

図1 水素空気混合気で満たされた管内(2次元)を伝播するデトネーション。二つの時刻の等圧力線図で示されている。数字は圧力比で破線は火炎面を示す。

火を見るのは明らかか

工学部原動機工学講座

滝

史郎

燃焼は太古の昔から将来にわたって人類が生きてゆくのに不可欠の技術である。激しく音をたてて燃える炎はどんな形をしているのだろうか。よく見慣れているはずの「火」は燃焼の研究者にとってもいまだよくわからないことの多い存在である。

最近、燃焼に対するイメージはあまり良くない。大気汚染の悪役、窒素酸化物やス、さらには炭酸ガスは地球温暖化の一因とされ、環境は悪化する一方である。しかし残念ながら燃焼に対する知識水準が今日よりかなり上がったとしても、完全に無くすることは無理である。むしろ資源や生産物の浪費を抑える社会的な規制や誘導をすることが改

善策の基本で、環境問題では自然科学や技術は従の立場にある。弁解はさておき、私たちは燃焼を生産活動から生活のすみずみにまで利用しており、これなしには生きてゆくことができない。人類がこの地上に誕生して以来、火の利用は自らの発達に不可欠の要素であったと言われている。その昔から人類は様々な姿をみせる「火」とつきあってきたが、そこに神々しさを見ただろうか、妖怪を見ただろうか。実際、生命現象の神秘さと比べたらずっと簡単だろうが、火炎はなかなかその本当の姿を我々の前に現してはくれない。たとえ音速の何倍もの速度で飛ぶ飛行機の動力ジェットエンジンでも、その燃焼器の設計だけはいまだ全く経験に依存せざるを得ない。乱流混合、乱流燃焼の過程はまだ理論的に扱える段階ではなく、特に乱流火炎については

その形状すらよくわかっていないのが現状である。

超高速の火炎

—デトネーション—を見る

強い燃焼である乱流燃焼よりさらに高速の燃焼モードがある。デトネーションと呼ばれる。百年余り前に炭鉱の粉塵爆発の研究で見られたものである。十メートルもある長いガラス管の中に燃え易い混合気、例えば水素酸素混合気を入れて一端で点火すると、人の目には長い管全体が一瞬光ったように見えるだけである。火炎が十メートルをわずかに三分の一秒程で伝播してしまうからだ。この火炎は先頭に強い衝撃波をもち、事故でこれが発生すれば、よほど堅固な建造物でも破壊してしまう力がある。衝撃波は高速で気体を押し出したときに発生し、日常的にはあまり出会わないが、爆発時に発生する爆風や、飛行機が上空を超音速で飛ぶときにソニック・ブームとよばれる爆発音として聞くことがある。衝撃波はなめらかな形になり易く、デトネーション前面の衝撃波も平らな形と考えられてきたが、実際は複雑な形状で時間変化している波であることが三十年ほど前に明らかにされた。高速の波の観測には種々の工夫と計測技術が必要であった。特に当時の新技術であったルーベラーとQスイッチの組み合わせはかなり詳細な観察を可能にした。その約

十年後に、当時ようやく構造物の強度解析に力を発揮し始めていた大型のコンピュータを用いて、このデトネーションを筆者が初めての数値計算によってシミュレートし、近年のこの分野における研究手法の一つの基礎をつくる事が出来た。図1は当時の計算結果の一部である。水素空気混合気で満たされた管内を図の下から上へ伝播しているデトネーションの前面付近の波形を、二つの各時刻の等圧力線図で示してある。破線は火炎面である。

乱流火炎を見たい

デトネーションはたいへん高速の現象だから計測や解析が難しいというわけではなく、むしろ一般の乱流火炎より簡単とも言える。デトネーションは基本的に衝撃波と燃焼反応の干渉に支配された現象であるが、通常の火炎は燃焼反応が種々の化学的活性種の拡散現象や熱伝導などに支配され、それが乱流と干渉する複雑な現象だからである。最近ようやくこの乱流火炎が少しずつその正体を現し始めてきた。ここでもレーザー計測が大きな役割を果たしている。例えば、非常に強力なレーザー光の細いビームを平円筒形のレンズでシート状にして極めて短時間火炎に照射し、その蛍光だけを映し出すことによって火炎の瞬時の断面形状を一応見ることができるようになった。しかしこのような測定のためには、計測

設備への多額の初期投資と運転資金、熟練した技術スタッフが必要で、現在の日本の貧困な大学では夢かも知れないが、せめて国内に一方所でも欲しいものである。

数値計算によって調べることも始められている。図2は最近筆者が行った計算結果の一例である。水素空気混合気中の一点で点火すると火炎が球形に広がって行く。その球状の火炎に弱い衝撃波を図の左側から当たったときの様子を等密度線図で示してある。火炎は変形し、火炎面は不安定になり乱れが多数発生しているのが見られる。火炎面付近にできる気流の乱れによって、やがて乱流燃焼に発達すると考えられる。しかしこの計算では円筒対称を仮定しており、本質的に三次元的な乱

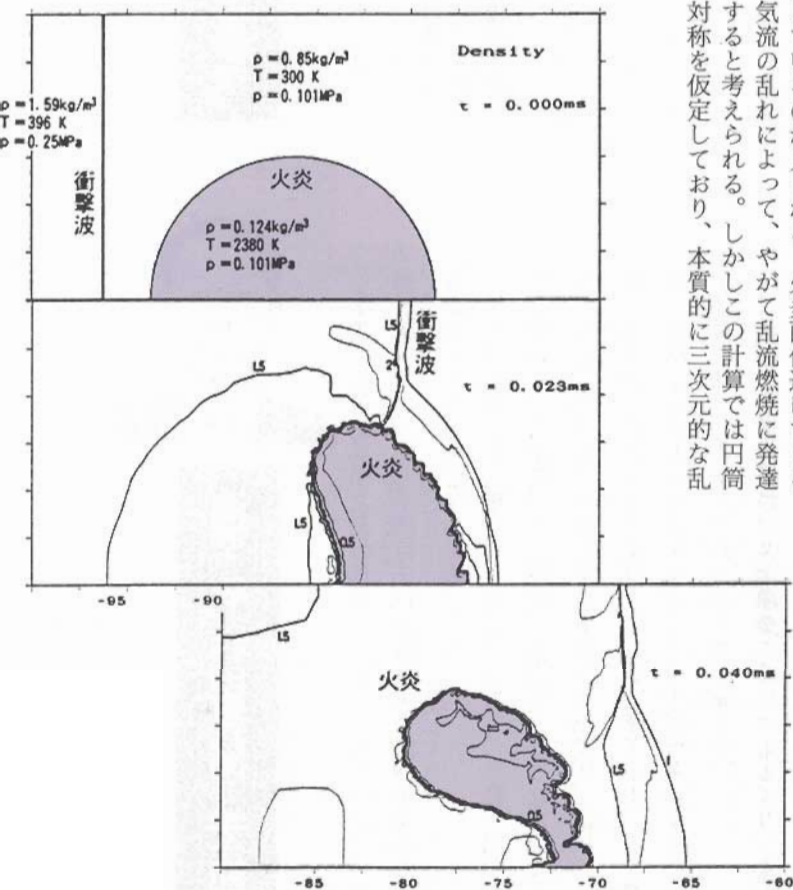


図2 水素空気混合気中を球状に伝播している火炎に衝撃波を当てたときの火炎の様子。等密度線図で示され、線の特に込み合ったところが火炎。火炎の大きな変形と同時に、火炎面に多数の乱れが見られる。

流現象に強い制約を与えている。三次元の数値計算で乱流燃焼をシミュレートするには大型計算機的能力が少なくとも今日の千倍は必要と思われる。燃焼の化学反応はデトネーションのような高速現象が可能なほどに速い反応であるため空間的にも時間的にも大変細かく追跡しなければならぬからである。

人類の長い燃焼研究の歴史もいまだ現象論的な扱いからあまり抜け出せないでいる。妖怪がいろいろな様相をして、我々を嘲笑っている。