平成30年度研究助成 【サウンド技術振興部門】より

超音波を援用した革新的低公害燃焼器の開発

室蘭工業大学大学院工学研究科
生産システム工学系専攻
准教授 廣田　光智

1．はじめに

水素は、分子構造に炭素を持たないので燃焼排出物として二酸化炭素を排出しない低公害燃料として近年注目されている。ただし、燃やすと火炎温度が高いため、空気中の燃焼では窒素酸化物を大量に排出しやすく、何も対策をしない状態では実燃焼器で気軽に燃料として使用できない。そもそも窒素酸化物の排出抑制法は古くから研究されており、燃焼の温度をさげることで排出量を低減できることから水噴射法、排ガス再循環法、二段燃焼法、希薄予混合燃焼[1)-3)]などの方法が行われてきた。これらの方法でも、熱効率の低下、燃焼装置の複雑化、燃焼状態の安定性の低下などの欠点があり、さらなる研究が続けられているが抜本的な解決には至っていないというのが現状である。

2．「超音波」と「火炎」を干渉させたら

「超音波」を積極的に利用して「火炎」を操ろう。著者らの研究グループで10年以上続けてきた試みである。お金がないので装置の大半は自作、購入する機器も必要最低限の物だけで、なんとかその効果を実証するところから始まった。装置は図１のようなシンプルなもので、ボルト締めランジュバン型振動子（BLT、本多電子製、HEC-3020P2B）に単純段付きホーンを連結させた直径15 mmの振動面と、振動面の中心軸と同軸上に設置した同一断面積の反射面で構成する。バーナ中心軸と振動子の中心軸は直交させ、その高さはバーナ出口直上とした。振動面と反射面を38mmの間隔で対向させ、その間の空間中に超音波定在波を形成した。振動子の駆動周波数を20.4 kHzに設定した。最初に注目したのは、火炎が消えそうな限界の状態である。超音波定在波を火炎の前方に作用させると簡単に消えなくなった。この効果をうまく利用できれば、極限的に燃料濃度が薄い状態で消えやすい火炎を、安定に消えにくい火炎として維持することができる。燃費改善の革新的方法である。この効果を最大限に引き出すために、

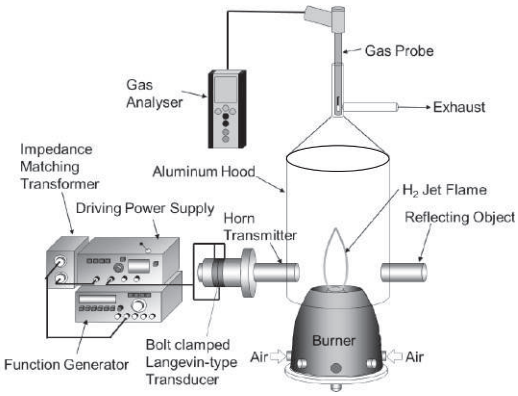

図１　実験装置概要

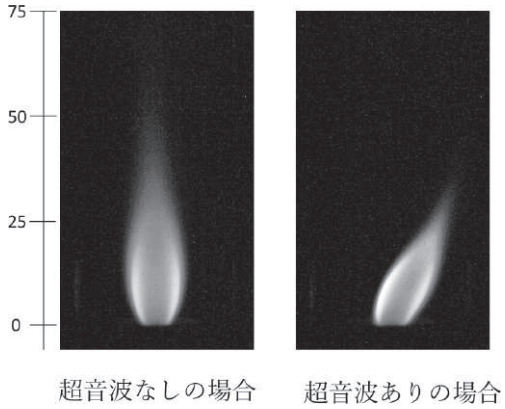

図２　水素火炎の超音波定在波との干渉の様子

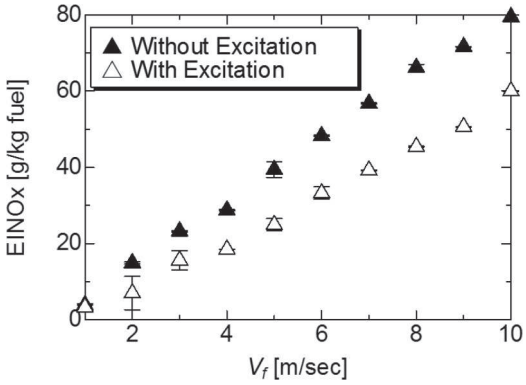

図３　水素火炎での超音波による窒素酸化物の減少

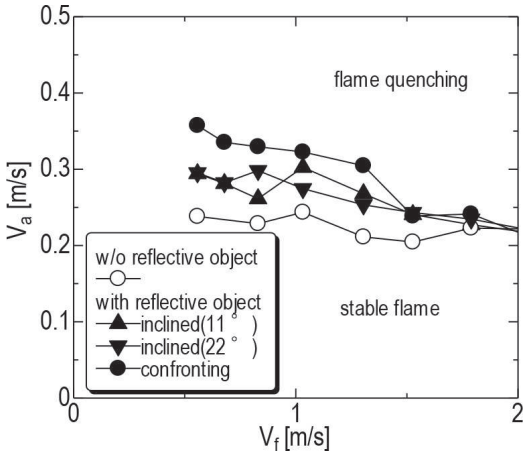

図４　反射面の違いによるメタン火炎の安定限界

火炎構造の計測装置、燃焼ガスの計測装置、超音波装置の改造と最適化など、少しづつ投資して実証してきた。「超音波」と「火炎」を干渉させたら、燃えにくいものを燃やしやすくすることができた。

これとは反対に、燃えやすいものを燃えにくくすることはできるのか。次に挑戦したのが、水素火炎である。前述したように近年注目されているがハンドリングが極めて難しい火炎である。問題となるのが火炎温度が高いという点。燃やすだけで積極的に窒素酸化物を生成してしまう。そこで超音波の指向性の高さを利用して、局所的に密度差のある流れを押し曲げて、火炎を真横から折り曲げて短くしてしまおうと考えた（図２）。火炎の長さが短くなれば高温部分が小さくなり、窒素酸化物の排出量が低減するはずである。図３は、水素火炎に超音波を作用させた場合の窒素酸化物の排出量が作用させない場合の排出量に比べてどれくらい減少したかを示した結果である。横軸が燃料流量、縦軸が窒素酸化物の排出量を表すエミッションインデックスである。図より、超音波を作用させた結果である黒プロットの方が、窒素酸化物排出量が低減していることがわかった[4)]。「超音波」と「火炎」を干渉させたら、燃えやすいものを燃えにくくすることができた。このとき、超音波定在波が火炎に作用する際の局所的な音響エネルギを最適に引き出すためには、反射面の形状や方向を適切に設定することが重要である。実燃焼器で用いるためには、この設定の有効範囲を調査しなければならない。図４は、反射面の設置角度を正対したものから徐々に角度をずらして、メタン火炎の安定限界の変化を測定した。図より、反射面が正対している方が効果が最大であること、たとえ反射面が正対していなくても反射する物体があれば安定限界が改善さ

れること、などがわかってきた。実燃焼器は周囲を囲われた閉空間中で燃焼させることが標準であることから、今回の有効範囲を加味することで、実装するために有効な知見が得られたといえる[5)]。

３．今後の展開

今回の助成によって、発生させた超音波を損失を最小限に火炎に作用させてその効果を引き出すための基礎的知見が得られた[5)]。このことは実燃焼器への実装に直結するブレークスルーになった。現在、実燃焼器で多く用いられている液体燃料噴射に対して超音波を作用させ、燃焼改善効果を実証しつつある[6)]。

一方、新たな展開にもつながった。阪神淡路大震災から新潟県中越地震、東日本大震災、熊本地震、北海道胆振東部地震など、日本列島のどの地域においても大地震の恐れがあることが近年突きつけられている。特に阪神淡路大震災や東日本大震災では、地震後の大火災や津波火災などの複合災害により、大量の犠牲者が発生してしまった。このような同時多発的火災のときは、ライフラインが倒壊することで初期消火が大幅に遅れ、容易に大規模火災に発達するという問題点が指摘されている。本研究グループは、「水を用いない消火システム」として超音波を利用することを発案している。「超音波」と「火炎」の干渉により、火炎を消火する新たな試みである[7)]。

今後も超音波の可能性を追求していきたい。

謝辞

本研究の一部は、カワイサウンド技術・音楽振興財団研究助成金によって行われました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

１）小林清志, 荒木信幸, 牧野敦, 燃焼工学:基礎と応用, pp.147 − 149, (1988).
２）仲町一郎, 庄司不二雄, ガス燃焼の理論と実際, pp.129 − 140, (1992).
３）加藤公, 紙パルプ技術協会誌, 45, pp.560 − 567, (2013).
４）増田信凜, 廣田光智, 中村祐二, 齋藤務, 畠中和明, 第54回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.120, (2016).
５）道政幸成, 豊田健吾, 廣田光智, 中村祐二, 畠中和明, 第56回燃焼シンポジウム, (2018) 12月発表予定.
６）豊田健吾, 廣田光智, 斎藤寛泰, 畠中和明, 第56回燃焼シンポジウム, (2018) 12月発表予定.
７）廣田光智, 鳥飼宏之, 畠中和明, 平成31年度日本火災学会研究発表会, (2019) ５月発表予定.