

騒音・振動計測方法の最近の動き*

子安 勝**
(音響工学研究所)

1. まえがき

騒音・振動の計測方法は、計測の目的すなわちその結果としてのデータの用途に密接に関連する問題である。我が国における騒音・振動計測を特徴付けてきたのは、1950年代に始まった公害規制に対応した測定を中心にしてきたことであろう。この時点における計測器の主力が、騒音計、公害用振動計及びレベル記録器であったことは、こうした実用面での要求に密接に関連したことである。

その後、公害としての騒音・振動の問題が一時の危機的と言われた状況を脱する中で、10年あまり前から騒音・振動計測においては、直接に発生源に関連した問題が重要な位置を占めるようになってきた。この時期はデジタル信号処理技術が実用化してきたのに対応し、計測器、計測方法にも質的に大きな影響を与えることになった。

本文では、こうした経過を背景にして、騒音・振動計測方法の最近の動向を解説する。

2. 環境騒音・振動の計測

2.1 騒音・振動の規制と計測

我が国における騒音・振動規制に関連した計測は、以下に示す法令や基準をベースに行われている。

- 騒音規制法 (1968)
- 騒音に係る環境基準 (1971)
- 航空機騒音に係る環境基準 (1973)
- 新幹線鉄道騒音に係る環境基準 (1975)
- 振動規制法 (1976)

これらの中で規定されている騒音・振動の測定量、評価量を整理して表-1及び表-2に示した。ここで特徴になるのは、騒音レベル又は振動レベルが時間的に変動する場合の評価量として、一部の特別な場合を除いて時間率騒音(振動)レベル L_x が使われていることである。

これらの評価量は、それぞれ1957年に制定された JIS Z 8731 (騒音レベル測定方法) 及び1981年の JIS Z 8735 (振動レベル測定方法) の規定を基礎にしたものである。

2.2 環境騒音・振動計測の課題と動向

前節に示したように、我が国における環境騒音・振動の規制のための計測・評価に対して、主として時間率騒音(振動)レベルが使われているのは、我が国で特に公害としての騒音の問題が本格化した1950年代後半における騒音計測器の状況に密接に関連したものといえることができる。

すなわち、この時点において現場での騒音計測器として実用されていたのは騒音計だけであり、これを使って精度よく変動騒音の評価量を算出する方法として、騒音レベル瞬時値を一定時間間隔でサンプリングし、これから時間率騒音レベル(その時点では、騒音レベル中央値、90パーセントレンジ上下端値などと呼ばれていた)を算出する方法¹⁾は、非常に優れた方法であったと云ってよい。

これに対して欧米諸国では、早くから等価騒音レベルが、環境騒音評価の基本量として使われている。これは我が国に比べて騒音規制のスタートが遅く、後に述べるような等価騒音レベルの一般的な優位性がすでにある程度明らかにされていた時点であり、更に評価量を算出するためのデータ処理技術の急速な進歩と併せて、等価騒音レベルの採用が自然に行われたといえることができる。ここで等価騒音レベルの優位性としてあげられる主要な事項を整理すると、以下のようになる。

(1) 騒音評価量の基本的な条件は、騒音に対する人間の心理・生理的な反応に対応した量であることである。

一般の環境騒音の場合には、特にその心理的な影響を反映したものであることが必要である。

各種騒音評価量の適応性については、これまで多くの研究・調査が行われている。実験室における被験者実験の結果では、対象音のラウドネス、ノイズネス評価に対する等価騒音レベルの優位性が明らかにされているものが多い²⁾。

アンケートなどによる社会調査では、等価騒音レ

* Recent developments in the measurements of noise and vibration.

** Masaru Koyasu (Acoustical Engineering Laboratory, Tokyo, 160)

表-1 騒音の種類に応じて規制・基準で使われている評価量

騒音の種類	評価量	備考
工場・事業場騒音 建設作業騒音	1. 定常騒音は騒音レベル平均値 2. 変動騒音は5%時間率騒音レベル 3. 間欠・衝撃騒音 (a)最大値がほぼ一定のときは、その平均値 (b)最大値が変化するとき、その累積度数分布の90%レンジの上端値	騒音規制法
一般環境騒音 道路交通騒音	50%時間率騒音レベル(中央値)	環境基準
新幹線鉄道騒音	騒音レベルピーク値のパワー平均値	
航空機騒音	WECPNL(簡易法)	

表-2 振動の種類に応じて規制・基準で使われている評価量

振動の種類	評価量	備考
工場・事業場振動 建設作業振動	1. 定常振動は振動レベル平均値 2. 変動振動は振動レベルの80%レンジの上端値 3. 周期的又は間欠的に変動する振動は変動ごとの振動レベル最大値の平均値	振動規制法
道路交通振動	振動レベルの80%レンジの上端値	振動規制法(要請基準)
新幹線鉄道振動	振動レベルピーク値の算術平均値	当面の指針(勧告)

ベルや時間率騒音レベルなどの間に評価量としての有意差の認められない例が報告されているが、社会調査の精度から見て、これがそのまま等価騒音レベルの優位性を否定することにはならないと言っよいであろう。

(2) 騒音の予測計算を行うときに、対象によっては評価量を算出するときの簡便性、精度などからみて等価騒音レベルの優位性が示されている。例えば道路交通騒音の場合、現在我が国で道路に面する地域に適用される環境基準で評価値として使われている騒音レベル中央値 L_{50} は、厳密には交通条件の詳細(車頭間隔など)に関係する。これに対して等価騒音レベルは、観測時間内でのA特性重み付け平均エネルギーに対応したレベルであるために、自動車の車種別発生騒音パワーレベルと交通量、伝搬性状によって騒音の予測を行うことができる。日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会では、現在進めている予測方法の見直しを、こうしたエネルギーベース

でまず等価騒音レベルを算出し、当面はこれを50%時間率騒音レベル(中央値)に換算する方法によることで作業が進められている³⁾。

(3) 衝撃音・一過性の音の場合には、評価の面だけでなく物理量としての正確な計測、表示のために、等価騒音レベルに関連した単発騒音暴露レベル、エネルギーレベル(二乗音圧積分レベル)が有用であることが示されている⁴⁾。

このようにして欧米では、等価騒音レベルが環境騒音評価の基本量として使われており、その標準化のベースとして次の国際規格が制定されている。

ISO 1996-1 Acoustics-Description and measurement of environmental noise-Part 1:Basic quantities and procedures.

また、これに関連して、計測器の国際規格が次のように制定されている。

IEC Pub.804 Integrating averaging sound level meters.

我が国でも、これらの国際規格に対応して、1983年に改正されたJIS Z 8731(騒音レベル測定方法)の中で、従来からの時間率騒音レベルに加えて等価騒音レベル及び単発騒音暴露レベルの測定方法が規定され⁵⁾、また計測器についてもJIS C 1505(精密騒音計)及びJIS C 1502(普通騒音計)の最近の改正で、附属書として等価騒音レベル、単発騒音暴露レベルを求めるのに必要な機能が加えられた⁶⁾。

一方環境(公害)振動については、海外では我が国のような法的規制はないが、国内でも等価騒音レベルと同様の考え方で、従来からの L_{10} に加えて振動のエネルギー平均レベルを適用する試みが行われている。

このような状況にもかかわらず、我が国で等価騒音レベルなどエネルギー概念をベースにした騒音・振動の評価量が、本格的に実用化しないのは、騒音規制法、振動規制法、各種環境基準が、主として時間率騒音(振動)レベルによっていることが主要な理由になっている。国際化の動向の中で、我が国だけが異なった評価体系を持っていることは好ましいことではなく、早い機会に見直しの行われることが期待される。

もちろん、等価騒音(振動)レベルはあくまでも評価の基本量であり、対象騒音の種類などによっては補正を必要とすることも考えられる。例えば、ISO 1996-2では純音成分を含んだ騒音及び衝撃性騒音についての補正(調整)が規定されている⁷⁾。こうした等価騒音(振動)レベルの調整については、今後更にいくつかの面からの研究の必要な課題であると考えられる。

3. 発生源（騒音源・振動源）についての計測

3.1 発生源についての計測の重要性

騒音・振動発生源についての正確な性状のデータは、騒音・振動問題を取り扱うときの基礎資料として重要である。

騒音・振動防止の基本になるのは、発生源となる機械などからの騒音・振動放射の防止である。そのためには、騒音や振動の発生機構・主要な発生部位などについての詳細なデータが必要である。また、各種の環境に設置された発生源による騒音・振動（個体音を含む）の予測計算のためにも、騒音源・振動源についての基礎データを欠くことができない。

従来我が国では、騒音・振動防止技術は伝搬経路に適用される方法に重点が置かれてきたので、一部の分野を除いて発生源自体の性状の計測は、あまり重視されることが多かった。これに対して欧米の諸国では、noise control と言えばまず発生源での対策を意味するほどに重要なテーマになってきた。

こうした中で、近年我が国でも騒音・振動の発生源の問題に注目されるようになっており、その計測が重要な課題になってきている。これは一つには、我が国の関連する学会・業界などで、その重要性が認識されるようになってきたと共に、最近になって、建設機械、OA機器、空調ユニットなど各種の機械類の輸出検査の一項目として発生騒音が規定されることが多くなっており、それに対応するための計測が具体的に要求されるようになったことが要因になっていると言える。

一方振動源については、特に建築物内での振動、固体伝搬音の防止に関連して、その発生源性状の計測が重要になっている。

3.2 騒音発生源の計測 - 音響パワーレベルの計測

従来、我が国で機械など各種音源から放射される音を表示するためには、主として所定の位置における騒音レベル又は音圧レベルが使われてきた。これらの量は、測定点で聴取される音に直接に対応するものであって、実用的には重要な意味を持った量である。ただその反面では、騒音レベルや音圧レベルは音源の設置場所の音響的環境や測定点の条件（音源からの距離や方向）によって変化するために、発生源固有の量ということではできな

い。

これに対して欧米では20年以上前から、音響パワーレベルを音源からの放射音の基本的な表示量として、機械騒音の実用的な評価に利用する試みが始められ、国際規格や国内規格の形で測定方法の標準化・規格化が進められてきた。そして機械本体に発生騒音を表示するラベリング・システムの中でも、音響パワーレベルが主要な表示量として規定されていることが多い。

これに対して我が国では、一部の分野を除いて最近まで実用面にはほとんど使われることはなかったが、前項で述べたように機械類の輸出検査などに対するニーズを中心にして、ようやくその測定が具体的な課題となっており、JISの通則的規格体系の整備が行われた。

音源の音響パワーレベル L_w は、音源から放射される全音響パワー $P(W)$ と基準の音響パワー $P_0(W)$ との比の常用対数の10倍として、次のように定義される。

$$L_w = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

ここで、基準の音響パワー P_0 は $1pW (= 10^{-12}W)$ であり、その単位は音圧レベルと同様にデシベル (dB) である。

音響パワーレベル測定方法の原理や測定方法規格の詳細についてはこれまで本誌でもしばしば解説されているので、ここではその概要を簡単に紹介しておく。

現在ISOやJISで標準化されている測定方法は、音圧法 (p-squared method) 又は在来法と呼ばれている方法である。この方法は直接には音圧を測定し、これから音響パワーを算出する方法であるが、測定方法の原理すなわち音圧の測定値と音響パワーとの関係によって、表3のように2種類に大別される。その一つは、自由音場又は半自由音場における音圧と音の強さとの関係を使って、音源の音響パワーを求める方法 (音圧法) である。もう一つの方法は、拡散音場内の音圧と音場の平均音響エネルギー密度との関係から、音源の音響パワーを求める方法 (音圧法) である。

ISOでは、1970年から音圧法による音源の音響パワーレベル測定方法に関する基本 (通則的) 規格の原案作成の作業が始められ、「騒音源のパワーレベル測定方法」という共通名称を持ったISO 3740 ~ ISO 3747 までの8種類の規格が制定公布されている⁸⁾。更にISOでは、個

表-3 原理で分類した音圧法による音響パワーレベル測定方法の種類

測定方法		測定場所	測定原理
音圧法	自由音場法	無響室	音源を囲む閉曲面上の音圧から、その点で面に垂直な音の強さを求め、これを面全体に積分して音響パワーを算出する。
	半自由音場法	半無響室	
	準半自由音場法	大きな室、屋外	
音圧法	拡散音場法	残響室	室内の平均二乗音圧から音響エネルギー密度を求め、これから音響パワーを算出する。
	準拡散音場法	残響の長い一般の室	

別の機械の設置条件や運転条件などに騒音の発生に関連した特徴があるときには、この基本規格を補足して詳細な規定をする個別規格を作成することになっており、これまでに回転電気機械、各種建設機械、計算機・事務機などについての規格が制定されている。

我が国では、1984年から音響パワーレベル測定方法の通則的規格作成の作業が始められ、表-4に示す三つの規格が制定公布されている⁹⁾。これらの規格は、表に示されるようにISOの基本規格3740シリーズとの整合性を基本方針としているが、ISO規格制定後における研究・技術面の発展を反映させることにして作成された。

ここで規定されている音響パワーレベルの算出方法には、測定精度や測定場所(測定室)の条件などに応じて幾つかの方法が与えられている。そのため、実際の測定にあたっては、これらの条件をもとにして適応する方法を選ぶようにすることが重要である。

3.3 騒音発生源の計測 - 音響インテンシティの計測

3.3.1 音響インテンシティ計測方法の実用化

1980年代に入ってから音響計測における重要な進歩の一つは、音響インテンシティ計測の実用化である。

音響インテンシティは、基本的には音場の1点における音圧と粒子速度との積の時間平均値として定義されるベクトル量で、その単位は W/m^2 である。このように定義された音響インテンシティは、音場の基本料の一つとして古くから使われており、特にエネルギー論に基づく理論解析では重要な位置を占めてきた。そのためにもまた50年以上も前から音響インテンシティの計測方法、計測器の開発が行われてきたが、実用的な段階にまでは至らなかった。ようやく1970年代の後半になって、2-マイクロホン技術とデジタル信号処理技術の急激な発達を背景にして、音響インテンシティの測定技術が実用されるようになった。

こうした音響インテンシティ測定技術の重要な応用として、一般的な音場解析のほかに、特に騒音計測の面では音響パワーレベルの測定と騒音源の同定とがあげられ

る。

3.3.2 音響インテンシティ法による音響パワーレベルの算出¹⁰⁾

音響パワーレベルの算出は、実用面での音響インテンシティ計測のもっと重要な応用の一つと行うことができる。この場合の音響パワーレベル算出の原理は、音響インテンシティの定義に直接に対応したものであり、その意味で直説法とも呼ばれる。

この方法は、音響パワーレベルの測定方法として多くの特徴を持っており、特に機械の設置されている現場や工場試験室などのように、測定場所の音場が複雑であったり暗騒音のために在来の音圧法では高い精度の測定が期待できない場合に有効な方法になる可能性を持っている。更にまた、この方法によれば音源の近距離音場での測定を通して、同じに次節にのべる騒音源からの音の発生部位の同定も可能になる。

こうして、音圧法と並んで音響インテンシティ法の実用化が急ピッチで進むに従って、音響インテンシティ法による音響パワーレベル測定方法の標準化、規格化が強く望まれるようになってきた。

現在ANSI(アメリカ規格)案、NORD TEST(北欧規格)などの形で規格化が行われており、更に国際規格作成の作業が進められ、次の規格が近く制定される段階に達している。

ISO 9614-1 Acoustics-Determination of sound power levels of noise sources using sound intensiti-Measurement at discrete points

表題に示されるように、この規格(案)では騒音源を囲む閉曲面上に固定測定点を設定し、各点において音響インテンシティを測定する方法が規定されている。これは音響パワーレベル測定の基本的な方法であるが、一般的には測定精度に対する要求から測定点の数を相当に多くすることが必要であり、測定時間などの面から実用性に難点があることが指摘されている。これに対しては、測定閉曲面上でインテンシティ・プローブを掃引する方

表-4 音響パワーレベル測定方法 JIS 体系

規格番号	規格名称	精度	測定場所	対応ISO規格
Z8732	無響室又は半無響室における音響パワーレベル測定方法	精密	無響室 半無響室	3745
Z8733	一般の音場における音響パワーレベル測定方法	実用半自由音場法(A法)	実用 半無響室 屋外 響きの少ない大きな室	3744
		簡易半自由音場法(B法)	簡易 同上	
		簡易拡散音場法(C法)	簡易 残響室 ある程度以上の残響のある室	3746
Z8734	残響室における音響パワーレベル測定方法	精密	残響室	3741 3742

法が考えられており、すでに ANSI 案や NORD TEST にも採用されている。ISO でも、上記の ISO 9614-1 に続いて掃引法(scanning method)についての原案作成の作業が始められている。我が国でもこの場合の制度などについての基礎的な検討が行われており、実用的に有用であることが明らかにされている¹¹⁾。

3.3.3 騒音源の同定^{12),13)}

一般に機械・装置・車両などの騒音低減に対しては、主要な騒音源の正確な同定・部位別寄与率の設定が出発点となる。従来、こうした目的に対しては、鉛力パー法、音源近傍らでの詳細な音圧測定値をもとにした等音圧レベルマップ(コンタ)、騒音放射面の振動分布、スペクトル分析などの各種の方法やそれらの組み合わせが適用されてきたが、いずれの方法にも適応周波数範囲などに難点があり、必ずしも騒音低減の目的に有効な解答が得られるは限らなかった。

音響インテンシティ計測技術が実用化されると共に、まずその応用の一つとして騒音源の同定の問題が取り上げられ、内燃機関における騒音源の同定、部位別寄与率の測定から始まって¹⁴⁾急速に普及し、現在騒音源制御のための重要な計測技術として使われるようになっていく。

3.4 振動発生源の計測

3.4.1 加振力の計測

最近の建築物においては、空調・衛生設備をはじめとした一般建築設備、事務機器、住宅用機器など各種の機械設備が設置されることが多くなり、建築機能の向上に大きな寄与をしているが、その反面で建築物内外での騒音を上昇させる一因となり、その低減が必要課題になっている。

このような建築物内部の機械・設備からの騒音低減については、通常の空気音に加えて固体音の防止対策の適

否が決定的な役割をすることが少なくない。そして、こうした固体音防止設計の基礎資料の一つとして、機械・設備などの加振力データが必要になる。

機械類の加振力については、その定義自身の問題もあって、その計測方法の標準化も行われていない。ISO では、TC 43/SC 1 の WG 22(Characterization of noise sources by vibration measurement)の中で、1984年から作業が続けられてきた。ここでの検討結果の一部は、ten Wolde 及び Gadefelt によって取りまとめられている¹⁵⁾。ここでは、単に加振力というだけではなく、更に一般的に固体音の放射を特徴付ける各種の量の計測方法の比較検討が行われている。ここで取り上げられた計測方法を要約して表-5に示す。対象機器の種類、設置条件、データの使い方などによって、適応する計測方法を選択することの必要性が指摘される。

我が国では、主として送風機、ポンプなどの一般的な建築設備機器を対象にして、防振設計に適用できる実用的な加振力計測方法についての研究開発が進められている^{16),17)}。実験の問題に対する適用事例などの集積を含めて、計測方法標準化に向けたの努力の続けられることが期待される。

3.4.2 振動インテンシティの計測

固体音の問題を取り扱うときには、発生源の加振力と並んで振動の伝搬性状についての情報が重要な資料になる。従来この問題に対しては、建築物の躯体などについて計測された振動加速度などのデータが使われてきた。

この場合にも、騒音の問題での音場解析における音響インテンシティと同様に、振動インテンシティが重要な役割をすることが期待される。

ただし振動インテンシティの計測は、ごく最近スタートした段階であり、センサなど計測器の問題を含めて、今後の課題であると考えられる。

表-5 振動源についての固体音放射性状を規定するための各種計測方法 (ten Wolde & Gadefelt¹⁵⁾)

計測方法	試験環境			機械の種類, 設置方法
	実験室	工場	現場	
1. 機械の脚部における振動速度又は振動加速度測定	×	×	×	弾性支持機械
2. 剛な基礎ブロックに弾性支持した状態での力・トルクの測定	×	×		a. 重構造上野軽量機械 b. 弾性支持機能
3. 置換法による機械近傍の構造での等価加振力測定	×		×	同上
4. 種々の機械的負荷での機械の脚部の自由振動速度と局所モビリティの測定	×	×		吊り下げ可能な小型機械
5. 基準板での振動加速度測定	×	×		比較的大きな構造上の小型機械
6. 基準エンクロージャ内の音圧レベル測定	×	(×)		限定なし
7. 機械ケース上の振動速度測定	×	×	×	剛性支持機械

4. 騒音評価のための聴感実験の動向

直接の騒音計測の問題からは離れるが、最後に計測方法を考えるときのベースになる騒音評価のための聴感実験の動向を簡単に述べておく。

騒音評価の出発点の一つになるのは、ラウドネス評価である。現在、各種騒音のラウドネス評価の基準になっているのは、ISO 532にも規定されている複合音のラウドネスを算出する Zwicker の方法である。この方法で算出されたラウドネスレベルの妥当性は、聴感実験の結果によっても確認されているが、算出方法がかなり複雑になっている(もちろん現在実際の計算はパソコンに任せることができる)。

これに対して、最近の橋らの綿密に構成された聴感実験の結果によれば、各種騒音について63Hz～4kHz又は125Hz～4kHzの範囲のオクターブバンド音圧レベルの算術平均値が、ラウドネスに非常によく対応することが示されている。このように、簡単な音圧レベルの算術平均値が、Zwickerの方法と同程度によく結果を与える理由は明らかにされていないが、騒音計測の面からみても非常に興味ある結果であり、こうした聴感実験の重要性を示すものと言うことができる。

文 献

- 1) 守田 栄, "騒音測定法, 整理法並びに測定精度について," 音響学会誌 9, 37-45 (1953).
- 2) 難波精一郎, 桑野園子, "種々の変動音の評価法としての妥当性並びにその適用範囲の検討," 音響学会誌 38, 774-785 (1982).
- 3) 佐々木 實, 橋 秀樹, "エネルギーモデルによる道路交通騒音の予測について," 音響学会騒音研資 N-87-01-3 (1987).
- 4) H. Tachibana, H. Yano and K. Yoshihisa, "Definition and measurement of sound energy level of a transient sound source," J. Acoust. Soc. Jpn (E) 8, 235-240 (1987).
- 5) 橋 秀樹, "環境騒音の測定方法に関する国内規格 (JIS Z 8731) と国際規格 (ISO 1996/1)," 騒音制御 7, 126-135 (1983).
- 6) 三浦 甫, "JIS C 1505「精密騒音計」の改正原案について," 音響学会誌 43, 798-803 (1987); 三浦 甫, "JIS C 1502「普通騒音計」改正原案について," 騒音制御 12, 207-210 (1988).
- 7) ISO 1996-2 Acoustics-Description and measurement of environmental noise-Part 2: Acquisition of data pertinent to land use.
- 8) 子安 勝, "音響パワーレベル測定法規格化の動向," 音響学会誌 41, 322-327 (1985).
- 9) 鈴木昭次, 橋 秀樹, "「無響室又は半無響室における音響パワーレベル測定方法」, JIS原案について," 音響学会誌 41, 546-555 (1985); 子安 勝, 鈴木昭次, 橋 秀樹, "「一般の音場における音響パワーレベル測定方法」, JIS原案について," 音響学会誌 42, 643-659 (1986); 子安 勝, 鈴木昭次, 橋 秀樹, 今井章久, 東山三樹夫, "「残響室における音響パワーレベル測定方法」, JIS原案について," 音響学会誌 43, 587-605 (1987).
- 10) 子安 勝, "音響インテンシティ法による音響パワーレベル測定方法," 音響学会誌 43, 960-965 (1987).
- 11) H. Tachibana and H. Yano, "Changes of soundpower of reference sound sources influenced by boundary conditions measured by the sound intensity technique," Proc. Inter-Noise 89, 1009-1014, Newport Beach, CA, USA (1989).
- 12) 阿部 武, "音響インテンシティ法による騒音源の同定," 音響学会誌 39, 697-702 (1983).
- 13) J. Tichy, "Noise control applications of sound intensity," Proc. Inter-Noise 89, 45-68, Newport Beach, CA, USA (1989).
- 14) T. E. Reinhart and M. J. Crocker, "Source identification of a diesel engine using acoustic intensity measurements," Noise Control Eng. J. 18, 84-92 (1982).
- 15) T. ten Wolde and G. R. Gadefelt, "Development of standard measurement methods for structure-borne sound emission," Noise Control Eng. J. 28, 5-14 (1987).
- 16) 麦倉喬次, 安藤 啓, 田野正典, 高久勝彦, "建築設備用送風機の加振力に関する実験的研究," 建築学会計画系論文報告集 第389号, 1-9 (1988).
- 17) 平松友孝, 大川平一郎, 子安 勝, "設備機器加振力の測定方法に関する検討," 騒音制御工学会講論集, 225-228 (1987); 平松友孝, 大川平一郎, 子安 勝, "設備機器加振力の測定方法に関する検討(その2)," 騒音制御工学会講論集, 109-112 (1988).
- 18) H. Tachibana, Y. Hamada and F. Sato, "Loudness evaluation of sounds transmitted through walls-Basic experiment with artificial sounds," J. Sound Vib. 127, 499-506 (1988); 園田有児, 橋 秀樹, 子安 勝, 桑野園子, 難波精一郎, "低音性騒音の評価に関する研究," 音講論集, 563-564 (1989. 10).