

約 50 戸毎に集会所の設置、また身近な交流の場として住戸に縁側の設置、対面住宅も建設された。グループホーム型仮設住宅が田村市、いわき市に建設され、各々 50 戸、80 戸が 2012 年度に完成している。仮設住宅で高齢者の多い現状において、こうしたグループホーム型仮設住宅の需要が増加するものと考えられる。

（2）室内環境の実測調査

仮設住宅の室内環境の実測調査を福島市の北東部に位置する 3 つの仮設住宅団地（S 団地、M 団地、K 団地）の住宅を対象として行った。S、M 団地の住宅は 1DK、2DK、3K で、2DK タイプが半分以上を占め多かった。K 団地はいずれも 2K であった。役場からの紹介で各団地 10 戸、合計 30 戸を調査対象に、居住環境に関するアンケート調査、および温度、湿度などの測定を行った。

温度、湿度の測定には温・湿度計（Thermo Recorder TR-72U、T&D CORP.）を用い、居間と寝室に設置し測定を行った。測定位置は生活に支障をきたさないような各部屋の台、棚などとし、高さは床上 20～100cm とした。測定については 30 分間隔の連続自動計測とした。また冬季には台所で空気汚染の指標として二酸化炭素の測定を行なった。

アンケート調査を夏季と冬季に行い、アンケート内容は、入居時期、住まいの広さ、家族構成、住まいの快適性、エアコンの使用、換気、日射遮蔽、湿度、カビ、結露、健康状態などの項目とし、世帯主等に記入をお願いした。

（倫理面への配慮）

個人のプライバシーに留意するとともに、住まい方については、一般的な夏冬用に換気や室内汚染に対する注意事項をパンフレットにするとともに、各家の温・湿度や CO₂ の結果を知らせ説明した。

C. 研究結果

1) 夏季の調査結果

入居後の 2011 年、夏季のアンケート調査において、入居者については中・高齢者が多く、同居家族は 2 人世帯が最も多く、次いで 3 人世帯、一人暮らし世帯などであった。

夏季のアンケート調査で、仮設住宅で生活上問題と感じることとして、暑さを問題とするのが約 90% の住宅でみられ、次いで居間の狭さ、湿気、騒音などであった。騒音については住宅の構造によって異なり、隔壁の場合は近隣の騒音が大きな問題となっていた。

ルームエアコンの設定温度については、19℃から 32℃と巾は広く、28℃が約 40% と最も多かった。住まいについての夏季の快適性（暑さ、涼しさ）に関する満足度では、「風通し」について不満側が 60% 強、「冷房しない時の快適性」については 80% 強が不快側にあった。冷房した場合には 65% が満足側にあり、「総合的な室内の快適性」については約 60% が不快側にあった。各戸の居間と寝室の温度と湿度の測定を 7 月下旬より開始した。一事例として気温の高い 8 月の Y 家の居間の 1 日の経時変化では、早朝に室温は、25℃と比較的低く、日中は約 30℃、午後 1 時には 35℃弱の室温を示した。相対湿度は、日中には比較的低いレベルで変動がみられ、夕刻に高く、夜間には 65% のレベルを示し、70% のレベルもみられた。経時変化には冷房運転による影響と考えられた。9 月下旬までの経時変化において、最高室温は 35.3℃、最低室温は 16.7℃、平均室温は 27.3℃であった。7 月下旬、8 月上旬と下旬、9 月中旬に室温 30℃以上を示す場合が多くみられ、9 月下旬の台風以降に次第に室温の低下がみられた。

各戸の居間（冷房あり）と寝室（冷房なし）の 8 月の室温の平均値、最高値、最低値では、室温の最高値は 40℃以上を示す場合、最低室温は 20℃未満の場合もみられた。エアコンの設置やエアコンの使用状態などによるものと思われる。平均値（± 標準偏差値）は、居間が 27.8 ± 0.94℃、寝室が 28.1 ± 0.70℃であった。2011 年 8 月末の時点では、多くの住戸にはエアコンは 1 台のみで、居間に設置されている場合が多かった。

2) 冬季の調査結果

冬季のアンケートにおいて、住まいについては、隙間風、住宅の改修、暖房に使う機器、換気などの設問とした。仮設住宅の改修については、各戸の要望により、二重窓や庇の追加、出入り口の風除室の

設置などが多く行われた。

暖房用の機器としては、居間ではエアコンの使用、そして電気コタツや電気カーペットの併用が多く、の住宅でみられた。石油ファンヒーターや小型石油ストーブの使用もみられた。寝室については、就寝前の短時間のエアコン使用が多かった。

居間のエアコンの設定温度については、14～30℃と巾広く、25℃の設定が約 35%を占め最も多かった。

住まいについての冬季の温熱的快適性に関する満足度では、「暖房なし時の快適性」については50%強が不快側にあり、暖房時には 55%が満足側であった。「総合的な室内の快適性」については、快適側、不快側が各々約 30%を示し、「どちらともいえない」が 40%であった。換気に関する設問では、外部の空気汚染による「放射線が心配」が、40%強と最も多く、「換気扇の音が騒がしい」が、20%強、その他で「換気をすると寒い」などであった。

居間の隙間風については、「全く感じない」が35%と最多で、「少し感じる時がある」が30%強であり、「常に感じる」「しばしば感じる」は、各々7%強であった。窓がペアガラスの場合や二重窓に改修されたことにより部屋の気密性は高くなっていた。

一方で、換気方法に関しては「部屋の使用時に窓を開ける」が、60%強と最も多く、次いで「少し窓を開けておく」が、20%弱で、窓による換気が多く、換気扇などの使用は約 15%であった。

一事例として気温の低い1月のM家の居間の1日の経時変化では、早朝に室温は 10℃と低く、日中は 15～20℃を示し夜間には次第に低下がみられた。相対湿度は日中には 30%台の低いレベルで変動がみられ、夜間には 40%台を示した。暖房機器の使用による影響と考えられた。

各戸の居間と寝室の1月の室温の平均値、最高値、最低値については、室温の最高値は、30℃台を示す場合、最低室温は、零下数℃を示す場合もみられた。エアコンの設置やエアコンの使用状態などによるものと思われた。全戸の平均室温（±標準偏差値）は、居間が 14.1±3.80℃、寝室が 13.3±3.33℃であった。

改修や建築設備などについては、冬季の寒さ対策

として、断熱化、二重窓、風除室の補強などが行われている。当初一戸に1台の空調設備も希望により追加設置、暖房便座や畳の設置、或いは風呂の追い炊き機能、腰窓から掃出し窓への改修、物置の設置なども行われた。

暖房用の機器としては、居間ではエアコンの使用、電気コタツや電気カーペットの併用が多くみられた。石油ファンヒーターや石油ストーブの使用もみられ、二酸化炭素濃度のかかなり高い室内もみられた（表1）。

表1 冬季における一週間の仮設住宅室内の二酸化炭素、室温、湿度の平均値（N:21 戸）

	CO ₂ (ppm)	室温(°C)	湿度(%)
Mean	1164.6	13.5	55.1
SD	579.7	4.0	10.1
Max	3487.1	21.1	70.1
Min	768.6	7.1	38.5

D. 考察

仮設住宅への入居期間は、原則として2年間であるが、福島県内の仮設住宅の場合には、供与期間が平成28年3月末まで延長となっている。仮設住宅については、当初は鉄骨の柱が室内に剥き出しで、「夏季には暑い」、「庇がなく日差しが室内に入る」、などの苦情が多くみられた。断熱材を入れ、冬季に向けて2重窓にするなどの補強工事がおこなわれた。

夏季の冷房については、「冷房は好きではない」、「節電をしなければ」、また浜通り地域では「窓を開けて居れば冷房なしで済ませた」と云う住民も多くみられた。仮設住宅には高齢者が多く、以前は農作業などで身体を動かしていたが、今は家に籠りがちで、日に日に「身体が鈍る」「自動車がないと生活に不便」といったこともアンケートにみられた。

仮設住宅には、老夫婦世帯が多く、若い世帯は子供の学校や仕事の関係から別々に生活をしており、将来の事がわからないといった状態もみられた。

住民からの要望などにより、住宅には畳敷き、二重窓、掃出し窓、断熱化などの改装が行われ、温熱的には居住性能は高くなっている。一方で窓サッシ

などにより室内の気密性が高く、冬季には暖房などの火気の使用により室内空気質汚染がみられ、ガスコンロや煙突なしストーブなどの使用により二酸化炭素が高濃度レベルとなっている場合もみられ、不完全燃焼から一酸化炭素中毒の危険性もある。冬の寒さに対して、気密性が高められたが、適切な換気、換気孔や換気窓などの改修が望ましく、普段の換気に十分な配慮が必要である。

E. 結論

震災後4年余、未だ福島県では県外への避難者、仮設住宅での避難者も多く、人々の生活は大きく変化している。国、県、そして各自治体からの将来への確たる展望もないままに時が過ぎ、仮設住宅の人々のなかには、将来への不安、行政への不信感などからうつ状態となっている人、高齢者には日々の運動・活動不足から肥満症や廃用症候群になり、寝たきりの生活になっている人もみられる。今後は復興住宅の促進など住生活での環境整備と共に精神面や社会制度面からの整備が必要と考える。

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) 田中正敏：原発事故と予防医学、日本医事新報、No. 4547、32-34、2011.
- 2) 田中正敏：福島市における応急仮設住宅の居住環境の現状と対策、日本雪工学会誌、Vol. 29、No. 1、58~61、2013.
- 3) 田中正敏、村井弘道：福島県内の仮設住宅の居住環境の現状と対策、日本建築学会、福島原発仮設住宅報告書、2015（発行予定）

2. 学会発表

- 1) 田中正敏；東日本大震災による仮設住宅の冬季の室内環境、53回日本生気象学会大会（横浜）日本生気象学会雑誌、Vol. 51, No. 3, 31, 2014.
- 2) Masatoshi Tanaka: Socially Responsible Management of Thermal environment, especially hot environment, Universidad 2014, 9no Congreso Internacional de

Educacion Superior, Havana Cuba,
February 2014

参考文献

1. 原発事故と予防医学、日本医事新報、No. 4547、32-34、2011.
2. Socially Responsible Management of Thermal environment, especially hot environment, Universidad 2014, 9no Congreso Internacional de Educacion Superior, Havana Cuba, February 2014

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

参考論文

**Universidad 2014, 9no Congreso Internacional de Educacion Superior,
Havana Cuba, February 2014**

SOCIALLY RESPONSIBLE MANAGEMENT OF THERMAL ENVIRONMENT, ESPECIALLY HOT ENVIRONMENT

Masatoshi TANAKA, Professor Emeritus Fukushima Medical University,
80-6 Yagita-Shinmei, Fukushima-city, 960-8164 Japan, E-mail: mtanaka@fmu.ac.jp

Abstract: Acute heat strokes often occur as a result of working in hot environments. However, heat strokes recently sometimes occur during daily life inside as well as in outdoor work environments. Air temperature, humidity, wind velocity, heat radiations and so on are essential to evaluate thermal environmental conditions. Japan spreads the range of latitudes from 46° to 24°. Seasonal variations in weather are very marked and the climatic conditions vary. Japan mainly has a very hot and humid climate during summer. With regard to the thermal standard for offices, humidity especially creates a problem in the indoor thermal conditions. Therefore, it is better to decide the threshold limit values of the thermal conditions according to seasons and activity levels. Inadequate thermal stress may cause discomfort and adversely affect performance, safety, and harm to health. Further, thermal factors in the work and daily life environments must be measured and evaluated under workload conditions like deskwork for safety and activity efficiency, and during daily life for comfort and health.

Key words: Thermal condition, Climate, Thermal standard, Activity efficiency,

1. Occurrences of heat stroke

Occurrences of heat stroke or cold injury in the outdoors were related to the weather, such as a heat or cold waves, and geographical features, such as inland areas or basins where these influences of the climate were great. Under the intense heat or cool of seasons, agriculture production or electricity consumption had great social influences nationwide.

In a newspaper article regarding the occurrences of heat strokes in Japan, those due to work was 29%, daily life activity was 38%, and exercise was 33%. Occurrences of heat stroke during daily life activity were observed mostly in persons older than 65 years old, as well as during outdoor work such as agriculture.

According to the database of the emergency transportation records from 1991 to 1995 of the Fire Defense Agencies in Fukushima Prefecture, Japan, there were a total of 435 cases of heat stroke and dehydration, 193 cases (44.4%) in August, and 155 cases (35.6%) in July. These heat disorders occurred 18.6% during labor activities (outdoor work, agriculture etc.), 26.9% during daily life activities, and 33.5% during sports activities. Heat disorders in the elderly in their seventies and octogenarians were many in rural area, 67 cases (15%) and 78 cases (18%) respectively, and in the case of below 10 years old, and in the fifties, there were fewer, 20 cases (4.6%) and 34 cases (7.8%) respectively. A large number of the cases, which discomfort index (ID) 80-84 and above ID 85 ranges were many, 169 cases (39%) and 134 cases (31%) respectively (Tanaka 1997).

The discomfort index (ID) shows the relationship of thermal comfort and thermal conditions that is humid and hot. The discomfort index or temperature humidity index is calculated from air temperature (Ta) and humidity (RH). The equation of discomfort index (DI) is as follows.

$$DI = 0.81Ta + 0.01RH (0.99Ta - 14.3) + 46.3$$

Ta; air temperature (°C), RH; relative humidity (%)

Discomfort index is over 75; slightly heat & humidity, ID 80-84; severe heat & humidity, and above ID 85 range; intolerable heat & humidity. Discomfort index is especially useful inside house or building where usually is no heat radiation.

Numbers of midsummer days, that is days with over 30°C maximum daily ambient temperature, appeared from May to September, frequently July and August in Japan. A significant positive correlation was found between the numbers of midsummer days and heat disorder in each month (N.A.O. 1994, 2005, 2010).

Typical occupations in hot environments are a blast furnace, a cupola, melting glass in the indoor workshop. The workshop, which is remarkably hot, is usually higher than dry bulb air temperature of 40°C, wet bulb air temperature of 32.5°C, glove temperature of 50°C.

From the data which related with thermal conditions and death by heat stroke, air temperatures of about 40°C are safe, if conditions are dry such as when the humidity is less than 10%. But it becomes more severe for work even if the air temperature is about 28°C in humid conditions near relative humidity 100%. Clearly a correlation is observed between occurrences of heat stroke and humidity in a hot work environment (Roth 1964, Thomson 1979, Tanaka 2007).

2. Natural or artificial thermal condition

Japan is an island country: Hokkaido being the northern island, Honshu the main island, Shikoku in the Inland Sea and Kyushu the southern island are the four main islands. From Hokkaido to the Okinawa islands, Japan spreads the range of latitudes from 46° to 24°. So seasonal variations in weather are very marked and the climatic conditions vary at each area.

On the thermal conditions and climate of the selected cities in the world: average annual air temperature at Naha in Okinawa, southern island of Japan was 22.7°C, and monthly average air temperatures were 28.5°C in July to 16.6°C in January. Average annual humidity was 75% and monthly average humidity was 84% in June to 68% in December. Average annual air temperature at Sapporo in the northern island Hokkaido was 8.5°C, and monthly average air temperatures was 22.0°C in August to -4.1°C in January. Average annual humidity was 70% and monthly average humidity was 63% in April to 77% in July and August. At Tokyo capital of Japan, average annual air temperature was 15.9°C, and monthly average air temperature was 27.1°C in August to 5.8°C in January. Average annual humidity was 63% and month average humidity was 75% in July to 50% in January. At Havana capital of Cuba, average annual air temperature was 24.8°C, and monthly average air temperatures were 27.3°C in August to 22.0°C in January. The average annual humidity was 76% and monthly average humidity was 78% in June to 75% in December. At Montreal in Canada, average annual air temperature was 4.0°C, and monthly average air temperatures were 17.5°C in July to -10.2°C in January. The average annual humidity was 71% and monthly average humidity was 77% in November to 64% in May (NAO 1994, 2005, 2010).

The climate in Japan is generally hot and humid in summer, and cool and dry in winter. The climate in Havana is annually hot and humid. The climate in London is generally a neutral temperature and humid. The climate at San Jose capital of Costa Rica is annually constantly warm. The climate at Montreal is cold and moderately humid in winter.

Hot climates directly influence disease occurrences such as heat strokes and dehydration in summer. Also, climatic conditions by season are indirectly related to risk factors of diseases such as malaria and Japanese encephalitis. People in rural areas are familiar with natural conditions and are sometimes exposed to severe weather conditions. On the other hand, most people in urban areas are familiar with artificial conditions and have some access to air conditioning systems in hot seasons and cooling disorders frequently occurred.

Using vital statistics of seasonality of monthly deaths in Japan, the death rate from infectious diseases showed

previously 2 peaks, one in summer and one in winter. There was also a second peak in the summer (August and July). In 1950, there was a similar to that which occurred in 1947. In summer, gastrointestinal diseases, infectious diseases, Japanese encephalitis and so on were common. On the seasonal disease tendency from 1906 to 1910, death rates from digestive diseases, such as dysentery, diarrhea and inflammation of the intestine, and other diseases, such as beriberi, tuberculosis, whooping cough and so on, were higher in summer. 50 years later, from 1957 to 1961, the death rate from dysentery was the only one peak in summer. In recent years deaths from many diseases were more common in winter, the exceptions being cancer, infectious diseases and suicide (Tanaka 1998, HLSA 2012).

One cause of skin cancer is undoubtedly overexposure to a certain range of ultra-violet rays to the skin. In this case people have many chances to be exposed to cancer-inducing ultra-violet irradiation in summer. Ultra-violet radiation is beneficial to life in moderation, but harmful in excess.

Mortalities from seasonal diseases or meteorological disease are associated with environmental conditions. Physical conditions such as light, air temperature, pressure in natural climates or artificial climates, and mental and social conditions such as culture, economy and so on, can be associated as a single factor or complex set of factors.

3. Thermal standards for working and daily life

The heat and cold stress threshold limit values or the thermal standards of offices are usually decided by the Ministry of Health, Labor and Welfare, the Society for Occupational Health and so on. The heat and cold stress threshold limit values for working are intended to protect workers from the severest effects of thermal stress and to describe exposures to heat or cold working conditions under which nearly all workers can be repeatedly exposed without adverse health effects (ACIGH 2001, Committee for ROEL 2013)

Table1. Occupational Exposure Limits for Heat Stress

work load	WBGT (°C)
RMR ~1 (very light, ~130kcal/h)	32.5
RMR ~2 (light, ~190kcal/h)	30.5
RMR ~3 (light moderate, ~250kcal/h)	29.0
RMR ~4 (moderate, ~310kcal/h)	27.5
RMR ~5 (heavy, ~370kcal/h)	26.5

The criteria for heat stress in Japan are for healthy male workers, who were acclimatized and work wearing normal working clothes for summer, drinking adequate salted water of a concentration of about 0.1%. Working period is continual for one hour or intermittently for 2 hours. These criteria are mainly for working in factories and so on. Assessment of heat stress can be used for evaluating the risk to workers on safety and health. As the heat stress approaches to human tolerance limits, the risk of heat-related disorders increases (Table 1, Committee for ROEL 2013).

Under the condition of high environmental temperature, the addition of a vapor impermeable clothing barrier may greatly increase the heat stress for the individual wearer and heat exhaustion may rapidly occur.

The WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) offers a useful first-order index of the environmental contribution to heat stress. It is influenced by air temperature, radiant heat, and humidity. WBGT values are calculated using one of the following equations:

- With direct exposure to sunlight:

$$\text{WBGT out} = 0.7 \text{ Tnwb} + 0.2 \text{ Tg} + 0.1 \text{ Tdb}$$

・ 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 glove 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.

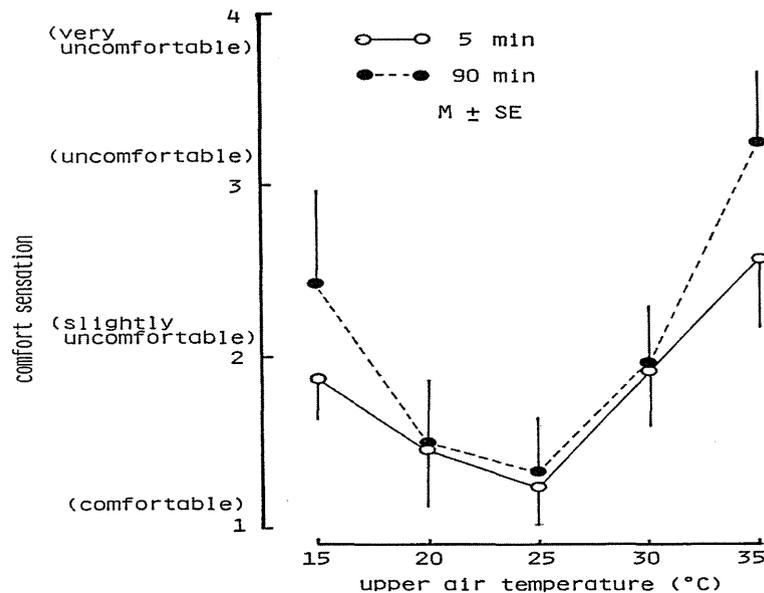


Fig.1. Comfort sensation at 5 min and 90 min according to vertical air temperatures (N=6)

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. Tochiyama 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、Norbäck 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65.5～336 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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に室内空気中2E1H濃度の報告例をまとめた。欧米での室内空気中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 mg/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2.7-8.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であった（Hodgson AT ら2000）。

病院・リハビリ施設での室内空気中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 (2-32) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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0.3-0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったが、建物が乾燥していた事務所ビルでは検出なかった（Wieslander G ら2010）。

事務室での室内空気中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 (1-3) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった（Tuomainen A ら2004）。

学校での室内空気中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4-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったのに対して、6月では10-17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 (1-3) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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年にわたる 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) Nalli 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.

- 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

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