「燃 焼」に 燃 え て*

新 岡

嵩^{*1}

Fascinated by Combustion Phenomena

Takashi NIIOKA^{*2}^{*2} Akita Prefectural University, Nakano, Shimo-shinjo, Akita-shi, Akita, 010-0195 Japan**Key Words:** Combustion phenomenon, Combustor, Combustion Fundamentals, Combustion Research, High Temperature Air Combustion (HiCOT)

燃焼の研究を、大学院学生のころから数えると40年以上してきたことになる。いくら空々しくうそぶいたとしても「理解できた」とは言えないが、「楽しんだ」とは言える。ノーベル受賞者はほとんどが楽天的な人達だというから、「楽しんだ」ことは自慢していいかもしれない。ただ、同時に「翻弄された」とも言えるので威張れたものでもない。

何事も良い面と良くない面が表裏一体にあるのが一般的だから、良くない面ばかり見て苦情ばかり述べている様は感心しない。難関にぶつかったり、予算が取れなかったり、意見が対立したりするのは、研究をしていれば当然避けて通れないはずであり、「翻弄された」からこそ「楽しんだ」のであって、単に楽しんだのであればもはや研究ではない。40年以上も同じことをしていると、どうやっても我田引水になってしまうが、めげずに書くことにする。

燃焼現象は、よく言われるように、流れ・熱・化学反応の三者が相互干渉する現象だから典型的な複合現象である。しかも、化学反応は類を見ないほどの強い非線形性であるから、奇奇怪怪な現象が生まれやすい。メタン燃料の希薄な混合気内を細胞状火炎が伝ばする様や、管内の水素混合気内を毎秒1000mを超える速さでデトネーションが伝ばする様は異常な現象にほかならないし、燃焼のこのような現象は枚挙に暇が

ない。同じ条件で二つの燃焼現象が存在する場合などは、我々にとって魅惑的であり挑戦的ですからある。身近な例として、線香の燃焼領域の伝ばは二通りある。線香の先端に炎をつけながら進行する場合と、炎がないうわゆる無炎燃焼する場合の二つである。定常伝ば問題を解析して二つの解が同時に出るであろうか。有炎燃焼のほうは定常だろうか。などと考えると複雑さがよく理解できる。もっとも、解こうとすれば燃焼の中でも特に困難な現象かもしれない。

このような複雑な燃焼現象が実際の燃焼機器でも生じることが多く、問題解決を迫られ、場合によっては特異現象を活用したりしながら時代は進んできた。人類が享受するエネルギーの80%以上は燃焼によって得ている。種々の角度から見てこれに代わり得るエネルギー源は当面ないであろうし、かといって、燃焼は二酸化炭素を発生する地球温暖化の張本人である。筆者が燃焼現象の基礎を研究しつつ直面してきた実際の課題を二三比較しながら述べてみたい。よく燃焼学の基礎と実用燃焼機器は乖離しているとの議論があるが、本来的に同じ現象であるはずだから関連があるはずだという目が必要であり、そのような目を通して双方から見極めていくことが大切である。

HMX(高融点爆薬)が性能向上のために固体ロケットに使われたことがある。HMXは簡単に言えば最も強い爆薬で、こんな危険なものをロケット推進薬に入れるなどとはとんでもない話であった。実際、軽く叩けば凄まじい爆発を起こす。火をつけると穏やかに燃焼するのであるが、なぜ穏やかに燃焼するか、安全条件は何か、ロケット性能はいかに向上するかなど、かなり基礎的に積み上げた。基礎的な背景があってこそ実用に供される場合である。

* 原稿受付 2007年9月25日。

^{*1} 正員、フェロー、秋田県立大学(☎010-0195 秋田市下新城分野字街端西241-438)。

[著者略歴] 1940年8月24日生まれ。おもに燃焼工学、特に固体推進薬燃焼、活性化エネルギー漸近解析法、微小重力燃焼、高温空気燃焼、超音速燃焼などの研究に従事。航空宇宙技術研究所、東北大学流体科学研究所を経て、現在、秋田県立大学理事・副学長。東北大学名誉教授。

E-mail: niioka@akita-pu.ac.jp

実用的には高性能になったが、なぜ高性能になったか明確に把握できないため商品化を躊躇する場合が燃焼機器開発にはよくある。基礎を研究し根拠を示すとともに、基礎を捉えたためにさらなる応用が可能になったのが高温空気燃焼技術であった。工業炉の廃熱を回収し、これによって空気を予熱するとともに、排ガスを混入することによって空気を希釈する方法である。同じ酸素量を確保するためには空気流速を上げなければならない。これによって乱れは促進され均一燃焼場形成などによって NO_x が著しく削減できただけでなく、排熱回収がエネルギー効率を向上させた。あらゆる角度から検証された基礎をもとに、この技術はごみ焼却炉などに応用され、 NO_x だけでなくダイオキシンも大幅に減少できた。

意外な現象のため事故が生じ、基礎的な検証を迫られる場合もある。原子炉内の各種管内を流れる水は放射能によって極めて少量ではあるが水素と酸素に分解する。長い時間の間に滞留し、何らかの原因で発火しデトネーションへと遷移すると管の破壊に至る場合がある。何が原因で発火するか、どの程度の濃度で滞留すると燃焼に至り、どのような条件でデトネーションに至るかなどは基礎的に調べなければならない。水蒸気で希釈された高温高压の雰囲気におけるデトネーション現象はまったく未知の世界であり、まさに基礎と応用の双方から追及していかなければならなかった例であり、現在ほぼ解決の方向にある。

基礎と応用がいかに相補関係にあるか実例を挙げて説明した。当然であるが、基礎がしっかりしていないと確かなものではないし、さらなる展開もできない。決して fundamental oriented を奨励しているわけではなく、興味をもったものをしっかり研究しなければならないし、しっかりした基礎でないと役に立たない。すぐ役立つ研究はすぐ役立たなくなるのが研究の宿命である。重ねて言えば、基礎と応用は結びついていてという目が大切で、双方から追いかけないと決して良い結果が出ないことを強調したい。

実用燃焼機器を横目で見ながら基礎研究をするものにとっていささか気になるのは、最近の燃焼機器には

「火」が見えないことである。もちろん熱効率などを考え意図的に見えないようにしているであろうし、それが技術の進歩であろう。しかし、若い学生などにものづくりを奨励しながら最も魅力的なところを見せないようにするのは必ずしも頷けない。「火」が見えるようにすることがどれほど人の興味を引くであろうかという視点もあっていい。些細なことではあるが、ろうそくの炎がどれほどロマンティックであるかということの思い起こしてはどうだろうか。

燃焼は我々の最も大きなエネルギー源でありながら、同時に公害や地球温暖化の原因でもあり、時には大災害の原因になる。諸刃の剣とは燃焼のことかと思えるほどである。しかし、諸刃を許さない時代にあることを人類は強く認識している。近年、新エネルギーと称して期待感を増幅させているが、実は最も大切なのは省エネルギーであることをより強く認識しないと地球温暖化は止まらない。もちろん、新エネルギーは試行錯誤して研究・開発を進めなければならないが、いずれも化石燃料に取って代わるにはまだ程遠い道のりである。省エネルギーを強力に進めないと二酸化炭素排出量は急速には減少しない。

橋梁の崩壊事故がアメリカで起きて問題視され、日本でも点検が進められているが、予算はなかなか点検修理には行かず、新規の橋の建設に向かう。例えば適当かどうかは異論があるとしても、重ねて言うと、新エネルギーあるいは再生エネルギーが現在のエネルギー需要を満たすまでには相当の年月が必要であるにもかかわらず、それまでの温暖化防止はどう進めるのであろうか。温暖化が危機的状況だとすれば、省エネルギーのほうが実質的にしかも確かに二酸化炭素削減に一層寄与すると思うがいかがであらうか。さらなる研究は待つとしても、古い燃焼機器を最新技術のものに置き換えただけで二酸化炭素削減は膨大な量になる。二酸化炭素回収も近々大きな課題になるであろう。

いずれも経済との調整が至難である。今日までの機械工学に照らして、経済との調整などを考えなくともよい画期的なエネルギー技術がすぐ見つかるとは考え難いが、それでも諦めたくない昨今である。