



燃焼・NO_x・かれこれ10年

高 城 敏 美*

1. はじめに

火(燃焼)の利用は旧石器時代(約60万年前)に始まり, 現在も一次エネルギーの多くは化石燃料の燃焼熱に依存していることは周知のとおりである。

燃焼に関する研究は, 古くはギリシャ時代にさかのぼり, 哲学者(たとえば Aristotle)らの思考対象とされたが実証に欠けるものであったようである。実証を重んじるルネッサンス時代からの自然科学の発達と並行して多くの科学者(たとえば Francis Bacon, Boyle, Hooke, Volta, Dalton, Thompson, Rumford, Faraday, Bunsen, Le Chatelier)が燃焼研究を手がけ, その過程でさらに諸分野の科学の発達を促したであろうことは想像に難くない。Faraday (1791~1867)が晩年に行った有名なクリスマス講話「ローソクの科学」¹⁾にはローソクの火炎に関連する諸問題(ローソクの材料, 融解, 蒸発, 拡散, 化学反応, 燃焼生成物, 発光, 火炎温度, 火炎に誘起される流れ, 等おおよそ燃焼に関連するほとんどすべての問題)を実験と鋭い観察ならびに豊かな教養と深い洞察力により展開しており, 敬服させられるのである。

比較的近年の燃焼研究の動向は1945年以来2年毎に開催されてきた国際燃焼シンポジウムの Proceedings によりうかがうことができる。とくに, 1970年代になって燃焼現象以外にそれに伴う大気汚染物質(NO_x, CO等)の生成が問題化し, 同シンポジウムにおいても重点項目としての Colloquium が設けられ, 燃焼に伴う大気汚染物質の生成機構とその低減法を追求するという明確な目的指向型の研究に鎬を削ること

になる。

筆者らが小笠原光信先生の下で NO_x に関する研究を始めることになったのは1970年頃であった。

2. 燃焼・NO_x に関する 2, 3の研究

当時, 日本では自動車用ガソリン機関からの NO_x の排出が問題となっていた。しかし, われわれは基本的な機構や特性を理解するために, 直径30mm弱の焼結金属板上に安定化した予混合平面火炎を作り, 火炎面近傍および後流での NO_x 生成を調べることから始めた。天体の運動を論じるのにどんぐりの運動を調べるたどえに類似している。これにより, NO_x 生成に対する基本的な影響因子である温度と当量比(空気過剰率)の影響を調べるとともに, 化学反応速度論(chemical kinetics)を導入して実験結果の解析を行い, NO_x の生成をかなり予測できることがわかった²⁾。この結果を利用して各種燃焼条件における NO_x 生成特性や NO_x 低減法とその効果を予測した³⁾。また, その応用として, 内燃機関内で二段燃焼を行わせれば NO_x を著しく低減できることをサイクル計算と反応速度論を組み合わせで予測し, 提案した³⁾。ホンダ CVCC 機関が発表されたのはこの頃であった。機関内での不均質燃焼による効果を利用する点では並行していると思われる。また, 当時ロータリー機関等で NO_x を下げるために燃料過剰で運転し, 排出される CO や未燃炭化水素をリアクタで再燃焼させることが行われていたが, 反応速度論にさらに悪乗り(?)して, CO や未燃炭化水素の酸化特性を予測した⁴⁾。このような計算では, 場合によっては素反応を100個以上も並べて数値計算を行うのであるが, “順列・組合せ的な reaction scheme”と批判されたむきもあった。1つの

*高城敏美 (Toshimi TAKAGI), 大阪大学, 工学部, 産業機械工学科, 助教授, 工学博士, 機械工学(熱工学)

素反応の速度定数を決めるのに数年またはそれ以上を要することからむべなるかなと思われる。このような計算は当時日本ではほとんど見かけられなかったが、最近では“順列・組合せ的な reaction scheme”を用いた計算がかなり行われている（第17回日本燃焼シンポジウム（1979-12））。

その後、定常の燃焼器（加熱炉、ボイラ等）で多く用いられる拡散火炎における NOx 生成に関する研究を開始した。これは、加熱炉やボイラ等の大容量の燃焼器では NOx 排出濃度は内燃機関に比べて低くとも排出の絶対量は多いからである。予混合火炎における燃焼ガス中の NOx 生成速度は Zeldovich 機構と称される反応で予測できることが確かめられていたが、それによると、燃焼ガス温度を100°C下げれば NOx 生成速度は約1/5程度になることから、当初、NOx の制御は比較的簡単ではないかと予想していた。しかし、拡散火炎では燃焼温度を下げて予期していたほどには NOx 生成速度が下がらないことがわかってきた。その理由として、①反応帯近傍ではO原子濃度の非平衡性を考慮する必要があること、②炭化水素を燃料とする場合は炭化水素の分解過程で生じる fragment と N₂ の反応により HCN が生成され、それが NOx に変換されていく過程が、特に拡散火炎では極度に燃料過剰域が存在するために重要となることを指摘した⁵⁾⁶⁾。これらの結論は炭化水素を燃料とする拡散火炎における NOx 生成を予混合火炎におけると同様の Zeldovich 機構を用いて議論し、解析してたいくつかの内外の研究に問題があることを指摘したことになり、多くの質問と反論を受けた。しかし、我々は火炎中に高濃度の HCN が存在することを確認していることから上の結論が当然であると考えており、最近ではそれを支持する結果も報告されつつある。

上の基礎研究と並行して鉄鋼設備窒素酸化物防除技術開発基金よりかなりの助成を受けて、比較的大型の実験炉を作り、炉内の大型拡散火炎における NOx 生成特性と低減に関する知見を得るための試験を行った⁷⁾。天体の運動を論

じるには天体の観測が必要であるとの考えと対応する。当時、東京からさる有名な先生が見学に来られて、「この試験装置は君の雰囲気には似合わないね。」と言われたがその意味は明確ではない。ただ、試験装置の製作と実験の経験が現在の研究の発想につながり、また附属した比較的高価な計測器はその後の研究に威力を発揮していることは確かである。

その他の NOx に関する研究としては燃料中に含まれる窒素化合物からの NOx 生成⁶⁾⁸⁾がある。これは今後ますます広く使われると予想される重質油や石炭の燃焼の際にまず問題となるものである。この問題の話を進めるとまた自画自賛的になりそうなのでこの辺で筆を置かせていただく。

3. むすび

以上の研究は化石燃料の燃焼を前提としたものであるが、燃料資源は遅かれ早かれ枯渇することは確かであろう。現在の生活は長い年月の間に地球上に蓄積された資源を不可逆的に消費することによって成り立っていると考えられ、もし、化石燃料が枯渇するまでに代替の一次エネルギーを開発できていなければ、現世代の人々は長い年月で蓄積された資源を短期間に浪費してしまったと後世の人々に批判されるのではなかろうかと考える。燃焼に代る一次エネルギーの開発・進展を期待する次第である。

文 献

- 1) Faraday, M., The Chemical History of a Candle, (1861), ローソクの科学 (矢島祐利訳) 岩波書店 (昭39)
- 2) 小笠原, 高城ほか, 機械学会論文集, 39—327 (1973)
- 3) 小笠原, 高城ほか, 機械学会講演論文集, (1973)
- 4) 高城, 小笠原ほか, 機械学会論文集, 40—337 (1974)
- 5) Takagi, T., Ogasawara, M. ほか, 15 th Symp. (Int.) on Combustion, (1975)
- 6) Takagi, T., Ogasawara, M. ほか, 16 th Symp. (Int.) on Combustion, (1977)
- 7) Takagi, T., Ogasawara, M. ほか, ASME Paper 78-WA/Fu-2 (1978)
- 8) Takagi, T., Ogasawara, M. ほか, Combustion and Flame, 35 (1979)