

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360089

研究課題名(和文) 消炎特性を持つ高圧水素用超静音型減圧弁に関する研究

研究課題名(英文) Research on super-silent type reducing valve for high pressure hydrogen with characteristic of extinction

研究代表者

香川 利春 (toshiharu, kagawa)

東京工業大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：50108221

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：ラジアルスリット型減圧弁を開発するため、小型ラジアルスリットを試作して、福岡にある水素エネルギー製品研究試験センター(HyTReC)の設備を利用して流量特性試験を行った。ラジアルスリットのスリット高さは数十 μm にし、試験圧力は最大35MPaにして実験を行った。ラジアルスリットを有効に利用するために、数値解析によって流れのメカニズムを明らかにした。その流量特性から流れる流量に関しては、35MPaで300 l/minの仕様のラジアルスリット型減圧弁を製作した。最後に今までの研究で得られた実験結果から車載用ラジアルスリット型減圧弁に必要なすきま高さ、長さなどの研究基盤を確立した。

研究成果の概要(英文)：To develop vehicle radial slit type reducing valve, a small, radial slit was made. The flow rate characteristic was examined by using the equipment of hydrogen energy product research examination center (HyTReC) in Fukuoka. The height of the slit of a radial slit was made tens of micrometers, and the maximum pressure of the examination was adjusted to 35MPa. The mechanism of the flow was clarified by using the numerical analysis for the channel design of reducing valve to obtain the basic property. Radial slit type reducing valve that was able to throw flow rate 300l/min in pressure 35MPa was produced. The height of the space and length, etc. necessary for vehicle radial slit type reducing valve were clarified from the result of obtaining in the present study.

研究分野：流体の計測制御

キーワード：静音 水素 減圧

1. 研究開始当初の背景

今日の国民生活や経済活動において、エネルギーは必要不可欠なものである。18世紀末の産業革命により、蒸気機関等をはじめ多くの動力機械の開発が進み、生活様式や産業構造に大きな変革をもたらされた。その結果、産業革命以降エネルギー消費量は急速に増大し続けている。また近年では、中国やインドなどのアジア地域や開発途上国の経済成長が進み、化石燃料を主としたエネルギー需要の急増が見込まれている。世界各国ともにエネルギー資源を始めとする資源確保の競争が激化することが考えられ、資源の大半を海外に依存している日本にとって、資源確保は重要な課題となっている。

このような政治、経済、社会情勢の変化に過度に左右されずにエネルギーを安定的に確保することをエネルギーセキュリティと呼ぶ。エネルギーセキュリティの観点から、省エネルギー社会の達成およびエネルギー供給源の多様化が求められている。これら二つに自給率の向上、サプライチェーンの維持、緊急時対応力の充実の3要素を加えた、エネルギー安全保障を強化するために総合的に確保すべき5要素が、日本政府が2010年に新たに策定したエネルギー基本計画において定められている。

このような背景から、化石燃料に大きく依存したエネルギー供給から代替のエネルギー源によるエネルギー供給が必要とされている。化石燃料の問題点を克服するエネルギー源として既に太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー利用設備が社会に導入されているが、自然エネルギーは大量貯蔵ができない。そこで、新しいエネルギー源として期待されているのが水素である。

水素を新エネルギーとして広めるために始まったプロジェクトとして、1993年に工業技術院/新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のもと、「水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術開発プロジェクト」、通称WE-NET(World Energy Network)計画が開始した。WE-NET計画は自然エネルギーを利用して、水素の製造から利用まで二酸化炭素を発生させない完全にクリーンなエネルギーの一貫システムを構築することを目的とした。

1998年度までの第一期計画では大容量の水素の製造技術として水素液化装置、液体水素輸送タンカー、液体水素貯蔵タンクなどの研究が行われ、1999年度から開始された第二期計画では1996年頃から自動車会社が燃料電池車の試作車を発表した。ことから、自動車用水素ステーションに着手し、2001年に日本初の水素ステーションを大阪、高松に設置した。しかし、WE-NET計画は長期の水素プロジェクトとして注目を集めたが、国の方針により短期に実用化できる燃料電池自動車関連の技術開発を集中して行う方針に変更された。WE-NET計画終了後、新た

に「水素安全利用等基盤技術開発」プロジェクトがNEDO担当の元、2003年から5年計画として開始された。このプロジェクトは短期に実用可能な燃料電池車や水素ステーション関連、水素吸蔵合金などの実用化技術開発と水素の安全技術研究を目的とした。実用化技術開発では、燃料電池車関連機器として圧縮水素容器の超高压化技術、液体水素容器技術の開発を行っている。水素インフラ関係では水素ステーション用の圧縮機、ディスペンサー技術、水素貯蔵技術の研究開発などが行われている。

以上のように水素インフラの研究開発が進み、燃料電池車の実証運転がされてきたことから、2011年1月に産業界の共同声明が発表され、自動車メーカーは電気自動車の航続距離を大幅に拡大した燃料電池車を2015年までに市販することを約束した。また石油元売り会社やガス会社は2015年までに、四大都市を中心に国内100基の水素ステーションを建設することを発表した。本格的な普及期と見込まれる2020年には1000カ所に拡大されると予想される。

水素ステーションが普及することで燃料電池車も徐々に普及すると予想している。燃料電池車が普及することにより二酸化炭素が削減されることも予想されている。また日経BPクリーンテック研究所は2015年における世界の水素関連市場は7兆円程度、2050年の市場見込みは160兆円に上るとしている。

一方、燃料電池車は走行距離を長くするため35MPa~70MPaの高圧水素容器が装着されている。そのため、容器からの圧力を減圧し、燃料電池に1MPa以下の水素を供給する減圧弁が必要である。

本研究室ではこれまでに制御弁などの基礎特性の数学モデルを得るために系統的な研究に取り組んできた。更に、開発した非定常流量発生装置によって、圧縮性流体制御システムの動特性に関する知見を多く得ている(船木ら、計測自動制御学会論文集, 2006)。高圧水素利用技術について、水素貯蔵・漏洩や流量計に関する研究が活発に行われているが、高圧に圧縮された状態から1.0MPa以下まで減圧させる際に発生する騒音抑制や、供給配管内において水素火災発生時の安全確保といった、水素供給システムに従事する際の労働環境を改善する技術が望まれているものの、未だに有効な成果が報告されていないのが現状である。また燃料電池車には、内燃エンジンの様な騒音発生源がないため、使用する減圧弁に高い静音性が求められている。

そこで、高圧水素の減圧時に減圧弁で発生する騒音の低減・配管内で水素火災発生時の安全を確保する技術確立のための基盤研究を行う。計画を進めていく上で、次のような研究結果を得ている。

- (1) 低騒音型減圧機構としてラジアルスリットを提案し、圧縮空気の高圧領域

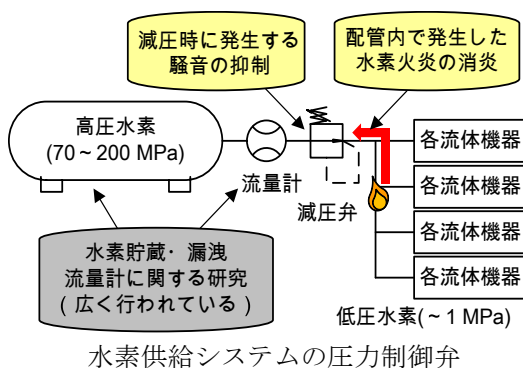
(0.6 MPa 以下)においてオリフィスと比較して 40 dB の低騒音化効果を示した(尹ら, 日本フルードパワーシステム学会論文集, 2004)

- (2) ラジアルスリットの圧縮空気の低圧領域 (0.6 MPa 以下)における流量特性の理論解析を行った(尹ら, 計測自動制御学会産業応用部門大会講演論文集, 2008)

2. 研究の目的

上記の背景およびこれまでの研究成果をもとに, 本研究は, まだ解明されていない高圧領域におけるラジアルスリットの性能に関する基盤的研究を完成させる. これを用いて高圧水素の減圧時の騒音抑制および水素火炎発生時の安全確保を同時に満たす機能を有する減圧弁の開発に展開するための基盤となる研究を行う. 研究期間内には以下のことを明らかにする.

- (1) ラジアルスリットを搭載した減圧弁(以下, 本減圧弁)を設計し, 設計指針の基本的な資料とするために減圧弁全体の基礎特性および理論モデルを構築する.
- (2) 水素ガスにおける本減圧弁の基礎特性・騒音特性を実験と解析により明らかにする. 特に, ラジアルスリット形状と騒音の関係性を明らかにする.
- (3) 本減圧弁が, 水素火炎の消炎機能を有することで消炎可能なラジアルスリットのすきま高さの限界値を実験により求められる. ことにより, 本減圧弁の安全設計の基準値を定める.
- (4) 上記で得られた結果から, 静音・消炎に対する要求性能を満たす本減圧弁を作製し, 高圧水素配管において性能評価試験を行う.

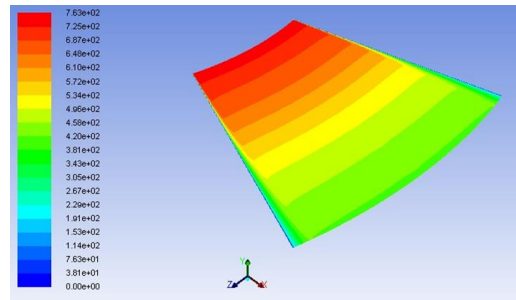


3. 研究の方法

- (1) ラジアルスリットを搭載した減圧弁の理論解析

減圧弁の基礎特性を設計指針の基本的な資料として有効に利用するために, 数値解析によって流れのメカニズムを明らかにする. 流体解析ソフトを用いて減圧弁内部の流れを可視化し, 流れが静音性に及ぼす影響を把握する. その解析結果を用いて, 本減圧弁の特性を理論的に

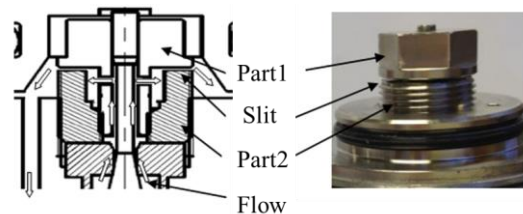
説明できる数学モデルの検討を行う.



流体解析ソフトによる解析

- (2) 車載用減圧弁の作製

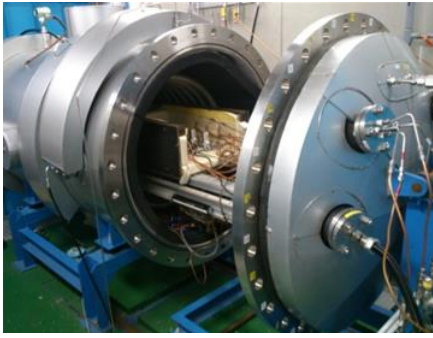
一般に, 減圧弁の流体抵抗と静音性および消炎特性はトレードオフの関係にある. つまり, ラジアルスリット円板の(外半径-内半径)間の長さが大きく, 円板間のすきまが狭い方が, 静音性と消炎特性は向上するが, 流体抵抗は大きくなり, 要求流量を満たさない懸念がある. さらに, 静音性と消炎特性との関係においても, (外半径-内半径)間の長ささと円板間すきまの関係は異なる. 流れる流量に関しては, 35MPa で 300 l/min の仕様にして設計を行う. 一枚のラジアルスリットで実現できない場合は多段のラジアルスリットにする. そこで, これら3つの性能の関係を満たす, 消炎特性を有する超静音型減圧弁に必要なラジアルスリット寸法に対する設計指針を検討し, 作製する.



ラジアルスリット

- (3) 車載用減圧弁の性能評価

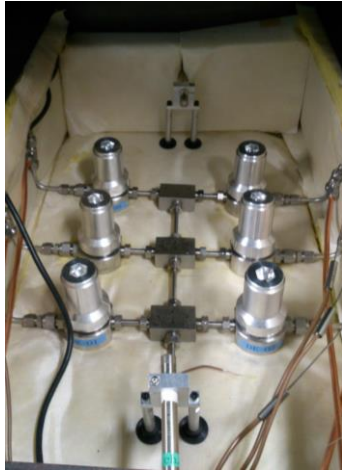
作製した車載用ラジアルスリット型減圧弁に対して, 静音性・流量特性の両性能を評価する. 静音性との評価試験は, 九州にある水素エネルギー製品研究試験センター (HyTReC) で行う. 静音性は従来のタイプと本研究のラジアルスリット型減圧弁との差を比較し, その有効性を確認する. また, 減圧弁は下流圧を一定圧力に調整するバルブであり, 目標にした流量範囲で下流圧が調整できているのかを評価し, 減圧弁としての実現性を確認する.



水素エネルギー製品研究試験センター

4. 研究成果

車載用ラジアルスリット型減圧弁を開発するため、小型ラジアルスリットを試作して、福岡にある水素エネルギー製品研究試験センター (HyTReC) の設備を利用して流量特性試験を行った。ラジアルスリットのスリット高さは数十 μm にし、試験圧力は最大 35MPa にして実験を行った。減圧弁の基礎特性を設計指針の基本的な資料として有効に利用するために、数値解析によって流れのメカニズムを明らかにした。その流量特性から流れる流量に関しては、35MPa で 300 l/min の仕様のラジアルスリット型減圧弁を製作した。最後に今までの研究で得られた実験結果から車載用ラジアルスリット型減圧弁に必要なすきま高さ、長さなどの研究基盤を確立した。



ラジアルスリット型減圧弁

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 件)

[学会発表] (計 3件)

1. T. Mizuno, S. Takahashi, C. Youn, Y. Nakamura, T. Kagawa: Study on Noise Reduction of Radial Slits Pressure Regulator for Hydrogen Gas, 12th International Conference on Fluid Control, Measurements and Visualization (FLUCOME 2013),

- OS18-04-5, 2013.11.18 ~ 23 Prefecture New public Hall in Nara (Japan)
2. Takahiro MIZUNO, Chongho YOUN, Yoshinari NAKAMURA, Toshiharu KAGAWA: A Simulation Study of Radial Slits Pressure Regulator for Hydrogen Gas, Asia Simulation Conference (AsiaSim2013), pp.288-297, 2013.11.6 ~ 8 in Singapore
3. Chongho YOUN, Yoshinari Nakamura, Toshiharu KAGAWA: Development of a Low Noise Pressure Reducing Valve for High Pressure Hydrogen Using a Radial Slit Structure, Bath/ASME Symposium on Fluid Power & Motion Control (FPMC 2012), pp.623-632, 2012.9.12 ~ 14 in Bath (UK)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1件)

名称: Poppet valve
 発明者: Yoshinari Nakamura, Kiyokazu Nagata, Toshiharu Kagawa, Chongho YOUN
 権利者: 国立大学法人東京工業大学
 種類: 特許
 番号: 特願 2012-059446
 出願年月日: 2013年3月15日
 国内外の別: 国外

○取得状況 (計 件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類: 番号:
 出願年月日:
 取得年月日:
 国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

香川 利春
 東京工業大学・大学院総合理工学研究所・教授

研究者番号: 50108221

(2) 研究分担者

尹 鍾皓
 東京工業大学・精密工学研究所・助教
 研究者番号: 30456256

(3) 連携研究者

()

研究者番号: