

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16298

研究課題名(和文)流動可燃性ガス着火危険性の学理

研究課題名(英文)Scientific Principle on Ignition Risk of flammable Gas Flow

研究代表者

茂木 俊夫(Mogi, Toshio)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授

研究者番号：50392668

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：可燃性ガスが漏えいすると何らかの着火源により着火し、火災や爆発に至る可能性がある。着火可能性について、従来は静止混合気での着火特性(爆発下限界濃度)で評価されているが、本研究では流動状態の着火特性について調べた。均一な混合気流においては、気流速度と乱流強度が大きくなると、水素空気混合気の爆発下限界濃度が上昇する傾向があることが確認された。また、高応答性を有する濃度センサーを用いて、可燃性ガス噴流の濃度特性を計測し、噴流中に高濃度の領域が存在すると、そこで着火し、火炎が伝播する可能性があることを示した。

研究成果の概要(英文)：If the combustible gas leaks, it may ignite by some ignition source and lead to fire and explosion. Ignition possibility has been conventionally evaluated by the ignition characteristics (the lower explosion limit concentration) with the static mixture, but in this study the ignition characteristics in the flow state were investigated. In the homogeneous mixed gas flow, it was confirmed that the explosion lower limit concentration of the hydrogen / air mixture tends to increase as the airflow velocity and the turbulence intensity increase. Also, using the concentration sensor with high responsiveness, the concentration characteristics of the flammable gas jet are measured, and if there is a high concentration region in the jet, it shows that there is a possibility that the flame ignites and the flame propagates.

研究分野：燃焼工学

キーワード：燃焼 安全 着火危険性

1. 研究開始当初の背景

可燃性ガスはハンドリングしやすいエネルギー源として、一般家庭から工業現場まで広く用いられているが、漏えいし着火が起こるとガス爆発災害を引き起こす危険がある。また、近年、環境に配慮した新規エネルギーシステムとして水素などの可燃性ガスを用いたシステムの開発が進められているが、的確な安全対策が準備できなければ、「環境対策にはリスクがつきもの」という状況は避けられない。このようなシステムの最大の潜在危険であるガス爆発災害の挙動を科学的に理解し、正確に潜在危険を予測して的確な対策を実施することが急務である。

これまでに、ガス爆発に関する研究は数多く行われている。特に、圧力容器内や開放空間を模擬したピニルハウスに、可燃性ガスと空気の均一予混合気を導入して点火し、その圧力上昇速度や爆風威力などを計測し、ガス種や濃度が爆発威力に及ぼす影響などが明らかにされてきている。また、着火危険性についても標準測定装置により爆発（燃焼）限界や最小着火エネルギーを実験により測定し、その値が安全管理の指標として用いられている。しかしながら、従来の考え方や研究手法によっては、積極的な安全対策や事故発生時の原因の説明ができないと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、漏えい流動する可燃性ガスの着火危険性に及ぼす要因について明らかにすることを目的とする。具体的には、燃焼下限界に及ぼす混合気流速の影響を明らかにするとともに、濃度や流速が非定常なガス噴流中での着火限界条件に及ぼす要因を明らかにする。

また、実際の非定常噴流について、高応答ガスセンサーを用いて配管内の可燃性ガスの流動状態を明らかにするとともに、非定常噴流の濃度特性と着火特性を明らかにすることを試みた。

3. 研究の方法

(1) 流動可燃性ガスの着火特性

実験装置の概略図を図1に示す。可燃性気体の爆発下限界の測定方法としては、アメリカ鉱山局の方法が一般に用いられており、その方法にできる限り即した実験装置・方法を用いた。本研究では、可燃性ガスとして、水素燃料電池等への利用により普及が期待されている水素を用いた。プロアで発生させた空気流中に水素を供給し、混合して一辺が5 cmの矩形断面のチャンバーに送り、電気火花により着火させた。水素濃度は、流量比で調整するとともに、ガス濃度計で計測して確認した。着火の様子は、シュリーレン法を用いて高速度カメラにより観察した。

水素濃度は3~7%の範囲内、気流速度は0.5 m/s~10 m/sにて実験を行なった。気流の乱れの強さ(乱流強度)は穴の直径が5.0 mmと

10 mmのパンチングメタルをチャンパー間に挟むことで調整した。

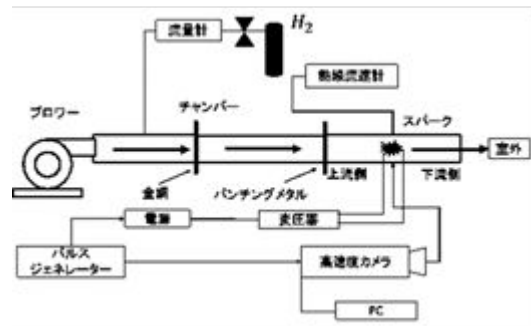
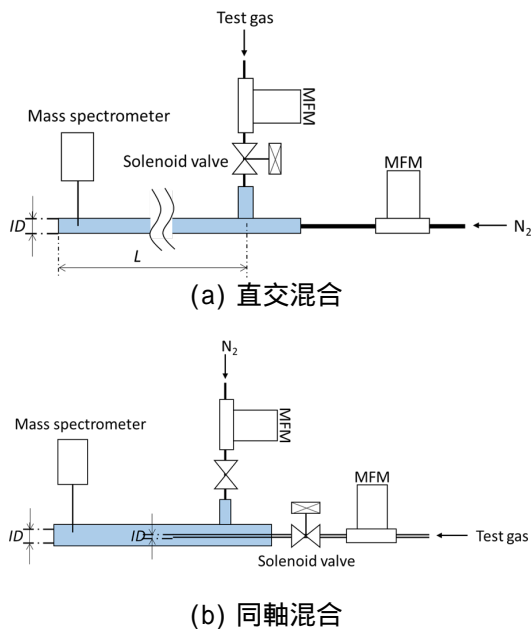


図1 実験装置及び方法

(2) 可燃性ガス噴流の詳細計測

実際の非定常噴流の濃度特性と燃焼特性との関係を明らかにするために、高応答ガスセンサーにより、空気や窒素流中に流入した水素の挙動を計測した。図2に実験装置及び方法を示す。所定の濃度になるように、マスフローメーターで窒素及び空気の流量を調整し、水素を高速電磁弁から流入させ、管路の出口で水素濃度を計測した。

また、非定常噴流の着火特性については、図2の装置から所定の濃度になるように水素と空気を混合して放出し、高速度シュリーレン撮影により、噴流の形状と火炎伝ばについて計測した。



(c) 図2 実験装置及び方法

4. 研究成果

(1) 流動可燃性ガスの着火特性

各条件下で着火実験を行ない、着火挙動を確認した。図3に着火の様子の一例を示す。図中の点線は密度変化の大きい部分をトレースしたものである。着火が起こらなかった場合でもスパークの加熱による密度変化が観測できたため、スパークのみを撮影した画

像と比較して密度変化の激しかったものを着火と見なした。

パンチングメタルなしでの着火実験結果を図4に示す。パンチングメタルなしの条件では、乱流強度は十分に小さく、気流の乱れによる影響は小さいので、気流速度的影響が大きいと考えられる。この図から、気流速度的が増大するほど着火しにくい傾向にあることが確認された。静止状態の水素の爆発下限界は4%が一般的数値であり、この値と比較しても、気流速度的の影響により着火しにくくなっていることが確認できる。これは、スパークにより与えられた熱エネルギーが流れにより下流側に流されて拡散され、着火部で混合気に与えられるエネルギーの密度が下がり温度上昇が抑制されたことが原因であると考えられる。

次に、パンチングメタル挿入し、気流速度的を変化させた結果を図5,6に示す。どの気流速度的においても、乱流強度が増大すると着火しにくくなる傾向が確認された。これは、スパークにより与えられた熱エネルギーが乱れにより周囲に速く拡散され、着火部で混合気に与えられたエネルギーによる局所的な温度上昇が抑えられたことが原因であると考えられる。また、撮影した画像を観察すると、乱流強度が大きい場合の方が、火炎が広範囲により高速で広がっていることが確認された。これは、乱れにより火炎が乱流化し火炎伝ば速度が増大したことに起因すると思われる。

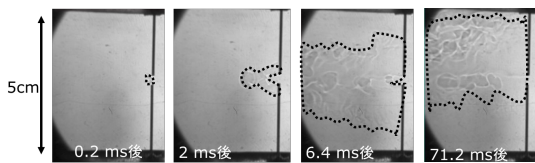


図3 気流速度的 5m/s, 水素濃度 5.7%の着火の様子

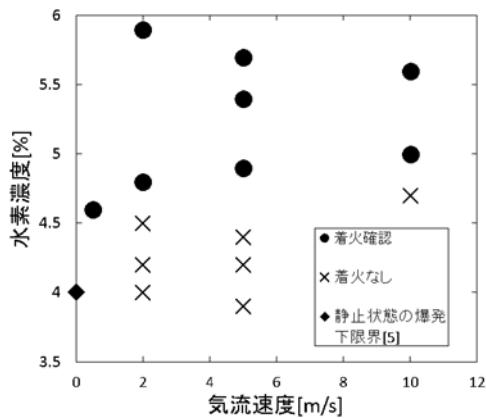


図4 気流速度的と着火性の関係

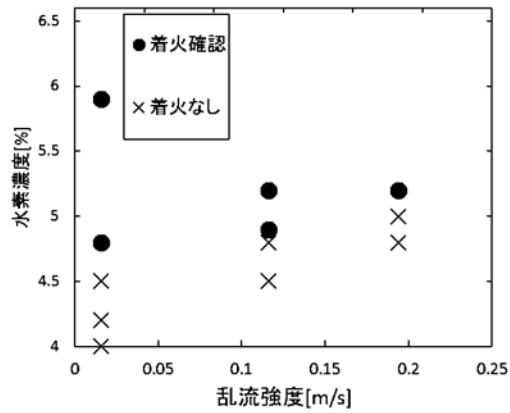


図5 乱流強度と着火性の関係(風速 2 m/s)

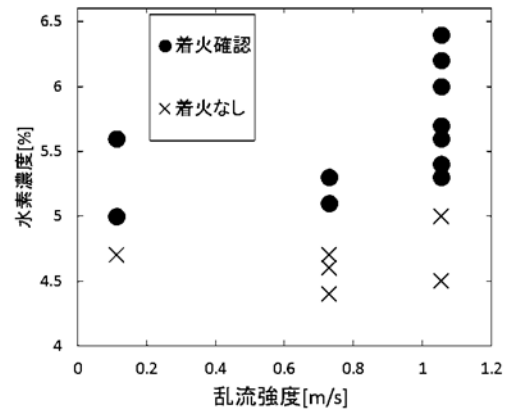


図6 乱流強度と着火性の関係(風速 10 m/s)

(2)可燃性ガス噴流の詳細計測

可燃性ガス噴流の詳細計測に関する実験について、実験結果の一例を図7に示す。窒素流中にエルボ配管から100 vol%の水素を高速電磁弁で供給し、エルボ部から1 mの位置で水素濃度の変化を計測した結果である。水素流量が3 NL/min、窒素流量が5 NL/minとなるように供給しているため、平均で窒素中の水素濃度は約40 vol%になるはずであるが、水素流の先頭部分に局所的に高濃度の領域が存在することが確認された。

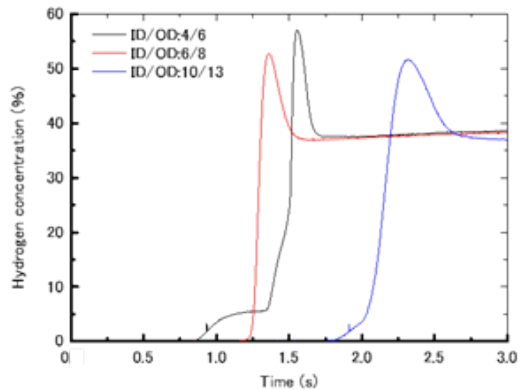


図7 水素濃度の時間変化

(3)可燃性ガス噴流の着火及び火炎伝ば挙動
 漏えいした可燃性ガス噴流で着火した場合を想定して、ノズル出口から離れた位置で着火させて、着火と火炎伝ば挙動を計測した。
 図8は水素濃度10%の水素・空気混合気の噴流の着火と火炎伝ばの様子をシュリーレン撮影した結果である。着火すると下流へ火炎が拡がり始め、しばらくすると上流側への火炎伝ばが開始された。本研究の実験方法のように、噴流中に高濃度の部分が存在すると全体的に希薄な流れでも着火し、火炎が伝ばする可能性があり、着火危険性を検討する上で重要な知見が得られたと考えられる。

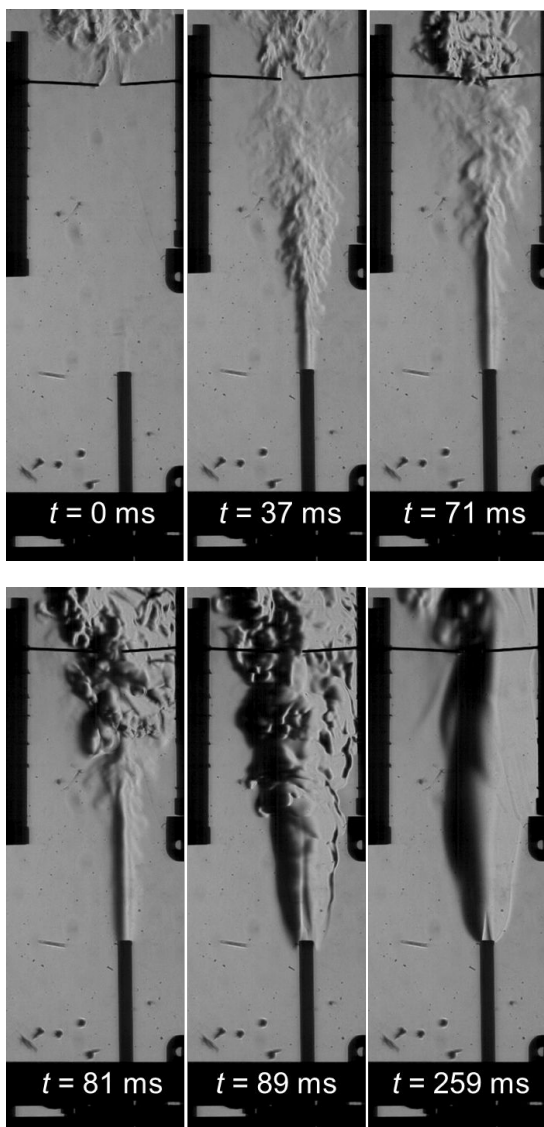


図8 水素噴流の着火と火炎伝ば挙動

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)

[学会発表](計3件)

茂木俊夫, 能美隆, 高応答センサーによる水素流れの詳細計測, 日本機械学会 2017 年度年次大会, 2017/9/4, さいたま.

Toshio Mogi, Takashi Nohmi, Ritsu

Dobashi, Measurement of Hydrogen Mixing Process by High Response Hydrogen Sensor, 6th International Conference on Hydrogen Safety, 2017/9/13, Hamburg.

Takashi Nohmi, Toshio Mogi, Monitoring H2 by real time H2 sensor, 6th International Conference on Hydrogen Safety, 2017/9/13, Hamburg.

6. 研究組織

(1)研究代表者

茂木 俊夫 (MOGI TOSHIO)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：50392668