

令和 3 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03351

研究課題名(和文) 視聴覚高臨場感データ収集・再生システムの構築と環境音評価への応用

研究課題名(英文) Construction of audiovisual high presence reproduction system and its application to environmental sound evaluation

研究代表者

坂本 慎一 (Sakamoto, Shinichi)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：80282599

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：3次元音場再生システムに映像システムを組み合わせ、環境音の評価に対する視覚情報の影響を詳細に調べる実験的研究を行った。道路交通、鉄道、航空機を音源とした代表的な交通騒音に関し、屋外空間における音源の視覚情報の影響を調べた。道路交通及び鉄道騒音に対しては騒音を小さく評価させる傾向が見られ、航空機騒音に対しては音源の視覚情報の影響は見られなかった。一般生活環境(室内)においては、映像提示が騒音を大きく評価させる傾向を示した。以上の実験的研究により、交通騒音の評価に音源の視認性の影響は大きい交通モードによって影響度合が異なること、一般生活環境では騒音を聞く状況の影響が大きいことが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境騒音の評価において、聴覚情報に加えて視覚情報の影響を詳細に調べることができる実験システムを構築した。実験システムには、評価実験に用いる視聴覚情報提示システムと、実験に用いる視聴覚刺激を収集するためのデータ収録システムを含む。構築したシステムを用いて、代表的な交通騒音の大きさ感、うるささに対する音源の視認性の影響を調べ、定量的に評価した。さらに、音源の視認性の影響に加え、一般生活環境における騒音の影響を定量的に調べる手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：We developed environmental reproduction system combining a three-dimensional sound field reproduction system with visual presentation system using a dome-screen to investigate the effect of visual information on the evaluation of environmental sound in detail. Regarding typical traffic noise as road traffic, railway and aircraft noises, the influence of visual information on evaluation of sound environment was examined. The effect was significant for road and railway noise, but no effect was seen for aircraft noise. In general living environment (indoor), visual information tended to make the evaluation of sound to be loud and noisy. Through the study, it was confirmed that the visibility of the sound source has a considerable effect on the evaluation of traffic noises, but the degree of the influence differs depending on the traffic mode, and that the situation of listening to noise has a considerable effect in the general living environment.

研究分野：環境音響工学

キーワード：視覚と聴覚 シミュレーション 環境評価 主観評価実験

### 1. 研究開始当初の背景

人間は常に音に囲まれて生活しており、音が人の生活に及ぼす影響は非常に大きい。特に環境騒音問題は、産業の発展が人々の生活に及ぼす負の側面として注目され、その影響が長年研究されてきた。音響学における被験者実験は、音が人間の心理・生理に及ぼす影響を調べることを目的として、実験において被験者が受ける音刺激を厳密にコントロールするため、無響室のように外界から隔絶され、外部からの不要な音響振動を遮断した環境で行われることが多い。

一方、人間が普段生活している一般環境では、当然のことながら音以外の刺激にも同時にさらされており、人は、様々な環境要因が相互に関連した総合的な感覚でその環境を評価していると考えられる。聴覚とともに主要な情報感覚とされる視環境が音の評価に及ぼす影響が大きいと考えられる。音環境の評価にとって、音刺激のみに対するプリミティブな反応が基礎的データとして第一義的に重要であることは疑いないとしても、環境問題としての音・騒音を厳密に評価するためには、視覚刺激との相互作用を検討する必要がある。特に、避難時や非常時のアナウンス音声のように「緊迫感」や「危機感」などの心理的要因と深く関連する音刺激の評価に関しては、視環境が及ぼす影響は非常に大きいと予想される。

このようなマルチモーダル感覚を総体として評価しようとする研究は古くからおこなわれており、音環境の分野では、道路交通騒音対策として緑化の物理的・心理的効果を実験的に調べた事例(田村, 鹿島, 緑地帯による減音効果—心理的減音効果, 騒音振動研究会資料 N-8310-1,1983)が典型的である。しかしながら、それらの研究では視覚刺激はスライド写真等を平面スクリーンに投影し、音刺激はモノラルあるいはステレオスピーカから再生して評価させる実験であり、現場の臨場感まで再現した実験には到底至っていない。

一方、近年では、情報通信技術や計算機技術の進展と相俟って進む映像・音声データ伝達の大容量化および高速化によって、映像の高精細化、立体音響映像、没入型プロジェクション技術が急速に進展している。そのような高精細・没入型プロジェクション技術を用いれば、「現場の視環境をそのまま実験室に再現する」コンセプトを実現することができる。

### 2. 研究の目的

申請者の研究室は 3 次元音場シミュレーションシステムを有する。これは音響に関する高臨場感システムに相当し、本研究においてこれに映像に関する高臨場感システムを組み合わせる。映像システムに用いるスクリーンとしては、音響側の 6 チャンネルスピーカシステムが受聴点から等距離に設定される球面配置になっているのにあわせ、ドーム状のスクリーンとする。音響映像データの収集装置に関しては、現場での測定に機動的に対応できることを重視し、コンパクトな音響映像収集装置を試作する。システム製作後、その性能評価を行いシステムの妥当性を検証する。システム臨場感として聴覚臨場感の制御システム（モノラル再生(1ch.および6ch.), バイノーラル再生, 6ch.再生を予定)と視覚臨場感の制御システム（映像なし, 平面スクリーン静止画および動画, ドームスクリーン動画, HMD を予定)を組み合わせた場合を対象として評価実験を行い、刺激の提示手法が人間の評価に及ぼす影響を詳細に検討して、構築するシステムの有効性を確認する。さらに、システムを用いた応用的研究として、各種交通騒音の評価における視環境の影響評価等の内容について検討を行う。

### 3. 研究の方法

#### 3. 1 再生システムの構築

##### (1) 収録システム

現場における音環境を多様な場面で収録する必要があるため、機動性を重視して、図 1 に示すように、録音・録画システムをコンパクトに組み合わせた収録システムを用いた。音の収録にはアンビソニックマイクロホン (Sennheiser, AMBEO VR MIC) を用い、収録した音を信号処理によって加工し、再生システムに入力する。アンビソニックマイクロホンの近傍に精密騒音計 (RION, NL-52) のマイクロホンを設置して同時に録音を行い、現場の騒音レベルを分析した。映像の収録には 360° カメラ (GoPro, Fusion) を用い、測定点の全周囲の映像を録画した。

##### (2) 再生システム



図 1 収録システム

図2のように三次元音場再生システムとドームスクリーンを組み合わせた視聴覚再生システムを無響室内に構築した。アンビソニックスマイクロホンで収録した音を信号処理によって加工し、3軸上の6台のスピーカから再生した。視覚情報としては、360°カメラ (GoPro, Fusion) で録画した音源の映像情報を、画像処理ソフトウェア (Adobe Premiere Pro CC 2020) により色味を調整し、被験者後方に設置した魚眼レンズ (raynox, DCR-CF187PRO) を装着した高精細プロジェクタ (BenQ, TK800) よりドームスクリーンに投影した。三次元音場再生システムのスピーカはドームスクリーンの外側に設置しており、スクリーン設置による影響を防ぐためにデジタルミキサ (YAMAHA, DME32) 上のグラフィックイコライザにより周波数特性を補正した。映像および音の再生制御には、ドーム映像再生ソフトウェア (ORIHALCON Technologies, Amateras Dome Player 3.5.4) を用いた。なお、ドームスクリーンに投影する際の映像の歪み補正もこのソフトウェアで行った。

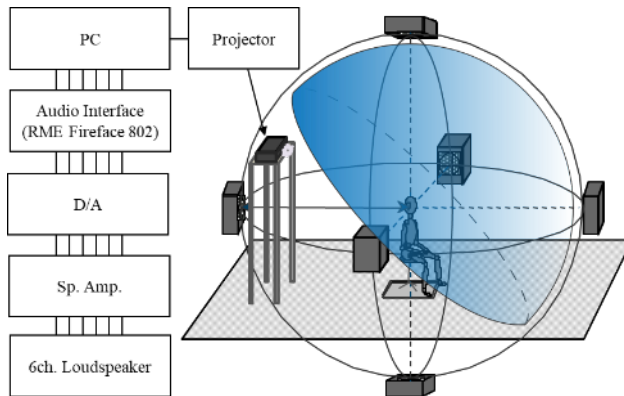


図2 再生システム

#### 4. 研究成果

##### 4.1 音源の可視性が音の大きさの評価に及ぼす影響

前節で述べたの再生システムを用いて、音源の映像情報が騒音の大きさ感評価に及ぼす影響を調べるため、主観評価実験を行った。基礎的な検討として、色の影響を調べるため、Blue, Green, Red, Yellowの4条件の鉄道走行の刺激を作成し、実験に用いた。

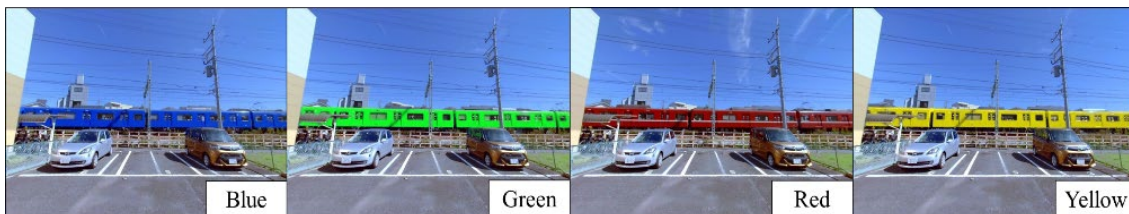


図3 映像条件

実測した列車走行音および映像を用いた。試験音は、約5 dB間隔でレベルが異なる4条件とし、被験者の受聴位置における  $L_{Aeq, 30s}$  が現場と等しくなるようにそれぞれの呈示レベルを調整した。映像条件としては、図3に示したBlue, Green, Red, Yellowの4色の列車映像を用いた。また、映像を呈示せずに聴覚刺激のみで騒音の大きさを評価する条件を加え、その際の映像は、無響室の映像とした。映像と試験音を同時に呈示し、ME法により試験音の大きさ感を口頭で評価させた。20条件をランダムに呈示することを2回繰り返した。実験には、聴力の正常な20代男女33名が参加した。

被験者が回答したME値を条件ごとに幾何平均した値と試験音の  $L_{A, Smax}$  の関係を図4に示す。全ての試験音で映像を同時に呈示した方が、大きさ感が小さく評価される傾向がみられた。また、列車の色の違いによる明確な傾向はみられなかった。同じ試験音での映像の有無や色による有意な差を確認するために、Wilcoxonの符号順位検定およびholmの多重比較を行ったところ、映像有り条件と映像無し条件の間には有意な差がみられたが、色同士の多重比較では有

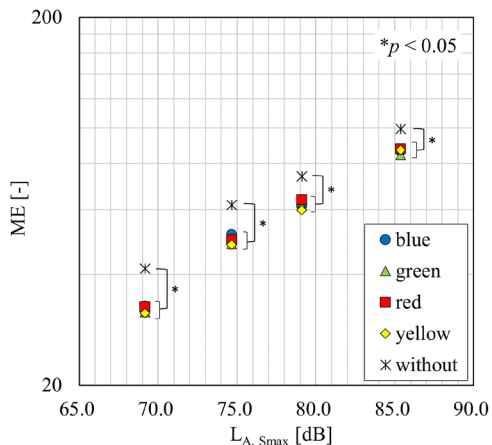


図4 ME値と  $L_{A, Smax}$  の関係

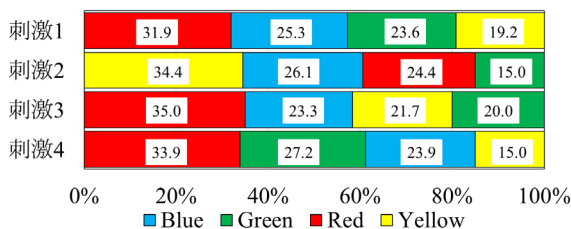


図5 最も大きく評価された色の割合

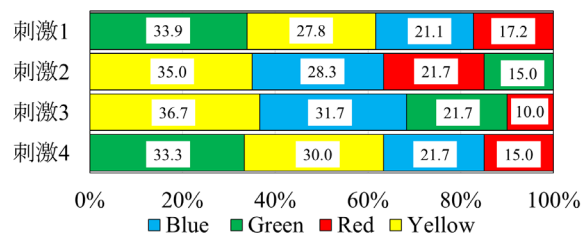


図6 最も小さく評価された色の割合

意な差はみられなかった。色が大きさ感に及ぼす影響をより細かく分析するために、各試験音において被験者が最も ME 値を大きく/小さく回答した色を集計し、割合を算出した。結果を図 5, 6 に示す。Red の条件を最も大きいと評価した被験者が多く、Green および Yellow を小さいと評価した被験者が多い傾向がみられた。これらの結果は、既往研究と同様の傾向であった。

#### 4.2 交通騒音の種類と大きさ・うるささ評価の関係

映像情報の有無が大きさ・うるささの評価に及ぼす影響が、交通騒音の種類により異なるかどうかを調べるため、評価実験を行った。

##### (1) 実験の手続き

実測した道路交通騒音、鉄道騒音、航空機騒音およびこれらの映像（図 7：18 か所）を用いた。道路交通騒音は交通量および道路端からの距離が異なる 6 条件 ( $L_{Aeq,30s} = 57.8 \sim 73.7$  dB)、鉄道騒音は線路からの距離が異なる 6 条件 ( $L_{Aeq,30s} = 62.3 \sim 77.1$  dB)、航空機騒音は機体からの距離と観察者から見た飛行位置が異なる 6 条件 ( $L_{Aeq,30s} = 63.6 \sim 81.2$  dB) とした。被験者の受聴位置における  $L_{Aeq,30s}$  が現場と等しくなるように試験音の呈示レベルを調整した。また、映像を呈示せずに聴覚刺激のみで騒音の大きさを評価する条件を加え、その際の映像は、無響室の映像とした。映像と試験音を同時に呈示し、ME 法により試験音の大きさ感およびうるささ感を口頭で評価させた。計 36 条件（全 18 条件それぞれの映像の有無 2 条件）をランダムに呈示することを 2 回繰り返した。なお、大きさ感とうるささ感を同時に評価させると、被験者が評価項目を混同してしまう可能性があると考え、大きさ感を評価する実験をはじめに行い、その約 1 週間後にうるささ感を評価する実験を行った。実験には、聴力の正常な 20 代男女 10 名が参加した。

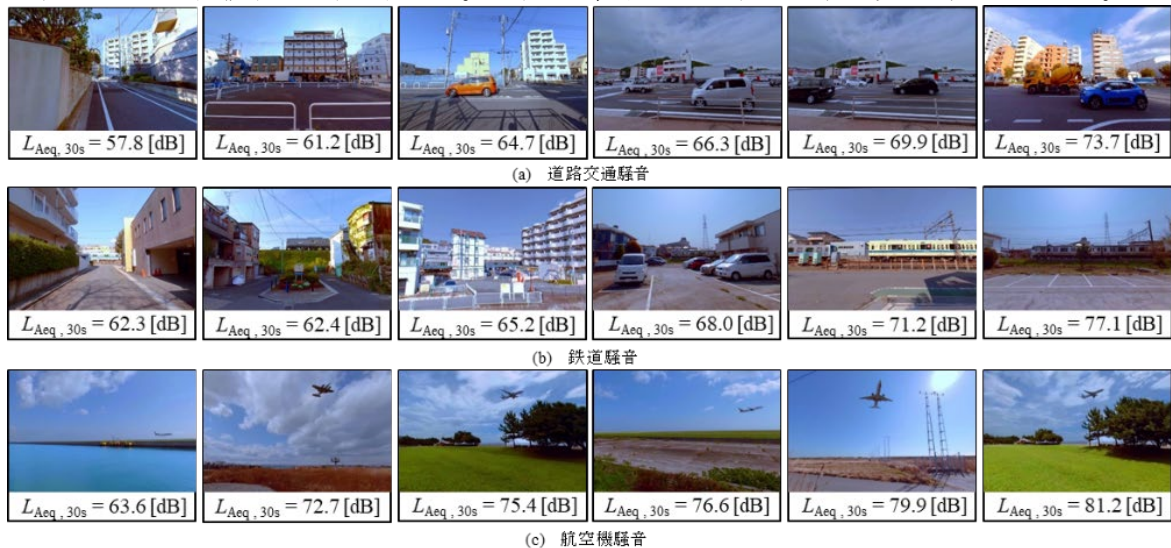


図 7 実験条件

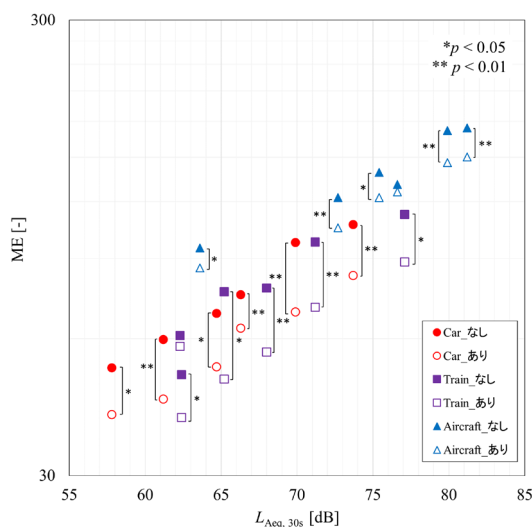


図 8 ME 値と  $L_{Aeq,30s}$  の関係（大きさ感）

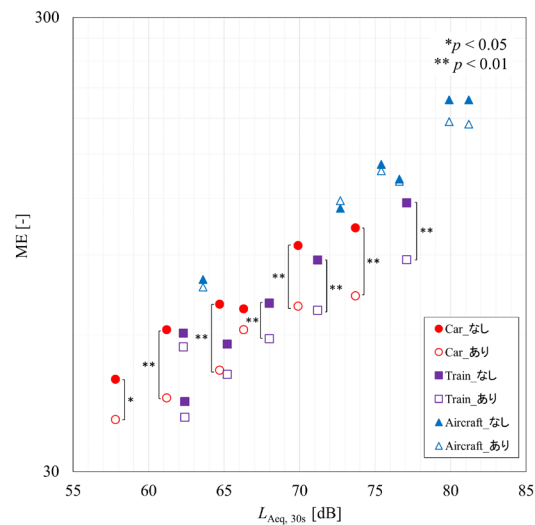


図 9 ME 値と  $L_{Aeq,30s}$  の関係（うるささ感）

##### (2) 結果および考察

被験者が回答した大きさ感/うるささ感の ME 値を条件ごとに幾何平均した値と試験音の  $L_{Aeq,30s}$  の関係を図 8, 図 9 に示す。大きさ感、交通騒音の種類によらず、映像を同時に呈示した方が、

小さく評価される傾向がみられた。うるささ感でも同様の傾向はみられた。同じ試験音で映像の有無による統計的な有意差を確認するために、対応のある t 検定を行ったところ、映像有り条件と映像無し条件の間には、大きさ感は 16 条件で有意な差がみられ、うるささ感は 8 条件で有意な差がみられた。航空機騒音のうるささ感に関しては、全ての条件で有意な差はみられなかった。内観報告で、日常的に航空機騒音を間近で聞く体験がないためうるさく感じられたという意見があり、本実験では航空機騒音を機体から近い位置で測定した条件を呈示したため、映像の有無によらず大きく評価されたと考えられる。

#### 4.3 室内における交通騒音の評価に対する受聴環境の可視性の影響

一般生活環境においては、受聴環境が交通騒音の評価に影響を及ぼす可能性が考えられる。そこで、交通騒音のうるささ評価に対する受聴環境の可視性が及ぼす影響を調べることを目的として、下記の評価実験を行った。

##### (1) 実験の手続き

屋外の映像および音を、4.2 で用いた条件の中から、各条件の  $L_{Aeq,30s}$  が約 5 dB 間隔になるように選定した。室内における映像は、部屋で何もせずくつろいでいる状況とニュースを見ている状況を想定した二つの条件を用いた。試験音は、この室内へ侵入する交通騒音を想定して、窓の透過損失および窓面を音源位置とした時の受聴点におけるインパルス応答を測定してフィルタを作成し、それらを本実験で用いた屋外の条件の音源に畳み込むことで作成した。被験者の受聴位置における  $L_{Aeq,30s}$  が現場と等しくなるように試験音の呈示レベルを調整した。また、映像を呈示せずに聴覚刺激のみで騒音のうるささを評価する条件を、屋外・室内それぞれに加え、その際の映像は無響室の映像とした。映像と試験音を同時に呈示し、ME 法により試験音のうるささ感を口頭で評価させた。計 30 条件をランダムに呈示することを 2 回繰り返した。なお、ニュースが流れている条件では、ニュースの音は評価せず、聞こえてくる交通騒音のうるささのみ評価するように教示した。実験には、聴力の正常な 20 代男女 17 名が参加した。

##### (2) 結果及び考察

屋外および室内における、被験者が回答したうるささ感の ME 値を条件ごとに幾何平均した値と試験音の  $L_{Aeq,30s}$  の関係を図 10 に示す。屋外の条件において、映像を同時に呈示した方が、うるささ感が小さく評価される傾向がみられた。一方で、室内の条件においては、室内映像を呈示した方が、映像を呈示しない場合と比較して、うるささ感が大きく評価される傾向がみられ、ニュースの映像および音を呈示した条件は、よりうるささ感が大きく評価される傾向がみられた。同じ試験音で映像の有無による有意な差を確認するために、対応のある t 検定を行ったところ、映像有り条件と映像無し条件の間には、屋外の条件では 5 条件でみられ、室内の条件では、3 条件で有意な差がみられた。また、室内の映像無し条件とニュース有り条件の間には、5 条件で有意な差がみられた。内観報告でも、室内の映像を呈示する条件のほうがうるさく感じる、ニュースを聞きたいのに騒音が聞こえて遮られる感じがすると一層うるさく感じるという意見があった。このように騒音を聞く状況によって騒音の大きさやうるささが有意に変化することが、実験的に、また定量的に示された。

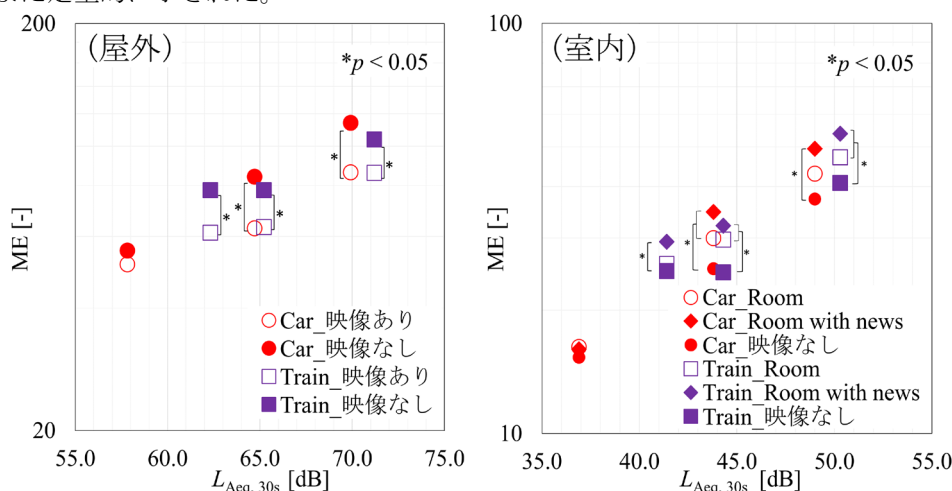


図 10 ME 値と  $L_{Aeq,30s}$  の関係 (屋外と室内)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 李孝珍, 菅原彬子, 坂本慎一, 池田佳樹
2. 発表標題 駅コンコースにおける音環境調査および案内放送の聞き取りにくさに関する検討
3. 学会等名 日本音響学会 建築音響研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 李孝珍, 菅原彬子, 坂本慎一, 池田佳樹
2. 発表標題 実測による駅コンコースの音環境調査および案内放送の聴感評価実験
3. 学会等名 日本建築学会2018年度大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 米村 美紀, 坂本慎一, 李孝珍, 加藤幸治
2. 発表標題 路面の違いによる自動車走行音騒音の差異に関する聴感評価実験
3. 学会等名 日本建築学会2018年度大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤淳平, 坂本慎一, 李孝珍, 菅原彬子, 米村 美紀, 安田洋介
2. 発表標題 音環境評価に及ぼす視覚情報の影響 ヘッドマウントディスプレイを使用した評価実験
3. 学会等名 日本建築学会2018年度大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝倉 巧, 辻村壮平, 米村美紀, 李 孝珍, 坂本慎一
2. 発表標題 ヘッドホンおよびヘッドマウントディスプレイを用いた音・視環境提示手法による都市環境音の評価
3. 学会等名 日本騒音制御工学会2017年秋季研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 李 孝珍, 坂本慎一, 伊積康彦, 坪内啓一
2. 発表標題 三次元音場再生システムを用いた駅コンコースの案内放送に関する聴感実験
3. 学会等名 , 日本建築学会大会2017年(中国)学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 米村美紀, 阿部菜摘, 李 孝珍, 坂本慎一
2. 発表標題 単独走行車両を対象とした自動車走行音の主観評価実験 ME法による「大きさ」「やかましさ」の評価
3. 学会等名 日本建築学会大会2017年(中国)学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	李 孝珍  (Lee Hyojin)  (20738760)	東京大学・生産技術研究所・特任助教   (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	朝倉 巧  (Asakura Takumi)  (60778207)	東京理科大学・理工学部機械工学科・講師    (32660)	
研究分担者	辻村 壮平  (Tsujimura Sohei)  (80409458)	茨城大学・理工学研究科（工学野）・准教授    (12101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関