

高効率で低エミッションの燃焼に関する研究 ～カーボンニュートラルの実現に向けて～



研究室紹介

堀 司*, 赤松 史光**

Research on high-efficiency, low-emission combustion
Toward the Realization of Carbon Neutrality

Key Words : low-emission, Carbon Neutrality, combustion

1. はじめに

日本が利用している1次エネルギーの約85%は石油、天然ガス、石炭などの化石燃料である⁽¹⁾。我々は発電所や自動車などのエネルギー変換システムにおいて、化石燃料を燃焼させて高温熱源として活用し、熱力学サイクルを用いて仕事を動力、電気として得ている。現在、電池の性能の向上に伴い、内燃機関や小型機器の分野において、電動化が進んでいる。その一方で、燃焼は電池に比べて、耐久性、比出力などに優れている。燃焼は電池と異なる特徴を持つため、燃焼を利用したエネルギー変換システムはなくなることはない。今後の燃焼には、燃焼に伴って排出される窒素酸化物、未燃燃料、粒子状物質などの有害排気物質を限りなくゼロとし、高効率化やグリーン燃料の活用によって、燃焼起因の二酸化炭素の排出を抑制することが求められる。

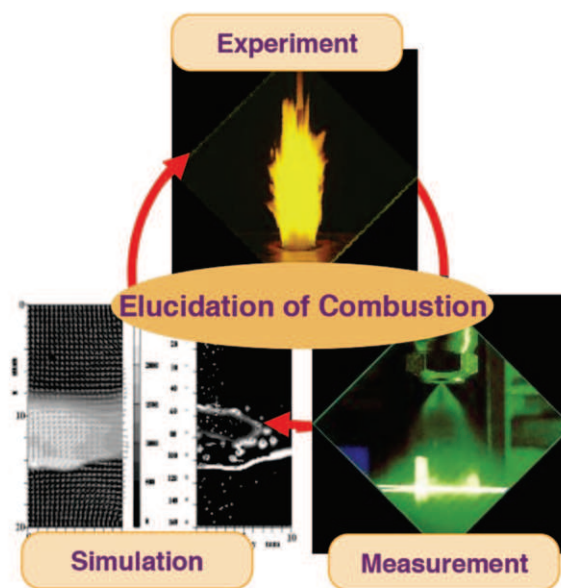


図1 燃焼工学研究室の取り組み内容

大阪大学燃焼工学研究室では、高効率かつクリーンな燃焼技術を追求するために、燃焼に関する研究を進めている。図1に実施内容を示す。研究室では基礎から実機規模までを対象とし、実験、計測、数値解析を実施し、燃焼の基礎現象解明や工学利用の拡大に資することを目的に活動している。近年では、基礎燃焼に関する研究に加え、アンモニアや水素の直接燃焼利用、バイオマス燃料利用、内燃機関の高効率化に関する産学共同研究に多数参画し、カーボンニュートラルの実現に向けた研究を推進している。

2. アンモニア・水素直接燃焼に関する研究

化石燃料の代替燃料として、燃焼しても二酸化炭素を排出しない水素が注目されている。二次エネルギーである水素の大量調達には、海外での安価な資



* Tsukasa HORI

1982年3月生まれ
同志社大学 大学院機械工学科
(2009年)
現在、大阪大学大学院 工学研究科
機械工学専攻 燃焼工学領域
赤松研究室 講師 博士(工学)
TEL : 06-6879-7253
E-mail : thori@mech.eng.osaka-u.ac.jp



** Fumiteru AKAMATSU

1966年9月生まれ
大阪大学大学院 工学研究科 機械工学
専攻 (1991年)
現在、大阪大学大学院 工学研究科
機械工学専攻 燃焼工学研究室
教授 博士(工学)
専門/燃焼工学
TEL : 06-6879-7252
FAX : 06-6879-7254
E-mail : akamatsu@mech.eng.osaka-u.ac.jp

源を利用して、水素を製造し国内に輸送することが考えられている。国内に輸送された水素は燃料電池での活用に加えて、燃焼での利用が検討されている。その一方、水素を大量に輸送・貯蔵するためには、 -253°C の超低温、もしくは常温で700気圧に加圧して液化する必要がある。液体水素を国内に輸送するために、液化水素運搬船の開発なども進められている。

このような中で、水素を国内に輸送するための水素キャリアとして、アンモニアの利用が期待されている。アンモニアは重量割合で17.8%の水素を含有しており、常温で8.5気圧程度の圧力で液化する。水素に比べて、アンモニアは容易に液化できる。さらに、アンモニアも水素と同様に、燃焼しても二酸化炭素を排出しない燃料である。アンモニアは世界で最も利用されている化学物質の一つであり、輸送や貯蔵方法については既に確立されている。最近では、アンモニアを水素に改質することなく、ガスタ

ービン、発電所、燃焼炉、船舶などで直接燃焼させる燃料アンモニアとしての利用についても期待されている。

当研究室は2014年度から2018年度で実施されたSIP「エネルギーキャリア」に参画し、アンモニア直接燃焼のテーマを担当した⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。大学内でアンモニア燃焼研究を実施するために、アンモニアの基礎燃焼実験装置に加えて、10kW級(図2)と100kW級のアンモニア燃焼炉を大阪大学吹田キャンパス内に設置した。これらを用いた実験により、酸素富化によるアンモニア燃焼特性と輻射強度の改善効果を明らかにした。さらに、図3に示すように、二段燃焼によるアンモニア燃焼時の低NO_x化を燃焼炉で実証した。これにより、燃焼炉におけるアンモニア直接燃焼の有用性を示すことができた。さらに、アンモニア直接燃焼の普及のため、既存の化石燃料を利用する燃焼炉に対して、改造を最小限に燃料アンモニアを適用する燃焼手法を提案している⁽⁵⁾。

水素直接燃焼に関しては、100kWクラスの燃焼炉を用いて、従来バーナを水素専焼に拡張する方法を検討した。さらに、フレームレス燃焼を用いて、水素専焼時のNO_x排出量を規制値以下に抑えることに成功した⁽⁶⁾。さらに、酸素水素燃焼を用いた高効率発電システムの実用化のために、酸素水素燃焼用のバーナ開発に関する研究を基礎実験および数値解析により進めている⁽⁷⁾。

なお、2018年6月18日の大阪府北部地震により、燃焼炉を設置していた施設が被災するトラブルに見舞われた。その後、大阪大学吹田キャンパスの別の建屋に燃焼炉を移設し、研究を継続している。

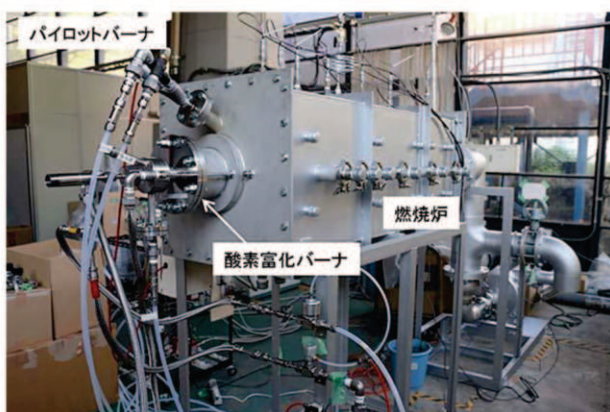


図2 10kW 燃焼炉の外観⁽²⁾

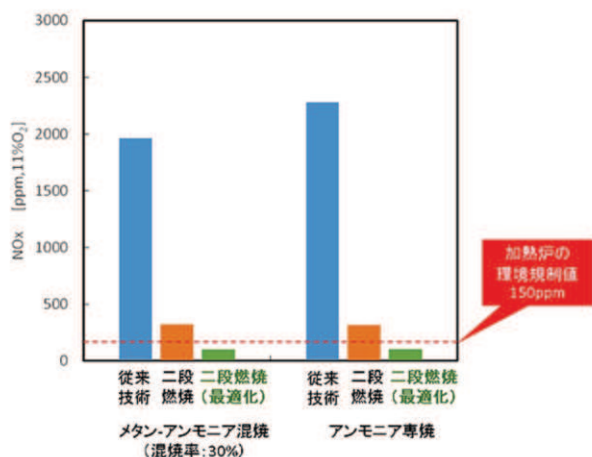


図3 二段燃焼によるNO_x低減効果⁽²⁾

3. 石炭燃焼に関する研究

石炭は二酸化炭素排出量が多い燃料であるが、埋蔵地が広く分布すること、安価なことからエネルギーセキュリティの面では日本に不可欠な燃料である。その一方で、石炭を継続利用するためには、高効率な石炭発電手法の確立、アンモニアと石炭混焼などの燃焼法を確立することが求められている。石炭発電所では、石炭を効率よく燃焼させるため、石炭を粉碎して石炭の微粒子(微粉炭)として燃焼させる。

研究室では、アンモニア石炭混焼における微粉炭

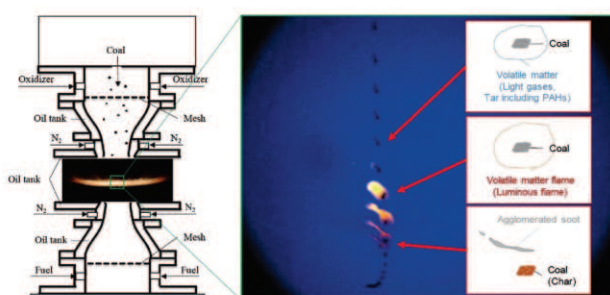


図4 対向流火炎を用いた単一微粉炭粒子の燃焼過程の撮影

燃焼のメカニズムを把握するため、単一微粉炭の燃焼過程を計測する実験系を構築した⁽⁸⁾。本装置により、微粉炭粒子が火炎で予熱されて生じる揮発ガスの放出、揮発分燃焼、チャー燃焼の微粉炭粒子燃焼の一連の燃焼過程を再現できる。従来は電気炉で単一微粉炭粒子の燃焼過程が調べられてきたが、対向流火炎を活用することで、実際の微粉炭燃焼で単一微粉炭粒子が経験する急速加熱を再現できる。微粉炭粒子燃焼の火炎パターンの特定制や揮発分火炎中のすすの計測に成功し、数値モデリングの基礎データを取得できた。

4. 燃焼の数値解析に関する研究

近年の計算機能力の向上や数値解析手法の高度化により、燃焼システムを開発する上で数値解析は必要不可欠となっている。研究室では、オープンソースコード (OpenFOAM) を対象に、独自の改良を実施し、基礎燃焼から燃焼炉や内燃機関の燃焼などの実機の燃焼までを計算することに成功している。

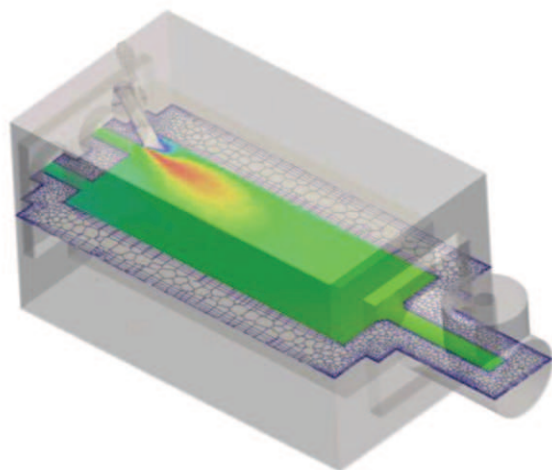


図5 実燃焼炉の計算例

燃料の反応機構、大型計算機の活用によって、未燃燃料、窒素酸化物、すすなどの排気エミッションの予測精度が改善するとともに、数年前までは困難であった計算が短時間で得られるようになった。図5は研究室内に設置した100kW級燃焼炉の数値解析結果である。実験で取得が困難な炉内の温度や化学種分布を把握できるため、燃焼改善の指針に利用している。

5. おわりに

大阪大学燃焼工学研究室では、高効率かつ低エミッションの燃焼に関する研究を進めている。小型の燃焼器から大型の燃焼炉までを対象とし、実験、非接触計測、数値解析を実施してきた。今後も燃焼から排出される二酸化炭素を削減するため、燃焼の可能性を広げる研究を進めていきたい。

謝辞

本研究の一部は国立研究開発法人科学技術振興機構戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)、自動車用内燃機関技術研究組合 (AICE) により行われた。本研究の遂行にあたり、大阪大学燃焼工学研究室の関係各位にご尽力頂いた。

文 献

- (1) 資源エネルギー庁, 令和3年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書2022), <https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper>
- (2) NEDO プレスリリース, 工業炉分野で化石燃料の代替燃料、アンモニアの社会実装に一步近づくNO_xの発生量を抑制する「アンモニア燃焼技術」を開発 (2016.10) <https://www.jst.go.jp/pr/announce/20161031-2/index.html>
- (3) Murai, R., Omori, R., Kano, R., Tada, Y., Higashino, H., Nakatsuka, N., Hayashi, J., Akamatsu, F., Iino, K. and Yamamoto, Y. Energy Procedia, 120 (2017), 325-332.
- (4) 村井, 中塚, 東野, 赤松, 日本燃焼学会誌, 61-198 (2019), 320-325.

- (5) Kikuchi, K., Motegi, T., Hori, T., Akamatsu, F., International Journal of Hydrogen Energy 47 (49) (2022) 21287-21297.
- (6) Kikuchi, K., Murai, R., Hori, T., Akamatsu, F., Processes 10 (1) (2021).
- (7) NEDO プレスリリース, 高効率な水素発電を支える基盤技術開発に着手 —発電効率 68%を実現する 1400℃ 級発電システムを開発— (2020), https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101359.html.
- (8) Shinya, S., Okada, D., Nakatsuka, N., Tainaka, K., Hori, T., Hayashi, J., and Akamatsu, F., Energy Fuels 34 (10) (2022), 12918-12925.

