

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22710157

研究課題名(和文) ラージエディセンシングに基づく水素拡散の認識・予測的リスク緩和システムの開発

研究課題名(英文) Development of a cognitive and predictive risk mitigation system of hydrogen dispersion based on large-eddy sensing

研究代表者

松浦 一雄 (Matsuura, Kazuo)

愛媛大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：20423577

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では部分開放空間の先験的に許容される、空間固有の換気条件に基づき、短時間かつ確実に水素の換気が行え、尚かつ少ないセンサー数で機能する強制ベントアルゴリズムを提案した。またこのアルゴリズムに含まれるパラメータの影響を示した上で、漏洩停止後の水素排出を加速する方法を初めて提案した。さらに、単一センサ水素ガス濃度に応じたファン速度制御を行うシステムを構築し、その自励振動現象を実験的に示した。

研究成果の概要(英文)：I proposed a real-time sensing-based risk-mitigation control of hydrogen dispersion in a partially open space with low-height openings using forced ventilation. Related to the space, a plot of acceptable exhaust low rates for various leak low rates and leak positions (an acceptability diagram), a method for estimating the instantaneous hydrogen amount accumulating near the roof, and a hunting-preventive (HP) control scheme for the exhaust low rate based on the least-squares method were presented. A sensing-based risk-mitigation control strategy to control the exhaust volume low rate was then proposed. I proposed two acceleration methods that improved the ventilation performance of the original HP scheme after hydrogen leakage ceased. I developed a system that controls fan speed according to hydrogen concentration at a hydrogen sensor, and showed experimentally the possibility of self-excited oscillation of the system.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：Hydrogen Safety CFD Sensing Control

1. 研究開始当初の背景

化石燃料に替わる将来的な燃料として水素が注目され、盛んに研究が行われている。2010年頃には家庭用燃料電池が、2015年頃には燃料電池車が普及し始め、それぞれ2020～2030年頃には我々の日常生活に本格的に普及すると考えられている。水素燃料の広範な普及にあたっては、貯蔵、輸送、供給、製造や利用の段階で水素漏洩の可能性が増大すると考えられ、僅かな静電気程度でも着火する水素の安全性とその管理手法に関する継続的な検討が必須である。

従来、水素による金属材料の脆化、水素利用機械におけるシーリングの向上、着火・爆発など、事前的から事後的対処に至るさまざまなレベルにおける安全性の研究が行われてきた。中でも、ガス状態で漏洩・拡散した水素に対する検討は、直接着火にいたる危険性を防ぐものであり、水素脆性やシーリングの不具合、ヒューマンエラーに端を発する着火・爆発といった危機的事態を回避するための安全限界を評価する上で重要となる。システムの劣化や、ヒューマンエラーが決して無くなる状況を検討すると、常に水素の漏洩・拡散に対するリスク管理を想定した対応が必要である。特に、密閉度の高い空間においては、なるべくリスクを緩和できる仕組みが求められる。

2. 研究の目的

漏洩水素の拡散・滞留に加え、天井部の水素換気口、側壁部の空気流入口を有する典型的な部分開放空間モデルである Hallway モデルを対象として、自然換気と強制換気の両面から以下の検討を行う。

センサーネットワークからのリアルタイムデータを取り込み、水素の拡散・滞留状況を認識・予測するための新計算法の開発、適切なセンサ数(解像度)、配置、漏洩量や拡散・滞留拡大速度を推定するための必要センシング項目の検討。

自然換気に関し、最適な換気口位置、その必要面積および開閉タイミングの水素漏洩量や漏洩位置をパラメータとする評価。

強制換気に関し、換気口位置、その必要面積、換気強度および換気タイミングが漏洩水素の拡散・滞留挙動に与える影響の解明、最適な換気口位置、その必要面積、換気強度および換気タイミングの水素漏洩量や漏洩位置をパラメータとする評価。

自然換気、強制換気のそれぞれに対するリスク緩和システムの構築と、その有効性の実証。

3. 研究の方法

この研究は、水素漏洩シミュレーションに基づき実施する。ここでのシミュレーションには、米国 National Institute of Standards and Technology (NIST) が公開しているオープンソースの火災シミュレータである、Fire Dynamics Simulator (FDS) を利用する。

本シミュレータは、プロジェクト

で必須となるセンサ点の情報に基づいたロジック判定により換気口の開閉といった基本操作が導入可能であり、プロジェクトの推進を強力に支援する。加えて、本シミュレータはLES(Large-Eddy Simulation)やDNS(Direct Numerical Simulation)に基づいた乱流解析を行うため、レイノルズ平均乱流モデルと比較して、本質的に非定常的な拡散・滞留挙動の高精度なシミュレーションモデルであると同時に、シミュレーションにより取得されるセンサ点情報も実験におけるセンサ点情報と同様に、拡散・滞留挙動に関して現象進行速度を特徴付ける豊富な情報を含んだリアリスティックな結果を与える。また、本研究で対象とする流れ場に対して上記シミュレータの事前検討を行った結果、申請者の有

する現状の計算機環境で、実験と比較してきわめて高精度な結果が得られることを確認してある。

この研究では、漏洩水素換気の実験を行う。部分開放空間に水素センサーと制御機構を設けた試験装置を製作する。水素センサーからのリアルタイムデータに基づいたマイコン制御により、換気ファンの速度制御を行う。

4. 研究成果

【特許第5494169号】では、濃度およびその濃度から求めた可燃性ガスの速度に基づいて、または、各ガスセンサで測定された可燃性ガスの濃度および速度に基づいて、可燃性ガスの発生量を求め、あらかじめ設定された可燃性ガスの発生量と排出口からの排気量との関係に従って排気手段を制御可能に設けられた制御手段とも有することを特徴とする換気制御システムを提案した。漏洩量に関する情報なしに固定流量の換気を実施すると、漏洩量が小さい場合と、大きい場合双方において漏洩水素拡散・滞留の助長が生じることを見出した。高精度な水素拡散解析に基づいて得られる、ある漏洩量に対して部分開放空間の先験的に許容される、空間固有の換気条件に関する情報と、センシングに基づく水素漏洩情報とに基づいて換気制御を実施することで、漏洩水素拡散・滞留の助長なくして、短時間でかつ確実に、水素換気が行えることを示した【K. Matsuura et al., *Int. J. Hydrogen Energy*, 37(2), pp. 1972-1984 (2012)】では、外部環境の影響を受けにくい空間形状を提案した。その後、本空間の先験的に許容される、空間固有の換気条件に基づき、短時間かつ確実に水素の換気が行え、尚かつ少ないセンサー数で機能する強制ベントアルゴリズムを提案した。【K. Matsuura et al., *Int. J. Hydrogen Energy*, 37(9), pp. 7940-7949 (2012)】では、このア

ルゴリズムに含まれるパラメータの影響を示した上で、漏洩停止後の水素排出を加速する方法を初めて提案した。【松浦，日本混相流学会混相流シンポジウム 2013】では、単一センサ水素ガス濃度に応じたファン速度制御を行うシステムを構築し、その自励振動現象を実験的に示した。

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3件)

Kazuo Matsuura, Masami Nakano, Jun Ishimoto, "Sensing-Based Risk Mitigation Control of Hydrogen Dispersion and Accumulation in a Partially Open Space with Low-Height Openings by Forced Ventilation," *International Journal of Hydrogen Energy* 37(2), pp. 1972-1984 (2012), 査読有。

Kazuo Matsuura, Masami Nakano, Jun Ishimoto, "Acceleration of Hydrogen Forced Ventilation After Leakage Ceases in a Partially Open Space," *International Journal of Hydrogen Energy* 37(9), pp. 7940-7949 (2012), 査読有。

〔学会発表〕(計6件)

Kazuo Matsuura, Masami Nakano, Jun Ishimoto, "Researches on a Sensing-Based Dynamic Forced Ventilation Control of Leaking Hydrogen," *AFI-2013*, 26th, Nov., Sendai International Center, Sendai, Miyagi, Japan, pp. 42-43 (2013).

松浦一雄、センシングに基づく漏洩水素のリスク緩和制御システムの構築、日本混相流学会混相流シンポジウム 2013、8月6日、信州大学、長野県長野市、pp. 1-2 (2013).

松浦一雄、漏洩水素のリスク緩和制御に関する研究、日本混相流学会、第16回オーガナイズド混相流フォーラム、12月7日、道後温泉、愛媛県松山市、pp. 1-14 (2012).

松浦一雄、中野政身、石本淳、センシングに基づく水素漏洩のリスク緩和制御アルゴリズムの構築、日本応用数学会年會講演会、9月16日、同志社大学、京都府京都市、pp. 327-328 (2011).

松浦一雄、中野政身、石本淳、低開口部を有する部分開放空間におけるセンシングに基づく水素漏洩のリスク緩和制御、日本混相流学会年會講演 2011、8月8日、

京都工芸繊維大学、京都府京都市、pp. 344-345 (2011).

Kazuo Matsuura, Masami Nakano, Jun Ishimoto, "Visualization of Leaking and Accumulating Hydrogen Under a Sensing-Based Ventilation Control in a Partially Open Space," *11th Asian Symposium on Visualization*, 8th, June, Toki Messe, Nigata, Nigata, Japan, pp. 1-8 (2011).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計1件)

名称：換気制御システムおよび換気制御方法
発明者：松浦一雄, 中野政身, 石本淳
権利者：国立大学法人東北大学
種類：特許
番号：特許第5494169号
取得年月日：平成26年3月14日
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 一雄 (MATSUURA, Kazuo)
愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：20423577

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：