

総論：水素利用における安全化と課題

田村 昌三

東京大学名誉教授

〒277-0882 千葉県柏市柏の葉3-6-23

Safe Utilization of Hydrogen and Some Technical Subjects

Masamitsu Tamura

Emeritus Professor of the University of Tokyo

3-6-23 Kashiwanoha, Kashiwa 277-0882

It is well-known that fuel cells using hydrogen should be one of the most promising energy resources in the 21st century because they can have high energy efficiency and supply clean and stable energy without the production of CO₂, NO_x, SO_x, PM etc in the generation processes of electric power by using hydrogen produced from various fuels such as petroleum, natural gas, LP gas, kerosene. On the other hand, it should be essential for hydrogen energy society to ensure safety in the hydrogen utilization processes. Therefore, we should estimate all the risks in the hydrogen utilization processes by obtaining the knowledge on the basic properties of hydrogen and its explosion and fire properties and should establish the technologies to ensure safety. A risk management method has been discussed in the hydrogen utilization processes and some subjects have been described on the risk management and the safe countermeasures in the paper.

Keywords: fuel cell, hydrogen station, risk management, safe countermeasures

1. はじめに

水素エネルギーは、高いエネルギー効率を有し、省エネルギー効果が期待できること、水素は豊富な水の電気分解をはじめ、石油、都市ガス、LPガス、灯油等の種々の燃料から製造できるため資源的な制約がなく、安定供給が可能なこと、発電の過程で燃焼を伴わないため、二酸化炭素、NO_x、SO_x、PM等を発生しないクリーンなエネルギーであり、地球温暖化問題や地球環境問題等の環境負荷の低減に有効であることから、21世紀の環境対応エネルギーとして注目されている。

水素エネルギー社会の実現に向けて我が国における水素利用が急速に進む中で、水素利用に伴う安全の確保はいまや必須の要件であり、水素の基本特性や爆発・火災特性を基に、水素利用に伴う燃料電池自動車や水素ステーション、定置用燃料電池等のリスクを明らかにする

とともに、安全化に向けた技術的課題を明確にし、それらを解決する必要がある。

そこで、本稿においては、水素利用におけるリスクマネジメントについて述べるとともに、リスク評価の課題および保安技術の課題について考える。

2. 水素利用等におけるリスクマネジメント

水素エネルギー社会の実現に向けていま展開している燃料電池自動車や水素の製造、供給のための水素ステーションおよび定置用燃料電池の安全化を図るためには、各水素利用環境におけるリスク評価を十分に行い、適切な安全対策を講じることが必要である(図1)。

そのためには、まず、各水素利用環境における水素の特性および取扱条件を考慮し、あらゆる災害発生シナリオを種々の視点から漏れなく抽出する必要がある。

この場合、水素は、拡散速度が大きく、また、燃料電池自動車や水素ステーションでは、水素を高圧下でボンベ、タンク等に貯蔵するため、漏洩、拡散の問題があることや金属材料の脆化の問題があることを考慮する必要がある。

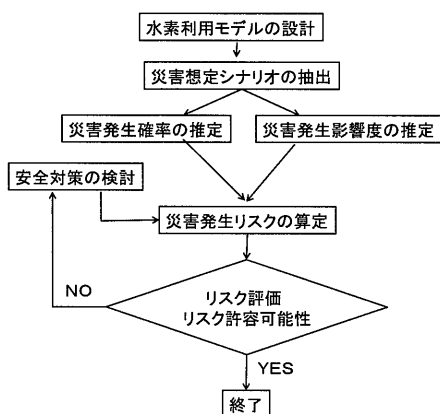


図1. 水素利用モデルのリスクマネジメント

一方、水素は、着火エネルギーが小さく、燃焼速度が大きく、爆風圧力大きいこと、また、爆ごうを起こしやすいことも安全対策を考える上で配慮しておかなければならない。

水素利用等に伴う災害発生シナリオの抽出に当たっては、関連するプロセスにおける事故事例からの知見は有効であろう。

以下に燃料電池自動車、水素ステーションおよび定置用燃料電池における主な災害発生シナリオについて考えてみる。

2.1. 燃料電池自動車における災害発生シナリオ

燃料電池自動車は、燃料電池スタックにおいて電気を発生させ、モーターを駆動させて走行するもので、固体高分子形燃料電池のセルスタック、高圧充てんした水素を搭載する高圧容器、電池本体や燃料フローを制御する電子システムから構成される。また、始動・走行等の補助や電気の回収のため、蓄電システムを搭載する。

水素の漏洩は、高圧容器、配管、接続部、電池のセルスタック等からの自然漏洩、衝撃等により起こるおそれがある。また、燃料電池自動車が火災に遭遇して、高圧容器等が加熱され、水素の漏洩が起こるおそれもあることを考えておく必要もあろう。

漏洩した水素は空气中に拡散して、条件により、爆発性混合気を形成し、着火（着火源による着火あるいは自

己着火）により爆発・火災を発生する。

2.2. 水素ステーションにおける災害発生シナリオ

水素ステーションでは、燃料電池自動車等への水素供給を高圧充てんで行うため、圧縮機、畜圧器、ディスペンサー、プレクール（事前冷却設備）、緊急離脱カプラー、配管・バルブ類等が設置される。

一方、水素は、液化水素あるいは高圧水素として輸送される場合、パイプラインで輸送される場合、都市ガス等から製造される場合がある。

水素の漏洩は、圧縮機、畜圧器、ディスペンサー、プレクール、緊急離脱カプラー、配管、接続部等からの自然漏洩、衝撃等により起こるおそれがある。また、水素ステーションが火災に遭遇すると、圧縮機等が加熱され、水素の漏洩が起こるおそれもある。

漏洩した水素は空气中に拡散して、条件により、爆発性混合気を形成し、着火（着火源による着火あるいは自己着火）により爆発・火災を発生する。

水素ステーションで水素を製造する場合においては、さらに、都市ガス等の漏洩に伴う爆発・火災についても考えておく必要がある。

2.3. 定置用燃料電池における災害発生シナリオ

現在実用化されている家庭用固体高分子形燃料電池は、都市ガスやLPガス等から水素を取り出し、水素と空気中の酸素との化学反応により、電気と熱をつくる機器であり、燃料電池ユニットは、空気供給装置、脱硫器、都市ガス等から水素を取り出す改質器（改質、シフト、CO選択酸化）、燃料電池スタック、インバーター、排熱回収器、制御装置、水処理装置等からなる。また、燃料電池本体は、電解質膜、化学反応を促進する触媒、セパレーター等からなる。一方、貯湯ユニットは、貯湯槽、補助バーナーから構成される。

水素の漏洩は、改質器、燃料電池スタック、配管、接続部等からの自然漏洩、衝撃等により起こるおそれがある。また、定置用燃料電池が火災に遭遇すると、改質器等が加熱され、水素の漏洩が起こる場合等がある。

漏洩した水素は空气中に拡散して、条件により、爆発性混合気を形成し、着火（着火源による着火あるいは自己着火）により爆発・火災を発生する。

定置用燃料電池の場合には、水素製造のための都市ガスやLPガスの漏洩に起因する爆発・火災についても考えておく必要がある。

水素利用等における災害発生シナリオの一部について

て述べたが、リスクマネジメントを適正に行うためには、災害発生シナリオを漏れなく抽出する必要がある。そのため、まず、自然漏洩、衝撃等による漏洩、火災遭遇時に起因する漏洩も含めて、あらゆる要因を漏れなくリストアップするとともに、漏洩から爆発・火災に至るシナリオをすべてリストアップする必要がある。

災害発生シナリオが抽出されると、そのシナリオが発生する確率と発生した場合の影響度を求め、その積から、リスクを評価することになる。この場合、災害発生確率は水素等の特性とそれが取り扱われる条件との関係により算定される。一方、災害発生の影響度は水素等の特性と取り扱われる量との関係により算定される。リスク評価は本来災害発生シナリオすべてについて実験的な方法あるいは必要によりシミュレーション等を用いて行うべきであるが、数多くの災害発生シナリオについて、実験的方法等を用いて行うことは現実的ではない。一般的には、まず、専門家等による一次リスク評価でリスクの大きい災害発生シナリオの洗い出しを行い、次いで、リスクの大きい災害発生シナリオについて、実験的方法等によりリスク評価を行うのが現実的であろう。

リスク評価の結果は、表1に示すように、発生確率と影響度からなるリスクマトリックスで表す。

表1. リスクマトリックス

影響度	発生確率			
	A. ほとんど起こりえない	B. 起こりにくい	C. 起こる可能性がある	D. 十分起こりえる
I. 極めて重大な災害	H	H	H	H
II. 重大な災害	M	H	H	H
III. 中規模災害	M	M	H	H
IV. 小規模災害	L	L	M	H
V. 軽微な災害	L	L	L	M

リスクH: 許容できない、更なる安全対策が必要。
 リスクM: 原則として許容できない、更なる安全対策の可能性を検討。
 現実的な対策がない場合、許容する。
 リスクL: 許容できる。

リスク評価の結果、リスクが許容できない災害発生シナリオについては、設備、操作、管理面等から安全対策を講じ、災害発生確率あるいは影響度を低減させることにより、リスクの低減を試みる。その結果は再度リスク評価を行い、許容できるレベルになったかどうかを判断する。原則として、リスクが許容できるまで安全対策を講じなければならない。

3. 水素利用等におけるリスク評価の課題と保安技術

各水素利用等における火災・爆発等発生リスクの評価を適切に行う上では、各水素利用環境における下記の課題を検討する必要がある。

水素利用等における水素の漏洩・拡散と爆発・火災挙動の把握

- 1) 水素の漏洩・拡散のモデル化
 各水素利用環境における漏洩・拡散挙動と爆発性混合気形成とシミュレーション
- 2) 水素漏洩時の爆発・火災挙動の把握
 - ① 各水素利用環境における水素の爆発・火災特性の把握
 着火挙動の把握：自己着火および各種着火源による着火挙動
 燃焼・爆発挙動の把握：燃焼速度、爆ごう速度、燃焼エネルギー等
 - ② 各水素利用環境における爆発・火災影響の把握
 爆風効果、輻射熱、飛散物等
 - ③ 各水素利用環境における水素漏洩時の爆発・火災挙動の把握
 各水素利用環境における爆発・火災挙動のモデル化とシミュレーション

また、各水素利用に伴う災害発生防止のための保安技術としては、下記の技術の構築が必要であろう。

保安技術

- 1) 漏洩防止技術
- 2) 漏洩検知技術
- 3) 漏洩時災害防止技術
 希薄化技術、消火技術
- 4) 防爆技術

4. まとめ

水素利用におけるリスクマネジメントとリスク評価の課題および保安技術について述べた。21世紀の水素エネルギー社会の実現に向けて、安全の確保は必須の課題であり、適切なリスクマネジメントと保安技術の構築が望まれる。