

膨張タービン式高圧水素充填システムの開発研究

吉田, 純

<https://doi.org/10.15017/4060114>

出版情報 : Kyushu University, 2019, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 吉田 純

論 文 名 : 膨張タービン式高圧水素充填システムの開発研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

地球温暖化抑制に向けた早期の具体策の実現が世界的に強く求められている。日本国においては水素を重要な二次エネルギー源のひとつと位置付け、「水素社会」の早期実現のため、様々な開発・整備が進められている。そのなか、「水素社会」への転換手段として、燃料電池車 (FCV: Fuel Cell Vehicle) に代表される一般運輸分野、エネファームに代表される個別燃料電池発電の分野等での開発研究が先行して行われている。一般運輸部門においては、一部の開発先行国にて内燃機関自動車の FCV への転換が注目され、その普及が開始された。FCV への燃料水素の補充は、水素ガスを高圧で充填する専用設備 (水素ステーション) にて都度、23g/s 程度の流量で充填されるインフラシステム構成となっている。今後、「水素社会」の早期実現、すなわち FCV の普及促進に関しては、運用上の重要なインフラである水素ステーションの早急な普及・整備が不可欠になってくる。そこで本論文では水素ステーションの高圧水素ガス充填のプロセスの大幅な合理化を目指し、膨張タービン式高圧水素充填システムを提案した。本研究では膨張タービン式高圧水素充填システムの開発研究に関する報告を行う。

本論文は 8 章から構成されており、各章の内容を以下に示す。

第 1 章では、本開発研究の背景として、水素ステーションの更なる技術的な合理化が必須である現在の状況から、現状の水素ステーションの一般的な機器構成、熱プロセス技術の観点からの課題をのべている。その中で水素ガスのプレクール設備に着目し、熱的な無駄を解決する必要があることを提起している。水素ステーションの普及に向けて、現状のコストの観点からも、プレクールプロセス部分の改良が有効であることを示している。このプレクール設備に係る熱プロセス上のこれまでの研究内容も紹介している。

第 2 章では、膨張タービンを用いて高圧の水素ガスを直接膨張させる膨張タービン式プレクールプロセスの検討、提案を行っている。九州大学にて開発された高圧水素熱物性計算ソフトを用い、水素膨張タービンによる温度降下の計算を行い、最も熱的に最適な膨張タービン式プレクールプロセスの EFD(Engineering Flow Diagram)を示している。また、この膨張タービン式プレクールプロセスは、現状の水素ガス充填プロトコルに合致させるための方策として、膨張タービン出口側に蓄冷器を設けることも示している。

第 3 章では、第 2 章で考案した膨張タービン式プレクールプロセスの中で主要構成機器である水素膨張タービン、アフタークーラー、蓄冷器の概念設計結果を示している。特に膨張タービンは、プロセスの要求仕様数値からの概念設計で得られた仕様では、非常に小型で高速回転のタービンになり、これまでの実績領域から超える位置づけであることを示している。また、本概念設計による

アフタークーラーと膨張タービンを組み合わせたタービンユニットの計画形状は非常にコンパクトなものとなり、膨張タービン式プレクールプロセス導入の大きなメリットの要素であることも分かった。

第4章では、前章で設計検討した機器類を用いて、プロセス上の成立性の工学的検証を行うため、膨張タービン式プレクールプロセスの非定常の熱評価解析としてシミュレーション計算を実施している。膨張タービン式プレクールプロセスの上流側から、膨張タービン、蓄冷器、タンクへの充填の計算を連携させ逐次、熱計算、圧力計算を行った。計算例として膨張タービンの平均効率が65%の場合のシミュレーション計算結果を示し、膨張タービン式プレクールプロセスが問題なく成立することを示している。

第5章では、膨張タービン式プレクールプロセスの主要機器の試作の内容と、それぞれの単独試験における検証を行っている。膨張タービンに関しては、乾燥空気による機械回転試験において、最終的に回転数70万rpmを想定時間(数分)の間、安定して回転することができた。この時のタービン出口の空気温度は大気圧で約-54℃を確認することができた。また、アフタークーラーに関しては細管式の高圧水素熱交換を試作し、機器としての超高压条件150MPa(G) 耐圧試験にも成功している。

第6章では、試作した膨張タービン、アフタークーラー、蓄冷器を高圧水素試験装置に組み込み、実機と同じ高圧の水素(82MPa(G))にて実証試験を行った。

第7章では、膨張タービン式プレクールプロセスの熱評価をふまえた経済優位性評価を行っており、膨張タービン式プレクールプロセスは1)初期設備コスト、2)運転コスト、3)保守コストのいずれの観点からも非常に有効性のある提案であることを示した。

第8章では、各章で得られた知見を基に結論および今後の課題をまとめた。

全体まとめとして、本開発研究において、新たに提案した本システムに関する熱力学的なシステム解析の後、主要機器の試作、機械試験を経て、高圧水素条件での試験を実施するに至った。また、世界で初めて高圧水素環境下での膨張タービンの回転確認試験を実施し、現状までの条件で得られた試験結果は、膨張タービンの前後圧力条件、軸受ガス条件の制約から、U/Co 定格よりは低い条件ではあるが、システムの実現性を示すことができた。また、システムの経済性評価の観点でも、多くの優位性があることに加え、大幅な小型化が実現できるため、将来の水素ステーションの大容量化に向けた拡張性に対しても有利であることが示された。

加えて、本開発研究で得られた知見を基に、より早期に実現可能な大型車FCV(FCバス、FCトラック)用の流量を増加させた高圧水素用膨張タービン(流量132g/s)の開発の有効性も示すことができた。