

[ご注意]

ダイビング用酸素減圧弁の燃焼

チタンが純酸素環境で

2006. 8. 1

1. 発生日時 2004年（平成16年）5月15日（土曜日） 午前10時20分頃

2. 場 所 沖縄県

3. 現 象 純酸素タンクに取り付けてあった1次減圧弁（通称：ファーストステージ・レギュレータ）が爆発（結果的には爆発ではなく燃焼）事故を起した。

4. 事故の状況

ダイバーのA氏は減圧用純酸素タンクにレギュレータを取り付けた。この状態のタンクセットを、循環式潜水器のカバーにバルブをさかさまの状態に取り付けた。このファースト・レギュレータにはデジタル圧力センサー用に接続された高圧ポート用ホースと、ノンピルカプラーのオス側がついた中圧ホースが取り付けられていたが、装置との中圧配管はされていない状態である。A氏は酸素タンクのバルブをゆっくりと開放し、約1/4程度開放したときに発火事故が発生した。

4. 1 事故を起したレギュレータは酸素濃度40%以下のNitrox（酸素、窒素の混合ガス）の使用に適すとある。しかし、この記述は通常のレギュレータに必ず書いてあるので、一度分解し、超音波洗浄で油脂分を落とし、Oリングをフッ素系ゴムに替え、グリスは耐酸素性のテフロングリスにすれば使用が可能で、実際にこの加工をしてインターネット上で販売されている。

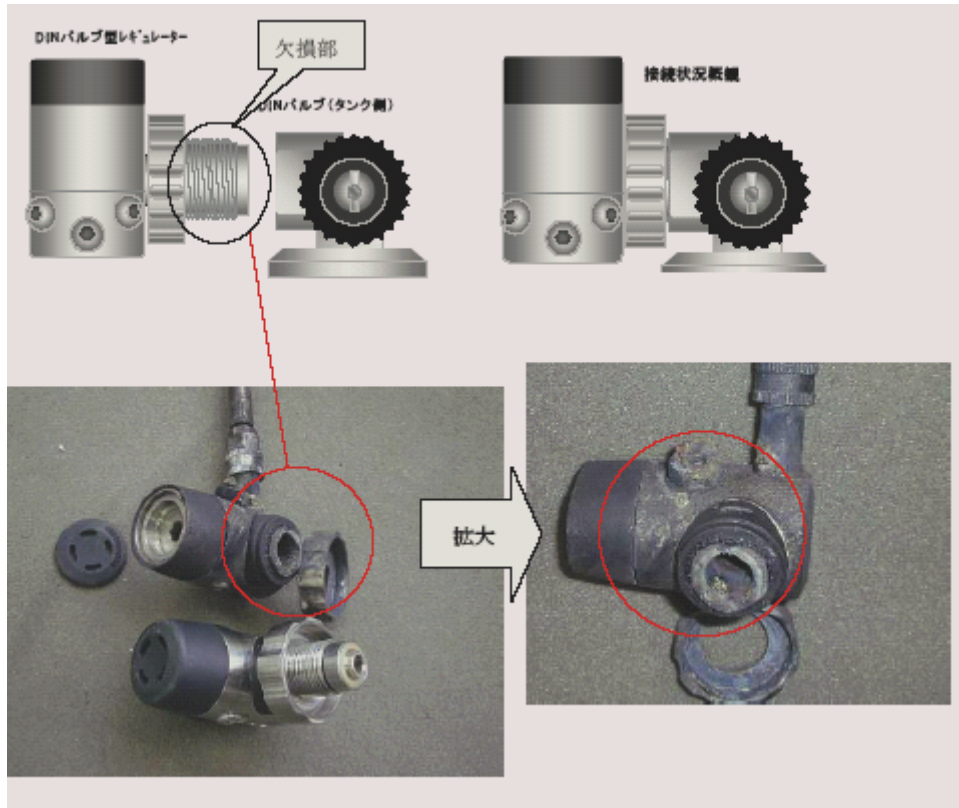
4. 2 酸素タンクはバルブも含め損傷は煤がついた程度であり無傷であった。

4. 3 レギュレータがタンクバルブと接触していた部分にも損傷は見られないが、タンクバルブのメスネジ部1/2程度からレギュレータ本体方向には薄っすらと煤が付着している。Oリングが接触していた面には煤等の付着は殆ど見られない。

4. 4 レギュレータのDINネジ（オス・ネジ）部は欠損しており、ネジを回すための回転ノブ・リングのみが残っている。ネジ部とこのリングは削り出して作られており、ネジ部があったと思われる部分は溶けて消失している。消失したのはこの他に2部品がありいずれもチタン製である。タンクの中には、事故時約100Barの酸素が入っていたが、タンクの外がすすけたものの、中にはまったく影響がなかった。

4. 5 レギュレータ内部は金属が溶けて分解できないが、新品を分解したところ、内部の部品は幸いにもステンレス製であった。レギュレータに使用しているグリスは耐酸素製グリスで、Oリングはフッ素系とウレタン系が使用されていた。

このため高圧部の O リングはフッ素系のものに交換し、酸素耐性の問題素材は無かったと思われる。また、ホース類は耐燃性素材のものを使用していたため、煤が発生したのは一瞬で自己消化しており、燃えているといったことは無かった。今回、煤が出ているものの黒煙は上がっていないのが特徴である。



5. 考えられる原因

後日、インターネット検索でわかったことであるが、1992 年の夏に **Producer and fabricators of refractory and reactive metals** のレポートに下記内容の記載があった。

『・・・評価のために Zircadyne、ジルコニウム、C-103、純粋なニオブ、およびニオブチタンサンプルを送った。すべては腐食に対し抵抗力があると判明した。オートクレーブ環境における 6 ヶ月
の後に、合金は重量変化またはいかなる腐食も示さなかった。しかし、少なくとも 1 つの違いがあったと断定した。ニオブチタンは強いだけでなく、非常に発火しやすい特性を表していた。 どれほど容易に発火するかは、酸化の温度と酸素の圧力に依存する。テストの結果は、チタンが急速に高圧の酸素の下で反応するので、保護酸化層を形成する機会がないことを証明した。 チタンが燃える時、そのまわりでほとんどすべてを燃やす。・・・』

6. 事故原因の考察

専門家の意見からは、①. 酸素導管内に可燃性物質が混入していて、酸素分圧が上がって発火したのではないか、②. レギュレータに使用したOリング素材が間違っていてフッ素系素材ではなく何らかを起点に発火したのではないか、③. レギュレータを構成するチタンが元々高酸素分圧下では発火する特性を持っているのではないかと推測できる。①と②に関してはこのレギュレータが今までに20回以上同じ目的で使用されていることから考えにくい。また、2日前にも同じレギュレータとタンクのセットで潜水を行い、レギュレータは外していなかったが、内圧は下がった状態であったことから考えにくい。

チタンという物質は強力な酸化皮膜を形成しやすいという特性のために腐食に強いといわれている。これはアルミニウムにも当てはまる。酸化皮膜を形成していれば安定しているが、これが壊れた状態では発火＝酸化しやすい。例えば、粉末にしたアルミニウムはガスコンロの火に投げつけると、真っ白い火を出しながら爆発的に燃える。このようなことがチタンでも起こり得る。

7. 今後の対応

今回の事例は、チタンという金属素材そのものが持つ特性を把握せず、又誤認識していたことと、JIS や、その他の規格に酸素雰囲気では条件によって発火する可能性があるといった情報が無かったことなどから発生を避けなかった事故である。二度と同じ事例が出ないように下記対応を行う。

- ①. ダイビング関係者に今回の事故に関する情報を伝え注意を促す。
- ②. (社)日本チタン協会関係者に周知を図る為、「チタンの発火・燃焼と防止事例」に掲載する。

近年、世界のダイビングでは、酸素分圧制御による減圧症のリスク軽減策が採用されており、民間でも親しまれている。今回の事故をきっかけに酸素を使用しない方向で事故を防ごうとするならば日本のダイビング技術は、世界から取り残されてしまうことになり、けっして前向きな選択とはならない。

そこで酸素を使用しても二度と同じ事故が起きない様、ダイビング機材には、正しい材料選択がなされるよう情報公開を行うと伴に、上記対応策を採ることとした。

社団法人日本チタン協会
技術委員会
東京都千代田区神田錦町2-9
(大新ビル7階)
TEL 03-3295-5958

以 上