

安全な水素ガス吸入機選択の世界基準
爆水素爆発事故に基づく安全な水素ガス吸入機の選択のガイドライン

MiZ 株式会社は、カリフォルニア大学バークレー校および慶應義塾大学と共同で『水素爆発事故に基づく安全な水素ガス吸入機の選択の指針』と題した総説論文を発表しました。

本論文は、オランダを拠点する出版社が発行する国際科学誌「Medical Gas Research」のオンライン版で発表されました。

DOI: 10.4103/2045-9912.344972

我々は水素ガス吸入機の爆発の危険性について報告したにもかかわらず (Medical Gas Research, 2015 5:13 Kurokawa et al.)、依然として爆発の危険性がある水素ガス吸入機が市場に出ている。今回、我々は内閣府消費者庁の事故データベースで水素ガス吸入機の重大な爆発事故の調査を行い、水素ガス吸入機の爆発事故の原因を明らかにした。調査の結果、水素ガス吸入機の爆発の原因は水素ガス吸入機の内部における水素ガスの漏洩が原因となっていることを突き止めた。また、水素の爆発濃度は10%~75%であり75%以上では酸素が不足しているため爆発しないものというメーカーもいるが、実際に着火実験を行うと100%に近い水素ガスを生成している水素ガス吸入機でも爆発は起こることを確認した。このような爆発の危険性を伴う水素ガス吸入機は前臨床試験や臨床試験において用いるべきではない。我々は人命を危険に曝し、家財を破損させるような爆発・爆轟の危険がある水素ガス吸入機を流通させることは社会正義に反する極めて悪質な行為であり市場から排除すべきものであると警鐘を鳴らす。本論文では、安全な水素ガス吸入機を選択方法について言及する。

[1937年「ヒンデンプルグ号の水素爆発事故」が水素医療に対して示唆するもの (YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=mgeoURMUaMg&t=35s>)]

イントロダクション

水素分子は常温常圧で無色無臭の気体である。水素分子は酸素分子と反応して水分子を生成する際に激しい爆発を起こす。我々は慶應義塾大学との共同研究で水素は10%より高い濃度での爆発することを報告した。とりわけ、水素は18.3%~58.9%においては「爆轟 (ばくごう)」という、超音速 (マッハ5以上) の衝撃波を伴う極めて危険な爆発と共に爆燃とよばれる火炎伝播を起こし、重大事故を起こし得る。特に水素と酸素の比が2:1の水素と酸素の混合ガスは「酸水素爆鳴気」として知られ、激しい爆音を発する (爆鳴) とともに威力の強い爆発を起こす。水素ガスの爆鳴は時にヒトの聴覚神経細胞を破壊し、不治の聴覚喪失を引き起こすこともある。エネルギー利用においては、水素設備の水素爆発防止のための安全性の研究はなされており、水素の爆発に関する安全性の研究はなされているものの、家庭用の水素ガス吸入機については、その安全性を無視したものが数多く流通している。水素の医療利用が進められている中で、爆発の危険性がある水素ガス吸入機の爆発事故は水素医学の発展を妨げかねない。爆発性を有する気体を扱う以上、安全性の担保は絶対である。爆発濃度の水素を生成している吸入機であるにも関わらず、あたかも爆発の危険性がない水素濃度を発生させているかのように見せかけるために、水

素ガスの濃度を都合のいい解釈に基づいて、購買者に爆発の危険性がないものと錯覚させている悪質な製造会社や医療機関も存在する。水素ガス吸入機は家庭や病院で用いられるため、爆発・爆轟の危険性がある水素ガス吸入機は、家財の破損、爆鳴による聴覚の喪失、火災、場合によっては人命に関わる重大事故の原因となる。安全性が担保された水素ガス吸入機の開発には開発者の倫理観と高度な技術思想が必要とされる。

本研究では、我々は水素ガス吸入機の過去の爆発事故を調査し、爆発の原因について考察を行った。さらに、我々は爆発しないと言われている75%以上の高濃度の水素は生成している水素ガス吸入機に対して着火実験を行い考察を行った。

水素吸入機を選ぶ際に確認すべきこと（5つのポイント）

水素は上述した特性を有するため、水素ガス吸入機を購入する際には、安全性に十分に配慮がなされている製品を選択すべきである。以下にその条件を列記する。

(Point 1) 水素の発生源に直接希釈ガスを送り直ちに水素ガスを爆発濃度以下に希釈していること

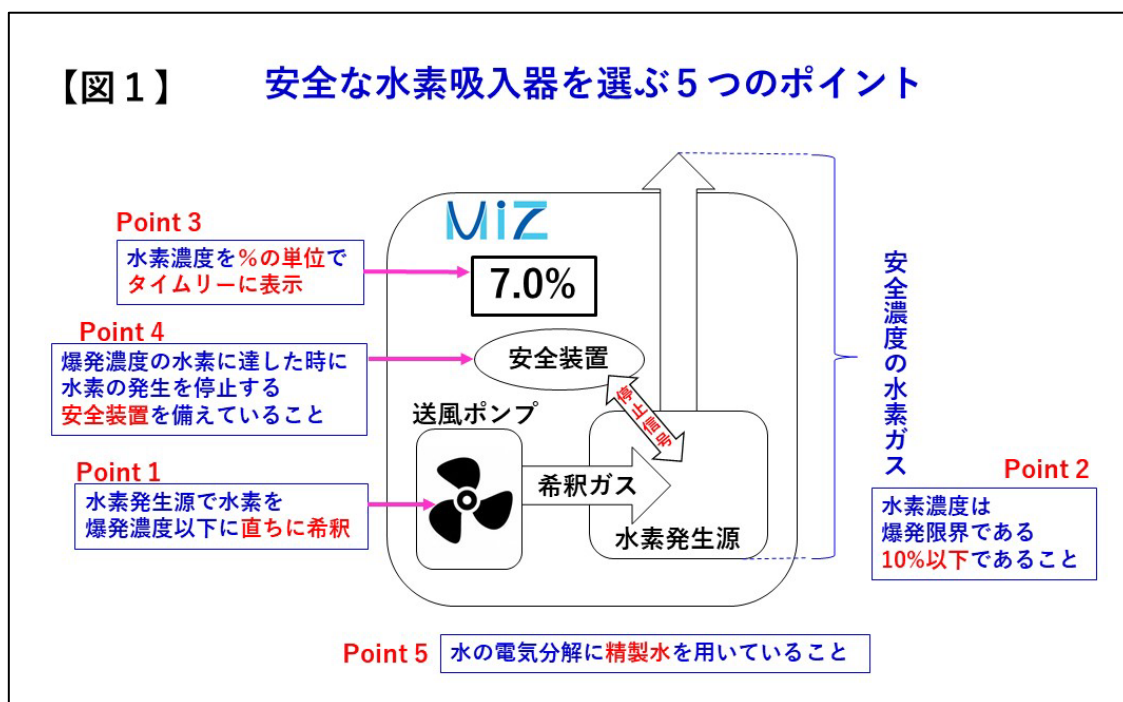
(Point 2) 水素を水素の爆発濃度である10%以下にまで希釈していること

(Point 3) 水素濃度の表示機能を備え、タイムリーに表示していること

(Point 4) 水素濃度を検知し、爆発濃度に達すると瞬時に水素の発生を止める安全装置を備えていること

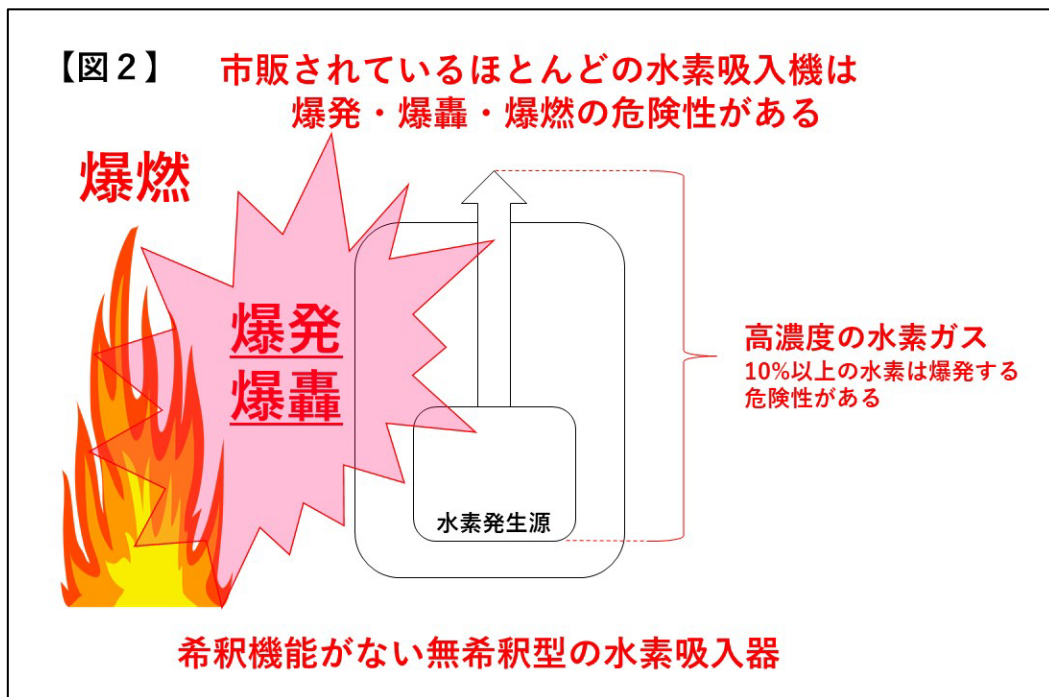
(Point 5) 電気分解に精製水を用いていること、これは誤って食塩など塩素系の電解質を電解水に溶解と毒性を有する塩素ガスが発生するためである。

この条件を満たさない爆発の危険性がある水素ガス吸入機は、重大事故を起こしかねないため、家庭での使用目的のみならず、研究所や病院における前臨床試験や臨床試験で用いるべきではない。

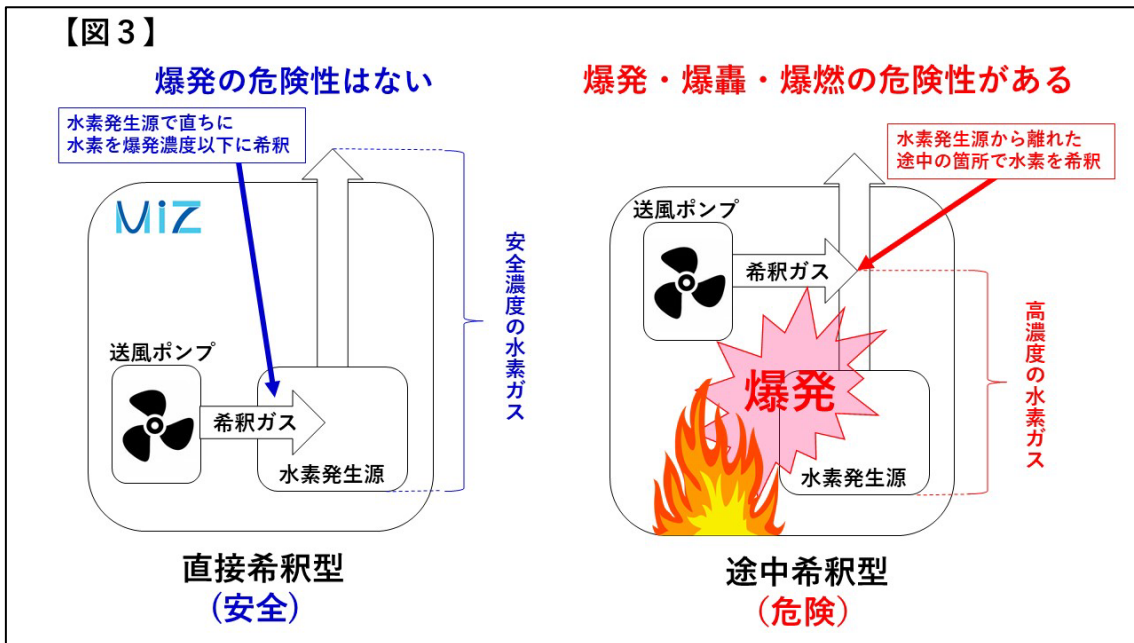


水素爆発の危険性がある水素ガス吸入機

市販されている水素ガス吸入機は、水の電気分解により生成した水素をそのまま吸入口から排出するものがほとんどであるので、爆発の危険性がある（図2）。



したがって、生成した水素は空気などの希釈ガスで爆発濃度以下に希釈すべきである。希釈方法には、水素の発生源で発生した水素を直ちに水素の爆発濃度以下に希釈する「直接希釈型」のもの、発生させた水素を水素を排出するまでの間で希釈する「途中希釈型」のもの2種類がある（図3）。「直接希釈型」の水素ガス吸入機は吸入機内において爆発濃度の水素が貯留または流通していないため安全が担保されている。一方、「途中希釈型」の水素ガス吸入機は、水素の生成から希釈されるまでの間は爆発濃度の水素であるため、爆発の危険性が残る。「途中希釈型」の水素ガス吸入機は、水素を送るチューブの経年劣化やチューブの脱落による機体内への水素漏洩の危険性がある。水素爆発の事故のなかで目立つ事故は、機体内に水素が漏れ、漏れた水素が爆発する水素の漏洩を原因とする事故である。



水素および水素吸入器の着火実験

本実験では、水素ガスの爆発限界を確認すると共に（着火実験1）、水素ガス吸入機でも水素ガスの爆発が起きるかどうかなを実際に水素ガス吸入機の着火により検証を行った。

（着火実験1）

ポリ袋に4%、10%、15%、20%、100%の濃度の水素を封じ込めて着火した。水素は大陽日酸の水素ポンベ（100%）を希釈して調製し、水素濃度は新コスモス電機の水素濃度計（XP-3140）を用いた。実験結果を以下に示す。

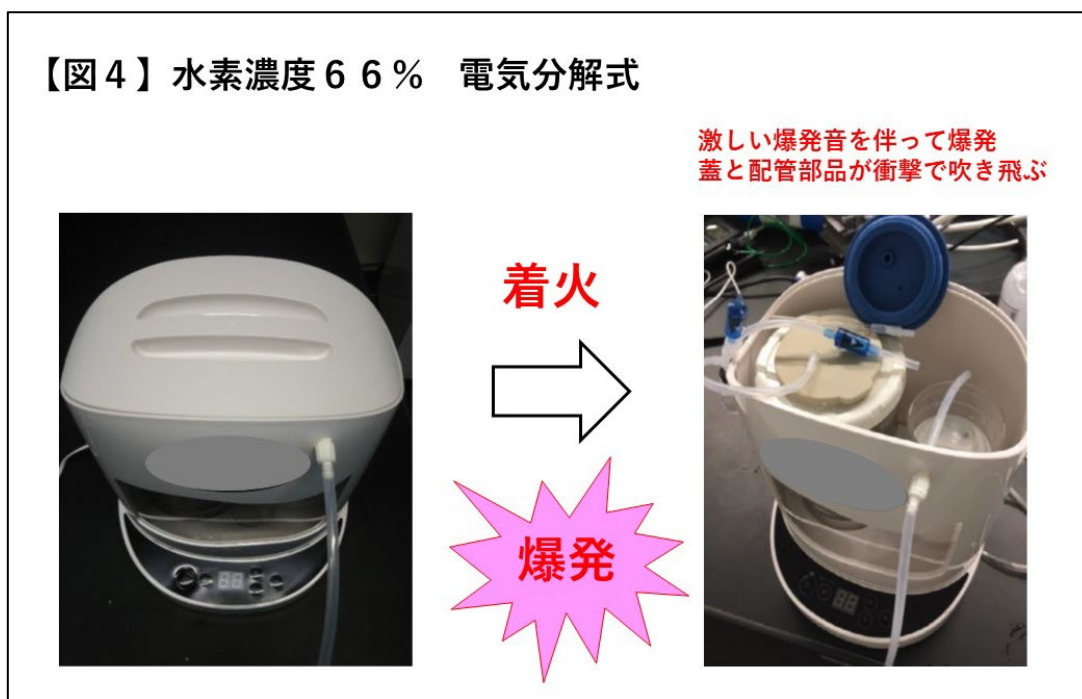
実験結果

水素濃度	爆発発生	爆発音
4%	爆発せず	なし
10%	爆発せず	なし
15%	爆発	爆発音あり
20%	激しく爆発	激しい爆発音あり（爆轟）
100%	爆発	爆発音あり

（着火実験2 -水素濃度66%（電気分解式）の吸入機の場合-）

J社の水素ガス吸入機（電気分解式、水素濃度66%）に着火すると、激しい爆音を伴って水素が爆轟し、吸入機本体の蓋と配管部品が衝撃で飛び散った（図4）。水素濃度66%の水素ガス吸入機は、水を電気分解して発生させた水素と酸素の混合気体（水素66%、酸素34%）を吸入するタイプのものである。この水素：酸素の比が2：1の気体は酸水素爆鳴気と呼ばれ、とりわけ激しい爆音を伴う爆発を起こす。

【図4】 水素濃度 66% 電気分解式



(着火実験3 -水素濃度100% (電気分解式) の吸入機の場合-)

I社の水素ガス吸入機(電気分解式、水素濃度100%)に、スイッチを入れた直後に着火すると水素ガスの吐出口から透明な炎が出続けた。また、スイッチを入れて数分後に着火すると、激しい爆音と共に爆発して容器が破裂した(図5)。この実験から爆発限界(75%)以上100%濃度の水素ガス吸入機にも爆発の危険性が伴うことが明らかとなった。

【図5】 水素濃度100% 電気分解式



(着火実験4 -水素濃度100% (水素発生剤式) の吸入機の場合-)

P社の水素ガス吸入機（水素発生剤、水素濃度100%）に着火すると、激しい音と共に爆発し、上部の蓋が炸裂して飛び散った（図6）。着火実験3と同様に、爆発限界（75%）以上100%濃度の水素ガス吸入機にも爆発の危険性が伴うことを水素発生剤式の水素ガス吸入機でも確認した。



実際にあった水素発生装置の水素爆発事故事例

水素爆発に関する事故事例を紹介する。我々は日本国の消費者庁と日本規格協会（JIS）に対して水素爆発を起こす危険性のある水素ガス吸入機を規制するように再三求めてきたが、事故事例があるにも関わらず、行政等は規制を行おうとしないのが現状である。

（事故事例1 ー水素吸入機の爆発による顔面内骨折の事故ー）

日本国消費者庁の「事故情報データベースシステム（<https://www.jikojoho.caa.go.jp>）」を検索すると、2024年1月に高濃度水素・酸素吸入器を自宅玄関で使用中に鼻に挿していた器具が爆発して顔面内骨折した事故が報告されている。

（事故事例2 ー水素酸素混合ガス吸入機の事故ー）

日本国消費者庁の事故情報には、水素／酸素混合ガス吸入機を持ち上げたところ爆音を発して蓋が飛び、耳鳴りの症状を訴えた事故が報告されている（2016年2月19日）。この事故では吸入機の型番や水素濃度の記載はないものの、水素と酸素を同時に吸入するものであることから、水の電気分解により生成した爆発濃度の水素（66%）と酸素（34%）を生成している製品であると推測できる。

（事故事例3 ー家庭用水素発生器の爆発事故ー）

日本国消費者庁の事故情報には、水素を発生させる家庭用の気泡発生装置の内部で水素が漏洩し、漏洩した水素が本体内部に滞留して爆発し家財（浴室の扉）が破損して家人が怪我をした事例が報告されている（2017年10月25日）。水素ガスを水素の発生源において直ちに爆発濃度以下に希釈せず、水素の発生源から離れたところで希釈する途中希釈型の水素ガス吸入機では、チューブ等の経年劣化やチューブの脱落によって高濃度水

素が漏洩し、機体内の電気系統の電気エネルギーや静電気により爆発を引き起こす危険性がある。

(事件事例4 ー水素サーバーの爆発事故ー)

2015年11月11日の日本国消費者庁の事故情報の報告では、水素を発生させるボトルが水素の爆発で飛び出して、飛び出したボトルが天井を破壊した事故が報告されている。この事故も高濃度水素ガスの製品内部における漏洩が原因である。これと同じ製品は、水素を発生させるサーバーが破裂し、飛散した破片で子供が裂傷を負う事故を起こしている(同庁2015年11月22日付の報告)。

(事件事例5 ー水素吸入機ー)

2015年7月17日の日本国消費者庁の事故情報の報告では、70歳の方が知人の紹介で水素吸入機を購入して使用したところ、2度破裂して聴覚機能が1か月以上低下したことが報告されている。

まとめ

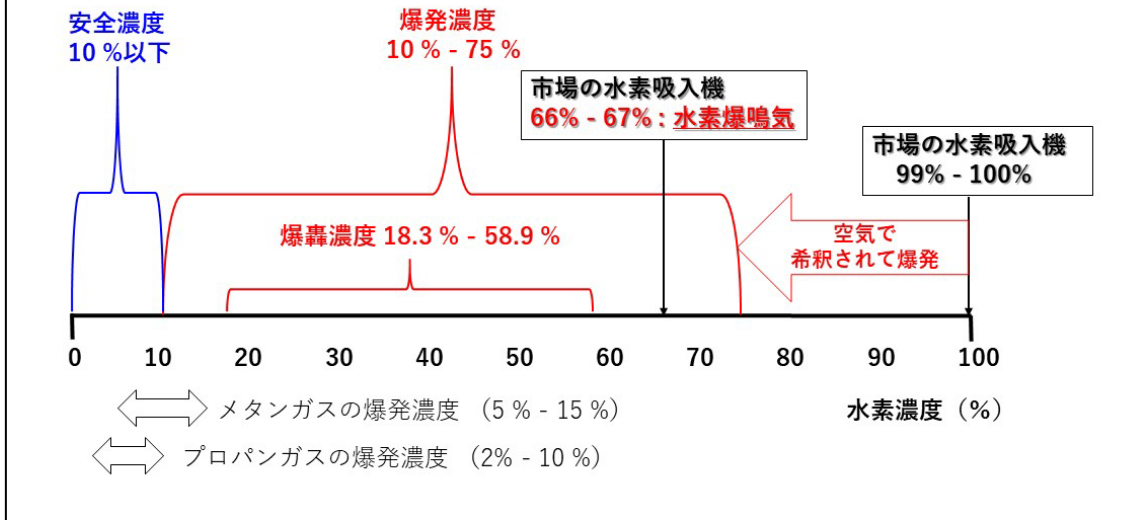
水素の爆発濃度は、10%以上75%以下と報告されている。この爆発濃度を鑑みれば100%濃度の水素は爆発しないと考えることができる。しかし、着火実験を行うと、100%濃度の水素を生成している水素ガス吸入機も爆発や爆燃した。

この着火実験から、100%濃度の水素であっても周囲の空気に希釈されていく過程で水素濃度が爆発濃度である10%以上75%になる。この爆発濃度に希釈された水素に静電気等の着火源が存在すると水素爆発が起きる。したがって、100%の水素濃度を発生している水素ガス吸入機であっても爆発の危険性は免れない(図8)。

また、市販の水素吸入機には水素濃度が66-67%の製品が存在する。これは水の電気分解によって生成された水素と酸素の比が2:1の「水素爆鳴気」であって、爆発の際に極めて激しい爆鳴を伴うことがある。この爆鳴は聴覚神経障害を起こす危険がある。

また、メタンやプロパンのような可燃性ガスの爆発濃度は、メタンで5%~15%、プロパンで2%~10%であり、水素の爆発濃度(10%~70%)よりも狭い。最小着火エネルギーもメタンやプロパンよりも水素は低いことから爆発しやすいガスであることがわかる(図8)。

【図8】水素濃度と水素の爆発特性



本論文における水素ガス濃度の単位%は体積%を意味する。

以上