

環境適応に関する特別調査委員会
報告書

2020年3月

日本建築学会
環境適応に関する特別調査委員会

ご案内

本書の著作権・出版権は（一社）日本建築学会にあります。本書より著書・論文等への引用・転載にあたっては必ず本会の許諾を得てください。
コピーも私的利用の範囲を超えることは法律で禁じられています。

一般社団法人 日本建築学会

はじめに

本特別調査委員会では、温暖化への対応策としての省エネに備え、建築・人・設備・ライフスタイル・技術（IT）の観点から環境適応策を明らかにすることを目的としている。委員は環境工学だけではなく、建築設備、建築計画、建築設計、医学分野の委員で構成されている。2017年度から2019年度の3年間の活動を行った。2017年度は5回の委員会を開催した。また、2018年度には、4回の委員会とシンポジウムを開催した。2018年12月18日のシンポジウム「ZEB時代に向けた建築・設備・人の適応」には、111名の参加者があった。委員による11題の発表と質疑討論を行ない、「設計のスピードと環境シミュレーション精度のバランス」「AIによるデザインおよび制御の最適化」「基準適合後のZEHのあり方」「半屋外空間、中間領域の活用」といったキーワードが挙げられた。

2019年5月17日に制定された建築物省エネ法の改正に関しては、新築住宅の省エネ適合義務化は見送られた。そのため、省エネルギー性能を高めた住宅の普及には、一般消費者への積極的な情報発信が必要である。基準に適合させても個別の住宅単位ではエネルギー削減量は小さいため、ストックを含めた多くの住宅の対策を行う必要がある。建築としてのZEHの魅力や健康に代表されるノンエナジーベネフィットに関する情報が重要と考えられる。省エネルギー基準の適合義務化により開口部面積や吹抜けの採用が制限され、デザインが画一的になってしまうことが懸念されていた。ZEH支援事業の補助対象住宅を対象とした分析結果により、それぞれの住宅で意匠と省エネ技術を巧みに融合させる工夫が取り入れられていることがわかった。先進的事例をもとに、基準適合の先にあるZEHの姿を示すことが、本委員会の一つのゴールであった。

2019年度には5回の委員会を開催した。特に、2019年9月に日本建築学会大会期間中にPDを行った。最終日午後であったにもかかわらず多くの参加があった。変わりゆく気候や社会状況に向けた適応の現状を建築、人、設備、研究、制度、ツールの視点から議論を行った。テーマとして、(1) 社会制度や規制が建築形態に及ぼす影響、(2) すまいが健康に及ぼす影響、(3) これからの建築設計と環境シミュレーションのあり方、(4) 新たなニーズに応える建築設備技術・制御技術、(5) 建築や設備を使う「人」の役割、(6) 高度な情報連携を実現するBIM技術を取り扱った。このPDでは「すまいにおける環境適応に関する提言」(案)の紹介とこれに関する総合討論が行われた。委員会提言として報告書に盛り込むことになった。また、本報告書のとりまとめ日時の関係で収録は出来なかったが、2020年3月23日に建築会館ホールにおいて、シンポジウム「気候非常事態宣言に建築分野はどう対応すべきか」を予定している（その後、新型コロナウイルス感染症対策のため延期）。

気候変動に備えた建築分野の適応策の方向性を少しでも示すことができればと希望している。

2020年1月

日本建築学会 環境適応に関する特別調査委員会
主査 田辺 新一

環境適応に関する特別調査委員会 委員構成

設置期間： 2017年4月1日～2020年3月31日

主査	田辺 新一 (2.1)	早稲田大学
幹事	中野 淳太 (3.3)	東海大学
委員	青笹 健 (2.2)	(株)アルテップ
	伊藤 一秀	九州大学
	秋元 孝之 (2.2)	芝浦工業大学
	石井 義章	(株)日本設計
	大岡 龍三 (5.3)	東京大学生産技術研究所
	尾崎 明仁 (6.1)	九州大学
	隈 裕子 (6.2)	湘南工科大学
	甲谷 寿史*	大阪大学
	小林 恵吾 (4.1)	早稲田大学
	小堀 哲夫	小堀哲夫建築設計事務所
	重村 珠穂 (6.3)	(株)アルゴリズムデザインラ
	白石 靖幸 (5.2)	北九州市立大学
	末光 弘和 (4.2)	(株)SUEP.
	竹中 大史 (4.4)	Arup
	中川 純 (4.3)	早稲田大学
	長澤 夏子 (3.2)	お茶の水女子大学
	丹羽 浩範 (5.1)	(株)日建設計
羽山 広文	北海道大学	
星 旦二 (3.1)	首都大学東京	

*2017年4月～12月、逝去

目次

はじめに	
委員構成	
1. 「すまいにおける環境適応に関する提言」	... 3
2. 制度の視点から見た適応	
2.1 何故、住宅・建築の脱炭素化が必要なのか	... 9
2.2 ZEH SHIFT - 形態分析とストック改修の可能性	... 15
3. 人の視点から見た適応	
3.1 社会経済要因と屋内外環境とその後の健康長寿との因果構造	... 27
3.2 人の行動と心理生理からみた環境適応	... 31
3.3 環境の文脈と温熱環境適応を考慮した温熱環境計画	... 38
4. 建築の視点から見た適応	
4.1 環境対策によるデザイン・ヒント～OMA 時代とエネマネハウス 2015～	... 49
4.2 環境シミュレーションが導く新しい有機的なデザイン	... 52
4.3 環境適応と媒介項	... 57
4.4 気づきを与える環境デザイン	... 67
5. 設備の視点から見た適応	
5.1 暑熱屋外での涼感提供を目的としたゼロエネルギー・クールツリーの開発	... 79
5.2 建築設備一体化技術の最適制御	... 98
5.3 環境設計・運用における AI 利用の可能性	... 113
6. 研究・ツールの視点から見た適応	
6.1 建築・設備・人の連成を考慮した熱環境予測・評価	... 123
6.2 太陽熱利用と空気循環式全館空調システムによる空調・給湯負荷削減	... 138
6.3 建築と環境のインターフェイスとしてのコンピューテーションデザインツール	... 146
おわりに	... 156
資料編	
・委員会議事録	... 159
・シンポジウム「気候非常事態宣言に建築分野はどう対応すべきか」開催概要	... 199

1. 「すまいにおける環境適応に関する提言」

1 「すまいにおける環境適応に関する提言」

2014年に公表されたIPCC第5次評価報告書では、気候変動に関連する影響やリスクを、緩和や適応によってどのように低減・管理できるかについて言及しています。温暖化対策には大きく分けて「緩和 (Mitigation)」と「適応 (Adaptation)」の2種類があります。緩和は温室効果ガス排出を抑制することで、最優先で取り組む必要があります。緩和を実施しても温暖化の影響が避けられない場合、その影響に対して自然や人間社会のあり方を調整していくのが、適応です。現在、建築物の省エネルギー、脱炭素化策は多く取り扱われていますが、居住者の環境適応行動などに関しての研究はまだ歴史が浅いのが実情です。建築物省エネルギー法に関しても多くが建築物性能を向上させるという観点から構成されています。

いま私たちは、利用する人の観点からも住宅、オフィス、学校などの環境を考えることが課題であると認識しています。この認識に基づき、特にすまいに関して以下のような活動に取り組んでいきます。

① 情報発信・開示

すまいにおける最優先事項は、居住者の安全と健康であると発信すること

すべての人々が平和で豊かに暮らすことは誰しもの願いです。そのために国連が提示したSDGsが注目されます。健康住宅はその方策の一つであり、また世界保健機関(WHO)の提言でも平和に次いで重視される分野が健康住宅です。温暖化の影響による厳しい気象・気候に見舞われても、日々の生活を営む器となるすまいは、日常生活が健全で、かつすまい手が健康で快適に生活できる必要があります。そのためには①適切な温熱環境、②適切な睡眠環境、③清浄な空気環境、④安全・安心なすまい、の実現が望まれます。日本人は一日のうち約60%の時間を住宅内で過ごすといわれていますが、「建築物衛生法」の特定建築物に含まれない住宅は法的な制約も少なく、健康的でない状況もみられます。特に、すまいで多くの時間を過ごす子どもや高齢者、要配慮者には、よりきめ細かな対応が必要です。またすまいは、屋内外とつながり健康的な活動を行うプロセスによって社会的健康性にも寄与します。健康と環境にとってより良い生活行動ができる、持続可能な新しいライフスタイルに対応した、健康なすまいについての情報発信を行います。

② 居住者による環境適応

窓開け、季節による建具の変更など居住者の積極的な環境調節行動や意識が、地球温暖化対策に重要な役割があることを示すこと

ZEH仕様の住宅はゼロエネルギーを約束するものではなく、ひとりひとりの居住者の行動が地球温暖化対策に重要な役割を果たします。自らを環境に適応させる意識を持ち、窓開け、季節に応じた建具の変更などの環境調節行動により、少ないエネルギーでも快適性や満足が高まることが知られています。自分の体調や状況に応じて適度に空調設備を使うことは、全く問題ありません。すまい方の工夫で過ごせる期間を延ばすことが、省エネルギーに有効となります。

すまいは居住者が適応しやすい状況をサポートするツールであり、設計者は居住者と設計意図を十分に共有する必要があります。居住者の行動が変容するためには、長い時間がかかります。時間をかけて居住者がすまいになじんでいくことを前提とした設計手法や評価方法は、まだこれから知見を蓄積していく必要があります。積極的な省エネルギー行動を社会全体で行うために、社会制度の拡充も重要です。

③ 蒸暑レジリエントな空調

アジア蒸暑地域の気候変動への対応、適切な冷房のあり方などの空調・冷房設備における適応策の必要性を示すこと

世界のエネルギー需要は2035年までに急増し、また世界の成長の約65%が非OECDアジア諸国であると予測されています(*1)。地球温暖化により気温と湿度が上昇しています。さらに、冷房のためのエネルギー消費量は1990年から2016年の間で3倍以上に増加しています。2050年までに新興国、特にインド・中国・インドネシアでの増加が見込まれています。再生可能エネルギーの利用は不可欠ですが、必要量の1/3しか賄えないとも予想されています。

酷暑に対応した高効率エアコンの普及は省エネに大きな利益をもたらすと期待されています。さらに、建築計画の工夫による室外機置き場の方位や通気性向上、給排気の分離、散水、緑化による吸込温度の低減は、酷暑対応だけでなく、年間での効率向上も期待できます。これらは、専有部計画への影響も大きいため、計画初期に適切に検討される必要があります。大規模なシステムを住宅に設置するには、費用や設備管理の課題もあります。個人財産であるエアコンでの省エネへの取り組みは、協調的な政策が必要とされています。

(*1)国際エネルギー機関 (IEA) : World Energy Outlook 2013

④ 新しいデザイン

脱炭素化性能を満たしながら建築形態の自由度を高める新しいデザインのあり方や設計手法に関して研究を行うこと

吉村順三はすまいの居心地を追求した建築家で、快適な環境を創るために可視化しづらい環境をあやつる方法を頭の中でシミュレーションし、建築のしつらえや空間構成によりそれを実現していました。

現在は、コンピュータ性能の向上や優れた環境解析ツールの普及により、精緻な環境シミュレーションが容易に、高速に行える時代になっています。設計の初期段階から結果を分析して最適な建築形態を模索し続けることで、これまでにない新しい環境デザインが可能になります。

地域の特性や習慣も考慮した環境デザインを行うことで、利用者に自分たちの暮らす世界の地続きにあるものとして建築環境をとらえてもらうことも重要です。利用者が環境形成に積極的に参加できる仕組みを作り、自らのふるまいによる環境の変化を実感することで、他の場所にも広がっていくと考えられます。共感を生む環境デザインは、すまう人の環境に対する意識を変える可能性を持っています。

⑤ その他エネルギーの対応策

住宅における家電製品やその他エネルギーの消費に関して情報収集をするとともに適切な対応策を示すこと

ZEH化にあたり、住まい手にとってはインシヤルコストの投資回収にどれくらい年数がかかるかが大きな関心事であり、住宅のライフサイクルの中で、設備機器の維持保全や更新も考慮して計画を考えることが重要です。また、エネルギーのゼロカーボン化とその供給形態や居住スタイルの変化等の未来予想とともに、ライフスタイルに応じた最適なエネルギーの使い方を考えることも極めて重要です。これまで日本の平均的な家庭のエネルギー消費は、暖冷房、給湯、照明やその他エネルギーがそれぞれ1/3ずつとされてきました。外皮性能の向上と住宅設備の高効率化に伴い、暖冷房、給湯、照明等のエネルギー消費が削減され、家電製品やその他エネルギーの消費割合が高くなっています。今後、AV家電や情報家電はスマートフォンに集約され、エネルギー消費が大幅に減るとの予測がある一方、洗濯物の室内干し、内食化、在宅介護など、ライフスタイルの変化によって、これまでにないエネルギーの使われ方も予想されます。再生可能エネルギーの固定買取価格制度(FIT)が転換期を迎え、今後のZEHのさらなる普及には、住まい手が賢い電力の使い方を選択できるように手助けする情報提供も求められます。

⑥ エネルギーマネジメントの推進

再生可能エネルギーと親和性の高い建築・設備計画に関する研究開発を行なうこと。また、機器の連携運転などによりさらなる効率向上を目指すこと

すまいのエネルギーマネジメントの方法には、①断熱気密や日射調整などの建築的工夫によるエネルギー負荷の低減、②太陽光・風力・地熱などの再生可能エネルギーの活用、③高効率な設備計画や最適運転制御によるエネルギーの有効利用があります。人間生活や住まいの目的用途に対応して、上記①～③を効果的に組み合わせる一体化技術の構築とその普及は重要な研究課題と言えます。また、供給サイドでも、再生可能エネルギーの導入が増えてきていますが、再生可能エネルギーは需給バランスを取ることが難しいという欠点があります。すまいのエネルギー消費量はひとつひとつは小さいですが、すべて合わせると日本全体のエネルギー使用量の14%を占めており、電力需給バランスの大きなリソースとして期待されています。具体的には、蓄電池、電気自動車のほか、コージェネレーションシステム、ヒートポンプ給湯器など、住宅内の多様な機器活用することにより、需要サイドでの調整が可能となります。さらに、多数の住宅が集積する街区等では、各々の住宅の機器を遠隔・統合制御することで、調整力が増大することが期待されます。

⑦ オープンデータ化とイノベーション

オープンデータ化による研究の進展をはかること

近年、人口の減少や高齢化に伴い、建設業界にかかわる人数の減少が進んでおり、生産性を上げることで補う必要があります。海外においても、建設業界はここ20年間で生産効率がわずか1%しか向上していないとされており、危機意識が高まっています。

解決策の一つとして、ビッグデータと呼ばれる大量のデータを収集、分析し、活用する試みがあります。このような試みに、オープンデータを活用する動きがあります。建設業界においても公的なデータや論文データをオープン化することで、ビッグデータ解析に活用し、研究や技術の進展をはかることが重要です。

ビッグデータの活用により、設計・建設行為そのものが大きく変革する可能性があります。一部では活用がすでに進んでおり、大量の3次元設計データを活用して、法規・敷地周辺環境の制約条件から敷地内に建築可能な建物ボリュームのパターンを自動で大量生成、設計初期段階のモデルをもとにAIを利用した概算構造モデルの自動生成といった取り組みが行われています。

建設業界にかかわるビッグデータの適切な共有やオープンデータ化、データ標準化を定めることで、生産性を高めるとともに新たな研究や技術を生み出す機会を提供する必要があります。

2. 制度の視点から見た適応

2 制度の視点から見た適応

2.1 何故、住宅・建築の脱炭素化が必要なのか

2.1.1 はじめに

建築や住宅は、人が利用したり、住むことによって機能する。快適な生活を営むためにはエネルギーが必要とされる。昔は薪などを燃やしていたが、これでは大変不便なので、近代的な生活では電気やガスを用いるようになっていく。住宅が暖かくなったことで寿命も延びた。また、近年の夏の猛暑は冷房などの使用なしには生命の危険なしに暮らすことすら難しくすらなっている。本論では、何故、住宅・建築の省エネ化や低炭素化が必要なのかに関して述べる。

2.1.2 日本のエネルギー消費量

図 2-1 は 1973 年から日本全体の最終エネルギー消費の動向を示したものである。1970 年代は工場などの産業部門のエネルギー消費量が 7 割近かったが、1990 年頃から家庭・業務部門のエネルギー消費の割合が大きくなる。すなわち、住宅や建築物の割合が高くなっている。これは、世帯数が増加していたこと、産業構造の変化により、オフィスなどの面積が増加したことによる。

それらが、大きな転機を迎えたのが 2008 年のリーマンショックである。これらのエネルギー消費が急激に減少している。経済活動はエネルギー消費に大きな影響を与える。さらに、2011 年 3 月 11 の東北地方太平洋沖地震による東日本大震災以降減少している。リーマンショックで落ち込んだ GDP は増加しているが、鉄鋼などのエネルギー多消費産業の生産活動がその後低調に推移しているためである。これから数十年経った時にこの変化点は日本の大きな潮目と認識されるかも知れない。2013 年度がエネルギーミックスの基準年になっている。

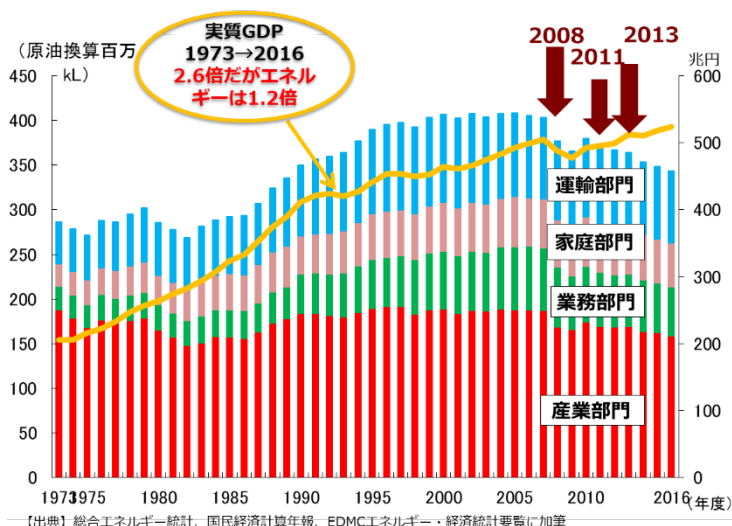


図 2-1 日本の最終エネルギー消費の推移（資源エネルギー庁資料から引用）

国際エネルギー機関（IEA）は、2012 年から 2035 年までの経済成長の 65%は非-OECD アジアで起こると予想している（図 2-2）。そのため、アジア地域のエネルギー需要は益々旺盛になると推測されている。中国は日本の 9 倍、インドは 3 倍以上になると予測されている。すなわち、近い将来日本がエネ

ルギーの輸入などでイニシアチブを取ることが出来なくなるのは明白である。エネルギー消費なしには、産業活動や生活は出来ないため、エネルギー安全保障の面からも将来を良く見据えておく必要がある。

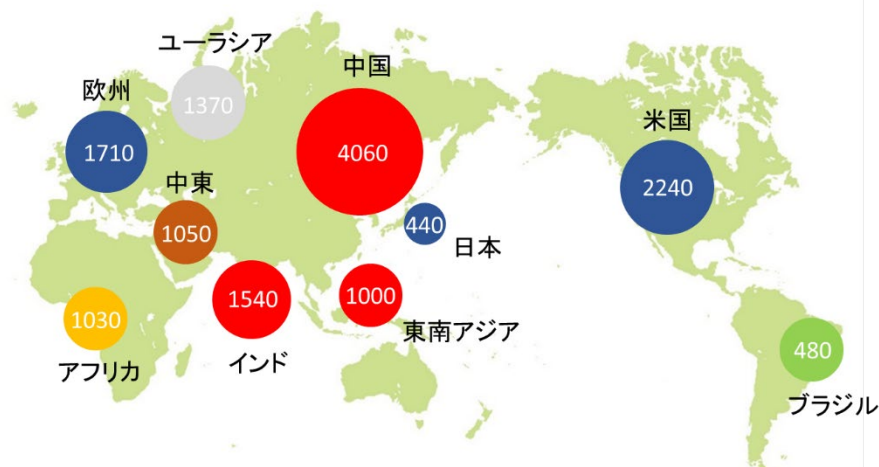


図 2-2 IEA による 2035 年のエネルギー需要予測

2.1.3 東日本大震災の影響

エネルギー自給率が 2016 年度で 8%しかない我が国では、日本のことだけを考えても駄目である。2030 年度の長期エネルギー需給見通し、いわゆるエネルギーミックスにおいては、再生可能エネルギー、火力発電、原子力発電などに関して電源構成が示されているが、この前提として省エネルギーがある。経済成長により 2030 年のエネルギー需要は増加すると予測されているが、そこから 5,030 万 kL 削減を実現するとしている。5,030 万 kL が大きいかわりに小さいかについては様々な意見があるが、2016 年度の家庭部門の最終エネルギー消費の総量が 4,950 万 kL であることと比較しても、私は野心的と考えている。現在、家庭部門で利用しているエネルギーを全てゼロにする必要がある量である。これまであまり努力をして来なかった、家庭、業務部門に 1227 万 kL、家庭部門に 1160 万 kL の削減を求められている。これは、全必要量の約半分であり、住宅・建築の努力が必須になっている。これまでどのように住宅や建築を設計・建設して何が悪いのかと言われることがあるが、状況は決定的に変化している。

2014 年 4 月 11 日に「エネルギー基本計画」が閣議決定された。さらに 2018 年 7 月 4 日に「第 5 次エネルギー基本計画」が閣議決定された。この中では、「さらに、こうした環境整備を進めつつ、規制の必要性や程度、バランス等を十分に勘案しながら、2020 年までに新築住宅・建築物について段階的に省エネルギー基準の適合を義務化する。」と記述されている。2017 年 4 月 1 日から 2000m² を越える非住宅建築物の省エネ適合が義務化された。現在、この範囲の拡大が国土交通省で検討されている。住宅の省エネ適合率がまだ 6 割程度なので、これを一足飛びに義務化するのは行政的には難しいと考えられるが、一部の識者からは省エネ性能の悪い家がきちんとした住宅に比べて価格競争力が高いので、理解していない消費者に値段だけで販売している悪徳業者がいるとも指摘がある。建築関係者の意識はかなり低い状況で、何とかする必要がある。

2.1.4 ZEBの必要性と定義

義務化だけでは上述した削減量を満たすことは出来ないため、トップランナーとしてのZEB（ゼロ・エネルギービル）、ZEH（ゼロ・エネルギーハウス）の役割はさらに増している。2018年7月に閣議決定された、第5次エネルギー基本計画2018では、さらに踏み込んだ表現となっている。「今後は、将来の建築物の省エネルギー性能の標準とすることを見据え、非住宅建築物については、2020年までに新築公共建築物等で規模・用途別に、2030年までに新築建築物の平均でZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）を実現することを目指す。また、住宅については、2020年までにハウスメーカー一等が新築する注文戸建住宅の半数以上で、2030年までに新築住宅の平均でZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）の実現を目指す。」と目標が記載されている。

ZEB、ZEHとは、「先進的な建築設計によるエネルギー負荷の抑制やパッシブ技術の採用による自然エネルギーの積極的な活用、高効率な設備システムの導入等により、室内環境の質を維持しつつ大幅な省エネ化を実現した上で、再生可能エネルギーを導入することにより、エネルギー自立度を極力高め、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロとすることを目指した建築物」としている。特に設計段階では、断熱、日射遮蔽、自然換気、昼光利用といった建築計画的な手法（パッシブ手法）を最大限に活用しつつ、寿命が長く改修が困難な建築外皮の省エネ性能を高度化した上で、建築設備での高度化を重ね合わせるといった、ヒエラルキーアプローチの設計概念が重要である。

国連の持続可能な開発目標（SDGs Sustainable Development Goals）に関して官邸が公表しているSDGsアクションプラン2018において、重要事項5にZEBが取り上げられた。定義は、空気調和・衛生工学会で作成されたガイドラインを基盤としている。2015年に定められた日本の定義を示す（図2-3）。

- ・『ZEB』：ゼブとは、再生可能エネルギーを除き、基準一次エネルギー消費量から50%以上の一次エネルギー消費量削減し、再生可能エネルギーを加えて、基準一次エネルギー消費量から100%以上の一次エネルギー消費量削減した建築物をいう。
- ・Nearly ZEB：ニアリー・ゼブとは、再生可能エネルギーを除き、基準一次エネルギー消費量から50%以上の一次エネルギー消費量削減し、再生可能エネルギーを加えて、基準一次エネルギー消費量から75%以上100%未満の一次エネルギー消費量削減した建築物。
- ・ZEB Ready：ゼブ・レディとは、再生可能エネルギーを除き、基準一次エネルギー消費量から50%以上の一次エネルギー消費量削減した建築物。

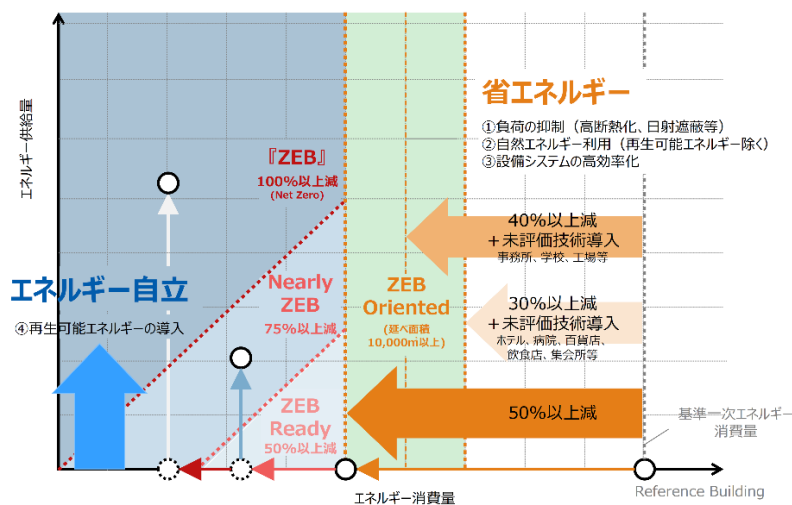


図2-3 ZEBの定義

2.1.5 ZEHについて

典型的な住宅の一次エネルギー消費量を比較してみる。図2-4に統計データから、米国、英国、ドイツ、EU-28、日本の比較を示す。日本に関しては、実績値と現行基準に適合する6地域の120m²の戸建住宅で間欠空調を行う場合の基準値を示す。グラフの左部分が暖房によるエネルギー消費量になる。日本は暖房部分が極端に少ない。米国、英国、フランス、ドイツに比較しても4分の1程度しかない。これは効率的に暖房が行われているためではない。理由は日本の住宅は暖房していないということである。暖房していなければもちろんそれに使用するエネルギーは当然少なくなる。気候が温暖ということもあるが、主居室しか暖房しておらず、かつ間欠で暖房を行っていることによる。

図2-5に日本の住宅の断熱状況を示す。既存住宅の性能が低いのが問題である。2013年の国土交通省のデータによると日本の5,000万を超える住宅ストックの断熱性能で現行基準を守れている住宅は、たかだか6%しかない。昭和55年基準未満である無断熱にいたっては全体の38%に及ぶ。一方で欧米の住宅のエネルギー消費量と比較すると日本は大幅に低い。残念ながら、現在の日本人は冬寒い住宅で我慢して暮らしていることがわかる。実は韓国や中国よりも寒い。給湯使用量が多いが、熱いお風呂に入らなければ、冬季に快適に過ごすことすら難しい状況である。全室暖房していないので、トイレ、脱衣室、浴室などの冬季の室温がものすごく低い。これは省エネという状態ではない。

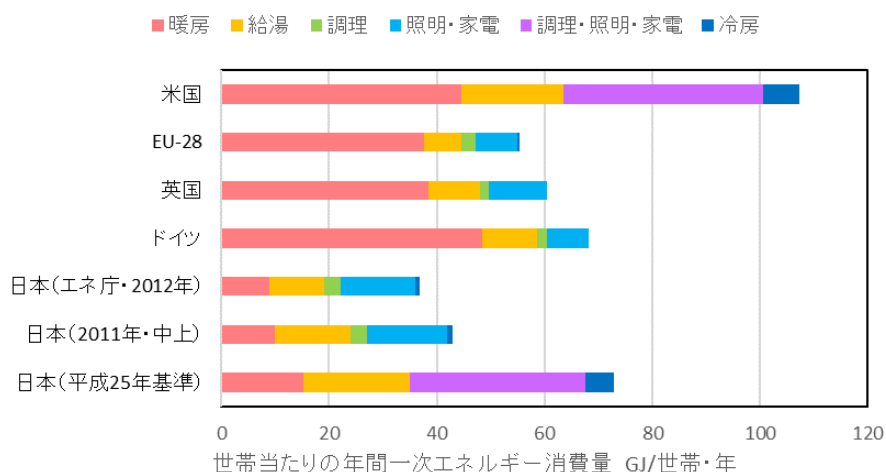


図2-4 住宅のエネルギー消費量

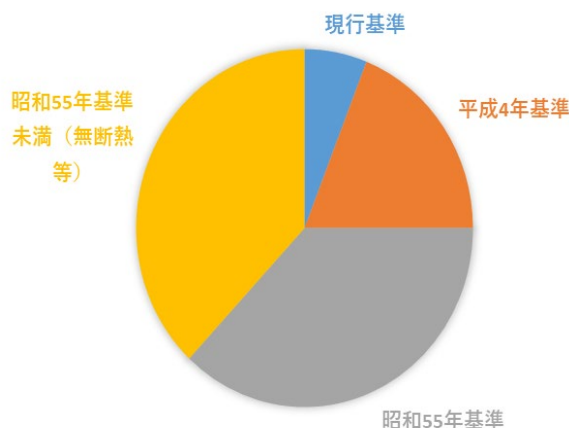


図2-5 日本の住宅の断熱性能 (国交省資料から作成)

そこで、トップランナーとしての ZEH が必要になる。住宅に関しては、優れた断熱性能、エネルギー消費量を基準値から 20%以上削減した上で、再生可能エネルギーを利用して、エネルギー消費量をゼロ以下にしたものとして定義されている（図 2-6）。ZEH も省エネ化が必須条件となっている。

ZEH に関しては 2016 年度に ZEH に関しては 2016 年度に約 3 万 4 千戸、2017 年度に約 4 万 2 千戸、2018 年度に約 5 万 6 千戸の ZEH が建設されたと推定されている。珍しい戸建住宅ではなくなっている。住宅については、2020 年までにハウスメーカー等が新築する注文戸建住宅の半数以上で、2030 年までに新築住宅の平均で ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）の実現を目指す。と目標が記載されている。もちろん、絶対的に数の多い既存住宅をどのように改修するかも大切である。

太陽光発電に関しては、住宅や建築に設置すると自家消費率がメガソーラーなどに比較して高くなる。送配電電力網を考慮しても有効な使用方法であろう。また、国連の持続可能な開発目標 (SDGs Sustainable Development Goals) に関して官邸が公表している SDGs アクションプラン 2018 において、重要事項 5 に ZEH が取り上げられている。図 2-7 に示したように早稲田大学と芝浦工業大学と共同で 2017 年のエネマネハウス（大阪）では改修型のエネマネハウスを提案した。

断熱性能 (U_A値)

地域区分	1 地域 (旭川等)	2 地域 (札幌等)	3 地域 (盛岡等)	4 地域 (仙台等)	5 地域 (つくば等)	6 地域 (東京等)	7 地域 (鹿児島等)	8 地域 (那覇等)
ZEH基準	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	-

**ZEHの「高断熱基準」「設備の効率化」で
20%以上省エネを満した上で、
太陽光発電等によりエネルギーを創ることで、
正味でゼロ・エネルギーを目指す**

正味で**75%省エネ**を達成したものを**Nearly ZEH**
正味で**100%省エネ**を達成したものを**ZEH**

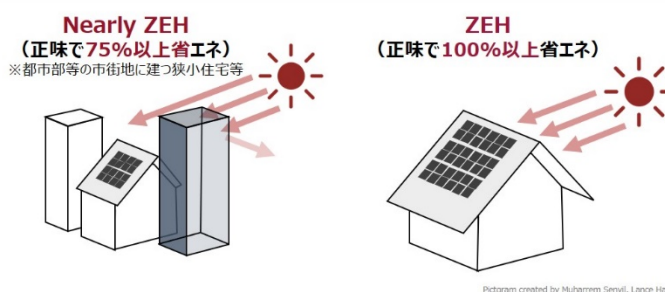


図 2-6 ZEH の定義



図 2-7 提案した改修型エネマネハウス 2017 (早稲田大学・芝浦工業大学)

2.1.6 エネルギー政策と建築

第5次エネルギー基本計画には、「東京電力福島第一原子力発電所事故を経験した我が国としては、2030年のエネルギーミックスの実現、2050年のエネルギー選択に際して、原子力については安全を最優先し、再生可能エネルギーの拡大を図る中で、可能な限り原発依存度を低減する。」と記述されている。原子力の利用に関しては様々な意見があるが、国が少なくとも長期的には依存度を低下させ再生可能エネルギーの拡大を図ると明記している。建築分野がこれらの背景を考慮せずに環境対策を無視した住宅を今まで通り設計や建築を続けていくことは、再生可能エネルギーの拡大を図る中で、可能な限り原発依存度を低減する。ということに反することになる。

2.1.7 ESG投資

日本では省エネ建築というと、暑い、暗い、というネガティブな印象を持つ人が多い。オフィスの省エネルギー化は必須であるが、あくまでも在室者の快適性や健康性が担保されての省エネルギーである。これまで、日本では快適性は贅沢な概念としてとらえられることが多かった。

我が国の生産年齢人口が1997年を境に減少が続いており、他の先進国と比べて極端に減少する傾向を示している。また、先進国と比べ、時間当たり労働生産性は低く、米仏独との差は拡大すらしている。このような背景から、政府は「働き方改革」を推進するようになった。すなわち、快適で健康で満足して、効率良く働くこと、またそのようなワークプレイスを提供することが求められている。省エネルギー性能に加えて、室内環境は執務者の大きな関心事である。建築物の環境性、快適性、健康性を適切に評価して投資すること、ESG投資が必要である。ESG投資とは環境（Environment）、社会（Social）、ガバナンス（Governance）の英語の頭文字を合わせた用語である。不動産のESG投資に関しては国土交通省がとりまとめを行い2018年3月28日に公表している。地球温暖化対策、快適性・健康性に優れた建築物は将来価値が高い。ZEBはESG投資の対象となることが望ましい。東京都でもグリーンボンドの投資先として都有施設のZEB化を上げている。

また、RE100という100%再生可能エネルギーで事業運営をすることを目標に掲げる企業が加盟する国際イニシアチブが注目されており、アップル、グーグル、BMW、ゴールドマン・サックスなどが加盟している。日本では、リコー、積水ハウス、アスクル、大和ハウス、環境省などが参加した。当然これらの企業が使用する建築物ではZEB化が検討されることになるだろう。

2.1.8 おわりに

2008年のリーマンショック、2011年の東日本大震災を経て日本のエネルギーを取り巻く環境は大きく変化した。建築分野の役割は大きいと自覚する必要がある。環境性能は車やエアコン、冷蔵庫だけではなく住宅や建築にとっても大変重要である。また、省エネ性能が高い住宅は快適性も健康性も高いことが知られている。資源のない日本ではさらに環境性能が高い住宅や建築が必要である。それをどのようにして日本の建築文化にするかということが大切である。

【参考文献】

1) 第5次エネルギー基本計画、2018年7月3日

<http://www.meti.go.jp/press/2018/07/20180703001/20180703001.html>

2) 国土交通省、不動産のESG投資、2018年3月28日

http://www.mlit.go.jp/totikensangyo/totikensangyo_tk5_000195.html

2.2 ZEH SHIFT - 形態分析とストック改修の可能性

2.2.1 はじめに

日本では、石油危機以降、GDPは2.5倍に増加したにもかかわらず、産業部門はエネルギー消費量が2割近く減少している。一方で、民生部門は大きく増加（業務部門2.9倍、家庭部門2.0倍）しており、我が国のエネルギー需給の安定のためには、民生部門の対策が必要不可欠とされている。これに呼応するかたちで、住宅・建築物における環境負荷削減に関わる社会的な動きが多く見られるようになってきた。本項では、ゼロエネルギー建築と取り巻く状況と、ZEH支援事業の補助対象住宅を対象とした基本設計条件と省エネルギー性能の調査結果、健康で快適な住宅の必要性和省エネ改修について紹介する。

2.2.2 ゼロエネルギー建築を取り巻く状況

民生部門における徹底的なエネルギーの削減を達成するために、建築物の消費エネルギーを極力低減させたZEB（ネット・ゼロ・エネルギー・ビル）、住宅でのZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）が求められている。建築物については、2020年までに新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均でZEB化することを目指している。また住宅については、2020年までに標準的な新築住宅で、2030年までに新築住宅の平均でZEHとすることを目指している。ZEBでは、省エネ基準より50%以上削減された場合をZEB Readyと設定し、正味で75%以上省エネを達成したものをNearly ZEB、正味で100%以上省エネを達成したものを『ZEB』とする。一方、ZEHでは、躯体の高断熱化と設備の高効率化により、省エネ基準よりも20%以上の省エネをZEH基準として設定し、正味で75%省エネを達成したものをNearly ZEH、正味で100%省エネを達成したものを『ZEH』とする。ZEBやZEHを達成するには、極力、建物の負荷を減らした上で（パッシブな手法）、効率の高い機器を導入し、その上で再生可能エネルギーを用いて負荷の処理をしていく（アクティブな手法）という方法がとられる。また、使用する側の意識も重要で、無駄のない運転を心がけることが大切である。

戸建住宅においては従来のZEH（ネット・ゼロ・エネルギーハウス）に加えて、住宅のさらなるエネルギー消費量削減と再生可能エネルギーの利用拡大を目指したZEH+（ゼッチ・プラス）や、分譲建売住宅のプロジェクトも新たにZEH支援制度の補助対象となることになった。図2-8にZEH+の定義を示す。

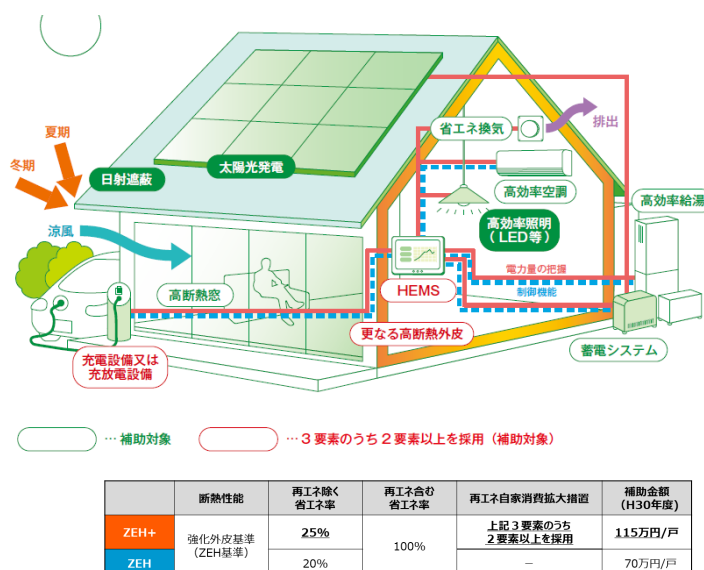


図2-8 ZEH+の定義

ZEHは省エネ・省CO₂という特性に加えて、健康・快適かつ安全・安心な性能をもっている。その更なる進展に大きな期待がかかる。現在、ZEH化に関わる更なる課題として、①ZEHビルダー事業者の更なる登録拡大の必要性や、②固定価格買取制度に基づく買取価格の逡減、低日射地域又は多雪地域に該当し、ZEHとするのに十分な発電電力量が得られない地域（北海道、東北地方、北陸地方、山陰地方等）や市街地における狭小地等、太陽光発電設備の導入に適した屋根面積に制限が生じている地域（首都圏等）における対応などの太陽光発電設備の導入の課題、③台風が頻繁に発生する等の気象条件や塩害が理由で、対策に追加のコストがかかる地域（沖縄県等）における対応などがある。また、④集合住宅におけるZEHのあり方やその普及施策が挙げられる。非住宅のZEBにおける課題と同様であるが、集合住宅では、延面積と屋上面積の関係上、太陽光発電パネルの設置容量が十分に確保しづらいという特徴がある。また、一言で集合住宅といっても低層・中層・高層・超高層という規模の違いや、分譲・賃貸という形態、専有部と共用部や住戸と住棟の考え方など詳細な検討が必要となる。

集合住宅の特に高層住宅においては、延床面積に比べて、太陽光発電パネルを設置するための屋上面積等が限られることから、物理的にZEHの実現が困難なケースが想定される。既往の事例・計画を見ると、一定の条件下においては、延床面積と屋上面積の関係上、3階建の住宅であればネット・ゼロ（『ZEH』）が、5階建の住宅であればNearly ZEH（75%省エネ）が可能であることが示されている。さらに特に中高層以上の住宅において、太陽光発電の架台が高価であったり、太陽光発電の設置により屋上面の防水加工に手間を要したりする等により、現状では普及が進んでいない。また、建物の高さ制限の観点からパネルの設置角度が抑制され、最も発電効率がよい角度で設置できないケースも想定される。例えば、理想の設置角度は約30度である一方、約5度とせざるを得ない等の事象が起こる。屋上に設置される太陽光発電の水平投影面積が、建築面積の1/8超の場合、建築基準法上の最高高さに太陽光発電分も含まれ、高さ制限の対象になる。ただし、地方公共団体によっては独自の規定を設けている可能性もある。将来的に、屋上設置型以外での太陽光発電パネルが普及すれば、再生可能エネルギー量は増加する余地があるが、壁面設置型や手すり設置型は、設置費用や発電効率、光害、強度等の観点から普及が進んでいない。外皮の更なる高断熱化、省エネの更なる深堀に係る課題として、近年の新築集合住宅では、ペアガラス（都心部ではLow-Eペアガラス。一部防音が必要なところは二重窓）は標準仕様になっており、追加的な断熱材の付加や高断熱サッシ等の導入により、省エネ率20～30%は達成可能との意見がある。一方で、屋上階・角住戸、ピロティ直上住戸等は外皮の断熱性能の確保が比較的困難となる。超高層住宅については、耐風圧対応の観点から導入可能な高断熱サッシ（樹脂、アルミ樹脂複合等）のラインナップが限定的であり、コストとの見合いから高断熱サッシが導入されないケースも想定される。また、防火地域等に建築される集合住宅については、耐風圧と同様、防耐火にも対応した高断熱サッシが限定的という課題がある。設備面について、床暖房のニーズが少なからず存在する一方で、現行のエネルギー消費性能計算プログラム（住宅版）では、高い省エネ性能の評価が得られにくいことも想定される。そこで、集合住宅のZEHに関しては、入居者や事業者の販促の観点から、“住棟”でのZEH、“住戸”でのZEHを定義に含めることとした。また、“住戸”と“住棟”のZEH評価は、独立して行うものとするが、評価結果が混同しないよう、住棟ZEHを別名称とする。住棟全体での高断熱化や高い省エネの追及や、BELS（Building-Housing Energy-efficiency Labeling System：建築物省エネルギー性能表示制度）の評価方法との連動性を考慮し、住棟ZEHの評価は下記の通りとすることとした。

- 強化外皮基準：共用部除く、全ての住戸を対象とする。ピロティ直上の妻住戸などにおける強化外皮基準の実現の困難度を評価中であり、例外措置を設ける可能性がある。なお、強化外皮基準は、戸建住宅の ZEH の定義と同様に、1～8 地域の平成 28 年省エネルギー基準（ ηA 値（冷房期の平均日射熱取得率）、気密・防露性能の確保等の留意事項）を満たした上で、UA 値（外皮平均熱貫流率）1・2 地域：0.4W/m²K 相当以下、3 地域：0.5W/m²K 相当以下、4～7 地域：0.6W/m²K 相当以下とする。
- 省エネ率（BEI）：共用部含む、住棟全体を対象とする。
- 一括受電の太陽光発電の評価上の扱いは、BELS の運用に準じる。住戸に優先的に配分（住戸の延面積で按分）し、住戸で余剰が発生した場合、共用部に配分するものとする。図 2-9 に集合住宅における ZEH の定義を示す。



図 2-9 集合住宅における ZEH の定義

2.2.3 ZEH の基本設計条件と省エネルギー性能

ZEH 支援事業の補助対象住宅（戸建住宅）について、「主たる居室の広さ（面積比率）と吹抜けの有無」、「開口面積」など設計仕様と、「一次エネルギー消費削減率」、「年間一次エネルギー消費量」の相関について分析を行うことで、基本設計条件と省エネルギー性能の関係を調査した結果を紹介する。

調査対象は、平成 28 年度の補正 ZEH 交付決定事業のうち 1,175 件であり、対象エリアは、全国、申請書類（申請様式、添付図面など）から住宅の間取り、方位ごとの開口部、吹抜けの有無など「住宅の建築計画」と「省エネルギー性能」をデータ化して傾向を分析した。図 2-10 に調査対象住宅の件数を示す。

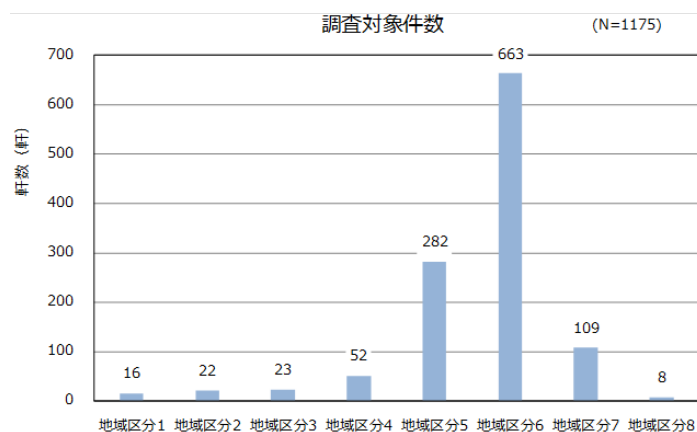


図 2-10 調査対象住宅の件数

1) 調査対象住宅の ZEH の特徴

① 調査対象 ZEH の「UA 値」

1,2 地域は、UA 値 $0.30\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ 以下の住宅が 9 割以上を占めていた。また、5,6,7 地域は、UA 値「 $0.48\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ 超、 $0.60\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ 以下」の住宅が過半数であった。

② 「主たる居室の面積比率」

2,3 地域では、主たる居室の面積比率が 35%未満となる住宅が 100%を占めていた。4~8 地域では、温暖地であるほど主たる居室の面積比率が大きい住宅 (35%以上) の割合が増加している。(ここで、主たる居室の面積比率は、「床面積の合計」に対する「主たる居室の面積」の比率を示す。)

③ 「主たる居室の吹き抜けの有無」

吹き抜けを有する住宅の全体比率は 13.7%であり、寒冷地にやや多い傾向があった。8 地域においては、全ての住宅が平屋であるため、吹き抜けを有する住宅はなかった。

④ 「主たる居室のリビング階段の有無」

1,2 地域では、主たる居室のリビング階段を有する住宅が 7~8 割程度と高めであった。8 地域においては、全ての住宅が平屋であるため、主たる居室のリビング階段を有する住宅はなかった。

⑤ 「外皮の開口比率 (全周囲)」

全体分布では、外皮の開口比率 (全周囲) 6%以上 10%未満の住宅が 77.1%を占めていた。1 地域においては開口比率「6%未満」の住宅が 37.5%を占めており、他地域と比べて開口比率が小さかった。

(開口比率が 10%以上の住宅は、他地域と比較すると 3,4 地域に多い傾向がみられるが N 数が少ないことに留意したい。ここで、外皮の開口比率 (全周囲) は、外皮総面積に対する開口面積の比率を示す。)

⑥ 「南面の開口比率」

全体分布では、南面の開口比率が 20%以上 40%未満となる住宅が約 7 割を占めていた。南面の開口比率が「40%以上」の住宅は 1 地域が最も多く (18.8%)、8 地域では 0 件であった。(ここで、南面の開口比率は、南面外皮総面積に対する南面開口総面積の比率を示す。)

⑦ 「太陽光発電パネルの発電容量」

全体分布では、「 4.0kWh 以上、 5.5kWh 未満」の太陽光発電パネルをもつ住宅が約半数を占めていた。寒冷地 (1~3 地域) では、「 8.5kWh 以上」を搭載する住宅が半数以上を占めた。

⑧ 「一次エネルギー消費削減率 (太陽光発電分を除く)」

寒冷地 (1,2 地域) は、温暖地と比較すると削減率が高い傾向があった。2 地域においては、削減率が最も小さい住宅でも一次エネルギー消費量削減率は 35%以上であった。

2) 一次エネルギー消費量削減率の相関

① 一次エネルギー消費削減率 (太陽光発電分を除く) と UA 値の相関 (8 地域を除く)

各地域において、断熱性能が低い住宅ほど削減率が低い傾向がみられた。1,2 地域は N 数が少ないものの、多くが要件よりも高い断熱性能を有する傾向であった。N 数最多 (663) の 6 地域でも、断熱性能が低い住宅ほど削減率が低い傾向であった。

② 一次エネルギー消費削減率 (太陽光発電分を除く) と主たる居室の面積比率の相関

削減率と主たる居室の面積比率の間に相関関係は見られなかった。各地域の平均では、主たる居室の面積比率が同じであれば、寒冷地域の方が削減率の高くなる傾向があった。

③ 一次エネルギー消費削減率 (太陽光発電分を除く) と吹き抜け・リビング階段の有無の相関

高い外皮性能を確保した住宅においては、主たる居室や吹き抜け空間の比率が大きくなるにつれて、年間一次エネルギー消費量は大きくなるが、それ以上に基準一次エネルギーが大きくなるため、太陽光発電による創エネルギーを除く一次エネルギー消費削減率は高くなった。ただし、年間の一次エネルギー消費量は大きくなるため、太陽光発電の容量を大きくしないと、ZEH を実現しづらくなっている。表 2-1 に一次エネルギー消費削減率（太陽光発電分を除く）と吹き抜け・リビング階段の有無の相関を示す。

④ 一次エネルギー消費削減率（太陽光発電分を除く）と開口比率（南面のみ）の相関

全体分布では、削減率と開口比率（南面のみ）の間に明確な相関関係は見られなかった。1,2 地域では弱い相関があり、南面の開口比率が高いほど太陽光発電を除く一次エネルギー削減率が高かった。

⑤ 年間一次エネルギー消費量（単位平米あたり）と主たる居室の面積比率の相関

主たる居室の面積比率が大きいほど、年間一次エネルギー消費量（単位平米あたり）が大きい傾向にあった。

以上を要約すると、下記のようになる。調査対象のうち、主たる居室に吹き抜けを有する住宅は全体の 13.7%あり、寒冷地にやや多い傾向がみられた。寒冷地（1,2 地域）は、温暖地と比較すると一次エネルギー消費削減率が高い傾向がみられた。「一次エネルギー消費削減率」と「住宅の建築計画」との相関については、断熱性能が低い住宅ほど、削減率が低い傾向がみられた。

高断熱住宅では、主たる居室や吹き抜け空間の比率が大きくなるにつれて、年間一次エネルギー消費量は大きくなるが、それ以上に基準一次エネルギーが大きくなるため、太陽光発電による創エネルギーを除く一次エネルギー消費削減率は高くなる。（ただし、年間の一次エネルギー消費量は大きくなるため、太陽光発電の容量を大きくしないと、ZEH を実現しづらくなる）。ZEH 仕様の高断熱住宅では、外皮の開口比率と一次エネルギー消費削減率との間に顕著な相関はみられなかったことになる。住宅のゼロエネルギー化を進めることは、開口部が小さくなる、吹き抜けやリビング階段を採用しづらくなる、といった建築計画上の制約につながる懸念があるという声も聞かれるが、今回の調査対象住宅においては、それぞれの住宅で意匠デザインと省エネ技術を巧みに融合させる工夫が取り入れられていることが推察された。

表 2-1 一次エネルギー消費削減率（太陽光発電分を除く）と吹き抜け・リビング階段の有無の相関

地域区分	N 数	主たる居室の 吹き抜け 有		主たる居室の 吹き抜け 無		地域区分	N 数	リビング階段 有		リビング階段 無	
		件数	太陽光発電を除く 一次エネルギー削 減率の平均	件数	太陽光発電を除く 一次エネルギー削 減率の平均			件数	太陽光発電を除く 一次エネルギー削 減率の平均	件数	太陽光発電を除く 一次エネルギー削 減率の平均
1 地域	16	3	43.2[%]	13	42.2[%]	1 地域	16	11	42.7[%]	5	41.7[%]
2 地域	22	9	49.0[%]	13	48.1[%]	2 地域	22	17	47.6[%]	5	51.7[%]
3 地域	23	4	55.2[%]	19	37.8[%]	3 地域	23	7	42.9[%]	16	40.0[%]
4 地域	52	13	47.9[%]	39	35.8[%]	4 地域	52	24	42.1[%]	28	36.1[%]
5 地域	282	31	36.5[%]	251	36.4[%]	5 地域	282	92	37.2[%]	190	36.1[%]
6 地域	663	86	38.1[%]	577	35.9[%]	6 地域	663	242	36.8[%]	421	35.9[%]
7 地域	109	15	39.1[%]	94	37.3[%]	7 地域	109	43	38.3[%]	66	37.2[%]
8 地域	8	0	—	8	35.5[%]	8 地域	8	0	—	8	35.5[%]

2.2.4 健康で快適な住宅の必要性と省エネ改修

住宅の省エネ化と同時に極めて重要なのが、住まい手の快適性、健康性、知的生産性である。住まい手の生理的な状態や心理面についても考慮すべきだ。ZEH 化の効果は、EB（エネルギー・ベネフィット）のみを考慮したでは投資回収年数が長期化するため実現に大きな課題が残る。ZEH 化に伴う健康・快適、安全・安心、知的生産性向上等の NEB（ノン・エネルギー・ベネフィット）を適格に理解することが重要となる。日本では、依然として断熱性能が低いストック住宅の割合が高く、約 5,000 万戸の住宅ストックの内、昭和 55 年基準に満たない無断熱等の住宅が 38%を占める。特に断熱性能の劣った住宅では、暖房に伴うエネルギー消費量が増えることに加えて、居室や非居室の温度差が極端に大きくなる。いわゆる廊下やトイレへの移動時のヒートショックや、寒い居室で過ごした後に熱い湯に長時間入浴することに伴う熱中症などの健康被害のリスクが懸念される。無断熱の住宅を大規模改修することは費用対効果を考えると難しいだろう。ある程度の断熱性能をもった築 20~35 年程度の住宅に対しては、生活スタイルの変化や中古住宅流通を契機とした省エネ改修を促すことによって、ZEH 指向の住宅へと再生させることで、住まい手にとって健康で快適な生活を実現することが可能となるはずである。

1) スマートウェルネス化に向けた省エネ改修の検討

築 20~35 年の住宅について、生活スタイルの変化や中古住宅流通を契機とした省エネ改修を想定し、ケーススタディを実施した。世帯像に関する想定は下記のものとして検討を行った。

- ・高齢二世帯 子どもの独立によって 1 階を中心に生活する。
- ・子育て世帯 中古住宅を購入し、住宅全体をグレードアップする。

改修前の断熱性能は、昭和 55 年省エネ基準相当とし、改修後には、部位別に現行省エネ基準に適合することとした。BEST 住宅版を用いたシミュレーションにて、住宅事業建築主の判断基準の標準プランを用いて省エネ性、健康性の改善効果の評価を行った。図 2-11、図 2-12 にシミュレーションのシナリオ及び設定条件を示す。

2) 省エネ性・健康性評価と改修コスト試算

図 2-13 に省エネ性・健康性評価と改修コスト試算結果の例を示す。ここで暖かさの得点とは、省エネ改修をおこなうことによって、室温に関する健康リスク要因の評価指標の案であり、得点が高いほうが、健康リスクが少ないことを意味している。二世帯、四人世帯共に、省エネ改修部位が増えるほど、空調用一次エネルギー消費量が減少し、暖かさの得点が増加する。一方で、そのための改修コストが増加することになる。費用対効果には、別途、NEB を勘案する必要がある。既往研究では、断熱・気密性能向上による、世帯人数 2.63 人あたりの医療費・所得損失の低減効果は、社会的負担を加味しない場合で 27,000 円/年、社会的負担を加味する場合で 59,000 円/年であり、社会的負担を加味しない場合の医療費と所得損失の比率は、概ね 1:1 程度であるとされている。これらのことも考慮した上で、省エネ改修メニューを適切に選択していくことが重要となる。

2.2.5 ライフスタイルに応じたエネルギー消費の最適化とエネルギー消費情報の有効活用

外皮性能の向上や住宅設備の高効率化によって、暖冷房、給湯、照明等のエネルギー消費削減が進み、住宅のエネルギー消費において、家電製品や調理その他のエネルギー消費の比率が高まっている。その他エネルギー消費は、個々の世帯のライフスタイルによって大きく異なるほか、個室化、外食・内食化、

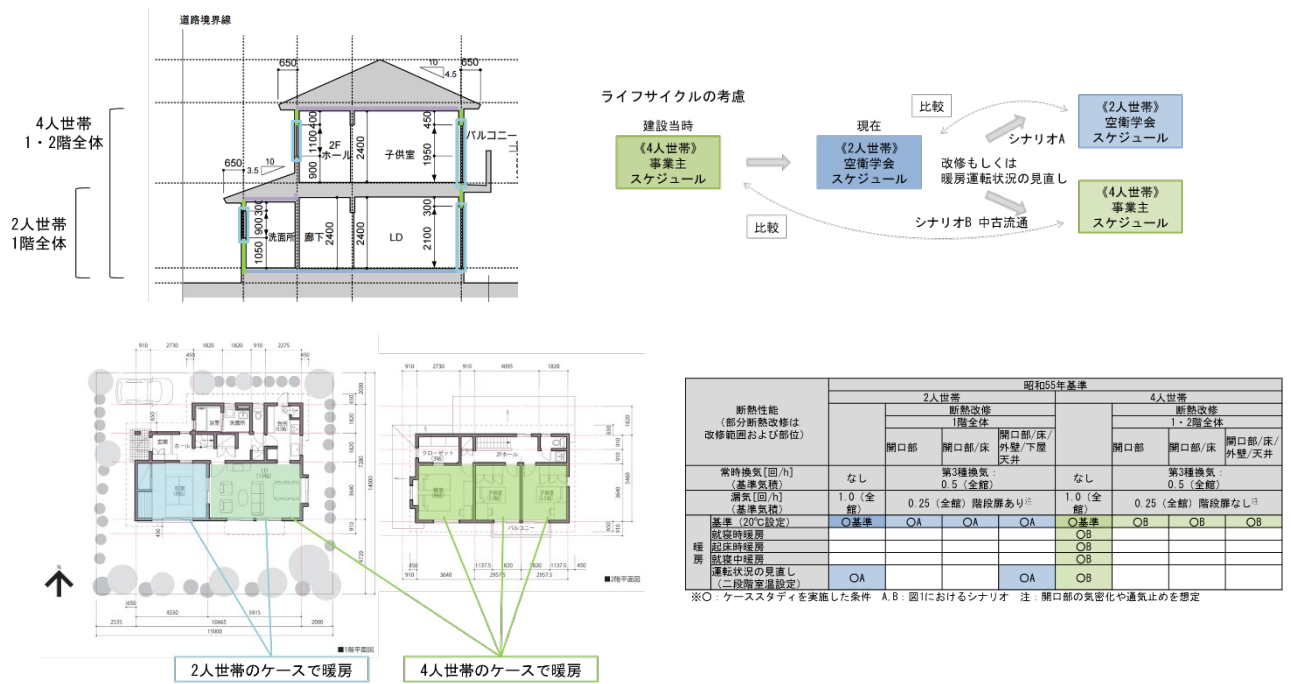


図2-11 シミュレーションの設定シナリオ

項目	設定内容	項目	設定内容
地域	東京	暖房スケジュール	4人世帯は住宅事業建築主の判断基準における居室間空調を、2人世帯はSCHEDULEの高齢者2人世帯の在室暖房のスケジュールをベースとする。4人世帯の寝室・子供室については、就寝時暖房(就寝前1時間と就寝後2時間)、起床時暖房(起床前1時間)、起床時暖房(就寝時間帯)も追加。
気象データ	拡張アメダス気象データ2000年版標準年	常時換気・局所換気	第3種換気: 住宅事業建築主の判断基準に準じ居室に設置した給気口より給気、1階はトイレと浴室、2階はトイレより排気した。換気動力は0.3W/(m ³ /h)とした。換気動力は、内部発熱として扱わない。
プログラム	BEST住宅版(仮)	局所換気	台所、1階トイレ、浴室に住宅事業建築主の判断基準の風量、スケジュールに則り設定。換気動力は0.3W/(m ³ /h)とした。
計算時間間隔	5分	隣室間換気	空間建具がないもしくは開放していると想定した空間(LDと台所間、1Fホールと2Fホール間、廊下と脱衣室間): 隣接2室合計気積の20回/h相当 空間建具で仕切られている空間: 隣接2室合計気積の1回/h相当
暖房期間	11月4日~4月21日	家具などの熱容量	LDK: 28.35kJ/m ² K LDK以外の室: 18.9kJ/M ³ K
建物モデル	自立循環型住宅モデル(木造住宅)	開口部遮へい	昼間(7~18時)はレースカーテンを閉鎖。夜間(18~7時)はレースカーテン+厚手のカーテンを閉鎖。
延床面積	120m ²		
暖房方式	居室: LD、和室、寝室、子供室にルームエアコンを設置。 定格暖房能力、定格暖房COPはLD: 8.5kW(3.63)、寝室: 2.8kW(5.00)、子供室: 2.2kW(4.89)		
設定温度	各室作用温度で20℃設定。 ただし、暖房運転状況の見直しを行う二段階室温設定のケースでは、就寝時間帯の暖房設定温度を18℃とする。		
内部発熱	4人世帯は住宅事業建築主の判断基準、2人世帯はSCHEDULEの高齢者2人世帯の在室暖房のスケジュールをベースとして、人体、照明、機器発熱を与える。機器の顕熱発熱は全て対流成分、照明は対流成分を70%として入力した。潜熱発熱は人体と調理を設定。		

図2-12 シミュレーションの設定条件

- 2人世帯 (高齢世帯が1階を改修)
- 4人世帯 (子育て世帯が1・2階全体を改修)

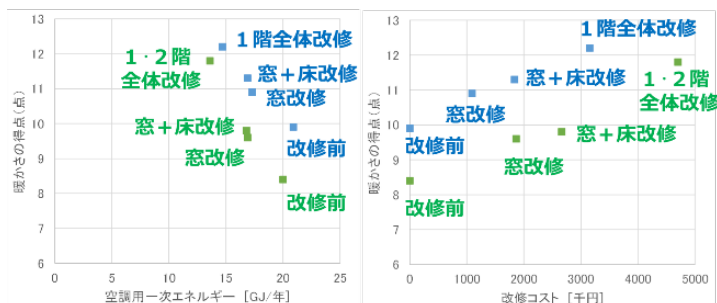


図2-13 省エネ性・健康性評価と改修コスト試算結果の例

在宅介護の進展など、社会情勢の影響も大きく、製品自体の高効率化が進んでも、導入される製品が増えることで、世帯のエネルギー消費の増大が懸念される。現在の ZEH 定義は、設計性能による評価として、その他エネルギー消費は対象外となっているが、実生活においてライフスタイルに応じたエネルギー消費の最適化を図るには、その他エネルギーの対策も不可欠である。

一方、今後、IoT 家電等の普及に伴い、その他エネルギーの消費データは、例えば高齢者の見守りなど、新たなサービスに向けた有益な情報になり得る。さらに、地域のエネルギー需給バランスの改善に向けても、家電製品等のタイムシフトによる家庭のデマンドリスポンスツールとしても期待される。これらその他エネルギー消費は、直接的に建築計画・設備計画が関与するものではないが、エネルギー消費の動向のみならず、消費データ情報について適切な収集・活用について検討が必要である。

2.2.6 ZEH 普及のゆくえ

経済産業省の ZEH 支援事業は平成 24 年度に創設され、ZEH の補助金交付件数は平成 30 年度までに約 38,000 戸となっている。また、新築戸建住宅（持家）の着工件数に対する ZEH の補助金交付数は、都道府県によって差はあるものの全国平均では 3%に相当している²⁾。

国は ZEH に対する支援制度の対象範囲の拡大等を行ってきたが、さらなる普及促進に向けて、平成 30 年度からは環境省、経済産業省、国土交通省の 3 省連携事業として、各省が分担しながら ZEH に対する支援を展開している。

そのなかで、国土交通省は、さらに省 CO₂ 化を進めた先導的な低炭素住宅として、使用段階の CO₂ 排出量に加え、資材製造や建設段階の CO₂ 排出量の削減、長寿命化により、ライフサイクル全体（建築から解体・再利用等まで）を通じた CO₂ 排出量をマイナスにするライフサイクルカーボンマイナス住宅（LCCM 住宅）への支援を平成 30 年度から実施している。LCCM 住宅への支援制度は、一定の要件に該当する LCCM 住宅を新築する事業に対して、整備費の補助を行うもので、平成 30 年度事業では、住宅の年間供給実績戸数が数戸から 1 万戸超までの幅広い事業者による応募、寒冷地から蒸暑地までの新築計画、木造のみならず鉄骨造や混構造も含む多様な取り組みが見られたことが特徴³⁾とされており、新たな動きとして注目される。

2.2.7 おわりに

パリ協定（COP21）において日本が提出した約束草案では、CO₂ 排出量を 2030 年までに 2013 年比で 26%削減するという野心的な水準の目標を掲げており、その実現のためには、民生部門で 2030 年までに約 4 割削減することが求められるため、更なる住宅・建築物の省エネ化の促進が必要となる。エネルギー基本計画（2014 年 4 月）では、2020 年までに新築住宅・建築物について段階的に省エネルギー基準の適合を義務化することが示されているし、地球温暖化対策計画（2016 年 5 月）では、新築だけではなくストックの性能向上についても触れられている。省エネ性能表示制度である BELS（の積極的な活用も進んできている。住宅においては ZEH ビルダールの登録数がおよそ 6,500 にもなっている。新築住宅の ZEH 化、既存住宅の ZEH 化を進めることは重要であるが、考慮しておかなければならないことがまだ多くあるだろう。やはり一般消費者である住まい手にとっては、イニシャルコストの投資回収にどれくらい年数がかかるのかということが特に気になるはずだ。アクティブデザインである建築設備については、躯体設備以上に日常のメンテナンスが重要であるし、また時間経過とともにその機能は劣化する。住宅のライフサイクルの中で、太陽光発電設備や高効率給湯器、蓄電池、等の維持保全や更新を考慮し

た計画をしないと結果的にはコストアップの要因になってしまう。一方で、エネルギーのゼロカーボン化とその供給形態や居住スタイルの変化、等の未来予測も大事である。住宅・建築物の省エネ化、ゼロエネルギー化に向けた流れを加速化するための技術開発や制度設計などにおける実効性の高い取り組みが求められている。

【参考文献】

- 1) 伊香賀俊治, 江口里佳, 村上周三, 岩前篤, 星旦二, 水石仁, 川久保俊, 奥村公美: 健康維持がもたらす間接的便益 (NEB) を考慮した住宅断熱の投資評価, 日本建築学会環境系論文集, 第 76 巻 第 666 号, pp.735-740, 2011.8
- 2) 一般社団法人環境共創イニシアチブ: 戸建住宅に係る ZEH 補助事業について, ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス支援事業調査発表会 2018 資料, 2018.11
- 3) 清家剛: 平成 30 年度 (第 1 回) サステナブル建築物等先導事業 (省 CO₂ 先導型) 概評と今後の動向 生産・住宅計画分野における立場から, 第 22 回住宅・建築物の省 CO₂ シンポジウム資料, 2018.9

3. 人の視点から見た適応

3. 人の視点から見た適応

3.1 社会経済要因と屋内外環境とその後の健康長寿との因果構造

3.1.1 目的

The purpose of this study was to make clear the causal determining factors of socioeconomic status, three health dimension, environmental condition, and common healthy life using the multiple-indicator structural equation modeling (SEM) in Okinawa of Japan. To investigate the causal influence on residents' healthy life without bed-ridden status of regional environment and three health dimensions, based on the socioeconomic status, a questionnaire survey and follow-up survey was conducted for 9 years.

A health-related causal structural model was constructed to find the causal relations among regional environment, and residents' overall health.

During August in 2007, we had conducted a home visiting survey by using a questionnaire to all elderly individuals (aged 65 years and over) living in A municipality of Okinawa prefecture in Japan. Of 1,575 eligible elderly individuals, 1,007 people (63.9% as a follow-up rate for nine years) gave informed consent to participate in this study and returned the self-administered questionnaire by mail. In August 2012, we sent via mail a second questionnaire (the same as used previously) to the respondents, and 1,007 participants responded. The inclusion criterion was all elderly dwelling in their home aged 65 years or more. We followed up all of the participants until March 31, 2016, and ultimately obtained individual data, deceased or living, for a total of 1,007 participants through the municipal resident's registry.

The village used as the study setting had located in the northern part of Okinawa Prefecture. The total population of the village was approximately 9,531 as of 2015 with 28.1 % of the population aged 65 years or older. This number was nearly 1.5 % over compared to the national average in 2015 (26.6%).

3.1.2 観察された変数

Socioeconomic status in 2007 was assessed via educational attainment and annual income. Levels of educational attainment were categorized into three groups; graduation from junior high school, graduation from high school, those achieving a higher than junior college and those who did not want to respond. Annual income levels fell into four categories; less than 0.6 million Japanese yen (equivalent to less than US \$5,000), less than 1.2 million yen, less than 2.4 million yen and more than 2.4 million yen in 2007. The current study aimed to examine the causal structural relationships among healthy survival day without bed-ridden status (2012-2016), socioeconomic status (2007) and three health-related dimensions (2012). As a final goal in the hypothesis models for both male and female, we set a healthy life without bed-ridden status. They were dependent endogenous latent variables, including the number of survival days since September 1, 2012 and August 31, 2016 and the degree of long-term health care in 2012. The degree of health care was used in order to detect elderly health conditions in September 2012 using a public assessment tool devised by the Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare. This tool is comprised of six levels ranging from the lightest degree (requiring mild support) to the most severe degree (requiring comprehensive care). In our analysis, a respondent that had received no care scored zero, while a respondent scored 1 if assigned at the lightest degree and scored 6 if assigned at the most severe degree. Latent dimensions examined in our study consisted of physical, mental and social health components.

Housing and regional environment correlated with healthy life were modeled via the exploratory modeling. The environmental condition questionnaire items delivered from CASBEE checklist correlated with healthy life are sightseen,

nature with green, social capital, and willing to live forever. The importance of items was evaluated on a four-point scale (1, very important; 4, not at all important).

3.1.3 研究からわかったこと

1) 3つの潜在変数間の構造的および因果関係

To find the causal relations among the environment condition, socioeconomic status and three health-related dimensions to the Healthy life, using structural equation modeling (SEM) was conducted based on the hypothetical model (Fig 3-1).

The hypothesis models fit the data very well with the following fit indices: NFI=0.875, IFI=0.903 and RMSEA=0.037. R squared values explained the healthy life also fit well: 62 % for males and 81 % for females.

The models depict the pathways from underlying SES in 2007 via the three health-related dimensions in 2012 and the environmental condition in 2012 leading to the endogenous latent healthy life conditions from 2012 to 2016 for both sexes. In addition, the paths from the environmental condition approached both the physiological and the physical health dimension variable.

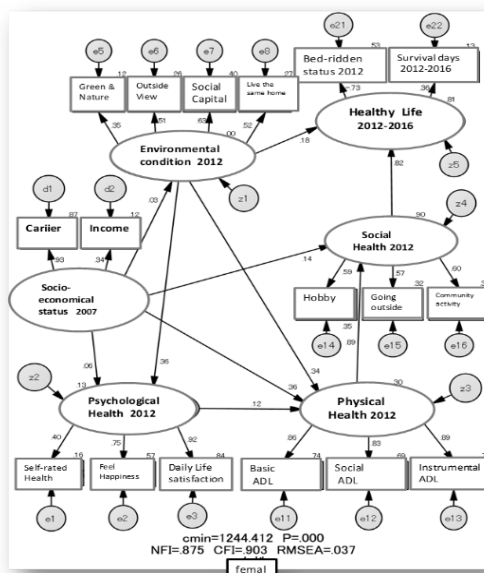


図 3-1 Structural and causal relationships among SES, environmental condition, three health-related dimensions, and healthy Life (female)

Table 3-1 indicates the direct, indirect and total effects of different latent variables on the endogenous healthy life condition variables using the best-fitting models.

We observed a relatively large direct effect of the social health in 2012 on the healthy life conditions with a 0.76 standardized path coefficient (SPC) for males and 0.82 SPC for females.

In Fig. 3-2 showed the final model based on the best-fitting, omitting observed variables. Also, the direct effect of the socioeconomic status on healthy life was nearly zero. The indirect effects of socioeconomic status on healthy life via the three health-related dimensions were considerably small (0.13 SPC for males and 0.11 SPC for females), whereas the indirect effect of environmental condition on the healthy life via the three health-related dimensions indicated considerably larger effect for females (0.27) then for males (0.22).

These indirect effects were larger than direct effects of socioeconomic status on healthy life. As a result, the coefficient

of direct determinant of the environment condition to the healthy life was only 0.08 and 0.18. On the total effects including indirect and direct effects showed a good fit with considerably larger effect of 0.30 for males and 0.45 for females. In the case of the socioeconomic status to the healthy life, the same results was found just like the environment condition with the total effects of 0.13 and 0.11. Therefore, the results indicate that environment condition base on the socioeconomic status are indirectly related to healthy life.

表 3-1 The direct, indirect and total effects of different latent variables

	Factors			
	1	2	3	4
IADL	.862	.156	.611	-.240
BADL	.841	.185	.458	-.220
SADL	.773	.296	.659	-.264
Self-rated health	.344	.342	.303	-.136
Daily life satisfaction	.218	.956	.229	-.270
Feel Happiness	.147	.723	.178	-.260
Community activity	.516	.226	.843	-.195
Frequency of going outside	.467	.132	.646	-.110
Hobby-related activity	.474	.169	.489	-.133
Sightseeing	-.084	-.183	-.003	.588
Social capital	-.242	-.242	-.308	.513
Living forever	-.096	-.115	-.069	.436
Nature with green	-.167	-.109	-.144	.417

Note. Factor extraction method : Maximum likelihood. Rotation method : Promax

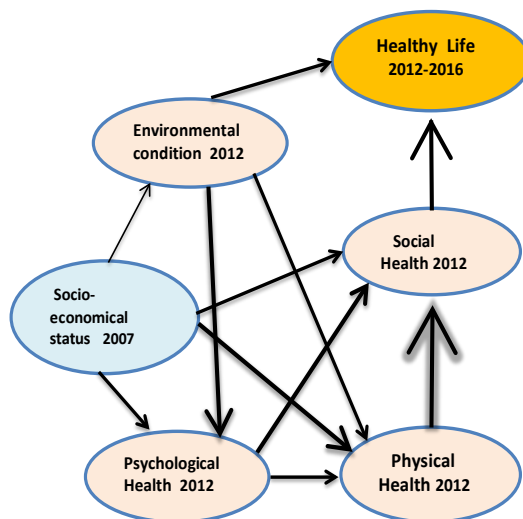


图 3-2 Final model of causal and Structural relationships to the healthy life

3.1.4 結論

A health-related causal relational factors based on epidemiological hypotheses, was constructed by combining the measurement models; health model, and regional environment models. The hypothesis models fit the data very well with the following fit indices: NFI=0.875, IFI=0.903 and RMSEA=0.037. The squared values explained the healthy life also fit well: 62 % for males and 81 % for females.

3.1.5 おわりに

すべての人々が平和で豊かに暮らすことは誰しもが願っていることである。そのための方策では、国連が提示した SDGs が注目される。健康住宅は、そのための方策の一つであり、WHO の提言では、平和に次いで重視される分野が健康住居である。健康住宅は、快適な温湿度を保つハード面と共に、環境適応や家族の成長などのソフト面からも注目したいテーマである。特に、施主や家族が参加する屋内外環境を健康的にするプロセスでは、専門家と市民との協働を重視し、アウトカムと改善を共有するパラダイムシフトがもとめられる。

3.2 人の行動と心理生理からみた環境適応

3.2.1 はじめに

健康維持増進が社会的な課題であることから、医療分野だけでなく、住宅や建物といった生活環境の性能やデザインから都市環境まで、健康維持や増進に繋がることができないか、という取り組みや研究が広がっている。省エネルギー化を実現した建築建設などを推し進める上で、エネルギーコストと建設コストのトータルバランスだけでみると、イニシャルコストが高く敬遠されてしまうケースもあることや、ZEH、ZEBのような高性能の住宅やオフィスといった建築が、健康性や生産性といった、別の価値を生むかという期待があり、環境と健康的な行動の関係、環境と心身の健康の関係から、エビデンスとなる知見を求める研究が進められている。

環境と人の健康維持や増進の関連について、どのような指標で評価できるのか、という点も新しい課題であり、多くの提案がなされている。IoTなどを利用し小型で多様な計測機器やシステムの進化から、これまで用いられていた行動データなどと比べて、量や質の面でも大きな変化があり、これと環境情報を合わせて新たな知見が得られ始めている。

また、心理分野の研究も実験を中心としたモデルから、実践的な社会での在りようを調べる社会心理などにおいて、行動や心理の動きを知るための統計的な手法も進化し、議論が進みつつある。本稿ではいくつかの研究を紹介し、環境における行動と心理および生理の観点から、ZEB、ZEHの環境適応について考えたい。

3.2.2 環境と行動の対応：自然科学としての一般特性

環境とビヘイビアの対応に関する研究は、近年、センサーと通信技術によりビッグデータが得られるようになったことから、自然科学の対象としてNatureにNature Behaviorなどが創設されるなど、一般化した行動特性として取り上げられることが可能となってきた。

図3-3は、スタンフォード大のAlthoughらが、スマートフォンのアプリによって世界中から集められた歩数のデータを、国別に調査・分析しNatureに発表したものである。11か国、717,527人、平均95日間、計6,800万日分の集計で、オレンジから赤に近いほど、歩いていない地域をしめしている。調査された国の中でよく歩いている順に、1位：香港 6,880歩、2位：中国 6,189歩、3位：ウクライナ 6,107歩、4位：日本 6,010歩と述べられており、日本は上位にある。この研究のフォーカスは、都市のウォーカビリティ（歩きやすさの指標）と歩数の関連である。アメリカでは肥満が課題であり、その原因は過度の車依存や格差といわれてきたが、これまでの車社会に対応した都市作りから、健康性を高める都市として、都市のウォーカビリティを高めることが議論されている。環境デザインと健康行動の関連について、大規模なエビデンスを得ることは難しかったが、こういった技術によって可能となってきた。この論文の後半では、アメリカのいくつかの都市比較を行なっていて、ウォーカビリティの高い都市、低い都市を算出してその街の歩数データの特徴を調べたところ、高い都市では、歩く人と歩かない人の歩数の格差（Activity Inequality）が小さいことなどが示唆されている。

さて論文のフォーカスとは少し異なる視点で、この世界地図に落とし込まれた歩数の塗り分け地図を、建築学会の本委員会で見た。その時の委員らの第一声は、「やはり、暑熱地域では、歩数が明らかに少ないね、歩かないのだね」ということであった。この図からアラブなどは、歩数の少ない地域であることがわかるが、伝統的なアラブの都市には各家を繋いで涼しく移動できる地下通路が発達していたところがある話を、小林恵吾委員からお教えいただいた。歩数の平均が高い都市は、まずは温暖～涼しい気候

の地域であるとデータから言えるだろう。各都市、建築や生活文化は、このような背景を持ちながら、生活を環境適応させるように発展してきたと言える。地域の温熱など気候は、行動に支配的な影響を与えているが、その上で、各都市のデザインやそれに規定されるライフスタイルは相互に影響しあいながら、住む人が環境適応していることがわかる。

またアメリカの現代の都市の比較の結果から、ライフスタイルは歩数の格差からその要因を推察すると、同じ環境であっても、社会的な影響が大きく関わっていることが推察される。

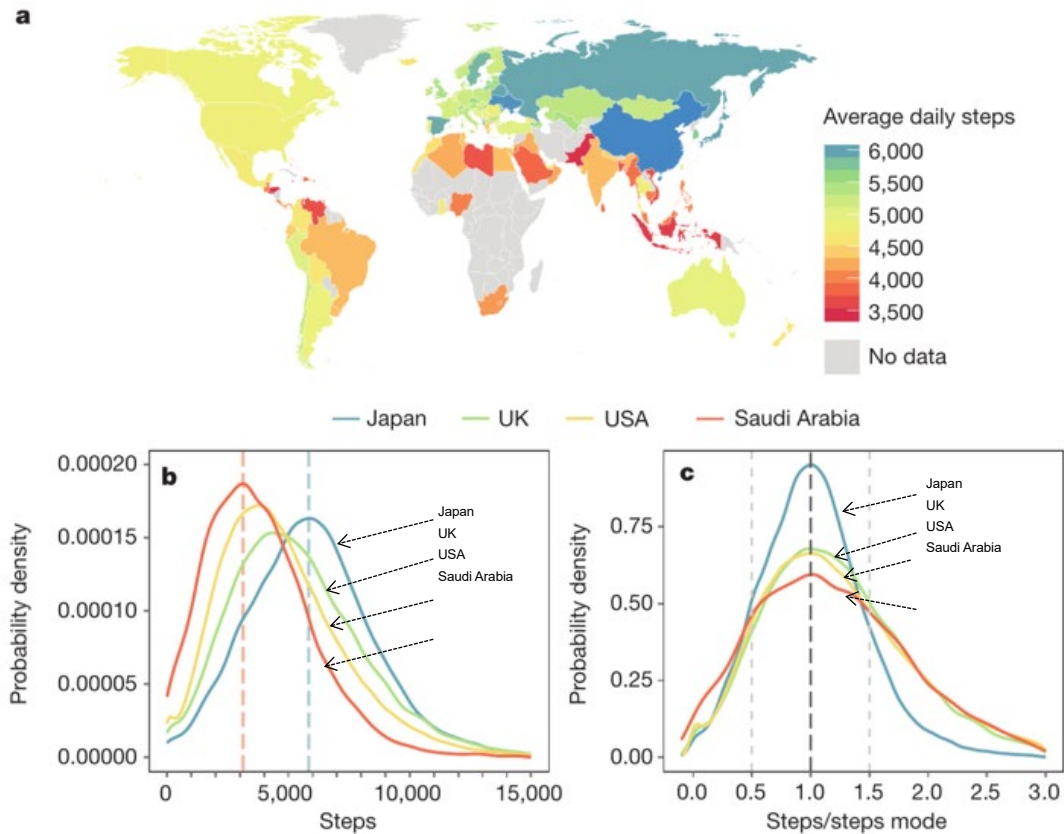


図 3-3 世界の国別の歩数¹⁾より作成

3.2.3 人の環境と生理の対応

このように、ビヘイビアに対する自然科学的なアプローチによって、一般化した環境に対する行動特性が今後も明らかになると考えられるが、個々の建築物の設計の際には、一般化した特性に対応するだけでは十分ではない。私自身が学生らと、実際に建物内で、環境と、行動、心理や生理の計測や調査を行なうなかで、このような単純な仮説どおりの結果がでず複雑なデータを見ることとなる。その原因を考える中で、環境から人への影響は多面的であることと、人の側にもまた多面的な適応の仕方が見出されているからである。

暑さ寒さに関連して行動が変化するのであれば、普段の暮らしの中でもストレスを感じているのではないか、と日常計測を行って環境温度と心拍変動によるストレスを調査した★)。寒暖によるストレスは、マウスなどの実験でもみとめられており★)、心拍変動などに影響がみられるという結果がある。また、人に対する実験室での結果もあったことから、生体に共通したストレスであろうと考えた。計測では、部屋の中、外出中の行動があり、環境温度も変動していたが、温度ごとや、行動ごとに分けストレスの値との関連があるか分析しても、なかなか顕著な結果はみられなかった。そこで、「冬にご自宅で暖かい

リビングからベランダに 10 分ほど出る」という一連の行動をしてもらって、その際の環境温度と心拍計測をした時の計測結果が図 3-4 である。居間からベランダへ出たときの場所の温度の変化と、心拍変動のストレス指標として知られる LF/HF 値を示している。

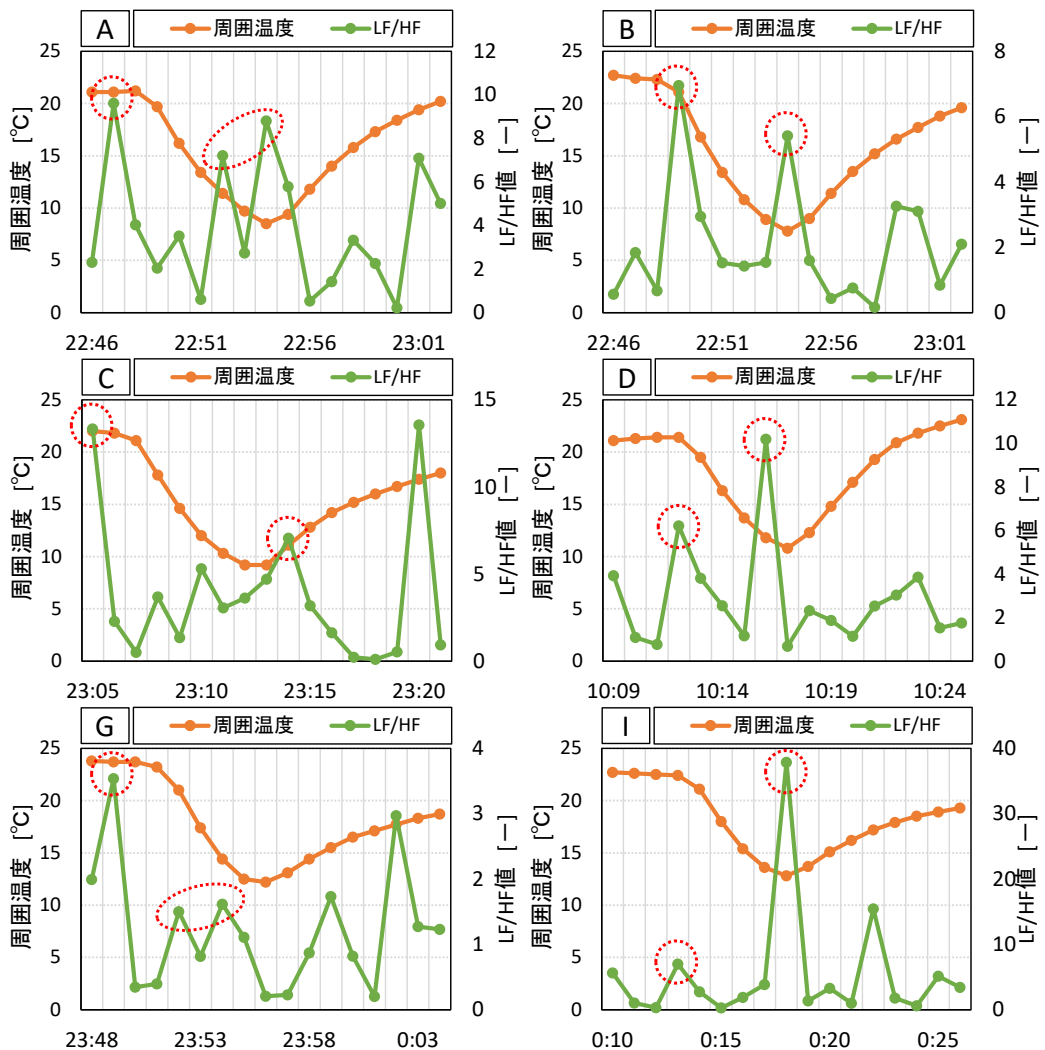


図 3-4 急激な温度変化に伴う周囲温度と LF/HF 値の経時変化²⁾

実験時間中の周囲温度測定値および心拍測定値に欠損がない 6 名について、最低気温が観測された時間の前後 8 分間を切り取って変動を示した。また LF/HF 値の個人の変動幅や値の大きさによって、軸目盛は適宜合わせた。実験時間中のリビング・ダイニングの平均室温は 22.0°C、被験者の周囲温度計から読み取った外気温最低気温の平均は 9.5°C であり、最大 14.9°C、最少 9.1°C の温度変化があった。

グラフから、被験者ほぼ全員で最低気温が観測された時間の直前または直後に LF/HF 値の局部ピーク値が観測された。被験者によってピーク位置が異なるものの、実環境下における急激な温度変化により、LF/HF 値が上昇する傾向が明らかとなった。つまり、体はストレスを受けているということである。また、急激な温度変化を受けている時間帯で常に LF/HF 値が高くなるのではなく、どのケースでも瞬間的に LF/HF 値が上昇する傾向がみられた。興味深いことに、屋外に出る直前にも LF/HF 値の局部ピーク値が観測されている。以上の事から、LF/HF 値は温度変化によるストレス（身体、精神の別は不明）に影響を受けると共に、「次の環境に行く」という負担があることがわかった。「外が寒い」ことを予見し

精神的なストレスの値として現れているかもしれない。加えて、環境ストレスによる LF/HF 値上昇は瞬間的なピークとして観測される可能性がある。温度の変化による変動に対して生理反応が出ているが、同時に直前の心理的なストレスも反映していた。

Testee D

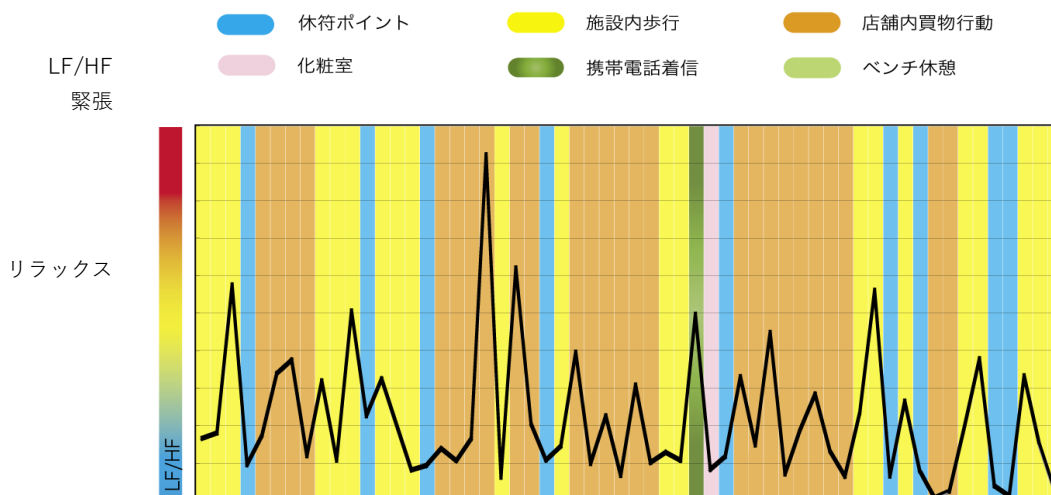


図 3-5 被験者 D：買い物中の場所と LF/HF 値の経時変化⁴⁾

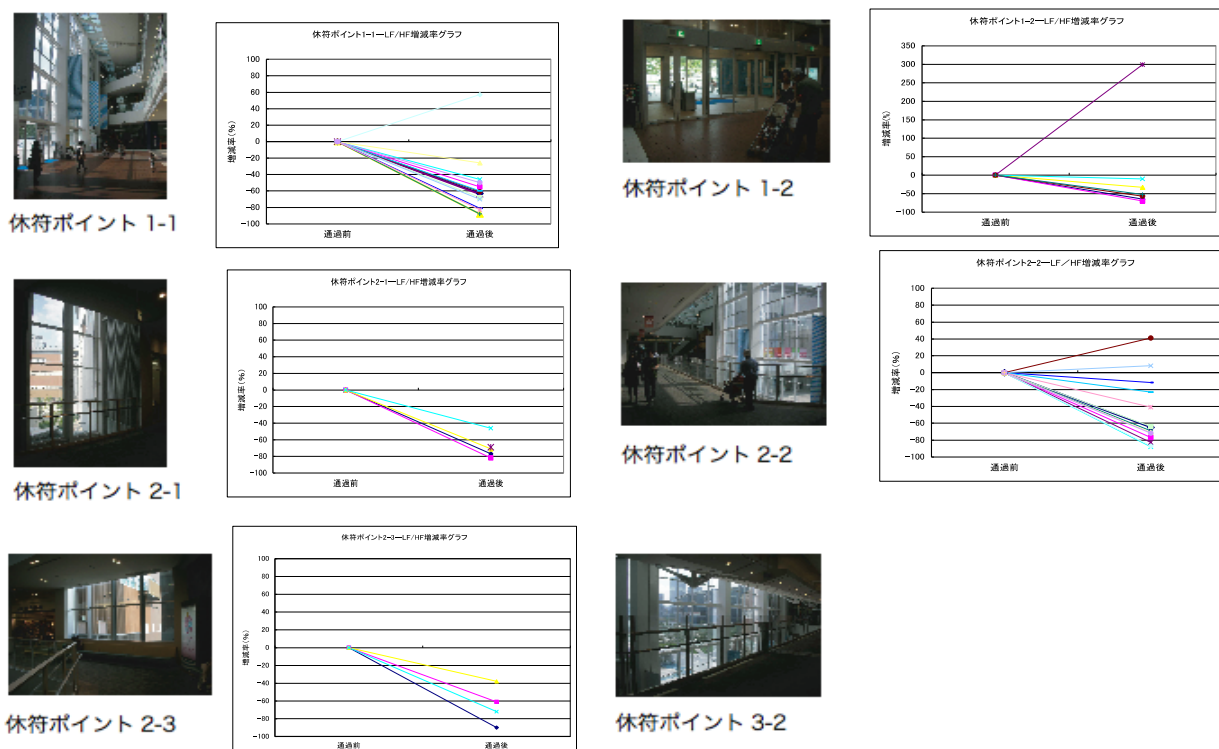


図 3-6 開けた場所の前後の LF/HF 値の変化⁴⁾

もう一つの例は、屋内のショッピングセンターで買い物中の被験者の LF/HF 値を測った実験で、図 3-5 は行動の初めから終わりまでの、1 名の被験者の経時変化を示している。他の被験者のデータも、このように変動があった。環境ごとに分けて分析したところ、気になる結果がみられたのは、図 3-6 の写真にあるような、センター内の明るく吹き抜けた開放的な場所でのデータであった。グラフは全被験者の、その場所を通過する前と後の値を示しているが、概ね低下する傾向にある。店の前のエリアの場所を歩いているときにも上下の変動はあるが、それでもこれらの場所を通過するときには、顕著にストレスが軽減している。実験後に、被験者に感想を聞くと、品物を探そうと店のあるエリアでは探索に頭を使っていて、こういったところでは、すこし頭を使わずに歩くからではないか、ということであった。開放的な環境とストレスの関係という直接の因果関係を推測することもできるが、建築が規定しているのは、環境の条件だけでなく、そこがどのような場所であるかという認知（広場や待ち合わせ、ゾーンの切り替え、ランドマーク）、それによって無意識に行われる行動（ここでは品物や店を探さない）によって、心理や生理へも影響している。

日常のなかの多くの行為や行動はこのように一連のものとして、その空間と対応して起こる。そのため、環境の特定の要因のみを変化させても、そのような反応が計測できるとは限らない。その場でどう行動して健康性につながるかは、総合的な環境適応の結果としてあらわれている。

3.2.4 生活と住環境調査からわかる適応と非適応

環境により健康性を高める要素がわかっているにもかかわらず、その行動をとるのは人のファクターが大きく、良いことであってもライフスタイルを変えて環境への適応行動を起こすのが困難であるケースも多く知られている。

日本の奈良県に住んでいる高齢者の既存の住まいにおいて、4 季節、それぞれ 2~5 日の室内計測と健康や行動のアンケートを行った久保ら^{6, 7)}の報告がある。2016~2017 年にかけて行われた追加調査の結果によると、「高齢者・身障者に配慮した住宅の温熱環境評価の基準値」で夏の居間の基準は $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ とされているが、8 月の計測では数名の家を除いてその範囲を上回り、 35°C を超えるケースもあった。また冬季の居間の基準は、 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ とされているが、こちらも 2 月の計測では数名の家を除いてその範囲を下回り、 10°C を下回るケースも多くあったという。居間では、冷房暖房が使用されていたが、寝室で冷房設が 4 割程度で、終夜使用する者が 1 割以下、暖房は設置されてはいるが、睡眠時に使用しない者もいて、居間と比べても寝室はさらに、住宅温熱環境基準値に比べ著しく夏期は高く冬期は低いことが報告されている。注目すべきは、推奨温度範囲が $21\sim 27^{\circ}\text{C}$ 範囲内であるのに対し、被験者が実際に快適と感じる温度が、 $16^{\circ}\text{C}\sim 29^{\circ}\text{C}$ と申告しており、現状の厳しいといえる住まいの環境を許容していることがわかったということである。

健康性の面から弱者ともいえる高齢者にフォーカスを当てており、危ないので夜に、少しエアコンをいれてはどうか、という提案をしてもなかなか聞き入れていただけないという。危険だという情報があっても、慣れた生活パターンや、良いと思える気持ちを変えて環境適応するのが、難しい場面もあることがわかる^{注)}。

同様に中谷、松原ら⁷⁾の研究でも、住まいにおける環境の許容について報告されている。日本の住まいの実測調査とアンケートを中心に、国際標準で示されている熱環境条件からかなり逸脱している暑い（または寒い）環境であっても、熱的快適性の申告をみると許容率が 7~8 割と高いことを示している。ハワイの自然通風の小学校などにおいても同様の傾向であることや、各国でのオフィスにおける比較か

ら、空調方式や気候の違いで中立温度に違いが出ることについて考察している。

3.2.5 ZEB、ZEHの空間のもつメッセージ性と行動の変化

2014年のエネマネハウスに参加してZEHの環境設備設計を学ぶなかで、エネルギーに関してはZEHの基準が定められ、また内部空間の快適性の基準が示されている。健康性を高める建築の基準も示され始めている。こういった基準化によって、多くの建築物の質を高めていくことと同時に、こういった環境が人に対してどのような印象を与えて、働きかけているかに注意していきたいと考えている。

これらの基準をクリアした設計のゴールとして目指すと、外部の気象変動を切り離して、それに対抗する必要があるために、分厚い外皮+設備 という空間が出来上がる可能性がある。(残念なことに、これが経済的な設計かもしれない)。こういった建物や住まいの空間から、利用者がどのようなメッセージを受け取っているのだろうか。健康性には、環境からの直接的な影響よりも、行動やその元となっているその環境に対する理解が、大きく影響していると考えられるからである。

日本の建築の歴史からみれば、ZEB、ZEHなどと比較して、薄く軽やかな壁、世界的に見れば気候のよい土地でありそのために、これは外部から内部に空間のグラデーションがある作り方や、屋内と屋外・つまり自然と一体となれるような自由な空間性があり、それに規定されたライフスタイル、また文化が生まれてきたといえる。今後、ZEB、ZEHを作る上では、人に対する働きかけが重要な役割をもつと考えられることから、エネルギーのロスが少なく健康的に過ごせる空間であるという、実感が持て、そのようなライフスタイル・行動に適応できているかという点で、生活が始まってからの評価ができればと考えている。ZEB、ZEHになり快適で閉鎖的で、屋外へ出る機会が減ったということになれば、逆効果となってしまう。オフィスなどでは、これまでには機能として必要のなかった、動くための仕組みを内包する提案もなされているが、ZEB、ZEHの建築そのものの仕組みの中に人の要素を評価に含めたときに矛盾がないかという点を考えていきたい。

注) 暑熱地域で屋外に出ないのは危険があるからであり、そういった場面に対する都市や建築での対策は必須である。また、健康に影響を与えるほどの変動(熱中症や冷房病など急激な変化)は課題であり、さらに「変動」に対して弱者には、特に配慮が必要であることはいままでもない。

【参考文献】

- 1) Althoff, T., Sosič, R., Hicks, J. L., King, A. C., Delp, S. L., & Leskovec, J. (2017). Large-scale physical activity data reveal worldwide activity inequality. *Nature*, 547(7663), 336–339. <http://doi.org/10.1038/nature23018>
- 2) 長澤 夏子, 山口 莉加, 田辺 新一, 日常生活行為を考慮した居住環境におけるストレスの特性, 日本建築学会学術講演梗概集 2015(環境工学 I), 67-68, 2015.09
- 3) JPN.J.ELECTROCARDIOLOGY Vol.14 SUPPL.1 1994
- 4) 長澤夏子他, 大型商業施設における買い物中のストレス変化の傾向と休憩場所の関連, 日本建築学会大会講演梗概集, E-1, pp719-720, 2009.07
- 5) 久保博子, 宮里真以, 東実千代, 佐々尚美, & 磯田憲生. (2018). 夏期と冬期における高齢者の居室の温熱環境に関する実態調査. 一般社団法人日本家政学会研究発表要旨集, 70, 43. http://doi.org/10.11428/kasei.70.0_43
- 6) 宮里真以, 修士論文, 奈良女子大学大学院・お茶の水女子大学大学院 生活工学共同専攻 (久保博子)

研究室) 2018.03

- 7) 中谷岳史, 松原斎樹, 蔵澄美仁. (2005). 関西地域の住宅における熱的快適性に関する実態調査: 夏期の中立温度と許容範囲. 日本建築学会環境系論文集, 70(597), 51-56.
http://doi.org/10.3130/aije.70.51_4

3.3 環境の文脈と温熱環境適応を考慮した温熱環境計画

3.3.1 はじめに

1997年に採択された京都議定書の達成に向け、2002年の地球温暖化対策大綱¹⁾において冷房設定温度28°Cが推奨された。28°C設定は2005年より実施されたCOOLBIZ運動と共に日本社会に浸透したが、2011年の東日本大震災に続く電力逼迫により、さらに徹底されることとなった。空気温度のみに基づくこの目標値は、あくまでも節電が第一目的であり、熱的快適性は考慮されていない。田辺ら²⁾は、28°Cオフィス執務者の熱的満足度が非常に低く、知的生産性にも悪影響を与えている実態を明らかにしている。エネルギー削減が実質的に義務化されるZEB時代に適した、我慢を強くない温熱環境計画が求められている。本稿では、温熱環境計画のキーワードとして「温熱環境適応」と「環境の文脈」について解説する。

3.3.2 「単一の基準」から「選べる基準」へ

世界的に広く参照されている温熱環境基準として、ASHRAE 55³⁾とISO 7730⁴⁾がある。それぞれ1966年および1984年に初版が制定されているが、ASHRAE 55-92(1992)の改定からは両基準が密接にリンクするようになった。熱的快適範囲の根拠となっているのはFangerのPMV-PPD理論⁵⁾で、全身温冷感として $-0.5 < PMV < +0.5$ (PPD < 10)の範囲が共通して推奨されてきた。

しかし、ASHRAE 55-2004から変化が見られ始めた。従来の推奨値に加え、自然換気により室内環境が調節された空間を対象としたde Dear and Brager⁶⁾のadaptive modelに基づく推奨値が選択できるようになった。

ISO 7730:2005では、A~Cの3カテゴリから全身温冷感と局所不快に関する推奨値の組み合わせを選択できるようになった。2003年に欧州でThe European Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)が施行され、建物エネルギー性能の算定が必要になったことが背景にある。制御目標とする室内環境の質を一つの条件に固定せず、建物に応じて選択できるように改定された。

ISO 17772-1⁷⁾は、建物のエネルギー性能算定における室内環境条件に関する規格として2017年に制定された。ISO 7730にはカテゴリの選択に関する教示はないが、この規格では「室内環境の質に対する居住者の期待のレベル」に応じて推奨値がI~IVのカテゴリに分かれている。また、空調されていない建物については、Nicolらのadaptive model⁸⁾に基づいた推奨値を選択できるようになっている。

いずれの基準も、PMV(PPD)で単一の推奨値を示すのではなく、多様な熱的快適性を選択できる方向へとシフトしている。これら最新の温熱環境基準の動向については、中野⁹⁾が解説している。

3.3.3 温熱環境適応 (Thermal Adaptation)

温熱環境基準が多様化するきっかけとなったのは、2000年前後より広く受け入れられるようになった温熱環境適応(以下、環境適応)の概念であると考えられる。

環境適応はHumphreysとNicolが1970年代に提唱し、「不快な環境変化に対して、人は自ら快適性を回復しようとする」という原則のもとに熱的快適性を捉える概念である¹⁰⁾。Brager and de Dear¹¹⁾は、環境適応を行動、生理、心理の3種に分類した。行動的適応にはあらゆる行動を伴う熱授受の調節が該当し、着衣や代謝量の調節、滞在場所の選択、窓の開閉、空調設定温度の変更などが含まれる。生理的適応は、季節的要因から複数世代にわたる遺伝的要因までを含む人体生理機能の順化を指す。そして、心理的適応は温熱環境の認識のしかたを調整する心理的過程を指している。3つの中では行動的適応の頻

度が最も高く、また生理的適応は通常の建物内で経験される中庸な環境や代謝量の範囲では起こりにくいことを指摘している。そして研究事例は少ないものの、心理的適応の効果が大きいであろうことを示唆している。

環境適応が無制限に発揮されるのであれば、あらゆる温熱環境が受け入れられることになる。現実にはそうならない理由として、Humphreys and Nicol¹⁰⁾は行動的適応の観点から「適応機会 (adaptive opportunity)」という概念を示している。適応するための手段の豊富さとその実効性を意味し、建物や社会背景 (social context) により滞在者に付与されるとしている。個人による着衣量や代謝量の調節に加えて、建物は空調や開閉可能な窓等の設備、そしてそれらの個人調節の自由度という形で環境調節手段を技術的に提供する。一方、社会背景は気候、文化、経済状況、業務規則、個人の主義や好み、健康状態、他要因とのトレードオフなどを含むとしている。これらの要因は適応の自由度を高める方向にも制限する方向にも働く。そのため、良い建物の設計とは、社会背景が行動的適応にもたらす制限を考慮した上で、適応機会を増やしていくことにあるとしている。

一方、Auliciems と de Dear らの研究グループは、行動的適応だけでなく、心理的適応に着目した考察を進めてきた。心理的適応には滞在者の環境に対する期待 (expectation) が大きく関わっており、任意の状況において、期待する環境と実際の環境が合致することで満足が得られるという仮説に基づいている¹²⁾。そして、環境に対する期待や心理反応を調整していく過程を心理的適応と de Dear and Brager は解説している¹¹⁾。期待は緩和されるだけでなく、逆に高まる方向に適応する場合もあり、このときには環境に不満を感じやすくなる。環境に対する期待を左右するのは環境の文脈 (environmental context) であるとしており、文脈を形成する要因として、人工気候室—住宅—オフィスのような空間の用途、全館空調—自然換気のような環境制御レベル、そしてその空間における温熱環境の体感履歴 (経験) を例としてあげている。

3.3.4 環境の文脈と環境適応を考慮した熱的快適性モデル

行動的及び心理的適応には、滞在者の置かれている温熱環境の文脈が大きく影響するといえる。筆者は熱的快適性における「環境の文脈」と「環境適応」の位置づけを図 3-7 に示すモデルとして整理した。

ここで、「環境の文脈」とは温熱環境 6 要素に付帯する情報で、温熱環境を知覚した後の快適性の判断に影響するものとして定義する。環境の文脈は、①社会、②建物 (設備を含む)、③個人に関連する要素に大別できる。建築的文脈要素には空間の用途、周辺環境、環境制御レベル、個人による環境調節の自由度等があり、社会的文脈要素には気候、文化、技術水準、経済状況等が含まれる。個人的文脈要素は、個人の好みやポリシー、健康状態などが該当する。

モデル中央の縦軸は、従来の温熱環境指標における評価の流れを示している。温熱環境 6 要素が自律性体温調節を惹起し、人体と環境の熱授受の結果として熱的快適性が判断される。従来の温熱環境指標は主に定常を前提としているため、評価の流れは上から下への一方向で完結している。しかし、ここに環境適応を考慮することで、フィードバックループが生じる。環境の文脈は、適応機会として行動的適応に作用する一方、環境に対する期待や行動的適応に対する心づもりなどの心理的適応にも作用する。そして、心理的適応はアウトプットである熱的快適性の捉え方に影響を与える。このとき、熱的不快を感じれば、行動的適応により温熱環境 6 要素の再調節が行われる。このループが収束した時点で、温熱環境が期待に見合わなければ不快と感じ、見合っていれば快適と感じるというモデルになっている。

建築は敷地と切り離すことができないため、気候や文化といった社会的文脈は立地により決まる。しかし、空間用途や環境制御手法、そして個人調節自由度の設定等は、建築温熱環境計画の範疇である。建築や設備の計画は、建築的文脈要素として行動的適応と心理的適応に寄与しうることを示している。環境の文脈に応じた熱的快適域を満たすように建築・設備の計画を行なうことが、温熱環境計画の目標となる。

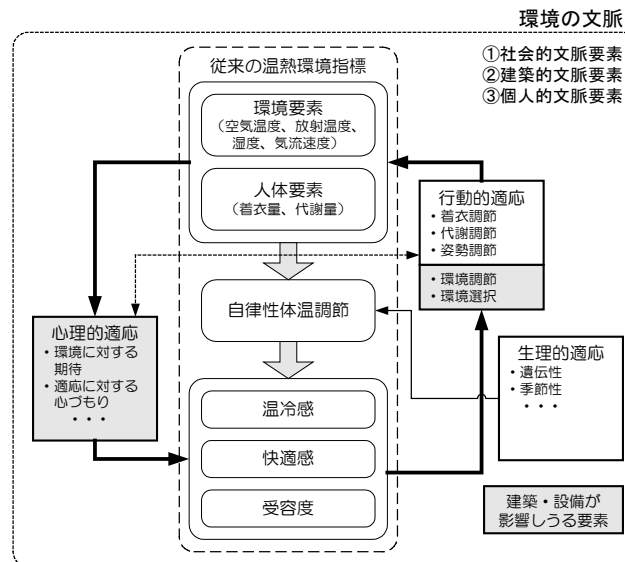


図 3-7 環境の文脈と環境適応を考慮した熱的快適性モデル

3.3.5 環境適応の熱的快適性への影響

1) 調査手法

環境の文脈と環境適応を考慮することで、熱的快適性は具体的にどのような影響を受けるのか。滞在者による環境適応の調査には、実際に利用者が建築空間を使用している状況（同じ環境の文脈）における実測調査が不可欠である。これらの調査では、以下の手法が基本として用いられている。

- ① 実際の建築空間における利用者（滞在者）への熱的快適性アンケート調査
- ② アンケート回答時の回答者近傍の温熱環境測定

質問項目は研究者によって若干異なるものの、回答時の利用者の温熱環境とアンケート回答を対応させる点で共通している。そして、気候の異なる複数の場所または複数の季節に渡って調査し、環境の変化に対する適応を分析している。観察による行動的適応調査を併用する場合もある。

自然換気と空調という環境制御の異なる建物での快適温度の違いについては、Humphreys¹³⁾、de Dear and Brager⁶⁾等の研究が著名で、成果は adaptive model として前述の温熱環境基準に取り入れられている。いずれも、自然換気の建物では快適温度が外気温と相関があり、空調された建物よりも広い範囲に分布していることが確認されている。これは、自然換気であるという建築的文脈要素が、執務者自身による自発的な行動的適応（着衣、窓の開閉、ファンの使用など）を促し、室内温熱環境に過大な期待をしないという心理的適応にも作用しているためと考えられる。ただし、海外の実測調査結果から導かれたこれらの adaptive model が日本にそのまま適用できるとは限らない。日本の社会的文脈（気候・文化）を考慮するためには、日本における調査が不可欠である。Goto et al.¹⁴⁾が日本のオフィスにおける調査を行っているものの、まだ研究事例は少ない。また、建物の用途が異なる場合も、別途調査が必要となる。

2) 半屋外パブリックスペースの調査事例

オフィスとは用途の異なる半屋外パブリックスペースを対象とし、2001年度の四季節、そして2003年度の夏に都内で調査を行った^{15), 16)}。建築や樹木による日除け及び風除けのみを環境調節手段とした開放的な空間2件、そして一年を通して空調により環境制御されたアトリウム2件を選定した。これらは大規模なオフィスビルや商業施設に隣接して公開空地として設けられ、利用者による滞在場所や滞在時間の選択、及び着衣調節が自由な空間であった。対象空間の概要を表3-2に示す。実際に対象空間で座った人を滞在者と見なし、アンケートを依頼した。同時に、移動計測カートを用いて回答者近傍の詳細な温熱環境を測定した。得られた回答と環境データのセット数は2,284であった。調査で利用した温熱環境評価に関わる申告スケールを表3-3に示す。熱的快適域の分析には非適温(「今より涼しい方がよい」「今より暖かい方がよい」、不快(中立よりも不快側の3スケール)、非受容(「受け入れられない」)に分類した申告率を用いた。

表3-2 調査対象空間

調査地	主用途	調査対象空間	規模(床面積×高さ)	空調運転
O	オフィス	ガレリア	830㎡×16m(アーケード)	無
		サンクンガーデン	650㎡(天井なし)	
T	商業施設	ウッドデッキ	1,500㎡(天井なし)	
P	オフィス	アトリウム	1,600㎡×18m	有
B	オフィス	アトリウム	4,200㎡×40m	

表3-3 申告スケール

温冷感	寒い	涼しい	やや涼しい	暑くも寒くもない	やや暖かい	暖かい	暑い
適温感	今より暖かい方がよい			このままでよい	今より涼しい方がよい		
快適感	非常に不快	不快	やや不快	どちらでもない	やや快適	快適	非常に快適
受容度	受け入れられない			受け入れられる			

利用状況を調査するため、調査対象エリアを見渡せる位置からの1日平均115人の滞在者を無作為に選び、着席・離席時刻を記録することで滞在時間を求めた。また、10分ごとにエリア内の滞在者数を記録した。調査時間帯の滞在環境空気温度の日平均値に対する1日の延べ滞在人数及び平均滞在時間を図3-8及び図3-9に示す。

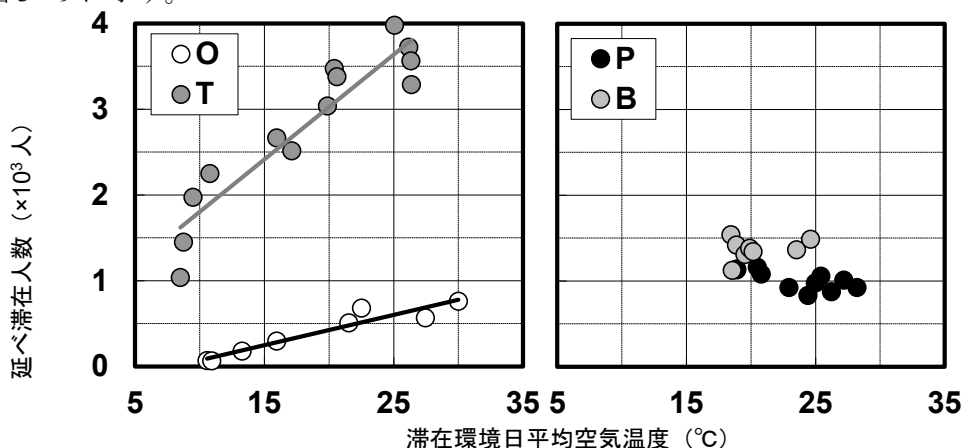


図3-8 日平均空気温度と述べ滞在人数

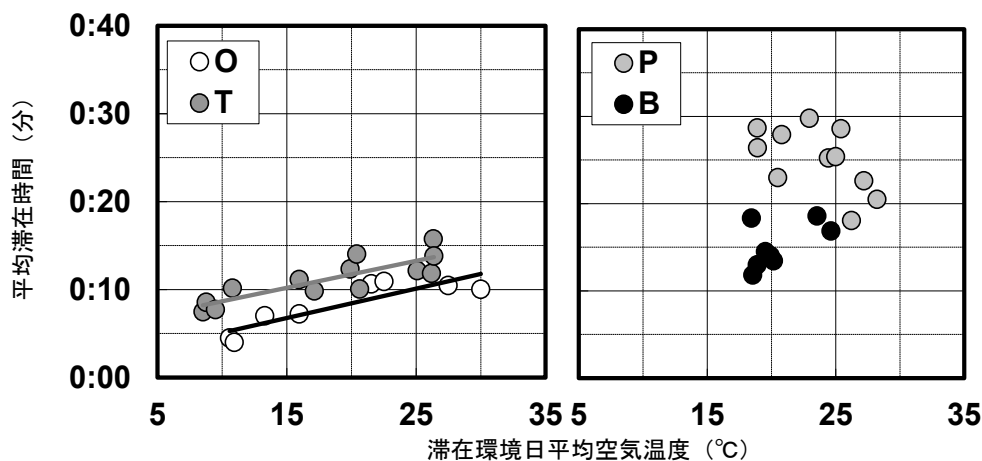


図 3-9 日平均空気温度と平均滞在時間

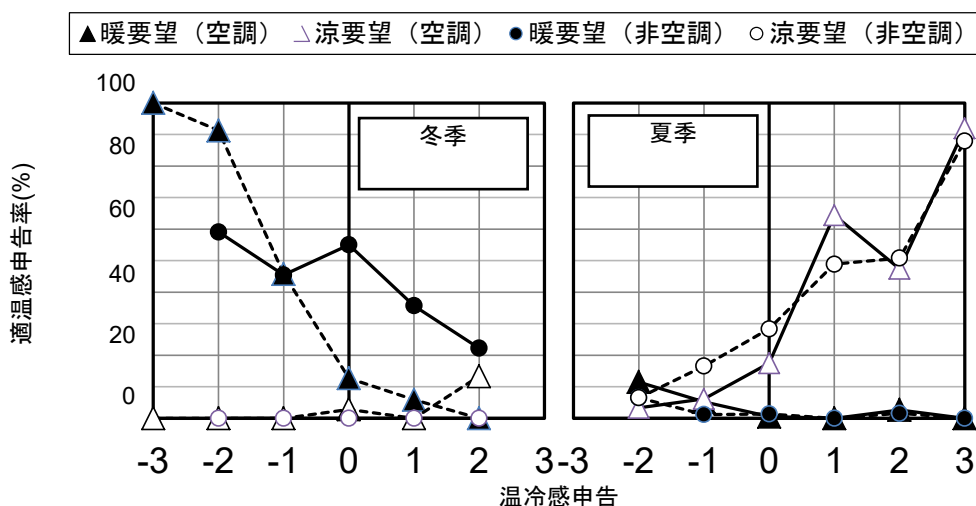


図 3-10 温冷感に対する適温感申告率

非空調空間の滞在者数は調査地 O、T 共に日平均空気温度との相関が見られ、温度が下がると滞在者数も減少していた。また平均滞在時間にも同様の傾向が見られた。一方、空調空間である調査地 P、B 共に空気温度との相関は見られなかった。非空調空間の滞在者が環境に応じて滞在状況を調節しており、不快な環境では滞在しないことを選択していることがわかった。

次に、夏季及び冬季アンケート調査の結果より、温冷感に対する適温感申告率を図 3-10 に示す。PPD では温冷感申告の-1~+1 の範囲を「熱的に満足」と仮定しているが、夏季は空調、非空調空間共に温冷感が+1 でも「今より涼しい方がよい」の申告が 50%を超えていた。一方で、冬季は-1 でも「今より暖かい方がよい」の申告率が 40%を超えており、McIntyre¹⁷⁾も指摘している温冷感スケールにおける季節のニュアンスの違いが確認できた。温冷感申告に基づいて熱的に満足な状態を導くのは不適切だと考えられ、適温感・快適感・受容度の申告結果から熱的快適域を導くこととした。

アンケート回答者近傍で測定した物理環境、アンケート回答から得られた着衣量、代謝量 1.1 met より各回答者の SET*を求めた。1°C区切りの SET*に対して、非適温かつ不快を同時に申告した割合にプ

ロビット回帰を行った結果を図 3-11 に示す。温度カテゴリの n 数が 10 未満の場合は解析から除外した。

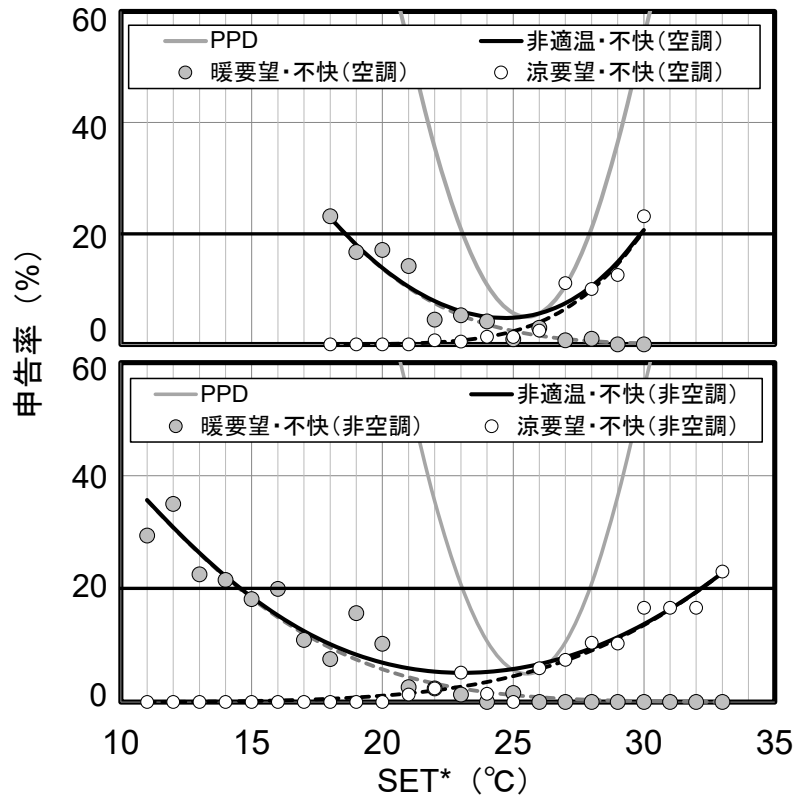


図 3-11 SET*に対する非適温かつ不快の申告率

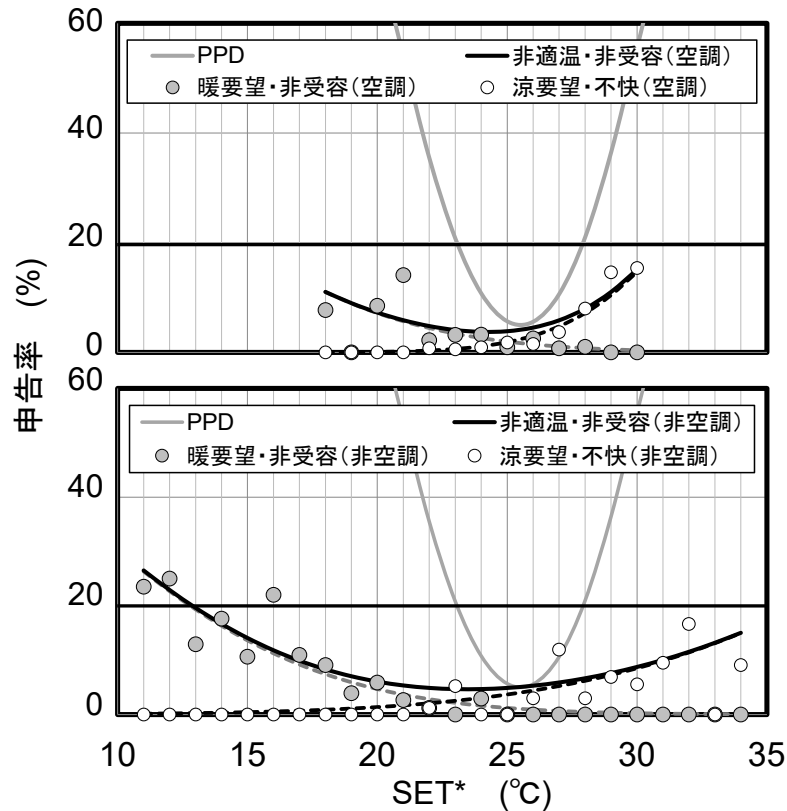


図 3-12 SET*に対する非適温かつ非受容の申告率

また、 $t_a = t_r$ 、 $v = 0.1 \text{ m/s}$ 、 $rh = 50\%$ 、 1.0 met 、 0.6 clo の SET*標準条件における PPD の算出結果も併せて示す。申告率の上限を 20% とすると、PPD による予測値 23~28°C に対し、空調空間では 18.5~30°C、非空調空間で SET*14.5~32°C が熱的快適域となることがわかった。

次に、非適温かつ非受容の申告率を図 3-12 に示す。空調空間については申告率が 20% を超えることはなく、調査の行われた範囲では温熱環境が受け入れられていた。非空調空間でも上限は見られず、下限は SET* 13°C であった。滞在を強いられない空間では、受け入れられないほど不快な環境では「滞在しない」行動が選択されていたと考えられる。

以上により、環境適応を考慮することで、実際の半屋外パブリックスペースでは、PPD により予測されるよりも広い範囲で滞在者が熱的に快適であることがわかった。その範囲は、空調空間では約 2 倍、非空調空間では約 3.5 倍の広さに達することが確認された。また、受け入れられる温熱環境の限界という観点からは、非空調空間において SET* の下限値が 13°C となった。

ただし、これらの熱的快適域は、滞在することを選択した利用者の回答に基づいて導かれている。適用できるケースは、根拠となっている実測調査で対象とした環境と同等の文脈であることが前提となる。熱的快適域に影響を及ぼしうる文脈要素として、以下が考えられる。

a) 社会的文脈要素

- ・文化的背景（日本）： 利用者の着衣調節等の行動様式、環境に対する意識に影響するため
- ・気候（関東地域）： ベースとして利用者が想定する環境に影響するため

b) 建築的文脈要素

- ・用途（パブリックスペース）： 利用状況（滞在時間・目的）に対して利用者が期待する環境に影響するため
- ・環境制御レベル（空調・非空調）： 利用者がその空間に期待する環境や行動的適応に影響するため
- ・利用者による行動的適応の自由度（着衣・滞在状況）： 個人で調節できる温熱環境の範囲に影響するため

これらの因子が利用者の行動的適応及び心理的適応に複合的に作用し、半屋外パブリックスペースにおける実態としての熱的快適域を形成していると考えられる。

3.3.6 まとめ

今後、建築物におけるエネルギー削減が実質的に義務化されていくが、空調設定温度の変更のみに頼った省エネは、利用者の熱的快適性や知的生産性の観点から限界がある。人の持つポテンシャルを引き出す、これからの温熱環境計画手法のキーワードとして、「環境の文脈」と「温熱環境適応」について解説した。環境の文脈を建築、社会、個人に関連する要素に分類し、これらを考慮した熱的快適性モデルを示した。そして、立地の地域と用途の同様な空間において、環境制御レベルの差が行動的適応や熱的快適域に影響することを明らかにした。

環境の文脈や環境適応に関する知見はまだ限られている。しかし、これらを考慮することで、温熱環境 6 要素の操作に限定されない、人-建築-設備の一体となった新たな温熱環境計画の可能性がある。

3.3.7 おわりに

日本のエネルギー政策の一環として、ZEH の普及が推進されている。しかし、ZEH 仕様の住宅は、ゼロエネルギーの達成を約束するものではない。不適切な使い方により、エネルギー使用量は増大する可

能性もある。

設備機器により環境を自分に従わせることに依存してしまうと、快適性の解像度が上がり、最適状態からの少しのズレにも不満を感じるようになる。しかし、自らを環境に適応させる意識を持ち、調節行動を起こすことで幅広い範囲で快適が得られる。状況に応じて空調設備を使うことに全く問題はない。建具の開け閉めや滞在場所の選択など、住まい方の工夫で過ごせる期間を延ばすことが、省エネルギーに有効となる。

住宅は、住まい手が適応しやすい状況をサポートするツールである。設計者は設計意図を十分に住まい手と共有する必要がある。

【参考文献】

- 1) 地球温暖化対策推進本部、地球温暖化対策大綱, p52, 2002
- 2) 田辺ら、東日本大震災後の節電環境下における夏季オフィスの快適性・知的生産性・エネルギー消費量 その1~4、日本建築学会学術講演梗概集、D-2、pp.1343-1350, 2012
- 3) ANSI/ASHRAE Standard 55-2010, Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE, 2010
- 4) ISO17772-1, Energy performance of buildings — Indoor environmental quality — Part 1: Indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings, ISO, 2017
- 5) Fanger, P.O., Thermal Comfort, Danish Technical Press, 1970
- 6) de Dear, R.J. and Brager, G.S., Developing an adaptive model of thermal comfort and preferences, ASHRAE Transactions, 104(1a), pp.145-167, 1998
- 7) CEN, EN 15251 Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings: Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, Comite Europe en de Normalisation, 2007
- 8) McCartney, K.J. and Nicol, J.F., Developing an adaptive control algorithm for Europe: Results of the SCATs project, Energy and Buildings, 34, pp.623-635, 2002
- 9) 中野淳太、温熱快適域の現状、第43回熱シンポジウム「居住環境における寒さと健康・快適」、pp.1-5、2013
- 10) Humphreys, M.A. and Nicol, J.F., Understanding the adaptive approach to thermal comfort, ASHRAE Transactions, 104(1b), pp.991-1004, 1998
- 11) Brager, G.S. and de Dear, R.J., Thermal adaptation in the built environment: A literature review, Energy and Buildings, 27(1), pp.83-96, 1998
- 12) Auliciems, A., Towards a psycho-physiological model of thermal perception, International Journal of Biometeorology, 25(2), pp.109-122, 1981
- 13) Humphreys M.A., Outdoor temperatures and comfort indoors, Building Research and Practice (J. CIB), 6(2), pp.92-105, 1978
- 14) Goto, T. et al., Long-term field survey on thermal adaptation in office buildings in Japan, Building & Environment, December 2007, Vol.42, Issue 12, pp.3944-3954
- 15) Nakano, J. and Tanabe, S. 2004. Thermal Comfort and Adaptation in Semi-Outdoor Environments. ASHRAE Transactions, Vol. 110(2), pp.543-553. ASHRAE
- 16) 高橋ら。2004。半屋外空間における熱的快適性実測調査 その13~14。日本建築学会大会学術講演

梗概集, D-2, pp.37-40. 日本建築学会

17) McIntyre, D.A. 1980. Indoor climate, Applied Science Publishers Ltd, London.

4. 建築の視点から見た適応

4. 建築の視点から見た適応

4.1 環境対策によるデザイン・ヒント～OMA 時代とエネマネハウス 2015～

4.1.1 はじめに

地球温暖化による影響がこれまで以上に顕著になりつつあり、省エネ対策が世界中で常識化しつつある中で、建築デザインもあらゆる方法でこの流れに応答し、また進化していると言える。また、近年の技術や解析方法の革新、設計手法の多様化は、こうしたデザインの可能性をさらに広げてくれるだろう。ここでは筆者の海外設計事務所での経験と、帰国後の実験住宅を例に環境課題対策がどのようなデザイン上のヒントとなったのかを事例を通じて振り返る。具体的には、オランダ・ロッテルダムの設計事務所 OMA での経験と、一般社団法人環境共創イニシアチブによる「エネルギーマネジメントハウス 2015」に参加した際の提案事例を通して、どのような手法が用いられたのかの紹介と検証である。

4.1.2 OMA における環境対策とデザイン（環境設備）

設計事務所 OMA は、主に代表レム・コールハースによる数々の建築論や都市論と、それらを体現すべく試みられた奇抜な形態の建築作品で知られている。が、そのような形態や表現手法を実現するにあたり、環境設備面や省エネ対策でも数々の実験的試みが行われており、それらは時として、デザイン自体を左右する、またはデザインのきっかけとなっていることが多いのだが、あまり語られる機会は少ない。

1994 年に完成したフランス・リールにあるコングレクスポ（CONGREXPO）は、実現した OMA 作品の中でも比較的初期のものであり、コンサートホール、会議場と展覧会場を一つにした、巨大なタンカーのような建築である。その中でももっとも広い面積の展覧会場（20,000m²）は、天井面を 24m のスチール大スパントラスと 2 次的な木を使用した混合トラスを用いているが、空調設備・ダクト類は一切存在していない。ここでは、会場内に存在する 40 本近くの丸断面スチール柱が空調ダクトの役割を果たしており、床との接触部で円柱から十字断面に替えることで、屋上設置の空調ユニットからの温風供給を行うと同時に、還気用にも用いられており、効率良く床面付近を空調するシステムであったと言える。

この空調ダクトの隠蔽、もしくは空調システムの消去は、コールハースの意向によるところであり、空調設備による空間の侵略を嫌い、建築的基本要素（壁、天井、床、柱）による純粋な空間表現を追い求める上での一つの表現手法の一つであると考えられる。

同様の手法は、筆者が担当したシリア・ダマスカス博物館コンペ案(2010)の空調戦略でも用いられており、ここでも博物館の大空間から空調ダクトを排除するために、漏斗型のコンクリート柱内にモジュール式 AHU を設置して、柱の付け根から給気と環気を行えるように設計しているが、この計画ではさらにそこに太陽光集熱パネルを設置し、地下部にある蓄熱槽との併用により、柱内での熱交換が行えるように設計されている。集熱パネルに使用しない屋根面は、ソーラーパネルに使用するなどの使い分けも計画している。

構造の中への隠蔽とは異なる例として、ベルリンにあるオランダ大使館の例がある。ここでは、建物内を貫通するトラジェクトリーという名の連続した廊下空間が階を超えてすべての居室を繋げている設計となっているが、その廊下は同時に空調ダクトの役割を果たしている。大凡 200m ほどのこのダクトは、他の居室より加圧されており、そこを介して給気が行われており、外周の 2 重ファサードの間か

ら排気がされるように設計されている。それにより建物内空調ダクトを極力排除しつつも、外部に対して高い断熱性能を持った建築となっている。

4.1.3 OMA における環境対策とデザイン (ファサード)

2008 年に計画されていた Novartis 研究所計画では、医療系研究施設ということで、通常よりもより空調負荷が高く必要供給量が多い為、通常の場合は大断面のダクトが平面や断面を占領し、コアが肥大してしまうのだが、クライアントの要望では、そのコアをなるべく小さくし、オープンフロアのスペースを確保することが求められている。そこで、屋上に並ぶ大型 AHU と各階を結ぶダクトを全て北側ファサード面に配置し、ガラス製の透明ダクトを用いることで、ダクトがファサードと一体化することで、その消去を図っている。

上記プロジェクトは実現していないが、似た提案がロシア・モスクワにて 2015 年に完成している。Garage という名の現代美術館は、吹きさらしの廃墟となっていた公園内のレストランを改修した建物で、内部を極力廃墟だった状態に近いままに保つために、主に外周に新たなファサードを設けた作品となっている。

そのファサードは断熱性に優れたポリカーボネートの 2 重構造となっており、その 80 センチ幅のキャビティ内に、HVAC システムを内蔵し²⁾、屋内に出てくるダクトを最小限に保っている。これにより、極寒の地でありながら、室内からの熱損失を大幅に減らすことで、暖房用のエネルギー消費量も抑えることに成功している。そのほか、外壁がすべて半透明であることにより、美術館に適した量の自然光が入り、照明による電気量の軽減にも寄与している。

2005 年頃を皮切りに、OMA は中東地域でのプロジェクトが急増し、それに伴い高熱環境に対する対策と、省エネルギー対策が必然的にデザインの中に求められるようになっていく。もともとこの地域の伝統的な建築は土煉瓦や風を取り込む塔を使用するなど、あらゆるパッシブデザイン手法の宝庫であったが、化石燃料の発見と共にその多くは失われ、次第に反射性の高いガラスのカーテンウォールと、凍えるほどの温度設定がされたエアコンに移行してしまっている。

筆者が担当したサウジアラビア・ジェッダの複合施設ビル群の提案では、ガラスの性能による解決策だけに頼らず、ファサードの開口の大きさ (5 段階) を解析によって位置ごとで使い分けている。ファサードデザインは基本的にグリッドパターンの単純なものだが、構造上ブレースが必要な箇所は必然的に三角形の開口となり、これらの条件が重なることで、結果的に全体がイスラムの幾何学模様のような表現となっている。敷地のあるジェッダの旧市街地には、マシュラビーヤという木製スクリーンを使用した伝統建築が残っており、それをヒントに特に西日対策として木製スクリーンの使用も検討している。この方法を用いて、実際に完成した建築としては、カタール・ドーハにあるカタール財団の本部オフィスビルがある。こちらも、ジェッダの例と同様にグリッドパターンの開口の大きさを方角に合わせて調整している。

他にも、提案のみで終わっているが、カタール・ドーハの富豪の宮殿として提案された建築は、90m × 180m という大屋根の下に個別の邸宅を配置しているものだが、この時の提案では、大屋根の下を気圧の違いによるグラデーショナルな空調ゾーニングに分ける提案を行っている。メインファサードとしての大屋根は、エネルギー畑としてソーラーパネルや集熱器の設置を想定していたが、ほかにも地下を通した空気を活用した床下からの空調や、天井面のスラブに海底で冷やした水を循環させることによる放射冷房も計画していた。

4.1.4 中東に学ぶエネマネハウス 2015

筆者が関わったエネマネハウス 2015 での提案住宅は一見、和風建築要素を現代的に表現した建物のように見えるかもしれないが、そこには中東での経験がいくつか関係している。建物は主に生産の場としての陸屋根とその下の生活レベルに分かれており、屋根でハーベストしたエネルギーや熱、野菜を下の階で活用するという、ドーハの邸宅提案の縮小案とも言える提案となっている。

閉じない ZEH 住宅を目指し、開口を最大限に広く設けたこの提案は、周囲にテラスを広く設けており、その軒の端部には薄いテキスタイルのスクリーンを使用している。これは中東で見た遮光・遮熱用の外付けスクリーンにインスピレーションを受けているが、特にバイルートで見たベランダの屋外にカーテンが掛けられていた風景の影響が大きい。

使用したテキスタイルは、金属のスパッタリング加工により、遮熱・遮光効果を確保しつつも、内部からは外が見渡せるようにしている。またその他、実現は出来なかったものの、テキスタイルに太陽光発電機能や発光・発熱機能の他、センサーやスクリーン、スピーカーといった機能が埋め込まれた技術が発明されており、最先端カーテンウォールが建物を外から包み込むことで、既存の建物の性能や省エネ効果に寄与することができるような可能性を秘めているのではないだろうか。

【参考文献】

- 1) “El Croquis 53+79 / Rem Koolhaas 1987-1998” pg250-285
- 2) “Soviet-Era Restaurant Gets Museum Makeover” by T.R. Witcher
<https://www.asce.org/magazine/20150922-soviet-era-restaurant-gets-museum-makeover/>

4.2 環境シミュレーションが導く新しい有機的なデザイン

4.2.1 人のための合理性と自然のための合理性

20世紀の建築は、人間のための建築だった。それは、機能性・経済性・生産性・効率性など人のための人工的な合理性を追い求めて来たものであった。しかし、この人間による人間のための建築は、地球に大きな負荷をかけ続け、気がつくやうに、資源の枯渇、自然破壊、環境汚染、地球温暖化と環境問題が山積みになってしまった。今世紀に入って、環境の世紀の言われるようになって久しいが、我々が考えなければならぬのは、人のためでもあり、自然のためでもある、両義的な建築ではないかと思っている。つまり、人のための合理性と自然のための合理性の両方を満たす事を考えなければならない。

では、自然のための合理性とはどのようなものだろうか。自然界に目を向けてみると、自然がつくり出す様々な合理的なカタチが存在している。例えば、砂漠にある風紋は、その地域の卓越風と砂の粒子の大きさがつくり出し、風が持っているエネルギーがなるべく保たれるように、風がつくり出す形といえる。例えば、樹木は、光合成をし、少しでも多くの太陽エネルギーを受けられるため、表面積を最大化するように枝葉を広げている、光がつくり出す形といえる。水の中の魚の流線的なシルエットは、水の中を泳ぐ上で、より少ないエネルギーで泳ぐために、抵抗を最小化しようと、進化の過程で最適化された、水がつくり出す形といえる。これらにみられる合理性は、全て自然の秩序に従うことによって生まれた合理性であり、機械をもたない自然物は、時にエネルギーも求めてオフenseに、時にエネルギーを失わないようにディフェンシブに、形を変える事で最適化しながら存在している。

この自然の合理性を考えるには、まずは、その土地の自然の声に十分耳を傾ける必要がある。どのようなエネルギーがその土地にはあり、どのような自然の営みがそこにはあるのかを良く読み解きながら、何が味方になって、何が敵になるのかを見極める必要がある。我々のチームでは、風や熱などの目に見えない情報を可視化しながら、設計条件の中に盛り込んで行くようにしている。特に、建物の配置と外皮の形状が重要になると考えている。森の中で樹木が育つ時に、成長の中で、日射の当たる場所に樹木が淘汰され、樹形を最適化するように、土地土地の条件を読み解きながら、味方になる物に対して、最大限形を開き、敵になる物に対して、最小限に形を閉じるように配置と外皮を変形させていくのである。面白い事に、こうして得られる自然の合理性に従った形は、有機的な形状になっていくことが多い。考えてみると当然であるが、自然界には、四角い形は存在せず、皆有機的な形状をしている。自然界の様々なパラメータに対して敵味方を見極めながら、バランスをとって形状を最適化するためである。

4.2.2 環境シミュレーションなどのデジタルツールの活用

我々のチームは、10人前後の小さなアトリエ系設計事務所であるため、大学や研究機関で持っているような高価な設備は持つ事ができず、様々な安価なデジタルツール、フリーソフトなどを駆使して、設計活動を行っている。ツールは大きく2つに分けられる。ひとつは、風・熱・光・水等の環境シミュレーションのソフトである。これは、パソコン上の扱うソフトから、スマートフォンのアプリまで様々である。近年は、オープンソース化してきている傾向があり、今後ますます身近なものになって行くと思われる。これらは、grasshopperなどのプログラミングのソフトとも連動する事で、更なる複合的な活用が可能になっている。もうひとつは、デジタル計測ツールである。数年前までは、サーモカメラといえ、数百万するほどの高価なものであったが、最近では、スマートフォンに接続できる安価なものが出て来ている。それ以外にも、風速、温湿度、照度、音等のデジタル計測ツールが非常に安価に手に入るようになって来ている。今の時代だから持てるこれらの新しいツールを使って、デザインを拡張する。

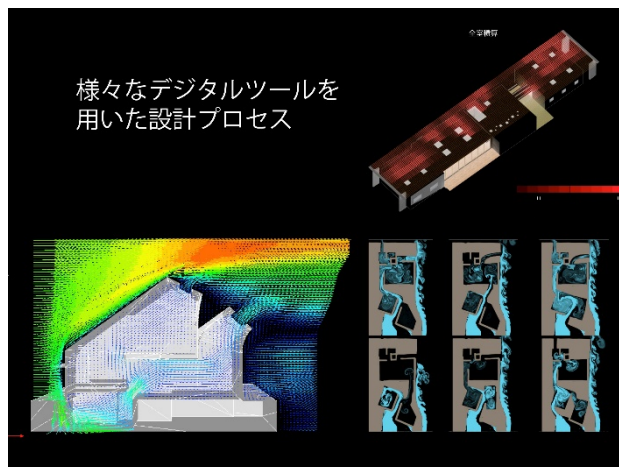


図 4-1 様々なデジタルツールを用いた設計プロセス

4.2.3 新しいチームづくり（デザインと研究を横断する LAB.）

通常設計事務所では、デザインをする事のみを業務としているが、我々のチームでは、デザインをするチームと研究活動をするチーム（LAB.と呼んでいる）が連動しながら設計活動を行っている。このLAB.という活動は、デザインのプロセスの中で出て来たテーマに基づき、環境シミュレーションを行ったり、実験を行ったり、リサーチを行ったりするものであり、それらの成果をまたデザインにフィードバックさせたり、往復運動をすることによって、環境というとらえどころの難しいテーマに対する設計のクオリティを上げ、それらの知見を蓄える役割を持っている。

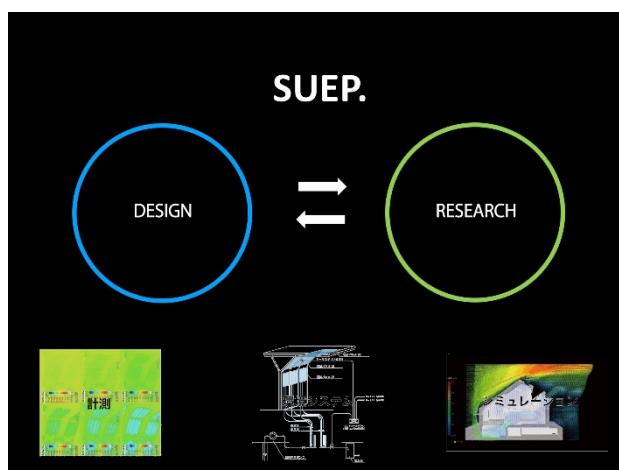


図 4-2 SUEP.

4.2.4 ビッグデータと環境リサーチ

都市の広域的な環境リサーチは、環境シミュレーションをはじめとするデジタルツールを使って、その場所毎の気候特性、地形、生態系、自然の循環システム等の地域の微差を顕在化するというものである。それは、我々設計者にこれまでよりも高解像度の目と広域の視点を与えてくれるとも言える。この広域リサーチには、地形や眺望、隣地との関係、道や緑のネットワーク等といった物理的な特性から、気温や風、湿度、影、等といった目に見えない特性も加えられる。風のような流体は、場所が限定されている気象庁の計測地点のみの情報では、正確な流れが獲得しにくいいため、広域の3次元の地形情報を読み込み、そこに風のシミュレーションをかけた上で、更に、より近いエリアでの拡大のシミュレーションを行うという二段階の解析によってリサーチを深めている。これに加えて、現地での簡単な実測をし、確認をする。また熱に関しては、シミュレーション上での影や日射量のリサーチに加え、現地で小

型サーモカメラを使って、実際の敷地情報読み込みの際に、可視化しながら情報をインプットして行く。これらは、環境カルテというシートにまとめられ、チーム内、クライアント、協力事務所と共に共有している。



図 4-3 環境カルテ

4.2.5 建築形態のプロトタイプの様式

これらの流体など、時間軸を伴う分析を使った設計手法による建築形態への落とし込みは、一つ次元が増える分扱いが非常に高度になってくる。LAB.では、もう一つのテーマでは、建築形態のプロトタイプの様式ということ、純粋な条件のもとで、流体解析を使って建物の構成、空間モデルを作成し、建築形態や空間のプロトタイプを研究している。シミュレーション技術は、複雑で多様な情報を扱うため、我々の事務所では、ある抽象化したモデルから組み立てるようにしている。モデルを抽出する事で、その空間モデル自体が持っている環境性能、環境特性を分析する。これによって、要素技術による加算的なデザインではなく、意匠設計の主題でもある空間そのものを扱う事によって、環境に応答して行く。また、広域のリサーチで顕在化した地域の自然循環との接続をすることで、連続的な環境システムをつくり出す事ができると考えている。

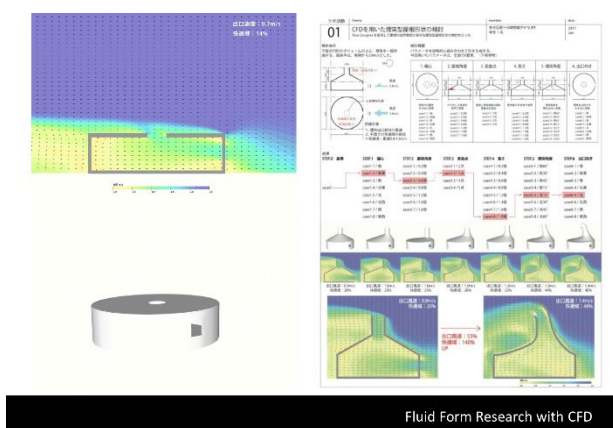


図 4-4 流体解析

4.2.6 自然の合理性と有機的な秩序

「葉陰の段床」では、その外皮となるセラミックパネルのルーバーの配置を決める際に、最初均質な配置からはじめて、太陽にあたって気化冷却するために、シミュレーションを使って配置を最適化していくと、最終的には、有機的な配置になり、かつ20%冷却効率が上がった。ここに新しい建築の可能性

を感じた事がある。これまでにあった有機的な建築というのは、自然物をただメタファーとして模倣し、曲線や曲面などのかたちを生み出しているものがほとんどだったのに対して、この住宅のような自然の合理性を味方にした有機的な建築は、自然そのものの模倣ではなく、その生成原理に倣うことで生まれるものであり、有機的なものがより合理であるということが言うことができた。このような自然の合理性に従う有機的な建築が、環境と対峙する住宅のひとつのあり方になるのではないだろうか。



図 4-5 葉陰の段床

4.2.7 環境配慮を介した都市への回帰

さて、少し話を住宅から社会の話に拡張してみる。今は、社会の中で建築のデザインが共有される事が大変難しい時代となってしまった。かつては、機能性と建築計画の関係、生産性と建築工法の関係に代表されるように、社会と同じ方向を向いて建築のデザインが行われていた時期もあったが、現在は、建築の追い求めているものと、社会が求めているものがズレてしまい、その乖離が、建築デザインが社会から浮いた存在にしてしまった。しかし、この自然に対する合理性、つまり、エネルギーや地球環境という、地域や人類全体で共有しているリスクに対する合理性を言語化する事で、もう一度、建築デザインが目指すものと社会の求めているものとを接続することができないかと考えている。この縮退する日本において、各地方自治体で、いかに維持管理費を減らしていくのかという事や、いかに豊富にある自然資源を活かした暮らしを実現するのかという事が、大きな興味であることは間違いない。ましてや、今は、地震や津波といった自然災害と向かい合うことも大きな課題である。これら社会の求める要求と建築の言語を重ね合わせる事で、再び社会の真ん中で仕事をする事ができるのではないかと、そう考え

ている。実際に、嬉野市立塩田中学校+嬉野市社会文化会館で公共の仕事をする機会に恵まれた時、地域の抱える水害という課題に対する対策としてデザインした高床のネットワークと学校や文化施設の連携や地域開放という事を重ね合わせる事で、地域の理解を得られるという経験をしたが、環境に対峙して建築を考えることは、新しい建築の可能性を開いて行くことにつながる、とそう直感している。



図 4-6 嬉野市立塩田中学校+嬉野市社会文化会館

4.2.8 まとめ

この動的で無数のパラメータを持つ自然と、デジタルテクノロジーなどの高度な技術を持って向き合い、今一度そこで求められる合理的秩序に沿って、建築を再構築していくことが重要になるのではないだろうか。そこに有機的で土着的な新しい建築の姿が建ち現れるのではないかと考えている。

4.2.9 おわりに

20世紀にモダニズム建築が追い求めたのは、古典建築の不自由な構造形式からの解放であった。機能主義・合理主義を武器に私たちは大きなガラス開口を持つ建築による自由で開放的な空間を手に入れたが、このことは人類の根源的な欲求から生まれた成果とも言える。21世紀となった現代では、地球上で人類が持続可能に生き長らえるため、建築においても、エネルギーやCO₂の事を考える必要が出てきた。その解決として、20世紀的なガラスによる開放的な空間を否定し、開口部を小さく、壁を分厚くしようとする傾向が強いが、本当にそれが全てを解決するのであろうか。より高度なエンジニアリングを背景に適切に自然を制御することで、自由で開放的な空間と地球環境に配慮されたデザインは共存できるはずである。このことが地球環境問題を建築で考える上での最も本質的な部分だと考えている。私たちは、環境シミュレーションなどのデジタル技術を武器に、その共存のための新しいデザイン理論を構築し提示する必要がある。

4.3 環境適応と媒介項

4.3.1 はじめに

「快適」という言葉には様々な様相がある。温熱6要素の物理式から導かれた人体の熱負荷と、被験者実験に基づく温冷感を統計処理し、人体の熱負荷を結ぶことで求められる熱的な快適性もあれば、寒い日に窓を開けて、空調機の風量を最大にしてビールを飲む、これも快適と感じる行為である。西沢立衛¹⁾の設計による「森山邸」は、空間構成の開放感から、訪れるたびに快適とは何かと考えさせられる。巨大な開口部から降り注ぐ光の驟雨は、熱的には不利な条件だが、快適性に寄与しているのは間違いない。

ヴァルター・ベンヤミン²⁾は知覚による芸術作品の受容の歴史の変遷を、日常生活における建築の受容の仕方を例に説明する。「建築物は二重のしかたで、使用することと鑑賞することによって、受容される。あるいは、触覚的ならびに視覚的に、といったほうがいいだろうか。(中略) 触覚的な受容は、注目という方途よりも、むしろ慣れという方途を巡る。建築においては、慣れをつうじてこの受容が、視覚的な受容をさえも大幅に規定してくる。」多木浩二³⁾は「触覚的」とは「時間をかけ、思考にも媒介され、多次元化した経験にともなう知覚(中略)『触覚』とは時間を含み、多次元であり、何よりも経験であり、かつ再現のできないもの」と述べている。触覚的な受容とは時間的・経験的に生じた「慣れ」のことであり、私たちの建築経験は、時間をかけた「慣れ」による触覚的な受容から形成されており、この触覚的な受容は、視覚的な受容をも包摂していると述べている。

先の森山邸は、訪れるたびに視覚的な快感(快樂)を味わうのだが、長い時間の滞在となると、中期は常に快適だが、暑さや寒さの厳しい季節は、触覚的な受容が難しいと感じることがある。しかし、階段を降りて地下室に入ると、開放感を望むことはできないが、空間全体の放射温度が安定しているため快適と感じる。地下室にある程度滞在した後であれば、上階の空間に戻ったとしても環境を受容することができるようになる。

快適とは不快ではない状態を意味しており、この状態のレンジを大きくできれば、受容できる環境の幅を広げることが可能になる。環境に「適応」するプロセスは、環境を受容するプロセスでもあるため、長い時間をかけて身につけた習慣に内在する触覚的な受容を拡張するプロセスと言い換えても良い。本稿は、環境適応に関して、人間と建築とエネルギーを媒介するものを、快適性を軸に考えたい。長い時間をかけて人間が環境に適応するためには何を媒介する必要があるのか、人間の認識能力や行為、価値観に影響を及ぼすものに関して、筆者が設計に携わった建築を事例に、快適性と省エネルギー性を共に実現する方法について考察したい。

4.3.2 微気候の家

都心部の大通りから一本入った、古い住宅街に建つ住宅である。夏は新宿御苑で冷やされた風が吹くが、冬はマンションやオフィスビルの影となり、日射は期待できない。地震に強いこと、駐車場を確保すること、ローコストであることが求められ、その他の要望は一切なかった。これを、どのような空間でも棲まうことは可能だというクライアントの強い意思と受け止め、設計の条件とした。間口の狭い敷地において、駐車場と耐震性を両立するためにL字型の断面を持つ単純なボリュームを鉄骨造で構築すること、夏期にいくつかの窓を開けることで室内に気持ちの良い風が吹くこと、冬季は日射が期待できないため、適切なエネルギーを投入することで、人体に負荷のかからない程度の室温になることを設計の制約条件とした。

敷地に存在する微気候と、居住者を取り巻く環境を媒介する建築を考えるにあたって、はじめに人体および建築の外皮の条件から検討を行った。一般に、冬期の住宅における熱的な条件は着衣量に応じて3つのパターンに分かれる。はじめにクライアントの体格および着衣量からPMVが0になる条件を求め、これをリビングの要求温度とした。寝具をまとった寝室、着衣量がゼロとなる脱衣所・浴室は、各居室の利用時間に応じて、人体の深部体温の変動を許容範囲におさめる温度とした。居室内に1500Wの熱量を投入することで、これらの目標値を実現するための外皮性能と開口部の割合を、熱負荷計算で求めた。このとき、すべての居室は空気繋がっている必要があり、要求温度の高い脱衣所・浴室は上階に、要求温度の低い寝室は下階に配置することで、温熱環境の偏在を伴った熱的な条件が空間の機能配置を規定することになった。

次に、夏季における広域風環境解析から、敷地に流れる風の条件をいくつか求め、それらを境界条件として設定し、L字型の断面(図4-9)を持つ居室内に0.3m/sの微気流が流れるように、ファサードの開口位置およびスラブの位置を、流体の感度解析を用いて求めた。開口部は、外皮性能から求めた制約条件をあてはめた。床に段差を設けながらも鉄骨量を減らしコストを抑えるため、張弦梁を用いたブレース付きラーメン構造を採用した。

物理的な存在である建築と、そこに棲まう人間が、これらを媒介する技術によって対話を行うことが重要であると考えている。機械設備によるお膳立てのない建築において、困難を伴いながらも対話の末に得られるであろう快適な環境は担保した。あとはクライアントの棲まい方に期待したい。



図4-7 外観写真



図 4-8 リビング内観写真

1) 構造計画

全て重量鉄骨 H100 で構成することで大幅なコストダウンを実現させた。構造アクソメを図 4-10 に示す。建方の後、構造躯体の錆がある程度定着した後にウレタンを塗布することで、さび止めの代用とした。柱を 1 本抜いた状態の鉛直荷重の応力状態に対して、全ての部材が短期許容応力度以下に納まることを確認することで、耐火被覆を省略した。

2) 環境計画

ZEH（ゼロ・エネルギー・ハウス）をはじめとする環境建築は設備機器がコンセプトになることが多い。しかし、これらの設備機器は時代とともに陳腐化するため、建築の歴史の文脈で議論することは難しい。「微気候の家」では、時代の制約を受けない物理量のみを扱うことで、建築の陳腐化を回避した。

3) 人体熱モデルによる検討構造計画

早稲田大学田辺新一研究室にて開発された JOS2 モデルを用いて、裸になった時（図 4-11）、および布団を掛けた状態における深部体温の変化を求めた。脱衣所は 2 分間、寝室は 6 時間における深部体温の変遷を、人体に負荷のかからない範囲にある条件を各居室の室温と定義した。

4) 熱負荷計算

冬期における建築の外皮性能の検討を行った。敷地周辺はマンションが乱立し、ダイレクトゲインはほとんど期待できなかったため、最小限の熱源で生活する方法を考えた。上下温度差を利用して、人体熱モデルから導いた各居室の温度（室温の低くなる場所に寝室を、高くなる場所に浴室・脱衣所を設けた）に沿ってプランを決定した。居室の 2 階に 1500W の熱源を置いた時、寝室が 15 度、脱衣所が 23 度になるような外皮性能を、熱・換気回路網計算（図 4-12）を行って求めた。全ての空間の温度を均一にするとエネルギー消費量は大きくなる。温度ムラを許容し、それに応じて住み手の行動を促すことで消費エネルギーを削減する。

5) 風環境の感度解析

広域風環境解析から求めた風速に応じて、建物内に風を取り込む開口部およびスラブのあり方を考え

た。数値流体解析を用いて、室内の風速を 0.3m/s 程度に近づけるための開口部とスラブ位置を、感度解析（図 4-13）を用いて求めた。感度解析は、目的を達成するために適切なパラメータを直接算出するノンパラメトリック解析で、随伴変数法を用いて算出される。室内のボリュームに対して、平均風速が 0.3m/s に近づくように外部の風速に応じて、スラブの位置と開口部の開口感度を求め、感度の高いところに窓を配置した。最適化された窓の開閉パターンは、クライアントにはあえて伝えていない。居住者自らが生活の中で、執拗な反復の中で最適なパターンを発見することが重要であると考えている。

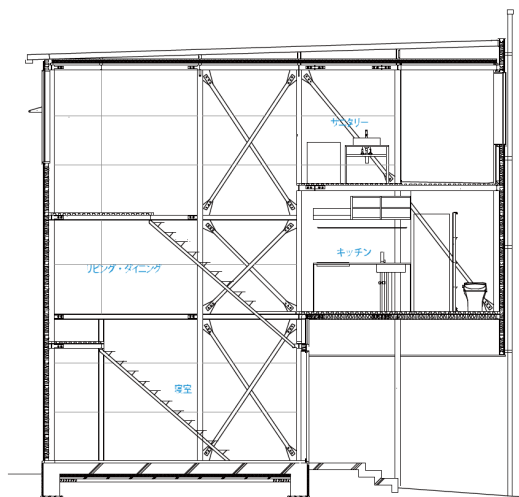


図 4-9 断面図

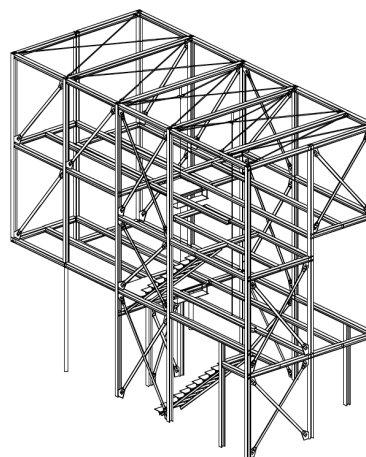


図 4-10 構造アクソメ

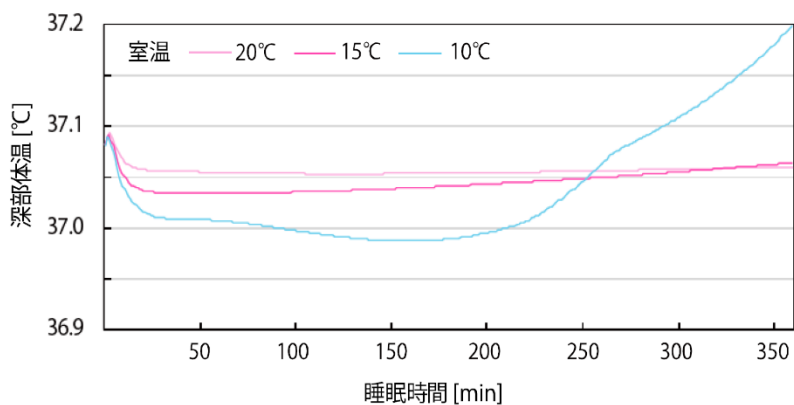


図 4-11 深部体温経時変化

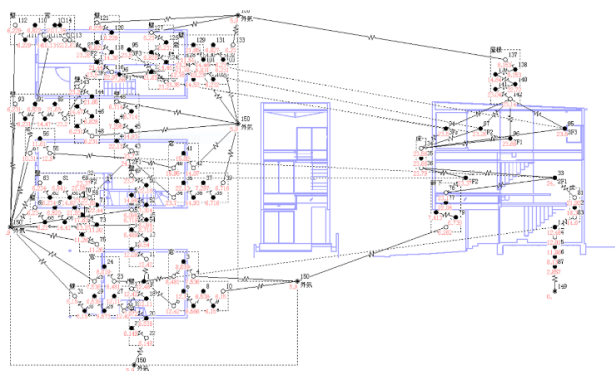


図 4-12 冬期における熱・換気回路網計算

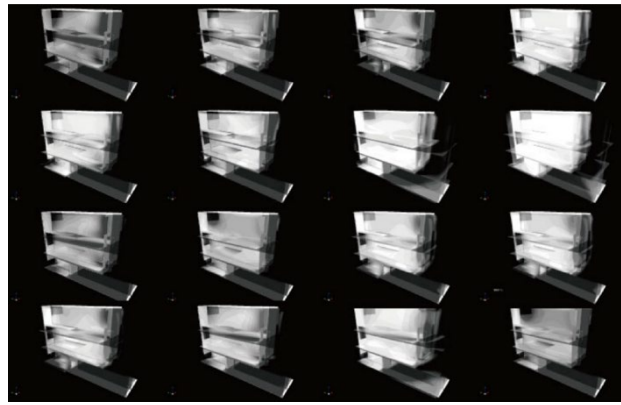


図 4-13 夏期における CFD の逆解析

4.3.3 エネマネハウス 2017

2017年に一般社団法人環境共創イニシアチブが開催する「エネマネハウス 2017」に早稲田大学、芝浦工業大学の2大学連合で参加し、本事業を通して改修型 ZEH の設計・施工・実証を行った。「エネマネハウス」は、先進的な技術や新たな住まい方を提案する ZEH のモデル住宅を、産学連携で実際に建設する大学対抗のコンテストである。欧米の「ソーラー・デカスロン」をモデルとしており、学生が主導であることが最大の特徴である。後進の育成に注力すべく「計画する主体」を学生にゆだねることで、彼らと建築の設計思想および技術私観について議論する機会に恵まれた。

学生との対話は「建築とは何か」を問うことから始まった。意匠を専門としない学生、とくに建築環境工学を専攻する学生にとっての「建築」とは、いわゆる「環境配慮型の建築」であった。背景にはデザインに対する教育の偏重もあるだろうが、SDGs やパリ協定をはじめとする人々の地球環境への意識の高まり、また ESG 投資の興隆も無縁ではないだろう。環境工学には政治的正しさを享受する素地が用意されているが、当然その立場は政治力を強化することになり、建築にまつわる基準や法整備を強く推し進めることになる。政府の「エネルギー基本計画」には ZEH の実現を目指すことが明記されており、建築家から様々な声が聞こえてくるが、私はこれを否定するべきではないと考えている。むしろ、現代において環境について考えないという立場は、単なる現実逃避にすぎない。

一方で、「ポリティカル・コレクトネス(PC)」に対しては十分な警戒が必要であると考えている。特に「計画する主体」である設計者には PC に対する批評的な視点が必要である。歴史を参照しつつ、社会の変化から時代の機微を感じ取る能力と言い換えてもよい。設計者は実務において計画の前提に対する深い思量が求められる。クライアントの提示する与件は常に相対的で、その基準も常にゆれ動く。政治的に正しいとされていることも例外ではないだろう。

学生とは転換期の技術についても議論をした。言うまでもなく、産業革命以降、最も大きく世界を変えた技術は「情報技術」である。環境工学における情報技術の利用は約 50 年前、シミュレーションの利用から始まった。当時は少質点系のモデルしか解けなかったため、3 次元的に広がる建築空間を計算対象とするためには、1 次元モデルに抽象化するという専門技能が必要であった。しかし、昨今の計算機事情は数値流体解析のような多質点系のモデルを容易に解く事を可能にしたため、建築設計との相性が飛躍的に向上し、解析の対象が屋内環境などの閉鎖系から、建築内外の繋がりの中で環境を考える開放系へとその射程を広げることになった。また、オープンソースハードウェアの台頭で、計測や制御などの分野にも多大な影響を及ぼし始めている。

「情報技術」が高度な解析を可能にする一方で、エネルギー関連の政策を推し進めるため、だれもが環境配慮型の建築を建てられるようにと、省エネ基準の算定プログラムの簡略化や AI の導入など、ボトムアップに向けた整備が粛々と進められている。しかし、簡易な方法では厚い壁に小さな窓のある形態しか導くことができないため、今後この手の住宅は無批判に増えていくだろう。

「適合」するために建築のデザインの可能性を閉じてはいけないと考えている。いまは転換期である。高度な技術を使いこなし、可能性を発見する批評的な建築を作るべきではないだろうか。また、現代は協働の時代でもある。デザインマインドを持った若い技術者が育ちつつある。いま学生で、時代の機微を感じ取る能力があるならば、若いうちに理論と技術を身につけ、それを武器にすべきだろう。

1) 建築計画

「エネマネハウス 2017」では築 40 年の 2 階建て鉄骨造の工業化住宅を想定した改修案を提案した。図 4-14 に外観を示す。既存住宅の躯体を活用した ZEH とすること、ZEH のデザインの幅を拡張すること、自然エネルギーを有効活用すること、デマンドレスポンス (DR) に対応したエネルギー運用を可能とすることが設計条件であった。なお、設計期間、施工期間が短いことから、実際には既存住宅を改修するのではなく、改修後を想定した住宅を新築した。

平面図を図 4-15 に示す。ZEH の基準を満たす高断熱の新設壁を、既存の断熱性能の低い躯体の内外を縫うように配置したことが特徴である。既存の低断熱壁は、自然エネルギーを取り込むためには有効であると捉え、敢えて残している。異なる機能を持った平面を重ねることによって、住宅内に高断熱壁に囲まれた高断熱な居住空間と、新旧の壁に挟まれた低断熱の緩衝空間を生み出した。この緩衝空間は「ロτζア」と名付けられ、住空間と屋外との緩衝空間として季節に合わせた環境調整を担っている。また、既存躯体を残しつつ、新設壁を内外に配置する手法により、デザインやプランニングの自由度を獲得することで多様化するライフスタイルへ対応することを考えた。設備機器は更新の簡略化を目的に北東側の増築部と東側の屋外設備置場に集約した。

南・西立面はロτζアを構成する既存低断熱壁が現れることで既存住宅の外観を継承した。さらに、従来の ZEH では採用されることのなかった大開口の単板ガラスのスチールサッシを用いることで、ZEH デザインに挑戦したファサードとなっている。

2) 環境計画

図 4-16 にロτζアの季節毎の運用を示す。居住者が季節や時間に応じてロτζアの内外の窓を開閉することで冷暖房負荷を削減することを想定している。夏季は屋外側の窓を開放し、屋根を庇とすることで居室内への直達光を防ぐ。中間期は内外の窓を開放し、居室内に自然通風による採涼効果をもたらす。冬季は内外の窓を閉め、熱的な緩衝空間とし室内からの熱損失を抑制する。また、日射熱の取得に有効な単板ガラスの大開口によってロτζア内の温度が居室よりも高くなった際には、居室側の窓を開放しロτζア内の暖気を室内へと流入させ、暖房負荷を削減する。

3) 設備計画

省エネルギー性と快適性に加え、自然エネルギーによる創エネルギーを効率よく活用すること、DR に対応するために電力需給を調整可能とすることを目指した。導入設備として、空調設備には高効率エアコン (定格冷房能力 2.2 kW、定格暖房能力 2.5 kW) を実装した。その他に、エアコンを吹き出し口が床

下になるように設置した床下チャンバー空調を計画した。換気設備として、全熱交換器を設置した。1階洗面トイレの天井裏に設置し、外気導入・排気口を東側・北側外部、還気口を洗面所の天井面、給気口を1階・2階居室の家具内に配置した。各階居室から吹き出した空気がリビングを介して洗面トイレで還気される設計とした。PVパネル・太陽熱集熱パネルによる創エネルギー設備と、蓄電池・貯湯タンクによる蓄エネルギー設備を導入した。創エネルギー設備で生成したエネルギーの消費先や貯蓄先を、ECHONET-Liteを用いたHEMSにより制御する創蓄連携システムを構築した。日射量予測を利用し、PVパネルによる発電の余剰電力を蓄電池の充電とヒートポンプ給湯器（HP給湯器）の給湯に用いることで、住宅内での自家消費・電力負荷の平準化の実現と、将来的なDRへの対応が可能なシステムを計画した。

4) IoT制御システム概要

住み手は温熱環境を五感で知覚し、主体的な調整を繰り返す中で、徐々に居住環境の構築方法を修得する。消費エネルギー削減を目的に、住宅と設備を制御する時、制御に住み手が介入し運用法を継続的に、長期的に学習していくシステムを提案する。全自動化するのではなく、人間を媒介したシステムとして稼働し、住み手の変化と、それに呼応するように建築も変化し続けられるレジリエントな住環境形成を行う。

4-1) ロджニア通知システム

住宅の環境調整を行う際、システム側の学習と人間側の学習の2つが相互に影響しながら発展する必要がある。まず一般的な運用・制御手法に即して、住み手が普段意識的ではなかった温熱環境を可視化する必要があるだろう。ロджニアは外側の開閉可能な単板ガラスおよび内側の開閉可能なトリプルガラスに挟まれた空間になる。日本の四季に応じて、夏季は外側のガラス戸を開けることで庇として機能し太陽光を遮断するが、冬季においては外側（ファサード）のガラス窓を閉じることで太陽光をハーベストする。太陽が出ている日中においては、外側のガラスを閉めつつ、内側のトリプルガラスを開けることで、ロджニアに溜まった熱を室内に取り込むことが可能になる（このとき居室よりもロджニアの方が温度は高いと仮定）。また居室の温度よりもロджニアの温度の方が低くなった場合、内側のサッシは閉じた方が熱的に有利である。このようなロджニアの開閉条件においては、日中窓を開けた時に室内とロджニアの温度差を我々は直感的に即時的に感じるができる。ところが窓を閉めるタイミングは寒さ



図 4-14 エネマネハウス 2017 外観

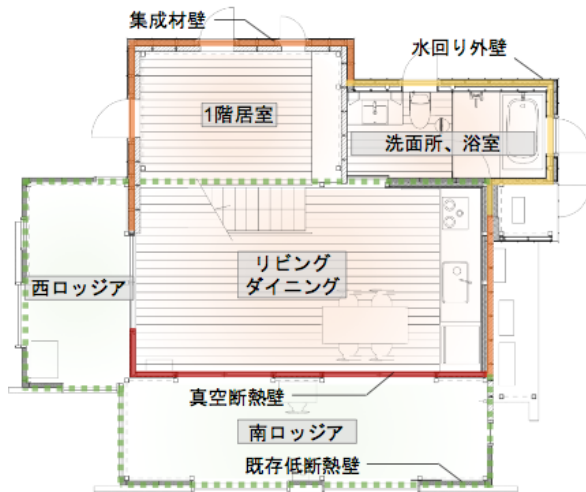


図 4-15 平面図

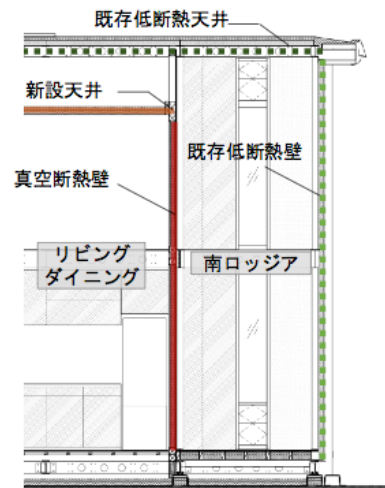


図 4-16 断面図

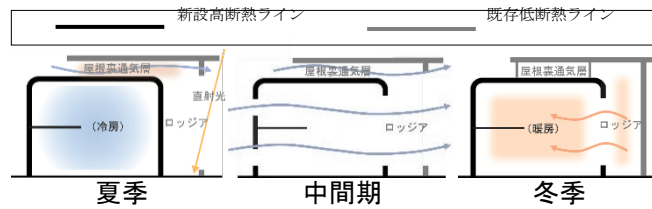


図 4-17 ロジアの季節毎の運用ダイヤグラム

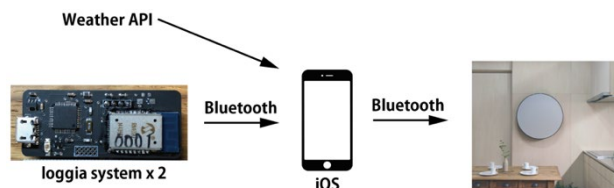


図 4-18 ロジア通知システム 概略図

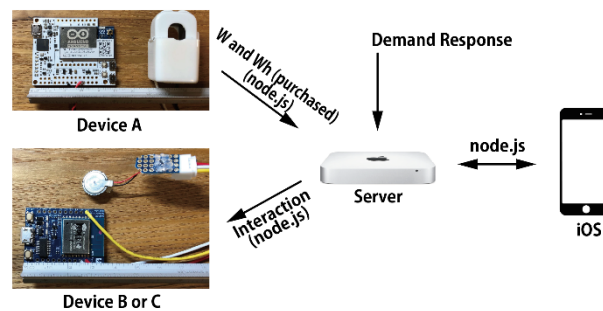


図 4-19 買電平準化システム 概略図

を感じてからでは遅く、開放条件よりも閉鎖条件の方がより長い期間システムによるセンシングと可視化による住み手への行動促進が必要となる。一方でシステムも、運用を繰り返すなかで、住み手の温冷感を学習するだけでなく、徐々にシステムによる通知を減らし、自主的に住み手が行動できるように誘

導する必要がある。さらにその制御条件はビッグデータとして集積し、様々な年代の住み手の無意識的な温熱環境への要求に、寄り添うように環境改善を提案することができるようになる。本システムで用いているデータベースには事前に計算した熱負荷を用いている。

ロジアの窓開閉を促すシステム概略を図 4-18 に示す。基盤に実装したマイコンには Arduino、温度センサーには HTU21DF を用いた。居室とロジアに設置したセンサーは iOS 端末と Bluetooth によって接続される。iOS 端末は天気予報 API から情報を収集しつつ、逐次センシングデータはデータベースを参照することで、居室内の熱負荷がいちばん効率よく運用できるタイミングを知らせる。一般に、ロジアと室温が入れ替わるタイミングに通知を行うことで十分であるが、天気の影響によりロジア内の温度が安定しない場合は、更なるチューニングが必要である。

4-2) 買電平準化システム

次世代の ZEH を考えるにあたって、コンセント負荷に対しても積極的な提案が必要である。住み手の「意思」を取り込み、エネルギーの使い方を学習し、電力ピークを抑え、熱的快適性を維持することが重要である。エネルギーの平準化、特に買電の平準化を住み手が意識的に行うことをサポートするシステムは、日本においては発電所の数を減らすことに貢献することを意味している。住み手が消費電力の閾値を設定し、次に居住環境の快適性レベルを設定する。快適性レベルに合わせた PMV により空調を停止するなどして電力を平準化する。閾値を超えた場合、触覚的な手段でエネルギーの使用量を住み手に伝え、行動変容を促す。試行錯誤の繰り返しの中でシステム自体が強化されるに従って人間が賢くなることが予想される。

コンセント負荷に制約を与えるデバイスのシステム概略を図 4-19 に示す。デバイス A は送電網の系統から入ってくる購入した電力を計測する。デバイス B はリレー回路、デバイス C はインタラクション（皿を揺らして音を出す）デバイスである。デバイス A で計測する電力（太陽光での発電分および蓄電池からの放電を差し引いた値）が iOS で設定した閾値を超えると、デバイス C が皿を鳴らし始める。たとえば 1200W という閾値を設けたにもかかわらず、ドライヤーなどで 2000W 消費した場合は皿がうるさくなる。10 秒以上皿が鳴り続けるとドライヤーを繋いでいるコンセントがデバイス B によって電力を遮断する仕組みになっている。iOS で設定する閾値は、再生可能エネルギー分の発電量を考慮した上で、DR 信号を反映した変動的な値を設定することも可能である。

4.3.4 まとめ

「微気候の家」は高層マンションに囲まれており、環境的にはあまり恵まれていないが、夏季においては風をうまく利用すること、冬季は温度ムラを許容する建築計画の工夫によって快適性を担保することが出来た。特に、居住者の窓を開けるという行為と、上下階を移動するという行為によって、より少ないエネルギーで生活することが可能になった。人間の行為を建築の性能に組み込むことは出来ないが、居住者が生活をする中で、エネルギーを最小にするような行為を導くことは可能ではないか。

「エネマネハウス」では窓を開けるという単純な行為を媒介して、熱的に有利となる条件を、シミュレーションによって導き出した。居住者の主体的な「行為」の反復と「気づき」の蓄積によって、人間自身が漸進的な最適化プロセスへ参与することを可能にする通知システムもあわせて提案した。

様々な指標や基準に「適合」させることは、おおよその検討をつけ計画の確からしさを高めるのには有効である。しかし、特定の敷地や住まい手のデータを得て設計にフィードバックが可能な条件下では

「適合」は最初の一手を決める目安でしかない。もはや顔のない数値目標に「適合」する必要はなく、住まい手や取り巻く環境への「適応」を目指すことになるのではないか。そして住まい手もまた、長い時間をかけて執拗な観察と抽出を繰り返しながら建築を改変し、ときに住まい方を変えることで環境に「適応」するのではないか。政治的正しさからは一旦開放されて、住まい手は建築と環境をよりよく観察し、よりよく生きるための環境技術という位置付けも可能になるのではないか。

人間の行為を媒介したエネルギー削減の手法は、現在のところ評価をする仕組みがない。技術哲学者のピーター・ポール・フェルベークは、技術が人間の活動を媒介することで、人間の認識能力や行為、価値観に影響を及ぼすと述べている⁴⁾。政治的正しさと批評性の両翼で技術を扱うことは、人間の主体性や倫理に深く関わることを意味する。今後、この分野は行動経済学や説得工学という新たな正しさとも共存しなければならないだろう。人間の無意識に揺さぶりをかけるシステムと、建築を媒介するものは、まだ不透明な部分が多いが、引き続きこの分野を追求していきたいと考えている。

【参考文献】

- 1) <http://www.ryuenishizawa.com/index.htm>
- 2) ヴァルター ベンヤミン：「複製技術時代の芸術」晶文社クラシックス，1999
- 3) 多木 浩二：「ベンヤミン「複製技術時代の芸術作品」精読」岩波現代文庫，2000
- 4) ピーター・ポール・フェルベーク：「技術の道德化」法政大学出版局，2015

4.4 気づきを与える環境デザイン

4.4.1 はじめに

今後業務・家庭部門における最終エネルギー消費を削減するためには、建築分野では機器の効率改善や建築性能の向上、建築が使われるシナリオを詳細に想定して各建物に適した環境・設備設計を行うことが重要である。しかし、たとえ建築に省エネルギーを図ることのできるポテンシャルがあったとしても、設計時に想定した省エネ運用が行われないと、想定よりもエネルギー消費が多くなってしまいう可能性がある。

ユーザーの環境適応行動を促し、省エネ運用が行われるためには、ユーザーが自分のいる建築環境（温熱環境・光環境・音環境など）がどのようにできているか、どのような環境調整手法があるのかを知覚できる状況を作ること重要である。そうすることで、ユーザーが自然エネルギー利用により生まれる緩やかな環境を受容し、環境を自身が快適性になるようチューニングする環境適応行動をとることが出来る。さらに、ユーザーが環境調整手法を習得することで、省エネへの理解や関心が高まり、ほかの場でも省エネ行動を起こすことが期待される。

本項では、建築環境のなりたちや、環境調整のための手段が読み取れる建築デザインを“気づきを与える環境デザイン”と呼ぶ。“気づきを与える環境デザイン”には様々なアプローチがあるが、ここでは“建築環境のなりたち/環境調整手法が読み取れる建築”と“環境を直感的に見える化するシステム”について、検討プロセスもふまえ事例を示す。

4.4.2 建築環境のなりたち/環境調整手法が読み取れる建築 [NICCA イノベーションセンター¹⁾]

本建物は、福井市内に本社を置く会社が、本社ビルに隣接して建設した研究施設である。研究者が活発に情報交換、議論、発表を行うことを促すくみが散りばめられ、全国や世界から集まる人々をもてなし、交流することで、革新的な発想を創出する場となることを目指している。図 4-20 に建物外観を示す。



図 4-20 建物外観

そのような場を実現する建築計画として、1階のパブリックコモンからブリッジのかかる4階最上階までは高低差約15mの吹き抜け空間となっており、吹き抜けの中央に立つ耐震壁、ランダムに跳ね出したスラブが“コモン”と呼ばれる多様な執務空間を創り出している。“コモン”はあらゆる場所からの視線が立体的に交差する場所であり、そこでの活動や交流を活性化させる空間となっている。図 4-21 に建物内観を示す。



図 4-21 建物内観 ©Ryuichi Sasaki

環境・設備設計を行うに際して、計画地付近の気象条件や風土を調査・分析し、建築の目指すべきかたちと統合した環境デザインとすることを目指した。下記に気象条件・風土の調査・分析結果を示す。

①日照条件

図 4-22 に東京と福井の月積算の日照時間を示す(拡張アメダス気象データ(1981-2010)に基づく。)。4月から10月まで日照時間に大きな差はないが、11月から3月にかけては東京に比べて福井の日照時間が少なく、特に12月から2月にかけては東京の日照時間の半分以下となっており曇天日の割合が非常に大きいことがわかる。このような環境下のため、クライアントから自然光を最大限享受できるような執務環境が求められた。

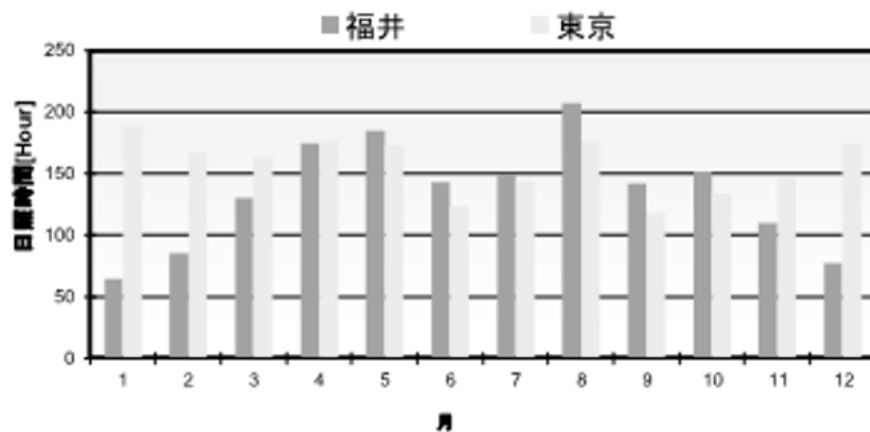


図 4-22 東京と福井の月積算の日照時間

② 風況条件

図 4-23 に福井の年間の風配図を示す(拡張アメダス気象データ(1981-2010)に基づく)。風配図を見ると、一年を通じて風は南北方向に流れていることがわかる。これは、福井平野が東西を山で挟まれ、谷に沿って山風・海風が流れるためである。図 4-24 に敷地周辺の地形と風況を示す。

③ 井水利用

敷地周辺は井水が豊富に出る場所で、既存施設では敷地内の水使用量の8割を井水が占めていた。

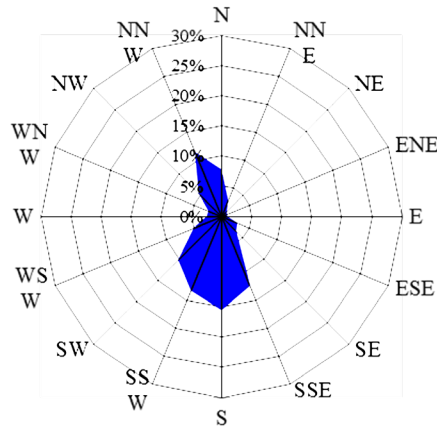


図 4-23 福井の風配図(年間)



図 4-24 敷地周辺の地形と風況

これらの調査・分析をふまえ、光・風・水・熱の自然エネルギーを最大限利用し省エネルギーを図る環境デザインを行った。各環境デザインを下記に示す。

① 自然光の採り入れおよび日射熱除去

自然光を利用して執務空間を明るくするとともに日射熱を取り除くため、図 4-25 に示すコンクリートスリットを計画した。Low-E ガラスの貼られたトップライトから入射した光は、60°の角度が付いたコンクリートスリットにより、北側からの天空光はスリットを通過し、直射光はスリットで反射・拡散され、執務空間の上部から降り注ぐ。日射熱はコンクリートスリット内に埋め込まれた配管内を通る、井水熱を利用した冷却水により放射面で直接冷房負荷として処理することで、室内側への再放射による室温上昇が起きないようにしている。一部スリットがない箇所は、壁面にも配管を埋め込み、同様のシステムにより室温上昇が起きないようにしている。図 4-26 にコンクリートスリットの断面ダイアグラムを示す。

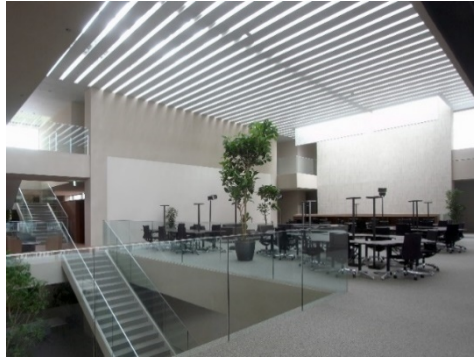


図 4-25 コンクリートスリットの内観写真

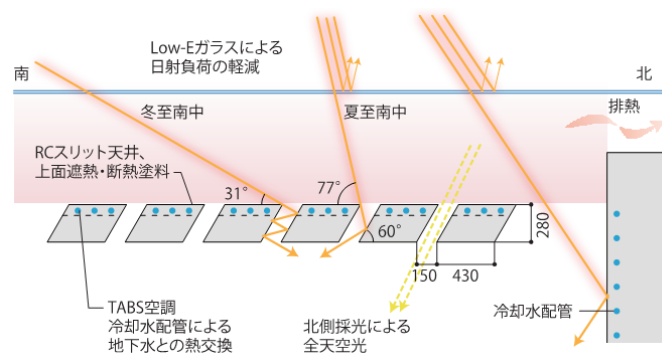


図 4-26 コンクリートスリットの断面ダイアグラム

Radiance を用いた照度分布シミュレーションにより、吹き抜け空間を介して各階に到達する自然光が適当になるようコンクリートスリットの間隔や角度、吹き抜けの位置や大きさの検討を行った。図 4-27 に夏期晴天時の照度分布シミュレーション結果を示す。

② 卓越風を利用した自然換気

南北方向の卓越風と吹き抜け空間の高低差を利用し、水平換気と重力換気を併用した自然換気システムを計画した。Flowdesigner を用いた CFD 解析により、2.0m/s 程度の卓越風は各階の自然換気窓より建物内に採り込まれ、執務空間を 0.1~0.3m/s の風速で流れて良好な温熱・風環境を作り、吹き抜けを通じて小屋裏に誘引されていることを確認した。図 4-28 に風況解析結果を示す。

図 4-29 にモニター表示画面、図 4-30 自然換気条件を示す。自然換気を行うかの判断は、各階に設置されたモニターに外気条件が自然換気に適しているかを葉っぱの表示枚数で表現し、モニター上の自然換気スイッチをタッチすることでトップライトの自然換気窓が開き、同時に吹き抜け空間にある放射空調の冷却水、ファンコイルユニット、外調機は停止する。自然換気の給気口となる下階の窓・扉はユーザーにて開放する。

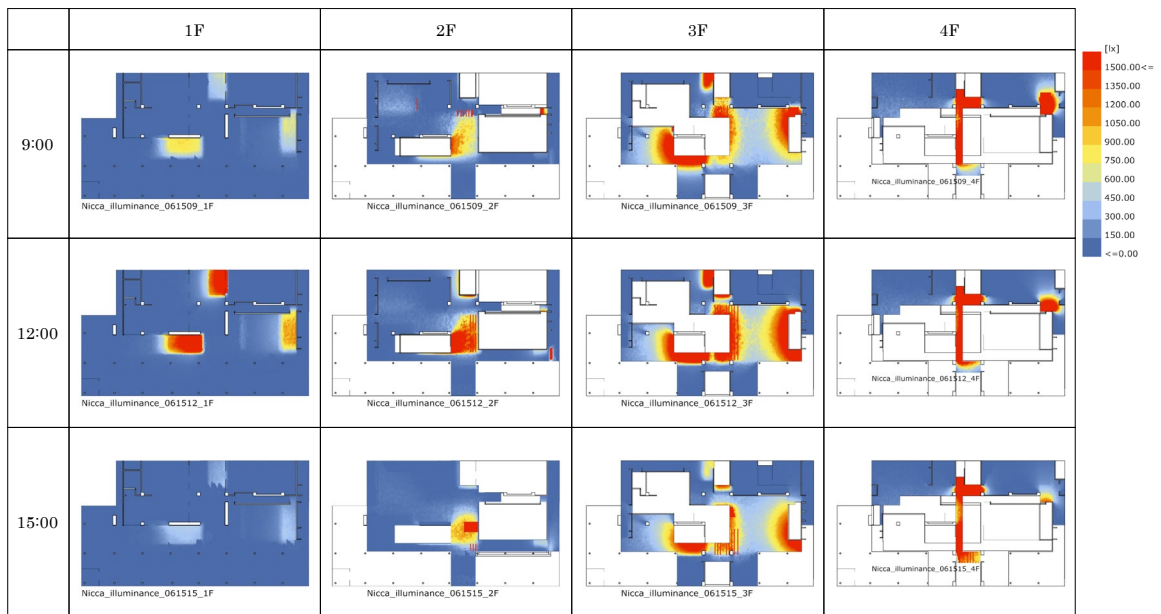


図 4-27 夏期晴天時の照度分布シミュレーション結果

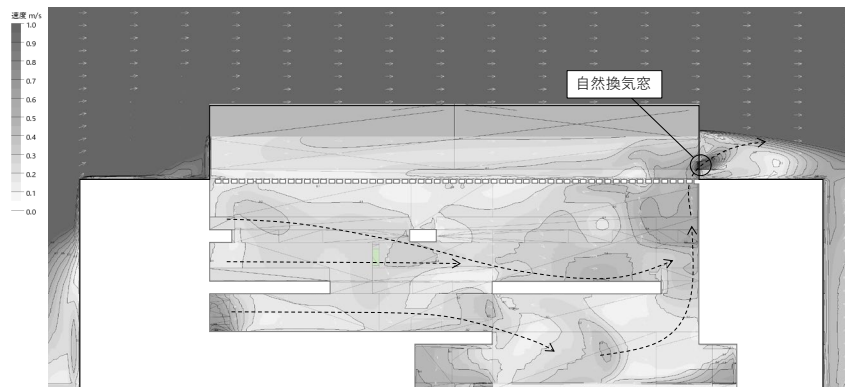


図 4-28 中間期の CFD による風況解析結果



図 4-29 モニター表示画面

■ 屋外温湿度条件 (気象データは2001-2010年の標準年拡張アメダス気象データを使用)

・ 00:00-24:00

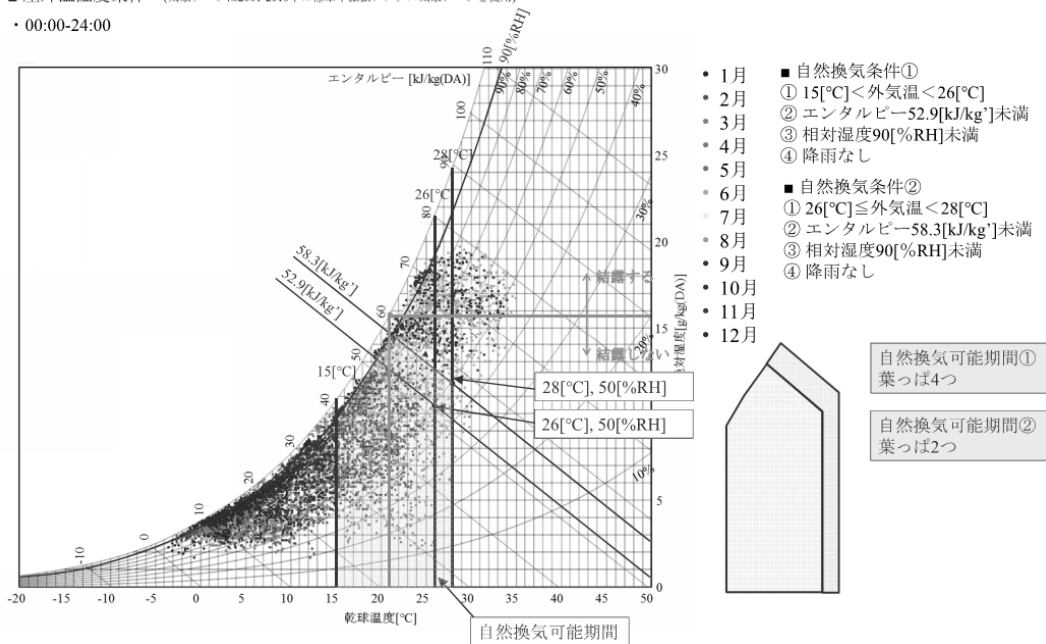


図 4-30 自然換気条件

③ 井水利用システム

図 4-31 に井水利用システム図を示す。揚水井よりくみ上げられた井水は年間を通じて約 17°C の水温となっており、井水熱をカスケード利用により最大限に生かしたのちに井水として使う計画としている。井水は最初に床・壁放射空調の冷熱源として利用し、約 2°C 上昇したのちに井水受水槽に送られる。次に研究用途、トイレ洗浄水、空冷ヒートポンプチラーへの散水、トップライトへの散水、灌水や水景用途などの各用途に利用される。加えて、トップライトからの日射熱を取り除くと同時に、デシカント空調機の再生用温水を供給するための水冷ヒートポンプの熱源水としても使われる。日射熱除去により温暖められたのちに水冷ヒートポンプで冷やされた井水は、両者の熱取得バランスによって温度が変化する。23°C より高い場合には還元井に送られ地中に還されるが、23°C より低い場合には再び井水受水槽に戻され各種用途に使われる。

床・壁放射には、17°C の井水を供給できるよう、専用の水槽を設けて井水を供給している。これにより夏期は井水熱を最大限に生かし、ポンプ動力のみで運用を可能としている。

還元井には逆洗ポンプを設置しており、通常時は目詰まりを起こさないように逆洗するポンプとして使われるが、冬期はこのポンプを利用して融雪散水を行っている。

④ 床・壁放射空調

オフィス空間は“コモン”と呼ばれる執務空間が吹き抜け空間にランダムに跳ね出しており、床面と天井面が少しずつずれていることから、床面から居住域を空調でき、井水熱も利用できる床放射空調を採用した。放射空調の効果を最大限高めるために床放射空調だけでなく、壁放射空調も併せて採用している。

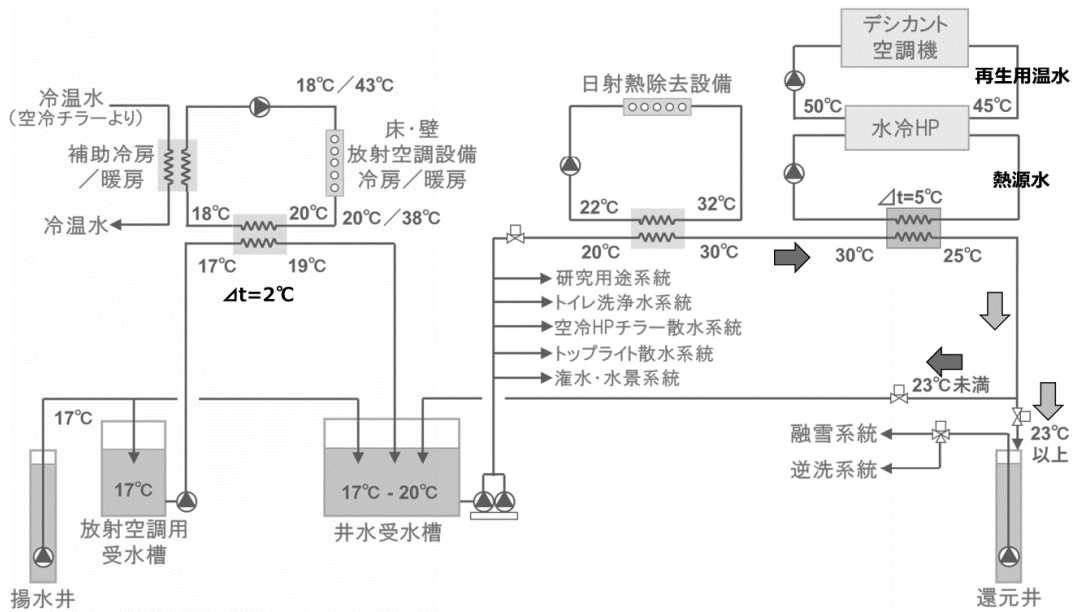


図 4-31 井水利用システム

図 4-32 に床・壁放射空調の断面図を示す。床は OA フロアになっており、OA フロアパネル裏に架橋ポリエチレン管を敷設し、床放射を行っている。壁は耐震壁にコンクリート壁のふかしを設け、そこに架橋ポリエチレン管を敷設し、壁放射を行っている。躯体を利用した TABS 空調 (Thermal Active Building System) のため、業務開始時間より早めに空調を立ち上げることで、躯体蓄熱によるエネルギーの平準化を図り、空調立ち上げ時のピークカットを行うことが出来る。

床下にはファンコイルユニットを設置し、放射空調のみで負荷が取り切れない場合は床染み出し空調も併用できるようにしている。床下空間自体がチャンバーとなっており、外気も床下チャンバーに供給している。外気はデシカント空調機により除湿された空気を取り入れることで、室内空気温度を多少高めに設定しても快適な空間を作り出すことが可能である。

このように、気象条件や風土を調査・分析し、地域にねざした環境システムを意匠デザインと統合することで、建築環境のなりたちや環境調整手法が建築から読み取れるようになっている。

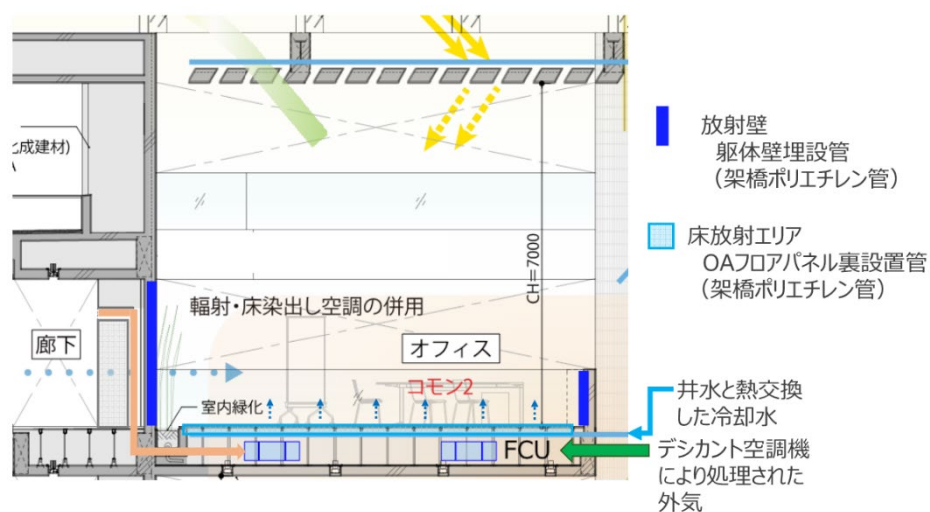


図 4-32 床・壁放射空調の断面図

4.4.3 環境を直感的に見える化するシステム [Nobi-Nobi HOUSE ~重ね着するすまい²⁾]

本建物は、経済産業省資源エネルギー庁の事業の一環として行われた調査・実証事業である“エネマネハウス 2014”にて建築・展示されたネット・ゼロ・エネルギー住宅のひとつである。図 4-33 に建物外観を示す。



図 4-33 建物外観

この建物には、省エネルギー運用システムの1つとして、室内外温度や電力量といった環境情報を有機 EL 照明パネルの色合いとして見せる化することで、数値と環境を直感的に対応付け、自然換気を行うなど、ユーザーが快適さにつながる環境調整行動を行うタイミングを感じ取れる仕組みを開発・実装している。

① 温度の見せる化

図 4-34 に内観写真を、図 4-35 にシステムの機器構成及び運用例を示す。温度によって寒色系から暖色系に色合いが変わり、室内外の温度を感じとることが出来る。室内と室外に有機 EL パネルを並列して並べることで、室内外の温度差が感覚的にわかるようになっている。

例えば、室内が赤、室外が緑の場合は、窓を開けて自然換気を行うことで快適な室内温熱環境に保つことが出来るなど、見せる化によりユーザーの環境行動を誘発することで、省エネかつ快適な生活の実現を図る。

② 電力量の見せる化

図 4-36 に内観写真を、図 4-37 にシステムの機器構成及び運用例を示す。電力量が大きくなるにつれて有機 EL 照明の点滅スピードを早めることで、発電量と電力消費量の大小が感覚的にわかるようになっている。電気機器使用時に目に留まりやすいキッチン棚に備え付けることで、電力消費量の抑制を促す。電力量は、電力測定クランプを用いて分電盤から直接測定している。

屋外の環境が良い時は、窓を開けて室内へ心地よい風を取り入れるなど、ユーザーが環境を感覚的に理解することで、ライフスタイルも省エネになり、住宅を超えて大きく省エネルギーをはかることが出来ると考える。

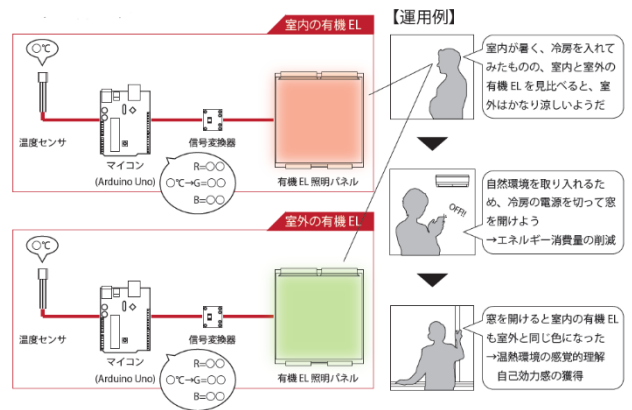


図 4-34 温度の見える化 -内観写真

図 4-35 温度の見える化 -システムの機器構成及び運用例



図 4-36 電力量の見える化 -内観写真

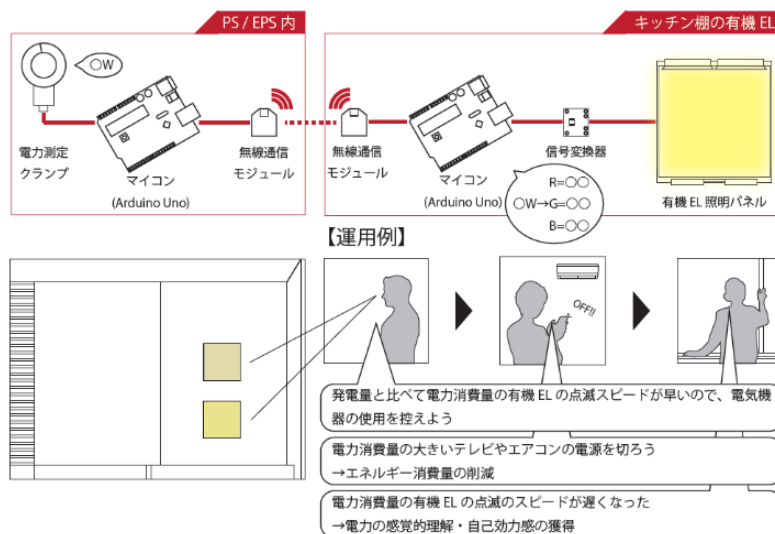


図 4-37 電力量の見える化 -機器構成及び運用例

4.4.4 おわりに

地域の特性や風土に基づき、“気づきを与える環境デザイン”を行うことで、ユーザーに自分たちの暮らす世界の地続きにあるものとして建築環境をとらえてもらう。ユーザーが環境形成に積極的に参加できる仕組みを作り、自らのふるまいによる環境の変化を実感することで、その行いは他の場所にも広がっていくと考えられる。

今後バイタル情報や各種センサーによって環境情報を取得し、取得した情報を元に各ユーザーにとって快適な環境を提供し、またユーザーが携帯端末などによって環境のチューニングを行える時代が来るだろう。その時、建築環境のなりたちや、環境調整のための手段が読み取れる“気づきを与える環境デザイン”はより一層重要になると考えられる。

【参考文献】

- 1) 日本工業出版：建築設備と配管工事 2019年3月号
- 2) 竹中ら：建築・窓システムの協調制御 HEMS および温度・電力量の見せる化による省エネルギー運用システムの開発, 電子情報通信学会, 2014

5. 設備の視点から見た適応

5. 設備の視点から見た適応

5.1 暑熱屋外での涼感提供を目的としたゼロエネルギー・クールツリーの開発

5.1.1 はじめに

2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会は盛夏に開催されることから環境施策の一つとして屋外暑熱対策の推進が喫緊の課題となっている。企業による独自の提案、自治体によるクールスポット創出に対する補助金制度など、官民による取り組みがなされているところである。

このような背景において、弊社らは盛夏の屋外パブリック空間に、意匠性・環境性がデザインとしてインテグレートされたクールスポットの創出を目指して検討を行ってきた。デザインコンセプトを「日本らしいデザイン」「完全自立システム」「究極のエコロジー」と定め、積層させた木材が美しい木陰を織りなし太陽光をエネルギー源にゼロエネルギーで稼働するクールスポットとして「クールツリー」を開発した。図5-1に、ミスト、微風、接冷クールベンチを組み合わせる涼感を提供するクールツリーの設置イメージを示す。

次に、クールツリーのコンセプトと開発概要ならびに、盛夏の東京における体感評価による涼感実験について報告する。本計画の初期段階において意匠・構造・設備の設計者が参画し、以下の3つのコンセプトにより計画を行った。



図5-1 屋外暑熱環境にミストと微風、接冷クールベンチで涼感を提供するクールツリー

5.1.2 ゼロエネルギー・クールツリーのコンセプト

ゼロエネルギー・クールツリーのデザインプロセスは、従来の建築設計手法である、クライアントの要求、敷地、法規、気候、など様々な条件から最適解を導き出すアプローチを採っていない。すなわち、開発チームが、酷暑の東京で海外や国内からの来客にどのような涼感を提供できるのかを自ら探るプロセスであった。デザインコンセプトは以下の3点とした。なお「クールツリー」は日建設計、銘建工業、光栄、村田製作所の4社により共同開発したシステムである。

1) 日本らしいデザイン

世界からの来訪者を意識して和のデザインとした。日本古来の素材である「木」により筐体を形成し、そこに環境先進国日本ならではの最先端環境技術を内蔵させ、「クール」にデザインされた体験を提供する。

2) 完全自立システム

クールスポットとして場所を選ばず簡単に組み立てられ、都市インフラから自立したシステムとする。IoT 技術を駆使して、太陽光発電、省エネルギーデバイス、これらをゼロエネルギーで制御するシステムを構築する。

3) リサイクル・リユースによる究極のエコロジー

供用中に CO₂ 排出をゼロにするだけでなく、組み立てから廃棄までリサイクル・リユースを徹底し、ライフサイクルにおいて CO₂ 排出を固定するライフサイクルカーボンニュートラルシステムを構築する。

5.1.3 ライフサイクル・カーボンニュートラルシステム

クールツリーの製作・供用・廃棄のライフサイクルにおける CO₂ 固定化を目指して、ヒノキ間伐材を材料とし、構造は繰り返し組立できるようにボルト締めによる固定方法を採用した。リサイクルとリユースの概念を図 5-2 に示す。これにより、場所を変えての繰り返し使用である「REUSE」が可能となる。また、供用中は太陽光発電により完全ゼロエネルギー化が可能であり、廃棄段階における解体後は、木材を木質チップとしてバイオマス発電に利用することで、ライフサイクルにおけるカーボンニュートラルの実現を可能とした。

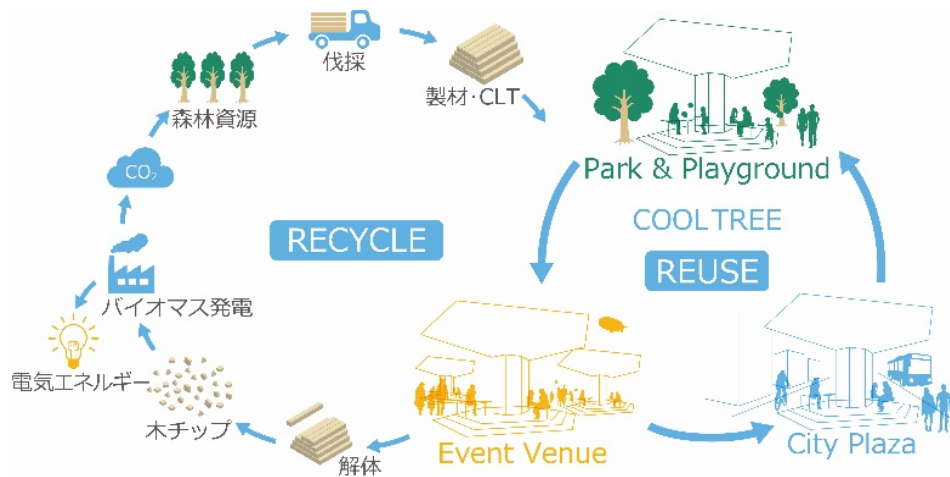


図 5-2 クールツリーの材料完全リサイクルとリユースの概念

5.1.4 クールツリーの形態と構造

クールツリーは積層した木材により樹木を模した形態を採用しており、具体的には、木陰のような影を創出する「樹冠」と、「幹」、寛ぎ憩うための「ベンチ」、そしてそれらを支える「根」にあたる土台で構成される。樹冠・幹・根は正六角形で形成され、樹冠は一辺 3,750mm で対角線 7,500mm、幹は一辺 750mm である。

また、土台は厚さ 90mm の CLT 注 1) を 3 枚重ね、強風の吹上げ対策としての”重石”や転倒防止の基礎の役割を持たせた (図 5-3)。

1) 屋根の構成

屋根は、1 層ごとに正六角形の一辺を 750mm ずつ平面的に広げた 75mm 角のひのき材を 4 層 12 段積み上げている。最上層は一辺 3,750mm、対角線が 7,500mm の正六角形となっている。継手を設けて一般的に流通している 4m 以下の間伐材で構成するように配慮した。この工法により、3 角形の美しい影を床面に映すことができる。

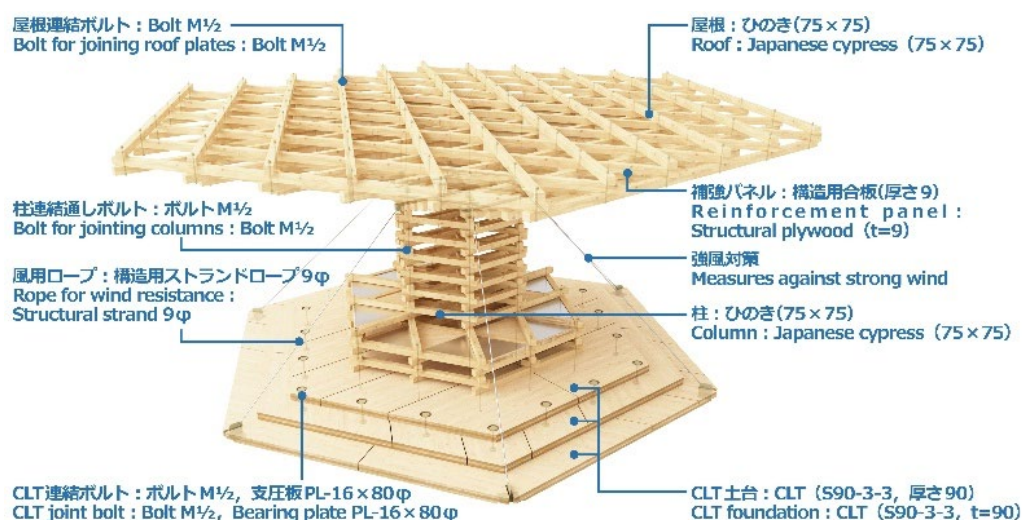


図 5-3 クールツリーの形態と構造の特徴

2) 柱の構成

柱の材料は 75mm 角のひのき材を利用し、一辺 750mm の正六角形となるように、3 段 1 組として 11 層 33 段積層している。正六角形の頂点と中心には、7 本の通しボルトを土台直下から屋根まで貫通させ、積層した材を一体としている。

3) 土台の構成

土台として、柱と同様に 0 度、120 度、240 度の主力方向をもつ厚さ 90mm (3 層 3 プライ (ラミナ)) の CLT を 3 枚積み重ねている。3 枚の CLT は 7 箇所 の柱通しボルトと外周部 18 箇所 のボルトで一体化し、9 層 9 プライの巨大な CLT 構造として、ワイングラスの底のような役割を果たし、吹上げ対策の“重石”や転倒を防止する基礎の役割も兼用している。

5.1.5. クールツリーのゼロエネルギー冷却システム

人の温熱に対する快適性は、「温度」「湿度」「周辺表面温度」「気流」「代謝量」「着衣量」の 6 要素で決定されるが、屋外でこれらの要素をコントロールすることは非常に困難である。そこで、屋外で涼しく感じられるために重要な要素となる「周辺表面温度」「代謝量」に作用し、さらに視覚と直接触れることで「涼しさ」を体感するための「五感に訴える演出」として“ウェルカムミスト”、“クールミスト”、“クールベンチ”による体験型涼感システムをデザインした。これらを太陽光発電で稼働させ供用時ゼロエネルギー制御を行うシステムとし、そのシステム概要を図 5-4 に示す。また、本冷却システムは図 5-5 に示すように、樹冠による「木陰」に加え、軒先から粒径の大きな視認しやすいミスト (オリフィス径 0.15mm, 粒子径 22 μ m) を吹下ろす「ウェルカムミスト」(図 5-6)、幹に内蔵した透明アクリル製

エアシリンダーの吹き出し孔 30mmφ×68 k×2 本からベンチ下部設置のファンの微風（400CMH/本）に乗せて小粒径のミスト（オリフィス径 0.065mm，粒子径 17μm）を吹出す「クールミスト」（図 5-7）、アルミ座面の裏面にペルチェ素子（冷却能力 18W，座面温度 22℃）の冷却面を密着させて通電することで座面を冷やし臀部への接冷効果を付与する「クールベンチ」で構成される。

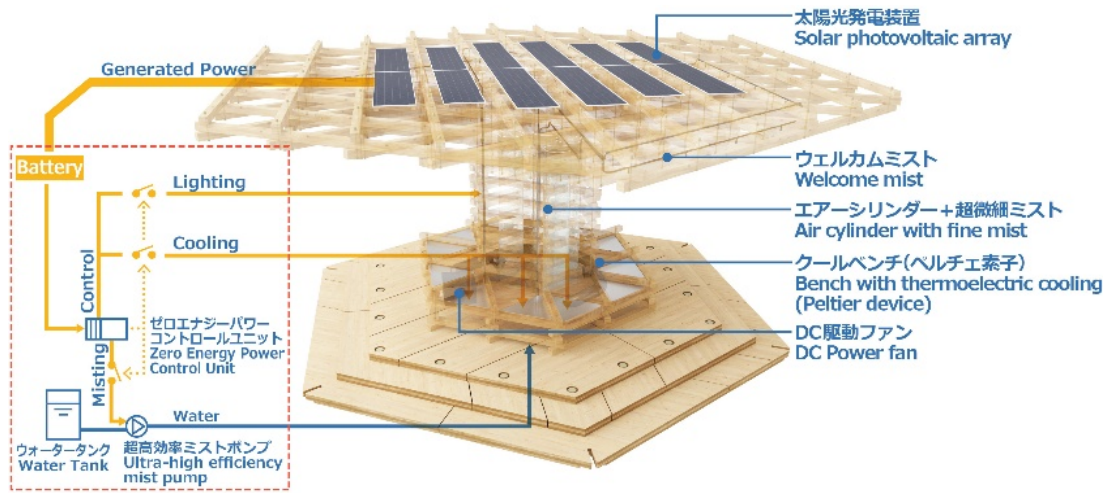


図 5-4 ゼロエネルギー・クールツリーシステム概要



図 5-5 クールツリーの屋内での実大展示状況

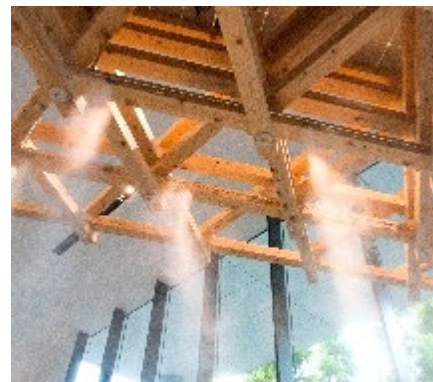


図 5-6 軒先からのウェルカムミスト



図 5-7 幹内蔵シリンダから供給するクールミスト

5.1.6 シェードトラッキングシステム

屋外空間において涼感を得るには、周辺の平均放射温度が低くなる日陰で涼感対策を付加することが重要である¹⁾。また日影を作るには、屋根と壁で周囲を覆うことが簡単であるが、この方法の場合、開放的なイメージが損なわれ、人々を涼しい場所へ誘うデザインのアフォーダンス性を得ることができない。そこで、本クールツリーでは、躯体はポーラスで開放感を持たせた形状とする一方で、大きな屋根でベンチを覆い、屋根が作り出した影によって周囲の平均放射温度を下げる形状を開発した。

クールツリーは盛夏の太陽位置から設置地域により樹冠が作る影の移ろいを特定できる。また図 5-4 に示した各冷却装置は人感センサーにより人を感知した時に一定時間稼働させている。

これらより、図 5-8 に示すように影の移ろいに合わせて上記のクーリングデバイスの稼働を許可し、木陰に涼感を付与するシェードトラッキング制御を併用した。これにより限られた太陽エネルギーを有効に使うシステムとした。またミストに用いる水は幹内蔵のシリンダ型タンク方式とツリー近傍に木製カバー付きで設置する角形タンク方式を選択可能とした。

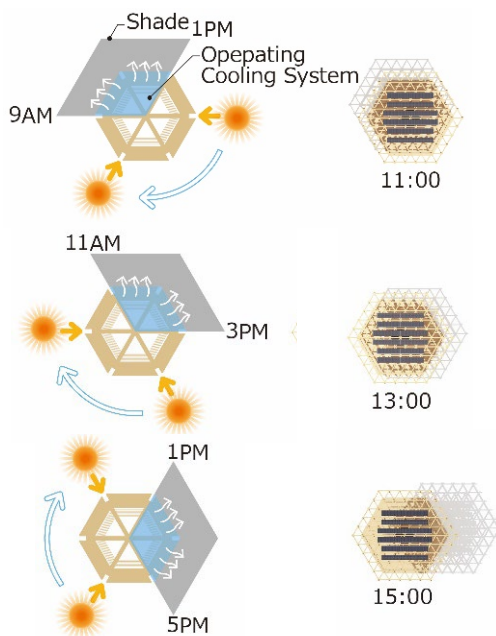


図 5-8 シェードトラッキングシステム

5.1.7 クールツリーの屋内実大展示

クールツリーは 2017 年 6 月 4 日～30 日に日建設計東京本社ビルエントランスホールに図 5-5 のように展示された。また、この実大展示の際に図 5-9 に示すとおり、熱画像により人体が得る涼感について、体表面の表面温度分布にて概略の把握を試みた。図 5-9 において幹部分からの涼風ミスト吹出し部分付近に座る人体（右端）が効果的に冷却される様子を熱画像により確認した。またこの写真の各人は周囲 29°C時にペルチェ接冷座面 25.9°Cまで冷やされたアルミ座面に着座していた。2017 年夏に屋外で涼感実験を実施しており、その期間の気象条件および実験概要について表 5-1 に示す。

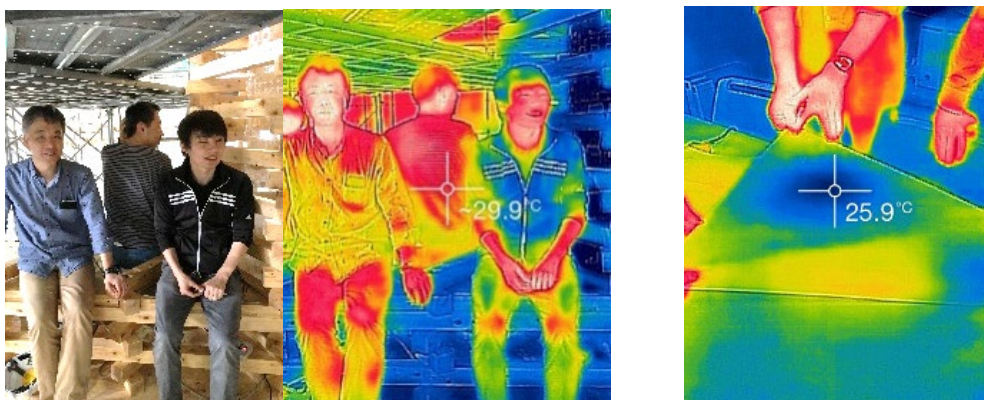


図 5-9 幹からのクールミストによる冷却とペルチェ接冷座面

表 5-1 クールツリー稼働時の周辺物理量測定と涼感実験概要

物理量測定および涼感実験概要							
実施期間	2017年7月31日(月)~8月4日(金)						
気象条件 [東京管区気象台]	日付	天候	最高気温	平均湿度	日照時間	平均風速	降雨量
	7/31	晴時々雲	33.0°C	78%RH	8.4時間	2.4m/s	0mm
	8/1	晴時々雨	31.0°C	87%RH	0.0時間	2.8m/s	6.5mm
	8/2	晴時々雨	25.4°C	82%RH	0.5時間	3.0m/s	0.5mm
	8/3	雲	28.9°C	76%RH	0.7時間	2.3m/s	0mm
	8/4	雲	29.2°C	86%RH	0.6時間	2.2m/s	0mm
実験概要	クールツリーのベンチおよび幹の部分再現し、ファンとミストによる涼風効果ならびにペルチェ素子の接冷効果を物理量実測と涼感実験により検証を行う						
涼感実験	7/31, 8/1,3,4	日建設計(東京)屋上テラスにて、座面温度、ミスト有無の水準を変え、体感評価参加者50人により、計100ケースの涼感実験を実施					
物理量測定	7/31, 8/1,3,4	参加者周辺温湿度、PMV、座面温度、ミスト吹出し温度、気象データを各種計測機器を用いて実測し涼感実験結果との照合・解析実施					

5.1.8 実験概要

日建設計東京本社ビルの最上階テラス部分に、6月の展示会で使用した木材を組み立てて、椅子部分とミスト噴霧タワーで構成されたクールベンチを再現して作成した。このテラスは建物の東側にあるため、午後には日陰となる。本実験では、クールツリーの屋根部分の組み立ては行わず、午後に実測、および涼感実験を行うことで、直射日射のない日陰を想定した状態でのクールベンチの涼感評価を検証することとした。実験は2017年7月31日~8月4日に行った。図5-10に、実験風景を示す。ペルチェ素子を用いた接冷座面の効果とミストによる涼感効果を検証するため、実験条件を5ケース設定した。

表5-2に、各ケースの条件を示す。座面温度は24°Cと20°Cの2ケース、ミストの有り無し、座面の冷却もミストも無いケースを一般的な日陰のベンチと想定した。1人あたり異なる2つのケースについて申告を行い、50名で全100ケース分のデータを収集した。図5-11に、実験場所のレイアウトを示す。ベンチを5席作成し、座席2と座席3は、ミスト噴霧タワーから送風機で強制的に涼感ミストを当てる席とした。



図 5-10 屋外実験状況

表 5-2 実験ケース

	座面温度 注1)	ミスト+微風 (アクリル塔)	申告者数	
case1	24℃	あり	30	座席 2, 3
case2	24℃	なし	20	座席 1
case3	20℃	あり	10	座席 3
case4	20℃	なし	20	座席 4
case5	冷却なし	なし	20	座席 5

注1) 座面温度は、実験開始時（着座直前）の条件とする。

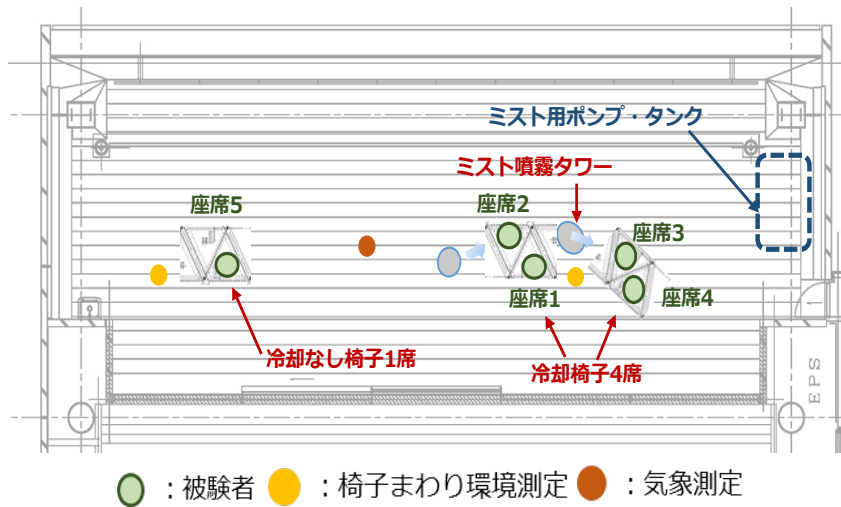


図 5-11 実験場所平面図

1) 計測項目

計測項目一覧を表 5-3 に示す。局所ぬれ率は、胸部皮膚面及び 2~3mm 離れた部分の温湿度を測定し、下記の計算式より算出した。

$$W = \frac{(P_{sk} - P_a)}{(P_{ssk} - P_a)}$$

w : 局所ぬれ率 [-]

P_{sk} : 皮膚表面における水蒸気圧 [hPa]

P_{ssk} : 皮膚温における飽和水蒸気圧 [hPa]

P_a : 周辺空気の水蒸気圧 [hPa]

2) 実験方法

表 5-4 に実験のタイムスケジュールを示す。1 回の実験で 5 人が連続して異なる 2 ケースの椅子に着席して申告した。1 ケースの申告は着座前、着座後、着座 5 分後、着座 10 分後の計 4 回行い、その後別のケースで同様の申告を行った。クールツリーは、屋外歩行中に立ち寄る休憩施設と考え、申告開始前に階段の上り下りを行い、歩行時の代謝量を模擬した。

表 5-3 計測項目一覧

	測定項目	測定点	間隔	測定機器
被験者	皮膚温	代表被験者6部位×7人×2回=14人	5S	日機装 高精度8chロガーN543R
	局所皮膚ぬれ率	各被験者1箇所	5S	おんどとり T&D RTR-507、RTR-53A
	着衣量	被験者アンケート回答	1回	調査用紙
椅子周りの環境測定	空気温度	代表点2ヶ所、高さ (FL+0, 0.1, 0.6, 1.1, 1.7m)	5S	おんどとり T&D RTR-507、RTR-53A
	相対湿度	代表点2ヶ所、高さ (FL+0.6m)	5S	おんどとり T&D RTR-507、RTR-53A
	放射温度・気流速度・PMV	代表点2ヶ所、高さ (FL+0.6m)	1min	PMV計 京都電子工業アメニティメータ
	座面表面温度	各椅子2箇所×5箇所	5S	おんどとり T&D RTR-502
	ミスト吹き出し温度	代表点2ヶ所	5S	おんどとり T&D TR-52i
気象測定	日射量	代表点2ヶ所	5S	英弘精機 長短波放射計MR-40 日置メロノメータ LR8400
	放射量	代表点2ヶ所	5S	CAOTEC TRF-50、江藤電機 THERM C
	空気温度	代表点1ヶ所	1min	おんどとり T&D RTR-53A
	相対湿度	代表点1ヶ所	1min	おんどとり T&D RTR-53A

表 5-4 実験タイムスケジュール

	入室 待機	実験1回目				実験2回目			
		歩行				歩行			
		着座1	着座1	着座1	着座1	着座2	着座2	着座2	着座2
		▼申告1-0	▼申告1-1	▼申告1-2	▼申告1-3	▼申告2-0	▼申告2-1	▼申告2-2	▼申告2-3
		(set 0)	(set 1)	(set 2)	(set 3)	(set 0)	(set 1)	(set 2)	(set 3)
時間 [分]	-5	0	5	10	15	20	25	30	
Test1	13:30	13:40	13:45	13:50	13:55	14:00	14:05	14:10	14:15
Test2	14:30	14:40	14:45	14:50	14:55	15:00	15:05	15:10	15:15
Test3	15:30	15:40	15:45	15:50	15:55	16:00	16:05	16:10	16:15

5.1.9 環境測定結果

1) 外気条件

図 5-12 に実験期間中の外気温湿度の分布を示す。1 週間のうち、降雨などで実施できなかった時間帯もあり、7 月 31 日、8 月 3 日、8 月 4 日に、13:30、14:30、15:30 への 3 回/日、8 月 1 日は 13:30 へのみ実施し、計 10 回行った。その中で、30°C を超える日は 7 月 31 日のみでその他は 30°C を下回り、真夏日の環境にはならなかった。本報の実測結果については、主に 7 月 31 日のデータを引用する。また、実験期間を通して相対湿度は 50~70% であった。

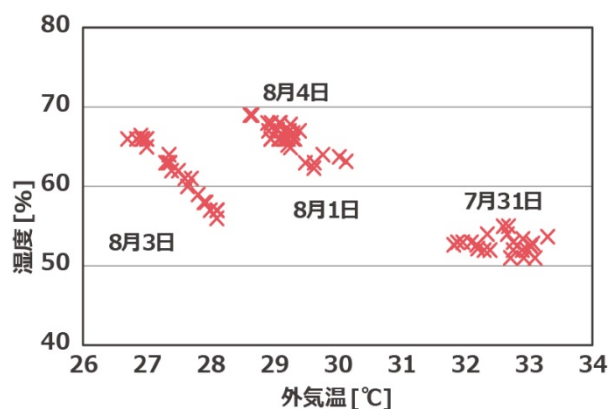


図 5-12 実測期間中の外気温湿度

図 5-13、図 5-14 に、7 月 31 日の実験中における温湿度の推移を示す。クールベンチ (case1~4) と一般的な日陰ベンチ (case5) 周りのそれぞれ床上 600 mm の位置における温湿度変動を示す。クールベンチ周りはミストの影響で 0.5°C 程度気温が低くなっており、約 5% 相対湿度が高くなっていた。なお、本実験においては、ウェルカムミストは加味していない。

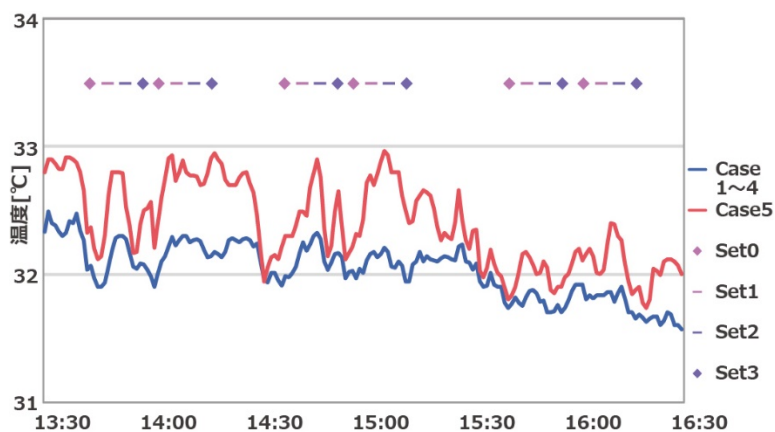


図 5-13 ベンチ周りの温度変動 (7 月 31 日)

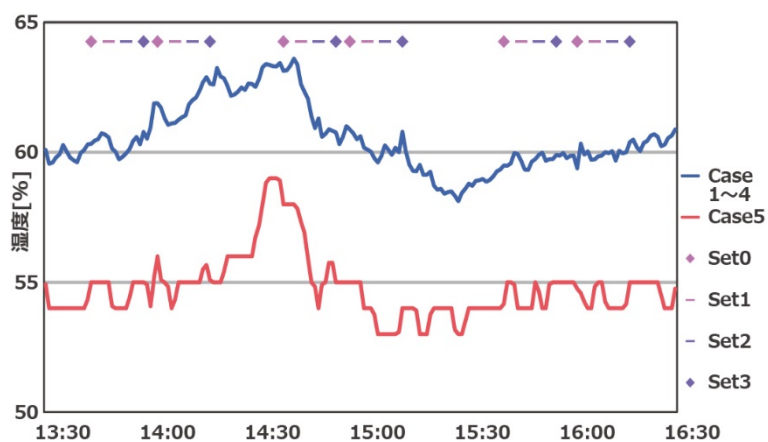


図 5-14 ベンチ周りの湿度変動 (7 月 31 日)

2) ミストの冷却効果

図5-15に、一般の日陰のベンチ (case5) とクールベンチ (case1~4) 周りの上下温度分布の比較を示す。Case5のベンチの周辺は、上下温度に差はなく、33°Cを推移していたが、同じ時間帯のCase1~4のベンチの周辺は、全体的に温度が低く、更に床面に近くなるほど温度が低かった。FL+1.7mの高さでcase5は33°C、case1~4では32.5°Cと0.5°C程度低い値となっており、クールベンチのFL+0mからFL+1.7mの気温に約1.5°Cの開きがあった。ミストの影響でクールベンチ周りの気温が下がっている傾向が見られた。

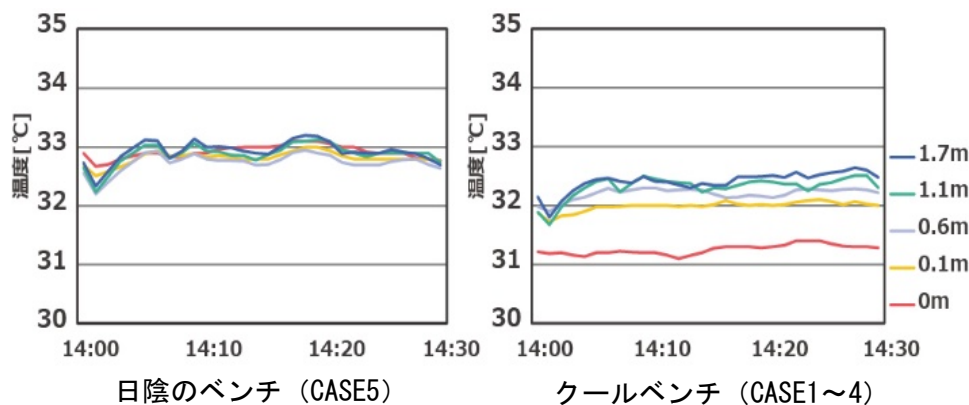


図5-15 ベンチ周りの垂直温度分布の比較 (7/31)

表5-5 実験ケース別着座前 平均座面温度

	設定値 [°C]	実測平均値 [°C]	
		中心	周囲
case1	24°C	24.8	28.5
case2	24°C	24.1	28.4
case3	20°C	20.5	26.5
case4	20°C	20.6	26.2
case5	冷却なし	32.2	31.9

3) クールベンチの冷却効果

表5-5に実験開始前の着座前座面温度を、実験ケースごとに平均値を算出した。ペルチェと直接接する座面中心部と座面周囲部で4~6°C温度差があったが、中心部は設定温度にほぼ等しく設定されていた。

図5-16に、一般の日陰ベンチ (case5) と24°C設定のクールベンチ(case2)の座面温度と周囲気温の推移を示す。気温が約33°Cにおいて、冷却無しのベンチの座面は35°Cを維持しており、着座による変化は見られなかった。

座面温度は、ペルチェ素子が直接接着している中央表面部とペルチェから離れた周囲表面部の2点を計測しており、クールベンチは、24°Cから29°Cの約5°Cの分布があった。着座により座面温度は約2°C上昇し、人体へ冷熱が伝導したと考えられる。

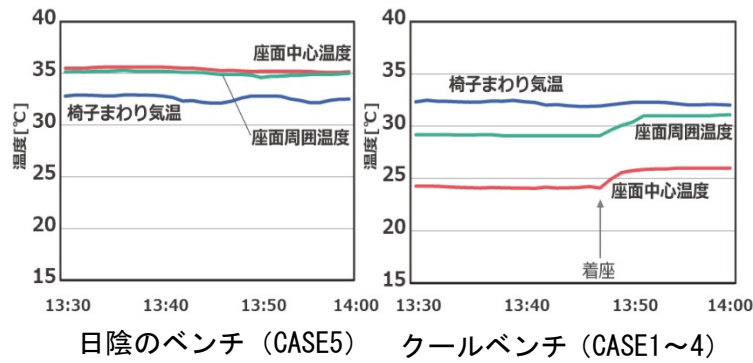


図 5-16 座面温度推移の比較 (7/31)

5.1.10 申告・局所ぬれ率の結果

1) PMV 評価

図 5-17 に、7 月 31 日の実験中の PMV 推移を示す。PMV 値は、ベンチ周り床上 600mm の環境測定量に着衣量 0.47clo、代謝量 1.0met にて演算した数値である。着衣量は着衣アンケート結果から算出した着衣量の平均値である。case1~4 はクールベンチ付近の PMV、case5 は通常の日陰ベンチ付近の PMV である。1 日の実験期間中で、被験者によるアンケート申告 (set0~set3) の時間にマークを記した。Case1~4、Case5 共、PMV は+2~+3 の範囲で、「暑い」環境であった。case1~4 のクールベンチの方がわずかに高い傾向であった。これはミストによる湿度の上昇による影響と考えられる。

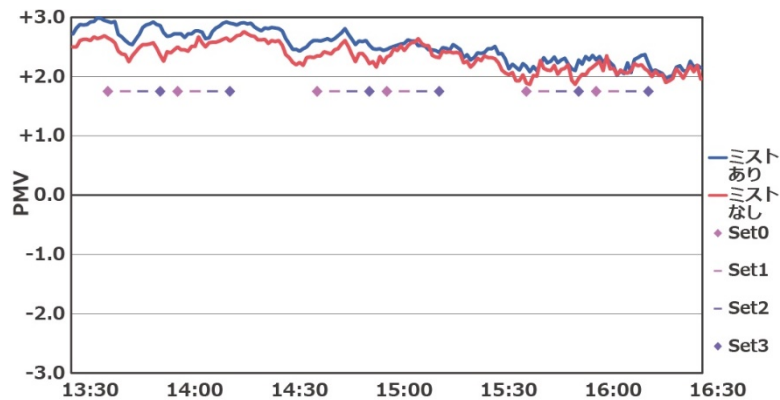


図 5-17 ベンチ周り PMV 推移

2) 温冷感・快適感・体感温度申告・局所ぬれ率の着座による推移

図 5-18 に、着座前 (set0) から着座直後 (set1)、5 分後 (set2)、10 分後 (set3) の温冷感申告の変動を示す。これは全てのケースの申告平均値である。Case5 の一般的な日陰ベンチは、申告の時間変動はなく「やや暖かい」を推移しているが、クールベンチについては、着座直後に大きく温冷感が下がる傾向が見られた。その後 5 分後、10 分後の申告は変わらず、着座直後の接冷効果が高いことが分かった。クールベンチのケース別でみると、座面温度が低い case3, 4 の方がやや低い傾向であった。ミストの有無の差異は見られなかった。

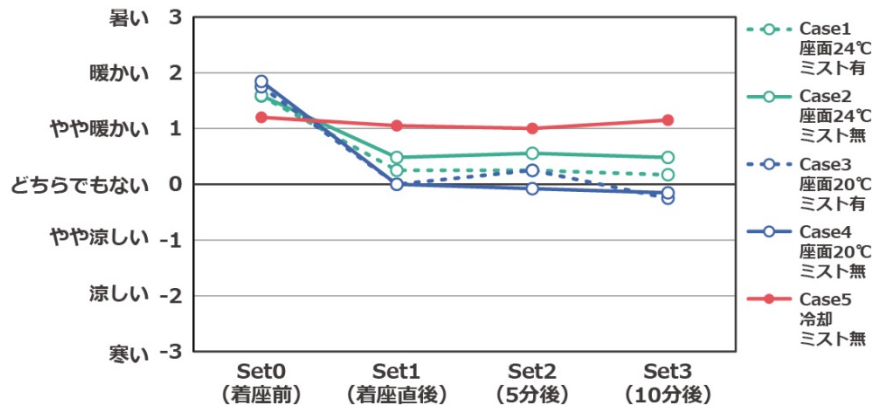


図 5-18 温冷感推移

同様に図 5-19 に、快適感申告の推移を示す。温冷感と同様に、case5 はやや不快のまま着座前後も変わらないが、クールベンチのケースは、着座直後に快適側に上がり、その後は変化がほとんど見られなかった。

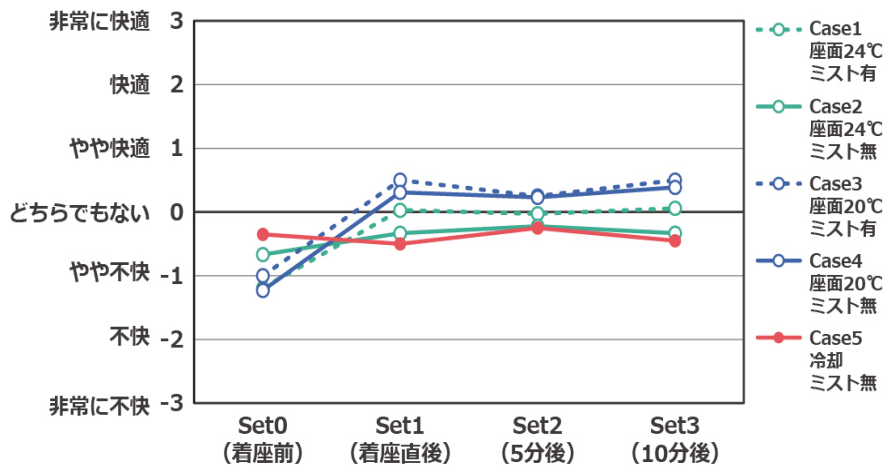


図 5-19 快適性推移

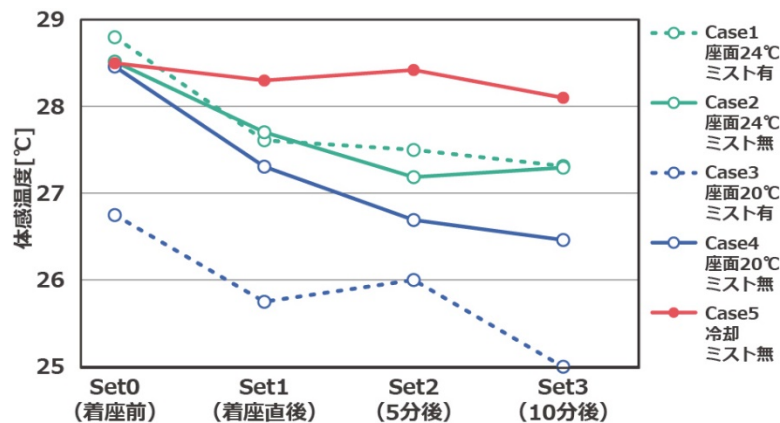


図 5-20 体感温度推移

図 5-20 に、体感温度申告の推移を示す。Case5 は高い体感温度のまま変化は少ないが、クールベンチに着座すると、体感温度が下がっていく傾向が見られた。ケース別では座面温度の低い case3, 4 の方が低くなる傾向であった。体感温度についてもミストの有無の影響は見られず、クールベンチに座った状態において、涼感効果は、臀部、大腿部を直接冷やす接冷の影響が大きいことが分かった。暑熱屋外のクールスポットにおける温冷感、PMV 評価では難しく、涼感実験や新たな評価方法が必要と考えられる。

図 5-21 に、局所ぬれ率の各ケースの平均値の推移を示す。既往研究³⁾では、全身に関するぬれ率は 0.25 以下が快適範囲とされている。case3 の set0 (着座前) で極端にぬれ率が低いデータがあったが、他のケースは 0.3 を超えており、不快側の状態となっていた。どのケースも set1,2,3 の概ね 10 分の着席の間にぬれ率はほとんど変化が見られず、case5 と、case1~4 に、優位な差は見られなかった。温冷感、体感温度はクールベンチに着座することによる涼感効果が表れたが、胸部の局所ぬれ率は、クールベンチ着座後も 0.3 を超えて不快側の状態のままであった。

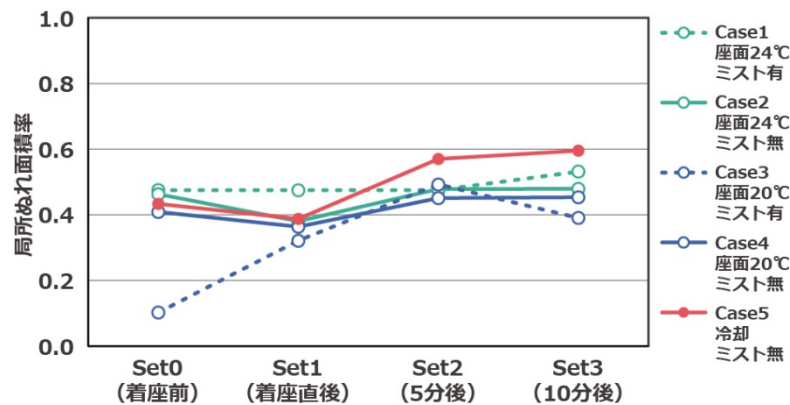


図 5-21 局所ぬれ率推移

3) 局所ぬれ率の検証

図 5-22 に、局所ぬれ率と椅子周りの気温の関係について、set1~3 の全申告者数をプロットした。椅子周り気温は小数点以下を四捨五入した整数値にまとめてプロットしている。これより気温とぬれ率の相関は見られず、同じ周囲温度において局所ぬれ率は case3,4 (座面 20°C 冷却) が低く、case5 が高い傾向であることが分かった。

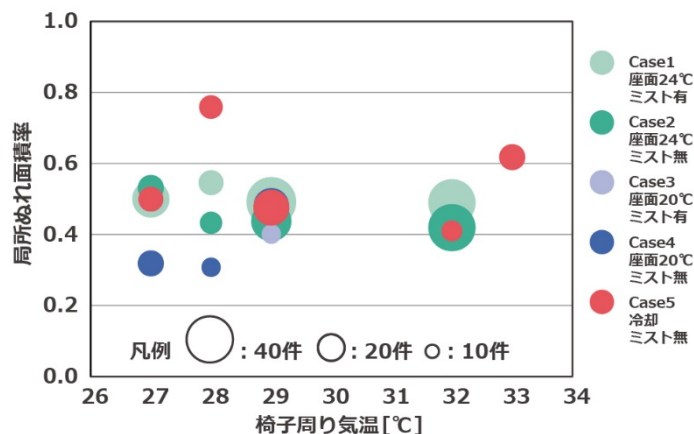


図 5-22 局所ぬれ率と周囲温度

図 5-23 に、着座直後 (set1) の温冷感と椅子周り温度の関係を示す。29°C以上になると、case5 は暑い側に傾いているが、case1~4 (クールベンチ) では中立付近となった。一方で、28°C以下では、全ケースで温冷感申告は±1 付近となっている。今回の実験において、29°C以上の実験条件数が少なかったものの、29°C以上の暑熱環境において、クールベンチは一般的なベンチと比較して、涼感効果があると考えられる。

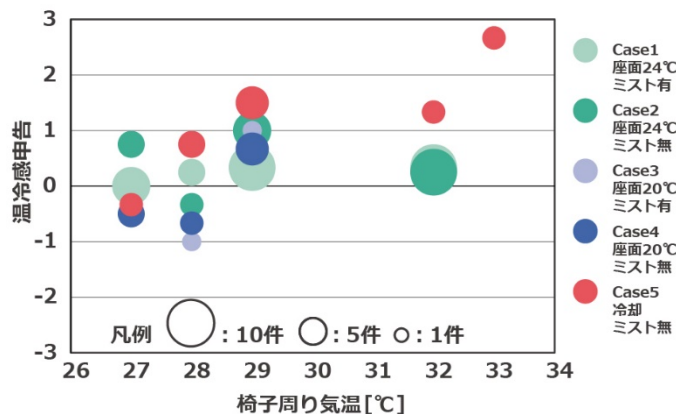


図 5-23 温冷感と周囲温度 (着座直後)

4) 快適感申告の推移

図 5-24 に、クールベンチ (case1,3) と、一般的な日陰ベンチ (case5) について、着座前後の快適感の変化を示す。クールベンチでは、快適と感じる人が 5%から 53%と大幅に増加し、不快と感じる人は 80%から 40%に半減した。一方、一般的な日陰ベンチでは、快適と感じる人は 20%から 25%と微増、不快と感じる人は 60%が 50%に微減し、日陰ベンチと比べ、クールベンチの涼感効果が確認できた。

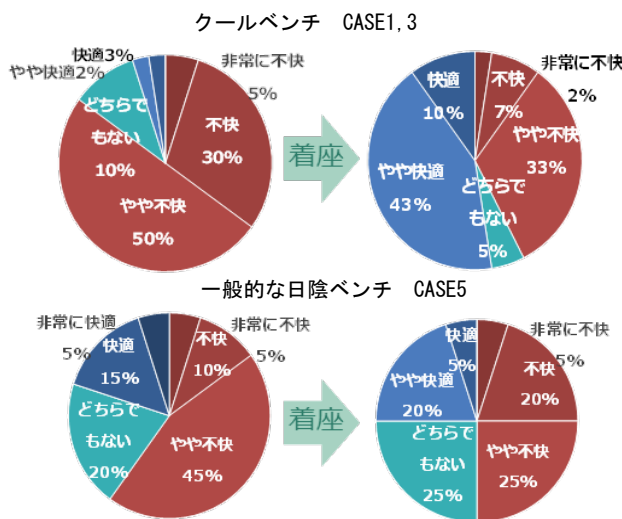


図 5-24 快適感申告推移

5.1.11 人体熱モデルを伴う CFD 解析による涼感評価の検討

クールツリー近傍の環境評価と、CFD と連成解析した人体熱モデルを用いた涼感評価の検討について報告する。

1) 計算条件

表 5-6 に解析条件を示す。CFD 解析ツールは人体熱モデル文献⁴⁾と連成解析が可能な SCRYU/Tetra を使用した。計算時間間隔はミストの解析精度と計算安定性を踏まえ、0.005 秒と設定した。暑熱環境下でクールツリーに滞在するはじめての 2 分間にて解析を行った。計算結果は 1 秒毎の出力とした。

表 5-6 解析条件

CFD ソフト	ソフトウェアレベル SCRYU/Tetra.v13
流れ・熱の解析	非定常解析
乱流モデル	線形低レイルス ⁵⁾ 数 k-ε モデル(AKN)
計算領域	50m×50m×高さ 20m (土中 1m)
流入面/流出面	流速規定/流速規定
上面/地面側面	全圧規定/フリースリップ断熱
底面(地中 1m)	温度固定 (23°C) 文献 ⁶⁾
要素数	約 1130 万要素
計算時間間隔	0.005 秒 (計 2 分間 : 24,000 サイクル)

表 5-7 に屋外条件及び人体モデルの共通条件を示す。暑さ指数 WBGT が 28°C 以上となる、熱中症危険度の高い暑熱屋外を想定した。WBGT は気温、相対湿度、全天日射量、平均風速から推定⁵⁾でき、本条件下では 30.4°C となる。

表 5-7 屋外条件及び人体熱モデルの共通条件

場所・日時	東京、8/1 PM1:00
全天日射量	770W/m ²
温湿度・風	32°C、60%、風速 0.5m/s、風向：南
人体熱モデル 共通条件	30 代男性、体脂肪率 15%、 着衣量 0.50clo ^{注2)} 、日射吸収率 0.7、 初期値：屋外 10 分歩行(2.0met)後の状態値 ^{注3)}

表 5-8 比較条件

人体熱 モデル	ウェルカム ミスト	ミスト 噴霧 タワー	ベルチェ 座面	日射 影響	代謝量 [met]
BODY-1	あり	あり	あり	日陰	1.0(座位)
BODY-2	あり	あり	—	日陰	1.0(座位)
BODY-3	あり	—	—	日陰	1.8(立位)
BODY-4	—	—	—	日なた	1.8(立位)

表 5-8 に比較条件を示す。本解析では人体熱モデルを計 4 体 (クールツリー近傍:3 体、離れた場所:1 体) を同時に計算し、それらの比較によって暑熱緩和効果を予測する。

2) 解析モデルの構築

図 5-25 に解析モデルを示す。BODY-1,2 はミスト噴霧タワーから約 1m の位置に座位とし、ペルチェ座面の有無以外は同一条件に近づくように配置した。ソーラーパネルのモデルは日陰を作る目的でクールツリーモデル上部に設けている。BODY-3 は日陰となり、南風によってウェルカムミストが拡がる範囲の中に配置している。

ウェルカムミスト、ミスト噴霧タワー、ペルチェ座面の入力条件は、それぞれ設計値を用いている。両ミストは間欠運転での使用が想定されているが、本解析対象の 2 分間においては連続的にミストを噴霧する条件とした。

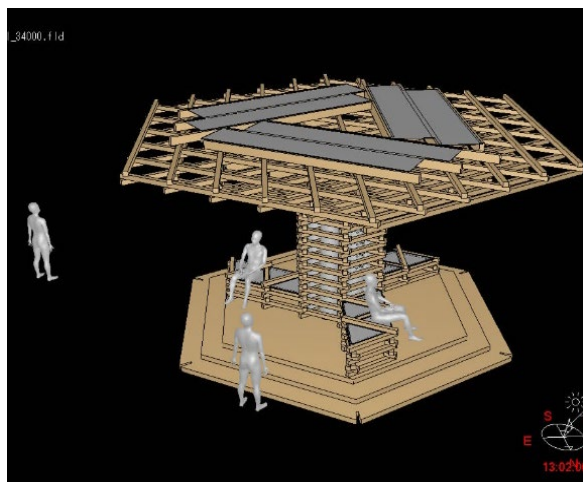


図 5-25 CFD 解析モデル

3) WBGT と皮膚温から見る暑熱緩和効果

図 5-26 に計算開始 2 分後の空気温度分布（高さ 1m）を示す。ウェルカムミスト等によりもたらされる比較的低温の空気が、南風の影響で北側に拡がっており、本解析の BODY-1~3 はミスト等による涼しさを感じやすい位置に配置できていることが判る。

図 5-27 に 2 分間の計算前後の皮膚温、図 5-28 に BODY-1 の各部位計算前後の皮膚温を示す。

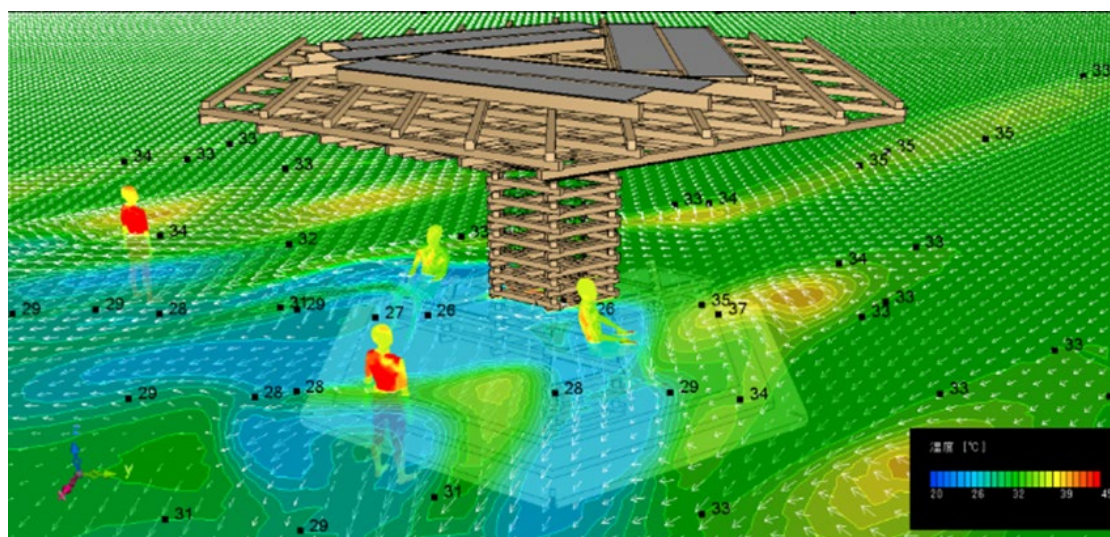


図 5-26 計算開始 2 分後の空気温度分布（高さ 1m）

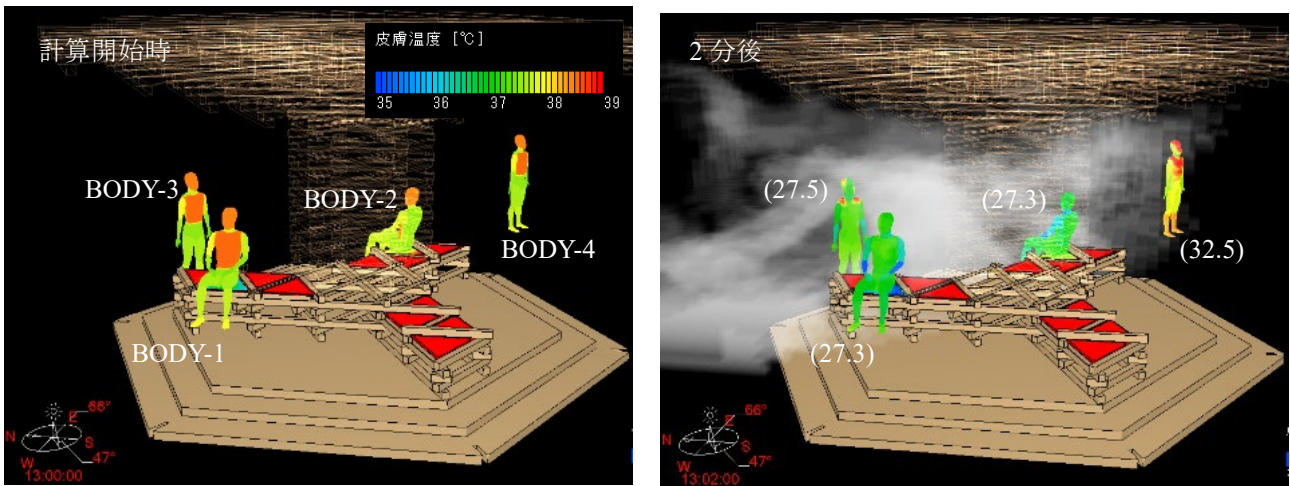


図 5-27 計算前後の皮膚温と人体熱モデル周囲の WBGT（暑さ指数）

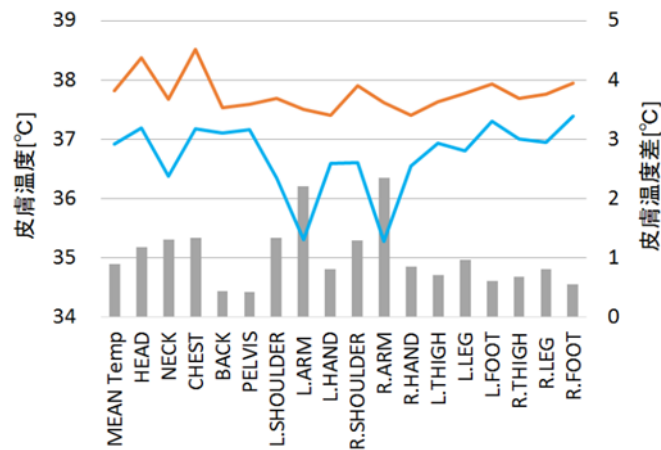


図 5-28 BODY-1 における各部位皮膚温

計算開始時には、初期条件の皮膚温を BODY1～4 に同様に与えている。初期条件は、屋外 10 分歩行 (2.0met) 直後の皮膚温分布としており、各部位の皮膚温は比較的高い。特に直射日光が当たる胸部位 (CHEST) は 38.5°C となっている。2 分間の計算後には BODY1～3 の皮膚温は約 36～37°C まで低下した。BODY3 において肩部位の皮膚温が低下していないのは屋根から漏れた直射日光を受けているためである。

図 5-27 の右図に人体モデル廻りの WBGT^{注4)}を示す。クールツリー近傍に配置されている BODY-1～3 廻りでは熱中症の嚴重警戒が必要とされる WBGT 28°C を下回った。

最もクールツリーの効果を得やすい位置と考えられる BODY-1 では 2 分間の計算後において、平均皮膚温 (MEAN Temp) では約 1°C、肌が露出する腕部位 (ARM) では約 2.2°C の低下が見られた。

図 5-29 に BODY-1 における両腕部位皮膚温の経時変化を示す。環境の変化に応じて、血流調整・発汗等の体温調節反応が起こることにより皮膚温が次第に低下していくことが判る。左腕の方がより速く温度低下しているのは、ミスト噴霧タワーによる効果であると考えられる。

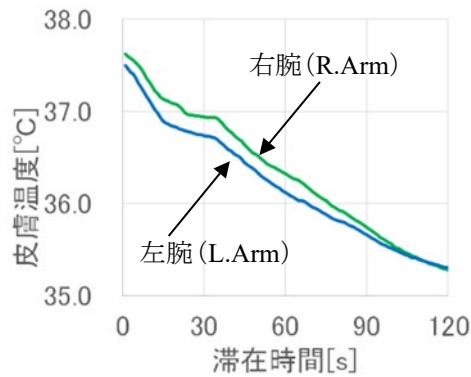


図 5-29 両腕部位皮膚温の経時変化

4) 人体熱モデルの皮膚での吸放熱による涼感評価

図 5-30 に各人体熱モデルの吸放熱を棒グラフ、吸放熱の計を折れ線グラフで示す。人体熱モデルからの放熱は潜熱が主であり、気流等によって発汗等の蒸発を促すことが重要であることが判る。また、人体熱モデルへの吸熱は顕熱が主であるが、直達日射の抑制とミストによる空気温度の低下等により吸熱が低減できるものと考えられる。

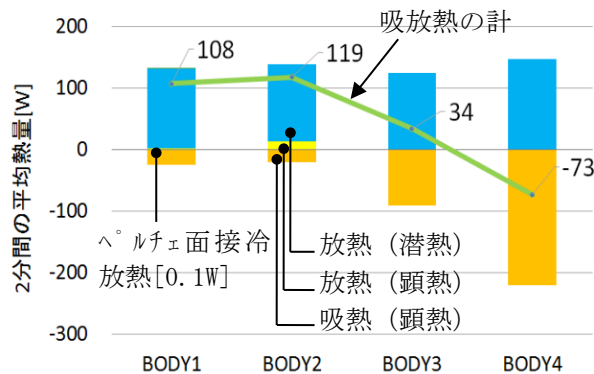


図 5-30 皮膚と環境の間の吸放熱

吸放熱の計として BODY-1 及び BODY2 にて、着座後 2 分間の平均で、110~120W の放熱が確認できた。一方で BODY-1 におけるペルチェ座面による放熱は小さい結果となった。ペルチェ座面の涼しさ感を物理量との関係として定量的に評価するためには、接冷部のより詳細なモデル化によるシミュレーションが必要であると考えられる。

5.1.12 まとめ

太陽光発電によりゼロエネルギーで稼働するクールツリーを開発し、その概要を示した。また、クールツリーのベンチ部分とミスト噴霧タワーを屋外に設置し、クールツリーの日陰屋外環境における実測及び涼感実験を行った。ミストによりクールベンチ周りの気温は 0.5~2°C 程度低下し、5% の湿度上昇が確認された。また、クールベンチに座ることにより冷熱が人体へ伝導することを確認した。

クールベンチ着座直後に温冷感が下がり、快適感が向上することを確認した。涼感評価への影響は、ミストの有無より接冷による効果の方が大きかった。

局所ぬれ率は着座による変化は見られなかったが、同じ周囲温度では、冷却無しのケースの局所ぬれ率が高い傾向であった。クールベンチは、気温 29°C を超える暑熱屋外において涼感効果が得られた。今後は日除け部分も組み込んだクールツリーの実機を屋外に設置し、暑熱屋外での涼感効果を検証する。

CFD 解析によりクールツリーの涼感効果を定量的に予測するため、クールツリー近傍の環境評価と涼感評価を試みた。また、解析結果から WBGT を算出し、暑熱環境の緩和効果を予測した。また、CFD と連成解析した人体熱モデルの皮膚温及び吸放熱からクールツリーの涼感評価を検討した。

なお、本稿は、平成 30 年空気調和・衛生工学会学術講演会論文「暑熱屋外での涼感提供を目的としたゼロエネルギー・クールツリーの開発」第 1 報 ゼロエネルギー・クールツリーの開発および涼感実験概要、水出ら、第 2 報 涼感実験による検証、宮坂ら、第 3 報 人体熱モデルを伴う CFD 解析による涼感評価の検討、田端ら、の各報を元に再構成している。

【注記】

- 1) Cross Laminated Timber の略称。ひき板（ラミナ）を並べた後、繊維方向が直交するように積層接着した材料。
- 2) 半袖シャツ、タンクトップ、夏のスーツズボン、靴下、トランクスを着用を想定した部位ごとの clo 値を入力した。
- 3) BODY-4（屋外立位）と同一条件下で平たん路歩行（3.2km/h：代謝量 2.0met）を 10 分間行ったあとの人体モデル状態値を入力値とした。
- 4) 各位置における WBGT は地面から 1.2m の高さにて算出した。WBGT は本来、気象データの観測値にて計算される指標であるが、本報ではある瞬間の計算値を用いている。風速は WBGT に対する影響が非常に小さいため、0.5m/s にて共通とした。各位置の気温、相対湿度、日射量は次の通りである。

BODY-1, 2 : 27°C, 95%, 70 W/m²

BODY-3 : 27°C, 95%, 100 W/m²

BODY-4 : 35°C, 55%, 770 W/m²

【参考文献】

- 1) 田中宏昌：真夏の屋外を涼しく過ごすゼロエナジークールスポット創出の取り組み，空気調和永瀬工学会近畿支部，環境工学研究会，2017 年 9 月
- 2) 佐藤ら：木材を積層した東屋（COOL TREE）の実大実験，AIJ 近畿支部報告会，2018 年 6 月
- 3) D.A.Maclntyre, Indoor Climate, Applied Science, 1980, Fig.5.10, Skin wittedness is good predictor of warm discomfort.
- 4) Kobayashi Y and Tanabe S: Development of JOS-2 human thermoregulation model with detailed vascular system, Building and Environment, 66, 2013
- 5) 小野雅司ら(2014):通常観測気象要素を用いた WBGT の推定, 日生气誌 50(4), 147-157
- 6) 長谷川房雄：不定乗熱伝導（渡辺要編，建築計画原論II, 7 章），丸善, 1965

5.2 建築設備一体化技術の最適制御

5.2.1 はじめに

近年、日本では東日本大震災の経験を踏まえ、省エネの更なる強化に加え、電力の需給バランスを意識したエネルギー管理が求められている。特にエネルギー消費量の増加が顕著な業務・家庭部門においては、住宅・建築物や設備機器の省エネ性能の向上が課題となっている¹⁾。

通常、建物の省エネは、建築設計（パッシブデザイン）、設備設計（アクティブデザイン）、制御・管理（ライフスタイルデザイン）で対応すべきである。即ち、設備機器の負担を最小限にするような建築設計を行い、それらの環境性能を最大限に発揮できるように適切に運用することである。本報告で対象としている建築設備一体化設備とは、この建築設計と設備設計を建物全体もしくは部分的に一体的に考える技術であり、双方の設計が相乗効果を発揮し、より高い省エネ性能が期待できる技術である。

- 1) 自然換気併用ハイブリッド空調（以下、ハイブリッド空調：図5-31）
- 2) 躯体蓄熱空調（以下、TABS：図5-32）、
- 3) 土壌熱交換システム（主にピット方式を対象とし、以下、EAHE：図5-33）

などが挙げられる^{注1)}。特に2)に関しては、前述の電力の需給バランスに配慮したピークカット効果も期待できる技術である。しかし、これらの技術は、高い省エネ効果等が期待出来る反面、システムそのものの複雑さ故に、設計段階にて想定された各種性能（省エネ性、快適性等）を発揮できない状況も想定される。このため、近年進展が著しいAIやIoT、自動制御技術を駆使した、最適制御手法の導入も重要な検討課題と言える。

ここでは、建築設備一体化技術の中でも筆者らが近年、研究に取り組んできたTABSとEAHEを対象とし、環境シミュレーション・自動制御・AI技術を駆使した最適制御の研究事例を中心に紹介する。なお、本発表では建築設備一体化技術の設計段階において想定された各種環境性能（省エネ等）を発揮するという行為は、同技術（建築+設備）の運用段階における“適応”として捉えている。

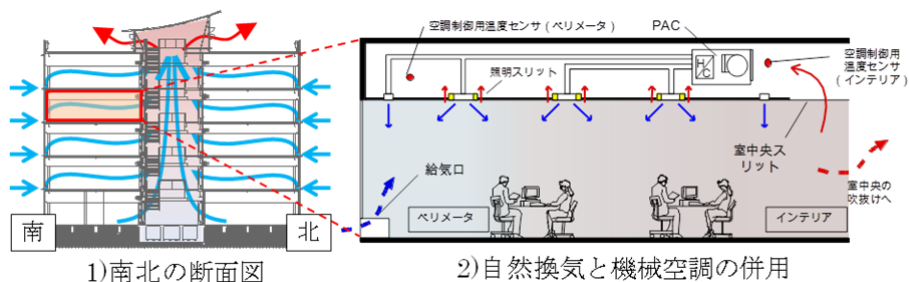


図5-31 自然換気併用ハイブリッド空調の導入事例²⁾

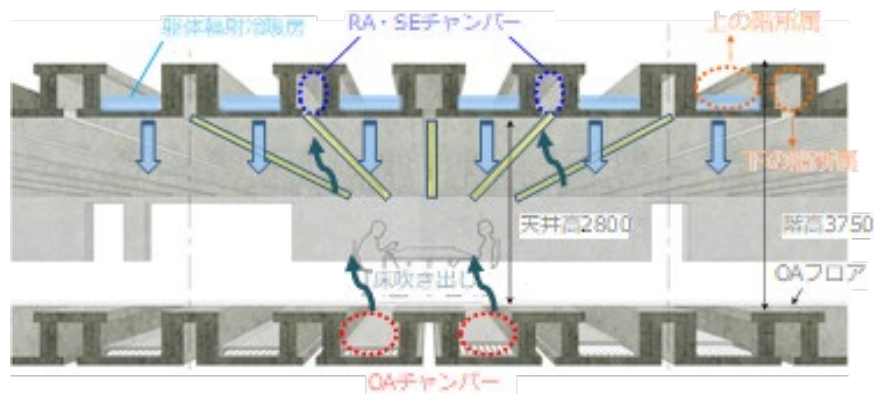


図5-32 土壌熱交換システム(ピット方式)の導入事例³⁾

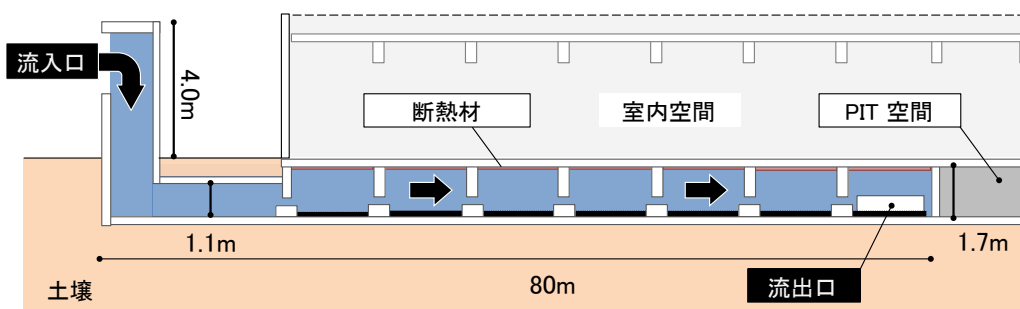


図 5-33 躯体蓄熱空調 (TABS) の導入事例⁴⁾

5.2.2 躯体蓄熱放射空調の最適制御^{3),5)}

1) 研究背景及び概要

躯体（主にコンクリートスラブ）の熱容量を活用した躯体蓄熱型放射冷暖房システム（Thermo Active Building System, 以下 TABS）の導入が国内でも試みられている。TABS は躯体の熱容量を利用することで、ピークカットや熱源容量の縮小、コスト削減など、放射冷暖房と比較して高い省エネ・快適性やコストメリットを有している。一方で、熱容量が大きいため熱的応答が遅く、従来の制御方法では天井面温度のオーバーシュートなどが懸念されており、負荷予測を含めた空調制御の最適化が必要不可欠である⁶⁾。

ここでは、モデル予測制御⁷⁾（Model Predictive Control, 以下 MPC）を用いた TABS の最適制御手法を提案すると共に、省エネ性や快適性を目的関数とした単目的(省エネ性のみ)及び多目的(省エネ性+快適性)の最適制御について、MATLAB/Simulink⁸⁾や非定常 CFD 解析による検証結果について紹介する。

2) 対象建物

対象建物は東京都に位置するオフィスビルであり、図 5-34 の基準階システム断面図に示すように梁に対して床スラブが凹凸型の形状となっている。梁脇にできた凹形状部分を上階所属の AHU 床吹出の空間、凸形状部分を下階所属の AHU 吸込の空間というように風の道として利用している。また、凹部分のスラブ上に冷温水の配管と断熱材を敷設してスラブ下面を放射面としている。

3) 解析概要

3-1) MPC による単目的最適化

TABS は躯体の熱容量が大きく、熱的応答性が遅いため、これまで空調制御に主に用いられてきたフィードバック型の ON/OFF 制御等では制御が困難となる。そこで、本研究では MPC（図 5-35）をベースとした最適制御手法を提案し、MATLAB/Simulink を用いて TABS の天井面温度の制御を試みる（図 5-36, 図 5-37）。MPC は未来の制御量(天井面温度)の挙動を予測しながら現時点の最適な操作量(送水流量)パターンを決定する制御であるため、熱的応答性の遅い TABS の制御には適している手法である。しかし、各タイムステップで未来の制御量の動きを予測する必要があるため、操作量と制御量の動的な関係を表現する予測モデルが必要となる。本研究では、計算負荷を勘案して一次遅れ+むだ時間系のステップ応答モデル(伝達関数)を CFD 解析により作成する。この伝達関数を用いて、重ね合わせの原理により天井面温度と室温の動的予測が可能となる。以降での解析ではまず事前解析として、この予測モデルによる室温・天井面の時系列変化と実測値及び CFD 解析の結果を比較することによって、同モデルの予測精度の検証を行う。次に、MPC を用いた TABS の送水流量制御による天井面温度の制御性能に関する検証を行う。

3-2) MPCによる多目的最適化

上記の通り単目的最適化では、AHUとTABSを併用した最適運用条件を決定し、それらを目標値としてMPCにより天井面温度制御を行っている。一方、TABSの運用に際しては、快適性(天井面温度に対応)を維持しつつ、十分な省エネ性能を発揮することも重要な運用課題である。ここでは、MPCを用いて快適性のみならず、省エネ性を目的関数とした多目的最適化に関する検討も行う。

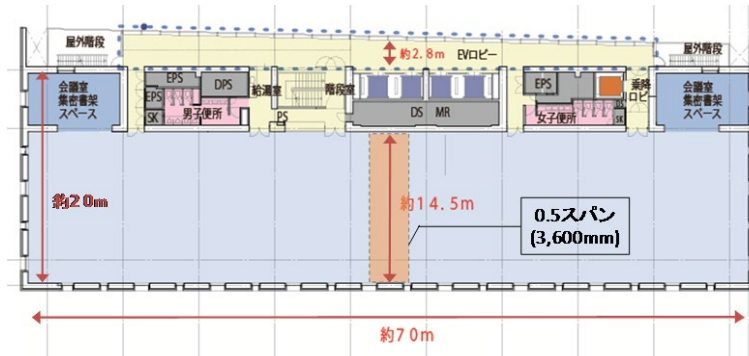


図 5-34 対象建物平面図

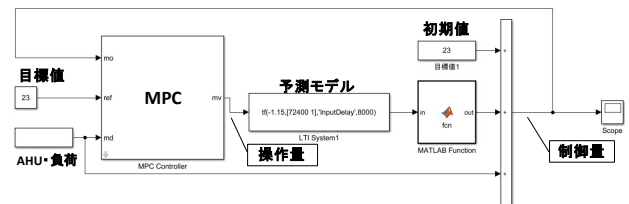
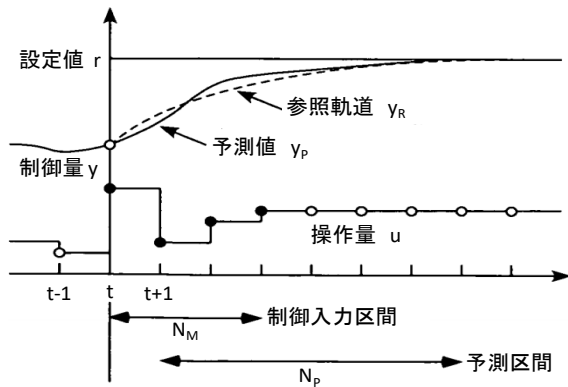


図 5-35 モデル予測制御 (MPC) のイメージ

図 5-36 SimulinkにおけるTABSのMPCモデル

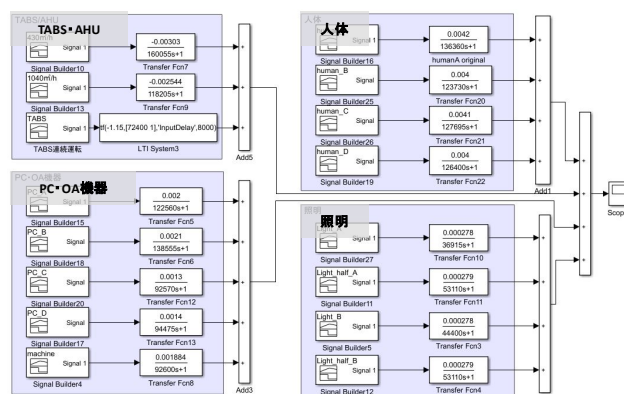


図 5-37 Simulinkにおける予測モデル

4) 事前解析の概要及び結果 (予測モデルの精度検証)

事前解析ではまず比較対象とした実測において熱負荷の同定が困難であったため、Simulinkにおいて予測モデルを用いた室温の解析結果が実測値と概ね一致するような負荷スケジュールを試行錯誤的に探索する。次にこの負荷スケジュールを入力条件とした予測モデルの結果とCFD解析の結果(室温及び

天井面温度)を比較することによって、作成した予測モデルの予測精度の検証を行う。なお、室温は内部負荷や AHU からの影響(変動)が天井面温度よりも顕著に表れ、負荷パターンの予測が容易となるため事前解析の制御対象としては室温を用いている。また、本解析における CFD 解析では、空気及び冷水の流れ場・温度場の解析に加え、固体内の熱伝導及び固体表面間の放射熱伝達を連成させた非定常解析を行っている。

4-1) 解析モデル

図 5-37 に Simulink における解析モデル(予測モデル)を示す。解析モデルでは、人体、OA 機器、デスク等を再現している。予測モデルは、基準階 0.5 スパン分(図 5-34)の対象空間を再現した CFD 解析モデル(図 5-38)を用いて、ステップ応答を取得し、これをもとに作成している。ここで TABS のステップ応答を取得する際、熱的応答が遅いためステップ入力に対するステップ応答の変動がみられるまでに、むだ時間が発生する。そのため、Simulink の解析モデルにおいて実現現象を再現するよう、むだ時間を考慮した予測モデルを作成している。また、CFD 解析モデルの躯体放射部分に関しては、厚さ 125mm のスラブ上に配管を 150mm ピッチで敷設し、モルタルと断熱材で抑える構成となっている。なお、冷水配管周辺のみマルチブロックを挿入し、解析精度の向上を試みている。また建物の断面特性より、上下階に対応する境界について同様の温度・風量を与えるようにサイクリック的な境界条件を設定する等の工夫を施している。

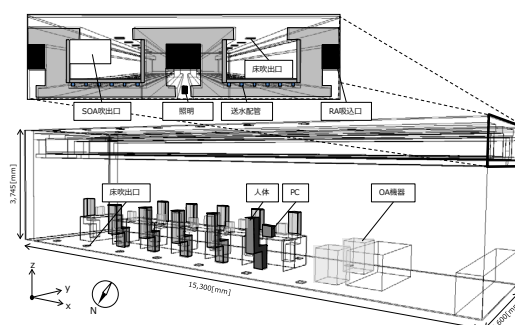


図 5-38 TABS の解析モデル(0.5 スパン分)

4-2) 解析条件

Simulink における解析期間は助走期間を 1 日間、解析期間を 1 日間とした。実測時の稼働条件を踏まえ、TABS は常時 4L/min・16°C で送水し、AHU は負荷ピーク時(13:00~19:00)のみ最大風量、他の時間帯は最小風量とした。また CFD 解析も同条件とし、表 5-9 に解析条件を示す。

4-3) 解析結果

図 5-39 に室温に関する Simulink の解析結果及び対応する実測結果を示す。解析値と実測値は、概ね挙動が一致する結果が得られた。よって、この解析にて用いた負荷スケジュールを用いて CFD 解析を行った。図 5-40 に室温と天井面温度における Simulink と CFD の解析結果を示す。図より室温、天井面温度共に両予測結果は挙動が一致しており、本研究にて作成した Simulink の解析モデルの有効性が確認できた。この Simulink モデルを以降に示す解析においても使用する。

表 5-9 CFD 解析条件

解析領域	3.6m(x)×15.3m(y)×3.745m(z)
メッシュ数	ルートブロック 53(x)×140(y)×56(z)=415,520 親ブロック 115(x)×264(y)×12(z)=364,320 配管ブロック 131(x)×296(y)×3(z)=116,328 total =896,168
流入条件	流量：430 m ³ /h（最小）, 1,040 m ³ /h（最大） $k_{in\phi}=(U_{in\phi}/10)^2$, $\epsilon_{in\phi}=C_{\mu}^{3/4} \cdot k_{in\phi}^{3/2}/l_{in}$
流出条件	自由流出条件, 流量固定
配管流入口	温度:16°C 流量 4L/min $k_{in\partial}=(U_{in\partial}/10)^2$, $\epsilon_{in\partial}=C_{\mu}^{3/4} \cdot k_{in\partial}^{3/2}/D$
配管流出口	自然流出条件
乱流モデル	標準 k-ε
その他壁面	速度:対数則, 温度:対数則
内部発熱	照明:39W/本 計 16 本 OA 機器:52.2W/台(PC:1 台/人+機器:4 台分(208.8W)) 人体:70W/人 11 体
$U_{in\phi}$: 吹き出し風速[m/s], $k_{in\phi}$: 吹き出し風の乱流エネルギー[m ² /s ²], $\epsilon_{in\phi}$: $k_{in\phi}$ の散逸率[m ² /s ³], C_{μ} : モデル定数(=0.09) [-], l_{in} : 吹出口代表長さ[m] $U_{in\partial}$: 冷水流速[m/s], $k_{in\partial}$: 冷水の乱流エネルギー[m ² /s ²], $\epsilon_{in\partial}$: $k_{in\partial}$ の散逸率[m ² /s ³], D: 管の内径[m]	

表 5-10 CFD 解析条件

運用条件	夏期	
天井面温度[°C]	23	
室温[°C]	1.7m	26.0
	1.1m	25.5
床吹出口温度[°C]	22~23.2	
SOA+SA 温度[°C]	最大風量時	20.5
	最小風量時	21.5

5) 単目的最適化の概要及び結果（制御手法の検証）

事前解析の検証結果を踏まえ、天井面温度が目標値となるように、TABS の送水流量を MPC により制御する解析を MATLAB/Simulink を用いて行う。さらに、MPC により最適化された送水流量パターンを CFD 解析の入力条件として与え、制御手法の有効性を検証する。なお、本解析は夏期を想定した上で、既往研究⁹⁾にて決定した天井面温度及び室温の最適運用条件を目標値としている。

5-1) 解析条件

Simulink の解析期間は平日を想定し、5 日間としている。TABS の送水流量は実運用時を想定し、0L/min または 4L/min の ON-OFF 制御とし、送水温度は 16°C 一定としている。また、天井面温度は床吹出空調（以下、AHU）の影響も受けるため、AHU による室温制御も同時に行っている。ただし、AHU は室温への熱的応答が早いため ON/OFF 制御、TABS は MPC としている。さらに、室温制御における計算時間間隔は 5s、また天井面温度制御における計算時間間隔は 100s とし、TABS の熱容量を考慮するよう予測区間を 1,000 ステップ、制御入力区間を 10 ステップとしている。TABS が応答するまでのむだ時間は 8,000s とし解析を行っている。また、CFD 解析は非定常解析とし、解析条件は事前解析と同様である。解析期間は、Simulink による解析の 1 日目と同様の期間を助走期間とし、Simulink による解析の 2 日目を本解析としている。さらに、TABS 送水流量パターン及び AHU 送風量パターンは Simulink により最適化されたものを入力として与えている。本解析では事前解析にて決定した負荷スケジュールを用いている。

5-2) 解析結果

図 5-41 に MPC による最適制御を行った場合の天井面温度及び室温の解析結果を示す。網掛け部分

が TABS 送水流量 0L/min の時間帯である。Simulink 及び CFD の両解析結果共に、低負荷となる時間帯（1:00～9:00）において天井面温度及び室温が設定温度よりも 1°C以上低くなるものの、他の時間帯は概ね設定温度±0.5°C以内となることが確認できた。更に、Simulink による 5 日間の解析結果より、天井面温度が 5 日間通して概ね設定温度に制御されていることも確認している。このことから、MPC により周期的な負荷変動に対しても対応可能であると推察される。図 5-42 に代表時刻の鉛直面及び水平面温度分布を示す。居住域における温熱環境が快適範囲におさまっており、居住域に関しては設定温度±0.5°C 以内に概ね制御されている。

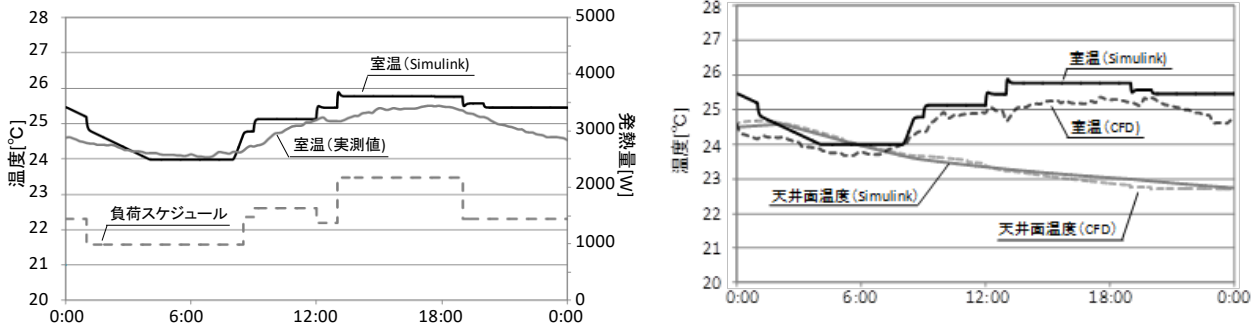


図 5-39 Simulink と実測値の室温の比較 (事前解析) 図 5-40 Simulink と CFD の比較 (事前解析)

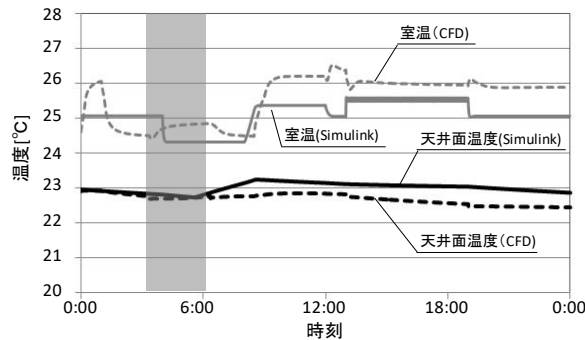


図 5-41 最適制御を行った天井面温度,室温の解析結果

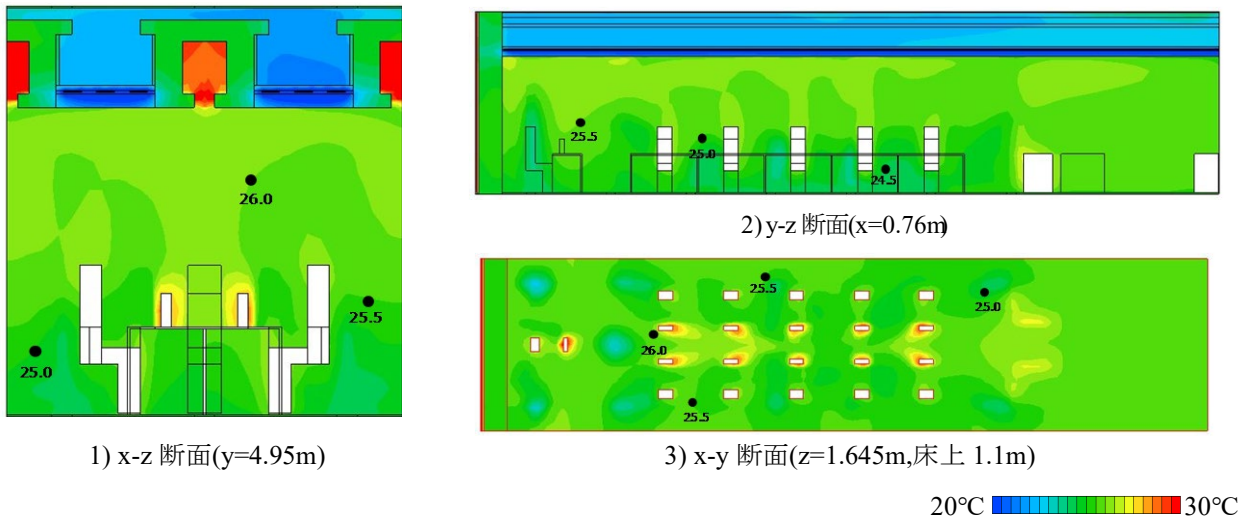


図 5-42 代表時刻(14:00)における鉛直面温度分布 20°C 30°C

6) 多目的最適化の概要及び結果（制御手法の検証）

事前解析にて有効性が示された Simulink 解析モデルを用いて、MPC による多目的最適化を行う際の操作量と制御量の重み係数に関するケーススタディを行い、パレート解を探索する。次に、CFD 解析の入力条件として Simulink 解析モデルにて最適化された操作量(送水流量)を用い、TABS を MPC にて多目的最適化を行った解析に加えて、古典制御(ON/OFF 制御)を行った解析を実施し、快適性、省エネ性、制御性能、室内温熱環境の観点から評価する。なお、快適性に関しては PMV、エネルギー消費量に関しては積算送水流量で評価する。

6-1) 解析条件

まずパレート解探索のための重み係数に関するケーススタディとして、操作量変化率の重みを 0.1 とし、制御量と操作量の重みを変化させたパレート解を探索した。次に、ケーススタディとして Case0~Case3 の CFD 解析を行う。Case0 は ON/OFF 制御で TABS を制御したケース設定とした。多目的最適化のケース設定として、Case1 は快適性を優先させたケース、Case2 は快適性及びエネルギー消費量と同じ重みにしたケース、Case3 は省エネ性を優先させたケース設定とした。表 5-11 にケーススタディにおける Simulink の解析条件を示す。両解析とも解析期間は事前解析を 1 週間、本解析を 1 週間とした。休日においては TABS と AHU は稼働せず、休日の負荷は平日の 2 割としている。更に、天井面温度と室温を制御しており、それぞれの目標値は 24.0°C、27.0°Cである。但し、室温及び Case0 の ON/OFF 制御は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ のデッドバンドを設けて制御している。また、送水流量は解析時間を考慮して Simulink により最適化された送水流量の近似値を与えている。

表 5-11 Simulink の解析条件

予測モデル (Prediction Model)		伝達関数モデル (1次遅れ+むだ時間系)
時間間隔		TABS:1,800s, AHU:5s
予測ホライズン H_p		48step
制御ホライズン H_u		24step
内部発熱	人体	8.43W/m ²
	PC・OA 機器	20W/m ²
	照明	12W/m ²
床吹出空 調	風量	430~1,040m ³ /h
	温度	26°C
TABS	送水温度	16°C

6-2) 解析結果

図 5-43 に天井面温度の CFD 解析結果を示す。Case0 では、主に熱的応答の早い AHU によって負荷処理が行われているため、天井面温度に若干のオーバーシュートが確認できる。次に Case1 は制御量の重みが大きいため概ね目標値に制御されている。しかし、TABS の熱容量の大きさにより目標値に達するまで 12 時間以上を要しており、週明けの立ち上がり時に放射による冷却効果を得るには、休日からの運転を行う等の対応が必要である。また、図 5-44 に室温と MRT の CFD 解析による結果を示す。室温は概ね設定値に制御されており、MRT は天井面温度の挙動と一致し、放射による冷却効果が得られるまでに時間を要している。図 5-45 に床上 1.1m における PMV の時系列変化を示す。いずれのケースも

快適域を満たしており、室内温熱環境も概ね良好である。図 5-46 に平日 5 日間における各ケースの天井面温度における制御性能の比較結果を示す。Case0 以外の他のケースは温度変動幅が小さく、特に Case1 では目標値を追従しており、MPC の制御性能が良好であることが示唆された。また、図 5-47 に TABS の積算送水流量及び、AHU の積算風量を示す。なお、図中央は Case0 の積算送水流量(5 日間)を 1 としたときの割合、図右端は同様に Case0 の AHU 積算風量を 1 としたときの割合をそれぞれ示している。Case1、Case2 では常時送水しているが、Case0 の方が他のケースよりも各日の積算送水流量が大きい。また Case3 は Case0 と比較すると 76% の削減効果が期待できる。しかし、送水流量の削減率が大きいほど AHU の積算風量が大きくなるが、その上昇分はわずかである。以上より、MPC による多目的最適化によって快適性を維持しつつ TABS 送水流量の削減可能性が示唆された。空調 1 次側を含めたエネルギー消費量の評価に関しては今後の検討課題である。

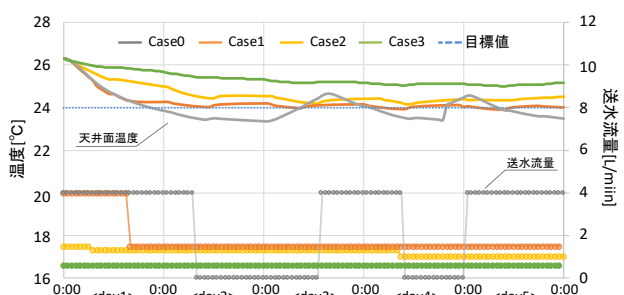


図 5-43 CFD 解析による天井面温度と送水流量の時系列変化

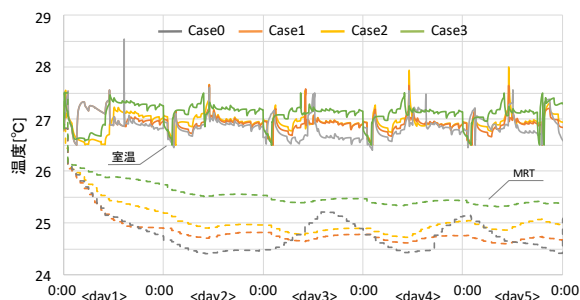


図 5-44 CFD 解析による室温と MRT の時系列変化

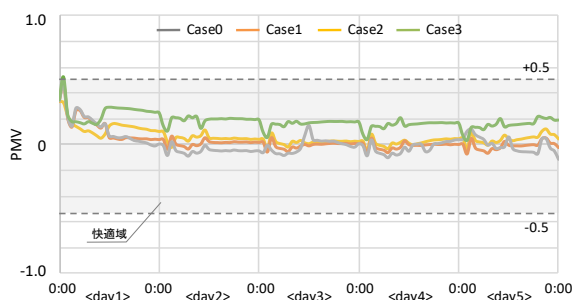


図 5-45 CFD 解析による PMV の時系列変化

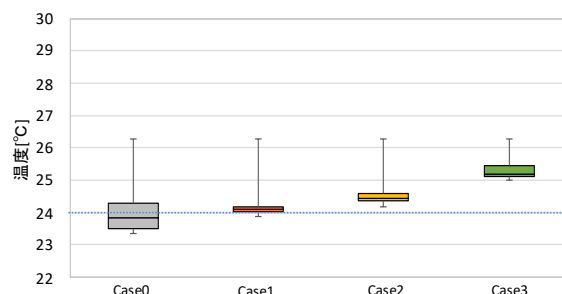


図 5-46 各ケースにおける制御性能の比較

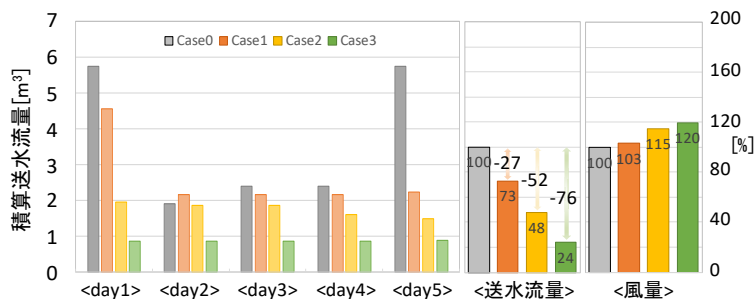


図 5-47 TABS の積算送水流量及び AHU の積算風量の比較

5.2.3 土壌熱交換システムの最適制御¹⁰⁾

1) 研究背景及び概要

近年、パッシブ技術の一つである土壌熱交換システムの導入事例が増加している。特に本研究にて対象とする地下ピット方式は、学校や病院など、定常的に外気の導入が必要になる大・中規模建物にて採用が進んでいる。一方、システム内での結露の発生や高湿度環境が維持されることに由来する導入外気の空気質汚染も懸念されている。このため、運用段階においては地下ピット経由での外気導入のタイミングやその風量について、システムの環境の情報から将来的な環境を予測・評価し、動的に制御を行う必要がある。制御手法に関しては様々なものが提案されているが、実装のハードル、制御性の観点で機械学習は極めて効率的に制御側を構築できることから近年注目が集まっている。その中でも特に、強化学習は図 5-58 に示すように制御対象から得られる状態と独自に設定する報酬から、制御行動を決定するプロセスである。

このため、ユーザー側が制御則を構築する必要がなく、状態が膨大となる複雑な問題に対しても応用が容易であり、本システムのみならず、建築設備全体の運用最適化のような問題にも対応できる手法である。

ここでは、筆者らが開発した土壌熱交換システムの長期性能予測手法^{11,12)}（以下、非連成解析）を環境とした強化学習を実装し、省エネ効果と結露発生の抑制を両立させた制御則の構築及びその検証結果を紹介する。

2) 強化学習の概要

機械学習は教師あり学習・教師なし学習・強化学習に大別される。このうち強化学習は、行動により報酬が得られる環境を構築し、各状態において報酬を最大化する行動が出力されるように試行錯誤的に行動の選択に関わるパラメータの調整を行っていく手法である。強化学習の問題設定においては「次状態 s_{t+1} は現状態 s_t とそのステップでの行動 a_t のみに依存し、報酬は現状態 s_t と次状態 s_{t+1} に依存する」というマルコフ決定過程 (MDP) を仮定する。MDP の前提条件を数式化したものがベルマン方程式 (行動価値関数) であり、(1)式 (以下、Q 関数) のように表現される^{注2)}。なお、式中の E は期待値を示す。

$$Q^\pi(s, a) = E(R_{t+1} + \gamma Q^\pi(s_{t+1}, a_{t+1})) = \sum_{s_{t+1}} P(s_{t+1}, a_t) [R_{t+1} + \gamma \sum_{a_{t+1}} \pi(s_{t+1}, a_{t+1}) Q^\pi(s_{t+1}, a_{t+1})] \quad (1)$$

2-1) Q 学習の概要

MDP に基づき、各状態 s において最適行動価値関数 Q^* となるような行動をとる方策 π を決定することで、最も多くの報酬を得ることができる。Q 学習では(1)式の Q 関数に対して s_t 、 a_t 、 r_{t+1} 、 s_{t+1} を入力とすることで環境の各状態における最大の行動価値 (最適な行動選択肢) を推定し、行動を決定する。しかし、初期状態のベルマン方程式は右辺の Q 値が未知であるため、(1)式を求めることができない。そこで、TD 誤差と呼ばれる誤差関数を定義し、試行を繰り返して誤差を 0 に収束させる方法をとる。詳細は下記の式の通りとなる。

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow Q(s_t, a_t) + \eta (R_{t+1} + \gamma \max_{a_{t+1}} Q(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q(s_t, a_t)) \quad (2)$$

η は学習率であり、右辺第二項の TD 誤差の更新量を決定する。 γ は時間割引率と呼ばれ、報酬を早く、多く貰うように行動を決定するための係数である。学習を進めていき、更新による差がなくなるとベルマン方程式が成り立つこととなり、最適な行動が可能になる。

2-2) Deep Q-Network(DQN)の概要¹³⁾

ディープラーニング技術が発達する以前の強化学習のうち、方策オフ型のアルゴリズムは Q 値を s, a の範囲・インデックスに応じた表形式 (Q-Table) に格納して適宜表の Q 値の取り出し・更新を行う手法 (2.2.1 の Q 学習) が一般的であった。しかし、状態変数の種類が多い中で各変数を細かく離散化すると、Q-Table のサイズが膨大になり、学習の収束が非現実的なものとなる。この問題に対して DQN では Q 値の推定・更新において表ではなく Deep Neural Network (DNN) を用いる。DNN での Q 関数の代替により、状態値を連続値で入力できるなどの利点から、行動価値関数の表現が向上し、より複雑な学習が可能となった。Tianshu ら¹⁴⁾はビルの HVAC システムに強化学習アルゴリズムを導入し、夏季における室内の快適性とエネルギー消費の最適制御を Q 学習と DQN で比較している。Q 学習では状態数が多く、制御性能が低くなり、室内温熱環境が快適範囲外の頻度が高くなったが、DQN では快適範囲内に維持しながらエネルギー消費量の削減が可能となることを示している。また、William ら¹⁵⁾は室内温熱環境と空気質の快適性及びエネルギー消費量の多目的最適化に DQN を用いて、空調制御を行っている。解析及び実建物における実験にて従来の空調制御と比較を行い、DQN による制御の有効性を示している。このように DQN は建築空間等の状態変数が多くなる複雑な課題に対して適用が可能であり、近年注目されているアルゴリズムといえる。本研究ではこの DQN を用いてシミュレーション上での制御を試みる。CFD 解析 (非連成解析) を環境とした場合の DQN の学習時と推論時の概要を図 5-48 に示す。このサイクルを何度も繰り返すことで、(2)式で示す TD 誤差が 0 となるように DNN の重みやバイアスを更新し、収束させる。

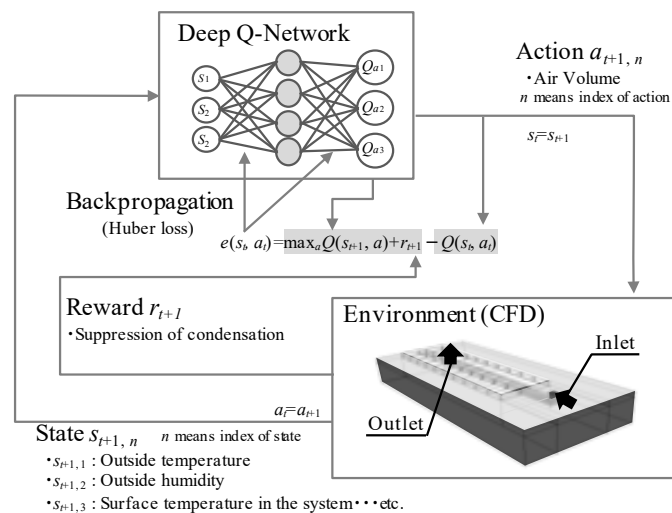


図 5-48 強化学習の概要

3) 解析概要

3-1) CFD (非連成解析) の概要

学習対象の CFD 解析モデルを図 5-49 に示す。既往研究¹¹⁾より土壌熱交換システムにおける性能予測時の流れ場の変化は緩慢であり、システムの風量を揃えれば浮力等の影響を受けないことを確認している。非連成解析では計算時間の大幅な短縮を目的として、事前の解析で用意した風量毎の流れ場を適宜読み込み、随時流れ場を切り替えるものとした。強化学習の制御では事前に設定した風量のスケジュールに介入し、その流れ場が切り替わるタイミングで状態 s 等の情報を強化学習に受け渡し、行動 a (風量) を得ることで各時刻での流れ場を決定している。DQN との同期 (流れ場の切り替え) タイミングは

1 時間に一回とした。なお、強化学習との連携にあたり、DQN の収束に要するエピソード数^{註 3)}のオーダーが未知数であったため、本報ではメッシュや形状を簡略化したシステムにてモデル化を行っている。

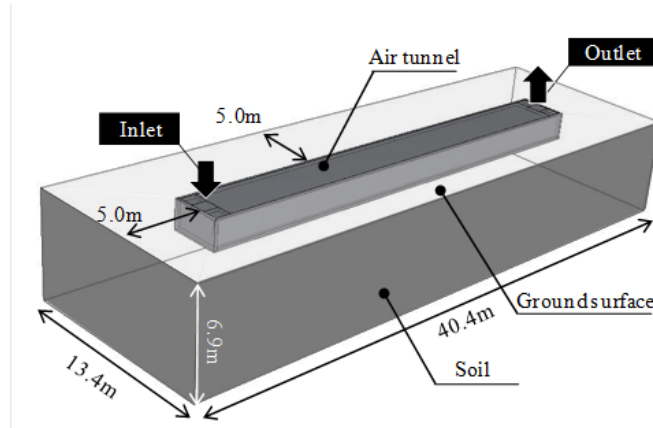


図 5-49 CFD 解析モデル

3-2) 強化学習の概要

CFD と連成させる強化学習の手法は Mnih らより提案されている DQN¹³⁾ (ver. 2013, 2.2.2 の通り) をベースとする。CFD から受け取る状態 s は、システムの一般的な実運用を鑑みて現実的に取得可能なパラメータである外気温湿度、ピット出口温度、代表点の表面温度や結露の有無とした。また、ニューラ

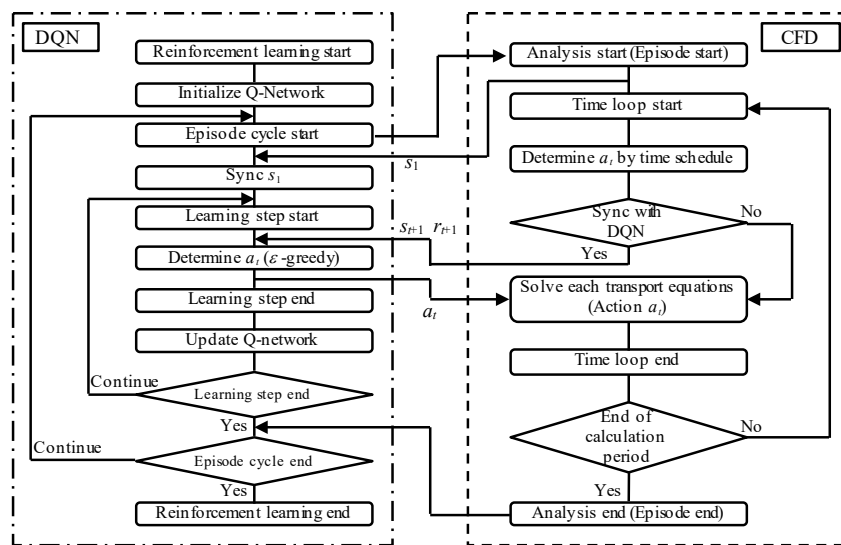


図 5-50 DQN と CFD の連成解析のフロー

ルネットワークは、深くせずとも Q 関数を表現できると考え、今回は試行的に 4 層とした。また、報酬は各エピソード終了時に代表点での結露の発生有無 (r_1) に応じた報酬を試行的に与えており、報酬は各学習ステップにて計算する。DQN と CFD の解析の大まかな流れを図 5-50 に示す。

4) 解析結果

図 5-51 に各エピソードの報酬の総和の推移を示す。同図の横軸はエピソードを示している。学習の初期段階は ϵ -greedy 法によるランダムな選択が約 50% の確率で起きることや、DNN の初期値がランダムに与えられていることなどから、無作為に行動し、報酬の総和が低い状態である。学習回数を重ねるにつれて徐々に報酬の総和は上昇する傾向にある。しかし、報酬の r_1 の定義の通り、報酬の総和が大き

くマイナスに出ていることから、十分に結露を抑制する制御には至っていないため、収束にはさらなるエピソードを要するものと推察される。

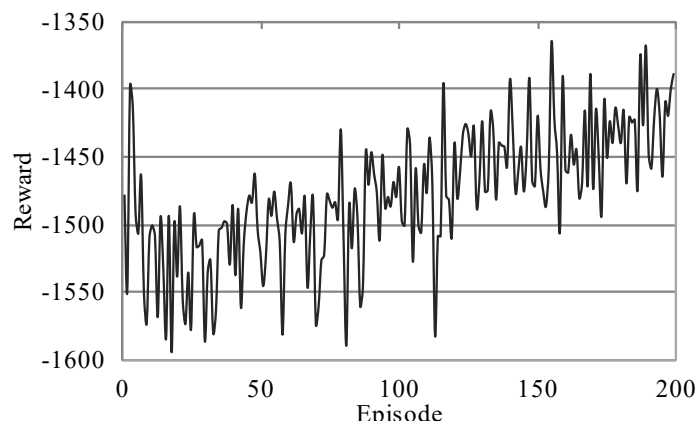


図 5-51 報酬の推移

図 5-52 に処理熱量と結露リスクの指標の一つである、結露面積割合¹²⁾を示す。DQN における年間の処理熱量は 15~18GJ を推移しており、僅かであるが、エピソードが進むにつれて増加している様子が確認できる。結露面積割合も同様に、エピソードが進むにつれて減少しており、結露が抑制される傾向にある。結露が発生すると報酬にペナルティが与えられるため、外気湿度と代表点の表面温度から、結露の発生の有無を考慮して制御されている可能性が示唆された。但し、本解析でのエピソード数では完全に収束していないため、更にエピソードを重ねることでより制御性の高い結果が得られると推察される。

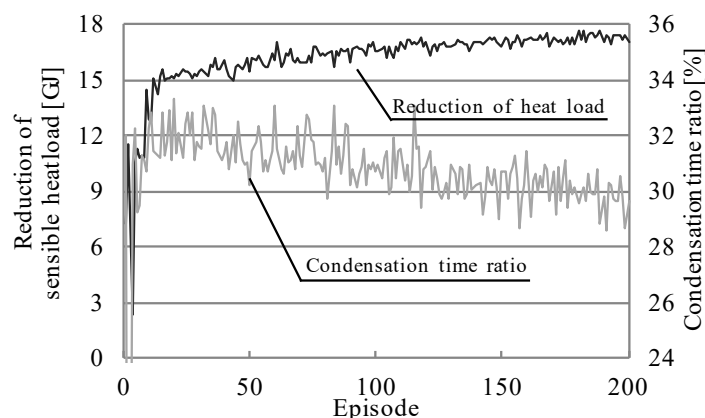


図 5-52 外気の処理熱量と結露時間の推移

本結果から、より多くのエピソードの必要性が示唆されており、収束の早いアルゴリズムの導入可否やニューラルネットワークの大まかな重み・バイアスをすばやく取得するために、より簡易なモデルでの事前解析による転移学習（ファインチューニング）等の検討が必要と考える。

図 5-53 に月別処理熱量を示す。夏季に比べ、冬季の処理熱量の方が高くなっている。これは夏季の外気温度とピット表面温度の差よりも冬季のその差のほうが大きい分、対流熱伝達量が多くなるためと推察される。

以上、土壌熱交換システムの運転制御に強化学習(DQN)を組み込んだ場合の試行的な検証結果を示した。結果として、学習が進むにつれて、結露が抑制され、予冷・予熱量が増加する傾向が確認された一

方、報酬設計やハイパーパラメータの再検討等の課題も明らかになった。この点は今後の検討課題と位置づけている。

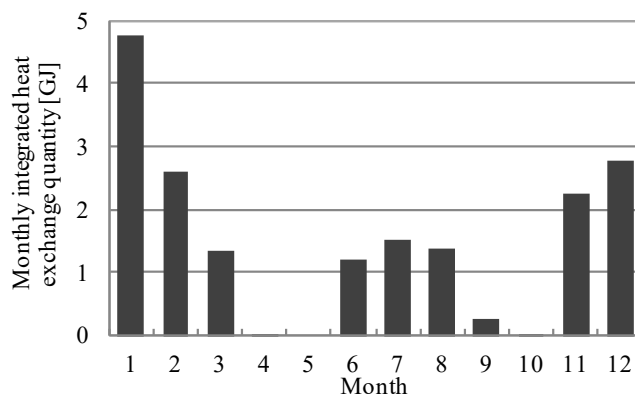


図 5-53 月別の外気の処理熱量

5.2.3 まとめ

建築設備一体化技術として、躯体蓄熱放射空調及び土壌熱交換システムを取り上げ、それらを対象として環境シミュレーション・自動制御・AI 技術を駆使した最適制御に関する研究事例を中心に紹介した。建築物の運用段階における省エネ化や ZEB 化の社会的要求は年々高まっている。建築設備一体化技術は建築設計と設備設計の双方の設計が相乗効果を発揮し、より高い省エネ性能が期待できるため、今後益々注目される技術であると言えよう。しかし、複雑なシステムほど定常性能のみならず、非定常的な性能を高めるための動的な運用・制御手法が必要となり、これにより設計段階において想定された、もしくはそれ以上の性能を発揮することができ、同技術が設計段階から運用段階において“適応”できるようになる。このような考え方は、すまいに関しても同様にあてはまる。

本報告では、運用段階における適応のため、モデル予測制御や強化学習を用いた最適化手法について紹介した。しかし、建築設備一体化技術は通常、相互干渉性の強い多入出力制御であることに加え、制御対象である室内環境（温熱環境、空気清浄度、光環境等）や建築設備（空調、照明等）も多様であるため、その最適化や制御のためには、建築環境・設備工学のみならず、制御工学、通信、最適化理論、人工知能など工学のありとあらゆる分野の知見を総動員させた研究が今後重要となると思われる。この点は筆者としても今後の検討課題として位置づけている。

5.2.4 おわりに

以上、すまいに限定せず、建築設備一体化技術の適用の重要性を示したが、同様の考え方をすまいに当てはめることは可能である。上記を踏まえ、最後にすまいのエネルギーマネジメントの推進として、提言（案）をまとめると以下のように要約することができる。

すまいのエネルギーマネジメントの方法には、①断熱気密や日射調整などの建築的工夫によるエネルギー負荷の低減、②太陽光・風力・地熱などの再生可能エネルギーの活用、③高効率な設備計画や最適運転制御によるエネルギーの有効利用がある。人間生活や住まいの目的用途に対応して、上記①～③を効果的に組み合わせる一体化技術の構築とその普及は重要な研究課題と言える。また供給サイドでも、再生可能エネルギーの導入が増えてきているが、再生可能エネルギーは需給バランスを取ることが難しいという欠点がある。すまいのエネルギー消費量はひとつひとつは小さいが、すべて合わせると日本全

体のエネルギー使用量の14%を占めており、電力需給バランスの大きなリソースとして期待されている。具体的には、蓄電池、電気自動車のほか、コージェネレーションシステム、ヒートポンプ給湯器など、住宅内の多様な機器活用することにより、需要サイドでの調整が可能となる。さらに、多数の住宅が集積する街区等では、各々の住宅の機器を遠隔・統合制御することで、調整力が増大することが期待される。

[注釈]

【補表】

環境 (モデル)	実際に行動 (制御) する対象。
状態 s	モデルが置かれている状況を示す。
行動 a	モデルの実際の行動。
報酬 $r_t = R(s_t, a_t, s_{t+1})$	状態 s や行動 a から得られる報酬を意味する。 R は報酬を定義する関数であり、 t は学習ステップを示す。
遷移確率 $P(s_{t+1} s_t, a_t)$	状態 s_t で行動 a_t をとったときに s_{t+1} となる確率。
方策 π	状態 s のときに、どのような行動 a をとるのかを定めたパラメータである。各状態 s 、各行動 a での離散型確率変数。
行動価値関数 $Q^\pi(s, a)$	状態 s において行動 a をとるときの価値を示す関数。

- 1) その他、ダブルスキンや光ダクト等も建築設備一体化設備と位置づけられるが、ここでは筆者がこれまでに関わってきたプロジェクトに関する技術として、①～③の技術を中心に取り上げている。
- 2) (1)式及び(2)式中の記号は上記の補表の通りである。
- 3) エピソード数とは CFD 解析の実行回数を示す。

【参考文献】

- 1) <http://www.enecho.meti.go.jp/>
- 2) 坂本知也, 富安雄太, 白石靖幸, 打川芳恵, 中村靖, 実測・数値シミュレーションによる年間の運用実績及び省エネ効果の推定, 流量制御機能を有する給排気口を設置したオフィスビルにおける自然換気及び空調システムの併用手法に関する研究 (第三報), 日本建築学会環境系論文集, 第 703 号, pp.777-784, 2014 年 9 月
- 3) 小川陽平, 白石靖幸, 吉田亘佑, 片岡えり, 佐藤孝輔, 外断熱建物における躯体蓄熱利用放射システムに関する研究, (第 8 報)モデル予測制御手法を用いた最適制御手法の提案, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (名古屋), J-69, pp.401-404, 2018 年 9 月
- 4) 牟田彬俊, 白石靖幸, 塘田研仁, 実測調査と流れ場の計算負荷を低減した非定常 CFD 解析による 8 年間の性能検証, 一土壌熱交換システムの 長期運用 に伴う 予冷・熱 特性 (その 1), 日本建築学会環境系論文集, 第 750 号, pp.711-718, 2018 年 8 月
- 5) 小川陽平, 白石靖幸, 佐藤孝輔, 片岡えり, 吉田亘佑, 外断熱建物における躯体蓄熱利用放射システムに関する研究, (第 14 報)モデル予測制御手法を用いた多目的最適化, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (北海道), 2019 年 9 月
- 6) Yongjun Sun, Shengwei Wang, Fu Xiao, Diance Gao, Peak load shifting control using different cold thermal energy storage facilities in commercial buildings: A review. Energy Conversion and Management 71 (2013) 101-114.

- 7) 萬田雄己, 白石靖幸, 桑山絹子, 飯田玲香, 大貝晴俊, 建物総合 ES ツールと CFD の連成解析による空調性能シミュレータに関する研究 (その 3), モデル予測制御を組み込んだ場合のケーススタディ, 空気調和・衛生工学会論文集, No.22, pp.169-172, 2017 年 9 月
- 8) <http://jp.mathworks.com/products/matlab/>
- 9) 桑山絹子, 小川陽平, 白石靖幸, 吉田亘佑, 片岡えり, 佐藤孝輔, 外断熱建築における躯体蓄熱型放射+床吹出空調システムに関する研究, 第 11 報 冬期における PMV の設定条件を変更した場合の最適運用条件, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 環境工学II, pp.1453-1454, 2018 年 9 月
- 10) 塘田研仁, 花田将樹, 白石靖幸, 強化学習による土壌熱交換システムの最適制御, -Deep Q-Network と CFD の連成解析による検証-, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (北海道), 2019 年 9 月
- 11) 塘田研仁, 白石靖幸, 流れ場の計算負荷を低減した CFD 解析による土壌熱交換システムの年間性能予測 -土壌熱交換システムの冷却, 加熱効果の予測手法に関する研究 (その 2) -, 日本建築学会環境系論文集, Vol.81, No.722, pp.393-401, 2016.4
- 12) 塘田研仁, 牟田彬俊, 白石靖幸, 年間シミュレーションによる結露予測及び結露抑制策の有効性の検討 土壌熱交換システムの冷却・加熱効果の予測手法に関する研究(その 3)-, 日本建築学会環境系論文集, Vol.82, No.736, pp.579-587, 2017.6
- 13) Mnih et al. : Playing Atari with Deep Reinforcement Learning, NIPS Deep Learning Workshop, Machine Learning, 2013.12
- 14) Tianshu et al. : Deep Reinforcement Learning for Building HVAC Control 2017 ACM. ISBN 978-1-4503-4927-7/17/06
- 15) William et al. : Energy optimization associated with thermal comfort and indoor air control via a deep reinforcement learning algorithm Building and Environment 155 (2019) 105-117

[あしがき]

- 1.の報告内容は、佐藤孝輔、片岡えり、吉田亘佑（以上、株式会社日建設計）との共同研究によるものである。
- 2.の報告内容は、塘田研仁（株式会社松田平田設計）との共同研究によるものである。

5.3 環境設計・運用における AI 利用の可能性

5.3.1 環境設計・運用において必要とされる AI

人工知能 (AI) を IT 用語辞典¹⁾ で調べると「人工知能とは、人間にしかできなかったような高度に知的な作業や判断をコンピュータを中心とする人工的なシステムにより行えるようにしたもの。」とある。しかしながら、上記はかなり広い内容の定義であり、具体的な定義になると研究者ごとに異なり、明確な定義は存在しない状態である。また時代ごとにとらえ方も大きく異なる。例えば専門家 (エキスパート) の行動パターンを模擬したエキスパートシステムは、人工知能の第一世代 (1950 年代～) から存在するが、当時のものは非常に初歩的な二値制御や差分制御等を構成要素とした条件判断に基づくルールベースの知識エンジンである。もちろんこれも AI の一種であるが、今日の人々がイメージしている AI は機械学習やディープラーニング等であり、今現在これを AI と呼ぶ人は少ないように思う。ここで議論するものも現代の人々がイメージする AI とする。図 5-54 に現時点での AI の分類を示す²⁾。かなり細分化されているが、各分類要素は相互に関連性を有する。建築の環境設計・運用に必要なのは、上述のように、条件を変化させたときに結果がどう変わるかの予測能力 (図中 deep learning や machine learning に基づく)、や最適解の探索能力 (図中 planning scheduling & optimization に基づく) である。ここではその 2 つについて議論する。

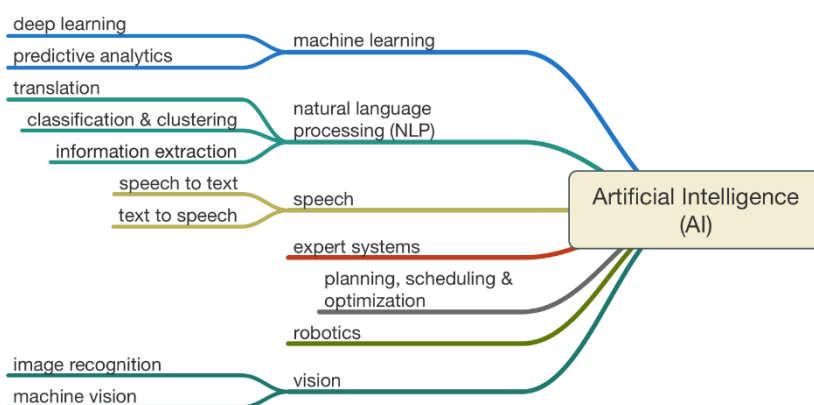


図 5-54 AI の分類²⁾

上述のように設計プロセスの中では設計パラメータを変更したときにどのような状態になるのかを予測する必要がある。また運用最適化においても将来の状況並びに、制御パラメータを変更したときに、それぞれの機器や対象がどのような性状を示すのかという予測をする必要がある。近年の AI はそれらの能力を大きく発展させてきた。特に 2000 年代以降の発達したディープラーニングは、特徴量抽出能力に基づく高精度な予測能力を有している。例えば建物の省エネルギー性能、環境品質の予測、将来のエネルギー需要予測、エネルギー機器の性能予測である。もちろん、これらの予測については従来から研究が行われ、さまざまなモデルが提案されてきた。ただし、それらの多くは簡易な統計モデルや物理モデルに基づくものである。簡易な統計モデルは予測精度の点で、物理モデルは取り扱いの点で問題がある。物理モデルは、人間が理解できる現象 (例えば、熱は温度の高い所から低いところに向かって流れる等) まで要素を分割し、それを再構築することによってシステムのモデル化を行なうものである。そのモデルのもつ物理的な意味まで落とし込んでいるので、そのシステム像は人間にとって理解しやす

いものとなっているが、多くの場合、要素を再構築する際にイタレーション（繰り返し計算）を必要とするため計算時間を要する。多くの設計プロセス、制御システムにおいて、検討に時間がかかるということが実用上大きな障害となる。一方、簡易な統計モデルによる予測の代表例は線形回帰であろう。入力に対して出力を線形関係で結びつけるものであり、計算が非常に簡便であるのが特徴である。しかしながら入力と出力の因果関係が明確ではなく、非線形問題に適用できないなど、適用範囲に注意しなければならない。AI による予測手法の代表格であるニューラルネットワークやそれを発展させたディープラーニングも、観測データをもとにしているのが統計モデルの一種といえるが（逆に線形回帰は低次のネットワーク手法といえる）、非線形問題にも適用可能であり、線形回帰とは比べものならない程度に予測精度を向上させている。一方、これらの手法は、物理モデルに基づいていないので、人間にとってはブラックボックスとなっており、これらの手法に基づくモデルの原理が理解できない（あるいは非常に理解しづらい）ものであり、どこまで汎用性があるのかが決定できないという問題がある。これは人間の学習による理解のプロセスと、機械（コンピュータ）によるそれとが異なることが原因であると考えられる。

ニューラルネットワークにより現象を再現・予測しようとする試みは、人工知能の第二世代（1980年代～）から行われていた。ネットワークの層数を増やすことにより予測精度を向上できることは、当時からわかっていたが、層数を増やすと勾配消失問題等のために重み係数をうまく見つけることができなかった。第三世代（2000年代～）において、活性化関数を正規化線形関数（Rectified Linear Unit: ReLU）とすることによりこの問題を解決することが可能となり、現在の人工知能ブームにつながる。著者をはじめ多くの研究者が、このような簡単な関数形でなぜ問題が解決するのかと疑問を有するが、これこそが、機械の認知プロセスが人間のそれと異なる部分ではないかと考えている。

次に、最適解を選び出すプロセスを考える。これは可能性のあるすべての選択肢から最適解を選び出す探索手法である。もちろん全ての可能性を検討することが正確な最適解を得ることができる（これを全探索という）。ただこの手法は非常に計算負荷が高く建築設計や運用制御において利用するには実際的な方法とは言えない。例えば一つの機器の1時間ごとのON・OFFの24時間の組み合わせでさえ、 $2^{24}=16,777,216$ 通りの組み合わせが存在する。実際には、ON・OFFのみの制御ということではなく、機器が1台ということもないので、建築全体のエネルギーシステムの最適化ということを考えれば、いかに膨大な数の検討が必要になるかが容易に理解できるであろう。これらの問題を効率的に探索する方法が最適化手法である。大きく、数理的な手法と、メタヒューリスティクス（統計的手法）に分類できる。数理的な手法は最適化問題を解析的に解くもので、代表的なものとしては線形計画法や動的計画法がある。解析的に解くので、解の数学的な厳密性は保証される。ただし線形計画法は、線形問題にしか適用できないという欠点があり、行列式が零に近くなるような問題、非常に複雑な問題になると極端に解くことが困難になる。動的計画法は、非線形問題にも適用可能であるが、全探索ほどでないにせよ、問題が複雑になれば探索数が増大し、計算負荷が増大するという問題がある。一方、メタヒューリスティクスは、人工知能の一つであり、メタ（高次の・汎用的な）とヒューリスティクス（経験に基づく発見的な手法）を組み合わせた造語であり、ほとんど全ての問題に適用できるところにその長がある。メタヒューリスティクスは、大きく遺伝的アルゴリズム（GA）などの進化的アルゴリズムと粒子群最適化（PSO）などの群知能に分類できるが、いずれの方法も次の解候補をどのような手法で見つけるかというところが違うだけで、それ以外に大きな差はない。メタヒューリスティクスは、上述のように非常に汎用的であるが、あくまで発見的な方法であるので、解の数学的な厳密性は保証されていない。そのため準最適化手

法と呼ぶ研究者もいる。メタヒューリスティクスでは、できるだけ効率的に最適解を見つけるために、解と思われる場所の近くを集中的に探索して速く解を見つけることと、できるだけ解の可能性の領域を広げる2つのことが要求される。ただしこの2つの要求は一般に相矛盾することが多い。前者に注力すれば、解は速く求まるが、局所最適解に陥る危険性があり、後者に注力すれば、局所最適解に陥る危険性は減るが、なかなか解が収束しないことになる。広い範囲からできるだけ速く解を見出すことが今後の課題となり、そのような方向での研究が求められる。

5.3.2 AI を利用した戸建て住宅の形状最適化

建物の形状は環境性能に影響を及ぼす。Jin ら³⁾は、環境シミュレーションソフトと組み合わせた形状最適化の研究を行なっているが、形状の自由度が高すぎて、あまり現実的ではない。ここでは、玄関や居間、階段室などを基本ユニットとし、それを組み合わせることにより形状最適化を図る(図5-55)。住宅を構成するユニットは、一般的な4人暮らし戸建て住宅を想定し、居間や和室、主寝室などからなる13部屋を持つものとした。それぞれの部屋における在室者数、機器発熱量などはIBECによる基準⁴⁾をもとに設定した。東京都千代田区を想定し、南北12.5m、東西16mの矩形敷地を設定した。建蔽率は40%とする。

目的関数は消費電力量の総和とし、屋上で太陽光パネルによる発電をおこなうものとした：式(1)。

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \\ & J = \sum \frac{Q_C}{C_C} + \sum \frac{Q_H}{C_H} + \sum W_E + \sum W_L - \sum W_P \quad (1) \end{aligned}$$

熱負荷計算にはEnergyPlus(ver.8.7)を、照度計算にはRadiance(ver.5.0.)を用いた。空調方式は居室ごとの間欠運転とする。室温、外気温ともに22℃以上27℃の場合に自然換気、それ以外で空調機器を使用する。最適化手法に関しては、Ikeda ら⁵⁾が開発したεDE-RJを用いた。

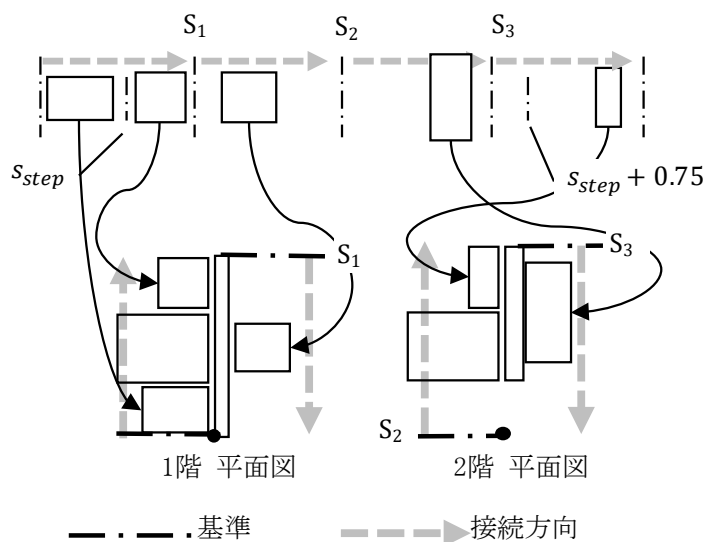


図5-55 部屋の位置関係の決定

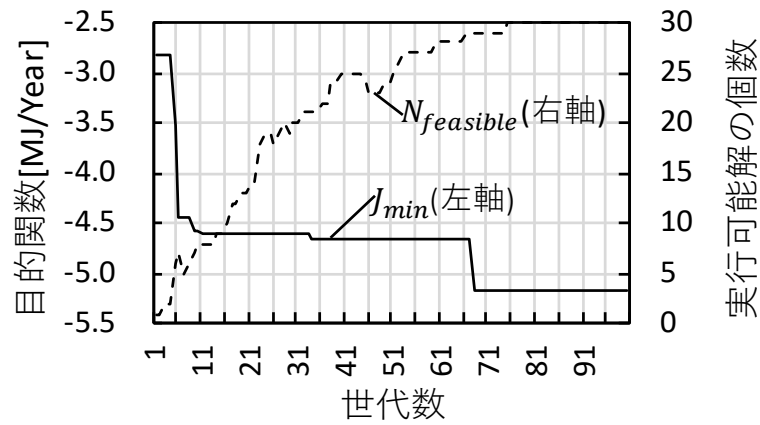


図 5-56 ケーススタディの世代間変化

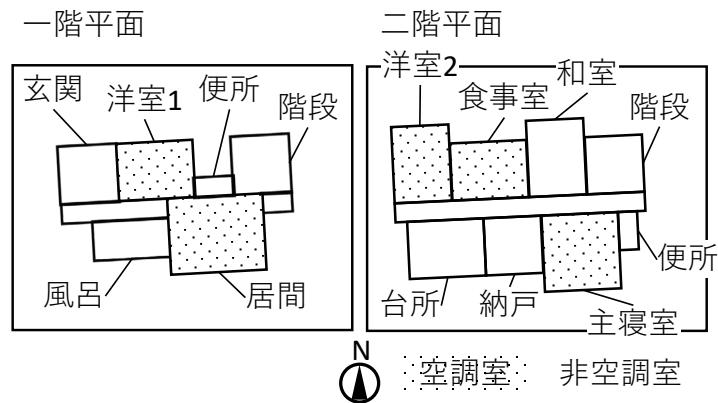


図 5-57 最終世代の最良個体が示す平面

図 5-56 に示す世代間の変化をみると、コスト(J_{min})の減少しており、目的関数の探索が順調に同時に進められていることがわかる。

図 5-57 に示す最終世代の最良個体が示す平面を見ると、廊下は東西に延びており、一階の平面は居間が公室となっている。北側と南側で部屋が占める幅に大きな差はみられない。これは制約条件を満たしながら目的関数を最小化させるために、二階の面積を広く取ろうとした結果であると考えられる。

5.3.3 AI を利用したモデル予測制御

前述したように、適切な制御にあたり、将来予測と最適化は不可欠であるが、その二つを組み合わせたものにモデル予測制御(Model predictive control: MPC)がある。モデル予測制御とは制御手法の 1 つであり、フィードフォワード制御の概念に近い。フィードバック制御が過去の情報から制御量を決定するのに対し、モデル予測制御では未来の状況をモデルによって予測し未来のある期間を通じて目的が最適になるよう制御量を決定する。モデル予測制御のコンセプト自身は、それほど新しいものではない。1980 年代から化学プラントの分野で利用されはじめ、建築や都市エネルギーシステム分野でも導入が検討されてきたが、まだ実用化されているとはいえない。その理由としてリアルタイム制御として利用するには、高速かつ高精度な予測モデルと、最適解を選び出すツールが必要となる。近年の AI の発展により、ようやくモデル予測制御の、建築や都市のエネルギーシステム分野における実用化の兆しが出てきたといえるであろう。

次に東京にある 8 階の仮想オフィス建築物（図 5-58）を対象とし、モデル予測制御を適用し、室内の環境条件を満足した状態でエネルギー消費を最小にする検討を行ったので以下に紹介する。

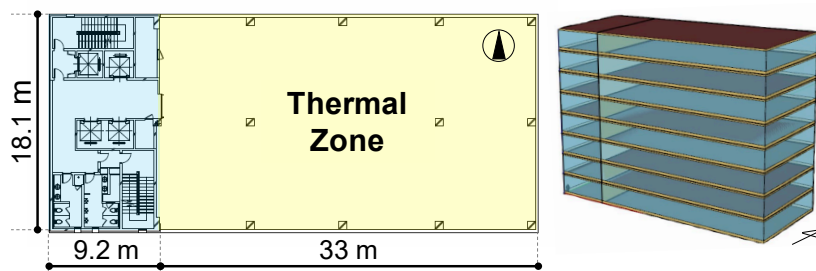


図 5-58 対象建物 (左：基準平面図)

熱源・空調システムは、空冷式チラーと温度成層型水蓄熱槽、チラーと蓄熱槽に接続された 2 台の FCU で構成されており、3 台の熱交換器と 5 台の変流量ポンプによって運転を行う（図 5-59）。モデル予測制御では、予測区間全体の室温と設定値の差が最小になるよう、制御入力値を逐次決定する（図 5-60）。制御変数はポンプ流量となる。設定冷房室温は 26°C、冷房時間は 9 時から 18 時である。

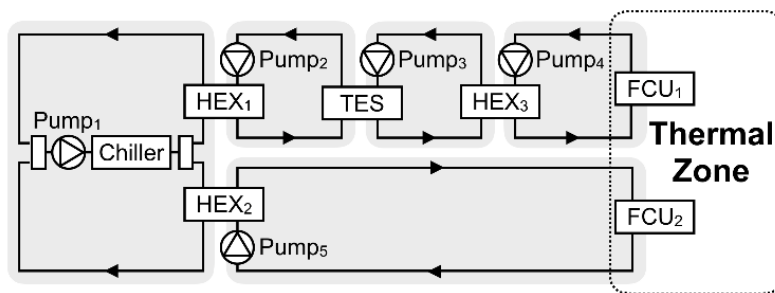


図 5-59 対象建物の設備システム

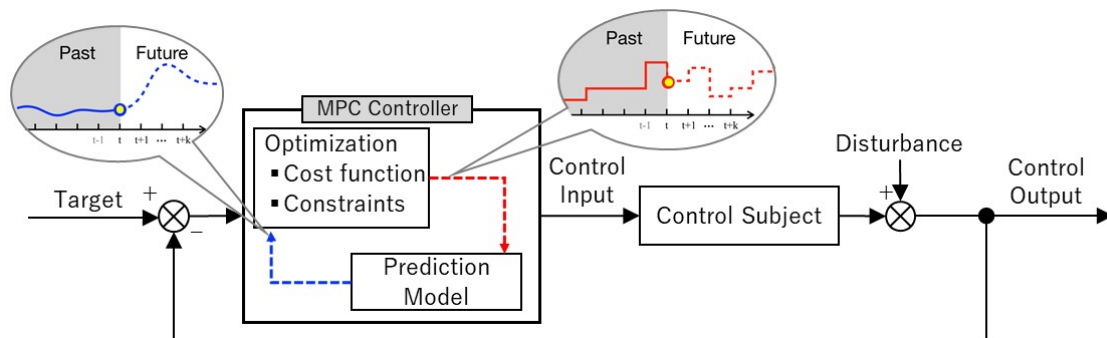


図 5-60 モデル予測制御の概要

モデル予測制御の効果を検証するために、ルールベース制御との比較を行った。さらに将来予測の効果を検討するために在室負荷が既知の場合（図 5-61 中 Baseline）とそれが増加した場合（図 5-61 中 Variation）について検討を行った。ここでのルールベース制御は、在室時間以外の時間帯においてポンプ一定流量運転で TES を満蓄にし、在室時間では一定流量で放熱し、蓄熱量が不足する時にはチラーで追い掛け運転を行う制御とした。検討ケースは、在室負荷のパターンが既知(Baseline)における場合のル

ールベース制御 (RBC_Base)、在室負荷が増加 (Variation) するが、制御量は既知の場合と同じとするルールベース制御 (RBC_Base_Var)、在室負荷が変化し、制御量も変化するルールベース制御 (RBC_Var)、モデル予測制御 (MPC) の4つとする。モデル予測制御の予測部には ANN を、最適化手法には ϵ DE-RJ を用いた。ANN の教師データには EnergyPlus 8.5 のシミュレーション結果を利用した。目的関数は運用コスト最小化である。解析期間は7月17から20日の4日間とした。

図5-62に各ケースの運用コストの差を示す。MPCの結果は、同じ条件であるRBC_Varに比べて4~20%削減しており、4日間の平均で7%の削減を示した。これによりモデル予測制御の有効性が確認された。

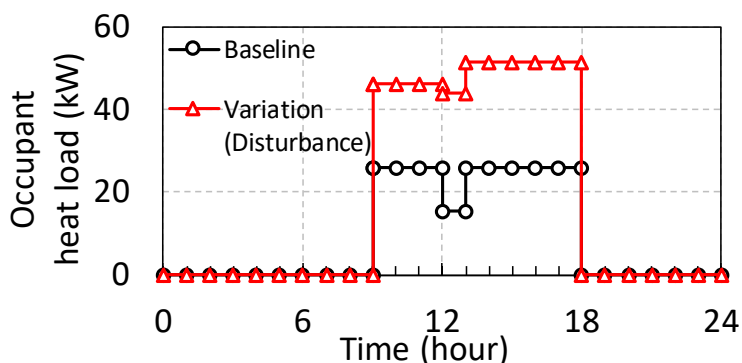


図5-61 在室負荷のパターン

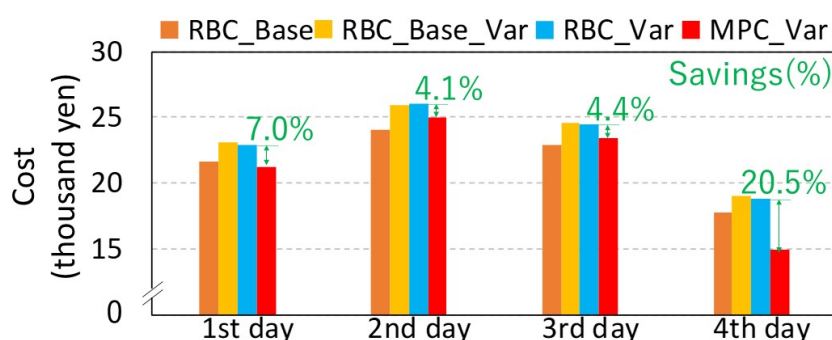


図5-62 運用コストの結果

5.3.4 まとめと今後の課題

本稿では、環境設計・運用に対して、人工知能 (AI) の利用の可能性と、住宅の形状最適化とモデル予測制御をオフィスビルに適用した例を紹介した。今後 AI の利用はますます増大するものと予想されるが、現時点においては以下の課題が考えられる。

- (1) AI 導入によるその効果の定量化
- (2) AI 利用における予測や最適化の信頼性の保証
- (3) AI による判断・結果について誰が責を負うのか
- (4) エキスパートの今後の役割

これらの課題について今後取り組んでいく必要がある。

【参考文献】

- 1) IT用語辞典 e-words, <http://e-words.jp/w/人工知能.html#Summary>
- 2) <http://www.legalexecutiveinstitute.com/artificial-intelligence-in-law-the-state-of-play-2016-part-1/>
- 3) J. T. Jin et al., Energy Build., vol. 85, p.473-482, 2014.
- 4) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構, “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.”
- 5) S. Ikeda et al., Appl. Energy, vol. 193, pp. 466–478, 2017.

6. 研究・ツールの視点から見た適応

6. 研究・ツールの視点から見た適応

6.1 建築・設備・人の連成を考慮した熱環境予測・評価

6.1.1 はじめに

建築の熱環境・熱負荷解析ソフトの開発およびパーソナルコンピュータの普及と高性能化により、非定常伝熱理論を基に任意に変化する外界気象（離散値）を入力条件として、空間および躯体の温湿度や熱負荷を動的に計算することが可能となった。これらのソフトは、普及型を目指して操作性に重点を置いたものから研究を目的として物理現象を忠実に再現し計算精度を重視したものまで様々開発されており、最大熱負荷および期間熱負荷の計算、空気調和設備の最適設計、建築の耐久性、健康性、省エネルギー性などの予測評価を目的としている。しかし、多くのソフトは、貫流熱負荷や透過日射熱負荷などの計算方法に、総合熱伝達や日射遮蔽係数などの旧来の簡易な伝熱モデルを採用しており、躯体の水分移動も無視している。また、空調時は室内を設定温湿度で制御するため、吸放湿や断熱性能（放射環境）の違いによる在室者の快適性は考慮できない。

そこで、本研究では建築に係る熱と水分と空気の複合移動を熱力学に基づき詳細に数理モデル化することにより、住環境（室内温湿度、空調用顕熱・潜熱負荷）の予測精度を格段に向上した建築全体の熱環境・熱負荷シミュレーションソフト THERB を開発した。まず、木材の蓄熱と調湿性能を利用した戸建住宅の実測調査および数値シミュレーションにより、室内の温湿度環境と在室者の快適性について検討する。また、実測値と THERB による計算値を比較することにより計算精度を検証する。さらに、人体熱収支モデル COM と THERB の伝熱モデルを連成することにより、室内湿度および不均一熱放射、接触熱伝導が温熱感に及ぼす影響について要因解析し、人体温熱感を指標として空調制御した場合の建築の熱環境とエネルギー性能について明らかにすることで、在室者の快適性を鑑みた室内環境制御の可能性について検討する。

6.1.2 木材の温湿度特性を利用した戸建住宅の環境解析

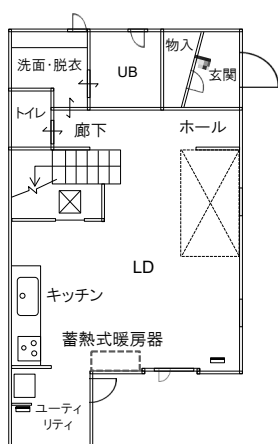
1) 実測住宅の概要

兵庫県明石市に建設された戸建住宅（夫妻と幼児2人が生活）と加古川市に建設された戸建モデルハウスの温湿度環境について、それぞれ1年以上に亘り実測調査した。写真 6-1 に、実測住宅の外観を示す。また、図 6-1 と図 6-2 および表 6-1 に、各棟の平面図と建物仕様を示す。以下では、明石市の住宅を A 棟、加古川市の住宅を B 棟と称す。両棟はいずれも外断熱工法と基礎断熱工法を採用し、省エネルギー基準に準拠している。窓は、A 棟は樹脂製サッシの Low-E 複層ガラス、B 棟は樹脂製サッシの Low-E トリプルガラス（2面 Low-E 膜）である。室内の恒温性と恒湿性を考慮して、内装はほぼ全面を赤松（壁・屋根：30mm 厚、床：30mm 厚の2枚重ね）で仕上げている。

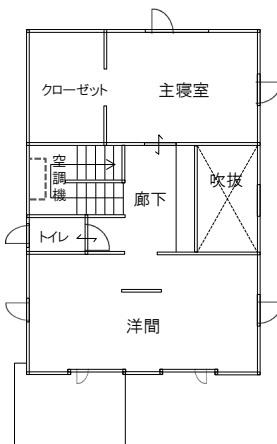


(1) A棟（南側） (2) B棟（北東側）

写真 6-1 実測住宅の外観

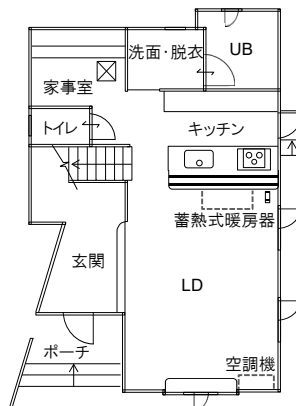


(1) 1階

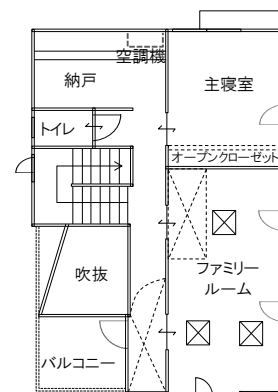


(2) 2階

図 6-1 A棟の平面図



(1) 1階



(2) 2階

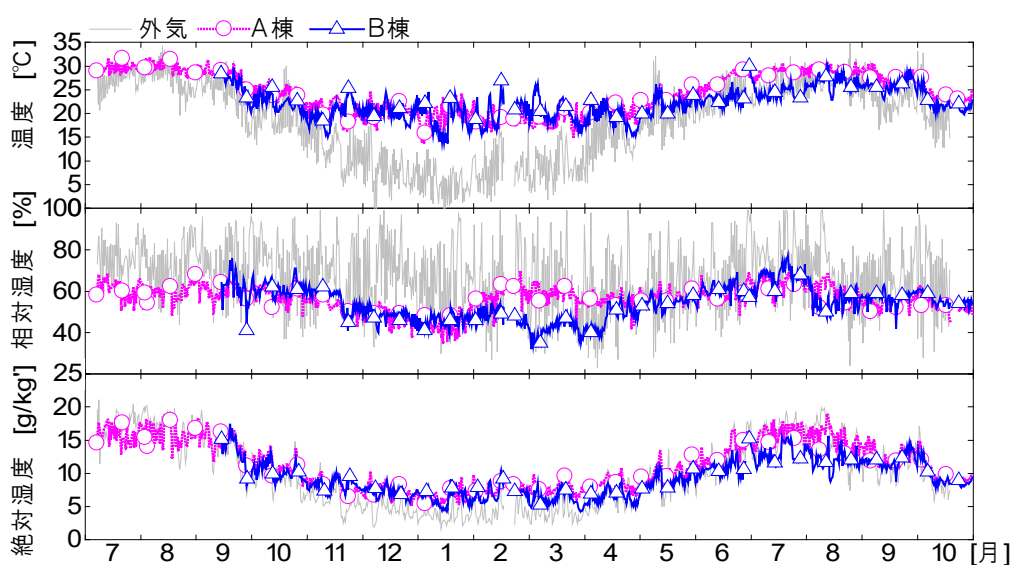
図 6-2 B棟の平面図

表 6-1 実測住宅の建築仕様

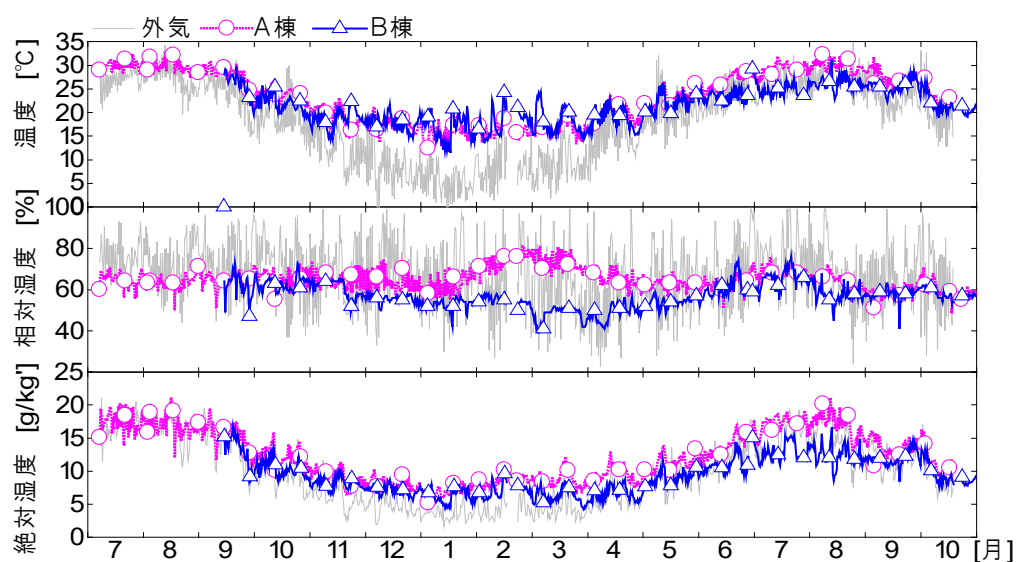
	A棟	B棟
所在地	兵庫県明石市 北緯 34°42'、東経 134°52'	兵庫県加古川市 北緯 34°75'、東経 134°87'
規模	木造2階建て 敷地面積 : 151.01m ² 1階床面積 : 56.19m ² 2階床面積 : 50.50m ² 延床面積 : 106.68m ²	木造2階建て 敷地面積 : 216.98m ² 1階床面積 : 58.00m ² 2階床面積 : 49.50m ² 延床面積 : 112.00m ²
構法	木造軸組	
断熱・遮熱	外壁・屋根：外断熱 基礎：基礎断熱工法 窓：Low-e複層ガラス	外壁・屋根：外断熱 基礎：基礎断熱工法 窓：Low-eトリプルガラス（2面Low-E幕）
内装仕様	赤松（壁30mm, 床・天井60mm）	
換気設備	第1種換気 24時間換気システム	第3種換気 24時間換気システム
熱損失係数	2.381 W/(m ² ·K)	1.988 W/(m ² ·K)
相当隙間面積	3.0 cm ² /m ²	3.0 cm ² /m ²

2) 通年に亘る室内温湿度変動

図6-3に、測定開始(2008年7月)から測定終了(2009年10月)までの外気およびA棟とB棟における1階LDKと2階主寝室の温湿度の経年変化を示す。両棟の温湿度は、外気に比べ日較差が小さく緩やかに変動している。特に、外気相対湿度は30%~100%の広い範囲に分布しているのに対し、両棟の相対湿度はいずれも中湿域に分布している。なお、生活行為にともなう内部発湿の違いから、絶対湿度はA棟(居住者あり)の方がB棟(居住者なし)より高いことが多い。両棟の差は、特に主寝室において7月~8月に顕著で、外気と比較してA棟は高い値となるのに対してB棟は低い値である。ただし、両棟の相対湿度は、年間に亘りそれぞれ40%~70%、45%~75%の範囲を推移している。一方、両棟の室内温度は、それぞれ16°C~32°Cと16°C~30°Cの範囲に分布している。



(1) LDK

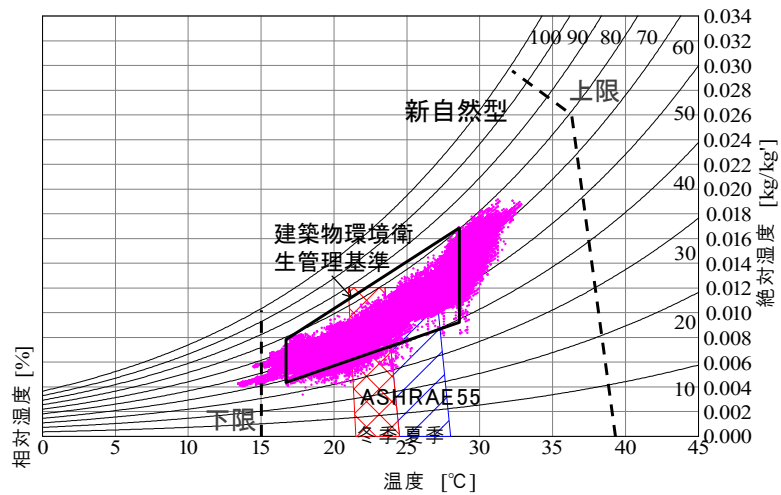


(2) 主寝室

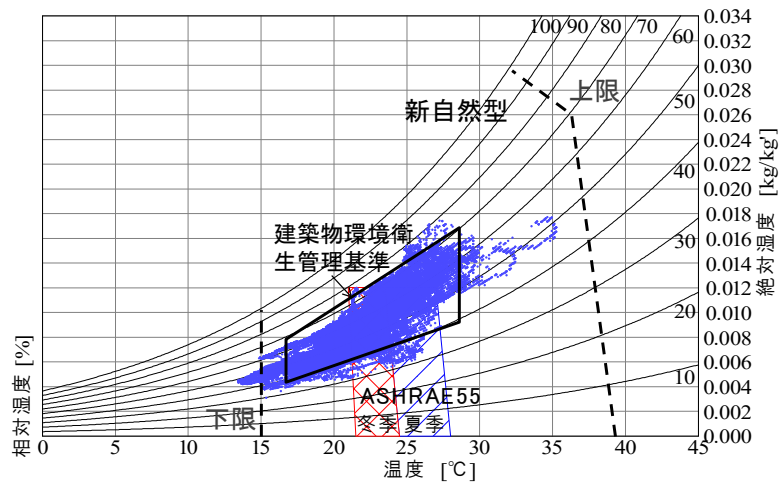
図6-3 室内温湿度の経年変化

3) 室内環境の温熱快適域

図 6-4 に、通年に亘る LDK の温湿度分布および温熱快適域を示す。ASHRAE55¹⁾の温熱快適域の範囲^{注1)}に室内温湿度が含まれる割合は、居住者がいる A 棟で約 26%, 居住者がいない B 棟で約 37%である。一方、建築物環境衛生管理基準²⁾の範囲(温度 17°C~28°C, 相対湿度 40%~70%)には、A 棟は約 65%, B 棟は約 89%が含まれており、親自然型³⁾まで範囲を広げた場合にはほとんど許容される。室内相対湿度は、最高で約 70%, 最低で約 40%となり、木材の調湿性能により夏季の高湿化や冬季の過乾燥が抑制されていると考えられる。



(1) A 棟



(2) B 棟

図 6-4 通年に亘る LDK の温湿度分布

4) 建築の熱環境解析ソフト THERB

THERB (Simulation software of the hygrothermal environment of the residential buildings) は、多数室を対象とした温湿度 (空気温湿度と躯体温湿度)・体感指標 (PMV, SET*など)・熱負荷の動的計算ソフト⁴⁾であり、躯体の伝導と対流計算には、熱・水分移動複合移動モデル「P-model」^{5),6)}を適用している。THERBはマルチゾーンモデルであり、室 (空間) は建物を入力モデルに応じて居室 (小屋裏, 床下, 階間懐, 階段室を含む) あるいは空気層 (並行平板に挟まれたスペース) として分割できる。特徴を列記する。

1. 躯体を含む建築全体の熱・水分・空気移動の連成計算
2. 温湿度および PMV による空調制御
3. 対流による熱・水分伝達の時変性
4. 無次元整理式を用いた部位ごとの熱・水分伝達率 (自然・強制対流) の計算
5. 内外表面における厳密な日照・日影部位の幾何学計算
6. Multi-layer window model による窓面透過日射量の計算
7. 室内表面における透過日射量の多重反射
8. 放射熱伝達の非線形性
9. 室内表面間の長波放射熱授受
10. Network airflow model による自然・強制換気の計算

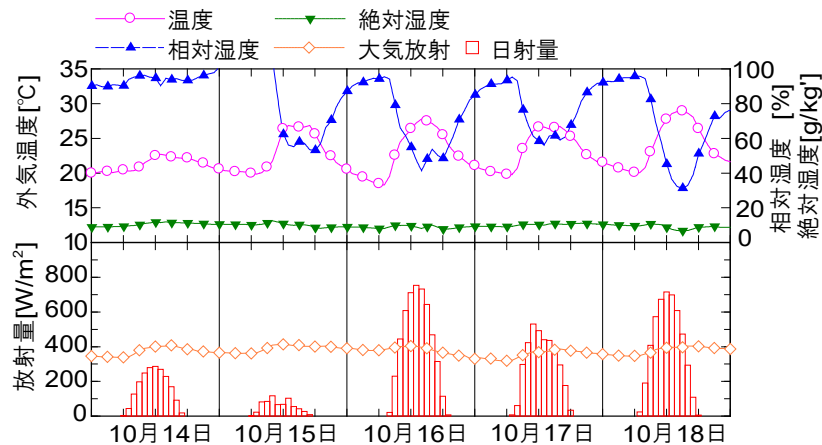
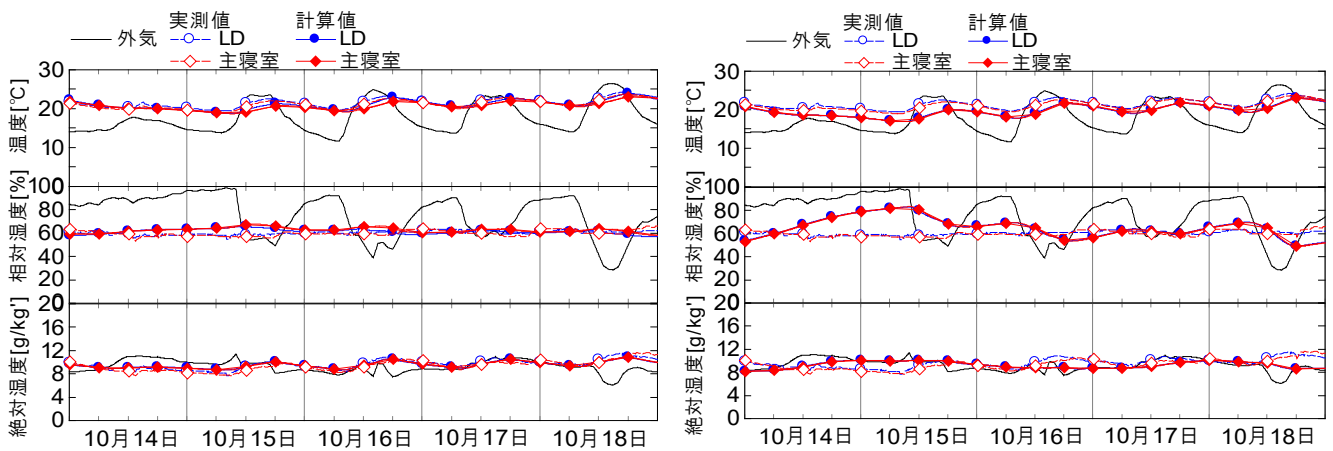


図 6-5 外界気象条件 (10月14日~18日)



(1) 吸放湿あり

(2) 吸放湿なし

図 6-6 実測住宅の室内温湿度の計算値と測定値

5) 実測値と計算値の比較

実測住宅 B 棟を対象として、室内温湿度の計算値と実測値を比較することにより、THERB の計算精度について検証する。計算には 3 週間の助走期間を設け、計算開始時の外気温湿度を建築各部の温湿度の初期値とした。

図 6-5 に、計算対象日の外界気象条件（空調していない中間季 10 月 14 日～18 日）を示す。なお、計算に使用した気象データは、1 時間間隔の観測値である。

図 6-6 に、室内温湿度（1 階 LDK と 2 階主寝室）の計算値（厚板赤松の吸放湿の有無による違い）と測定値を示す。吸放湿を考慮した場合には、空気温度、相対湿度、絶対湿度のいずれも、計算値は測定値とよく一致している。一方、吸放湿を考慮しない場合は、両者には特に相対湿度と絶対湿度に大きな誤差が生じている。また、吸放湿の有無により空気温度にも違いがあり、吸放湿を無視した場合には吸脱着熱が考慮されず誤差が大きくなる。

6) 数値シミュレーションによる室内環境評価

実測住宅 B 棟を対象に、内装材を厚板赤松（壁・屋根は 30mm，床は 30mm の 2 枚重ね）あるいは石膏ボード 9mm（床はフローリング 15mm+合板 12mm，室内側床表面は仮漆仕上げにより防湿）にした場合の室内温湿度を計算し、内装材の蓄熱容量の違いや吸放湿の有無が室内の恒温性と恒湿性に及ぼす影響について検討する。梅雨季は空調なし、冬季の空調設定温湿度は 22°C（湿度は成り行き）とした。世帯構成は大人 2 人（会社員と主婦）、子供 2 人（小学生 1 人，中学生 1 人）で、在室者スケジュールおよび室内の発熱量と発湿量は、スケジュール作成ソフト Schedule Ver.2.0⁷⁾を用いて設定した。

① 梅雨季の高湿化の抑制

図 6-7 と図 6-9 (1) に、梅雨季の室内温湿度の 3 日間（6 月 28 日～6 月 30 日）の経時変化および室内湿度の頻度分布（降雨量の多い 6 月 15 日～6 月 30 日）を示す。蓄熱の影響により赤松仕様の方が石膏仕様に比べ室内温度の日較差が最大で約 1.0°C 小さくなる。また、赤松仕様（吸放湿あり）の相対湿度は、赤松仕様（吸放湿なし）および石膏仕様に比べて緩やかに変動している。赤松仕様（吸放湿あり）は概ね 55%～75%の範囲、赤松仕様（吸放湿なし）と石膏仕様は 50%～90%の範囲に分布している。赤松仕様（吸放湿なし）と石膏仕様は 80%以上の高湿状態が頻繁に発生するのに対し、赤松仕様（吸放湿あり）は常に 75%以下に保たれている。赤松の蓄熱と調湿性能により、梅雨季の高湿化が抑制されていることが分かる。

② 冬季暖房時の過乾燥の緩和

図 6-8 および図 6-9 (2) に、冬季の室内温湿度の 3 日間（1 月 4 日～6 日）の頻度分布（12 月 1 日～3 月 31 日）を示す。室内湿度は、赤松仕様と石膏仕様のいずれも緩やかに変動している。ただし、赤松仕様（吸放湿あり）の方が赤松仕様（吸放湿なし）と石膏仕様より常時 5%～12%程度高い値を推移している。頻度分布を比較すると、赤松仕様（吸放湿なし）と石膏仕様は、45%～50%にピークが見られるのに対して、赤松仕様（吸放湿あり）は 50%～55%の分布が多い。赤松の調湿性能により冬季の乾燥が緩和されている。

7) 調湿性能の違いによる人体温熱感

夏季（6 月 1 日～9 月 30 日）に、LDK の空調設定温湿度を 28°C，湿度制御しない場合の人体の温熱指標（標準有効温度 SET*）を比較する。内装材（石膏ボードと赤松）の違いが人体温熱感に及ぼす影響

ついて検討する。図6-10と図6-11に、石膏および赤松を内装材とした場合の室内相対湿度の頻度分布とSET*の時間累積率を示す。

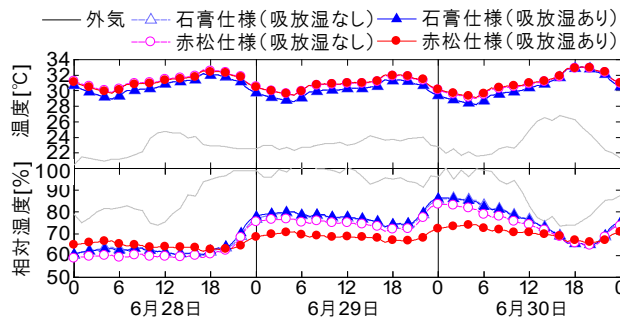


図6-7 梅雨季の室内温湿度の経時変化

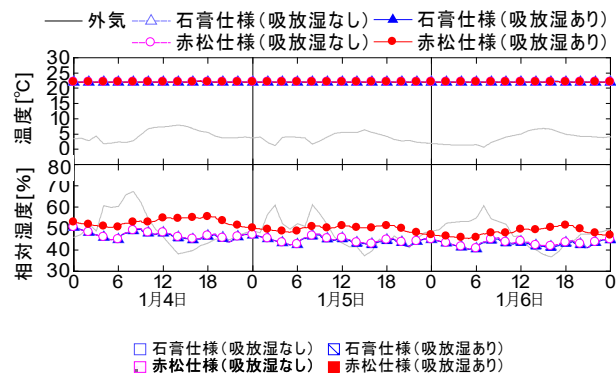


図6-8 冬季の室内温湿度の経時変化

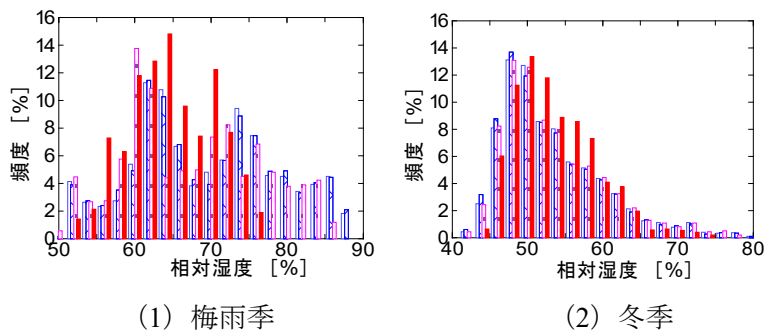


図6-9 室内湿度の頻度分布

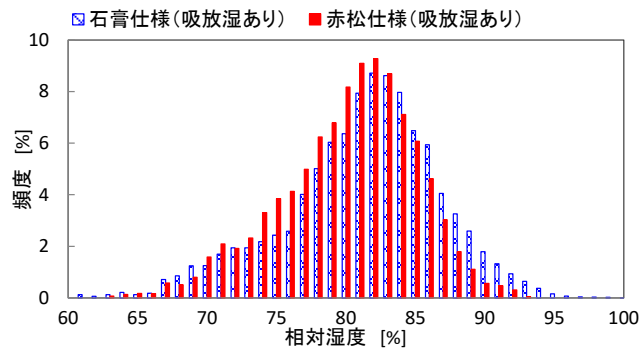


図6-10 室内相対湿度の頻度分布

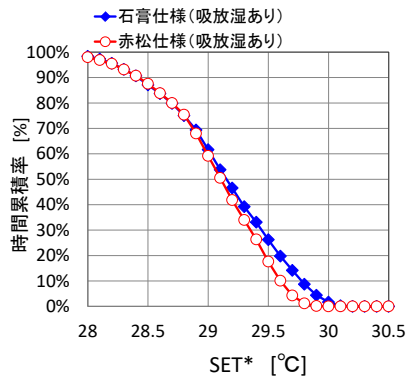


図 6-11 SET*の時間累積率

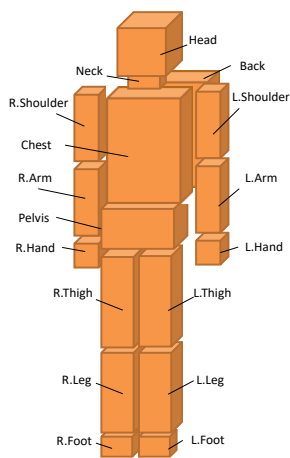


図 6-12 COM の概要

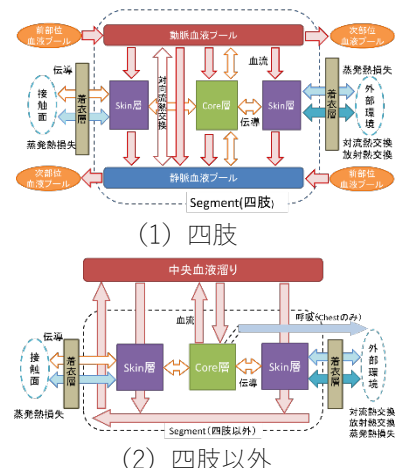


図 6-13 血流による熱交換

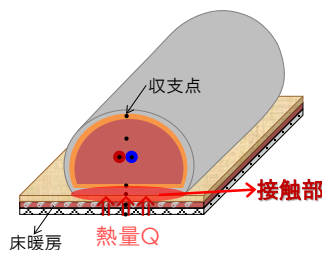


図 6-14 人体と接触部位（躯体）の熱収支

室内相対湿度が高湿（85%以上）になる頻度は、赤松仕様より石膏仕様の方が多い。28℃環境下において SET*が 29.5℃以上となる割合は、赤松仕様は 17.6%であるのに対して石膏仕様は 26%にもなる。対象住宅のように断熱気密性能が高く室内温度分布が小さい環境下では、人体の温熱指標として 1 質点系の SET*を用いても湿度の影響を評価できる。

6.1.3 建築系と人体系を連成した室内の温熱環境予測

1) 人体熱収支モデル COMSET*

図 6-12 と図 6-13 に人体モデル COM の概要を示す。本モデルは、詳細な四肢血流モデルを含む、人体熱数値計算モデルである⁸⁾。人体を Core 層と Skin 層からなる 17 の Segment に分類することで、59 点の血流や皮膚の温度分布を精度良く予測することが可能である。建築内表面の放射の影響を考慮するために、人体の各 Segment は角柱モデルとして、各 Segment の各面が壁体を見る形態係数とその表面温度から人体への長波放射熱を求める。図 6-14 に、提案モデルの接触熱伝導を考慮した人体部位の熱収支を示す。従来の COM は接触による熱伝導を考慮したとしても、皮膚層全体に一定熱量を均一に与えている。提案モデルでは、非接触部位と接触部位を分割して新たに収支点を作成し、非接触部位では対流と放射による熱授受を計算し、接触部位は建築躯体との伝導^{注2)}を考慮する。人体と接触部位の熱収支を同時に解くことで、人体接触部から躯体への熱伝導も非定常に連成して COMSET* の計算に反映させている。

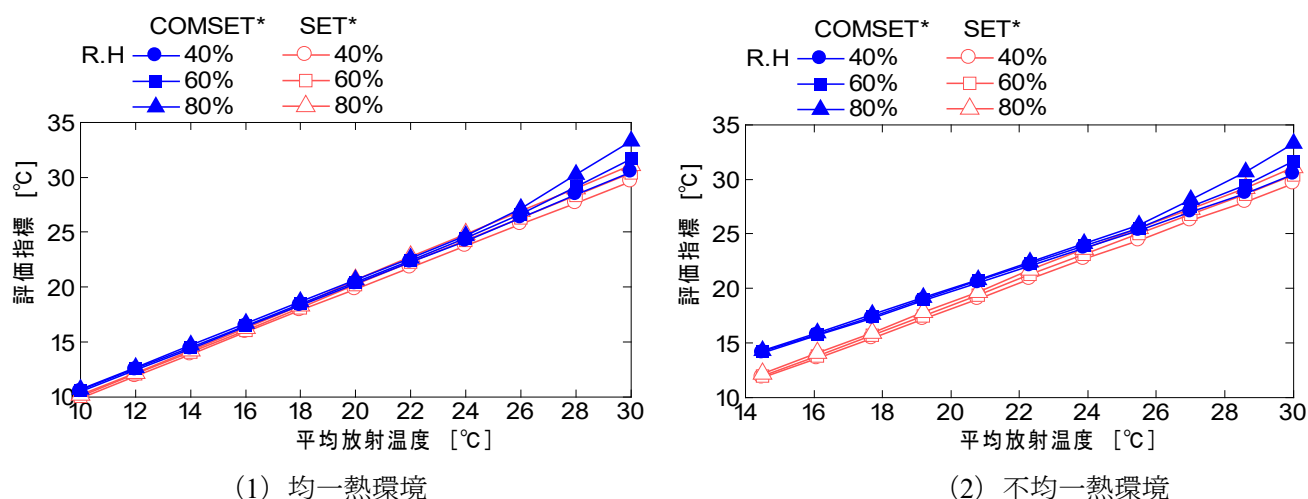


図 6-15 SET*と COMSET*の比較

2) 温熱環境評価指標 SET*と COMSET*の違い

室内空気温度を 10°C~30°Cまで 2°C毎に上昇させ、相対湿度がそれぞれ 40% (低湿), 60% (中湿), 80% (高湿) のときの人体の温熱環境評価指標 (SET*と COMSET*) を求める。均一熱環境下では、空気温度と周壁面の温度は同じである。不均一熱環境下においては、床のみを常時 30°C一定として周壁面は空気温度と同じ値で制御する。人体の周囲流速は 0.1m/s, 着衣量は 0.85clo (長袖, 長ズボンを着用), 代謝量は 58.2 W/m² (椅子座安静を仮定) として計算し, COMSET*算出時の人体の姿勢は立位とした。

図 6-15 に、均一熱環境下 (床・壁・天井温度がいずれも 10~30°C) および不均一放射環境下 (床は 30°C, 壁・天井は 10°C~30°C) における SET*と COMSET*の計算値を示す。均一熱環境下において、SET*と COMSET*は 27°C以下の低湿域から中湿域でほぼ同様の値を示している。しかし、27°C以上の高湿域になると、SET*より COMSET*の方が評価指標は高くなる。一方、床温を 30°Cとした場合の不均一熱環境下においては、26°C以上では床からの熱放射の影響が少なくなるため均一熱環境と同様の傾向を示すが、24°C以下では温度が低くなるにつれて床からの熱放射の影響が顕著になるため COMSET*はより影響を受けて評価指標が高くなる。

3) 接触熱伝導を考慮した温熱環境評価

図 6-16 に、接触熱伝導の有無および姿勢の違いによる人体の評価指標 (COMSET*と SET*) を示す。周壁面と空気温度を 20°C とした均一熱環境と、壁・天井・空気温度を 20°C とし床温度のみを 30°C とした不均一熱環境において、立位と座位それぞれについて接触熱伝導の有無を考慮した COMSET* と SET* を比較する。床温度を 30°C に保つために温水パイプの温度は 52°C とした。室内の相対湿度は 50% である。

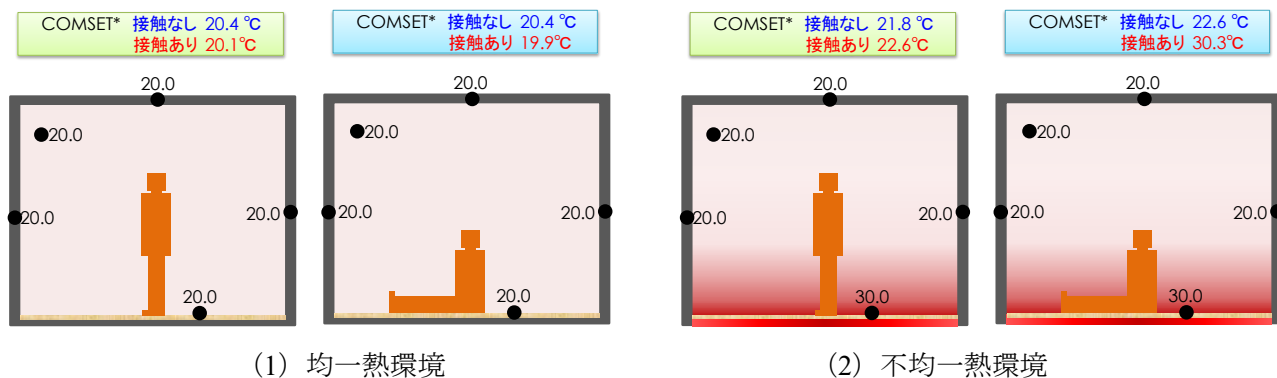


図 6-16 接触熱伝導の有無による人体温熱感指標

均一熱環境下では、COMSET*は接触熱伝導の有無に関わらず SET*とほとんど同じ値であり、20°C程度となっている。一方、不均一熱環境下では COMSET*の方が SET*より高い値となる。接触熱伝導を考慮した場合、立位は接触面が少ないため僅かに高い程度であるが、座位では SET*と比較すると 9.2°C も高くなる。COMSET*の計算において接触熱伝導を考慮しない場合の姿勢の違いを比較すると、座位の方が床からの暖放射の影響により全身の放射温度が高くなる。従って、COMSET*は立位より座位の方が高くなる。COMSET*の接触熱伝導の有無による差は立位で 0.8°C、座位では 7.7°C になる。

4) 人体温熱感に及ぼす室内湿度の影響

建築系と人体系の連成シミュレーションにより、梅雨季に自然換気をした場合の温熱環境評価指標 (COMSET*と SET*) を算出する。ここでは、湿度の影響のみを検討するため、接触熱伝導は無視した。計算に用いた建築モデルは、南面に幅 4m、高さ 1m の窓を有する幅 4m、奥行き 4m、高さ 3m の単数室である。なお、在室者の姿勢は立位として、人体の代謝量は 58.2 W/m²、着衣量は 0.85 clo とした。

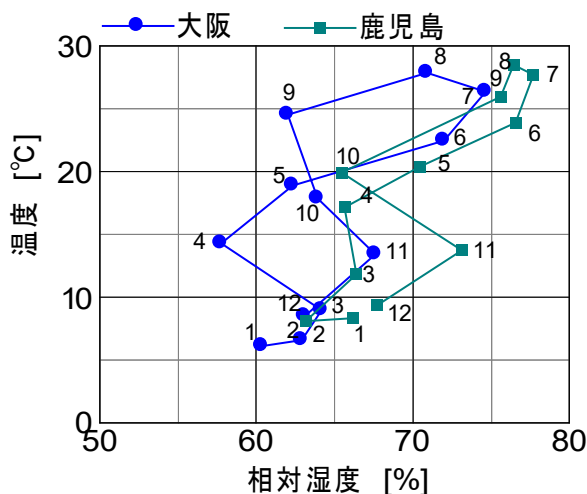


図 6-17 大阪および鹿児島のカリモグラフ

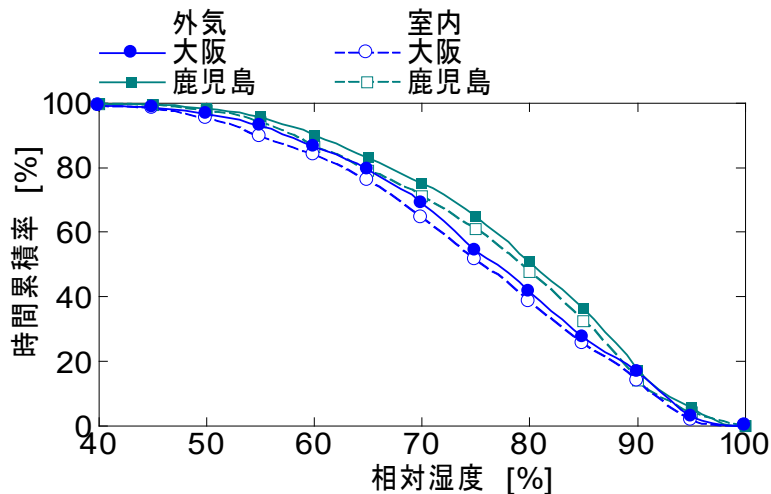


図 6-18 外気および室内湿度の時間累積率

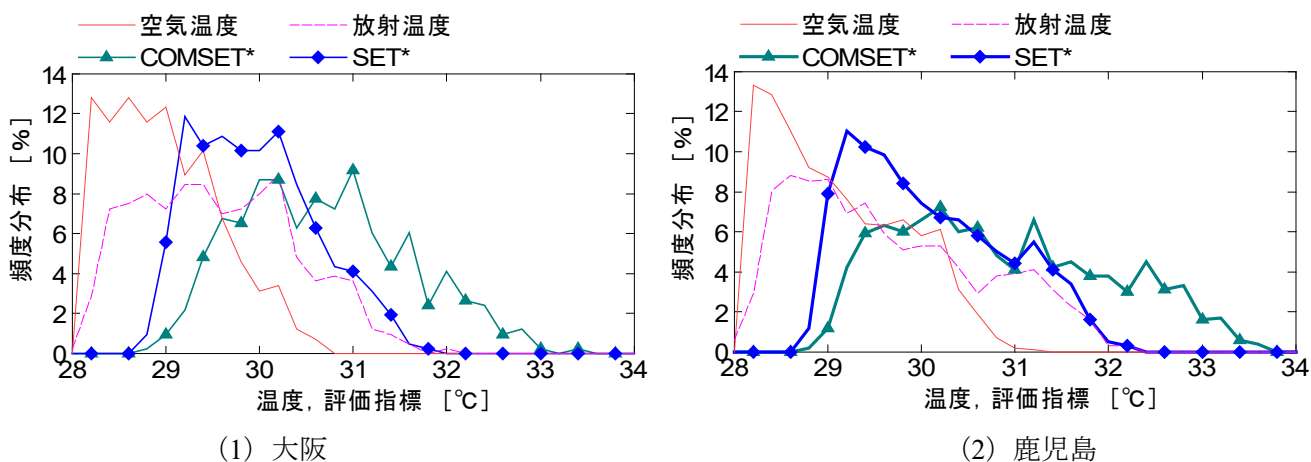


図 6-19 自然換気時の室内温度と評価指標の頻度分布

図 6-17 に、大阪と鹿児島市のクリモグラフ（拡張アメダス気象データ・標準年）を示す。また、図 6-18 に梅雨季（6 月 11 日～7 月 31 日）に自然換気をした場合の外気と室内相対湿度の時間累積率を示す。外気湿度が高湿となる梅雨季に自然換気をすることで、両地域ともに室内相対湿度が外気と同程度となり、80%以上となる割合は 40%を超えている。図 6-19 に、梅雨季の自然換気による室内温度と SET*と COMSET*の頻度分布を示す。ここでは、室内温湿度が 28°C、80%以上の場合を抽出した。室内環境が高温になると、評価指標は SET*より COMSET*の方が高くなる。また、COMSET*は大阪より高温多湿となる鹿児島において高くなる。詳細な建築モデルと COM などの人体熱収支モデルを連成させることで、室内湿度が人体の温熱感に及ぼす影響も評価できる。

6.1.4 人体温熱感に基づく温水床暖房の室内熱環境および省エネルギーの評価

1) 建築モデルの概要

THERB と PMV あるいは人体熱収支モデル COM を連成させ、温熱感を指標として床暖房利用環境の熱負荷を算出する。図 6-20 および表 6-2 に、建築モデルと計算条件を示す。計算に用いる建築モデルは、住宅事業建築主の判断の基準で使用されている省エネ標準住宅⁹⁾であり、断熱性能は平成 4 年省エネルギー基準（新省エネルギー基準）相当とする。床暖房の敷設面積は 16.8m²（敷設率：約 70%）、人体の姿勢は室中央点においてエアコン時は立位（接触なし）、床暖房時は立位（接触なし・あり）と座位（接触あり）とした。床暖房は、空調時の COMSET*（エアコン利用時に PMV \geq -0.5 になるように設定）と同じになるように、温水を ON/OFF 制御し

た。床暖房対象室はLDKとし、その他の居室はエアコンを用いる。対象地域はIV b 地域（一例として、岡山）とし、計算期間は1月である。

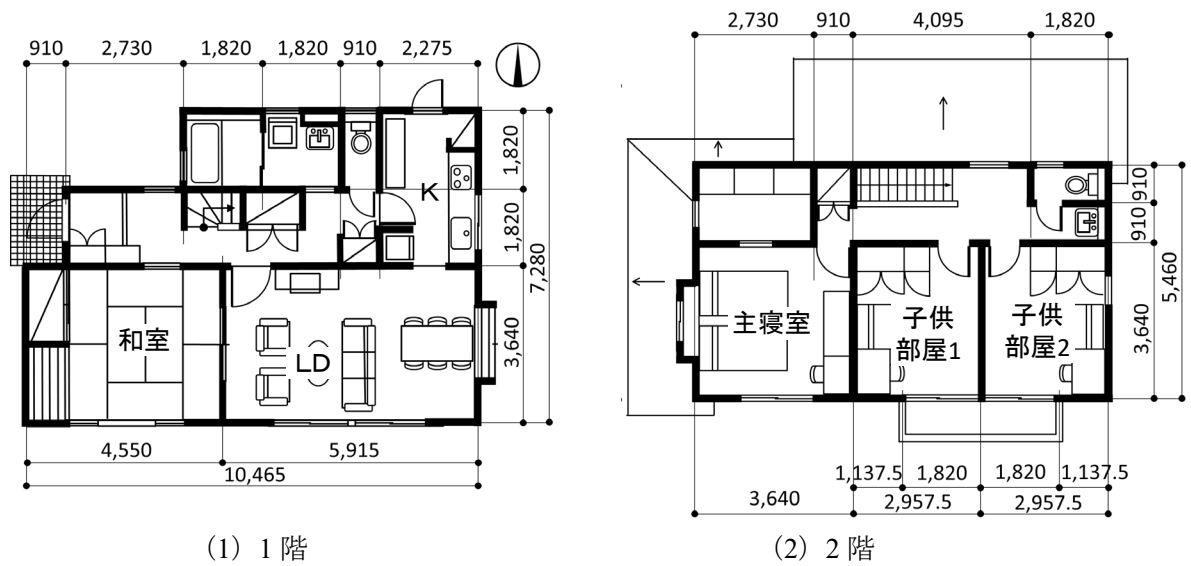


図 6-20 建築モデル

表 6-2 計算条件

対象建築	省エネ標準住宅モデル (IV b 地域・岡山)	
断熱性能	新省エネルギー基準 (平成4年省エネ基準)	
気象データ	拡張アメダス気象データ (一例として、岡山、標準年)	
計算期間	1月	
計算時間間隔	5分	
空調スペース	居間	エアコン or 床暖房
	その他居室	エアコン
空調スケジュール	全館連続運転	
床暖房敷設面積	16.8m ² (居間床面積の約70%)	
姿勢	エアコン	立位 (接触なし)
	床暖房	立位 (接触なし)
		立位 (接触あり)
		座位 (接触なし)
床暖房の制御方法	エアコン暖房時にPMV=-0.5となるCOMSET*の値を目標値として設定	

2) 室内温熱環境

図 6-21 と図 6-22 に、LDK の室内温度と床内部温度および SET* と COMSET* の 3 日間（1 月 20 日～1 月 22 日）の経時変化を示す。COMSET* は同じ値であるのにも拘らず、室内温度はエアコンが最も高く、床暖房の立位、座位の順番に低くなる。床暖房立位（接触なし）の床内部温度は、エアコン時より最大で約 15°C 高い。SET* は床温の上昇による影響は少ないが、COMSET* は床暖房時に SET* より高くなる。SET* は空間中央において 1 つの収支点で計算しているが、COMSET* は人体を 17 の Segment に分割して各部に熱収支を設けて計算している。

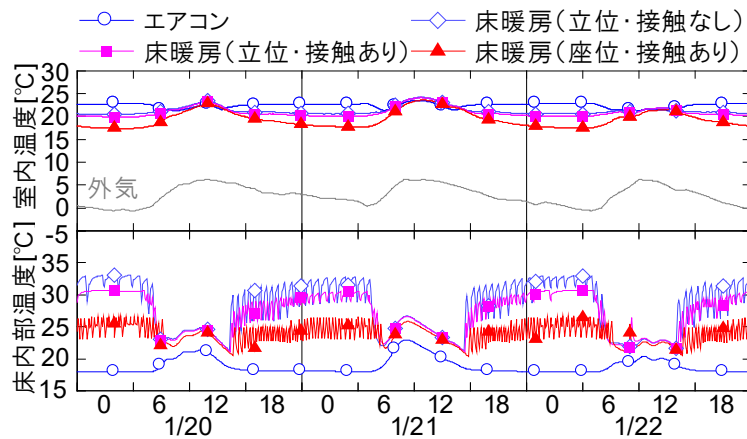


図 6-21 室内および床内部温度の経時変化

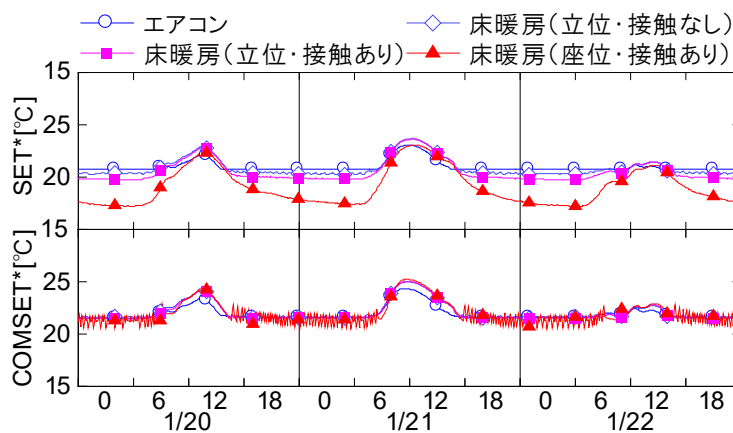


図 6-22 人体の評価指標の経時変化

従って、COMSET*は床からの暖放射を受けやすい部位があり、室温が低くてもエアコン暖房と同じ値にできる。さらに、床暖房した場合の姿勢の違い（接触あり）を比較すると、座位は上半身も床からの放射を受けやすく、また接触部位の面積が大きいいため、床からの受熱量が増加することで室温を低く設定できる。

3) 省エネルギー性の評価

図 6-23 に、空調方式および姿勢の違いによる LDK の熱負荷の経時変化を示す（床暖房については 10 分間隔の出力の 1 時間の積算値）。また、図 6-24 に LDK の 1 月の期間暖房負荷の積算値を示す。床暖房負荷は、エアコン暖房と比較して立位（接触なしあり）と座位でそれぞれ約 0.9GJ、約 1.2GJ、約 2.2GJ 減少している。床暖房による人体の温熱感、エアコンによる暖房とは明らかに異なるため、床暖房の熱負荷計算には、接触熱伝導や人体各部位の長波放射の影響を考慮する必要がある。その場合には一般的な空調暖房負荷より、省エネルギーを達成できる可能性がある。本建物モデルでは、接触熱伝導を考慮して人体の温熱感で暖房制御することで、床暖房の熱負荷はエアコンより約 58.6%も削減された。

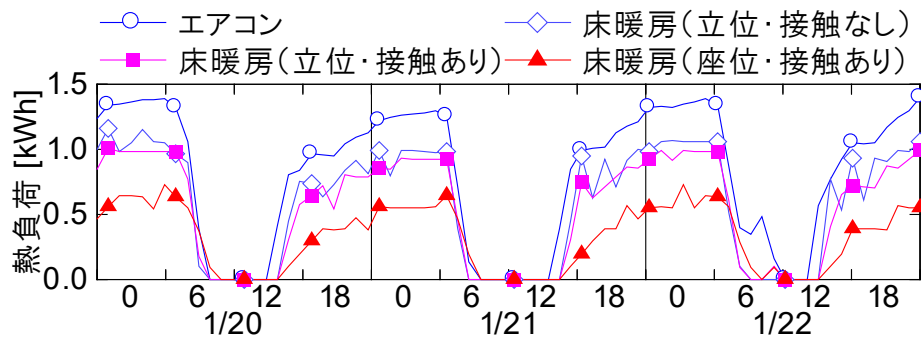


図 6-23 暖房負荷の経時変化

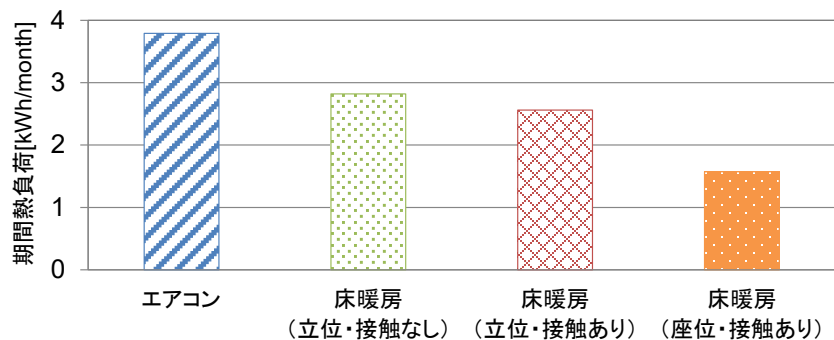


図 6-24 LDK の暖房負荷

6.1.5 むすび

本研究では、建築全体の熱環境・熱負荷の予測精度を格段に向上した数値シミュレーションソフト THERB を開発し、実測調査および数値シミュレーションにより躯体の蓄熱と調湿性能による室内の恒温恒湿性能と在室者の快適性について検討した。また、建築系と人体系の伝熱モデルを連成することにより、室内温湿度、不均一熱環境、人体の姿勢および接触熱伝導が人体温熱感に及ぼす影響と建築のエネルギー性能について検討した。

- 1) 厚板赤松を内装材に使用した戸建住宅の実測を行った。木材の蓄熱と調湿性能により、通年を通して室内温湿度は $16^{\circ}\text{C}\sim 32^{\circ}\text{C}$ 、 $40\%\sim 75\%$ の範囲を緩やかに変動し、在室者の温熱感は概ね快適域に分布していることを示した。
- 2) 実測住宅を対象として数値計算も行い、実測値と計算値を比較することにより、THERB の高い計算精度を確認した。
- 3) 数値シミュレーションにより、蓄熱と調湿に係わるパラメータ感度解析を行い、厚板赤松の吸放熱と吸放湿が夏季の高湿化と冬季の過乾燥を緩和していること、高湿環境を抑制することで人体温熱感が改善されることを明らかにした。
- 4) SET*と COMSET*は、均一熱環境の中低湿域 (80%以下) ではほぼ等しく空気温度と同じ値となるが、高温高湿域 (28°C 、80%以上) においては COMSET*の方が湿度 (蒸し暑さ) に対して敏感で高い値になることを示した。
- 5) 床暖房を想定した不均一熱環境では、周囲温度が低くなると床からの熱放射の影響が顕著になるため、

足元の熱放射現象を再現できる多質点系の COMSET*の方が単質点系の SET*より高い値になることを示した。

- 6) COM を改良して床への接触面と非接触面においてそれぞれ熱・水分収支を立てることで、不均一熱放射のみならず姿勢の違いによる接触熱伝導の影響も考慮した実際的な温熱感を表現可能にした。
- 7) 不均一熱放射や接触熱伝導を考慮して人体の温熱感に基づいて室内を暖房制御した場合には、同じ温熱感であれば床暖房の方がエアコン暖房より室温を低下できるため、熱負荷を大幅に削減できる可能性があることを明らかにした。

【注釈】

注 1) ASHRAE55-2010 の温熱快適域は、代謝量 1.0~1.3met, 着衣量 0.5~1.0clo の条件下において、不満足率が 20%未満となる範囲である。絶対湿度の上限値は 12g/kg(DA)であるが、熱的快適性の観点から下限値の設定はない。

注 2) 接触面積は、人体の姿勢毎に既往研究¹⁰⁾により求められた面積を採用している。各部位の熱コンダクタンスについては、COM で設定されている値を用いた。

【参考文献】

- 1) ANSI/ASHRAE standard 55-2010, Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE, 2010
- 2) 厚生労働省：建築物環境衛生管理基準について，2002
- 3) 高田暁：オフィスにおける次世代型温熱快適域，日本建築学会，第 43 回熱シンポジウム，pp.15-18, 2013
- 4) Ozaki A., Tsujimaru T.: Prediction of Hygrothermal Environment of Buildings Based upon Combined Simulation of Heat and Moisture Transfer and Airflow, Journal of the International Building Performance Simulation Association, Vol.16, No.2, pp.30-37, 2006
- 5) 尾崎明仁，渡邊俊行，他：水分ポテンシャルによる湿気移動解析—湿流の駆動力，日本建築学会計画系論文集 第 488 号，pp.17-24, 1996
- 6) Ozaki A.: Systematic Analysis Model on Combined Heat and Water Transfer Using Water Potential Based on Thermodynamics, Journal of Thermal Envelope & Building Science, Sage Publications, Vol.27 No.2, pp.95-122, 2003
- 7) 空気調和衛生学会・住宅用エネルギーシミュレーション小委員会：生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver.2.0 マニュアル，2000
- 8) 田辺新一，小林弘造，小川一晃：温熱環境評価のための人体熱数値計算モデル COM の開発，日本建築学会環境系論文集，第 599 号，pp. 31-38, 2006
- 9) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構：住宅事業建築主の判断の基準，<http://ees.ibec.or.jp/>
- 10) 藏澄美仁，松原斎樹，長井秀樹，古川倫子，藤原三和子，上麻美，植木弥生，山本志津恵：温熱環境評価と熱伝導に関する研究，空気調和・衛生工学会論文集，No.72, 1999

6.2 太陽熱利用と空気循環式全館空調システムによる空調・給湯負荷削減

6.2.1 はじめに

住宅の消費エネルギー削減のためには、エネルギー消費量の約 60%を占める¹⁾暖房・給湯エネルギーの削減が不可欠である。本研究では、太陽熱を利用することで暖房・給湯消費エネルギーの 50%以上を補う太陽熱利用型住宅の開発を目的とし、新たな空調および太陽熱集熱システム（パッシブ・アクティブ）の組み合わせと、効果的な運用方法の提案に取り組んできた。日本は地域によって気候特性が異なることから、平成 25 年 1 月に公布された住宅・建築物の省エネルギー基準で定められた地域区分から 6 地域を対象として実証実験を行った。2014 年 7 月から 2015 年 1 月にかけては、空気循環式全館空調システムの開発と並行し、地域別に、導入する太陽熱集熱手法の検討、実証住宅の計画と建設を行った。2015 年 2 月からは、実測実験を開始し各種データの測定を行った。実測実験で得られるデータおよび数値シミュレーションによる解析を基に、実証住宅の建物性能や空調・給湯消費エネルギーの削減効果を明らかにし、本システムが 6 地域全てで有効に機能するか検証を行った。本稿では、太陽熱利用型住宅（空気循環式全館空調システム、太陽熱利用システム）の概要、実証住宅の概要と性能、数値シミュレーションによる空調・給湯負荷削減効果の検討結果および実測実験から明らかになった年間の負荷削減効果と数値シミュレーションの精度検証結果について述べる。

6.2.2 太陽熱利用型住宅

1) 太陽熱利用型住宅の概要

本研究で提案する太陽熱利用型住宅は、太陽熱集熱システム（部位）を有し、空調機と空気循環システムを併用できる空気循環式全館空調システム住宅である。集熱部位で得られた熱あるいは空調機で温湿度調整された空気を、空気循環システムで建物全体に循環させる。冬季は日射取得熱で暖められた空気、夏季は十分な日射遮蔽の確保と放射冷却などで冷やされた空気を建物全体に循環させ暖冷房負荷の削減を図る。

2) 空気循環式全館空調システム

図 6-25 に、建物断面およびシステムのイメージを示す。小屋裏や居室の一部に空調室を設け、家庭用のヒートポンプエアコンを設置する。空調室は建物外皮とは別に断熱したユニットで、換気は全熱交換器とエアフィルターを介して行う。空調室の空気はエアコンで温湿度調整された後、DC モーターファンにより断熱ダクトで各室へ送られる。各室の空気は、押し出される形で廊下や二重壁の通気層を通して空調室に戻り、新鮮空気とミキシングされる。この空気循環システムで、家庭用のエアコン 1 台での全館空調が可能となるだけでなく、大風量の空気循環で建物内の温湿度環境を一様に保つことができる。また、給気・排気を一箇所で行うため、空気質のコントロールも容易になる。送風量は可変（ダクト 1 本あたりの最大風量は 250m³/h、ダクトは 1 棟あたり 10 本程度使用）であり、DC モーターファンを使用することで動力を弱運転で 5W、強運転で 12W 程度に抑えている。

3) 太陽熱集熱システム

・パッシブ手法

実証住宅では、ダイレクトゲイン、ダブルスキン、トロンプウォールの 3 種類のパッシブ手法を採用している。

ダイレクトゲイン：日射の期待できる南面の開口を大きく取り、太陽熱を直接、室内に取り入れる手法である。晴天時には多くの熱取得が期待できる反面、取得熱量のコントロールは容易でないため、

室温を一定に保つことが難しくオーバーヒートの懸念もある。しかし実証住宅では、ダイレクトゲインで暖められた室内空気を、空気循環システムで他室に循環させるため、全取得熱をオーバーヒートさせることなく暖房に使うことができる。

ダブルスキン：一般的には、2重の外皮から形成される空間を設け外乱の影響を緩和する手法である。実証住宅では、バルコニーや居室の一部をダブルスキン空間とし、外乱の影響を緩和させるだけでなく、冬季には太陽熱の集熱部位、夏季には放熱部位や日射遮蔽（外気側を解放することで庇や袖壁となる）として使用する。本システムでは、ダブルスキン部の空気循環は独立させ、空気温度によるON/OFF自動制御を可能としている。そのため、例えばダブルスキン空間の空気温度が任意の設定温度を上回る時間帯のみ空気循環をし、太陽熱で暖められた空気を室内に取り入れる運転ができる。ダブルスキン空間もダイレクトゲイン同様、冬季にオーバーヒートの懸念があるが、空気循環システムと併用することでこれを抑制し全取得熱を暖房に使うことができる。

トロンブウォール：一般的には、ガラスとその室内側に置いた熱容量の大きな壁の間で集熱を行う手法である。実証住宅では、構造上の制限などで開口を設けることのできない壁面を利用しトロンブウォールを設けている。冬季は、日中、日射を受け高温となった蓄熱壁からの放射熱や、ガラスと蓄熱壁間で暖められた空気を利用する。トロンブウォールの上下部は外気に解放せず、下部は床下、上部は空調室あるいは1階と2階の階間にダクトで繋がっている。ダブルスキン同様、独立した空気循環の制御を行うが、トロンブウォールの出入り口（ダクトの口）は電動ダンパがあり、空気循環のON/OFFに応じて開閉することで冬季には太陽熱で暖められた空気を、夏季には夜間から早朝にかけ放射冷却で冷やされた空気を室内に取り入れる。

・アクティブ手法

実証住宅では、太陽熱温水システム、地盤蓄熱システムの2種類のアクティブヒーティング手法を採用している。

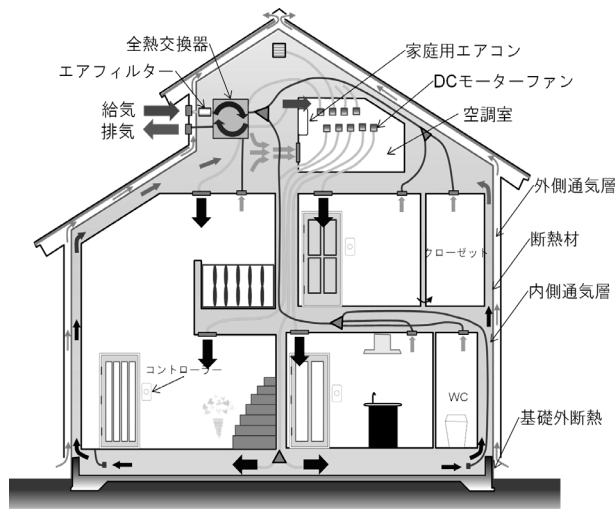


図 6-25 空気循環式全館空調システムのイメージ

- ・**太陽熱温水システム：** 屋根上に設置されたソーラーコレクタで集熱し、貯湯タンク内の水と熱交換することで湯を作るシステムである。本システムでは、さらに、給湯に使用した残りの湯を、空調室やリビングに設置されたファンコイルユニットの熱源として利用する。
- ・**地盤蓄熱システム：** 地盤蓄熱システムは、地盤の熱容量を利用し蓄熱させる方法である。本システムでは、屋根上のソーラーコレクタで集熱、床下空間に循環させることで放熱させる。

6.2.3 実証実験

1) 対象地域

図 6-26 に省エネルギー基準における地域区分と対象地域を示す。本研究では、気候特性の異なる 6 地域を対象とし、外界気象条件および敷地条件に応じた建物計画、空気循環式全館空調システム、太陽熱利用のパッシブ・アクティブ手法の導入と、実証住宅の建設、本提案の有効性の検証を行っている。対象とした 6 地域は、北海道旭川市（地域区分：1）、北海道札幌市（地域区分：2）、岩手県花巻市（地域区分：3）、福井県坂井市（地域区分：5）、愛知県春日井市（地域区分：6）、宮崎県宮崎市（地域区分：7）である。

2) 実証住宅の概要

表 6-3 に実証住宅の建築概要、図 6-27 に外観写真を示す。いずれの住宅も、太陽熱利用のために南面を重視した平面計画となっており、ダイレクトゲインとダブルスキンを有する。旭川市、岩手県、福井県の 3 住宅はさらにトロンブウォールを設けている。夏季にはこれらが空調負荷の増大に繋がらないよう、日射遮蔽となる十分な軒（庇）深を確保する計画としている。建物の各種性能や集熱部位の面積等は、数値シミュレーション（次章）により算出した必要性能（暖房・給湯エネルギーの 50%以上を賄う熱取得が見込める平面計画および仕様）を満たす。

表 6-3 建築概要

		旭川	札幌	岩手	福井	愛知	宮崎
気候条件※	地域区分	1地域	2地域	3地域	5地域	6地域	7地域
	冬期日射量区分	H2	H2	H3	H1	H5	H3
	年間日射量区分	A2	A2	A2	A3	A4	A4
建物条件	延べ床面積[m ²]	121.3	118.7	127.02	149.4	118.4	115.5
	ダブルスキン面積	5.4	11.0	6.5	13.5	11.6	9.0
	トロンブウォール面積	9.0	0.0	2.6	3.0	0.0	0.0
	ダイレクトゲイン面積	15.2	13.9	16.3	6.3	8.4	8.1
	開口面積 合計 [m ²]	29.6	24.9	25.4	22.8	20.0	17.1
	外皮等面積合計[m ²]	320.0	344.0	393.4	461.1	360.5	350.9
	Q値 (基準値)	1.26 (1.60)	0.93 (1.90)	1.01 (2.40)	1.12 (2.70)	1.07 (2.70)	1.08 (2.70)
UA値 (基準値)	0.36 (0.46)	0.21 (0.46)	0.27 (0.56)	0.28 (0.84)	0.27 (0.87)	0.26 (0.87)	
ηA値 (基準値)	2.56 (-)	2.07 (-)	2.02 (-)	2.61 (3.0)	2.13 (2.8)	1.72 (2.7)	
太陽熱温水システム	集熱面積[m ²]	16.0	16.0	20.4	20.0	12.0	16.0
	貯湯量[L]	460	460	370x2	370x2	300x2	370x2

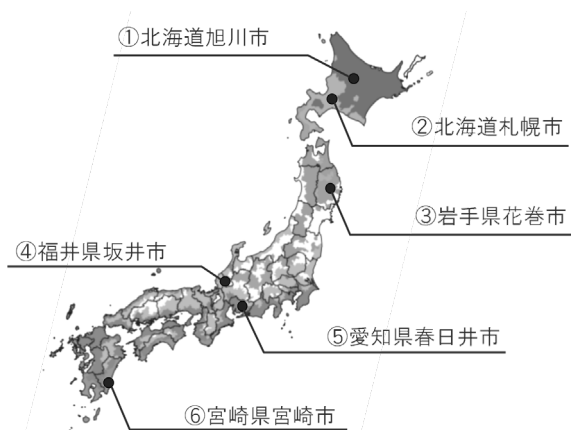


図 6-26 省エネルギー基準における地域区分と対象地域

6.2.4 数値シミュレーションによる負荷削減効果の検討

1) 温湿度・熱負荷予測ツール THERB

数値シミュレーションには THERB(Simulation Software of the Hygrothermal Environment of the Residential Buildings)を使用した。THERB は、建築入カモデルに応じて、空間を居室（小屋裏、床下、階間懐、階段室を含む）あるいは空気層（並行平板に挟まれたスペース）として任意に分割できるマルチゾーンモデルで、建築全体の熱・水分・空気の連成計算が可能である。THERB には、①対流による熱・水分伝達の時変性、②無次元整理式を用いた部位ごとの熱・水分伝達率（自然・強制対流）の計算、③内外表面における厳密な日照・日影部位の幾何学計算、④Multi-layer window model による窓面透過日射の計算、⑤室内表面における透過日射の多重反射、⑥放射熱伝達の非線形性、⑦室内表面間の長波放射熱授受、⑧Network airflow model による自然・強制換気の計算、などの特徴がある^{2,3,4,5}。



旭川



札幌



岩手



福井



愛知



宮崎

図 6-27 実証住宅の外観写真

2) 計算概要

平成 25 年の省エネルギー基準相当性能の住宅を基準（ケース：「省エネ基準」）とし、空気循環式全館空調システムの導入を行った場合（ケース：「標準システム」）、加えて太陽熱利用を行った場合（ケース：「太陽熱利用」）の 3 ケースについて、室温、暖房負荷、冷房負荷、給湯負荷を算出した。空調条件はケース「省エネ基準」は間欠各室空調、ケース「標準システム」および「太陽熱利用」は終日全館空調とし、空調設定温度は暖房時 20℃、冷房時 27℃とした。家族構成は 4 人家族、気象データは拡張アメダス気象データの標準年を使用した。なお、ケース 3「太陽熱利用」では、昼間、ダブルスキン空間の空気温度が高い間に暖気を室内に取り入れている。

3) 計算結果

図 6-28 のケース「省エネ基準」と空気循環システムを導入したケース「標準システム」を比較すると、旭川では-1.4%、札幌では-2.8%、岩手では-11.0%、福井では-9.5%、愛知では-8.2%、宮崎では-4.9%であり、間欠各室空調から終日全館に変わり空調時間および空間が広がったにもかかわらず、空気循環により建物内で一様の温湿度環境が保たれ空調機の低負荷運転時間が長くなることなどが確認できた。また、ケース「標準システム」と、さらに太陽熱利用を加えたケース「太陽熱利用」を比較すると、旭川では-54.4%、札幌では-52.1%、岩手では-52.7%、福井では-50.8%、愛知では-54.1%、宮崎では-54.2%と、全地域で太陽熱の利用による負荷削減率が 50%を超える結果となった。

6.2.5 年間負荷削減効果

図 6-29 に 2015 年 4 月 1 日～2016 年 3 月 31 日の年間熱負荷積算を示す。図 6-29 における「標準」とは、空気循環システムのみ使用（太陽熱は利用しない）した場合の負荷を意味し、「目標」とは、計画段階で算定した空気循環システムと太陽熱の両方を利用した場合の負荷の目標値を意味する。図 5 より、給湯負荷については、すべての地域で目標値を超えたものの、暖房負荷については、目標値を超えたのは愛知と宮崎の 2 地域のみであり、積算負荷では、旭川、岩手、福井の 3 地域で目標値を下回る結果となった。建物計画時の数値シミュレーションに用いた拡張アメダス気象データの標準年日射量と比較して、冬期の日射量が、旭川（78%）、福井（74%）と少なかったことも一因と考えられる。

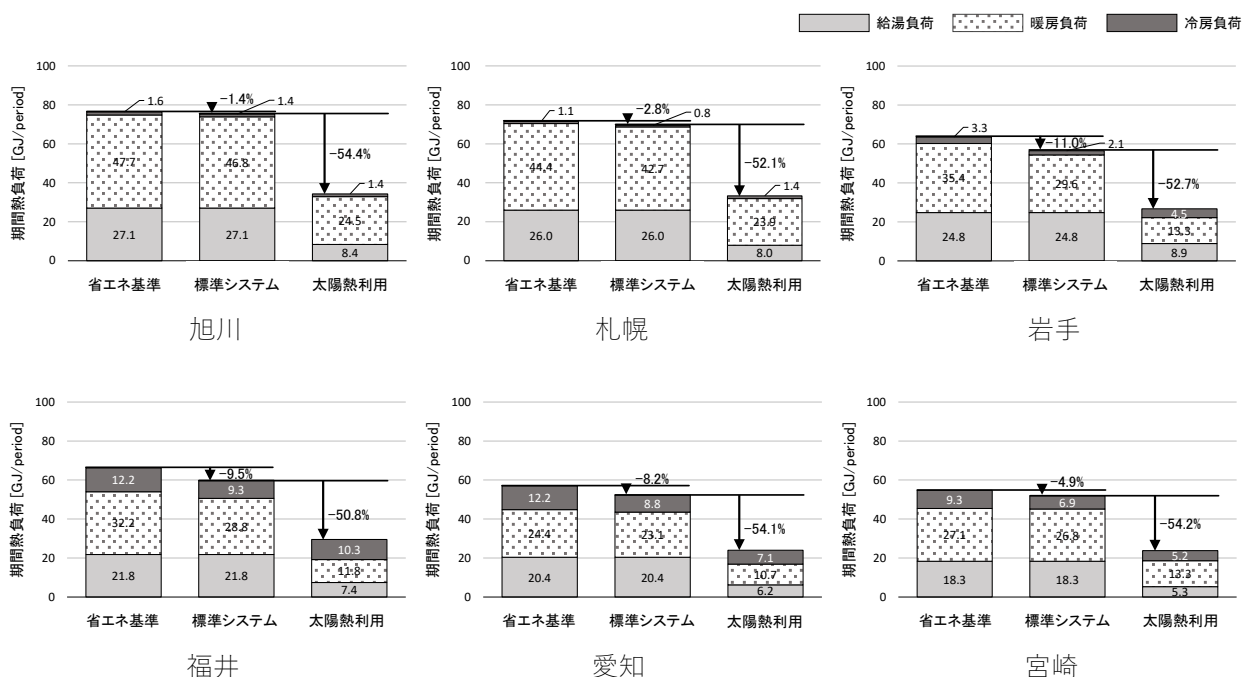


図 6-28 地域別の期間熱負荷積算
-142-

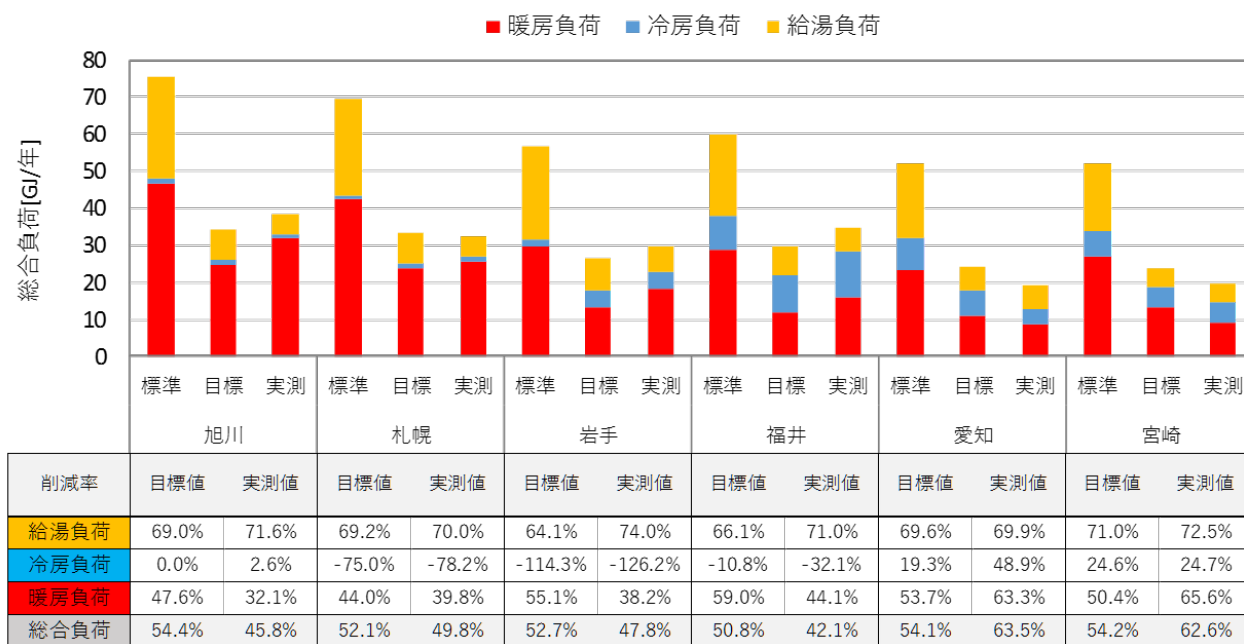


図 6-29 年間負荷積算
 ※削減率は目標,実測値ともに標準値に対する割合

6.2.6 実測結果と数値シミュレーションの精度検証

実測結果に基づきその精度を検証する。計算の入力値には、外気温湿度、日射量含め実測値を用いるが、その際の空調設定温度は 20°C、内部発熱、発湿はなしである。全 6 地域を対象とし、主要居室の温度、集熱空間の空気温度ならびに空調消費電力を算出した。図 6-30 に、主要居室、集熱空間および空調消費電力の実測結果と数値シミュレーションの計算結果（旭川）から 2 日分（3 月 6~7 日）の経時変化を示す。グラフは上から、主要居室温度、集熱空間温度、空調消費電力である。主要居室の温度が空気循環により一日を通して安定していること、集熱空間の温度が昼間に大きく上昇していることが分かる。主要居室および集熱空間の温度について、実測値（実線）と数値シミュレーションの計算結果（点線）を比較すると誤差 3°C 以内で実測値を捕捉している。また、空調消費電力についても、計算結果（細実線）は実測値（太塗線）の平均を捉えている。これらは他の 5 地域でも同様の結果であった。

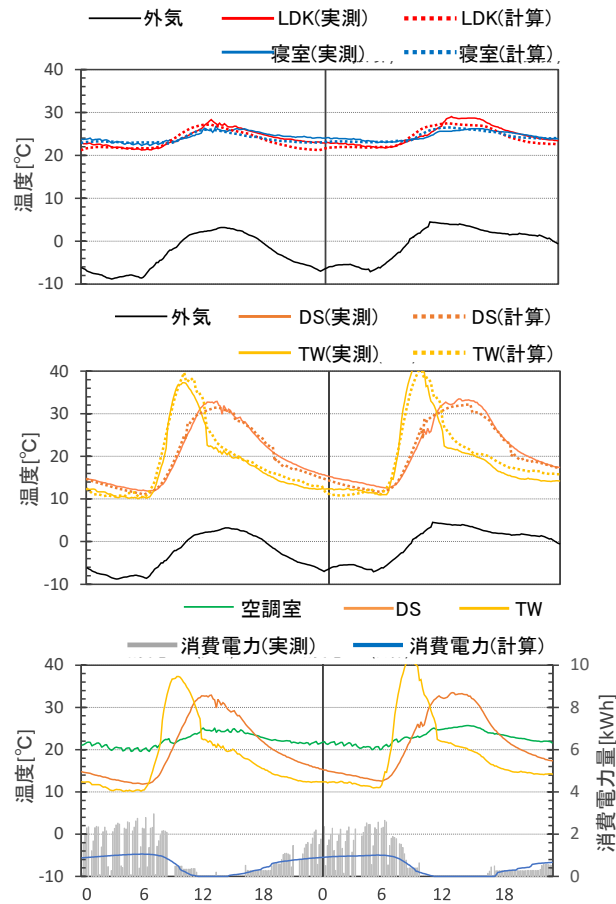


図 6-30 実測および数値シミュレーション結果（上から主要居室温度，集熱空間温度，消費電力）

6.2.7 まとめ

本稿では、太陽熱利用型住宅の概要、実証住宅の概要と性能、数値シミュレーションによる空調・給湯負荷削減効果の検討結果について述べた。また、実測実験の結果として年間の給湯負荷は全地域、空調負荷では札幌、愛知、宮崎で 50%を超える結果を示した。加えて、数値シミュレーションの精度検証を行い、数値シミュレーションは実測値を精度よく捕捉していることを示した。

【謝辞】

本研究の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO 「太陽熱エネルギー活用型住宅の技術開発」によるものである。FH-アライアンスの皆様には多大な協力を頂きました。深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構：NEDO 再生可能エネルギー技術白書
- 2) 尾崎明仁，他：水分ポテンシャルによる湿気移動解析，日本建築学会計画系論文集 第 488 号，pp.17-24，1996 年 10 月
- 3) 尾崎明仁，他：熱・水分・空気連成を考慮した建築の温湿度・熱負荷計算，Technical Papers of Annual Meeting of IBPSA-Japan，pp.19-26，2005
- 4) Ozaki A., et al., : Prediction of Hygrothermal Environment of Buildings Based upon Combined Simulation of Heat

and Moisture Transfer and Airflow, Journal of the International Building Performance Simulation Association, Vol.16, No.2, pp.30-37, 2006

5) 尾崎明仁, 他 : 多孔質材料の熱・物質移動の駆動力と拡散係数の関係について, Technical Papers of Annual Meeting of IBPSA-Japan, International Building Performance Simulation Association, pp.10-16, 2007

6.3 建築と環境のインターフェイスとしてのコンピューテーションデザインツール

6.3.1 はじめに

吉村順三の建築は、可視化しづらい光や風や湿度などその場にたたまないとわからないことまで考えて建物の形状を考えていたのではないかと思われる。怒られるかもしれないが、昔は、より真剣に想像することがシミュレーションだったと思う。そして、環境に関する知識は建築に携わるもの教養であり、環境を配慮して設計することが建築家の務めであったと思う。

しかし、近代の建築技術の高度化・専門化・複雑化・多様化した結果、環境に配慮した設計を設計の初期段階に同時に検討し続けることが難しくなっていた。

現在、コンピュータの性能が飛躍的に向上し、3次元で設計することが当たり前となり、データを用いたエビデンスベースの設計手法が可能となった。環境シミュレーションの結果を設計者自ら読み解いて、問題を発見・分析・提案し、建物の形状へと昇華させる。数値を利用したエビデンスベースの設計が可能である。また、数千もの検討データを瞬時に作成し、その中から設計を検討する Brute Force 手法も可能である。Brute Force Method を用いて、ビッグデータを生成することも容易になった結果、設計を支援する AI を構築する調整も進んでいる。

本稿では、現在使われている一部のコンピューテーションツールの事例を通じて、コンピュータ技術が環境と建築の設計を繋ぎ、相乗的に問題を検討し解決することで、環境負荷の少ない、人を育む美しい建築を同時に模索することの可能性を示したい。多くのコンピューテーションツールがある中で、本稿で紹介するツールはあくまで多くのツールの中の一例であり、このツールでしかできないというわけではない。ツールを通じて、コンピューテーション技術を自分の脳みその延長として様々な検討を瞬時に大量にデータに基づいて設計する。普通的设计者が、昔の巨匠のようによい建物づくりに貢献できる強化技術になりうることを伝えることが目的である。

2019年現在、丹下健三が20代の設計者だったら、きっと誰よりも先にコンピュータの技術を利用して、大勢の仲間と文化の遺産となる建築づくりに夢中になって取り組んでいたのではないかと思う。

6.3.2 BIM と 3DCAD (BM)

3次元CADはコンピュータ上に3次元で形状を作成するものである。例えば、Rhinoceros と呼ばれる3次元モデリングソフトでは、設計の計画段階の時に建物のボリュームをスタディし、企画段階に入れば、より具体的な建物の形状を立体的に検討することが可能である。

さらに、実施段階では、3Dモデルの形状を物性情報で分類し、材質・数値・コストなどの属性情報を付与したBIMモデルにすることで、3次元建築情報から平面図・立面図・断面図などの図面や集計表を半自動的に生成することができ作図業務を軽減しながら、建築情報を総合的に管理することができる。

3DモデルからBIMへは、柔軟にプロジェクトの状況によって可変していく。そのため、建築業務における3DCADは、単なるレンダリングの為だけではなく、後工程に生かされる重要な建築情報である。

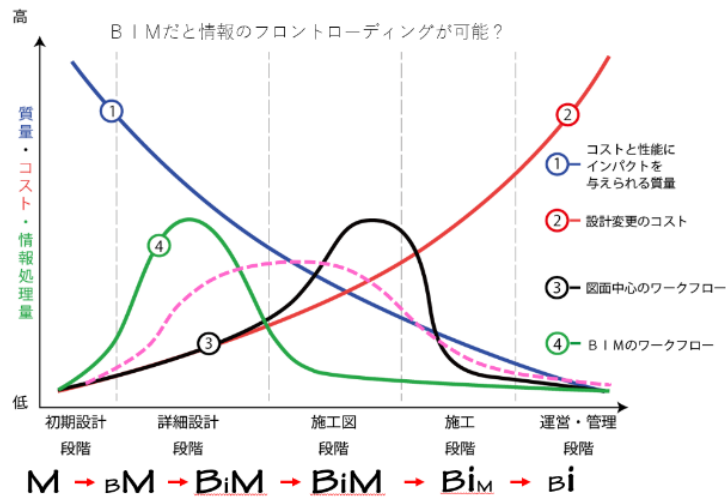


図 6-30 BIM 曲線と BIM モデル情報の変遷

6.3.3 3DCAD とビジュアルプログラミング

さまざまな 3DCAD が市販されており、利用されている。本稿の目的はそれらを比較するものではないのでここでは 1 つの 3D モデリングソフトを 1 例として挙げて 3DCAD ができることについて紹介したい。

3DCAD ソフトの 1 つの Rhinoceros というモデリングソフトには、Plug-in として Grasshopper というビジュアルプログラミングツールが付随している。これは、無理やり例えると、Excel についているマクロや VBA のようなもので、プロセスをプログラムでルール化し、プロセスの一部を可変させると結果の情報が自動的に修正されすぐに確認することができるものである。

モデリング作業のプロセスをコンポーネントと呼ばれるものをつなぎ合わせることで実行することができる。名前の通り「ビジュアルプログラミング」のため、プログラムのプロセスが可視化されており、分業作業や人に伝えやすい可視化されたプログラムとなっている。

検討作業の多い設計の初期段階に多くの検討案を少ない時間で検討することを可能にしたため、海外の設計事務所では日常的に使用されているツールである。

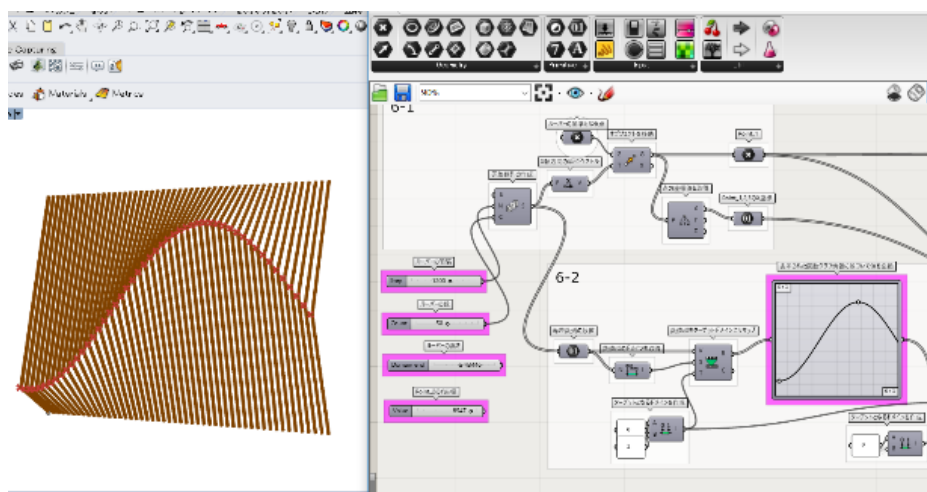


図 6-31 Rhinoceros (左) と Grasshopper (右)

6.3.4 デザインシミュレーション

初期の設計段階では、モデリングプロセスを履歴機能として記録させておき、プロセスの一部を修正することで様々な形状パターンが生成されるためデザイン形状の検討に多く使われている。実施の段階では、具体的な数値を利用した根拠のある形状やモデリングが求められるために、計算式などを自分で入力して条件内に収まる形状であるか確認しながら設計するツールとしてもできる。3DCAD とビジュアルプログラミングツールがあると、

設計者自身が必要なツールを自分で作成することも可能である。図 6-32 の画像は、軒樋のサイズを雨水が流れてくる面積を Grasshopper で割り出し、クッターの方程式を利用して、オーバーフローしない軒樋のサイズを算出委している Rhinoceros と Grasshopper の例である。

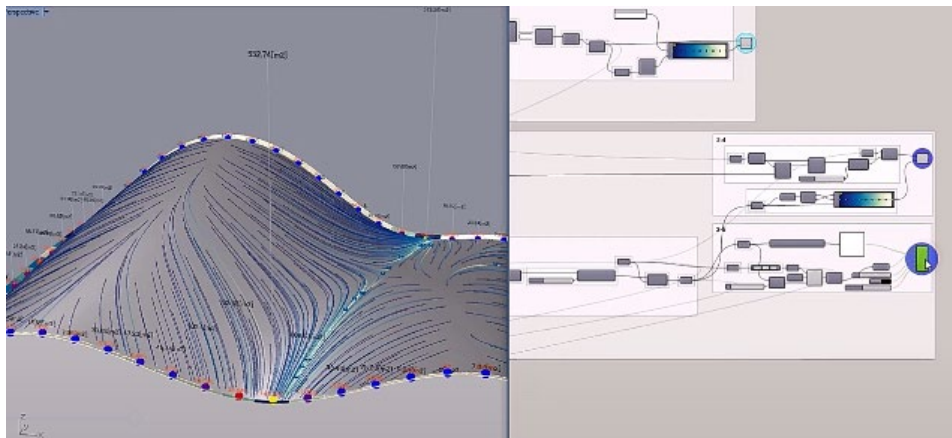


図 6-32 雨水のシミュレーションと軒樋の検討ツール

さらに Grasshopper は、外部のツールとの連携が容易なため、面積情報をモデルから取得してエクセルに記述し、エクセルの数値情報を読み取って建物形状を生成することも可能である。

これらのツールのメリットは、複雑な形状を作成し検討できるだけにとどまらず、設計者がツールの使い手だけではなく、必要に応じてツールの作り手にもなりえるという点である。汎用性の高いツールを作成すれば、別のプロジェクトや別の担当者も利用することができ作業効率が上がるだけでなく、知識や技術の伝達ツールとしても機能する。

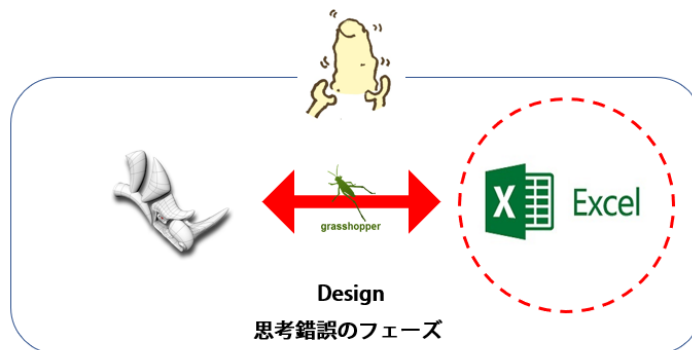


図 6-33 Rhinoceros と他ツール（エクセル）を繋げるゲートとしての Grasshopper

6.3.5 環境シミュレーション

外部のツールとの連携が容易なことから、自作で Rhinoceros にシミュレーションツールを構築するのではなく、Opensource のシミュレーションツールと接続することで、容易にシミュレーションを行うことができる。

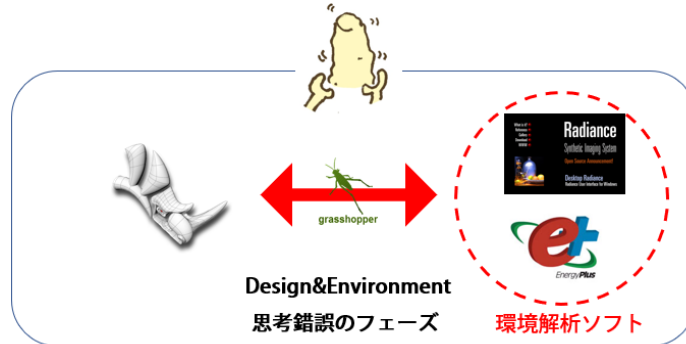


図 6-34 Rhinoceros と環境ツールを繋げるゲートとしての Grasshopper

設計者は、形状を検討しながらシームレスに環境シミュレーションも行うことが可能になる。実際には、プログラムでは、作成したモデルデータに物性値などの条件を設定して、データを書き出して解析プログラムに自動で解析を実行して、結果形状を Rhinoceros に表示するように取得している。ただ、この一連の作業を人が行うのではなく、コンピュータが自動で行ってくれるため、設計者は検討作業に集中することができる。

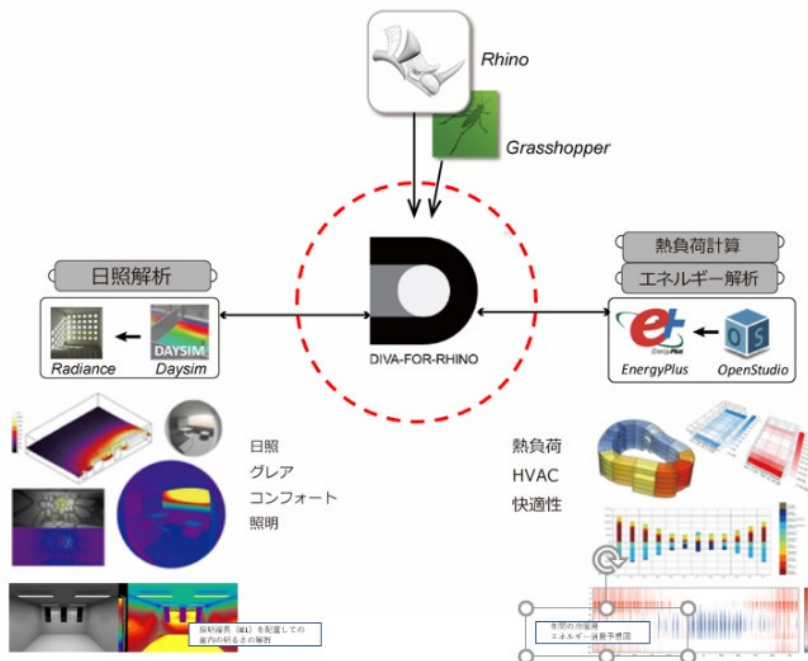


図 6-35 インターフェイスとしての DIVA

光環境の解析では、Radiance を、熱負荷計算では Energy Plus と接続したインターフェイスを構築したツールがすでにいくつか存在する。代表的なのが、意匠設計者が自ら設計しながら環境について把握できるように作られた DIVA of rRhino という Plug-in ツールがある。これは、2008 年に当時ハーバード大学の教授だった Daysim の開発者でもあるクリストフ・ラインハルト（現 MIT 教授）と修士の学生とで開発したツールで現在では、市販ツールとして商用には販売されており、現在も開発の改善をしている。

他にも、同じく Radiance と Energy Plus と接続した、Ladybug+Honeybee という GPL ライセンスを取得しているオープンソースツールもある。このツールはペンシルバニア大学の先生と MIT の修士の学生で開発が始まったものである。Ladybug+Honeybee は、プログラムが公開されている為、必要に応じて自分で追加のプログラムを容易に作成することができ、研究者や設備設計者にとってより使いやすいツールとなっている。Open Studio とも接続しているため、HVAC のシステムなどの構築も可能である。

6.3.6 環境シミュレーションツール Radiance と 3DCAD

Diva を一例として紹介すると、画像ベースのシミュレーションや、計測点ベースのシミュレーションが Rhinoceros 上で容易に実行することが可能である。設計者は、データのインポート・エクスポートの手間や、再度解析を行う時の手間から解放されて、さまざまな形状を検討しながら光環境に配慮した設計を同時に行いやすくなった。

計測点ベースのシミュレーションでは、気象データを利用した年間解析が可能であり、DA (Daylight Autonomy) や、DAv (Daylight Availability)、UDA (Useful Daylight Illuminance) などを用いて、年間の光の状況を様々な条件で把握することも可能になった。DIVA の開発者たちで、サーカディアンライトをシミュレーションするツール ALFA も開発されている。

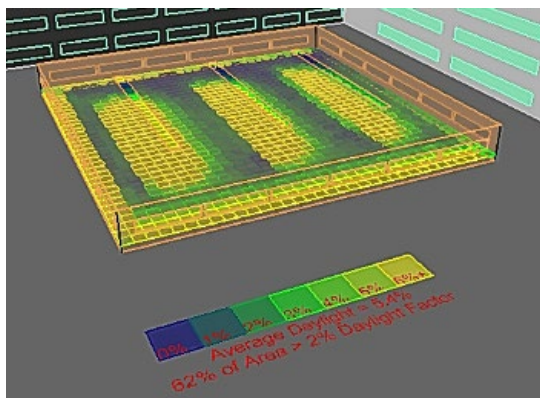


図 6-36 Rhinoceros 上で昼光率を可視化した例



図 6-37 年間解析の評価手法の一例

6.3.7 環境シミュレーションツール Energy Plus と 3DCAD

Energy Plus と連携しているため、ゾーンごとの冷暖房負荷などを可視化して把握することが可能である。ゾーンモデルを構築し、物性や条件を設定するだけで設計者自身が概算のエネルギー負荷や様々な情報を把握することができ、設計検討の際に、環境負荷の少ない設計を検討することが可能である。

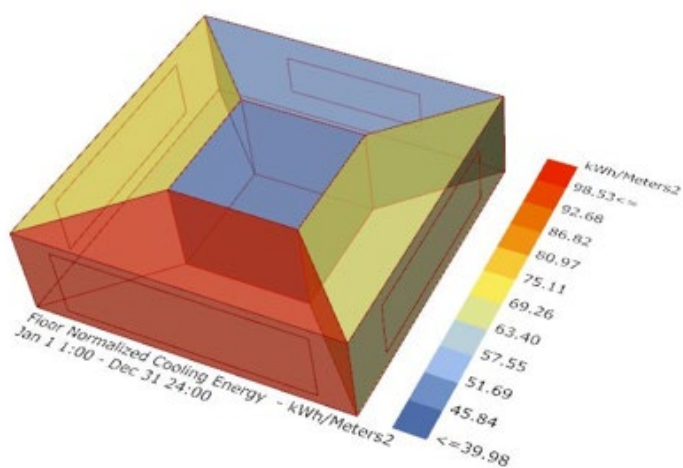


図 6-38 EnergyPlus で解析をかけた結果例

6.3.8 カスタムツール：自然換気回路網の可視化

Rhinoceros と Grasshopper のメリットとしてこれらの環境解析ツールにさらに自分で追加プログラムを構築することが容易な点があげられる。例えば、図 6-39 は、EnergyPlus の AirFlowNetwork を利用して、ゾーン間を開口と通じて移動する質量風量を解析結果から取得し、風量・風速・風圧に変換し、それぞれのモデルに表示することで、自然換気回路網を可視化し、自然換気するために設計した開口が求めているような結果になっているかを容易に確認することができるようにしたものである。

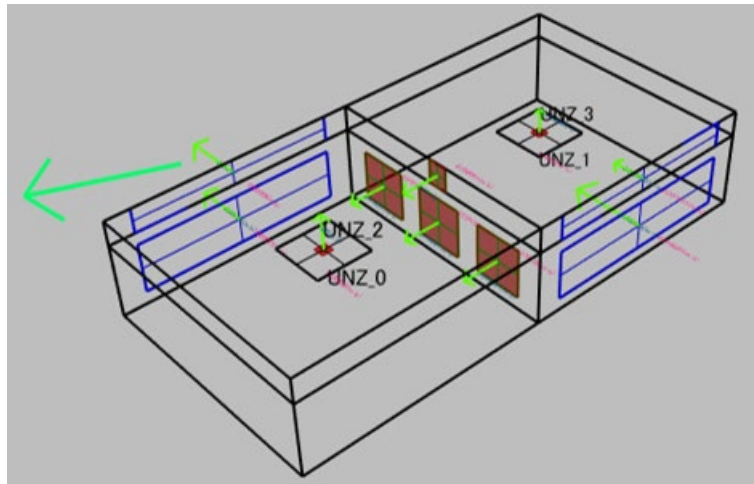


図 6-39 EnergyPlus を利用した自然換気回路網の可視化ツール

6.3.9 環境と建築設計をつなぐ Feedback Design

設計検討を行いながらシミュレーションをすることで、フィードバックデザインも可能である。設計者自ら、設計検討中に建物形状の環境性能の概算を把握することで、シミュレーションの結果から、より環境的に良い形状を提案することが可能になったのである。何度もフィードバックを行うことで、環境負荷の少ない、美しく人を育む建築を同時に作成することが可能である。



図 6-40 シミュレーションを利用したフィードバックデザイン

1) Evidence-based Design

フィードバックデザインを設計の初期段階に取り入れることで、形状検討の段階から環境に配慮した設計を同時に行うことができる。今までは、ある程度形が固まってから本格的なシミュレーションツ-

ルを利用していたが、後工程で検討されるため、状況的に大幅な設計が難しく、開口の位置などの微々たる変更しかできなかった。しかし、設計の初期段階で環境の概算も把握できることで、設計者自ら建物のコンセプトと環境のコンセプトを同時に提案することができ、多様な建築を模索しながら、環境負荷の少ない建物を実現することが可能である。

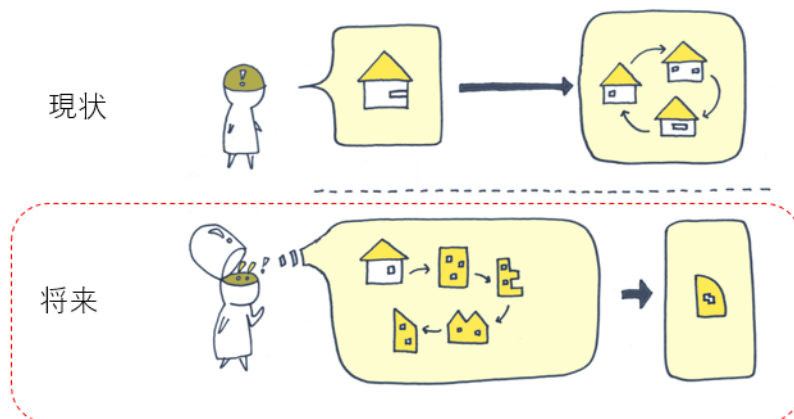


図 6-41 建築の初期段階での形状検討

シミュレーションツールは、専門家しか使えないものだと思われていた故に、シミュレーションの結果を読み取って、解析結果の数値から建物形状やデザインでの問題解決を自ら提案できる設計者がほぼいなかった。設計の初期段階で意匠設計者自らシミュレーションを使えるようになることで、専門家とより共同して作業を行うことができ、初期設計の段階から可視化できない光や空気といった建物環境も設計できるようになる。

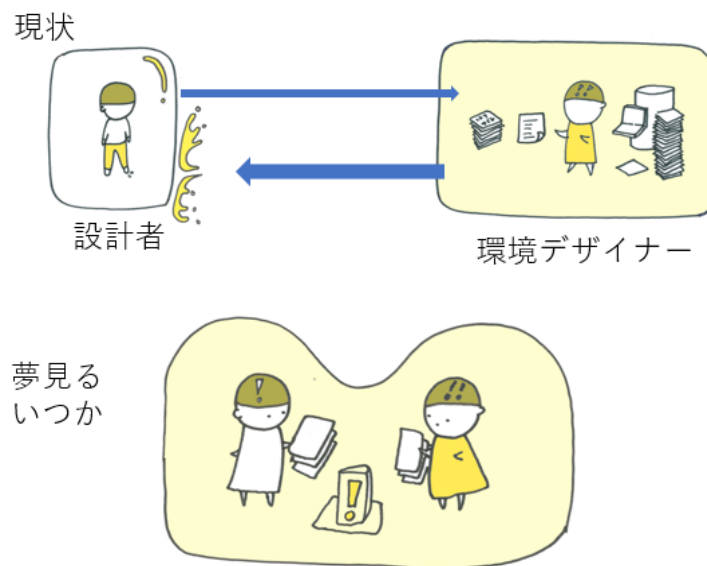


図 6-42 シミュレーションを用いた共同作業の実現

2) Brute Force Method

設計情報を 3 次元のモデルデータで作成することができるため、最適解を選択する様々な方法が提案されてきた。

ここ最近で、意匠設計者にとって有用だとされる方法の 1 つを紹介したい。

遺伝的アルゴリズムを用いた最適解の生成などは、数値で優劣を表現でき、優劣が突然変わることがなければ非常に有用な手法である。しかし、意匠設計の場合、優劣や条件が時間や施主など様々な外部要因によって可変するため、変動的であり数値アルゴリズムでの最適解の算出に合わないことが多い。そのため、最近では **Brute Force Method** という手法が意匠設計者の間では多く利用されている。これは、日本語で言うと「総当たり手法」である。先に、検討すべき条件をパラメータとして設定し、総当たりにデータを大量に生成し、全データの中から条件に後から優劣をつけることで最適な解を選択する手法である。この手法だと、条件が変更した際もデータがあるので、解析をかけなおす必要がなく、選択し直すだけで最適な案をすぐに検討し直すことができるメリットがある。また、実際に総当たりでデータを作成することで、データの偏り具合が可視化され、パラメータを可変させて大量に検討すべき部分と、パラメータのばらつきが小さく、そもそもパラメータ化する必要のないものを抽出することも可能である。さらに、発展形として、この手法を利用して AI のためのビッグデータを大量に生成し、構造の AI モデル生成ツールを作成した例もある。

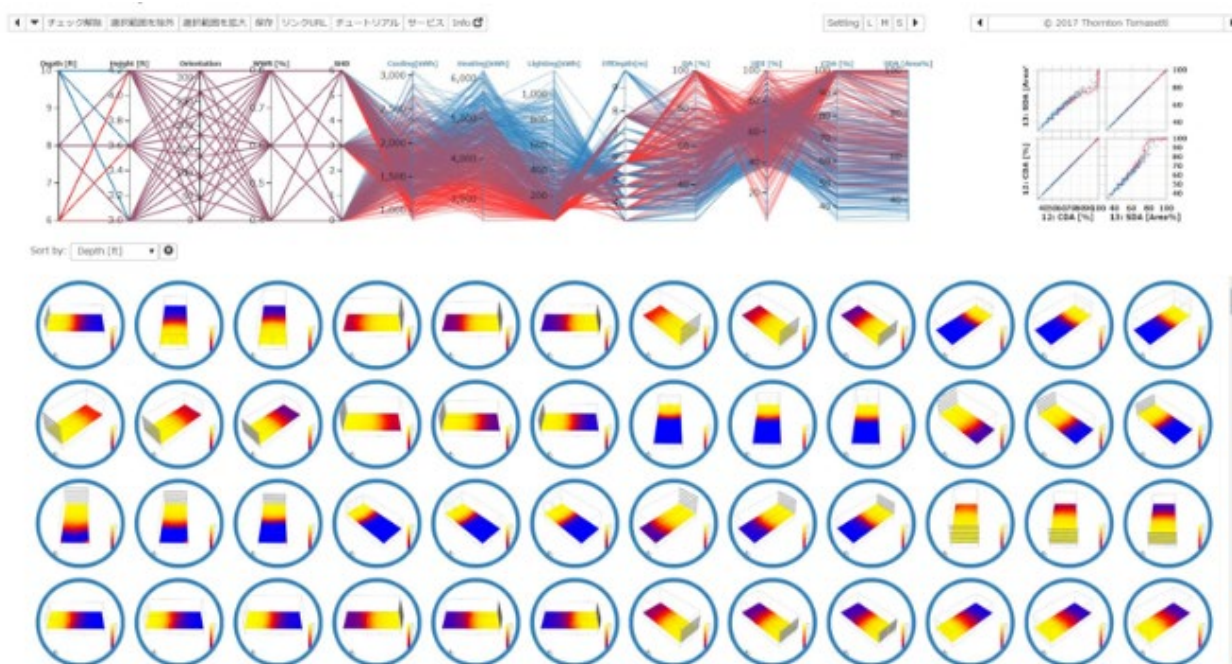


図 6-43 Brute Force Method の一例

6.3.10 まとめ

コンピュータの技術が発展し、コンピューテーションツールが環境設計と意匠設計を繋げることで、環境を設計の初期段階から設計のコンセプトとして考えることが可能となった。ツールを通じて、コンピューテーション技術を自分の脳みその延長として様々な検討を瞬時に大量にデータに基づいて設計する。環境負荷の少ない、人を育む美しい建築を同時に模索する設計を実現することが誰にでも可能になる。

さらに、さまざまな技術や情報を学ばないといけない現代の社会において、ツールを利用することで可能である。しかし、これらのツールが教育ツールとしても利用できるのではないかと思う。

6.3.11 おわりに：データドリブンな設計

海外は、BIM や 3DCAD による建築設計が日本の 10 年以上先を進んでいる。すでに、BIM で図面データを作成するメリットを享受する時代は特別なことではない。作成した 3 次元建築データを利用して、さらなるメリットを享受する挑戦がはじまっている。

地図情報や、行動情報等のビッグデータから敷地の分析を行う。法規・環境制約条件から自動で敷地内に建築可能な建物ボリュームパターンを大量に生成する。企画段階の検討中のモデルから AI を利用して、概算構造のモデルを自動生成する。建物内部の設計では機械学習を利用した内装の設計変更に追従し自動で家具を配置修正し、面積算定を行うなど様々な取り組みが行われている。

これらは全て、3 次元設計データが大量にあることで可能となっている。海外のデータドリブンな設計への挑戦の背景には、情報化への取り組みを怠ってきた結果、20 年間でわずか 1% しか向上していない生産効率への危機感がある。マッキンゼー社の調査によると、建設業界の生産性は、ここ 20 年でわずか 1% しか向上していない。1945 年以降における米国の製造業の生産性が 1500% 上昇しているのに比べると、建設業界は全く変化がないに等しい。

日本も、建築業にかかわる人数の減少を最新技術で生産性を向上し補う必要がある。データをつくるだけの時代は終わった。3D 建築データの正しい共有・オープンソース化、データ標準化を定めることによってデータを利用した新たな技術を生み出すチャンスが生まれるのではないだろうか。

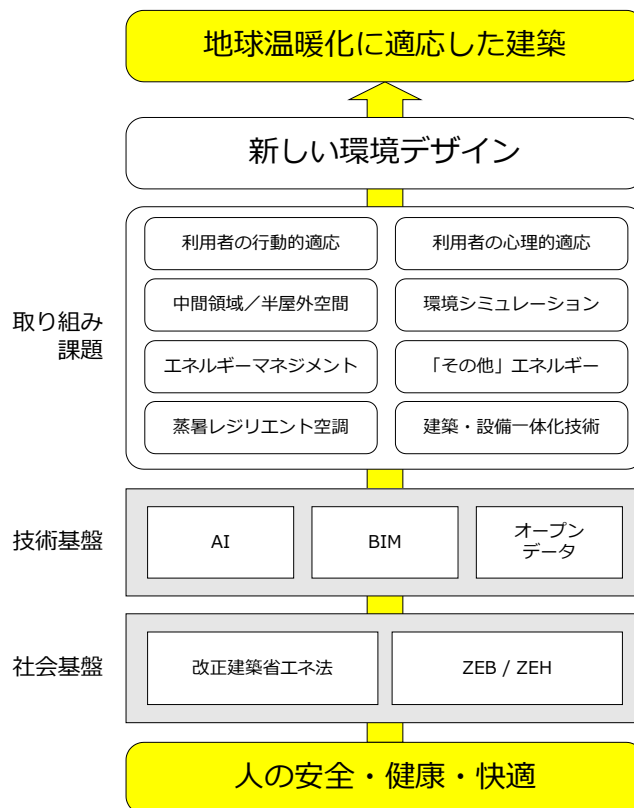
おわりに

本委員会では、建築設計、設備設計、建築計画、環境計画、医学、情報技術、社会制度等の幅広い視点から、建築分野における地球温暖化への適応策に関する現状とこれからの課題について議論を行った。

委員会の冒頭において、建築における最優先事項は地球温暖化対策ではなく、あくまでも居住者の安全と健康であり、そのことを強く社会に発信していくことの重要性が確認された。次に、建築行為の根本に関わる「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律の一部を改正する法律」、そしてエネルギー使用量の削減を主眼に推進されている ZEB/ZEH の現状について整理した。本委員会の役割は、ZEB/ZEH の先に目指すべき建築のありかたを示すことであるとの目的共有がなされた。

地球温暖化に適応したこれからの建築のありかたを占う中で、環境シミュレーションと建築デザイン、人の行動的・心理的な環境への適応、高断熱化により分断される室内と屋外をつなぐ中間領域の重要性、高性能住宅に適したすまいかた等について議論された。また、これからの建築デザインやエネルギーマネジメントを支えるハードウェア技術、AI、BIM、ビッグデータなどのソフトウェア技術、および最新研究事例について情報共有がなされた。

議論の中で上がってきた多岐分野にわたるキーワードをまとめると、以下の概念図になる。報告書では、議論の内容を「制度」「人」「建築」「設備」「研究・ツール」という5つの視点でまとめることとした。また、トピックを住宅に絞り込み、社会に向けた提言として「すまいにおける環境適応に関する提言」の案をまとめた。気候変動に備えた建築分野の適応策の方向性について、さらなる議論と取り組みを進展させる一端となれば幸いである。



資料編

2017年度 第1回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2017年5月18日（木）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、尾崎委員、小林委員、白石委員、末光委員、
中川委員、長澤委員、丹羽委員、星委員

欠席： 大岡委員、秋元委員、甲谷委員、伊藤オブザーバ、羽山オブザーバ

資料

1-0 2017年度 第1回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第

1-1 特別調査委員会設置提案書

1-2 委員名簿

1-3 特別調査委員会運営規程

1-4 社会ニーズ対応推進委員会運営規程

1-5 田辺主査 発表資料

1-6 中野幹事 発表資料

議題

0. 主査、幹事

互選により田辺主査、中野幹事が決定。

1. 主査挨拶

2. 委員紹介（資料 1-2）

3. 委員会主旨説明（資料 1-1、1-3、1-4）

- ・特別調査委員会は、会長の命により社会ニーズや政策助言に向けた調査を行う委員会として始まっている。出張費のみが支出可能となっている。
- ・IPCC はその報告書において、省エネに努めるだけでなく、不可避である環境変化に適応せよ（adaptation）との文言が追加された。日本の建築に関するライフスタイルや行動を含めた適応策の現状とこれからについて、様々な視点から調査を行うことを本委員会の目的とする。
- ・ヨーロッパの高気密高断熱住宅では、オーバーヒートが問題になっている。日本の ZEB において熱的な弱点である窓が小さくなる傾向にあるが、窓や吹き抜けの設置が補助金の加点項目になった。
- ・設置期間は3年間で、年4～5回の委員会開催を予定している。初年度に議論を進め、2年目にシンポジウムを開催する。また、建築学会大会での総合研究協議会を開催する。報告書が必要であるが、シンポジウムの資料を中心にまとめる。

4. 話題提供1と意見交換（星委員）

- ・日本は寝たきりになってから亡くなる高齢者が多い（NNK）。海外ではそのようなことはない（PPK）。

QOL が重視されており、個人の人権に対する考え方の違いが大きく異なっている。

- ・健康における住環境の影響が大きい。1F より 4F に住んでいる高齢者の方が長生き。適度なバリアが健康にプラスになっている。
- ・英国では患者の疾患と住所（郵便番号）の対応がデータベース化されており、地区ごとの建物性能が健康に与える影響の分析が行われている。

5. 話題提供 1 と意見交換（田辺主査、資料 1-5）

- ・2016 年 11 月、地球温暖化対策の新たな国際ルールであるパリ協定が発効した。日本は、2030 年度の温室効果ガス排出量を 2013 年度比で 26.0%削減するとの約束草案を提出している。この達成に向けて政府は部門別削減目標を定めており、家庭部門で 39%削減が求められている。
- ・震災前は、原発の比率を高めていく方針がとられていたが、使用エネルギー量を削減していく必要がある。
- ・日本の住宅の約 4 割が無断熱である。使用エネルギーも先進国に比べると少ないが、これは日本人が冬場に寒く、夏場に暑い環境で生活していることを示している。冬季に風呂場における死亡事故が増える傾向にある。
- ・2014 年 4 月に閣議決定した「エネルギー基本計画」において、2020 年までに標準的な新築住宅で、2030 年までに新築住宅の平均で ZEH の実現を目指すとする政策目標が設定されている。
- ・「ZEH ビルダー」は自社が受注する住宅のうち、ZEH が占める割合を 2020 年までに 50%以上とする目標を宣言・公表した住宅建設業者を公募、登録し、屋号・目標値等の公表する制度だが、現時点で既に 5,566 社が登録されている。
- ・東京都は、グリーンボンドにより競技施設の環境対策を担う計画である。
- ・竹中工務店東関東支店、ローソン小平支店などで ZEB が達成されている。また、ZEB 設計ガイドライン (sii.or.jp) が公開されている。
- ・余剰な再生可能エネルギー（昼間の太陽光など）を使うことも省エネに含めるようになる可能性がある。

6. 話題提供 2 と意見交換（中野幹事、資料 1-6）

- ・これまでの熱的快適性評価は、人体の発熱量（代謝量）と環境への熱損失のバランスから快適性を予測するという考え方に基づいている。人が不快に感じたときに自発的に環境に適応しようとする効果を考慮した考え方をアダプティブモデルという。
- ・環境適応は、行動、生理、心理の 3 つに分けられる。行動的適応の頻度が最も高く、心理的適応の効果が大きいと言われている。
- ・自然換気のオフィスでは、全館空調オフィスと比べて快適範囲が広いことが実測調査結果から示されている。日本での調査でも、パブリックスペースや駅舎において、空調しているよりもしていない方が快適範囲は広いことが示されている。
- ・滞在状況、着衣の調節も非空調空間で活発に行われており、滞在環境との相関が見られる。
- ・適応の効果を考慮することで、これまでとは異なった環境設計が可能になる。
- ・住宅において、自然換気と全館空調、どちらを推奨すべきか？

→ 住宅は家族の城であり、家族の意向が尊重されるべきである。不特定多数の集まる公共的空間においては、不満足者率のような最大公約数的な快適性を目指すのが現実的と考える。

→ informed choice という考え方が重要である。

・空間の使われ方も快適性に影響しているのでは？

→ 影響している。利用者の快適性よりも業務従事者の快適性が優先される場合もある。

7. 今後の予定

・第2回 7/31 (月) 18:00～20:00 話題提供：星委員・尾崎委員

・第3回 10/10 (火) 18:00～20:00 話題提供：末光委員・中川委員

2017年度 第2回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2017年7月31日（月）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、秋元委員、大岡委員、尾崎委員、甲谷委員、小林委員、白石委員、末光委員、中川委員、長澤委員、丹羽委員、星委員

欠席： 伊藤オブザーバ、羽山オブザーバ

資料

2-0 2017年度 第2回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第

2-1 2017年度 第1回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

2-2 星委員 発表資料

2-3 尾崎委員 発表資料

議題

1. 前回議事録の確認

2. 話題提供と意見交換 1（星委員、資料 2-2）

健康寿命規定要因

- ・ 早世予防と健康寿命が重要であり、どのような終末を迎えられるかが鍵である。
- ・ 健康寿命決定要因には、収入学歴、幸福感・健康感、健康寿命、地域環境、住居環境、食生活と生活習慣、想いと夢、平和、身体・社会・精神的健康がある。
- ・ 健康について、医療だけで取り組んでいるのは日本だけである。WHO では医療、教育、運輸。労働、住居、工業、都市開発、農業を健康要因として捉えている。
- ・ 医者がいない地域が長生き。標高が高いと長生き。東京は必ずしも長生きじゃない。大阪は短い。その要因の一つは、医療事故（C型肝炎）。65と95では、もらえる年金が1億円違う。
- ・ EU全体で、病院医療事故で年間15万人が死んでいる。風邪は薬で治すべきではない。体温を上げるとがんは死ぬ。
- ・ 共分散構造分析により、健康決定要因・因果構造のモデルを構築できる。
- ・ 寝たきりは働くことで減らせるが、病院は寝たきりをつくっている。
- ・ 生活習慣病と健康寿命は関係ない。原因ではなく、結果である。

住宅と健康

- ・ 50-60年前から循環器系疾患死が少なくなった。トイレを室内に入れたから。住宅の寒さの改善により、循環器疾患を減らせる。
- ・ ゼロ次予防。根源的予防。「たばこ自販機の撤去。」環境整備を公的責任として行う。
- ・ 日本はアレルギー他国の3倍。結露、カビ、化学物質。有機溶剤。床面レベルでの濃度。
- ・ 子宮ガン予防。寝室の中にシャワー室。

- ・ゼロ宣言の家
- ・かかりつけ歯科医がいると、より長生きになる。
- ・医者と病院が居ないところ、蛍がいるところが長生き

3. 話題提供と意見交換 2 (尾崎委員、資料 2-3)

ここまでできる建築の科学

- ・建築環境の形成メカニズムを基に、快適性・健康性・省エネルギー性・耐久性に優れた住環境デザイン、および先進的な自然エネルギー利用や高効率設備について研究。
- ・建築系、設備系、人体系について建築熱環境解析ツールを開発し、顕熱・潜熱移動と熱環境を評価する。
- ・建築全体の温湿度・熱負荷計算ができるソフトとして、THERB for HAM を開発。
- ・これらを駆使して以下の研究テーマに取り組んでいる。
 1. 次世代高機能建築の提案 (調湿, 蓄熱自然エネルギー利用など)
 2. 高効率設備システムの総合解析 高効率設備システムの総合解析 (マイクロジェネレーション, デシカント換気、放射暖房など)
 3. 熱・水分空気連成を考慮した建物温湿度負荷予測 (熱・水分移動と CFD の連成解析による住環境シミュレーション)
 4. 建築外被の温湿度変動解析 (防露計算、漏気・通熱橋を含む 1～3 次元伝解析)
 5. 不均一熱環境の快適性評価 (人体温熱感に基づく建築環境・省エネルギー解析)
 6. 建築エネルギー消費と温暖化対策 (効果的な省エネルギー対策 効果的な省エネルギー対策)

○質疑

- ・設計初期段階では、必ずしも精度が高くて時間のかかるシミュレーションは必要ない。精度は粗くても短時間で設計の方針が決められる方のニーズが高い。専門分野にあまり明るくなくても簡便に扱えるツールはできないか。 → 簡便化されたツールをつくるにも、まずは実現象を正しく再現できるツールが必要である。また、一定の知識は不可欠である。

4. 今後の予定

次回委員会 : 2017 年 10 月 10 日 (火) 18:00~20:00

話題提供 : 末光委員、中川委員

次々回委員会 : 2017 年 12 月 19 日 (火) 18:00~20:00

話題提供 : 秋元委員、大岡先生

2017年度 第3回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2017年10月10日（火）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、秋元委員、尾崎委員、末光委員、中川委員、長澤委員、丹羽委員、

欠席： 大岡委員、小林委員、星委員、甲谷委員、白石委員、伊藤オブザーバ、羽山オブザーバ

資料

3-0 2017年度 第3回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第

3-1 2017年度 第2回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

議題

1. 話題提供5と意見交換（末光委員）

<SUEP>

- ・SUEPは東京と福岡に事務所があり、Design GとResearch Gがある。廉価なシミュレーションソフトウェアを用い、「都市と建築レベルでの流体リサーチ」「エネルギーポテンシャルマップ（日影・風通し）」などを作成している。
- ・使用しているツールの例として、グラスホッパを用いた形態検討ツールがある。U値を決めると窓の大きさの上限が決まり、スライドバーで調節しながら窓の形態を検討できる。

<傘の家>

- ・福岡県の八女にある「傘の家」。障子屋社長の自宅。八女は日照量と降水量が多く、日較差が激しい。昼夜間の温度を安定させることがコンセプト。
- ・人が集まる場所の天井高を上げ、心柱で垂木を支える構造で、傘のようになっている。二重屋根内で収集した熱を中央トップライトでさらに加熱し、心柱から床下へ送る。夏季は屋外に排熱。トップライトからは採光も得られる。
- ・OMソーラーは片流れ屋根となるが、この物件は。寄せ棟。屋根を立ち上げすぎると北側が不利になるため、シミュレーションにより勾配検討。

<宮城県山元町の山下第二小学校>

- ・2Fに教室があるが、複数の教室をつなぐ中央部分に上記と同じ傘構造。1F分は熱量が不足するため、2Fの教室のみで太陽熱を利用。ALC版で蓄熱。

<自然光のオフィス>

- ・自然採光によるオフィスがテーマ。
- ・リサイクル業者のオフィス。
- ・透明折板+ポリエステル断熱材+ポリプロピレン中空層+木製ルーバーの屋根
- ・天井材も壁材も薄い杉材を編んである（竹かご名産）。風と光の透過性を確保。

- ・19時より前は人工照明不要。天気の変化も感じられる。
- ・リスクへの対処：
 - 1)オーバーヒート。空気層を設けて排熱。
 - 2)音。雨が降るとうるさい。鉛を貼って軽減。
 - 3)開口率で照度分布

<木場の集合住宅>

- ・周囲に高層建物。都市部での日射取得がテーマ。
- ・窓の出っぱりパターンを2900自動生成。フラットよりも60%ほどアップ。
- ・窓の出っ張りのできた日だまりスペースのアクティビティ。アルコーブ、ソファ、本棚、ベンチ、デスク。
- ・夏は北から、冬は南から卓越風。ウィンドキャッチャーにもなる。快適風速70%アップ。

<清里の温室住居>

- ・小川沿いの別荘。半分温室、半分地中。滞在は年間数日。一番よい時期に最高な状態で過ごしたい。
- ・気温低い。日照多い。室温シミュレーション。センサー付換気口。谷風
- ・温室部分は、ガスケット（ゴム）+Low-eペア。木サッシ+Low-eペアと組み合わせることで高い熱性能を確保。木サッシは、複雑な仕口の加工により、高い気密性を確保。
- ・湿気対策。センサーで換気口が開く。地中部分は強制換気。

<淡路島の別荘>

- ・ドイツ人の自宅。
- ・ZEB。300m²。基準値160GJ → 44GJ
- ・東面に景色（海）、プライバシーの確保
- ・外皮の穴と窓の位置をシミュレーション。
- ・敷地模型にアクリルケースをかぶせて太陽の軌跡を再現。太陽の視点でのぞく。
- ・瓦ルーバーの角度調節による日射遮蔽。
- ・地中熱ヒートポンプ（2千万円）ドイツメーカー：リフレックス。
- ・プールの水で熱交換。
- ・PV。一部屋根+駐車場の屋根=合計14kW

<質疑>

- ・傘の家の循環風量は？集熱+蓄熱+回収のプロセスが重要である → 風量調節できるようになっている。夏は多すぎる。基礎に断熱し、さらに蓄熱材を使用している。
- ・シミュレーションの精度（境界条件の設定）が問われることはないか？ → これは研究ではない。補助暖房があり、半屋外的で、リスクを取れる状況を選択して新技術を導入している。
- ・ガラスホップとは？ → CAD（ライノセララス）、Energy Plus、MATLAB、Excel等と連携できるソフトウェア。最大熱負荷計算ができるようになるとなおよい。
- ・建築設計でなかなか環境シミュレーションソフトウェアを使ってもらえない → 逆ではないか。むしろ学生や若手技術者は、ツールを渡しておく、喜んでやっている。Sketchupから行ける。入力などのインターフェイスが重要。
- ・シミュレーションに一週間かかると使いにくい。また、シミュレーションをやらなくても想像のつ

くような当たり前の部分を狙っても意味がない。

- ・テーマの決定と、それをどのような形態に落としこむかを絞り込むかが重要ではないか。 → そこが非常なポイントだと考えている。
- ・予測精度と時間。ラフな方向性をいかに早く決められるかが重要。外注していると間に合わず、インハウスで行うようになった。精度より、フィーリングに合うことの確認。
- ・シミュレーションは全て条件が定まった後に行うもの。設計検討プロセスとしてのシミュレーションには、別の呼び名が最適なのでは？
- ・敷地条件、ディテール。最初の配置計画が最も重要である。
- ・構造、環境を全てプログラムするのは難しい。時間的に間に合わない。そのため、隈さんもスキンに行く。
- ・材料・建材のプロトタイプはいくつか抱えるようにしている。
- ・大手建設会社では失敗できないために、長時間の詳細な検討が必要になる。大手にできないことを試みることができるのが強み。

2. 話題提供 6 と意見交換（中川委員、資料 3-3）

- ・建築＝技術（環境＋構造）× 計画 × 設計
- ・建築＝技術（環境×構造×情報）×計画×設計
自分は全てかけ算であると捉えている。
建築の4層構造(物理性、エネルギー性、機能性、記号性)
- ・現場調査： 工程、人員、作業時間、ジュース本数の消費量 → データ化
- ・工期短縮のためにパネル構法を採用し、設備工事期間を圧縮する試み（富樫邸）。1日で組み立て。
- ・床下にRFID。誰がどこにいるか。人が居る場所のみ床暖房で省エネは可能？
→ 動的快適性への関心
- ・イヴァン・イリッチ：「エネルギーと公正」。エネルギー危機を乗り越えるために必要なこと： 1) 規制 2) 産業の転換 3) 制約のある社会の実現。 → 「15Aの家」
- ・「15Aの家」1500Wを超えるのはこたつなど温熱環境の要因。家族4人で15Aでどのように暮らす？「エネルギーの制約」＋「動的な熱的快適性」→ センサーの必要性。
- ・Arduino。オープンソース。サンプルプログラムが豊富。世界的に使われている。
- ・センサー： スイッチサイエンス、マルツ、Digi key、秋月電子、他
- ・基板： Eagle・基板CAD。4層基板も可能。P板.com、Fusion PCB。ドットインストール（iOSなど、Kahnアカデミー）、ニコニコ動画（半田付け）
- ・Raspberry Pi、IR Kit（赤外線信号を読み取る）、Med
- ・これらを活用し、東大エネマネハウスでは、太陽位置テーブルを持った可動式PVを作成。
- ・着用型総合環境センサー「YUHO（遊歩）」温湿度、照度、風速、ビーコン、GPS、アクティビティ（iPhoneより）。iPhoneアプリでデータ収集・表示。9V電池で4h駆動。
- ・機械学習を目的としたエアコン制御。（暑い、寒い投票）
- ・エネマネハウス2015 室内温度差（エンタルピ差）や消費電力で照明色を変える。照明には、Philips

HUE を仕様。モジュール化の徹底をすることで作業効率が大幅に改善。

- ・某ゼネコンと次世代空調制御。Bluetooth の混信など課題はある。
- ・「空気層のある家」。鉄骨造シングルガラスの外皮。入れ子の内部を断熱。寒かったら断熱材を不可。「天川村南日裏定住促進住宅」新建築 7 月号。内部の建具の開閉で納屋からの熱を取り込む。
- ・これからは「環境の作家性」が問われるのではないか。

<質疑>

- ・エネルギーの質。使えない熱と使える熱がある。その担保がパッシブデザイン。そこを押さえておかないと、エネルギーの増加につながっている可能性がある。
- ・BESTH（住宅用）は、Academic が無料になった。→ BEST 日射量は計算しているが、空間分布はわからない。「対流熱伝達率」で、回収できる熱が変わる。
- ・現在の建築物省エネ法では、現状だと、温室の外側もペアガラスにしなければならない。うまく使わないと機能しないものは認めづらい。自動制御でないと認められない。
- ・法律は、性悪説となっている。抜け道防止のため、1 年に限られた日数しか使われない「別荘」にも高スペックが求められる。
- ・ZEBZEH は、設計者の責任の取れる設計主義。補助金の関係もある。ヨーロッパでは、実績値。エネルギーだけでなく、快適性も測ればよい。
- ・ZEH 外がシングルガラスじゃダメ。早稲田芝浦のエネマネハウスは、風除室扱いとすることで、外壁のカウントから外している。
- ・伝統的建築物と認められれば OK。
- ・2000 年以降、日本がリードしてきたのが半屋外の技術。文化として根付いている。中間領域の評価ができるのは日本だけではないか。
- ・東南アジア：シンガポール、タイは、エアコンに対する罪悪感がない。インドネシア。外と中の境界はない。

3. 今後の予定

次回委員会 : 2017 年 12 月 19 日 (火) 18:00~20:00

(話題提供: 秋元委員、大岡委員)

次々回委員会 : 2018 年 2 月 20 日 (火) 18:00~20:00

2017年度 第4回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2017年12月19日（火）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、秋元委員、大岡委員、小林委員、星委員、長澤委員

欠席： 尾崎委員、末光委員、中川委員、丹羽委員、甲谷委員、白石委員、伊藤オブザーバ、羽山オブザーバ

資料

4-0 2017年度 第4回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第

4-1 2017年度 第3回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

議題

1. 話題提供7と意見交換（田辺主査）

<省エネルギー政策とZEH>

- ・産業部門のエネルギーはオイルショックを機に削減され、現在はさらに減っている。しかし、住宅は1973年比で約2倍に増えている。
- ・パリ協定を受け、家庭部門でも39%の削減が目標に掲げられている。
- ・新築住宅は2020までに省エネルギー基準への適合を段階的に義務化。また、2020年までに新築注文戸建て住宅の過半数をZEH化。
- ・新省エネ法において、大中規模建物は届出が義務化。特定建築物は適合義務化。誘導措置としてのBELS（新築）とeマーク（改修）。
- ・BELSは数が多い。住宅3万軒、非住宅400件。Eマーク（改修）は申請が少ない。BELS住宅の半分はZEH。
- ・ZEHビルダー制度：2020までに新築の半分以上をZEHと宣言し、登録。ビルダー登録しないと補助金がもらえない。ハウスメーカーより一般工務店が多い。注文、建て売り、既存改修部門別に登録できる。ただし、全く建てていない工務店もあり、実績0が62.6%。

<ZEHの実績>

- ・ZEHは年間24,000棟（8.5%）、Nearly ZEHは9630棟3.3%。全体の割合からすると少ない。改修・建て売りが少ない。ほとんどが注文住宅。
- ・延べ床面積120m²の住宅がZEHのボリュームゾーン。冷房はエアコン、暖房はヒートポンプとエネファームが多い。給湯はエコキュートが65%。太陽光は5～6kWhが平均。
- ・地域によってZEH難易度が違う。寒冷地（日射小+積雪）、都市部、日射小の地域がZEHになりづらい。
- ・建築計画的特徴として、高断熱住宅では、主たる居室や吹き抜け空間の比率が大きくなると一次エネルギー消費削減率は高くなる（基準一次エネルギー消費が大きくなるため）。ただし、エネルギー

消費量は大きくなるため、太陽光発電の容量を大きくしないと ZEH 達成が難しい。

- ・ZEH 仕様の高断熱住宅では、外皮の開口比率と一次エネルギー消費削減率に相関は見られなかった。
- ・都市部狭小住宅の ZEH が課題。100m²以下の住宅が東京・神奈川・大阪に多い。北側斜線制限の影響もあり、達成が難しい。ケーススタディが必要。
- ・住まい方が変わっている。我慢の省エネをしなくても達成。進めたいが 9 割。

2. 話題提供 8 と意見交換（秋元委員）

<2017 年度エネマネハウス報告>

- ・2017 年度テーマは「ライフデザインイノベーション」。住まい・コミュニティに多様な新しい価値を創造する。
- ・参加大学は、京大、近畿大、首都大、武庫川女子大、早稲田大と芝浦工大のジョイントチーム。
- ・早芝大のタイトルは「この郊外の片隅に」。祖母の家（ヘーベル）を住み次ぐ。郊外でも自動運転でカバーできることを見越し、郊外コミュニティの活性化をはかる。
- ・郊外の空き家問題に対処するため、住み次ぐリフォーム。多様化するライフスタイルへの対応。
- ・郊外という概念をリノベーション。情報技術、環境技術を建築の文化に拡張
- ・技術は陳腐化するが、祖母の知恵は残る。工夫して使う。主体的に住環境調節を促す。
- ・祖母の家リデザイン： 既存ヘーベルハウスのリフォーム。外観の面影を残す。祖母の作り上げたコミュニティを引き継ぐ。
- ・BEST シミュレーションで、非居室で大きな温度差があることを確認。高断熱空間を挿入し、既存躯体との間の空間を緩衝空間、ロτζアする。
- ・パンプソーラーで暖まっていることを知らせる。そのうち、自分で判断できるようになる。床下エアコンで家全体を。省エネ 7 割+創エネ。
- ・U_A 値の計算には、ロτζアを含まない。
- ・薄い壁での UA 値 0.36 実現。リビングと浴室の温度差 3°C 以内。可動式水平膜で冬の光を拡散
- ・指向性を持った潜熱蓄熱材を使用。災害備蓄用の飲料水・ボンカレーも蓄熱材に。天気予報に基づいて蓄エネを制御。ネットワーク化したエコキュート+太陽熱パネル。一週間、エネルギー自給ができるように。
- ・型式認定を得ているヘーベルハウスの躯体に手を加えたため、構造の再計算が必要となり、非常に手間がかかった。ハウスメーカー住宅における改修の大きな課題である。
- ・最優秀賞は町屋を対象とした京大。早芝大はチャレンジ賞を受賞。

3. 次回委員会

2018 年 2 月 20 日（火）18:00~20:00 話題提供は、大岡委員と長澤委員

2017年度 第5回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2018年2月20日（火）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、大岡委員、尾崎委員、中川委員、長澤委員、丹羽委員、秋元委員

欠席： 小林委員、末光委員、星委員、白石委員、伊藤委員、羽山委員、

資料

5-0 2017年度 第5回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第

5-1 2017年度 第4回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

5-2 意見交換会発表資料

5-3 (長澤委員 発表資料)

5-4 (大岡委員 発表資料)

議題

1. 前回議事録の確認

2. 特別調査委員会意見交換会について

- ・各特別調査委員会の2017年度の活動内容について、2/22（木）に理事に報告することとなっている。これまでの講演内容をまとめたPPTを作成し、内容の確認をした。
- ・今後の計画について、以下の通り追記した（予定を含む）。

◎情報収集

各委員の研究課題の共有

今後の話題： ZEBの建築設備、住教育の視点等

日本学術会議「長寿・低炭素化分科会」との情報の相互共有

エネ庁公開 ZEB/ZEH データの分析

末光委員設計の新住宅の調査

◎2018年度

建築環境 Hackathon による課題整理

シンポジウム開催

◎2019年度

建築学会大会における研究協議会

3. 話題提供9と意見交換（長澤委員）

3.1 Nature Behavior の文献紹介

- ・Stanfordの研究で、世界各国717,000人を対象に、iPhoneアプリで歩数平均値の分析。
- ・1位香港6880歩、2位中国6189歩、4位日本6010歩。暑い地域は歩数が少ない？
- ・男女差が大きい。平均値のため、みんなが歩く、一部が歩くなどが国によって状況が違う。

- ・活動量の多い人と少ない人の格差が大きい地域ほど肥満率が高い。歩行しやすい都市では、activity inequality が最も少ない。

3.2 環境行動中の生体計測（脳波）によるストレスに関する一考察

- ・健康増進と住まいの関係： 環境→ストレス→身体症状。ストレスが鍵である。
- ・5000人のアンケートの結果、元気だから環境が良いと感じるのではなく、環境が悪いと不健康になる。
- ・住まいの満足度と腰痛は関係がない。だが、ストレスが減ると腰痛は減る。
- ・共分散構造分析。因果の可能性はわかるが、断定はできない。
- ・環境とストレス。住まいの中にくつろげる場所があるか？あると疲労感が少ない。
- ・感性アナライザ（簡易脳波計）サイエンスジャム社 慶応大学の満倉先生が開発。
→ストレスに対する脳波のパターンの平均。周波数帯（ α 波、 β 波）の分析ではない。特定周波数の組み合わせパターン。比較対象となる標準パターン（小豆の移動作業など）の定義がノウハウとなっている。通常は、商品開発に使われている。空間に使われるかはわからない。
- ・被験者5名。日常環境での歩行の Stress 指標による評価。移動中は変動少ない。エレベータ内で上昇。慣れた道のストレス値は低い。池袋では上がる。Interest 指標も Stress 指標と同様の傾向。休息するとストレス下がる。唾液アミラーゼも休息時には下がる。
- ・家庭でも分析。マンション子育て主婦が対象。ネットサーフィンでは興味が上がり、ストレスが下がる。義母からの電話は、ストレスが上がり、興味下がる。育児はストレスが高い。自分でくつろげる場所はストレス低い。心理アンケート結果とリラックス・ストレスの度合いに相関。
- ・細かい行動切り替えが多いとストレス。くつろげる場所でのリラックスがストレス低く、興味高い。
- ・評価軸について。Like、Interest、Concentration、Comfortable、Stress がある。すごく悪いパターンとすごく良いパターンを作成し、そこから評価軸を抽出。
- ・良いストレスと悪いストレスがあるのか。寒いと Comfortable 指標が落ちる？→Comfortable でも要因によって傾向か異なる可能性がある。定義次第。
- ・環境要因か、行動要因か。
- ・1000Hz で周波数を解析している。ノイズが乗ると分析対象外となる。

4. 話題提供 10 と意見交換（大岡委員）

”Application of Optimization Technique to Building Design and Operation”

- ・2003年に開始。数理的に最適解を見つける方法。最大値と最小値。微分値が0になる点。性能曲線が微分できれば見つかる。
- ・線形計画法は、頂点の値を調べる。他にも、動的計画法がある。総合して。数理計画法という。解けない場合もある。
- ・Heuristic は経験的な方法。さらに高次にしたものが meta → Metaheuristics。一般化したものが meta 遺伝的アルゴリズム。
- ・Hill climbing 山登り法。解をばらまいて、その中の一番高いところからまた階をバラまき、この作業を繰り返す。どんなものでも解が得られる。
- ・流体シミュレーションとの組み合わせた街路樹の最適配置。樹幹の抵抗力・日射遮蔽能力・長波長・葉からの蒸散などの要因。

- ・何を最大化、最小化するか→ 数値解差益 → 評価指標 → フィードバック
- ・遺伝的アルゴリズム。街区を取り出し、8本の木をどこに植えるか。夏なので、SET*の最小化。街区レベルと街路レベルでの検討。
- ・染色体 chromosome。どうやって次の世代を見つけるか。Crossover：父と母から一部を受けつぐ。優秀な世代だけが次に。局所最適解になる。Mutation：たまに突然変異を入れる。1~2%。100世代ほど計算すると、最適解が得られる。
- ・島モデル。いくつかの島を設け、たまに移住させる。
- ・無限にやればさらに最適なのが密かもしれない。でも途中で打ち切る。最適解とはかぎらない。
- ・全探査。無限。動的計画法では減らす方法がある。複雑な問題には適さない。
- ・多目的。SET、最大風速、景観（天空率）、コスト。設計解がパレート解になるとよい？あくまでも説得力を持たせるための手段。
- ・設備システムへの応用。機器の性能は上がっているが、組み合わせが重要。
- ・線形計画法。区分線形近似。大変なので meta ヒューリスティックに。機器容量、運用計画について最適解を導き、その組み合わせ。
- ・病院をターゲットに。全探査と遺伝的アルゴリズムの比較。ヒートポンプとターボ冷凍機。
- ・建築形態の最適化への応用 → 非現実的な形態が解となる場合もある。部屋ユニットの組み合わせで間取りの最適化。
- ・Rhinoceros+Radiance+Energy plus。
- ・敷地内。セットバック。冷暖房の設定温度。負荷の最小化。冷暖房負荷と照明（全電力使用量）の最適化。
- ・全探査と差分進化法。局所解に陥ると安定してしまう。そのため、突然変異で新たな形へと強制的に変化。
- ・デザインの答えではなく、あくまでも結果を参考にする。
- ・アルゴリズムックデザイン。
- ・日本はまだ遅れているが、オランダなどではデジタル中心。
- ・早く解を見つける、広く解を見つけるのは反する。早くわかった方がよい。

5. 今後の予定

- ・2018年度第1回日程： 4/13（金）と5/18（金）で打診する。
- ・シンポの日程を決める。

2018年度 第1回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2018年5月29日（火）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 中野幹事、大岡委員、尾崎委員、小林委員、白石委員、末光委員、中川委員、長澤委員、丹羽委員、

欠席： 田辺主査、秋元委員、星委員、伊藤委員、羽山委員

資料

1-0 2018年度 第1回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第

1-1 2017年度 第5回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

1-2 (丹羽委員 発表資料)

1-3 (小林委員 発表資料)

議題

1. 前回議事録の確認

2. シンポジウムについて

- ・今年度の11月頃にシンポジウムを予定している。そこでの意見を受け、2019年度大会の研究協議会を企画する。委員全員が講演の予定。8月の親委員会で承認を得る。

3. 話題提供 11：丹羽委員

<クールツリー>

- ・テーマを持ってグループで研究開発に取り組み、発表する社内企画がある。設備担当は200名。3年間の活動の成果をID200（200人のアイデア）として2017年に発表。
- ・BIMやシミュレーション技術などがあったが、クールツリーはその一つ。東京オリンピック暑熱環境対策の仮設クールスポット。太陽光発電、ミスト、涼風、ペルチェ、人感センサー等を組み合わせている。構造担当、意匠担当が設備発案で共同。
- ・テーマは、①ミスト・気流・接冷による冷却、②リサイクルの輪。リユースの輪。CLTを重しとし（3t）1日半で設営できる。オフグリッドを目指す。
- ・日除けの影の位置にミストを吹く。座面は、冷やしすぎると結露。座面の冷たさを不快と感じる人も。
- ・ウッドデッキで椅子部分を設置して被験者実験。気温はあまり高くなかった（25～30℃）。ミストを含むと足元の温度が1.5℃低下。着座直後から温冷感が低下。快適性には、座面温度の差は小さい。いずれも涼しい側の評価が増える傾向にあり。おしりを冷やすものと顔のミストのバランスが重要。
- ・コストは2000万円程度。量産で下げられる可能性あり。衛生の観点から雨水は使用できないため、水の供給は必要。展示中は一日2回、タンクへ給水。
- ・屋根があると建築確認申請が必要になる（仮設工作物）。今回は屋内に設置したため、不要であった。

<バイオフィリア（空衛振興賞）>

- ・「Biophilic Design Award」は、生命や自然との融合を重視するバイオフィリックデザインの思想を取り入れた建築を表彰するもので、2017年に創設。大賞に次ぐ入賞にあたる「Honorable Mention」にヤンマー本社ビルが選定された。
- ・Biophilic Design は、STEPHEN R. KELLERT 博士が提唱。生命や自然との融合を重視したデザイン思想。建築物に、自然とのつながりをもたらす要素（自然の景観、天然素材、観葉植物など）を取り入れることで、ストレスの緩和や、業務の生産性、創造性を向上させる効果があると期待されている。
- ・Biophilic design は以下の6要素からなる：①Environmental features、②Natural shapes and forms、③Natural patterns and processes、④Light and space、⑤Place-based relationships、⑥Evolved human-nature relationships
- ・応募の際は、6要素のデザインコンセプト、立地の地形や気候とデザインの関係、利用者が経験する自然要素とのつながりとその効果の予測、バイオフィリックデザインの評価が求められる。
- ・ヤンマー本社ビルのコンセプトは、人と建物と環境の輪。
- ・導入された手法：ミストによる周辺冷却（都市、大地、海をつなぐ）、緑化ルーバー（ecoルーバー）、地中杭による地中熱・都市排熱（地下水）を利用した予熱、廃食油によるコジェネ、らせん階段によるecoシリンダ（自然換気）など
- ・人以外のSpecies（鳥、虫）との関わりのために、屋上で都市養蜂。
- ・他国では、シンガポールの Khoo Teck Peat が受賞している。

<委員コメント>

- ・壁の室内側に植物を植える「リビングウォール」や流水壁。これをしないとLEEDが取れなくなっている。
- ・日建設計では、これまで建物の外に対して親和性を持たせる設計をしてきた。今は室内環境へシフトしており、これは世界的な潮流である。LEED、WELLなどで室内の緑化が評価対象に。
- ・室内にリビングウォールを設置した際の微気候シミュレーションに関する共同研究のオファーがあった。
- ・メンテナンスの観点から屋外の緑化の限界がり、室内側へシフトしたのではないか。
- ・COMORE BIZでオフィスの緑化を評価しており、仕事の効率が上がる。
- ・妹島和代も室内緑化を進めている。

4. 話題提供 12：小林委員

- ・2015年度エネマネハウスで、ワセダライブハウスを設計した。環境手法として、長い軒による日射遮蔽、日本的な間仕切り・住まい方への対応、土間空間、遮光カーテン（金属スパッタリング）などを導入した。
- ・レム・コールハースらの設計事務所OMAにて、中東の建物を担当。いくつかのプロジェクトに取り組んだが、2010年アラブの春のために計画だけで終わってしまった。

<レバノン、ベイルート>

- ・屋外にカーテンをかけて日射遮蔽。素材としては、ビニールやテキスタイルを使用。オーニングも多い。雨はほとんど降らないが、降るときは降る。
- ・過去には、黒川紀章がモジュール化されたセルフビルドの土レンガの家を提案している。
- ・リビアのガダメスでの観光開発局からの依頼。元々オアシスがあり、井戸が旧市街の中心にある。ノマドが旧集落に定住していたが、新たに建てられた集落に移住させられた。新市街は暑く、みな旧市街に涼みに戻る。
- ・日干しレンガ造の旧市街地は、室内がトンネルでつながっている。たまに天窗と換気塔があり、中庭やモスクもある。トンネル内は夏でも涼しく、風通しもいい。
- ・トンネルの階から上がると住居。鏡で光を導入。椰子の木で床を葺いてある。
- ・キッチンは屋上。女性は屋上、男性はトンネル内が社交場となっている。屋上も行き来できる。
- ・水が以前ほどは得られなくなっているため、畑が衰退。旧市街をつぶしてホテルにし、畑を再生させる計画。

<サウジアラビア、ジェッダ>

- ・メッカの入口の街である。ムシャラビエというスクリーン付バルコニーが特徴的である。戒律として自由な行動が制限されている女性が、内部への視線を遮りつつ外をうかがうことができる装置として機能している。
- ・都市部は、ガラスの高層建築が立ち並ぶ。日建設計（イスラム開発銀行）や SOM の設計したビルもある。
- ・担当したのは、ジェッダ初の複合施設のプロジェクト。立方体を重ねていくような形状で、熱の観点からファサード開口率を変化させている。開口率を下げてもまぶしいため、木製シャッターを使用。また、構造的なブレースをイスラム模様になっている。

<カタール>

- ・磯崎新がエデュケーションシティのマスタープランを担当。
- ・カタールのプロジェクトは、ダブルファサードで、コンクリートパネルで外壁を覆っている。アトリウムのある部分は、開口部を広めにとってある。風向きに合わせて通路を設定。Low-e ガラスを使用しているが、全てが反射し、ギラギラした内部空間。
- ・カタール大学。バドギール（採風塔）をモチーフにした教室。
- ・ジャン・ヌーベルの建築。アルミのメッシュの密度で遮蔽率を変えている。イスラム研究所のような可動式ではない。

<ダマスカス、シリア>

- ・古い都市で、ローマ神殿の遺構が残っている。テントで日除け。
- ・中庭のある住居。季節ごとに居場所を変えており、夏は北側のイーワン（テラス）に。冬は南側にある大開口のある温室のような部屋を使用。
- ・必ず2つ中庭があり、そのうち一つは噴水無し、もう一つは噴水あり。温度差を設けて風をながす

工夫がされている。

- ・美術館の計画。天井の高い展示空間を支えるマッシュルームコラムに空調機が組み込まれており、足元で吹く。

<アラブの建築事情>

- ・お金にもエネルギーにも困っていない。
- ・カタールの人は歩かない。短距離も車。暑さのため。
- ・新しいものは、コンクリートブロック。イメージとしての近代化。心地よさとの狭間。
- ・クライアントからの設計に対する要望は少なく、おまかせ。しかし、契約はしても条件が変わる。VIPは、内装の決定に時間がかかる。
- ・カタールは女性の活躍を推進しており、組織のトップが女性の場合も多い。打ち合わせメンバーが全員女性だと目しか見えず、雰囲気わかりにくい。
- ・ドバイのデベロッパーのトップは王家の一族。アラブ諸国での仕事需要は、ドバイ（リーマンショック）→ 北アフリカ（アラブの春）→ サウジ・カタールと移動している。デベロッパーもそれに合わせて移動。

5. 今後の予定

- ・日程はメールにて調整する。
- ・次回の発表は、白石委員にお願いする。

2018年度 第2回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2018年8月23日（木）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、大岡委員、尾崎委員、小堀委員、白石委員、中川委員、長澤委員、丹羽委員、青笹オブザーバ、石井オブザーバ、

欠席： 秋元委員、伊藤委員、小林委員、末光委員、星委員、羽山委員

資料

2-0 2018年度 第2回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第

2-1 2017年度 第1回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

議題

1. 前回議事録の確認

2. シンポジウムについて

- ・タイトルは、「ZEB 時代に向けた建築・設備・人の適応」、日程は12/18（火）とする。
- ・場所は建築会館の会議室を仮押さえしているが、キャパが小さいため、変更の予定。
- ・NSRI ホールが借りられるか打診する ←丹羽委員
(NSRI ホールは×であったため、早稲田大学西早稲田キャンパスにて会場を確保)
- ・委員全員が15分ずつ解説をし、その後に総合討論とする。
- ・各委員のタイトルは、メールにて確認する。

3. 話題提供12：白石委員

- ・エネルギーシミュレーションツールとCFDの連成解析。HVACSIM×CFD、BEST×CFDなど。

<病室での放射空調>

- ・対流式は室温の変動幅が大きく、ドラフトを感じやすい。過冷却になりやすい。
- ・睡眠時の生理心理反応実験。睡眠時の平均皮膚温は上がってから下がる。対流時はブランケットをかぶり、平均皮膚温が高めになる。手足は低め。中途覚醒が多い（脳波）。
PMVを揃えた条件では、放射の法が深睡眠長い。起床時に快適の申告が見られる。

<手術室の空調>

- ・手術室は負荷変動が多く、冷房メイン。空気の清浄度が重要。執刀医によって変わる。
- ・冷房風による弊害。麻酔覚醒の遅延、感染症リスクの上昇、冷気流による低体温化。
- ・入居前の内視鏡施術室にて、対流と放射を比較。高さ1.1mのPMVを揃えた。
- ・執刀医の平均皮膚温はほぼ同じ。対流で前額が低め。被験者は腹部の皮膚温低め。H型吹出し口（アームの関係）、真ん中遅め。蒸発水分量が増えるのでダメージ大きいのでは。
- ・H型吹出し口だと周囲からの誘引があり、手術野の空気齢が高くなる。現状は、ほとんどの場合、

H 型吹き出し口が採用されている。

< TABS の最適制御 >

- ・ TABS はピークシフト、熱源容量の縮小、イニシャルコスト削減の効果がある。
- ・ 天井面温度の応答の遅さ、外調機併用時の快適条件、天井温度と室温の関係等の要因を最適化する必要がある。室温に対する反応では、追いつかない。
- ・ 躯体温度を予測し、計算から導かれた参照軌道に対して制御の操作量を計算する。評価関数に加えることで、省エネも可能。

< 質疑応答 >

- ・ 解析ツールの精度検証のために、テストピースによる検証を行っている。
- ・ VAW は必須か？ ON/OFF でいいのでは？ → ツールの関係上、今回は VAW。断熱の悪い建物では難しい。
- ・ 類似の建物で、制御に苦労している。いつ稼働させて、いつ切るか。効き始めるとよいが、切るタイミングが難しい。
- ・ 外乱の不確実性がある。一定の範囲内になだらかに近づけていく。
- ・ 上下階で負荷が違う場合はどのように制御するのか？ → 対象ビルは、断熱してある。
- ・ 海外の事例。4 階建てで地中熱 HP を使用しているボブビル。パークレーのデビットセンター。
- ・ TABS は一定室温にするという概念ではない。上がっても不快になる前に人が帰る。
- ・ 対流空調とは制御の概念が違う。建築の人は、天井高が取れるので嬉しい。

4. 話題提供 13：小堀委員

- ・ 目に見えない対象の建築化。南フランスの教会での体験。圧倒的な宗教を感じさせるには、空気感、光、音が重要。環境と建築。

< ROKI >

- ・ 全面光天井。午前中は暗い。昼は明るく、夕方は暗く。夜 50LX でも電気を付けない。3000LX でも不満はない。タスクライトも付けない。
- ・ 空気温度も含め、屋外環境とリンクして変動した方が快適では。

< NICCA >

- ・ 環境体=実践環境体「コモン」と地域再生。福井県は、閉鎖的。
- ・ 環境体のポテンシャル：光（日照時間短い）、風、地下水、
- ・ スリット天井。ハーベストウォール。
- ・ ROKI は放射で 4F が暑い。施主が外ルーバーを外してしまった。光を冷やしたい。井戸水で除去できないか。
- ・ 福井県人は外に出ない。室内で光を浴びたい。サンルームコンセプト。洞窟。
- ・ 一乗谷朝倉氏遺跡。信長に一夜にして滅ぼされた。井戸がたくさん。越前和紙。大陸に近い。井戸水 15°C→17°C。水のたまりやすい地形？

- ・チラーのカスケード利用。実験室、日射除去
- ・200m³→60m³を井戸に還元。フィルターをメンテナンスしないとすぐダメになる。
- ・ハーベストウォールに架橋ポリ管を打ち込み。構造躯体からふかして設置してある。
- ・シミュレーション結果は、実際の感覚と一致しない。補正值。総合的な要素。模型をつかって入り込む。シミュレーションと模型の差を把握して設計。
- ・二重ルーバー。光は入ってこないが景色は見える。ルミオン。空気感の再現。夏至にだけ、壁に直射日光が当たる。
 - ・雪が積もると真っ暗に。井水による融雪の調整中。
- ・フィンランドは、光が差し込むのが良い。福井人も近い。冬は雲が低い。雪の前に雷、すごく大きい。曇天に対する意識。明るい空間と暗い空間。

<意見交換>

- ・均質じゃない世界。ユニバーサルスペース。ミースは、それを均一化。
- ・コルビュジェのチャンディガール。西洋的な概念が崩れた。気候の影響。カーンもインドで。南の街の方が感性は豊か。コルビュジェは後期にロンシャンを設計し、感性の世界に。
- ・Indoor Air 2019 での Gail Brager の基調講演タイトルは「変動」。温度や光が変動。風も。それが建築の価値。
- ・リジッドな建築に対し、環境まで固定しなくて良いのでは。制御が簡単になる。
- ・奥村昭夫。建築は凍れる音楽ではない。
- ・じっと座っているときは、温度は一定が良い。行動を伴う場合は、変動があった方が良い。行動を前提とすると、変動があっても良い。
- ・平均値から。個人。ダイバーシティ。変動させると不快→良さもある。不均一環境の快適性。

5. 今後の予定

- ・次回日程： 11/1（木） 18:30～
- ・次回の発表は、竹中委員にお願いする。

2018年度 第3回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2018年11月1日（木）18:30～20:30

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、青笹委員、秋元委員、大岡委員、中川委員、長澤委員、丹羽委員、羽山委員

欠席： 尾崎委員、小林委員、白石委員、末光委員、星委員、伊藤委員、

オブザーバ： 石井氏（日本設計）、重村氏（ADL）、竹中氏（Arup）

資料

3-0 2018年度 第3回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第

3-1 2018年度 第2回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

3-2 2019年度大会 PD 企画案

3-3 （竹中委員 発表資料）

3-4 （重村委員 発表資料）

議題

1. 前回議事録の確認

2. シンポジウムについて

- ・原稿〆切（11/16）のリマインドをする。

3. 2019年度大会 PD 企画について

- ・司会 中野幹事、副司会 長澤委員、記録 丹羽委員
- ・主旨説明： 田辺主査
- ・主題解説：
 - <建築> 小堀委員、末光委員
 - <人> 星委員
 - <設備> 白石委員
 - <研究> 尾崎委員
 - <制度> 秋元委員
 - <ツール> 重村委員
- ・討論： 講演者+羽山委員、小林委員、中川委員
- ・まとめ： 大岡委員
- ・講演は20分ずつ、講演は50分とする。
- ・1日目 午後、2日目 午前を希望として提出する。
- ・講演者に日程を確認する。

4. 話題提供 13：竹中委員

<田辺研時代>

- ・田辺研エネマネハウス。100 世帯の家族、電力パターン、ピーク値の変化を分析、温熱環境の可視化。

<アラップ>

- ・オーブ・アラップ：キール社ペンギンプール、シドニーオペラハウス
- ・東京は 100 人で設計。
- ・エンジニアリングは科学ではない。
- ・ビルディングデザイン。プランニングサービス、インフラデザイン、
- ・アラップを代表する作品：キングスゲートブリッジ。両端で回転させて短時間で橋を完成させた。創業者のお気に入り。
- ・関西国際空港を期にアラップ・ジャパンが設立された。メゾンエルメスがアラップ・ジャパンの初設計。
- ・入社時に ROKI と NICCA の両方を担当。

<NICCA>

- ・ROKI は、自然豊かな環境。NICCA は、街中。それぞれのロケーションでどのように自然を導入？
- ・NICCA は、繊維→染物→水。日照条件厳しい。南北にしか風が吹かない。
- ・周りからではなく、上から自然導入。太陽、風、地下水。
- ・エネルギーハーベストウォール：トップライトを壁で反射、井水で吸熱。
- ・壁からの反射光。照度分布シミュレーションと自然換気シミュレーション窓面積の決定
- ・2 つの快適域の設定。
- ・日射調整ルーバー内に配管。
- ・床染み出し空調、床下にファンコイル。チャンバー内にデシカント後の空気。
- ・トップライトに散水。

<NTT 三鷹データセンター>

- ・Cold Isle から冷気を取り入れ、Hot Isle を通じて排熱。
- ・Cold Patio、Hot Patio。ボイド。
- ・羽を設けることで、まっすぐ上に排熱。
- ・ゼロエネコンコース。トップライトから光を取り入れ、拡散。
- ・冷房時はクールピット経由。冬季はサーバ排熱で暖房。
- ・順梁ではなく、逆梁構造で天井裏を経由した排熱経路。

<石巻複合文化センター>

- ・ホールと博物館。藤本壮介。120m のロビー、大ホール、小ホール、展示室。
- ・建物が長いので、真ん中に熱源機械室。

- ・コストとエネルギーで、冷温水の温度差。大温度差送水。
- ・オールBIM。立体的なホールのような空間では、わかりやすくなった。

<質疑応答>

- ・データセンタの換気設備は？ →ブースターファンはなし。自然換気のみ
- ・最初はサーバが入っていないこともある。その場合は、自然換気ができない。石狩データセンタでは、送風機を使っている。
- ・NICCAの床下FCUのメンテは？ →点検口がある。そこには荷物おけないが、デスクはフリーアドレスなので動かせる。日本は床下の法規が緩い。海外だと火災対策で塩ビのケーブルがおけない。
- ・石巻プロジェクトで、BIMには何を使用したか？ →レビット。日本はT-FASが多い。主に干渉チェック。設備のための建築BIMではない。設計事務所の教育。
- ・日本では、BIMはまだ発注図として認められていない。BIM納品+図面。
- ・重なっている線の処理が課題。
- ・Arupとして、どのように建築の形（デザイン）を変えさせるのか？ →日本の設備設計は弱い。海外では、建築家側から提案が望まれている。

5. 話題提供 14：重村オブザーバ

- ・経歴：慶応大学SFC伊藤滋研究室 → 大林組 → MIT → Harvard → 槇事務所WTC → アルゴリズムデザインラボ
- ・BIMの現状：来た図面の改良しかできない。泥臭い。つながることの強さを発揮させたい。
- ・現在の業務：アトリエ事務所の支援、プロジェクト支援、ツール作成、BIMコンサル教育支援
- ・鉛筆の延長として、デザインシミュレーション、環境シミュレーションができるように。
- ・ツールとしては、DIVA、Konstruを主に使用。
- ・Konstru：クラウドでデータ連携。変更履歴・変更管理。比較機能。
- ・デザイン時はモデリングで検討。施工時にBIM。情報量のコントロール。
- ・人の流動シミュレーション、帰宅時の混雑は、Rhinocerosに組み込むことができる。
→サイン計画。死角がわかる。ザハの新国立案では、屋根の雨水が一部に集中。
- ・Feedbackデザインの課題：意匠設計者は、環境デザイナーにシミュレーションを依頼しても、結果を理解できない。数字を形に置き換えられない。
- ・エビデンスベースの設計。設備、構造の方が数字のデザインをできる。意匠の人はむしろできない。
- ・モデリングのルールブックが必要。作り方が違うと結果も違う。
- ・Ladybug+Honeybee：Grasshopper上で行う無料の環境解析ツール
- ・BIMはデータが重すぎる。何を目的としたシミュレーションか、そのためのモデリングが必要。デザインエクスペローラ。

<質疑応答>

- ・AIと最適化について。設計は、簡素に行う必要がある。でも論文は書けない。研究は、新しい分野

を開拓しなくてはならない。

→ BIMはクリエイトのためのツール。検証とは違う。新しい価値をアカデミーで認めないと発展しない。アカデミーは蓄積が重要であり、保守的。

・実務でもオーサライズされたツールを使いたい。

→ Konstru。様々なツールのデータをコンバートする。データのアップロードする側は自由。受け手が選ぶ。BIMの連携は、7割。

・意匠デザインに対する構造の自動設計は可能。WeWorkでは、オフィスの自動設計。

6. 今後の予定

・2/13（水） 18:00～ @建築会館

・次回の発表は、青笹委員と石井委員にお願いする。

2018年度 第4回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録案

日 時： 2019年2月13日（水）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、青笹委員、秋元委員、石井委員、大岡委員、小林委員、
竹中委員、中川委員、長澤委員、丹羽委員、羽山委員、

欠席： 伊藤委員、尾崎委員、重村委員、白石委員、末光委員、星委員

資料

- 4-0 2018年度 第4回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第
- 4-1 2018年度 第3回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録
- 4-2 2018年特別調査委員会報告会資料
- 4-3 シンポジウム質疑応答集
- 4-4 研究集会企画
- 4-5 青笹委員 発表資料

議題

1. 前回議事録の確認

誤字を修正することとし、内容は承認された。

2. 特別調査委員会報告会について

- ・今後の予定に「低炭素社会推進会議との連携」を追加する。
- ・調査委員会は、調査結果をまとめることが目的。研究委員会は、異分野の専門家が集合して研究することが目的。
- ・調査委員会の成果としては、現状の調査結果と課題をまとめる方針とする。
- ・シンポジウムに関する早稲田大学の学生レポートでは、建築設計分野講演者から環境の話が聞けたことに対する評価が高かった。設計と環境の関係性を密にしていくことが重要である。

3. 大会 PD 企画について

- ・4/8（月）に概要原稿提出、7月中旬に資料原稿提出。
- ・講演者に出欠の可否を再度確認する。
- ・シンポジウム資料+質疑応答+PD 資料をブラッシュアップし、報告書とする。
- ・PDに参加できない委員にも原稿を執筆してもらう。

4. 建築年報への報告について

- ・話題提供、シンポジウム質疑応答集を中心にまとめる。

5. 情報共有

- ・2020年の住宅省エネ基準適合義務化が先送りになる。その担保として、断熱したくない施主に対して建築士がデメリットを説明する義務が課される模様。
- ・現状では、全国で6割が省エネ基準に適合。トップランナーとZEHが2割。対応できない工務店が多い。日本の場合は、法律として決めたら遵守を徹底するため、現状では導入がむずかしい。私有財産を義務にしづらい。
- ・北海道では、トップランナー基準。建てられない工務店は淘汰されていく。アルミより樹脂サッシが安い。
- ・現状は、トップを伸ばす施策（補助金）。とはいえ。性善説だけでは難しい。
- ・構造と防火は他人に迷惑がかかるから規制がしやすい。省エネは個人の問題なので難しい。
- ・建築物衛生法は、法律による義務化。一大産業となっている、省エネはそうのようにできないものか。
→建築物衛生法は、小林陽太郎先生がまとめた。病院はビル管の適用を受けない。吉澤先生、池田先生に経緯の確認ができると良い。
- ・不特定多数の使用には責任が生じる。
- ・事故や事件が起こると法律化されやすい。エレベータ、エスカレータの点検は一大産業。
- ・病院で高齢者が大量死する事件があった。空調運転や点検の義務化ができれば良いのでは。
- ・822億円の補正予算により、全国の学校の無冷房教室17万室にエアコンが設置される。1教室50万。今年の夏までの設置完了。省エネ型機器の制限はない。グリーン購入法程度。
- ・日本学術会議は。防災関係の研究者が主体。
- ・全建協のシンポジウムで一級建築士受験資格が取り上げられた。実務経験無しで一級建築士受験可能に。就職時に求められると大学院が予備校化するとの懸念。

6. 話題提供 15：青笹委員

<中小規模の外皮改修>

- ・①補助金の条件（省エネ率）を簡易評価できるツールがない。②補助事業を活用した省エネルギー改修の実態が不明。③冬に寒い都内オフィスでのつらさを実体験
- ・日本はストック統計が弱い。非住宅1/4、事務所・店舗が非住宅の1/3。全体の1/12。省エネ法にかからないストックも多い。
- ・非住宅の着工統計のうち、1～2階建てが9割、床面積では5割を占めている。東京だけ、3割が10階以上。1～2階の絶対数は、大都市が多い。
- ・補助金対象は、事務所ビル、福祉施設、病院、物販店が多い。9割が50㎡未満。築15年がピーク
- ・用途により建物の形状（階数と床面積の関係）が異なり、適切な改修部位も異なる。
- ・改修内容は、開口部（フィルム）、最上階天井裏断熱、空調設備改修が多い。
- ・改修前は、開口部断熱無しが90%。外壁は不明。
- ・アンケート結果として、費用対効果がわかりにくい。フィルム張りが多い。
- ・一方、他店舗展開の事業者（ファミレスチェーン）で、標準手法を確立し、水平展開を進める例もあった。

- ・全国で用途別に建物のペリメータ比率と階数を変え、改修手法の感度解析を行なった。屋根改修、窓断熱とその組み合わせを比較。
- ・寒冷地では改修効果（負荷削減率）が顕著。屋根断熱の効果は階数が増えると減少、窓改修は増加。効果が逆転する階数が用途や気候条件により異なる。
- ・温暖地では、窓改修がマイナス効果になることも。

<補助事業を通じた環境共生建築の10年>

- ・省CO₂先導事業はH20にスタート。補助対象の手法やトレンドを紹介。
- ・施設配置や形状を工夫。風、外皮面積比率が小さい正方形形状（瑞浪北中学校、芽室町役場等）
- ・水平庇、縦ルーバーによる日射遮蔽（東京スクウェアガーデン、雲南市庁舎等）
- ・季節による室内側スクリーンの使い分け（立命館大学吹田キャンパス）
- ・ボイドによる自然換気・通風（明治安田生命新東陽町ビル）
- ・景観とグレアを制御する西側窓ブラインド（島根銀行）
- ・自然換気。窓を開けたくなるデザイン（コイズミ緑橋ビル）
- ・LED光天井、井水天井放射冷房（電算本社）
- ・歩きたくなるスパイラルデザイン（渋谷パルコ）
- ・太陽熱利用（コープ共済プラザ、ホテルオリオンモトブ）

<質疑応答>

- ・省CO₂補助事業は、3年間の実績報告義務がある。特殊解なので、分析が難しい。
- ・LEDが増えて、暖房負荷が増えている。オフィスも暖房負荷が増加。
- ・環境省の補助金→LEDに。
- ・秋田は補助金採択事例がない。工務店が得た情報をシェアしない？
- ・ZEHは名古屋が多い。
- ・沖縄は工業化住宅が入っていない。塩害。コンクリート住宅。太陽光パネルの台風対策にお金がかかる。
- ・鹿児島、火山灰が降ってもさびない釘が開発されている。
- ・施設誘致にあたり、水道インフラが整備される。水道の使用が必須となり、使用量削減が制限される場合もある。
- ・テナントビル。一棟借りやテナントが入らないなどで、本領を発揮できない場合がある。

7. 今後の予定

- ・2019年度第1回： 4/25（木） 18:00～ 石井委員、田辺主査
- ・2019年度第2回： 7/4（木） 18:00～ PD原稿確認→資料→報告書
- ・9/6 PD

2018年度 第4回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録案

日 時： 2019年4月26日（金）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、青笹委員、秋元委員、石井委員、大岡委員、小林委員、
竹中委員、中川委員、長澤委員、丹羽委員、羽山委員、

欠席： 伊藤委員、尾崎委員、重村委員、白石委員、末光委員、星委員

資料

- 1-0 2019年度 第1回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第
- 1-1 2018年度 第4回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録
- 1-2 大会 PD 告知原稿
- 1-3 PD のテーマおよび本委員会の成果に関するメモ
- 1-4 地球環境・建築憲章
- 1-5 温暖化防止型ライフスタイル推進のための行動計画
- 1-6 提言 地球温暖化対策アクションプラン 2050

議題

1. 前回議事録の確認

誤字を修正することとし、内容は承認された。

2. PD の議題および本委員会の成果について

- ・ PD 告知原稿の星先生の誤字修正。尾崎先生がご欠席。
- ・ 2018年度の活動報告に対し、箴島理事のコメントとして、委員会の具体的な成果の道筋を示すことが求められている。
- ・ 委員会成果として、環境適応に関する提言をまとめる。理想的にはパンフレットを発行することであるが、労力がかかる。

3. フリーディスカッション

<住宅の省エネ法適合義務化>

- ・ 4/2 衆議院にて、住宅の省エネ基準適合義務化が見送られた。海外（ドイツ）では義務化されているが、日本では時期尚早との判断。ドイツでは罰則がないため運用が緩いが、日本では厳格に適用される傾向にあるため。
- ・ 適合対象として、賃貸住宅は含まれる予定。10月に結論がでて、年内には方針が決まる。その前にやりたいことは言っておいた方がいい。
- ・ SUUMO が既存建物（売買・賃貸）について表示をさせたいとっている。省エネ表示、燃費表示。5段階。できない住宅は欄外。

- ・北方型住宅には、ラベルがある。最低でも省エネ基準は、満たされている。ストックの性能がわかることが大事。
- ・住宅における健康について、WHO から Housing and Health Guideline が発行された。

<その他の話題>

- ・構造設計事務所の Core は、図面をデータベース化。詳細な計算をすつとばして AI を使った、ざっくりとした設計ができる。

<これからのエアコン>

- ・ Resilient Cooling : 温暖化にも対応できる空調。今後暑くなったときにもやっていける住宅。
- ・機器のトップランナーは、もう効率改善が難しい。さらなる高効率化は必要か？ 補助金を再生可能エネルギーに投入した方が良いのでは？ 外皮性能は大事。
- ・田中俊六先生は、太陽光発電と電池があればいいという考え。現在の技術でも、電池による長期保存は無理。
- ・部分負荷運転を減らす。装置容量を減らす。
- ・エアコンの性能はほぼ限界。あとは、吹きかたの工夫。
- ・再生可能エネルギーを利用する HP はまだ効率が悪い（地中熱、河川熱）。
- ・再生可能=希薄エネルギー。たくさん集める必要がある。少なくとも使えるためには、建物性能を向上させる必要がある。
- ・ZEH 向けのエアコン。現状の機器では冷えすぎる。少しのエネルギーで少しずつ放熱。
- ・再生可能エネルギーを使うために建築計画 → デジタルツールが活用できる？
- ・最大負荷で計算して機器選定。実際にはそのような状況で運転しない。例えば、蓄熱運転では機器容量や部分負荷を減らせる。
- ・設備設計者は、空調が効かなかった時のリスクを考えて、大きめの容量にする。消費者は安い方がいい。ニーズの違い。
- ・容量の大きな物を小さく運転した方が効率の良いものもある。部分負荷運転。
- ・家庭用、30-40%でピーク。ビルマルよりもよい。冷媒の蒸発温度を上げられる。自宅用は、冷却が足りないときに設定温度変更ボタンが押せる。除湿運転にすると一気に効率が落ちる。
- ・たばこがなくなってきた。におい除去で換気回数が減らせるのでは。ヨーロッパでは体臭がターゲットに。トイレのにおいで換気量（排気量）が減らせれば、省エネになる。
- ・年間計算で機器選定。省エネ法→同時負荷率の考慮。変わってきている。

<設備設計と意匠設計の関係>

- ・設計事務所において、環境設計者の意見は強くないか？ → ビル物はその要素が強い。住宅は、ほぼ意匠。設備は水回りのみ。
- ・設備設計者はあまりしゃべらない。言うとお自分の仕事が増える？
- ・意匠も聞く耳を持っている。設備がクライアントと折衝は、まだない。

- 意匠では、運用はやらない。設備が単独受注。
- 新建築の住宅特集にて、伊香賀先生、川島さん、中川さんで対談。設計者と話をすると、基本的に環境のことを知らない。結露のメカニズムもよく知らない。ドイツは Building Physicist による相談員制度がある。その人が OK を出せば申請も OK。
- 日本の住宅制度は、銀行ローンと密接。収入と土地を担保。アメリカは、土地と建物で収入は関係ない。建築の価値が重視される。良い物を建てる経済的メリットが生まれる。ローンは適合。
- なぜ義務化しないのか？ やらない業者が安く建てて、良い業者が負けている？
→ いまはそう単純ではない。見る目が肥えてきているのでは？
- 注文住宅は、高气密高断熱というが、ハイスペックは 1/10 程度。そういうのを気にしない層も多い。
- 金融公庫、断熱基準で上乘せする制度。
- 改修工事はローンが通りにくい。金利を下げる。たくさんお金を使う物を優遇している。
- 贅沢で建てるもの。本人の健康が良くなるものを優遇するのは、良くない。
- ドイツでは、太陽光を多く入れている町は、所得の高い町。イギリスでは、Fuel Poverty (エネルギーのエンゲル係数) が問題になっている。光熱費 5%、携帯 5%。光熱水費が 10%になると厳しい。武士の家計簿、薪が 5%。
- WEB プログラムは、制御による省エネが考慮されにくい。自然換気。

<PD の方向性>

- 提言の骨子を PD で議論し、パブコメを募集する。A3 見開きのイメージ。正式な提言は、理事会で説明が必要。
- 人側の適用も重要では。使いこなす、住みこなす。設備側が人に寄っていく。両側の適応。
- 複数集まった機器の連携運転による効率向上。エネルギーマネジメント。
- 改修の省エネ。LED は圧倒的な効果がある。
- 東京都は、ゼロエミ住宅。太陽光を載せなくても良い。
- 建物側の負荷が減ったためか、その他エネルギー (家電) が相対的に増えている。正しいライフスタイルが大事に。
- スマートレジデンス。今後スマート住宅になるための ZEH プラス。自然エネルギーを使って ZEH+R (レジリエンス)。
- ベースライン。北海道、Low-e、アルゴンガス入りペアガラスの樹脂サッシが当たり前。
- 情報工学分野では、全てコンピュータで制御。人の生活パターンも、優先順位も、制御側の話になっていく。
- 「クラウド、フォグ (霧囲気)、エッジ (端末)」。エッジ処理 (端末側の応答、センシング) の消費電力が大きくなっている。クラウドへの応答。
- AI の教師データが必要。Google、ゼンリンと契約見直し。歩く人で間違っただ道を修正。
- データ論文を发表できるようになりつつある。オープンデータを使うことで、実験しないで論文がかける。オープンイノベーション。企業もそのようなデータをねらっている。Nature がデータだけの論文を刊行。

4. 話題提供 16：石井委員

<BIMによる設計>

- ・CAD と BIM の違いは、線だけでなく情報も含む点。日本設計でも BIM (Revit) を使用したプロジェクトは、1~2 割。
- ・エクセルと CAD データとの整合性。機器表の作成には便利。負荷計算はできる。
- ・まだ 3D としての納品は少ない。図面化もできる。
- ・Autodesk University。3 日間で、ラスベガスのホテルを貸し切り、3 日間で参加者 1 万人。800 以上のセッション。アドインで儲ける会社もある。
- ・採用事例：台中オペラハウス、上越水族館水槽。
- ・なぜアメリカで普及？日本の設計は施工図までやっていないが、アメリカは施工図レベルが求められる。日本はゼネコンが優秀なため、2D 図面の納品でも、現場で納まる。
- ・アメリカは設計がシンプル。梁貫通などが無い。日本では、納まりをがんばっても儲からない。スケジュールが短い。→従来設計+3D。建築、設備、構造の連携、効率化。
- ・負荷計算に活用。機器表。プレゼン資料。色んな資料でプレゼン→一元化。
- ・BIM を使わない人にも活用してもらえるように。2D だとわかりづらい部分も打ち合わせで使える。
- ・負荷計算+計算書を作れる。エクセルと CAD の整合性確認。
- ・Visual Programming は、設計者でも触れる。
- ・機器を図面上にプロット。梁貫通。構造とのチェック。

<質疑応答>

- ・ある程度整備しておかないと導入は困難。フォーマットがあれば、それ以降は 7~8 割楽になる。
- ・これまで日本では、スケッチを CAD オペレータに入力依頼。アメリカは全部自分で図面を入力する
- ・FM との連携は？BIM が詳細すぎる場合もある。FM も含めた提案につなげられると良い。
- ・日本では、施工者が BIM データとして受け取らない。受け取ったままは信用しない。図面をおこし直す。ここで途切れる。
- ・施工者は、以前から独自の 3D ツールを使用。それでは REVIT ファイルを開けない。サブコンは、T-FAS など日本産の 3D-CAD ツールがある。海外では Revit しかない。
- ・社内で扱える人はどの程度いるか？ →興味がある人は使っているが、触っているのは 1~2 割に満たない。徐々に増えていっている。
- ・海外では、自分で触れるようになると BIM マネージャーが必要なくなっている。
- ・構造は 3D になじみがあり、意匠も入りやすい。しかし、設備は情報が多い。情報を活かす方針が適切では？
- ・情報が集約していくことに対する議論は？ → モデルも完璧ではない。参考に。施工の責任で確認が前提。
- ・バラバラのデータが集約することによるリスクは？著作権は、施主のものか、設計者のものか？
- ・API でシミュレーションサービス。データは利用されている可能性もある。

- ・医療分野では、データのセキュリティと倫理が課題となっている。。
- ・日本は、フィーが少ない。海外では、基本設計で3-4倍。Revitを導入すると効率化になるので、積極的に。
- ・BIMにより効率は上がるが、新しい物ができるわけではない。初期段階の検討に活用。
- ・プロジェクトが大きくなったときのデータ共有は？ → クラウドでできる。
- ・タイミングを定めないと、どんどん意匠が更新されていくことも。ある程度決まった段階でないと、手戻りが多くなる。
- ・初期段階の検討と施工直前では別のツールになるのでは？
- ・Revitは曲面が苦手。Rhinoが曲線。
- ・LEEDはデジタルツールで計算するとそれがポイントに。
- ・初期段階で環境的なダメ出しができるとうい。Rhinoでも負荷計算はできる。国交省ベース。
- ・建築家は、断熱材は何ミリだと良いのかを知りたい。ダメだとすぐに見せられる。
- ・単純化して、熱環境シミュレーションとリンクできるのものが良いのでは？
- ・ハウスメーカーは、キーボードで型番を入れると設計図ができあがる。見積もりもできる。部品と座標。

5. 今後の予定

- ・2019年度第2回： 7/4（木） 18:00～ PD 原稿確認→資料→報告書
- ・9/6 PD

2019年度 第2回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2019年7月4日（木）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、青笹委員、秋元委員、石井委員、伊藤委員、大岡委員、尾崎委員、隈委員、小林委員、重村委員、白石委員、末光委員、竹中委員、中川委員、長澤委員、丹羽委員、羽山委員、

欠席： 星委員

資料

2-0 2019年度 第2回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第

2-1 2019年度 第1回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

2-2 PD告知原稿

2-3 提言

2-4 PD講演資料

2-5 SDGs アンケート回答案

議題

1. 前回議事録の確認

誤字を修正することとし、内容は承認された。

2. SDGs アンケートについて

広い視点で委員会として関われる部分を盛り込む。指摘事項を反映した上で、中野幹事が事務局に提出。

3. 委員会提言に関するフリーディスカッション

- ・省エネ法改正の審議会が開催。5/17に建築物省エネ法制定。
- ・5030万kLの削減目標。建築物3000㎡以上、届出適合義務。
- ・経産省と国交省が合同で推進：省エネ基準、誘導基準、トップランナー基準
- ・住宅では、平均で、15%以上削減できるように標準仕様を変える。
注文戸建、賃貸アパートも含む。
- ・2地域、3地域で特定メーカーが関東仕様。UA値適合率低い。
- ・WEBプログラムを使わない簡易法も検討中。ただし、ちゃんと計算すると得をする。
- ・集合住宅の共用部は計算しなくていい。
- ・沖縄は基準を緩める。
- ・地域区分を見直す。市町村合併で消滅。AMEDASの高度補正がされていなかった。
- ・敷地の認定対象範囲であれば、ミニ地冷も認める。

- ・怒る（指導）の範囲を決める。
- ・不動産業界への ESG 投資の呼びかけ。リスク、リターン、社会的インパクト。
ポジティブインパクト投資

4. 提言について

- ・学会として取り組むぞ、という表明。学会としての発議。
- ・一般に語りかけるので、ですます調に。
- ・各提言に対するコメントを半ページにまとめる。担当は以下の通り。
 - 1 長澤先生
 - 2 中野幹事
 - 3 丹羽委員 住まいの周り。屋外。外構緑化
 - 4 竹中委員・石井委員
 - 5 青笹委員
 - 6 白石委員
 - 7 竹中・竹井
- ・扱う範囲は、すまいに限定する。500 字。ですます調。
- ・提言の対象は、つくる人、使う人、デベロッパー。社会に。重要性をアピール。
エッセンスをまとめる。
- ・7/12（金）までに、中野幹事まで提言のファイルを送る。
- ・給湯。テレビゲーム、テレビ、カメラ、がスマホになり、家電製品の数と使用量が減る？高断熱化が進めば、暖房は不要になる？
- ・太陽光の自家消費。ZEH は 20%しかない。国の目標 30%。電力売れないと太陽光発電も小さくなり、ZEH 達成できない？
- ・建設業は、改善が 1%しか進んでいない。
- ・ヒューマンセンタードデザイン。デジタル。

5. 今後の予定

- ・7/12（金） PD 資料 原稿最終〆切（正式には 7/8（月））
- ・9/6（金） 大会 PD
- ・次回委員会： 10/1（火）18:00～@建築会館

2019年度 第3回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2019年10月1日（火）18:00～20:00

場 所： 建築会館 会議室

出席： 田辺主査、中野幹事、竹中委員、中川委員、長澤委員、丹羽委員、羽山委員、

欠席： 青笹委員、秋元委員、石井委員、伊藤委員、大岡委員、尾崎委員、隈委員、
小林委員、重村委員、白石委員、末光委員、星委員

資料

3-0 2019年度 第3回 環境適応に関する特別調査委員会 議事次第

3-1 2019年度 第2回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

3-2 2019大会会場集計票(0909)

3-3 PD概要（建築雑誌原稿）

3-4 すまいにおける環境適応に関する提言 素案

議題

1. 前回議事録の確認

誤字を修正することとし、内容は承認された。

2. 温暖化対策に関する世界的動向

- ・CED（Climate Emergency Declaration）、COP26（2020年）
→ 「既に火事が起こっていることを広く知らせる」
- ・AIA（米国建築家協会）、非常事態宣言の投票を行い、建築家が炭素削減に努めることを採択。
- ・RIBA（Royal Institute of British Architects）、マニフェストを発表。
- ・日本学術会議、会長談話の公表。「地球温暖化」への取組に関する緊急メッセージ」
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-d4.pdf>
- ・SHASE、AIJでも取り組むべきでは？
→ シンポジウムの開催。1～2月@建築会館ホールを検討。建築会館ホールは埋まっているので、別会場を検討。
- ・ヨーロッパの気候非常事態宣言。クローズアップ現代「16歳の少女が訴える温暖化非常事態」
- ・日本エシカル推進協議会の山本良一先生。知っている人が建てないとダメ。
- ・ティモシー モートン「自然なきエコロジー 来たるべき環境哲学に向けて」
- ・Netflixの番組「Bill Gatesの頭の中」。環境問題に投資。
- ・安倍首相、国連で水素社会を訴える。

3. 特別調査委員会の報告書

- ・目次案作成。シンポジウム資料+委員会資料

- ・提言を頭に持ってくる。
- ・個人名が出ているので、各論文のヘッダーを取る。
- ・資料アップロード
- ・3月上旬～中旬に（10日前後）に理事会で報告が必要。
- ・伊佐野さんにフォーマット確認。

4. シンガポール国立大学（NUS）の ZEB

- ・建築設計 Serie+Multiply, コンサル Surbana-Jurong、施工 鹿島建設。ドイツの Trans Solar 設計が環境工学的アドバイス。
- ・建築学科のスタジオ。隣の建物も ZEB 化。
- ・天井扇+18°Cのオールフレッシュ給気。室温は 26-27°C。熱源は地冷。
- ・室内加圧で、廊下は外部。トイレは外扱いで、自然換気。
- ・WELL Gold 認証
- ・庇がとてつもなく大きく、建物ブロックを覆う。
- ・食堂は、Organic。揚げ物なし。塩分ひかえめ。食べるのは外。
- ・床が多いと ZEB にならないため、半屋外に。朝夕の日射遮蔽
- ・窓を開けるとその系統の空調が止まる。
- ・天井扇は DC ファン
- ・赤道直下で、外気温は上限 31~32°C。冬がなく、年間 25~30°C
- ・シンガポール、新築で初の ZEB。坪単価 120 万円。10 年でペイする。文科省から予算。
- ・地冷の分を発電し、コンセントも含めてゼロエネルギーを達成。
- ・学校であれば可能。設備をあまり使わない建築学科というのもプラス要因。
- ・まかなえる分に押さえるために室内空間を作らず、半屋外に。
- ・太陽高度、年間ほぼ 90°のため、安定した発電量が得られる。
- ・表面で結露しない、透過膜の冷える壁。

The Cold Tube <https://sec.ethz.ch/research/cold-tube.html>

5. 今後の予定

- ・次回委員会： 12/12（木）18:00~@建築会館
話題提供：隈委員

2019年度 第4回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

日 時： 2019年12月12日（木）18:00～20:00

場 所： 建築会館会議室

出席： 田辺主査、青笹委員、中川委員、長澤委員、尾崎委員、重村委員、
隈委員、丹羽委員、竹中委員

欠席： 中野幹事、秋元委員、羽山委員、石井委員、伊藤委員、大岡委員、
小林委員、白石委員、末光委員、星委員

資料

4-1 2019年度 第3回 環境適応に関する特別調査委員会 議事録

4-2 報告書目次案

議題

1. 前回議事録の確認

内容は承認された。

2. 隈委員より尾崎委員と一緒に、太陽熱をつかった省エネプロジェクト2つご紹介

- ・（1つめ）空気循環式全館空調システム住宅を6地域（北海道2つ、岩手、福井、愛知、宮崎）に6棟、建設して実証実験を行った。（NEDOの事業）
- ・暖房と給湯の50%で太陽光エネをつかう。
- ・エアコン1台を小屋うらに設置し全館に吹き出す+全熱交換機
- ・パッシブ手法：ダイレクトゲイン、ダブルスキン、トロンプウォールの3つ
- ・数値計算による建築計画の検討は、THERBをつかった数値を用いた。
- ・建築概要としては、集熱部位を大きく取り、貯湯タンクが設置された。
- ・給湯実験は、お風呂を模擬して、1日に1回お湯450Lを捨てる。冬季に14日間、得られたエネルギーと負荷を計測した。
- ・実際の計測データが紹介され、日射量が十分な日は冬でも平均的な給湯以上にまかなえることや、年間積算では半分くらいまかなえる概算であるとのことであった。
- ・数値計算との精度検証では、集熱空間温度、エアコン消費電力、居室の温度など、精度が良いことが示された。
- ・（2つめ）太陽熱を利用した浴室乾燥システムの開発
- ・夏に熱・お湯が余るので、その利用を考えた。
- ・集熱して貯湯タンクに溜めた後、熱交換をして温風型の浴室乾燥システムに利用した。
- ・水分量を統制したタオルを干して乾燥量を測るという実験を行った。
- ・太陽熱の寄与率もよい。排熱回収のシステムもつけて、その場合のCOPの比較などもされた。冬季は6割、夏季は10割まかなえた。

質疑

・ダブルスキンのバルコニーは床面積に入る？ →入ります。内側を開ければ居室になるように設計して欲しかったのだが、伝わらなかった。冬はダブルスキンとして、夏にはダブルスキンが不要なので、片側が開放できて居室の床面積が広く使えればよかったが、設計者に意図が伝わらなかった。

・屋根裏のエアコン1つで、各居室においては吹き出し量によって調整していくやりかたであった。

・計測日より同じように日射があるように見えて、トロンプウォールが集熱している日といない日があるのはなぜ？

→不明だが、方位として東側に設置しているため朝方に集熱する。

→よくみると朝は日射が弱く、昼から日射量が多いが、それが反映されなかったのかもしれない。

・棟によって計測値に差があるのはなぜか？ →各住戸で熱性能が違うためである。

・屋根面で集熱パネル（真空管ではない）をつけているが、北海道などでは雪が反射して集熱が高いこともわかった。

・ダイレクトゲインが多すぎて、オーバーヒートすることについては、実験を重ねた。

3. 報告

建築雑誌に PD の報告、年報などが順次出ることが報告された。

4. CED（Climate Emergency Declaration）についての動向

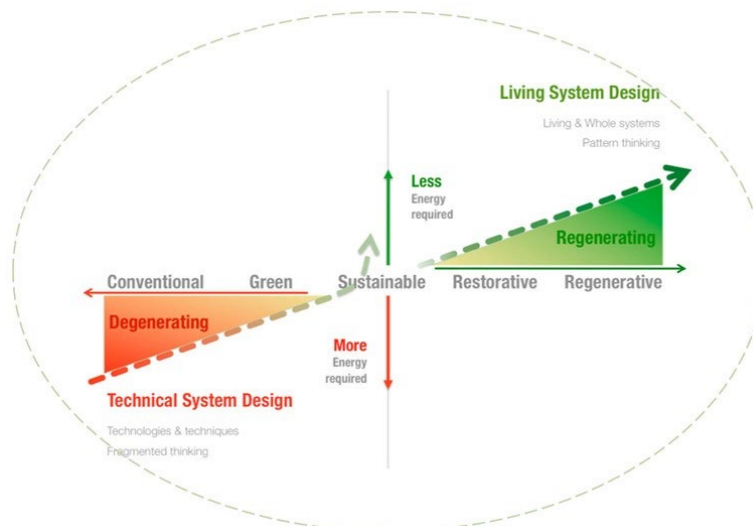
・長野がゼロエミ宣言ほか、老崎市、鎌倉など CED の宣言をする自治体が増えてきた。

・アメリカ・パークレーほか大学も宣言し始めている。天然ガスパイプを引くのを禁止する条例をつくる州も増えてきた。

・東京ガスが 2050 ゼロエミにすると宣言

・FIT 買取りが順次終了し、FIP（Feed in Premium に移行予定 ダイナミックプライシングになるだろう）

・Regenerative の図が有名（右：許諾とってないので掲載不可ですが、置いておきます）



・東京都はゼロエミ宣言（2050 までに CO₂ゼロを宣言）をして、ZEV（ゼロ・エネルギー・ビル）に力を入れることになっている。

→車も計測基準が変わる予定。（Tank to Wheel から Well to Wheel へ 1 時エネルギー消費量のような考えへ）。この場合、電源構成を 2030 予定で計算しているので、（現状ではないことがミソ）現状では CO₂ が必ずしも削減方向とは言えない場合がある。

・ [Climate tipping points — too risky to bet against] 論文紹介 Nature

「Climate tipping points」がホットワード

・ 不動産部門での環境リスク調査がでてきた。（変えた場合と放置した場合）UNEP 「TCFD Real Estate : CHANGING COURSE」の紹介

・ ESG 投資（不動産）S&P ダウ・ジョーンズ インデックスとしてグリーン不動産指数

5. CED（Climate Emergency Declaration）についてのシンポジウム

本特別委員会が主催することになっている。

3/23（月）13:00-17:00 建築会館ホール 山本良一先生、ほか
ご参加ください。

6. 活動報告会で報告が必要。（発表の際の PPT の図版あればありがたい、中野幹事にこれまでのシンポジウムの PPT を収集しているか、確認してなければリクエストする）

7. 宣言について（特別委員会でですか、理事会でですか）検討中

8. 特別調査委員会の報告書について

中野幹事からみなさんへフォーマットの案内がくるので、整形・加筆する。

目次案の方のほか、+隈さん、+竹中さんにも加筆をお願いする。秋元先生と青笹さんを連名で。

9. 次回委員会： 18:00～@建築会館

・ 候補 2/28（金） 3/5（木） 3/12（木） 3/17（火） 3/18（水） 3/19（木）

「気候非常事態宣言に建築分野はどう対応すべきか」

<主催> 日本建築学会 環境適応に関する特別調査委員会

<後援> 日本学術会議

2016年のパリ協定の発効により世界全体で気候変動に取り組む体制はできたが、対策の遅れにより1.5℃目標どころか2℃目標の達成も難しくなっている。特に建築分野は全世界の温室効果ガスの約1/3を排出しており、緊急な対策が必要とされる。すでにこの状態は非常事態であるという認識から、地球温暖化問題に関して気候非常事態宣言（Climate Emergency Declaration: CED）をする国や団体が急速に拡大している。王立英国建築家協会（RIBA）や米国建築家協会（AIA）も環境と気候の非常事態宣言を2019年6月に行った。また、日本学術会議は、2019年9月19日に山極寿一会長が日本学術会議会長談話、「地球温暖化」への取組に関する緊急メッセージを発出している。今回のシンポジウムはこれらを受けて、日本の建築分野が何を目標に活動すべきかに関して議論を行う。

日 時：2020年3月23日（月） 13時受付開始、13:30～17:30

会 場：建築会館ホール（東京都港区芝 5-26-20）

司 会：中野淳太（特別調査委員会幹事／東海大学）

【プログラム】

- | | |
|--------------------------------------|-------------|
| 1. 主旨説明：田辺新一（特別調査委員会主査／早稲田大学） | 13:30～13:40 |
| 2. 特別講演 気候非常事態宣言に関して：山本良一（東京大学） | 13:40～14:30 |
| 3. 建物のレジリエンスについて：竹脇出（日本建築学会会長／京都大学） | 14:30～14:55 |
| 4. SDGsと建築：村上周三（一般財団法人建築環境・省エネルギー機構） | 14:55～15:20 |
| 5. 低炭素社会推進会議の活動：吉野博（東北大学） | 15:20～15:45 |
| 6. ZEB・ZEHと建築分野へのESG投資：田辺新一（前掲） | 15:45～16:10 |
| 休憩 | 16:10～16:25 |
| 7. 総合討論 | 16:25～17:25 |
| 8. まとめ | 17:25～17:30 |

参加費： 会員 1,500 円、会員外 3,000 円、学生 1,000 円（資料代含む。当日会場でお支払い下さい）

定員： 200 名（申込み先着順）

申込方法：建築学会 Web サイトの「催し物・公募」よりお申し込み下さい。

→申込ページ：<https://www.aij.or.jp/event/detail.html?productId=625302>

申込締切 2020年3月20日(金)

問合せ：日本建築学会事務局 事業グループ 伊佐野 mail: isano@aij.or.jp tel: 03-3456-2057