

# はかる 計・測・量 (6)

## 不快性をはかる——騒音・振動——

吉野 泰子 日本大学短期大学部建設学科 正会員

キーワード：騒音レベル (Sound Level), 振動レベル (Vibration Level), デシベル (dB), 床衝撃音 (Floor Impact Sound)



### はじめに

本稿は、空衛学会誌の幅広い読者層を対象とした暮らしのなかの工学解説である。

また、住環境教育の一環として、電子媒体を利用することの有効性が日本音響学会誌 (Vol 59, No 9 2003) コーヒーブレイクちょっとしたエッセイ「音を出さずに生活できるか!?」——テレビ出演で学んだもの「ほか」で紹介されたが、これらは、筆者の学位論文「集合住宅における生活騒音の実態と評価に関する研究」を機軸とし、生活者の視点で概説したものである。

現在、日本建築学会においても、住環境教育特別研究委員会 (委員長：吉野 博 東北大学大学院教授) が組織され、昨年の建築学会大会環境工学研究協議会では、インターネットによる事例調査結果を報告させていただいた<sup>2)</sup>。騒音・振動に関しても、正確な知識の基に適切な評価と対策が施され設計段階で十分な対策を講じることが重要となる。

### 1. 音の測定・評価尺度

人にとって好ましくない音の総称を「騒音」というが、同じ音でも状況によって評価は異なる。一般的には、「広帯域成分を含み、位相がランダム」な音で、大きい音ほど不快に感じる人が多い。

騒音を測定評価する機器として一般的に騒音計が使用され、音圧レベル、騒音レベル、オクターブバンド、1/3 オクターブバンドレベルや音の大きさ (ラウドネス) をも計測可能となった。

測定精度の相違から、JIS C 1502「普通騒音計」および、JIS C 1505「精密騒音計」などにその規格が定められている。また、統計量としての時間率騒音レベル ( $L_x$ ) や等価騒音レベル ( $L_{eq}$ )、単発騒音暴露レベル ( $L_{AE}$ ) などの積分量を測定する機能を持った積分形騒音計がある。なお、騒音の種類 (環境騒音、作業環境騒音、工場・交通騒音、新幹線騒音、航空騒音など) によって測定の評価方法が法律によって定められており、騒音測定は、環境評価の重要な測定項目となっている。

実住戸における床衝撃音測定の様子を写真-1に示す。

音の性質や評価尺度など、物理特性の詳細に関しては、



写真-1 実験住宅における床衝撃音測定光景

音響工学書や騒音・振動防止に関する実務的対策指針、ハンドブック、建築学会遮音性能基準、JIS など多数の良書を参照されたい。本稿では、汎用性のある術語を中心に解説する。

#### 1.1 デシベル [dB] 尺度

音の強弱の単位として「音の強さ」、またはそれに比例する「音圧」があるが、いわゆる「音の評価尺度」としては、人間の感覚量に対応した「デシベル尺度」を用いている。これは、米国のアレクサンダー・グラハム・ベル (Alexander Graham Bell) が電話における電力の伝送減衰を表すのに最初に用いたことから、ベル [B] が使用されている。なお、ベル [B] そのものでは値の変化が大きすぎるため、その10分の1であるデシベル [deci Bell = dB] が実際には使用されている。つまり、二つの音に対する人間の感覚変化量は、刺激量の比の対数に比例するという「ウェーバー・フェヒナーの法則」に基づき、次式のような定義をして得られた値 ( $L$ ) で、デシベル [dB] を単位として表記する。

$$L = 10 \log_{10} (I/I_0) \text{ [dB]} \quad \dots (1)$$

ここで、

$I$  : 対象音の音の強さ [W/m<sup>2</sup>]

$I_0$  : 音の強さの基準 [10<sup>-12</sup> W/m<sup>2</sup>]

また、音圧を基準とすると、音圧レベルとなるが、

$$L = 20 \log_{10} (p/p_0) \quad \dots (2)$$

ここで、

$\rho$  : 空気の密度 [kg/m<sup>3</sup>]

$c$  : 音速 [m/s] の関係式により、

表-1 音圧レベルと音の強さ・音圧との関係

音の強さ [ W/m <sup>2</sup> ]	音圧レベル [ dB ]	音圧 [ Pa ]	
10 <sup>2</sup>	140	2 × 10 <sup>2</sup>	ジェットエンジン
10	130	10 <sup>2</sup>	
1	120	2 × 10	
	114	10	
10 <sup>-1</sup>	110		地下鉄車内
10 <sup>-2</sup>	100	2	
	94	1	
10 <sup>-3</sup>	90		昼間の街頭
10 <sup>-4</sup>	80	2 × 10 <sup>-1</sup>	
10 <sup>-5</sup>	70	2 × 10 <sup>-2</sup>	
10 <sup>-6</sup>	60	2 × 10 <sup>-3</sup>	
10 <sup>-7</sup>	50		小声の会話
10 <sup>-8</sup>	40	2 × 10 <sup>-4</sup>	
10 <sup>-9</sup>	30		
10 <sup>-10</sup>	20	2 × 10 <sup>-5</sup>	閑静な住宅地
10 <sup>-11</sup>	10		
10 <sup>-12</sup>	0	2 × 10 <sup>-6</sup>	最小可聴値

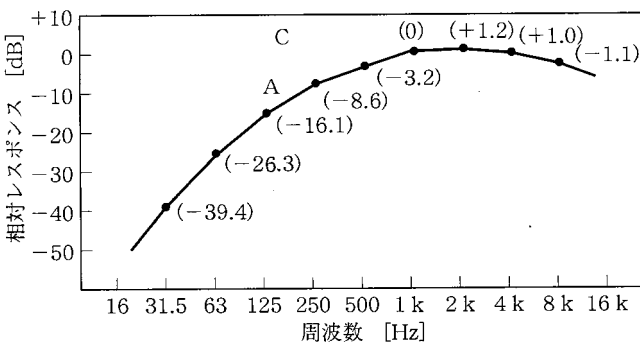


図-1 騒音計の周波数補正特性(A特性)

$$SPL = 20 \log_{10} (P/P_0) \text{ [dB]} \quad \dots\dots (3)$$

ここで、

$P$  : 対象音の音圧 [Pa]

$P_0$  : 基準音圧  $2 \times 10^{-5}$  Pa]

と表すことができ、音圧の2乗が音の強さに比例することから、係数は20となる。

音の強さのレベルと音圧レベルは、厳密には式(2)から  $\rho c$  により多少変化するが、実用的には同じ数値になると考えてよい。

なお、これら音圧、音の強さ、音圧レベルの関係を比較して表-1に示す。

### 1.2 騒音レベル(A特性音圧レベル)の測定

人の感覚に対応した音の尺度により、対象音を測定・評価することが必要となるが、人間の聴覚系の特性を表した“等ラウドネス曲線”を基に、図-1に示す周波数補正を施したA特性音圧レベル(騒音レベルともいい、単位は

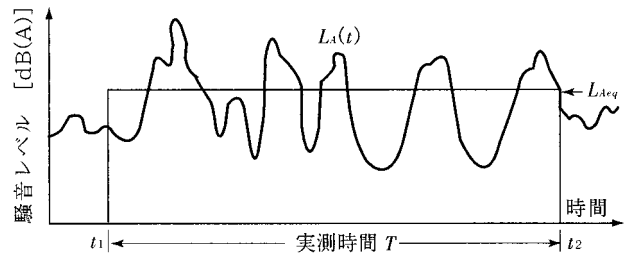


図-2 等価騒音レベル(LAeq)の概念図

[dBA]を用いる。これをみると、低周波数域で補正量が大きく、感度が鈍いことを示している。このA特性音圧レベルは、感覚に対応する尺度として種々の評価量の基本となっており、音の周波数特性を知るとは、遮音対策を講じるうえで不可欠である。

騒音制御の対象周波数は、可聴範囲となるが、通常対策では、オクターブ幅(一般騒音の場合、中心周波数で31.5, 63, 125, 250, 500, 1k, 2k, 4kHzの8帯域が用いられる)、あるいは1/3オクターブ幅による周波数分析が行われる。1オクターブ幅とは、周波数が2倍になる間隔をいい、この幅に存在する音を合成した値がオクターブバンドレベルである。

### 1.3 騒音の評価方法

騒音の評価方法としては、人の感覚に対応した[dBA]が用いられる場合が多いが、騒音の時間的変動を加味し、そのエネルギーに着目した方法が一般的である。

したがって、本稿では、“JIS Z 8731”に規定されている“等価騒音レベル LAeq”について概説する。この値は、騒音の基本的な評価量として環境基準など、広範囲に使用されており、単位記号は[dB]である。図-2を参照されたい。

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} P_{A(t)}^2 / P_0^2 dt \right\} \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 $L_{Aeq,T}$  : 等価騒音レベル[dB]

$T$  : 測定時間( $t_2 - t_1$ )

$P_{A(t)}$  : A特性補正音圧[Pa]

$P_0$  : 基準音圧 20  $\mu$ Pa]

を表す。

この評価値は、変動する騒音を等価継続する定常騒音とした場合の値を示し、積分型騒音計を用いて簡単に計測できる。

また、変動する騒音レベルを一定時間間隔でサンプリングし、次式により、近似値を求めることができる。

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{n} \sum 10^{L_{Ai}/10} \right\} \quad \dots\dots (5)$$

ここで、

$L_{Ai}$  : 変動騒音の一定時間間隔ごとのサンプリング値[dB]

$n$  : サンプリングデータ数

$T$  : 観測時間

表-2 品確法による重量，床衝撃音対策等級

等級	(ろ)			
	重量床衝撃音レベル			
	63 Hz 帯域	125 Hz 帯域	250 Hz 帯域	500 Hz 帯域
5	73 dB 以下	63 dB 以下	56 dB 以下	50 dB 以下
4	78 dB 以下	68 dB 以下	61 dB 以下	55 dB 以下
3	83 dB 以下	73 dB 以下	66 dB 以下	60 dB 以下
2	88 dB 以下	78 dB 以下	71 dB 以下	65 dB 以下
1				

その他、騒音の評価方法として、時間率騒音レベル ( $L_x$ )、機械設備の静謐性能評価として NC 曲線や N 曲線を用いる方法、界壁などの遮音性能値である D 曲線の適用、床衝撃音遮断性能を評価する L 値などが現場で多用されているが、屋外騒音の特殊例として航空機騒音では、WECPNL(加重等価継続感覚騒音レベル)などが用いられている。

#### 1.4 固体音の遮断方法と評価

固体音とは、地下鉄や道路など、振動源から建築各部へ振動が伝搬し、音として放射されたものであり、対策の基本は、振動系と伝搬系の制御が中心となる。

本稿では、建物内で発生する固体音のうち、対策効果が問われる集合住宅を対象に評価方法を述べる。

##### (1) 床衝撃音遮断性能

床衝撃音の測定・評価にかかわる規格・規準としては、JIS A 1418 1, 2, JIS A 1419 2, 日本建築学会推奨規準などが整備されている。以下に、基本的な対策方法を概説する。

##### a 重量衝撃源対策

子どもの飛び跳ねや、走り回り音など、衝撃力が大きく柔らかい衝撃音を重量床衝撃音と呼び、躯体を通して下階住戸や隣接住戸に暴露される。これらは、低周波数域を主成分とするため、対策の基本は、躯体構造の質量や曲げ剛性の増加がキーポイントとなる。重量床衝撃音の測定は、JIS A 1418 2 によって行われ、評価は、JIS A 1419 2 に規定されている。

また、“住宅品質確保促進法”でも性能表示項目として規定されており、評価は、図-3 に示す L 曲線により行われている。表-2 は、“住宅品質確保促進法”で示されている重量床衝撃音対策等級の要求水準である。

この表の値は、図-3 に示す L 曲線 L 60~L 50 の性能に相当する。重量床衝撃音に対する対策は、躯体構造の質量や剛性を増すことであり、床仕上げ材は重量衝撃源によって圧密されるため、改善効果は、ほとんど期待できない。

したがって、有効な対策として、コンクリート床スラブ

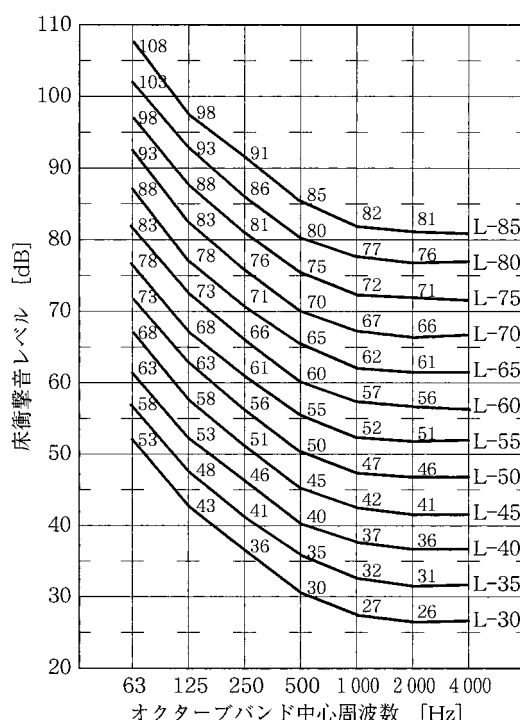
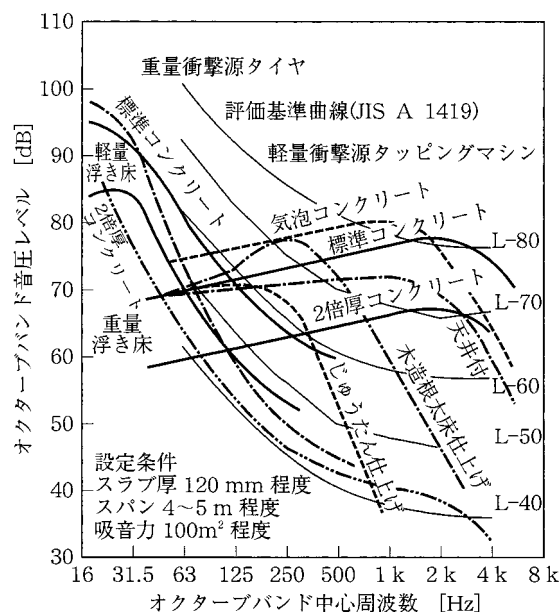


図-3 床衝撃音レベルに関する遮音等級の基準周波数特性

図-4 床衝撃音レベルの一般的傾向<sup>3)</sup>

厚を 20 cm 以上としたり、中空スラブ(ボイドスラブ)28 cm 厚以上、もしくは浮き床を採用して対処している。

##### b 軽量衝撃源対策

床上に物を落としたり、テーブルを引きずったりしたとき生じる衝撃性騒音を軽量床衝撃音という。測定法は、JIS A 1418 を用い、評価は、重量床衝撃音と同様、図-3 の L 曲線を用いる。当騒音は、衝撃源が小さくて硬いため、躯体構造以上に床仕上げ材の弾性が大きく影響する。図-4 に、仕上げ材の変化と床衝撃音の発生傾向を示したが、床

表-3 床衝撃音レベルに関する適用等級(日本建築学会)

建築物	室用途	部位	衝撃源	適用等級			
				特級	1級	2級	3級
集合住宅	居室	隣戸間界床	重量衝撃源	L 45	L 50	L 55	L 60, L 65 <sup>†</sup>
			軽量衝撃源	L 40	L 45	L 55	L 60
ホテル	客室	客室間界床	重量衝撃源	L 45	L 50	L 55	L 60
			軽量衝撃源	L 40	L 45	L 50	L 55
学校	普通教室	教室間界床 軽量衝撃源	重量衝撃源	L 50	L 55	L 60	L 65

注<sup>†</sup> 木造, 軽量鉄骨造またはこれに類する構造の集合住宅に適用する。

表-4 適用等級の意味

適用等級	遮音性能の水準	性能水準の説明
特級	遮音性能上特に優れている	特別に高い性能が要求された場合の性能水準
1級	遮音性能上優れている	建築学会が推奨する好ましい性能水準
2級	遮音性能上標準的である	一般的な性能水準
3級	遮音性能上やや劣る	やむを得ない場合に許容される性能水準

仕上げ材が柔らかくなるに従い, 性能が向上している様子がわかる。

また, 表-3, 4 に日本建築学会の床衝撃音レベル適用等級を示す。集合住宅の場合, 3級でL 60となっている。

## 2. 環境振動の測定・評価尺度

環境振動問題は, 表-5 に示すように, 屋内外の振動源があるが, 特に都市部においては, 外的要因による振動問題が多発している。また, 電子機器類や精密機械を有する建物などでは, マイクロオーダの振幅を対象とした振動まで規制対象となるため, 建築物の維持管理には, 十分な配慮が要される。

### 2.1 振動の方向と対象周波数範囲

人体の振動感覚は, 作用する振動の方向によって異なるため, 振幅と同時に振動の方向を考えなければならない。ISO では, 心臓を中心とし, 背から胸の方向をX軸, 右から左方向をY軸, 足から頭方向をZ軸としており, 仰臥位の場合には, 鉛直方向がZ軸となるため, 方向を明示しないと混乱する。

環境振動で対象とする周波数範囲は, Z軸方向の場合, 1~80 Hz で, 1 Hz 以下の周波数は, 乗り物酔いなど, 揺れに関係する領域である。図-5 は, 全身振動の等感覚曲線で, 低周波数域に対して感度は鋭く, 周波数の増加とと

表-5 振動の種類と特徴

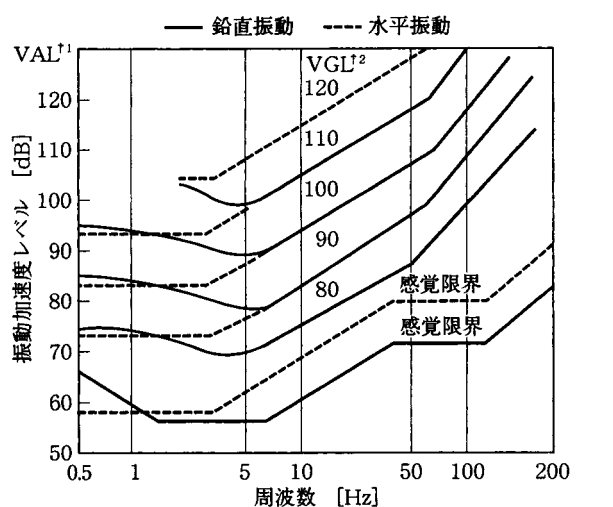
振動の種類	主な発生要因	時間特性	対象周波数領域	備考
道路交通振動	路面の不陸, 車両の条件, 交通量など	不規則で変動大	1~100 Hz	道路構造による影響が大きい
鉄道振動	レールの継目・段差レール, 車輪の摩耗など	間欠的で非周期	1~200 Hz	軌道の状況で大きく変化する
建設工事振動	鋼球による衝撃, 各種破碎, 車両移動など	間欠的で周期的不規則で変動大	1~100 Hz	伝搬系による変化が大きい
工場振動	加圧による衝撃, 回転体の偏心など	変動振動	1~100 Hz	伝搬系による変化が大きい
風による建物振動	風圧変化, カルマン渦の発生など	正弦波の長周期	~数 Hz	構造物の構造設計に依存
建築設備振動	回転体の偏心, 流体の乱流など	定常的で変動小	1~4 kHz	伝搬系が同一構造体のため高周波数域まで影響が大きい
人の歩行による振動	人による衝撃など	間欠的で非周期的	1~500 Hz	固体音領域の問題は周辺居室に限定される

注 dBref .10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>(振動加速度レベル)。範囲は道路端, 敷地境界などにおける概略値。

もに, 感覚が鈍くなっていく。したがって, 対象とする振動の周波数特性を知ることは, 非常に重要なことである。

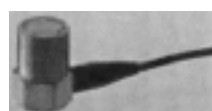
### 2.2 環境振動の測定

環境振動の測定は, 振動面に振動ピックアップを設置して行われるのが, 一般的である。振動ピックアップは, 質量がばねで支えられている(写真-2)サイズモ系で, 質量部分の運動から振動面の運動が計測される。評価量として



<sup>1</sup>: VAL(Vibration Acceleration Level); 振動加速度レベル  
<sup>2</sup>: VGL(Vibration Greatness Level); 振動の大きさのレベル

図-5 全身振動の等感覚曲線(三輪による)



4375 型

チャージ感度:  $0.316 \text{ pC/ms}^{-2}$   
 $\pm 2\%$   
 取付共振周波数: 55 kHz  
 周波数範囲: 0.1 Hz ~ 16.5 kHz  
 ( $\pm 10\%$ )  
 重量 2.4 g  
 温度範囲: -74 ~ 250

写真-2 高周波, 小型加速度ピックアップの一例

表-6 道路交通振動の要請基準

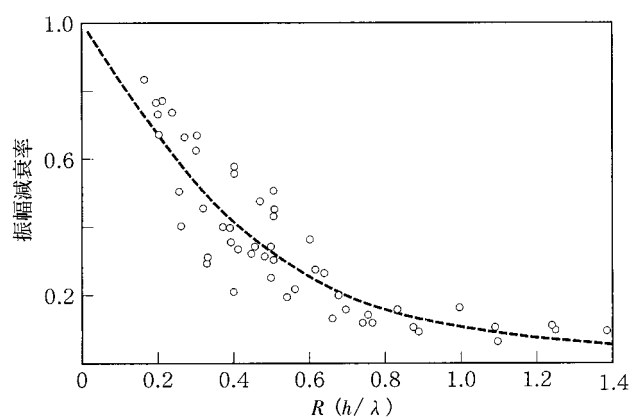
区域の区分	時間の区分	
	昼間	夜間
第1種区域	65 dB	60 dB
第2種区域	70 dB	65 dB

注 区域の区分は工場振動の場合と同じ。

は、振動加速度を用いる場合が多く、振動加速度レベル (VAL) で表現され、[dB] 表示が用いられる。また、人間の振動に対する感覚補正を行った振動加速度レベルを振動レベル (VL) という。この振動レベルによる測定法は、JIS Z 8735 に規定されており、振動の種類により、測定法の整理法や表示方法が規定されている。例えば、不規則かつ大幅に変動する振動の場合の表示方法として、時間率レベルが示されている。一方、振動規制法による規制基準では、振動レベルによる規制が行われており、表-6 のような要請の限度が定められている。なお、この要請限度は、不規則かつ大幅に変動する振動に対して、時間率レベルで 80% レンジの上端値 ( $L_{10}$ ) が採用されている。

### 2.3 振動の対策

振動の防止対策としては、振動源・伝搬系・受振部での対策があり、対象振動の種類や特性により、有効な防止策



鉄球落下による模型実験

図中、 $\lambda$ : 波長 [m]

$h$ : 防振溝の深さ [m]

$\gamma$ : 振動の減衰率

----- 線  $\gamma = e^{-2.35(h/\lambda)}$

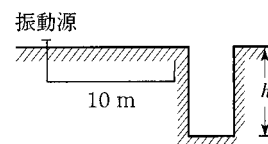


図-6 防振溝の振動遮断効果

を講じる必要がある。ここでは、道路交通振動などに対する建物への影響防止方法について示す。

道路交通振動や列車振動などに対する対策方法として、建築物または敷地境界に「防振溝」を設ける方法などが挙げられる。この方法は、図-6 に示すように回折減衰効果を利用し、振動伝搬系を制御する方法であり、溝が深いほど、また、溝が建物または振動源に近いほど効果が大である。

振動は、いったん地盤や建築構造体に伝搬すると、三次元的に伝搬することから、十分な対策効果が期待できないため、対策は、振動源に対して講じることが基本である。

### おわりに

建築内部および周辺環境の音・振動について、正確な知識の基に、適切な防止対策を講じることの必要性を述べた。価値観やライフスタイルが多様化した現在では、性能表示制度などによる器(うつわ)としての住戸性能の向上はもちろん、持続可能な環境保全型社会となる 21 世紀においては、長期的な視点から騒音・振動の加害者とならないための、住まい方などの啓蒙活動を住環境教育の一環として、Kids' ISO<sup>4</sup>(環境教育支援プログラム)にみるような社会の潮流を創出していくことが必要となろう。

最後に本稿の作成にあたり、日本大学理工学部建築学科井上勝夫教授には、資料提供など多大なご協力をいただきました。記して謝意を表します。

### 参考文献

1) <http://www.ntv.co.jp/dash/>: 3月9日放送, 日本テレビ

## 講座●はかる 計・測・量 (6)

“ ザ・鉄腕ダッシュ!! ”仰天防音実験；音を出さずに生活できるか!?

2) 吉野泰子・吉野 博：住環境教育に関する調査結果，2002年度日本建築学会大会(北陸)，環境工学部門・地球環境部門研究協議会資料“地球環境時代における住環境教育のあり方——環境工学研究者はいかに貢献できるか——”

3) JIS C 1505 1988

4) <http://www.artech.or.jp/japanese/kids/index.html>

(2003/12/22 原稿受理)



吉野泰子 よしのやすこ

生年月日 昭和27年7月14日/出身地 岡山県/最終学歴 日本大学大学院理工学研究科博士課程修了/専門 建築環境工学/学位 工学博士/その他 1998年より数年来に渡る中国西安建築科技大学他との日中共同研究が最優秀国際学術交流プログラムとして顕彰。ベクトル温度検出装置特許取得