

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 佐宗祐子

本論文は Studies on Flame Inhibition Mechanisms of Fire Suppressants with Detailed Chemical Kinetics (詳細反応速度論に基づく消火剤の火炎抑制機構に関する研究) と題し、火炎抑制機構における物理的機構と、連鎖担体を捕捉する化学的機構の寄与を、層流火炎を用いた実験と、詳細反応速度論による数値計算によって検討し、新規消火剤の開発指針を与えたもので、全7章からなる。

第1章は、高性能でクリーンな消火剤として広く利用されてきたハロン消火剤の生産が、成層圏オゾン層の破壊を防ぐ目的で禁止されたこと、代替消火剤として開発されたものはいずれもハロン消火剤より著しく消火性能が劣っているため、現在、ハロンと同等の性能を有する次世代消火剤の開発が切望されていることを述べている。さらにこれまでの新消火剤開発は、経験の蓄積に依るところが大きいことから、火炎抑制の理論に基づく合理的な新消火剤開発のため、消火剤の詳細反応過程を考慮した基礎燃焼研究が不可欠であるとし、したがって本研究では、消火剤の火炎抑制機構について、流れ場の単純な層流火炎を用いた実験および数値計算により検討すると述べている。

第2章では、火炎抑制機構の研究に先立ち、先ず、既存の実験室規模の消火性能試験法の評価を行っている。同軸流の液体燃料拡散火炎であるカップバーナー火炎と、液体燃料表面上に形成される対向流拡散火炎の性状を実験的に比較し、対向流火炎法はカップバーナー法より測定条件が消炎限界に与える影響が小さく、数値モデリングとの比較も容易であることから、火炎抑制の基礎研究に、より適していることを示している。しかし同時に、カップバーナー火炎を用いて測定した消火剤の消炎限界濃度(消炎濃度)が低伸張率の対向流拡散火炎に対する消炎濃度と良く一致することから、カップバーナー法であっても測定条件が一定であれば、一次元火炎の数値モデリングとの比較は可能であるとしている。

第3章では、トリフルオロメタン (CHF_3) による火炎抑制機構を、精度の良い対向流二重火炎法を用いた実験と、詳細反応過程を考慮した数値計算を用いて検討し、 CHF_3 が燃焼の早い段階で顕著な化学的火炎抑制効果を有することを明確に実証し、また反応経路解析により、多くの含フッ素化学種が、燃料消費帯で水素原子を捕捉しフッ化水素を生成することを示している。

第4章では、トリフルオロブロモメタン (CF_3Br) とフッ化炭化水素類 (HFC) による化学的火炎抑制の特徴を調べている。その結果、 CF_3Br と不活性消火剤の間に消火性能の顕著な相乗効果が認められること、また HFC と不活性消火剤との間には同様の相乗効果が見られないことを示し、これら相乗効果の有無は、化学的消火剤の火炎抑制効果の温度依存性の有無に起因することを明らかにしている。

第5章においては、様々な火炎抑制剤を添加したメタン混合気について、不活性ガス成分 (N_2 と Ar) の割合を変化させることにより火炎温度を制御し、求めた層流燃焼速度と総括反応速度の関係を利用してアレニウス型のプロットを作成すると、 CF_3Br のように抑制反応の過程で主要な抑制化学種が再生する負触媒抑制剤では、火炎抑制効果に温度依存性が存在する、すなわち抑制剤の添加により燃焼反応の総括活性化エネルギーが増大することを示している。一方、抑制化学種が再生されない HFC では、抑制効果に温度依存性が見られず、抑制剤の添加により総括頻度因子のみが低下することを明らかにしている。気相燃焼の総括反応に関するアレニウス型のプロットの切片および傾きとして求められる総括頻度因子変化と総括活性化エネルギー変化が、各々の抑制剤の非触媒的捕捉効果と負触媒効果の定量的指標となることを初めて提案している。また、これらの結果などから、高性能消火剤を、不活性消火剤との混合消火剤として利用するのが合理的であることを示している。

第6章では、より一般的な燃料である液体メタノール上の対向流拡散火炎の消火剤添加による応答について、液相での熱損失の影響を考慮した実験および数値計算を行い、数値モデルによる N_2 、 CHF_3 、 C_3HF_7 の消炎濃度の予測値は、液体燃料では初めて実験値とよ

く一致したことを示している。

第7章はまとめの章であり、これまでの結果を総括し、また抑制剤の添加による物理的効果と、総括頻度因子ならびに総括活性化エネルギーの変化等から判断される抑制剤の化学的効果を定量的に把握して、新規消火剤を開発する重要性を結論づけている。

以上要するに、本論文は、火炎抑制機構における物理的機構と、連鎖担体を捕捉する化学的機構の寄与を、層流火炎を用いた実験と詳細反応速度論による数値計算によって検討し、新規消火剤の開発指針を与えたもので、燃焼工学、安全工学、化学システム工学に貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。