

技術コラム

液体燃料の細径管内安定燃焼

～高エネルギー密度の超小型エネルギー源の実現を目指して～

機械工学科教授 三上 真人



スマートフォンなど小型の携帯機器のエネルギー源にはリチウムイオン電池が用いられることが多いです。一方、自動車や航空機などの移動体のエネルギー源にはガソリン、軽油、ジェット燃料といった液体燃料の燃焼がエネルギー源として用いられています。これらのエネルギー源のエネルギー密度を比較すると、液体燃料のエネルギー密度はリチウムイオン電池のエネルギー密度より2桁程度大きいです(図1)。燃焼の熱を電気エネルギーに変換する際の効率を考慮しても、1桁程度大きいエネルギーを得られる可能性があります。スマートフォンのエネルギー源に液体燃料を使うことができれば・・・一週間充電不要、いや、エネルギー補給不要とできそうです。本当にそんなことはできるのでしょうか

スマートフォンなど小型の携帯機器のエネルギー源にはリチウムイオン電池が用いられることが多いです。一方、自動車や航空機などの移動体のエネルギー源にはガソリン、軽油、ジェット燃料といった液体燃料の燃焼がエネルギー源として用いられています。これらのエネルギー源のエネルギー密度を比較すると、液体燃料のエネルギー密度はリチウムイオン電池のエネルギー密度より2桁程度大きいです(図1)。燃焼の熱を電気エネルギーに変換する際の効率を考慮しても、1桁程度大きいエネルギーを得られる可能性があります。スマートフォンのエネルギー源に液体燃料を使うことができれば・・・一週間充電不要、いや、エネルギー補給不要とできそうです。本当にそんなことはできるのでしょうか

か?そのためには、狭隘な空間内での燃焼、いわゆるマイクロ燃焼、を実現できるかどうかキートンとなります。

空間内で燃焼させると、壁を通して熱が失われます。熱損失が大きくなると燃えにくくなり、条件によっては燃焼ができなくなります。熱発生量は空間の体積 V に比例しますが、熱損失量は空間の壁の面積 S に比例します。よって、熱発生量あたりの熱損失量である熱損失割合はいわゆる S/V 比に依存していて、これは空間の代表寸法に反比例します。つまり、燃焼させる空間の寸法が小さくなるほど、熱損失割合が大きくなり、燃焼させるのが難しくなるのです。だいたい3mm以下の大きさの空間内では普通は火炎を維持できません。このような燃焼が維持できなくなる空間の距離を消炎距離、管状空間の場合には消炎直径と言います。さらに、液体燃料を燃焼させるためには、狭隘な空間内で、液体を微細な粒にする微粒化を行い、液体を気体にし空気と混合しやすくする蒸発を行っただけで燃焼させなければならないため、液体燃料を用いたマイクロ燃焼はさらに困難なのです。

私の研究グループは、気体燃料および液体燃料を数ミリ程度の管内で安定燃焼させることに成功しました。金属メッシュを挿入した細径管内における火炎の定在性とメッシュによる再生予熱効果促進について実験的に調べ、静電微粒化も用いることで、触媒や外部加熱を用いることなく消炎直径程度の管内での液体燃料の燃焼を初めて実現したのです(図2)。

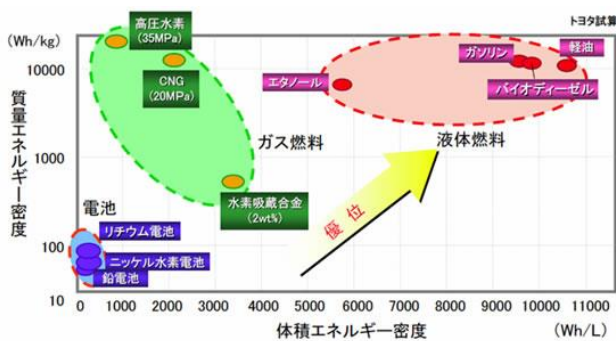


図1 エネルギー源のエネルギー密度
[上田, エネルギー総合工学 29(2007)より]

私が液体燃料を用いたマイクロ燃焼の研究を構想し始めたのは 2000 年頃でした。世界でも先例の無い液体燃料を用いたマイクロ燃焼研究を行いたいと考えたのです。当時は直径 0.3mm 程度の燃料粒（液滴）を用いた液滴燃焼を行っていました。この場合の火炎サイズは 2mm 程度ですので、それ自体がマイクロ燃焼と言えなくもないです。そこで、液滴燃焼の延長でミリサイズ空間内で液体燃料を燃焼させるアイデアをいくつか院生に遊びで試してもらいました。が、どれもうまく行かず、この研究構想は一旦断念します。卒論テーマにしようかとも考えましたが、しなくて良かったです。

その後、液体燃料の微粒化に静電微粒化技術の利用を検討し、2007 年に米国のイェール大に半年留学し、静電微粒化について教わります。帰国後、静電微粒化と気体燃料の細径管内燃焼という二つのテーマを立ち上げました。しかし、気体燃料を用いた場合でも細径管内の火炎定在化は困難を極め、液体燃料を用いれば燃料は壁面付着して燃焼はストップ、しかも、そのテーマで科研は不採択……。そのような暗闇状態でも、捨てる神あれば拾う神あり。マツダ財団から研究助成をいただきました。特に事務局長の「実現できるかわからないけど面白い！」という言葉には前に進む勇気をもらいました。

その後、博士後期課程のインドネシア留学生のリリスさんが金属メッシュを用いたことで研究は大きく前に進みます。S/V 比が大きく熱損失に苦しむ細径管内にさらに損失を増やすメッシュを挿入するなど当初は考えもしなかったことです。実は速度の大きい静電噴霧を電気捕集する目的でメッシュを管内に挿入したのです。すると、気体燃料でも実現できていなかった細径管内での火炎定在化が液体燃料を用いて実現できたのです。さらに気

体燃料を用いてみるとなんと火炎はメッシュに吸い着くように定在化されました。実は金属メッシュには、整流効果に加え、燃焼領域から壁に失われた熱を再び燃焼前の領域へと伝える再生予熱効果を促進する働きがあったのです。

この研究成果は多くの方々の温かい支援を勇気に、絶壁に見えた山に学生達がそれぞれ異なるルートからアプローチした結果の産物です。私の思いつきに振り回されながらも根気強くつきあってくれる学生達にはいつも感謝の思いです。大変嬉しいことに、研究成果をまとめた国際誌論文 (Mikami, et al., Proc. Combust. Inst. 34, 2013) は 2014 年度日本燃焼学会論文賞をいただくことができました。頑張ってくれた卒業生達への思わぬご褒美となりました。最終目標までにはまだいくつもの山が聳え立っていることと思いますが、学生達とさらにトライをして行きたいと思います。

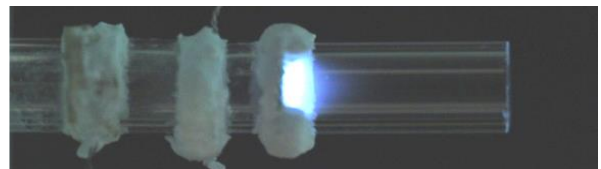


図 2 細径管内における液体燃料の燃焼