさらなる向上が期待されます。また、バイオマスをオンサイトで高速に化学原料へ変換する電化プロセスとして、再生可能エネルギーと組み合わせたカーボンニュートラル化学産業への展開が見込まれます。

【用語解説】

（※1）マイクロ波

周波数が 300 MHz~30 GHz の電磁波の一種で、通信（携帯電話、Wi-Fi など）やレーダーとして広く利用される。2.45 GHz や 5.8 GHz の特定の周波数は、家庭用電子レンジや産業用加熱装置としても利用される。スケールにアップには波長の長い 915 MHz が有効であるが。さらに低い周波数（300 MHz 以下）は高周波とも呼ばれる。

（※2）半導体式マイクロ波発振器

従来の電子レンジは真空管（マグネトロン）式であり、位相や周波数、出力が経時的に変化しやすい。一方、半導体式マイクロ波発振器ではこれらを精密に制御することができ、これによって従来の電子レンジでは困難な、繊細なマイクロ波加熱制御が可能となった。さらに、近年、高出力の半導体によるマイクロ波加熱装置が普及しつつある。

（※3）Q 値

共振周波数での信号の鋭さを示す指標。Q 値が高いほど共振が鋭く、マイクロ波エネルギーが空洞共振器内で集中しやすいが、周波数や試料条件の変化に対して敏感になる。本研究では、空洞共振器の Q 値を調整することで、触媒へのエネルギー供給や生成ガス量の制御に影響することを示した。

（※4）in situ X 線吸収微細構造（X-ray Absorption Fine Structure: XAFS）

試料をマイクロ波照射下での反応条件に置いたまま、特定元素の周辺構造や電子状態を調べる X 線吸収微細構造解析。触媒中の金属元素が反応中にどのような状態にあるかを調べることができる。さらに、温度依存性を示すデバイ・ワラー因子を用いて、金属元素の局所温度を推定することが可能。

（※5）in situ X 線回折（X-ray Diffraction: XRD）

試料をマイクロ波照射下での反応条件に置いたまま、X 線回折により結晶構造や粒子の変化を調べる手法。本研究では、マイクロ波照射中の Ni 粒子の焼結挙動を観察するために用いた。

【謝辞】

本研究は、JST PRESTO JPMJPR19T6、JST CREST JPMJCR20R3、環境研究総合推進費 3RF-1801、3MF-2302、JSPS 科研費 基盤研究(S) 17H06156、基盤研究(B) 23K25033、基盤研究(A) 25H01202、学術変革領域研究(A) 24H01001 の支援を受けました。

【論文情報】

掲載誌：Chemical Engineering Journal

タイトル：Microwave-Triggered Local High-Temperature Formation on Ni Nanoparticles that Enables Ultra-Fast Catalytic Pyrolysis of Lignocellulose

著者名：Shuntaro Tsubaki, Jun Fukushima, Masateru Nishioka, Takeharu Sugiyama, Hisahiro Einaga, Wang-Jae Chun, Ken-ichi Kimijima, Masao Kimura, Shunsuke Ota, Noriyuki Igura, Yuji Wada, Makoto Yasuda

D O I : [10.1016/j.cej.2026.179202](https://doi.org/10.1016/j.cej.2026.179202)

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院工学研究院

教授 椿 俊太郎（ツバキ シュンタロウ）

TEL：092-802-2746

Mail：tsubaki.shuntaro.318@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp