



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Modeling and theoretical study of combustion of solid fuel over an inert porous medium [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	ROY, NEPAL CHANDRA
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11468号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55451
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Nepal_Chandra_Roy_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士 (工学)	氏名	Nepal Chandra Roy
審査担当者 主 査 准教授	中村 祐二		
副 査 教 授	藤田 修		
副 査 教 授	大島 伸行		
副 査 教 授	永田 晴紀		

学位論文題名

Modeling and theoretical study of combustion of solid fuel over an inert porous medium
(多孔質体に付着した固体燃料の燃焼伝播に関する理論的研究)

ディーゼル機関からの煤 (PM) を含めた地球環境負荷をもたらす排出物に関する規制は国際的にも年々と厳しくなっており, それに対応するための技術開発・技術革新求められている. そのため暫定的な対処として, 排気経路に PM を捕集するフィルタ (ディーゼルパーティキュレートフィルタ:DPF) を取り付けて大気中への PM 排出を抑える技術が実機対応として適用されている. 一旦 DPF にて捕集された PM はある段階で「再生過程」と呼ばれる PM を酸化させて除去する. これは DPF に加熱した酸化剤を流すことでそれが実現されるが, 物理的には炭素の表面反応が進行するため, 流速あるいは加熱条件によっては DPF 内部で急激な発熱を生じて機器が破損するなどの技術的問題が認められている. 本研究は, 現時点では経験的な方法に頼りがちなこの再生過程の最適化を目指す上で, 各種パラメータの依存性をより明確にできるよう, DPF 再生過程を広義に「多孔質体に付着した可燃物の燃焼過程」と捉え, その燃焼特性を理論的に明確にするものである.

第 1 章では, 多孔質体に付着した固体物質の燃焼という枠組みで取り扱うことが可能な工業的問題に触れ, その分野で発展してきた過去の研究に関する調査を行っている. その上で, 本論文が目指す目的を明示し, 結論に至るまでの流れを明確に設定している. 特に, 伝播過程を大きく 2 つのモードにわけ (流れと反対方向に燃焼波が伝播する opposed モード, 流れと同じ方向に燃焼波が伝播する forward モード), それぞれを個別な問題として扱った後, 最終的にはそれを統合して 2 つの燃焼波が同時に上流および下流に伝播する現象を理論的に記述することを目指す.

第 2 章では, 多孔質体に付着した可燃物の燃焼過程 (特に伝播速度) に対して, まずは opposed モードにて簡略化した系で理論解が存在するか否かを理論的に探っている. 理論解析には, 炭素の表面燃焼反応は系の代表速度に比べて著しく早いという仮定の下「活性化エネルギーに基づく漸近解析法」を適用する. 系は一次元とすることで輸送過程などを簡略化し, 固相と気相とが燃焼過程において常に同じ温度を取らない二相温度モデルを導入することで, 相間の熱交換過程を含める. 漸近解析では燃焼反応領域近傍とそれ以外 (上流および下流) に領域を区切り, その領域内で第 0 次近似解を求め, 領域間の接合条件により未知パラメータを決定しつつ定常の燃焼伝播速度が「系の固有値」として決まる. そのような操作において複雑な数学的な取り扱いを経て, この問題の系で初めて漸近解析解を導くことに成功している. 漸近解析と同時に数値計算も実施・比較することで, 漸近解析解の整合性を確認している. また, パラメトリックスタディによりに漸近解析解が数値解と合致しなくなる条件を見出し, 漸近解析による解析解が適用可能な範囲を導いている.

第3章では第2章の簡略化モデルから特に重要とされる輸送過程に改善を施し(すなわち有効拡散係数の導入, 輻射効果を含めるなど), 特にある条件では燃焼伝播ができない条件を導くことに成功している. これらの解析解は既存のスモルダリングの結果や固体の焼結問題などと比較することでその妥当性が検証されている.

第4章では opposed のみならず forward モードに対しても同様に漸近解析を適用し, その両方のモードにて(異なる)漸近解析解を得ることに成功している. 同時に行った数値計算により, ある特定の条件でしか定常解を持たないことが明確に示され, opposed と forward のいずれのモードにも属さない「非定常解しか得られない条件」を明確にすることに成功している. この事実は, その条件で DPF の再生過程を行った場合には, 急激な時系列変化をフィルタに与えてしまう可能性を示唆しており, 工学的に有用な知見を理論的に得たものとしてその有意義を認めることができる.

第5章では opposed モードと forward モードを同時に至らしめた場合の安定した燃焼伝播を可能にする条件を導いている. この状態は最も実装の DPF 再生過程を模擬するものであり, 中央からなんらかの形で着火した際, 燃焼波が上流と下流の両方の伝播する問題に相当する. 比較データが欠如しているため実現象による検証にまでは至っていないが, 本成果は逐次条件毎に数値計算をせずとも理論的に各種パラメータの依存性を明示することができるため, 学術的のみならず工学的な価値を認めることができる.

これを要するに, 著者は, 本論文を通じて多孔質体に付着した固体物質の燃焼過程とそのモデル化に関する新しい有益な知見を提供しており, 多孔質内部の燃焼伝播問題に関する燃焼工学の学問の発展に対して貢献するところが大なるものがある. よって著者は, 北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める.