空気清浄機能を搭載する全館空調住宅への移転前後における室内空気質の評価

VERIFICATION OF INDOOR AIR QUALITY BEFORE AND AFTER MOVING IN THE HOUSE EQUIPPED WITH THE AIR-CLEANING SYSTEM

三田村輝章 — * 1 原澤浩毅 ——— * 2
土橋邦生 ——— * 3

Teruaki MITAMURA — * 1 Hiroki HARASAWA — * 2
Kunio DOBASHI ——— * 3

キーワード：
空気清浄機, 実測調査, 浮遊微粒子, 空中浮遊真菌,
ダニアレルゲン

Keywords:
Air-cleaning system, Field survey, Fine-particle, Airborne fungi, Mite allergen

The concentrations of fine-particles and airborne fungi, the amount of mite allergen were measured before and after moving in the houses equipped with the air-cleaning system for the countermeasure against allergy. As a result, the concentration of fine-particles and airborne fungi in the houses for the countermeasure against allergy were lower than that of the houses before moving. Amount of mite allergens was also lower. The particle collection efficiency of the air-cleaning system was calculated from the measurement results.

1. はじめに

2003年7月の建築基準法の改正により、シックハウス対策としてホルムアルデヒドを放散する建材の使用が制限され、機械換気設備の設置が義務付けられた。また、近年の住宅における省エネルギーへの関心に加えて、居住者の健康志向の高まりから、特に室内空気質に配慮した住宅を建設する試みもあり¹⁾、シックハウス対策は広く認識され、着実に進んでいるものと思われる。一方、国民の約3人に1人は何らかのアレルギー症状を有しているとの報告があるが²⁾、居住空間におけるアレルギー対策としては、清掃等によるハウスダストの除去など、人為的な手段に依存しており、建物自体や設備におけるアレルギー対策は進んでいないのが現状である。その一因として、アレルギー患者宅における居住環境とアレルギー症状との関連性が十分に解明されていないことが考えられる。これまで、アレルギー患者宅を対象とした室内環境の実態調査については、菅原³⁾は5件の住宅についてカビ・ダニアレルゲンの調査を実施し、特に寝具におけるダニアレルゲン量が多かったことから日常的な清掃の必要性を指摘している。青木ら^{4),5)}は、一般住宅とアトピー性皮膚炎患者宅の17件について室内温湿度を測定し、両者の比較を行っている。塩津ら⁶⁾は、小児気管支喘息患者宅を含む住宅8件において調査を実施し、空気清浄機器の設置による浮遊微粒子の減少を確認し、その評価方法について提案を行っている。以上のように、既往の研究では、既存住宅における実態把握や一時的な対策を施した場合の事例が多く、建物自体や設備における常設的なアレルギー対策に関する事例はみられない上、居住環境とアレルギー症状の変化を追跡した調査も殆どみられない。

本研究では、断熱気密化に加えて、アレルギー対策を目的として開発された空気清浄機能を搭載する全館空調システムを設置した住宅において、その移転前後における室内環境とアレルギー症状の改善効果について追跡調査を行い、医学と建築学の見地から室内環境とアレルギー症状の関連性について実住宅における実証を行うことを目的としている。これまでに移転前後における居住者のアレルギー症状の変化⁷⁾、室内温湿度、化学汚染物質濃度、ダニアレルゲン量等の室内環境の調査結果⁸⁾について発表しているが、本稿では、移転前後における浮遊微粒子の測定による空気清浄機能の評価のほか、空中浮遊真菌、ハウスダスト中のダニアレルゲンの測定結果について報告する。

2. 調査概要

2.1 調査対象

表1に調査対象の一覧^{注1),2)}を示す。調査対象はアレルギー対策を施した住宅への移転予定者のうち、本調査に協力を得られた群馬県内の8世帯である。これらの世帯では、家族のうち1人以上がアレルギー症状を訴えている^{注3)}。調査住宅は、断熱気密化が施され^{注4)}、アレルギー対策として冷暖房と換気に加えて電気集塵式の空気清浄機能を搭載した全館空調システム^{注5)}を設置した住宅（以降、「新邸」と呼ぶ）と、この住宅に移転する前に住んでいた住宅（以降、「旧邸」と呼ぶ）の合計16件である。旧邸は、比較的古い鉄骨造や木造の集合住宅のほか、木造の戸建住宅が多く含まれている。調査手順は、まず、新邸への移転以前に旧邸において実測を行い、その後、新邸へ移転してから1ヶ月以上経過した後に同様の実測を行う。

¹⁾ 前橋工科大学工学部建築学科 准教授・博士（工学）
〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町460-1)

²⁾ ハラサワホーム(株) 代表取締役社長

³⁾ 群馬大学医学部保健学科 教授・医博

¹⁾ Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Maebashi Institute of Technology, Dr. Eng.

²⁾ President, Harasawa Homes Co., Ltd.

³⁾ Prof., School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Gunma Univ., MD, Ph. D.

2.2 測定項目と箇所

測定項目は、①浮遊微粒子、②空中浮遊真菌、③ハウスダスト中のダニアレゲンである。浮遊微粒子は、旧邸については居間及び寝室の床上 1m 付近の気中と外気にて、新邸については居間及び寝室の床上 1m 付近の気中と外気、全館空調システムの吹出口と吸込口にて測定する。空中浮遊真菌は、居間及び寝室の床上 1m 付近と外気にて空気を採取する。ハウスダスト中のダニアレゲンは、居間では日常的に敷いているカーペットやマットなどがある場合は、その上で集塵を行い、寝室では普段使用している敷き布団にて集塵を行う。

2.3 測定方法

浮遊微粒子濃度は、パーティクルカウンター（KR-12A, リオン製）を用いて、各測定箇所にて 1 分間の測定を 2 回実施し、その平均値を求める。空中浮遊真菌濃度は、エアーサンプラー（MAS-100 Eco, Merck 製）を用いて、50ℓ/min で 1 分間空気を PDA 培地に吹き付けてサンプルを採取する。その後、培地をインキュベーター内で 25℃ の環境下で 5 日間以上培養し、コロニー数をカウントする。ハウスダスト中のダニアレゲン量は、家庭用掃除機（吸込仕事率 240W）を用いて、測定対象となる範囲 1m² について 2 分間集塵を行い、サンプルはモノクローナル抗体を用いた酵素免疫測定法（Sandwich 法－ELISA）にて測定する⁹⁾。なお、いずれの測定においても対象室の窓は閉鎖した状態とし、測定日の午前 10～11 時または午後 1～2 時の家事などを行っていない時間帯に実施している。また、新邸における全館空調システムの換気機能は 24 時間稼働している。

3. 測定結果

3.1 浮遊微粒子濃度

図 1 に浮遊微粒子濃度を 8 世帯の平均値で示す。全体的な傾向として、粒径が大きくなるほど微粒子濃度は低くなる。気中における粒径 0.3μm 以上の微粒子濃度は、旧邸では、居間で約 85,000 個/L、寝室で約 92,000 個/L であるのに対し、新邸では、居間で約 8,400 個/L、寝室で約 5,000 個/L であり、居間では旧邸の約 10 分の 1、寝室では約 20 分の 1 と大幅に低く、その割合は寝室の方が大きい。新邸では、気中と吹出口を比較すると、吹出口ではどの粒径についても居間と寝室の差は小さいが、気中では居間の方が寝室より高いことから、ハウスダストなどの浮遊微粒子の発生は居間の方が多いことが推察される。また、粒径が大きくなるほど吹出口の微粒子濃度は気中よりも低くなり、特に粒径 5.0μm 以上の大きな粒子は 1 個/L 未満であることから、空気清浄機能による粒子除去の効果が大きいと考えられる。吸込口における微粒子濃度は、例えば、粒径 0.3μm 以上では約 6,500 個/L であり、これは気中における居間の微粒子濃度の約 8,400 個/L と寝室の約 5,000 個/L の概ね平均値となり、その他の粒径についても同様な傾向がみられる。

図 2 に浮遊微粒子濃度の I/O 比^{注6)}を 8 世帯の平均値で示す。全体的な傾向として、気中においては粒径が大きくなるほど I/O 比も大きくなり、同時にデータのばらつきも大きくなる。旧邸では、気中における粒径 0.3～0.7μm 以上の微粒子は、居間と寝室で大きな差はみられず、いずれも I/O 比は 0.7～0.9 の範囲にあり 1.0 を下回っているが、居間は粒径 1.0μm 以上、寝室は粒径 2.0μm 以上の微粒子で I/O 比が 1.0 を超えており、粒径 5.0μm 以上ではデータのばらつきも

表 1：調査対象の一覧

ID	新旧別	建物 種別	竣工年月 (築年数)	居住 人数	床面積 [m ²] (間取り)	測定時期 ^{注2}
A	旧邸	戸建	1980年12月	7	不明 ^{注1}	2009年9月24日
	新邸	戸建	2009年11月	4	131.17	2010年2月18日
B	旧邸	集合	1983年1月	3	(2LDK)	2010年4月26日
	新邸	戸建	2010年5月	3	97.5	2010年8月30日
C	旧邸	戸建	2002年1月	5	不明 ^{注1}	2009年7月16日
	新邸	戸建	2009年8月	5	159.39	2010年6月15日
D	旧邸	集合	2003年3月	2	41.76	2010年6月28日
	新邸	戸建	2010年7月	3	164.4	2010年10月18日
E	旧邸	集合	(築約40年)	4	(2K)	2010年8月27日
	新邸	戸建	2010年9月	4	139.5	2010年10月27日
F	旧邸	集合	(築約30年)	7	171.6	2010年9月3日
	新邸	戸建	2010年8月	7	147.9	2010年10月21日
G	旧邸	集合	(築約4年)	2	48.36	2010年10月8日
	新邸	戸建	2010年10月	2	107.66	2010年11月8日
H	旧邸	集合	(築約20年)	4	(3LDK)	2010年11月22日
	新邸	戸建	2010年10月	4	150.5	2011年1月24日

大きい。一方、新邸では、居間は全体的に寝室よりも大きく、特に粒径 5.0μm 以上では 1.0 を超えており、旧邸と大きな差はみられないが、寝室は、いずれの粒径においても 1.0 を下回っている。また、新邸における粒径 0.3～1.0μm 以上の I/O 比は、居間、寝室ともに 0.6 以下となり、旧邸と比較して小さい。吹出口については、いずれの粒径も I/O 比は 0.035 以下と非常に小さい。

図 3 に旧邸に対する新邸の微粒子濃度比を示す。居間、寝室ともに粒径が大きくなるほど濃度比も大きくなり、同時にデータのばらつきも大きくなることから、新邸では、特に粒径の小さな微粒子濃度が低いことを示している。居間と寝室を比較すると、微粒子濃度や I/O 比と同様に全体的に居間の方が寝室よりも高く、粒径 5.0μm 以上では濃度比は 1.0 を超えており、住宅別の濃度比では 8 件中 3 件で 1.0～3.0 となり、旧邸と同程度かそれよりも微粒子濃度が高い住宅もみられる。これは、新邸の吹出口における微粒子濃度は低く、I/O 比も小さいことを考えると、吸込口から吸引された粒径 5.0μm 以上の大きな微粒子は空気清浄機能により、その殆どが除去されるが、気中に存在する粒径の大きな微粒子は、吸込口まで到達せず、除去されずに気中に残留しているか、除去量に対して発生量が多いことが考えられる。

図 4 に吸込口に対する吹出口の微粒子濃度比を示す。粒径の大きな粒子ほど濃度比が小さくなる傾向がみられ、ばらつきも小さくなる。また、柳ら¹⁰⁾によれば、エアフィルタによる浮遊微生物粒子の捕集率は、粒径別浮遊粒子の捕集率との間に相関関係にあり、浮遊黄色ブドウ球菌、浮遊細菌、浮遊真菌に対するそれぞれの捕集率は、粒径 1.0μm 以上、2.0μm 以上、5.0μm 以上の浮遊粒子に対する捕集率とほぼ等しいことを指摘しており、本システムでは粒径 1.0μm 以上では、吸込口に対する吹出口の微粒子濃度比は 0.12 未満と小さく、大幅に除去されていることから、アレルギー対策としての浮遊微生物粒子に対する除去効果が期待できる。

3.2 空中浮遊真菌濃度

図 5 に空中浮遊真菌濃度を 8 世帯の平均値で示す。旧邸と新邸を比較すると、外気については新邸の方が高いにもかかわらず、気中では、居間、寝室ともに新邸の方が旧邸よりも大幅に低い。旧邸では、居間で約 430CFU/m³、寝室で約 700CFU/m³ であり、ばらつきが

図 1：浮遊微粒子濃度

図 2：浮遊微粒子濃度の I/O 比

図 3：旧邸に対する新邸の微粒子濃度比

図 4：吸込口に対する吹出口の微粒子濃度比

大きい、新邸では、居間で約 $100\text{CFU}/\text{m}^3$ 、寝室で約 $40\text{CFU}/\text{m}^3$ であり、ヨーロッパで提案された空中浮遊真菌濃度の汚染レベルから判断すると“Low (低い)”に相当する¹¹⁾。また、旧邸では居間よりも寝室で高い値を示したのに対し、新邸ではその差は小さいが逆の傾向がみられる。

3.3 ハウスダスト中のダニアレルギー量

図 6 に Der p1 (ヤケヒョウヒダニ)、図 7 に Der f1 (コナヒョウヒダニ) のハウスダスト中のダニアレルギー量を 8 世帯の平均値で示す。新邸では、Der p1、Der f1 とともに旧邸より大幅に少なく、データの

ばらつきも小さい。また、居間と寝室を比較すると寝室の方が少ない傾向がみられる。Der p1 と Der f1 の合計値である Der 1 の数値で評価すると、旧邸では、感作の閾値とされる $2\mu\text{g}/\text{g dust}$ を超えた住宅は、8 件中 7 件 (11 室)、喘息発作誘発の閾値とされる $10\mu\text{g}/\text{g dust}$ を超えた住宅は 4 件 (6 室) みられた。

4. まとめ

今回の調査により得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 浮遊微粒子濃度については、居間の方が寝室よりも高い傾向がみ

られ、新邸では旧邸よりも粒径の小さな微粒子ほど低い、居間では粒径の大きな微粒子には両者で大きな差はみられなかった。

- 2) 空中浮遊真菌濃度については、新邸では外気で高いにもかかわらず、旧邸と比較して大幅に低いことを示した。
- 3) ハウスダスト中のダニアレルゲン量については、旧邸では、感作の閾値を超える住宅が多くみられたのに対し、新邸では旧邸より大幅に少ないことを示した。

居住者の主観的な評価ではあるが、新邸へ移転した後、アレルギー症状が軽減したという意見が多く得られており、本調査の結果は、これを室内空気質の側面から裏付ける結果となったが、今後は、居住者の医学的な検診による呼気 NO 濃度などのアレルギー症状の程度を示す数値的なデータとの突き合わせにより、両者の関連性について明らかにする予定である。

謝 辞

本研究は、国土交通省による平成 21 年度 住宅・建築関連先端技術開発助成事業（技術開発課題名：アレルギー対策住宅に関する技術開発）の一環として実施した。また、実測調査を行うにあたり調査対象住宅の皆様、ハラサワホーム(株)の高坂 瞳氏、当時、足利工業大学学生であった磯貝優太氏、高橋貴洋氏、鈴木健介氏、武井基之氏にご協力を頂いた。ここに記して関係各位に謝意を表する。

注

- 注1) 一部の住宅の床面積については、正確な面積や間取りは不明であったが、周辺地域の標準的な規模の 2 階建て木造住宅である。
- 注2) 新邸の測定時期は秋期から冬期にかけて多いが、これは竣工時期や移転時期がこの季節に重なったことや調査協力者の都合である。
- 注3) アレルギー症状を訴えているのは、夫婦、子供など世帯により異なる。また、症状としては、アトピー性皮膚炎、アレルギー性鼻炎、ぜんそく、花粉症など様々であり、専門医へ掛かったり、投薬治療を行ったりしている居住者も含まれている。
- 注4) Q 値は平均で 1.2W/m²hK 程度、C 値は平均で 1.0cm²/m² 程度である。
- 注5) 換気方式は、熱交換器の無い第 1 種換気であり、2 階ホール付近に設置された吸込口からの還気空気と外気が混合された後、電気集塵式の空気清浄機を通過し、各室の吹出口より給気される。なお、住宅ごとで設定に差はあるが、外気の混合は換気回数で 0.5 回/h 以上、還気空気は換気回数で 1.0～2.5 回/h の範囲で調整されている。
- 注6) I/O 比は、外気の微粒子濃度に対する室内における気中の微粒子濃度の比とし、これが 1.0 を超えると外気より室内の浮遊微粒子濃度が高いことを示す (I/O 比=室内の気中微粒子濃度/外気微粒子濃度)。

参考文献

- 1) NPO ケミレスタウン協議会, <http://www.chemiless.org/>
- 2) 厚生科学審議会疾病対策部会 リウマチ・アレルギー対策委員会報告書, pp.17, 平成 17 年 10 月
- 3) 菅原文子: アレルギー患者宅のカビ・ダニアレルゲン調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ, pp.833-834, 1999 年 9 月
- 4) 青木哲, 須藤千春, 水谷章夫, 大澤徹夫: 室内温湿度からみた冷房の効果に関する研究 一般住宅とアトピー性皮膚炎患者宅の比較, 日本建築学会環境系論文集 第 605 号, pp.55-62, 2006 年 7 月
- 5) 青木哲, 須藤千春, 水谷章夫, 大澤徹夫: 冬季の室内温湿度変動からみた温熱性能・環境 一般住宅とアトピー性皮膚炎患者宅の比較, 日本建築学会環境系論文集 第 637 号, pp.306-314, 2009 年 3 月
- 6) 塩津弥佳, 入江建久, 吉澤晋, 池田耕一: 小児アレルギー患者宅における空気環境の実測に基づく空気清浄機の効果の評価に関する考察, 日本建築学会計画系論文集 第 530 号, pp.53-60, 2000 年 4 月
- 7) 土橋邦生, 久田剛志, 小河原はつ江, 三田村輝章, 清水泰生, 宇津木光克, 原澤浩樹, 石塚全, 森昌朋, 村上博和: 総合アレルギー対策住宅の気道炎

図 5 空中浮遊真菌濃度

図 6 ハウスダスト中のダニアレルゲン量 (Der p1)

図 7 ハウスダスト中のダニアレルゲン量 (Der fl)

- 症改善効果, 第 20 回日本アレルギー学会春季臨床大会, 2008 年 6 月
- 8) 三田村輝章, 原澤浩毅, 土橋邦生: 空気清浄機を搭載する全館空調住宅への入居前後における室内環境に関する実測調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学Ⅱ, pp.793-794, 2009 年 8 月
- 9) 白井秀治, 阪口雅弘: 室内環境中のダニを中心としたアレルギー定量, アレルギーの臨床 2007 年 27 巻 10 月号 (通巻 365 号), pp.64-66
- 10) 柳 宇, 池田耕一: 空調システムにおける微生物汚染の実態と対策に関する研究 第 2 報 エアフィルタによる浮遊微生物粒子の捕集率とその評価, 日本建築学会環境系論文集 第 617 号, pp.53-56, 2007 年 7 月
- 11) 柳 宇: かびによるヒトの健康への影響とそれに対する規制の現状, 室内環境 第 11 巻第 2 号, 2008 年 12 月, pp.111-116

[2011 年 6 月 20 日原稿受理 2011 年 8 月 9 日採用決定]