

特別講演 高圧治療室の火災予防について

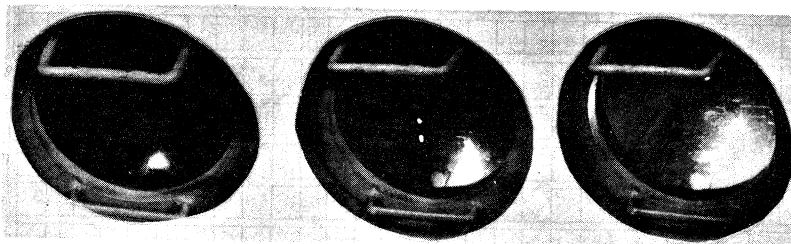
(労働省産業安全研究所) 駒宮功額

高圧治療室は密閉されたタンク状の構造物で、しかも室内は高圧であるため酸素量も大気圧下より高い雰囲気である。また、酸素を使用することもあり、内部雰囲気は高圧でしかも高濃度酸素となることもある。したがって、万一内部で火災が発生すると、即時室外へ逃ることが不可能で、致命的な災害となる。そこで高圧治療室内のような高圧、および高濃度酸素雰囲気下における燃焼について述べ、災害防止の参考にしたい。

1 高圧空気の支燃性

一般に布やプラスチックなどの可燃物の燃焼性は、空気（大気圧下）中で測定評価される。しかし、高圧下では酸素分圧が高くなり、同じ酸素21%の空気も、その支燃性は大気圧下より強くなる。布の実験例を写真1に示した。これは綿キャラコ(100g/m²)を水平に燃焼させたもので、圧力の影響を知ることができる。この実験結果を図1に示したが、

写真1 圧力と布の燃焼
(布:キャラコ 長さ20cm 巾2cm)



大気圧
燃焼時間 60秒
(F8, 1sec)

1 kg/cm²
燃焼時間 40秒
(F8 1/2 sec)

3 kg/cm²
燃焼時間 30秒
(F8 1/2 sec)

結果を図1に示したが、3 kg/cm²では大気圧下の2倍の燃焼速度を示している。このような実験はイギリス、アメリカでも報告されているが、不活性ガスにヘリウムを使用した J.E. Johnson, F.J. Wood, の結果を表1, 表2に示す。

図1 圧力と布の燃焼時間

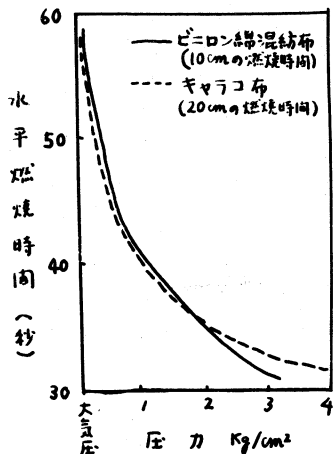


表1 濾紙, テリー布の各種雰囲気中の燃焼性 (水平燃焼)

雰囲気	圧力 kg/cm ² (絶対圧)	物 質 名					
		紙	テリー布	難燃加工テリー布			
		発火おくれ (秒)	燃焼速度 (cm/sec)	発火おくれ (秒)	燃焼速度 (cm/sec)	発火おくれ (秒)	燃焼速度 (cm/sec)
21% O ₂ 79% N ₂	1.05	6.5	0.23	8.9	0.20	発火せず	—
	2.11	6.0	0.28	6.6	0.61	—	—
	3.16	7.2	0.28	—	—	—	—
	4.22	6.0	0.35	4.8	1.17	—	—
	5.27	4.8	0.30	4.9	0.89	5.0	0.03
21% O ₂ 79% He	1.05	—	—	—	—	—	—
	2.11	—	—	—	—	—	—
	3.16	—	—	—	—	—	—
	4.22	—	—	—	—	—	—
	5.27	18.0	0.48	18.0	0.40	—	—
31% O ₂ 69% N ₂	1.05	6.0	0.43	8.4	1.69	18.0	0.23
	2.11	5.6	0.45	5.2	1.59	7.2	0.23
31% O ₂ 69% He	1.05	17.0	0.76	22.5	1.29	—	—
	2.11	14.3	0.69	2.70	1.02	—	—
	4.22	—	—	—	—	—	—
5.27	—	—	—	—	—	**	0.05
31% O ₂ 34.5% N ₂ 34.5% He	1.05	10.2	0.61	10.8	0.94	—	—
	2.11	11.1	0.67	10.2	1.70	—	—
	3.16	—	—	—	—	9.0	0.38

* 瞬間発炎し、それから全長無炎燃焼する。
** 発炎せずに全長無炎燃焼する。

この実験は水平燃焼，垂直上向燃焼の燃焼方向による影響と，発火ふくれ時間を同時に測定している。紙，布とも $3\text{kg}/\text{cm}^2$ (ゲージ圧，以下同じ) までは圧力に比例し，燃焼速度は速くなるが，ヘリウムの影響は発火しにくくなるが，燃焼速度に対しては正と負の結果が示されている。次に燃焼方向の影響では，垂直上向燃焼がもつと

表2 難燃加工エー布の燃焼方向と燃焼性

雰囲気	圧力 kg/cm^2 (絶対圧)	水平燃焼		垂直上向燃焼	
		発火ふくれ (秒)	燃焼速度 (cm/sec)	発火ふくれ (秒)	燃焼速度 (cm/sec)
21% O_2 79% N_2	1.05	発火せず	—	発火せず	—
	2.11	—	—	9.6	++
	3.16	—	—	7.2	0.13*
	4.22	—	—	6.6	0.31*
	5.27	5.0	0.03*	—	—
21% O_2 , 79% He	5.27	発火せず	—	++	++
31% O_2 69% N_2	1.05	18.0	**	++	++
	2.11	7.2	0.23	6.3	2.61
31% O_2 69% He	1.05	発火せず	—	—	—
	2.11	—	—	—	—
	4.22	—	—	—	—
	5.27	**	0.05	**	**
31% O_2 34.5% N_2 34.5% He	1.05	発火せず	—	—	—
	2.11	—	—	**	**
	3.16	9.0	0.38	7.2	2.54

++ 試料の約半分が燃焼又は無炎燃焼する
*, ** 表1の註と同じ

も苛酷で，水平燃焼，垂直下向燃焼の順に燃焼速度，発火ふくれ時間も遅くなる。燃焼性を判断する尺度にこのほか発火温度がある。図2はその結果で，布以外の例としてアメリカ鉱山局で行なった潤滑油の例を図3に示した。こ

図3 圧力と潤滑油の発火温度

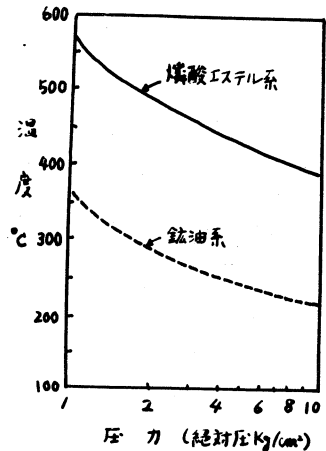
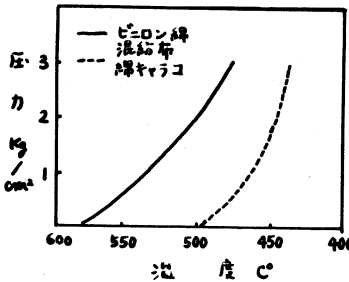


図2 圧力と布の発火温度



のように圧力が増加すると，可燃物の発火温度は一般に低下する。

2 酸素の支燃性

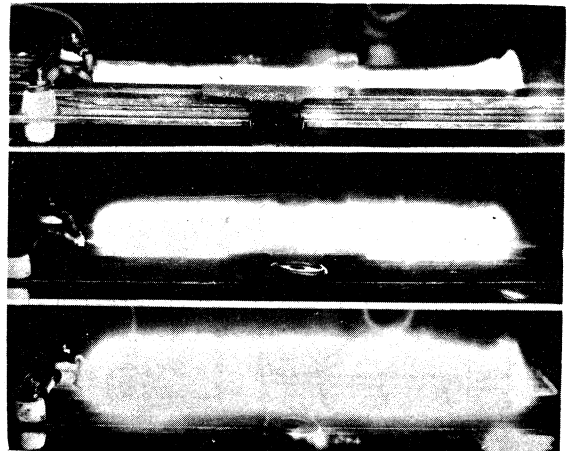
同一酸素分圧を示す雰囲気でも，窒素のような燃焼を抑制する不活性ガス分圧の大小に

より，酸素の支燃性はいろいろと異なる。すなわち $1\text{kg}/\text{cm}^2$ の高压空気は，大気圧下の酸素42% 雰囲気の酸素分圧と等しいが，後者は窒素の割合が少ないため，その支燃性は前者よりはるかに強い。写真2は大気圧下高酸素濃度雰囲気中における布の燃焼実験例である。このように酸素濃度の増加は，炎の輝さ(火炎温度の高いこと)と，炎長さの増大(時間当り分解可燃ガス量の多いこと)を伴う激しい燃焼となる。図4はその実験結果である。したがって空气中で不燃

写真2

酸素濃度と布の燃焼

酸素濃度	燃焼時間	備考
上 21%	85秒	キヤロ布 ($100\text{g}/\text{m}^2$) を90% KH に放置した試料長=200mm
中 37%	32秒	
下 68%	17秒	



性といわれる有機物（例えば難燃加工布，不燃性溶剤，不燃性プラスチックなど）も酸素濃度が高ければ，可燃性の布と同じように燃える。図5はその一例で，表3はJ.E. Johnson., F.J. Woods., の例である。ところで図5のポリテトラフロロエチレンは表3のテフロンとは化学的に同一の弗素系樹脂であるが，後者は41%でも不燃である。しかし前者は向上燃焼の場合には35%で可燃である。この差は試料の物理的形状や燃焼方

図4 酸素濃度と布の燃焼時間

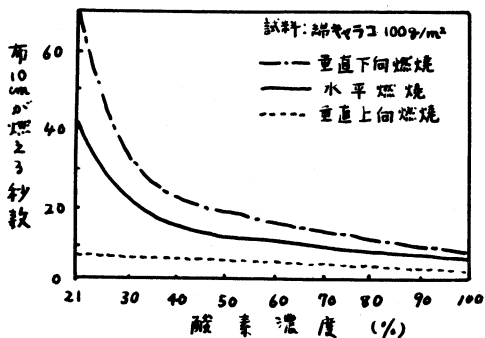
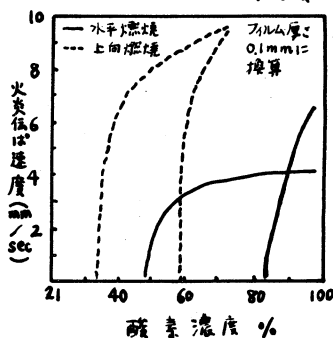


図5 弗素樹脂フィルム燃焼の酸素濃度



向などの実験条件が異なるためで，安全の目的に利用するさいは，過酷な条件下で行なった実験結果を利用すべきであろう。

次に発火温度であるが，図6に水津，安田の実験例を，図7にH. Pahlの報告をそれぞれ示した。このほか最小発火エネルギーも燃焼性を判断する尺度になるもので，麻酔用ガスについていろいろ測定されている。ここでは圧力の影響も含まれているフロパンについてM.V. Blancらの報告を図8に示した。大気圧以上の圧力増加も最小発火エネルギーを減少させることが知られている。いずれも酸素濃度の影響が大きいことを示している。

表3 諸物質の大気圧下の燃焼性

物質名	型状	N ₂ -O ₂ 混合ガス中のO ₂ 濃度		
		21%	31%	41%
樹脂処理紙	フィルター	燃焼	—	—
綿テリー布	衣服	燃焼	—	—
難燃加工綿テリー布	衣服	不燃	不燃	燃焼
難燃加工した毛裏付綿	汗取りパンツ	表面のみ	燃焼	燃焼
難燃加工綿ふんがわ	マットレスカバー	不燃	燃焼	—
難燃加工フォームラバー	マットレス諸物	不燃	不燃	燃焼
Viton (弗素ゴム)	ゴムシート	不燃	燃焼	—
ノメクスナイロン(耐熱性)	布	不燃	燃焼	—
テフロン	布	不燃	不燃	不燃
難燃加工E.O.Dサテン	布	不燃	燃焼	—
ベレル (アクリル系)	布	不燃	燃焼	燃焼
ビニル裏付布	マットレスカバー	不燃	燃焼	燃焼
Omni Coated	布	不燃	燃焼	燃焼
Du Pont high temp	布	不燃	燃焼	燃焼
Omni coated glass	布	不燃	不燃	燃焼
ガラス	布	不燃	不燃	不燃
宇宙服のようなアルミ蒸着	布	不燃	不燃	燃焼
アスベスト	布	不燃	不燃	燃焼

* 発火器上のみ燃焼

3 高压治療室における酸素濃度分布の一例

1, 2項で高压空気と酸素の支燃性について概要を述べたが，高压治療室内の雰囲気も条件によつては火災の危険性が存在する。そこで東大胸部外科の古田と共同で，高压治療室内の酸素濃度分布を，ガス干渉計（ガス室有効長さ200mm）で測定した。この高压室は内室（1φ×2.45m）と外室（2.2φ×2.1m）で構成されており，才1回は内室を酸素で2kg/cm²に加圧した後，内室雰囲気を外室に放出して大気圧とし，

図6 酸素濃度と鉄の発火温度

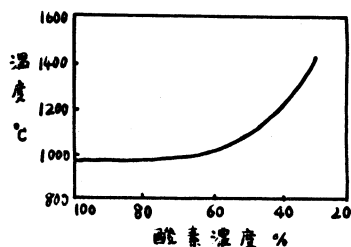
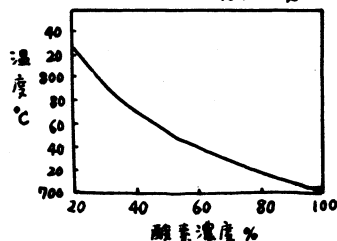
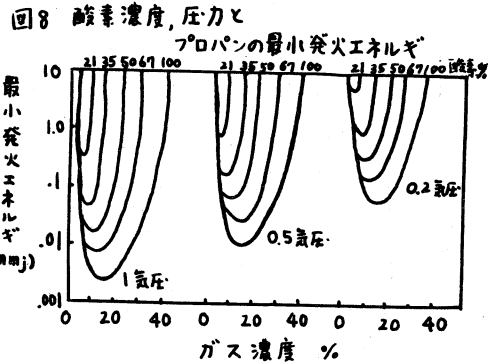


図7 酸素濃度とベンゼンの発火温度



その後内室と外室の戸を開放した場合の外室の酸素濃度分布は、戸を開放後10分間で24%以下であった。ただし床下は空気の流れがなく、かつ酸素の比重が大きいので、10分経過しても40%を示していた。才2回も同じような測定を、内室を酸素で1kg/cm²に加圧して行なつたが、6分間で24%以下となつた。しかし床下は10分経過しても31%を示していた。



次に高压室外室内に約10kgの麻酔された犬を入れ、バードロ呼吸器 Mark 8 (酸素圧約5kg/cm²)を使用した場合、外室に放出される酸素濃度の分布を測定した。図9は換気なしの例で、

図9 高压室、呼吸器使用時の酸素濃度分布

初圧2kg/cm²であつたものが、もれのため1時間後に0.68kg/cm²に低下し、酸素濃度は29%に上昇した。しかし図10のように換気を行なうと酸素濃度は平均24%以下を保ち、酸素の比重が大きいので室下部のみが1時間後に27%に上昇した。したがつて、バードロ呼吸器を使用しても、換気を行なえば、大気圧空気と比較し高压室内雰囲気気の支燃性は特に高くなく、安全対策が実施されていれば致命的な火災発生の恐れはないものと判断された。

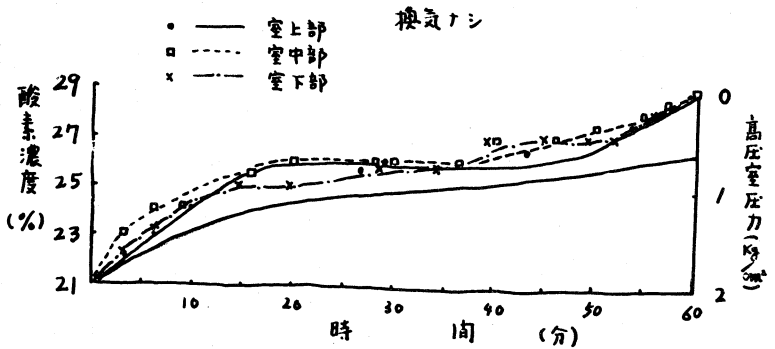
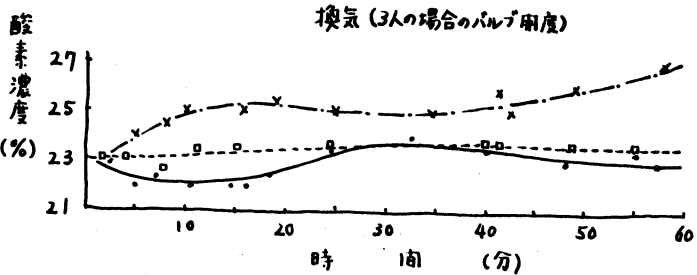


図10 高压室、呼吸器使用時の酸素濃度分布



4 安全対策

4-1 点火源 点火源を絶対に発生させない保証が得られれば、高压室にどんな可燃物を用いても、また持込んでも火災の恐れはない。しかし各種の電気器具の過熱、誘導回路の火花をはじめ、静電気、摩擦熱、断熱圧縮熱、薬品の混合発火など点火源の種類は多い。しかも、2項で述べたように高压室内の雰囲気下では、可燃物の発火温度の低下、発火エネルギーの減少という条件がくわわる。したがつて電気器具については温度上昇、絶縁の劣化、全般の安全度向上などに注意すべきで、防爆型とは異なつた考之方が必要である。静電気については保湿を、断熱圧縮に対

しては急激な加圧を避けることがそれぞれ必要である。

4-2 難燃性物質 高压治療室内の内装や持込まれる器具、衣服など可燃性のものはもちろん、雰囲気が高圧純酸素の場合には金属材料も発火しにくいものを選択しなければならない。衣服については表3の難燃加工 (THPCによる) 布や、わが国のクワニウムジクロロジアセテートと三塩化アンチモンを主剤としたアンチモン-4タン錯塩ニ浴法による難燃加工布 (いずれも綿のみに可能) の実験が報告されている。また上記永久型に対し、水溶性の各種無機塩を用いる一時型についても発火酸素濃度が測定されている。いずれも材料の種類、形状や燃焼方向の影響を受けるが、だいたい酸素30%、または高压空気が 3kg/cm^2 では発火しない。また酸素30%以上では濃度に比例し燃焼速度は増すが、未加工布と比較すれば大変安全性が高い。 3kg/cm^2 以上の高压下では一時燃焼速度が低下し、再び増加する例もあり、酸素増加雰囲気よりも安全性は高くなる。したがって難燃加工布は雰囲気の条件にもよるが、その効果は期待できる。プラスチックや合成繊維の多くは難燃加工は行なわれないが、フォームラバーのように難燃加工の可能なものもある。とくにプラスチック製断熱材は空気中でも発火しやすいので、十分注意しなければならない。

次に金属材料は熱伝導度が高く、発火しにくいものであるが、高压酸素中では発火することがある。このため場合によっては銅やステンレスのような燃えにくい材料を選択する。金属部分に使用される潤滑油は鉱油系のものより弗素樹脂系のものが大変発火しにくく、かつ酸素に対する安定度も高い。

4-3 消火装置 高压治療室における消火剤は水が最も適当なものである。湿じゆん剤や増粘剤を加えたものは一層有効である。型式としてはスプリングラ式の固走式や、可搬の消火器式のものがよい。わが国ではあまり利用されていないが、消火用毛布 (アスベスト製) も小さな火災の消火には便利である。

4-4 その他 加圧用空気圧縮機の保守が悪いと、過熱のさい潤滑油から一酸化炭素を発生することがある。適切な保守管理が必要であり、さらに無潤滑油圧縮機の使用がより安全である。酸素配管内は油などで汚染されている場合が多いので、十分洗滌する。汚染物が発火源となった事故が報告されている。この配管洗滌に四塩化炭素がしばしば用いられるが、溶剤の除去不十分のため配管内から酸素とともに有害ガスが迷りれ中蓄した例がある。高压治療室の戸が外開きのときには、内部が大気圧になるまで開かないような安全装置が、事故防止の爲の必要である。

参考文献

- *Proceeding of the third symposium on Underwater Physiology*
edited C.J. Lambertsen The Williams & Wilkins Company Baltimore 1967
- 布の燃焼性 駒宮 火災 12 2 1962
- 高压下の布の燃焼性 〃 セイティダイジェスト 9 3 1963
- プラスチックフィルムの燃焼性 〃 安全工学 24 1963
- 酸素による災害とその対策 〃 〃 33 1964
- 酸素の分析法-干涉計による 〃 セイティダイジェスト 42 1958