



## 音による情報の判別と表現\*

日本機械学会論文集(C 編)  
67 巻 657 号(2001-5)田中 基八郎<sup>\*1</sup>, 佐藤 太一<sup>\*2</sup>

## Analysis and Expression of Sound Signal

Kihachiro TANAKA<sup>\*3</sup> and Taichi SATO<sup>\*3</sup> Department of Mechanical Engineering, Saitama University,  
Shimo-Okubo, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan**Key Words:** Sound Information, Identification, Expression, Sound Signal, Onomatopoeia, Noise, Signal Analysis

## 1. はじめに

私達の生活は、人との交わりによって成り立っている。すなわち、コミュニケーションがたいせつであり、そのひとつの重要な役割を果たしているのが音声会話である。そしてまた、自然や環境との交わりの生活空間においても、私達は、非常に多くの音による情報を利用している。

ゴルフのプロは、コースにある木立の葉擦の音を聞いて風速を判断し、打撃のコントロールをするという。ポプラの葉擦の音はとくに大きい。ある人が大会でポプラの葉擦の音を聞いて風速を大きく評価してしまい、スコアを崩したという例もある。このように、音による情報とそれらを判断して意志や行動を決めることは多い。もともと発せられた音は、会話であり現象のひとつの現れであり、人間はそれを感知して他人を現象を理解判断してきた。また、芸術、趣味、娯楽の世界では、音楽をはじめ、会話話術、動物の鳴き声観賞などがそうである。

ほかに、危険や緊急事態を表す警報、注意を呼びかける注意報、動作やその変化を表す動作音、その他環境状況や条件を表す環境表示音などのサイン音と呼ばれる音領域もある。

このように、音による情報は、身の周りの環境状況から音響技術を利用した通信、安全性や健康度、信頼性の診断、動作確認やセキュリティシステムまで、い

ろいろなところで利用されてきた<sup>(1)</sup>が、それは、耳という優秀な機能の器官の存在のおかげである。しかし、それは逆に中味の情報があまり検討されてこなかった領域もあり、疑わなかったというべきか、経験から条件反射的に信号分析をパスしてしまい、聞いたことが即判断につながっていることもある。これから、音による情報の細かい分析や、全く新しい現象や創作物に出会い、音をどのようにして捉えて解析し、その奥にある現象や本質を理解するかに音による情報伝達の重要性がかかっている。

もともと音響は、情報伝達の大きな分野であり、言うまでもなく、電気信号の信号処理技術の発展に伴い、分析技術や合成技術、信号圧縮技術などアナログ-デジタル信号にわたって進歩してきている。ここでの音響信号の特徴は、信号評価が人間の聴覚や心理の特性で決まってくるということもあり、次のような信号処理における生理、心理の特徴項目も考えられる。

可聴領域、A 特性、マスキング、ノイズに鈍感、カクテルパーティ効果、韻

物理特性の信号の機械評価は、故障診断の分野で従来から発展した技術であるが、メカトロニクスの精密機械の進歩に伴い、さらに高精度化していること、安全性において高度信頼性が要求されていること、例えば最近話題となっている昔からの鉄道のトンネル内コンクリート壁のはく離状況の診断、さらに、医療の診断の情報処理など新たな診断の技術開発が展開されている。

それらには、連続して発生している音の分析や非定常的に発生する音の分析、また、対象物に刺激を与えてそれらからの応答の音を分析するものがあるが、後者では加振手段や計測分析手段の進歩が著しい。それ

\* 原稿受付 2000 年 10 月 19 日。

<sup>\*1</sup> 正員、埼玉大学工学部(☎ 338-8570)さいたま市下大久保 255)。<sup>\*2</sup> 正員、東京電機大学理工学部(☎ 350-0394)埼玉県比企郡鳩山町石坂)。

E-mail: tanaka@mech.saitama-u.ac.jp

は例えば、伝達関数の評価法であり、前者では、狭帯域のデジタルフィルタによる信号技術や変換技術である。

音による情報からの現象や表現の判断識別は、こうして信号処理技術や解析評価技術の進歩により発展してきているが、最近では、人が判断して行動や意志決定の参考となるように音を発生する方法の研究もさかんに進められている。これらは、音による表現方法の世界であり、そのひとつにサイン音と呼ばれるものがある。サイン音は、機械の動作やその変化を表示する音、すなわち洗濯機や電子レンジから発生される音であり、駅や公共の場で注意や案内を呼びかける音、すなわち駅のホームの発車音や表示音、警報の類である。とくに、身障者に配慮したいいわゆるバリアフリーの音環境設計に、研究が向けられつつある。

また、音による情報を人を介して伝達する場合に、使用される言葉が重要になるが、言葉すなわち擬音語などの人々に共通した音を表現するものに対して、なにを表しているのか、どのように感じられるか、どうしてその言葉が用いられるのかなどについての検討が進められている。

ここでは、上記のような動向から、音による情報の判別と表現の一部の技術展開の状況について述べる。

## 2. 音信号とそれらによる現象の認識

音による情報から人間が分析認識しているものに限ってみてもいろいろなものがある。それらは音声など信号情報そのものから、周辺環境の状況、生活行動や安全性の確認、現象のレベル評価、次に生ずる事態の予測、発生音の位置、発生源の特徴などであり、その分析には、時間波形とくにその包絡線の形、周波数特性とその変化、音の成長増大、減衰の変化などの特性が利用されている。

音信号の特徴としては、人間の音による情報の場合は、音楽など特殊な場合を除いて、多少のミスは許されることや、音程の変化の仕方で相対的に理解できること、音信号の混合で情報が変わりうることなどがあ

る。

具体的には、次のような例がすぐに挙げられる。

(a) 自然現象音 ・樹木の風音で風速がわかる・カルマン渦の音(電線のもがり笛など)で風速がわかる・川のながれる音で流速や流量がわかる・天おらのはじけ音で油の温度がわかる・湯の沸騰音で湯の温度がわかる。

(b) 動作音 ・ドアの開閉の確認・足音によるセキュリティと人物および状況の判断・エンジンの調子の確認および車のスピードの判断・ブレーキのきき具合・ドプラ効果による動きの判断・人の挙動、睡眠

(c) 検査、検診 ・食品加工、料理の状況把握・果物の熟成度・燃焼音による燃え方の確認・医療・故障診断(軸受、傷の発生、進展、ゆるみ、異常動作)・製造、組立、施工の不良

(d) サイン音、表示音、警告音 ・家電機器などの動作確認、報知音・駅、車内の案内音・盲導鈴・緊急の警告音・時報

## 3. 音による機能、動作、状況の判定例

(a) トンネルコンクリート壁の健全性判定<sup>(4)</sup>—残留振動音による評価—

最近、新幹線鉄道で問題となっているトンネル内のコンクリートはく離落下事故の問題であるが、この調査には、建築物や機械構造物で昔から行われている打撃音診断法が用いられている。その判定は例えば

- ・正常な場合：固い構造物の高い振動音がすぐに固体波動により消散減衰する。
- ・クラックが存在する場合：高い振動数に多くの成分を有するいわゆる濁音で減衰の大きい音がする。
- ・大きな割れが存在する場合：鈍く低い振動数の成分の音が響いて聞こえる。
- ・内側に空間が存在する場合：低い空間共鳴音が長く響いて聞こえる。

(b) 靴音による人物、状況の判定—時間波形のパターンによる評価—

人は他の人の靴音を聞いて、人の存在や行動とともに、それが誰のものであるか、そしてその人の健康や心理状況を判断している。

靴音は、一歩で二つの衝突波が聞こえてくる。第1波めは一歩の着地で最初にかかとが着くときの音である。第2波めはその後に足の前の部分が着くときの音である。衝突のとき、どこが振動して鳴っているのか不明なところもあるが、ともかく私達はその音波を聞いて靴音を判断している。図1はハイヒールの場合で

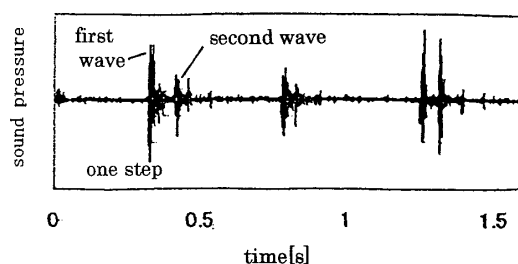


Fig. 1 Walking sound by high heels

ある。2波のうち、最初のかかとの着地は健康状態の判断に関係することが大きく、健康な人は第1波の音が第2波めに比べて小さくなる。人物の判定には、2波の音の大きさと、間隔、二歩めとの間隔、そして周波数特性が関与している。

(c) 自動車のドア音による開閉の判定<sup>(2)</sup>—時間波形のパターンと残留振動音による評価—

私達はドアの開閉やそのキーのロックの状況を音によって判断していることが多い。とくに、自動車の場合はドアが完全に閉まったか半ドアかが安全上重要であり、運転手は聞き耳を立ててその音を聞いて閉まり具合を判断している。

完全閉音と半ドア音の時間波形の例は図2のようになっている。両音の特徴的な部分は、図中の網掛け部分(T1, T2, T3部)である。これらの部分について加工を施し、識別実験を行ってみると、波形の立上り部の振幅(T1部)については両音の識別に影響せず、波形の減衰部の振幅(T2部)、無音部の長さ(T3部)については、両音の識別に影響することがわかる。

ドア閉音の波形の特徴部を加工し、自己相関関数を調べてみると、波形の立上り部の振幅(T1部)を加工しても、自己相関関数はほとんど変化しないこと、波形の減衰部の振幅(T2部)、無音の長さ(T3部)については、その加工によって自己相関関数は変化することがわかる。

この自己相関関数の結果から、聴感評価の結果に対応して、波形加工を施しても、自己相関関数にその加工の影響が現れてこなければ、その加工は音の識別に対して影響を与えないといえる。

人の耳は、そこに入ってくる波数がある程度に達しないと、音をきちんと評価することができない。一方、自己相関関数は、音の波数を減衰の程度として表現できる波形解析法である。すなわち、自己相関関数は、

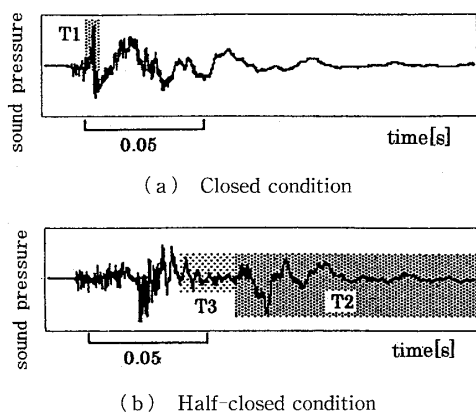


Fig. 2 Door closed sound of a car

耳の基本的特性を表現できる簡易フィルタとしての役目を担うことができるので、ドア閉音の識別に対する波形解析法のひとつとして有用である。

(d) バイオリン演奏における初心者<sup>(3)</sup>の判定—基本波と高調波の成分による評価—

バイオリンを初心者が弾くとどうなるであろうか。上級者の音と初心者の音の差異を検討する。ここで、上級者とは大学オーケストラに所属し、バイオリンを頻繁に演奏する人のことであり、初心者はバイオリンを弾いたことのない人を意味する。図3に上級者の音と初心者の音の周波数分析結果を示す。

いずれの音も基本音と、その倍音で構成されていることが認められる。しかし、両音にはスペクトル的に大きな差異が認められる。すなわち、上級者の音に比べて初心者の音には、

- (1) 基本音 (268.6 Hz)
- (2) 第2倍音 (537.5 Hz)
- (3) 第4倍音 (1 075 Hz)

の各成分の音がかなり不足している。人が両音を識別できるポイントがこの差にあると考え、初心者の音に対して以下の加工を施し、聴感評価を行う。

- ・初心者の音に基本音(268.6 Hz)をプラスさせる(実験条件S I)

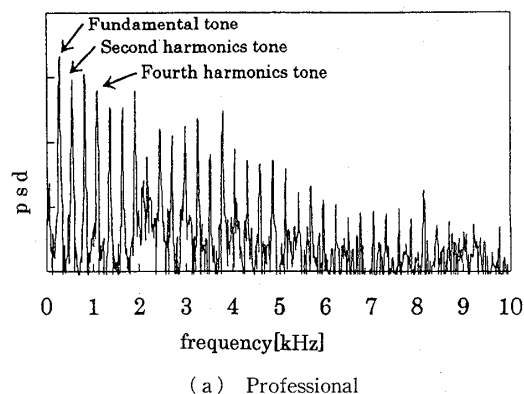


Fig. 3 Power spectral density of violin sound

- ・第2倍音(537.5 Hz)をプラスさせる(実験条件S II)
- ・基本音・第2倍音両方をプラスさせる(実験条件S III)
- ・基本音・第2倍音・第4倍音をプラスさせる(実験条件S IV)

なお、加工を施さない状態を加工度 0%といい、上級者の音に近づけた場合の状態を加工度 100%と呼ぶ。以上のように、上記の各周波数の音を、初心者者の音に加えていく方法でスピーカによる聴感実験を行う。

実験結果を図4に示す。図4には、各実験条件においての音の加工の度合と正解率の関係を示している。図4より実験条件S Iの加工が、正解率を大きく下げていることがわかる。つまり、基本音成分が音の識別に寄与している率が高いことを示している。実験条件S IIについては、それだけでは正解率が下がらないものの、実験条件S Iと組み合わせること(実験条件S III)によって、実験条件S I以上に正解率を下げていることがわかる。また実験条件S IVは、実験条件S IIIよりも両音の識別に困難にしていることがわかる。

バイオリンの熟練度の分析のひとつは、このように周波数成分でできる。

#### 4. 擬音語による音表現<sup>(7)</sup>

人は音を聞いて、それをできるだけ正しく擬音語で表現しようとする。それは、鳥をはじめとした動物の鳴き声であったり、風や雨や雷などの自然の音であったり、機械などの現象挙動の音であったりする。

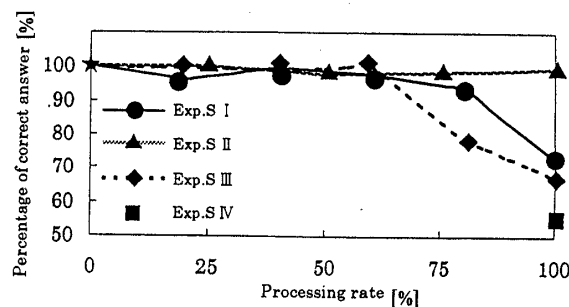


Fig. 4 Characteristics of percentage of correct answer

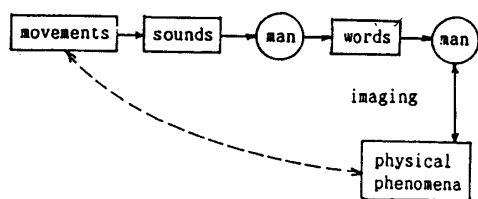


Fig. 5 Information transfer of phenomenal sound

音の正確な情報として、機械の挙動や物理現象から発する音を図5のように人を介して他の人に伝えねばならないとき、擬音語表現がたいせつになる。そこで、とくに静かなことが即製品の性能とみなされる自動車や家電製品では、いろいろな角度から擬音語の分析が行われてきて、ある程度、結果から原因への対応がついている。また、それらが人の感覚によってどう感じられるかといった分析も行われている。

しかしながら、わかっていないことは、カタカタ、ゴロゴロ、キューといった擬音語をなぜ用いてそれらの音を表現するのかである。人は音を聞いて忠実にその音のまねをしようとしているはずである。そこでは、次のようなことが考えられる。

- 人は音をまねてそっくりの音声を出して、他人に伝えたい。
- しかし、人には出せる音、聞ける音の領域があるので、その中で最も近い音で伝える。
- 似顔絵のように、特徴だけをうまく捉えて言葉で話せば現象を伝えられる。
- 音以外のゼスチャー、絵図などを加えてマルチモードで伝えるので、だいたい音表現でよい。
- 慣習となって使われ続けているものもある。
- 感覚だけに訴えて、言葉でそう思わせてしまう。新造語で変化していく。流行に従う。

#### (1) 音声の分析

擬音語の音声を分析してみる。基本的には、発声音の包絡線の形を調べることと、日本語では母音が音の大部分を構成しているので、その主成分であるホルマントとそれらの継続時間をみることになる。ここでは、発声の調音が音声振動波の振幅の包絡線を形作り、特徴ある包絡線ができる。これが物理現象の主な時間変化、大きさ、広がりなどを表すものとなるのだろう。閉鎖音は、突然の発生現象を表すのに向いている。また、後続の母音は、発声後の主な運動を表すものとなっている。

#### (2) 雑音の表現

昔から、日本では、濁音によって雑音を表現してきた。これは、聞き慣れない純音の組合せや、調和しない音の組合せに対して、聞いた音を表現するには、濁音が近いと思うからであろう。それらを澄んだ音と比較してみると、音の高さを表す基本周波数とその $n$ 倍の成分が強く、濁音の場合は、2 kHz以上の振動数成分が一様に大きくなっている。この数kHz以上の成分音は耳にとって最もよく聞こえる周波数域音であり、上記のように、慣れない音や調和しない音の組合せの異常音として聞こえ、雑音の表現となっているも

のと思われる。

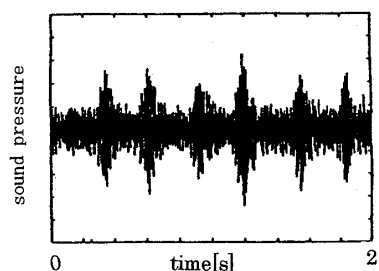
### (3) うなり音などの連続的変動音の表現

連続して聞こえてくる音では、気になるものに、ゴンゴン、グングン、ブーンブーン、コロコロなど、うなり音が多い。うなり音は、音の強さ(振幅)が繰返し波状に変化するので、いつまでも耳に刺激的に聞こえている。私達の感覚は、それらの音の細かい成分までの分析をある程度行っている。そして、振幅の形(振動波形の包絡線)は、かなり厳密に感覚しているものと思われる。私達は、それらを聞いて、擬音語を構成している。

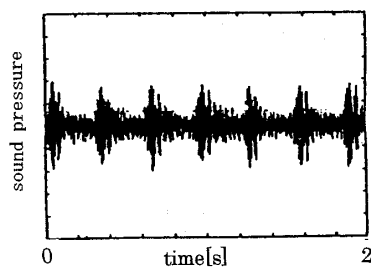
上記のうなり音の発声音の音圧の変化を調べてみると、図6のようになっている。明らかにそれらの音の包絡線に違いがある。図6から、ゴンゴンやグングンでは、回転機械で用いられた場合などでは速度にむらがあることが予想されることになるだろう。

### (4) 単発音の表現

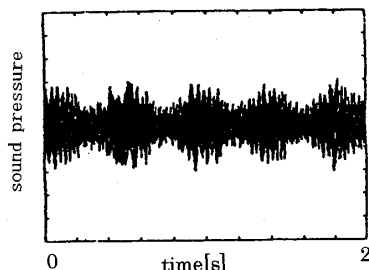
ものがぶつかったときに、“コチ”、“カチ”、“コト”、“カタ”、“コン”、“カーン”とかいう。



(a) “gongon”



(b) “gungun”



(c) “bu-nbu-n”

Fig. 6 Onomatopoeia of beat sound

カ行がよく用いられる。カ行の音は、先に述べた閉鎖音であり、パ、バ、タ、ダ、ガ行とともに、のどの奥を閉じてから一気に呼吸を開放する音である。すなわち、衝突を表すのに向いている。他の行の閉鎖音との違いは、音の高さの成分にあり、現象に近いカ行が用いられることが多いと思われる。

また衝突音の中でも、私達は、そのぶつかり方を微妙に聞き分け、言葉で表現している。例えば、“コト”は、実際現象において、物体の衝突が2回発生している場合や、一度の衝突の波動が伝わって他の部分も鳴ったり、一度発生した音がどこかで反射して二度めの音が聞こえたりする場合に用いられる。

次に、固体伝ば音のことであるが、なにか固体が破碎する場合や固いものを食べた場合などに、私達は、“バリ”、“バリ”、“コリ”、“カリ”、“ポリ”などの擬音語を用いる。第2音節には、“リ”が使われる。“リ”の音は残響音として継続して残っている。ラ行は流音であり、いわゆるふるえ音として残響する。実際の現象も継続する残響があるものと思われる。例えば、せんべいをかんだときの頭蓋骨の加速度を測てみると、かんだ衝撃で骨がしばらく振動していることがわかる。このように、初めの閉鎖音と続く流音を組合わせた“バリ”とか“カリ”、“コリ”を用いて、破碎時の衝突と残響、固体伝ば音を表していることが推定される。

## 5. サイン音<sup>(11)(12)</sup>

音を用いて情報を伝えるサイン音としては、通信の呼び出し音、駅の案内音、踏み切りの音、緊急自動車の音、家電製品の音など従来から表示、報知、警告注意の音として発せられていたが、それらの共通性、緊急性、バリアフリーの観点からの検討は、最近になってようやく本格化してきている。学問的には、音響心理学や社会学の立場からの研究もあったが、最近では、携帯電話の着信音をはじめとしたコンピュータによる音響設計の時代を迎え、公共的にも生活環境音としての合意をとりながら、具体的なサイン音の創造ということがサインデザイン協会を中心とした活動となってきた。また、当然メーカーが中心となった電機工業会、家電製品協会の検討も進められている。

それらによると、サイン音に必要な留意ポイントは次の点である。

- (1) しかるべきサイン音がしかるべきところにある
- (2) 基点の設定
- (3) 音色・音質のデザイン
- (4) 盲導鈴の標準化

- (5) 人の動きのないところに必要なサイン音
- (6) 音声メッセージのあり方
- (7) 方向性・遠近距離を示す機能
- (8) サイン音の設置位置と他のサインとの連動
- (9) 現場実験の重要性
- (10) 障害者の意見
- (11) サイン音データベース

ここで、(2)の基点とは視覚情報や触覚情報の零点、家電製品でいう操作のリセットスタート点である。

(5)は視覚障害者が環境音を利用していろいろと状況を判断しているが、それがないところが最もサイン音が必要なことを意味している。(8)はマルチモーダルの情報のあり方として人の注意がそれぞれの情報に対して同じ方向に向くべきことを指摘している。(9)は環境音や暗騒音との関係への配慮が必要であることを意味している。

その他、サイン音は、誰にでも理解できるものであり、気持ち良く明るい感じの快適な音が望ましい。たとえば、救急音であっても、多くの人には直接関係がないことも多いからである。家電製品では、家庭内環境や人々の状況を考えて、操作確認、動作終了、警告注意などを考えて、わかりやすく、目的に対応した、機器間の混乱のない、快適な報知音の設定が望まれる。

家電製品に限らず、快適な報知音を設計するためには、楽音のようなリズム性、メロディ性、調和性を考えて、周波数領域を選び、音の立ち上げ、下げ特性、断続性、繰返し性などを考えたシンプルで親しみのわく覚えやすい音が望まれる。

また、警告注意音の設計にあたっては、目立つ周波

数帯域、継続性、繰返し性などの適正化をはかり、身障者や高齢者にもわかりやすくする必要がある。さらに、音以外の情報との組合せも考える必要がある。

## 文 献

- (1) 日本機械学会編, P-SC 230 音響情報および音響エネルギーの解析と利用に関する調査研究分科会成果報告書 (1995-9).
- (2) 佐藤太一・向井有吾・田中基八郎, 自動車ドア閉音の波形パターンと識別, 第 47 回応用力学連合会講演会, (1998-1), 289-290.
- (3) 佐藤太一・向井有吾・田中基八郎, 音の波形とその識別についての検討(バイオリンの音の場合), VSTech'97 振動・音響新技術シンポジウム講演論文集, (1997-9), 157-160.
- (4) 岩瀬昭雄・阿部司・真秀豊, 音響・振動によるコンクリート構造物のひび割れ剥離の非破壊診断方法, 日本機械学会・日本音響学会共催シンポジウム, (2000-3), 121-124.
- (5) 豊田利夫, 振動・音響による設備診断, 日本機械学会・日本音響学会共催シンポジウム, (2000-3), 23-28.
- (6) 桑野園子・難波精一郎・ほか 2 名, 警告信号音の危険感と音色の関係, 日本音響学会講演論文集, (2000-3), 691-692.
- (7) 田中基八郎・松原謙一郎・佐藤太一, 機械の異常音の擬音語表現, 日本音響学会誌, 53-6(1997), 477-482.
- (8) 平原達也, 音声工学と聴覚科学, 日本音響学会誌, 53-9(1997), 714-719.
- (9) 永幡幸司, 視覚障害者が音から場所を特定する過程について, 日本音響学会誌, 56-6(2000), 406-417.
- (10) 中川紀壽, 機械の音響問題に関する研究論文集, 広島大中川研究室, (1992-5).
- (11) 日本サインデザイン協会編, 音による新しいサインデザイン活動領域形成のための調査研究事業報告書, (1999-2).
- (12) 日本サインデザイン協会編, 聴覚的バリアフリーをめざしたモデルサイン音の試作実験事業報告書, (2000-2).
- (13) 長町三生, 言葉の響きに関する感性工学, 日本音響学会誌, 49(1993), 638-644.