

タッピングマシンを用いた床材からの粉体舞い上がり評価

山本貴則^{*1}, 木村裕和^{*2}, 窪田 衛^{*3}, 田中弘之^{*4}

床材に堆積・沈着した粉体(粉塵)が歩行動作などにもなると再び舞い上がると室内空気の汚染源となる。本研究では、試験用粉体を付着させた木質系床材あるいは繊維製床敷物に対してタッピングマシンを用いて衝撃を与えたときに飛散する粉体量(飛散粉体濃度)を測定し、床材からの粉体(粉塵)の舞い上がりに関する評価方法を検討した。その結果、木質系床材に比べて繊維製床敷物に衝撃を与えたときの飛散粉体濃度が少なく、繊維製床敷物では飛散する粉体量が抑制されていることがわかった。以上のことからタッピングマシンを用いることは、床材に付着した粉体(粉塵)の舞い上がりを実験するために有効であると考えられる。

Keywords : 床材, 粉体, 舞い上がり(飛散), 飛散粉体濃度, タッピングマシン.

1. 緒言

近年、居住空間は高气密化・高断熱化が進み、省エネルギー化や室内環境の温熱的な快適性は向上している。一方、気密性が向上した室内では浮遊する汚染物質や化学物質などが存在しており、室内空気の悪化が問題となっている。室内空気の汚染物質による人体への健康影響を評価するため、日本人のさまざまな空間での滞在状況を調査した研究では、1日のうち約90%を室内で過ごしているとされている[1]。すなわち、室内空気が人体に大きく影響を及ぼすものと考えられる。

室内における粒子状の汚染物質の一つである粉塵には、繊維クズや土埃のほか、アレルゲンとなる花粉やダニのフン、死骸などのハウスダストが含まれている。したがって、健康への影響の観点から粉塵など汚染物質の浮遊を抑制し、室内空気を清浄に保つことが重要とされている。

粉塵は、室内に生じる対流によって舞い上がり、室内に浮遊した粉塵は時間の経過とともに床面などに付着・堆積する。しかし、沈着・堆積した粉塵は外気の気流や人の歩行などの動作によって再び舞い上がり、室内の汚染源となる[2]。すなわち、室内空気を清浄に

保つためには、床面に付着・堆積した粉塵を効率的に除去すること、あるいは舞い上がり(飛散)を抑制・防止するための対策が重要となる。

歩行により生じる床面堆積粒子に関しては、歩行強度に対する再飛散量[3,4]やコンクリート床面等における堆積粒子量と再飛散量との関係[5]についての報告が散見される。また、床材に堆積した粒子の歩行による再飛散量や空調方式における再飛散に起因する浮遊粒子濃度特性を検討した研究報告[6]もみられる。しかし、木質系床材や繊維製床敷物など各種床材からの再飛散を含む粉塵の舞い上がりを実験する方法を検討した研究は見当たらない。そこで、本研究では、床材に付着した粉塵の飛散を実験するために、歩行時の衝撃に注目し、タッピングマシン(軽量床衝撃音発生装置)を用いて床材に衝撃を与えたときに舞い上がる粉体量について検討した。

2. 実験

2.1 試験用粉体 模擬的な粉塵としては、粉体の粒径分布が調整された試験用粉体(JIS Z 8901 試験用粉体 15種, 公益社団法人日本空気清浄協会製)を用いた。

表1 試料の詳細

	木質系床材	繊維製床敷物				
		A	B	C	D	E
全厚(mm)	12	6.5	8.6	7.4	7.6	8.4
パイル形態	—	ループ	ループ	ループ	カット	カット
パイル素材	—	ナイロン	ナイロン	ウール	ナイロン	ウール
パイル長(mm)	—	3	3~7	6	5	7
パイル厚さ(mm)	—	2.5	2.5~5.7	5.7	4.1	5.8
パイル質量(g/m ²)	—	386	358	830	427	745

*1 地方独立行政法人 大阪産業技術研究所

*2 信州大学学術研究院繊維学系

*3 東リ株式会社

*4 ニッシン株式会社

試験用粉体(15種)は、関東ローム粉とカーボンブラック、コットンリントを混合した粉体である。実験に散布した粉体量は0, 1, 2, 4g/m²とした。また、一般家庭においては、多くの繊維状の屑もみられることから、コットンリント(公益社団法人日本空気清浄協会製)を試験用粉体に混合したものを混合試験用粉体として用いた。混合試験用粉体におけるコットンリントの重量含有率は5, 30, 50, 100%とした。

2.2 試料 実験には、一般に市販されている木質系床材、ならびに5種類の繊維製床敷物(タイルカーペット)を試料として用いた。表1には試料の詳細を示した。繊維製床敷物のパイル形態はループパイルとカットパイルの2種類である。パイル素材はナイロン(以下、ナイロン製とする)とウール(以下、ウール製とする)で、パイル質量はナイロン製が400g/m²前後、ウール製が800g/m²前後であった。実験に用いた試料の大きさは、たて、よことも500mmである。

2.3 タッピングマシン 図2には実験に用いたタッピングマシン(軽量床衝撃音発生装置)(FI-01, リオン株式会社製)の外観を示した。タッピングマシンは、靴履きでの歩行など比較的軽量で硬い衝撃が床に加わったときの床衝撃音遮断性能を測定、評価するための装置である。タッピングマシンの本体下部には、床面に衝撃を与えるために、一直線状に並んだ重さ500gfの金属製ハンマーを5個備えている。この金属製ハンマーを100msの時間間隔で上下動することによって床材に衝撃を与えることができる。

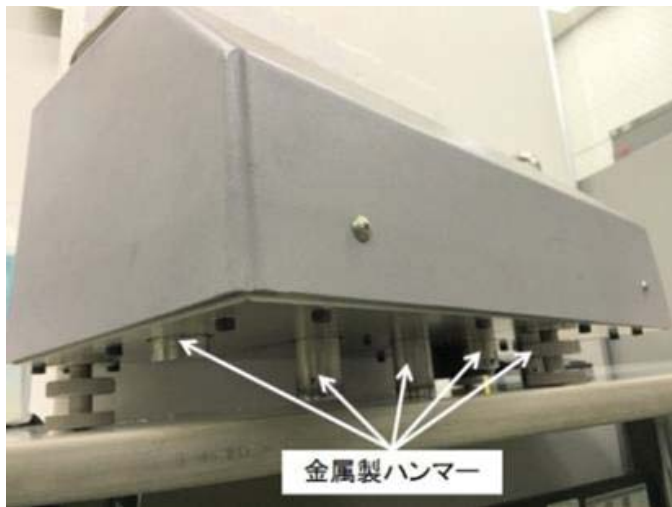


図2 タッピングマシン



図3 測定時の外観

2.4 実験方法 実験は、環境室に設置したクリーンブース(SS-CB-2000F, 幅:2000mm, 奥行き:1800mm, 高さ:2000mm, 日本エアテック株式会社製)の内部で行った。図3には測定時の概要を示す。クリーンブースの内部に飛散する粉体量の測定には、吸込用チューブを接続したパーティクルカウンター(MetOne 2400, トランステック株式会社製)を用いた。測定位置は、クリーンブース床面の中心点から高さ500mm, 水平方向に25mm離れた場所である。測定した粉体の粒径は、ダニの糞や死がいなどのアレルゲンの粒径に近いとされる[7]粒径5~10μmとした。

測定の手順は次のとおりである。まず、クリーンブースを稼働した状態で試料を床面中央に両面テープで固定した。ついで、金網(32×40メッシュ)を用いて試験用粉体、または混合試験用粉体を試料の上に均一になるように散布した。散布した粉体は7kgのカッパーソイル試験用ローラーを用いて試料に固着させた。粉体を固着させた試料の上には、タッピングマシンを設置し、約10分間放置した。

パーティクルカウンターを用いて、粒径5~10μmの粉体がほぼ0であることを確認した後、クリーンブースを停止した。同時にタッピングマシンを稼働させ試料に衝撃を与えた。稼働開始から5分経過後にタッピングマシンを停止し、その直後から飛散する粉体量を測定した。測定時間は15, 30秒間および1, 2, 3, 10, 30, 60分間とした。測定は、温度20±1℃, 湿度65±5%に環境下で5回行い平均値を算出した。また、平均した粉体量から(1)式を用いて平均飛散粉体濃度を求めた。

$$D = M / (W \times t) \quad (1)$$

D : 飛散粉体濃度(個/m³)

M : 飛散した粉体量(個)

t : 測定時間(分)

W : パーティクルカウンターの吸引量0.0283(m³/分)

3. 結果および考察

3.1 測定時間による平均飛散粉体濃度の変化 タッピングマシンによる振動を与えた後の飛散量を検討するため、測定時間を変えて実験を行った。図4は、試験用粉体4g/m²を散布し、固着させた木質系床材、または試料Aをタッピングマシンにより衝撃を与えた後

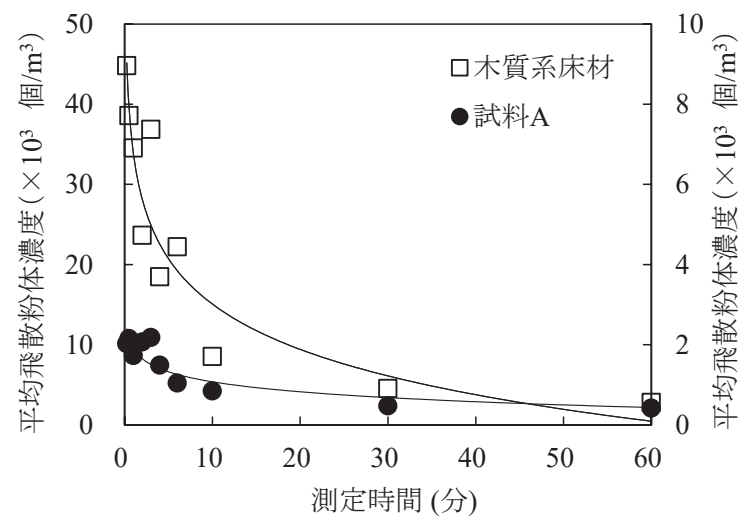


図4 測定時間に対する平均飛散粉体濃度の変化

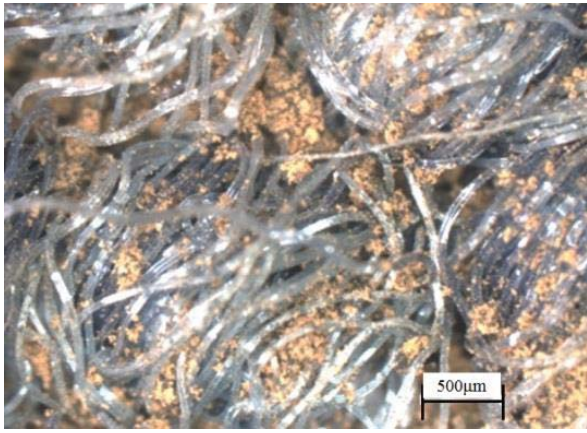


図5 試料Aに粉体を固着した後の表面観察

に測定した平均飛散粉体濃度の変化を示した。平均飛散粉体濃度は、木質系床材では測定時間15秒間で最大値を示し、その後は測定時間の変化にともない指数関数的に小さくなった。一方、試料Aでは測定時間30秒間で最大値を示し、木質系床材と同様に測定時間の経過にともない平均飛散粉体濃度は減少した。木質系床材、試料Aともにタッピングマシンで衝撃を加えることによって試料に固着した粉体の一部が激しく舞い上がり、時間の経過とともにクリーンブース内に拡散、沈着したものと考えられる。また、木質系床材と試料Aの比較では、試料Aの平均飛散粉体濃度は木質系床材に比べて約1/10から約1/20となった。したがって、繊維製床敷物の試料Aでは、木質系床材に比べて衝撃により飛散する粉体量が抑制されているものと考えられる。

図5には、実体顕微鏡(SMZ1500, 株式会社ニコン製)を用いて試験用粉体を散布、固着した試料Aの表面を観察した結果を示した。パイルや繊維の間隙、繊維の表面に付着する粉体の塊が観察された。すなわち、繊維製床敷物の表面に形成されたパイル糸による間隙がダストポケットとなり、粉体を取り込まれたために平均飛散粉体濃度が木質系床材に比べて小さくなったものと考えられる。

3.2 散布した粉体による変化 散布した粉体と飛散粉体濃度との関係について検討を行った。図6には所定量の試験用粉体を散布し、固着させた木質系床材、または試料Aにタッピングマシンにより衝撃を与えた後に測定した平均飛散粉体濃度の関係を示した。測定時間

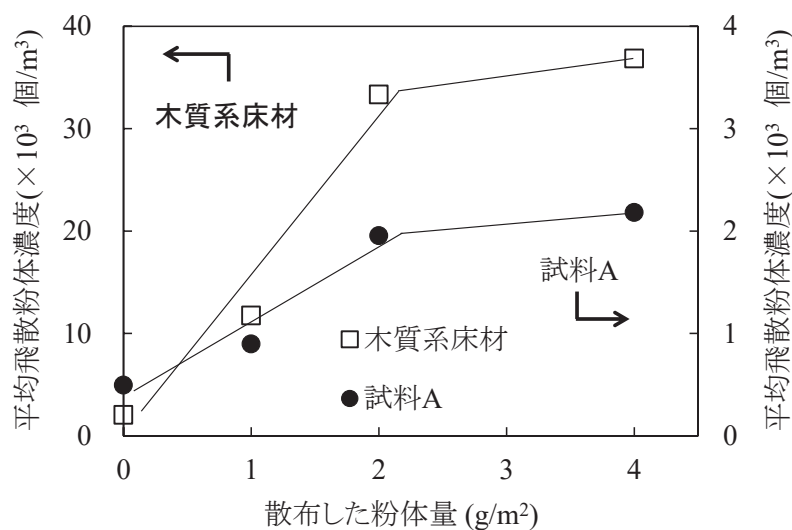


図6 散布した粉体量と平均飛散粉体濃度の関係

は3分間とした。木質系床材では散布した粉体量が増加するとともに平均飛散粉体濃度も 2g/m^2 までは直線的に大きくなった。しかし、散布した粉体量が 2g/m^2 以上では顕著な差はない。また、試料Aにおいては、木質系床材に比べて平均飛散粉体濃度は小さいが、散布した粉体量に対する変化は、木質系床材と同様の傾向を示した。

測定後の木質系床材の表面を観察したところ、散布した粉体量が多くなるとともに、均一に散布されていた粉体が集まり、多数の塊(凝集粒子)を形成していることが確認できた。すなわち、散布した粉体量が多い場合には、タッピングマシンによる振動によって粉体が集まり、多くの凝集粒子を形成しやすくなる。したがって、散布する粉体量の増加とともに平均飛散粉体濃度は大きくなるが、粉体量が 2g/m^2 以上では大きな差はなかったものと推察される。

図7にはコットンリントの重量含有率を変化させた混合試験用粉体を木質系床材、または試料Aに散布、固着させた時の平均飛散粉体濃度の変化を示す。なお、コットンリントの重量比率が5%のものは試験用粉体であり、100%はコットンリントのみを散布したものである。散布した粉体量は 4g/m^2 であり、測定時間は3分間とした。木質系床材と試料Aとの比較では、これまでの結果と同様に、木質系床材に比べて試料Aにおける平均飛散粉体濃度は小さい値で推移した。しかし、コットンリントの重量含有率に対する平均飛散粉体濃度の変化は、木質系床材、試料Aともに、重量含有率が増加するとともにほぼ直線的に減少した。

測定後の木質系床材の表面を観察したところ、散布した粉体量を増加させた結果と同様に、均一に散布されていた粉体が集まり、多数の凝集粒子を形成していることが確認できた。特に、コットンリント100%では繊維状の粒子が絡まり付いていることが観察された。すなわち、コットンリントのような繊維状の粉体が増加した場合には、繊維状の粒子が重なり、かつ絡まりやすくなることから、平均飛散粉体濃度がコットンリントの重量含有率に対して直線的に小さくなったものと考えられる。また、繊維製床敷物である試料Aでは、表面のパイル糸との絡まりが多くなることから、さらに平均飛散粉体濃度が小さくなったものと推察される。

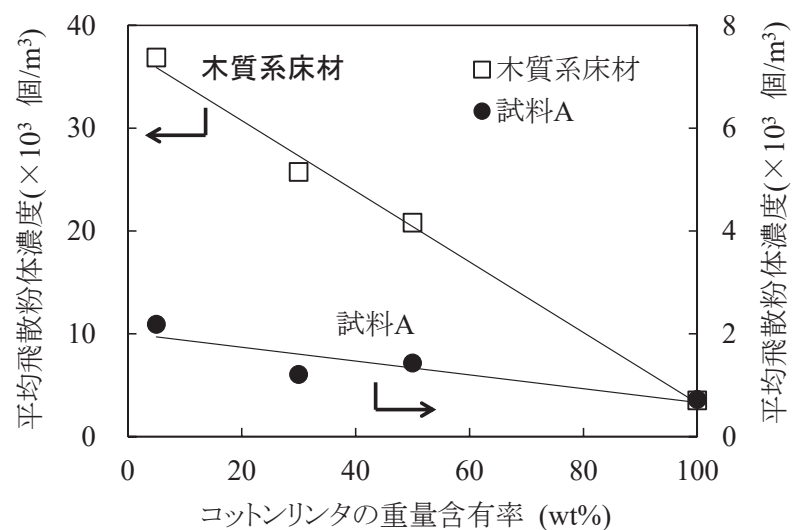


図7 コットンリントの重量含有率と平均飛散粉体濃度の関係

3.3 繊維製床敷物による比較 繊維製床敷物の素材や構造による飛散粉体濃度の変化について検討を行った。実験には表 1 に示した繊維製床敷物の試料 A~E を用いた。図 8 には、各繊維製床敷物に試験用粉体を $4\text{g}/\text{m}^2$ を散布し、固着したときの平均飛散粉体濃度を示した。測定時間は 3 分間である。また、図 8 には木質系床材の結果も示した。

試料 A~E の繊維製床敷物は、木質系床材に比べて平均飛散粉体濃度が小さくなっていることがわかる。すなわち、今回用いた繊維製床敷物においては、衝撃により飛散する粉体量が木質系床材に比べて抑制されているものと考えられる。

繊維製床敷物による比較において、パイル形態では、ループパイルに比べてカットパイルで大きくなった。また、素材による比較ではナイロン製に比べてウール製で大きくなる傾向がみられた。衝撃により飛散する粉体量は、パイルによるダストポケットの影響が大きいことが考えられる。そこで、図 9 には刈り取りによるパイル質量と平均飛散粉体濃度との関係を示した。パイル質量と平均飛散粉体濃度には高い正の相関がみられた($r^2=0.96$)。すなわち、飛散粉体濃度は繊維製床敷物パイルの構造(素材、形態、質量)によって変化するものであり、ダストポケットの形成や粉体の吸着などが影響するものと推察される。衝撃による粉体の舞い上がりとはパイル構造との関係については今後さらに検討する必要がある[8]。

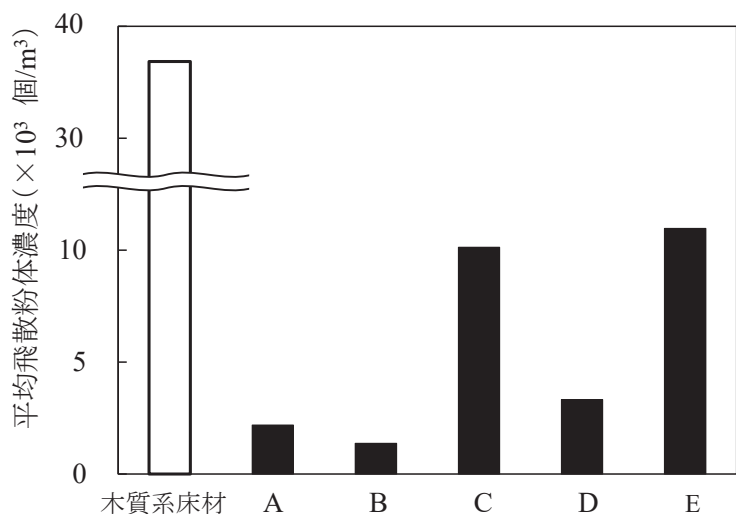


図 8 各試料における平均飛散粉体濃度

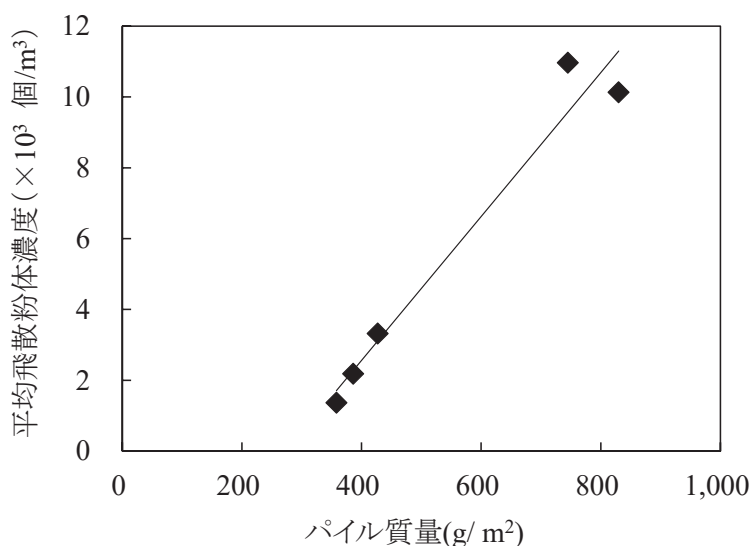


図 9 パイル質量と飛散粉体濃度との関係

4. 結言

床材に付着した粉塵の舞い上がりを評価するために、歩行時の衝撃による舞い上がり(飛散)に注目し、タッピングマシン、ならびに試験用粉体を用いて床材に衝撃を与えたときに舞い上がる粉体量(飛散粉体濃度)について検討した。その結果、木質系床材や繊維製床敷物に散布、固着させた粉体は、タッピングマシンによる衝撃によって飛散し、時間の経過とともに拡散・沈着することがわかった。

また、散布した粉体量が多い場合や繊維状の粉体であるコットンリントの重量含有率が大きい場合では、衝撃によって絡まり、床材の表面で大きな塊(凝集粒子)を形成するため、飛散粉体濃度は減少した。木質系床材と繊維製床敷物を比較した場合、繊維製床敷物からの飛散粉体濃度は木質系床材に比べて少なくなった。タッピングマシンによる衝撃による飛散粉体濃度は、繊維製床敷物のダストポケットや粉体の吸着などが影響するものと推察される。

以上の結果から、タッピングマシンを用いることは、床材に付着した粉体(粉塵)の舞い上がりを評価ために有効であると考えられる。

5. 謝辞

本研究を進めるに際し、試料のご提供をいただきましたインテリアファブリックス性能評価協議会ならびに日本カーペット工業組合の関係者に対しましてここに謝意を表します。

文献

- [1] 塩津弥佳, 吉澤晋, 池田耕一, 野崎淳夫: 日本建築学計画系論文集, 第 511 号, pp.45-52, 1998.
- [2] 日本空気清浄協会編: 室内空気清浄便覧, pp.131-134, 2000.
- [3] 入江健久, 小林陽太郎, 吉澤晋: 日本建築学会大会学術講演梗概集, p.514, 1967.
- [4] 入江健久, 吉澤晋: 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.211-212, 1973.
- [5] 辻本光代, 丸谷裕二, 中根芳一: 大阪市立大学生活科学学部紀要, Vol.23, 1975.
- [6] 劉瑜, 池田耕一, 入江健久, 平岡憲司: 日本建築学計画系論文集, 第 483 号, pp.49-54, 1996.
- [7] 岡井律子, 小笠原章, 繁田明: ハウスダストに関する意識実態の研究, <http://www.kao.co.jp/content/dam/sites/kao/www-kao-co-jp/life/life/pdf/20040428.pdf> 参照, 2004.
- [8] 山本貴則, 木村裕和, 窪田衛, 田中弘之: J. Textile Engineering, 投稿中

(2017 年 06 月 30 日提出)