

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H01790

研究課題名(和文) 公共空間の安全性確保を目指した可聴型音響設計システムの構築

研究課題名(英文) Acoustic design system using auralization techniques to ensure the safety in public spaces

研究代表者

佐藤 史明 (SATO, Fumiaki)

千葉工業大学・創造工学部・教授

研究者番号：50286150

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 27,700,000円

研究成果の概要(和文)：公共空間では、平常時の案内アナウンスなどの明瞭な音声情報伝達はもとより、非常災害時には、音声あるいはサイン音による警報や避難誘導情報の的確な伝達が必要である。この課題に対処していくためには、様々の関連分野(建築音響学、音声、電気音響、信号処理、認知心理学など)を統合して取り組むことが重要である。そこで、5つの要素研究(1:音環境、2:電気音響システム、3:音声合成、4:サイン音、5:聴覚と視覚の相互作用)を設定し、それらで構成される可聴型音響設計システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：In public spaces, not only human conversation and ordinary public address announcements but also warnings and evacuation information in an emergency must be clearly transmitted. To tackle this theme, comprehensive research is needed not only by building acoustics but also by speech science, electro-acoustics, signal-processing, cognitive psychology and so on. Then, five components which were 1: sound environment and acoustical transmission characteristics in public spaces, 2: electro-acoustic system, 3: speech synthesis, 4: sign-signal design, and 5: auditory perception and cognition were set, and an acoustic design system using auralization techniques combined with the five components was built.

研究分野：建築環境音響学

キーワード：音響情報 音環境 公共空間 広域放送 明瞭性 防災 減災 人間生活環境

1. 研究開始当初の背景

我々は平成 17 年度より音響情報フロンティアセンターを学内に組織し、音の情報性・文化性・福祉性・安全性・快適性について議論を重ねてきた。その中で、音響情報による安全確保の手法の開発が一つ喫緊の課題として挙げられた。都市部で集中豪雨が多数発生し、“ゲリラ豪雨”という呼称が一般に広く使用されるようになったのは平成 20 年である。不特定多数の人々が行き交う公共空間では音の情報性が極めて重要であり、安全性の確保のためにも確実な音響情報伝達の実現の必要性を強く認識し、平成 22 年度から平成 24 年度においては“公共空間における安全確保のための音響情報伝達に関する研究（基盤研究 A、課題番号 22241040）”を遂行した。平成 22 年度の末には、3.11 東日本大震災に見舞われたことは未だ記憶に新しい。本研究は上述の科研課題をさらに深化させるべく実施したものである。

2. 研究の目的

公共空間では、平常時の案内アナウンスなどの明瞭な音声情報伝達はもとより、非常災害時には、音声あるいはサイン音による警報・避難誘導情報的確な伝達が必要である。しかしながら、実際には音響情報による伝達が困難となっているケースも少なくなく、東日本大震災の際には、一段とその重要性が認識された。このような問題を解決するためには、各種公共空間の音環境条件、拡声システムの特性・性能、音源信号となるアナウンスやサイン音の設計などに関する検討が必要である。それと同時に、情報の受け手である人の聴覚特性と視覚特性の相互作用に関する検討も必要である。そこで本研究では、様々な公共空間を対象として音響情報伝達システムの性能向上を目的とし、その具体的方法として可聴型音響設計システムを構築する。

3. 研究の方法

公共空間における明瞭かつ的確な情報伝達を確保するという課題に対処していくためには、様々の関連分野（建築音響学、音声、電気音響、信号処理、認知心理学など）を統合して取り組むことが重要である。幸い、我々の研究グループは上記の各分野を専門とする者の集まりであり、そこで、5 つの要素研究（1:音環境、2:電気音響システム、3:音声合成、4:サイン音、5:聴覚と視覚の相互作用）を設定し、各要素研究の深化と各要素研究で構成される 3 次元音環境シミュレータの深化を並行して進めていくことで可聴型音響設計システムの構築を図った。

4. 研究成果

(1) 音環境

① 実測調査と改善法の検討

公共空間及びトンネル内の音場を対象に

インパルス応答のシミュレーション計算結果から明瞭度指数の算出を行った。実際のトンネル内の寸法と音源の指向特性（実測値）を用いてスピーカの設置位置・向きについて 8 条件を設定し、音源の前後 25m から 400m までの距離減衰特性を算出した。後方への距離減衰特性では、2kHz で約 9dB、4kHz で約 5dB の差があり、この結果はスピーカ後方への音の伝搬によるロングパスエコーを軽減するために有効な手段となると考えられる。8 条件におけるスピーカ単体での STI は 0.40 から 0.46 となったが、複数音源の明瞭性についてはさらに検討を要する結果となった。

② 吸音材の配置の効率に関する検討

数値シミュレーション技術を用いて、小会議室規模の部屋と体育館規模の部屋を対象に吸音材の効率のよい配置法に関する検討を行った。その結果、音源と受音の位置を考慮して吸音材を配置することにより、同面積の吸音材を効果的に配置する案を幾つか示した。

③ 測定効率向上のためのロボティクス技術

音場のインパルス応答をロボティクス技術を用いて自動的・自律的に計測する手法を開発した。また、音環境の快適さや明瞭化を目指して、周囲の環境を把握しながら吸音材の配置位置を動的に変化させ決定する調音ロボットを設計開発し、会議室程度の広さの室内における音場への作用について実験的な検討を行った。

④ 反射物を推定する新しい測定法

ロングパスエコーは、屋外拡声放送を聴取する際に内容把握の妨げになる。ロングパスエコーを生成している要因を特定し、その原因次第では、屋外拡声放送子局の適応制御により改善が期待できる。また、行政管理下にある屋外拡声放送子局の品質改善においては、聞こえづらさの改善を期待する市民、その連絡を受ける行政に音の専門家を配置することは限られた予算においては困難である。聞こえづらさを改善するためのプロセスにおける人的、時間的コストの削減が期待できる。このような視点の下、複数の聴取位置での反射音を含む信号を観測することにより反射物候補位置を推定し、それを可視化するシステムの検討を行った。観測信号を簡単に収集できるためのユーザーインターフェースを設計し、それを普及が進みつつあるスマートフォンに実装した。スマートフォンで収集したモノラル音響信号をサーバーのデータベース(MySQL)にプッシュし、そのデータ群に基づいてサーバーにて反射物の位置推定を行うシステムを実装した。推定したデータを簡単に可視化するためのアプリケーションソフトウェアを汎用的なウェブブラウザで可視化するために JavaScript を中心に作成した。推定精度を検証するためのフィールド実験を実施するフェーズまで実現できた。

(2) 電気音響システム

① スピーカの指向性の検討

指向特性の異なる 3 種類のスピーカ形式（ホーン型、ラインアレイ型、平板型）について、シミュレーション計算によるインパルス応答を合成して、25m 点～100m 点までの明瞭性指数を求めた。その結果、いずれのスピーカについても時間遅延を行うことで明瞭性が改善されること、ホーン型<ラインアレイ型<平板型の順で明瞭性が改善される結果となった。各音源の設置位置および方向についての検討を行い、最適な設置条件を検討する必要がある。

② 模型実験用スピーカの開発

屋外の拡声システムでよく用いられているホーンスピーカ（TOA TC-730M）の模型実験用の音源を開発した。ホーン部は 3D プリンター（Abee SCV-C170-S）を用いて成型し、ドライバー部にはイヤホンを使用した。縮尺比は 1/10、1/20、1/30 とした。すべての縮尺比において所望の指向特性を示す模型実験用音源の開発に成功した。

(3) 音声合成

① 帯域強調の検討

響きのある音声や明瞭な音声に関与しているとされる 2.5kHz～3.3kHz 付近の帯域を強調したアナウンス音声と強調しないアナウンス音声を用いて残響環境下でのアナウンス文の理解度測定を 15 名の被験者に対して行った。その結果、帯域強調したものは帯域強調しないものに比べ、約 5% の理解度向上が見られ、その分散も小さくなる傾向が観測された。さらに同様の刺激を用いて残響環境下での理解度や聴き取り難さに関する検討を 20 名の被験者に対して行った。その結果、理解度は大きく変化しないものの、3dB～6dB 程度帯域強調した方が聞き取りやすく感じ、特に残響音と音声のレベル差がほとんど無いような場合に効果が大きいことがわかった。

② 話速やポーズ時間の検討

放送文の話速やポーズ時間はどのように設定すれば聞き取りやすく理解しやすくなるのかについて 20 代健聴者と 65 歳以上の高齢者を対象に聴取実験を行い検討した。聴取実験結果から、20 代男女では話速やポーズ時間の違いによる文章理解度に差は認められなかったが、高齢者では話速よりも句読点に対応するポーズ時間の長さを適切に設定することが聞き取りやすさや理解の向上につながることを示唆された。さらに、文中のキーワードの位置やキーワード数と聞き取りやすさや理解のしやすさの関係について聴取実験により検討した。聴取実験の結果、聞き取りやすく理解しやすい放送文は、最も重要なキーワードを文頭あるいは文末に配置することや伝えたいキーワード数は、1 文章中に 2 個程度にすることが適切であると考えられた。これらの結果は、公共放送文の作成やアナウンス方法に有用な指針を与えるも

のである。

③ 制御方法とそのための客観評価量

残響下で合成音声を明瞭化するためには、合成時のパラメータを制御することが有効であるという観点から、客観評価量を用いた閉ループ制御方式を提案した。この方式は「音声合成装置」として特許取得している。上記方式を具現化するためには、主観的な音声明瞭度と相関の高い客観評価量が必要となる。そのため、信号対残響比（SR 比）、スペクトル歪（SD）や周波数軸のメル尺度化などを導入し、主観評価値と高い相関が得られる客観評価量を模索した。その結果、残響下での音声明瞭度の客観的尺度である、STI（Speech Transmission Index）を合成音声パラメータに依存可能に改良した STI_{dos}（Speech Transmission Index depending on speech）を新たに提案した。STI は空間の伝搬特性にのみ依存する評価量であり、音声合成にける制御パラメータ（話速、話者、ピッチ、ポーズ等）に対しては非依存である。当該方式はこれを依存可能とし、STI よりも主観評価値と高い相関のあることが確認された。今後は音声合成器の制御に利用し、評価試験を行う予定である。

④ 緊急性に関する検討

注意を喚起する音声の生成のため、緊急性を有する音声を収録分析し、得られた傾向に基づく変換ルールを作成した。モーラ数 2 から 7、アクセント型 0 から 6 のフレーズを各 2 種類用意し、それぞれ平常時と緊急時を想定して 3 名の話者が読み上げた音声を分析した。STRAIGHT による分析の結果得られた各モーラ毎の音高（基本周波数）、継続長、スペクトル傾斜の変化率をもとに平常音声から緊急音声への変換ルールを作成し、変換前後で緊急性に関わる印象がどのように変化するかを聴取実験により評価した。実験の結果、継続長（話速）が緊急性を伝えるのに大きな影響を与えることが明らかとなった。

(4) サイン音

① 実測調査

横断歩道のサイン音について実測調査を行い、音圧レベル、周波数特性、暗騒音などについて音響特性の解析を行った。サイン音の A 特性音圧レベルは、暗騒音の最大値と最小値の間にあり、SN 比がもっとも低い場合 -10dB、もっとも良い場合 10dB となった。サイン音の周波数特性は 1kHz～1.6kHz にピークを持っており、道路交通騒音などの暗騒音とはスペクトルが異なるものの、サイン音の音圧レベル自体が小さく設定されている場合には、聞き取り難い場所も存在する結果となった。

② サイン音の信号特性と主観判断

避難誘導のためのサイン音はそれがどこで発せられているか検知しやすくなければならない。具体的にはサイン音の音像がぼけずその幅が狭いことである。これまで音場の

残響が付加される前のサイン音を直接ヘッドホンで聴取しても音像に幅があることを明らかにした。ここでは音像の幅とサイン音の物理特性の関係をラウドネスの影響を分離して知るために、音像の幅に関する主観的等価値を求めた。その結果、サイン音の持続時間が短いほど、あるいはパワースペクトルの高域成分が強いほど音像の幅が狭まることが確認された。

残響がある場合、音像の幅は有限な持続時間 T_d のサイン音が停止する直前に最大となり、停止後は残響による拡がり感となる。この最大となる音像の幅を残響音場における音像の幅とした。また、評価に用いる物理特性は同じくサイン音停止直前の過渡的両耳間相関関数の極大値 ρ_E とした。音源受音点間距離の異なる両耳インパルス応答を用いると、様々な T_d と ρ_E が組み合わされたサイン音が得られる。これらを用いて聴取実験を行った結果、音像の幅は T_d が長いほど、また ρ_E が小さいほど増加する。すなわち T_d が長くても ρ_E を大きくすれば同じ音像の幅のサイン音となる。この関係を T_d と ρ_E の平面上に等音像幅曲線として表すことができた。この結果からサイン音の構成中に短い持続時間の音を加えれば残響があっても音像の幅が小さくなり、音源方向が知覚しやすくなることが判明した。

残響によるサイン音の音像のぼけを軽減するには、スピーカの指向性を鋭くし、直接音成分の比率を高めれば良い。しかし、スピーカの拡声方向に大きな反射面が存在すると単一の顕著なエコーが聴取位置に戻ってくる可能性がある。そこで単一エコーが音源方向の判断にどのような影響を与えるかを聴取実験により調べた。目隠しして回転いすに座らせた被験者がサイン音提示後音源方向に向くまでの時間を計測した結果、直接音が真後ろから提示されたとき判断時間が顕著に長く、単一エコーはさほど判断時間を増加させず、その入射方向による差も見られなかった。しかし、この実験から後方にはなるべく避難誘導のためのスピーカを配置しない方が良いことがわかった。

(5) 聴覚と視覚の相互作用

① 避難指示のタイミング

3DCG による仮想的な迷路上で合成音声による方向指示を行い、定位感の付与が移動の円滑さに与える影響を検討した。定位感の有無自体の影響は確認されなかったが、音声による指示のタイミングが移動の円滑さに影響していることが明らかとなった。

② 「迷いやすさ」に関する視覚情報の影響

高残響下でのサイン音に基づく避難行動の特性を調べるために、仮想的な地下街内での移動方向判断を求める心理実験を行った結果、スピーカの配置や視覚情報の有無により「迷いやすさ」が異なることを明らかにした。

(6) 3次元音環境シミュレータ (開発)

① 6ch. 収音-再生システム

従来方式の収音システムではおよそ 2kHz 以上の周波数帯域ではマイクロホン間隔に起因する音源方向の再現性 (インテンシティのベクトル成分) が低下していたが、間隔を変化させて方向の再現性を検討したところ、15mm 間隔にした場合に 4kHz 帯域でも十分な方向精度が得られた。この収音システムにより、航空機 (ヘリコプター) の飛行位置同定、風車の羽の発生音の位置同定などの実測に応用したが、現場での設置方向を正確に決定する方法が、位置同定に影響を及ぼすことが問題となった。また、6ch. 収音-再生システムによる再生音場は自由音場 (無響室) である必要があるが、一般室を用いた簡易的な 6ch. 再生を目指して簡易吸音処理・小型スピーカ再生による検討を行った。吸音パネルの設置により残響時間を変化させて、方向感の再現精度に関する聴感実験を行ったところ、一般室においてもある程度の吸音を施せば水平方向に対する方向感は再現可能であると考えられる結果となった。

さらに、エコー音場の明瞭性評価のための実験音場に関する検討を行った。その結果、エコー音場の明瞭性評価をするにあたり、実際にスピーカを到来方向ごとに配置して再生する音場 (実音像音場) と合成音像によって音の到来方向をシミュレートする音場において有意な差が得られなかったことから、6ch. 収音-再生システムを用いるエコー音場の明瞭性評価実験等の結果に特に問題はないことを導いた。

② バイノーラルシステム

バイノーラル方式では、時間領域と周波数領域の2つの観点から3次元音響再生の高速化と処理量の低減を図った。時間領域の観点では、音源信号と音像を制御したい方向の頭部インパルス応答の畳み込み演算を行うが、従来の頭部インパルス応答の約 1/10 の継続長 (1ms) の初期頭部インパルス応答でも同等の精度で音像制御ができることを明らかにした。これにより、信号処理を高速化した。さらに、周波数領域の観点では、バイノーラル音響再生実験により、ヒトが音の前後上下方向知覚の手掛かりとしている頭部伝達関数の特徴量は4つ(2つのスペクトラルピークと2つのノッチ)であることを確認した。従来はバイノーラル方式においては頭部伝達関数を FIR フィルタにより処理していたが、この知見を用いれば4つの IIR で処理が可能であり、3次元音響再生の処理量の低減と高速化が可能となる。

また、前述のとおり音の前後上下方向の知覚の手掛かりの一つである頭部伝達関数の第1ノッチの成因を耳介の放射特性から検討した。その結果、放射特性をダイポールでモデル化することで、正中面における第1ノッチの仰角と周波数の関係を定式化すること

ができた。これは、耳介形状から第1ノッチの仰角と周波数を推定できることを意味しており、バイノーラルシステムの個人適用に貢献すると考えられる。

③視覚情報の提示法に関する検討

「公共空間」の一つである「街路」において、視覚情報提示による印象評価の調査を行い、提示メディアによる評価の違いについて検討をおこなった。その結果、通常のスクリーン形式とストリートビュー形式において、印象の違いが生じることが明らかとなり、視覚情報を用いる音響シミュレーション環境においても情報表示形式の選択・選定が重要となることが確認された。

(7) 3次元音環境シミュレータ (応用実験)

①6ch. 収音-再生システム

6ch. 収音-再生システムを用いて屋外拡声の明瞭性評価にカテゴリ連続判断法を応用した検討を行った。その結果以下の3点に分かり、屋外拡声の明瞭性評価にカテゴリ連続判断法の利用可能性も見出された。1: 文の始まりにおいて聴き取りにくさの評価が低いことが確認された。各文の始まりは後続音の重なりがないため状況に適した重要な言葉を文頭に持ってくることで、より最適な情報提供が可能になる。2: 連続判断の評価と mora 数の時間変化および知覚されたエコーの数を考慮した時間変化について検討した結果、連続判断の評価とそれらとの対応の可能性が示唆された。3: 全体評価と連続判断の評価について見た結果では、連続判断の最大評価の次に大きな値において、全体評価との良い対応が見られた。

②バイノーラルシステム

バイノーラルシステムを用いて、防災放送の入射方向が単語理解度に顕著な影響を及ぼすことを検討した。正面方向から到来する先行音と水平面もしくは正中面から到来する後続音で構成される音場で単語理解度実験を行い、後続音が側方もしくは後方から到来する場合は他の場合と比較して理解度は向上することを明らかにした。さらに、バイノーラル方式を用いて、屋外防災放送の単語理解度を精度良く再現する方法を検討した。その結果、本人の頭部伝達関数とオープンタイプヘッドホンを用いることにより、原音場(現場)よりやや高い単語理解度となるものの、統計的に有意な差のない精度で再現できることを示した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計4件)

- ① IIDA Kazuhiro, ISHII Yohji, Effects of adding a spectral peak generated by the second pinna resonance to a parametric model of head-related transfer functions on upper median plane sound localization, *Applied Acoustics*, 査読

有、129巻、2018、pp. 239-247

<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.08.001>

- ② 鈴木陽一、菘木禎史、佐藤洋、災害情報の屋外音声伝達に関するA S J規準案、騒音制御、査読無、41巻、2018、pp. 126-130
<http://www.ince-j.or.jp/journals>
- ③ IIDA Kazuhiro、OOTA Masato、Median plane sound localization using early head-related impulse response, *Applied Acoustics*, 査読有、139巻、2018、pp. 14-23
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.03.027>
- ④ 竹本 浩典、頭部伝達関数のシミュレーション、*日本音響学会誌*、査読無、73巻、2017、pp. 166-172
https://doi.org/10.20697/jasj.73.3_173

[学会発表] (計32件)

- ① 佐藤 史明、閉空間における効率的な吸音材配置に関する検討、*日本音響学会春季研究発表会*、2018
- ② 飯田 一博、初期頭部インパルス応答による上半球正中面音像定位、*日本音響学会春季研究発表会*、2018
- ③ 飯田 一博、受聴者の耳介形状による上半球正中面の初期頭部伝達関数のノッチ周波数の推定、*日本音響学会春季研究発表会*、2018
- ④ 菘木 禎史、屋外拡声放送を用いた反射位置推定システムの設計と実装、*日本音響学会春季研究発表会*、2018
- ⑤ 大川 茂樹、ロボティクスを用いた音場計測手法、*日本音響学会秋季研究発表会*、2017
- ⑥ 木幡 稔、マルチチャネル処理によるMPEG-4 ALSの圧縮率改善、*日本音響学会秋季研究発表会*、2017
- ⑦ 柳川 博文、残響音場における白色雑音の持続時間と音像の幅の関係、*日本音響学会秋季研究発表会*、2017
- ⑧ 飯田 一博、方向決定帯域を卓越させた広帯域信号による音像定位、*日本音響学会春季研究発表会*、2017
- ⑨ 佐藤 史明、3Dプリンタを用いた模型実験用指向性音源の作成、*日本音響学会春季研究発表会*、2017
- ⑩ 山崎 治、高残響下での避難誘導における「迷い」、*日本音響学会 騒音・振動研究会*、2016
- ⑪ 大川 茂樹、ロボティクスを用いた調音材の最適配置の決定、*日本音響学会秋季研究発表会*、2016
- ⑫ 大川 茂樹、会話に適した音環境を作る自律移動ロボット、*日本音響学会秋季研究発表会*、2016
- ⑬ 柳川 博文、モノラル雑音信号周波数帯域あるいは持続時間と音像の幅の関係、*日本音響学会秋季研究発表会*、2016

- ⑭ 佐藤 史明、エコー音場の明瞭性評価のための実験音場について ～配置したスピーカ方向と知覚方向の不一致～、日本音響学会 建築音響研究会、2016
- ⑮ 飯田 一博、頭部伝達関数の第2ピークが正中面上方の音像定位に及ぼす影響、日本音響学会 電気音響研究会、2016
- ⑯ TAKEMOTO Hironori、A dipole model for estimating frequency versus elevation-angle trajectory of the first spectral notch of head-related transfer functions in the median plane、The 5th Joint Meeting of ASA and ASJ、2016
- ⑰ CHISAKI Yoshifumi、Improvement of signal to noise ratio at outdoor listening position by sound emission timing control over the Internet for mass notification system、The 5th Joint Meeting of ASA and ASJ、2016
- ⑱ IIDA Kazuhiro、Roles of spectral peaks and notches in the head-related transfer functions in the upper median plane for vertical localization、The 5th Joint Meeting of ASA and ASJ、2016
- ⑲ OKAWA Shigeki、Autonomous optimal location of articulation materials using robotics、The 5th Joint Meeting of ASA and ASJ、2016
- ⑳ SATOHI Fumiaki、Experiment on listening difficulty of announcements from municipal public address system by applying the method of continuous judgment by category、ICA 2016、2016
- ㉑ 大川 茂樹、残響可変装置とロボティクスの組み合わせによる小規模音場へのアプローチ、日本音響学会春季研究発表会、2016
- ㉒ 藤江 真也、雑談会話における音韻・韻律情報を用いた聞き手の発話タイミングの検出、日本音響学会春季研究発表会、2016

〔図書〕(計1件)

- ① 飯田 一博、コロナ社、頭部伝達関数の基礎と3次元音響システムへの応用、2017、238

〔産業財産権〕

○取得状況(計1件)

名称：音声合成装置

発明者：木幡 稔

権利者：千葉工業大学

種類：特許

番号：特許第6032832号

出願年月日：平成28年11月4日

国内外の別：国内

〔その他〕

第8回 CIT音響フォーラム シンポジウム「安全・快適性のための音響情報伝達」開催、

2015-6-13、千葉工業大学にて

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 史明 (SATOHI, Fumiaki)

千葉工業大学・創造工学部・教授

研究者番号：50286150

(2) 研究分担者

矢野 博夫 (YANO, Hiroo)

千葉工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：70114692

柳川 博文 (YANAGAWA, Hirofumi)

千葉工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：70296309

飯田 一博 (IIDA, Kazuhiro)

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：60458627

木幡 稔 (KOHATA, Minoru)

千葉工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：30186720

大川 茂樹 (OKAWA, Shigeki)

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：40306395

世木 秀明 (SEKI, Hideaki)

千葉工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：60226636

山崎 治 (YAMAZAKI, Osamu)

千葉工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：90337709

藤江 真也 (FUJIE, Shinya)

千葉工業大学・先進工学部・准教授

研究者番号：40306395

菅木 禎史 (CHISAKI, Yoshifumi)

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：40306395

竹本 浩典 (TAKEMOTO, Hironori)

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号：40306395

須田 宇宙 (SUDA, Hiroshi)

千葉工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：60296324

(3) 連携研究者

橘 秀樹 (TACHIBANA, Hideki)

東京大学・生産技術研究所・名誉教授

研究者番号：80013225

横山 栄 (YOKOYAMA, Sakae)

小林理学研究所・研究員

研究者番号：80512011

(4) 研究協力者

森 淳一 (MORI, Junichi)