

(続紙 1)

京都大学	博士 (人間・環境学)	氏名	王 木喜
論文題目	既存ディーゼルエンジンへの水素添加による環境負荷の低減に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本学位申請論文は、水素社会の到来までの期間、長い寿命を有する既存ディーゼルエンジンを継続的に使用するべく環境負荷を低減する方法として、水素添加について検討したものである。水素はクリーンな燃料として知られており、ディーゼル燃焼の効率を向上させる可能性がある。申請者は世界に先駆けて2012年から種々のディーゼルエンジン（漁船、運搬船および小型トラックなど）の実働状態について水素添加による燃費の向上などについて実証実験を進めてきた。水素添加の実験を通じて、燃焼効率の実証や環境負荷の低減効果を明らかにすることを目指した。本論文は5章から構成されている。</p> <p>「第1章 序論」では人間活動と環境問題の関わりについて述べられている。人間活動の結果として、二酸化炭素排出量の急峻な増加による急激な気候変動、化石燃料の持続的な利用による資源の枯渇、さらには都市部を中心とした大気質悪化の問題などが深刻化している。水素社会への移行が国際的なコンセンサスとして認識されているが、完全な転換は短期間での実現が難しい。研究開発と普及が進められている純水素車も、燃料価格のコスト高、水素供給インフラの特殊事情、安定的な水素のストレージの観点から技術的な課題を残している。したがって、すぐには到達できないこの移行期間中には、既存の技術を有効に活用し、環境負荷を最小限に抑える取り組みが必要となってくる。</p> <p>「第2章 文献レビュー」では、現時点までに報告された内燃機関の水素添加実験の結果についてレビューしている。2017年以降これらの技術に関する様々な論文が発表されるようになってきている。いずれの実験においても水素添加による化石燃料の消費が抑えられたことが報告されており、申請者の実験と矛盾しない。しかしながらこれらの実験は全てエンジン単体の実験であり実走行状態での報告はないことが示された。</p> <p>「第3章 試験方法」では、本研究で用いた実験について詳述されている。直接噴射式ディーゼルエンジンを搭載したトラックを使用し、シャーシダイナモメーター上で実走行状態を実現し、水素混合空気をエンジンの吸気に導入し、燃料消費量や排気ガス成分に対する水素添加の影響を調査した。実施した試験走行モードは以下の4種類である：実際の走行モードをシミュレートしたJE05ドライビングサイクル、定速 40km/h、定速 60km/h、定速 80km/h。そして各々の走行モードでの燃料消費量、排気ガス成分に対する水素添加の影響を調査した。</p> <p>「第4章 試験結果と考察」では一連の実験結果とそれらの考察が記述されている。水素の添加量を示す指標として水素エネルギーシェアHES（ディーゼル燃料の総エネルギーと添加した総水素エネルギーのうち総水素エネルギーの割合として定義したもの）を用い</p>			

ると、ディーゼルの消費減少とHESの増加はほぼ線形の関係があり、ディーゼル消費のパーセンテージの減少はHESの約0.6倍であることを示している。また、CO₂発生の減少量はディーゼル消費の減少量と一対一の関係があることが確認された。CO、PM（粒子状物質）、および炭化水素（エチレンを除く）の排出の減少量もディーゼル消費の減少と同じ、またはそれ以上の削減効果を示した。水素を添加した場合の総エネルギー供給量はディーゼルだけよりも多かったことが確認された。実際の運行モードでは、添加された水素のエネルギーのうち50%しかトラックの動力に使用されていないことが観察された。一部の水素エネルギーは内燃機関の温度上昇に費やされた可能性が高い。その結果は軽い炭化水素類とNO_xの増加結果やモデル計算からも支持された。

「第5章 結論」では、ディーゼルエンジンにおける水素の添加による大気汚染物質の明確な抑制、化石燃料使用量の低減が明らかになり、それらの相関関係をエンジン内の燃焼温度の変化として捉えて合理的な解釈を与えることに成功したことがまとめられている。また、NO_xの排出量を抑えることと燃焼エネルギーの効率化（添加した水素エネルギーの6割しかエンジンの駆動力に貢献していないこと）などが課題であると示唆された。さらに、水素添加したディーゼル燃料を含む有望な代替燃料の探求を続け、内燃機関の最適化により環境に優しく、効率的な方向へと推進することが重要であると指摘された。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、水素社会が到来するまでの期間における、重要な燃料駆動エンジンであるディーゼルエンジンの有効利用について述べられている。実際の旧式ディーゼルエンジンを搭載したトラックの燃料に水素を添加した走行実験を行い、実験結果をまとめたものである。実走行状態にあるディーゼルトラックの燃焼効率、エンジンから排出されるCO₂、PM、炭化水素類およびNO_xのエミッション量を精密に計測し水素添加によるメリットについて検討している。本論文は5章から構成されている。

第1章は序論である。人間活動の活性化に伴う大気中の二酸化炭素濃度増加がもたらす温暖化と気候変動への危機、その回避への対策を述べている。その中で唯一の解決策である水素社会が到来するまでの繋ぎ技術の必要性が指摘されている。そのための方法として、既存の内燃機関に改質した燃料を使用することにより環境負荷を低減する技術が提案されている。申請者が独自に考案したディーゼルエンジンへの水素添加技術について提案がなされていることが新たな視点である。

第2章は内燃機関への水素添加実験についての文献レビューである。2017年からこの技術に関する論文が報告されるようになってきている。一方、申請者は2012年からディーゼルエンジンへの水素添加実験を重ねており、燃費向上の成果を実証している。これらの事実から、申請者の研究における先見性が高く評価される。

第3章は試験方法について述べられている。国立環境研究所低公害車施設のシャーシダイナモ装置にディーゼルトラックを設置して、実走行状態（定値走行や実際の走行モードをシミュレートしたJE05ドライビングサイクル）での燃料消費量、排気ガス成分に対する水素添加の影響を調査した実験方法の詳細が記載されている。

第4章は実験結果と考察である。いずれの走行モードでも燃料消費の大きな改善が認められている。この結果は添加した水素が燃料として十分機能していることを示している。水素添加により内燃機関の燃焼温度が上昇すると推測された。それを支持する根拠として、モデル計算結果、NO_x発生量の上昇、炭化水素の組成の変化、CO濃度の低下、PM濃度の低下などが指摘されている。既往研究ではこのような実走行状態での実験がなされていない点、モデル計算による理論的な考察が加えられている点が評価される。一方で、エネルギーによる考察では、添加した水素エネルギーがすべてエンジン駆動のために費やされていないことが明らかとなった。一部の水素エネルギーは内燃機関の温度上昇に費やされた可能性が高いことを考察した。

第5章は結論である。ここでは、既存の化石燃料型エンジンでも水素添加で大きく燃料消費が抑えられることを示している。このことは二酸化炭素の排出が抑えられることを示しており、そのベネフィットは大きい。しかしながらNO_xの排出量を抑えることと燃焼エネルギーの効率化（添加した水素エネルギーの6割しかエンジンの駆動

力に貢献していないこと)などは今後の課題として示された。

本研究成果は、次世代型自動車完全に普及する前の過渡期における可能な解決策を提供しており、水素燃料のコストが下がれば、この技術は特に発展途上にある多くの地域において広く普及する可能性がある」と期待される。

本論文は社会実装に向けた環境負荷を軽減できる技術に関する研究を扱うものであり意義深いという意見で一致した。二酸化炭素抑制と大気汚染制御に貢献することから相関環境学専攻自然環境動態論講座にふさわしい内容を備えたものと言える。

よって、本論文は博士（人間・環境学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年11月13日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 令和 年 月 日以降