

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
分担研究報告書

- Without direct exposure to the sun:

$$WBGT_{in} = 0.7T_{nwb} + 0.3 T_g$$

$T_{nwb}$ ; natural wet bulb temperature,  $T_g$ ; glove temperature,  $T_{db}$ ; dry bulb air temperature

The working load measuring unit for occupational health in Japan is mostly RMR (Relative Metabolic Rate). RMR is calculated as follows:

$$RMR = \frac{\text{Energy at work} - \text{Energy at rest}}{\text{Basal metabolic energy}}$$

Basal metabolic energy is calculated with body surface area ( $m^2$ ), which is calculated with body weight (kg) and body height (cm). The “Very light” workload category is under RMR 1. Activity examples are car driving and deskwork such as writing. The “Light” workload category is RMR 1~2. Activity examples are standing work such as watching operation or walking along at about 45m/min. The “Moderate” workload category is RMR 2~3. Activity examples are walking along at 70m/min ~ 95m/min or cleaning a floor. The “Slight heavy” workload category is RMR 3~4. Activity examples are cycling at about 170m/min or a steel grinder. The “Heavy” workload category is RMR 4~5. Activity examples are sawing by hand or inverting.

Workload in Japan is mostly RMR 1~2 for automation or mechanization. RMR 4 of workload may be possible to work continuously for one hour. Workload over RMR 4 may work intermittently. For example, threshold limit values show WBGT 30.5°C for “light” workload of RMR 1~2 .

For work practices in severe conditions, the workers should be under protective observation; buddy system, or supervision, and the workers should be instructed in safety and health procedures.

Regarding the recommend levels for thermal conditions in office buildings or during daily life, these are intended for people to work or live safely and comfortably. Air temperature in office building is 17~28°C. Relative humidity is 40 ~70%. Air velocity is below 0.5m/sec in Japan (Table 2, Environmental Health Division 2011).

Table2. Threshold Limit Values of thermal condition at office building

Item	Standard (Japanese government)	Propose comfort standard	
		sitting work	standing work
Air temperature	17 - 28°C	summer: 24 - 27°C	20 - 25°C
		winter: 20 - 23°C	18 - 20°C
Air velocity	< 0.5m/sec	< 0.5m/sec	
Humidity	40 - 70%	50 - 60%	

There are many differences of climate in each area or season and so on. On the thermal standard for offices, humidity is also a problem in indoor thermal conditions. Therefore, it is better to decide the threshold limit values of thermal conditions for season and activity levels.

Meteorological observatory and weather station are mainly measuring air temperature, wet bulb temperature (humidity) and wind velocity as thermal factors. It is better to measure globe temperature with direct exposure to sunlight. So WBGT values can be calculated and should be common knowledge for all citizens. It is useful for weather information in summer to prevent heat disorders. In this case, weather is changeable, temporarily sunny, cloudy or rainy. So one equation, namely the equations with direct exposure to sunlight may simply be enough for calculation of WBGT values. Under no direct exposure to the sun, globe temperature becomes almost the same

values as dry bulb air temperature. Wind velocity should be added for evaluation of environment, because wind velocity affects to thermal condition outside.

#### 4. Safety, activity efficiency and thermal environment

Thermal stress at work is the net thermal load to which a worker may be exposed from the combined contributions of metabolic cost of work, environmental factors (air temperature, humidity, air velocity, and radiant heat exchange) and clothing requirements. Inadequate thermal stress may cause discomfort and adversely affect performance, safety and be harmful to health. Occupational exposure to environments of hot and cold may have adverse effects on man's performance, health and comfort. Such thermal condition is a reality in many outdoor jobs and indoor activity. Hot working condition is regarded as one of the main causes of accidents, illness and other health problems.

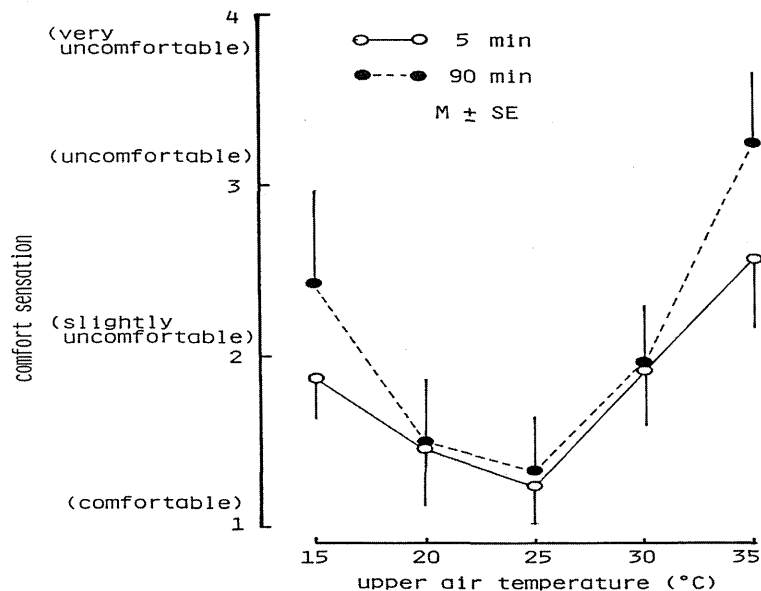


Fig.1. Comfort sensation at 5 min and 90 min according to vertical air temperatures (N=6)

Hard work or activity under hot conditions has led to a marked increase in heat casualties and heat disorder, such as heat exhaustion, heat stroke, and heat syncope; often in combination with dehydration. The most serious consequence of exposure to intense heat is heat stroke, which may be fatal. It is caused by a sudden collapse of temperature regulation, leading to a marked rise in heat content of the body. The rectal temperature may be 40°C or higher (Merca 1989, Parsons 1993).

Relationships between heart rate and core body temperature were discussed and regression lines for body temperature on heart rate were formulated for work safety. Under conditions of high environmental temperatures, the addition of vapor impermeable clothing barrier increase greatly the heat stress for the individual wearer and heat exhaustion occurs rapidly.

Heart disorders, caused by thermal stress would occur under transit condition where workers were removed from hot workplaces to cool rest places. The people with heart disease, abnormal of electrocardiogram (ECG), hypertension and so on need to take care of their thermal condition, especially elderly people who would have a disorder of the heart or blood circulation (Fanger 1970, Mercer 1989).

At desk work, on the relationship of peak performance at a certain level of arousal, deterioration of performance

either at low or high arousal levels occurred, the arousal levels induce uncomfortable, and hot temperatures affect performance. The paradox of improving rather than deteriorating mental performance under certain thermal stress levels is explained by the inverted U-shaped relationship between arousal and performance (Kamon 1975).

On the experiment of human subjects in artificial chamber where thermal parameters could be controlled accurately, the subject was exposed to upper air temperatures of 15, 20, 25, 30, or 35°C, while the lower part of the body was exposed to the constant air temperature of 30°C. There were little differences between the values of 5min and 90min of the one-digit-addition test in scores at 15 and 20°C upper air temperatures. However the values at 90min were lower than those at 5min at 25, 30 and 35°C upper air temperatures. The score values decreased with increased upper air temperature, especially at 90min. The number of errors was slightly higher at 5min at 25°C upper air temperature. The values of comfort sensation at 5 and 90min at 20, 25 and 30°C upper air temperatures were similar, but at 15 and 35°C upper air temperatures the values at 90min were higher than at 5min, that is, there was an increase in the amount of discomfort. Mildly uncomfortable ambient conditions where upper air temperatures were cool and lower air temperatures were warm, improved performance. However, at 35°C upper air temperature, performances worsened as the subjects felt uncomfortably hot (Fig.1, Tanaka 1987).

Comfortable conditions reduce the arousal level. Slightly uncomfortable air temperature or humidity elevated arousal, which improve the performance. This has been found in many of the task performances as arithmetic visual judgments, auditory, skills, reaction time, and so on. Decreasing ambient temperatures or raising the ambient temperature, eventually elevate the arousal level beyond its optimum to the range where performance deteriorates. The strain of decreasing or increasing the body temperature, which becomes over-arousing after a period of time, causes the reduction in performance.

## References

- Tanaka M., Watanabe T., Satoh M., Tanaka K.: Occurrences of heat disorder in Fukushima prefecture, Japan J. Biometeorology 34(3), 29, 1997
- National Astronomical Observatory (Ed): Chronological Scientific Table 1995, Maruzen Co., Ltd., 1994.
- National Astronomical Observatory (Ed): Chronological Scientific Table 2006, Maruzen Co., Ltd., 2005.
- National Astronomical Observatory (Ed): Chronological Scientific Table 2011, Maruzen Co., Ltd., 2010.
- Tanaka M.: Tendency of seasonal disease in Japan, Global Environmental Research 12(2) 1998.
- Thomson, W. A. R.: A change of Air, Adam and Charles Black Co., Ltd., London, 1979. Committee for Recommendation of occupational exposure limits: Recommendation of occupational exposure limits (2013-2014), J Occup. Health, 55(5), 2013.
- American conference of governmental industrial hygienists; Threshold limits values and Biological exposure indices 2001.
- Roth E.M. (Ed); Bioastronautics Data Book, NASA SP SP-3006, 1964
- Kamon E.: Ergonomics of hot and cold. Tex. Rep.Biol. Med. 33,145-182, 1975.
- Tanaka M. Ohnaka T. Yamazaki S. Tojihara Y.: The effects of different vertical air temperatures on mental performance, Am.Ind. Hyg.Assoc. J., 48(5), 494-498, 1987.
- Fanger P.O.: Thermal comfort, McGraw-Hill Co., Ltd., 1970.
- Mercer J.B. (Ed); Thermal Physiology 1989, Excerpta Medica, 1989.
- Rosen S.: Weathering, M.Evans and Company, Inc. 1979.
- Environmental Health Division, Ministry of Environment, Japan (Ed.): Heat stroke, Prevention manual of environmental health 2011.
- Tanaka M.: Heat stress standard for hot work environments in Japan, Industrial Health, 45, 85-90, 2007.
- Parsons K.C.: Human thermal environments, Taylor & Francis, 1993.

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
分担研究報告書

Health Labour and Statistics Association: Journal of health and welfare statistics Vol.59 No.9 2012/2013, 2012.

## 2-エチル-1-ヘキサノールによる室内空気汚染と健康影響に関する文献的考察

研究分担者 柴田英治 愛知医科大学医学部衛生学講座 教授

研究協力者 酒井潔 名古屋市衛生研究所 主任研究員

研究協力者 上島道浩 名古屋市立大学大学院環境保健学 教授

### 研究要旨

揮発性有機化合物である 2-エチル-1-ヘキサノール(2E1H)を原因物質とする室内空気汚染の事例が日本、スウェーデンなどから報告されている。被害は学校、公共施設などの利用者であり、住宅での事例も少数の報告がある。床からの発生によるとの報告が多く、その発生源は建材、微生物の代謝産物、フタル酸エステルの分解などが考えられている。2E1Hの低減化対策としては湿度を下げる、換気を行う、床のコンクリートを乾かすなどの方法が行われている。

### A. 研究目的

建物の室内環境で生じる頭痛、全身倦怠感、眼や咽喉の刺激感などのシックビル症候群（Sick Building Syndrome:SBS）については室内空気汚染や温湿度、真菌類、換気量などとの関連に注目した研究が行われている。特に、室内の揮発性有機化合物（VOC）による健康影響として、喘息などの呼吸器疾患や感覚神経刺激との関連が指摘されている。

欧州では 1990 年代から 2-エチル-1-ヘキサノール(2E1H)は室内空気汚染物質のひとつとして認識されており、室内環境での 2E1H 曝露と在室者の健康影響の関連を論じた報告はいくつかある（Wieslander Gら 1999、Norback Dら 2000、Wälinder Rら 2001）。わが国では 2002 年に 2E1H に起因すると考えられた患者の症例報告が最初である（Kamijima Mら 2002）。

### B. 研究方法

PubMed、医学中央雑誌から 2E1H、室内空気汚染のキーワードによって検索し、得られた文献を調査、さらにそれらの引用文献からさらにいくつか 2E1H に関する文献を調査した。

なお本研究は、文献に関するものであり、倫理面での配慮を必要とする研究に該当しない。

### C. 研究結果および考察

現在、2E1H による室内空気汚染や健康被害の実態に関する報告は比較的少なく、それらの実態は必ずしも明らかではない。また、2E1H の室内での主要な発生機序に関して、床材に含まれる可塑剤の加水分解に起因する考え方とカビなどの微生物の代謝によって生成されるとする考え方があり、議論がある。

今回、これまでの 2E1H によるヒトへの健康被害に関する知見と、2E1H による室内空気汚染の実態およびその発生機序に関する知見の整理を行い、現在までに明らかになった事項を確認するとともに、発症を防止するために室内での 2E1H の発生抑制対策を考察した。

### ヒトにおける健康影響

#### (1) 一般環境での曝露

多湿の床での DEHP の分解物である 2E1H は、鼻粘膜からの sozyme の分泌眼と

鼻の症状発生を増加させる可能性があった（Wieslander G, et al. 1999）。

在室者の喘息症状はコンクリート床中湿度の増加と可塑剤のアルカリ加水分解を示す 2E1H 放散に関連があった（Norbäck D, et al. 2000）。多湿の建物では鼻粘膜炎症が引き起こされる。多湿の建物ではカビや細菌が多かったが、2E1H 濃度も増加していた（Walinder R, et al. 2001）。シックビル症候群患者の発生した室内では 2E1H が高濃度であり、2E1H がシックビル症候群の原因物質になりうることを指摘した（Kamijima M, et al. 2002）。PVC 床材から 2E1H が放散していた多湿の建物では喘息有訴率が増加していた（Tuomainen A, et al. 2004）。PVC 床材から 2E1H が放散していた多湿の学校ではシックビル症候群と喘息症状が増加していた（Putus T, et al. (2004)。鼻・のど・下気道の症状を有する学生は 2E1H 濃度の高いビルだけでみられた。2E1H の低濃度の部屋の使用者の症状出現率に比べて、高濃度の部屋の利用者の症状が過剰に出現する場合の閾値は  $65.5 \sim 336 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であると推定した（上島ら 2005）。過去に 2E1H に曝露したヘルスケア職員と事務職員を比較し、ヘルスケア施設では床の湿気と 2E1H の放散を確認した。湿った床材では 2E1H の顕著な増加があったが、気中濃度は低濃度であった。視覚、鼻、呼吸器症状の増加と nasal patency の減少と軽度の肺機能低下を伴った症状が増加していた（Wieslander G ら 2010）。2E1H 濃度の低下とともに体調の悪化を訴える者および具体的な自覚症状の訴えが減少していた（森ら 2011）。

多くの報告が一般室内で 2E1H が呼吸器官に影響を与えることを示唆している。しかし、他の要因の寄与が不明であるので、上記の報告から 2E1H による呼吸器官への影響を結論付けることはできない。

## (2) 2E1H による室内空気汚染の実態

表1に室内空气中 2E1H 濃度の報告例をまとめた。欧米での室内空气中 2E1H 濃度に関する最初の報告は、1984年に Andersson ら（1984）が室内空気による刺激の苦情のあった事務所空気から最大  $1\text{mg}/\text{m}^3$  の 2E1H を検出したものである。その後、欧米では、住宅（Hodgson AT ら 2004）、病院・リハビリ施設（Norbäck, D ら 2000、Wieslander G ら 2010）、事務所（Walinder R ら 2001、Tuomainen A ら 2004）、学校（Putus T ら 2004）での報告がある。

新築のプレハブ住宅4戸と新築住宅7戸での室内濃度の幾何平均は  $2.7\text{--}8.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  の範囲であった（Hodgson AT ら 2000）。

病院・リハビリ施設での室内空气中 2E1H 濃度について、床が多湿であった建物と乾燥していた建物各2施設を比較すると、前者では  $12\text{--}32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であったのに対して、後者では  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  未満であった（Norbäck, D ら 2000）。また、建物の湿気が確認されたリハビリ施設1施設では  $0.3\text{--}0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であったが、建物が乾燥していた事務所ビルでは検出しなかった（Wieslander G ら 2010）。

事務室での室内空气中 2E1H 濃度について、湿った建物2施設での平均濃度は  $9.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であったのに対して、湿っていなかった対照建物での平均濃度は  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であった（Walinder R ら 2001）。シックビル症候群患者が発生したビルでの室内濃度の平均（範囲）は  $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であった（Tuomainen A ら 2004）。

学校での室内空气中 2E1H 濃度について、改築後2年の大学校舎3室で1月での室内濃度は  $4\text{--}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であったのに対して、6月では  $10\text{--}17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であった（Reiser R ら 2002）。築後10年の学校1施設での室内濃度の平均（範囲）は  $2\text{--}3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であった（Putus T ら 2004）。

日本での最初の報告は、2002年に上島らが新築の大学校舎で高濃度（164-1086  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）の2E1Hを検出したものである。その後、学校（上島ら、2005；市場ら、2009；森ら、2011）、住宅（大貫ら、2009）、事務所（Sakai Kら 2006, 2009、酒井ら 2010、田中ら 2007）、ショッピングモール（真鍋ら 2008）での報告がある。

学校での室内空気中2E1H濃度について、シックビル症候群が疑われる患者が発生した大学校舎での室内濃度は25.0-1183  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったのに対して、築後30年以上を経過した大学校舎では4.8-6.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （上島ら 2005）。築後1年未満の大学校舎3室の9月の室内濃度は37.1-62.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったのに対して、2月では12.4-27.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2E1Hより高濃度のVOCはなかった（森ら 2011）。

住宅での室内空気中2E1H濃度について、築後半年以内の住宅13戸の25室中19室で2E1Hを検出し、その中央値（範囲）は1.5（ND-783）  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった（大貫ら、2009）。

事務所での室内空気中2E1H濃度について、42ビルの99室中92室で2E1Hを検出し、その幾何平均濃度（範囲）は16.5（ND-2709）  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。高濃度の2E1Hは一部の部屋のみであり、同一建物内でも室内間で大きな濃度差があった（Sakai Kら 2006）。56ビル67室で、夏季は全室で、冬季は65室で2E1Hを検出し、夏季の幾何平均濃度（幾何SD）は55.4（4.1）  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、冬季では13.7（3.8）  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。室内濃度は気温に比例して上昇、長年にわたって発生が続いた（Sakai Kら 2009）。長期間にわたって異臭苦情が続いていたビルの室内濃度は230・270  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった（田中ら 2007）。

築後2年のショッピングセンター120か所での室内空気中2E1H濃度の幾何平均濃度（範囲）は、6.2（1.3-69.2）  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。2E1H濃度の室内外比9.3で室内で特に

高濃度であった（真鍋龍治、他：2008）。築後31年の美術館でも11室中6室で2E1Hを検出し、その平均値（範囲）は0.33（ND-1.30）  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

欧米と日本での報告を比較すると、Anderssonらの報告（1984）を除けば、日本での報告は欧米と比較して高濃度であった。この原因の一つとして、日本での調査は夏季に行われている場合が多かったのに対して、欧米では冬季に行われていたことが考えられた。また、測定は通常の使用条件で行われたと推定されるが、換気条件に関する記述はほとんどなかったため、換気が2E1H室内濃度に及ぼした影響は不明であった。

## 2E1Hの発生源

### (1) 室内での発生要因

2E1Hの主要な発生要因として、床が指摘されている。Field and Laboratory Emission Cell（以下、FLEC）法による床からのVOC放散量の測定で、2E1Hは床から放散していたTVOCの47~76%を占めていた（Toumainen Aら 2004）。PVC床材を撤去したコンクリートの床面から2E1Hが放散していた（Wieslander Gら 2010）。二重管チャンバー法による測定で、空気中2E1H濃度は床からの2E1H放散量に比例して増加していた（上島ら 2005）。床面からの2E1H放散の測定を行っていないが、室内空気中2E1Hの発生要因として、床を推定している報告は多い（Andersson B. et al. 1984, Wieslander Gら 1999, Wälinder Rら 2001, Putus Tら 2004）。床を発生源とした場合の2E1Hの発生要因として、(1) 建材（接着剤を含む）自体に含まれるもの、(2) 建材のDEHPなどの可塑剤と建物コンクリート躯体との接触による化学反応によって新たに生成したもの、(3) 微生物の代謝生成物が考えられる。

床以外の2E1Hの発生要因として、乾式光

学複写機（Leovic KW ら 1996）と新しいパーソナルコンピュータ（Bakó-Biró Z ら 2004）が報告されている。新しいパーソナルコンピュータから 2E1H がフェノール、トルエン、HCHO、スチレンとともに検出された（Bakó-Biró Z ら 2004）。また、個人差が大きい、体臭成分と考えられる VOC として 2E1H が検出されている（岩下ら 2011）。

## (2) 床材や接着剤の含有物

PVC を含む床材自体から 2E1H が放散することは、チャンバー法（Hodgon ら：1993）および FLEC 法（Järnström ら 2008）で報告されている。接着剤からも 2E1H が放散するとの報告がある（Järnström ら 2008）。

## (3) 床材中可塑剤の加水分解物

高湿度と高アルカリ性の条件で DEHP の加水分解によって 2E1H が発生し、コンクリート表面の pH はエステル基の加水分解を引き起こすのに十分であった（Bjork ら 2003）。水分率の異なったセメントに DEHP を直接添加した場合、水分率の高いセメントで 2E1H 放散量が多かった（Tomoto ら 2009）。

Alexanderson (2004) および Wilke ら (2004) は、PVC 床材をコンクリートに直貼りした場合に 2E1H が発生することを示した。PVC 床材をセルフレベルリング（以下、SL）材に貼った場合、2E1H の放散が認められること、2E1H 放散量は時間経過とともに増加すること、SL 材中含水率が高いほど 2E1H 放散量が増加していた（横田ら 2007）。接着剤と PVC 床材を SL 材に接触させた場合、PVC 床材中 DEHP および接着剤中の 2E1H 基を含むエステルの加水分解によって、2E1H が放散すること、2E1H の積算放散量から長期にわたる 2E1H の放散は接着剤ではなく床材中 DEHP の加水分解に起因するとしている（Chino ら 2009）。チャンバー法と実大試験室で PVC 含有タイルカーペットをコンク

リートスラブに敷いた場合、コンクリートの水分含有率が高いと 2E1H 放散量が多かった（栗木ら 2011）。

床材に含まれる 2E1H 基を含む可塑剤（DEHP や DEHA など）とコンクリート躯体中の水分とのアルカリ加水分解反応によって 2E1H が生成する場合、気温が高くかつ水分量が多いほど加水分解反応は早く進行することが考えられる。PVC 床材には 2E1H の発生源となる可塑剤が大量に含まれている。コンクリート躯体中の水分は、コンクリート躯体上を床材で覆うことによってコンクリートの乾燥が阻害されて水分が保持されると考えられる。その結果、気温の上昇する夏季には 2E1H 放散量が増加し、気温が低下する冬季には 2E1H 放散量が減少することが長期間にわたって継続されることになる。可塑剤がコンクリート躯体中水分と接触し続けること、十分量の水分が存在し続けること、気温が高いことの 3 点が、可塑剤のアルカリ加水分解で 2E1H が大量に生成する必要条件である。

## (4) 微生物の代謝生成物

カビや細菌は多様な VOC を発生させることが知られており、2E1H も微生物由来揮発性有機化合物（MVOC）のひとつである。Sunesson ら（1996）によれば、2E1H が発生した市販の石膏板から *Penicillium commune* を検出した。Nalli ら（2002、2006）によれば、*Rhodococcus rhodochrous* は bis 2-ethylhexyl adipate、DEHP および DEHA を分解して 2E1H を生成することを認めた。微生物に起因する VOC は菌種や栄養源となる付着材料によって大きく異なり、それぞれの菌と付着材料の組み合わせでそれぞれ特有の VOC が発生し、室内塵での全 VOC 放散量に対する 2E1H の割合は約 60% 以上を占めていた（朴俊錫ら 2002）。実験的に作製した湿った建材から 2E1H が放散していた



が、VOC 放散量と微生物量の間には有意な関連はなかった（Claeson ら 2007）。カビを接種した壁紙から 2E1H が発生し、カビによって壁紙中の DEHP が分解された結果であると推定された（Van Lancker ら 2008）。

### 床からの 2E1H 発生に関係する要因の寄与度

床からの 2E1H の発生源として、(1) 建材や接着剤、(2) 床材中可塑剤のアルカリ加水分解生成物、(3) 微生物の代謝生成物が考えられた。

建物の竣工直後に検出された 2E1H が時間の経過に従ってその放散量が減少していく場合は、2E1H は床材や接着剤に含まれている 2E1H に由来していると推定される。その放散は一時的であり、大半の他の VOC と同様に時間の経過とともにその放散量は減少していくと考えられる。

竣工後時間が経過しても比較的高濃度の 2E1H が検出される室内では、その濃度は気温の上昇する夏季に増加し、気温が低下する冬季には減少することが長期間にわたって継続することがある（Sakai ら 2009）。この原因として、床材に含まれる可塑剤（DEHP や DEHA など）とコンクリート躯体中の水分とのアルカリ加水分解反応によって 2E1H が生成することが考えられる。また、微生物の代謝生成物あるいは可塑剤の微生物による分解生成物である可能性もある。

室内空気中 2E1H の発生源として、Nalli ら（2006）は 2E1H 生成の非生物的経路（アルカリ加水分解、光化学分解）は建物内では考えにくく、可塑剤の微生物学的分解が 2E1H の最も可能性のある発生源であると述べている。

カーペット、コンクリート、石膏ボード、絶縁材、プラスチック、砂、木材を乾燥状態と湿潤状態で 1 週間室温に放置した後、発生した微生物（カビと細菌類）と VOC を分析

した。湿気は建材からの VOC 放散量と建材上での微生物の生育に強く影響していた。2E1H 放散量は湿った条件で高濃度であった。VOC は微生物によるものと材料の分解の両者に起因していたが、VOC 放散量と材料表面の微生物量の間には有意な関連はなかった（Claeson ら 2007）。

室内空気中 2E1H 濃度は増加していた多湿の建物では空気中微生物濃度も対照建物と比較してやや高めであったとする報告がある（Wälinder ら 2001）。多湿の建物の室内空気中 2E1H 濃度は乾燥していた建物より高濃度であったが、カビや細菌の空気中濃度はほぼ同じレベルでかつ低濃度であった（Norbäck ら 2000）。微生物生育の徴候なしで 2E1H 放散量が増加しているが、空気中微生物濃度は多湿の室内とそうでない室内の間で大きな違いはなく、その濃度も低かった（Wieslander ら 2010）。

湿った状態のセメントペーストに DEHP を添加した翌日には、2E1H の放散が観察されており（Tomoto ら：2009）、SL 材に接着剤を塗布、あるいは SL 材に PVC フローリング材を設置した翌日には相当量の 2E1H の放散が観察されている（Chino ら：2009）。微生物が 1 日間で相当量の 2E1H を生成するとは考えにくく、この場合の 2E1H は DEHP のアルカリ加水分解によって生成したと考えるのが妥当である。

室内空気中 2E1H の継続的な発生機序としては、可塑剤のアルカリ加水分解だけではなく微生物の代謝生成物の寄与もあると考えられるが、高濃度の事例では前者の影響が大きいと考える。

### 室内空気中 2E1H 濃度低減化対策

2E1H の室内濃度を低下させる方法として、(1) コンクリート下地の乾燥、(2) 換気による希釈、(3) コンクリート下地との遮蔽、(4) 空気中 2E1H の分解除去が考えられる。

2E1H の室内濃度を低下させる根本的な方法は、床下地となる SL 材やコンクリート下地の乾燥である。プラスチックの床材、接着剤、レベリング層を剥がし、これらの部屋を1週間換気しながら 55°C に加温し、その後2か月間部屋を冷却・乾燥させた後に、セラミックタイルまたは放散が少ないポリ PVC 製のカーペットを導入する改築を行うことで、室内空気中の 2E1H や 1-ブタノール、TVOC 濃度が減少した (Toumainen ら：2004)。コンクリート下地等の乾燥は、床面での 2E1H 基を含む可塑剤の加水分解の抑制対策として、また微生物の繁殖防止という点で、同時に有効である。

換気装置を稼働させると室内濃度は3分の1未満に減少する (上島ら 2006)。換気は最も簡便な方法であるが、あくまでも一時的な低減化対策であろう。

上記の対策以外に、エチルヘキシル基を含まない可塑剤を用いた床材は DEHP や DEHA のアルカリ加水分解による 2E1H の発生防止には有効であるが、微生物由来揮発性有機化合物 (MVOC) としての 2E1H が発生する可能性は残る。

#### 参考文献

- 1) Andersson B, Andersson K, Nilsson CA. Mass spectrometric identification of 2-ethylhexanol in indoor air: Recovery studies by charcoal sampling and gas chromatographic analysis at the micrograms per cubic metre level. *J Chromatogr* 1984; 291: 257-263.
- 2) Bakó-Biró Z, Wargocki P, Weschler CJ, Fanger PO. Effects of pollution from personal computers on perceived air quality, symptoms and productivity in offices. *Indoor Air*. 2004;14:178-87.
- 3) Fang L, Clausen G, Fanger PO. Impact of temperature and humidity on chemical and sensory emissions from building materials. *Indoor Air*. 1999;9:193-201
- 4) Hodgson AT, Wooley JD, Daisey JM. Emissions of volatile organic compounds from new carpets measured in a large-scale environmental chamber. *Air Waste*. 1993;43:316-24
- 5) Hodgson AT, Rudd AF, Beal D, Chandra S. Volatile organic compound concentrations and emission rates in new manufactured and site-built houses. *Indoor Air*. 2000;10:178-92
- 6) Järnström H, Saarela K, Kalliokoski P, Pasanen AL. Comparison of VOC and ammonia emissions from individual PVC materials, adhesives and from complete structures. *Environ Int*. 2008;34:420-7.
- 7) Nallii S, Cooper DG, Nicell JA. Biodegradation of plasticizers by *Rhodococcus rhodochrous*. *Biodegradation*. 2002;13:343-52
- 8) Nalli S, Horn OJ, Grochowalski AR, Cooper DG, Nicell JA. Origin of 2-ethylhexanol as a VOC *Environ Pollut*. 2006;140:181-5.
- 9) Nalli S, Cooper DG, Nicell JA. Interaction of metabolites with R.

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
分担研究報告書

- rhodochrous during the biodegradation of di-ester plasticizers. Chemosphere. 2006;65:1510-7.
- 10) Norbäck D, Wieslander G, Nordström K, Wälinder R. Asthma symptoms in relation to measured building dampness in upper concrete floor construction, and 2-ethyl-1-hexanol in indoor air. Int J Tuberc Lung Dis. 2000;4:1016-25.
- 11) Putus T, Tuomainen A, Rautiala S. Chemical and microbial exposures in a school building: adverse health effects in children. Arch Environ Health. 2004;59:194-201.
- 12) Reiser, A. Meile, C. Hofer and R. Knutti (2002) „Indoor air pollution by volatile organic compounds (VOC) emitted from flooring material in a technical university in Switzerland”, Indoor Air 2002 Proceedings, 1004-1009.
- 13) Sakai K, Kamijima M, Shibata E, Ohno H, Nakajima T. Indoor air pollution by 2-ethyl-1-hexanol in non-domestic buildings in Nagoya, Japan. J Environ Monit. 2006;8:1122-8
- 14) Sakai K, Kamijima M, Shibata E, Ohno H, Nakajima T. Annual transition and seasonal variation of indoor air pollution levels of 2-ethyl-1-hexanol in large-scale buildings in Nagoya, Japan. J Environ Monit. 2009;11:2068-76.
- 15) Sunesson AL, Nilsson CA, Andersson B, Blomquist G. Volatile metabolites produced by two fungal species cultivated on building materials. Ann Occup Hyg. 1996 ;40:397-410.
- 16) Tomoto T, Moriyoshi A, Sakai K, Shibata E, Kamijima M. Identification of the sources of organic compounds that decalcify cement concrete and generate alcohols and ammonia gases. Building and Environment 2009;44:2000-2005
- 17) Tuomainen A, Seuri M, Sieppi A. Indoor air quality and health problems associated with damp floor coverings. Int Arch Occup Environ Health. 2004;77:222-6
- 18) Van Lancker F, Adams A, Delmulle B, De Saeger S, Moretti A, Van Peteghem C, De Kimpe N. Use of headspace SPME-GC-MS for the analysis of the volatiles produced by indoor molds grown on different substrates. J Environ Monit. 2008;10:1127-33.
- 19) Wieslander G, Norbäck D, Nordström K, Wälinder R, Venge P. Nasal and ocular symptoms, tear film stability and biomarkers in nasal lavage, in relation to building-dampness and building design in hospitals. Int Arch Occup Environ Health. 1999;72:451-61.
- 20) Wieslander G, Kumlin A, Norbäck D. Dampness and 2-ethyl-1-hexanol in floor construction of rehabilitation

- center: Health effects in staff. Arch Environ Occup Health. 2010 ;65: 3-11
- 21) Wolkoff P, Schneider T, Kildesø J, Degerth R, Jaroszewski M, Schunk H. Risk in cleaning: chemical and physical exposure. Sci Total Environ. 1998 23;215:135-56.
- 22) Wälinder R, Norbäck D, Wessen B, Venge P. Nasal lavage biomarkers: effects of water damage and microbial growth in an office building. Arch Environ Health. 2001;56:30-6.
- 23) 市場 正良, 高橋 達也, 山下 善功, 高石 恵子, 西村 晃一, 蒲池 将史, 近藤 敏弘, 松本 明子, 上野 大介, 宮島 徹 佐賀環境フォーラムにおけるシックスクール問題への取り組み日本衛生学雑誌64巻1号 26-31(2009)
- 24) 岩下 剛 知覚空気質・建材評価・パフォーマンス(II) におい・かおり環境学会誌42巻2号 129-144(2011)
- 25) 大貫 文, 齋藤 育江, 多田 宇宏, 福田 雅夫, 栗田 雅行, 小縣 昭夫, 戸高 恵美子, 中岡 宏子, 森 千里 新築住宅における高濃度化学物質の傾向 東京都健康安全研究センター研究年報 60号 45-251
- 26) 上島通浩, 柴田英治, 酒井潔, 大野浩之, 石原伸哉, 山田哲也, 竹内康浩, 那須民江. 2-エチル-1-ヘキサノールによる室内空気汚染 室内濃度、発生源、自覚症状について 日本公衛誌 2005年12月 52巻12号 1021-1030
- 27) 酒井潔, 上島通浩, 柴田英治, 大野浩之, 那須民江 特定建築物における揮発性有機化合物による室内空気汚染 2002年建築物衛生法改正後の実態と残された問題点 日本公衛誌 2010年9月 57巻9号 825-834
- 28) 田中 礼子, 北爪 稔, 矢澤 篤子, 桐ヶ谷 忠司, 山口 正, 坂井 暁子, 本間 豊 公共建築物における室内空気に関する苦情事例 横浜市衛生研究所年報 46号 143-148
- 29) 朴 俊錫 微生物由来化学物質による室内空気汚染 空気清浄 39巻6号 385-388(2002)
- 30) 真鍋 龍治, 樺田 尚樹, 加藤 貴彦, 黒田 嘉紀, 秋山 幸雄, 山野 優子, 内山 巖雄, 嵐谷 奎一 大型店舗内の空気汚染及び個人曝露調査 日本衛生学雑誌 63巻1号 20-28
- 31) 森 美穂子, 原 邦夫, 宮北 隆志, 石竹 達也 新築大学校舎の室内空気質と利用者の体調との関連 日本衛生学雑誌 66巻1号 122-128

## E. 結論

今回、2E1Hによる健康影響と室内空気汚染に関する報告は北欧と日本に偏っており、日本での2E1Hの室内濃度は北欧と比較して非常に高かった。世界の地域によって、床材に含まれる可塑剤の種類や建物の建設方法とその構造などは異なっていることが考えられる。しかし、他の地域でも、可塑剤を含むPVC床材は使用されており、多湿の鉄筋コンクリート造の建物もあると考えられる。2E1Hによる健康影響と室内空気汚染は今後も検討すべき課題である。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

- 1) 柴田英治 アスベストの特性とその健康影響. 生活と環境 2014;59(4):18-23
- 2) Araki A, Saito I, Kanazawa A, Morimoto K, Nakayama K, Shibata E, Tanaka M, Takigawa T, Yoshimura T, Chikara H, Saijo Y, Kishi R. Phosphorus flame retardants in indoor dust and their relation to asthma and allergies of inhabitants. Indoor Air 2014 Feb;24(1):3-15
- 3) Saito S, Ueyama J, Kondo T, Saito I, Shibata E, Gotoh M, Nomura H, Wakusawa S, Nakai K, Kamijima M. A non-invasive biomonitoring method for assessing levels of urinary pyrethroid metabolites in diapered children by gas chromatography-mass spectrometry. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 2014 Mar;24(2):200-7
- 4) Sakai K, Hisanaga N, Shibata E, Kamijima M, Ichihara G, Takeuchi Y, Nakajima T. Trends in asbestos and non-asbestos fibre concentrations in the lung tissues of Japanese patients with mesothelioma. Ann Occup Hyg 2014 Jan;58(1):103-20
- 5) A B Yu, Shibata E, Saito I, Araki A, Kanazawa A, Morimoto K, Nakayama K, Tanaka M, Takigawa T, Yoshimura T, Chikara H, Saijo Y, Kishi R. Exposure to house dust phthalates in relation to asthma and allergies in both children and adults. Sci Total Environ

2014;485-486:153-163

- 6) Hiraku Y, Sakai K, Shibata E, Kamijima M, Hisanaga N, Ma N, Kawanashi S, Murata M. Formation of the nitrative DNA lesion 8-nitroguanine is associated with asbestos contents in human lung tissues: A pilot study. J Occup Health 2014; 56:186-196

### 2. 学会発表

- 1) Ait Bamai Y, Shibata E, Saito I, Araki A, Kanazawa A, Morimoto K, Nakayama K, Tanaka M, Takigawa T, Yoshimura T, Chikara H, Saijo Y, Kishi R. Exposure to house dust phthalates in relation to asthma and allergies in both children and adults. 26th Annual International Society for Environmental Epidemiology Conference 2014. 8. 24-28 Seattle, Washington, USA
- 2) 酒井潔、久永直見、柴田英治、榊原洋子、鈴木隆佳、上島通浩、那須民江、加藤昌志. 建築作業における石綿の種類別・繊維サイズ別個人曝露濃度の透過型分析電顕法による評価（第2報）. 第87回日本産業衛生学会（岡山）2014. 5. 21-24
- 3) 鈴木隆佳、榊原洋子、小宮山みる、酒井潔、兪鉉述、柴田英治、久永直見、小林章雄. 肺内の含鉄小体濃度と石綿・非石綿繊維の長さ別濃度との関係. 第87回日本産業衛生学会（岡山）2014. 5. 21-24
- 4) 平工雄介、酒井潔、柴田英治、上島通浩、久永直見、村田真理子. ヒト肺組織におけるニトロ化DNA損傷と石綿繊維量の

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
分担研究報告書

関連および繊維長の影響. 第 87 回日本  
産業衛生学会（岡山）2014. 5. 21-24

キノナーゼ 1 遺伝子多型の影響. 第 87  
回日本産業衛生学会（岡山）2014. 5. 21-24

- 5) 佐藤博貴、伊藤由起、荒川朋弥、加納裕也、上山純、五藤雅博、柴田英治、近藤高明、斎藤勲、上島通浩. 害虫防除作業者における、殺虫剤解毒作用へのパラオ

**H. 知的財産権の出願・登録状況**  
なし

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
分担研究報告書

表1 室内空气中2-エチル-1-ヘキサノール濃度を報告した文献

国	調査建物(築年数)および室数	調査年・季節	2E1H濃度	他のVOC	文献
Sweden	室内空気による刺激の苦情のあった事務所(記載なし)	記載なし	最大1mg/m <sup>3</sup>	記載なし	Andersson B, et al. (1984)
USA	新築のプレハブ住宅4戸と新築住宅7戸	1997・1998年	幾何平均:2.7-8.1未満 μg/m <sup>3</sup> の範囲	幾何平均が8 μg/m <sup>3</sup> を超えるVOCが52物質中26物質	Hodgson AT, et al. (2000)
Sweden	老人病院、床が多湿であった建物2施設(4年・12年)8か所、乾燥していた建物2施設(2年・52年)8か所	1997年1-2月	多湿の建物:12(2-32) μg/m <sup>3</sup> 、乾燥していた建物:<1(<1) μg/m <sup>3</sup>	TVOCおよびHCHO濃度は両者とも同じ。	Norbäck D, et al. (2000)
Sweden	多湿の事務所ビルとそうでない事務所ビル 各2施設(記載なし)	記載なし	平均濃度:湿った建物:9.8 μg/m <sup>3</sup> (最大値:17 μg/m <sup>3</sup> )、対照建物1.5 μg/m <sup>3</sup> 。	TVOC濃度は両者ともに低い	Wälinder R, et al. (2001)
Japan	新築の大学校舎 1施設 5室(3年)	2001年8月	164-1086 μg/m <sup>3</sup>	2E1Hと比較して低濃度(30 μg/m <sup>3</sup> 以下)	Kamijima M, et al. (2002)
Swiss	大学校舎 1施設 3室(改築後2年)	2000年1月、6月	1月:4-5 μg/m <sup>3</sup> 、6月:10-17 μg/m <sup>3</sup>	1月:1030-1400 μg/m <sup>3</sup> 、6月:320-410 μg/m <sup>3</sup>	Reiser R, et al. (2002)
Finland	SBS患者の発生したビル 1施設(15年)の事務所	記載なし	改築前:平均2(1-3) μg/m <sup>3</sup> 、改築後:検出しなし	改築前のTVOC濃度:平均43(30-46) μg/m <sup>3</sup> 、	Tuomainen A, et al. (2004)
Finland	学校 1施設(10年)	改築前:1999年春、改築後:2002年春	改築前:平均2(1-3) μg/m <sup>3</sup> 、改築後:検出しなし	改築前 TVOC 300 μg/m <sup>3</sup> 以上、改築後150 μg/m <sup>3</sup> 未満	Putus T, et al. (2004)
Japan	新築の大学校舎(4年)5室、対照建物(30年以上)2室	2002年8-9月	新築建物:25.0-1183 μg/m <sup>3</sup> 対照建物:4.8-6.2 μg/m <sup>3</sup> 床構造(二重床と直貼)で濃度差あり	他のVOC 新築:60 μg/m <sup>3</sup> 未満、対照60 μg/m <sup>3</sup> 未満	上島通浩, 他 (2005)
Japan	大規模ビル 42施設(8.6(0-36)年)99室	2002年6月-2004年10月	99室中92室で検出。幾何平均濃度(最小-最大):16.5(ND-2709) μg/m <sup>3</sup> 、高濃度の2E1Hは一部の部屋のみ、同一建物内でも室内間で大きな濃度差あり	TVOCの幾何平均340 μg/m <sup>3</sup>	Sakai K, et al. (2006)
Japan	異臭苦情のあった公共建築物1施設 2室(記載なし)	2005年8月	230・270 μg/m <sup>3</sup>	他のVOCは2E1Hと比較して低濃度(33 μg/m <sup>3</sup> 以下)	田中礼子, 他 (2007)
Japan	ショッピングセンター 1施設(2年)125か所	2006年6月	幾何平均(最小-最大)6.2(<1.3-69.2) μg/m <sup>3</sup> 、室内外比が9.3でVOCの中で最大	TVOCの幾何平均 95.2 μg/m <sup>3</sup>	真鍋龍治, 他 (2008)
Japan	大規模ビル 56施設(7.3(0-33)年)67室	2004年-2007年	夏季67室中全室で、冬季65室で検出。幾何平均濃度(幾何SD) 夏季:55.4(4.1) μg/m <sup>3</sup> 、冬季:13.7(3.8) μg/m <sup>3</sup> 高濃度の2E1Hは一部の部屋のみ、同一建物内でも室内間で大きな濃度差あり。2E1H濃度は気温に比例して上昇、長期にわたって発生が継続	TVOCの幾何平均 夏季:352(2.1) μg/m <sup>3</sup> 、冬季:204(1.8) μg/m <sup>3</sup>	Sakai K, et al. (2009)
Japan	学校49施設(記載なし)96室	2007年8月	教室96室11室で検出。12-302 μg/m <sup>3</sup>	TVOCの平均(最小-最大):238(5-5053) μg/m <sup>3</sup>	市場正良, 他 (2009)
Japan	住宅13戸(半年以内)25室	2007年3月-2008年10月	25室中19室で検出。中央値(最小-最大):1.5(ND-783) μg/m <sup>3</sup>	TVOCの中央値(最小-最大):1280(150-12100) μg/m <sup>3</sup>	大貫文, 他 (2009)
Japan	大規模ビル 57施設(1年以内)175室	2003年-2007年	幾何平均濃度(幾何SD) 13.5(4.0) μg/m <sup>3</sup> 、夏季21.5(3.8) μg/m <sup>3</sup> 、冬季:10.3(2.7) μg/m <sup>3</sup>	TVOCの幾何平均濃度(幾何SD) 311(1.8) μg/m <sup>3</sup>	酒井潔, 他 (2010)
Sweden	リハビリ施設1施設、事務所ビル1施設各2室(記載なし)	調査年は記載なし、冬季	リハビリ施設1未満(0.3-0.6) μg/m <sup>3</sup> 、対照ビル検出しなし	TVOCのリハビリ施設52・69 μg/m <sup>3</sup> 、対照ビル73・74 μg/m <sup>3</sup>	Wieslander G, et al. (2010)
Japan	大学 新館(1年未満)3室、旧館(17年)1室	2007年9月・2008年2月	2007年9月 新館:62.1, 37.1, 48.6 μg/m <sup>3</sup> 、旧館:15.5 μg/m <sup>3</sup> 、2008年2月 新館:16.2, 12.4, 27.0 μg/m <sup>3</sup> 、旧館:4.2 μg/m <sup>3</sup>	TVOC 9月 新館417,501.813 μg/m <sup>3</sup> 、旧館:197 μg/m <sup>3</sup> 、2月 新館165,247,284 μg/m <sup>3</sup> 、旧館:189 μg/m <sup>3</sup> 、2E1Hより高濃度のVOCなし	森美穂子, 他 (2011)

## 室内空気質汚染のリスクコミュニケーションに関する研究動向調査

研究分担者 増地 あゆみ 北海学園大学経営学部経営情報学科 教授

### 研究要旨

対策マニュアル改訂版の「第9章・室内空気質汚染のリスクコミュニケーション」の執筆内容を検討するため、今年度は国内外の室内空気質汚染のリスクコミュニケーションならびに関連領域に関する研究の動向を調査した。これまでのところ、室内空気質汚染の健康リスクに特化したリスク認知・リスクコミュニケーションの研究は数少ないが、化学物質曝露リスクに関する情報提供のあり方を心理学的観点から検討した研究はいくつか報告されている。これらの報告では、化学物質曝露リスクに対する認知の特徴が明らかにされ、情報の受け手の「メンタルモデル」をふまえたリスク情報の提供方法についての検証がなされている。「メンタルモデル」とは、あるリスク事象についての知識構造のことである（Morgan et al., 2002）。専門家と一般市民のメンタルモデルを図式化し、両者を比較することにより、一般市民に不足している知識や、関心を明らかにすることができ、これらをふまえ、一般市民が必要とする情報を効果的に提供できると考えられている。これらの研究成果のレビューをふまえ、室内空気質汚染のリスクコミュニケーションのあり方やリスク情報提供にあたっての留意点を考察する。

### A. 研究目的

対策マニュアル改訂版における「第9章・室内空気質汚染のリスクコミュニケーション」の内容を検討するため、今年度は国内外の室内空気質汚染のリスクコミュニケーションならびに関連領域に関する研究動向を調査した。

### B. 研究方法

国内の文献については「CiNii（国立情報学研究所学術情報ナビゲータ）」および「医中誌」において、「シックハウス症候群（シックビルディング症候群）」あるいは「室内空気質汚染」と「リスク認知」、「リスクコミュニケーション」、「リスク情報」の組み合わせ、「化学物質」と「リスク認知」、「リスクコミュニケーション」、「リスク情報」の組み合わせで検索を行った。国外の英語文献については、電子ジャーナル「Academic Search Premier」、「Business Source Complete」、「ProQuest」、「ScienceDirect」において、「sick building syndrome」、「indoor air」あるいは「indoor air quality」と「risk communication」、「risk perception」、「risk information」の組み合わせ、または「chemical risk」ならびに「health

risk」と「risk communication」、「risk perception」、「risk information」の組み合わせで検索を行った。

### C. 研究結果

国内外の文献検索の結果、これまでのところ、シックハウス症候群（シックビルディング症候群）あるいは室内空気質汚染の健康リスクに特化したリスク認知・リスクコミュニケーションの研究は数少ないことが明らかになった。室内空気質汚染の健康リスクに関するものは少ないが、室内空気質汚染の原因の一つである化学物質への曝露リスクに関する情報提供のあり方を心理学的観点から検討した研究は国内外でいくつか報告があった。以下では、室内空気質汚染の健康リスクに関する先行研究（C-1）と化学物質の健康リスクに関する先行研究（C-2）の検索結果をそれぞれ報告したうえで、これらの先行研究のなかでも、情報の受け手の「メンタルモデル（知識構造）」をふまえてリスク情報の提供方法について検証した研究成果（メンタルモデルアプローチ）に注目し、その知見をまとめた（C-3）。



### C-1. 室内空気質汚染のリスク認知・リスクコミュニケーションに関する研究報告

シックハウス症候群あるいは室内空気質汚染に関するリスク認知を明らかにする研究、あるいはリスクコミュニケーションの効果を検証した研究の報告は国内でも国外でも非常に数が少なかった。

国内では、窪田・小杉・土屋（2007）により、メンタルモデルアプローチに基づくシックハウス症候群に関するパンフレット作成の試みが報告されている。この研究では、シックハウス症候群の原因物質であるベンゼンとホルムアルデヒドの健康リスクが対象とされ、専門知識を持たない一般の人々に対し、より効果的にリスク情報を伝えるためのパンフレットの内容が検討されている。

国外では、室内空気質汚染の原因の一つである受動喫煙（second hand smoke）の健康リスクについての研究報告がいくつか見られた。例えば、Quick, Bates, & Quinlan（2009）では、アメリカ中西部の住民に対する質問紙調査の結果、受動喫煙の健康リスクに関する知識の有無と、「安全な空気を吸う」権利を侵害されることに対する怒りの強さが受動喫煙防止政策（Clean indoor air policy）への態度に影響していることが明らかにされている。健康リスクの知識があるほど「安全な空気を吸う」権利を侵害されることへの怒りが強く、この怒りが受動喫煙防止政策に賛成する態度につながっている。この結果をふまえて、今後の政策推進にあたり、人々の「安全な空気を吸う」権利侵害に対する「怒り」にアピールする方略の有効性が考察されている。また、人々が健康リスクについて適切な知識をもつことの重要性が指摘されている。

### C-2. 化学物質のリスク認知・リスクコミュニケーションに関する研究報告

化学物質曝露による健康リスクについての認知を明らかにする研究、あるいはリスクコミュニケーションの効果（情報提供のあり方）を検討した研究は国内外でいくつか報告があった。国外での報告の多くは、ドライクリーニング業者などの化学物質への職業曝露によ

る健康リスクを対象としたものであった。これらの研究では、職場で化学物質を扱う従業員のリスク認知を把握し、不適切な知識や誤った認識の存在を明らかにしたうえで、「正しい知識を提供し、正確なリスクの理解を促し、適切な回避や防御の行動を定着させる」ために、どのような情報提供の仕方が有効であるかが検討されている。

Kovacs, Fischhoff, & Small（2001）では、メンタルモデルを用いてドライクリーニングの業者と利用者（顧客）のPCE/テトラクロロエチレンのリスク認知が調べられている。テトラクロロエチレンは主にヨーロッパでその有害性が指摘されながら、特に小規模のクリーニング業者で使用され続けている物質である。調査の結果、PCEを使用しているクリーニング業者はPCEの健康リスクに高い関心を示し、危険性もある程度認識しているが、その認識は多様で、多くは健康リスクの懸念には裏づけがないと考えていることがわかった。ただし、自分も含めて身近に被害を受けた者がいないからなど、その根拠は不確かで、誤った仮定に基づく判断であった。一方、クリーニング利用者のPCEに対する関心は非常に低く、ドライクリーニングの作業過程を知らないために、そもそもなぜPCEが問題であるかを理解するのが難しいようであった。しかしドライクリーニングには化学物質が使われていることを知ると、健康リスクの懸念があることを理解できたようである。

同様に、Hambach et al.（2011）では、化学物質の職業曝露リスクに対する従業員のリスク認知をフォーカスグループでのインタビュー調査で明らかにしている。調査対象者は、ベルギーで塗料の製造、界面活性剤の製造、そしてクリーニング業に携わる労働者であった。彼らの化学物質の健康リスクに対する関心は高く、その危険性は高いと認識しているながら、リスクは受け入れる傾向にあった。彼らは公式に発表されたリスク情報は難しく理解できないという理由であまり参考にせず、自らの経験や同僚の体験談など非公式の情報源に頼る傾向があり、また、職場の安全責任者が発信する情報を信用しておらず、現場と

監督者の間のコミュニケーションに問題があることも指摘されている。

Cox et al. (2003) では、ドライクリーニング業者の PCE/テトラクロロエチレンと、電子工場において「はんだ用融剤（フラックス）」として用いられる松脂という 2 種類の物質の健康リスクを対象とし、メンタルモデルを用いて従業員の健康リスクについての知識や関心を明らかにしている。続く Niewöhner et al. (2004) において Cox et al. (2003) で明らかになった知見をもとに、これらの化学物質の職業曝露リスクの情報提供方法（MSDS：製品安全シート）の改善を試みている。また、窪田・小杉・横山・土屋(2006) は、メンタルモデルを用いて、ベンゼンの健康リスクを一般市民に対して伝える際の提供情報内容を検討し、窪田・小杉・土屋(2007) において、効果的なパンフレット作成を試みている。同様に、窪田・小杉(2008) ではメチル水銀の健康リスクに関する提供情報内容の検討を行っている。これらのメンタルモデルを用いた先行研究の成果の概要については次項で述べる。

### C-3. メンタルモデルアプローチに基づくリスク情報提供内容の検討：知見のまとめ

「メンタルモデル」とは、ある事象についての知識構造のことである。メンタルモデルアプローチは、専門家と一般市民のメンタルモデルを図式化し、両者を比較することにより、一般市民に不足している知識や、関心を明らかにしたうえで、これらをふまえ、一般市民が必要とする情報を効果的に提供することを試みる一連の手法である (Morgan et al., 2002)。この手法では、まずある事象についての専門家のメンタルモデルを作成する。その後、ターゲットとなる人々を対象に個別または集団でのインタビュー調査を実施し、同じ事象についての人々のメンタルモデルを作成する（複数の回答を集約する）。インタビューでは、キーワードから自由に連想してもらう方法、あるいは専門家のメンタルモデルを基に構造化した質問をする方法がとられる。そして専門家と人々のメンタルモデルを比較

し、相違点を把握したうえで、人々に提供すべき情報内容を明らかにする。メンタルモデルアプローチが目指すのは、次の 3 点である。①化学物質に曝露している人々がもつ適切な知識は強化する。②化学物質についての知識不足を補い、③化学物質についての誤解の存在を把握し、正す。これまで、化学物質以外にも、電磁界やラドンなどの健康リスクについての研究が報告されてきた。国内では小杉ら(2004) が日本語でのメンタルモデル作成マニュアルを発表している。

前項で言及した Cox et al. (2003) と Niewöhner et al. (2004) は、メンタルモデルアプローチに基づく一連の研究報告である。これらの研究では PCE/テトラクロロエチレンと松脂の健康リスクを対象としている。まず、PCE/テトラクロロエチレンと松脂の健康リスクそれぞれについて、専門家のメンタルモデルを作成したうえで、職場でそれぞれの物質に曝露している従業員のインタビュー調査を行い、専門家の知識構造や関心との違いを明らかにしている (Cox et al., 2003)。一つの例として、表 1 に PCE/テトラクロロエチレンの健康リスクに関する専門家と従業員のメンタルモデルを比較した結果と、その結果をふまえて検討された従業員に伝えるべき情報の一覧を示す。専門家と従業員は共通して、設備のメンテナンスが PCE 曝露を防ぐために重要であると認識している。一方、両者の相違点として特徴的なのは、従業員は PCE 曝露の長期的影響に関心をもちながらも、具体的にどのような影響があるかについては知識が不足していること、専門家が考えている以上に、現場の従業員はさまざまな作業工程のなかで広く PCE に曝露する経験をしていることなどである。これらの違いをふまえ、従業員に伝えられるべき情報として、表 1 の右側に示したような内容が提案されている。

続く Niewöhner et al. (2004) では、これらの研究成果をふまえ、MSDS（製品安全シート）の改善を提案している。改善案では、多くの従業員が持っている誤解を訂正し、化学物質への曝露による健康リスクをよく理解

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
分担研究報告書

でき、適切な予防行動をとることができるような内容となっている。そして、改善されたMSDSを郵送調査と集団討論を通して読み手に評価させ、その効果を測定している。その結果、①適切な知識の強化、②知識不足の解消、③誤解の同定と訂正の3つのねらいは概ね達成されたが、現場の従業員が求めるのは現場の作業工程に即した具体的な予防策であった。また、安全行動の重要性は理解しても、現場で実践するには制約が多いなどの理由から、行動を変えようという意識にはつながらない傾向が示された。今後の課題として、現場の複雑な作業工程に即した、有効な予防策を提案し、それを現場での行動変容につなげていくための包括的なアプローチの必要性が指摘されている。

同様に、窪田・小杉・横山・土屋（2006）および窪田・小杉・土屋（2007）も、メンタルモデルアプローチに基づく一連の研究報告である。これらの研究報告では、シックハウス症候群の原因物質の一つであるベンゼンを

研究対象としている。

まず、窪田・他（2006）において、専門家と人々の化学物質（ベンゼン）に対する理解の違いが具体的に明らかにされている。たとえば、ベンゼンの発生源として、専門家はガソリンスタンドやタバコの煙、石油ストーブを挙げるが、一般の人々は塗料や接着剤、クリーニングを挙げている。健康影響についても、一般の人々は頭痛のほかに呼吸器への影響やアレルギーを想起するが、専門家は骨髄への蓄積の影響として貧血や白血病の可能性を考えるとといった違いがみられる。また、人々には化学物質について様々な誤解があることも明らかになっている。たとえば、「化学物質はすべて体内に蓄積される」、「臭いがなければ大丈夫」といった誤解である。これらの成果をもとに人々に提供すべき情報の内容が検討され、続く窪田・他（2007）では、これらをふまえたパンフレットを作成し、少人数の集団討議形式のインタビュー調査と質問紙調査の併用でその効果を検証している。

表1 専門家と従業員のメンタルモデルの比較と従業員に伝えるべき情報（Cox et al., 2003のtable IIIを和訳）

専門家	従業員	伝えるべき情報
<b>関心事:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>完全な設備と管理の維持</li> <li>曝露の最大量、衣服の保管と乾燥、薬品保管への関心</li> <li>公衆の曝露の問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従業員の関心はより広い文脈でのリスクに関する職場経験と関連している</li> <li>急性影響よりも慢性影響に関心</li> <li>慢性影響よりも急性影響についての知識が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>percを使って仕事をするので深刻な健康影響があるかもしれない</li> <li>設備は適切に管理されていれば、曝露の予防になる</li> <li>低レベルの曝露でも定期的に続けば、深刻な長期影響があるかもしれない</li> <li>急性影響がないからといって、長期的影響が起こらないとはいえない</li> <li>長期的影響として考えられるのは、皮膚炎、記憶障害、肝臓や腎臓の障害である</li> <li>専門家の見方では発がん性については不確実である</li> <li>設備のメンテナンスはしっかりと</li> <li>蒸気の漏れを発見したら、報告を！</li> <li>開いたままのコンテナにpercを入れるのは問題である</li> <li>ドライクリーニング設備のドアはできるだけ閉めておく</li> <li>衣服を扱う際は、かならず乾燥した状態で</li> <li>できるだけ皮膚は保護する（保護クリームやニトリル製グローブを使う）</li> </ul>
<b>健康影響:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>急性影響（皮膚、眼、呼吸器への刺激）</li> <li>接触による皮膚炎の可能性</li> <li>慢性影響（中枢神経抑制、肝臓と腎臓への影響、記憶障害）</li> <li>生殖系への影響と発がん性の不確実性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>急性影響（頭痛、ふらつき、発疹など）は共通の体験である</li> <li>慢性影響の体験はほとんどない</li> <li>さまざまな種類のPERCを扱い、さまざまな作業をすることの脆弱性</li> </ul>	
<b>職場環境の安全保持:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>設備のデザインとメンテナンスによる蒸気回避</li> <li>蒸気をコントロールするための二次的な換気の徹底</li> <li>隔離</li> <li>皮膚の管理が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全確保のためには設備の種類が重要と考えられている</li> <li>手袋は接客など仕事内容によっては実用的ではない</li> <li>曝露モニタリングは一般的にあてにならない</li> </ul>	
<b>安全情報:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>実践的なガイダンスが必要</li> <li>設備や化学物質の製造業者は情報提供や指導において一定の役割を果たす責任がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従業員は慢性影響について明確な情報を求めている</li> <li>職場での経験があると、健康影響の不確実性を減らしたいという欲求に影響する</li> <li>MSDSは文書による主要な情報源である（COSHには言及なし）</li> </ul>	

調査では、多くの調査参加者はパンフレットを通じて新たな知識を得ることができたと報告しているが、専門用語を含む文章の理解が難しい、具体的にどのような対策が有効であるかパンフレットだけではわからない、といった否定的な評価も少なからず示され、文書によるリスク情報提供の難しさが報告されている。また、窪田・他（2007）によると、どの物質にどのような健康リスクがあるかということより、懸念される健康影響について、その曝露源や対策を伝えることで関心が高まり、理解も深まる。また、リスク対処の支援には、一般論ではなく「何をどうすれば効果があるか」といった具体的な情報が求められると考察されている。

#### D. 考察

これらの先行研究のレビュー結果をふまえ、改訂版マニュアル・第9章の執筆内容を検討する。第9章では、マニュアルの想定読者に対し、リスクコミュニケーションの目的や意義を示し、室内空気質汚染の健康リスクやシックハウス症候群について情報提供する際に、留意すべき点を明確にする。

リスクコミュニケーションは一般的に次の目的で行われる（吉川，1999）。①リスクやリスク分析について人々をよりよく教育する、②特定のリスクについて、またはそれらを低減するための行動を人々に十分に知らせる、③個人的なリスクを低減する手段を推奨する、④人々が持っている価値や関心についてよりよく理解する、⑤相互の信頼と信憑性を促進する、⑥葛藤や論争を解決する。

このとき留意すべき点としては次のようなことが考えられる。まず、ここでレビューした先行研究でも指摘されているように、専門家と一般の人々の知識や認識の違いをよく把握することである。専門用語の壁、知識の不足や偏りによる誤解、理解不足を明確にしたうえで情報提供する必要がある。次に、受け手の情報ニーズをふまえた情報提供の重要性である。厳密なリスク分析の結果よりも、具体的な予防策や対策の提示が求められる。また、人々にとって、リスク評価に伴う不確実

性を理解するのは難しく、曖昧な情報は敬遠される傾向があることを考慮する必要がある。不確実さが残っても、リスクを避けたい人は避けられるような対応策を提案することが重要である。

これらの留意点がシックハウス症候群や室内空気室汚染の健康リスクに関するリスクコミュニケーションにおいて、具体的にどのような内容になるか明確にするために、次年度は室内空気室汚染のリスク認知・リスクコミュニケーション調査を実施する。この調査で現時点での人々のシックハウス症候群や室内空気室汚染の健康リスクに対する知識や情報ニーズを把握し、その成果をふまえてマニュアルの執筆内容を検討する。

#### 引用文献

- Cox, P., Niewöhner, J., Pidgeon, N., Gerrard, S., Fischhoff, B., and Riley, D. 2003 The Use of Mental Models in Chemical Risk Protection: Developing a Generic Workplace Methodology. *Risk Analysis*, 23(2), 311-324.
- Hambach, R., Mairiaux, P., François, G., Braeckman, L., Balsat, A., Van Hal, G., Vandoorne, C., Van Royen, P., and Van Sprundel, M. 2011 Workers' Perception of Chemical Risks: A Focus Group Study. *Risk Analysis*, 31(2), 335-342.
- 吉川肇子 1999 リスク・コミュニケーション 福村出版。
- 小杉素子・三田村朋子・千田恭子・土屋智子 2004 メンタルモデル作成マニュアル。 <http://tokaic3.fc2web.com/rc/MMmanual.pdf> 電力中央研究所調査資料 Y03917.
- Kovacs, D. C., Fischhoff, B., Small, M. J. 2001 Perceptions of PCE use by dry cleaners and dry cleaning customers. *Journal of Risk Research*, 4(4), 353-375.
- 窪田ひろみ・小杉素子・横山隆壽・土屋智子 2006 ベンゼンの健康リスクに関する提供情報内容の抽出。電力中央研究所報告 研究報告 Y05030.
- 窪田ひろみ・小杉素子・土屋智子 2007 受け手評価を踏まえた化学物質の健康リスクに関