

住宅換気	メンテナンス	清掃
居住者	エネルギー代謝率	風量低下

1 はじめに

一般的に住宅換気的设计は、仕様書等に示されている性能で稼働することを前提に行われる。しかし住宅の全般機械換気システムは、定期的なメンテナンスが必要であることからメンテナンスが行われない場合、フィルターやファンブレードにホコリ等が付着し、風量が減少することで電力の浪費につながる。村田らによる調査^[1]では竣工後から数年以上経過した住宅で換気量が減少し、設計値を満たしていない事例が多く報告されており、メンテナンスの主体となる居住者への周知やメンテナンスが容易で、設計風量が長期的に維持できるシステムの開発などが必要であることが示されている。また住宅用換気システムのメンテナンスの主体である一般者向けの情報も不足しているといえる。

2 研究概要

本研究では、設計時における換気システム選定のためのメンテナンス性に関する情報提示や評価方法および評価指標の考案を目的として、既往の知見をまとめるとともに実験によるメンテナンス性の評価を行った。

住宅用換気システムのメンテナンス性に関連する既往研究や評価方法を調査することで現状の課題を抽出し、3つの課題を明らかにした。そして課題の1つであるメンテナンス性の評価について実験により、システムの清掃にかかるエネルギー代謝率（以降、Met 値と示す）の測定を行い、試算による年間の評価を行った。

3 換気システムのメンテナンスに関する既往研究や評価方法の調査

3.1 既往研究と知見の整理

(a) アンケート調査

24 時間換気設備設置義務化後のメンテナンスも含めた換気システムの使用実態や居住者の意識変化の把握を目的に、いくつかの既往研究では換気システムに関するアンケート調査^{[2] [3] [4] [5] [6] [7] [8]}が行われている。多くの調査結果において、平成 15 年の基準改正から数年以上経過しているに関わらず、実状は推奨されている清掃頻度が守られていないことがわかった。またこれにより換気回数が 0.5 回/h に満たない住宅が確認されるなど、居住者の換気に対する意識は未だに定着しておらず、メンテナンス不足の実態が報告されている。

(b) 住宅用換気システムの性能低下予測

換気システムが連続運転することで汚れる経緯や箇所、それに伴う性能低下の把握は適切なシステム設計の提案に不可欠とされている。

村田らは換気システムのメンテナンス性が高いシステム設計の検討を目的に浮遊粉じんによる風量低下促進試験方法^{[1] [9]}を提案した。第一種熱交換型セントラル換気システムを対象に試験を実施し、再現性の確認と風量減少、粉じん粒径の関係性を示した。さらに第三種中間ダクトファンを対象とした促進試験では、長期室内暴露試験との比較^[10]も行い、促進試験の課題として、試験用粉体の検証が必要であることを確認した。また対象としたシステムの排気グリルフィルターに対して風量減少が起きる積算吸込み粉じん量を分析し、平均的なメンテナンス間隔の概略推定をするための有意義な知見を得ている。

(c) 全般換気システムの清掃と換気性能や消費電力に関する検討

自立循環プロジェクトでは、実験集合住宅における全般換気設備の風量や比消費電力の測定結果と清掃との関係の調査^[11]を行っている。第一種換気システムは、清掃を行わない期間が4ヶ月程度で性能低下が現れたが、第三種換気システムは清掃を行わなくても顕著な性能低下が起こらないことが確認されている。また田島らはこの結果を受け、第一種換気システムにおける換気端末フィルターの目詰まりによる風量減少の状態を仮定した多数室系の空間での模擬実験により、風量減少が起こると空気質や比消費電力が悪くなることを結果^[12]として示している。

(d) 自立循環型住宅における換気システムのメンテナンス評価

建築環境・省エネルギー機構の住宅用ダクト式設備に関するブックレット^[13]が示している換気システムの性能評価方法の中には清掃作業の容易さを評価する項目が設けられている。しかし、これはあくまでメンテナンスの容易さを定性的に判断するための手法であり、より明瞭かつ実践的なメンテナンスの容易性評価を示すためには、再現性があり定量的な評価ができる手法の考案が望まれる。

3.2 まとめ

3.1 で述べた換気システムのメンテナンスに関する既往研究の各検討内容は、①アンケート調査などを用いた換気システムの使用実態に関する調査、②換気システム自体がもつメンテナンス性の評価、③換気システムがメンテナンス不足となった時の性能低下を対象とした評価と大きく3

種に分類できる。

各既往研究で示された結果も踏まえた今後の換気システムのメンテナンスについての課題は、①実態調査、②メンテナンス性の評価、③メンテナンス不足による性能低下、が考えられる。①実態調査は平成 15 年改正建築基準法以降も多くの研究が行われている。そのため特に②メンテナンス性の評価や③メンテナンス不足による性能低下について評価指標や手法を確立し、再度それを用いた実態調査が必要であるとの結論を得た。

4 住宅用換気システムの清掃行為の Met 値測定

4.1 測定概要

3.2 で述べた②メンテナンス性の評価に注目し、各種システムに必要とされる清掃作業を Met 値で定量化し、この多寡を容易性とみなし評価を行った。

測定は、換気システムの性能を維持するために居住者に要する清掃行為について模擬的に被験者実験を行うことで、ダグラスバッグ法や活動量計により、Met 値を算出した。実験項目は対象部位の説明書に記載されている手順に従い行った。実験に使用する測定項目と測定機器を表 1 に示す。また清掃行為をより実条件に近づけるため、一般的な住宅での換気ユニットや端末部材の設置条件を想定した実験棟を用いた。実験棟を写真 1 に示す。天井に取り付ける部材は 2.4m の天井高に、壁に取り付ける自然給気口は 1.6m、壁付け式ファンは 1.8m の高さで取り付けた。対象部位が天井取り付けの場合、脚立を使用し、上り下りも踏まえて Met 値を測定した。測定対象とする清掃行為は、換気方式、換気ユニットの設置場所を考慮し、表 2 に示している項目などが必要であると考えられる。

4.2 清掃行為の Met 値測定

ダクト式第三種換気システムの清掃行為を対象に実験を行った。実験項目と得られた測定結果の平均値を表 3 に示す。椅座静位は、安静状態のエネルギー代謝としており、この測定結果を被験者それぞれの Met 値 1.0 の基準として扱っている。

各清掃行為の Met 値を図 1 に示す。各清掃行為においてダグラスバッグ法で得られた Met 値は 1.5 前後、活動量計で測定された値も 2.0 以下であり、比較的小さい Met 値で清掃が行えることを確認した。グリル清掃はダグラスバッグ法、活動量計それぞれで得られた Met 値のばらつきはあまり見られなかった。これより測定した値は比較的正确であり、グリル清掃は個人差があまり見られない項目であることが確認できた。またグリル拭き取りは、ダグラスバッグ法で得られた Met 値に被験者ごとの違いはあまり見られなかったが、活動量計で得られた Met 値は被験者ごとのばらつきが見られた。これよりグリル拭き取りは活動量計で測定する場合、やや大きい値を示すことが確認できた。

表 1 測定項目と測定機器

測定項目	機器名	備考
CO ₂ 濃度 O ₂ 濃度	HORIBA ポータブルガス分析器 PG-240	測定範囲： CO ₂ 0～20vol% O ₂ 0～25vol%
	竹井機器工業株式会社 ダグラスバッグ TK-11288	容量 100L
活動量	OMRON 製 Active stylePRO HJA-750c	測定範囲 ±6G 1.0～18.0MET



写真 1 実験棟（左：壁付け・天井取付用 右：床下設置用）

表 2 実験で対象とすべき清掃項目

清掃項目	換気システム	設置場所
フィルター取り外し	第一種	床下、天井上
フィルター清掃		
グリル清掃	第一種、第三種	床下、天井上
グリル拭き取り		
点検口取り外し	第一種、第三種	床下、天井上
自然給気口手入れ	第三種	壁付け
外気フード手入れ	第一種、第三種	壁付け

表 3 評価方法の検討結果

実験項目	ダグラスバッグ法		活動量計		データ数
	Met 値	SD※	METs	SD※	
椅座静位	1.0	0.00	1.1	0.09	4
グリル清掃	1.4	0.18	1.4	0.25	
グリル拭き取り	1.5	0.16	1.7	0.27	
自然給気口手入れ	1.4	0.34	1.6	0.22	

※ SD：標準偏差

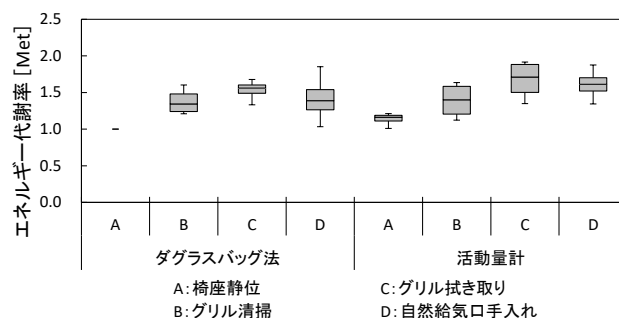


図 1 各清掃行為の Met 値（4 ケース）

4.3 活動量計での清掃行為 Met 値測定

本節は 4.2 で測定したダクト式第三種換気システムに加えて、ダクト式第一種換気システムおよび壁付け式第三種換気システムを対象に実験を行った。実験項目と得られた測定結果の平均値を表 4 に示す。壁付け式ファンの測定結果は Met 値 2.0 とその他の項目に比べて大きい結果となった。この理由としてグリルの着脱や姿勢を低くしての作業など上下する動きがあるためだと考えられる。

床下設置の第一種換気ユニットは、清掃手順がその他の部材に比べて多いが手元での清掃が多いため、第三種換気ユニットよりも Met 値が小さくなったと考えられる。第三種換気ユニットの点検口取り外しは同じ行為をユニットの設置場所を変えて 2 種測定した。Met 値の測定結果は床下設置より天井取り付けの方が大きくなった。この理由として脚立を使用したことが考えられる。また測定終了後、被験者に容易でなかった実験項目について訊ねると上向きの姿勢で清掃を行う項目との回答が多かった。

図 2 に測定で得られた Met 値を示す。自然給気口手入れは 4.2 の測定結果と同様に個人差があることを確認した。

表 4 各実験項目の Met 値

実験項目	Met	SD※	データ数
椅座静位	1.0	0.00	7 (2)
グリル清掃	1.4	0.09	
グリル拭き取り	1.7	0.13	
自然給気口手入れ	1.8	0.33	
壁付け式ファン	2.0	0.27	
第一種 (床下)	1.6	0.10	
第三種 (天井)	1.9	0.29	
第三種 (床下)	1.8	0.18	

※ SD : 標準偏差 () 内数で女性

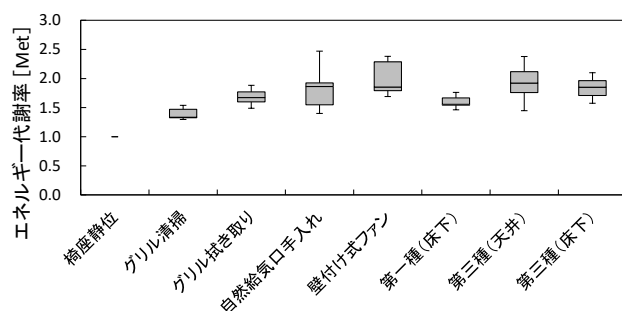


図 2 各清掃行為の Met 値 (8 ケース)

5 住宅用換気システムのメンテナンス性評価

5.1 メンテナンス性評価の概要

設計段階でより容易に清掃が可能な住宅用換気システムを選定するために、居住者に要する清掃の容易性評価を行う必要がある。建築環境・省エネルギー機構によると換気ユニット本体の清掃を容易にする要件として脚立や踏み台を使用しない、清掃用具 (掃除機) 以外に道具を必要としないことなどが挙げられている。^[13]しかし清掃行為時に居住者にかかる負担はまだ数量的に示されていない。

そこで 4 章で得られた Met 値から作業時間や清掃頻度、清掃対象の設置個数を考慮し、メンテナンス性を評価するために年間のエネルギー代謝量 $[Met \cdot \min]$ を式 (1) により算出した。以下に式の概要を示す。

$$Met_k = \sum_{i=1}^n Met_i \times t_i \times f_i \times m_i \quad (1)$$

Met_k : 換気システムの清掃にかかる年間エネルギー代謝量 $[Met \cdot \min/\text{年}]$

Met_i : 各実験項目の平均 Met 値 $[Met]$

n : 対象部位数

t_i : 清掃時間 $[\min]$

f_i : 清掃頻度 $[\text{年}^{-1}]$

m_i : 設置個数 $[-]$

温暖地版 自立循環型住宅への設計ガイドライン^[14]に示されているダクト配置計画より、清掃対象や設置個数を設定した。また清掃頻度は対象部位の説明書に記載されている頻度を用いた。

換気システムの清掃概要を表 5 に示す。ダクト式第一種換気システムの給気グリルおよび排気グリルの Met 値は清掃行為が似ているグリル拭き取りの Met 値を使用した。また清掃時間は実験時の様子から、実際の清掃時間と予想される 2 分とした。換気ユニットの清掃時間は測定時間の平均値を使用した。

ダクト式第三種換気システムの排気グリルはグリル清掃とグリル拭き取りの 2 種の実験項目がある。清掃時間はそれぞれの項目で 1 分ずつとした。また換気ユニットと自然給気口の清掃時間は実験時の測定時間の平均値を使用した。

表 5 換気システムの清掃概要

概要				計算に使用した値			
換気システム	清掃対象	実験項目	清掃頻度	Met_i	t_i	f_i	m_i
ダクト式第一種換気システム	換気ユニット本体	第一種 (床下)	6 か月に 1 回	1.6	4.0	2	2
	給気グリル	グリル拭き取り	2 か月に 1 回	1.7	2.0	6	8
	排気グリル	グリル拭き取り	2 か月に 1 回	1.7	2.0	6	5
ダクト式第三種換気システム	換気ユニット本体	第三種 (天井)	3 か月に 1 回	1.9	2.5	4	1
		第三種 (床下)		1.8	1.5		
	排気グリル	グリル清掃	2 か月に 1 回	1.4	1.0	6	6
		グリル拭き取り		1.7			
	自然給気口	自然給気口手入れ	2 か月に 1 回	1.8	1.0	6	6

5.2 ダクト式換気システムの清掃にかかる年間エネルギー代謝量

5.1 で述べた式(1)より算出した清掃行為の年間エネルギー代謝量を図3に示す。最も大きい結果となったのはダクト式第一種換気システムの288Met・min/年である。ダクト式第三種換気システムはユニット本体の設置場所が天井取り付けの場合195Met・min/年、床下設置の場合187Met・min/年となり、床下設置にすると8Met・min/年小さくなることが確認できた。どの換気システムも給排気グリルが占める割合が大きい結果となった。この理由としてグリルの清掃頻度や設置個数が多いことが考えられる。

住宅用換気システムの清掃におけるエネルギー代謝量を小さくするためには、設計時に脚立を使用せずとも手の届く場所への設置を計画することや対象部位の清掃頻度、設置個数を少なくする必要があると考えられる。

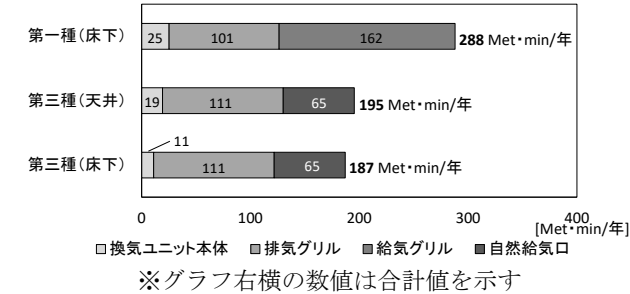


図3 ダクト式換気システム清掃時の年間エネルギー代謝量

5.3 清掃行為のメンテナンス性評価

建築・省エネルギー機構のブックレット^[13]には、換気ユニット本体の清掃を容易にする作業の要件が示されている。表6に実験で対象としたメンテナンス性評価の項目を示す。表中の1種動作とは、清掃におけるある1種類の動作を行うことを意味し、5種動作では動作を5回含んでいることを表す。年間エネルギー代謝量の他にもメンテナンス性評価を行う際、居住者自身が体感する清掃行為の容易性を評価することも重要であると考えられる。

第三種換気ユニットは5種動作以内で着脱可能であるが、第一種換気ユニットは6種動作以上必要である。これより換気ユニット本体のメンテナンス性を評価すると第一種より第三種の方が容易に清掃可能であるといえる。また今回清掃対象としたグリルは清掃時にグリルの着脱は必要なかったが、中にはグリルの着脱やフィルターの清掃を必要とする種類もある。設計時にはより容易に清掃可能な換気システムの選定が必要であると考えられる。

表6 清掃行為のメンテナンス性評価項目

項目	取り外し行為		清掃行為				取り付け行為	
	5種動作以内	6種動作以上	掃除機	手たたき	水拭き	空拭き	5種動作以内	6種動作以上
換気ユニット本体（第一種）		○	○	○				○
換気ユニット本体（第三種）	○						○	
給排気グリル	なし		○		○	○	なし	
自然給気口	○		○		○	○	○	

6 おわりに

本研究では、設計時における住宅用換気システムのメンテナンス性に関する情報提示や評価方法および評価指標の考案を目的とした。関連する既往研究と評価方法の整理をして課題の抽出を行い、居住者に要する清掃行為を対象にMet値を測定し、年間エネルギー代謝量を算出した。

年間エネルギー代謝量について、ダクト式第三種換気システムは天井取り付けで195Met・min/年、床下設置で187Met・min/年となり、ダクト式第一種換気システムの288Met・min/年より小さくなった。これより第三種換気システムの方が容易に清掃を行えることが確認できた。

住宅用換気システムの設計段階で、居住者が容易にメンテナンスを行えるように換気ユニットや端末部材を床置きや床下設置にすること、取り外しや取り付け等の清掃手順が少ない種類を選定することが求められる。

<参考文献>

[1]村田さやか 高倉政寛 鈴木大隆 大西茂樹 尾本英晴：住宅用機械システムの粉じんによる性能低下予測 その1 風量低下促進試験方法の提案，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp1171-1172，2006.9 [2]松下和彦 山田裕巳：換気システムの汚染に関する調査（その1 換気システムのお手入れに関する居住者意識と行動の調査），日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp1035-1036，2005.9 [3]山田裕巳 松下和彦：換気システムの汚染に関する調査（その2 お手入れ期間とフィルターへの汚染付着量、風量低下率の関係），日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp1037-1038，2005.9 [4]峰野悟 村田さやか 坂本雄三 田島昌樹 澤地孝男：住宅用局所換気設備の使用方法に関する調査 その1 アンケート調査のまとめ，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp1315-1316，2008.9 [5]東実千代 萬羽郁子 阿部弘明 池田浩己：関西の戸建て住宅における24時間機械換気の意識とメンテナンスの実態調査 その1 調査概要と設計者アンケートに関する結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学II，pp1301-1302，2012.9 [6]萬羽郁子 東実千代 阿部弘明 池田浩己：関西の戸建て住宅における24時間機械換気の意識とメンテナンスの実態調査 その2 居住者アンケートの結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学II，pp1303-1304，2012.9 [7]島海吉弘 倉淵隆 小寺定典：集合住宅における常時換気システムを中心とした設備機器の使用実態に関するアンケート調査，日本建築学会環境系論文集，第674号，pp293-301，2012.4 [8]高木理恵 吉野博 藤川光利 和田浩行：住宅25戸における機械換気システムの給排気口の風量とメンテナンスに関する調査，日本建築学会大会学術講演報告集，第70号，pp57-61，2007.6 [9]大西茂樹 村田さやか 高倉政寛 鈴木大隆 尾本英晴：住宅用機械システムの粉じんによる性能低下予測 その2 2種類粉じんによる熱交換型換気システムの試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp1173-1174，2006.9 [10]村田さやか 鈴木大隆 高倉政寛 福島明：住宅用機械換気システムの長期風量保持とメンテナンスに関する評価手法 その3 換気風量の長期室内暴露試験と促進試験との比較，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp773-774，2009.8 [11]井前貴正 峰野悟 瀬戸裕直 田島昌樹 澤地孝男 津田学志：実験集合住宅における全般換気の清掃と消費電力に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-2，pp1307-1308，2008.9 [12]M.Tajima, T.Sawachi, S.Mineno, S.Murata: Effect of Cleaning of Residential Ventilation System on Fan Energy Use and Ventilation Performance, EPIC 2006 AIVC, pp561-566, 2006.11 [13]一般財団法人 建築環境・省エネルギー機構：自立循環型住宅への設計ガイドライン要素技術活用シリーズ 住宅用機械換気設備の計画と性能評価 ダクト式機械換気設備の省エネルギーと維持管理・ライフサイクルに関するブックレット，2016.9 [14]国土交通省 国土技術政策総合研究所 国立研究開発法人 建築研究所：温暖地版 自立循環型住宅への設計ガイドライン，2015.8 <既発表論文> [15]野田奈那 嶋田祐典 依光剛志 田島昌樹：住宅用換気システムのメンテナンス性評価，日本建築学会四国支部研究報告集，第18号，pp55-56，2018.5