

# 音が人に効果を与える技術に基づくサウンドデザイン

## The Sound Design Based on the Technology about the Effect of Sound on People

精密工学専攻 29号 根田 祐介  
Yusuke Neda

### 1. はじめに

私たちは日常生活の中で、様々なかたちで音と関わりを持っている。家庭やオフィス、教育施設などの室内空間では会話によるコミュニケーションを行い、鉄道や道路周辺などの屋外空間では、列車や自動車などから発生する交通騒音によって、周辺の人は不快に感じたり建物内の人へ対して作業効率を低下させるなどの悪影響を与えている。一方、木々の揺らぐ音や川のせせらぎなどの音は、人の心理生理に良い効果を与え、自動車車室内などの移動空間においても、コミュニケーションが行われたり運転支援の音声ガイドを利用したりすることで、音が有効に利用されている。

このように、空間によって音と人との関わり方は異なる。また、音を聞いている人々も年齢による違いや障害者など、千差万別である。音環境を改善することで生活を豊かにすることを考える際に、これらの要素は複雑に影響し合うため、予測した結果を得ることは難しいことが多い。また、音の感じ方は個人差があるため、音による効果の評価方法はまだ確立していない分野もある。

そこで本調査研究では、音環境に関する問題点の全体像を把握し、幅広い視野を持って音環境のトータルコーディネートを目指した考察を行う。

### 2. 音と環境の関わり

人は、様々な環境において音と関わりを持っている。そして、環境により音の効果が大きく異なっていることが特徴として挙げられる。本章では Fig. 1 に示すような音と環境の技術関連図に基づき、様々な場所における人間に対する音の効果を理解し、この効果に基づく音環境づくりのための手法を提案することを目的とした考察を行う。

#### 2.1 オフィス

オフィスでは、作業効率を考慮した音環境づくりが重要である。騒音の認知・情緒レベルでの不快感を表す尺度であるアノイアンスは、在室者を覚醒させ、作業効率を向上させる

可能性がある。そこで、覚醒度の異なる作業を設定し、室温と騒音による二重アノイアンスが在室者の知覚及び作業効率へ及ぼす影響の度合いを考察した調査<sup>(1)</sup>がある。調査において、作業課題を用いた実験により、作業の種類によってアノイアンスから受ける影響は異なるという結果が得られている。

また、知的生産性に関する研究<sup>(2)</sup>では、計算作業による実験において、騒音を提示しない条件のほうが女性の正答率は有意に高かった。また、記憶作業では騒音条件間で有意な差は見られなかった。需要度のような個人ごとの室内環境への評価は、集中度や疲労などの作業状態に影響を与える可能性がある。よって、騒音環境が作業効率に与える影響を評価する際には、室内環境に対する個人の評価などの人体反応も合わせて評価することが重要であると考えられる。そして、室内における音環境を積極的に制御し、目的の作業に最適な環境にすることで生産性を向上できると考えられる。

難聴者に対する配慮についても研究が行われている。その一例として、難聴者が会議に参加する際、話者との距離が遠いために発言を聞き取ることができない問題を取り上げ、これを解決するシステムが提案されている<sup>(3)</sup>。客観的評価実験と主観的評価実験を行った結果、本システムは聴感的にかなり雑音を抑圧でき、発信者音声の劣化も少ないとの結果を得ている。また、会議において伝音難聴者の情報保障を行う支援システムの提案もされている<sup>(4)</sup>。

その他のオフィスにおける機能の一つとして、会議室や打ち合わせスペースなどでの会話を周辺の執務者に聞かれないようにすることが求められる。そこで、隣り合う空間から漏れてくる会話に対するマスキングを考え、実際のオフィスの会議室と打ち合わせスペースでマスキング音の付加による効果について聴感実験を行った例<sup>(5)</sup>がある。この実験結果より、Fig. 2 に示すように、マスキング音を付加することで一定の評価の向上がみられた。サウンドマスキングを導入する際には、それぞれの場所に適したマスキング音の検討が必要であると考えられる。

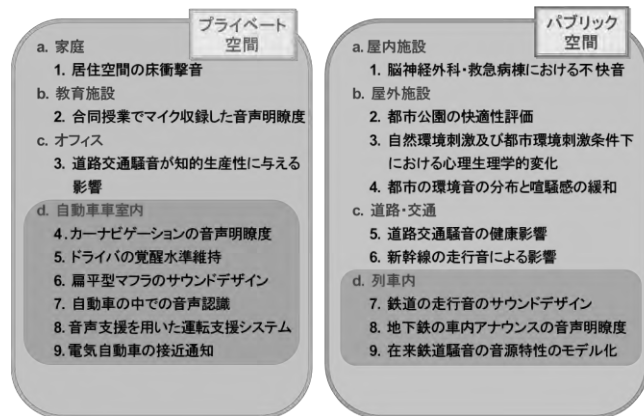


Fig. 1 Relation of sound and environment

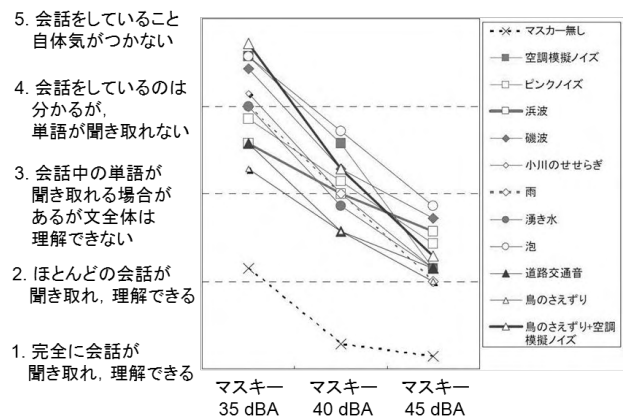


Fig. 2 The evaluation result of the difficulty of catching

## 2.2 公共施設

病院の音環境の改善は、患者の療養生活を快適にするためには重要である。脳神経外科や救急病棟の夜間騒音源と考えられる音の騒音レベルの測定および考えられる対策を実験的に行い、その対策の効果を検討した調査<sup>(6)</sup>では、10項目の騒音源測定の結果、全ての項目においてWHOが推奨する夜間発生最大音が40 dB以下という環境基準を大きく上回る騒音レベルを示している。特にトイレに関する音はいずれも騒音レベルが高い。この結果から考えられることは、騒音に対する意識付けをすることで騒音レベルは有意に下がるということであり、患者や看護師への意識付けの重要性を示している。

近年の都市の活性化の中で、中庭的空間は喧騒を緩和するために有効な空間構成と考えられる。欧州の路地—中庭的空間に見られるような騒音の緩和効果をもたらす空間構成を我が国において実現するための方策を探った調査<sup>(7)</sup>では、現存する空間を対象に音響心理実験を行い、環境音の分布とその印象の関係を検討した。その結果、交通音などの人工音は騒々しく不快で退屈なグループへ、逆に水の音や鳥の鳴き声などの自然音は快く楽しいグループに分類されている。

上記の調査を裏付けるものとして、自然の修復的効果を、皮膚伝導水準(SCL)と心拍(HR)という心理生理学的指標を用いて評価することを試みた調査<sup>(8)</sup>がある。調査の結果、自然環境刺激はリラックスを、都市環境刺激は退屈をもたらすことが分かっている。

## 2.3 道路や鉄道に近接する空間

道路交通騒音の低減対策を有効に実施するためには、その効果をシミュレーションモデルによって事前に評価することが重要である。道路交通騒音の低減対策としては、発生源対策、交通流対策、伝搬対策などがあり、シミュレーションモデルによってこれらの対策の効果が評価できることが望ましい。道路交通騒音問題への取り組みに関する論文<sup>(9)</sup>の著者らは、多くの信号交差点や複雑な道路網を有する一般市街地道路を対象として、音源対策の効果予測に有効なモデルと交通流対策の効果予測に有効なモデルの開発を行っている。

鉄道に関しては、2014年に開通予定の北陸新幹線沿線住民を対象とした社会調査を実施した例<sup>(10)</sup>がある。この調査によると、自宅周辺の静けさは32.5%の回答が良い側であり、道路交通や鉄道による騒音のアノイアンスも「だいぶ」以上がそれぞれ11.8%と14.5%であることから、現状における調査対象地域は比較的静かであることが示されている。

## 2.4 自動車車室内空間

近年、自動車の安全性および快適性への要求は一層高まっており、音声ガイドを応用したカーナビゲーションシステムなどの車内端末の普及が急速に進んでいる。車内の音声ガイドは必然的に走行騒音の影響を受けるため、音声の認識を妨げられてしまうことが問題とされてきた。そこで、圧電スピーカと小型動電スピーカとの相互比較を行い、再生音と子音の明瞭度との関係を明確化することにより音声明瞭度の向上に役立てることを目的とした研究<sup>(11)</sup>がある。同研究の実験結果より、音声明瞭度は音節・子音ともに騒音下で圧電スピーカの方が高いことを確認している。

また、音楽の効果によってドライバの状態を運転に適した状態に促すことが出来れば、音楽は運転支援の一要素になりうる。この事を背景として、運転中の音楽が運転に与える影響についての研究例<sup>(12)</sup>がある。実験結果より、運転中に聴く音楽として適切な音楽は“適度な音量でテンポが遅く好きな音楽”ということができ、音楽は運転に良くも悪くも影響を与え、適切な音楽は安全運転支援の一要素になりえることが分かっている。

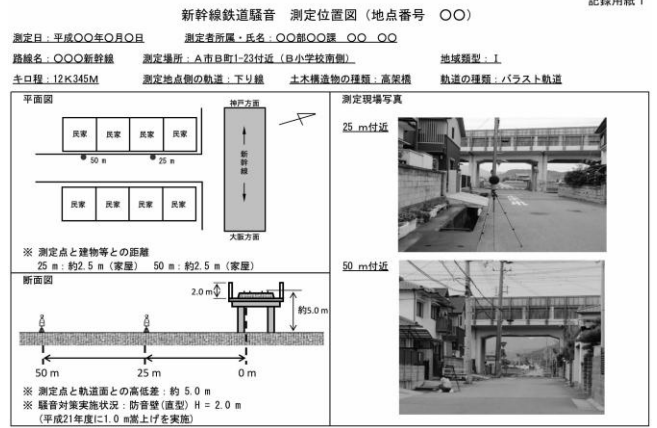


Fig. 3 The measurement position of shinkansen line noise

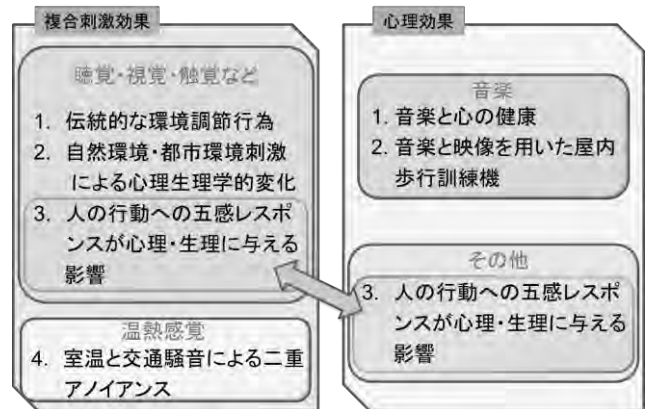


Fig. 4 The technical related figure about the compound stimulative effect and placebo effect by sound

## 2.5 まとめと考察

空間によって人が感じている音に関する問題点にはそれぞれ特徴があり、音に求められている効果も多様である。また、音環境の改善に欠かせないのが音質評価であり、この評価方法が確立されていないために有効な改善策を提案できていない研究も多数ある。例えば、Fig. 3に示す鉄道騒音の測定法<sup>(13)</sup>のような手法を確立させることが望ましい。以上より、各空間に求められる効果とその特徴をよく理解し、その上で信頼性の高い客観的評価法を探ることが重要と考えられる。

## 3. 人への複合刺激による効果

2章では、音人が人に対して様々な効果があることを述べた。そして、音による聴覚刺激だけではなく視覚や触覚などの他の感覚刺激を同時に受けることによって、人はさらに多彩な効果を得ることができると考えられる。本章では、Fig. 4に示すような、聴覚刺激とその他の刺激を組み合わせた効果について述べ、その効果の有用性について考察する。

### 3.1 運転中における聴覚と視覚および操作による複合刺激

運転者へ与える複合刺激は、運転の快適性および安全性の向上に利用することが検討されている。電気自動車の走行映像および運転操作による複合刺激下において、車室内音に対する印象変化や擬似走行音が快適性に与える影響について調査した研究<sup>(14)</sup>では、暗騒音に対して適切なバランスの擬似モータ音を提示した場合に快適性が向上することが確認できており、運転操作の有無によって車室内音の印象が変化する

ることが分かっている。

また、近年、運転中における集中力の低下による交通事故を防ぐために、注意喚起の音声情報やそれを聞き逃さないための安全運転支援システムが注目されている。そこで、脇見運転防止のための警報システムの研究<sup>(15)</sup>では、警報音と振動の複合刺激による警報システムを適用することで、黄色信号に変わってからブレーキを踏み始めるまでの反応時間が早くなるという実験結果が得られている。この結果より、警報システムを適用することによって、状況判断の遅れから信号無視を起こす危険性を低減でき、安全性が向上すると考えられる。

視覚・運動連携に対する聴覚刺激の抑制効果について検討した研究<sup>(16)</sup>では、運転時に聴覚刺激と視覚刺激を同時に被験者に与え、それら二つの刺激に対する課題を同時に遂行する二重課題を行った実験の結果、視覚的作業は聴覚的作業の影響を受けパフォーマンスが低下することが確認されている。

### 3.2 聴覚と色覚による複合刺激

建築空間において、人間の聴覚刺激に対する感覚的評価が内装仕上材の色彩などの視覚刺激によって受ける心理的影響や効果を検証するため、シミュレーションルームで複合環境下での被験者実験を行った研究<sup>(17)</sup>がある。実験結果より、色によって音の印象はかなり変化することが分かっており、否定的な印象が肯定的に変わるなど興味深い結果も出ている。

さらに、呈示音として雑踏と交通騒音を合わせて使用した実験<sup>(18)</sup>の結果では、音圧レベルが低いほうが評価が肯定的になる傾向がある。この結果より、交通騒音のような不快な印象を与える音の場合、音圧レベルが低い状態で色光刺激があることで不快感を和らげる効果が期待できる。

### 3.3 複合刺激の効果

音楽と映像によるストレス抑制効果を用いた歩行訓練システムの開発を目指した研究<sup>(19)</sup>において、歩行訓練に適したリズムを持つ音楽と映像を使用して歩行訓練が効果的に行われるか調査し、音楽と映像によるストレス抑制効果を検討した例がある。実験結果より、音楽ありの場合のほうが実験中の心拍数が安定していることが分かり、特に休憩中の心拍数に大きな違いがみられた。一方、映像による癒しの効果を確認することはできなかった。

また、今日我が国の高密度化が進んだ大都市では、幹線道路や鉄道沿線へ隣接して住宅地開発がなされることが珍しくないため、複数の異種音源によって構成される複合騒音の評価が重要となっている。道路交通騒音と在来線鉄道騒音に注目して、戸建および集合住宅に対する複合騒音の評価について検討した研究例<sup>(20)</sup>がある。この研究における調査では、個別の騒音のアノイアンスは音源種別で差がほとんどないが、住宅種別では集合住宅の反応は戸建住宅より低い傾向にあるという結果がある。

### 3.4 まとめと考察

音による聴覚刺激と視覚刺激などを組み合わせた複合刺激は、音のみによる聴覚刺激よりも有益な効果が得られることが多い。逆に、作業に対する複合刺激や複合騒音などは、単体刺激よりも人に悪影響を与える恐れもある。

また、複合刺激による効果を生体情報を用いて客観的に評価することは個人変動が大きいいため難しい。効果を正確に把握するためには、実験方法や、生体情報などを利用した評価方法を様々な角度から検討することが重要と考えられる。

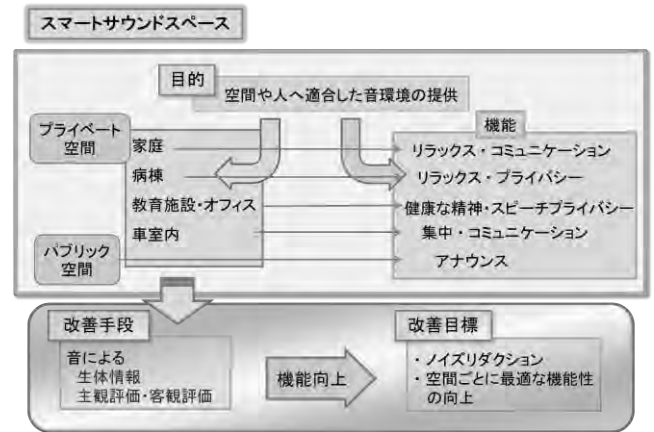


Fig. 5 The smart sound space in various environment

## 4. スマートサウンドスペースによる機能的な音環境の提案

私たちが生活している様々な空間における騒音問題の対策として、音圧を低減して低騒音化する試みがなされてきた。しかし、低騒音下することによって今まで気にならなかった小さな騒音が顕著となり、結果として騒音に対する人々の不満は減らないことが多々あった。そこで、単純に音圧を減らすのではなく、音響シミュレーションで周波数特性や減衰特性などを変更し、音質変更を行うことによって製品の付加価値を高める試みがなされるようになった。さらに近年では、様々な空間に対しても、目的とする活動を支援する機能を持たせる研究が着目されている。

### 4.1 スマートサウンドスペースとは

スマートサウンドスペース (Smart Sound Space) とは、音響空間の改善によって、その空間にいる人々の様々な活動を支援する機能を持たせた空間のことである。その対象となる空間は、家庭、自動車、医療機関、教育機関、オフィス、店舗や公共空間など、多岐に渡っている。例えば、オフィスは主に作業を行うための空間であることから、音響空間の改善による知的生産性の向上が期待される。また、運動やリハビリを行う際には、実施空間に適切な機能を付加することで、心身への負担を減らしたり活動意欲を高めたりすることが考えられる。本章では、スピーチプライバシーや、空間の機能性向上のためのスマートサウンドスペースについて、研究事例を交えながら考察する。スマートサウンドスペースの例を Fig. 5 に示す。

### 4.2 オフィスのスマートサウンドスペース

オフィスにおけるスマートサウンドスペースの機能の一つに、マスキングによって会話を周辺の執務者に聞かれないように遮断するといったスピーチプライバシーの機能が挙げられる。そして、マスキングの一つの手法として、会話エリア外の環境騒音レベルを会話エリア内よりも高くなるようにデザインすることが話し手の声の遮断対策になる。これをオフィスにおけるマスキング音付加による効果についての研究例<sup>(21)</sup>に当てはめて考えると、会議室内の騒音レベルは小さく抑え、部屋の外の騒音レベルを適当な値に上げることになる。これにより、必要な会話のみを聞き取ることができるようになると考えられる。

また、MFPのモノクロコピ音に着目し、非正常音のリズム感の音質評価を行った研究例<sup>(21)</sup>がある。この研究では、MFP動作音のリズム感評価、実機周辺部から発生する音のリズム感評価、音響解析を用いた紙衝突音の音質変更、生体情報を用いたストレス変動による聴き慣れを評価する手法の検討

などを行った。その結果、動作音の過渡部を等間隔に配置することでリズム感を向上できることが分かっている。また、唾液アミラーゼ活性値の変動により聴き慣れを把握し、聞き慣れるタイミングを把握できる可能性があることが分かった。そして、リズム感の向上によってオフィスにおける作業効率を向上させることが期待でき、MFP 動作音の改善はスマートサウンドスペースに貢献できると考えられる。

#### 4.3 自動車車室内のスマートサウンドスペース

自動車車室内の音環境に関しては、車室内に複数のスピーカを設置し、指向性を用いて運転席と後部座席の空間を分割することにより音場制御を試みた研究<sup>(22)</sup>がある。これは、運転者は覚醒を維持させ、後部座席は安らげる音環境を構築するなど、音場を分割して異なる機能を持たせる事を目的としている。研究結果より、車室内の一部領域へ必要なアナウンスや音楽を流したり、スピーチプライバシーへの応用などが期待される。

また、交通事故が多発する要因の一つとして、高速道路の走行のような単調運転での覚醒水準低下がある、そこで、実際の運転のシミュレーションを行い、意識されにくい様々な提示音を聞かせた際の運転者の覚醒水準を調査した研究例<sup>(22)</sup>がある。実験より、高覚醒水準時心拍相当(80 回/分)の1/f ゆらぎに合わせたランダムな感覚で音圧を変化させた提示音が最も覚醒効果が高いことが分かっており、走行音に好みの音楽や覚醒音を加えると比較的長く覚醒水準を維持できることが示唆され、安全性の向上が期待できる。

#### 4.4 まとめと考察

五感の一つである聴覚を積極的に活用して音作りを行うことによって、様々な空間で人の機能性の向上が期待できることが分かった。また、スピーチプライバシーの確保についての事例はまだ少ないが、スマートサウンドスペースの実現のためには有用であると考えられる。

## 5. 研究成果

- (1) 空間別による人と音の関わりについて調査を行うことで、知的生産性や心理生理的効果、音声明瞭度など様々な観点から音環境の改善を図るべきであることが分かった。
- (2) 人への複合刺激は、単体刺激よりも多彩な効果が得られることが期待でき、様々な環境において複合刺激の有用性を確認できた。
- (3) 様々な空間に音刺激による効果を積極的に取り入れることによって、空間に適した機能性を向上できることを確認した。

#### 参考文献

- (1) 玉木元太郎, 岩下剛, 仲川純子, “室温及び交通騒音の二重アノイアンスが作業効率へ及ぼす影響に関する研究 その1 実験方法及び作業効率の結果”, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 1147-1148, (2008).
- (2) 羽田正沖, 西原直枝, 田辺新一, “道路交通騒音が知的生産性に与える影響に関する被験者実験”, 日本建築学会環境系論文集, 73(625), pp. 355-362, (2008).
- (3) 佐々木智章, 松本哲也, 竹内義則, 工藤博章, 大西昇, “難聴者のための, 会議における発言聴取支援システム”, 電子情報通信学会技術研究報告, 107(555), pp. 91-96, (2008).
- (4) 佐々木智章, 松本哲也, 竹内義則, 工藤博章, 大西昇, “伝音難聴者のための会議聴取支援システムの提案”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp. 379, (2007).

- (5) 小林秀彰, 嶋田泰, 岩本毅, 赤尾伸一, “実空間のオフィスでのサウンドマスキングの効果について”, 日本建築学会学術講演梗概集, 2010, pp. 347-348, (2010).
- (6) “脳神経外科・救急病棟における入院患者が不快に感じる夜間の音の検討 第2報”, 山梨大学看護学会誌, 7(2), pp. 30, (2009).
- (7) 佐藤 哲身, “都市の環境音の分布と喧騒感の緩和”, 北海学園大学工学部研究報告, 35, pp. 65-72, (2008).
- (8) 渡辺恒夫, 小久保秀之, 高澤健司, 河野貴美子, “自然環境および都市環境刺激条件下での心理生理学的変化”, Journal of International Society of Life Information Science, 26(1), pp. 106-111, (2008).
- (9) 押野康夫, “道路交通騒音問題への取り組み 道路交通騒音シミュレーションモデルの開発”, 日本音響学会誌, 66(11), pp. 559-564, (2010).
- (10) 森原崇, “北陸新幹線沿線地区における生活環境に対する意識調査”, 日本建築学会北陸支部研究報告集, (51), pp. 181-184, (2008).
- (11) 三浦正範, 井坂秀治, 鈴木勝義, 鈴木健一, “圧電スピーカを用いたカーナビゲーションの音声明瞭度に関する検討”, 日本機械学会, Dynamics & Design Conference 2007, pp. “321-1”-“321-5”, (2007).
- (12) 溝口 佳祐, 津川 定之, “音楽が自動車の運転に与える影響”, 電気学会研究会資料, 2011(1), pp. 5-10, (2011).
- (13) 環境省, “新幹線鉄道騒音測定・評価マニュアル”, (2010).
- (14) 渡邊泰英, 曹浣豪, 浅原康之, 戸井武司, “視覚情報および運動動作による快適なEV車室内音の印象変化に関する研究”, 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, pp. 977-978, (2011).
- (15) 谷川裕樹, 曹浣豪, 森田和元, 関根道昭, 田中信壽, 戸井武司, “警報システムによる脇見運転防止”, 音講演(春), 2-8-12, (2012).
- (16) 橋口智典, 佐藤秀司, 宮園博光, 荻木禎史, 宇佐川毅, 江端正直, “聴覚刺激受聴時における視覚・運動連携に対する抑制効果 視覚的作業の難易度操作の影響”, 電子情報通信学会技術研究報告, 102(264), pp. 13-18, (2002).
- (17) 猪股泰太郎, 戸井田義徳, 杉野潔, 伊藤直明, “色光刺激が音環境評価に与える影響 その1 実験施設と方法の検討”, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 903-904, (1993).
- (18) 戸井田義徳, 猪股泰太郎, 杉野潔, 伊藤直明, “音と色光の複合刺激による環境の評価に関する研究”, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 1987-1988, (1994).
- (19) 上杉一秀, 服部隆裕, 岩田大助, 清田公保, 足達義則, 鈴木昭二, “音楽と映像のストレス抑制効果を用いた実時間体調モニタ付き屋内歩行訓練機の開発”, Journal of International Society of Life Information Science, 26(1), pp. 112-116, (2008).
- (20) 太田篤史, 横島潤紀, 田村明弘, “道路交通騒音と鉄道騒音の音源間の反応差 複合騒音の評価指標に関する研究”, 日本音響学会誌, 66(11), pp. 531-540, (2010).
- (21) 小澤信司, 戸井武司, “定常音と過渡音のバランスを考慮したリズム感の向上”, 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, pp. 1103-1104, (2010).
- (22) 戸井武司, “自動車における音のデザイン”, 騒音・振動研究会資料, N-2011-56, 日本音響学会, pp. 1-8, (2011).