

3. 可燃性天然ガスの滞留防止（換気・ガス漏れ警報設備） について

1. 基本的な考え方

可燃性天然ガスの滞留防止は、本来存在することのない可燃性天然ガスが、屋内において漏出した場合に必要な安全対策である。

換気は、屋内に可燃性天然ガスが漏洩した場合に、可燃性天然ガスを取り除く唯一の方法であることから、省令において、ある程度具体的に規定する必要がある。

また、ガス漏れ警報設備については、通常存在することのない可燃性天然ガスを把握し、対策をとらせるために有効な方法であることから、屋内の温泉施設については設置を義務づける。

※具体的な仕様については、現在消防庁が検討を進めている、消防法令に基づくガス漏れ火災警報設備の設置義務づけの内容と齟齬がないようにする必要がある。

2. 対応案

【換気方法】

省令において、温泉の採取の有無に関わらず 24 時間換気を行うこととし、方法については以下のように規定する。

- ① 強制換気を行う場合は、1 時間に 10 回以上屋内の空気が屋外の空気と交換できる換気能力により強制換気しなければならない。もしくは、屋内において 10%LEL に達しない換気能力を有することとする。
- ② 自然換気を行う場合は、可燃性天然ガスが明らかに十分換気されるものとする。

なお、ガイドラインにおいて、屋内において 10%LEL を超えない換気能力というのは、当該温泉地で時間当たり最大発生すると推定される可燃性天然ガスが、屋内において最大 10%LEL に達しない換気能力を試算し、それを超える換気能力とする。また、自然換気については具体的な基準を定めず、明らかに通気が確保されているかについては、他法令等の基

準や指針等をガイドラインで参考に示せないか検討する。

【ガス漏れ警報設備】

省令において、ガスの組成に応じて漏出した場合に検知できる適切な位置に、ガス漏れ警報設備（※消防法令に規定される場合は、消防法令に規定するガス漏れ火災警報設備に関する基準に基づくこととする）を設置するものとする。なお、可燃性天然ガス濃度が 10%LEL 以下で警報を発し、また、当該濃度が 25%LEL 以下の値で温泉を汲み上げる装置の動力を自動的に停止する構造としなければならないこととする。

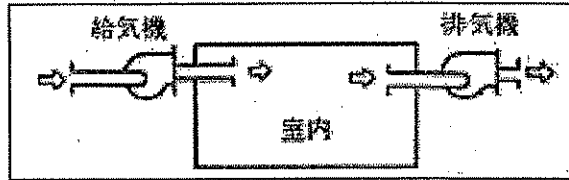
(参考資料) 換気装置の設備について

1. 換気方法

換気の方法としては、機械換気（図1）と自然換気（図2）に大別される。

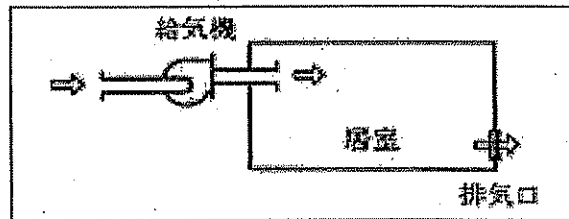
第1種換気

機械給気、機械排気



第2種換気

機械給気(自然排気)



第3種換気

機械排気(自然給気)

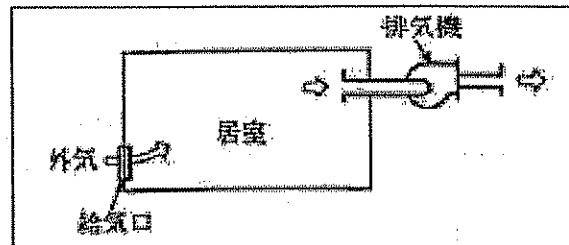


図1 機械換気概念図

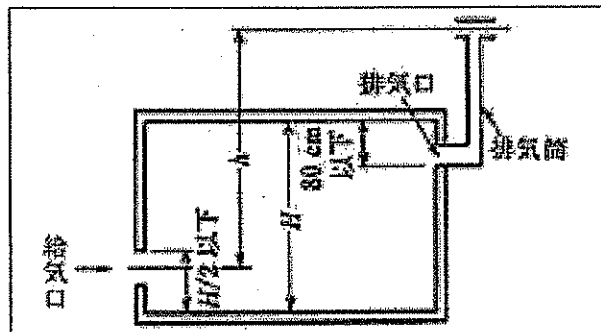


図2 建築基準法の自然換気設備

なお、自然換気は、自然の風による圧力差及び建物内外の温度差による空気密度の差（浮力）を換気の原因とする方法であるが、季節や気候の変動及び設計条件等により変動が生じる点に注意が必要である。

a) 温度差による換気力

自然換気では、単なる開口部の組合せの場合、換気力が小さく、外部の風の影響を受けやすくなる。したがって、排気筒を設けることになるが、給気口をなるべく低く取り、排気口はなるべく高く取って、温度差による換気力を大きくすることが望ましい。

b) 風による換気力

風圧は、建物の外表面のみに生ずるものではなく、建物近傍の空間にも圧

力分布が形成される（例：排気筒の立上げ高さが不十分で風の正圧領域に入っている場合、向流を起こす）ことに留意することが望ましい。

2. 換気回数及び換気位置

防爆に係る換気考え方について、「工場電気設備防爆指針」（ガス蒸気防爆 2006）を抜粋したものを表 1 に示す。

表 1 工場電気設備防爆指針の換気の検討¹⁾

1524 換気の検討

雰囲気中に放出された爆発性ガスは、空気中における拡散又は分散によってその濃度が爆発下限界未満になるまで希釈される。換気、すなわち空気の動きは、主として分散を促進する。換気の度合い、例えば 1 時間当たりの換気回数は、危険場所の種別及び範囲に影響する。最も重要なことは、危険場所における最適換気条件を達成するために換気の設計を放出源と関連させて行うことである。換気効果を考える際には、爆発性ガスの蒸気密度が重要であり、換気装置の配置を決定するとき特に考慮する必要がある。

(1) 自然換気及び全体強制換気の場合

原則として、連続級放出源^{*1}はゾーン 0^{*2}を、1 級放出源^{*1}はゾーン 1^{*2}を、そして 2 級放出源^{*1}はゾーン 2^{*2}を形成する。しかし、換気の程度が良ければ、危険場所の範囲は無視しうるほど小さくなり、より危険度の低い種別になるか、著しくよければ非危険場所になることもある。これに反して、換気の程度が悪ければ、危険場所はより大きい範囲となり、ある場合には、より危険度の高い種別になる。

(2) 換気装置が故障した場合

換気装置が作動しているのが通常の状態であれば、危険場所の分類は換気装置が作動していることを前提とし、その上で、換気装置が故障したときの危険を考えるべきである。もし、換気装置の故障の危険が無視できる場合（例えば、別個の自動待機システムが設置されている場合）には、換気装置の作動を前提として決定した危険場所の種別は変更する必要がない。しかし、換気装置の故障の可能性が無視できないならば、強制換気（機械換気）がないときに爆発性雰囲気広がる範囲とともに、予測される換気装置の故障の頻度及び持続時間を想定すべきである。この広がり範囲は、換気装置の作動を前提としてすでに決定した危険場所範囲よりも大きくなる可能性がある。

この考えかたを整理すると、温泉施設における換気による防爆を考える時、以下の点がポイントとなると考えられる。

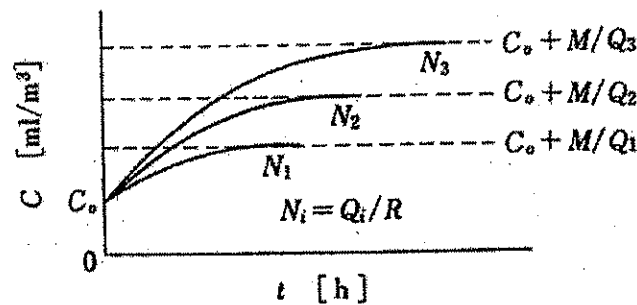
1) 危険ゾーンのランクは換気により改善可能である。

ただし、換気装置故障時の危険ゾーン及び範囲の考え方を整理する必要がある。

2) 可燃性天然ガスの蒸気密度により換気装置の配置を検討する必要がある。

1) 換気性能の検討

室内に汚染物が放出されると図3の様に時間経過とともに定常濃度となるが、換気率の違いにより、収束する濃度が異なる。そのため、換気に必要な性能（必要換気量） Q_r は、定常状態における汚染許容値から以下の式で表される。



C: 汚染濃度、 C_0 : 汚染発生前の室内濃度、M 汚染物質の発生量
 N_i : 換気回数、R: 部屋容積、 Q_i : 換気量

図3 換気による汚染物濃度の上昇特性

$$Q_r = M / (C_p - C_o)$$

M: 汚染物発生量

C_p : 汚染許容値

C_o : 汚染前の室内濃度（外気濃度）

可燃性天然ガスのような爆発防止の場合、汚染許容値は爆発下限界濃度に対する濃度比：%LEL で表すことになる。可燃性天然ガスの主成分であるメタンの爆発下限界濃度は5%であるが、安全面を考慮し、その何分の1かに設定する必要がある。

【許容濃度参考】東京都暫定指針：10%LEL 以下

また、一般建築における必要な換気量としては換気回数による指定が行われることが多い。換気が必要な要因としては熱、臭気、燃焼ガス、湿気、有毒ガス、粉じん等があるが、防爆のための必要換気量がこれらの他の要因より大きい場合、これに基づく換気回数を指定する意義を生ずる。

ただし、温泉施設の各設備室における可燃性天然ガスの発生量は泉源や設備構成で大きな差があると思われ、実態の把握が必要である。

【換気回数参考】東京都暫定指針：10 回/h 以上

空気調和設備便欄（ボイラ室、直焚き冷温水機室）：10 回/h または熱計算

なお、自然換気力の算出式を以下に示す。

$$P_t = h (\rho_o - \rho_i)$$

P_t : 温度差による換気力 (Pa) or (mmAq)

h : 給気口と排気口の高さの差 (m)

ρ_o : 室外空気の密度

ρ_i : 室内空気の密度

$$P_w = C \rho_o v_o^2 \div 2 \quad \text{or} \quad P_w = C \rho_o v_o^2 \div 19.6$$

P_w : 風による換気力 (Pa) or (mmAq)

ρ_o : 外気の密度 (kg/m^3)

v_o : 建物上空の風速 (m/s)

C : 風圧係数 (建物周囲の風圧の性状を表す値)

2) 換気の場合

換気位置はガスの蒸気密度により異なる。主成分であるメタンは蒸気密度が低く、空気より軽い爆発性ガスに分類され、主な対策は都市ガス等に準じ軽いガスとしての対策となる。

兼子²⁾の都市ガスを模したモデルガス（ヘリウム37%、窒素63%、比重0.65の不活性混合気体）でのガス拡散実験では、次のような結果が得られている。

(1) 換気扇なしのケース

図4は、換気扇無しで、一口コンロから約 $0.2\text{m}^3/\text{h}$ の不活性ガスを放出したときの経過時間と鉛直方向の濃度分布をみたものである。

①縦軸の数値はセンサー設置位置

②横軸はガス濃度

③まず、天井付近のガス濃度が高くなり、床付近の濃度は徐々に増加する。

④鉛直方向のガス濃度分布は均一ではなく、ゆるやかな濃度勾配がある。

⑤180分、300分にかけてグラフの傾きと濃度の大きさには大差がないことから、台所におけるガス濃度は2%以下のところで緩やかな濃度勾配をもちながら飽和している。

⑥6Bガス、13Aガスそれぞれの燃焼下限界は5.6%、4.3%であるから、いずれの測定点でも混合気は可燃範囲を外れている。

⑦直上を除いては、長時間のガス漏洩があった場合でも、室内には着火の可能性のある可燃性混合気はない。

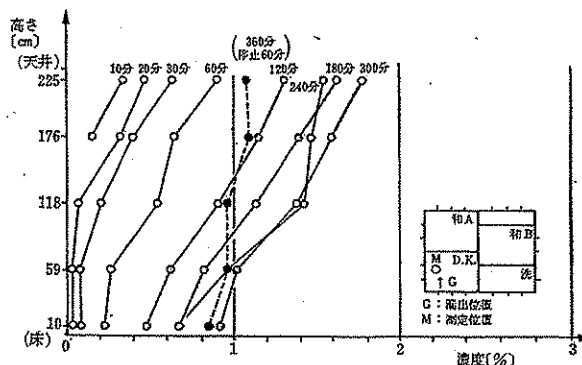


図4 一口コンロからガス漏洩があった場合のD.K.における鉛直方向濃度分布

図5は、換気扇無しで高さ69cmのガス台の上に固定したゴム管から約 $2.5\text{m}^3/\text{h}$ の不

活性ガスを放出したときの経過時間と鉛直方向の濃度分布をみた実験である。

- ①漏出源から上側では濃度は均一に近づき、下側では鉛直方向に濃度分布を生じている。
- ②濃度から着火源がガス台の下にあった場合には着火が起こらない（1%程度以下）ことが予測される。
- ③濃度から着火源が天井付近にあった場合には着火が起ることも予測される。

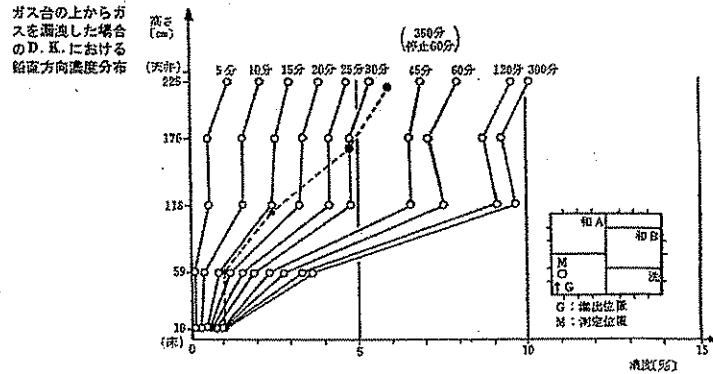


図5 高さ69cmのガス台の上からガスを漏洩した場合のD.K.における鉛直方向濃度分布

(2) 換気扇有りのケース

図6は、換気扇有りで壁型埋め込み2口カランから約 $6\text{m}^3/\text{h}$ の不活性ガスを放出させ、検知器（天井-10cmに設置）濃度が1%を超えたときに換気扇（床+2.7mに設置）を作動させたときの鉛直方向の濃度分布をみた実験である。

- ①検知器と連動した換気扇の効果を調べた実験
- ②流出開始後2分で1%達成し、換気扇作動
- ③換気扇が作動するとそれ以後ガス濃度はほとんど変わらず、可燃域（6Bガス、13Aガスそれぞれの燃焼下限界は5.6%、4.3%）に入らず。
- ④検知器は漏洩の起きた部屋に設置した場合に、最も効果的である。

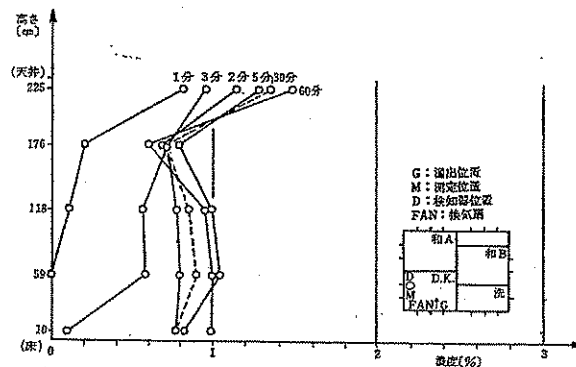


図6 検知器連動換気扇の効果を示すD.K.における鉛直方向濃度分布

また、R. J. Harris³⁾らによる換気パターンによる天然ガス濃度実験では、吸気位置を下部に排気位置を上部に設けるパターンが有効な結果が示されている。

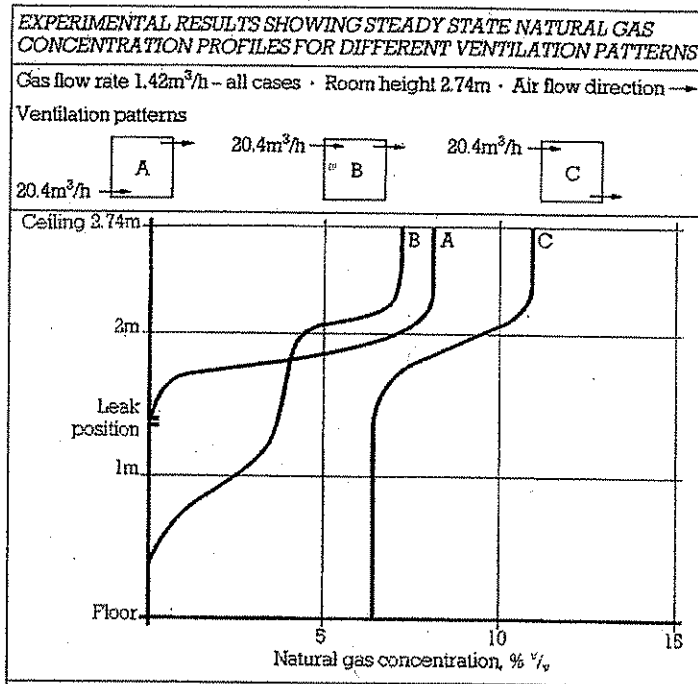
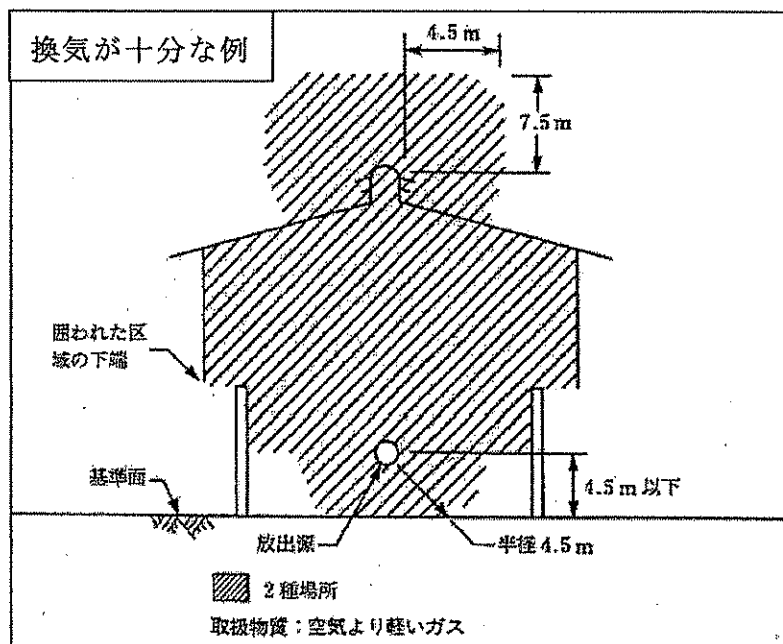


図7 換気パターンによる天然ガス濃度の鉛直分布³⁾

以上から、次のようなことがいえる。

- ① 換気扇がなく、漏出量が少ない場合、天井付近では短時間で可燃域に入るが、床付近では短時間では可燃域に入らない。
- ② 換気扇を設置した場合、室全体が可燃域に入ることはない。
- ③ 検知器と換気扇を連動させることは有効である。

参考として取扱物質が空気より軽い場合の屋内における危険場所分類例図を図8に示す。



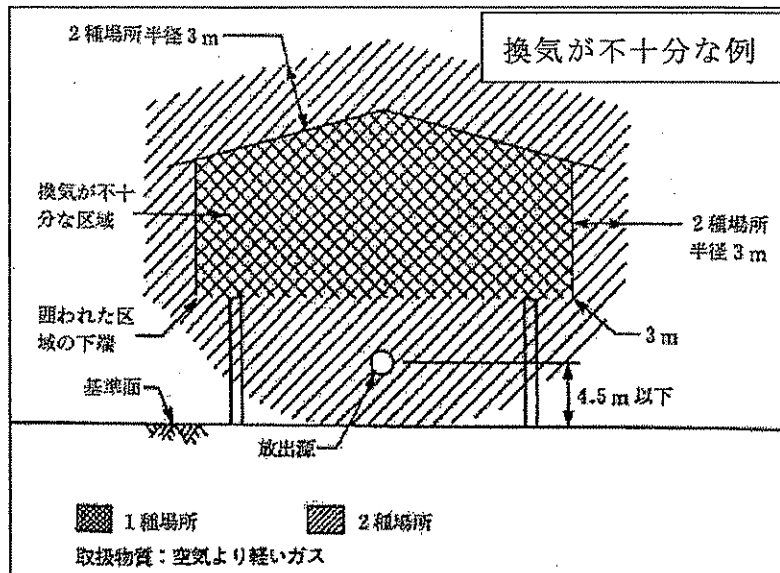


図8 換気によるコンプレッサ・シェルタの危険場所分類例⁴⁾

なお、可燃性天然ガス中の二酸化炭素比率が高くなる（50%以上）と、爆発の危険性も低くなるものの、空気より重くなる可能性もあるとの指摘もある。

3. 防爆化した換気設備の換気性能と費用の関係

メーカー資料によると有圧換気扇と耐圧防爆型換気扇の性能と価格の関係をまとめると表2及び図9に示すとおりである。防爆型は非防爆型に比べ約2~4倍のコスト増となる。

表2 価格比較表

換気風量 (m ³ /min)	①有圧換気扇 (円)	②耐圧防爆型 (円)	②/①
61	45,200	152,300	3.4
109	57,800	215,300	3.7
150	81,800	240,400	2.9
240	134,800	275,000	2.0
390	167,000	312,000	1.9

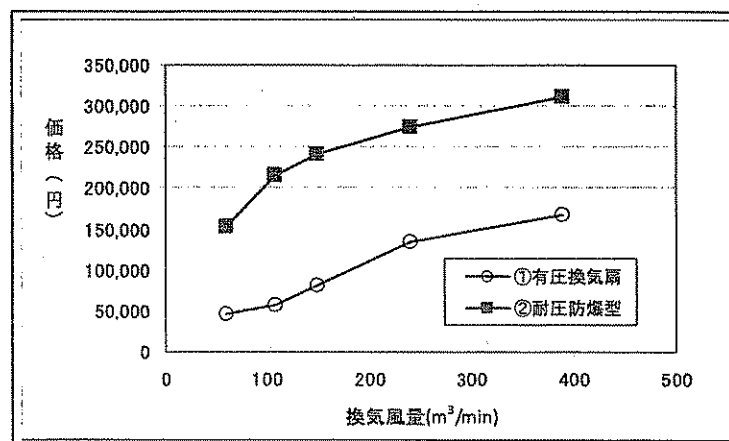


図 9 換気風量と価格

なお、防爆型換気装置は図 10 に示すように銘板で確認することができる。



図 10 換気扇の銘板 (一例)

参考文献

- 1) 産業安全研究所技術指針 工場電気設備防爆指針 (ガス蒸気防爆 2006), 独立行政法人 産業安全研究所, 2006
- 2) 兼子 弘「ガスの拡散・爆発について」, 日本瓦斯協会紙 第 32 巻 9 号 (1979)
- 3) R. J. Harris, "Gas Explosions in Buildings and Heating Plant"
- 4) 産業安全研究所技術指針 ユーザーのための工場防爆電気設備ガイド (ガス防爆 1994), 労働産業安全研究所, 2001