

氏名（本籍）	宮 入 由紀夫（長野県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲第 12 号
学位授与年月日	平成 7 年 3 月 24 日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	断熱及び超断熱燃焼往復動熱機関に関する研究
学位論文審査委員	（主査）教授 熊 田 雅 彌 （副査）教授 隅 田 勲 教授 西 村 誠 助教授 安 里 勝 雄

論文内容の要旨

燃焼により発生する熱を機械的仕事に変換する熱機関の中で、陸船用や自動車などの多方面にわたって利用されている往復動内燃機関に対しては、最近の地球環境保護の観点から熱効率、排気ガス成分に関する要求が厳しくなっている。このような状況の中で新しい環境調和形内燃機関の研究、開発が盛んに行われており、断熱化による冷却損失の低減もその一つである。往復動熱機関の断熱化による冷却損失低減の提案はKamoらによってなされ、その後いくつかの研究報告例があるが、断熱化が熱効率および排ガス特性に及ぼす影響についての結果は報告毎に異なり、不明な点も多く、未だ実用には至っていない。排ガス特性の中では特に、断熱による高温化で生成反応速度の増大が懸念される NO_x の排出量への配慮が必要である。

本研究では、ピストン・クランク機構をベースとする往復動熱機関において、燃焼により発生する熱の内、伝熱により外界へ逃げる熱量を低減することによるピストン仕事の増加、すなわち熱効率の増加の可能性について、 NO_x 排出量への影響を勘案しつつ検討し、さらに、多孔質体内での超断熱往復流動燃焼からの動力取り出しを行う新しい熱機関を提案し、高熱効率かつ環境調和型の熱機関としての可能性について検討した。

第1章「緒論」では、往復動熱機関の断熱化に関する従来の研究と、本研究の目的および内容について述べた。

第2章「断熱往復動熱機関に関する理論的研究」では、現用のディーゼル機関を対象とし、その燃焼室に耐熱材料を適用して冷却熱量を低減した際の熱効率および NO_x 排出量への影響を、燃焼室壁面のサイクル内温度変動を考慮したサイクルシミュレーションにより検討した。その結果、壁面に、熱伝導率と熱容量がともに小さい材料を用いることにより、壁面温度がシリンダー内ガス温度に追従するため、燃焼ガスから壁への蓄熱と壁から吸入ガスへの放熱による熱循環量を小さくでき、 NO_x 排出量が増加せずに熱効率が增加すること、また、断熱する部位として、上死点に近い時期に燃焼ガスと触れる部位のみを断熱することによっても同様の効果があることを明らかにした。

第3章「断熱往復動熱機関に関する実験的研究」では、現用のディーゼル機関を対象とし、耐久性があり現実性の高い構造で燃焼室の断熱を行うことにより、熱効率および NO_x 排出量への影響を実験的に検討した。その結果、シリンダヘッドやシリンダライナさらにピストンを断熱することにより、燃焼ガスから周囲への熱損失が低減され、その最高温度が上昇するものの、吸入空気量が減少することや、予混合燃焼（定容燃焼過程）期間が短縮することのため必ずしも熱効率は上昇するものではないこと、また、特にピストンの断熱は NO_x の排出量も著しく増大させるので、ピストンを除くシリンダヘッドとシリンダライナ上部のみを断熱することにより、 NO_x 排出量がベース機関と

SCGEモデルは、まず、都道府県単位の地域を1つの閉じた市場空間として、これを任意の地域（例えば、市区町村単位）に分割する。次に、各地域毎に各経済主体の行動を定式化し、さらに地域間取引を仮定することによって、一般均衡のフレームワークの中で、各財・サービスの生産・消費量や価格、地域間取引量等を求めようとするものである。従って、対象とする市場空間全体の均衡状態を表す都道府県単位の地域内産業連関表を基準均衡データとしてSCGEモデルに与えることによって、最終的に、地域間取引量をノン・サーベイ的に求めることができ、また、市区町村単位での地域間産業連関表を構成することができるようになる。

また、一般均衡理論のフレームワークを基礎とした場合、各経済主体の行動を表すモデル式は、基本的に未知パラメータ及び未知変数の組み合わせで構成され、モデル自体、複雑な非線形連立方程式体系で記述されることになる。本研究では、非線形連立方程式体系の解法として、部分均衡を逐次求め、その反復・修正によって最終的な均衡解を求める手法を提案している。その際、部分均衡を表す非線形の連立方程式の解法として、Newton-Raphson (NR) 法を用い、解法の簡便化を図っている。

SCGEモデルを用いた地域整備効果の計測手法は概ね次のようである。まず、現況分析によって、各経済主体の生産・消費等の技術構造を表すモデル・パラメータの値を求める。そして、これらの値を用いて交通施設を含む地域整備が行われたときの生産要素の価格や各財の生産・消費量及び価格、地域間取引量等の将来値を予測する。本研究で提案しているモデルでは、地域整備が行われた場合 (With) と行われない場合 (Without) の世帯の効用と所得の値を求めることができるので、等価変分 (EV) 及び補償変分 (CV) の値を得ることができ、投資効果の評価を比較静的に行える。

本研究では、事例研究として岐阜県への適用を試みており、その結果からSCGEモデルの妥当性を確認している。

さらに、SCGEモデルを土地利用／交通統合モデルとして再構成することによって人口移動の変化、地価の動向をも予測できる、より一般化したモデル (GLUTE ; Generalized Land Use / Transportation Equilibrium) への拡張を行っている。

論文審査の結果の要旨

本研究は、交通施設整備等の波及効果分析手法として、一般均衡理論のフレームワークに基づき、地域間取引を介した経済主体間の複雑な経済循環を明示的に取り扱うことができるような多地域一般均衡モデル (SCGEモデル) の構築を試みたものである。

まず、本論文の第1章では、研究の背景と目的について記述され、さらに研究のベースとなっている応用一般均衡に関して、国内外における既存の研究について整理し、研究の位置付けを明確にしている。

第2章では、研究のベースとなるSCGEモデルの構造について記述している。SCGEモデルは、応用一般均衡分析の1つの重要な応用例であるWhalleyの世界交易モデルを、量と価格の均衡を通じて地域間取引と地域経済構造の関係を明示的に取り扱うことのできるようなモデルとして再構築されたものである。モデルの特徴としては、第1に、データとして用いる産業連関表の投入・産出構造を2レベルのネスティッド型CES関数を用いて定式化している点である。第2に、モデル・パラメータの推

定に際し、カラブレーション手法を採用している点である。カラブレーション手法は、基準均衡データを外生的に与え、これに合うようにモデル・パラメータを決定しようとする決定論的手法であるため、従来のパラメータ推定手法のように統計的検定を必要としないという特徴を持つ。第3に、SCGEモデルでは、一般均衡体系が非線形連立方程式体系で記述されるため計算が非常に複雑となるが、その解法としてニュートン・ラプソン法を用いたシーケンシャルな手法を採用することによって計算の簡略化を図り、実用性を高めている点である。第4に、SCGEモデルでは、対象地域に対する単一のIO表から得られる基準均衡データを外生的に与えることにより対象地域を幾つかのサブ・エリアに分割し、各エリア毎のIO表をアウトプットとして得られるため、従来の手法ではできなかった市町村レベルでの地域間交易量の予測や投資効果の分析が可能となる点である。

第3章では、事例研究として岐阜県への適用を試みている。この際、他の統計書より抽出したデータと推定結果を比較することにより、カラブレーション手法によるモデル・パラメータの推定の妥当性を確認している。また、岐阜県内における高速道路網が整備されることによる各地域間の移動時間短縮効果に伴う地域間交易パターンの変化及び各地域の産業構造に及ぼす波及効果の分析を行い、SCGEモデルが

地域整備効果の算定に有益な手法であることを明らかにしている。

第4章では、SCGEモデルと土地利用／交通モデルをどのように整合させるかという検討を行っており、一般均衡理論を用いた新たな土地利用／交通統合モデルの提案を行っている。SCGEモデルを用いて土地利用／交通統合モデルを定式化する試みはこれまでに行われておらず、萌芽的研究として今後の発展が期待できる。

以上が本研究の主な成果であり、これらの成果は、土木計画学の分野の中でも特に地域計画者や交通計画者にとって有効な情報を与えるものであり、本研究の意義は大きい。したがって、本論文は学位論文として認定するのに値すると判定した。

同じレベルに保たれたまま熱効率が增加することを明らかにした。

第4章「超断熱燃焼往復動熱機関に関する理論的研究」では、多孔質体に可燃混合気を周期的に流動方向を反転させながら供給する往復流超断熱燃焼により発生する燃焼熱から機械的仕事への変換を行う熱機関を提案し、理論解析により可燃限界や熱効率について検討した。その結果、希薄可燃限界以下の混合気においても、多孔質体内部における超断熱燃焼により自力燃焼が可能であり、圧縮化が比較的小さい範囲において本熱機関の熱効率は従来のオットーやディーゼルに比べて高いこと、また、多孔質体の熱容量を大きくするなど温度効率（熱回収率）を上昇させることにより希薄可燃限界が拡張でき、かつ熱効率の増大が可能であることを明らかにした。

第5章「超断熱燃焼往復動熱機関に関する理論的研究」では、第4章において提案し、理論解析により理想的な熱機関としての可能性が示唆された多孔質体内での往復流動燃焼をベースとする熱機関を試作し、基本的に、本構造の熱機関が実現可能であることを実証する観点で、その可能性を実験により検討した。その結果、自由空間における可燃限界以下の当量比においても、本機関により、燃焼熱から動力への変換が可能であることを明らかにした。また、吸排気をシリンダー容量最大時期前後に行うことや、死空間を小さくすることが可燃限界をさらに拡張し熱効率を上昇させるための課題であることを明らかにした。

第6章「結論」では第2章から第5章で得られた結果について総括した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、新しい環境調和形内燃機関の研究として往復動熱機関の開発の可能性を理論的、実験的に研究したものである。

第1章では、往復動熱機関の断熱化に関する従来の研究と、本研究の目的および内容について述べている。本研究は、ピストン・クランク機構をベースとする往復動熱機関において、断熱化による冷却損失の低減による熱効率の改善を NO_x 排出量への影響を勘案して検討し、さらに多孔質体内での超断熱往復流動燃焼からの動力取り出しを行う新しい熱機関を提案し、高熱効率かつ環境調和型の熱機関としての可能性について検討している。この種の研究は、最近の地球環境保護の観点から強く開発が望まれている課題である。

第2章では、現用のディーゼル機関を対象とし、その燃焼室に耐熱材料を適用して冷却熱量を低減した際の熱効率および NO_x 排出量への影響を、燃焼室壁面のサイクル内温度変動を考慮したサイクルシミュレーションにより検討した。その結果、壁面に、熱伝導率と熱容量がともに小さい材料を用いることにより、壁面温度がシリンダー内ガス温度に追従するため、燃焼ガスから壁への蓄熱と壁から吸入ガスへの放熱による熱循環量を小さくでき、 NO_x 排出量が増加せずに熱効率が增加すること、また、断熱する部位として、上死点に近い時期に燃焼ガスと触れる部位のみを断熱することによっても同様の効果があることを明らかにした。

第3章では、第2章の理論的検討を踏まえ、耐久性があり現実性の高い構造で燃焼室の断熱を行うことにより、熱効率および NO_x 排出量への影響を実験的に検討した。その結果、シリンダヘッドやシリンダライナさらにピストンを断熱することにより、燃焼ガスから周囲への熱損失が低減され、その最高温度が上昇するものの、吸入空気量が減少することや、予混合燃焼（定容燃焼過程）期間が短縮することのため必ずしも熱効率は上昇するものではないこと、また、特にピストンの断熱は NO_x の排出量も著しく増大させるので、ピストンを除くシリンダヘッドとシリンダライナ上部のみを断熱することにより、 NO_x

排出量がベース機関と同じレベルに保たれたまま熱効率が增加することを明らかにした。

以上の結果は、学術的にも、工業的にも高い成果と言えるものである。

第4章では、多孔質体に可燃混合気を周期的に流動方向を反転させながら供給する往復流超断熱燃焼により発生する燃焼熱から機械的工作への変換を行う熱機関を提案し、理論解析により可燃限界や熱効率について検討した。その結果、希薄可燃限界以下の混合気においても、多孔質体内部における超断熱燃焼により自力燃焼が可能であり、圧縮化が比較的小さい範囲において本熱機関の熱効率は従来のオットーやディーゼルに比べて高いこと、また、多孔質体の熱容量を大きくするなど温度効率（熱回収率）を上昇させることにより希薄可燃限界が拡張でき、かつ熱効率の増大が可能であることを明らかにした。この結果は、新しい環境調和形内燃機関の可能性を示唆する学術的に評価される成果である。

第5章では、第4章において提案し、理論解析により理想的な熱機関としての可能性が示唆された多孔質体内での往復流動燃焼をベースとする熱機関を試作し、基本的に、本構造の熱機関が実現可能であるかを実証する観点で、その可能性を実験により検討した。その結果、自由空間における可燃限界以下の当量比においても、本機関により、燃焼熱から動力への変換が可能であることを明らかにしている。また、吸排気をシリンダー容量最大時期前後に行うことや、死空間を小さくすることが可燃限界をさらに拡張し熱効率を上昇させるための課題であることを明らかにした。これらは、将来の環境調和形内燃機関の出現への指針を与え、その展望を開くものである。

以上の結果より、本論文の新しい知見と成果は、学術的にも工業的に貢献するもので、学位論文に値するものと判断される。