

修 士 論 文

住宅属性と居住者の温熱環境調整行為が
室内温熱環境および暖冷房エネルギー消費に与える影響

Effects on indoor thermal environment and heating and cooling
energy consumption by attributes of housing and occupant's
improvement for indoor thermal condition

高知工科大学大学院
工学研究科基盤工学専攻

西 山 亮

2020年1月

令和元年度 修士論文

住宅属性と居住者の温熱環境調整行為が
室内温熱環境および暖冷房エネルギー消費に与える影響

高知工科大学大学院

工学研究科基盤工学専攻 社会システム工学コース

建築環境研究室 1225077

西山 亮

指導教員 田島 昌樹 准教授

副指導教員 大内 雅博 教授

副審査員 渡辺 菊真 准教授

論文要旨

高知県の住宅を対象とした室内環境の調査結果では、外皮性能が省エネルギー基準を満たしていても、夏季と冬季の温熱環境に課題のある住宅がみられた。特に冬季は暖房の行われていない脱衣所やトイレなどの非居室の室温が低く、断熱性能だけでなく間取りの違いが室温に一定の影響を与える結果となった。そこで本研究では住宅の断熱性能や間取りなどの住宅属性と居住者の温熱環境調整行為の違いによる室内温熱環境と暖冷房エネルギー消費への影響について明らかにすることを目的として、室内温熱環境の実態調査と温熱環境シミュレーションを行った。本研究で着目する冬季の非居室の温熱環境に影響を与える間取りは主居室と非居室の位置関係とし、主居室と非居室が隣接している場合を「接L」、隣接していない場合を「非接L」とした。

実態調査を行った結果、夏期に窓開けと扇風機の使用のみで過ごす住宅のほとんどは湿度が高く、建築物衛生法の衛生管理基準の適合割合が空気温度は30%以下、相対湿度は50%以下となった。冬季の非居室（脱衣所またはトイレ）の空気温度は現行の省エネルギー基準の外皮性能基準となった平成11年以降建設の住宅でも、イギリス保健省の防寒計画で推奨する許容温度の18℃をほとんど下回ったが、接Lの住宅の非居室の空気温度は非接Lよりも高く、平成11年以降建設の住宅だと約4℃高くなった。

温熱環境シミュレーションでは、省エネルギー基準の計算に用いられた標準的な住宅モデルを「非接Lプランモデル」とし、そのモデルとそのモデルの間取りを接Lに変更した「接Lプランモデル」を計算対象とした。この2つのモデルをベースに、AE-CADを用いて実測調査では把握しきれない断熱性能、暖冷房設備の使用方法、気象等といった様々な条件の組み合わせで、複数の住宅モデルを作成し、AE-Sim/Heatで温熱環境や暖冷房エネルギー消費を算出した。冷房一次エネルギー消費量は外気温に応じた通風と外付けブラインドの設置によって、エアコンのみで過ごす場合に比べて2割削減した。また通風による温熱環境は実態調査とは異なり、空気温度と相対湿度ともに衛生管理基準値の適合割合が、等級4以上の外皮性能であれば80%以上となった。暖房一次エネルギー消費量は非接Lプランモデルよりも接Lプランモデルの方が若干多くなっているが、冬季の夜間の非居室（浴室・トイレ・洗面脱衣）の空気温度は接Lプランモデルの方が高く、等級4相当だと約1~2℃高くなった。また居室間歇運転の場合、接LプランモデルはHEAT20のG1相当（高知・岡山：モデルc、宇都宮：モデルd）の外皮性能があれば、6割以上が18℃以上となり、居室連続運転の非接Lプランモデルよりも18℃以上となる割合が高くなった。

温熱環境シミュレーションを実施した結果、夏季は外気温に応じた通風によって衛生管理基準を満たしつつ冷房エネルギー消費を削減できることを確認した。冬季は実態調査の結果と同様に、接Lプランの非居室の空気温度が非接Lプランよりも高くなり、実態調査では把握できなかった様々な条件での温熱環境や暖冷房負荷の差異を定量的に把握した。

Abstract

The authors' past research work on the indoor environment of the houses in Kochi Prefecture revealed that some houses was not good thermal environment in summer and winter, even if the buildings' thermal performance met the Energy Saving Standard of Japan. Especially it has been revealed that, the room temperature of undressing rooms and restrooms where heating equipment are not used commonly in Japan, is influenced by not only its insulation performance but also the layout of the rooms. Therefore, this study has been conducted to clarify the effects by real measurement and computational calculation on the indoor thermal environment and the heating and cooling energy consumption caused by insulation performance, layout of the rooms and the residents' thermal environment adjustment activities. The layout which affects the thermal environment of Bathroom (undressing rooms, bathrooms and restrooms) in winter focused on in this study is the positional relationship between the main habitable rooms and Bathrooms. The layout which the main habitable rooms and Bathroom are adjacent is named "LV Connected", and the layout which is not adjacent is named "Non LV Connected" in this study.

The results of the real measurement show that the indoor air temperature in summer is high and the air humidity is also high in the houses which employ only cross-ventilation and electric fans. Additionally, the air temperature's conformity ratio for the reference value of the Act on Maintenance of Sanitation in Buildings is approximately 30% and the relative humidity' conformity ratio is approximately 50%. The air temperature of the dressing rooms and restrooms in winter is lower than the allowable temperature of 18 degrees in Celsius which is the recommended value of the Public Health England's cold weather Plan, even for houses which are constructed or retrofitted after 1999 whose envelope insulation performance is equivalent to the latest Energy Saving Standard. However, the air temperature of the Bathrooms in "LV Connected" houses constructed or retrofitted after 1999 show higher by approximately 4 degrees in Celsius than "Non LV Connected" houses.

The computational calculations were performed on two model plans. One is the standard house model (Non LV Connected model) used for the calculation for the Energy Saving Standard and the another is a "LV Connected" model which is revised by using the standard house model. Based on these two models, by combining various conditions such as heat insulation performance, use of heating and cooling equipment, weather conditions, and so on. By the results of the calculations, the primary energy consumption for cooling is increased slightly when its insulation performance is getting better. However, the value is reduced by 20% employing cross ventilation respecting for outside temperature and using external blinds. The conformity ratio for the reference value of the Act on Maintenance of Sanitation in Buildings of the air temperature and the relative humidity are approximately 80% or higher, when the buildings' insulation performance are better than the value of the latest Energy Saving Standard. The heating primary energy consumption of the "LV Connected" model is slightly higher than the "Non LV Connected" model. However, the "LV Connected" model's air temperature of the Bathrooms in winter season is higher 1 to 2 degrees in Celsius than the "Non LV Connected" model when the thermal performance meets the latest Energy Saving Standard. Moreover, if the models' thermal performance meet to the G1(HEAT20), the Bathrooms' air temperature will exceed 18 degree in Celsius more than 60% of the night. By the results of computational calculation, it is confirmed that cross ventilation respecting for the outside temperature and using external blinds can reduce cooling energy consumption in summer with meeting the indoor air temperature as the reference value of the Act on Maintenance of Sanitation in Buildings. It is also confirmed that "LV Connected" houses' air temperature of Bathrooms is higher than "Non LV Connected" houses. The differences of Heating & cooling load and indoor thermal environments on the model plans are revealed quantitatively which has been obtained qualitatively by the real measurements.

目次

第1章	序論	1
1.1	はじめに	1
1.2	本研究の目的と概要	1
1.3	本論文の構成	2
	参考文献<第1章>	3
第2章	本研究に関する基本事項	4
2.1	はじめに	4
2.2	住宅の外皮性能に関する基準・水準	4
2.2.1	省エネルギー基準の外皮性能基準	4
2.2.2	ZEHの外皮性能基準	5
2.2.3	HEAT20の外皮性能の推奨水準	5
2.3	温熱環境に関する基準	6
2.3.1	建築物衛生法の衛生管理基準	6
2.3.2	イギリス保健省の冬季の推奨温度	6
2.4	本研究で使用する温熱環境指標	6
2.4.1	作用温度	6
2.4.2	平均放射温度 MRT	7
2.5	冬季の温熱環境に影響を与える間取り	7
2.6	温熱環境シミュレーションで使用するソフトウェアとデータ	8
2.6.1	動的熱負荷計算プログラム AE-Sim/Heat	8
2.6.2	AE-CAD	8
2.6.3	EA 気象データ	8
2.7	箱ひげ図	9
2.8	おわりに	9
	参考文献<第2章>	10
	注釈<第2章>	10
第3章	温熱環境の実態調査	11
3.1	はじめに	11
3.2	対象住宅の概要	12
3.3	夏季の調査結果	13
3.4	冬季の調査結果	15
3.4.1	冬季の主居室の温熱環境	15
3.4.2	冬季の非居室の空気温度	17
3.4.3	冬季における主居室と非居室の空気温度の関係	18

3.5	おわりに	19
	参考文献<第3章>	20
第4章	温熱環境シミュレーションの計算概要	21
4.1	はじめに	21
4.2	非接Lプランモデルと接Lプランモデルの概要	22
4.2.1	非接Lプランの住宅モデル	22
4.2.2	接Lプランの住宅モデル	25
4.3	気象地点	28
4.4	外皮の性能と仕様	29
4.5	住宅モデルの設定条件	36
4.5.1	居住者の構成と在室者スケジュール	36
4.5.2	暖冷房設備	37
4.5.3	内部発熱・照明機器	40
4.5.4	換気設備	43
4.6	日射遮蔽強化・通風有りの住宅モデル	45
4.7	おわりに	46
	参考文献<第4章>	47
第5章	温熱環境シミュレーションの結果	48
5.1	はじめに	48
5.2	夏季の算出結果（高知）	49
5.2.1	夏季の主居室の温熱環境	49
5.2.2	夏季の寝室・子供室の温熱環境	53
5.2.3	冷房一次エネルギー消費量	55
5.3	夏季の算出結果（岡山と宇都宮）	56
5.4	冬季の算出結果（高知）	57
5.4.1	冬季の寝室・子供室の温熱環境（高知）	57
5.4.2	冬季の非居室の温熱環境（高知）	58
5.4.3	暖房一次エネルギー消費量（高知）	60
5.4.4	運転方式毎の暖房負荷と温熱環境	61
5.5	冬季の算出結果（岡山）	62
5.5.1	冬季の寝室・子供室の温熱環境（岡山）	62
5.5.2	冬季の非居室の温熱環境（岡山）	63
5.5.3	暖房一次エネルギー消費量（岡山）	64
5.6	冬季の算出結果（宇都宮）	65
5.6.1	冬季の寝室・子供室の温熱環境（宇都宮）	65
5.6.2	冬季の非居室の温熱環境（宇都宮）	66

5.6.3 暖房一次エネルギー消費量（宇都宮）	67
5.7 おわりに	68
参考文献<第5章>	70
第6章 総括	71
6.1 本論文の各章のまとめ	71
6.2 本研究の総括	74
謝辞	76
付録A 冬季の温熱環境シミュレーションの結果	77
付録B 夏季の温熱環境シミュレーションの結果	88

図目次

図 2-1 : 非接Lと接Lの平面プラン	7
図 2-2 : 箱ひげ図の凡例	9
図 2-3 : 平均値と最大値・最小値	9
図 3-1 : 対象住宅の属性	12
図 3-2 : 夏季の起居時における主居室の空気温度	13
図 3-3 : 夏季の起居時における主居室の相対湿度	14
図 3-4 : 夏季の起居時における主居室の絶対湿度	14
図 3-5 : 冬季の起居時における主居室の空気温度	15
図 3-6 : 冬季の起居時における主居室の相対湿度	16
図 3-7 : 冬季の起居時における主居室の絶対湿度	16
図 3-8 : 冬季の夜間における非居室の空気温度	17
図 3-9 : 冬季の夜間における主居室と非居室の空気温度 (H10 以前建設)	18
図 3-10 : 冬季の夜間における主居室と非居室の空気温度 (H11 以降建設)	18
図 4-1 : AE-CAD で作成した非接Lプランモデル	21
図 4-2 : 非接Lプランモデルの平面図 (左 : 2階、右 : 1階)	22
図 4-3 : 非接Lプランモデルの断面図 (左 : X1-X1'、右 : X2-X2')	22
図 4-4 : 接Lプランモデルの平面図 (左 : 2階、右 : 1階)	25
図 4-5 : 接Lプランモデルの断面図 (左 : X1-X1'、右 : X2-X2')	25
図 4-6 : モデル毎の外皮平均熱貫流率 U_A	29
図 4-7 : モデル毎の冷房期の平均日射熱取得率 η_{AC}	29
図 4-8 : 基礎の各部寸法	30
図 4-9 : 非接Lプランモデルの換気経路と換気風量[m ³ /h]	44
図 4-10 : 接Lプランモデルの換気経路と換気風量[m ³ /h]	44
図 4-11 : 通風を模擬した各室の機械換気設備の配置と換気風量 [m ³ /h]	45
図 5-1 : 夏季の休日の午前中における主居室の作用温度 (高知)	49
図 5-2 : 夏季の休日の起居時における主居室の空気温度 (高知)	50
図 5-3 : 夏季の夜間における主居室の空気温度 (高知)	50
図 5-4 : 夏季の休日の起居時における主居室の絶対湿度 (高知)	51
図 5-5 : 夏季の休日の起居時における主居室の相対湿度 (高知)	51
図 5-6 : 夏季の夜間における主居室の絶対湿度 (高知)	52
図 5-7 : 夏季の夜間における主居室の相対湿度 (高知)	52
図 5-8 : 夏季の就寝時における主居室の空気温度 (高知)	53
図 5-9 : 夏季の就寝時における主居室の絶対湿度 (高知)	54

図 5-10 : 夏季の就寝時における主居室の相対湿度 (高知)	54
図 5-11 : 冷房一次エネルギー消費量 (高知)	55
図 5-12 : 冷房一次エネルギー消費量 (岡山)	56
図 5-13 : 冷房一次エネルギー消費量 (宇都宮)	56
図 5-14 : 冬季の就寝時における寝室・子供室の空気温度 (高知 居室間歇運転)	57
図 5-15 : 冬季の夜間における非居室の空気温度 (高知 居室間歇運転)	58
図 5-16 : U_A 値と冬季夜間の浴室等の室温が 18°C 以上となる割合 (高知 居室間歇運転)	58
図 5-17 : 冬季の夜間における非居室の空気温度 (高知 居室連続運転)	59
図 5-18 : U_A 値と冬季夜間の浴室等の室温が 18°C 以上となる割合 (高知 居室連続運転)	59
図 5-19 : 暖房一次エネルギー消費量 (高知 居室間歇運転)	60
図 5-20 : 暖房一次エネルギー消費量 (高知 居室連続運転)	60
図 5-21 : 年間暖房負荷と冬季夜間の浴室等の空気温度が 18°C 以上となる割合 (高知)	61
図 5-22 : 冬季の就寝時における寝室・子供室の空気温度 (岡山 居室間歇運転)	62
図 5-23 : 冬季の夜間における非居室の空気温度 (岡山 居室間歇運転)	63
図 5-24 : U_A 値と冬季夜間の浴室等の室温が 18°C 以上となる割合 (岡山 居室間歇運転)	63
図 5-25 : 暖房一次エネルギー消費量 (岡山 居室間歇運転)	64
図 5-26 : 冬季の就寝時における寝室・子供室の空気温度 (宇都宮 居室間歇運転)	65
図 5-27 : 冬季の夜間における非居室の空気温度 (宇都宮 居室間歇運転)	66
図 5-28 : U_A 値と冬季夜間の浴室等の室温が 18°C 以上となる割合 (宇都宮 居室間歇運転)	66
図 5-29 : 暖房一次エネルギー消費量 (宇都宮 居室間歇運転)	67
図 5-30 : 暖冷房一次エネルギー消費量 (高知)	69
図 5-31 : 暖冷房一次エネルギー消費量 (岡山)	69
図 5-32 : 暖冷房一次エネルギー消費量 (宇都宮)	69

表目次

表 2-1 : 外皮平均熱貫流率 U_A の基準値.....	5
表 2-2 : 冷房期の平均日射熱取得率 η_{AC} の基準値.....	5
表 2-3 : ZEH の外皮平均熱貫流率 U_A の基準値.....	5
表 2-4 : HEAT20 の外皮平均熱貫流率 U_A [$W/m^2 \cdot K$] の推奨水準.....	5
表 2-5 : 建築物環境衛生管理基準における空気環境の基準.....	6
表 2-6 : プロジェクト情報.....	8
表 3-1 : 測定項目と測定機器.....	11
表 3-2 : 対象住宅の概要.....	12
表 4-1 : 天井・床等の面積、および居室・非居室の面積.....	23
表 4-2 : 窓面積.....	23
表 4-3 : ドア面積.....	23
表 4-4 : 外壁面積.....	24
表 4-5 : 外皮と土間床の面積.....	24
表 4-6 : 基礎周長.....	24
表 4-7 : 天井・床等の面積、および居室・非居室の面積.....	26
表 4-8 : 窓面積.....	26
表 4-9 : ドア面積.....	26
表 4-10 : 外壁面積.....	27
表 4-11 : 外皮と土間床の面積.....	27
表 4-12 : 基礎周長.....	27
表 4-13 : 使用する標準年 EA 気象データの概要.....	28
表 4-14 : 各部位の工法.....	30
表 4-15 : 基礎の各部寸法.....	30
表 4-16 : 外壁・天井・床の断面構成 (等級 3).....	31
表 4-17 : 窓の仕様 (等級 3).....	31
表 4-18 : ドアの仕様 (等級 3).....	31
表 4-19 : 外壁・天井・床の断面構成 (等級 4).....	32
表 4-20 : 床下に接する部分の基礎の断面構成 (等級 4).....	32
表 4-21 : 外気に接する部分の基礎の断面構成 (等級 4).....	32
表 4-22 : 窓の仕様 (等級 4).....	32
表 4-23 : ドアの仕様 (等級 4).....	32
表 4-24 : 外壁・天井・床の断面構成 (HEAT20 G1).....	33
表 4-25 : 床下に接する部分の基礎の断面構成 (HEAT20 G1).....	33

表 4-26 : 外気に接する部分の基礎の断面構成 (HEAT20 G1)	33
表 4-27 : 窓の仕様 (HEAT20 G1)	33
表 4-28 : ドアの仕様 (HEAT20 G1)	33
表 4-29 : 外壁の断面構成	34
表 4-30 : 天井・床の断面構成 (HEAT20 G2)	34
表 4-31 : 床下に接する部分の基礎の断面構成 (HEAT20 G2)	34
表 4-32 : 外気に接する部分の基礎の断面構成 (HEAT20 G2)	35
表 4-33 : 窓の仕様 (HEAT20 G2)	35
表 4-34 : ドアの仕様 (HEAT20 G2)	35
表 4-35 : 居室の在室者スケジュール	36
表 4-36 : エアコンの能力	37
表 4-37 : LD の運転スケジュール	37
表 4-38 : 寝室の運転スケジュール	38
表 4-39 : 子供室 1 の運転スケジュール	38
表 4-40 : 子供室 2 の運転スケジュール	39
表 4-41 : 気象地点毎の暖房・冷房期間	39
表 4-42 : 内部発熱と照明機器の設定条件	40
表 4-43 : 内部発熱のスケジュール (平日)	40
表 4-44 : 内部発熱のスケジュール (休日)	41
表 4-45 : 照明機器のスケジュール (平日)	41
表 4-46 : 照明機器のスケジュール (休日)	42
表 4-47 : 各室の局所換気の定格換気風量	43
表 4-48 : 局所換気設備のスケジュール	43
表 4-49 : 外付けブラインド	45
表 5-1 : 各図に示す住宅名称	48

第 1 章

序論

第1章 序論

1.1 はじめに

住宅の温熱環境が悪化すると、高齢者は夏季に熱中症^[1-1]、冬季にヒートショックを起こす危険性が高い^[1-2]と言われており、住宅内での温度変化に起因した熱的危険性が課題となっている。また地球温暖化や化石燃料の枯渇などのエネルギー問題に直面している今、家庭部門においても実効的な省エネルギー対策が求められている。その対策として高断熱化、日射遮蔽、自然エネルギーの活用および高効率設備の導入等が有効であり、その性能・効果を定量化し評価する必要がある。建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律（建築物省エネ法）^[1-3]の省エネルギー基準では、設計時の外皮性能（断熱性能、日射遮蔽性能）と一次エネルギー消費量の基準が設けられおり、それらの基準を満たすことが推奨されている。しかし、省エネルギー基準の基準値は現在の性能水準の普及状況を勘案した最低基準であることや、住宅毎に立地条件、気象条件、居住者の住まい方等が異なることから、外皮性能が基準を満たせば必ず適正な温熱環境を確保できるとは限らないことが予想される。また先行研究^[1-4]の調査結果より、外皮性能が省エネルギー基準を満たしていても、夏季と冬季に適正な温熱環境を確保できていない住宅がみられた。特に冬季は、対象住宅が居室のみを間歇暖房する方式を採用しているため、暖房の行われていない脱衣所やトイレなどの非居室の室温が低く、断熱性能だけでなく間取りの違いで室温が異なる結果となった。夏季は窓開け主体で過ごす住宅が多くみられ、温湿度が建築物衛生法の衛生管理基準を満たす割合が少ない住宅がみられた。

1.2 本研究の目的と概要

本研究では住宅の断熱性能や間取りなどの住宅属性と居住者の温熱環境調整行為の違いによる室内の温熱環境と暖冷房エネルギー消費への影響について明らかにすることを目的として、室内温熱環境の実態調査と温熱環境シミュレーションを行った。室内温熱環境の実態調査では高知県の複数の住宅を対象として夏季と冬季に温湿度の測定を実施し、断熱性能、間取りおよび温熱環境調整行為の違いによる温熱環境への影響について実態を把握した。特に冬季はヒートショックを引き起こす危険性のある脱衣所やトイレの温熱環境が、暖房の行われている主居室との位置関係で異なることに着目して分析を行った。温熱環境シミュレーションでは、温熱環境シミュレーションプログラム AE-Sim/Heat を用いて、実測調査では把握しきれない住宅属性、暖冷房設備の使用状況、気象等といった温熱環境に影響を与える様々な条件の組み合わせの複数の住宅モデルを基に、温熱環境や暖冷房エネルギー消費を算出した。

1.3 本論文の構成

本論文は序論と総括を含む7つの章で構成されている。以下に各章の概要を示す。

第1章「序論」では、研究の背景、目的、概要および本論文の構成を示している。

第2章「本研究に関する基本的事項」では、外皮性能や温熱環境の基準、本研究で着目する住宅の間取りおよび温熱環境シミュレーションプログラム等の本研究に係る基本的な事項を示している。

第3章「温熱環境の実態調査」では、高知県内の複数の住宅を対象として実施した温熱環境の実態調査の概要と結果を示している。

第4章「温熱環境シミュレーションの計算概要」では、AE-Sim/Heatによる温熱環境シミュレーションの内容や、AE-CADで作成する住宅モデルの詳細について示している。

第5章「温熱環境シミュレーションの結果」では、AE-Sim/Heatによる熱環境シミュレーションの算出結果を示している。

第6章「総括」では、本論文のまとめと研究の総括および今後の展望について言及している。

参考文献<第1章>

- [1-1] 環境省熱中症予防情報サイト:高齢者と子供の注意事項, <http://www.wbgt.env.go.jp/pdf/envman/3-2.pdf>, 2019.12 取得
- [1-2] 東京都健康長寿医療センター研究所:冬場の住居内の温度管理と健康について, <https://www.tmgig.jp/research/release/2013/1211.html>, 2019.12 取得
- [1-3] 国土交通省:建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律(建築物省エネ法)の概要, <https://www.mlit.go.jp/common/001204678.pdf>, 2019.12 取得
- [1-4] 西山亮 田島昌樹, 高知県の住宅を対象とした室内空気調査, 高知工科大学卒業論文

第 2 章

本研究に関する基本事項

第2章 本研究に関する基本事項

2.1 はじめに

本章では、本研究に関する基本的事項についてまとめており、「外皮性能の基準」、「温熱環境の基準」、「本研究で使用する温熱環境指標」「冬季の温熱環境に影響を与える間取り」、「温熱環境シミュレーションで使用するソフトウェアとデータ」、および「箱ひげ図」について記している。

2.2 住宅の外皮性能に関する基準・水準

2.2.1 省エネルギー基準の外皮性能基準

建築物省エネ法^[2-1]で定められている住宅の省エネルギー基準には、設備機器などの一次エネルギー消費量を評価する基準と、住宅の窓や外壁などの外皮性能を評価する基準の2つの基準があり、その両方を満たすことで省エネルギー基準を満たしたことになる。外皮性能基準については断熱性能を評価する外皮平均熱貫流率 U_A (式 2-1) による基準と、冷房期の日射遮蔽性能を評価する平均日射熱取得率 η_{AC} (式 2-2) による基準がある。求められる省エネルギー性能は地域毎に異なるため、全国を1~8の8つの地域に指定した地域区分というものがあり、地域毎に異なる基準値が定められている。地域別の外皮平均熱貫流率 U_A と冷房期および平均日射熱取得率 η_{AC} の基準値を表 2-1、表 2-2 にそれぞれ示す。

$$U_A = \frac{q}{\sum A} \quad (2-1)$$

- U_A : 外皮平均熱貫流率 [W/m²K]
 q : 単位温度差当たりの外皮熱損失量[W/K]
 A : 外皮の部位の面積 [m²]

$$\eta_{AC} = \frac{m_c}{\sum A} \quad (2-2)$$

- η_{AC} : 冷房期の平均日射熱取得率 [-]
 m_c : 単位日射強度当たりの冷房期の日射熱取得量 [m²]
 A : 外皮の部位の面積 [m²]

表 2-1：外皮平均熱貫流率 U_A の基準値

地域区分	1	2	3	4	5	6	7	8
U_A の基準値 [$W/m^2 \cdot K$]	0.46	0.46	0.56	0.75	0.87	0.87	0.87	-

表 2-2：冷房期の平均日射熱取得率 η_{AC} の基準値

地域区分	1	2	3	4	5	6	7	8
η_{AC} の基準値 [-]	-	-	-	-	3.0	2.8	2.7	3.2

2.2.2 ZEH の外皮性能基準

ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）とは、「外皮の断熱性能等を大幅に向上させるとともに、高効率な設備システムの導入により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネルギーを実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支がゼロとすることを目指した住宅」^[2-2]のことで、省エネルギー基準と同様に一次エネルギー消費量を評価する基準と、外皮性能を評価する基準がある。ZEH の地域別の外皮平均熱貫流率 U_A の基準値を表 2-3 に示す。

表 2-3：ZEH の外皮平均熱貫流率 U_A の基準値

地域区分	1	2	3	4	5	6	7	8
U_A の基準値 [$W/m^2 \cdot K$]	0.40	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	-

2.2.3 HEAT20 の外皮性能の推奨水準

HEAT20^[2-3]とは「2020年を見据えた住宅の高断熱化技術開発委員会」の略称で、住宅における更なる省エネルギー化をはかるため、断熱などの建築的対応技術に着目し、住宅の熱的シェルターの高性能化と居住者の健康維持と快適性向上のための先進的技術開発、評価手法、そして断熱化された住宅の普及啓蒙を目的とした団体で、省エネルギー基準の区分された地域別に外皮平均熱貫流率 U_A の推奨水準が定められている。HEAT20 の地域別の外皮平均熱貫流率 U_A の基準値を表 2-4 に示す。水準はグレード1 (G1) とグレード2 (G2) の2種類となっている。

表 2-4：HEAT20 の外皮平均熱貫流率 U_A [$W/m^2 \cdot K$] の推奨水準

推奨グレード	地域区分							
	1	2	3	4	5	6	7	8
HEAT20 G1	0.34	0.34	0.46	0.56	0.56	0.56	0.56	-
HEAT20 G2	0.28	0.28	0.34	0.46	0.46	0.46	0.46	-

2.3 温熱環境に関する基準

2.3.1 建築物衛生法の衛生管理基準

特定建築物の所有者、占有者その他の者で当該特定建築物の維持管理について権原を有する者は、建築物衛生法に規定される「建築物環境衛生管理基準^[2-4]」に従って当該特定建築物の維持管理をしなければならない。本研究では建築物環境衛生管理基準の空気環境の基準に基づいて温熱環境を評価する。空気温度と相対湿度の基準値を表 2-5 に示す。

表 2-5：建築物環境衛生管理基準における空気環境の基準

項目	基準
空気温度	一 17℃以上 28℃以下 二 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。
相対湿度	40%以上 70%以下

2.3.2 イギリス保健省の冬季の推奨温度

イギリス保健省の防寒計画^[2-5]では室温が 18℃未満で血圧上昇・循環器疾患の恐れがあり、16℃未満で呼吸器系疾患への抵抗力が低下するとして、冬季の住宅内の許容温度を 18℃と定めている。日本サステナブル建築協会が実施している住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査^[2-6]においても、18℃を閾値として室温と居住者の健康の関係について分析を行っており、本研究においても 18℃を閾値として冬季の温熱環境を評価した。

2.4 本研究で使用する温熱環境指標

2.4.1 作用温度

人体は現実の環境下で、周囲空間との間で対流と放射による熱交換を行っている。これと同じ量の熱を交換するような、均一温度の閉鎖空間の温度を作用温度といい、式(2-3)のように表現される。空気温度と平均放射温度の対流熱伝達率と、線形放射熱伝達率の重み付け平均で表される。

$$t_o = \frac{h_c t_a + h_r t_r}{h_c + t_r} \quad (2-3)$$

t_o : 作用温度 [°C]

t_a : 空気温度 [°C]

t_r : 平均放射温度 [°C]

h_c : 人体の対流熱伝達率 [°C]

h_r : 人体の線形放射熱伝達率 [°C]

2.4.2 平均放射温度 MRT

平均放射温度 (MRT:Mean Radiant Temperature) とは実際の不均一な放射場において、在室者が周囲環境と放射熱交換を行うのと同量の放射熱交換を行うような、均一温度の仮想閉鎖空間の表面温度である。平均放射温度には、人体と周囲との形態係数が考慮されている。式(2-4)に平均放射温度の定義を示す。また、この平均放射温度は別途、グローブ温度、空気温度、風速から式(2-5)により概算できることが知られている。

$$MRT = \sqrt[4]{\sum \varphi_i (t_i + 273)^4} - 273 \quad (2-4)$$

MRT : 平均放射温度 [°C]

t_i : i 番目の周壁・天井・床面などの表面温度 [°C]

φ_i : i 番目の周壁・天井・床面などと人体の形態係数 [-]

$$MRT = t_g + 2.37\sqrt{v}(t_g - t_a) \quad (2-5)$$

t_g : グローブ温度 [°C]

v : 風速 [m/s]

t_a : 温度 [°C]

2.5 冬季の温熱環境に影響を与える間取り

先行研究^[2-7]の調査結果より、本研究では、冬季にヒートショックを引き起こす危険性のある脱衣所、浴室およびトイレなどの非居室の温熱環境に影響を与える間取りとして、主居室と非居室の位置関係に着目した。非居室が主居室に隣接する場合を「接L」、隣接しない場合を「非接L」とする。図 2-1 にその平面の例を示す。この場合、脱衣所などの非居室の室温は接Lの方が高くなることが考えられる。

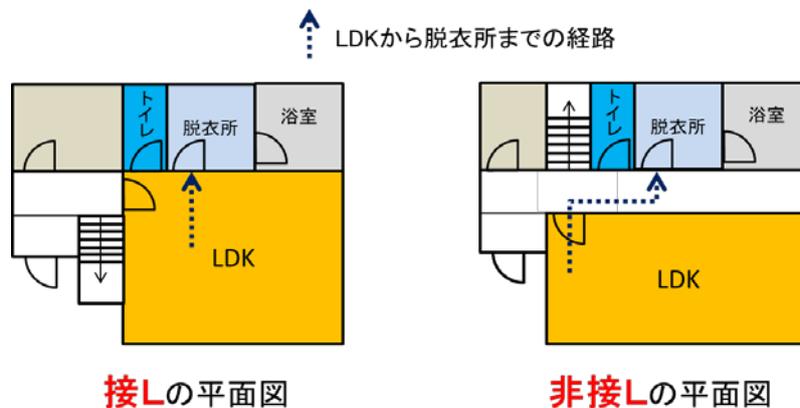


図 2-1 : 非接Lと接Lの平面プラン

2.6 温熱環境シミュレーションで使用するソフトウェアとデータ

2.6.1 動的熱負荷計算プログラム AE-Sim/Heat

AE-Sim/Heat^[注 2-1]は、建築の温熱環境シミュレーションおよびシミュレーション結果の表示・加工等を行うソフトウェアで、「熱回路網」と呼ばれるモデルを構築して、建物の熱性能や熱環境を解析できる。本研究では、住宅属性、暖冷房機器の使用方法および気象条件の異なる様々な住宅モデルを作成し網羅的な分析を行うために、比較的容易にモデルが作成でき、熱回路網法による温熱環境解析ソフトウェアの中でも計算精度の妥当性・信頼性の高い AE-Sim/Heat を用いて温熱環境シミュレーションを行った。

2.6.2 AE-CAD

AE-CAD^[注 2-2]は、建築環境に関する様々なシミュレーションプログラムの入力データを作成するための汎用入力インターフェースで、AE-Sim/Heat は AE-CAD で作成した建築モデルデータを計算用入力データに変換して、その計算用入力データを使用して温熱環境シミュレーションを行う。

計算モードは通常計算とし、その他に入力したプロジェクト情報を表 2-6 に示す。計算する期間は 1 年間で、暖房期、中間期および冷房期の 3 つに区分されており、使用する気象データに基づいて決定される。また、土曜日と日曜日を休日とし、平日と休日とで在室者や暖冷房機器等の設定を異なる設定にすることが可能となっている。

表 2-6：プロジェクト情報

項目	入力値
地盤熱伝導率 [W/mK]	0.698
地盤容積比率 [KJ/m ³ K]	2000
不易層深さ [m]	10
地表面反射率 [%]	10

2.6.3 EA 気象データ

AE-Sim/Heat の計算に用いる気象データは 1995 年版と 2000 年版の標準年 EA（拡張アメダス）気象データとした。EA 気象データ^[2-8]とは、気象庁のアメダスで観測された気象データの欠測を補充し、異常値と判断されるデータを修正し、アメダスで観測されていない日射量、湿度、大気放射量のデータを補充して作成された全国 842 地点の特別気象データである。標準年 EA 気象データとは、842 の地点別に、十数年間の EA 気象データから、月別にそれぞれ平均的な年を選択して繋ぎあわせた仮想の 1 年間の気象データである。1995 年版の標準年 EA 気象データは 1981～1995 年の EA 気象データから作成されたもので、2000 年版は 1991～2000 年の EA 気象データから作成されたものである。標準年 EA 気象データを 1995 年版と 2000 年版の 2 種類を使用した理由については 4.3 で後述する。

2.7 箱ひげ図

本研究で使用する箱ひげ図の凡例を図 2-2 に示す。また 25～75%タイルを省略し、平均値を示した図 2-3 のような図も記載している。

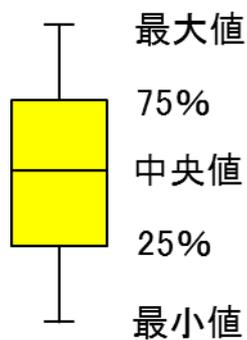


図 2-2：箱ひげ図の凡例

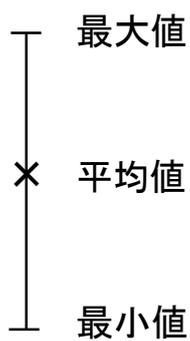


図 2-3：平均値と最大値・最小値

2.8 おわりに

本章では、本研究に関する基本的事項について示した。次章では温熱環境の実態調査の概要と結果について示す。

参考文献<第2章>

- [2-1] 国土交通省, 建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律 (建築物省エネ法) の概要, <https://www.mlit.go.jp/common/001204678.pdf>, 2019.12 取得
- [2-2] 経済産業省資源エネルギー庁, ZEH (ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス), https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/index03.html, 2019.12 取得
- [2-3] HEAT20 : HEAT20 とは, <http://www.heat20.jp/heat20towa.html>, 2019.12 取得
- [2-4] 厚生労働省, 建築環境衛生管理基準, <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>, 2019.12 取得
- [2-5] The Cold Weather Plan for England, Protecting health and reducing harm from cold weather, Public Health England, 2015
- [2-6] 村上周三 吉野博 伊香賀俊治 藤野善久 安藤真太郎 吉村健清 苅尾七臣 星旦二久保達彦, スマートウェルネス住宅等推進調査事業の概要 住宅の断熱化と居住者の健康への影響に関する全国調査 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2017.8
- [2-7] 西山亮 田島昌樹, 高知県の住宅を対象とした室内空気調査, 高知工科大学卒業論文
- [2-8] 日本建築学会, 拡張アメダス気象データ 1981-2000 Expanded AMEDAS Weather Data

注釈<第2章>

- [2-1] 株式会社 建築環境ソリューションズ, 温熱環境シミュレーションプログラム AE-Sim/Heat
- [2-2] 株式会社 建築環境ソリューションズ, 温熱環境シミュレーションプログラム用汎用入力インターフェイス AE-CAD Ver.3

第3章

温熱環境の実態調査

第3章 温熱環境の実態調査

3.1 はじめに

高知県内の省エネルギー基準の地域区分における 6 地域および 7 地域に建設された戸建て住宅を対象とし、温熱環境の実態調査を行った。調査は 2018 年度夏季および冬季に約 1 週間～3 週間の測定を実施した。先行研究の調査^[3-1]では 2015 年から 2017 年度の 3 年間で、夏期および冬期に約 1 週間～1 カ月間の測定を実施しており、本研究では先行研究の調査結果も含めて分析した結果を示す。調査の測定項目と使用測定機器を表 3-1 に示す。測定場所は主居室（リビングまたはダイニング）と非居室（脱衣所またはトイレ）を対象とし、測定間隔は 10 分とした。測定機器は床上 75cm～150cm の範囲を基本として、生活上不便にならないことを優先した位置に設置した。また外気温度は軒下などの日射の当たらない場所で測定を行い、外気温度を測定する場所を確保できなかった住宅は気象庁より対象住宅の建設地域に最も近い観測地点の気象データを取得し外気温度として扱った。また居住者の生活スケジュールや住まい方等を把握するためのアンケート調査も実施した。

対象住宅の設計資料は平面図等を入手しているが、断熱仕様や性能を把握することができない資料をほとんどの住宅で入手できなかったため、断熱性能の違いで温熱環境を比較する際には建設年の違いに着目した。断熱性能が低い住宅と高い住宅とで比較したい場合には、省エネルギー基準が改正され、現行とほぼ同等の外気性能基準が定められた平成 11 年以降に建設された住宅（以下、H11 以降建設の住宅）と、それ以前に建設された住宅（以下、H10 以前建設の住宅）の 2 グループに分けて比較した。

表 3-1：測定項目と測定機器

項目	使用機器	測定場所	測定間隔
空気温度	RTR-503, RTR-53A,	主居室	10 分
相対湿度	TR-72wf, HI-2000SD	非居室	

3.2 対象住宅の概要

測定対象とした住宅 21 件（6 地域：7 件，7 地域：14 件）の概要を表 3-2 に、対象住宅の属性を図 3-1 に示す。対象住宅は昭和 54 年以前に建てられた割合が 33%で、高知県の住宅・土地統計調査^[3-2]による結果と同等の比率であった。また平成 11 年以降に建てられた住宅が約半数を占めた。平均延べ面積は 110.5m² で高知県の平均延べ面積^[3-3]である 118.3m²（2013 年）と比較すると 7.8m² 小さい結果となった。平均世帯人数は 2.9 人で、高知県の国勢調査（2015/10/1）^[3-4]による 2.2 人と比較すると、0.7 人多い結果となった。

D 邸は建替え、H 邸は省エネルギー改修を 2018 年に行っており、住宅名称は建替え後の D 邸を D'邸、改修後の H 邸を H'邸としている。

表 3-2：対象住宅の概要

名称	測定年度	測定期間		地域区分	建設年	構造	階数	延べ面積 [m ²]	世帯人数	主居室での主な使用機器	
		夏期	冬期							冷房	暖房
A	2015	8/22~9/6	1/9~1/16	6	T10以前	木造	1階	120	3人	扇風機	石油ストーブ
B	2015	8/18~8/30	12/23~12/29	6	S40以前	木造	1階	83	2人	エアコン	石油ストーブ
C	2017	8/1~8/31	12/28~1/11	6	S45以前	木造	2階	224	2人	エアコン	エアコン
D	2017		1/23~1/29	7	S48	木造	2階	76	2人		石油ファンヒーター
E	2018		12/11~1/3	7	S54	木造	2階	112	2人		エアコン
F	2018		12/11~1/4	7	S54	木造	1階	84	1人		石油ストーブ
G	2015		12/23~12/29	6	S55以前	木造	1階	138	5人		エアコン
H	2017		1/23~1/29	7	S56	木造	1階	40	2人		こたつ
I	2018		12/11~1/4	6	H6	木造	2階	106	2人		エアコン
J	2015	8/18~9/6	1/9~1/16	7	H9	木造	2階	120	4人	扇風機	石油ファンヒーター
K	2016		12/28~1/13	7	H12	鉄骨造	2階	150	4人		石油ファンヒーター
L	2017	8/1~8/31	12/28~1/11	7	H17	木造	2階	211	2人	扇風機	石油ファンヒーター
M	2015	8/15~8/31		6	H17	木造	2階	120	3人	エアコン	
N	2016		1/4~1/14	7	H24	木造	2階	110	4人		エアコン
O	2017	8/10~8/20	12/28~1/11	7	H25	木造	1階	55	2人	エアコン	石油ファンヒーター(メイン)、エアコン
P	2017	8/22~8/29	12/28~1/11	7	H25	木造	2階	88	3人	エアコン	エアコン
Q	2017	8/30~9/5	12/28~1/11	7	H25	木造	2階	117	6人	エアコン	エアコン
R	2017	8/30~9/5	12/28~1/11	7	H26	木造	2階	92	4人	エアコン	エアコン
D'	2018	8/17~9/10	2/2~2/11	7	H30	木造	3階	101	2人	なし	石油ファンヒーター
H'	2018	8/25~9/10	2/3~2/11	7	H30	木造	1階	41	2人	なし	こたつ
S	2018	8/31~9/9		6	不明	木造	2階	133	不明	エアコン	

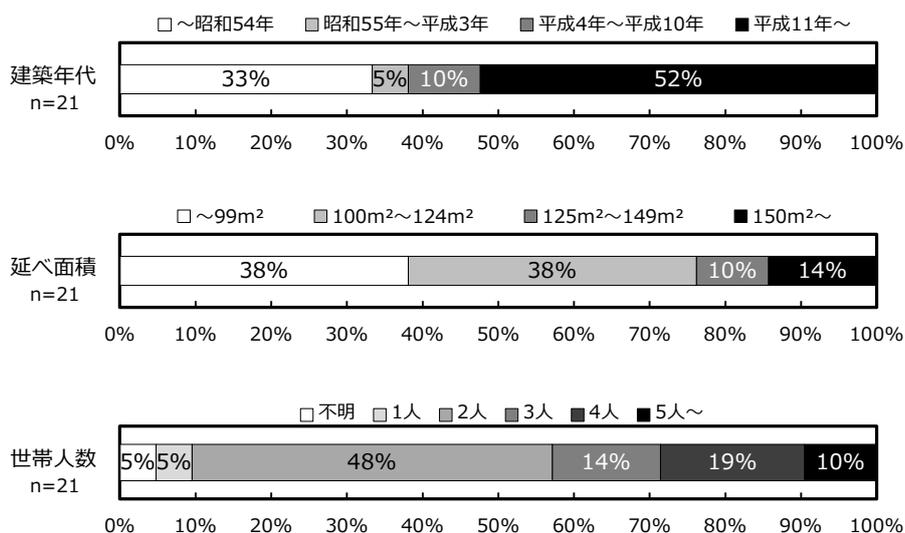


図 3-1：対象住宅の属性

3.3 夏季の調査結果

夏季は13件の住宅を対象として実態調査を実施した。主居室の空気温度、相対湿度および絶対湿度の箱ひげ図を下記に示す。抽出したデータの時間帯は起居時としたが、起居時は住宅毎に異なるため、自立循環型住宅のガイドライン^[3-5]で起居時としている7～22時とした。図中には建築物衛生法の衛生管理基準値^[3-6]の範囲をグレーで示し、住宅名称の下に2019年時点での築年数、括弧内に衛生管理基準値の適合割合を示す。

(1) 空気温度

夏季の起居時における主居室の空気温度を図3-2に示す。空気温度の適合割合は、建設年に関係なく全体的に低い。A、J、L、D^{''}、H^{''}邸はエアコンを使用せずに扇風機の使用や窓開けで過ごしている住宅で、A邸以外は比較的空気温度が高い。またO邸は窓開け主体で過ごしており、エアコンの使用率が低いことから室温が比較的高くなっていることが考えられる。S邸は主居室に1日中在室しており、在室中はエアコンの使用のみで過ごしているため、室温が比較的低く、適合割合は91%となっている。

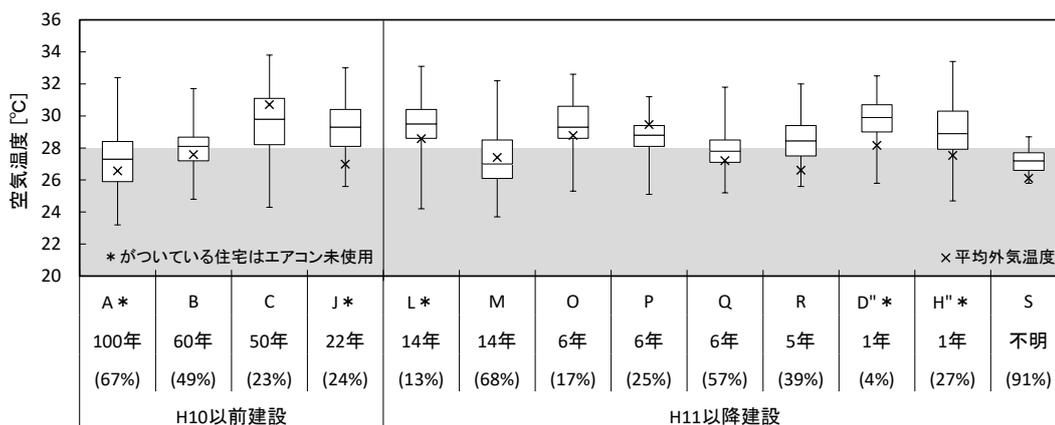


図 3-2：夏季の起居時における主居室の空気温度

(2) 相対湿度

夏季の起居時における主居室の相対湿度を図 3-3 に示す。エアコンを使用していない住宅の相対湿度が比較的高く、使用していない住宅の中の D''邸以外の住宅は衛生管理基準の適合割合が 50%以下となっている。在室時にエアコンを使用している S 邸は適合割合が 100%となっているため、エアコンによる除湿の影響だと考えられる。

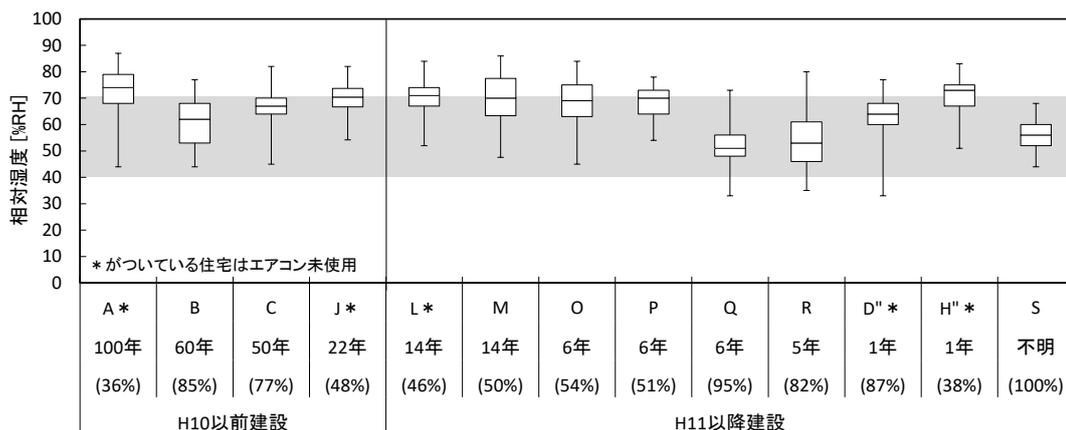


図 3-3：夏季の起居時における主居室の相対湿度

(3) 絶対湿度

夏季の起居時における主居室の絶対湿度を図 3-4 に示す。絶対湿度は築年数の短い Q、R、S 邸は絶対湿度が比較的低いため、エアコンの除湿や換気ができていると考えられる。

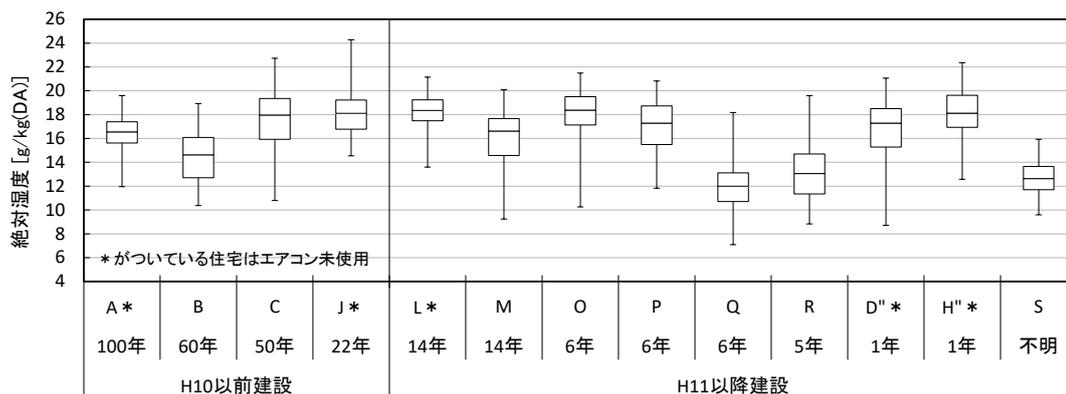


図 3-4：夏季の起居時における主居室の絶対湿度

3.4 冬季の調査結果

冬季は19件の住宅を対象として実態調査を実施した。主居室の空気温度、相対湿度および絶対湿度と、非居室（脱衣場またはトイレ）の空気温度の箱ひげ図を下記に示す。抽出したデータの時間帯は、主居室は起居時（7～22時）とし、非居室は在宅時でかつ脱衣所を利用する可能性の高い夜間（18～22時）とした。空気温度の図中にはイギリス保健省の防寒計画^[3-7]で定められている冬期の住宅の許容温度の18℃以上となる範囲を、相対湿度の図中には建築物衛生法の衛生管理基準値の範囲をグレーで示し、その適合割合と2019年時点での築年数を住宅名称の下に示す。また主居室と非居室の空気温度の散布図も下記に示す。

3.4.1 冬季の主居室の温熱環境

(1) 空気温度

冬季の起居時における主居室の空気温度を図3-5に示す。空気温度は、断熱性能が低いと考えられるH10以前建設の住宅の方が比較的低い結果となっている。H11以降建設の住宅の中でもP、H''邸はほとんど18℃以下となっているが、P邸はエアコンの使用率が低く、H''邸はエアコンを使用せずにこたつで過ごしているため室温が低くなっていると考えられる。

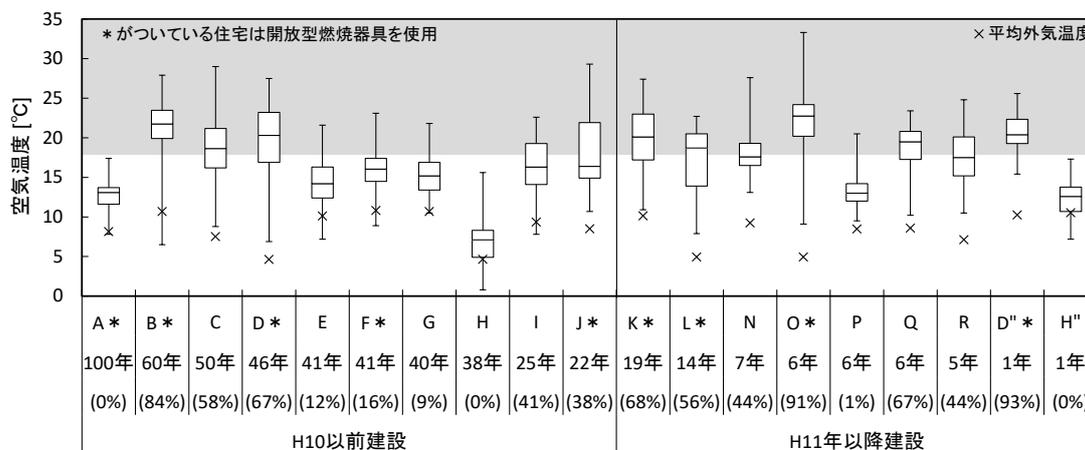


図 3-5：冬季の起居時における主居室の空気温度

(2) 相対湿度

冬季の起居時における主居室の相対湿度を図 3-6 に示す。相対湿度は衛生管理基準値の適合割合が全体的に高く、ほとんどの住宅が 70%以上となっているが、90%以上となっている住宅のほとんどは空気温度が低いことから相対湿度が高くなっている。

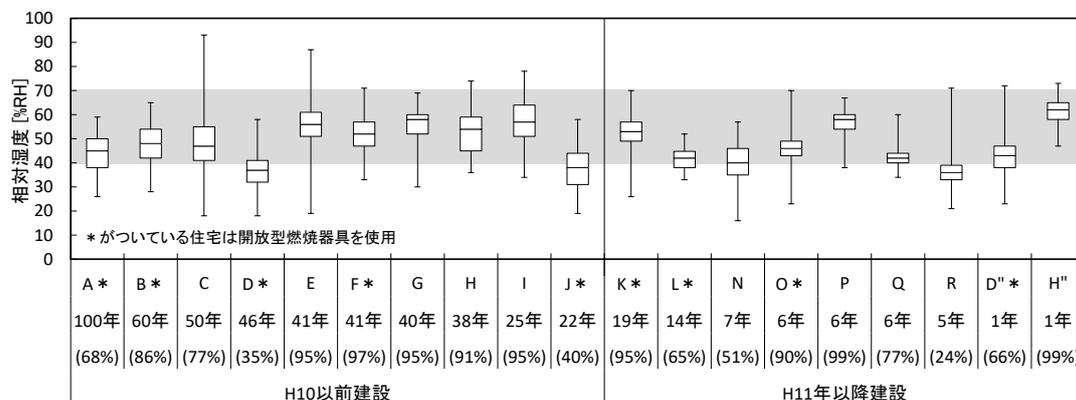


図 3-6：冬季の起居時における主居室の相対湿度

(3) 絶対湿度

冬季の起居時における主居室の絶対湿度を図 3-7 に示す。絶対湿度は B、K、O 邸が比較的高く、これらの住宅は空気温度と相対湿度ともにそれぞれの基準値の適合割合が高いため、十分な暖房とともに加湿も行っていると考えられる。おそらくその加湿は開放燃焼器具の使用で発生する水蒸気による影響が大きいと考えられる。しかし、開放型燃焼器具は二酸化窒素等の有害物質を排出するため、室内空気汚染度はエアコンで暖房している住宅よりも悪化していることが予想される。

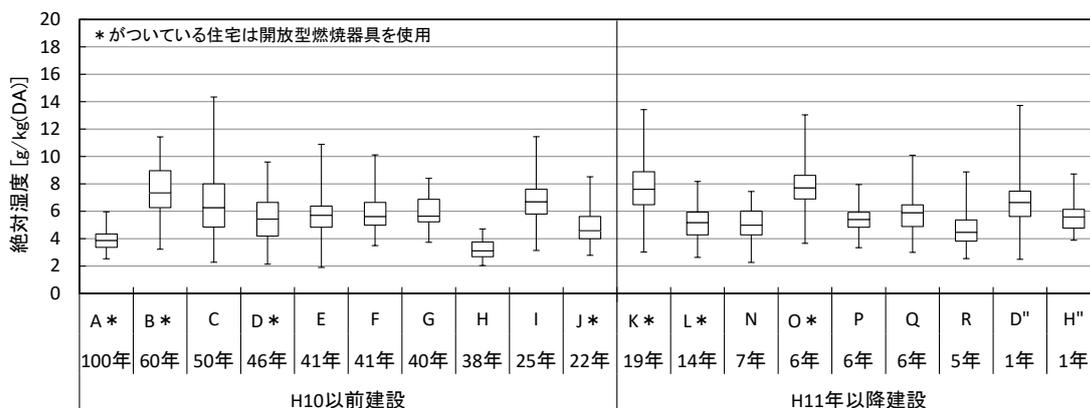


図 3-7：冬季の起居時における主居室の絶対湿度

3.4.2 冬季の非居室の空気温度

冬季の夜間における非居室の空気温度を図 3-8 に示す。非居室の空気温度は建設年に関係なく全体的に室温が低く、ほとんど 18°C 以下となっている。脱衣所の空気温度を測定した D 邸と建替え後の D'' 邸を比較すると、建替え後の D'' 邸の方が、平均外気温が高いことや、断熱性能が高いことから D 邸よりも空気温度が高くなることが予想されるが、結果としては建替え前の D 邸の方が高いという結果になっている。これは第 2 章で記述した間取りの違いによるものだと考えられる。建替え前は主居室と脱衣所が隣接した「接L」なのに対し、建替え後は脱衣所が主居室と隣接していない「非接L」であるため、建替え前の D 邸の脱衣所の方が、空気温度が高くなっていると考えられる。

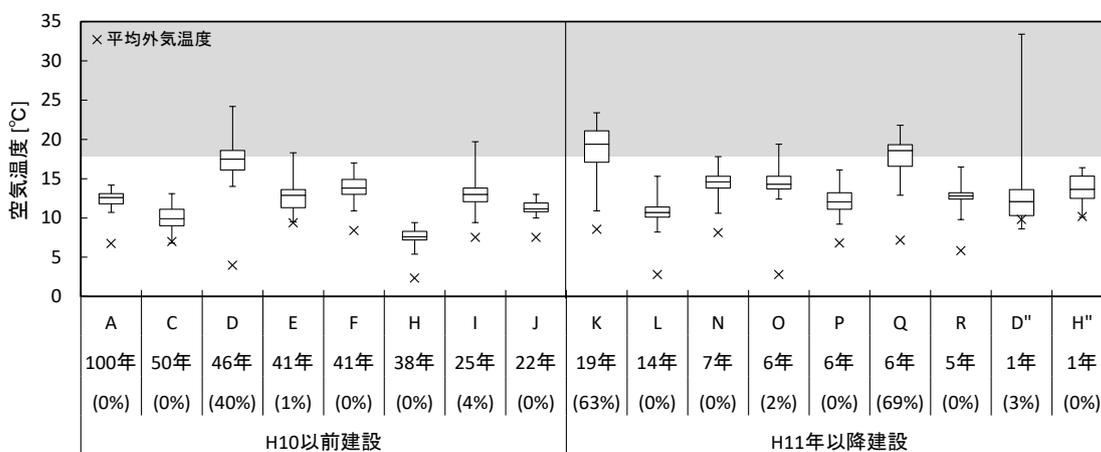


図 3-8 : 冬季の夜間における非居室の空気温度

3.4.3 冬季における主居室と非居室の空気温度の関係

非接Lと接Lの2グループに分けて、それぞれのグループで、夜間の主居室と非居室の空気温度からマハラノビス距離による95%信頼楕円を作成し、各住宅の平均値をプロットした散布図を下記に示す。H10以前建設の住宅を図3-9に、H11以降建設の住宅を図3-10に示し、図中には18°C未満でかつ主居室と非居室の温度差が10K以上となる範囲を赤色で示している。H10以前建設、H11以降建設の住宅ともに空気温度は非接Lよりも接Lの方が高く、11以降建設の住宅だと約4°C高い。また接LのK、Q邸は空気温度の平均値が18°C以上でかつ主居室との温度差が小さくなっている。相関係数も接Lプランの方が高くなっていることから、接Lの住宅は主居室の空気温度が高くなるにつれ、隣接した非居室の空気温度も高くなっていることが考えられる。

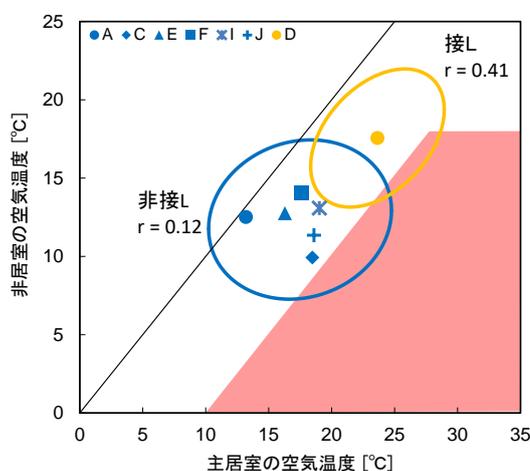


図 3-9：冬季の夜間における主居室と非居室の空気温度（H10 以前建設）

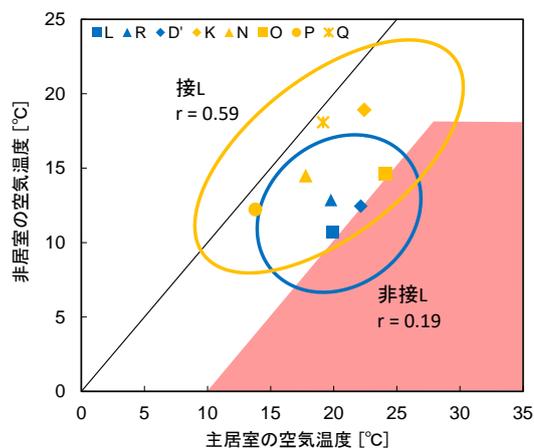


図 3-10：冬季の夜間における主居室と非居室の空気温度（H11 以降建設）

3.5 おわりに

本章では、高知県内の省エネルギー基準の地域区分における 6 地域および 7 地域に建設された戸建て住宅を対象とした、夏季と冬季の温熱環境の実態調査の結果について示した。本章で得られた知見を以下に示す。

- 1) 夏季の温熱環境については、住宅毎にエアコンの使用や窓開け等の温熱環境調整行為が異なるため、建設年に関係なく温湿度も異なる結果となった。エアコンの使用率の低い住宅は温湿度が高く、衛生管理基準値の適合割合が低い傾向にあった。窓開けと扇風機のみで過ごす住宅のほとんどは、空気温度の適合割合が 30%以下、相対湿度の適合割合が 50%以下となっている。澤地ら^[3-8]の研究では居住者の温熱環境調整行為は居住者の生活習慣や温熱感覚によって決まることが示されており、外気の温湿度に応じて温熱環境調整行為を決めることは少ないと予想されるため、本研究で調査した対象住宅も適切なタイミングで窓開けができていないことが考えられる。
- 2) 冬季の温熱環境については、主居室は断熱性能が高いと考えられる H11 以降建設の住宅の方が、空気温度が比較的高い結果となっているが、十分な暖房ができていない住宅についてはほとんど 18℃を下回っていた。相対湿度は衛生管理基準値の適合割合が全体的に高い傾向にあったが、加湿されているわけではなく、空気温度が低いことで高くなっていると考えられる。また非居室（脱衣所またはトイレ）の空気温度は建設年に関係なくほとんどの住宅が 18℃を下回る温度となっている。しかし接Lプランの住宅は非接Lよりも主居室と非居室の空気温度が高く、H11 以降建設の住宅だと約 4℃高い。また接Lの方が温度差が小さく、相関係数が高くなっているため、主居室の空気温度が高くなるにつれ非居室の空気温度も高くなっていると考えられる。

次章では、温熱環境シミュレーションの概要について示す。

参考文献<第3章>

- [3-1] 西山亮 田島昌樹, 高知県の住宅を対象とした室内空気調査, 高知工科大学卒業論文, 2018
- [3-2] 高知県, 住宅・土地統計調査, 平成 25 年結果確報 (高知県の概要), http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/111901/files/2013081500183/file_2015343132624_1.pdf?20180605, (参照 2018. 6)
- [3-3] e-Stat 政府統計の総合窓口, 社会生活統計指標-都道府県の指標-2018, 更新 2018. 2. 16, 入手先<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00200502&kikan=00200&tstat=000001112055&cycle=0&tclass1=00001112056&result_page=1&second=1&second2=1>, 2019. 12 取得
- [3-4] 高知県, 平成 27 年国勢調査の概要について, <http://www.pref.kochi.lg.jp/soshiki/111901/files/2011102700109/H27jinkou.pdf>, 2019. 12 取得
- [3-5] 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 監修, 自立循環型住宅への設計ガイドライン蒸暑地版, 2010. 8
- [3-6] 厚生労働省, 建築環境衛生管理基準, <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/>, 2019. 12 取得
- [3-7] The Cold Weather Plan for England, Protecting health and reducing harm from cold weather, Public Health England, 2015
- [3-8] 澤地孝男 松尾陽 羽田野健 福島弘幸, 暖冷房行為生起の決定要因と許容室温範囲に関する検討 住宅の室内気候形成に寄与する居住者の行動に関する研究 その 1, 一般社団法人日本建築学会, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 382 号, pp. 48-59, 1987. 12

第4章

温熱環境シミュレーションの計算概要

第4章 温熱環境シミュレーションの計算概要

4.1 はじめに

温熱環境シミュレーションでは、AE-CAD を用いて、実測調査では把握しきれない住宅属性、暖冷房設備の使用方法、気象等といった温熱環境に影響を与える様々な条件の組み合わせで、複数の住宅モデルを作成し、温熱環境シミュレーションプログラム AE-Sim/Heat を用いて、温熱環境や暖冷房エネルギー消費を算出した。住宅の省エネルギー基準^[4-1]は、国土交通省総合技術開発プロジェクト「エネルギー自立循環型住宅建築・都市システム技術の開発」^[4-2]で作成された、標準的な住戸の住宅モデルを用いて計算・検討した結果を基に基準を策定している。そこで本研究では省エネルギー基準や既往の研究の計算結果と比較できるように計算結果を示すために、その住宅モデルを用いて計算を行った。主居室と非居室の位置関係の違いによる冬季の温熱環境を比較するために、そのモデルを非接Lプラン（以下、非接Lプランモデル）とし、その間取りを接Lプランに変更した住宅モデル（以下、接Lプランモデル）を作成した。その2つのモデルをベースに外皮性能、暖冷房設備の使用方法および気象条件等を変化させて計算し、網羅的な分析を行った。AE-CAD で作成した非接Lプランモデルを図4-1に示す。

在室者、暖冷房設備、内部発熱・照明機器、および換気設備の設置場所や設定等については、住宅事業建築主基準^[4-3]に準拠して配置・設定した。

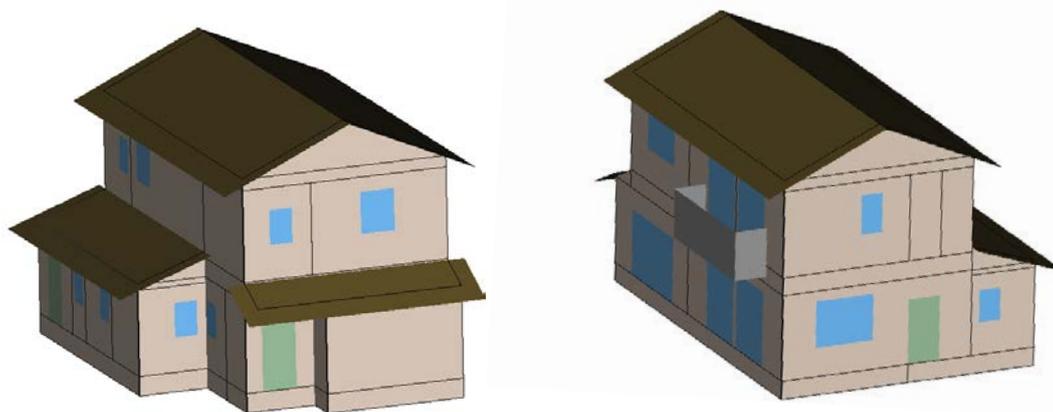


図 4-1 : AE-CAD で作成した非接Lプランモデル

4.2 非接Lプランモデルと接Lプランモデルの概要

4.2.1 非接Lプランの住宅モデル

非接Lプランモデルは木造軸組工法の2階建てとなっている。その平面図および断面図を図4-2、図4-3に示し、外皮平均熱貫流率 U_A や冷房期の平均日射熱取得率 η_{AC} の算出に必要な、天井・床等の面積、外壁の面積、窓の面積、ドアの面積、外皮と土間床の面積および基礎周長を表4-1～表4-6に示す。脱衣所と浴室の主居室(LDと台所)との位置関係は非接Lとなっているが、トイレは接Lとなっている。

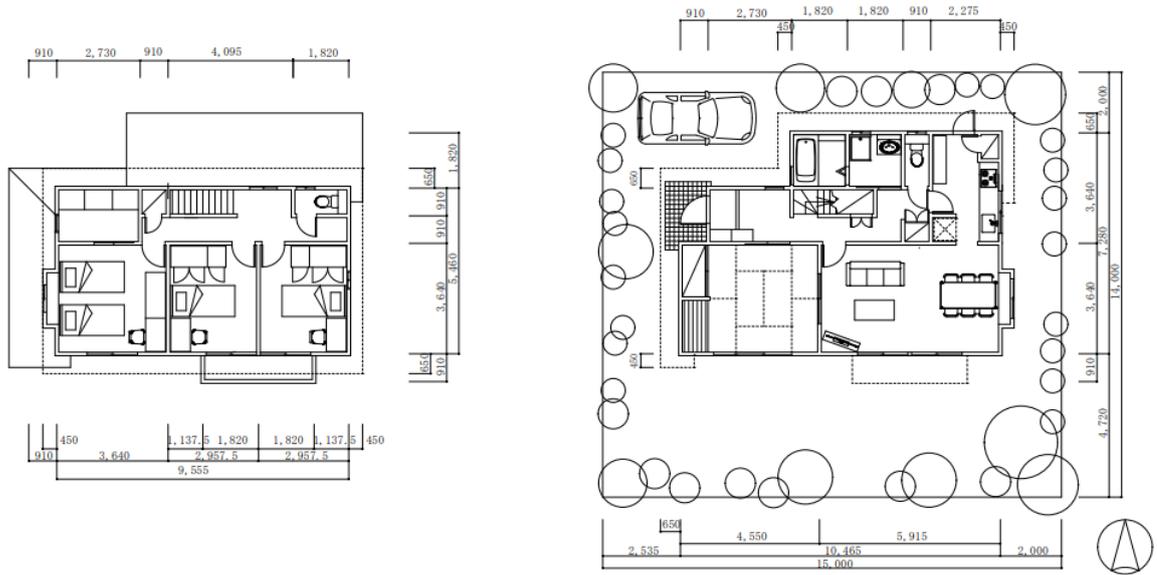


図 4-2：非接Lプランモデルの平面図（左：2階、右：1階）

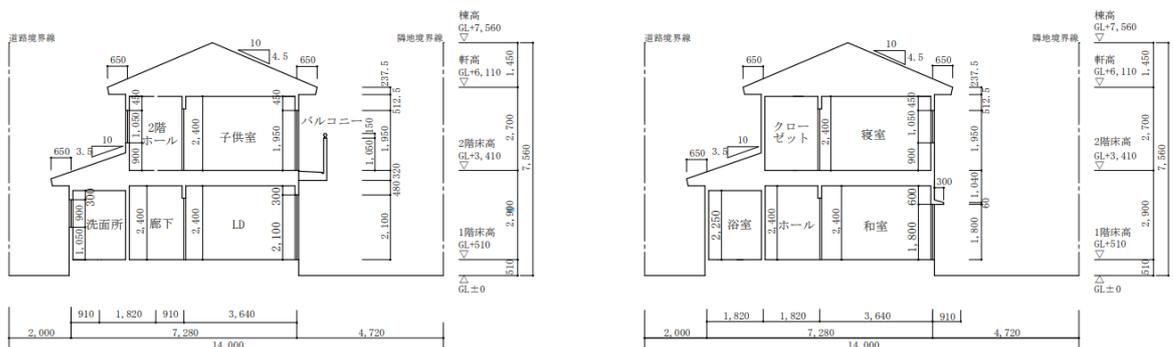


図 4-3：非接Lプランモデルの断面図（左：X1-X1'、右：X2-X2'）

表 4-1：天井・床等の面積、および居室・非居室の面積

階	部屋名		面積 [m ²]	外皮面積 [m ²]			床面積 [m ²]		
				天井面積	床面積	土間床	主たる 居室	その他の 居室	非居室
1階	①	玄関	2.48			○			○
	②	LD	21.53		○		○		
	③	台所	4.14		○		○		
	④		下屋	4.14	○	○		○	
	⑤	和室	13.25		○			○	
	⑥		下屋	3.31	○	○		○	
	⑦	ホール・階段・収納	6.62		○				○
	⑧	浴室・洗面	6.62	○	○				○
	⑨	トイレ	1.66	○	○				○
	小計		67.90	15.73	65.42	2.48	29.81	16.56	21.53
2階	⑩	寝室	13.25	○				○	
	⑪	子供部屋中	10.77	○				○	
	⑫	子供部屋東	10.77	○				○	
	⑬	クローゼット	4.97	○					○
	⑭	ホール・階段	4.55	○					○
			6.21	○					○
	⑮	トイレ	1.66	○					○
	小計		52.18	52.18	0	0	0	34.79	17.39
	合計		120.08	67.91	65.42	2.48	29.81	51.35	38.92

床面積合計=120.08

表 4-2：窓面積

方位	階	部屋名	計算式	小計 [m ²]
			W [m]×H [m] = A [m ²]	
南	1階	和室	2.55 × 1.80 = 4.59	15.11
		LD	1.65 × 2.10 = 3.47	
		LD	1.65 × 2.10 = 3.47	
	2階	寝室	1.65 × 1.05 = 1.73	
		子供室中	1.65 × 1.95 = 3.22	
		子供室東	1.65 × 1.95 = 3.23	
東	1階	LD	1.65 × 1.30 = 2.15	3.79
		台所	1.40 × 0.70 = 0.98	
	2階	子供室東	0.60 × 1.10 = 0.66	
北	1階	トイレ	0.60 × 0.90 = 0.54	3.15
		洗面所	0.60 × 0.90 = 0.54	
		ホール	0.60 × 0.90 = 0.54	
	2階	ホール	0.90 × 1.10 = 0.99	
		トイレ	0.60 × 0.90 = 0.54	
西	1階	浴室	0.60 × 0.90 = 0.54	2.07
	2階	寝室	0.90 × 1.10 = 0.99	
		クローゼット	0.60 × 0.90 = 0.54	
	合計			28.71

表 4-3：ドア面積

方位	階	部屋名	計算式 [m ²]	小計 [m ²]
北	1階	台所	0.90 × 1.80 = 1.62	1.62
西	1階	玄関	0.90 × 2.10 = 1.89	1.89
	合計			3.51

表 4-4 : 外壁面積

方位	外壁の面積 [m ²]	基礎壁部分の外壁の面積[m ²]		外壁+外壁(基礎壁) [m ²]
		床下に接する基礎壁	外気に接する基礎壁	
南	33.12	なし	なし	33.12
東	29.52	なし	なし	29.52
北	48.05	0.15	0.15	48.35
西	29.35	0.20	0.20	29.75
合計	140.04	0.35	0.35	140.64

表 4-5 : 外皮と土間床の面積

部位	方位	面積 [m ²]		
天井		67.91		
外壁	南	33.12	140.04	
	東	29.52		
	北	48.05		
	西	29.35		
基礎壁	床下接	北	0.15	0.35
		西	0.20	
	外気接	北	0.15	0.35
		西	0.20	
開口部	窓	南	19.7	28.71
		東	3.79	
		北	3.15	
		西	2.07	
	ドア	北	16.2	3.51
		西	1.89	
床		65.42		
土間床		2.48		
合計		308.67		

表 4-6 : 基礎周長

部位	長さ [m]
基礎周長 (外気側)	3.185
基礎周長 (床下側)	3.185

4.2.2 接Lプランの住宅モデル

非接Lプランモデルの間取りを変更して接Lプランの住宅モデル*を作成した。平面図および断面図を図 4-4、図 4-5 に示し、天井・床等の面積、外壁の面積、窓の面積、ドアの面積、外皮等面積および基礎周長を表 4-7～表 4-12 に示す。非接Lプランモデルは廊下を介して脱衣場やトイレに入室する間取りとなっていたが、接Lプランモデルは脱衣所、浴室およびトイレが主居室に隣接しており、暖房されている空間からそのまま脱衣所等に入室できる間取りとなっている。元々廊下があった場所が主居室となっているため、主居室の面積は3.31m²増加している。

※設計者：徳菜乃子（高知工科大学）

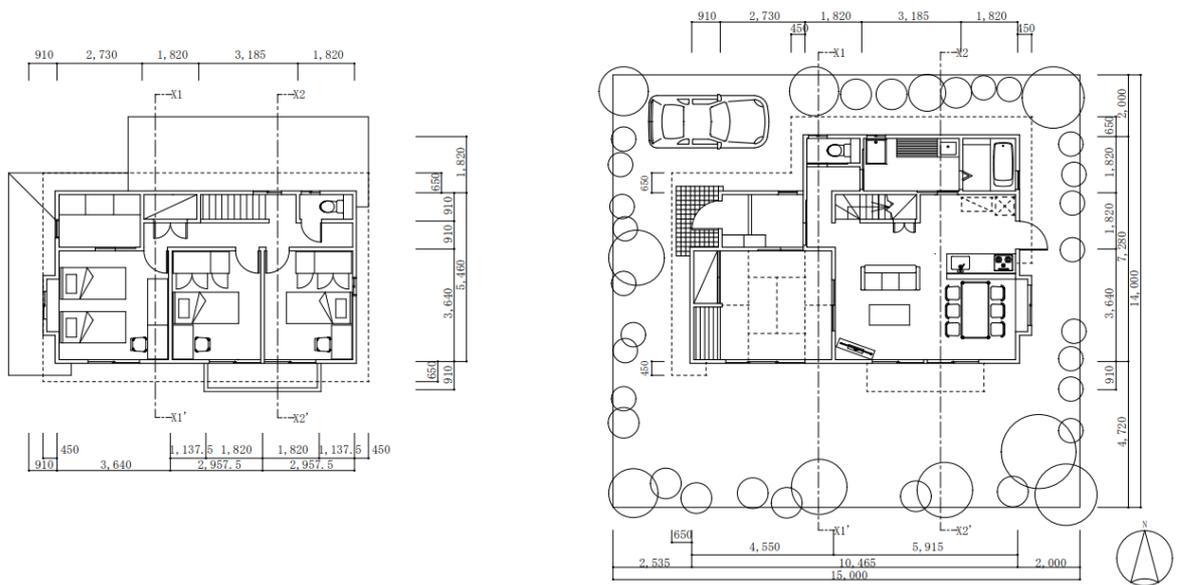


図 4-4：接Lプランモデルの平面図（左：2階、右：1階）

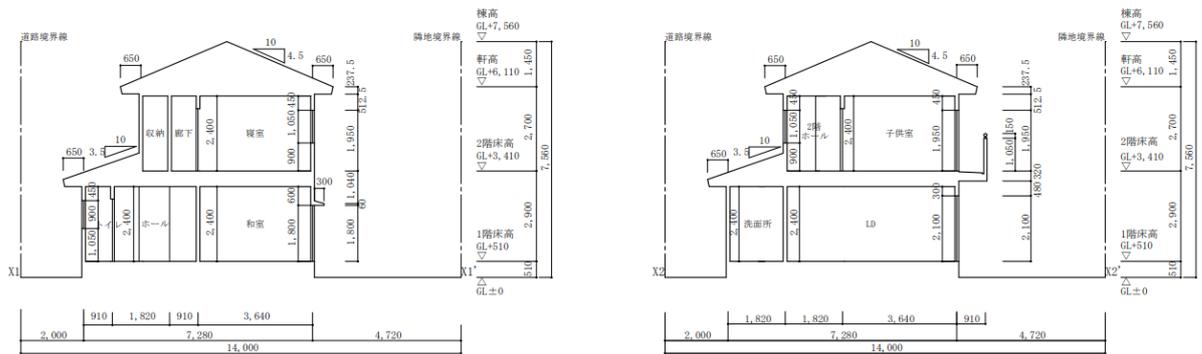


図 4-5：接Lプランモデルの断面図（左：X1-X1'、右：X2-X2'）

表 4-7：天井・床等の面積、および居室・非居室の面積

階	部屋名		面積 [m ²]	外皮面積 [m ²]			床面積 [m ²]		
				天井面積	床面積	土間床	主たる居室	その他の居室	非居室
1階	①	玄関	2.48			○			○
	②	LDK	33.12		○		○		
	③	和室	13.25		○			○	
	④		下屋	3.31	○	○		○	
	⑤	ホール・階段・収納		4.97		○			○
	⑥	浴室・洗面	下屋	9.11	○	○			○
	⑦	トイレ	下屋	1.66	○	○			○
		小計		67.90	15.73	65.42	2.48	33.12	16.56
2階	⑧	寝室	13.25	○				○	
	⑨	子供部屋中	10.77	○				○	
	⑩	子供部屋東	10.77	○				○	
	⑪	クローゼット	4.97	○					○
	⑫	ホール・階段	4.55	○					○
			6.21	○					○
	⑬	トイレ	1.66	○					○
	小計		52.18	52.18	0	0	0	34.79	17.39
	合計		120.08	67.91	65.42	2.48	29.81	51.35	38.92
							床面積合計=120.08		

表 4-8：窓面積

方位	階	部屋名	計算式 W [m]×H [m] = A [m ²]	小計 [m ²]
南	1階	和室	2.55 × 1.80 = 4.59	19.7
		LD	1.65 × 2.10 = 3.47	
		LD	1.65 × 2.10 = 3.47	
	2階	寝室	1.65 × 1.05 = 1.73	
		子供室中	1.65 × 1.95 = 3.22	
		子供室東	1.65 × 1.95 = 3.22	
東	1階	LD	1.65 × 1.30 = 2.15	3.35
		浴室	0.60 × 0.90 = 0.54	
	2階	子供室東	0.60 × 1.10 = 0.66	
北	1階	トイレ	0.60 × 0.90 = 0.54	3.15
		洗面所	0.60 × 0.90 = 0.54	
		ホール	0.60 × 0.90 = 0.54	
	2階	ホール	0.90 × 1.10 = 0.99	
		トイレ	0.60 × 0.90 = 0.54	
西	2階	寝室	0.90 × 1.10 = 0.99	1.53
		クローゼット	0.60 × 0.90 = 0.54	
合計				27.73

表 4-9：ドア面積

方位	階	部屋名	計算式 [m ²]	小計 [m ²]
東	1階	LDK	0.90 × 1.80 = 1.62	1.62
西	1階	玄関	0.90 × 2.10 = 1.89	1.89
合計				3.51

表 4-10 : 外壁面積

方位	外壁の面積 [㎡]	基礎壁部分の外壁の面積[㎡]		外壁+外壁(基礎壁) [㎡]
		床下に接する基礎壁	外気に接する基礎壁	
南	33.12	なし	なし	33.12
東	28.34	なし	なし	28.34
北	49.67	0.15	0.15	49.97
西	29.89	0.20	0.20	30.29
合計	141.02	0.35	0.35	141.62

表 4-11 : 外皮と土間床の面積

部位		方位	面積 [㎡]	
天井			67.91	
外壁		南	33.12	141.02
		東	28.34	
		北	49.67	
		西	29.89	
基礎壁	床下接	北	0.15	0.35
		西	0.20	
	外気接	北	0.15	0.35
		西	0.20	
開口部	窓	南	19.7	27.73
		東	3.35	
		北	3.15	
		西	1.53	
	ドア	北	16.2	3.51
		西	1.89	
床			65.42	
土間床			2.48	
合計			308.77	

表 4-12 : 基礎周長

部位	長さ [m]
基礎周長 (外気側)	3.185
基礎周長 (床下側)	3.185

4.3 気象地点

標準年 EA 気象データの気象地点は実測結果と比較するために高知県を代表する地点として高知市を対象とした。また高知県は省エネルギー基準の地域区分が 7 地域であるが、その他の地域区分の気象地点とも比較する為に、5、6 地域の宇都宮と岡山とした。宇都宮と岡山は省エネルギー基準では 5、6 地域の代表地点となっている。標準年 EA 気象データは省エネルギー基準が 1995 年版を使用しているので本研究でも 1995 年版を使用した。高知県について 2000 年版のデータしか入手できなかったため 2000 年版とした。ただ高知県については通風の効果を含めた温熱環境の解析ができる HASP 形式となっている。表 4-13 にその概要を示す。

表 4-13：使用する標準年 EA 気象データの概要

地域区分	5 地域	6 地域	7 地域
気象地点	宇都宮	岡山	高知
EA 気象データの種類	1995 年版標準年 EA 気象データ	1995 年版標準年 EA 気象データ	2000 年版標準年 EA 気象データ
ファイル形式	SMASH	SMASH	HASP

4.4 外皮の性能と仕様

本研究で検討する外皮性能の種類は、現行の省エネルギー基準を満たしていない等級 3 相当、現行の省エネルギー基準を満たす等級 4 相当、さらに外皮性能の高い HEAT20 の G1 相当、1 番高い HEAT20 の G2 相当の 4 種類とした。ただし、地位区分の 5 地域については HEAT20 の基準値が異なるため、6、7 地域の、HEAT20 の G1 と HEAT20 の G2 相当が、ZEH 相当と HEAT20 の G1 相当となっている*。非接Lプランモデルと接Lプランモデルをベースに、前述した外皮性能別のモデルを作成した。外皮性能毎で外皮の仕様は非接Lプランモデルと接Lプランモデルともに同じ仕様となっているが、4.2.1 と 4.2.2 に示したように外皮面積等が若干異なるため、外皮平均熱貫流率 U_A と平均日射熱取得率 η_{AC} の値も若干異なる値となっている。その外皮平均熱貫流率 U_A と平均日射熱取得率 η_{AC} を図 4-6、図 4-7 に示す。外皮平均熱貫流率 U_A と冷房期の平均日射熱取得率 η_{AC} は、建築研究所^[4-4]の住宅・住戸の外皮性能の計算プログラム (Version 2.1.2) で算出した。計算プログラムは住宅・住戸の外皮性能計算条件入力シート (2015/5/19 更新) を基に計算を行うが、本研究で作成する住宅モデルの外皮等の仕様は、この入力シートに入力したものと同一とする。

*以下の記述では、HEAT20 の G1 相当 (ZEH 相当)、HEAT20 の G2 相当 (G1 相当) と示す。

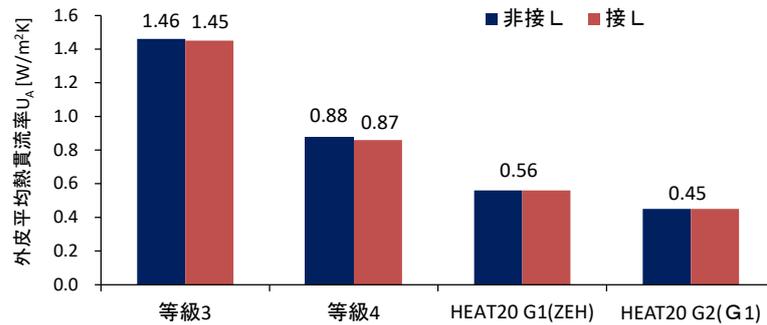


図 4-6：モデル毎の外皮平均熱貫流率 U_A

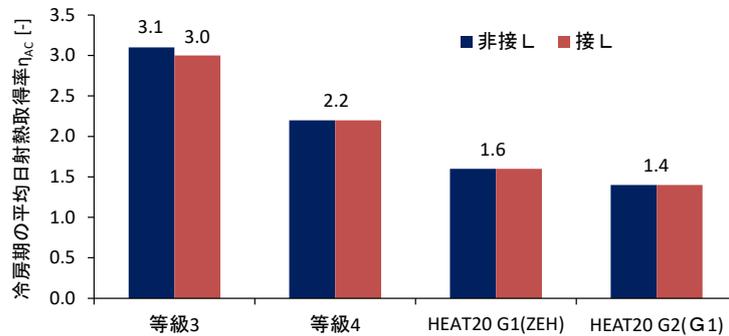


図 4-7：モデル毎の冷房期の平均日射熱取得率 η_{AC}

作成した外皮性能別のモデルの、外壁、天井、床および基礎部分の断熱工法等について下記に示す。

外壁、天井および床の断熱工法を表 4-14 に示す。全ての外皮性能で、床は根太間断熱、天井は断熱材を敷込む工法としている。外壁は柱・桁間断熱とし、HEAT20 の G2 相当 (G1 相当) については外張りの付加断熱 (縦下地) も加えている。

基礎は等級 3 相当以外の外皮性能が断熱材を使用しており、図 4-8 に示す基礎の R4 部分のみに使用している。図 4-8 に示す各寸法を表 4-15 に示す。H1 の高さは実際には 0.51m であるが、外皮平均熱貫流 U_A を求めるのに必要な線熱貫流率の計算は、H1 が 0.4m までの部分を対象としているため 0.4m としている。

表 4-14：各部位の工法

	等級 3	等級 4	HEAT20 G1 (ZEH)	HEAT20 G2 (G1)
外壁	柱・桁間		柱・桁間+付加断熱 (縦下地)	
天井	敷込み			
床	根太間			

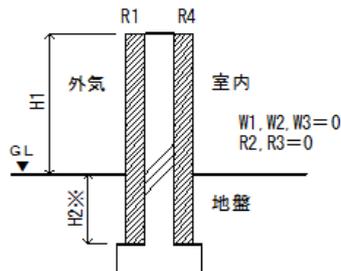


図 4-8：基礎の各部寸法

表 4-15：基礎の各部寸法

	寸法 [m]
H1	0.40
H2	0.15

作成した外皮性能別のモデルの、外壁・天井・床・基礎部分の断面構成および開口部の仕様について外皮性能毎に(1)～(4)に示す。外壁の断面構成に示す通気層と外装材については、計算プログラムの外皮性能の計算には必要ないので住宅・住戸の外皮性能計算条件入力シートには入力していない。

(1) 等級3相当

外壁・天井・床の断面構成、窓の仕様およびドアの仕様を表 4-16～表 4-18 に示す。基礎は無断熱となっている。

表 4-16：外壁・天井・床の断面構成（等級3）

断面	外壁		天井		床	
	材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]
断熱部	せっこうボード	0.0125	せっこうボード	0.010	合板	0.0120
	グラスウール断熱材 10K相当	0.0370	グラスウール断熱材 10K相当	0.056	グラスウール断熱材 24K相当	0.0170
	密閉空気層	0.0680				
	合板	0.0120				
	通気層	0.0180				
	木片セメント板	0.0150				
熱橋部	せっこうボード	0.0125	/		合板	0.0120
	天然木材	0.0370			天然木材	0.0900
	密閉空気層	0.0680				
	合板	0.0120				
	通気層	0.0180				
	木片セメント板	0.0150				

表 4-17：窓の仕様（等級3）

	和室	その他の室
建具仕様	金属製（一重）	金属製（一重）
ガラス仕様	普通単板ガラス	普通単板ガラス
付属部材	障子	なし

表 4-18：ドアの仕様（等級3）

室名(方位)	玄関(西)	台所(北)
建具仕様	ドア：金属製 扉：ハニカムフラッシュ構造	ドア：金属製 扉：ハニカムフラッシュ構造

(2) 等級 4 相当

外壁・天井・床の断面構成、基礎の断面構成、窓の仕様およびドアの仕様を表 4-19～表 4-23 に示す。

表 4-19：外壁・天井・床の断面構成（等級 4）

断面	外壁		天井		床		
	材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]	
断熱部	せっこうボード	0.0125	せっこうボード	0.0100	合板	0.0120	
	グラスウール断熱材 16K 相当	0.0760	グラスウール断熱材 10K 相当	0.1710	グラスウール断熱材 16K 相当	0.0820	
	密閉空気層	0.0290					
	合板	0.0120					
	通気層	0.0180					
	木片セメント板	0.0150					
熱橋部	せっこうボード	0.0125	/			合板	0.0120
	天然木材	0.0760				天然木材	0.0820
	密閉空気層	0.0290					
	合板	0.0120					
	通気層	0.0180					
	木片セメント板	0.0150					

表 4-20：床下に接する部分の基礎の断面構成（等級 4）

北		西	
材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]
押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.022	押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.022
コンクリート	0.120	コンクリート	0.120

表 4-21：外気に接する部分の基礎の断面構成（等級 4）

北		西	
材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]
押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.048	押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.048
コンクリート	0.120	コンクリート	0.120

表 4-22：窓の仕様（等級 4）

	和室	その他の室
建具仕様	金属製（一重）	金属製（一重）
ガラス仕様	複層ガラス(A4 以上 A10 未満)	複層ガラス(A4 以上 A10 未満)
付属部材	障子	なし

表 4-23：ドアの仕様（等級 4）

室名(方位)	玄関(西)	台所(北)
建具仕様	ドア：金属製 扉：ハニカムフラッシュ構造	ドア：金属製 扉：ハニカムフラッシュ構造

(3) HEAT20 の G1 相当 (ZEH 相当)

外壁・天井・床の断面構成、基礎の断面構成、窓の仕様およびドアの仕様を表 4-24～表 4-28 に示す。

表 4-24：外壁・天井・床の断面構成 (HEAT20 G1)

断面	外壁		天井		床		
	材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]	
断熱部	せっこうボード	0.0125	せっこうボード	0.010	合板	0.0120	
	高性能グラスウール断熱材 16K 相当	0.1000	高性能グラスウール断熱材 16K 相当	0.171	高性能グラスウール断熱材 16K 相当	0.0820	
	密閉空気層	0.0050					
	合板	0.0120					
	通気層	0.0180					
	木片セメント板	0.0150					
熱橋部	せっこうボード	0.0125	/			合板	0.0120
	天然木材	0.1000				天然木材	0.0820
	密閉空気層	0.0050					
	合板	0.0120					
	通気層	0.0180					
	木片セメント板	0.0150					

表 4-25：床下に接する部分の基礎の断面構成 (HEAT20 G1)

北		西	
材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]
押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.022	押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.022
コンクリート	0.120	コンクリート	0.120

表 4-26：外気に接する部分の基礎の断面構成 (HEAT20 G1)

北		西	
材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]
押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.048	押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.048
コンクリート	0.120	コンクリート	0.120

表 4-27：窓の仕様 (HEAT20 G1)

	和室	その他の室
建具仕様	金属・プラスチック複合材料製	金属・プラスチック複合材料製
ガラス仕様	Low-E 複層ガラス(A10 以上)	Low-E 複層ガラス(A10 以上)
付属部材	障子	なし

表 4-28：ドアの仕様 (HEAT20 G1)

室名(方位)	玄関(西)	台所(北)
建具仕様	ドア：金属製高断熱構造 扉：断熱材充填フラッシュ構造 枠：熱遮断構造または金属・プラスチック複合材料製	ドア：金属製高断熱構造 扉：断熱材充填フラッシュ構造 枠：熱遮断構造または金属・プラスチック複合材料製

(4) HEAT20 の G2 相当 (G1 相当)

外壁・天井・床の断面構成、基礎の断面構成、窓の仕様およびドアの仕様を表 4-29 表 4-34 に示す。

表 4-29：外壁の断面構成

断面	外壁	
	材料	厚さ[m]
断熱部	せっこうボード	0.0125
	高性能グラスウール断熱材 24K 相当	0.1000
	密閉空気層	0.0050
	合板	0.0120
	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 3 種	0.0400
	通気層	0.0180
	木片セメント板	0.0150
断熱部 + 熱橋部 (充填断熱材 + 付加断熱層内熱橋部)	せっこうボード	0.0125
	高性能グラスウール断熱材 24K 相当	0.1000
	密閉空気層	0.0050
	合板	0.0120
	天然木材	0.0400
	通気層	0.0180
	木片セメント板	0.0150
断熱部 + 熱橋部 (付加断熱材 + 構造部材等)	せっこうボード	0.0125
	天然木材	0.1000
	密閉空気層	0.0050
	合板	0.0120
	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 3 種	0.0400
	通気層	0.0180
	木片セメント板	0.0150
熱橋部 (構造部材等 + 付加断熱層内熱橋部)	せっこうボード	0.0125
	天然木材	0.1000
	密閉空気層	0.0050
	合板	0.0120
	押出法ポリスチレンフォーム 保温板 3 種	0.0400
	通気層	0.0180
	木片セメント板	0.0150

表 4-30：天井・床の断面構成 (HEAT20 G2)

断面	天井		床	
	材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]
断熱部	せっこうボード	0.0100	合板	0.0120
	高性能グラスウール断熱材 24K 相当	0.1710	高性能グラスウール断熱材 24K 相当	0.0820
熱橋部			合板	0.0120
			天然木材	0.0820

表 4-31：床下に接する部分の基礎の断面構成 (HEAT20 G2)

北		西	
材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]
押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.050	押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.050
コンクリート	0.120	コンクリート	0.120

表 4-32：外気に接する部分の基礎の断面構成（HEAT20 G2）

北		西	
材料	厚さ[m]	材料	厚さ[m]
押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.050	押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種	0.050
コンクリート	0.120	コンクリート	0.120

表 4-33：窓の仕様（HEAT20 G2）

	和室	その他の室
建具仕様	木製またはプラスチック製	木製またはプラスチック製
ガラス仕様	Low-E 複層ガラス(G12 以上)	Low-E 複層ガラス(G12 以上)
付属部材	障子	なし

表 4-34：ドアの仕様（HEAT20 G2）

室名(方位)	玄関(西)	台所(北)
建具仕様	ドア：金属製高断熱構造 扉：高断熱フラッシュ構造 枠：熱遮断構造	ドア：金属製高断熱構造 扉：高断熱フラッシュ構造 枠：熱遮断構造

4.5 住宅モデルの設定条件

4.5.1 居住者の構成と在室者スケジュール

想定している居住者の構成は夫婦 2 人と子供 2 人となっており、その居住者の、LD（接
LプランモデルはLDK）寝室、子供室 1 および子供室 2 に在室する時間帯と人数を示すスケ
ジュールを表 4-35 に示す。

表 4-35：居室の在室者スケジュール

	LD		寝室		子供室 1		子供室 2	
	平日	休日	平日	休日	平日	休日	平日	休日
0 時			2 人	2 人	1 人	1 人	1 人	1 人
			2 人	2 人	1 人	1 人	1 人	1 人
3 時			2 人	2 人	1 人	1 人	1 人	1 人
			2 人	2 人	1 人	1 人	1 人	1 人
6 時			2 人	2 人	1 人	1 人	1 人	1 人
	1 人		1 人	2 人	1 人	1 人	1 人	1 人
	2 人			1 人		1 人		1 人
9 時	1 人	3 人				1 人		
	1 人	2 人				1 人		1 人
		2 人				1 人		1 人
12 時		2 人				1 人		1 人
	1 人	2 人						1 人
	1 人	1 人						
15 時								
	1 人	2 人				1 人		
18 時	2 人	3 人				1 人		
	2 人	3 人				1 人	1 人	
	3 人	4 人						
21 時	3 人	2 人			1 人	1 人		1 人
	2 人	2 人				1 人	1 人	1 人
	1 人	1 人			1 人	1 人	1 人	1 人
24 時	1 人		1 人	2 人	1 人	1 人	1 人	1 人

4.5.2 暖冷房設備

暖冷房設備は省エネルギー型エアコンとし、LD（接LプランモデルはLDK）、寝室、子供室1、子供室2に配置した。本研究では運転方式は居室間歇運転（居室のみを在室時に運転）および居室連続運転（暖房：居室のみを24時間運転、冷房：居室のみを在室時に運転）の2つとした。エアコンの能力を表4-36に示し、運転方式として居室間歇運転を採用した際の、それぞれの室の運転スケジュールおよび設定温度（冷房期は設定温湿度）を表4-37～表4-40に示す。また、気象地点毎の暖房・冷房期間を表4-41に示す。

表 4-36：エアコンの能力

定格エネルギー消費 [W]	COP [-]	
	暖房	冷房
450	6.0	5.8

表 4-37：LDの運転スケジュール

	暖房期平日		暖房期休日		冷房期平日			冷房期休日		
	ON/OFF	設定温度	ON/OFF	設定温度	ON/OFF	設定温度	設定湿度	ON/OFF	設定温度	設定湿度
0時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
3時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
6時	ON	20℃	OFF		ON	27℃	60%	OFF		
	ON	20℃	OFF		ON	27℃	60%	OFF		
9時	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
	OFF		ON	20℃	OFF			ON	27℃	60%
12時	OFF		ON	20℃	OFF			ON	27℃	60%
	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
15時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
18時	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
21時	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
	ON	20℃	ON	20℃	ON	27℃	60%	ON	27℃	60%
24時	ON	20℃	OFF		ON	27℃	60%	OFF		

表 4-38 : 寢室の運転スケジュール

	暖房期平日		暖房期休日		冷房期平日			冷房期休日		
	ON/OFF	設定温度	ON/OFF	設定温度	ON/OFF	設定温度	設定湿度	ON/OFF	設定温度	設定湿度
0 時	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
3 時	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
6 時	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		OFF			ON	28°C	60%
9 時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
12 時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
15 時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
18 時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
21 時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
24 時	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%

表 4-39 : 子供室 1 の運転スケジュール

	暖房期平日		暖房期休日		冷房期平日			冷房期休日		
	ON/OFF	設定温度	ON/OFF	設定温度	ON/OFF	設定温度	設定湿度	ON/OFF	設定温度	設定湿度
0 時	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
3 時	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
6 時	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		OFF			ON	28°C	60%
9 時	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
12 時	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
15 時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
18 時	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
	OFF		OFF		OFF			OFF		
21 時	ON	20°C	ON	20°C	ON	27°C	60%	ON	27°C	60%
	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
	ON	20°C	ON	20°C	ON	27°C	60%	ON	27°C	60%
24 時	ON	20°C	OFF		ON	27°C	60%	ON	28°C	60%

表 4-40：子供室 2 の運転スケジュール

	暖房期平日		暖房期休日		冷房期平日			冷房期休日		
	ON/OFF	設定温度	ON/OFF	設定温度	ON/OFF	設定温度	設定湿度	ON/OFF	設定温度	設定湿度
0 時	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
3 時	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
6 時	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		ON	28°C	60%	ON	28°C	60%
	OFF		OFF		OFF			ON	28°C	60%
9 時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
12 時	OFF		ON	20°C	OFF			ON	27°C	60%
	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
15 時	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
18 時	ON	20°C	OFF		ON	27°C	60%	OFF		
	OFF		OFF		OFF			OFF		
21 時	OFF		ON	20°C	OFF			1 人	27°C	60%
	ON	20°C	ON	20°C	ON	27°C	60%	1 人	27°C	60%
	ON	20°C	ON	20°C	ON	27°C	60%	1 人	27°C	60%
24 時	OFF		ON	20°C	ON	28°C	60%	1 人	28°C	60%

表 4-41：気象地点毎の暖房・冷房期間

	暖房期間	冷房期間
高知	11 月 21 日～4 月 7 日	5 月 21 日～10 月 14 日
岡山	11 月 4 日～4 月 21 日	5 月 30 日～9 月 23 日
宇都宮	10 月 10 日～5 月 15 日	7 月 6 日～8 月 31 日

4.5.3 内部発熱・照明機器

住宅内で発生する発熱と照明機器の概要を表 4-42 示す。また内部発熱を発生させるスケジュールと最大発熱量（最大水蒸気発生量）に対する発生発熱量（発生水蒸気量）の割合を示す表を、平日と休日毎に表 4-43、表 4-44 に示し、照明機器の発停スケジュールと最大発熱量に対する発熱量の割合を示す表も、平日と休日毎に表 4-45、表 4-46 に示す。

表 4-42：内部発熱と照明機器の設定条件

室名	内部発熱の種類	顕熱：発生熱量 [W] 潜熱：水蒸気発生量 [g/h]	照明の種類	最大発熱量 [W]
LD	顕熱	385.1	蛍光灯	137.5
台所	顕熱①	60	蛍光灯	36.75
	顕熱②	34.8		
	潜熱	50		
1Fトイレ	顕熱	30	白熱灯	8.55
洗面脱衣	顕熱	118.8	白熱灯	66.5
寝室	顕熱	412.5	蛍光灯	52.5
子供室 1	顕熱	80	蛍光灯	70
子供室 2	顕熱	50	蛍光灯	70
浴室			白熱灯	40.5
玄関			白熱灯	57
1F廊下			白熱灯	114

表 4-43：内部発熱のスケジュール（平日）

	LD	台所				1Fトイレ	洗面脱衣	寝室	子供室 1	子供室 2
	顕熱	顕熱①	顕熱②	潜熱	顕熱	顕熱	顕熱	顕熱	顕熱	
0 時	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
3 時	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
6 時	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
	1.8%	100%	50%	50%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
9 時	54.3%	100%	0%	0%	100%	54.8%	0%	18.8%	6.0%	
	54.7%	100%	0%	0%	100%	22.7%	0%	18.8%	6.0%	
12 時	28.0%	100%	0%	0%	100%	9.7%	66.7%	18.8%	6.0%	
	14.9%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
15 時	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
	28.0%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
18 時	41.2%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
21 時	28.0%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
	41.2%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
24 時	54.3%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%	
	54.3%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	75%	6.0%	
	47.5%	100%	0%	0%	100%	100%	0%	37.5%	6.0%	
	47.5%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	100%	76.5%	
	47.5%	100%	0%	0%	100%	54.8%	0%	43.8%	29.5%	

表 4-44：内部発熱のスケジュール（休日）

	LD	台所			1Fトイレ	洗面脱衣	寝室	子供室 1	子供室 2
	顕熱	顕熱①	顕熱②	潜熱	顕熱	顕熱	顕熱	顕熱	顕熱
0時	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%
	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%
3時	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%
	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%
6時	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%
	1.8%	100%	0%	0%	100%	54.8%	0%	18.8%	6.0%
9時	54.3%	100%	50%	50%	100%	67.8%	0%	18.8%	6.0%
	54.3%	100%	0%	0%	100%	9.7%	100%	79.7%	6.0%
12時	100.0%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	100%	6.0%
	93.2%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	100%	6.0%
15時	54.3%	100%	50%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%
	14.9%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%
18時	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%
	1.8%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%
21時	28.0%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	25%	6.0%
	54.3%	100%	50%	50%	100%	54.8%	0%	25%	6.0%
24時	54.3%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	21.9%	6.0%
	28.0%	100%	0%	0%	100%	9.7%	0%	18.8%	6.0%

表 4-45：照明機器のスケジュール（平日）

	LD	台所	1Fトイレ	洗面脱衣	寝室	子供室 1	子供室 2	浴室	玄関	1F廊下
0時	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3時	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6時	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	16.4%	46.3%	100%	28.6%	0%	0%	0%	0%	50%	25%
9時	70.9%	46.3%	33.3%	57.1%	0%	0%	0%	0%	100%	50%
	38.2%	0%	0%	23.8%	0%	0%	0%	0%	100%	25%
12時	83.6%	66.7%	11.1%	52.4%	66.7%	50%	50%	0%	100%	50%
	12.7%	0%	0%	28.6%	0%	0%	0%	0%	50%	25%
15時	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	49.1%	92.5%	11.1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
18時	38.2%	0%	0%	28.6%	0%	0%	0%	0%	0%	25%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
21時	25.5%	92.5%	11.1%	9.5%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
	50.9%	0%	11.1%	9.5%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
24時	50.9%	92.5%	11.1%	19.0%	0%	0%	50%	0%	100%	0%
	58.2%	92.5%	11.1%	28.6%	0%	0%	50%	0%	100%	0%

表 4-46：照明機器のスケジュール（休日）

	LD	台所	1Fトイレ	洗面 脱衣	寝室	子供室 1	子供室 2	浴室	玄関	1F 廊下
0 時	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3 時	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
6 時	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	66.7%	78.6%	0%	0%	0%	0%	75%	75%
9 時	87.3%	92.5%	66.7%	78.6%	0%	0%	25%	0%	100%	75%
	100%	100%	0%	85.7%	100%	75%	100%	0%	100%	100%
12 時	50.9%	0%	22.2%	0%	0%	100%	100%	0%	100%	0%
	50.9%	0%	22.2%	9.5%	0%	100%	100%	0%	100%	0%
15 時	74.5%	92.5%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	100%	0%
	29.1%	46.3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	0%
18 時	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
21 時	50.9%	0%	33.3%	45.2%	0%	100%	0%	66.7%	0%	50%
	50.9%	92.5%	11.1%	50%	0%	100%	0%	33.3%	0%	25%
24 時	58.2%	92.5%	0%	19%	0%	50%	0%	0%	50%	0%
	90.9%	92.5%	33.3%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%
24 時	50.9%	0%	11.1%	0%	0%	100%	100%	0%	100%	0%
	50.9%	0%	0%	71.4%	0%	25%	100%	66.7%	100%	25%
24 時	50.9%	0%	33.3%	92.9%	0%	100%	100%	100%	100%	25%
	0%	0%	11.1%	28.6%	0%	0%	0%	0%	50%	25%

4.5.4 換気設備

局所換気のための換気設備は浴室、トイレおよび台所に配置し、各室の定格換気風量を表 4-47 に示す。またその換気設備の発停スケジュールと定格換気風量に対する換気風量の割合を示す表を表 4-48 に示す。

表 4-47：各室の局所換気の定格換気風量

浴室	トイレ	台所
100 m ³ /h	40 m ³ /h	300 m ³ /h

表 4-48：局所換気設備のスケジュール

	浴室		トイレ		台所	
	平日	休日	平日	休日	平日	休日
0 時						
3 時						
6 時			15%		25%	
			5%	10%		
9 時				10%		25%
			2%			
				3%		
12 時				3%		
			2%		25%	25%
15 時						
			2%	5%		
			2%	2%		50%
18 時		75%	2%		50%	50%
		25%	2%	5%	50%	
			2%	2%		
21 時	50%	25%	5%			
	25%	25%		5%		
	100%	100%	7%	2%		
24 時						

24 時間換気の換気量や換気経路は、非接Lプランモデルは住宅事業建築主基準に準拠して設定したが、接Lプランモデルは間取りが変わっているため換気経路を変更した。非接Lプランモデルと接Lプランモデルの換気経路および換気風量を図 4-9、図 4-10 に示す。また非接LプランモデルはLD と台所は空間的に連続しているため、相互に $5000\text{m}^3/\text{h}$ の空気が流れる設定とした。両モデルの1階ホール（接LはLDK）と2階ホールも空間的に連続しているため、同様に $273\text{m}^3/\text{h}$ の空気が相互に流れるように設定した。

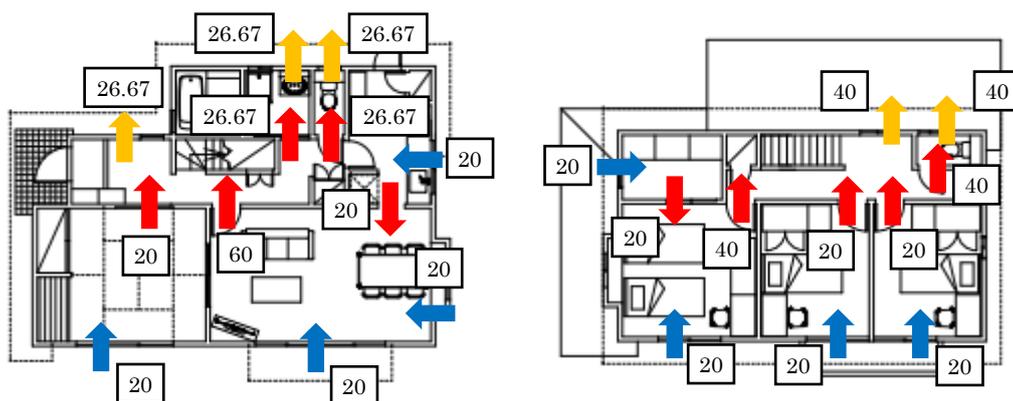


図 4-9：非接Lプランモデルの換気経路と換気風量 $[\text{m}^3/\text{h}]$

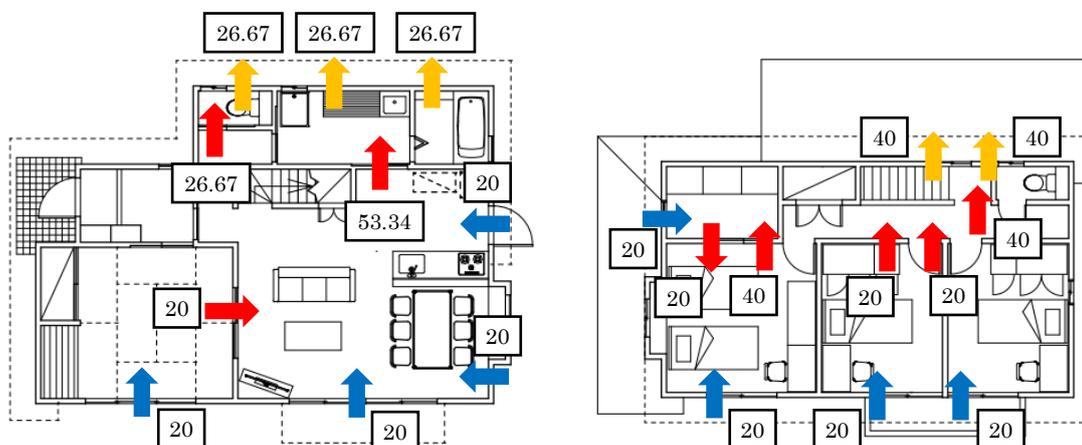


図 4-10：接Lプランモデルの換気経路と換気風量 $[\text{m}^3/\text{h}]$

4.6 日射遮蔽強化・通風有りの住宅モデル

夏季の実態調査の結果では、エアコンの使用と窓開けを使い分けて過ごしている住宅の温熱環境が悪化しており、適切な温熱環境調整ができていないことが示唆された。また断熱性能が高まると暖房エネルギー消費は削減できるが、日射遮蔽対策を施していないと冷房エネルギー消費が増加する傾向がある。そこで、外気温に応じて窓開けを行い、日射遮蔽対策を施すことで快適な温熱環境を保ちつつ冷房エネルギー消費を削減することを確認することを目的として、外付けブラインドを設置して、外気温に応じて窓開けを行う設定をしたモデル（以下、接Lプランモデル（通風+外付けブラインド））を作成した。計算する気象条件は通風計算の可能な HASP 形式の EA 気象データである高知市のみとし、夏季の算出結果が、非接Lプランモデルと接Lプランモデルとで大きな違いがないことが予想される為、接Lプランモデルのみを対象とした。窓開けによる通風は機械換気設備を用いて模擬した。その換気スケジュールは在室時に外気温度が 26℃以下になると換気するように設定した。通風する空間はLDK、寝室、子供室1、子供室2を対象とし、換気設備の配置と換気風量を図 4-11 に示す。換気風量はそれぞれの室で換気回数が 5 回/h となる風量とした。外付けブラインドは全ての窓に設置した。外付けブラインドの設定について表 4-49 に示す。

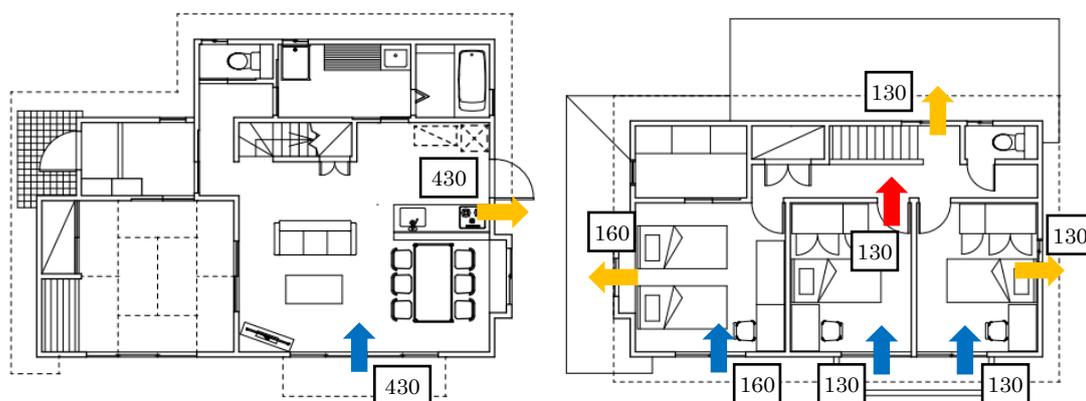


図 4-11：通風を模擬した各室の機械換気設備の配置と換気風量 [m³/h]

表 4-49：外付けブラインド

項目	設定値
日射透過率 [%]	20
日射反射率 [%]	50
熱抵抗 [m²k/W]	0
室外表面熱伝達抵抗 [m²k/W]	0.04
ガラス面との間の熱抵抗 [m²k/W]	0
可視光線透過率 [%]	20

4.7 おわりに

本章では、温熱環境シミュレーションの概要について示した。住宅モデルの作成から計算までの流れを以下にまとめる。

- ① 省エネルギー基準の計算結果等と比較できるように、その計算に用いられた住宅モデル（非接Lプランモデル）と、そのモデルの間取りを変えて接Lプランとしたモデル（接Lプランモデル）を計算対象とした。
- ② ①のモデルをベースとし、「等級 3」、「等級 4」、「HEAT20 G1」、「HEAT20 G2」の 4 種類の外皮性能に相当する外皮仕様としたモデルをそれぞれ作成した（合計 8 つのモデル）。在室者スケジュールや内部発熱などの設定は住宅事業建築主基準に準拠した。
- ③ ②で作成した 8 つのモデルの、気象条件（高知・岡山・宇都宮）および暖冷房運転方式（居室間歇運転・居室連続運転）を変えて計算した。
- ④ 夏季の窓開けによる通風と外付けブラインドによる日射遮蔽の効果を確認するために、接Lプランモデルを外気温の低い時に通風を行う設定とし、全ての窓に外付けブラインドを設置したモデル（合計 4 つのモデル）を作成し、気象データは高知のみを対象として計算した。

次章では、温熱環境シミュレーションの算出結果を示す。

参考文献＜第4章＞

- [4-1] 国土交通省：建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律（建築物省エネ法）の概要，<https://www.mlit.go.jp/common/001204678.pdf>，2019.12 取得
- [4-2] 国土交通省国土技術政策総合研究所 住宅研究部 建築環境研究室，「エネルギー自立循環型建築・都市システム技術の開発」（平成13-17年度）報告書，<http://www.nilim.go.jp/lab/icg/jiritsu.htm>，2019.1 取得
- [4-3] 財団法人建築環境・省エネルギー機構 編集・発行，住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説，2009.3.23
- [4-4] 建築研究所，建築物のエネルギー消費に関する技術情報，<https://www.kenken.go.jp/becc/index.html#4-1>

第5章

温熱環境シミュレーションの結果

第5章 温熱環境シミュレーションの結果

5.1 はじめに

温熱環境シミュレーションによる夏季および冬季の、温熱環境と暖冷房一次エネルギー消費量の算出結果を示す。夏季は外気温の高い7～8月、冬季は外気温の低い1～2月の算出結果を抽出した。温熱環境の算出結果は、夏季は主居室および寝室・子供室における作用温度と温湿度を示し、冬季は寝室・子供室および非居室（脱衣所・浴室・トイレ）の空気温度を示す。暖冷房一次エネルギー消費量は一次エネルギー換算係数を9760kJ/kWhとして算出した。また高知の気象データによる算出結果については居室連続運転（冷房は間歇運転）の算出結果も示し、運転方式毎の暖房負荷と温熱環境を比較した。

夏季は特に通風と外付けブラインドによる効果に着目した結果を示し、冬季は断熱性能や間取りの違いによる非居室の温熱環境および暖房エネルギー消費への影響に着目した結果を示している。

算出結果の各図に示す住宅モデルの名称をアルファベットに変更しており、その変更内容を表5-1に示す。

表 5-1：各図に示す住宅名称

	等級 3	等級 4	HEAT20 G1 (ZEH)	HEAT20 G2 (G1)
非接Lプランモデル	A	B	C	D
接Lプランモデル	a	b	c	d
接Lプランモデル (外付けブラインド+通風)	a'	b'	c'	d'

5.2 夏季の算出結果（高知）

5.2.1 夏季の主居室の温熱環境

(1) 作用温度

夏季の休日に主居室に在室している午前中の 8～12 時における主居室の作用温度を図 5-1 に示す。作用温度は非接Lプランモデルよりも接Lプランモデルの方が若干低くなっている。これは接Lプランモデルの方が主居室の体積が広いことから、エアコンの稼働率が高くなり、作用温度が低くなっていると考えられる。しかし、等級 4 以上の外皮性能になると、両モデルの中央値の差は 0.1K 以下となっており差はほとんどない。

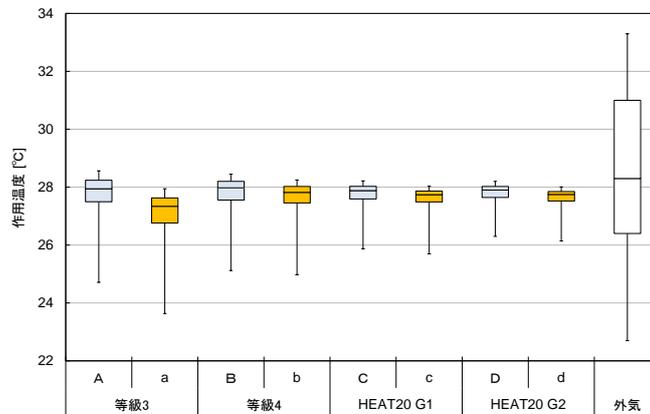


図 5-1：夏季の休日の午前中における主居室の作用温度（高知）

このように夏季の算出結果は非接プランモデルと接Lプランモデルとで大きな違いがないため、以下に示す算出結果は、通風と外付けブラインドの効果を確認するために接Lプランモデルと接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）を比較したものとしている。

(2) 空気温度

接Lプランモデルと接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）の夏季の夜間（18～22時）および起居時（7～22時）における主居室の空気温度を図 5-2、図 5-3 に示す。この図は平均値と、ひげ部の最大値および最小値を示している。また住宅名下部に建築物衛生法^[5-1]の衛生管理基準値の適合割合を示す。起居時、夜間ともに衛生管理基準値の適合割合は全モデルが 80%以上となっており、接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）の空気温度の最低値は接Lプランモデルよりも低くなっている。

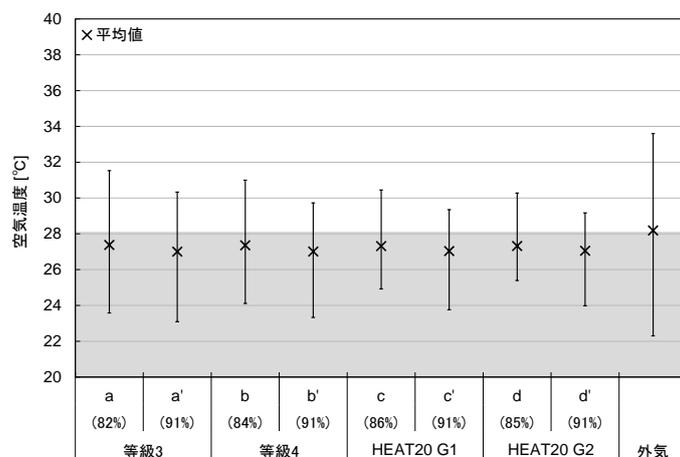


図 5-2：夏季の休日の起居時における主居室の空気温度（高知）

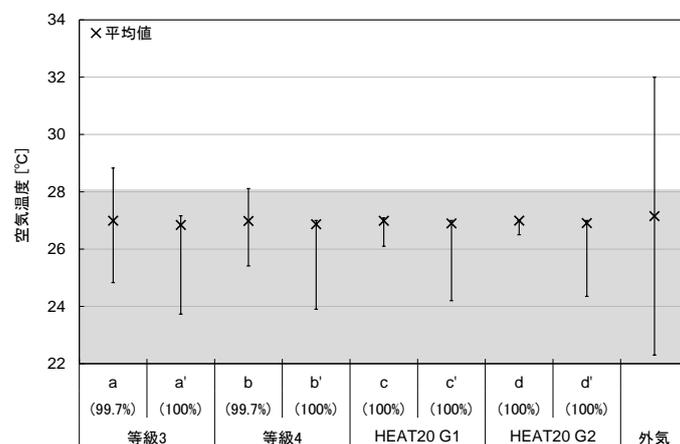


図 5-3：夏季の夜間における主居室の空気温度（高知）

(3) 絶対湿度・相対湿度

夏季の休日の起居時（7～22時）における主居室の絶対湿度と相対湿度を図5-4、図5-5に示す。相対湿度の図には住宅名下部に建築物衛生法の衛生管理基準値の適合割合を示す。接Lプランモデルの絶対湿度は外皮性能が高いほど最大値が低くなっているが、接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）は外皮性能が高くなっても最大値はほとんど変化していない。これは、接Lプランモデルは外皮性能が高くなると冷房負荷が大きくなるためエアコンの使用率が高くなることで除湿量が多くなるのに対し、接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）はエアコンの使用率が低いことから除湿量が変化していないことが要因だと考えられる。接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）の相対湿度は接Lプランモデルより若干低い、衛生管理基準値の適合割合は等級4以上だと80%以上となっている。

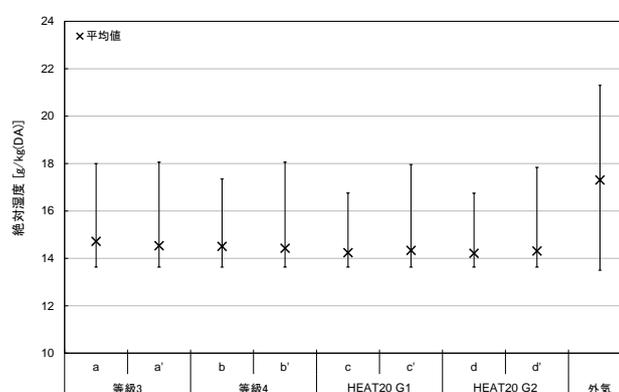


図 5-4：夏季の休日の起居時における主居室の絶対湿度（高知）

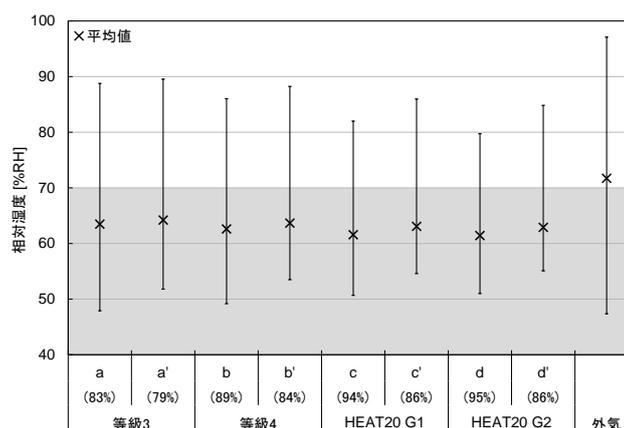


図 5-5：夏季の休日の起居時における主居室の相対湿度（高知）

夏季の夜間(18~22時)における主居室の絶対湿度と相対湿度を図5-6、図5-7に示す。絶対湿度は接Lプランモデルよりも接Lプランモデル(通風+外付けブラインド)の方が若干低くなっている。通風によって水蒸気が流入してくることが予想されたが、逆に排湿されているという結果になっている。相対湿度は全モデルで80%RHを超す値も存在するが、衛生管理基準値の適合割合は等級4以上の外皮性能だと80%以上となっている。

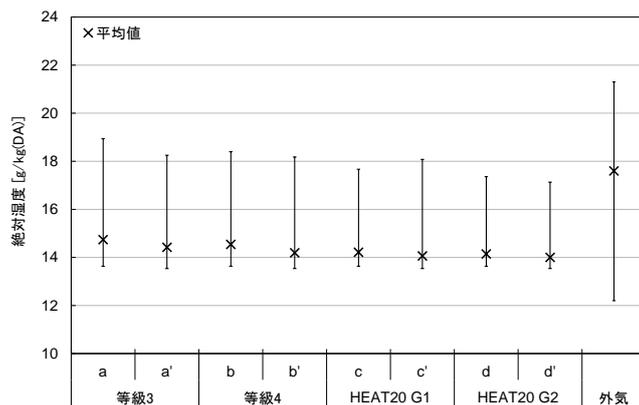


図5-6：夏季の夜間における主居室の絶対湿度（高知）

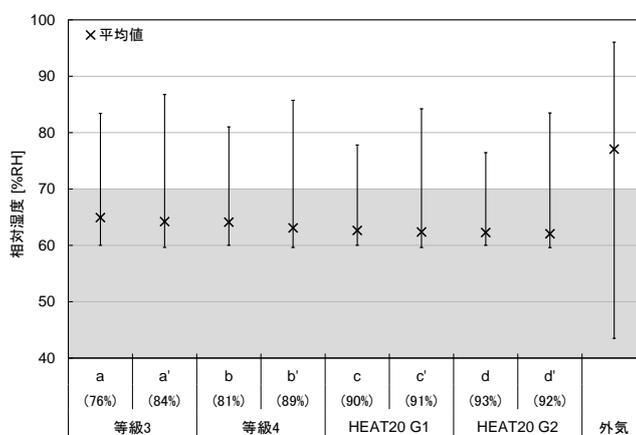


図5-7：夏季の夜間における主居室の相対湿度（高知）

5.2.2 夏季の寝室・子供室の温熱環境

(1) 空気温度

夏季の就寝時（1～6時）における寝室と子供室の空気温度を図5-8に示し、住宅名下部に建築物衛生法の衛生管理基準値の適合割合を示す。接Lプランモデルの寝室と子供室は外皮性性能が高まるにつれ、設定温度である28℃付近を維持している結果となっている。接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）の空気温度は通風の効果により接Lプランモデルよりが低くなっており、中央値は約1℃低い。

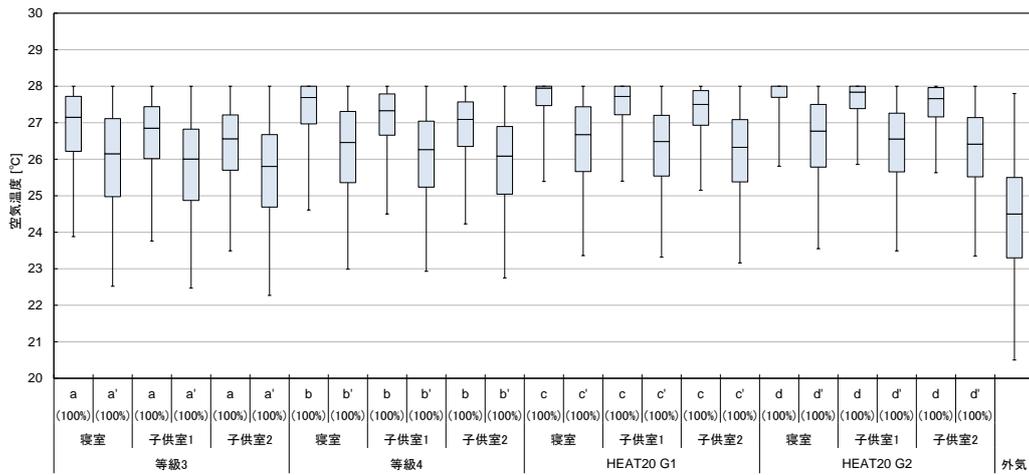


図 5-8：夏季の就寝時における主居室の空気温度（高知）

(2) 絶対湿度・相対湿度

夏季の就寝時（1～6時）における寝室および子供室の絶対湿度と相対湿度を図5-9、図5-10に示し、住宅名下部に建築物衛生法の衛生管理基準値の適合割合を示す。接Lプランモデルの寝室と子供室の絶対湿度は外皮性能が高まるにつれ若干減少している。これは、外皮性能の低いモデルは外気温の影響を受けて室内温度が低くなりエアコンの稼働率が低くなることで除湿量が減少しているのに対し、外皮性能の高いモデルは外気温の影響を受けにくいいため、エアコンの稼働率が高くなり除湿量が多くなっているためであると考えられる。そのため、除湿の行われていない接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）の絶対湿度は接Lプランモデルより高く、外皮性能が高まるにつれ接Lプランモデルとの差が大きくなっている。外皮性能の低いモデルと接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）については相対湿度が高く、衛生管理基準値の適合割合は低い傾向にある。接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）は全ての外皮性能で適合割合が全室20%以下となっている。これは、外気温の影響を受けて室内空気温度が低くなっているためであると考えられる。

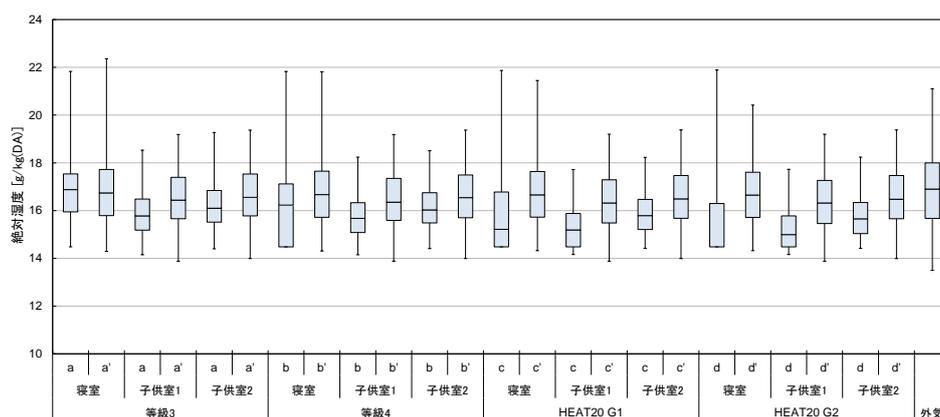


図 5-9：夏季の就寝時における主居室の絶対湿度（高知）

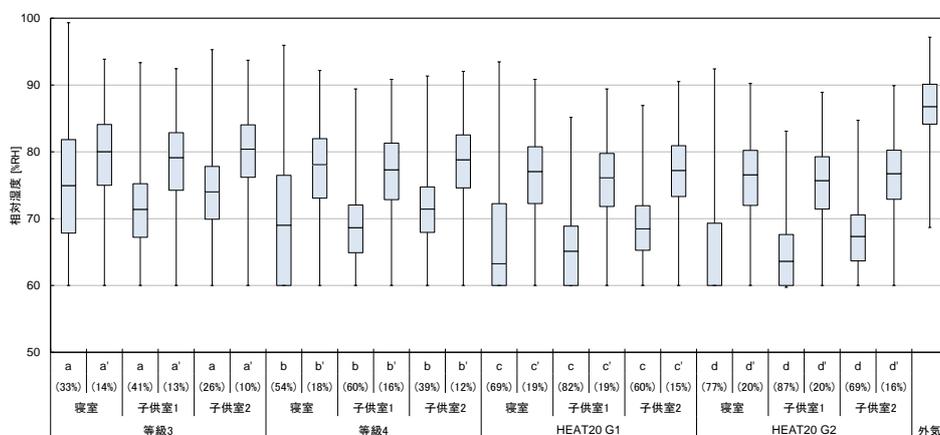


図 5-10：夏季の就寝時における主居室の相対湿度（高知）

5.2.3 冷房一次エネルギー消費量

冷房一次エネルギー消費量を図 5-11 に示す。接Lプランモデルの冷房一次エネルギー消費量は、非接Lプランモデルの約 1.1 倍となっている。これは、接Lプランモデルの主居室の体積が非接Lプランモデルよりも大きいことから冷房負荷が大きくなっているためだと考えられる。また非接Lプランモデルと接Lプランモデルの冷房一次エネルギー消費量は外皮性能が高まるにつれ若干増加しているが、接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）はどの外皮性能においても 3.9GJ となっており、接Lプランモデルと比較すると 20% 以上減少している。したがって日射遮蔽と通風によって冷房負荷が減少していることが考えられる。

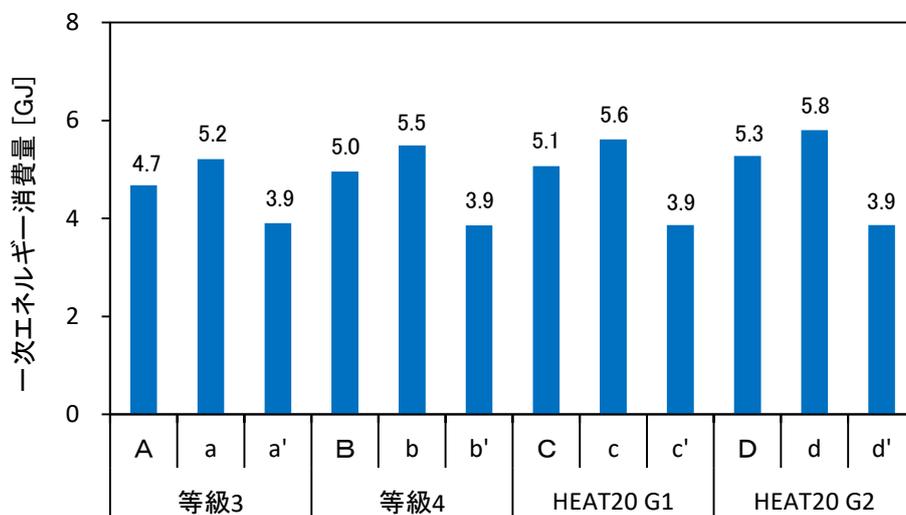


図 5-11：冷房一次エネルギー消費量（高知）

5.3 夏季の算出結果（岡山と宇都宮）

岡山と宇都宮については、通風の効果を考慮したシミュレーションを行っていないため、非接Lプランモデルと接Lプランモデルのみの算出結果となるが、5.2.1で記述したように温熱環境は両モデルに大きな差はないので、温熱環境の算出結果は省略し、冷房一次エネルギー消費量の算出結果のみを示す。

岡山の冷房一次エネルギー消費量を図 5-12 に、宇都宮の冷房一次エネルギー消費量を図 5-13 に示す。岡山についても高知と同様に外皮性能が高くなるにつれ冷房一次エネルギー消費量が増加しているが、すべての外皮性能において高知より 0.2~0.4GJ 程度減少している。宇都宮は外気温が低く冷房期間が短いことから、岡山の 4 割程度の冷房一次エネルギー消費量となっている。

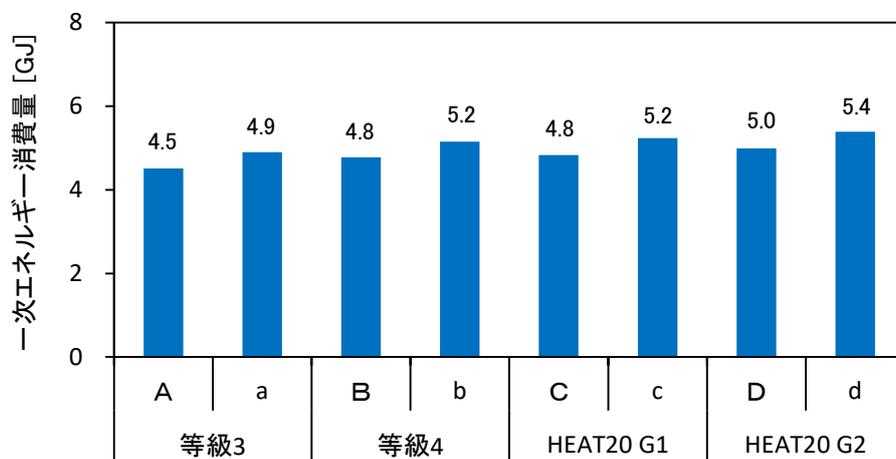


図 5-12：冷房一次エネルギー消費量（岡山）

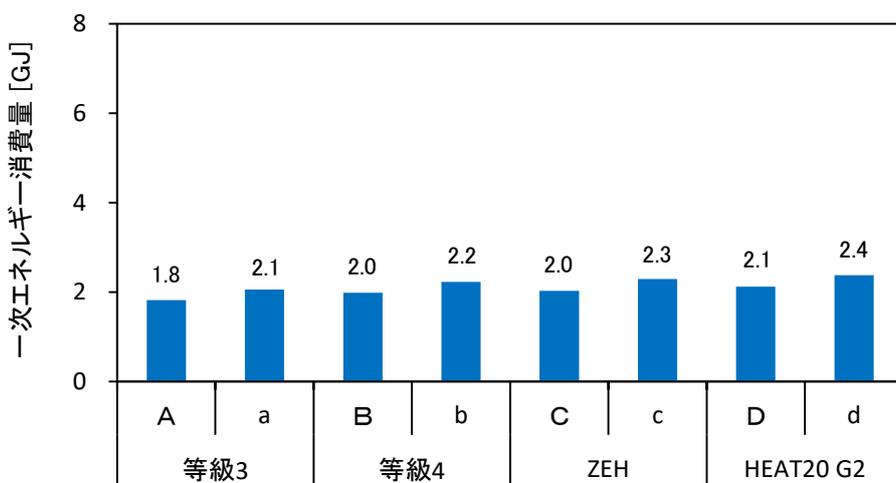


図 5-13：冷房一次エネルギー消費量（宇都宮）

5.4 冬季の算出結果（高知）

5.4.1 冬季の寝室・子供室の温熱環境（高知）

居室間歇運転時の冬季の就寝時（1～6 時）における寝室・子供室の空気温度を図 5-14 に示し、住宅名下部にイギリス保健省の防寒計画^[5-2]で定められている冬期の住宅の許容温度の 18℃以上となる割合を示す。寝室と子供室は就寝前に暖房を使用しているが、就寝中は暖房を使用しないため、すべての外皮性能で全室がほぼ 18℃以下となっている。またイギリス保健省の防寒計画では 16℃未満で呼吸器系疾患への抵抗力が低下する恐れがあると示しているが、現行の外皮性能基準である等級 4 相当以下だとほとんど 16℃を下回る結果となっている。

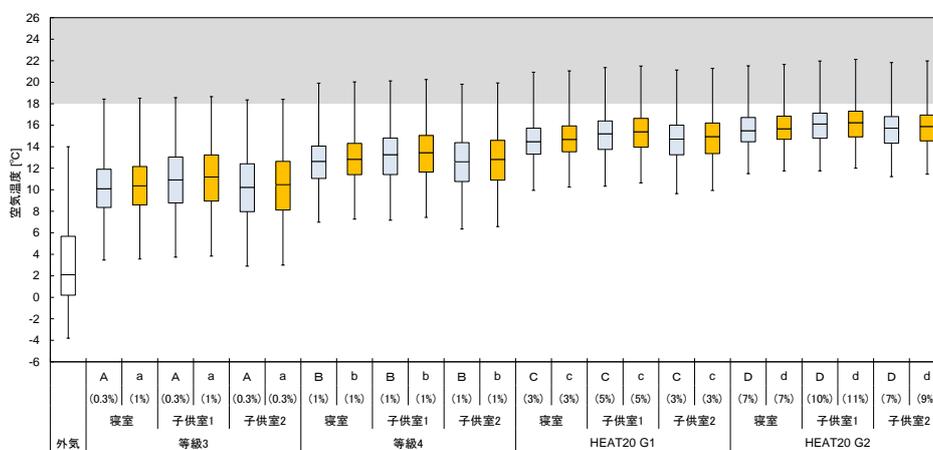


図 5-14：冬季の就寝時における寝室・子供室の空気温度（高知 居室間歇運転）

5.4.2 冬季の非居室の温熱環境（高知）

(1) 居室間歇運転

居室間歇運転時の冬季の夜間（18～22時）における非居室の空気温度を図 5-15 に示し、住宅名下部に 18℃以上となる割合を示す。非接Lプランモデルは現行の外皮性能基準である等級 4 相当でも空気温度が低く、18℃以上となる割合は全室で 30%以下となっている。それに対し、等級 4 相当の接Lプランモデルのトイレと洗面脱衣は 18℃以上となる割合が 60%以上となっている。また HEAT20 の G1 相当以上の外皮性能だと、接Lプランモデルのトイレと洗面脱衣の空気温度はほぼ 18℃以上となっており、浴室も G2 相当だと 60%を超えている。等級 4 相当の場合、接Lプランモデルの各室の平均室温は非接Lプランモデルより約 1～2℃高くなっており、実態調査と同様に、接Lプランモデルの方が非居室の空気温度が高くなる傾向を示す結果となった。

外皮平均熱貫流率 U_A と居室間歇運転時の冬季の夜間（18～22時）における浴室、トイレおよび洗面脱衣の空気温度が 18℃以上となる割合の散布図を図 5-16 に示す。外皮性能が高くなるにつれ 18℃以上となる割合は高くなるが、非接Lプランモデルだと外皮平均熱貫流率 U_A を 0.5 W/m²K 程度まで小さくしても、0.8 W/m²K 程度の接Lプランモデルと、18℃以上となる割合が大きく変わらない結果となっている。

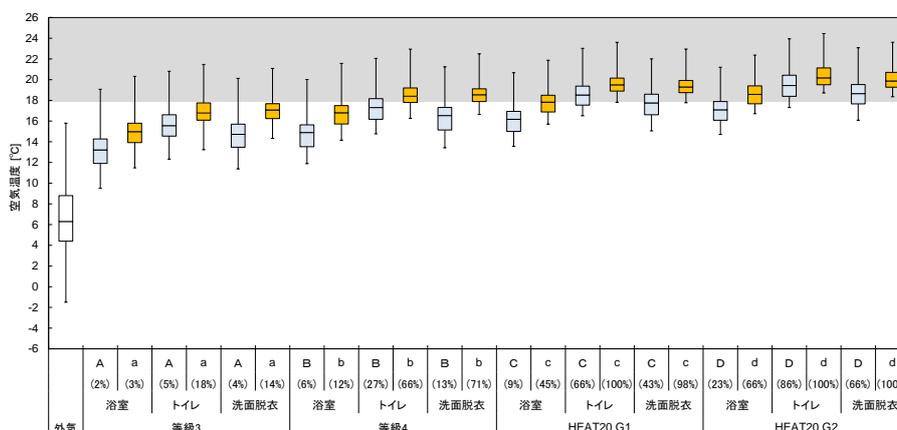


図 5-15：冬季の夜間における非居室の空気温度（高知 居室間歇運転）

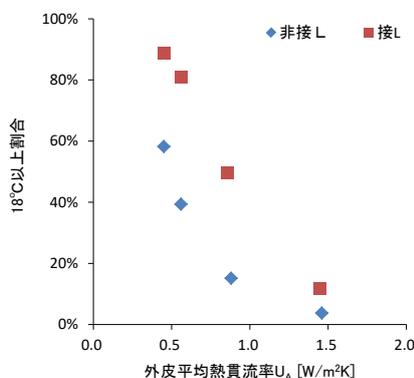


図 5-16： U_A 値と冬季夜間の浴室等の室温が 18℃以上となる割合（高知 居室間歇運転）

(2) 居室連続運転

居室連続運転時の冬季の夜間（18～22時）における非居室の空気温度を図 5-17 に示し、住宅名下部に 18℃以上となる割合を示す。接Lプランモデルは外皮性能が等級 4 相当だとトイレと洗面脱衣の 18℃以上となる割合は 80%を超えている。HEAT20 の G2 相当だと非接Lプランモデルでも全室で 18℃以上となる割合が高くなっているが、G1 相当の接Lプランモデルとほぼ変わらない結果となっている。

外皮平均熱貫流率 U_A と居室連続運転時の冬季の夜間（18～22時）における浴室、トイレおよび洗面脱衣の空気温度が 18℃以上となる割合の散布図を図 5-18 に示す。接Lプランモデルは外皮平均熱貫流率 U_A が 0.8 W/m²K程度あると、0.6 W/m²K程度の非接Lプランモデルよりも 18℃以上となる割合が若干高くなる結果となっている。

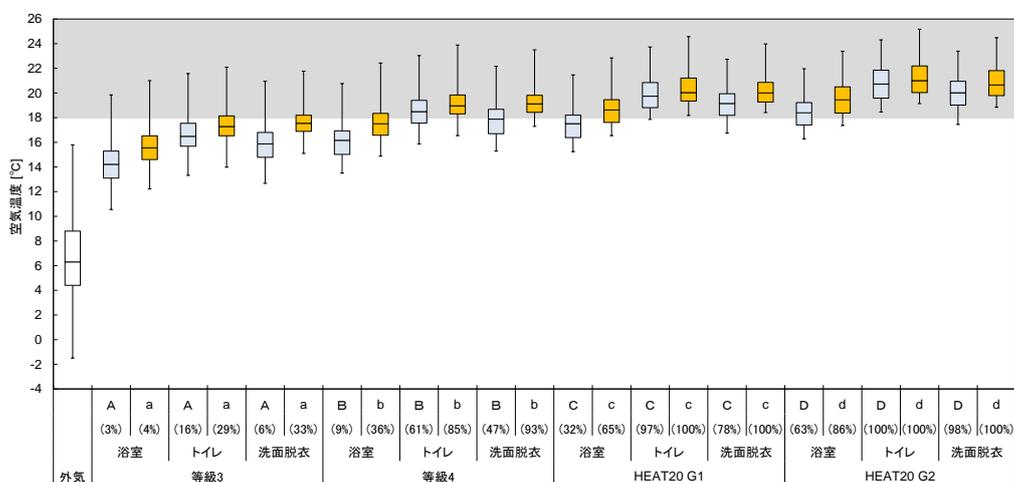


図 5-17：冬季の夜間における非居室の空気温度（高知 居室連続運転）

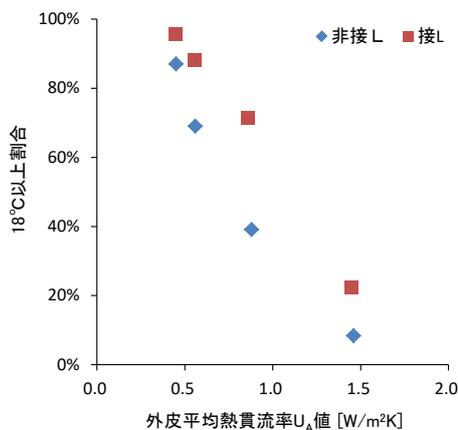


図 5-18： U_A 値と冬季夜間の浴室等の室温が 18℃以上となる割合（高知 居室連続運転）

5.4.3 暖房一次エネルギー消費量（高知）

居室間歇運転と居室連続運転の暖房一次エネルギー消費量を図 5-19、図 5-20 に示す。居室間歇運転と居室連続運転ともに暖房一次エネルギー消費量は外皮性能が HEAT20 の G2 相当だと等級 4 相当の半分以下となっている。また冷房一次エネルギー消費量の算出結果と同様に、接Lプランモデルは居室間歇運転と居室連続運転ともに暖房一次エネルギー消費量が非Lプランモデルの約 1.1～1.2 倍となっている。居室連続運転の暖房一次エネルギー消費量は居室間歇運転の約 2 倍となっている。

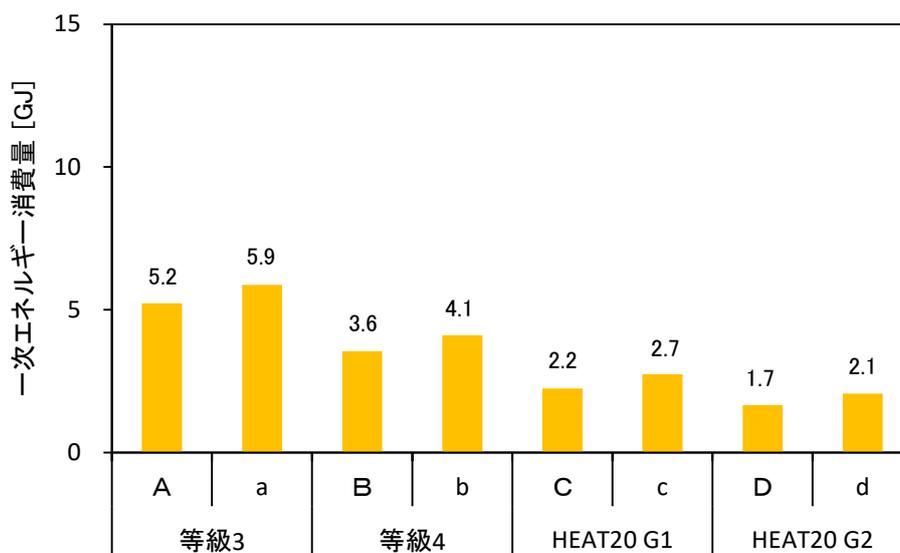


図 5-19：暖房一次エネルギー消費量（高知 居室間歇運転）

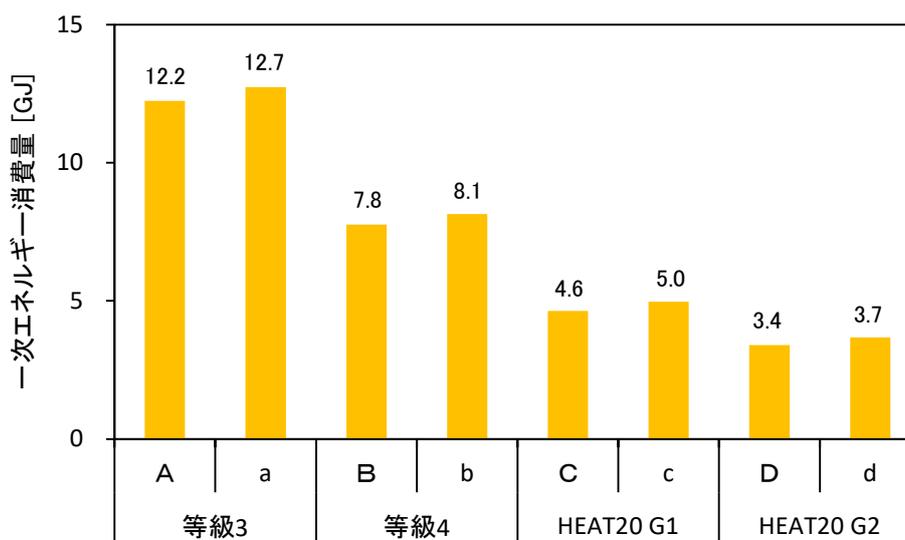


図 5-20：暖房一次エネルギー消費量（高知 居室連続運転）

5.4.4 運転方式毎の暖房負荷と温熱環境

年間暖房負荷と冬季の夜間（18～22 時）における浴室、トイレおよび洗面脱衣の空気温度が 18℃以上となる割合の散布図を図 5-21 に示す。居室間歇運転と居室連続運転の両方の運転方式の算出結果を示している。暖房する部屋は居室を対象としており、非居室（浴室・トイレ・洗面脱衣）は暖房されていない。非接Lプランモデルは居室間歇運転の場合には 18℃以上となる割合が低いが、居室連続運転の場合、暖房負荷は増加するが 18℃以上となる割合も等級 4 相当以上の外皮性能であれば 20 ポイント以上増加している。しかし、接Lプランモデルは居室間歇運転の場合でも、居室連続運転の非接Lプランモデルよりも 18℃以上となる割合が高く、等級 4 相当や HEAT20 の G1 相当だと約 10 ポイント高くなっている。したがって居室間歇運転の接Lプランモデルは居室連続運転の非接Lプランモデルより、少ない暖房負荷でかつ室温が高いという結果となっている。

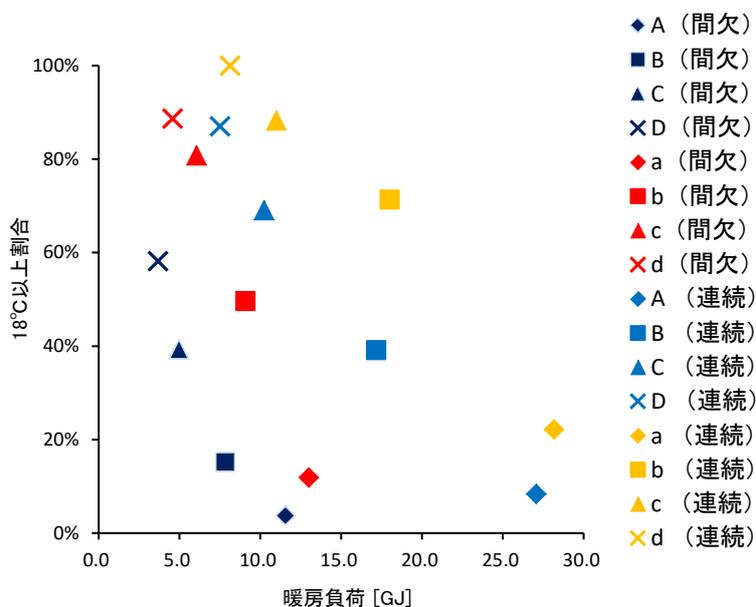


図 5-21：年間暖房負荷と冬季夜間の浴室等の空気温度が 18℃以上となる割合（高知）

5.5 冬季の算出結果（岡山）

5.5.1 冬季の寝室・子供室の温熱環境（岡山）

岡山の居室間歇運転時の冬季の就寝時（1～6 時）における寝室・子供室の空気温度を図 5-22 に示し、住宅名下部に 18℃以上となる割合を示す。高知の算出結果と同様に、全モデルの全室でほとんど 18℃を下回っている。また HEAT20 の G2 相当でも 16℃未満となる割合が全室で約 7 割程度となっている。

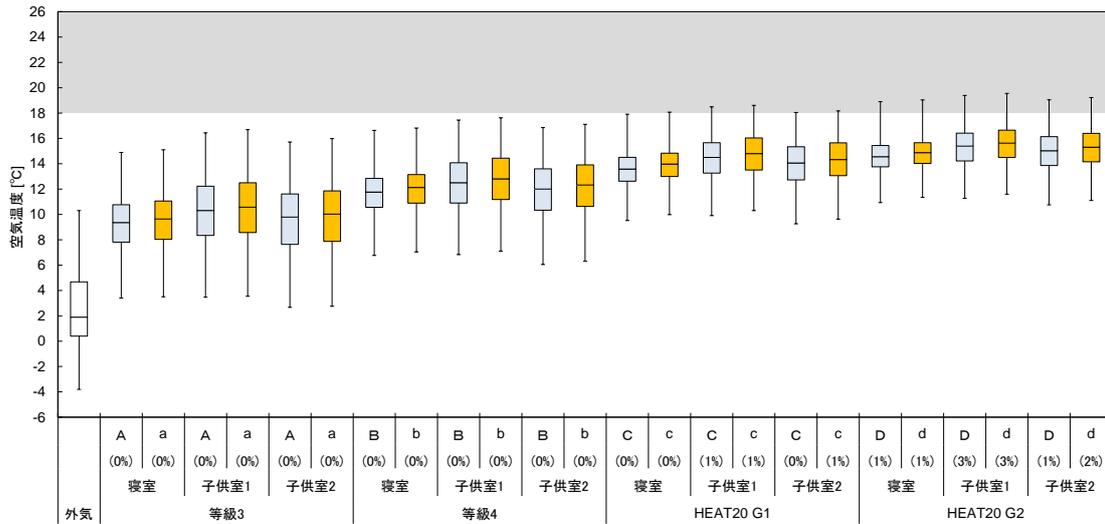


図 5-22：冬季の就寝時における寝室・子供室の空気温度（岡山 居室間歇運転）

5.5.2 冬季の非居室の温熱環境（岡山）

岡山の居室間歇運転時の冬季の夜間（18～22 時）における非居室の空気温度を図 5-23 に示し、住宅名下部に 18℃以上となる割合を示す。等級 4 相当の非接 L プランモデルと接 L プランモデルともに、全室の空気温度の 18℃以上となる割合が約 30%以下となっている。非接プランモデルは HEAT20 の G2 相当の外皮性能でも 18℃以上となる割合が半分以下となっているが、接 L プランモデルは HEAT20 の G1 相当であるとトイレと洗面脱衣は 18℃以上となる割合が 80%以上となっている。

外皮平均熱貫流率 U_A と居室間歇運転時の冬季の夜間（18～22 時）における浴室、トイレおよび洗面脱衣の空気温度が 18℃以上となる割合の散布図を図 5-24 に示す。18℃以上となる割合は、非接 L プランモデルは外皮平均熱貫流率 U_A が 0.5 W/m²K 程度あっても 30%以下となるが、接 L プランモデルは 60%以上となる。

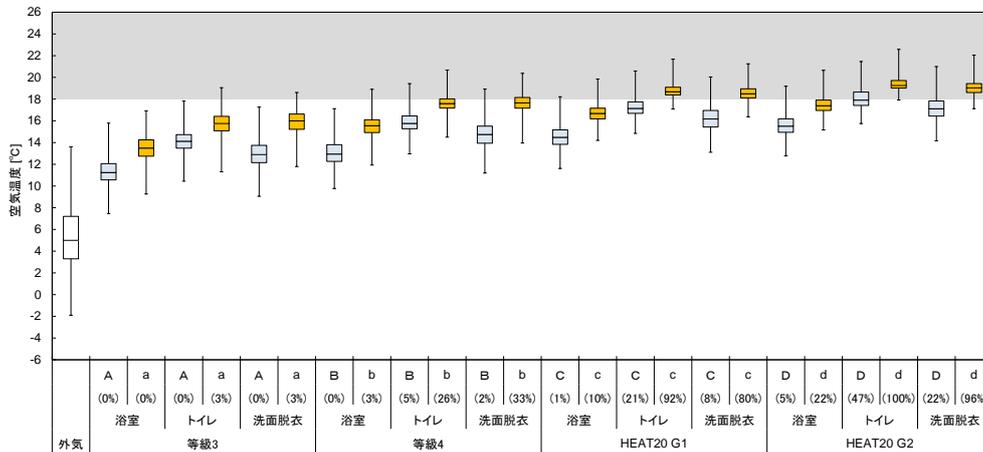


図 5-23：冬季の夜間における非居室の空気温度（岡山 居室間歇運転）

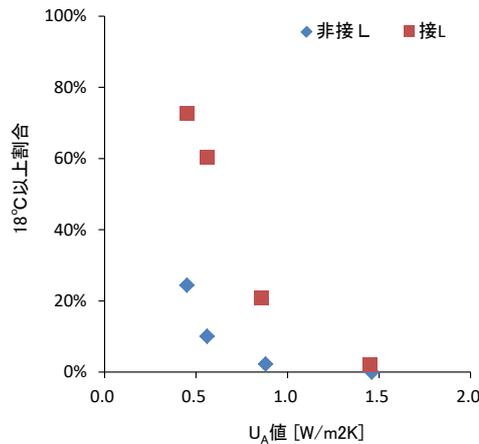


図 5-24： U_A 値と冬季夜間の浴室等の室温が 18℃以上となる割合（岡山 居室間歇運転）

5.5.3 暖房一次エネルギー消費量（岡山）

岡山の居室間歇運転時の暖房一次エネルギー消費量を図 5-25 に示す。高知の算出結果と同様に、接Lプランモデルの暖房一次エネルギー消費量は非Lプランモデルの約 1.1～1.2 倍となっている。現行の外皮性能基準である等級 4 相当の暖房一次エネルギー消費量は高知の約 1.5 倍となっている。

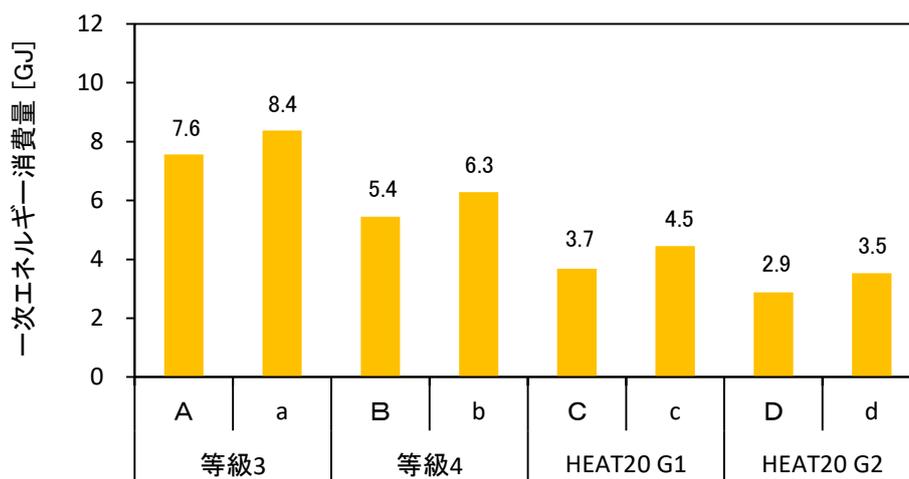


図 5-25：暖房一次エネルギー消費量（岡山 居室間歇運転）

5.6 冬季の算出結果（宇都宮）

5.6.1 冬季の寝室・子供室の温熱環境（宇都宮）

宇都宮の居室間歇運転時の冬季の就寝時（1～6 時）における寝室・子供室の空気温度を図 5-26 に示し、住宅名下部に 18℃以上となる割合を示す。18℃を上回るモデルは一つもなく、HEAT20 の G2 相当のモデルでも 8 割以上が 16℃未満となっている。等級 4 相当のモデルだと約 4 割が 10℃未満となっている。

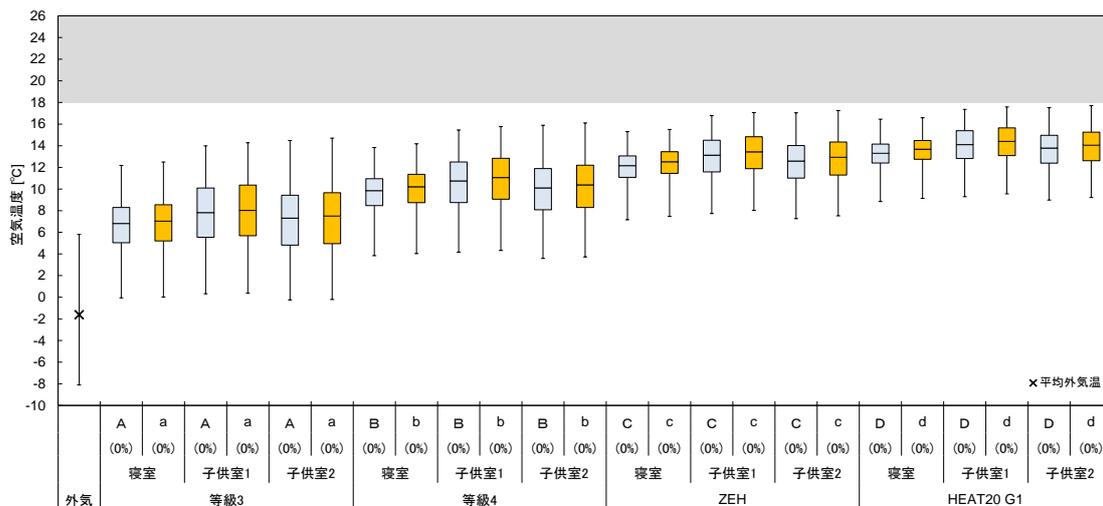


図 5-26：冬季の就寝時における寝室・子供室の空気温度（宇都宮 居室間歇運転）

5.6.2 冬季の非居室の温熱環境（宇都宮）

宇都宮の居室間歇運転時の冬季の夜間（18～22時）における非居室の空気温度を図 5-27 に示す。非接Lプランモデルは全モデルの全室が低室温となっており、HEAT20 のG1 相当でも 40%以下となっている。接Lプランモデルも等級 4 相当の外皮性能だとほとんど 18℃未満となっているが、ZEH 相当以上の外皮性能のモデルは、トイレと洗面脱衣の 18℃以上となる割合が 60%以上となっている。

外皮平均熱貫流率 U_A と居室間歇運転時の冬季の夜間（18～22時）における浴室、トイレおよび洗面脱衣の空気温度が 18℃以上となる割合の散布図を図 5-28 に示す。宇都宮においても非接Lプランモデルは外皮平均熱貫流率 U_A が 0.4 W/m²K程度あってもほとんど 18℃以下となるが、接Lプランモデルは外皮平均熱貫流率 U_A が 0.4 W/m²K程度あれば 60%以上となる。

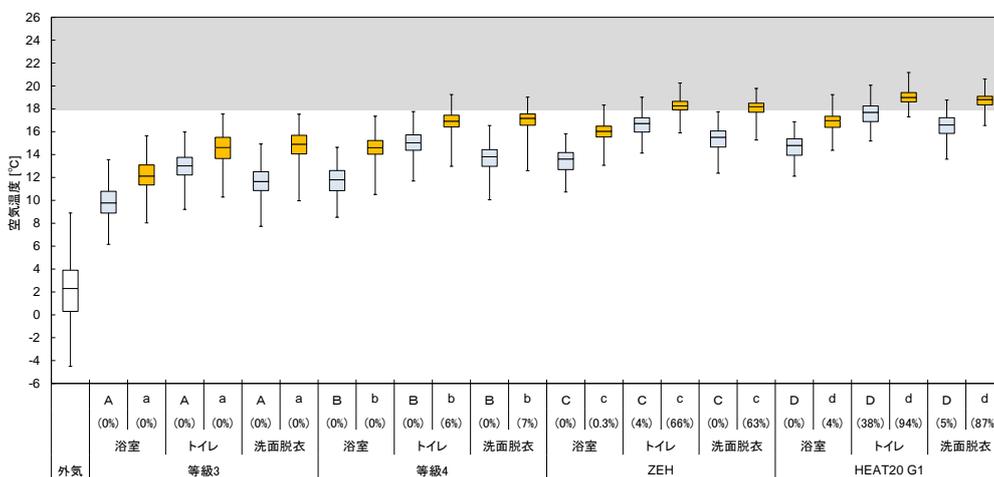


図 5-27：冬季の夜間における非居室の空気温度（宇都宮 居室間歇運転）

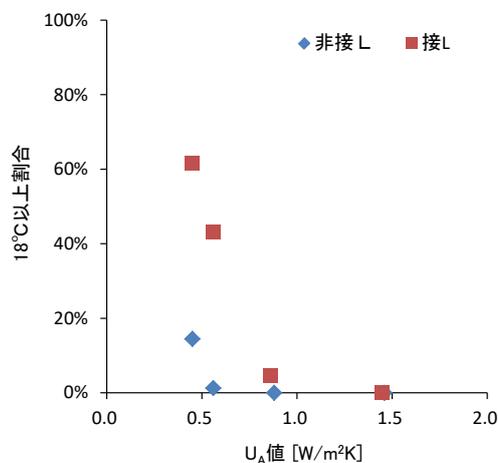


図 5-28： U_A 値と冬季夜間の浴室等の室温が 18℃以上となる割合（宇都宮 居室間歇運転）

5.6.3 暖房一次エネルギー消費量（宇都宮）

宇都宮の居室間歇運転時の暖房一次エネルギー消費量を図 5-29 に示す。暖房一次エネルギー消費量は高知の約 2 倍となっている。

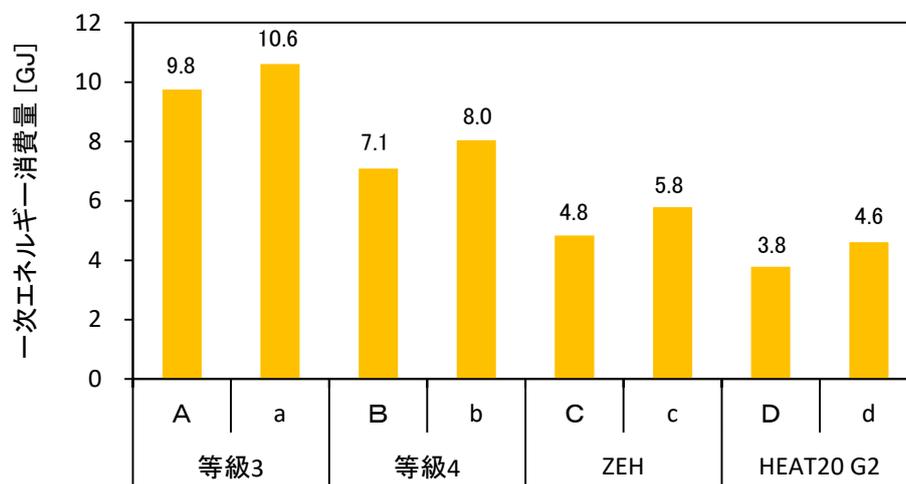


図 5-29：暖房一次エネルギー消費量（宇都宮 居室間歇運転）

5.7 おわりに

本章では、温熱環境シミュレーションの算出結果について示した。本章のまとめを「夏季の算出結果」、「冬季の算出結果」および「暖冷房一次エネルギー消費量」に分けて以下に示す。夏季および冬季の算出結果については実態調査で得られた知見も含めてまとめている。

1) 夏季の算出結果

夏季の実態調査の結果では、窓開けをする住宅は適正な温熱環境調整ができていないことから温湿度が高く、建築物衛生法の衛生管理基準の適合割合が低い傾向にあった。そこで、温熱環境シミュレーションで、外気が 26℃以下になると通風を行う接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）を作成し計算した。その結果、LD の温湿度は衛生管理基準の適合割合が高く、起居時の場合、空気温度は全外皮性能で 90%以上となり、相対湿度は等級 4 以上の外皮性能で 80%以上となった。

冷房一次エネルギー消費量は、外皮性能が高まると若干増加したが、通風と外付けブラインドの設置によって、約 20%削減した。

2) 冬季の算出結果

冬季の実態調査の結果では、H11 以降建設の住宅の脱衣所やトイレの空気温度は接Lプランの住宅が非接Lプランの住宅より約 4℃高い。温熱環境シミュレーションでは、等級 4 相当の場合、接Lプランモデルの脱衣所とトイレの空気温度は非接Lプランより約 1~2℃高い結果となり、実態調査の結果より温度差が小さいが同様の傾向を示す結果となった。夜間の浴室、トイレおよび洗面脱衣の空気温度は居室間歇運転の場合、接Lプランモデルは HEAT20 の G1 相当（高知・岡山：モデル c、宇都宮：モデル d）の外皮性能があれば、6 割以上が 18℃以上となった。また居室連続運転で気象地点が高知の場合、接Lプランモデルは等級 4 相当の外皮性能があれば、7 割以上が 18℃以上となった。非接Lプランモデルも居室連続運転の場合は空気温度が高くなるが、居室間歇運転の接Lプランモデルの方が 18℃以上となる割合が高くなった。

寝室・子供室は、省エネルギー基準の計算では就寝時に暖房をしない設定（住宅事業建築主基準に準拠）になっており、本研究でも同じ設定としたが、全気象地点の全モデルの空気温度が 18℃未満となっている。宇都宮（5 地域）では等級 4（現省エネルギー基準）の外皮性能だと約 4 割が 10℃未満となった。

接Lプランモデルの暖房一次エネルギー消費量は非接Lプランモデルの 1.1~1.2 倍となった。また岡山、宇都宮の暖房一次エネルギー消費量は高知の 1.5 倍、2 倍となった。

3) 暖冷房一次エネルギー消費量

気象地点毎の暖冷房一次エネルギー消費量を図 5-30～図 5-32 に示す。冷房一次エネルギー消費量は高知（7 地域）が最も多く、暖房一次エネルギー消費量は宇都宮（5 地域）が最も多くなったが、総量は岡山（6 地域）が最も多くなった。

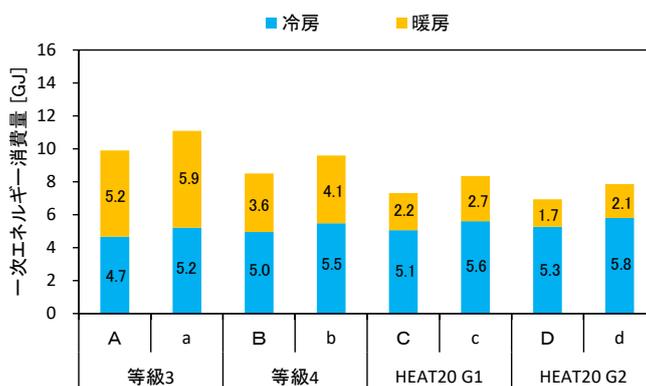


図 5-30：暖冷房一次エネルギー消費量（高知）

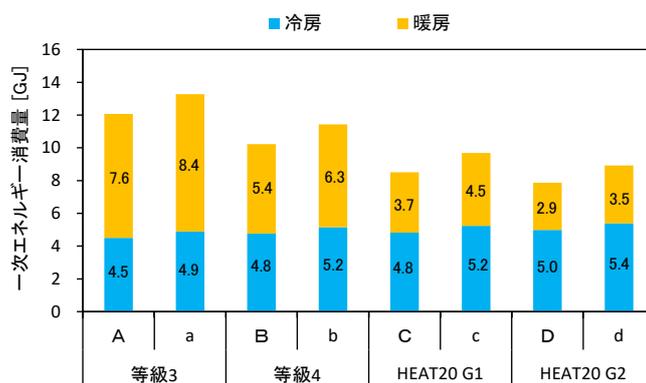


図 5-31：暖冷房一次エネルギー消費量（岡山）

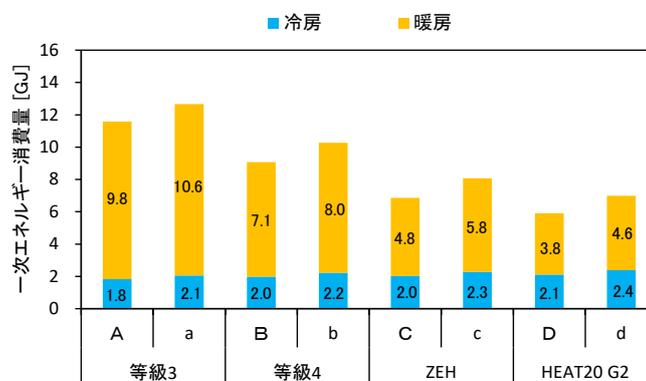


図 5-32：暖冷房一次エネルギー消費量（宇都宮）

参考文献<第 5 章>

- [5-1] 厚生労働省, 建築環境衛生管理基準, <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/sei-katsu-eisei10/>, 2019.12 取得
- [5-2] The Cold Weather Plan for England, Protecting health and reducing harm from cold weather, Public Health England, 2015

第 6 章

総括

第6章 総括

6.1 本論文の各章のまとめ

本研究では、住宅の断熱性能や間取りなどの住宅属性と居住者の温熱環境調整行為の違いによる室内の温熱環境と暖冷房エネルギー消費への影響について明らかにすることを目的として、室内温熱環境の実態調査と温熱環境シミュレーションを行った。以下に第 5 章までの各章の要点をまとめる。

第 1 章「序論」では研究の背景として、住宅の省エネルギー基準では、地域毎に外皮性能の基準が定められており、その基準を満たすことが推奨されているが、基準値は現在の性能水準の普及状況を勘案した最低基準であることや、住宅毎に立地条件、気象条件および居住者の住まい方などが異なることから、外皮性能が基準を満たせば必ず適正な温熱環境を確保できるとは限らないことが予想されると述べた。また先行研究の調査結果より、外皮性能が省エネルギー基準を満たしていても、夏季と冬季に適正な温熱環境を確保できていない住宅がみられ、特に冬季は対象住宅が居室のみを間歇暖房する方式を採用しているため、暖房の行われていない脱衣所やトイレなどの非居室の室温が低く、断熱性能だけでなく間取りの違いで室温が異なる結果となったことを示した。また夏季は窓開け主体で過ごす住宅が多くみられ、温湿度が建築物衛生法の衛生管理基準を満たす割合が少ない住宅がみられたことを示した。

続いて本研究の目的として、住宅の断熱性能や間取りなどの住宅属性と居住者の温熱環境調整行為の違いによる室内の温熱環境と暖冷房エネルギー消費への影響について明らかにすることを述べ、研究内容として室内温熱環境の実態調査と温熱環境シミュレーションを行ったことを示した。

第 2 章「本研究に関する基本的事項」では外皮性能や温熱環境の基準、本研究で着目する住宅の間取り、温熱環境シミュレーションプログラム等の本研究に係る基本的な事項を示した。

第 3 章「温熱環境の実態調査」では高知県内の省エネルギー基準の地域区分における 6 地域および 7 地域に建設された戸建住宅を対象とした、夏季と冬季の温熱環境の実態調査の結果について示した。本章で得られた知見を以下に示す。

- 1) 夏季の温熱環境については、住宅毎にエアコンの使用や窓開け等の温熱環境調整行為が異なるため、建設年に関係なく温湿度も異なる結果となった。エアコンの使用率の低い住宅は温湿度が高く、衛生管理基準値の適合割合が低い傾向にあった。窓開けと扇風機のみで過ごす住宅のほとんどは、空気温度の適合割合が 30%以下、相対湿度の適合割合が 50%以下となっている。既往研究では居住者の温熱環境調整行為は居住者の生活習慣や温熱感覚によって決まることが示されており、外気の温湿度に応じて温熱環境調整行為を決めることは少ないと予想されるため、本研究で調査した対象住宅も適切なタイミングで窓開けができていないことが考えられる。
- 2) 冬季の温熱環境については、主居室は断熱性能が高いと考えられる H11 以降建設の住宅の方が、空気温度が比較的高い結果となっているが、十分な暖房ができていない住宅についてはほとんど 18℃を下回っていた。相対湿度は衛生管理基準値の適合割合が全体的に高い傾向にあったが、加湿されているわけではなく、空気温度が低いことで高くなっていると考えられる。また非居室（脱衣所またはトイレ）の空気温度は建設年に関係なくほとんどの住宅が 18℃を下回る温度となっている。しかし接 L プランの住宅は非接 L よりも主居室と非居室の空気温度が高く、H11 以降建設の住宅だと約 4℃高い。また接 L の方が温度差が小さく、相関係数が高くなっているため、主居室の空気温度が高くなるにつれ非居室の空気温度も高くなっていると考えられる。

第 4 章「温熱環境シミュレーションの概要」では温熱環境シミュレーションの概要について示した。住宅モデルの作成から計算までの流れを以下にまとめる。

- ① 省エネルギー基準の計算結果等と比較できるように、その計算に用いられた住宅モデル（非接 L プランモデル）と、そのモデルの間取りを変えて接 L プランとしたモデル（接 L プランモデル）を計算対象とした。
- ② ①のモデルをベースとし、「等級 3」、「等級 4」、「HEAT20 G1」、「HEAT20 G2」の 4 種類の外皮性能に相当する外皮仕様としたモデルをそれぞれ作成した（合計 8 つのモデル）。在室者スケジュールや内部発熱などの設定は住宅事業建築主基準に準拠した。
- ③ ②で作成した 8 つのモデルの、気象条件（高知・岡山・宇都宮）および暖冷房運転方式（居室間歇運転・居室連続運転）を変えて計算した。
- ④ 夏季の窓開けによる通風と外付けブラインドによる日射遮蔽の効果を確認するために、接 L プランモデルを外気温の低い時に通風を行う設定とし、全ての窓に外付けブラインドを設置したモデル（合計 4 つのモデル）を作成し、気象データは高知のみを対象として計算した。

第5章「温熱環境シミュレーションの算出結果」では温熱環境シミュレーションの算出結果について示した。本章のまとめを「夏季の算出結果」、「冬季の算出結果」および「暖冷房一次エネルギー消費量」に分けて以下に示す。温熱環境については実態調査から得られた知見と照らし合わせて考察している。

1) 夏季の算出結果

夏季の実態調査の結果では、窓開けをする住宅は適正な温熱環境調整ができていないことから温湿度が高く、建築物衛生法の衛生管理基準の適合割合が低い傾向にあった。そこで、温熱環境シミュレーションで、外気が26℃以下になると通風を行う接Lプランモデル（通風+外付けブラインド）を作成し計算した。その結果、LDの温湿度は衛生管理基準の適合割合が高く、起居時の場合、空気温度は全外皮性能で90%以上となり、相対湿度は等級4以上の外皮性能で80%以上となった。

冷房一次エネルギー消費量は、外皮性能が高まると若干増加したが、通風と外付けブラインドの設置によって、約20%削減した。

2) 冬季の算出結果

冬季の実態調査の結果では、H11以降建設の住宅の脱衣所やトイレの空気温度は接Lプランの住宅が非接Lプランの住宅より約4℃高い。温熱環境シミュレーションでは、等級4相当の場合、接Lプランモデルの脱衣所とトイレの空気温度は非接Lプランより約1~2℃高い結果となり、実態調査の結果より温度差が小さいが同様の傾向を示す結果となった。夜間の浴室、トイレおよび洗面脱衣の空気温度は居室間歇運転の場合、接LプランモデルはHEAT20のG1相当（高知・岡山：モデルc、宇都宮：モデルd）の外皮性能があれば、6割以上が18℃以上となった。また居室連続運転で気象地点が高知の場合、接Lプランモデルは等級4相当の外皮性能があれば、7割以上が18℃以上となった。非接Lプランモデルも居室連続運転の場合は空気温度が高くなるが、居室間歇運転の接Lプランモデルの方が18℃以上となる割合が高くなった。

寝室・子供室は、省エネルギー基準の計算では就寝時に暖房をしない設定（住宅事業建築主基準に準拠）になっており、本研究でも同じ設定としたが、全気象地点の全モデルの空気温度が18℃未満となっている。宇都宮（5地域）では等級4（現省エネルギー基準）の外皮性能だと約4割が10℃未満となった。

接Lプランモデルの暖房一次エネルギー消費量は非接Lプランモデルの1.1~1.2倍となった。また岡山、宇都宮の暖房一次エネルギー消費量は高知の1.5倍、2倍となった。

3) 暖冷房一次エネルギー消費量

冷房一次エネルギー消費量は高知（7地域）が最も多く、暖房一次エネルギー消費量は宇都宮（5地域）が最も多くなったが、総量は岡山（6地域）が最も多くなった。

6.2 本研究の総括

本研究では住宅の断熱性能や間取りなどの住宅属性と居住者の温熱環境調整行為の違いによる室内の温熱環境と暖冷房エネルギー消費への影響について明らかにすることを目的として、室内温熱環境の実態調査と温熱環境シミュレーションを行った。

実態調査を行った結果、夏期に窓開けと扇風機の使用のみで過ごす住宅のほとんどは湿度が高く、建築物衛生法の衛生管理基準の適合割合が空気温度は 30%以下、相対湿度は 50%以下となった。冬季の非居室（脱衣所またはトイレ）の空気温度は現行の省エネルギー基準の外皮性能基準となった平成 11 年以降建設の住宅でも、イギリス保健省の防寒計画で推奨する許容温度の 18℃をほとんど下回ったが、接Lの住宅は非接Lよりも非居室の空気温度が高く、平成 11 年以降建設の住宅だと約 4℃高くなった。

温熱環境シミュレーションでは、省エネルギー基準の計算に用いられた標準的な住宅モデルを「非接Lプランモデル」とし、そのモデルとそのモデルの間取りを接Lに変更した「接Lプランモデル」を計算対象とした。この2つのモデルをベースに、AE-CAD を用いて実測調査では把握しきれない断熱性能、暖冷房設備の使用状況、気象等といった様々な条件の組み合わせで、複数の住宅モデルを作成し、AE-Sim/Heat で温熱環境や暖冷房エネルギー消費を算出した。冷房一次エネルギー消費量は外気温に応じた通風と外付けブラインドの設置によって、エアコンのみで過ごす場合に比べて 2 割削減した。また通風による温熱環境は実態調査とは異なり、空気温度と相対湿度ともに衛生管理基準値の適合割合が、等級 4 以上の外皮性能であれば 80%以上となった。暖房一次エネルギー消費量は非接Lプランモデルよりも接Lプランモデルの方が若干多くなっているが、冬季の夜間の非居室（浴室・トイレ・洗面脱衣）の空気温度は接Lプランモデルの方が高く、等級 4 相当だと約 1~2℃高くなった。また居室間歇運転の場合、接Lプランモデルは HEAT20 の G1 相当（高知・岡山：モデル c、宇都宮：モデル d）の外皮性能があれば、6 割以上が 18℃以上となり、居室連続運転の非接Lプランモデルよりも 18℃以上となる割合が高くなった。

温熱環境シミュレーションによって、夏季は外気温に応じた通風によって衛生管理基準を満たしつつ冷房エネルギー消費を削減できることを確認した。冬季は実態調査の結果と同様に、接Lプランの非居室の空気温度が非接Lプランよりも高くなり、実態調査では把握できなかった様々な条件での温熱環境や暖冷房負荷の差異を定量的に把握した。

最後に本研究の今後の展望を以下に記す。

- 本研究では冬季にヒートショックを引き起こす危険性のある脱衣所やトイレの温熱環境に影響を与える間取りとして主居室と非居室との位置関係に着目して温熱環境シミュレーションを実施したが、他にも非居室の外壁の方位、暖房室（主居室）の面積、および間仕切壁や間仕切り戸の種類等の様々な要素が影響することが予想される。本研究では省エネルギー基準の計算結果と比較できるようにするために、その計算に用いたモデルをベースとして、様々な条件で網羅的にシミュレーションをすることに重点を置いていたが、脱衣所などの非暖房室の温熱環境に影響を与える

要素に着目したい場合は、それぞれの要素の影響のみを検証できるモデルを作成し計算する必要があると考える。

- ▶ 代表的な暖冷房運転方式には「居室間欠運転」、「居室連続運転」および「全館連続運転」の3つがあるが、本研究の温熱環境シミュレーションでは時間の都合上で「居室間欠運転」と「居室連続運転」のみしか検討していないため、「全館連続運転」についても計算する必要があると考える。また温熱環境シミュレーションで使用した気象データの地点についても、本研究では省エネルギー基準の地域区分の5～7地域の3地域のみとしたが、他の地域の代表地点についても計算する必要があると考える。

謝辭

謝辞

本論文は2018年から2年間在籍した高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻の修士課程において、所属する建築環境工学研究室での研究成果をもとに修士論文としてまとめたものです。

本研究を進めるにあたり、主指導教員である高知工科大学システム工学群 田島昌樹准教授には多大なるご指導とご助言とを賜りました。研究室に配属当初、工学の基礎知識や建築環境工学に係る知識をほとんど持っていなかった私が本研究を修士論文としての形に成せるほど成長できたのは、常日頃から厳しく指導していただいた田島先生のお陰であります。ここに深甚なる感謝の意を表します。

また高知県の住宅を対象とした温熱環境の実態調査に協力していただいた方々、AE-Sim/Heat の使用にあたって協力・助言していただいた峰野悟様（株式会社 建築環境ソリューションズ）には厚くお礼申し上げます。

研究室の皆様には研究活動中および論文執筆中に様々なご協力をいただき、また日々の議論を通して多くの知識や示唆を頂きました。特に温熱環境シミュレーションを行うにあたって住宅モデルの提案・設計をしていただいた徳菜乃子氏には厚くお礼申し上げます。また修士研究を進めていくにあたって様々な助言と協力をしていただいた依光剛志氏（現職 ダイダン株式会社）、実測データ等の整理・分析に多大なる貢献をしていただいた森下智稀氏、中川恭丞氏およびその他の研究室学生の皆様には心より感謝申し上げます。

最後に高知工科大学並びに、田島研究室のより一層の発展を祈念して謝辞に代えさせていただきます。

2020年1月
西山 亮

付録

付録A 冬季の温熱環境シミュレーションの結果

暖房をしない場合の冬季の夜間（18～22時）における居室および非居室の空気温度

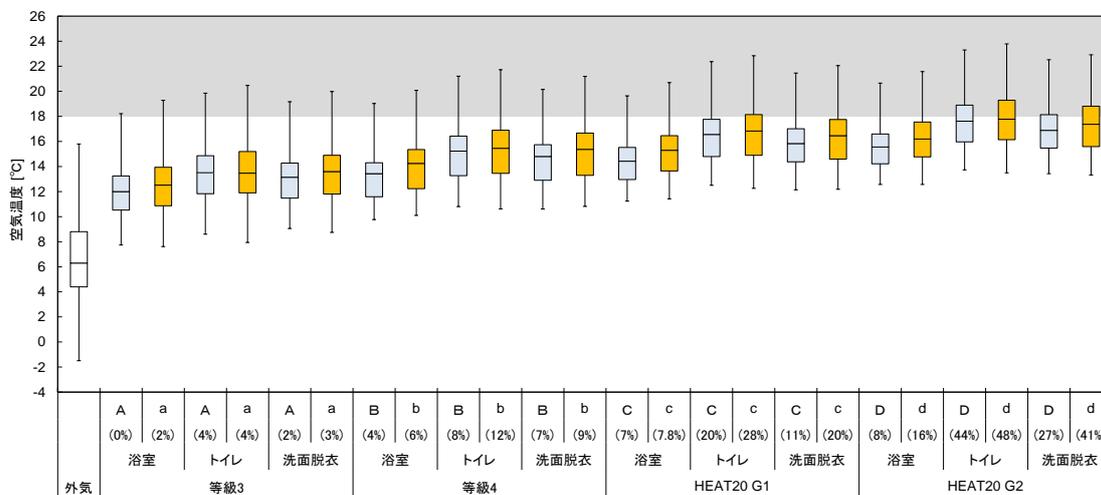


図 暖房をしない場合の冬季の夜間（18～22時）における非居室の空気温度（高知）

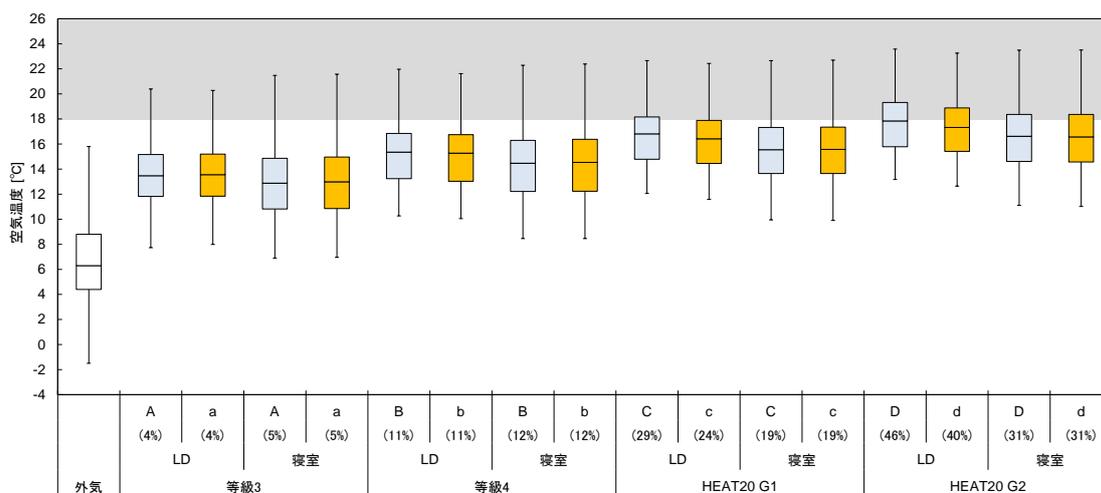


図 暖房をしない場合の冬季の夜間（18～22時）における居室の空気温度（高知）

冬季の6～7時における非居室の空気温度

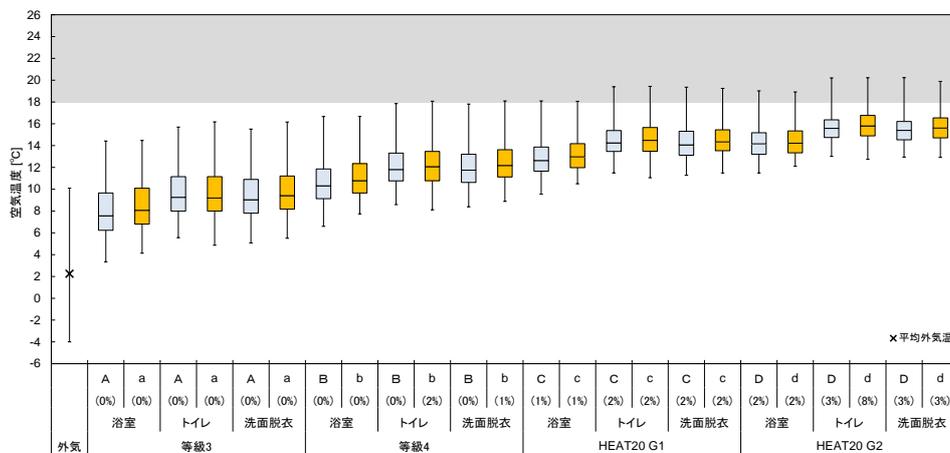


図 冬季の6～7時における非居室の空気温度（高知）

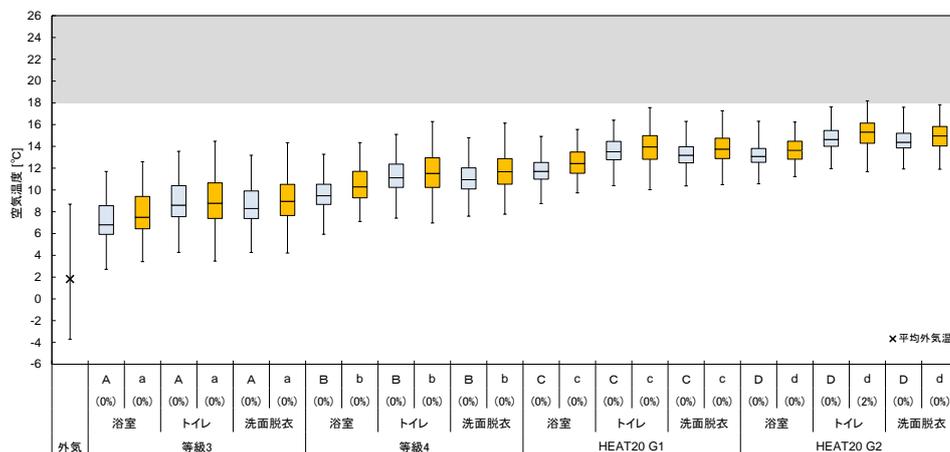


図 冬季の6～7時における非居室の空気温度（岡山）

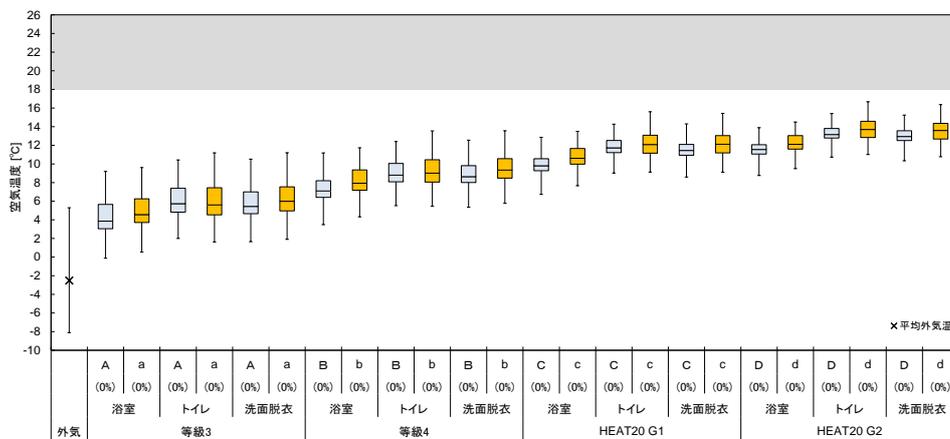


図 冬季の6～7時における非居室の空気温度（宇都宮）

平日で平均外気温が最も低い日の室内空気温度（等級3）

※ハッチングは設定暖房スケジュール

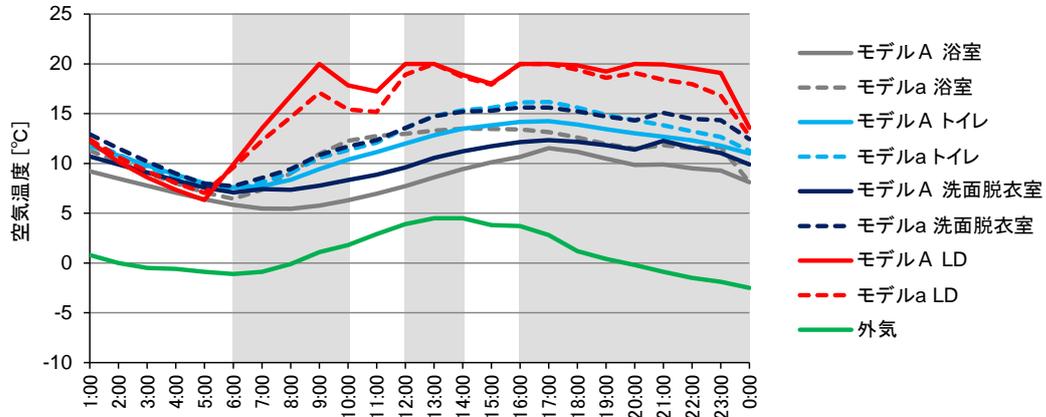


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級3 高知）

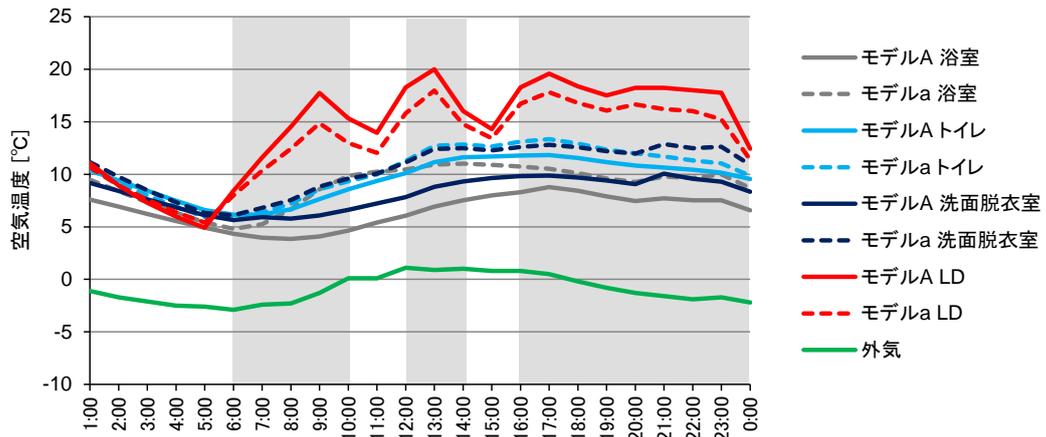


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級3 岡山）

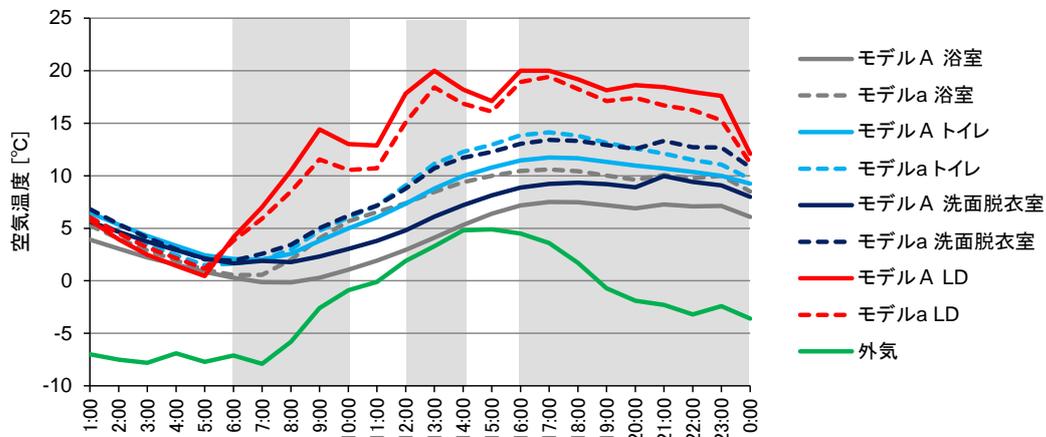


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級3 宇都宮）

平日で平均外気温が最も低い日の室内空気温度（等級4）

※ハッチングは設定暖房スケジュール

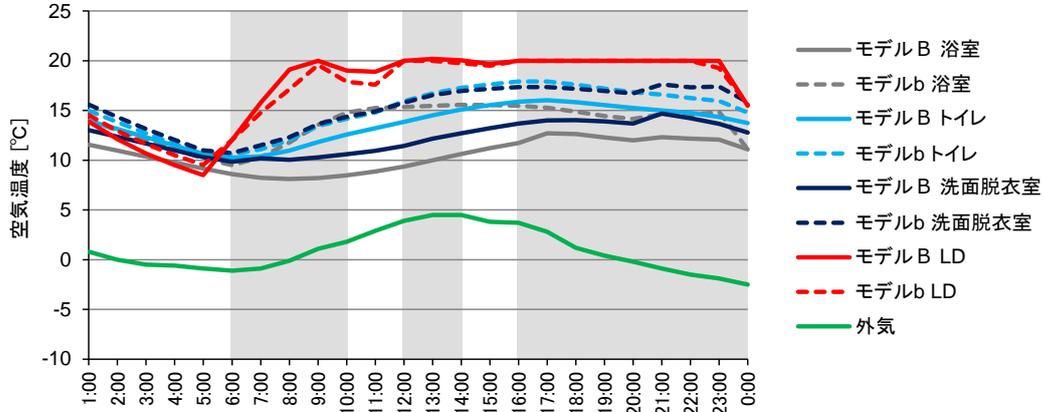


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級4 高知）

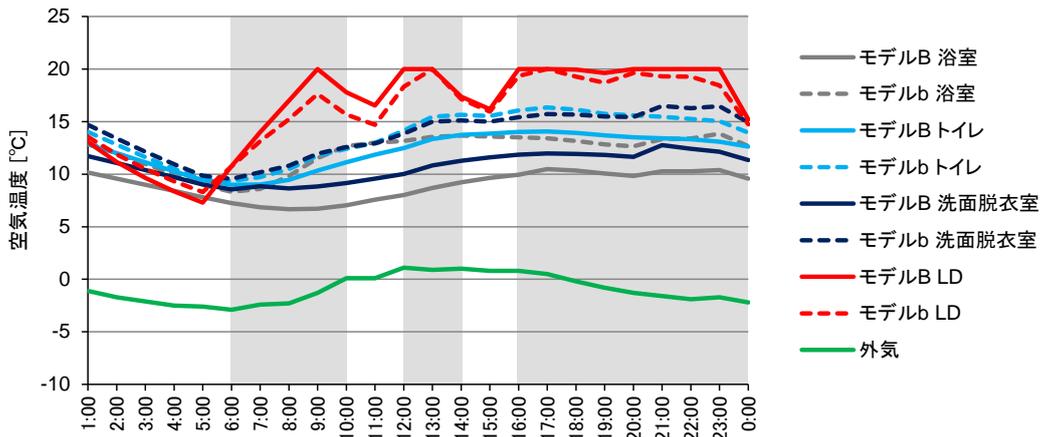


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級4 岡山）

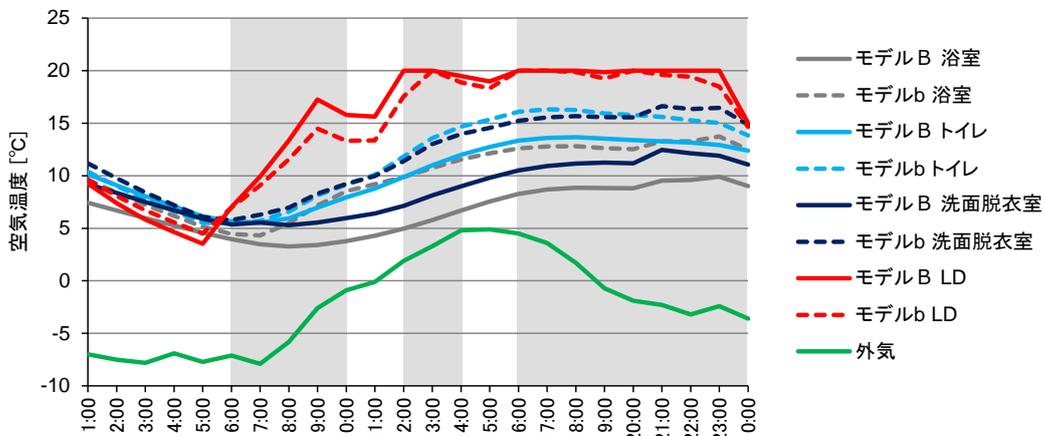


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級4 宇都宮）

平日で平均外気温が最も低い日の室内空気温度（高知、岡山：HEAT20G1 宇都宮：ZEH）

※ハッチングは設定暖房スケジュール

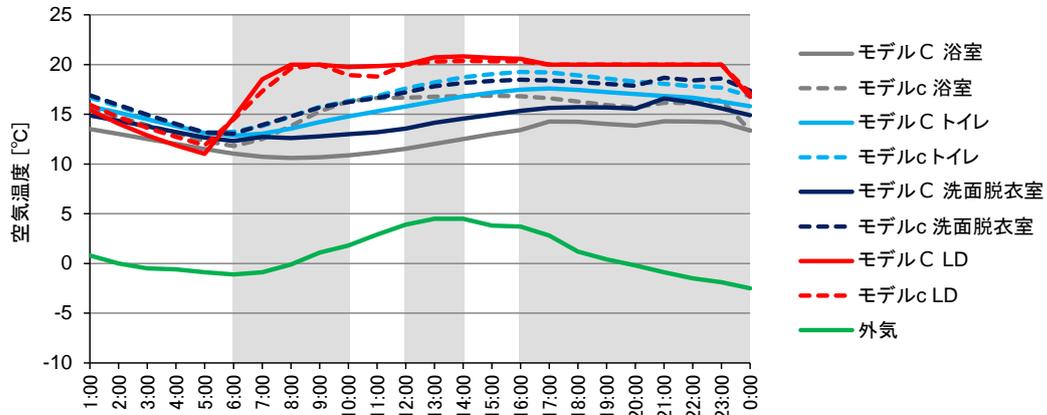


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度（HEAT20G1 高知）

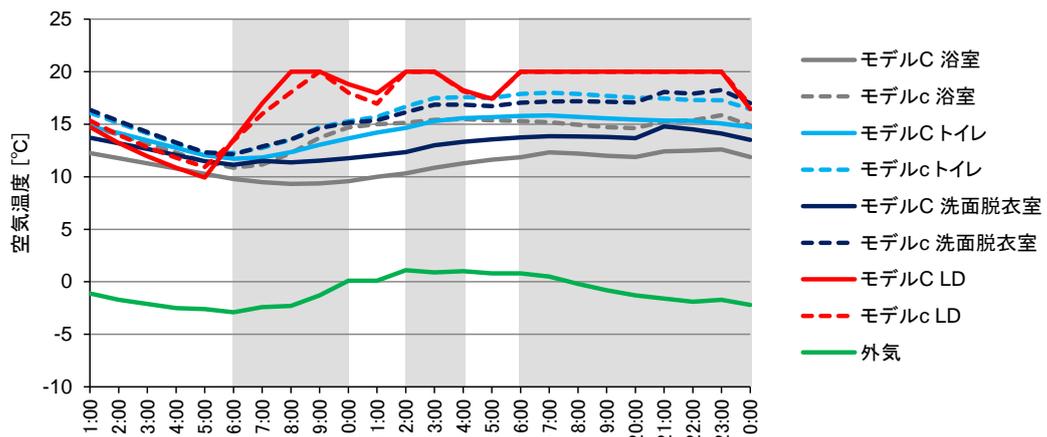


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度（HEAT20G1 岡山）

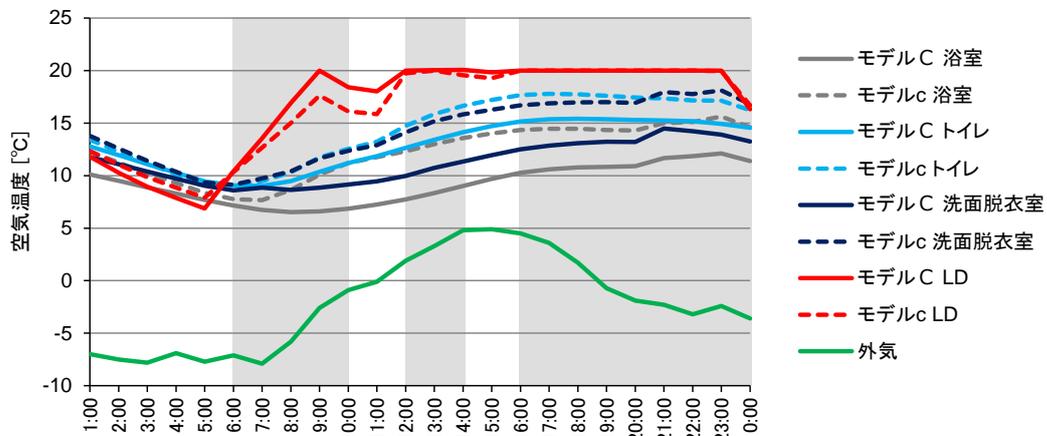


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度（ZEH 宇都宮）

平日で平均外気温が最も低い日の室内空気温度 (高知、岡山:HEAT20G2 宇都宮:HEAT20G1)

※ハッチングは設定暖房スケジュール

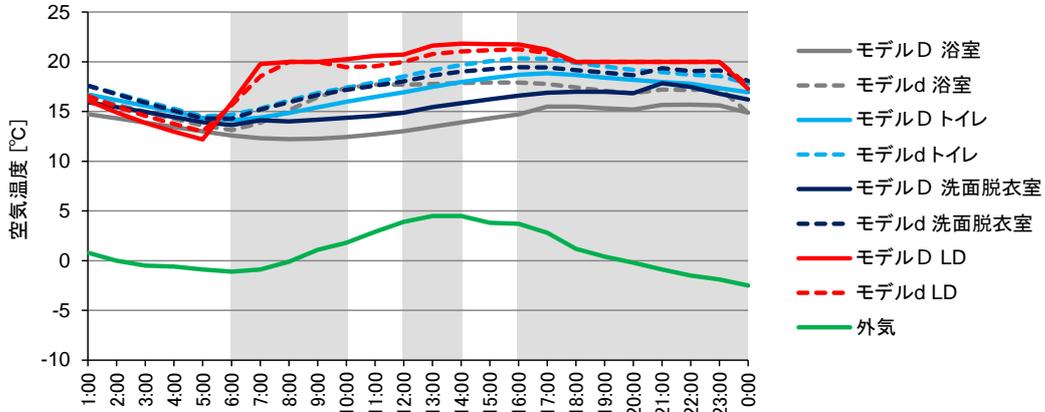


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度 (HEAT20G2 高知)

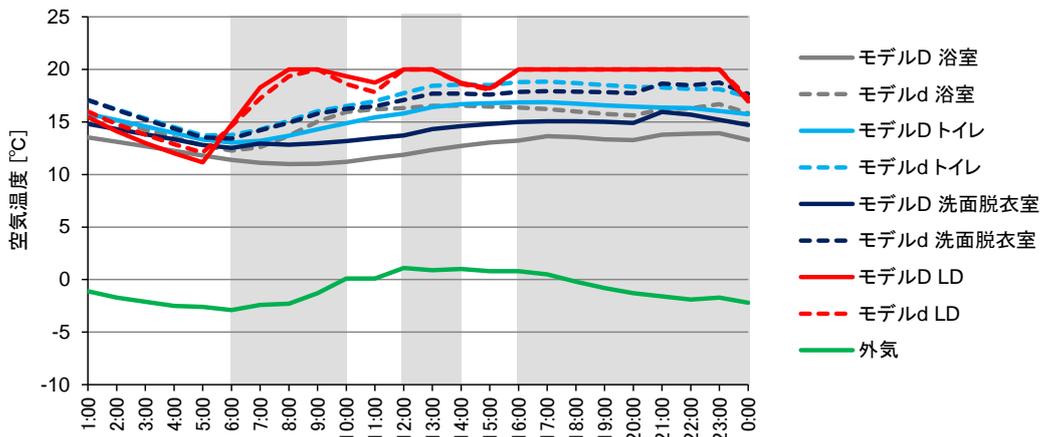


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度 (HEAT20G2 岡山)

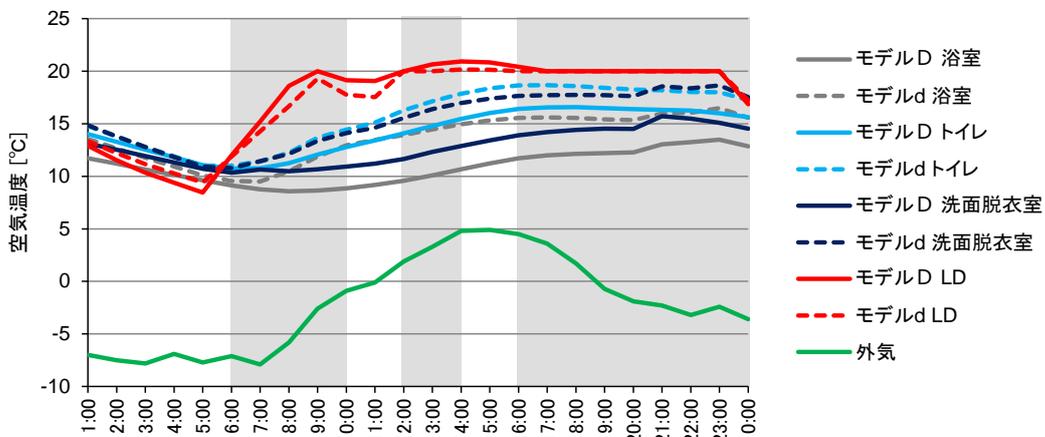


図 平日に最低平均外気温となる日の空気温度 (HEAT20G1 宇都宮)

休日で平均外気温が最も低い日の室内空気温度（等級3）

※ハッチングは設定暖房スケジュール

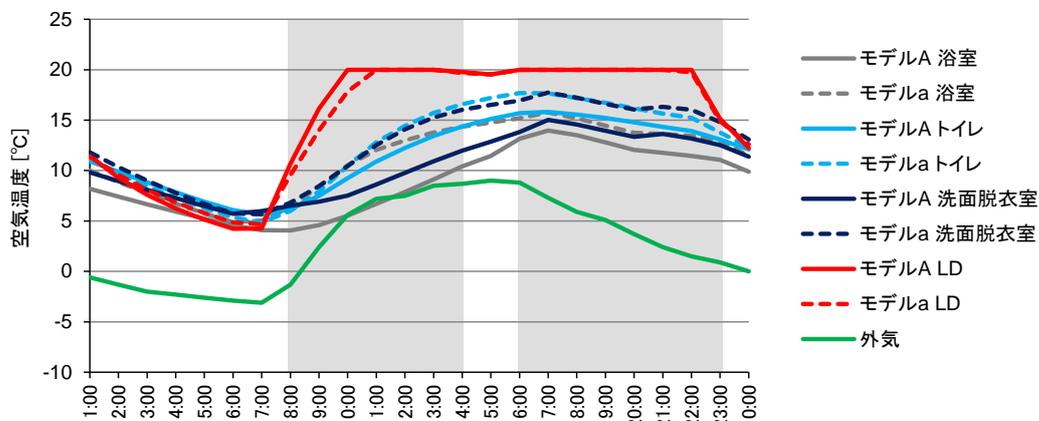


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級3 高知）

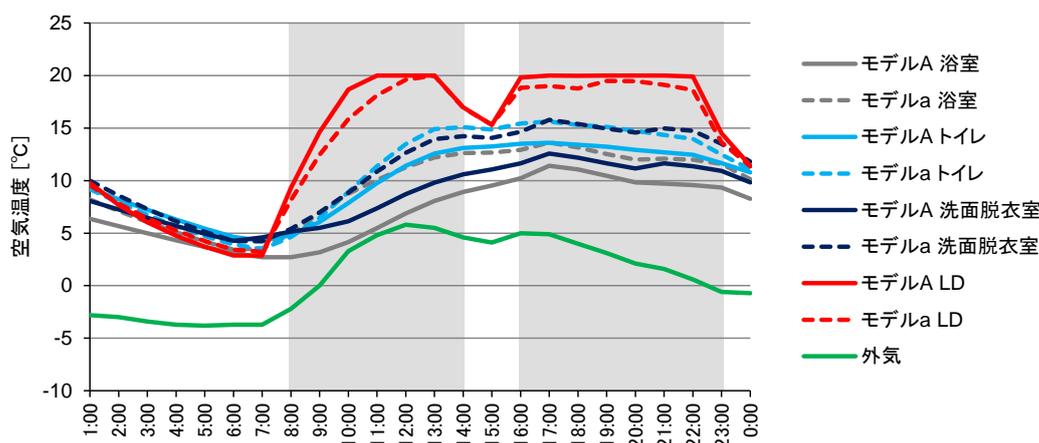


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級3 岡山）

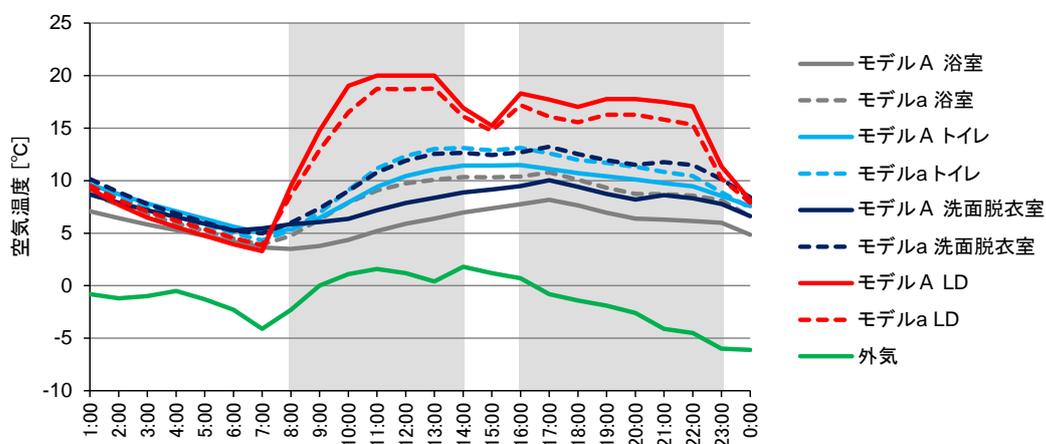


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級3 宇都宮）

休日で平均外気温が最も低い日の室内空気温度（等級4）

※ハッチングは設定暖房スケジュール

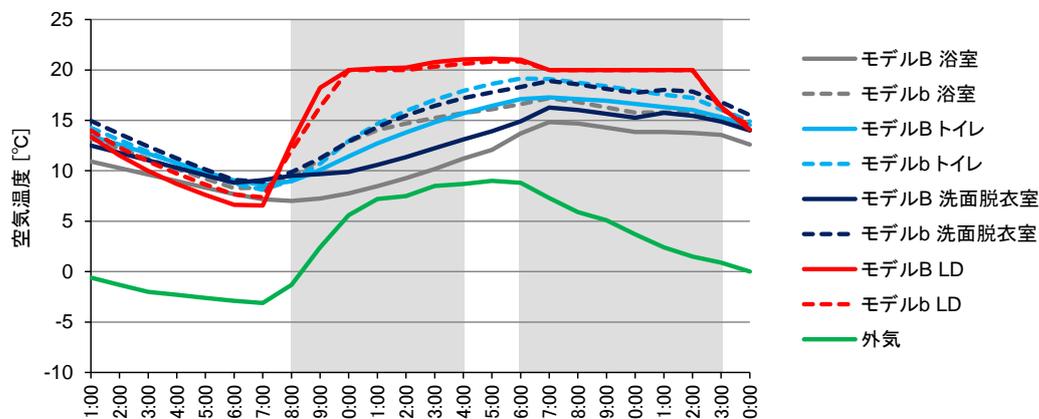


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級4 高知）

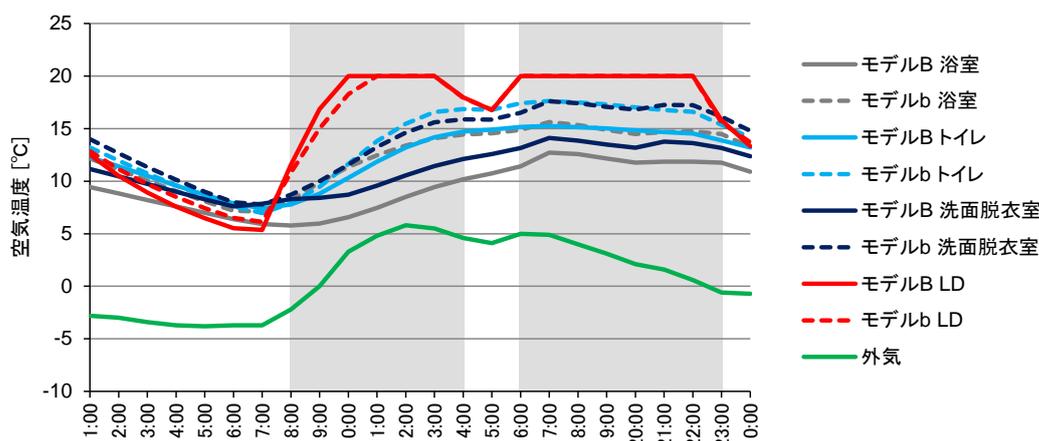


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級4 岡山）

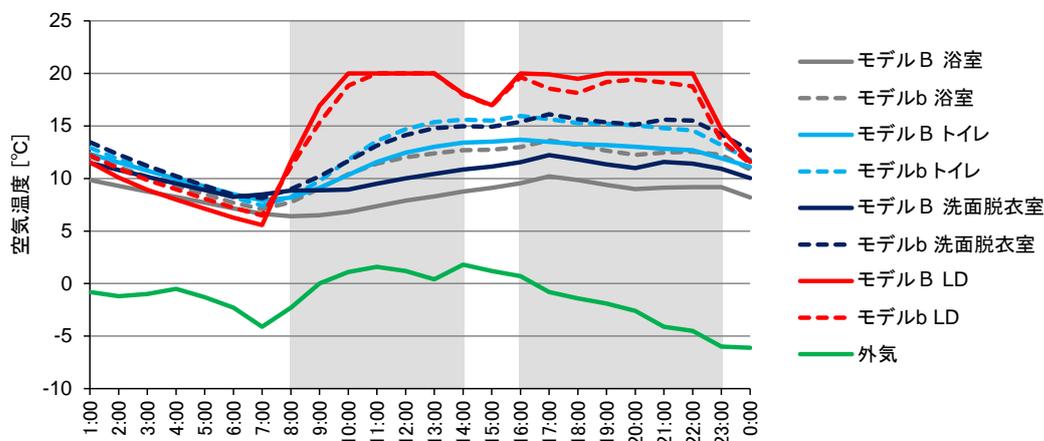


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度（等級4 宇都宮）

休日で平均外気温が最も低い日の室内空気温度（高知、岡山：HEAT20G1 宇都宮：ZEH）

※ハッチングは設定暖房スケジュール

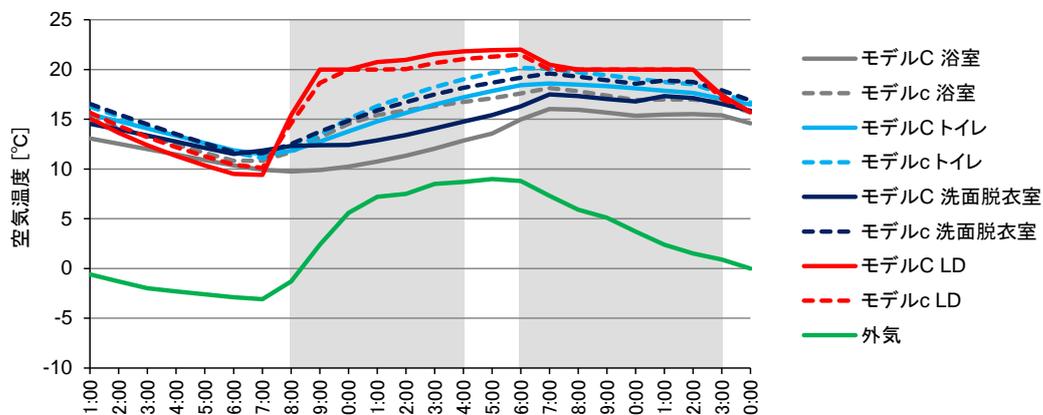


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度（HEAT20G1 高知）

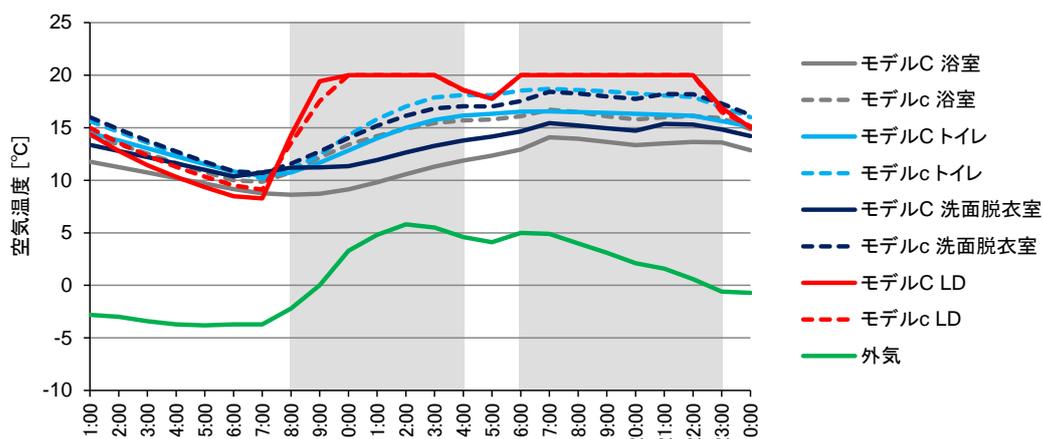


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度（HEAT20G1 岡山）

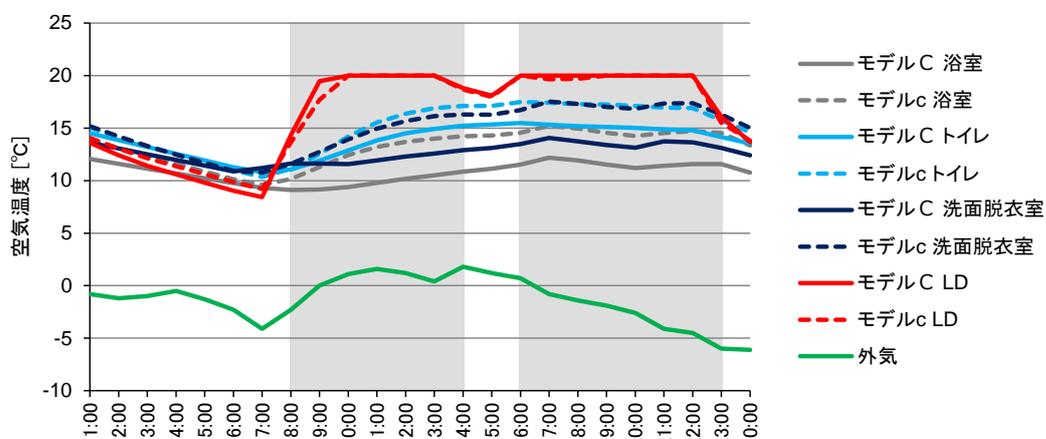


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度（ZEH 宇都宮）

休日で平均外気温が最も低い日の室内空気温度 (高知、岡山:HEAT20G2 宇都宮:HEAT20G1)

※ハッチングは設定暖房スケジュール

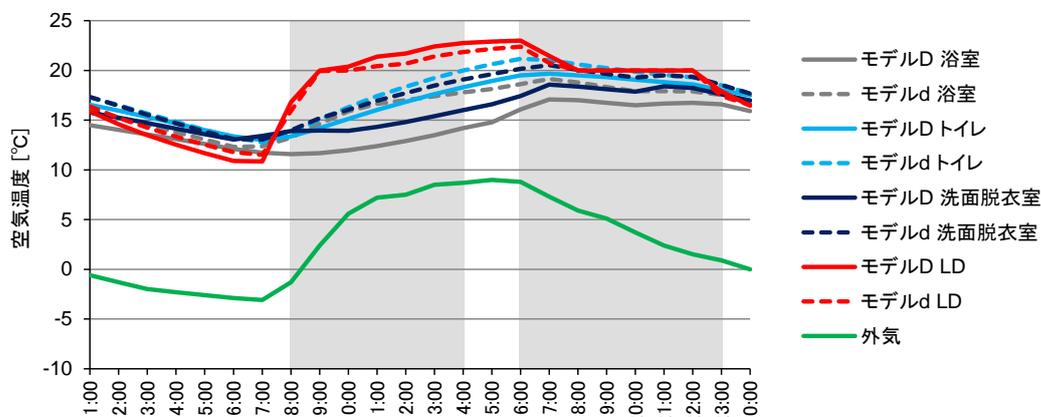


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度 (HEAT20G2 高知)

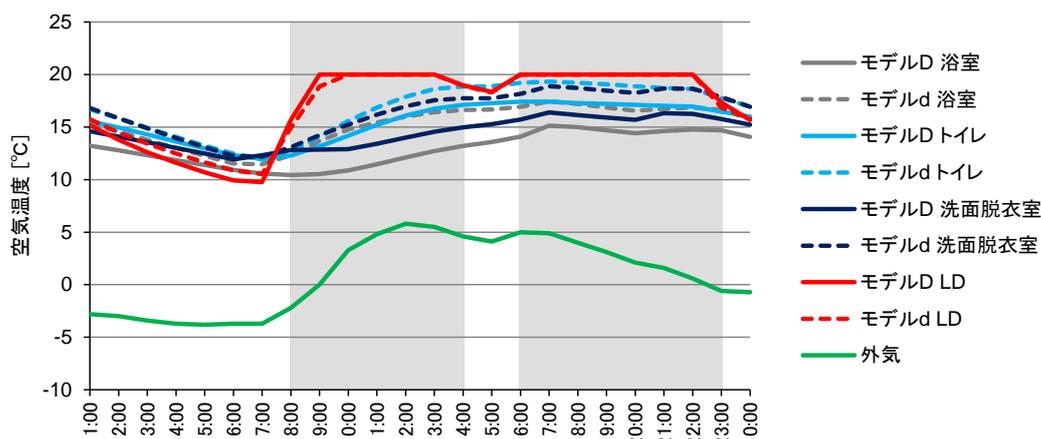


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度 (HEAT20G2 岡山)

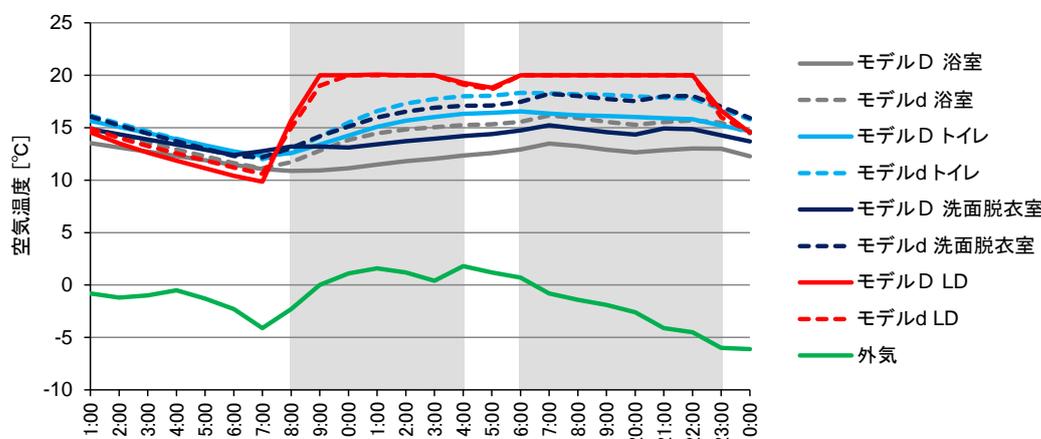


図 休日に最低平均外気温となる日の空気温度 (HEAT20G1 宇都宮)

冬季の非居室の MRT (高知)

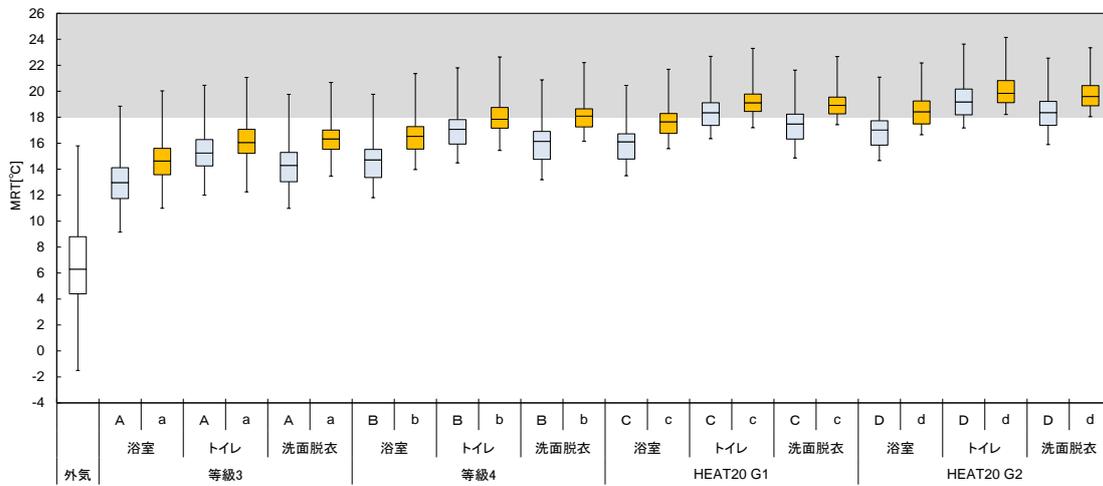


図 冬季の非居室の MRT (18~22 時)

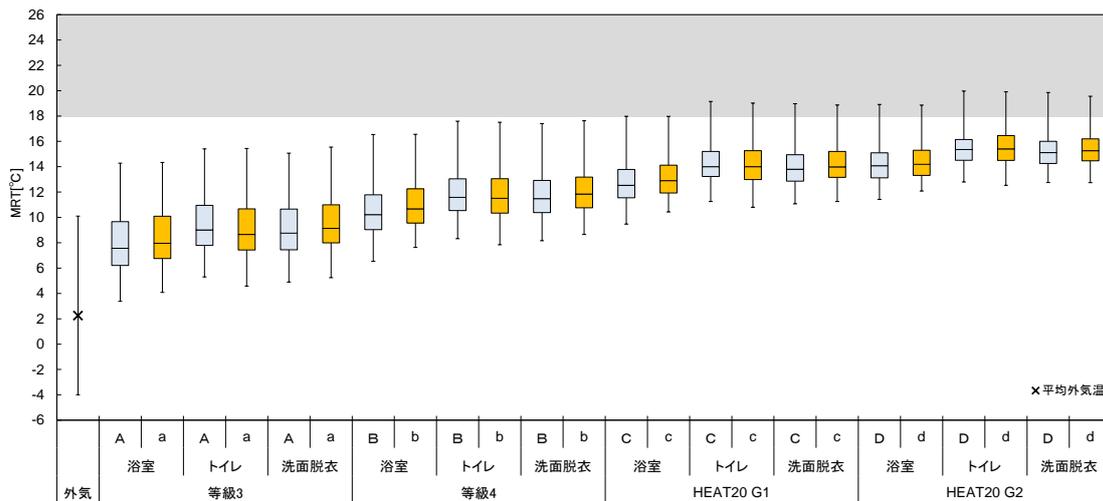


図 冬季の非居室の MRT (6~7 時)

付録B 夏季の温熱環境シミュレーションの結果

平日で平均外気温が最も高い日のLDの空気温度（高知）

※ハッチングは設定冷房スケジュール

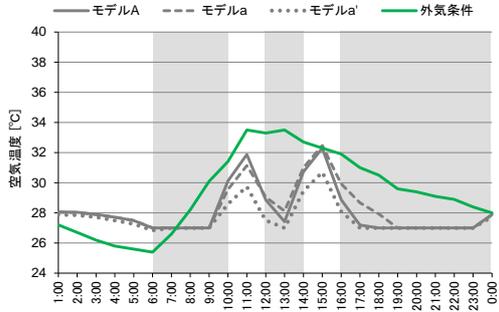


図 LDの空気温度（等級3 平日）

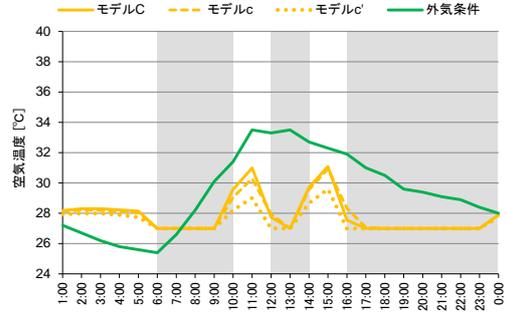


図 LDの空気温度（HEAT20G1 平日）

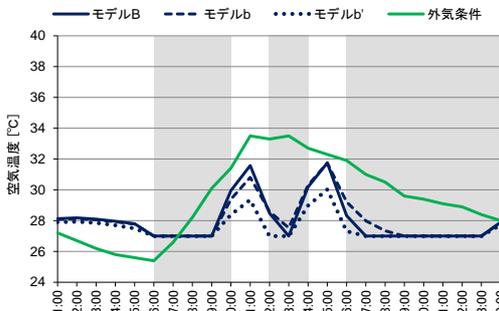


図 LDの空気温度（等級4 平日）

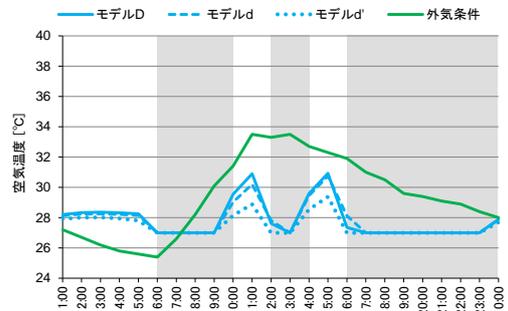


図 LDの空気温度（HEAT20G2 平日）

休日で平均外気温が最も高い日のLDの空気温度

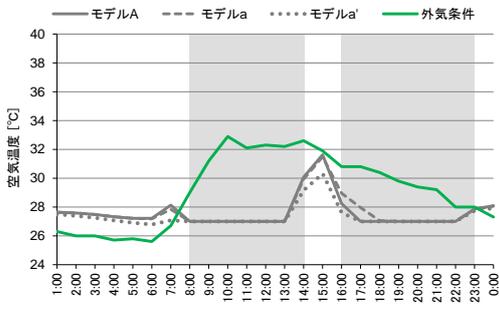


図 LDの空気温度（等級3 休日）

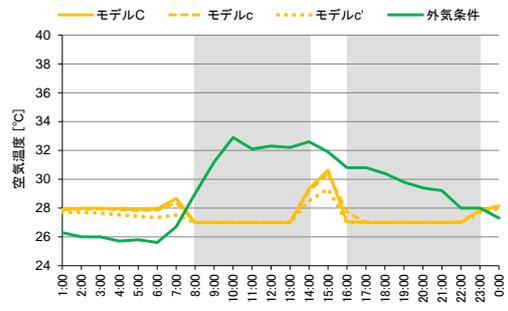


図 LDの空気温度（HEAT20G1 平日）

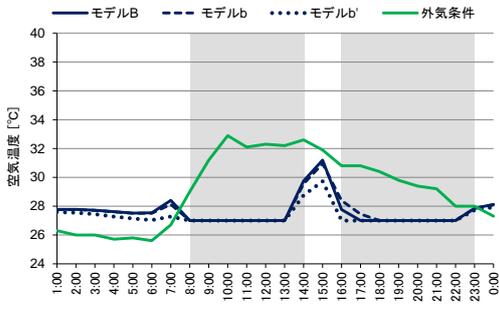


図 LDの空気温度（等級4 平日）

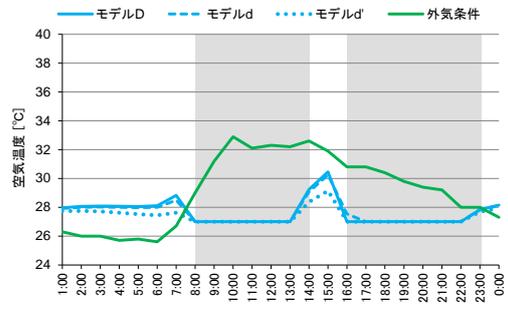


図 LDの空気温度（HEAT20G2 平日）

平日で平均外気温が最も高い日のLDの空気温度（岡山）

※ハッチングは設定冷房スケジュール

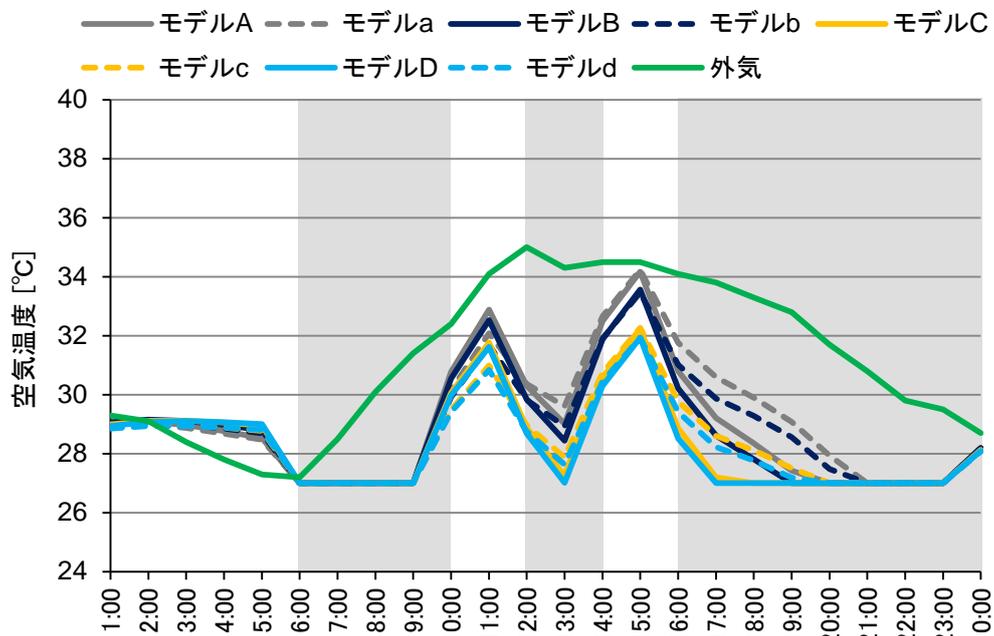


図 LDの空気温度（岡山 平日）

休日で平均外気温が最も高い日のLDの空気温度（岡山）

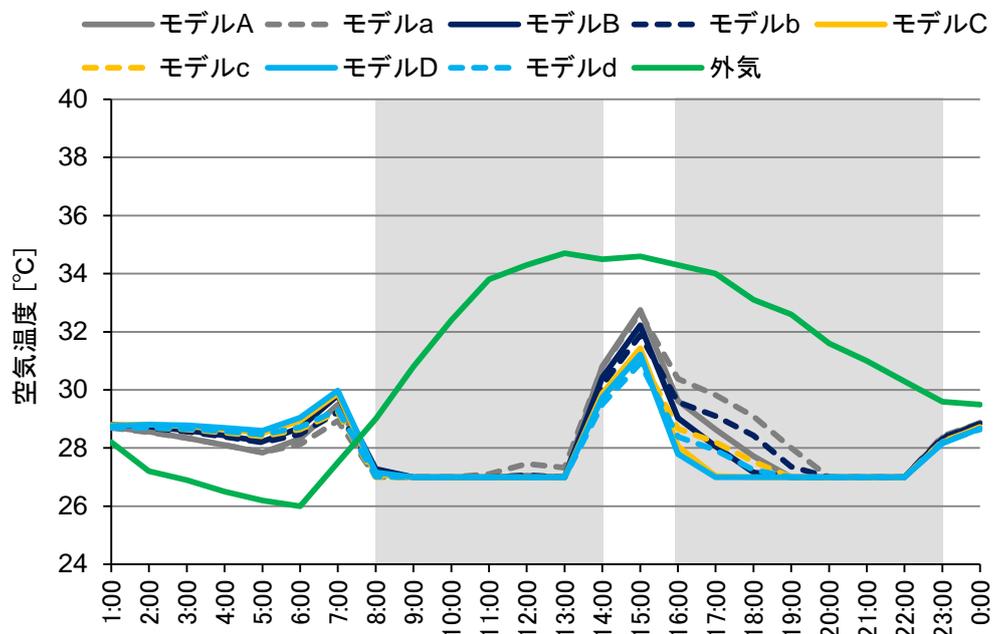


図 LDの空気温度（岡山 休日）

平日で平均外気温が最も高い日のLDの空気温度（宇都宮）

※ハッチングは設定冷房スケジュール

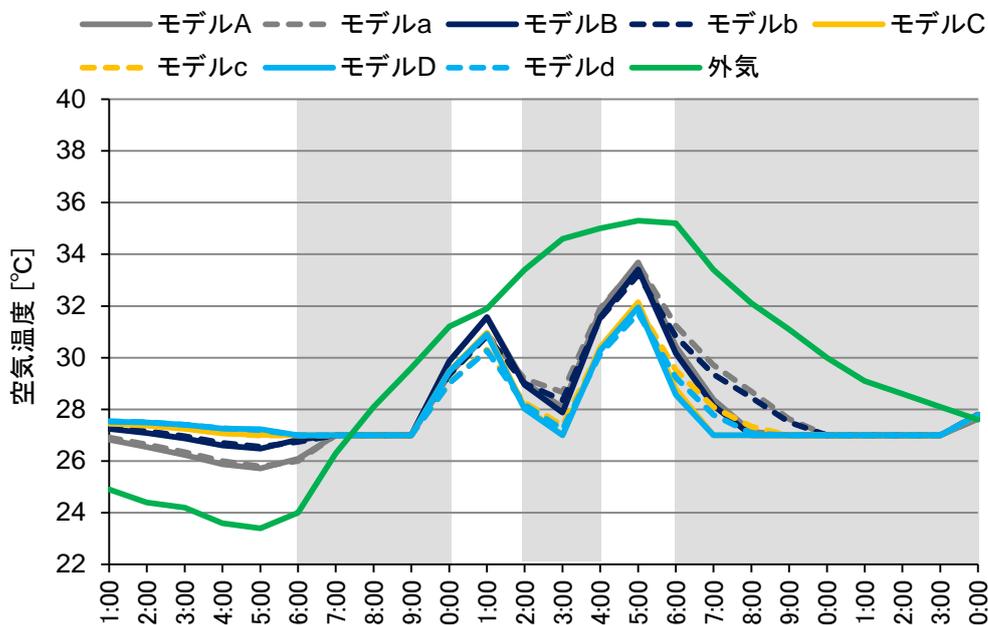


図 LDの空気温度（宇都宮 平日）

休日で平均外気温が最も高い日のLDの空気温度（宇都宮）

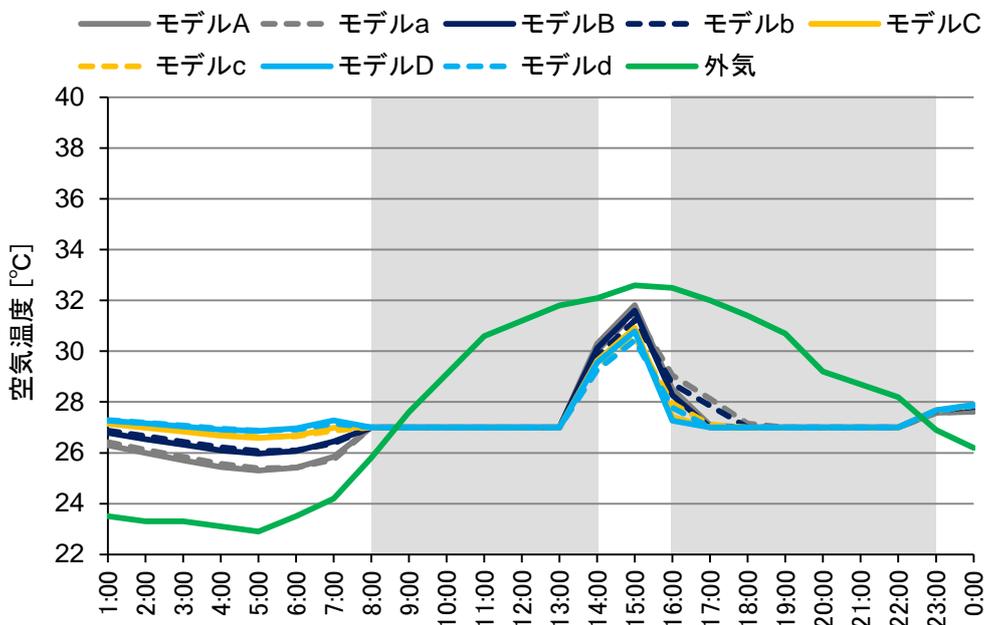


図 LDの空気温度（宇都宮 休日）

