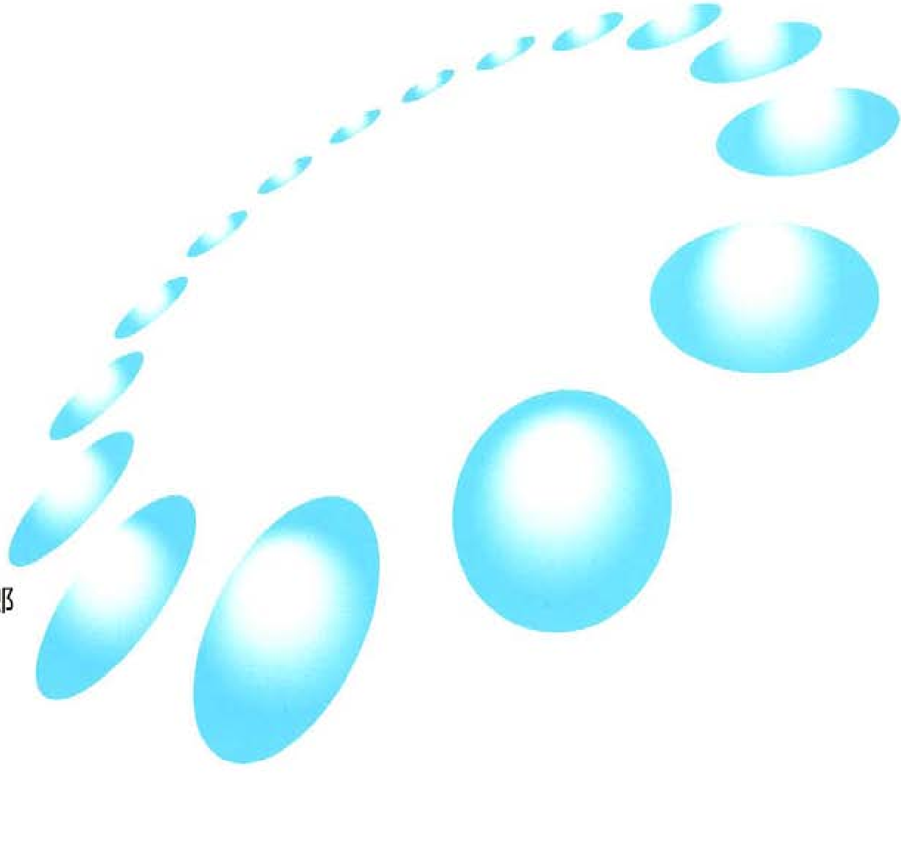
建築環境設備学

新訂版

紀谷文樹—編

紀谷文樹
堀江悟郎
関根　孝
木村千博
大野隆造
田中正敏
朴　俊錫
中村芳樹
田村明弘
水野　稔
小瀬博之
梅干野晁
藤井修二
成田健一
小竿真一郎
寺尾道仁
池田耕一
関　五郎
佐土原聡
近藤三雄
酒井寛二
湯淺和博—著



彰国社

まえがき

かつて建築が，単体としての美しさや，機能性のみで評価される時代があった。そこでは設備は付帯的なものとして扱われ，周囲の環境とは調和しないものも見られた。しかし現在においては，総合的な調和を求めて，人をめぐる環境を整備していくことが実現されつつあり，将来は一層これを高度化することが必要となっていくであろう。

人を中心とし，シェルターとしての建築を有効に機能させ，その集合としての都市を質の高いものとして形成していくために，人，建築，都市を総合した環境の把握と，環境計画論の確立が求められている。そして，これを実現していく環境計画の総合的プランナーの養成が必要であると考えられている。

建築のなかで環境工学の分野が独立してすでに久しく，この間，多くの教科書が出版されてきた。にもかかわらず，あえて1988年に初版としての本書を世に送ることを決意したのは，本文中の歴史の解説を見てもわかるように，しばしば人のための建築から工学技術優先への傾向が見られ，複合的取込みよりは各論的アプローチが多く，上記のような建築を超えた環境計画の総合的プランナー養成のための問題提起が必要であると考えたからである。今回，それを新訂版として改編し，内容をさらに充実して作成することとした。

本書は，類書に見られない5編の構成となっている。すなわち，第I編「建築環境設備学の概念」，第II編「人と環境」，第III編「都市の環境」，第IV編「建築環境設備学の技術」，第V編「総合的環境デザイン」という組立てであり，これによって今後の建築環境設備学のあり方を提案している。全体としてのページの制約から，基礎的な部分に内容を限定し，非定常などの応用的部分は含まれていないが，大学，高専等の建築系や住居系の学科における教科書として企画したものである。

彰国社の依頼を紀谷が受けて企画し，さらに多くの方がたに無理をお願いして執筆していただいたものである。編集の主旨を理解して，学習の指針として活用していただければ幸いである。

2003年10月

編者　紀谷文樹

目　次

まえがき　3

第I編　建築環境設備学の概念

1章　建築環境設備学の展望……12
1-1．はじめに　12
1-2．総合学としての建築学と建築環境工学　12
1-3．建築と環境設備　13
1-4．建築環境設備学への指向　14
2章　環境問題へのアプローチ……16
2-1．都市環境の特異性　16
2-2．都市内の自然　17
2-3．自然の一部としての都市　18
2-4．環境計画の理念　20
3章　生物における環境の意義と建築……22
3-1．生命と環境　22
3-2．行動調節と学習　22
3-3．構築環境の効果　24
3-4．環境工学の課題　26
4章　建築環境設備学の歴史……27
4-1．欧米19世紀の状況　27
4-2．明治における建築衛生論　30
4-3．大正時代における住居衛生の開拓　32
4-4．計画原論から環境工学へ　35

第II編　人と環境

1章　生理・心理・行動……42
1-1．環境のとらえ方　42
1-2．人間のとらえ方　44
1-3．環境と心理　47
2章　人と水環境……51
2-1．体内の水分　51
2-2．水質と人体　54
2-3．水と感覚心理　58
3章　人と温熱環境……61
3-1．体内の熱バランス　61
3-2．人の温熱反応　64
3-3．温熱への感覚心理　67
4章　人と空気環境……70
4-1．人体と空気　70
4-2．室内空気汚染　71
4-3．必要換気量　74
5章　人と光環境……77
5-1．光と視覚　77
5-2．光環境の側面　84
6章　人と音環境……89
6-1．音環境　89
6-2．聴覚器官　89
6-3．音の知覚　90
6-4．音空間の知覚　92
6-5．騒音　93

第III編 都市の環境

1章 都市インフラと建築……98
1-1．都市を機能させるインフラ整備 98
1-2．近代的都市の始点と発展 99
1-3．環境問題と都市 100
1-4．システム化が不十分な現代都市 101
1-5．代謝系としての都市 104
1-6．これからの都市インフラと建築の関係 104
2章 都市の水環境……107
2-1．都市の水環境とは 107
2-2．地球上の水資源 108
2-3．世界の水需要 108
2-4．日本の水需要 109
2-5．都市における多様な水循環システムの構築 111
2-6．熱源としての水の活用 113
2-7．親水と環境 114
3章 都市の熱環境……117
3-1．都市気候の特徴 117
3-2．ヒートアイランド現象の形成要因と特徴 118
3-3．太陽放射エネルギーの熱収支メカニズム 120
3-4．リモートセンシングでとらえた都市の地表面温度 121
3-5．土地被覆状態と表面温度の関係 123
3-6．建築外部空間の熱環境 124
3-7．これからの都市づくりに向けて 124
4章 都市の空気環境……127
4-1．地球規模の大気環境 127
4-2．大気汚染 128
4-3．都市の風 134
5章 都市の光環境……137
5-1．昼の光環境 137
5-2．夜の光環境 142
6章 都市の音環境……147
6-1．都市の音源 147
6-2．音環境の創造 148

第IV編 建築環境設備学の技術

1章 水の技術……154
1-1．水の機能と水環境計画 154
1-2．水の物性 159
1-3．水の用途と水質 160
1-4．水処理と汚水処理 162
1-5．負荷 163
1-6．水の力学 165
2章 熱の技術……169
2-1．建物と熱環境 169
2-2．熱移動の基本プロセス 170
2-3．断熱と日射遮へい 178
2-4．高断熱・高気密，パッシブデザイン，環境共生 184
3章 空気の技術……186
3-1．室内空気汚染の防止 186
3-2．換気力学の基礎 192
3-3．換気計画 198

4章　光の技術……207
4-1．光の基礎　207
4-2．照明計算　211
4-3．光源　215
4-4．光環境の設計　219
5章　音の技術……226
5-1．音の基本　226
5-2．吸音　231
5-3．遮音　232
5-4．室内の音場と音響設計　235
5-5．建物内外での音環境計画　241

第V編　総合的環境デザイン

序章　複合問題への取組み……250
1章　窓の多様な機能……252
1-1．窓の基本要件　252
1-2．窓の計画　252
2章　高気密化と室内空気汚染……255
3章　人の健康と環境……259
4章　シックハウス症候群と湿気問題……262
4-1．シックハウスとは何か　262
4-2．湿気問題　263
4-3．結露問題　264
5章　負荷の変動特性と稼働制御……265
6章　メンテナンスを考慮した環境設備設計……267
7章　防災と情報……270
8章　都市・建築と緑の効果……273
9章　ライフサイクルエネルギーと地球環境……276
9-1．建築のライフサイクル　276
9-2．ライフサイクルエネルギー　276
9-3．地球環境問題と持続可能な発展　277
9-4．持続可能なエネルギー　277
9-5．環境の世紀に適合した建築　278
10章　都市エネルギーシステムの適用と課題……279
10-1．都市活動を支えるエネルギーシステム　279
10-2．エネルギーネットワークの構築　280
11章　アメニティと建築環境設備学……281
11-1．アメニティとは　281
11-2．都市・建築におけるアメニティ　281
11-3．建築環境設備学が取り組むべきアメニティの向上　282
12章　総合的環境デザイン……284
12-1．多感覚に訴える環境デザイン　284

索　引　287

りわけ伝熱工学を中心とした熱負荷計算法を解説した書は，建築環境工学の多くの教科書をはじめ，空調設備の各種便覧などすでに数多く存在している。その一方で，わが国の建築環境工学は，部材や設備と結びついた狭い領域での成果は多いものの，住空間をトータルな物理現象として把握する教育は十分果たしてこなかったとの批判も聞かれる。そこで本章では，伝熱の理論的解説の詳細は他書に譲り，環境共生住宅を考えるうえでポイントとなる日射遮へいや断熱，蓄熱などに注目しながら，できるだけ建物全体を視野に熱環境を解説することを試みる。

2-2. 熱移動の基本プロセス

熱の移動には，伝導，対流，放射という三種類の物理現象が関与する（図2.2）。建築にまつわる熱環境の特色は，これら三つの伝熱現象が複雑に絡み合って存在していることである。伝導とは，分子のマクロ的な運動なしに伝わる現象で，通常は固体内部を温度が高いところから低いところへ熱が流れる現象をいうが，液体や気体でも，静止している場合は伝導による熱移動が起こっている。対流は，流体のマクロ的な運動を伴って伝わる現象をいう。気体は絶対温度に比例して膨張するので，暖められた空気は周囲の相対的に冷たい空気に対して浮力をもち，上昇する。その上昇した空気を補うために，別の冷たい空気が下降してく

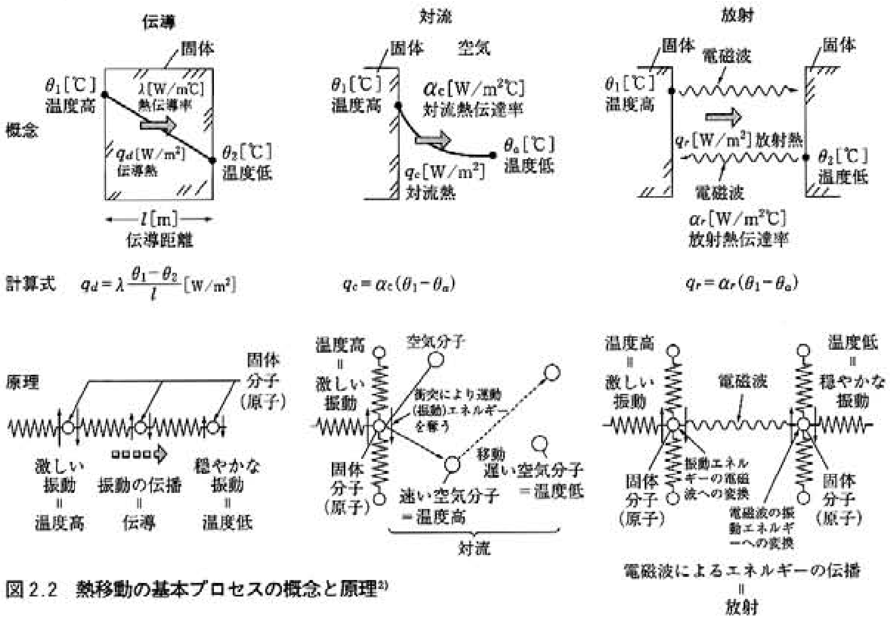


図 2.2　熱移動の基本プロセスの概念と原理[2)]

る。このように，温度の異なる流体塊自体が交換することで，結果として熱が輸送される。なお，このように温度差に起因して発生する対流を自然対流と呼び，一方，自然風や機械的なファンなどで生み出される対流を強制対流と呼ぶ。放射は，電磁波による非接触の熱移動で，真空中でも伝わる。焚き火による熱気が直接来ない場所でも暖かく感じるのは，この放射熱によるもので，逆に氷柱のそばに立つと，触らなくてもヒヤッと感じるのは，われわれの体から放射で熱が奪われているからである。

a. 熱伝導に関わる事象

伝導による熱の伝わりやすさを表す物性値が熱伝導率で，厚さ1 mで1℃［K］の温度差が存在する状態で移動する熱流［J/s＝W］を表す。単位は $Wm^{-1}K^{-1}$ を用いる。表2-1に主な建築材料の熱特性値を示す。身近な材料のなかで最も熱を伝えやすいのはアルミニウムである。建物の役割の一つとして，厳しい外界の気候から居住空間を隔離し，居住空間をマイルドな温熱環境に保つという機能が求められるが，アルミニウムのように熱を伝えやすい材料は，外部の寒さや暑さを容易に室内へもち込んでしまう。冬季にアルミサッシュの窓枠に見られる

表 2.1　主な建築材料の熱特性値

材料分類	材料名	熱伝導率 λ [W/m・K]	比　熱 c [kJ/kg・K]	熱拡散率 a [m²/s]×10⁶	熱容量 cρ [kJ/m³K]	密　度 ρ [kg/m³]
金　属	アルミニウム	210.0	0.92	84.20	2486.0	2700
	鋼　材	46.0	0.50	11.80	3948.0	7860
セメント系	鉄筋コンクリート	1.40	0.88	0.69	2022.0	2300
	A L C	0.15	1.10	0.23	653.0	600
板硝子	板ガラス	0.70	0.75	0.37	1914.0	2540
れんが	れんが	0.61	0.84	0.44	1381.0	1600
木質系	天然木材	0.12	1.30	0.23	519.0	400
	合　板	0.19	1.30	0.26	714.0	550
石こう系	石こうボード	0.14	1.10	0.15	904.0	800
	木毛セメント板(普通品)	0.14	1.70	0.17	837.0	500
繊維板	A級インシュレーションボード	0.049	1.30	1.40	324.0	250
	パーティクルボード	0.116	1.30	0.18	649.0	500
繊維系断熱材	グラスウール	0.046(0.04)	0.84	5.56	12.6(16.7)	15(20)
	セルローズファイバー	0.039	1.30	7.86	50.2	40
	ロックウール	0.039	0.84	—	33.5	40
発泡系断熱材	硬質ウレタンフォーム	0.027	1.05	0.64	41.9	40
	発泡ポリスチレン	0.037	1.05	1.28	29.3	28
	フォームスチレン	0.037	1.05	1.19	31.4	30(1号)
その他	水	0.58	4.19	0.14	4180.0	998
	空　気	0.022	1.00	16.90	1.3	1.3

ないよう，開口部の断熱性能を向上させることが特に重要となる。

建具の見付け面積は窓全体の10〜15％を占め，断熱性能上重要な役割を果たすため，熱損失が少ないもの，あるいは見付け面積が少ないものが望まれる。最近は熱伝導率が大きいアルミに代わってプラスチックや木製のサッシュが普及している。木製サッシュは熱伝導率は小さいが，重量があること，塗装などのメンテナンスにコストがかかることが弱点となっている。

窓から逃げる熱の半分近くは放射によるものである。室内から出ている放射熱は赤外線のかたちでガラス面に吸収され，その大半が外に放出されてしまう。Low-Eガラス（金属コーティングガラス）は，表面に金属をコーティングして熱を逃がさないようにしたもので，見た目は透明で光は透過する。主にペアガラスとして製品化されているが，コーティング面を室内側に施工すると，日射をよく透過する反面，この放射熱の大部分を反射して室内に閉じ込める（高断熱Low-E複層ガラス）。なお，コーティング面を室外側に施工すると室外側のガラスが熱せられても室内への熱の放射が少なく，日射熱の室内への侵入を抑えることができるため，温暖地の夏対策として用いられる（遮熱Low-E複層ガラス）。

断熱性能を上げるために，空気の代わりに，より伝導率が小さい6フッ化イオウやアルゴンガスなどの特殊なガスを封入したガラスもある。また木製サッシュではクリプトンなど空気よりも重い不活性ガスを封入し，重いガスにより層内の

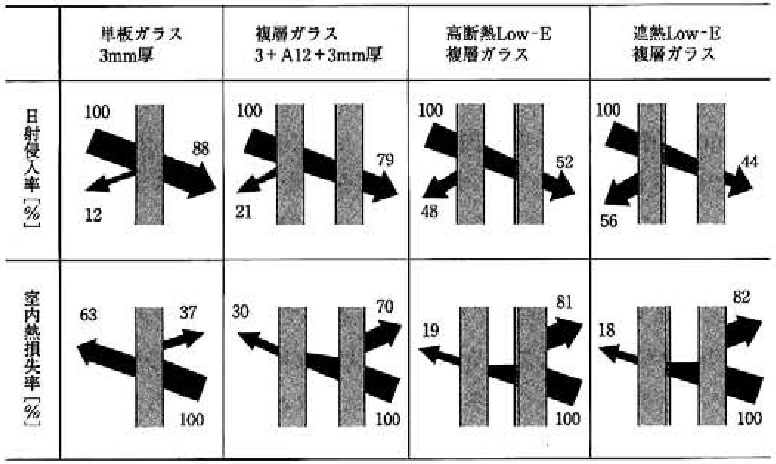


図2.17　各種ガラスの日射侵入率

対流を妨げることをねらったものがふえている。

究極のペアガラスとしては，2枚のガラスの間が100万分の1気圧という真空状態になった真空ガラスがある。これだと，わずか0.2mmという真空層で十分な断熱性能が得られるため，重量も低減され，ガラスをはめる枠の厚さも約半分ですむというメリットがある。

c．日射遮へい

夏の暑さが問題とならない北欧やカナダとは異なり，日本の住宅では日射遮へいという基本を怠ることは許されない。特に高断熱・高気密住宅では日射により室内に一旦取り込んだ熱はなかなか外へ排出されない。北海道に高断熱・高気密住宅が普及し始めた当初，庇を設けるという基本が疎かにされたため，これまで必要なかったエアコンが大量に売れるという悲劇？が起こってしまった。

大きな開口が必要となる温暖地では，特に徹底した日射遮へいが重要となる。太陽高度が高い南面に関しては，開口部の上端に水平の庇（当然ながら緯度を考慮して長さを決める）を設けることにより，容易に日射遮へいが可能である。問題は太陽高度が低くなる東西面で，ここでは，もはや水平の庇は機能しないため，垂直ルーバーや格子状の日除けを設けるなどの工夫が必要である。

ブラインドなどによる日射遮へいで注意しなければならないことは，日射を遮った遮へい部品に吸収された熱の行方である。日射量のうち室内に最終的に侵入する熱の割合（日射熱取得率 η）は，透過し

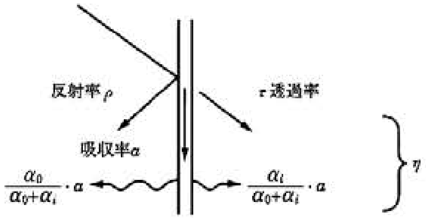


図2.18　日射熱取得率の考え方[4)]

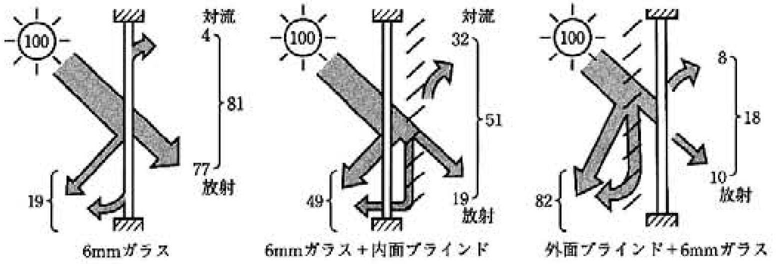


図2.19　内ブラインドと外ブラインドの比較[6)]

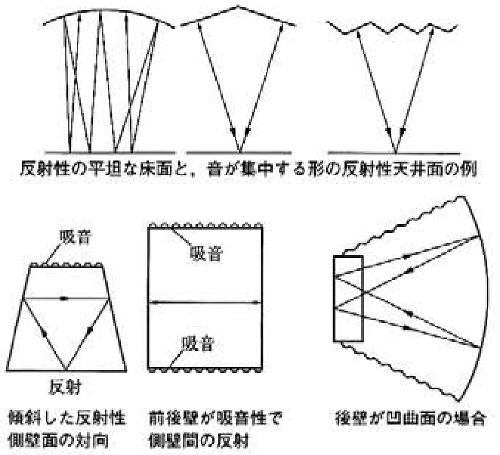


図5.18　フラッターエコーの発生しやすい室形の例[1)]

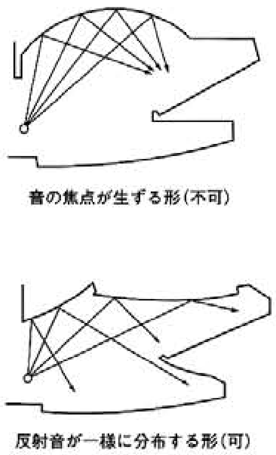


図5.19　音の焦点[1)]

ドーム状の凹曲面の反射性の面に音が当たると，凹曲面の焦点となる付近に反射音が集中し，そこから外れた場所では音が極度に小さくなる現象が生じることがある。そのため凹曲面を極力避けるよう心掛けるべきである。図5.19は音の焦点を模式的に示す。

f．室内音響設計

室内音響計画を進めるにあたって最も重要な必要条件は，室内外からの騒音が許容値以下に防止されていることである。そのうえに立って，室内音響設計は次の条件を満たすように進めていく。

表5.1　1席当りの客席部室容積[1)]

条件		標準	実例	
1席当りの室容積[m³]（舞台を除く）	コンサートホール	8-12	ムジークフェライン(Wien)	8.9
			カーネギーホール(New York)	8.8
			ベルリンノイエフィルハーモニー(Berlin)	12.0
			デデーレン(Rotterdam)	12.0
	多目的ホール	6-8	東京NHKホール	6.9
			東京文化会館大ホール	7.4
	オペラハウス	6-8	ウィーン国立歌劇場(Wien)	5.5
			ドイツオペラハウス(Berlin)	8.0
			メトロポリタンオペラハウス(New York)	6.5
	邦劇場	5-6	東京国立劇場大劇場	5.2
	講　堂	4-5	東京日生劇場	4.5

①室内全体にわたって十分な音量で，話し声なども明瞭に聞き取れること。

②エコーやブーミング，音の焦点と死点などの音響障害がないこと。

③使用目的と室容積に適した響きを有すること。

①については第一次反射音，室内音圧分布の検討，②については室形の検討，③については残響時間の検討が中心課題となるが，室の主たる使用目的をしっかりと把握し，その種類によって設計上の着目点が異なることを理解したうえで設計を進めていく（p.149参照）。例えば，音楽を主としたコンサートホールでは，豊かな残響時間とするために十分な室容積を確保しておく。表5.1は各使用目的別の1人当りの推奨室容積を示す。音楽を中心としたコンサートホールでは10 m²/人程度，多目的ホールでは6～8 m²/人，講堂では4～6 m²/人が推奨値である。これらの室容積が確保してあれば無理なく最適な残響時間を得ることができる。また，表5.2は，使用目的別の室内の平均吸音率を示す。平均吸音率は反射性の室で0.20～0.25，一般の室で0.25～0.35の範囲で計画することが望ましい。室容積が適切に確保されていれば，これらの値で最適残響時間が得られる。

天井高が高く，室容積の大きい体育館は硬い内装が多く，残響過多になりやすいため，吸音対策や広い床を経由したフラッターエコーの対策の検討が中心となる。小さい室では縮退によるブーミング対策のため室の寸法が倍数比にならないような室形の検討や吸音材の配置計画が中心となる。

5-5．建物内外での音環境計画

a．騒音の基準

わが国では環境基本法16条において，人の健康の保護し，および生活環境を保全するうえで維持されることが望ましい基準として，大気の汚染，水質の汚濁，土壌の汚染および騒音に係る環境基準を定め，行政上の政策目標としている。すなわち，終局的に大気，水，土壌，騒音をどの程度に保つことが望ましいかを示している。もちろん，環境基準は現に得られる限りの

表5.2　室の使用目的と平均吸音率[1)]

	室の使用目的	平均吸音率
ホール	コンサートホール	0.20～0.23
	オペラハウス	0.25
	劇　場	0.30
	講　堂	0.30
	多目的ホール	0.25～0.28
スタジオ	ラジオ用音楽スタジオ	0.25
	ラジオ用一般スタジオ	0.25～0.35
	ラジオ用アナウンススタジオ	0.35
	テレビスタジオ	0.40
	録音スタジオ	0.35
その他	音楽鑑賞用リスニングルーム	0.25
	居間兼用リスニングルーム	0.30
	学校教室	0.25～0.30
	会議室	0.25～0.30
	事務室	0.30
	宴会場，集会場	0.35
	体育館	0.30