

審査の結果の要旨

氏名 金 佑 勁

本論文は、「Flame Acceleration and Blast Wave Generation in Accidental Gas Explosions (ガス爆発における火炎伝ばの加速と爆風の発生)」と題し、全7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、及び本研究の目的について述べている。研究の背景としては、可燃性ガスを扱う種々のプロセスで発生し大きな被害を出しているガス爆発事故について、現象を十分に理解し的確に事故の防止や抑制をおこなうことの重要性が述べられている。ガス爆発は、可燃性予混合ガス中を火炎が伝ばする現象であるが、種々の原因で火炎に乱れが発生し、火炎伝ばが加速され被害が増大することが述べられている。例えば、ガス爆発時に広範囲に被害を及ぼす爆風は、火炎伝ばの加速により強度を増すが、既往の研究ではこのような効果を含めて的確に爆風強度を予測できていないことを問題点として指摘している。以上を受けて、本研究では、ガス爆発時の火炎の乱れの自発的な発生と火炎の加速現象を解明するとともに、発生する爆風強度の評価方法の検討を目的とすることを述べている。

第2章では、実験の方法について述べている。実験は、小スケールと大スケールの2系統をおこない、小スケールの実験では石けん膜中に可燃性混合ガスを充填し、大スケールの実験では薄いビニールシートで作成した立方体のテント中に可燃性混合ガスを充填して中心で点火してガス爆発を発生させたことが説明されている。また、可燃性ガスとしては、水素、メタン、プロパンを用い、火炎伝ばは高速度カメラを用いて、また爆風圧は圧力センサーを用いて測定したことが説明されている。

第3章では、火炎に発生する乱れの測定結果について述べている。本研究では、可燃性混合ガスは静止しており濃度も均一なため、乱れは火炎の不安定性により発生しており、拡散・熱的不安定性および流体力学的不安定性が発生原因となることを述べている。実験では、拡散・熱的不安定性を示すパラメータである Lewis 数が小さい条件において火炎伝ば初期から乱れの発生を観察している。また、Lewis 数が大きく拡散・熱的不安定性が発生しない条件においても、火炎のサイズが大きくなると乱れが観察され、その発生原因は流体力学的不安定性であると述べている。

第4章では、火炎の自己相似的加速現象について述べている。まず、火炎の乱れの発生が始まる時の火炎半径である臨界火炎半径について解析している。臨界火炎半径を火炎の厚さで無次元化して臨界 Peclet 数で表し、可燃性混合ガスの条件を火炎の変形への応答性の指数である Markstein 数で表し対応させることで、臨界 Peclet 数と Markstein 数の間に可燃性混合ガスの条件によらず一定の関係があるという結果を新たに見いだしている。また、火炎半径を着火からの時間のべき乗で整理した時の指数（加速指数）を用いて火炎伝ば現象を解析している。加速指数を Peclet 数（無次元火炎半径）に対してプロットすると、加速指数は乱れの発生とともに1より大きくなり、火炎がある程度の大きさ以上になると一定値となることを示している。加速指数が一定値となることから、火炎が自己相似的に加速している、つまり火炎面がフラクタル的に拡大していることを確認している。

第5章では、ガス爆発時に発生する爆風圧について述べている。火炎の加速現象は、爆風圧に強く影響するため、第4章で得られた自己相似的な加速挙動を考慮して爆風圧の予測をおこなっている。その結果、加速挙動の考慮により爆風圧の予測精度は格段に向上し、実験で実測した爆風圧のデータを適切に予測できることを示している。

第6章は、自己相似的な加速挙動を考慮したガス爆発挙動の予測モデルについて述べている。今回の研究で明らかになった自己相似的な加速挙動を考慮したモデルを、火炎の加速を考慮しない層流火炎モデルに対比して説明している。自己相似性のパラメータであるフラクタル次元を用いて、火炎半径、火炎速度、爆風圧強度をモデル化した式を示し、ガス爆発挙動の予測に適用できるモデルを提示している。

第7章は、総括であり、第1章から第6章までの内容の要約を述べるとともに、火炎伝ばの加速挙動およびそれが爆風強度に及ぼす影響について総括している。

以上のように本論文では、ガス爆発時の火炎伝ばおよび爆風発生の挙動について種々のスケールでの実験により詳細に解明している。火炎の発生する火炎半径については、臨界無次元火炎半径（臨界 Peclet 数）と Markstein 数を用いることで統一的に整理できるという有用な結果を新たに得ている。また、火炎伝ばが自己相似的に加速されることも明らかにし、その性質を用いて精度良くガス爆発挙動を予測する新たなモデルを提案できている。本論文で得られた結果は、ガス爆発現象を的確に理解し科学的な危険性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。