

しくみがわかる 建築環境工学

基礎から計画・制御まで

上野佳奈子
鍵直樹
白石靖幸
高口洋人
中野淳太
望月悦子

鑑賞空間のデザイン ホキ美術館



通常よりも明るい壁面照度 (500lx 程度) を設定

ランダムに開けられた天井の小さな穴には、照明、空調、スピーカ、スプリンクラー、煙感知器などが設置され、各種機能とデザインを一体化

足元から自然光(間接光)を導入

吸音性能のある舗装材を使用し、歩行の疲労感や足音を低減、響きを抑制

ホキ美術館は、日本初の写実絵画専門美術館であり、写実絵画の繊細な表現を伝えるための光環境計画、照明・空調・スピーカ・スプリンクラーなどの設備機能とデザインの統合、床材料による音環境や歩行感への配慮など、行き届いた環境設計と空間デザインとの調和が図られている。シンプルな回廊型の空間で、細密画の鑑賞に求められる明るさと演色性を実現するため、LED照明の使用と足元からの自然光の導入が行われている。



地上1階、地下2階、3層計 500mにわたる回廊型ギャラリー

響きと遮音 ヤマハホール (ヤマハ銀座ビル)



ヤマハホールは、小ホール (333 席、室容積 2550m³) ながら豊かな響きと鮮明な音、演奏しやすいステージを目指して設計された。敷地の制約のなか天井を高く設定することでコンサートホールに相応しい響き (残響時間 1.6 秒) を実現しながら、演目に応じた響きの可変性を装備している。また、ホールに隣接するサロンや練習室、地下鉄からの騒音・振動対策として、高度な遮音構造を採用し、静かさ (NC-15) を確保している。

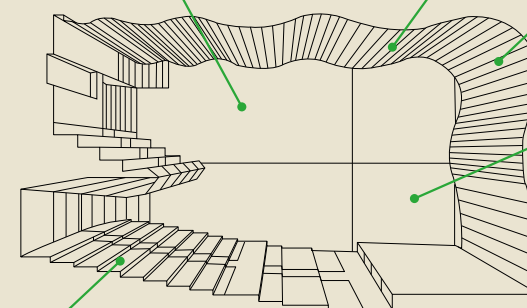
残響時間 1.6 秒を標準条件とし、加えて天井裏の吸音室および音場支援装置 (電気音響システム) によって残響時間の可変性 (1.5 ~ 3.0 秒) をもたせる

ステージ上部の反射板 (浮雲) によって、ステージ・客席に初期反射音を送る

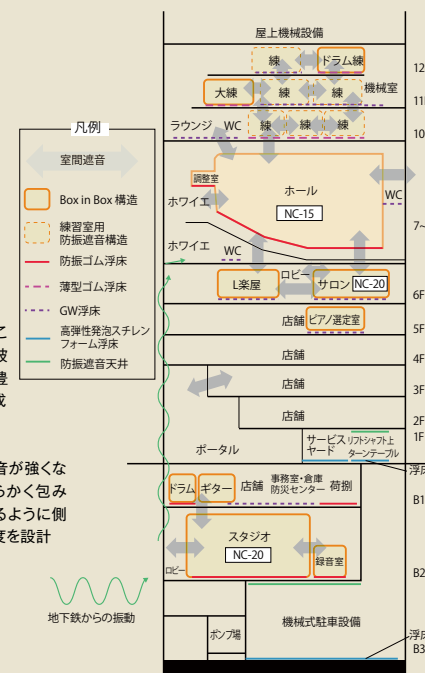
曲率を変えることで様々な周波数を拡散して豊かな残響を生成

横からの反射音が強くなり過ぎず、柔らかく包み込む響きとなるように側壁パネルの角度を設計

どの席もステージの見えと鮮明な音を確保



ホールは、防振ゴムによって構造体から絶縁した防振遮音構造 (Box in Box 構造) を採用し、地下鉄からの騒音・振動、楽屋や練習室からの音の伝搬を防ぐための遮音性能を確保している。



はじめに

建築は、常に変動している自然環境を外皮（外壁・窓・屋根など）で仕切ることで、その内側にコントロールされた室内環境をつくりだしている。かつて民家では、建物の方位や窓の配置、構法などの建築的手法を用いることで、立地の気候にふさわしい快適さを実現してきた。ところが、現代では、安定した室内環境をつくりだすために設備的手法に頼る比重が大きくなっている。環境の質と省エネルギー性の両立が社会的に求められているいま、建築的手法と設備的手法を融合させる建築環境工学の役割が重要度を増している。

建築は実学であり、幅広い領域の知見を統合して課題を解決していかななくてはならない。現在の建築環境工学がどのような目的でどのように知識・技術を組み合わせて成り立っているのか。そのしくみの理解が時代の変化に対応できる応用力につながる。

本書は「建築環境工学のしくみ」からはじまり、「日照・日射」「光環境」「音環境」「熱環境」「温熱環境」「空気環境」「湿気環境」の順に7つの環境要素を取り上げている。室内環境形成のメカニズムを明らかにするとともに、パッシブ手法（建築的手法）とアクティブ手法（設備的手法）の両面にわたり実践的な環境調節のしかたを解説している。各章は3つのパートから構成されている。

「Ⅰ 基本と原理」：環境要素の概要

物理現象としての基本

人間の感覚特性

「Ⅱ 設計目標」：達成度を示す評価指標

目指すべき数値目標

「Ⅲ 計画と制御」：環境計画の方針

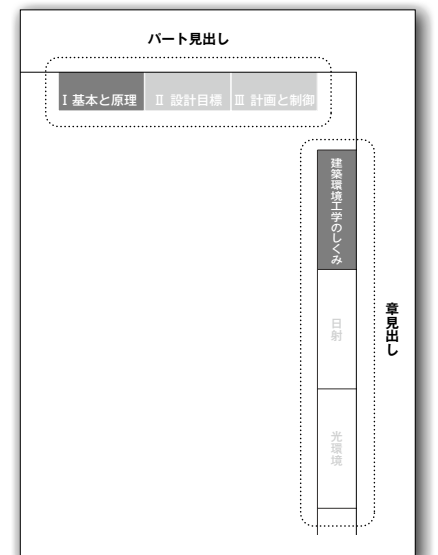
環境制御手法

環境要素の基本から理解したい場合は、Ⅰ～Ⅲの順に読み進めるとよい。設計目標値を知りたい場合はⅡから、具体的な制御手法に興味がある場合はⅢから見るなど、さまざまな読み方ができる。

ページの中央部は一級・二級建築士の資格試験に関わる内容、両サイドのコラムには図表や補足的事項が記載してある。また、各章の最後には理解度チェックのための演習問題がある。これから建築環境工学を学ぶ学生だけでなく、実務に携わる設計者にも手にとっていただき、建築環境の計画と制御のしくみを理解する一助となることを願っている。

著者を代表して

中野 淳太



執筆分担

- 第1章 高口洋人
- 第2章 望月悦子
- 第3章 望月悦子
- 第4章 上野佳奈子
- 第5章 白石靖幸
- 第6章 中野淳太
- 第7章 鍵直樹
- 第8章 I 中野淳太
II 鍵直樹
III 白石靖幸

口絵クレジット (提供者)

- ①写真：岩為
- ②写真：(上) 畑拓
- ③写真：ヤマハ株式会社
- ④写真：(外観) (縁側部分) 彰国社写真部
図版：山本圭介・堀越英嗣・堀啓二『断面パースで読む 住宅の「居心地」』彰国社、2010
- ⑤写真：(空撮) (外観) 川澄・小林研二写真事務所
- ⑥写真：(上) 新建築社写真部、(中) (下) URB 建築研究所

装丁：榮元正博
本文DTP：スタジオ・ポップ

目次

第1章 建築環境工学のしくみ…………… 001

- I【基本と原理】 環境工学の誕生……………002
 - 1 環境問題の発生……………002 / 2 光・音・熱・空気・湿気……………004
- II【設計目標】 環境設計と新たな課題……………007
 - 1 環境工学の発展……………007 / 2 さらに質の高い建築を目指して……………008
- III【計画と制御】 パッシブデザインとアクティブデザイン……………013
 - 1 パッシブデザインとアクティブデザイン……………013 / 2 建築と風土……………014
 - 3 建築と気候……………014 / 4 微気候と都市気候……………016
 - 演習問題……………018

第2章 日照・日射…………… 019

- I【基本と原理】 太陽と地球の関係……………020
 - 1 太陽の動きと太陽位置……………020 / 2 日射……………025
- II【設計目標】 日照・日射に関する評価指標……………031
 - 1 日照確保に関する評価指標……………031 / 2 日射遮蔽に関する評価指標……………033
 - 3 日射の利用に関する評価指標……………033
- III【計画と制御】 日照・日射の計画と制御……………035
 - 1 日影の検討……………035 / 2 日射遮蔽の検討……………037
 - 演習問題……………040

第3章 光環境…………… 041

- I【基本と原理】 光と視覚……………042
 - 1 人間の視覚……………042 / 2 測光量・測色量……………044 / 3 光の伝達……………048
- II【設計目標】 光環境の評価指標……………050
 - 1 明視要件……………050 / 2 明るさと明るさのむら……………050 / 3 グレア……………051
 - 4 色の見えと演色……………052 / 5 光の指向性……………053 / 6 曇困気……………053
- III【計画と制御】 光環境の計画と制御……………054
 - 1 採光計画……………054 / 2 人工照明の計画……………058 / 3 照明計算……………064
 - 演習問題……………070

第4章 音環境…………… 071

- I【基本と原理】 音と聴覚……………072
 - 1 音を表す量……………072 / 2 聴覚と騒音レベル……………074 / 3 音の伝搬と減衰……………076
 - 4 吸音と遮音……………079 / 5 室内音場……………080
- II【設計目標】 遮音と室の響き……………082
 - 1 遮音性能……………082 / 2 室の響き……………086
- III【計画と制御】 音環境の計画と制御……………089
 - 1 騒音防止計画……………089 / 2 室内音響計画……………093
 - 演習問題……………101

第5章 熱環境…………… 103

- I【基本と原理】 熱エネルギーとその移動……………104
 - 1 熱エネルギー……………104 / 2 熱貫流……………104 / 3 熱伝導……………105 / 4 対流……………106
 - 5 放射……………107 / 6 総合熱伝達……………110 / 7 換気に伴った熱移動……………111
- II【設計目標】 熱環境と数値目標（住宅を中心に）……………113
 - 1 住宅の省エネルギー基準……………113 / 2 断熱……………115 / 3 気密化……………119
 - 4 日射熱の遮蔽と取得……………121 / 5 蓄熱……………126 / 6 暖冷房……………129
- III【計画と制御】 熱環境の計画と制御（住宅を中心に）……………131
 - 1 建物の熱収支……………131 / 2 パッシブヒーティング……………132 / 3 パッシブクーリング……………133
 - 4 パッシブ技術の変容……………135 / 5 建物の熱性能と住まい手の関わり……………135
 - 演習問題……………138

第6章 温熱環境…………… 139

- I【基本と原理】 体温調節と温冷感……………140
 - 1 人間の体温調節……………140 / 2 人体の熱収支と温冷感……………140 / 3 温熱環境6要素……………141
- II【設計目標】 温熱環境指標……………145
 - 1 初期の温熱環境指標……………145 / 2 現在の温熱環境指標……………145 / 3 局所不快の評価……………147
 - 4 温熱環境の目標値……………149
- III【計画と制御】 温熱環境の計画と制御……………152
 - 1 じめじめする蒸し暑さへの対処（蒸暑環境）……………152
 - 2 じりじりする暑さへの対処（乾暑環境）……………153 / 3 寒さへの対処（寒冷環境）……………154
 - 4 熱的快適性とエネルギー……………155
 - 演習問題……………158

第7章 空気環境…………… 159

- I【基本と原理】 室内の空気と流れ……………160
 - 1 空気の概要……………160 / 2 室内空気と健康……………161 / 3 室内空気汚染……………161
 - 4 空気流動の基礎……………162
- II【設計目標】 室内空気汚染と許容濃度……………167
 - 1 室内空気汚染物質の概要……………167 / 2 空気汚染の許容値……………170
- III【計画と制御】 室内空気環境の計画と制御……………175
 - 1 汚染防止技術……………175 / 2 室内濃度の予測方法……………175
 - 3 自然換気……………178 / 4 機械換気……………179 / 5 各種換気設備……………180
 - 6 汚染物質の除去……………181 / 7 内装材料からの汚染物質発生量の低減化……………182
 - 演習問題……………184

第8章 湿気環境…………… 185

- I【基本と原理】 湿り空気……………186
 - 1 湿り空気の状態値……………186 / 2 湿り空気の持つ熱量……………187 / 3 湿り空気線図……………188
- II【設計目標】 湿気と結露……………190
 - 1 湿度の人体影響……………190 / 2 結露による問題……………190 / 3 湿気・結露の制御と数値目標……………191
- III【計画と制御】 結露の防止……………193
 - 1 結露の種類……………193 / 2 結露の防止……………194
 - 3 表面結露の防止対策……………195 / 4 内部結露の防止対策……………196
 - 演習問題……………198

演習問題 解答……………199

索引……………204

建築環境工学の誕生

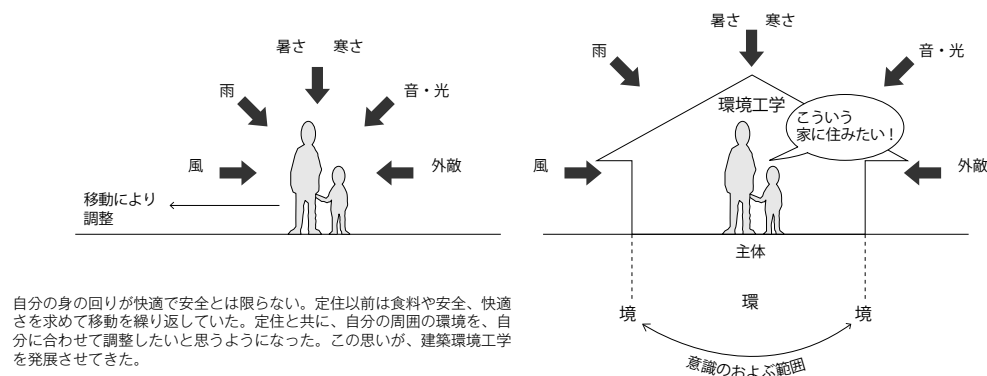
1 環境問題の発生

1 環境とは何か？

われわれの周辺に広がる空間、すなわち**環境**はわれわれにとって常に快適で安全とは限らない。暑い、寒い、じめじめしているなど、さまざまな不快や不健康、危険がある。そこで環境に手を加えて自分たちに都合が良いように変えたいという気持ちが生まれる。この気持ちに応え、数学や物理などの自然科学、ときには人文社会学の知見も用いて、環境を制御しようとする技術、その学問を「**建築環境工学**」という。

「環境」に相当する英語は「Environment」であるが、この語源はフランス語の「Viron」であり、周りの土地というような意である。漢字の環境は、「環」と「境」の組み合わせだが、「環」とは輪の形をしたもの、あるいはぐるっと廻るという意味で、「境」は土地の区切り目を意味している。したがって「環境」という言葉はより厳密で、「あるモノの周りに広がる、ある所までの空間」という意味となる。

今日、環境という言葉を使わない日はない。地球温暖化の影響で自然環境が悪化してきた、といった使い方のほか、勉強する環境が悪いといたり、経済環境が良くなってきたといたり。その内容が非常に多様なのは、中心にあるモノ、周辺の範囲、そしてその中身が、言葉の使い手によって変化するからである。



自分の身の回りが快適で安全とは限らない。定住以前は食料や安全、快適さを求めて移動を繰り返していた。定住と共に、自分の周囲の環境を、自分に合わせて調整したいと思うようになった。この思いが、建築環境工学を発展させてきた。

図 1.1.1 環境工学の誕生

2 建築環境工学の主体は「人間」

建築環境工学が扱う環境の中心にいるのは人間である。この環境の主体である人間が認識する距離、範囲によってその環境の呼び名も変わってくる(図 1.1.2)。

人体を中心に数 cm の範囲を**人体環境**と呼ぶ。建築物によって囲まれた範囲を**建築環境**、都市が形成されている範囲を**都市環境**と呼ぶ。その外は地域環境から**地球環境**へと続き、最終的には**宇宙環境**へと広がる。この区分は人間の認識に基づくが、それらは入れ子構造の関係にあり相互に影響しあっている。建築環境の善し悪しが都市環境に影響を与え、最終的には**地球環境**にも影響を与える。

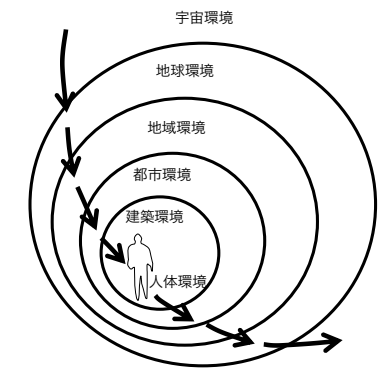


図 1.1.2 入れ子構造にある環境

主体が人間であることから、環境を制御しようとする場合は人間の感覚が基準となる。人間の感覚を慣用的には**五感**(視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚)というが、実際には温度覚や圧覚、位置覚や平衡感覚などこの他にも多くの感覚が存在する。人間が周囲の環境を感覚を通じてどのように認識するか、快適なのか不快なのかによって、どのような制御を行うかが決まる。

しかし一方で、主体である人間側も、性別や年齢、体質によって感覚が大きく異なることが知られている。高齢者に熱中症が多いのは温度覚が鈍くなることが原因であるし、女性には冷え性も多い。まぶしさに敏感な人もいるし鈍感な人もいる。ある一つの基準に合わせて環境を制御すると、どうしても一定数の不満足者が生じてしまう。これからの環境工学には、より多くの満足を得るために、主体である人間の体をより深く理解し、経済的にもバランスの取れた技術できめ細やかに制御することが求められる。

3 環境問題の発生

日本では約1万2千年前、狩猟と採集によって定住する縄文時代が始まり、人々は移動をやめて一つの住居に住み始める。それまでの移動しながらの狩猟生活では、人が制御可能な環境といえば、皮膚からほんの数 cm の、せいぜい衣服までの**人体環境**しか意識していなかったはずであるが、定住することによって認識が変化し、その環境も範囲も変化することになる。屋外であれば煮炊きの火も煙もそれほど気にならないが、屋内では煙が部屋の中に充満して困ったことになる。この煙たく不快な状態を何とかしたい、このようなことが人の直面した最初の環境問題だと考えられている。その解決、つまり天井に雨が入れぬよう、煙突の役割をする穴を空けることが、今日的に言えば、採用された**建築環境工学**ということになる。これを手始めに、人は自らの環境、つまり



図 1.1.3 長野県尖石遺跡

縄文時代の復元住戸には、妻側に排煙のための大きな開口が見られる。

周囲の空間の質を自分たちに都合が良いように高め、今日まで変え続けている。

④ 環境問題の広がり

当初は住居内の換気や採光、採暖など建築内部を扱う建築環境の改善が中心だったが、農耕社会である弥生時代に入り、余剰作物の交換の場として市が発達して都市を形成するようになる、新たな都市環境問題への対応が求められるようになる。糞尿による水質汚染、原始的な金属精錬（宮崎駿の「もののけ姫」に出てくるような）による大気汚染や土壌汚染、燃料利用による森林の減少などである。これらの都市環境問題は、例えば窓を開けられないといったことを通じ、建築環境を快適に維持するにも影響を与えた。環境問題は人間社会の発展と共に質を変え、範囲を広げている。今日では都市環境にはヒートアイランド問題や大気汚染、さらにはオゾン層の破壊や地球温暖化といった地球環境問題も顕在化している。地球温暖化の主要因は二酸化炭素の過剰な排出であるが、その二酸化炭素の主要な排出源はわれわれのエネルギー利用である。建築物の質や都市構造はエネルギー消費に大きく影響^{⑤1)}を与えることから、建築物の質を高めることは地球環境の改善にも大きく寄与する。

⑤ 環境問題のメカニズム

環境問題は、対象とする環境内での汚染物質の発生量が、その環境の浄化能力を超えることにより生じる。浄化能力を超えた汚染物質は、その環境内に蓄積され、さらに環境を悪化させるか、その回りにあふれ出してより広範囲の環境を汚染することになる。それが人間の生物的、あるいは社会的な許容量を超えると、環境問題として認識される。

室内であれば、人間が吐き出す二酸化炭素や水蒸気が、換気能力を超えて室内に蓄積され、人体が許容できなくなったとき環境問題となる。また、音のような人間の感覚に作用する物理現象もまた、人間の許容範囲を超えると騒音問題となる。

つまり環境問題とは、人間の本質的な欲求である豊かさや快適性の追求の副産物である環境汚染と、周辺環境の汚染浄化能力、そしてどの水準まで許容するかという人間の感覚との関係性から生じる。

② 光・音・熱・空気・湿気

① 建築環境工学の範囲と本書の構成

建築環境工学が扱う分野は幅広いが、大きくは光・音・

熱・空気・湿気に関連する環境要素に分類することができる。本書でもおおよそこの分類に従っている。光に関連する内容を2つに分け、第2章で太陽の日照・日射、第3章で光環境について。第4章では音環境を。第5章で熱の物理的な基本として熱環境を、第6章で人間と熱の関係を温熱環境として説明した。第7章では空気環境、第8章で湿気環境を取り上げる。

② 元は太陽エネルギー

建築環境工学は環境を自分たちが目標とする状態に向けて制御する技術である。その対象は先に挙げたように熱から光、音まで多岐にわたるが、物理現象として見れば、太陽のエネルギーが形を変えながら建築物の中を通過する様子を観察し、それを人間の生活がより快適になるよう制御しようとする学問といえる。太陽の光は建物に当たって熱に変わる。熱は壁を伝わり室内に到達し、一部は再び空気に伝わり一部は放射として直接室内の物質を温める。窓から侵入した光は、室内を明るくするが、やはり最終的にすべて熱に変わる。化石燃料も太陽のエネルギーが光合成によって植物やプランクトンに固定され蓄積されたものであるから、それを使って発電される電気も太陽の光が形を変えたものである。電気による光や音も、食物をエネルギー源とする人が発する音も、元は太陽のエネルギーであり、いずれも最終的には熱となって建物内外の熱環境に影響を与える。このような関係性の理解は、実際の設備設計の現場でも基本となる。

例えば夏の居室を考えてみよう。少しでも涼しく過ごすには、建物に入る熱を少しでも小さくしたほうがよい。そのためには、窓から入る光を遮蔽すればよいのだが、遮蔽しすぎると、部屋の中が暗くなって照明が必要になってしまう。照

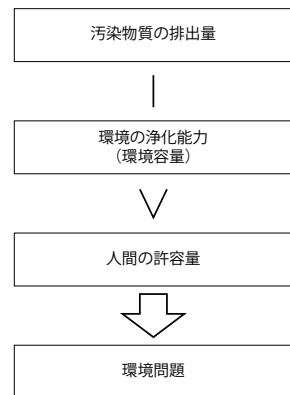


図 1.1.4 環境問題の発生メカニズム

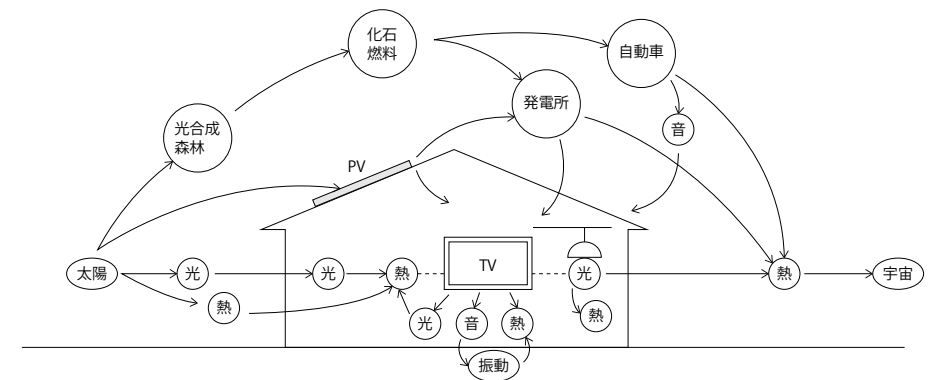


図 1.1.5 太陽のエネルギーの流れ

環境設計と新たな課題

1 建築環境工学の発展

1 建築計画原論

建築をつくる技術者の役割は、寒暖や降雨、強風などの自然の脅威や外敵から身を守ることができる建築物を、周辺の環境を巧みに利用してつくり上げることである。例えば室内の空気温度は、外の空気温度や太陽の日射などの外界気象、建築物の材料、窓の面積などの建築仕様、そしてその部屋をどのように使用するかで決まる。建築技術者は、外の気象は変えることができないため、太陽の日差しの入り具合や空気の流れ、壁の材料の選び方によって断熱などの建築の性能を工夫し、場合によっては使い方のアドバイスを与えるなどして快適な空間を提供してきた。エアコンなどの機械による制御手段がない時代は、この方法しかなかったため、その手法が高度に発達した。それを定量化して学問分野としたものが**建築計画原論**である。建築設計原論では、デザインと環境工学は一体として扱われ、建築技術者にも両方の能力が求められた。

2 建築計画原論の解体

近代になり、安価なエネルギーが得られるようになると、冷暖房設備や換気設備、照明機器などの機械設備を用いて室内環境を制御する方法へと変わっていく。機械で環境を制御する場合は、人間の感覚に基づき達成すべき目標を定め、外界気象と使われ方を考慮しながらどの程度を建築仕様で解決し、どの程度を機械が分担するかを決定する。このプロセスが徐々に設備設計と呼ばれるようになる。エネルギーや機械が安価になるにつれ、建築仕様求められる割合が小さくなり、建築がエネルギーや資源などの環境の制約から開放され自由に設計できるようになる。このようなことを背景に、建築技術者は、デザインを専門とする**意匠設計者**と設備設計を専門とする**設備設計者**に専門分化し、建築計画原論も過去の学問となってしまう。

3 建築計画原論回帰

しかし、このような状況も、1973年に起きたオイルショックを契機に再び変化しはじめる。世界的な人口増と経済発展、石油需要の高まりとともに、化石燃料や資源の枯渇への

明からは光だけでなく熱も発生する。冷房にエアコンを使う場合、冷やした空気はなるべく外に漏らしたくないが、室内では人の呼吸や食品の調理による二酸化炭素や水蒸気、植物や衣類、家具からは塵や化学物質などの汚染物質が発生している。その汚染物質を許容範囲内に抑えるにはある程度の換気が必要となる。断熱性能を高めることも効果があるが、同時に静粛性も高まり、今度は冷蔵庫の音が気になるといったことが起きる。一方、省エネ型のLED照明では、同時に発熱も少なくなるので、エアコンの冷房能力を小さくできる。このように環境を構成する要素はそれぞれ独立しているように見えて、相互に影響を与え合っている。

したがって建築物の設計では、主体となる人間はどのような人々なのか、周辺の自然環境の状態はどのようなになっているのか。それに対して設計者はどのような視点から問題を解決しようとするのかなど、取り組み方は無数にあり、物理的に最適な答えが一つだけ得られることはない。設計とは、変化に富んだ環境に対して設計者が目標を設定し、相互に関連する環境要素を解きほぐして、その状況下でもっとも最適と思える環境を実現することである。

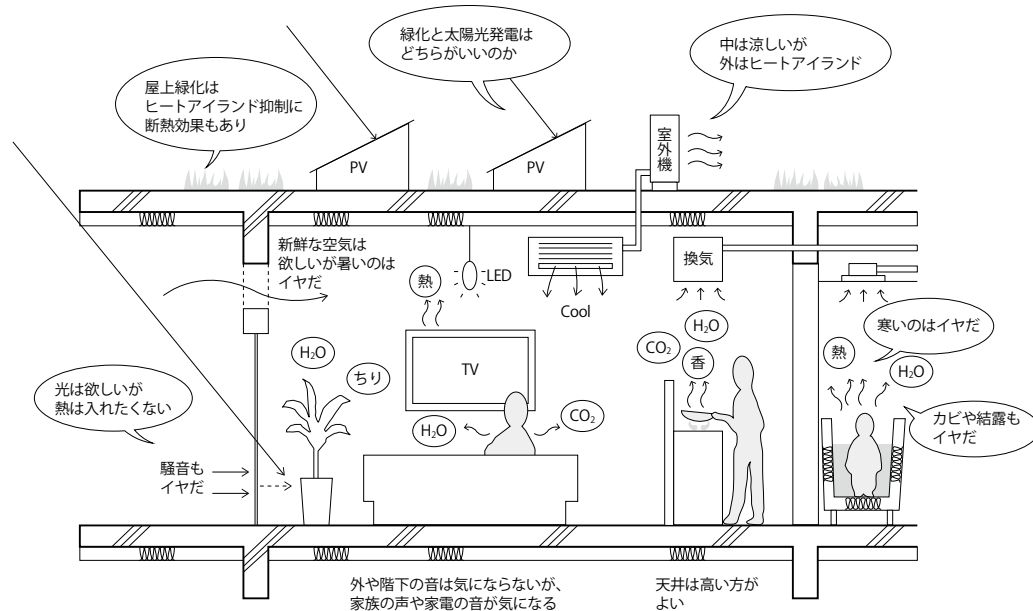


図 1.1.6 室内の環境は熱や光が相互に影響を与えあった結果できあがったもの

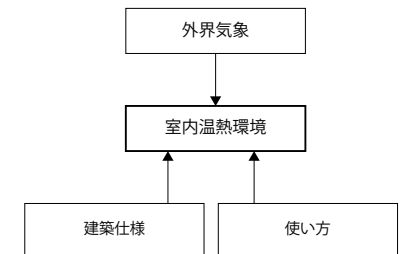


図 1.2.1 室内熱環境の決定要因

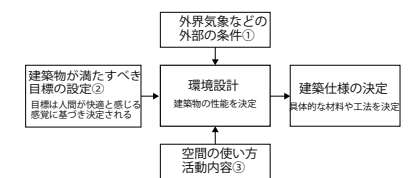


図 1.2.2 環境設計の流れ

危機感が徐々に高まる。原子力によるエネルギーの代替も続けられているが、燃料であるウランも枯渇性の資源であることを考えれば、長期的には枯渇は避けられない。2011年に発生した福島原発事故後は、事故処理や廃炉の難しさが明らかとなり、脱原発へと向かうドイツのような国も現れている。

いずれにしても、枯渇性の化石燃料が、今後永久に大量安価に供給され続けるとは考えにくく、中長期的には再生可能エネルギーへの移行は不可避である。建築物についても、あらためて再生可能エネルギーや調達可能な資源という環境容量の制約のなかで、建設ができ維持できることが求められる。そのためには、改めてデザインと設備設計を一体と考え、一段と質の高い建築物を実現することが求められる。

④ 設備設計から環境設計へ

このようなことから、近年では設備設計を環境設計と呼ぶことが多くなっている。要求される性能を満たす設備を提供する設計から、あらためて人々の要求、建築仕様、周辺の自然環境、そして機械設備を総合的に計画する設計へとその内容が変わってきているからである。また、今日的な建築の質への要求として、高い健康性や知的生産性なども求められるようになった。その質の高さを示す指標として、CASBEEやLEED、BELSなどの評価ツールやラベルが作成され、指標を確認しながら質の高い建築をめざすことも一般化しつつある。このような環境設計の広がりに伴い、その土台となる環境工学も領域を拡大し、変化している。

2 さらに質の高い建築を目指して

① 建築物の持続可能性

持続可能性という概念は、言葉としては比較的新しく、1980年代に登場した概念である。1984年に国連に設置された「環境と開発に関する世界委員会（委員長の名前から通称：ブルントラント委員会）」が、1987年に発表した報告書「地球の未来を守るために（Our Common Future）」において、「持続可能な開発（Sustainable Development）」という概念が提案され一般化した。この報告書では、「持続可能な開発」を「将来世代のニーズを損なうことなく現在の世代のニーズを満たす開発」と定義している^{※1)}。

この言葉には2つの意味が込められている。1つは地球規模での貧富の格差をなくすために、開発を進める必要があるということ。もう1つは、その開発は将来世代の可能性を損ねてはならないという視点である。環境保全に重点

を置きたい先進国と、開発を進めたい途上国との妥協の産物との指摘もあるが、世代を超えた責任（Intergenerational Responsibility）という概念を打ち出した点は画期的であった。

一方で、この「持続可能な開発」の定義では、持続可能な社会を実現できないとして、厳密な定義を求める動きもある。アメリカの経済学者デイリーは、デイリーの三原則^{※1)}として持続可能性を厳密に定義しており、その議論に大きな影響を与えている。

社会の持続可能性向上に貢献する建築という意味で、エネルギー効率や資源消費量が少ない建築をサステナブル・ビルディングと呼んでいる。日本建築学会では、「地域レベルおよび地球レベルでの生態系の収容力を維持しうる範囲内で、建築のライフサイクルを通しての省エネルギー・省資源・リサイクル・有害物質排出抑制を図り、その地域の気候・伝統・文化および周辺環境と調和しつつ、将来にわたって、人間の生活の質を適度に維持あるいは向上させていくことができる建築物」^{※4)}と定義しているが、地域レベルおよび地球レベルでの生態系の収容力がどの程度であるかは判然としない。

1997年、日本建築学会は「第3回気候変動枠組み条約締結国会議（COP3）」と連動し、「我が国の建築は今後、生涯二酸化炭素排出量を3割削減、耐用年数3倍増100年以上を目指すべき」とする学会長声明を発表したが、これも確たる根拠があつての数値目標ではない。内容的には至極極端のようにも思えるが、長寿命化は新築工事量の減少を意味するため建設業界で大きな反響を呼んだ。

また、2015年の第21回気候変動枠組み条約締結国会議（COP21）で締結されたパリ協定に向け、日本政府は住宅での生活由来の温室効果ガス排出量を2030年までに2013年比で39%、事務所ビルや商業施設由来の排出量を40%削減することを目標としている。この目標値は、国として掲げた削減目標を達成するために建築物に割り当てられたものであるが、地球温暖化の状況や人口増加を鑑みれば、中間目標と理解すべきで、さらなる削減が今後求められよう。

このような社会的制約が強まるなか、環境を制御しようとする学問である建築環境工学もより幅広く、より横断的に学習することが求められる。

② 建築の性能を評価する

より質の高い建築物を普及させる道具として、建築物の環境性能を総合的に評価するツールの開発が進んでいる。日本ではCASBEE（建築環境総合性能評価システム）、北米を中

CASBEE 新築「簡易版」 | 評価結果 |

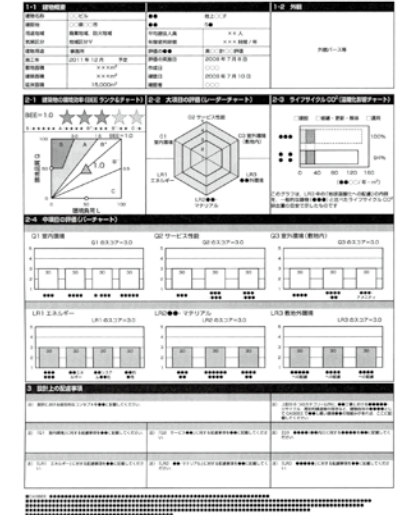


図 1.2.3 CASBEE 評価シート

CASBEEは国土交通省の支援を受けた、産官学共同プロジェクトにより開発された建築環境総合性能評価システム。



図 1.2.4 LEED

(Leadership in Energy & Environmental Design) 米国グリーンビルディング協会が開発・運営を行っている建物と敷地利用についての環境性能評価システム。プラチナ、ゴールド、シルバー、サテファイアの4段階で評価され、現在世界でもっとも普及している。



図 1.2.5 BREEAM

(Building Research Establishment, Environmental Assessment Method) 1990年に英国建築研究所で開発された、世界で最初の環境性能評価ツール。主としてEU圏で普及している。

※ 1：デイリーの持続可能性の三原則^{※2)}

アメリカ人経済学者のハーマン・デイリーが提唱した持続可能な条件

1. 土壌、水、森林、魚など「再生可能な資源」の持続可能な利用速度は、再生速度を超えるものであってはならない
2. 化石燃料、良質鉱石、化石水など「再生不可能な資源」の持続可能な利用速度は、再生可能な資源を持続可能なペースで利用することで代用できる程度を超えてはならない
3. 「汚染物質」の持続可能な排出速度は、環境がそうした物質を循環し、吸収し、無害化できる速度を超えるものであってはならない

心にLEED、EU各国ではイギリスで開発されたBREEAMが普及している。

このような評価ツールが登場した背景には、まず建物の性能を公平に把握し、それをつまびらかにすることで、質の高い建物が市場で選択されるように誘導し、市場メカニズムを活用して普及を促すという目的がある。

例えばCASBEEでは、環境の質と環境への負荷の比(環境効率)を指標として採用している。環境の質では、音環境や温熱環境、光・視環境、空気質環境のほか、機能性や耐用性・信頼性、対応性・更新性、室外環境も評価する。一方、環境の負荷では、熱負荷の抑制や自然エネルギーの利用、設備システムの高効率化、効率的運用に加え、資源や材料に関わる負荷、敷地外の環境への負荷などを相対的に評価する。

CASBEEは建築設計者が自分の設計内容を自己評価するツールとして使用しているほか、多くの自治体が確認申請時に一定水準以上の評価取得を義務付けたり推奨したりしている。建設資金融資の条件として、環境性能評価を求める銀行も登場しており、年々その評価建物数が増加している。

③ ZEB/ZEHへの期待

建築物のエネルギー性能に関しては、1973年のオイルショックを契機に制定された「エネルギー使用の合理化に関する法律(通称:省エネ法)」により、年々より高い性能が求められるようになってきている。近年はZEB*(ゼブ)やZEH*(ゼッチ)と呼ばれるエネルギーが自給できる建築物を普及させようという政府の方向性も示されており、環境設計にもその対応が求められている。



図 1.2.6 ZEB/ZEHの登場

建築物で使用するすべてのエネルギーを、建築物に取り付けた太陽光発電等の再生可能エネルギーで賄える建築をZero Energy Building (ZEB:ゼブ)という。(住宅はZEH(ゼッチ)と呼んでいる。

④ 求められる新たな高い環境性能

建築環境工学は、安全で快適な空間を実現するため、室内の温熱環境や光、音環境や空気質を対象としてきた。それぞれに求められる安全性や快適性は、これまでも時代に応じて変化してきている。また、近年では安全性や快適性のほかに、高い健康性や知的生産性も求められるようになり、その対象が広がっている。

健康性とは、単に人体に害を及ぼさないということではなく、積極的に人の健康寿命を延伸することに役立つ建築の性質を指す。WHOは新しい健康づくりの方法論として、ヘルスプロモーション^{参5)}という概念を提唱し、これに寄与する分野として、「医療や福祉だけではなく、「教育、輸送、住居、都市開発、工業生産、農業」を挙げている。住居や都市の質が健康や寿命に大きく影響を与えるとしており、その向上を求めている。断熱性の高い住居では、脳血管障害や心臓病な

どのリスクが低減されることがわかっている。また、歩ける範囲に公園や商店があり、文化施設があるといった社会的要素や、毎日が楽しくリラックスできているといった精神的要素も健康に影響を与える。快適な空間は単に身体的に満足度が高いというだけでなく、不満が少ないという意味で家庭が円満であることにも貢献し、友達も呼びやすくなるということになれば、間接的に社会的な健康にも寄与することになる。

住宅の質の善し悪しの結果が人の健康とすれば、業務用建築物の質の結果はそこでの生産物ということになる。生産物の質や量からみた建築物の性質を生産性と呼ぶが、その価値は投入した労力と資源(インプット)に対する生産物の価値(アウトプット)の割合で示される。通常は労働生産性と呼ぶが、生産物の付加価値が高いオフィスでは特に知的生産性と呼んでいる。温熱環境や光、音などの室内環境の質は疲労感や満足度に影響し、結果として欠勤率や作業効率に影響する。今日では新しいアイデアや新商品につながる閃きが、どのような空間だと生まれやすいのかといった研究も行われている。例えば、これまで環境工学が避けるべきとしてきた変化や刺激がある空間のほうが、閃きには適しているかも知れない。

また、都市部の再開発では、近年開発により生物の多様性を高めようという動きも出ている。緑地面積を増やして生物の生息域を増やしたり、鳥や昆虫の移動可能距離を考慮し、複数の緑地をネットワーク化して生息域の拡大を計画したりしている。これらは従来の環境工学の対象に含まれるものではなかったが、ひいては人間の快適性や幸福の追求に寄与することから、現在では環境設計の一部として扱われている。

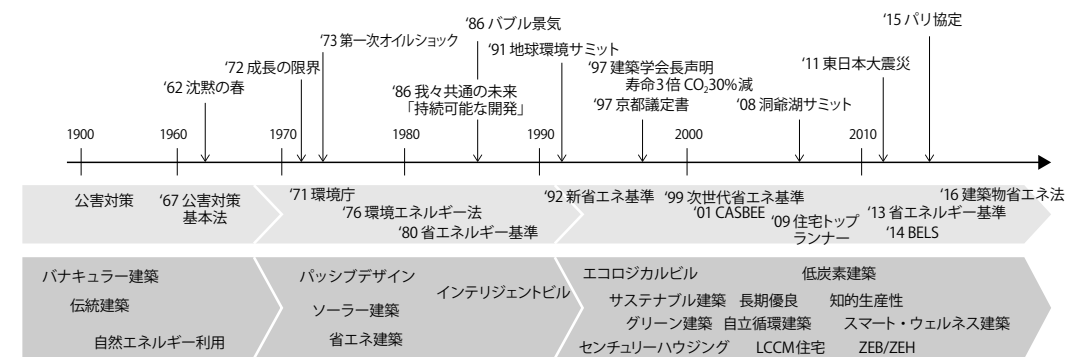


図 1.2.7 建築物の環境性能に関わる社会の動き