

住宅用換気システムの総合的評価方法に関する検討

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻 建築環境工学研究室

住宅 換気システム イニシャルコスト 1160081 嶋田 祐典
 エネルギー 暖冷房 ランニングコスト 指導教員：田島 昌樹

1. はじめに

近年、住宅の省エネルギー性能の向上を目的として高断熱・高气密化が行われるなど、暖冷房設備の一次エネルギー消費量を削減するための技術開発が進んでいる^[1]。一方で、住宅の高气密化に伴うシックハウス症候群の対策として、平成14年改正建築基準法では基本的に24時間稼働の換気システムの設置が義務となり^[2]、換気システムは居住者の生活により関わりが深いものとなっている。

今後、住宅の省エネルギー化をさらに進めるためには、暖冷房のエネルギー消費量と関わりがある換気システムの外気導入負荷に関する検討が必要であると考えられる。しかしながら、例えば倉瀬ら^[3]により現状では地域性や建物の断熱性・気密性に対する適切な換気システムの評価方法や指針が与えられていないことが指摘されている。

そこで、本研究では地域性や断熱・気密性を考慮できる住宅用換気システムの選定を目的とした総合的な評価方法の提案とともに現時点の知見に基づく評価項目に関する検討を行った。

2. IEAのAnnex27における評価手法

本研究では換気システムの評価方法の参考として、主に欧州の換気システム、気象条件、建築条件を対象とした国際エネルギー機関 (International Energy Agency) により作成された住宅用換気システムの評価方法とその評価ツール VenSet の説明がされている Annex27^[4]について分析を行った。Annex27 では熱的快適性、空気質、エネルギー、LCC などの複数の項目を実測などによって得られたデータで整理を行っている。それらのデータを基に作られた VenSet を用いて換気システムの総合的な評価を行うことができる。VenSet では、あらかじめ設けられた調査対象の項目を選択することで結果を出すことができ、選択した換気システムの評価を知ることができる。このツールでの評価方法のフローチャートを図1に示す。

3. 本研究で提案する評価方法に関する概要

本研究では Annex27 を参考とし、国内用の住宅用換気システムの選定を目的とした総合的な評価方法の枠組み案を作成した。当該案による住宅用換気システムの評価チャートを図2に示す。評価方法は、必要となる条件を入力し、各評価項目での指標に対応した評価値の算出を行う。これら各項目の評価値に重み付けをし、積算することで総合評価を行い、換気システムの選定に用いる。また入力された居住者が重視する項目を考慮することで居住者のニーズにも配慮した換気システムが選定できるようにする。

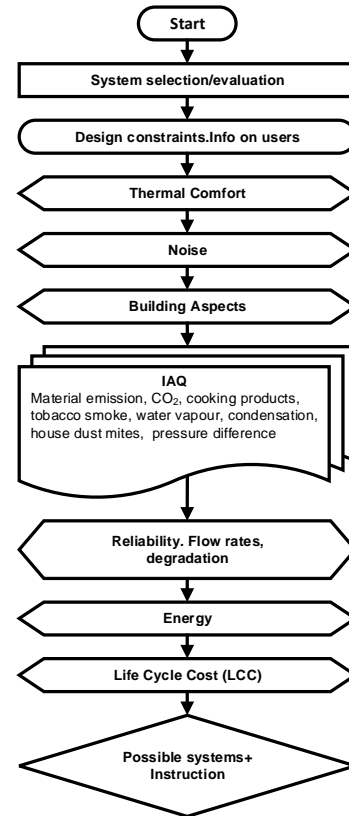


図1 Annex27 Tool Flow Chart

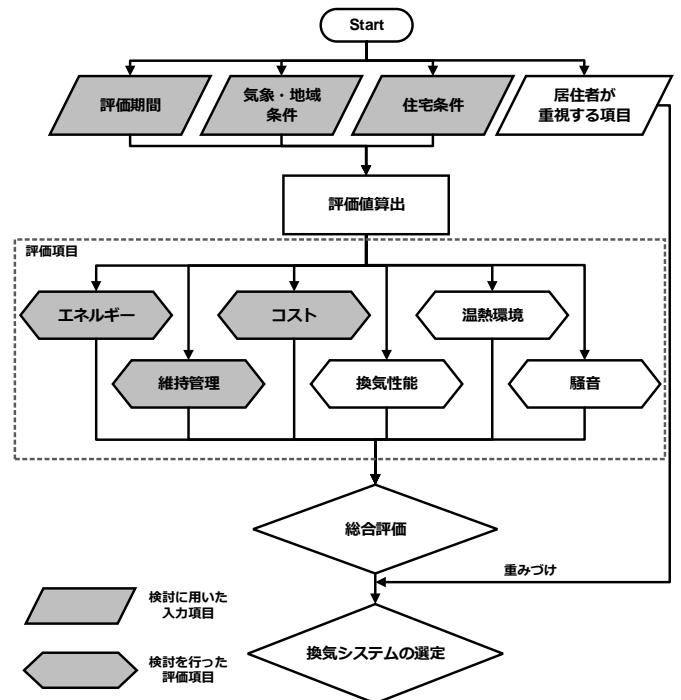


図2 住宅用換気システムの評価チャート

3.1 入力項目

評価に必要なと考えられる入力項目としては、換気システムの一つのライフサイクルとして評価期間、住宅の立地による気象・地域条件、暖冷房方式や断熱・気密性能などの住宅条件および居住者が重視する項目を設ける。

3.2 評価項目と評価指標

各評価項目とその評価方法について、現状の知見と評価方針の取りまとめを行った。

(1) エネルギー

換気は外気条件や選択した換気システムによっては暖冷房負荷に大きく影響を与える。そのため住宅の省エネルギー性能の向上を目的として換気システムに関するエネルギーについて検討するには暖冷房も同時に考慮する必要がある。平成 25 年省エネルギー基準^[1]では設備に関する基準として一次エネルギー消費量が設けられ、換気システムに関しても省エネルギー効果の推計を一次エネルギーで行うべきであると考えられる。本研究では、自立循環型住宅開発委員会で開発されたプログラム^{[5][6]}にてシミュレーションを行い、換気と暖冷房に関する省エネルギー性能の評価を行った。

(2) 維持管理

24 時間連続運転させる全般換気システムは、適切な維持管理が行われなければ換気量が減少して室内環境だけではなく、非消費電力や有効換気量率も悪化する。そのため設計者は換気システムによって異なる維持管理の方法および頻度^[7]を居住者が簡単に実行できるように計画しなければならない。この項目では、換気システムを使用する上での維持管理上の容易さやその必要性の検討を行う。

(3) コスト

Annex27 において、コストは換気システムを決定する主要な要素の一つであるが、多くの場合が関連基準を満たす換気システムの中からイニシャルコストが小さいものが選ばれており、ライフサイクルコストは認識されていない状況である^[4]ことが示されている。この評価項目では、各換気システムをライフサイクルコストで比較をすることを目的とする。各換気システムのイニシャルコストと維持管理費を調査し、(1)エネルギーによって求めた一次エネルギー消費量からランニングコストを算出することでライフサイクルコストを求める。評価期間は、換気システムのおおよその寿命であるとされる 30 年間で現時点の最短のライフサイクルとして設定する。

(4) 換気性能

換気システムの性能評価は室内の空気環境が良好に保たれているか、本来の目的が達成されているどうかの検討を行う評価項目である。対象の換気システムを用いてどのような室内空気環境が作られるかを推定することで評価を行う。換気性能評価を目的とした既往の研究には、空気齢、倉渕ら^[8]の換気量充足度、澤地ら^[9]の SRF (給気の満足度)

や OVRF (住宅全体の換気の満足度) などがある。全般換気システムを評価の対象としている本研究では、第三種換気システムや温度差換気といった他室や他ゾーンとの空気流動を計画に含めた換気システムを扱うため換気性能評価に外気導入量を使用している SRF を評価指標として用いるべきであると考えられる。

(5) 温熱環境

温熱環境は快適性に影響を及ぼす大きな要因の一つであり、換気に関しても温熱環境との関係性は考慮しなければならないとされている。例えば吉野ら^[10]による研究では外壁に給気口を設ける換気システムの場合は、暖房時にコールドドラフトによる温熱的不快感が形成される可能性があることが問題とされている。温熱環境の快適指標としては、作用温度 OT、有効温度 ET、総合的快適指標 PMV などがある。これら温熱環境の評価と換気システムの関係が複雑になっているため整理をする必要がある。

(6) 騒音

外気から室内へ空気を伝搬させる役割を持つ換気システムと騒音は密接な関係がある。換気システムの騒音の種類として、ファンの稼働やそれに伴う振動から発生する騒音と給排気口やダクトを通して入り込む外部騒音がある。そのため、(A) 換気システムの稼働に起因する騒音と (B) 実稼働状態での室内環境における騒音を評価する必要がある。本研究の評価基準として (A) には、公共住宅事業者等連絡協議会に示されている静音型換気システムとされる 30dB 以下、(B) は環境基準 (一般地域) に示される住居地域の昼間 55dB 以下、夜間 45dB 以下^[11]が基準となると考えられる。

3.3 総合評価

総合評価は、(1) から (6) までのそれぞれの評価項目の標準化を行った点数 u_i にそれぞれの換気システムの重要度に応じた重み付け w_i を乗じたものを積算し、総合評価点 U の算出を行う重み付け手法を適用する。以下に総合評価点 U の算出を行う式を示す。

$$U = \sum_{i=1}^n w_i u_i$$

ここで、

U : 総合評価点

w_i : 評価項目 i の重み

u_i : 評価項目 i の評価点

n : 評価項目の総数

重み付けに関しては、直接比較法や一対比較法など様々な方法が考えられるが、指標となるデータの収集と整理を行い既往の知見等を考慮し重みを決定するべきであると考えられる。

4. 評価項目に関する検討

評価項目に関して既往の計算ツールと現時点での知見を用いて(1)エネルギーと(3)コストに関する検討を行った。

4.1 シミュレーションによる省エネルギーに関する検討

評価項目(1)エネルギーに関する検討としてシミュレーションによる一次エネルギー消費量の計算を行った。

4.1.1 使用プログラムの概要

本研究では自立循環型住宅開発委員会で開発された拡張デグリーデー法を用いて外気導入負荷を算出するプログラム^{[4][5]}を使用することで、各換気システムの稼働と暖冷房に必要な一次エネルギー消費量の計算を行った。

4.1.2 計算概要

シミュレーションで対象とする換気システムは、第三種換気、第一種熱交換換気、第一種熱交換換気を夏・中間期に片側運用するシステム、温度差換気とした。シミュレーションでは、6つの地域から代表都市を選出し、表1に示す計算パラメータと、表2に示す省エネルギー基準で設定されている断熱性能^[12]を使用した。

他の換気システムと異なり温度差換気の場合は、外気温度を考慮する必要があり、温度差換気が可能でないときは機械換気を稼働させることとなる。本研究では、拡張アメダス気象データ 1981-2000 の気温データ (標準年 1995)^[13]を用いて温度差換気の利用が可能となる条件を室内外温度差が 10℃以上の時とし、条件を満たさない時間は第三種換気を稼働させた条件で計算を行った。表3に各地域の温度差換気を利用できる時間の割合を示す。また温度差換気は同時にその地域の気象条件に合った給排気口の開口面積と設置高さを考えなければならない^[14]。本研究では、圧力差と換気量の関係からそれぞれの地域で必要となる給排気口の開口面積を算出し、シミュレーションに用いた (表4)。

4.1.3 計算結果

一次エネルギー消費量の算出結果を図3および図4に示す。札幌や盛岡などの寒冷地では、熱交換換気による暖房の消費エネルギーの削減が効果的であり、第一種熱交換換気での夏・中間期に片側運転する場合は他の換気と比べてエネルギー消費量が小さい結果となった。しかし、温暖な地域になるほど熱交換換気の省エネルギー効果は小さくなり、高知や東京では第三種換気との差異はほとんどなく、那覇では第三種換気が最も一次エネルギー消費量が小さい結果であることが確認された。温度差換気に関しては、他の換気システムと比較すると換気の稼働に関するエネルギー消費量が小さくなるが、同時に暖房負荷が大きくなり、換気、暖冷房を含めた全体での一次エネルギー消費量は大きくなる結果となった。高知では暖房にかかるエネルギー消費量は少ないが、室内外温度差が必要となる温度差換気を利用できる時間が少なく、機械換気の割合が大きくなり換気にかかる消費電力が増加する結果となった。

表1 シミュレーションに使用した計算パラメータ

設定項目	水準
気候条件	札幌、盛岡、仙台、東京、高知、那覇
断熱性能	H25省エネ基準
全般換気設備	[a]第三種換気、 [b]第一種熱交換換気(夏・中間期は第三種) [c]第一種熱交換換気 [d]温度差換気(温度差がない時は第三種換気)
暖冷房方式	全館連続暖冷房
空調率	0.92
有効換気量率	0.95 ([b](冬期)および[c]のみ)
エアコン効率	COP=3.0
温度交換効率	顕熱交換効率 0.64、潜熱交換効率 0.40
比消費電力[W/(m³/h)]	[a]0.144, [b]0.315(冬期) 0.159(夏・中間期) [c]0.315, [d]0.144 (第三種換気時)

表2 シミュレーションに使用した断熱・気密性能

地域区分	単位温度当たりの外皮熱損失量	気密性能
1, 2	153.70 W/K	0.5 cm²/m²
3	189.73 W/K	0.5 cm²/m²
4	237.76 W/K	1.0 cm²/m²
5, 6, 7	279.79 W/K	1.0 cm²/m²

表3 各都市の温度差換気が利用可能な時間の割合

地域	札幌 (2地域)	盛岡 (3地域)	仙台 (4地域)	東京 (6地域)	高知 (7地域)	那覇 (8地域)
割合	53%	51%	42%	29%	26%	0%

表4 温度差換気に使用した給排気口の有効開口面積と高さ

	札幌 (2地域)	盛岡 (3地域)	仙台 (4地域)	東京 (6地域)	高知 (7地域)
有効開口面積(cm²)	176	166	165	184	176
設置高さ(m)	8.0	10.0	12.0	12.0	12.0

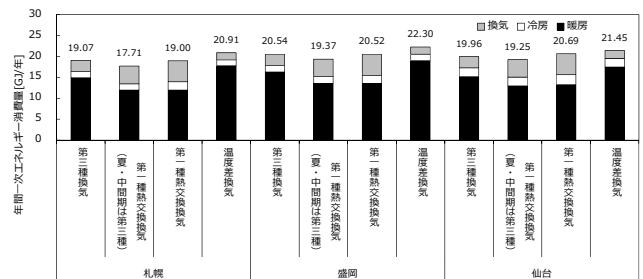


図3 シミュレーションによる一次エネルギー消費量(2-4地域)

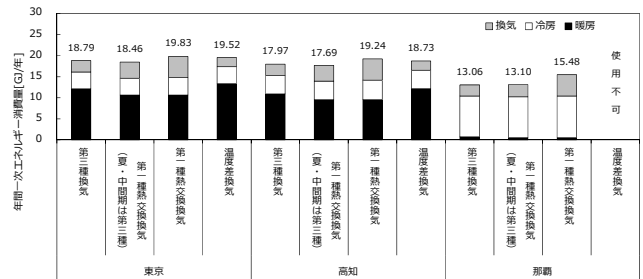


図4 シミュレーションによる一次エネルギー消費量(6-8地域)

4.2 ライフサイクルコストによる検討

評価項目(3)コストに関してライフサイクルコストの試算を行った。

4.2.1 ライフサイクルコストの概要

本研究では評価期間を30年とし、局所換気設備は同じ条件として全般換気システムのみでのインシヤルコストとランニングコストを合わせてライフサイクルコストの試算を行った。

4.2.2 イニシャルコストの試算

各換気システムのイニシャルコストは、ヒアリングにより調査を行った結果から設定した。それぞれの換気システムのイニシャルコストを表5および表6に示す。温度差換気に関しては必要となる設備の一般的な価格を合計した30万円をイニシャルコストとして設定した。

4.2.3 ランニングコストの試算

換気システムのランニングコストは、エネルギー消費によって発生するコストと、点検、清掃および部材交換などによる維持管理の費用がある。本研究では、換気システムの稼働にかかるエネルギー消費のみの場合と、暖冷房負荷における換気負荷を考慮したエネルギー消費も含めた場合の二通りのランニングコストを算出した。機械換気の維持管理費はイニシャルコストと同じくヒアリングによる調査から部材の交換間隔と価格を設定し、試算を行った。温度差換気に関しては、稼働部位が少ないシステムであり、防虫網やフィルターを用いない設計とするためメンテナンスはほとんど発生せず維持管理費は考慮しないものとした。

4.2.4 ライフサイクルコストによる評価

イニシャルコストとランニングコストを足すことで各換気システムの30年間のライフサイクルコストの試算を行った。東京(6地域)での算出結果を図5および図6に示す。東京では、ランニングコストを換気システムの稼働によるエネルギーのみを算入した場合、温度差換気はイニシャルコストが第三種換気より高いがランニングコストが小さいため、最もライフサイクルコストが小さい結果となった。しかし、ランニングコストに暖冷房の換気負荷分を含める場合では、東京は札幌などの寒冷地と比べ温度差換気が機能する日が少なく、また暖房の運転時間も少ないため熱交換換気による暖房負荷の削減がほとんどなく、イニシャルコストと維持管理費が少ない第三種換気が結果として30年間を通してライフサイクルコストが最も低い結果が確認された。

5. おわりに

本研究では Annex27 を参考にして国内用の住宅用換気システムの選定を目的とした総合的評価方法の枠組みの提案と評価方法について、現状の知見と評価方針を取りまとめた。また既往の計算ツールと現時点での知見を用いて評価項目に関する検討を行い、一次エネルギー消費量の算出とライフサイクルコストを試算した。東京(6地域)では第三種換気が一次エネルギー消費量とライフサイクルコストともに小さい結果となった。しかし、換気システムを選定するには省エネルギーとライフサイクルコストの大小だけでなく、性能評価や室内環境の快適性なども検討しなければ総合的な評価は行えない。今後は実際に総合的な評価を行うために、各評価項目に関して必要なデータを収集し、各項目やその重み付けについて検討することで具体的な評価体系を構築していく予定である。

表5 第一種熱交換換気の初期費用と維持管理費の設定値

	交換間隔	費用(円)
初期費用	-	300,000
ファン・モーター	10年	45,000
熱交換素子	10年	
フィルター・防虫ネット	5年	5,000

表6 第三種換気の初期費用と維持管理費の設定値

	交換間隔	費用(円)
初期費用	-	200,000
ファン・モーター	10年	27,000
フィルター・防虫ネット	5年	3,000

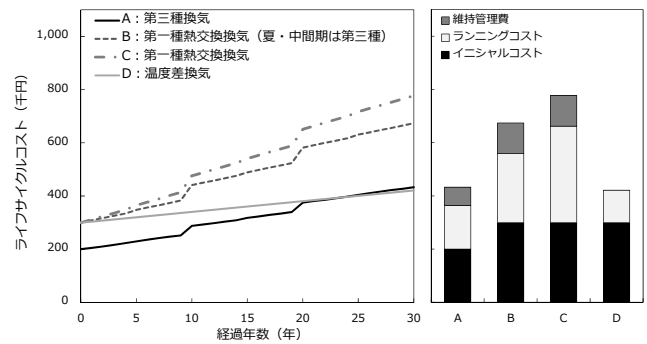


図5 30年間のライフサイクルコストとその構成 (全般換気システムのみ)

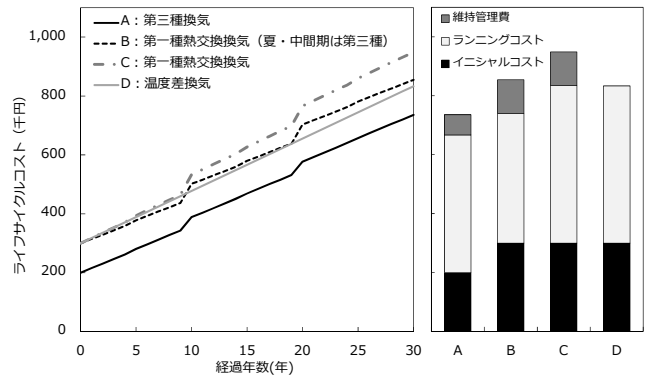


図6 30年間のライフサイクルコストとその構成 (全般換気システムと暖冷房の換気負荷分)

<参考文献>

- [1]平成27年度 国土交通省補助事業 平成25年省エネルギー基準対応 住宅省エネルギー技術 施工技術講習 テキスト-基本編-:一般社団法人 木を活かす建築推進協議会, 2015.7
- [2]国土交通省住宅局建築指導課 国土交通省住宅局住宅生産化 国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人 建築研究所 日本建築行政会議 シックハウス対策マニュアル編集委員会:改正基準法に対応した建築物のシックハウス対策マニュアル-建築基準法・住宅性能表示制度の解説及び設計施工マニュアル-, 2003.5
- [3]倉淵隆 島海吉弘 栗林知広 遠藤智行 平野剛 小峯裕己:建物気密性を考慮した各種換気システムの性能評価に関する研究 その1 系統的シミュレーションによる検討, 日本建築学会大会学術講演概要集 2005, 日本建築学会, pp703-704, 2005.7
- [4]The International Energy Agency(IEA)Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme(ECBCS): Annex27 Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systems,2002
- [5]峰野悟:住宅用換気設備の換気負荷シミュレーションプログラムの開発 その1 プログラムの概要, 日本建築学会四国支部研究報告集 第14号, 日本建築学会,pp65-66, 2014.5
- [6]村田さやか:住宅用換気設備の換気負荷シミュレーションプログラムの開発 その2 隙間を含む住宅全体換気量の推定方法, 日本建築学会四国支部研究報告集 第14号, 日本建築学会, pp67-68, 2014.5
- [7]VDI 6022 Part 1: Hygienic standards for ventilation and air-conditioning systems Offices and assembly rooms, 1998
- [8]倉淵隆 風口晃宏 今野雅 鎌田元康 千田喜孝 小寺定典:風圧力発生頻度に基づく常時換気システムの設備された集合住宅の換気量充足度評価に関する研究 第1報-センターコア型超高層集合住宅に関する検討, 空気調和・衛生工学会論文集 No.83, 空気調和・衛生工学会, pp53-63, 2001.10
- [9]澤地孝男 大澤元毅 瀬戸裕直 大西茂樹 谷口佳紀:住宅用換気システムの換気性能評価に関する研究 その3~5, 日本建築学会大会学術講演概要集 1995, 日本建築学会, pp.711-716, 2001.10
- [10]李振海, 吉野博:戸建住宅の換気システム並びに外壁給気口の熱環境に及ぼす影響に関するアンケート調査, 空気調和・衛生工学会論文集 No.77, 空気調和・衛生工学会, pp109-115, 2000.10
- [11]田中俊六 岩田利枝 武田仁 寺尾道仁 土屋喬雄 秋元孝之:最新建築環境工学[改訂4版], 2015.2
- [12]国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人 建築研究所:平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 II住宅, 2013.5
- [13]日本建築学会:拡張アメダス気象データ 1981-2000, 2005.8
- [14]財団法人 北海道建築指導センター:パッシブ換気システム 設計・施工マニュアル, 2001.2