

円筒内部の燃え拡がり —消炎限界近傍の燃焼特性—

1. はじめに

—固体表面の燃え拡がり

燃え拡がりとは可燃性の液体や固体などの表面で火炎が形成され、その燃焼領域が拡大していく現象である。固体表面上の燃え拡がりについては、これまでに多くの研究がなされており、その燃焼特性や消炎限界は詳細に調べられている⁽¹⁾。しかし、そのほとんどは開空間に置かれた平板の固体表面を対象としており、異なる境界条件を持つ場合、たとえば円柱外側や円筒内部の燃え拡がりについて調べられた例は少ない。流路の境界条件が異なれば、流れ場や火炎と固体間の伝熱特性が変化し、それにともなって燃焼特性も変化する。図1は平板上の燃え拡がりや円筒内部の燃え拡がりの概念図を示したものである。平板の場合は固体に対して鉛直方向は開いており浮力による自然対流が誘起される。一方、円筒内部の場合、流路は固体によって閉じているため系外から流入する自然対流は制限される（内部にも自然対流は誘起されるが、後述するとおり火炎に対する影響は小さいと考えられるため省略した）。燃え拡がりを完全に理解するには、開空間の平板だけでなく、固体形状の影響すなわち流路境界条件の影響も含めて考えなければならない。

2. 円筒内部の燃え拡がりの消炎限界

著者はこれまで円筒形状の固体燃料を用いて、その内部を燃え拡がる火炎の消炎限界について研究してきた。円筒内部の燃え拡がりではその消炎限界近傍での火炎の挙動が平板のそれとは異なる特徴をもつ。平板の場合、酸化剤の流速を増加させていくと、ある限界流速よりも大きくなったところで火炎は消える。これを吹き飛びという。一方、円筒内部の場合で特に内径が小さいときには、限界流速以上でも吹き飛びは見られず、固体燃料が溶融することで形成される流路拡大部で保炎される（図2）。流路拡大部での保炎機構はステップ後流に形成された循環流によるそれとよく似ており、その遷移条件は平板の吹き飛び限界と同様、ダ

ムケラー数で整理できる⁽²⁾。

酸化剤流速が小さいときには、低速冷却限界と呼ばれる消炎限界が観察される。低速冷却限界は火炎先端付近における反応領域への酸化剤分子の供給が不足することで起こる。平板の場合、通常重力下では自然対流が誘起されるため固体表面に沿った酸化剤流速はある程度より小さくすることはできず、低速冷却限界を観察することはできない。円筒内部の場合にそれを観察することが可能なのは、燃焼場が閉じた狭い空間であるため誘起される自然対流が小さくなるからだと考えられる。また、重力の影響が小さいため流速を小さくするだけで容易に拡散支配の火炎を形成することができ、低速条件では図3に示した球状の火炎が観察できる。それだけでなく、円筒内部の流れはよく知られたハーゲン・ポアズユ流れであり、その制御も容易である。

3. 新規固体燃料の燃焼特性解明のツールとして

近年、地球温暖化や化石燃料の枯渇の問題を背景に、木材や廃棄物同形燃料（Refused Derived Fuel：RDF）などの再生可能なエネルギー資源が注目されている。これらを有効に活用するためにはその燃焼特性を理解し制御する必要がある。従来ではRDFなどの単一ペレットの燃焼特性を調べるために、平板の燃え拡がりやよどみ点流れ場で燃焼させるなどの方法が用いられてきた。しかし、これらの方法はいずれも外乱の影響が大きく、とくに低速冷却限界近傍の燃焼特性を調べるには適していない。一方、円筒内部の燃え拡がりでは自然対流などの外乱が小さいため、簡便に低速冷却限界まで観察することができる。今後RDFなどの新規固体燃料の需要はますます増加することが予想されるが、その消炎限界近傍の燃焼特性を調べるツールとして本燃焼方法は有用であると言える。

RDFや木材などは微細な空隙を有する多孔質固体であり、空隙内部の物理過程がその燃焼特性にも影響を与えらるると考えられる。小さな空隙内部の現象を実験的に観察することは困難であ

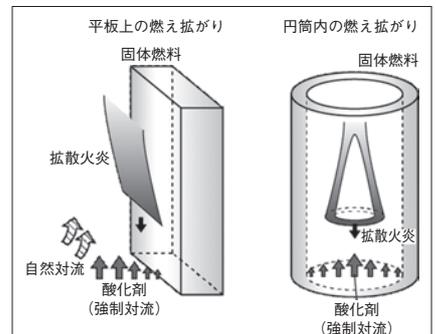


図1 平板上の燃え拡がりや円筒内部の燃え拡がりの概念図

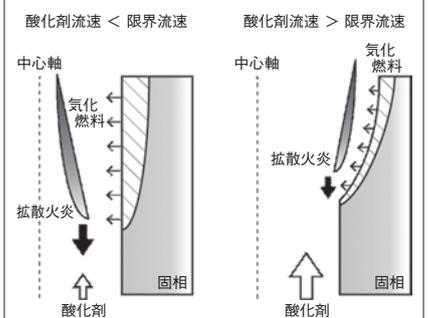


図2 限界流速以上での保炎機構

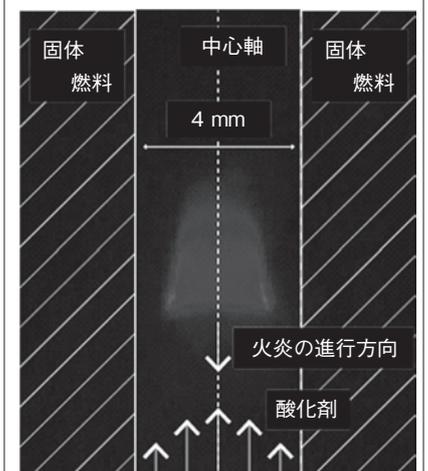


図3 低速冷却限界近傍で観察される半球火炎

るが、円筒内部の燃え拡がりの消炎限界をこれらのスケールまで拡大することができれば、観察が容易なスケールで空隙内の現象を再現し得る可能性もある。

(原稿受付 2013年4月26日)

[松岡常吉 豊橋技術科学大学]

●文献

- (1) Wichman, I.S., *Prog. Energy Combust. Sci.*, **18** (1992) 553-593.
- (2) Matsuoka, T., Murakami, S. and Nagata, H., *Combustion and Flame*, **159** (2012) 2466-2473.