

安置所におけるドライアイスからの二酸化炭素と エンバーミングによる化学物質の発生に関する文献調査

研究分担者 鍵 直樹 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系 教授

研究要旨

本報告では、安置所におけるドライアイスからの二酸化炭素が室内環境に与える影響と換気量との関係について、そしてエンバーミングによる化学物質の発生に関する文献調査を行った。ドライアイスからの二酸化炭素発生量について、既往の実験結果をもとに調査し、換気量と二酸化炭素濃度の関係について示した。安置所などの室内の換気量にもよるが、高濃度になる可能性があり、二酸化炭素濃度を 1000 ppm 以下にするには、適切な換気量が必要なことを示した。また、エンバーミングによるホルムアルデヒドの室内濃度と個人曝露については、解剖実習室などの作業中の室内濃度、個人曝露、ホルムアルデヒドの発生量について示したものの、安置している状態における情報はなかった。しかし、実習室など換気設備や局所換気設備が備わっている状況であるので、安置所のような通常の換気状況での室内濃度および個人曝露量については、今後の課題となる。

A. 研究背景および目的

遺体安置においては、遺体安置室に冷蔵機能がない場合には、棺内にドライアイスを入れてご遺体を冷却することが多い。ドライアイスは、固体二酸化炭素の商品名であるが、常圧環境下においては液体とならず、気体に昇華する。よって、空間内の二酸化炭素濃度を上昇させることとなる。一般的な建築空間においてはある程度換気が行われているため、中毒を起こすほどの高濃度となることは稀であるが、葬儀の現場で棺の中に顔を入れて二酸化炭素中毒による死亡事例が報告されており、消費者庁では注意を呼びかけていた¹⁾。二酸化炭素の健康影響については、ヒトが吸入する二酸化炭素の上昇に伴い、血中 pH が低下し、ヘモグロビンからの酸素が離れやすくなるため、吸入する二酸化炭素濃度が 10000 ppm を超えるとその上昇に伴って、呼吸数の増加、頭痛、錯乱、記憶喪失、呼吸困難等のリスクが高くなる。また、低濃度の二酸化炭素によるヒトの健康影響についても、二酸化炭素の室内外濃度差 450 ppm 以上または室内濃度 850 ppm

以上ではシックビルディング症候群が増加するとしている。ただし、低濃度領域における二酸化炭素濃度とシックビル症候群の症状については、他の室内汚染物質の濃度上昇が関与している可能性もあるため、二酸化炭素の直接的な因果関係ではない可能性はある²⁾。

本報告では、ドライアイスから二酸化炭素の発生速度に関する知見の整理と室内空気を与える影響について検討を行った。

さらに、ご遺体にエンバーミング処理を行う場合には、注入する薬剤によりその施設において化学物質の曝露について懸念がある³⁾。実際にはエンバーミング処置時及びご遺体からの化学物質発生の知見は少ないことから、解剖等によるホルムアルデヒドの発生に関する知見の整理を行った。

B. 研究方法

B.1 ドライアイスからの二酸化炭素発生

ドライアイスからの二酸化炭素の発生については、室内環境分野において、二酸化炭素をトレ

トレーサーに換気量の測定を行うことがあり、ドライアイスが二酸化炭素の供給源として使用されることがある。その発生量について検討した結果をもとに、室内空気質に与える影響を評価した。

B.2 病理検査室等のホルムアルデヒド

病理検査室、解剖実習室などでは、臓器や組織をホルマリンで固定しているため、作業時にホルムアルデヒドが発生する。そのためそのような施設では局所排気装置が用いられることが多いが、実際に発生するホルムアルデヒドの量を把握することが必要であるため、その知見をもとに検討を行った。

C. 研究結果

C.1 ドライアイスからの二酸化炭素発生

二酸化炭素をトレーサーに、ドライアイスを利用した換気量の測定を行うために、ドライアイスからの二酸化炭素発生量を実験的に検討した研究がある⁴⁾。ここでは、発泡スチロールの容器に一部穴を開けて容器内にドライアイスを入れ、二酸化炭素を室内空気中に発生させている。その際に実験室内の温度とこの容器周囲の風速の条件を変えて、二酸化炭素の発生量をドライアイスの減少量により評価を行っている。なお、ドライアイスの大きさや形についての記述はなかったが、初期重量 14kg であることから、本研究班によるアンケート調査で葬儀 1 件に対し、11-13 kg/day の使用量であることからすると概ね同等であった。

表 1 にそれぞれの条件における発生量[g/h]を示す。空気温度が高いほど、発生量は大きい傾向にあり、周囲の風速にはドライアイスが容器の中にあることもあり、違いはなかった。通常の施設の条件となる無風の 26°C において、207 g/h であった。

なお、この発生量については、ドライアイスの重量によっても異なることが示されており⁵⁾、その他にもドライアイスの表面積、時間が経過し

た際のドライアイスの表面の性状にも影響されることが十分に考えられる。

表 1 ドライアイスの二酸化炭素濃度発生量

空気温度[°C]	風速[m/s]	発生量[g/h]
16	0	174
16	0.5	174
20	0	179
20	0.5	179
26	0	207
26	0.5	212
30	0	226
30	0.5	229

室内濃度については、下記の式により発生量と換気量が分かれば算出することはできる。

$$C = C_o + \frac{M}{Q}$$

C : 室内濃度[mg/m³]

C_o : 外気濃度[mg/m³]

M : 発生量[mg/h]

Q : 換気量[m³/h]

なお、二酸化炭素については、濃度単位 ppm で表現することが一般的であるため、下記の式により室内濃度 C の単位換算することが可能である。

$$\text{ppm} = \text{mg/m}^3 \times \frac{22.4}{m} \times \frac{(273 + t)}{273} \times \frac{1013}{P}$$

m : 分子量[g]

t : 温度[°C]

P : 気圧[hPa]

図 1 にドライアイスからの二酸化炭素発生量が 207 g/h の時の、換気量と二酸化炭素濃度の関係を示す。なお、外気濃度は、400 ppm と設定した。換気量は、建物の種類や用途によって異なる。設計上、例えば、住宅のような 8 畳程度の部屋（高さ 2.5 m）で 0.5 回/h の換気であれば、18.7

m³/h 程度の換気量になるので、二酸化炭素濃度は図 1 より 6500 ppm 程度となる。二酸化炭素濃度が建築物衛生法の基準値 1000 ppm を下回るには、200 m³/h 程度の換気量が必要となる。建築物について建築基準法施行令第 20 条においては、一人当たり 20 m³/h を必要換気量としており、200 m³/h 程度の換気量は、10 人程度が使用する建築物に設計上は相当する。安置所において、換気量に関する設計の考え方にも依存するが、葬儀などの会場によっては、十分に換気が確保されていることも想定されるが、多くの人立ち入らない空間については、換気量が少なく設定されている可能性もあるため、注意が必要である。

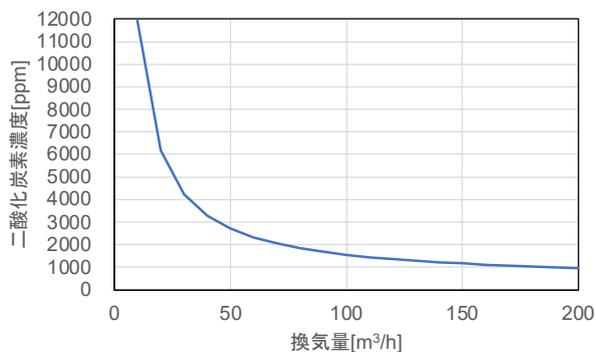


図1 ドライアイスから発生する二酸化炭素の濃度と換気量の関係

C.2 病理検査室等のホルムアルデヒド

作業環境におけるホルムアルデヒド濃度の規制値については、米国産業衛生専門家会議 (ACGIH) では、ホルムアルデヒド濃度の上限を 0.3 ppm としている。日本では厚生労働省がホルムアルデヒドは特定化学物質障害予防規則で定める第二類物質とされ、管理濃度は 0.1 ppm と定められている。シックハウスに関する室内濃度指針値については、0.08 ppm である。

Soonklang 他⁶⁾の研究において、死体保存のためにホルムアルデヒド 3.6%、エタノール 23.8%、グリセリン 15%、フェノール 0.2% を含有する低ホルマリン固定剤を用いたさいの解剖授業中の空気中のホルムアルデヒドレベルと呼吸曝露を

評価した。その結果、室内空気中のホルムアルデヒド濃度は 3 クラス平均で 0.518 ± 0.156 ppm であったのに対し、個人呼吸区域のホルムアルデヒド濃度は 0.956 ± 0.408 ppm であった。また、解剖学研究室における室内ホルムアルデヒド濃度と個人曝露レベルについて調査した⁷⁾。研究室内のホルムアルデヒド濃度の室内平均値は、0.23 から 1.03 ppm の範囲であった。また、平均個人曝露レベルは、それぞれ講師で 0.80, 0.45 および 0.51 ppm, 学生で 1.02, 1.08 および 0.89 ppm であった。解剖学実習において死体の近くにいる場合、その人の個人曝露レベルは室内ホルムアルデヒド濃度の平均値の 2~3 倍になる可能性があることが明らかになった。

医療機関等で行われる病理検査では臓器や組織をホルマリンで固定するため、作業時にホルムアルデヒドが発生するがその発生量についての知見が少ないため、ホルマリン固定した豚精肉およびホルマリン液面からのホルムアルデヒド放散速度をチャンバー試験にて測定した。豚精肉とホルマリン液面のいずれもその放散速度は設置後 40 分間において時間による変化はなく、またいずれも温度依存性が確認された。また、実作業中の測定結果より切り出し等の作業での放散速度は作業場所 1 か所あたり 139~203 mg/h、ホルマリン槽の開放を伴う作業はこれに加えてホルマリン液面からの放散速度を加算した値となり、作業場所の数とホルマリン槽の開口部面積が分かればホルムアルデヒドの放散量を見積もることが可能となる。

D. 考察

ドライアイスからの二酸化炭素発生については、温度、ドライアイスの質量、形状などによっても異なること、設置する棺桶などの密閉性によっても室内空気への影響が変わってくるものが考えられる。しかし、1 日あたり 11-13 kg の使用量であれば、空気中への揮発する速度は、450-540 g/h の発生量となるため、今回検討に用いた

実験データとオーダーは同等である。安置する空間の換気量に室内二酸化炭素濃度は依存するが、設計の際に換気量をどのように見積もっているかによっても、室内濃度は変わってくるが、場合によっては高濃度となっている可能性もある。

エンバーミングによる化学物質の発生については、安置する状態での情報はなく、解剖などの実習室での知見が多く存在した。そのような作業を行うことで、ホルムアルデヒドの発生量は大きく、容易に室内濃度の指針値を超過する状況であった。しかしこれらの部屋は曝露対策も行われており、安置所のような実習のような作業をしないホルムアルデヒドの発生で、局所換気などが無い空間における室内濃度および個人曝露量については、不明な点が多い。

E. 結論

本報告では、安置所におけるドライアイスからの二酸化炭素が室内環境に与える影響と換気量との関係について、そしてエンバーミングによる化学物質の発生に関する文献調査を行った。ドライアイスからの二酸化炭素発生量について、既往の実験結果をもとに調査し、換気量と二酸化炭素濃度の関係について示した。安置所などの室内の換気量にもよるが、高濃度になる可能性があり、二酸化炭素濃度を 1000 ppm 以下にするには、適切な換気量が必要なことを示した。また、エンバーミングによるホルムアルデヒドの室内濃度と個人曝露については、解剖実習室などの作業中の室内濃度、個人曝露、ホルムアルデヒドの発生量について示したものの、安置している状態における情報はなかった。しかし、実習室など換気設備や局所換気設備が備わっている状況であるので、安置所のような通常の換気状況での室内濃度および個人曝露量については、今後の課題となる。

参考文献

1) 消費者庁：棺内のドライアイスによる二酸化

炭素中毒に注意，
https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_safety/caution/caution_071/，2024年5月1日

- 2) 換気設備委員会・室内空気質小委員会：委員会成果報告書 室内空気質のための必要換気量，公益社団法人空気調和・衛生工学会，2016.10
- 3) 松村譲児，高篠智：エンバーミング処理時の感染症および化学物質曝露の対策に関する研究，平成 30 年度厚生労働行政推進調査事業費補助金（厚生労働科学特別研究事業）分担研究報告書，47-51，2019.3
- 4) 長友集，張偉栄：ドライアイスを利用した室内自然換気量の測定法 その 1 室温，室内 CO₂ 濃度および風速による発生量の変化に関する実験，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，5-8，2017.9
- 5) 顧佳，張偉栄，水谷国男：ドライアイスを利用した室内自然換気量の測定法 その 2 CO₂ 発生装置及び室内環境が CO₂ 発生率に与える影響，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，85-88，2018.9
- 6) Nantawan Soonklang, Naruwan Saowakon: Evaluation of formaldehyde exposure among gross dissection after modified embalming solution and health assessment, Environmental Science and Pollution Research, 29, 65642–65654, 2022
- 7) Kimihide Ohmichi et al.: Formaldehyde Exposure in a Gross Anatomy Laboratory Personal Exposure Level Is Higher Than Indoor Concentration, Environ Sci & Pollut Res, 13, (2), 120–124, 2006
- 8) 佐伯寅彦，穴井俊博，小林徳和，湯懐鵬，鍵直樹：模擬発生源とチャンバーを用いたホルムアルデヒド放散速度の測定および病理検査室の実環境測定による検証，室内環境，26, 3, 169-180, 2023