

水素利用に関わる安全

井上 雅弘

九州大学大学院 地球資源システム工学専攻 開発工学研究室

〒819-0395 福岡市西区元岡 744

1. はじめに

当研究室は水素分野では、主に漏洩した水素の拡散、検知、燃焼の抑制という、水素利用に関わる安全確保の観点から研究を行っている。水素についての研究は2003年に九州大学の「水素利用機械システムの統合技術」が文部科学省の21世紀COEプログラムに採択されたことを契機に開始した。当研究室は名称からお解りのように資源系の研究室であり、地下深く資源を採掘する鉱山の安全を目的としている。この中で最重要の課題はガス爆発の防止である。このため、ガスの拡散、検知、燃焼に関する研究は、従来積極的に行ってきた。このため、COEプログラム採択を機に、水素についての安全に関する研究を行うこととした。また、鉱業は一般産業より災害率が高く、これらを低減するために災害要因分析、ヒューマンファクタ、リスクマネジメントの研究なども行っており、これらは今後発生する可能性のある災害を未然に防止するために役立つと考えている。

2. 水素の燃焼

水素の可燃限界は空気中で4~75%であるが、燃焼の強さはその濃度によってかなり異なる。小型の燃焼容器で燃焼させた場合、水素濃度（体積分率）が8%程度では燃焼したかどうか分からないことがある。初めての学生には予め現象をよく説明しておかないと見逃してしまう。ところが濃度が20%を越えたあたりから点火スイッチを押すのがためらわれるほどの鋭い音響を発生し、隣の部屋の学生は燃焼実験中とわかっていても相当驚いてしまう程である。この差違は文書ではなかなか伝えがたい。人間は音を伴わないと実感できないようである。また、着火する位置や気流の乱れの程度によってもその燃焼の激しさが異なる。筆者はメタンの燃焼には慣れていて、水素をはじめて着火させたとき、そ

の音響の大きさに研究室一同大変驚き、一瞬ではあるが水素を研究対象とするのはやめようかと思ったほどである。図1は水素-空気混合気の燃焼の様子の写真と圧力変化である。3枚の写真では水素濃度が20%から2%ずつ増加しただけであるが、その火炎の大きさや圧力の大きさがかなり異なることがわかる。学生には濃度を変えるときには十分用心するように指導している。なお、当研究室の学生は学部・修士併せて5~6名程度ですが、水素の拡散や燃焼の実験は筆者がいるときのみということの大前提としている。

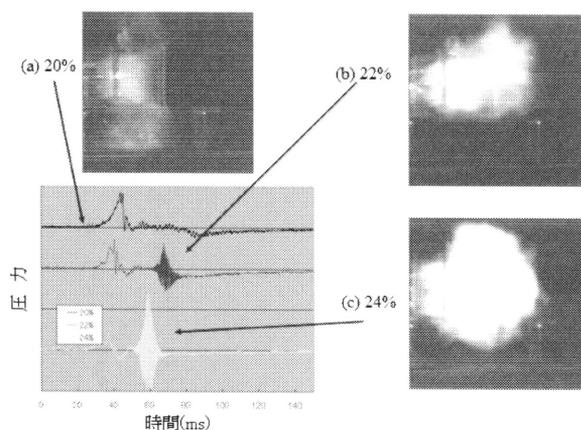


図1 水素-空気混合気の燃焼。濃度が2%異なるだけで燃焼の強さが大きく異なる。

3. 水素の拡散

災害防止の観点からは、望ましくない水素の燃焼が生じるのは水素が漏洩した場合に外気にまで効果的に排除されないからである。このため本研究の対象は換気の悪い室内やトンネルなどである。ここで換気と書いたが似たような言葉に通気という言葉がある。広辞苑には換気とは「空気を入れ換えること」とあり、通気とは「空気を送り入れること」とある。この違いは通気が空気の入口と出口をはっきりと意識していることと思われる。

図2は部分開放空間つまり、空間の大きさに比較して、開口部が小さい空間モデルにおける水素濃度の測定結果である。供給水素流量 57L/min という、モデル容積に対して少なくない水素量にもかかわらず、内部の濃度は最も高いところで 5%程度までしか上昇していない。57L/min で水素が供給され、これが本モデルから流出しなかったとするとモデル内の平均濃度は5分後には11%程度となるはずである。しかし、実際の濃度は上部で5%、下部で1%であり、平均としては3%程度と推測される。これ以降はほぼ定常状態なので、供給される水素量に相当する水素が排出されている。天井の換気口の面積は天井面積に比べるとわずか 2%である。水素の濃度が最大で 5%程度で維持されているのは天井の換気口のみ効果ではなく、側面の換気口から空気が入り、天井の換気口から出るという効果的な空気の流れが形成されているからである。つまり、水素の効果的な排除を考える場合には「通気」という概念でとらえることが必要と思われる。

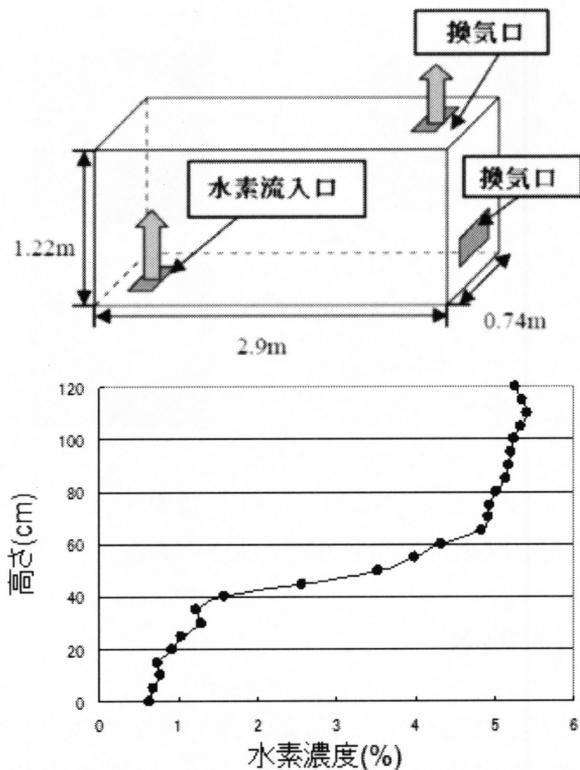


図2 部分開放空間における水素濃度

4. 水素の検知

過去の災害を調べるとセンサが正常に機能していなかったことがある。その原因はセンサの問題ではなく、セ

ンサの位置の問題であった。工場や実験施設の見学をした際にセンサが天井から 30cm 程度も離れていることを目にすることがあり、異常を早期に検知できるか疑問を持つことがある。センサを適切に使うという観点から、漏洩水素の天井近傍での濃度を測定した結果が図3である。センサが天井から 8cm 離れているだけで、水素濃度は天井より 1桁小さいことがわかる。ほとんどの場合にセンサは天井面にできるだけ近づけた方が早期発見につながるという結果が得られている。

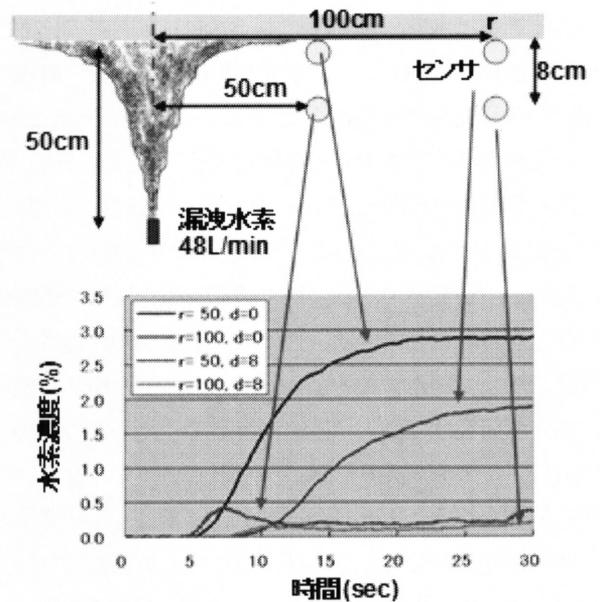


図3 天井近傍での水素濃度

5. 水素の燃焼の抑制

水素が漏洩しないこと、および水素が漏洩した場合でも集積しないようにすることは重要であるが、万一集積し着火した場合の対策も必要と考えている。水素は燃焼しやすいとはいえ酸素濃度が低くなれば燃焼しなくなる。このとき不活性ガスなどを加えるが、その量と燃焼の有無については従来研究が行われている。これらによれば、二酸化炭素は他の窒素やヘリウムよりも消炎効果が大きい。しかし、水素が燃えないということは人間に対しても酸欠の状況となる。過去に二酸化炭素を用いた消火装置システムにより何人も死亡者が出ている。着火しないかもしれない水素の燃焼抑制で人が亡くなっては何にもならない。このため水噴霧のみで、あるいは水噴霧と不活性ガスを併用し、人間に対して危険でない環境で燃焼を抑制することを検討している。メタンガスの場合に

は水噴霧のみで火炎の伝播を防止できる(図4)。水素の場合はいまのところ、水噴霧のみで火炎伝播を防止するには到っていないが不活性ガスとの併用では可能なことを見出している。本研究室の研究目的に適した既製の実験装置はないのでほとんどが手作りである。見た目はあまり良くないが、学生には逆に考える要素が多く、教育に向いていると考えている。

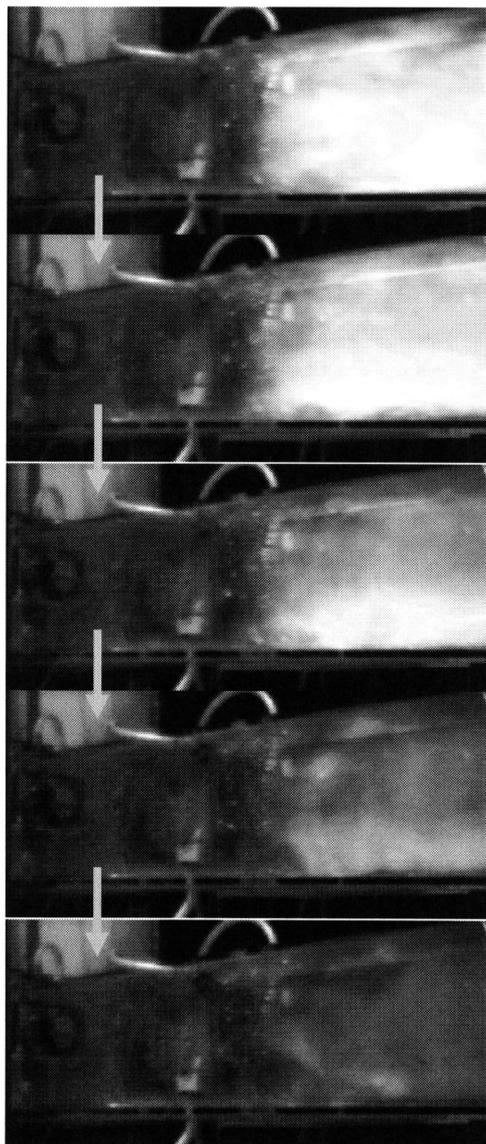


図4 水噴霧によるメタンガスの火炎伝播防止。ダクト中央で右からの炎が消えている。上から順に1/50秒ごとの表示

6. おわりに

水素は普段接する機会が多いメタン(都市ガス)よりはるかに燃えやすい。このことをしっかりと認識してい

ないと災害を招く恐れがある。図5はこの認識を忘れない目的と、水素の安全性に関する講演をする際に、水素がいかに燃えやすいかの例として使用しているもので、いったん容器内の燃焼が終了した後に燃焼の炎が再度見られる。これは筆者の実験装置の不備から生じたもので、水素を供給するチューブ内に火炎が伝播したことを示している。メタンガスの場合には炎がこのように伝播することはなかったので、可燃性ガスの出口付近にバルブを付けていなかったことが原因である。現在は電磁バルブを設置しているのでこのようにはならない。本燃焼実験後に水素を制御するコントローラーがよくエラーを生じたがその原因は不明であった。高速度カメラの画像を入念に分析してはじめて、この現象と原因が特定された。

従来災害防止の方法の一つとしてヒヤリハットがある。これは有効な方法であるが、ヒヤリとした事象に学ぶと言うことは過去に学ぶと言うことである。現在のように新しい技術が導入されるときにいちいち過去に学んでいては、その教師役になる人間はたまったものではない。リスクマネジメントにより過去に学ぶのではなく、災害を先取りすることが重要と思われる。

「温故知新」災害の歴史から言えることは新しい技術は新しい災害をもたらしてきた。少し前、ロボットに挟まれて作業員が亡くなられたときに、「ロボット殺人」と話題になった。最近話題のETCであるが、このシステムの導入により既に何人もの方が無くなっている。水素がその例外であることを祈っている。

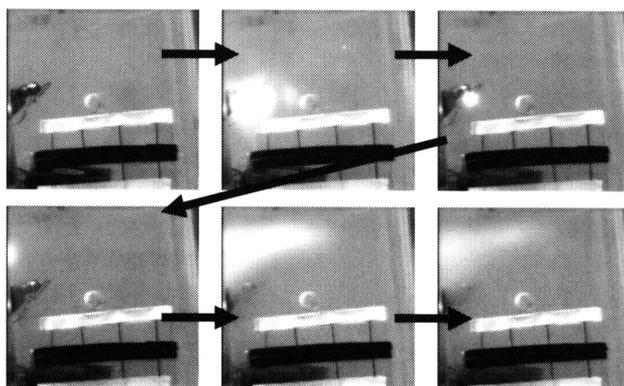


図5 水素供給チューブ内の燃焼。2枚目で着火して容器内の燃焼は終了しているが、4枚目左側(水素の供給ラインの位置)から炎が吹き出し暫く継続している。