

# 地域の気候と人々の生活の変化にあわせて 住宅・建築物の脱炭素化を考える

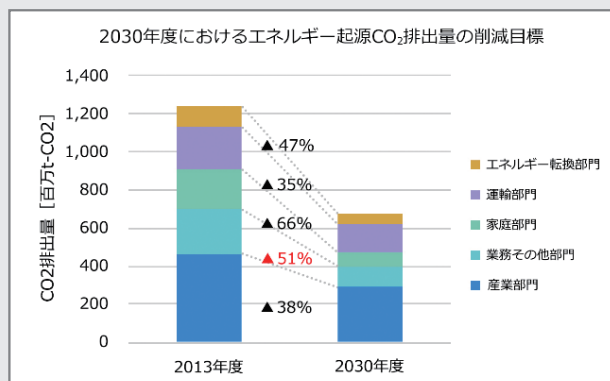
東京理科大学 創域理工学部 建築学科 講師 高瀬 幸造

## ■ 建築環境工学から考える建築デザインへの目覚め

本稿では、筆者が専門としている建築環境工学分野のなかでも、特に省エネルギーや建物の熱性能に着目して、近年の住宅・建築物の省エネルギー化に関わる社会動向や自身の研究活動について解説する。ところで、今日ではSDGsといった世界共通の目標が浸透し、地球温暖化対策として脱炭素社会への移行が待たなしとなっているため、建築環境工学分野への社会的な期待も大きいという実感がある。しかし、私が学生だった頃、特に東日本大震災以前はそこまでの盛り上がりはなく、建築学の中でもマイナーな分野であり、デザインができない学生が辿り着くところというような位置づけであったといっても過言ではない。ただし、2000年に建築関連5団体が「地球環境・建築憲章」を宣言して以来、21世紀になって「サステナブル建築」というキーワードが徐々に浸透し始めた頃でもあり、風や熱といった目に見えない環境要素を考えた建築を生み出したいという機運が徐々に高まりつつある時代であった。そこで私は、見た目や使いやすさだけで建築の形が決まっているのではなく、国内外を問わず建設地の気候や周辺環境に適応した風や光や熱といった環境要素までもデザインに取り入れるといったアプローチに大きな可能性を感じ、デザイン系の研究室から環境系の研究室に志望を変えて、研究と設計活動を両立することを心がけてきた。本学で教鞭をとられていた、故・小嶋一浩先生の建築プロジェクト<sup>1)</sup>などを建築専門誌で見ると感銘を受けるとともに、自分もカッコよくて環境にも配慮した建築を造ることに関わりたいと思っていた。

## ■ 住宅・建築物の温室効果ガス排出削減目標

さて、近年では地球温暖化対策のために、温室効果ガスの排出削減目標を各国で定め、その目標値は年々引き上げられている。2015年に採択されたパリ協定における日本国内の温室効果ガス排出量の削減目標は2023年までに2013年度比で26%削減であったが、



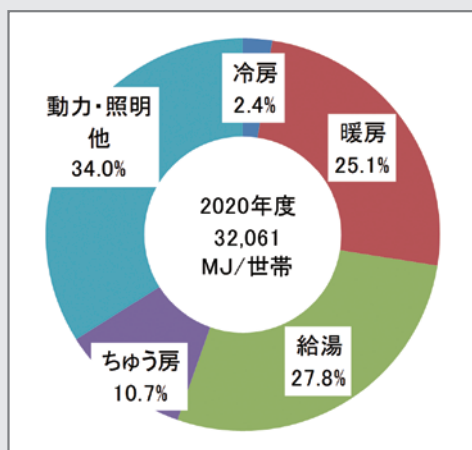
【図1】2030年度におけるCO<sub>2</sub>排出量の削減目標<sup>2)</sup>

建築分野が大きく関わっている「家庭部門」および「業務その他部門」においては共に約40%削減という高い目標が掲げられていた。さらに、2020年には政府が2050年までに脱炭素社会実現を目指すと言ったこととともない、2021年4月に2030年度の国内の温室効果ガス削減目標が2013年度比で46%削減に引き上げられた。これを受けて、2021年10月22日に閣議決定された地球温暖化対策計画および第6次エネルギー基本計画では、2013年度比で「家庭部門」では66%削減、「業務その他部門」では51%削減と、従来にも増して省エネルギー化を推進しなければならなくなったという経緯があり、脱炭素社会への変化は目まぐるしいものがある【図1】。

## ■ 日本の住宅のエネルギー消費実態と省エネ性能

高い削減目標があるということ把握したところで、読者の方々は、住宅や業務用建物においてどのようにエネルギー消費量を削減していけばよいのだろうかという疑問を抱くであろう。最新のエネルギー白書2022によると、家庭部門においては、2020年度で動力(コンセント)・照明が34%、給湯27.8%、暖房25.1%、冷房2.4%となっている【図2】。

ここで多くの方は意外に思われたかもしれないが、実は冷房時にエアコンで消費するエネルギー量は年間で見ると極僅かである。真夏に電気代が高くなるのでエアコン冷房の消費電力が大きいように感じられるが、



【図2】世帯当たりのエネルギー消費原単位と用途別エネルギー消費<sup>3)</sup>

室内外の温度差が大きくなる冬期の暖房の方がエネルギー消費量は遥かに大きい。また、コンセント・照明や給湯用途は通年で使用されることから、暖冷房よりも大きいのである。ただし、設備の寿命は10~20年程度であるので、更新時に高効率給湯機やLED照明といった設備に次第に置き換わっていくことから、エネルギー消費の大きい給湯や照明については、自然と省エネ化が進むことが予想される。

一方、設備よりも住宅本体の耐用年数は長いために、住宅そのものの断熱性能を確保しておくことが、暖冷房エネルギー消費量削減には極めて重要である。断熱性能は夏の暑さや冬の寒さを室内でどの程度緩和できるかにも直結し、快適性・健康性にも大きな影響がある。近年では、夏の熱中症は室内でも多く起きていることが毎年ニュースで取り上げられている。特に高齢者が住んでいる住宅には建設年代が古くて断熱性能や日射遮蔽性能が低いものが多いうえに、エアコン冷房に頼らずに暑さを我慢している方が多くいることが原因といわれている。また、冬には暖房されている居室と、暖房されていない廊下や洗面所やトイレや浴室との温度差によるヒートショックも問題である。例えば、浴室内の事故による死亡者数は冬期に急増する傾向があり、これは暖かい居室から寒い脱衣室や浴室に移動して、熱い浴槽で入浴し、また寒い浴室・脱衣所に移動するといった環境の急激な変化の中で、人体の環境への適応が追い付かず心筋梗塞などを発症することが原因となっている。WHO（世界保健機構）では、室温を18℃以上に維持することを推奨しており、日本国内の住宅や建築物の居住空間にも同等の水準が求められつつある。だが、十分な断熱性能が備わっていない木造住宅では、東京などの温暖地においても冬期の非暖房時の室温は10℃を下回ることはざらにある。

ここで、国内にこれまで建てられている住宅の具体的な断熱性能について、国土交通省が報告している内容について簡単に示したい。まず、全国にある約5000万戸の住宅のうち、3割以上はほぼ無断熱であるとされている。さらに、現行の省エネ基準を満たす住戸は全体の1割程度である。近年では新築住宅の8割以上が省エネ基準に適合しているが、そもそも省エネ基準で求められている住宅の省エネ性能は平成11年に定められた水準のままであり、近隣の韓国や欧米諸国と比較すると、求められている性能としては低い。まして、一定規模未満の住宅・建築物については、省エネ基準を満たすことは努力目標にとどまっており、新築といえども必ずしも省エネ性能が高い建物が造られているとは限らない。建築物省エネ法改正が2022年の国会で可決されたことにより、2025年4月からようやく全ての住宅・建築物で義務化される予定となった。今後の脱炭素社会を見据えた国土交通省の試算によると、2050年になってようやく無断熱の住宅が無くなるといった具合であり、それに伴って既存住宅の建て替えや改修によって次第に性能が向上したとしても、現行省エネ基準より高い省エネ性能の住宅は全体の約半数を占める程度といった見込みのことである。

## ■ 温熱環境シミュレーションを活用して 快適かつ省エネな住宅を計画する

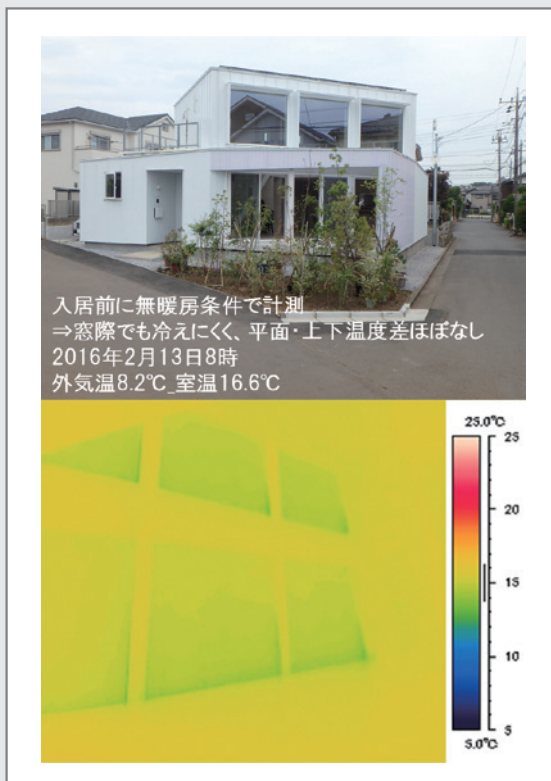
設計時に住宅の断熱性能を検討するにあたって、実務者にも広く普及しつつある手法として、手計算で壁や屋根や窓といった部位ごとの断熱性能と面積を図面に基づいて集計して、住宅全体の断熱性能を数値化するという手法が取られている。室内外温度差1℃あたりに住宅の表面から逃げていく熱損失量を定量化したものであり、外皮平均熱貫流率（ $U_A$  値）というのが省エネ基準の適合判定に用いられる。これは、小さければ小さいほど断熱性能が高いということを意味する。国内では冬の寒さのレベルに応じて、8つの地域区分が省エネ基準で定められている。当然、この地域区分ごとに、求められる断熱性能は異なり、寒い地域（数字が小さい）ほど、 $U_A$  値を小さくすることが求められる。また、前述の通り、省エネ基準で定められている国内の断熱性能水準は決して高いものではないため、近年のZEH（ゼッチと読む、ゼロ・エネルギー・ハウスの略称）では、一段階高い断熱性能水準が求められる。また、住宅の品質確保の促進等に関する法律

【表 1】日本の地域区分ごとに定められた断熱性能水準

等級 ( $U_A$ 値)	地域区分								備考
	1 (夕張等)	2 (札幌等)	3 (盛岡等)	4 (会津若松等)	5 (水戸等)	6 (東京等)	7 (熊本等)	8 (沖縄等)	
等級2	0.72	0.72	1.21	1.47	1.67	1.67	2.35	-	S55年基準
等級3	0.54	0.54	1.04	1.25	1.54	1.54	1.81	-	H4年基準
等級4	0.46	0.46	0.56	0.75	0.87	0.87	0.87	-	現行省エネ基準
等級5	0.40	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	-	ZEH相当
等級6	0.28	0.28	0.28	0.34	0.46	0.46	0.46	-	
等級7	0.20	0.20	0.20	0.23	0.26	0.26	0.26	-	

(略称、品確法)では、昨年から省エネ基準相当の等級4、ZEHに最低限求められる等級5に引き続いて、さらに断熱性能の高い住宅を等級6および7として認定することが可能となった【表1】。等級6以上ともなると、温暖地においては暖房時のエネルギー消費が極僅かで済むようになり、暖房設備を利用しなくても、晴れている日の窓からの日射熱取得や生活で生じる熱によって目標最低室温の18℃を下回らない時間が格段に長くなり、快適・健康・省エネの全てが実現可能になってくることが多くの実務者や研究者の知見によって明らかになっている。一方で、このように高い断熱性能の住宅を造るときに、建設時にかかるコスト増がネックとなる。そこで、筆者が建築家の方から住宅の省エネルギー計画のアドバイスを依頼された際には、研究・設計用に全国836地点の気象データが

1年間分1時間間隔(つまり24時間×365日=8760時間)で整備されているものを用いて、温熱環境シミュレーションを行いながら、費用対効果が高い手法を選択していくことが多い。こうしたことを実践した筆者らの事例のひとつとして、埼玉県所沢市の木造戸建住宅がある。実際に建設されて建て主が入居した後の実測において、【図3】の通り冬の窓際でも寒さを感じにくく、入居後の室温は20℃前後で安定して生活できており、年間で消費するエネルギー消費量も標準的な住宅と比べると遥かに少ないことを実測で確認した<sup>4)</sup>。また、私自身が住んでいるコンクリート造マンションは築18年の中古物件であったが、断熱性能が低かった。入居後にあまりの寒さと結露に耐えかねて全ての窓にLow-Eペアガラスと樹脂サッシの内窓【図4】を取り付けたが、冬の温熱環境は劇的に改善した。



【図3】所沢に建設した断熱性能等級6を超える性能の木造戸建住宅の竣工時サーモ画像



【図4】筆者の自宅マンションの内窓の様子(冬の結露防止や温熱環境改善・暖房の省エネに寄与)

内窓や高断熱建材の市場価格はこなれてきており、現在は補助金も多くあるので、広く普及していくことが望まれる。

## ■ 自然と共生するパッシブデザインへの期待と課題

住宅・建築物の省エネ化・健康性向上のために、これまで説明してきたように外皮の断熱性能を強化することが最重要ではあるが、やるべきことはそれだけではない。断熱性能や冷房時の窓の日射遮蔽性能を重視していくと、場合によっては窓が小さくなって開放感が損なわれたり、外の昼光や風を取り入れることが難しくなる。自然採光や通風などの自然エネルギーを効果的に取り入れる手法のことをパッシブ手法と呼ぶが、これらの採用にあたっては、適切に設計・施工がなされなければ漏気や日射侵入の経路を作ってしまうことにもなりかねないため、より高度な設計・施工技術が求められる点については意識しておかなければならない。また、必ずしも設計者の意図されたとおりに運用されていないという事例もしばしば見受けられる。オフィスビルにおいては、自動制御を有していない手動ブラインドの場合、付設されているブラインドの大半が無操作となっていることから、日射侵入や自然採光の点で省エネの余地があるものとされていた。そこで自動制御ブラインドが採用され、太陽位置や晴曇天状況といった気象条件を判断しながら機械によって自動制御することが一般的な解法となっている。しかし、こうした手法で制御を行ったとしても、運用実態としては、動作時のモーター音が執務者にとって耳障りであったり、頻繁な動作が生じる場合に気に障るといったことから、結局は手動操作に切り替えてしまっているという話も耳にすることがある。

## ■ 利用者がアクティブになってパッシブシステムを活用する工夫

ここまで述べたパッシブシステム活用のための課題点を克服するためには、窓開閉やブラインド操作を行う自動制御システムがより高度かつ洗練されていく必要がある。また別のアプローチとして、居住者・執務者が室内外の環境の変化に気づくことで、一人一人が建築・住宅の窓周りの設えを調整するといったことも検討する価値があるものと考えており、筆者らはこれらの2つの側面からパッシブシステム有効利用に関



【図5】戸建住宅における通風利用のための環境調整行動誘発システムの導入事例

する検討を行っている。

以降では、後者の居住者のアクティブな環境調整行動を促すシステムの検討事例を紹介したい。【図5】は、戸建住宅における通風利用のための環境調整行動誘発システムの概要を示したものである。まず各外部風向における戸建住宅内部の通風性状を数値流体解析によって把握し、外部風が各風向で何 m/s 以上あれば自然換気として十分な換気回数を得られるかということを試算した。屋外にはクラウド式の無線型気象計（風向風速、温湿度）を、室内には温湿度計を、各居室の全ての窓には開閉ログを取得するマグネットセンサーを設置した。時々刻々のセンサー情報と事前の解析結果をもとに、居住者が暑いと思ったときにすぐにエアコンのリモコンを操作するのではなく、まずスマホアプリで室内外の環境が通風に適しているか、またどの方位の窓を開けるとよいのかを確認できるアプリを建築関連のIoT技術を得意とする企業の協力を得て開発した。なお、通風に適していない室内外環境であれば、アプリ上からエアコンの操作もできる。

実際に居住者にこのシステムをひと夏の間利用していただいたところ、通風利用可能と判断されている時間帯のうちの8割ほどの時間で窓開けが適切に行われたことを確認した。現在、中規模オフィスビルにおける通風や自然採光といった環境調整行動を誘発するシステムについても効果を検証しはじめたところである。

## ■ コロナ禍におけるエネルギー消費傾向の変化

目まぐるしく変化する社会情勢の中で、居住者の行動変容に合わせて、建物に求められる性能も今後変化する可能性がある。ここからは、近年のCOVID-19の感染拡大が家庭の生活に与えた影響について、エネルギー消費の観点から分析を試みた事例を紹介する。

筆者らはこれまで、首都圏2ヵ所の集合住宅を対象として電力・ガス・水消費量データの分析を行っている。集合住宅Kは東京近郊の大規模集合住宅群（約900住戸）で電気・ガス併用、集合住宅Sは都内の全電化タワーマンション（約600住戸）で全電化である。どちらも2010年代に竣工して以来、データの欠損が少ない世帯を継続的に調査・分析してみると、各世帯のエネルギー消費量は2019年度まで年々増加傾向にあることがわかる【図6】。これは、両集合住宅では子育て世帯が多いことから、子の誕生や成長等が影響してエネルギー消費量の増加に繋がっているものと考えられる。そのうえで、2020年度には増加ペースが従来のペースを上回っている。コロナ禍以前と比較して、集合住宅Kでは2020年度で約15%増加、集合住宅Sでは約20%増加となった。また、2021年度には、コロナ禍以前と比べると集合住宅Kでは約16%、集合住宅Sでは約14%のエネルギー消費量増加となった。

次に、コロナ禍における居住者の生活実態に関するアンケート結果について報告する。紙面の都合上からグラフは割愛するが、平日在宅日数の変化では、コロナ禍以前と比較して週5日以上自宅にいた世帯が増加し、ほとんどいなかった世帯は減少していた。また、示したリモートワーク実施状況（オンライン授業含む）では、集合住宅Kでは約3割、集合住宅Sでは8割前後の世帯において、少なくとも1人はリモートワークもしくはオンライン授業を実施していた。2021年10月から12月は感染拡大が著しく落ち着いてい

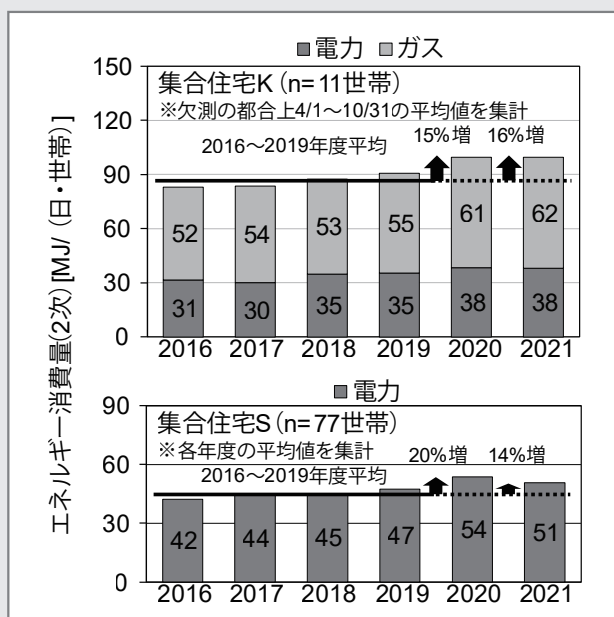
た状況ではあるが、外出しない生活が一定の程度で定着した世帯があり、特に都内の集合住宅Sでは多くの世帯が在宅勤務を継続していた。その他、暖房使用時間増加が見られたことや、エアコン利用より床暖房利用が増えたこと等の生活の変化があったことが分かっている。

さらに、これまで示した生活の変化が両集合住宅のエネルギー・水消費量にもたらした影響を把握するため、1日の中での時系列データを見てみる。まず、冷房使用時期として、8月の各年度時刻別データ【図7】を示す。集合住宅Kでは、電力については、2020年度に朝から夜にかけて大幅な増加があったが2021年度はやや落ち着いてきた。ガス・水消費については、朝8時以降から22時ごろまでコロナ禍前より大幅な増加が認められた。ただし、2021年度は2020年度より下回っている時間帯も増えてきた。集合住宅Sでは、朝9時から24時すぎまでの電力・水消費は、コロナ禍以前と比べて大幅に増加している。2021年度においては夕方から夜間の消費量がやや落ち着いてきたものの、コロナ禍以前の水準には戻っていない。

次に、特に給湯・暖房による電力・ガス消費量が大きい時期として、冬期12月の各年度時刻別データを見る【図8】。2020年と2021年ともに、夏期と比べると朝のピークのずれはコロナ禍前との比較において昼間や夜間の調理によるものと考えられる増加もみられている。水消費にさらに着目すると、コロナ禍前と比較して朝のピーク時間に遅れが生じていた。また、大きなずれは無いが、日中の増加や夕方から夜にかけての増加および夕方の電力・ガス・水消費のピーク時間帯が早まるという傾向が見られる。最後に、【図9】では年間を通じた電力・ガス・水消費量の年度ごとの比較を行った結果を示す。なお、ここでは第1回目緊急事態宣言後から1年刻みで2020年度と2021年度のグラフを描いて、コロナ禍前との比較を行った。外気温によらず通年で、コロナ禍前との比較において、2020年以降は電力・ガス・水消費量が増加していることが確認できる。

上段の集合住宅Kにおいては、外気温が高い夏の電力増加量は他の季節ほどではないが、ガスは微増しておりコンロや給湯利用による増加が反映されたと考えられる。冬期は、電力・ガス・水いずれも2020年度以降は高止まりとなっている。

下段の集合住宅Sにおいては、夏期は電力・水ともに2020年度と2021年度のいずれも、コロナ禍前よりも著しく増加して高止まりとなっている。外気



【図6】調査対象集合住宅の世帯あたりエネルギー消費量の年次推移

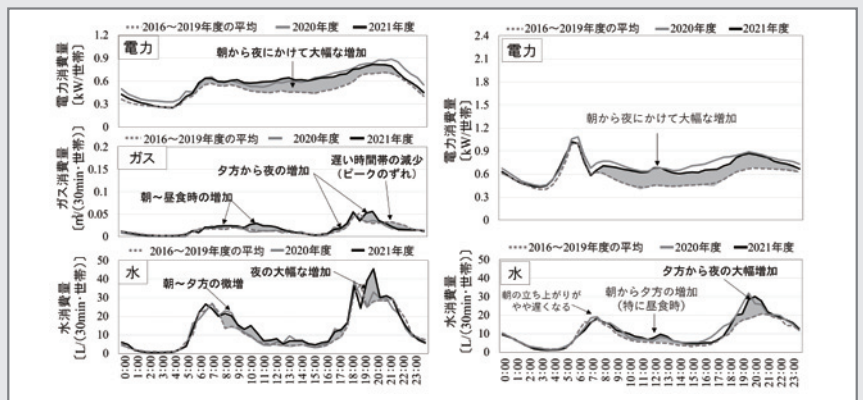
温が低い冬期では、2021年度は2020年度と比べて、電力・水ともにやや減少気味であった。しかし、依然としてコロナ禍前の水準には戻っていない。

## ■ 環境に調和した快適・省エネな住宅の普及に向けて

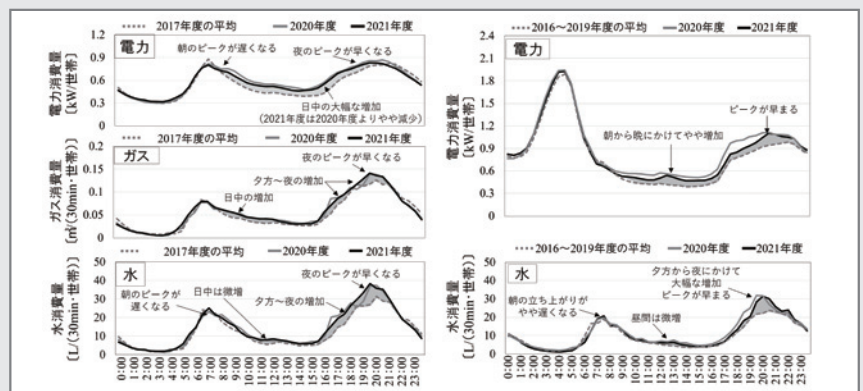
本稿では、ここ最近の住宅・建築物の省エネルギー化や脱炭素化に向けた国内動向について示すとともに、地域の気象データを活用した温熱環境シミュレーションや、自然通風などのパッシブ手法を効果的に居住者が活用するための環境調整行動誘発システムの事例、さらにコロナ禍において家庭のエネルギー消費傾向がどのように変化しているか、解説させていただいた。繰り返されるが、住宅・建築物の省エネ化を進めるにあたって、その中で生活をする人々が暑さ寒さを我慢して節約していくということは避けなければならない。人々が健康に生活するためには、住宅・建築物の外皮性能の向上をより一層推進していく必要がある。また、外皮の高性能化にあたって窓が小さくなったり、周辺環境に閉じた住宅ができてしまうと、室内空間だけでなく街並みとしても魅力に欠けたものになりかねない。コロナ禍を契機に人々がより長く居ることとなった住宅では、見た目の格好良さでデザインを決めるだけでなく、自然エネルギーに配慮した設計を行って、住人が適切に熱や光や風の出入りをコントロールしながら快適かつ省エネな暮らしをしていくことが望まれる。

### 参考URL

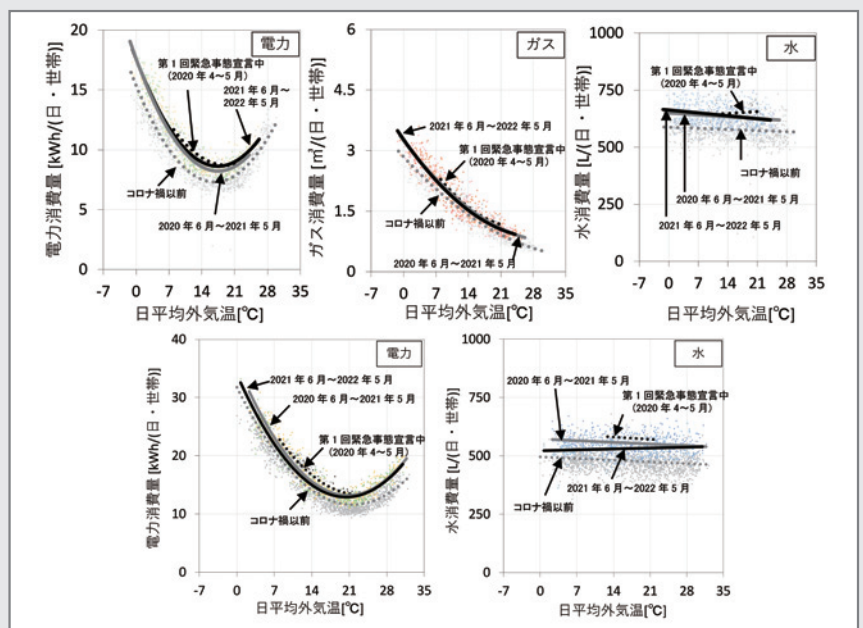
- 1) シーラカンズアンドアソシエイツ「スペースブロックハノイモデル」2003年竣工  
<https://c-and-a.co.jp/projects/space-blocks-hanoi-model/>
- 2) 環境省 ZEB PORTAL  
<https://www.env.go.jp/earth/zeb/about/02.html>



【図7】8月時刻別平均電力・ガス・水消費量 左：集合住宅K(11世帯)・右：集合住宅S(77世帯)



【図8】12月時刻別平均電力・ガス・水消費量 左：集合住宅K(11世帯)・右：集合住宅S(77世帯)



【図9】外気温と電力・ガス・水消費量の関係 上：集合住宅K(11世帯), 下：集合住宅S(77世帯)

- 3) 経済産業省資源エネルギー庁 令和3年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書2022) HTML版公開データ  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/html/>
- 4) 川島, 高瀬: ネット・ゼロ・エネルギー・ハウスの設計と初年度の運用検証—第7回サステナブル住宅賞国土交通大臣賞『Diagonal Boxes』の報告—  
 日本建築学会技術報告集 Vol. 24, No. 58, 2018年  
<https://doi.org/10.3130/aijt.24.1113>