
要 約

1. 序 論

ホルムアルデヒドは常温常圧で無色透明の気体であり、その 40 wt%前後の水溶液はホルマリンとして一般によく知られている。年間に約 40 万 t 強のホルムアルデヒドがメタノールの触媒酸化法により工業的に国内製造され、ポリアセタール樹脂およびユリア・メラミン系接着剤の用途で半分近くが消費されている。

ホルムアルデヒドは、事業所における製造、調合、加工、ならびに家庭等における圧縮木材製品、壁紙、塗料、消費者製品の使用等に伴い環境中へ直接的に排出される。また、天然では森林火災等において、人間活動では自動車等の移動体、たばこ、暖房設備、調理設備、焼畑等において、木材燃料、化石燃料、廃棄物等の有機物の不完全燃焼に伴い間接的に排出される。一方、同物質は対流圏において、自然および人為的に発生したメタン、植物揮発性物質のテルペン類、汚染物質のアルカン類、アルケン類、アルデヒド類およびアルコール類等の光化学反応により生成される。

ホルムアルデヒドは反応性が高いことから、これまで国内外の多くのところでその危険性が問題となってきた。現在、日本において同物質は様々な規制下にある。そして、今日まで幾つかの国内外の評価機関でホルムアルデヒドの有害性やリスクが議論されてきた。しかしながら、例えば環境省ならびに化学物質評価研究機構および製品評価技術基盤機構により行われた国内における初期リスク評価はスクリーニング目的であるため、安全側の暴露シナリオに沿った簡便な解析に基づいている。また、各国によりホルムアルデヒドの用途別排出量、気候、生活様式、法令等が異なるため、諸外国の評価結果を我が国に直接使用することは不適當である。したがって、日本国内の環境中濃度の実測値等を用いて詳細に暴露量を推計し、有害性評価を行い、一般住民のホルムアルデヒドの吸入ならびに経口に対するリスクを把握することを本書の目的とした。なお、経皮暴露、職業暴露、生態系暴露、ならびにシックハウス症候群等に関連する項目については、評価の必要性が乏しいこと、あるいは取り扱いが困難であることを理由に省いた。

2. 環 境 排 出 量

2003(平成 15)年度の PRTR(Pollutant Release and Transfer Register: 化学物質排出移動量届出制度)の推計結果によると、ホルムアルデヒドの一般環境中への総排出量は PRTR 対象の全 354 物質中で 9

番目に多い 16,302.8 t である。その排出源として、事業所、接着剤、医薬品、汎用エンジン、たばこの煙、および移動体(自動車、二輪車、特殊自動車、船舶、鉄道車両、航空機)が考慮されている。総排出量のうち、約 95%が移動体(約 75%が自動車)に起因しており、ほぼ 100%が大気中に排出されている。また、事業所からは、約 87%が大気へ、約 13%が公共用水域へ排出されており、土壌への排出量は非常に小さい。

近年、関連業界団体による有害大気汚染物質の自主管理が促進され、参加事業所からの大気中ホルムアルデヒド総排出量は、1995(平成 7)年度から 1999(平成 11)年度にかけては年度間の比率で 57%、さらに、2001(平成 13)年度から 2003(平成 15)年度にかけては 29%削減されている。

3. 環境動態

ホルムアルデヒドが大気中に排出された場合、OH ラジカル、太陽光等により分解される。一方、表層水中に排出された場合、水環境からの揮発性ならびに懸濁物質および底質への吸着性は低いことが予想される。また、ホルムアルデヒドは水中および土壌中で比較的容易に生分解される。このように、同物質は反応性が高いため、各環境媒体中における残留性は低いと推察される。

2003(平成 15)年度に実施された地方公共団体等における有害大気汚染物質モニタリング調査結果では、全国における年平均の大気中ホルムアルデヒド濃度の幾何平均値は $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であった。AIST-ADMER (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology-Atmospheric Dispersion Model for Exposure and Risk Assessment: 産総研-曝露・リスク評価大気拡散モデル)を用いた試算では、ホルムアルデヒドに対して、PRTR の 1 次排出量より約 1 桁大きい光化学反応由来の 2 次生成量の存在が示唆され、既往の報告と整合した。また、METI-LIS (Ministry of Economy, Trade and Industry-Low rise Industrial Source dispersion Model: 経済産業省-低煙源工場拡散モデル)を用いた計算では、全国の全排出事業所周辺の大気中ホルムアルデヒド濃度は、高くても十数 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であることが推察された。

1999(平成 11)年度に旧環境庁により行われた要調査項目存在状況調査におけるホルムアルデヒドの検出濃度は、水生生物の保全に係る水質環境基準の指針値と比較して、河川では 1 桁以上、湖沼では 2 桁以上、海域では 1 桁以上小さかった。

4. 暴露評価

2003(平成 15)年度の地方公共団体等による一般環境および沿道におけるモニタリング濃度分布を、沿道人口を 10%と仮定して 9 : 1 で加重平均することにより得られた全国の大気中ホルムアルデヒドの年平均(暴露)濃度分布の期待値は $3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、50 および 95 パーセンタイル値は、それぞれ 2.7 および $5.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

室内環境におけるホルムアルデヒドの主要な発生源は接着剤等としてユリア-ホルムアルデヒド樹脂を含む圧

縮木材製品であり、放散はその製造時に未反応のまま樹脂中に残留する同物質、ならびに、いったん反応した樹脂中のメチロール基が加水分解を受けて生成する同物質に起因している。国土交通省により 2000～2005（平成 12～17）年度に行われた一連の住宅室内空気に関する実態調査の結果等に基づく予測式を用いて推計した 2003（平成 15）年度の時点における全国の住宅室内空气中ホルムアルデヒドの年平均（暴露）濃度分布の期待値は $21.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、50 および 95 パーセンタイル値は、それぞれ 5.8 および $93.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

そして、これらの屋内および屋外の年平均（暴露）濃度分布を、屋内滞在時間の割合を 90 % と仮定して 9 : 1 で重み付けして組み合わせることにより得られた 2003（平成 15）年度の時点における全国のホルムアルデヒドの年平均吸入暴露濃度分布の期待値は $19.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、50 および 95 パーセンタイル値は、それぞれ 7.9 および $89.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

ホルムアルデヒドは数々の天然食物中に含有されているが、結合態として存在するためその溶出量は小さい。日本食品分析センターの“平成 11 年度食事からの化学物質暴露量に関する調査報告書”に基づく、成人を仮定した場合、食事中からのホルムアルデヒド経口摂取量の幾何平均値は $7.9 \mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日であり、50 および 95 パーセンタイル値は、それぞれ 7.9 および $26.3 \mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日であった。

厚生労働省および日本水道協会の調査データに基づく、成人の水道水からのホルムアルデヒド経口摂取量の 95 パーセンタイル値は、 $0.3 \mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日未満であった。

5. 有害性評価

ラットを用いた幾つかのホルムアルデヒド長期吸入暴露試験で、鼻腔において発がん性が認められている。このとき、細胞障害が発現する用量以上で発がん性を生じることがメカニズム解析からも明らかであり、閾値が存在すると考えられる。また、鼻腔粘膜の病理組織学的変化（線毛の消失、杯細胞の過形成、および立方・扁平上皮細胞化生等の刺激に対する反応性変化）を生じさせる濃度以上のホルムアルデヒドを持続して長期間暴露することにより癌が誘発されると考えられることから、暴露“量”よりも暴露“濃度”の評価が重要となる。WHO-ROE (World Health Organization-Regional Office for Europe: 世界保健機関-欧州地域事務局) は、ホルムアルデヒドの気中濃度の指針値を 30 分間平均で $0.1 \text{mg}/\text{m}^3$ と設定しており、その根拠として、同値がヒトの鼻、喉において刺激性が生じる短期間暴露の最低濃度であることを挙げている。また、この濃度は鼻腔粘膜へ障害を生じさせる推定閾値よりも 1 桁以上低い値であることから、上部気道癌のリスクを無視できる暴露レベルであると評価している。このように、刺激感覚が発現しない濃度 ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満) を維持することでホルムアルデヒドによる細胞障害を防止することが可能である。しかしながら、本書では、細胞障害性の観察は困難でありその発症数等が不明であることから、代わりに鼻腔癌をエンドポイントとして、参照値 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (鼻腔粘膜に刺激を生じさせる最低濃度) を用いて吸入暴露のリスク評価を行うことが妥当であると判断した。

ホルムアルデヒドの経口摂取に起因する発がん性の存在に関する証拠は報告されていない。非発がん影響に関しては、Til *et al.* (1989) のラットの長期反復投与毒性試験より得られた胃の病理組織学的変化をエンドポイントとした無毒性量 15 mg/kg 体重/日に基づき経口暴露のリスク評価を行うことが適切であると判断した。

6. リスク判定

2003(平成15)年度の時点においてホルムアルデヒドの年平均吸入暴露濃度が参照値 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過している全国の人口割合は約 3.6% であると推計されたが、それらは主に比較的近年に建てられた住宅に起因している。新築時の住宅室内空気中ホルムアルデヒド濃度およびその参照値超過率は、2003(平成15)年度の建築基準法の改正に伴った建築材料の内装の仕上げの制限、換気設備の設置の義務付け等により低下している。また、参照値を超過した住宅においても室内ホルムアルデヒド濃度は自然放散により時間経過とともに減衰し、数年以内には参照値を下回ると考えられる。このように、日本のホルムアルデヒド吸入暴露の濃度レベルは経年減少している。その上、人間は日常生活において移動し、また、刺激を感知した時はその場から避難したり、換気等により対処したりする。したがって、数%の人口が参照値を超過したホルムアルデヒド暴露を生涯(長期間)持続的に受けているとは考えられない。加えて、個人差が存在するため、参照値(鼻腔粘膜に刺激を生じさせる最低閾値であり、また、細胞障害を生じさせる推定閾値よりも1桁以上低い濃度)は必ずしも超過したときに刺激性、細胞障害、さらに鼻腔癌を発現する濃度ではない。以上を踏まえ、我が国において、ホルムアルデヒドの吸入暴露による鼻腔癌に対するリスクは小さいと判断した。

ホルムアルデヒドの経口に関して、無毒性量 15 mg/kg 体重/日を成人の食事および水道水からの摂取量の95パーセンタイル値の和 < 26.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日で除すことにより得られた暴露マージン 563 は、不確実性係数積 100(= 種差 10 × 個人差 10)と比較して大きかった。以上を踏まえ、我が国において、ホルムアルデヒドの経口暴露によるヒト健康影響に対するリスクは小さいと判断した。

7. 結論

我が国の一般住民のホルムアルデヒドへの暴露による健康リスク(本書で評価対象外としたシックハウス症候群および化学物質過敏症を除く)は小さい。

吸入暴露に関しては、改正建築基準法の施行により現在のホルムアルデヒドの屋内濃度レベルは十分に低く、さらなる対策は必要ない。また、関係業界団体による有害大気汚染物質の自主管理が促進され、近年、事業所から一般大気中へ排出されるホルムアルデヒドの量は削減されている。現在、排出事業所周辺および沿道を含め、ホルムアルデヒドの屋外濃度レベルは参照値に比べて十分に低く、さらなる対策は必要ない。

経口暴露に関しては、十分に大きい暴露マージンが存在している。加えて、既に食品衛生法、水道法、薬事法においてホルムアルデヒドの使用や濃度が規定されていること等から、さらなる対策は必要ない。