

図解住居学

5

住まいの
環境

第二版

図解住居学編集委員会一編

大野治代・矢野 隆・佐藤真奈美・
山中俊夫・永村悦子・奥野芳弘一著

彰国社

はじめに

豊かな生活は、人々が住む建物の周辺ばかりでなく、その地域(都市、農山村)が健康的で、安全性が高く、より快適に暮らせるように計画され、そこに住む人が本当に、生活の豊かさを実感できる居住環境が整えられて初めて実現できるといえる。

今日の生活環境は、人々に本当の意味での快適さを与えているだろうか。

私たちは、快適な居住環境を得るために、厳しい自然環境に対し、積極的に働きかけて生活圏を広げ、健康で安全な生活空間を獲得し、より快適で利便性の高い人工環境を実現するために歩みつづけている。

しかし、現在の私たちの生活は、人工環境による快適な生活空間の達成が、技術的・経済的にかかなりのレベルで達成可能である一方、自然に対する身体の適応能力が低下し、新たな環境問題が発生している。

わが国の行政が環境に視点を向けたのは、1970年代の環境庁設置に始まる。当時の主な環境問題は、生産工程で発生する公害であった。

近年になって、公的機関が自然環境の荒廃に配慮する動きが本格的となり、1996年に総理府が「美しい地球を将来の世代に」と題した出版物を著し、1997年には「地球温暖化防止国際会議」を京都で開催し、自然を守り、自然環境と共生しながら、より豊かな生活環境を作り上げていく政策方針を掲げるにいたっている。

最近の社会的な動きとして「環境共生住宅」に関連する出版物、生態系の保護、地球規模で環境問題を考える市民の集まりの増加など、環境全般への関心が高まりつつある。

図解住居学シリーズの第5巻である「住まいの環境」では、人間と自然環境との関係、厳しい自然環境に囲まれた住まいを、より快適な住まい空間とするための環境要因の分析、快適な住まい環境を実現するための設備機器、快適な人工環境による居住空間から生まれた新たな問題の発生、高齢社会に対応するための環境要因、ならびに人工環境から環境共生に視点が向けられている現状について述べている。

1章では、人と環境について、暮らしの変遷、風土、建物の形、環境要因の側面より検討している。

2章では、日照、昼光や人工光による明るさ、色彩などの光環境と人の関連から述べている。

3章では、音の性質、騒音、音楽などの音環境と人の関係について述べている。

4章では、住宅、自然における温熱環境と人の関連から検討している。

5章では、空気質、汚染物質、換気、においなどの空気環境と人との関係を述べている。

6章では、自然環境と居住空間の共生のあり方について述べている。

7章では、居住空間に使用される、給排水、ガス・電気、空気調和、通信、防災システムに関連する設備機器についてまとめている。

なお、この本で取り扱う環境の範囲は、建築全般を対象としたものではなく、主として住宅の環境に関連する領域に限っている。

平成 10 年 9 月　担当編集委員　大野治代

第二版の刊行にあたって

『図解住居学5　住まいの環境』を上梓して12年が経過した。この間に、環境関連の研究成果は多く得られた。

近年、私たちを取り巻く生活環境は、異常気象等に伴う自然環境や科学技術の発展に伴う人工環境の変動に大きく影響されている。これらの変動による悪影響を排除するために、公的規制の取組みが推進され、本書に関連する法改正が行われ、収録している統計資料にも大きな変化が見られた。

21世紀を迎え、環境という言葉がマスコミに登場することも多くなり、人々の環境に対する考え方ばかりでなく、行政や社会の環境に対する姿勢も積極的になったこともあり、本書を改訂した。

本書は初版と同じく、快適な生活環境を実現するための光（照明・色彩）、音（騒音）、熱（結露・断熱）、空気（汚染・換気）、環境共生（温暖化・ゴミ）、設備の、物理的な各側面と私たちの感覚面との対応関係をどのようにすべきか考えている。

平成 23 年 3 月　担当編集委員　大野治代

1 人と環境

1.1 生活環境の変遷と問題	10
1.2 社会と環境関連の動き	12
1.3 日本の自然と暮らし	14
1.4 世界の自然と暮らし	16
1.5 住まいと環境の関わり	18
1.6 人の生理・心理	20

2 人と光

2.1 日照・日射と住まいの環境	26
2.2 照明環境	32
2.3 色	42
2.4 解説	48

3 人と音

3.1 音のエネルギーと周波数	54
3.2 音の反射・吸収・透過および干渉	58
3.3 聴覚	59
3.4 音の伝わり方	60
3.5 壁による遮音	62
3.6 固体音と防振	64
3.7 吸音	65
3.8 騒音の測定・評価法	67
3.9 遮音測定と遮音基準	70
3.10 室内音響計画	72
3.11 解説	76

4 人と温熱

4.1 住まいの熱的快適性	80
4.2 住まいと熱・湿気	84
4.3 住まいの熱環境設計	92
4.4 住まいと結露	98
4.5 解説	102

5 人と空気

5.1 空気中の汚染物質が人に及ぼす影響	106
5.2 空気移動の予測	112
5.3 汚染物移動の予測	116
5.4 換気計画の仕方	117
5.5 住宅の気密性	118
5.6 通風計画の仕方	119
5.7 住環境とにおい	120
5.8 空気質・換気量の測定法	121
5.9 解説	122

6 人と環境共生

6.1 住生活と地球環境	126
6.2 快適な環境とエネルギー	130
6.3 環境負荷の低減	132
6.4 環境共生住宅	134
6.5 解説	136

7 住まいの設備

7.1 水と設備	140
7.2 空気調和設備	149
7.3 電気設備	152
7.4 防災と設備	157
7.5 設備機器と配管材料	158
7.6 解説	159
7.7 建築設備関連法規	160

人と環境

私たちを取り巻く環境は、自然環境と社会環境に分けられるが、本章では、人と自然環境との関連から、健康で、安全で、より豊かな生活を実感するための住まい環境のありかたを考える。

私たちの生活環境は、1945年の第2次世界大戦以後大きく変化し、21世紀を迎えた現在の生活は、経済や技術などの物理的な面では、世界の上位に位置し、私たちの生活環境は表面的には向上し、快適な住環境に暮らしていると考えられている。しかし、現在の住環境において新たに発生している問題も多く、私たちが満足できる快適な環境について、物理的な面と心理的な面の両面から検討していかなければならない課題が多く残されており、これからの人と環境との関係について考えてみたいと思う。

第1節では人と自然環境との関係について、暮らしの変遷と生活環境における問題点について述べている。第2節では第2次世界大戦以後の日本と諸外国の社会の動きと環境関連の主たる出来事をリストアップしている。第3節では日本の風土と伝統的和風住宅の分布を示している。第4節では世界の風土と建築構法の地域分布を示している。第5節では住まいと地域環境との関わりについて示している。第6節では人の生理的・心理的反応と環境要因との関連について示している。

執筆分担（執筆順）

大野治代	1・2章
矢野隆	3章
佐藤真奈美	4章
山中俊夫	5章
永村悦子	6章
奥野芳弘	7章

3.4 音の伝わり方

音源から発せられた音波が空間をどのように伝わり、障害物や塀で回折されてどのように減衰するのかを考えよう。

3.4.1 距離減衰(図 3.18)

音が距離とともに減衰する様子は音源の形状によって異なる。基本的な音源の形状には点、線、面が考えられるが、ここでは点および線とみなせる音源を扱う。

まず、どの方向へも一律な強さで音を放射する音響出力 $W[W]$ の無指向性の点音源を考えよう。このような音源から音は球面状に伝わるから(図 3.18), 音源から $r[m]$ 離れた点の音の強さ $I[W/m^2]$ は次式で表される。

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (3.10)$$

$I_0 = 10^{-12} = W_0$ であるから、 I を強さのレベル L , W もパワーレベル PWL として両辺ともレベルに変換すると

$$L = PWL - 20 \log_{10} r - 11 \quad (3.11)$$

この式から距離 r が 2 倍になれば、6 dB 減衰することがわかる。

次に、交通量の多い自動車道路のように車が無指向性の点音源として連続して走行しているような無限長の線音源について考える。その単位長さあたりの音響出力を $W[W/m]$ とすると、音波は音源を軸として円筒状に放射されるから、音源からの垂直距離 $r[m]$ の点の音の強さは

$$I = \frac{W}{2\pi r} \quad (3.12)$$

点音源の場合と同様にレベルに変換すると

$$L = PWL - 10 \log_{10} r - 8 \quad (3.13)$$

この式から無限長の線音源からの距離

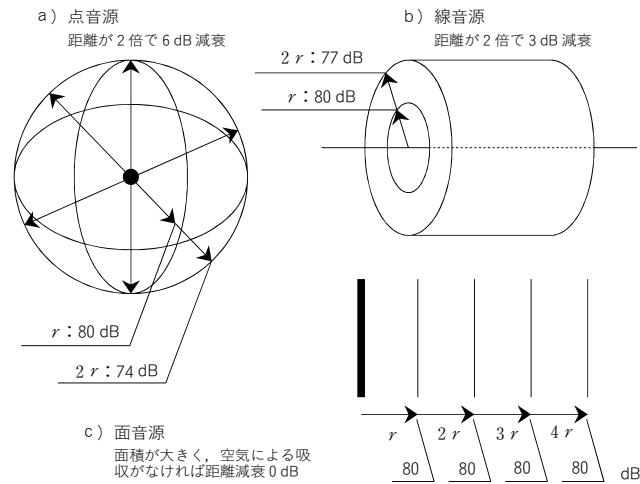


図 3.18 点・線・面音源からの音の伝わり方⁹⁾



図 3.19 高層階への音の伝わり方¹⁰⁾

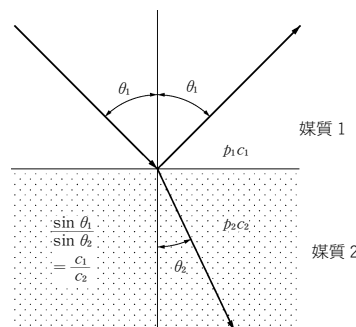


図 3.20 音の境界面での反射・屈折¹¹⁾

離が 2 倍になると 3 dB 減少することがわかる。

3.4.2 音の屈折

異なる媒質に音波が当たると、媒

質中の音速が異なるために屈折する(図 3.20)。音波の入射角 θ_1 , 屈折角 θ_2 , 媒質中の音速 c_1, c_2 との関係は次式で表される。

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2} \quad (3.14)$$

音の屈折は異なる媒質の間だけで起こるのではない。大気中でも地上付近と上空で温度が異なると音速が変化し、音波は屈折する。

図 3.21 a) は地上付近が高温で上空が低温の場合を示しており、連続的に音波が屈折するために音が伝わりにくい部分(音の影)が生じる。一方、晴れた日の夜間では地面放射により地面付近が低温で上空が高温の場合が生じる。そのときの音の伝搬の様子を示したのが図 3.21 b) である。晴れた日の夜に遠くの音がよく聞こえるのはこのためである。また、図 3.22 のように上空ほど風速が速い場合にも音速が連続的に変化するため音は屈折する。すなわち、音波は音速の遅いほうへ曲がる。

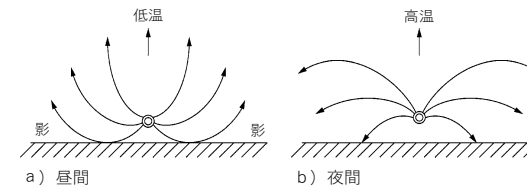


図 3.21 温度分布による音の屈折¹¹⁾

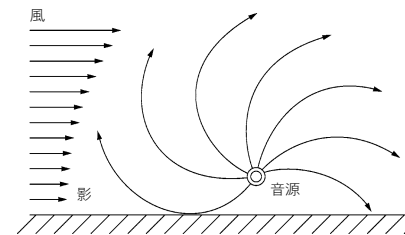


図 3.22 風による音の屈折¹¹⁾

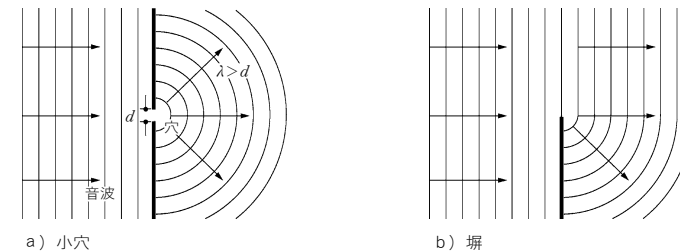


図 3.23 小穴および塀による音の回折¹¹⁾



写真 3.2 幹線道路沿いの透明な遮音壁 (神戸)



写真 3.3 高速道路に設置された遮音壁 (神戸)

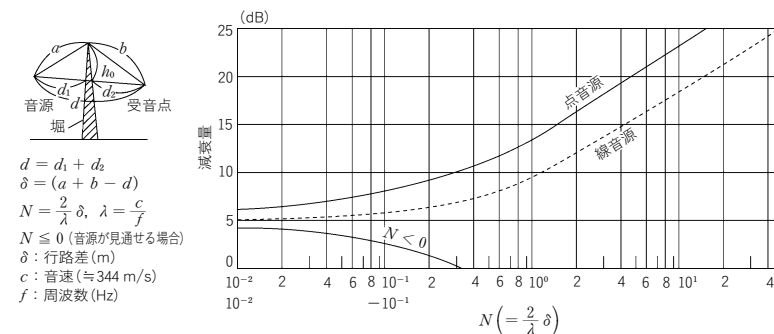


図 3.24 点音源と線音源に対する塀の遮蔽効果(実線: 前川純一, 破線: 山下充康)¹³⁾¹⁴⁾

5.2 空気移動の予測

5.2.1 空気移動の原動力

5.1節で述べた数々の汚染物質は、基本的にはすべて空気の流動に伴って移動する。したがって、建物内の空気の汚染状況を知るためには、建物内外における空気の移動現象が予測できなければならない。そこでまず、空気が移動する原理について考える。

空気の移動現象を、固体の移動現象と比較してみよう。図5.20は坂道に置かれた球が転がっている様子を示している。球には、重力と地面から受ける抗力と摩擦力が働いており、それらの合力として地面に平行に下方向の力が球に働き、その力によって球は動きだし、加速する。このように固体の運動は固体に働くさまざまな力によって支配されている。一方、空気のような流体の場合には、力は単位面積当たりで記述された圧力として記述される。図5.21のように膨らませた風船から空気が吹き出す原理は、風船のゴムの収縮力によって生じる風船内外の空気の圧力差によって風船の出口付近の空気が外に向かって加速されるからである。

このように、空気の移動はその空気に働く圧力差によって生じるといえることができる。ただし、空気にも固体と同様に重力や摩擦力は働くが、圧力と同じ次元で取り扱われている。流体特有の力としては、浮力、粘性力(流体相互に働く摩擦力)がある。

いま図5.22に示すように、圧力の異なる2室の隔壁に開口を設けた場合、2室間の圧力差が原動力となって開口を通して空気が移動する。ファンなどによって2室の圧力が維持されるとき、開口を通る空気の流

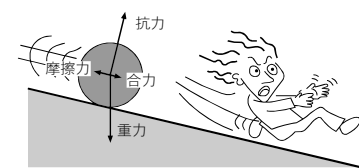


図5.20 坂道で球が転がる原理

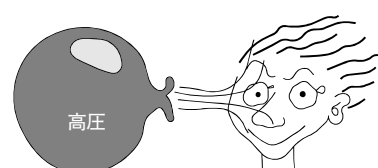
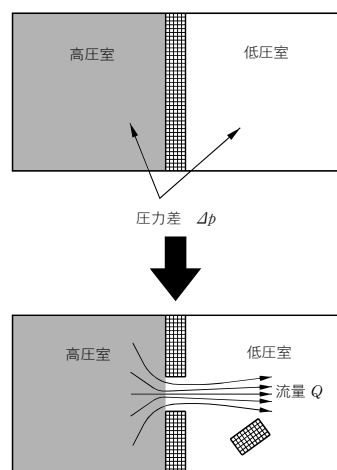


図5.21 空気が動く原理



開口を流れる流量 Q は、
 1. 圧力差: Δp [Pa]
 2. 開口面積: A [m²]
 3. 開口の特性値 → 流量係数 α によって決まる。

図5.22 開口を通る空気移動

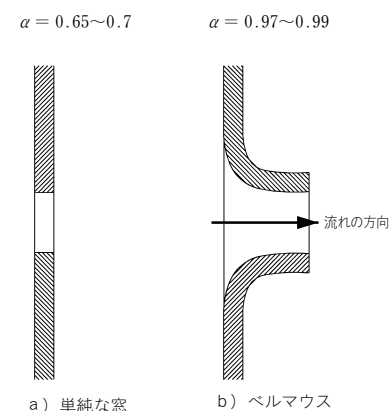


図5.23 開口の流量係数の例

$$Q = vA = \alpha A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \quad (5.1)$$

Q : 換気量 [m³/s] Δp : 圧力差 [Pa]
 α : 流量係数 ρ : 空気の密度 [kg/m³]
 A : 開口面積 [m²] αA : 有効開口面積 [m²]
 常温(0~30°C)では、略算式として次式が使用できる。
 $Q \approx 1.28 \alpha A \sqrt{\Delta p} \quad (5.2)$
 注) Pa (パスカル) は圧力の単位で、1 kgf/m² = 9.8 Pa 1 Pa = 0.102 kgf/m²

図5.24 開口を通しての換気の基本式

量は一定になる。この場合、開口を通して流れる流量は、2室間の圧力差と開口の面積、および開口の空気

の通しやすさを表す特性値である流量係数の3つによって決定される。

5.2.2 換気の基本式

図5.24に換気の基本式を示す。この式は、開口部を通して流れる換気量が、開口前後の圧力差 Δp の平方根に比例し、開口面積と開口の流量係数の積 αA に比例することを表している。ここで ρ は開口を通る空気の密度である。 αA は有効開口面積とよばれる。気温0~30°Cでは図中の式5.2を用いることが可能である。流量係数 α は開口部の形状によって決まる係数であり、図5.23のように、単純な窓で0.65~0.70、ラッパの口のような滑らかな形状(ベルマウス)でほぼ1に近くなる。

換気の基本式は、ベルヌーイの式を基にして誘導されるものであり、その誘導は他書を参照されたい。

5.2.3 温度差による室内外圧力差

機械力によらず自然力による換気方式のことを自然換気とよぶ。自然換気には、室内外の温度差によって生じる重力換気と風の力によって生じる風力換気がある。

図5.25に重力換気の例を示す。空気は温度が高いほど密度が小さいため、室内外に温度差があるとき、室内外の空気には密度差が生じ、その結果外壁面では室内外の圧力差が生じる。図5.26に、床面高さの外気圧を0とした場合の室内外圧力差(室外圧-室内圧)を求める式を示す。高さが高いほどその上部にある大気の厚さが薄くなることから、高さ h だけ高い場所では質量 ρh にかかる重力 ρgh の分だけ圧力が低下する。これが圧力差を生む基本原理である。床面高さの室内圧を p_m と表しているが、これは開口の高さと有効開口面積の条件に応じて変化する変数である。図5.27に、暖房、冷房の場合の圧力差の鉛直分布例を示す。圧力分布の傾きが暖房時と冷房時では異なる。また、圧力差が0となる高さのことを中性帯高さともよぶ。

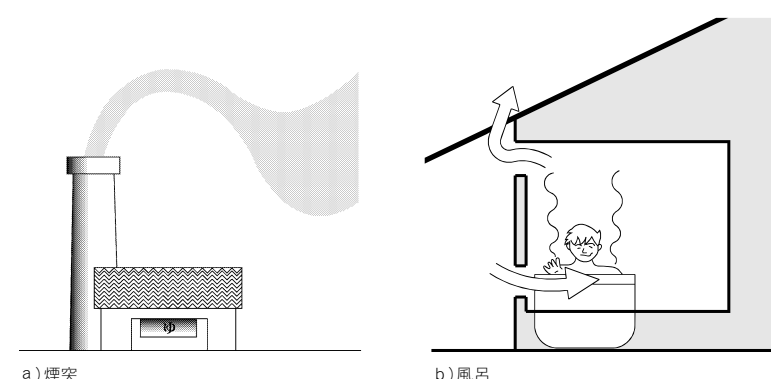
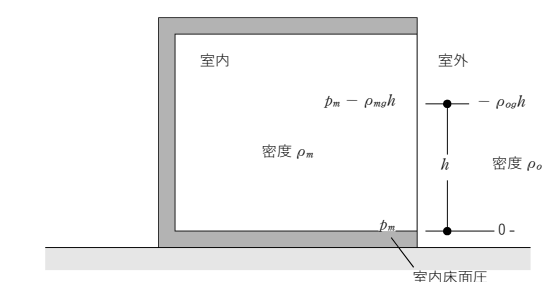
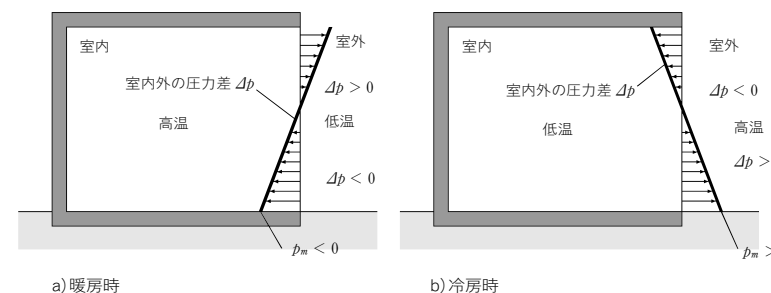


図5.25 重力換気の例



$$\begin{aligned} \Delta p &= p_m - \rho_m g h - (-\rho_o g h) \\ &= (\rho_o - \rho_m) g h + p_m \end{aligned} \quad (5.3)$$

図5.26 室内外の圧力差(室内圧-室外圧)



室内床面圧 p_m は、開口の高さと有効開口面積の条件に応じて変化する

図5.27 暖房時・冷房時の室内外圧力差の鉛直分布

6.3 環境負荷の低減

6.3.1 環境負荷の少ない生活

これまで人間が地球に与えてきた負荷のため、人間も含めた地球のシステムにひずみが生じつつある。将来のため、自分自身のために環境への負荷が小さい生活を目指したい。

6.3.2 パッシブな自然エネルギー利用

地球に降りそそぐ太陽エネルギーを利用する方法を考えてみよう。

太陽光、通風の利用、太陽熱を室内に取り入れるパッシブヒーティング(図6.22)、地中冷熱や夜間の大気放射を利用するパッシブクーリングがある。

さらに取り入れた熱を有効に利用するため、断熱性、気密性を高めることもあわせて考える。そうすることで、室内の上下温度分布の差も小さく、快適な温熱環境が得られる。

6.3.3 アクティブな自然エネルギー利用

太陽光を熱として利用する最も典型的な方法は、太陽熱を集熱器で集め、温水として蓄熱する太陽熱温水器である(図6.23)。また、太陽電池パネルを屋根に並べ、太陽光を電力に変えて住宅内に引き込む太陽光発電もある(図6.24)。

6.3.4 未利用エネルギー

空気に比べて温度差の少ない河川水や下水の熱(図6.25)、ごみ焼却時の排熱、地下鉄の排熱等の都市排熱を、ヒートポンプで地域の給湯や冷暖房に利用するシステムである。

6.3.5 エネルギーの有効利用

ガスエンジン、ガスタービンなどから生じる高温の熱を発電に使い、それより低温の排熱を、給湯や暖房に利用するのがコージェネレーションシステム(図6.26)である。また、省エネルギー性に優れた潜熱回収型

給湯器、高効率ガス給湯器や家庭用燃料電池を設置する補助金申請をす

ると、国から費用の一部が補助されると、国から費用の一部が補助される。一方、深夜電力の利用も、電力

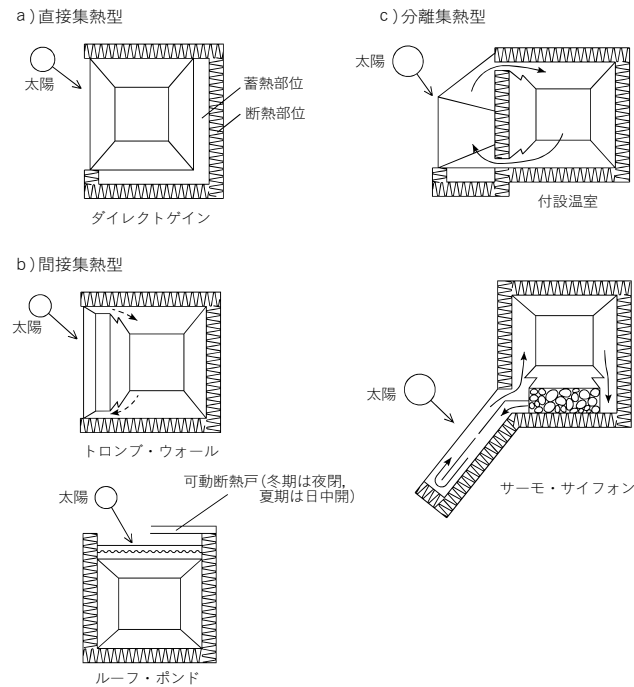


図 6.22 パッシブソーラー暖房の手法⁹⁾

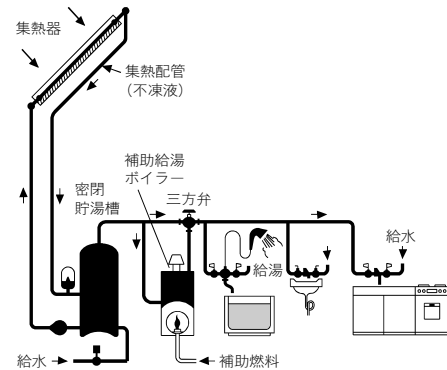


図 6.23 太陽熱給湯システムのしくみ¹⁰⁾

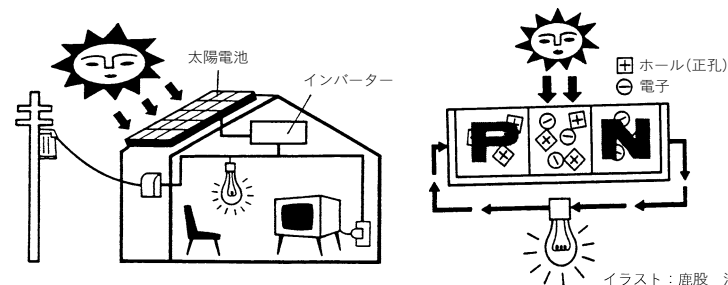


図 6.24 太陽電池のしくみ¹¹⁾

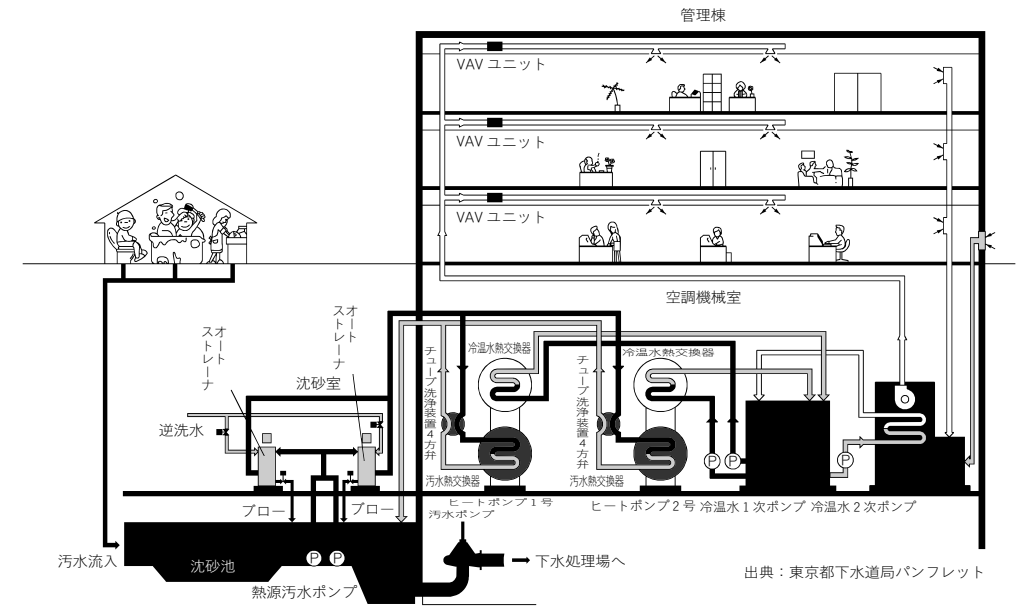


図 6.25 汚水熱利用システム¹²⁾

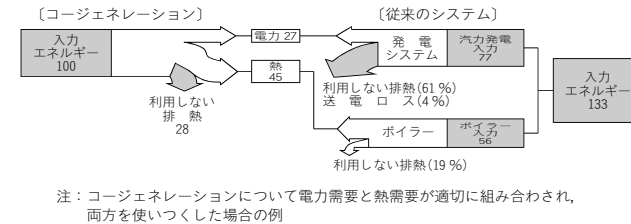


図 6.26 コージェネレーションシステムの熱収支²⁾

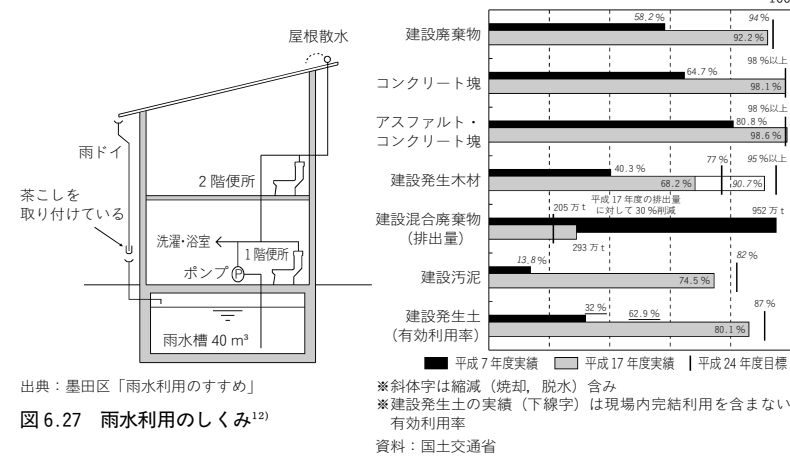


図 6.27 雨水利用のしくみ¹²⁾

図 6.28 建設廃棄物の品目別再資源化等の状況³⁾

廃棄物	再生建材
合成樹脂発泡体、古紙・パーティクルボード、さとうきびしぼりカス	型 枠
廃コンクリート、ごみ焼却灰、廃ガラス、廃プラスチック、かき殻・貝殻、スラグ砂	路盤材
建設残土、廃木材、廃タイヤ	床 材
間伐材	集成材
ごみ焼却灰、空き瓶、下水汚泥	タイル、ブロック
廃ガラス、陶器の残さ、パルプスラッジ	コンクリート原料
石炭灰、焼却灰、下水汚泥	セメント原料
廃タイヤ	かわら
繊維くず、もみがら、おがくず、大豆たんぱく、古新聞	建材ボード、内装材
フライアッシュ、石炭灰	遮音吸音材

出典：東京都下水道局パンフレット

の有効利用につながる。一般に、電力需要の少ない夜間には電力が余るが、これを有効利用するのが深夜電力である。電気温水器や、ビル空調のための水蓄熱、躯体蓄熱などに利用し、昼間の電力消費を抑える。

6.3.6 廃棄物のリサイクル

廃棄物の減少や、リサイクルによる省資源も、環境負荷の低減につながる。例えば雨水利用(図6.27)を促進するため、屋根に落ちる雨水をためて、トイレの洗浄水、植木への散水として利用したり、水不足の生じやすい地域や、大規模なビルでは、生活排水を処理した中水の利用により水資源を有効利用できる。建設工事に伴う廃棄物が多いことから、建設リサイクル法(平成12年公布)が制定された。建築物の分別解体とコンクリート等の再資源化が義務付けられ、建設廃棄物のリサイクルが進んでいる。

また住宅を含む建築物は寿命がくればごみになるが、建設廃棄物のリサイクルは、今後さらに進展が望まれる(図6.28)。一方で、他の分野からの廃棄物を建設資材として利用する例もみられる(表6.4)。