高断熱木製サッシに関する研究 — 複層ガラスを用いたサッシの環境性能評価 —

STUDY ON THE HIGH INSULATION WOODEN SASH — Environmental performance evaluation of the sash with multi-layer glazing —

富澤佑太 — * 1 浅野良晴 — * 2
岩井一博 — * 3 新井光一郎 — * 4

Yuta TOMIZAWA — * 1 Yoshiharu ASANO — * 2
Kazuhiro IWAI — * 3 Koichiro ARAI — * 4

キーワード：
木製サッシ, 開口部, 環境負荷, CO₂ 排出量

Keywords:
Wooden sash, Opening, Environmental load, Carbon dioxide emissions

Demand of thermal insulation renovation with an emphasis on cost is I considered to increase in the future. So, we went in the development of highly insulated wooden sash of thermal transmittance 0.5[W/m²·K]. In this study, we compare production when CO₂ emissions, the CO₂ emission reduction effect when attached to the actual housing for the model with three glass that reduce the number of models and the glass using four glass is, it is an object of promotion of low-carbon society by opening repair.

1. 研究概要

近年、地球温暖化対策として CO₂ 排出量の削減が求められているが、住宅・建築分野でのエネルギー消費量は増加しており¹⁾、低炭素化社会の推進に向けた方策の検討が必要である。現在我が国ではアルミニウムおよび樹脂製のサッシが主流である。木材は断熱性能、製造・廃棄時の環境負荷の観点において優れており、省エネルギー性の高い素材であるといえる。また、新築で家を建てる投資が不可能である場合に、住宅の高断熱化改修により健康的な生活を送るための住環境の整備が可能であるため、コスト面を重視した断熱改修の需要が高まると考えられる。

既往の研究では、サッシ部材およびサッシ全体の断熱性能評価を行い、JIS A 4710 に準じた試験により 4 層複層ガラスを用いた試験体は熱貫流率 0.58[W/m²·K]、3 層複層ガラスを用いたモデルは熱貫流率 0.67[W/m²·K] の結果を得た²⁾³⁾。また、ISO 10077 に準じた方法での断熱性能評価により、4 層複層ガラスを用いたモデルを用いたモデルの熱貫流率 0.49[W/m²·K] の計算結果を得た⁴⁾。さらに、シミュレーションと実証試験を行い、開発したサッシを建物に取り付けた際の暖房負荷とその削減効果を明らかにした⁵⁾⁶⁾。既往の研究では開口部改修は少ない断熱改修対象面積で大きな断熱効果を期待できることが明らかになっており、3 層複層ガラスを用いたモデルは 4 層複層ガラスのモデルと比べて断熱性能は劣るが、製造時の CO₂ 排出量・コストは低いと考えられる。そこで、本研究では 4 層複層ガラスを用いたモデルおよびガラス層数を減らした 3 層複層ガラスを用いたモデルについて製造時 CO₂ 排出量、既存住宅の一部に取り付けた際の CO₂ 排出削減効果を比較することにより環境性能評価を行い、開口部改修による低炭素化社会の推進を目的とする。

表 1 木製サッシ 1 体製造時におけるヒノキ製材品の CO₂ 固定量

		[kg-CO ₂]
ヒノキの CO ₂ 固定量		-117.04
燃料による CO ₂ 排出量	林地	2.42
	輸送	0.50
	原木市場	0.22
	輸送	0.84
端材による CO ₂ 放出量	製材工場	9.48
	林地	16.23
	製材工場	0.02
排出量合計		29.70
ヒノキ製材品の CO ₂ 固定量		-87.34

2. 計算方法概要

4 層モデルを構成している各部品の製造工場へ聞き取り調査を行った。複層ガラス部品と枠部品製造時の CO₂ 排出量は部品重量と産業連関表による環境負荷原単位データブック (2005 年表)⁷⁾ による CO₂ 排出原単位を乗じて計算した。製造工程での CO₂ 排出量は、調査可能だった工場では各工程の消費電力量に、サッシ製造年である平成 25 年度の各電力会社の CO₂ 排出原単位を乗じて計算した。各工程の CO₂ 排出原単位は、複層ガラス製造時、開閉装置製造時、サッシ組立時は中部電力の値である 0.51[kg-CO₂/kwh]、気密材製造時は北陸電力の値である 0.49[kg-CO₂/kwh]、廃棄物処理時は関西電力の値である 0.48[kg-CO₂/kwh] を用いた。輸送による CO₂ 排出量は各部品

¹⁾ 信州大学工学部 大学院生
(〒380-0928 長野市若里 4-17-1)

²⁾ 信州大学学術研究院工学系 教授・工博

³⁾ 信州大学学術研究院工学系 助教・博士 (工学)

⁴⁾ 元信州大学工学部建築学科 修士 (工学)

¹⁾ Graduate Student, Faculty of Eng., Shinshu Univ.

²⁾ Prof., Institute of Eng. Academic Assembly, Shinshu Univ., Dr. Eng.

³⁾ Assistant Prof., Institute of Eng. Academic Assembly, Shinshu Univ., Dr. Eng.

⁴⁾ Faculty of Eng., Shinshu Univ., M. Eng.

表 2 4 層モデル 1 体の部品重量と CO₂ 排出原単位

4 層モデル			4 層モデル		
部品	部品重量 [kg]	CO ₂ 排出原単位 [kg-CO ₂ /kg]	部品	部品重量 [kg]	CO ₂ 排出原単位 [kg-CO ₂ /kg]
複層 ガラス	Low-E ガラス	27.88	枠	ヒノキ	12.66
	FL ガラス	9.29		断熱材	0.62
	1次シーリング	0.06		気密材	0.62
	2次シーリング	0.58		金具	1.27
	コーナーキー	0.04		接着剤	0.015
	スペーサー	1.46		木ダボ	0.88
	乾燥材	0.46		ビス(鉄)	0.07
	クリプトンガス	0.30×10 ⁻⁵		ビス(鉄)	0.07
			総重量	39.77

図 1 4 層モデル断面図

輸送時のトラックの最大積載量、輸送経路の聞き取り調査を行い、改良トンキロ法⁸⁾により計算した。ヒノキの CO₂ 固定量は既往の研究⁹⁾に示されているヒノキのカーボンバランスにより計算した。表 1 に木製サッシ 1 体製造時におけるヒノキの CO₂ 固定量を示す。製材工場での電気使用量は 132.7[kWh/m³]、軽油使用量は 1.6[L/m³]、灯油使用量は 23.4[L/m³]である。CO₂ 固定量の計算においては CO₂ 排出量を正、CO₂ 固定量を負の値とした。ヒノキ製材品の CO₂ 固定量は -87.34[kg-CO₂]となった。

3. サッシ製造時の CO₂ 排出量計算結果

3.1 4 層モデル製造時の CO₂ 排出量

図 1 に 4 層モデル断面図、表 2 に 4 層モデル 1 体当たりの部品重量と CO₂ 排出原単位を示す。4 層モデルは Low-E ガラス 4[mm]を 3 枚、フロートガラス 4[mm]を 1 枚で構成されており、中空層内部にはクリプトンガスが充填されている。枠のヒノキとフェノールフォームの体積比は 6:4 であり、サッシの寸法は 1500[mm]×750[mm]である。Low-E ガラスは輸入品だが、国外から国内へ輸送する際の排出量は含めておらず、部品製造時の CO₂ 排出量は一般的なフロートガラスとして扱っている。図 2 に 4 層モデル 1 体製造時の CO₂ 排出量を示す。各製造工程の CO₂ 排出量にヒノキ製材品の CO₂ 固定量を加えた値を排出量合計とした。排出量合計は 248.90[kg-CO₂]となった。複層ガラス製造時の CO₂ 排出量は 170.08[kg-CO₂]となり排出量合計の 69[%]を占めており、木製サッシ組立時の CO₂ 排出量は 95.49[kg-CO₂]となり排出量合計の 39[%]を占めている。木製サッシ組立時は木材加工以外手作業で行っているため、CO₂ 排出は木材加工機による電力消費のみであり、CO₂ 排出量の削減は困難である。図 3 に 4 層複層ガラス製造時の CO₂ 排出量を示す。複層ガラス製造時にはガラス製造による CO₂ 排出量が 80[%]を占めており木製サッシ 1 体製造時の CO₂ 排出量を削減するためには、ガラス構成の検討が有効であると考えられる。

3.2 3 層モデル製造時の CO₂ 排出量

4 層モデルの調査結果より 3 層モデル製造時の CO₂ 排出量を計算した。表 3 に 3 層モデル 1 体当たりの部品重量、図 4 に 3 層モデル断面図を示す。3 層モデルは Low-E ガラス 5[mm]を 3 枚で構成されている。枠の寸法と仕様は各モデルとも同じであるため、枠の部品重量に変化はない。枠と複層ガラスの CO₂ 排出原単位は同じである。枠の寸法と仕様は各モデルとも同一なため、4 層モデルと 3 層モデルのヒノキ CO₂ 固定量の値は同一とした。ガラスが減ったことにより

図 2 4 層モデル 1 体製造時の CO₂ 排出量

図 3 4 層複層ガラス製造時の CO₂ 排出量

表 3 3 層モデル 1 体の部品重量

部材		3層モデル 部品重量 [kg]
枠		16.14
複層 ガラス	LOW-E ガラス	27.88
	1次シーリング	0.04
	2次シーリング	0.36
	コーナーキー	0.04
	スペーサー	1.67
	乾燥材	0.46
	クリプトンガス	0.30× 10 ⁻⁵
総重量		46.57

図 4 3 層モデル断面図

重量の変化があったのは、Low-E ガラス、1 次シーリング、2 次シーリング、コーナーキー、スペーサー、クリプトンガスである。ガラス層数が減ったため 1 次シーリング、2 次シーリングの重量は減少し、中空層に使用するスペーサーの重量が増加している。乾燥材の重量はガラスの層数によって変化しないことを聞き取り調査により確認した。クリプトンガスの重量は小さいため変化はなかった。図 5 に 3 層モデル 1 体製造時の CO₂ 排出量を示す。排出量合計は 209.10[kg-CO₂]であり、CO₂ 排出量の削減量は複層ガラス製造時において 34.50[kg-CO₂]、部品輸送時において 5.47[kg-CO₂]、廃棄物処理時において 4.01[kg-CO₂]となった。複層ガラス製造時、輸送時の CO₂ 排出量は使用する部品の重量が減ったことにより削減された。廃棄物処理時の CO₂ 排出量は、廃棄物は複層ガラス製造時でのみ排出され、FL ガラスを切断した際の端材が大きな割合を占めていたため、FL ガラスを使用していない 3 層モデルにおいて削減された。4 層モデルと 3 層モデルの CO₂ 排出量の差は 39.96[kg-CO₂]となった。

4. 運用時 CO₂ 排出量の検証

4.1 シミュレーション概要

4 層モデルおよび 3 層モデルを実際の住宅に取り付けて運用した際の CO₂ 排出量の削減効果を求めるため、長野県松本市に建つ住宅 3 棟を対象として改修前と開口部のみ改修後の冷暖房負荷をシミュレーションソフト SMASH for Windows Ver.2 を用いて計算した。図 6 に住宅 1 平面図、図 7 に住宅 2 平面図、図 8 に住宅 3 平面図を示す。各住宅とも平屋となっており、開口部改修は台所とその隣室である和室を改修対象とし、図に網掛けで示している。開口部改修を行った部分のみを冷暖房の対象としてシミュレーションを行った。対象部分以外は冷暖房を行わない。表 4 に対象住宅概要およびシミュレーション条件を示す。各住宅の外皮の熱還流率は次世代基準相当とし、改修対象部分に関して無人状態で開口部に障子・カーテンは設置しない場合の暖房負荷を計算した。冷暖房設備は電気式エアコンとし、2 次エネルギー基準の COP を 1 とした。各住宅の内部発熱は機器発熱のみとし、0.12[kWh]一定とした。シミュレーション時は 5 月 15 日～10 月 2 日を冷房期、10 月 3 日～5 月 14 日までを暖房期とした。各モデル製造時の CO₂ 排出量から各モデルの窓面積 1[m²]製造時の CO₂ 排出量を計算した。図 9 に各モデル 1[m²]製造時 CO₂ 排出量を示す。各モデル 1[m²]製造時の CO₂ 排出量の差は 34.67[kg-CO₂/m²]となった。

4.2 開口部改修による運用時 CO₂ 排出量の削減効果

シミュレーションによる 1 年間運用時の冷暖房負荷計算結果を窓面積で除した結果と、中部電力の平成 25 年度 CO₂ 排出原単位を用いて 1 年間の運用時 CO₂ 排出量を計算した。図 10 にその結果を示す。3 層および 4 層モデルにより改修を行った場合、各モデルの CO₂ 排出量の差は住宅 1 で 7.53 [kg-CO₂]、住宅 2 で 7.47[kg-CO₂]、住宅 3 で 8.09[kg-CO₂]となった。各モデル 1[m²]製造時の CO₂ 排出量差と開口部 1[m²]あたりの運用時の CO₂ 排出量差の差を取ることで、運用何年目で各モデル 1[m²]の製造時 CO₂ 排出量差を運用時累積 CO₂ 排出量差が上回るかを計算した。図 11 にその結果を示す。図 11 より、開口部比率や対象外皮面積に差があったとしても、5 年以上運用することによって 3 層モデルよりも 4 層モデルの CO₂ 排出量削減効果が上回るといえる。

図 5 3 層モデル 1 体製造時の CO₂ 排出量

図 6 住宅 1 平面図

図 7 住宅 2 平面図

図 8 住宅 3 平面図

5. まとめ

4 層複層ガラスおよび 3 層複層ガラスを用いた木製サッシについて、製造時の CO₂ 排出量およびシミュレーションソフトによる高断熱木製サッシを用いた断熱改修の省エネルギー効果の検証を行った。この結果を以下に示す。

- ・1[m²]製造時の CO₂ 排出量合計は 4 層モデルで 220.44[kg-CO₂/m²]、3 層モデルで 185.78 [kg-CO₂/m²]となった。
- ・各モデル運用時 CO₂ 排出量の差は住宅 1 で 7.53 [kg-CO₂]、住宅 2 で 7.47[kg-CO₂]、住宅 3 で 8.09[kg-CO₂]となった。
- ・4 層モデルと 3 層モデルの製造時 CO₂ 排出量の差を運用時の累積 CO₂ 排出量の差が上回るのは 5 年目である。

以上のことから、4 層モデルの製造時の CO₂ 排出量は 3 層モデルを上回っているが、5 年以上運用することにより 4 層モデルの方が、省エネルギー化改修において有効である。

謝辞

本研究は環境省平成 26 年度地球温暖化対策技術開発・実証研究事業の一環として有限会社和建築設計事務所と共同で実施しているものである。多大なるご協力をくださった関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省編：「低炭素化社会に向けた住まいと住まい方」の推進方策について 中間とりまとめ 2012.7, <http://www.mlit.go.jp/common/00216966.pdf>, (参照 2015.5.22)
- 2) 福島功二, 青木和壽, 浅野良晴, 高村秀紀, 岩井一博：高断熱木製サッシ開発に関する研究 その 1 サッシ部材開発における断熱性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.125-126, 2013.8
- 3) 福島功二, 浅野良晴, 高村秀紀, 岩井一博, 福島功二, 新井光一郎, 千福地航平, 富澤佑太：高断熱サッシ開発に関する研究 その 2 サッシ部材およびサッシ全体の断熱性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.77-78, 2014.9
- 4) 新井光一郎, 浅野良晴, 高村秀紀, 岩井一博, 福島功二, 千福地航平, 富澤佑太：高断熱サッシ開発に関する研究 その 3 サッシ全体の断熱性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.79-80, 2014.9
- 5) 富澤佑太, 浅野良晴, 高村秀紀, 岩井一博, 福島功二, 新井光一郎, 千福地航平：高断熱木製サッシ開発に関する研究 その 4 高断熱サッシを用いた断熱改修における断熱性能シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.81-82, 2014.9
- 6) 千福地航平, 浅野良晴, 高村秀紀, 岩井一博, 福島功二, 新井光一郎, 富澤佑太：高断熱木製サッシ開発に関する研究 その 5 実証試験による暖房負荷計測, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D2, pp.83-84, 2014.9
- 7) 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター：「産業連関表による環境負荷原単位データブック (3EID)2005 年表」2012.8, (参照 2015.5.22)
- 8) 経済産業省・国土交通省：「ロジティクス分野における CO₂ 排出量算定方法 共同ガイドライン Ver. 3.0」2007.3, <http://www.greenpartnership.jp/pdf/co2/guidelinev3.0.pdf> (参照 2015.5.22)
- 9) 井戸結貴, 浅野良晴, 高村秀紀, 山形龍一：長野県産木材のライフサイクルアセスメント調査 その 3 ヒノキの場合, 日本建築学会大会学術講演論文集 D-1, pp.1059-1060, 2011.7

[2016 年 1 月 21 日原稿受理 2016 年 8 月 8 日採用決定]

表 4 対象住宅概要およびシミュレーション条件

	住宅 1	住宅 2	住宅 3
対象床面積[m ²]	22.20	18.81	22.13
対象外皮面積[m ²]	100.12	85.61	102.20
開口部面積[m ²]	8.67	5.99	5.99
開口部比率[%]	8.66	7.00	5.86
熱貫流率 [W/m ² ・K]	4 層モデル	0.58	
	3 層モデル	0.67	
改修に使用するサッシ数	6	4	4
冷暖房設定温度	冬季 20℃一定 夏季 26℃一定		
冷暖房スケジュール	24 時間

図 9 各モデル 1[m²]製造時 CO₂ 排出量

図 10 開口部面積 1[m²]あたりの 1 年間運用時各住宅 CO₂ 排出量

図 11 製造時 CO₂ 排出量と運用時累積 CO₂ 排出量