



THERMAL ENGINEERING

TED Newsletter on the WEB

日本機械学会熱工学部門ニュースレター
TED Newsletter No.109 September 2026

目次

1. TED Plaza

SOFC 電極界面における混合燃料反応の分子論的解析

郭 玉婷 (京都大学)

1 個の液滴から分かるバイオ燃料の燃え方

安藤 詩音 (九州大学)

2. 第 104 期部門組織

3. 行事案内

4. その他

編集後記

TED Plaza

SOFC 電極界面における混合燃料反応の分子論的解析



郭 玉婷 (Yuting Guo)

京都大学 助教
大学院工学研究科機械理工学専攻
guo.yuting.3f@kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

固体酸化物形燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell: SOFC) は、高温作動により高いエネルギー変換効率を実現できる発電デバイスであり、水素だけでなく、炭化水素やアンモニアなど多様な燃料を利用できる。特にメタンなどの炭化水素燃料は、外部改質器を用いずに燃料極へ直接供給し、電極内部で水蒸気改質反応を進行させることができる。この内部改質はシステムの簡素化や高効率化に有効である一方、メタン水蒸気改質反応は強い吸熱反応であるため、セル入口付近で反応が局在化すると大きな温度勾配が生じ、セル耐久性の低下を引き起こすことが知られている (Iwai et al., 2011)。筆者の所属する研究室では、メタン燃料にアンモニアを混合することでメタン改質反応が抑制され、温度分布が緩和されることを実験的に報告している (Teramoto et al., 2020)。しかし、アンモニア添加がメタン改質反応を抑制する微視的反応機構は十分に解明されていない。

ニッケルとイットリア安定化ジルコニアの混合多孔体 (Ni-YSZ) は典型的な SOFC 燃料極であり、Ni が電子伝導体および触媒として、YSZ が酸化物イオン伝導体および構造支持体として機能する。この複合電極近傍では、気体分子の吸着、表面拡散、解離反応、および熱輸送が密接に結合している。したがって、混合燃料反応の機構を理解するためには、全体の反応率だけでなく、分子がどこに吸着し、どのように移動し、どの素反応が起こりやすいのかを明らかにする必要がある。このような背景から、筆者は SOFC 電極界面における気体分子の挙動に着目し、分子動力学法および第一原理計算を用いた分子論的解析に取り組んできた。分子動力学法は高温作動条件下で形成される吸着層や表面拡散を扱うことに適しており、第一原理計算は吸着構造、電子状態、活性化エネルギーなどを評価することで素反応機構を解析できる。本稿では、これら二つの手法を用いて、電極界面で生じる分子輸送と表面反応を相補的に解析した研究について紹介する。

2. 分子動力学法による YSZ 表面の吸着・拡散解析

YSZ は一般に酸化物イオン伝導体および構造支持体として扱われることが多いが、その表面には気体分子が吸着し、表面拡散を通じて Ni 反応サイトへ供給される可能性がある。したがって、Ni-YSZ 燃料極における混合燃料反応を理解するため、Ni-YSZ 表面における CH_4 、 NH_3 、 H_2O の吸着および拡散挙動に着目した (Guo et al., 2025)。図 1(a)に、YSZ-気体界面を対象とした分子動力学計算モデルの一例を示す。YSZ 表面に CH_4 、 NH_3 、 H_2O 分子を配置し、計算系の温度と圧力は 1073 K、1 atm に設定した。Nosé-Hoover 法を用い温度制御を行い、バルク領域の気体分子数を調整することで気相の圧力を制御した。図 1(b)に、YSZ 表面近傍における CH_4 、 H_2O 、 NH_3 混合ガスの吸着密度分布を示す。 H_2O は YSZ 表面に二つの吸着層を形成しているのに対し、 NH_3 では単

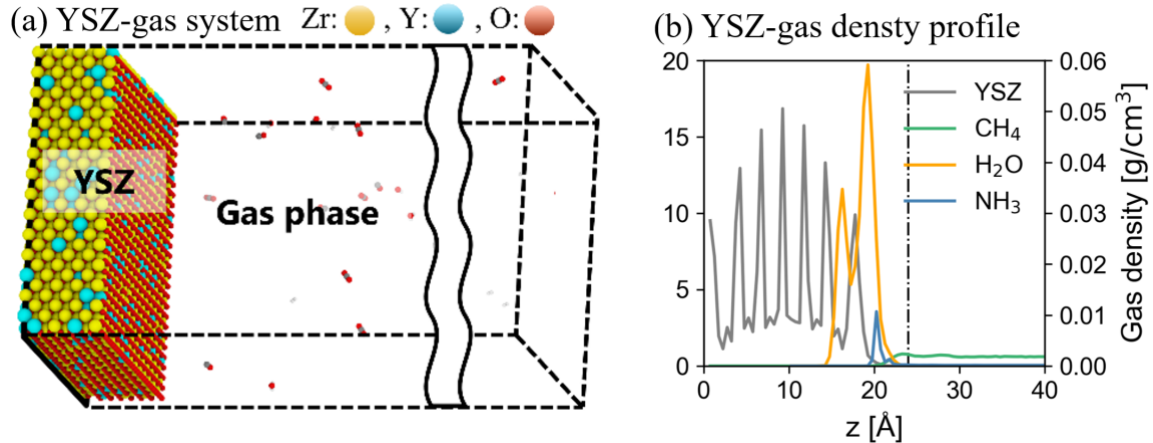


Fig. 1 (a) Simulation model of gas molecules near the YSZ surface and (b) density profiles of gas molecules under the condition with approximately 1 mol% H₂O in the bulk gas phase.

一の吸着層のみが観察された。また、NH₃の密度ピークはH₂Oの吸着層に比べてはるかに小さく、NH₃分子とYSZ表面の相互作用がH₂O分子より弱いことを示している。さらに、NH₃はYSZの内部には侵入せず、表面吸着に限られている。一方、CH₄は表面近傍でもほぼ一定の低い密度を示し、YSZ表面への明確な吸着はほとんど見られなかった。

表面近傍の吸着層に相当する領域を積分することで、各分子の吸着量を評価した。図2(a)に、混合気体条件におけるNH₃吸着量とH₂Oモル分率の関係を示す。NH₃モル分率が高く、H₂Oモル分率が低い条件では、YSZ表面におけるNH₃吸着量が増加する。一方、H₂Oモル分率が高くなると、NH₃吸着量は著しく低下する。この傾向は、H₂OとNH₃の吸着様式の違いに起因すると考えられる。H₂OはYSZ表面との静電的相互作用に加え、水分子間の水素結合により安定な多層吸着構造を形成する。このような水分子の層状吸着構造は、筆者らが以前に行った酸化物表面の分子動力学解析においても観察されており、表面近傍の水素結合ネットワークが界面構造に影響を及ぼすことが示されている (Guo et al., 2020)。一方、NH₃は主にZrやYサイトとの配位的な相互作用により吸着するが、その吸着は単層的であり、H₂Oによる表面被覆の影響を受けやすい。そのため、H₂Oが多い条件では、H₂OがYSZ表面を優先的に占有し、NH₃の吸着可能なサイトが減少すると考えられる。

吸着層における分子の軌跡から平均二乗変位を求めることで、YSZ表面に沿った拡散係数を算出した。図2(b)に、600℃および800℃におけるH₂OとNH₃の表面拡散係数を示す。いずれの温度においても、NH₃の拡散係数はH₂Oよりも大きく、NH₃はYSZ表面上を比較的移動しやすいことが分かった。また、温度上昇に伴いNH₃の拡散係数は増加し、高温条件ではNH₃の表面移動性

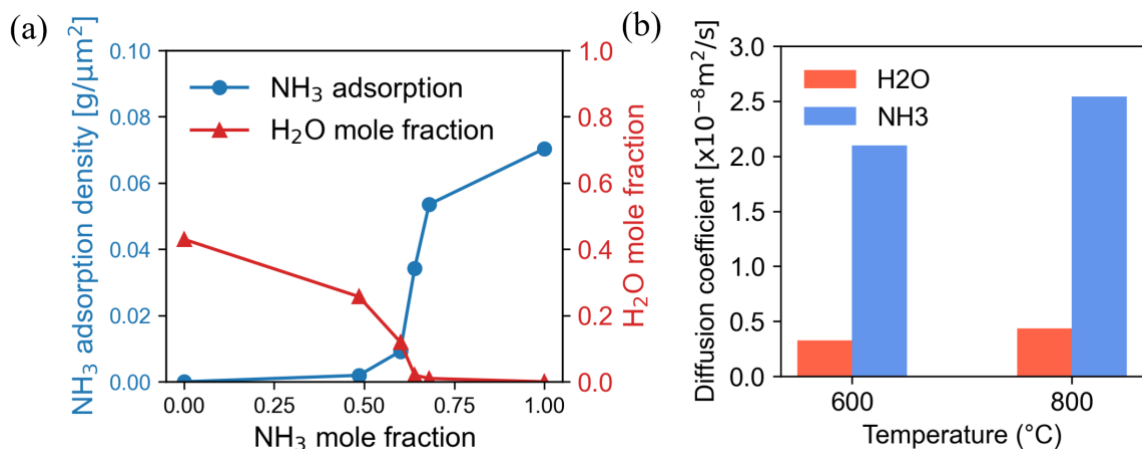


Fig. 2 (a) NH₃ adsorption density and H₂O mole fraction as functions of NH₃ mole fraction in the bulk gas phase and (b) surface diffusion coefficients of H₂O and NH₃ on the YSZ surface.

がさらに高まる．これは、 NH_3 の吸着が H_2O よりも局所的かつ単層的であり、熱運動の増大により表面サイトからの脱離や隣接サイトへの移動が起こりやすくなるためである．一方、 H_2O は強い静電的相互作用と水素結合ネットワークにより表面に安定に保持されるため、拡散係数は相対的に小さい．

以上の結果から、YSZ 表面における H_2O と NH_3 の役割は大きく異なることが分かる． H_2O は強い吸着により YSZ 表面を被覆し、 NH_3 の吸着サイトを減少させる．一方、 NH_3 は H_2O よりも高い表面拡散性を有し、吸着後に Ni 反応サイトへ移動しやすい．このため、 H_2O が少ない条件では、YSZ 表面に吸着した NH_3 が Ni 表面へ供給され、 NH_3 分解反応が優先的に進行しやすい．一方、 H_2O が多い条件では、 H_2O による表面被覆のため NH_3 吸着量が減少し、Ni 表面への NH_3 供給が制限される．その結果、 NH_3 分解反応が低下し、メタン水蒸気改質反応への抑制効果も変化すると考えられる．

3. 第一原理計算による Ni 表面の反応機構解析

メタン・アンモニア混合燃料における反応抑制機構を理解するためには、これらの分子が触媒である Ni 表面でどのような素反応を起こすのかを明らかにする必要がある．特に、 NH_3 分解により生成する H^* 、 N^* 、 NH_x^* 種や、 H_2O 由来の OH^* 、 O^* 種は、 CH_4 水蒸気改質に関わる CH_x^* 種と同じ Ni 活性サイト上で共存し、反応経路を変化させる可能性がある．筆者らはこれまでに、Ni-YSZ 界面における NH_3 と H_2O の吸着・解離反応を第一原理計算により解析し、 H_2O が NH_3 の吸着および分解反応に影響を及ぼすことを示してきた (Guo et al., 2026)．そこで本研究では、第一原理計算を用いて、Ni 表面における CH_4 、 NH_3 、 H_2O 由来種の吸着および素反応を解析した．各素反応の初期状態、遷移状態、最終状態を求めることで、 CH_4 の初期解離、 NH_3 分解、および CH^* と OH^* の反応など、メタン水蒸気改質とアンモニア分解が競合する反応過程について、活性化エネルギーと反応熱を評価した．これらの結果に基づき、 NH_3 添加による CH_4 水蒸気改質抑制機構を図 3 に模式的に示す．

表 1 に、Ni 表面上で進行する主な素反応の活性化エネルギーおよび反応熱を示す．まず、 CH_4 の初期解離反応に対する NH_3 由来種の影響を調べた．Ni 表面上に N^* が存在する場合、 CH_4 解離に必要な活性化エネルギーは清浄な Ni 表面に比べて大きく増加した．これは、 N^* が Ni の活性サイトを占有すると、 CH_4 の C-H 結合活性化に必要な局所的な電子状態を変化させるためであると考えられる．したがって、 NH_3 分解により生じる N^* 種は、 CH_4 の初期活性化を阻害し、メタン水蒸気改質反応を抑制する要因となる．

次に、 NH_3 分解により生成する H^* と表面炭素種 C^* の反応に着目した．Ni 表面に CH_4 由来の C^*

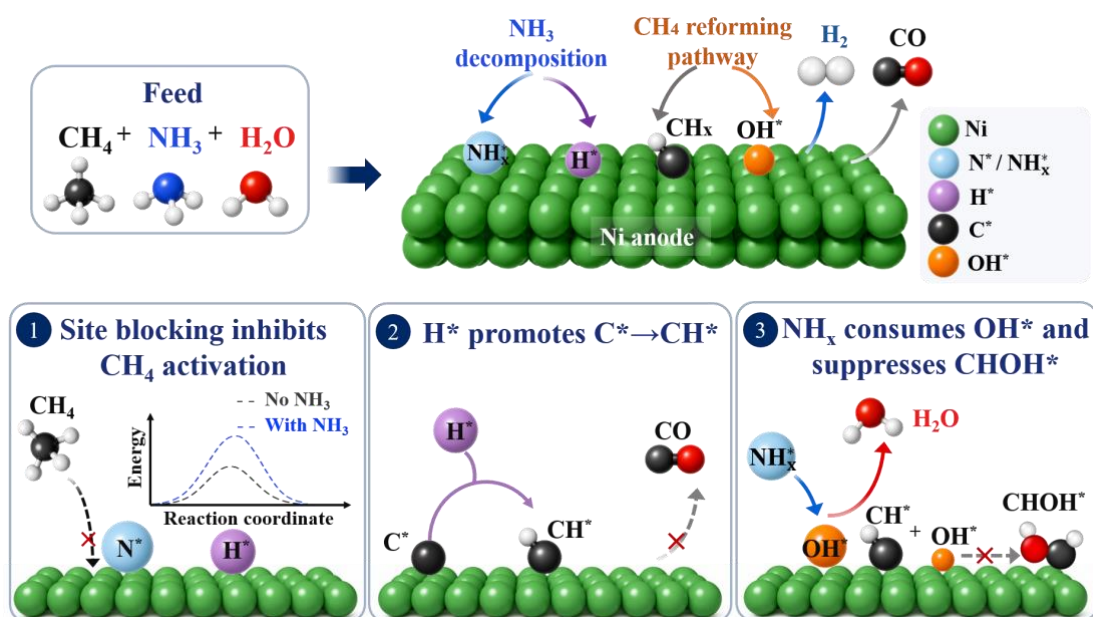


Fig. 3 Reaction mechanism for the inhibitory effect of NH_3 on CH_4 steam reforming over the Ni surface: site blocking by N^*/NH_x^* species, hydrogenation of C^* by H^* , and OH^* consumption by NH_x^* species.

が存在する場合, $\text{NH}_3 + \text{C}^* \rightarrow \text{NH}_2^* + \text{CH}^*$ 反応が進行し, NH_3 の脱水素と C^* の水素化が同時に起こる. この反応は NH_3 の単独分解と同程度の活性化エネルギーを示し, さらに発熱的であることから, C^* が存在する条件では NH_3 分解により供給される H が C^* の水素化に利用されやすいと考えられる. C^* を CO 形成に向かう経路から, 部分的に水素化された CH^* 種へと変化させることで, C-O 結合形成に向かう反応経路を阻害すると考えられる.

さらに, CH^* と OH^* の反応に対するアンモニア由来の NH_x^* 種の影響を調べた. CH^* と OH^* が反応して CHOH^* を形成する過程は, メタン水蒸気改質における重要な C-O 結合形成過程の一つである. 一方, NH_3 分解により生成する NH_x^* 種は, OH^* と反応して H_2O を生成しやすい. つまり, NH_x^* 種は CH^* と競合して OH^* を消費し, $\text{CH}^* + \text{OH}^* \rightarrow \text{CHOH}^*$ の反応を抑制する. この結果, OH^* を介した C-O 結合形成が進みにくくなり, メタン水蒸気改質反応が抑制されることが考えられる.

以上の第一原理計算から, NH_3 は単に Ni 活性サイトを占有するだけでなく, NH_3 分解により生成する H^* , N^* , NH_x^* 種を通じて, CH_4 水蒸気改質の複数の素反応を同時に阻害することが分かった. すなわち, N^* による CH_4 初期解離の阻害, H^* による C^* の水素化, さらに NH_x^* による OH^* 消費が組み合わさることで, CH_4 から CO へ至る反応経路が抑制される. このような素反応レベルの競合が, メタン・アンモニア混合燃料における CH_4 水蒸気改質反応の抑制機構であると考えられる.

4. おわりに

本稿では, SOFC 燃料極におけるメタン・アンモニア混合燃料反応を対象として, 分子動力学法および第一原理計算による分子論的解析を紹介した. 分子動力学解析から, YSZ 表面では H_2O が強く吸着して NH_3 の吸着を抑制する一方, NH_3 は比較的高い表面拡散性を示すことが分かった. また, 第一原理計算により, Ni 表面上では NH_3 分解により生成する N^* , H^* , NH_x^* 種が, CH_4 水蒸気改質に関わる素反応と競合し, CH_4 から CO へ至る反応経路を抑制することが示された. これらの結果は, メタン・アンモニア混合燃料における反応抑制が, YSZ 表面での分子吸着・拡散と, Ni 表面での素反応競合の両方に起因することを示している. 今後は, このような分子スケールの知見を多孔質電極内の反応・熱輸送モデルへ接続し, 燃料組成や運転条件に基づく反応分布制御, さらには SOFC の高効率化・高耐久化に向けた設計指針の構築につなげていきたい.

謝 辞

本研究は, JSPS 科研費 24K17215 と 21K18689 の支援を受けた.

文 献

- Guo, Y., Taniuchi, T., Nozaki, S., Kishimoto, M., Iwai, H., Experimental and molecular dynamics study on the reaction characteristics of methane-ammonia mixed fuel on SOFC anodes, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 244 (2025), 126947.
- Guo, Y., Li, Y., Nozaki, S., Taniuchi, T., Kishimoto, M., Iwai, H., A first-principles study of the effect of water on ammonia adsorption and dissociation at the Ni-YSZ interface in SOFC anodes, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 197 (2026), 152595.
- Guo, Y., Surblys, D., Matsubara, H., Kawagoe, Y., Ohara, T., Molecular dynamics study on the effect of long-chain surfactant adsorption on interfacial heat transfer between a polymer liquid and silica surface, Journal of Physical Chemistry C, Vol. 124 (2020), pp. 27558–27570.
- Iwai, H., Yamamoto, Y., Saito, M., Yoshida, H., Numerical simulation of intermediate-temperature direct-internal-reforming planar solid oxide fuel cell, Energy, Vol. 36 (2011), pp. 2225–2234.
- Teramoto, K., Iwai, H., Kishimoto, M., Kawaguchi, T., Takemoto, M., Saito, M., Yoshida, H., Direct reforming of methane-ammonia mixed fuel on Ni-YSZ anode of solid oxide fuel cells, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 45 (2020), pp. 8965–8974.

TED Plaza

1 個の液滴から分かるバイオ燃料の燃え方



安藤 詩音

九州大学 准教授
大学院工学系研究院機械工学部門
ando-shion@mech.kyushu-u.ac.jp

1. バイオ燃料と液滴燃焼

燃料の小さな一滴を燃やすと、そこには蒸発、混合、化学反応、さらには液滴の変形や破裂など、さまざまな現象が関わっていることが分かる。本稿では、バイオ燃料の燃焼を理解するために、著者が取り組んできた液滴燃焼実験について紹介する。

石油由来燃料の代替燃料として、バイオ燃料が有力視されている。バイオ燃料は、植物油や動物性油脂などのバイオマスに由来する燃料であり、原料植物の成長過程で二酸化炭素を吸収するため、ライフサイクル全体での二酸化炭素排出量を抑制できる燃料として期待されている。ただし、バイオ燃料には、用途や性質に応じて様々な種類が存在する。輸送機械用燃料としては、バイオエタノール、バイオディーゼル、SAF (Sustainable Aviation Fuel) などがあり、本稿では特にバイオディーゼル燃料に注目する。

バイオディーゼル燃料と従来の石油由来ディーゼル燃料の違いを表 1 に示す。従来のディーゼル燃料は、主に C8-C21 程度の炭化水素成分で構成される一方、バイオディーゼル燃料は、主に脂肪酸メチルエステル (FAME: Fatty Acid Methyl Ester) で構成される。このように構成成分は異なるものの、国内では JIS K 2390 などの品質規格が定められており、市場に流通するバイオディーゼル燃料については、密度、動粘度、引火点などの主要物性が従来のディーゼル燃料に近い範囲に調整されている。そのため、既存のディーゼルエンジンにも比較的適用しやすい燃料である。

一方で、構成成分の違いに起因する課題も存在する。その代表的なものの一つが酸化劣化である。バイオディーゼル燃料は、貯蔵中の酸化劣化により不溶性ガムや沈殿物が生成し、インジェクターや燃料フィルターの詰まりを引き起こす可能性がある (Pullen, et al., 2012)。

このような酸化劣化がエンジン部品に及ぼす影響については多くの研究が行われてきた (Yamane, et al., 2007 や Monyem, et al., 2001)。一方で、酸化劣化が燃焼現象そのものに及ぼす影響については、十分に明らかにされていない。実施されているとしても、主にエンジンベンチ試験に基づく運転特性および排気特性の評価にとどまっており、酸化劣化燃料が燃焼中にどのような現象を示すのかを直接観察した例はない。

そこで著者らは、バイオディーゼル燃料の酸化劣化が燃焼現象に及ぼす影響を調査する第一歩として、液滴燃焼実験を実施した。実際のディーゼルエンジン内では燃料は噴霧として燃焼するが、噴霧燃焼では微粒化、蒸発、混合、化学反応が同時に進行するため、現象の切り分けが難しい。そこで、燃料そのものの蒸発・燃焼過程を調べる基礎実験として、単一液滴燃焼実験を用いた。本稿ではまず、酸化劣化前後のバイオディーゼル燃料を対象とした液滴燃焼実験について述べる。その後、この研究をきっかけとして実施した、未加工バイオオイルの液滴燃焼実験について、研究の展開とともに紹介する。

Table 1 石油由来ディーゼルとバイオディーゼルの燃料特性

	石油由来ディーゼル	バイオディーゼル
原料	原油	バイオマス
主成分	炭化水素	脂肪酸メチルエステル
酸素含有	なし	あり
発熱量	高い (42.6 MJ/kg)	やや低い (37.8 MJ/kg)
密度	やや低い (0.82-0.86 g/cm ³)	やや高い (0.86-0.90 g/cm ³)
粘度	やや低い (2-4.5 mm ² /s)	やや高い (2-5 mm ² /s)
酸化安定性	比較的安定	劣化しやすい

2. 酸化した燃料はどう燃えるのか

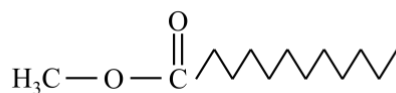
燃料として、バイオディーゼル燃料の主要構成成分である脂肪酸メチルエステルのうち、ラウリン酸メチルおよびオレイン酸メチルを対象とした。それぞれの分子構造を図 1 に示す。本実験では、これらの燃料について、酸化劣化前後での液滴燃焼挙動を比較した。得られた液滴の影画像および火炎画像を図 2 に示す。なお、単一液滴を空間中に保持するため、石英製の懸垂線を用いており、液滴画像中には細い線状の構造が写り込んでいる。観察を容易にするため、液滴の初期直径は約 1 mm とした。

図 2 に示すように、ラウリン酸メチルでは、酸化劣化前後のいずれにおいても、液滴は大きな変形や破裂を伴わず、ほぼ球形を保ったまま燃焼した。図 3 には、液滴径の二乗、すなわち d^2 の時間履歴を示す。液滴燃焼では、理想的な条件下において、液滴径の二乗が時間とともに直線的に減少することが知られており、これは d^2 則と呼ばれる。ラウリン酸メチルでは、酸化劣化前後のいずれにおいても d^2 はほぼ直線的に減少し、その傾き、すなわち液滴燃焼速度定数にも大きな変化は見られなかった。このことから、ラウリン酸メチルについては、酸化劣化が液滴燃焼挙動に及ぼす影響は比較的小さいと考えられる。

一方、オレイン酸メチルでは、酸化劣化前後で全く異なる燃焼挙動が観察された。酸化劣化前のオレイン酸メチルでは、ラウリン酸メチルと同様に、液滴がほぼ球形を保ったまま収縮し、 d^2 がほぼ直線的に減少した。これに対し、酸化劣化後のオレイン酸メチルでは、燃焼開始直後はほぼ球形を保っていたものの、時間の経過とともに液滴が大きく変形した。このような挙動は「パフイング」と呼ばれる。パフイングとは、液滴内部の高揮発性成分が加熱により気化し、内部気泡を形成した後、液滴表面から噴出する現象である。酸化劣化後のオレイン酸メチルでは、このようなパフイングが燃焼終了直前まで断続的に発生した。その結果、図 3(d)に示すように、 d^2 は単調に減少せず、増減を激しく繰り返しながら徐々に減少した。

この破裂現象が酸化劣化後のオレイン酸メチルにおいてのみ生じた原因を明らかにするため、GC/MS（ガスクロマトグラフィー質量分析）により燃料成分を解析した。その結果、酸化劣化後のオレイン酸メチルでは、元のオレイン酸メチルが分解し、様々な酸化生成物が生じていることがわかった。特に、酸化生成物の中には高揮発性成分と低揮発性成分が同時に含まれていた。例えば、低揮発性成分である 9,10-エポキシオクタデカン酸メチルの沸点が 約 660 K（推定値）であるのに対し、高揮発性成分であるミリスチン酸メチルの標準沸点は 568 K であった。このように、燃料が沸点の異なる複数成分を含む多成分燃料へと変性した結果、液滴内部の高揮発性成分が気化し、パフイングを引き起こしたものと考えられる。

(a) ラウリン酸メチル



(b) オレイン酸メチル



Fig.1 Molecular structures of (a) Methyl Laurate and (b) Methyl Oleate.

では、なぜオレイン酸メチルにおいてのみ、このような酸化生成物が顕著に生じたのか。その理由は、分子構造の違いにある。ラウリン酸メチルは飽和脂肪酸メチルエステルであるのに対し、オレイン酸メチルは分子内に炭素-炭素二重結合を一つ有する不飽和脂肪酸メチルエステルである。一般に、不飽和結合は酸素による攻撃を受けやすく、酸化劣化が進行しやすい。そのため、オレイン酸メチルでは酸化劣化により多様な酸化生成物が生じ、その結果としてパフィンングを伴う特異な液滴燃焼挙動が現れたものと考えられる (Ando, et al., 2020)。

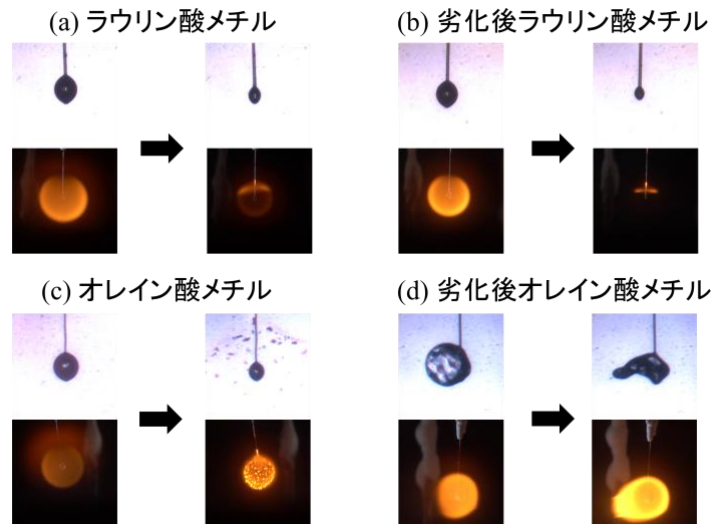


Fig. 2 Backlit droplet and flame images of (a) methyl laurate, (b) degraded methyl laurate, (c) methyl oleate, and (d) degraded methyl oleate.

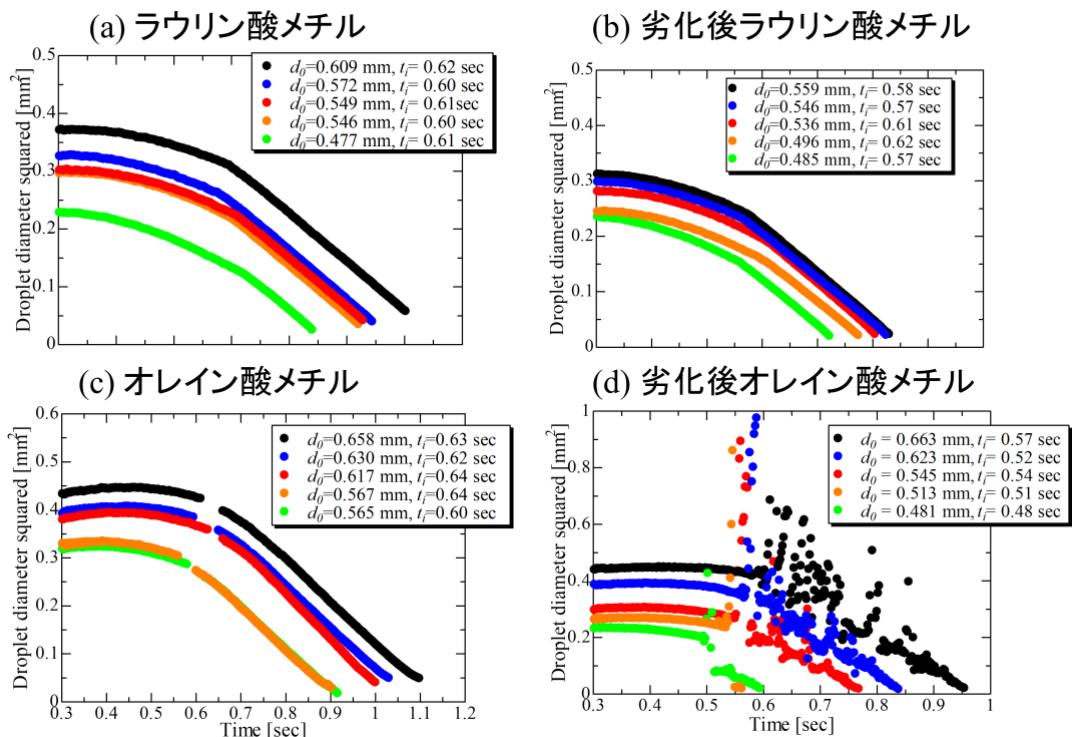


Fig. 3 Histories of droplet diameter squared of (a) methyl laurate, (b) degraded methyl laurate, (c) methyl oleate, and (d) degraded methyl oleate.

3. 未加工の植物油を燃やしてみる

以上の実験は、バイオ燃料の燃焼特性を調べる第一歩として、バイオディーゼル燃料を対象に実施したものである。バイオディーゼル燃料は、植物油などのバイオマス由来油脂に対してエステル交換などの処理を施し、従来のディーゼル燃料に近い物性を持つように加工した燃料である。このように、既存のエンジンにそのまま、あるいは比較的容易に適用できる燃料は、ドロップイン燃料と呼ばれる。

一方で、今後のさらなるカーボンニュートラル化には、燃料を既存エンジンに合わせるだけでなく、バイオ燃料の特性に合わせてエンジン側を改良・開発するという考え方も重要になる。この場合、従来のエンジンへの適用を前提としない非ドロップイン燃料の利用も検討対象となる。特に、植物油そのもの、すなわち未加工のバイオオイルを直接燃焼利用できれば、エステル交換などの加工処理に伴うエネルギー消費や二酸化炭素排出をさらに削減できる可能性がある。

そこで著者らは、未加工バイオオイルについても、酸化劣化の影響に着目した液滴燃焼実験を実施した。対象燃料として、南アジアおよび東南アジアを中心に栽培・利用されているジャトロファ油およびパーム油を用いた。

液滴燃焼実験の結果を図4に示す。ここで、バイオディーゼル燃料を対象とした実験とは異なり、パーム油およびジャトロファ油はいずれも多成分燃料であることに留意いただきたい。そのため、酸化劣化前であっても、燃焼中にパフリングが発生する。ただし、酸化劣化前後でその挙動には明確な違いが見られた。例えば、パフリングの発生時刻は、酸化劣化後の方が早くなる傾向を示した。これは、酸化により高揮発性の酸化生成物が増加し、液滴内部での気泡形成が促進されたためと考えられる。

また、パフリング発生直前には液滴が膨張し、見かけの液滴径が増大した。この破裂直前の液滴径は、酸化劣化後の燃料の方が大きくなる傾向を示した。これは酸化生成物の生成により燃料の表面張力が增大したためと考えられる。表面張力が大きい場合、液滴表面を破るためにより大きな内部圧力が必要となるため、破裂直前に液滴がより大きく膨張したのと考えられる。この傾向は、GC/MS 分析および酸化生成物に基づく表面張力の見積もりからも示唆された。

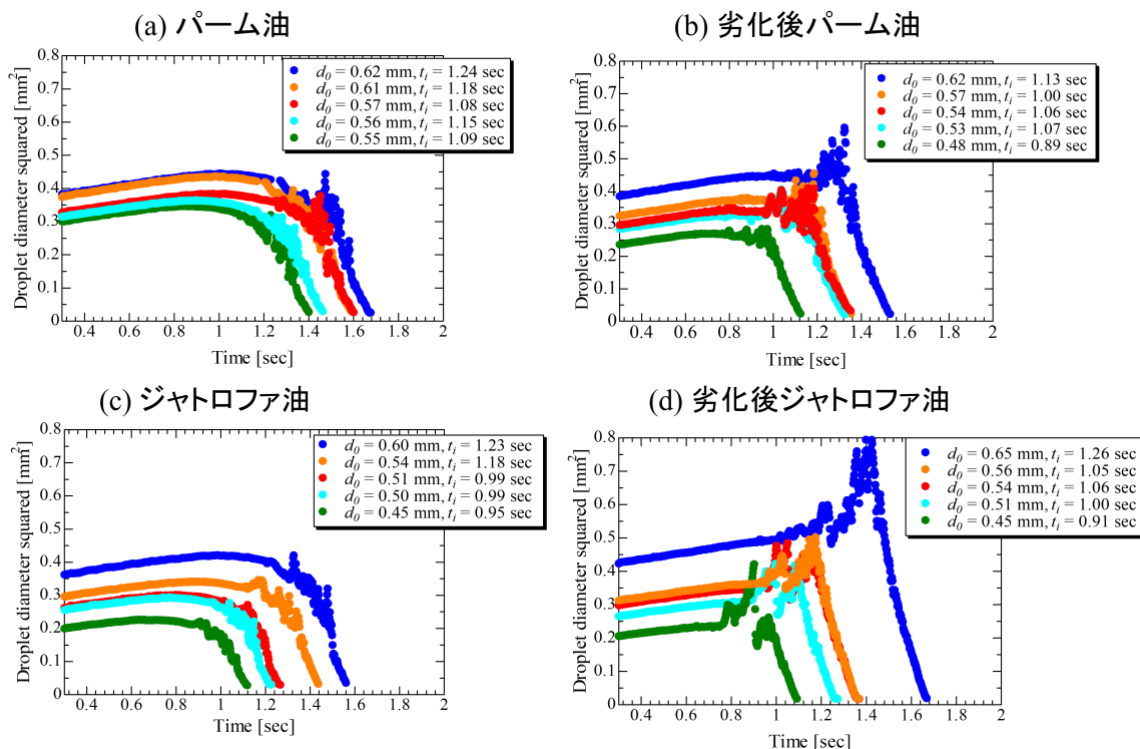


Fig. 4 Histories of droplet diameter squared of (a) palm oil, (b) degraded palm oil, (c) jatropha oil, and (d) degraded jatropha oil.

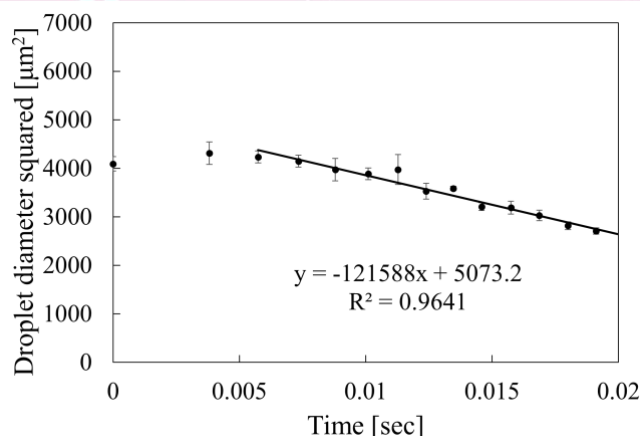


Fig. 6 History of droplet diameter squared of *n*-decane/*n*-tetradecane micrometer-sized droplet.

さらに、破裂後に生じる二次液滴の径を調査したところ、酸化劣化後の燃料では、二次液滴径が大きくなる傾向が確認された。これは、酸化劣化により燃料の動粘度が増大し、液滴が細かく分裂しにくくなったためと考えられる。

パーム油とジャトロファ油を比較すると、表面張力および動粘度の変化はジャトロファ油の方が大きく、破裂直前の液滴径や二次液滴径についても、酸化劣化前後でより顕著な変化が見られた。これは、ジャトロファ油が不飽和脂肪酸を多く含み、酸化劣化しやすいことに起因すると考えられる (Ando, et al., 2024)。

4. おわりに

本稿では、バイオディーゼル燃料から未加工バイオオイルへと対象を広げながら、液滴燃焼実験を通じてバイオ燃料の燃焼挙動を調べてきた研究を紹介した。液滴燃料は単に蒸発する液体燃料と定義づけられるものではなく、その分子構造の変化や酸化劣化によって、蒸発や破裂の仕方を大きく変えることが徐々に明らかになってきた。一方で、それが実際の噴霧燃焼でも発生するのか、発生した場合、破裂後にどのような微小液滴群へと分裂し、粒径分布がどのように変化するのかを記述するモデルが必要である。今後は、実験による観察とモデル構築を並行して進めることで、バイオ燃料噴霧の燃焼挙動をより定量的に理解していきたい。

謝 辞

本研究の一部は、日本液体微粒化学会 微粒化研究促進助成 No. 2024-01 および日本学術振興会 科学研究費助成事業 若手研究 JP24K17217 の助成を受けて実施された。ここに記して感謝の意を表する。

文 献

- Ando, S., Wu, Y., Nakaya, S., and Tsue, M., Droplet combustion behavior of oxidatively degraded methyl laurate and methyl oleate in microgravity, *Combustion and Flame*, Vol. 214 (2020), pp. 199-210.
- Ando, Shion, Shinji Nakaya, and Mitsuhiro Tsue, Effects of oxidative degradation on the single-droplet burning behavior of refined palm and *Jatropha curcas* oil, *Combustion and Flame* Vol. 259 (2024), pp. 113138.
- Monyem, A., and H. Van Gerpen, J., The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 20 (4) (2001), pp. 317-325.
- Sirignano, W. A., Fuel droplet vaporization and spray combustion theory, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 9 (4) (1983), pp. 291-322.
- Pullen, J. and Saeed, K., An Overview of Biodiesel Oxidation Stability, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16 (8) (2012), pp. 5924-5950.
- Yamane, K., Kawasaki, K., Sone, K., Hara, T., and Prakoso, T., Oxidation stability of biodiesel and its effects on diesel combustion and emission characteristics, *International Journal of Engine Research*, Vol. 8 (3) (2007), pp. 307-319.

第 104 期部門組織

熱工学部門運営委員会

●部門長

永井 二郎 福井大学

●副部門長

大宮司 啓文 東京大学

●幹事

渡部 弘達 立命館大学

●部門運営委員

日出間 るり 名古屋大学
 長澤 剛 東京科学大学
 室町 実大 横浜国立大学
 原田 祥宏 (株)リコー
 斎藤 寛泰 芝浦工業大学
 李 禮林 東京大学
 熊野 寛之 青山学院大学
 長谷川 浩司 工学院大学
 染矢 聡 東京電機大学
 田口 良広 慶応大学
 塚原 隆裕 東京理科大学
 李 艶栄 茨城大学
 能村 貴弘 北海道大学
 菊川 豪太 東北大学
 馬淵 拓哉 東北大学
 党 超鋌 福井大学
 佐野 吉彦 静岡大学
 西川原 理仁 名古屋大学
 小宅 教文 豊田中研

奥村 康 日本ガイシ(株)
 栗山 怜子 京都大学
 堀 司 同志社大学
 桑田 祐丞 大阪公立大学
 出島 一仁 滋賀県立大学
 廣川 智己 兵庫県立大学
 下栗 大右 広島大学
 上道 茜 山口大学
 井上 浩一 北九州市立大学
 オカフォー エケネチュク 九州大学
 李 秦宜 九州大学
 岡島 淳之介 東北大学
 岩井 裕 京都大学
 濱本 芳徳 九州大学
 津島 将司 大阪大学
 小宮 敦樹 東北大学
 江目 宏樹 山形大学
 飯屋 圭史 佐賀大学
 伏信 一慶 東京科学大学

熱工学部門各種委員会

●総務委員会

委員長 永井 二郎 福井大学
 幹事 日出間 るり 名古屋大学
 委員 伏信 一慶 東京科学大学
 大宮司 啓文 東京大学
 渡部 弘達 立命館大学
 岡島 淳之介 東北大学
 長野 方星 名古屋大学
 江目 宏樹 山形大学

中村 祐二 豊橋技術科学大学
 西村 真 (株)神戸製鋼所
 福多 将人 東芝エネルギーシステムズ(株)
 坂本 明洋 日本製鉄
 中山 浩 中部電力

●広報委員会

委員長 岡島 淳之介 東北大学
 幹事 秋葉 貴輝 東京大学
 委員 畑本 明彩未 青山学院大学
 神田 雄貴 東北大学
 結城 光平 山口東京理科大学

青山 祐介 北海道立総合研究機構
 山崎 匠 東北大学
 汐除 明 九州大学

●年次大会委員会

委員長 濱本 芳徳 九州大学
 幹事 川合 晃生 九州大学

●熱工学コンファレンス委員会

委員長 永井 二郎 福井大学
幹 事 福島 啓悟 福井大学

●学会賞委員会

委員長 岩井 裕 京都大学
幹 事 栗山 怜子 京都大学

●講習会委員会

委員長 江目 宏樹 山形大学
幹 事 神田 雄貴 東北大学

●日韓合同会議委員会

委員長 小宮 敦樹 東北大学
幹 事 元祐 昌廣 東京理科大学

●部門賞委員会

委員長 大宮司 啓文 東京大学
幹 事 渡部 弘達 立命館大学

●出版委員会

委員長 仮屋 圭史 佐賀大学
幹 事 森本 崇志 青山学院大学

●環太平洋熱工学会議委員会

委員長 津島 将司 大阪大学
幹 事 林 潤 京都大学

●JTST 委員会

委員長 小宮 敦樹 東北大学
幹 事 林 潤 京都大学

●分野連携委員会

委員長 伏信 一慶 東京科学大学

行事案内

部門企画行事案内

— 2026 年度 —

● [熱工学コンファレンス 2026](#)

開催日：2026 年 10 月 26 日～ 27 日

場 所：ウインクあいち，愛知県名古屋市

● [第 4 回環太平洋熱工学会議\(The 4th Pacific Rim Thermal Engineering Conference\)](#)

開催日：2027 年 3 月 14 日～18 日

場 所：Ala Moana Hotel by Mantra, ホノルル, 米国ハワイ州

部門関連行事案内

— 2026 年度 —

● [日本機械学会 2026 年度年次大会](#)

開催日：2026 年 9 月 6 日～ 9 日

場 所：東海大学湘南キャンパス，神奈川県平塚市

● [第 39 回計算力学講演会 \(CMD2026\)](#)

開催日：2026 年 9 月 14 日～16 日

場 所：大阪工業大学 梅田キャンパス，大阪府大阪市

● [第 104 期流体工学部門講演会](#)

開催日：2026 年 11 月 27 日～ 29 日

場 所：早稲田大学国際会議場，東京都新宿区

● [第 28 回スターリングサイクルシンポジウム](#)

開催日：2026 年 11 月 28 日

場 所：神奈川大学みなとみらいキャンパス，神奈川県横浜市

● [第 36 回内燃機関シンポジウム](#)

開催日：2026 年 12 月 7 日～9 日

場 所：京都大学 百周年時計台記念館，京都府京都市

国際会議案内

— 2026 年度 —

● [23rd International Conference on Flow Dynamics](#)

開催日：2026 年 11 月 9 日～12 日

場 所：仙台国際センター，宮城県仙台市

● [4th IACM Digital Twins in Engineering Conference](#)

開催日：2027 年 3 月 8 日～12 日

場 所：パシフィコ横浜，神奈川県横浜市

- [24th IACM Computational Fluids Conference](#)

開催日：2027 年 3 月 12 日～15 日

場 所：パシフィコ横浜，神奈川県横浜市

— 2027 年度 —

- [1st International Symposium on Nuclear Engineering and Energy Systems](#)

開催日：2027 年 5 月 16 日～20 日

場 所：福岡国際会議場，福岡県福岡市

- [23rd Symposium on Thermophysical Properties](#)

開催日：2027 年 6 月 27 日～ 7 月 2 日

場 所：Boulder, USA

- [5th ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference](#)

開催日：2027 年 7 月 4 日～8 日

場 所：Seoul, Korea

その他

編集後記

本号の TED Plaza では、熱工学分野でご活躍されている若手の先生方から、ご自身の研究成果についてご寄稿をいただきました。

京都大学の郭 玉婷 助教からは、固体酸化物形燃料電池(SOFC)の電極界面におけるメタン・アンモニア混合燃料反応の分子論的解析についてご紹介いただきました。分子動力学法や第一原理計算を用いた分子輸送と表面反応の解析結果について、興味深い知見をご提供いただきました。

九州大学の安藤 准教授からは、バイオディーゼル燃料の単一液滴燃焼実験をご紹介いただきました。液体燃料の分子構造の違いおよび酸化による劣化が燃焼挙動に及ぼす影響について、多くの示唆に富むお話を伺うことが出来ました。

お二人にはご多用にもかかわらず執筆をご快諾いただきましたこと、心より御礼申し上げます。

(編集担当委員：神田・汐除)

第 104 期広報委員会

委員長：	岡島 淳之介	東北大学
幹 事：	秋葉 貴輝	東京大学
委 員：	畑本 明彩未	青山学院大学
	神田 雄貴	東北大学
	結城 光平	山口東京理科大学
	青山 祐介	北海道立総合研究機構
	山崎 匠	東北大学
	汐除 明	九州大学

©著作権：2026 一般社団法人 日本機械学会 熱工学部門