

ゼロカーボン時代にむけた燃焼関連機器開発

京都大学 大学院 エネルギー科学研究科
エネルギー変換科学専攻 准教授
林 潤



創立から100周年を超える会社の技術報告書として創刊2号目に対する巻頭言のご依頼をいただき大変光栄です。私は、燃焼工学を専門としており、特に液体燃料を微粒化した噴霧の燃焼と石炭を微細化した微粉炭燃焼を対象に、実験的に現象を理解し、効率が高かつ燃焼排出物が少ない燃焼技術を開発することを目標に研究を行っております。私と日工(株)様との関係としては、噴霧燃焼、微粉炭燃焼の技術課題に対する相談を頂戴しております。巻頭言のご依頼にあたり、既存燃焼技術とこれからの時代に求められる燃焼関連機器、燃焼技術に対する内容を含めるということでしたので、広範な部分も含まれますが、ゼロカーボン時代に求められる燃焼技術に関して寄稿いたします。

産業発展以後、化石燃料から機械エネルギーや電気エネルギーを取り出す燃焼機器や、電気炉では不可能な熱負荷による物質生成や工業製品の開発における燃焼機器は我々の生活の根幹を支えてきました。現在でも、世界の一次エネルギーの供給の8割以上は燃焼技術によって賄われており、エネルギーの獲得方法、利用方法として燃焼技術の重要性は増していると言えます。

一方で、近年ではエネルギーを取り出す技術として有用な燃焼技術が、二酸化炭素の主たる排出源であることから化石燃料を用いたエネルギー獲得を廃止し、自然エネルギーからのエネルギー獲得を目指す取り組みが活発化しています。持続可能な開発目標(Sustainable development goals; SDGs)のうち7番「Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all」、9番「Industry, Innovation and Infrastructure」、11番「Sustainable cities and communities」、13番「Climate Action」[ref-1]は燃焼技術と深く関連している項目であり、二酸化炭素排出低減および環境に負荷を与える燃焼排出物を低減しつつ、効率の良いエネルギー獲得、製品製作を目指して、化石燃料から新燃料(バイオマス、水素、アンモニアなど)への転換や化石燃料を使用する燃焼機器の高効率化に関連する研究開発が世界的に進められています。

日本では、産学官の連携を図ったプロジェクトとして自動車エンジンの高効率化を目標としたSIP「革新的燃焼技術」[ref-2]が実施されました。このプロジェクトでは、目標である正味熱効率50%を達成しており、産学官の連携によってこれまでの熱効率を大幅に改善しています。この目標の達成には、燃料が希薄、かつ強い乱流条件における反応始動や、熱効率を最大化するための熱発生制御方法が課題として研究開発が進められました。また、燃焼機器の熱効率の向上と同様に近年注目を集めている傾向に、燃料転換が挙げられます。このうちの一つの傾向は、カーボンフリー燃料の利用であり、革新的燃焼技術と同様にSIP「エネルギーキャリア」[ref-3]が国家プロジェクトとして進められました。その中でも、特にアンモニアを燃料として利用する直接燃焼の研究開発は、世界に先駆けたアンモニア専焼によるガスタービンの実証、および工業炉、天然ガス混焼ガスタービンや石炭混焼ボイラ等の開発に成功しています。今後の方向性として、アンモニア専焼による運用に先駆けて、化石燃料との混焼

技術による低炭素化技術の開発が進められると考えられます。これらの燃焼機器の効率向上および燃料転換に関する取り組みは、エネルギー供給を行う分野や輸送分野だけでなく、ゼロカーボン時代において、持続可能な社会を形成するために製造分野にとっても同様に求められています。

燃焼技術は、熱負荷の高さとともに温度制御の応答性から、特に製品製造においては、他の手法に変えることが難しい技術として認識されています。炭化水素燃料の利用方法として輻射熱を用いる場合には、水素やアンモニアなどの輻射による伝熱量が低い燃料への転換は容易ではありません。したがって、低炭素化に対する取り組みは、短・中期としては、現状の燃焼機器内の燃焼現象の改善で対応する他にないと言えます。

燃焼技術のさらなる向上のためには、燃焼現象そのものを理解し、燃焼機器に合わせて適切に運用することが重要であると考えます。燃焼機器で用いられる混相燃焼技術としては、単位時間あたりの燃焼負荷を上昇させる目的で、液体燃料を用いる場合には噴霧が燃焼する噴霧燃焼、石炭などの固体燃料を用いる場合には、微細化した粒子の燃料(石炭の場合は微粉炭燃焼)が用いられます。噴霧火炎は、液体粒子が群になって燃焼反応が進行するため、同じ燃料流量、同じ酸化剤流量であっても、平均的な粒子径や粒子径の分布が異なる条件では、燃料液滴の空間的な分散、蒸発が完了するまでの時間が変化することから、温度分布だけでなく、火炎構造(すすの生成を伴う輝炎(拡散火炎)が火炎中に占める割合)が大きく変化します[ref-4]。また、微粉炭火炎中のすす生成に関しては、近年になってようやく実験室規模の火炎に対するレーザー計測が可能になってきました[ref-5]。噴霧燃焼、微粉炭燃焼ともに、分散相である燃料粒子の特性(平均径、粒子径分布)と流れ場が相互に影響を及ぼし、燃焼機器ごとにその様相が変化することから、そのまま個別の燃焼機器に適用することは困難です。

一方で、近年の計算技術の向上によって、大規模の燃焼機器の計算が可能となり、現象の解釈に基礎的な場で得られ知見を用いることが可能となってきています。このように、近年の詳細な計測、計算の結果を燃焼機器の効率的な利用のために利用できる下地が整った状況であり、経験に裏打ちされた知見とともに内部の燃焼現象を理解した試行錯誤を行うことで、ゼロカーボン時代に利用することが可能な燃焼技術の研究開発が可能になると考えています。

燃焼学において検討されている基礎的な項目が、産業における燃焼現象の解釈の裏付けとして有効に活用されて、日工(株)様の今後の研究開発が、ますます発展されますことを祈念して巻頭言とさせていただきます。

[ref-1] <https://sdgs.un.org/goals>

[ref-2] SIP「エネルギーキャリア」 ホームページ <http://www.jst.go.jp/sip/k04.html>

[ref-3] SIP「革新的燃焼技術」 ホームページ <http://www.jst.go.jp/sip/k01.html>

[ref-4] Jun Hayashi, Hiroaki Watanabe, Ryoichi Kurose and Fumiteru Akamatsu, Effects of fuel droplet size on soot formation in spray flames formed in a laminar counterflow, Combustion and Flame, 158-12(2011), 2559-2568.

[ref-5] Jun Hayashi, Nozomu Hashimoto, Noriaki Nakatsuka, Hirofumi Tsuji, Hiroaki Watanabe, Hisao Makino and Fumiteru Akamatsu, Soot Formation Characteristics in a Lab-scale Turbulent Pulverized Coal Flame with Simultaneous Planar Measurements of Laser Induced Incandescence of Soot and Mie Scattering of Pulverized Coal, Proceeding of the Combustion Institute, 34-2(2013), 2435-2443.