

審査の結果の要旨

氏名 富塚孝之

本論文は、「数値シミュレーションによる可燃性ガスの爆発危険性解析」と題し、可燃性ガスのガス爆発時の爆発危険性予測手法を提案しており、全6章からなる。

第1章は緒言であり、研究の背景と既往の研究について述べている。研究の背景としては、可燃性ガスによる爆発事故の事故統計を示すとともに、水素やDME（ジメチルエーテル）などの今後の利用拡大についても言及し、ガス爆発の危険性評価の必要性を述べている。既往の研究については、乱流予混合火炎の既往の研究、特にモデル化についてまとめている。既往のモデルでは火炎の乱れを計算するために微小な計算格子幅が必要となり、実規模スケールの爆発現象を再現するマクロスケールの計算が困難であることを課題として示している。

第2章では、研究の目的について述べている。マクロスケールに適用できる予混合燃焼モデルを確立し、マクロスケールにおける爆発危険性予測手法を提案することを研究の目的とすることを述べている。

第3章では、予混合燃焼モデルの検討について述べている。火炎伝ばモデルでは、自発的乱流化の主原因となる火炎の不安定性について検討している。火炎の不安定性による乱れの発生および成長は現象的にミクロスケールであることから、実規模スケールの爆発現象を再現するようなマクロスケールでのシミュレーションは既往の火炎伝ばモデルでは非常に困難である。そこで、火炎の不安定性による自発的乱れの挙動について、フラクタル理論を導入することにより火炎の詳細構造の計算が不要なモデルを構築している。大きな計算格子幅で火炎の追跡計算が可能な反応進行度モデルにこのモデルを組み合わせることで、マクロスケールでの実用的な計算が可能なフラクタル火炎伝ばモデルの構築を達成している。

第4章では、実スケール実験との比較検証解析について述べている。構築したフラクタル火炎伝ばモデルの妥当性を確認することを目的とした、実スケールの大規模燃焼実験との比較検証解析結果が示されている。比較検証は、DME-

空気混合気および水素-空気混合気の大規模燃焼実験に対しておこなわれ、いずれの場合もフラクタル火炎伝ばモデルを用いた計算結果と実験結果が良く一致することが示されている。また、比較のために既往の汎用計算モデルで用いられている乱流燃焼速度式を使用して計算をおこなっており、本論文で提案したモデルの計算結果の方が飛躍的に精度が高いことを確認し、提案したモデルの優位性を示している。さらに、計算格子幅の適応範囲についても検討し、20cm以下の計算格子幅で実用的な精度の解析が可能であることを述べている。

第5章では、爆発危険性解析の安全性評価への適応事例について述べている。将来の設置が検討されているDMEスタンドの安全性評価として、DMEの漏洩、爆発事故シナリオに対して、本研究で提案しているフラクタル火炎伝ばモデルを用いてシミュレーションをおこなった結果について述べられている。シミュレーション結果から得られた火炎到達距離などから周囲への事故時の影響の大きさが推定でき、保安距離の設定等が可能であることが示されている。このように現実の問題についても、本モデルが適用可能なことを確認している。

第6章は、総括であり、第1章から第5章の内容の要約を述べると共に、本論文においてマクロスケールで取り扱うことができるフラクタル火炎伝ばモデルを確立し、実規模スケールに適用できる爆発危険性予測手法を提案できたことを述べている。さらに、爆発危険性予測手法としての今後の課題についても考察している。

以上のように本論文では、実規模スケールの爆発挙動の予測が可能な爆発危険性予測手法を提案している。実規模スケールでは必須となる不安定性による火炎の乱れの発生・成長現象を考慮した火炎伝ば挙動の予測について、フラクタル理論を適用することで、比較的大きな計算格子幅で精度良く計算可能なモデル（フラクタル火炎伝ばモデル）を確立するとともに、大規模実験のデータとの比較をおこなうことでこのモデルの妥当性を検証している。このように本論文で得られた結果は、実規模スケールでの火炎伝ばを予測し、爆発危険性予測・評価をおこなう上で非常に重要であり、安全工学、燃焼学、化学システム工学への貢献が大きいものと考えられる。

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。