

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：32641

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656074

研究課題名(和文)都市域における道路騒音評価のためのバーチャルリアリティシステムの開発

研究課題名(英文)Development of a virtual reality system for road traffic noise evaluation in urban area

研究代表者

榎山 和男(Kashiyama, Kazuo)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：10194721

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、道路交通騒音の予測システムとして、(1)物理シミュレーション(幾何音響理論及び波動音響理論に基づく2つの方法)に基づいた騒音予測システムを構築した上で、(2)予測システムをVR環境に実装して、VR空間において立体動画と共に立体音による聴覚情報として提示するシステムの開発を行う。(3)システムの妥当性と有効性の評価として、実測との比較を行うとともに、騒音が人間に与える心理的影響について検討するため、システム利用者(被験者)の脳波計測を行った。

研究成果の概要(英文)：This paper presents an advanced road traffic noise evaluation system using virtual reality technology based on the immersive projection technology. The key feature of the system is that the road traffic noise is provided for users by both auditory and visual information under various road and vehicle conditions. The geometric acoustic theory and the acoustic wave theory are employed for the simulation of traffic noise. The visual information of road traffic noise is created by the visualization system based on the Open-GL and CAVE library and the auditory information is created by the Max/msp. In order to investigate the effect of traffic noise to the psychological influence of a human being, the measurement of brain wave is performed.

研究分野：計算力学

キーワード：バーチャルリアリティ 道路騒音 可聴化 可視化 幾何音響理論 波動音響理論

1. 研究開始当初の背景

(1) 道路交通騒音は、心理的不快感や睡眠障害などの影響を人体に及ぼす可能性があるため、道路や遮音壁の設計を行う際にその大きさを評価・検討し、必要に応じて低減させるなどの対策を講じる必要がある。

(2) これまで国内外において、道路交通騒音を予測するための数値シミュレーション手法の提案が数多く行われており、それらは幾何音響理論と波動音響理論とに基づく方法に大別することができる。しかし、国内外において従来開発された騒音シミュレーションシステムでは、計算された音圧レベルを可視化したり音により可聴化したりすることは行われているが、非定常の音圧レベルを VR 空間で可視化情報と共に聴覚情報として同時に提示する試みは行われていない。このため、専門家以外(一般住民)が予測結果を直感的に理解・把握することは困難であるのが現状である。

(3) 本研究では、仮想の VR 空間において車両の動きや周辺道路環境を立体映像動画により再現するとともに、システム利用者に算定された音圧レベルを実際の走行音を用いて立体音響により忠実に提示するシステムの構築を行うものである。

2. 研究の目的

(1) 本研究は、都市域における音環境問題として道路交通騒音(主に車両の走行音)に着目して、道路やその周辺の構造物の新設・改変に起因する音環境の事前評価・事後分析等に供し得る騒音評価システムの開発を目的とするものである。

(2) 本システムでは、音圧レベルを算定するのみでなく、バーチャルリアリティ(VR)技術を用いて仮想の VR 空間において構造物や車両の動きを実スケールで立体映像動画により再現するとともに、算定された音圧レベルを実際の車両の走行音(サンプル音)を用いて立体音響により忠実に再現してシステム利用者(受音者)に提示するシステムを構築するものである。

(3) 騒音が人間に与える心理的影響について検討するため、システム利用者(被験者)の脳波および脳血流などの整体情報の計測を行う。

3. 研究の方法

本研究では、研究目的を遂行するため、大きく以下の3項目に分類して研究を進める。

(1) 騒音シミュレーション手法の構築を行う。ここでは幾何音響理論に基づく方法(構造物の幾何形状が簡単な場合)と波動音響理論に基づく方法(構造物の幾何形状が複雑な場合)を構築する。波動音響理論に基づく方法では、複雑形状への適合性に優れた有限要素法を採用するが、大規模計算になることから、大規模計算への対応としてモデリング手法の開発と並列化を行う。

(2) 構築された騒音シミュレーションシステムを VR 環境に実装して、音圧レベルを可視化・可聴化するシステムを開発する。

(3) システム全体の評価と改良を、理想的な場(試験走行路)と複雑な実際の場において適用して実施する。また、評価手法として、システム利用者(被験者)の心理状態を調べるため、被験者の心理的变化の計測を行う。

4. 研究成果

(1) 幾何音響理論に基づく方法としては、道路交通騒音の予測モデル ASJ2008(日本音響学会)を用いて、手法の構築を行った。また、その後 ASJ2013 に準拠するものに変更を行った。幾何音響理論に基づく方法は、計算負荷が非常に小さいため、リアルタイム計算が可能である。

(2) 波動音響理論に基づく方法としては、支配方程式として、非定常波動方程式を用いて有限差分法、境界要素法、有限要素法に基づく手法の構築を行った。

有限差分法に基づく方法としては、大規模計算を高速にかつ効率よく計算を行うために、CIP 法と解適合格子(AMR)法を用いた音場の解析手法の提案を行った。AMR 法を導入することにより、AMR 法を導入しない場合と比較して、効率よく高精度な計算を行うことが可能となった。

境界要素法に基づく方法としては、大規模計算を高速にかつ効率よく計算を行うために、多重極境界要素法に基づく音場の解析手法の提案を行った。多重極境界要素法を導入することにより、大幅な省メモリ化が実現できるため、従来法では解析が困難となるような大規模問題の解析が可能となった。

(3) 幾何音響理論に基づいて算定された音圧レベルを、バーチャルリアリティ(VR)空間において再現するために、Ambisonics 理論を用いて立体音響場の構築を行った。理想的な音場において、立体音響場が構築されていることの確認を行った。また、計算結果により再生された VR 空間で提示される音圧レベルを騒音計により計測した結果、計測結果と計算結果は良い一致を示すことを明らかにした。

(4) 道路周辺環境再現時の現実感・臨場感向上のためには、高品質な音源データの実装が重要となる。自動車走行音は車種、走行速度によって音色が異なることが知られているため、本研究では、国土技術政策総合研究所(茨城県つくば市)の試験走路において、種々の自動車を所定速度での走行音を実測し、その結果から VR 用音源データを作成して実装した。

(5) 騒音が人間に与える心理的影響について検討するため、VR 空間内においてシステム利用者(被験者)の脳波および脳血流などの整体情報の計測を行った。騒音の可聴化データ(聴覚情報)のみを与えた場合と、走行する自動車と周辺の道路環境の CG 映像(視覚

情報)も同時に提示する場合の比較を行ったところ、視覚情報も提示した場合の方が、ストレス値が高くなることが明らかとなった。(6)複雑な幾何形状を有する場合には、幾何音響理論に基づく方法では適用に限界があるため、(2)で構築した波動音響理論を用いた境界要素法および差分法に基づく騒音評価システムをVR空間に実装することを試みた。固定音源の妥当性について検証が終了した。

(7)本研究で構築したVR技術に基づく騒音予測システムは可視化システムと可聴化システムに大別される。

以下に適用例とともに、構築したシステムの機能を述べる。例題として、図-1に示すような様々な車種が同時に走行する混合交通シミュレーションに適用した。なお、可聴化に際しては、システム利用者の位置(観測点)において計算結果とVR空間内で再生される騒音の音圧レベルが一致している必要があるので事前に試験データ(車両1台の走行の場合)を用いてキャリブレーションを行った上で実施した。走行条件は、車間間隔は図-1に示す通りであり、走行速度:100km/h、路面:排水性舗装、舗装経過年数:0年とした。また、防音壁がない場合とある場合(高さ3m)で、計算結果と騒音計による計測(図-2参照)結果との比較を行った。図-3に、計算結果と計測結果の比較を示す。図より、防音壁がない場合とある場合の両方で、両者は良い一致を示していることが確認できる。

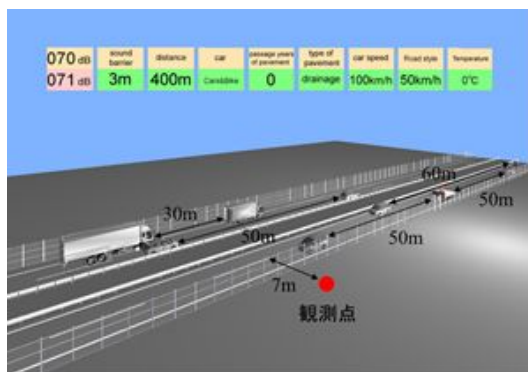


図-1 平面道路における走行条件

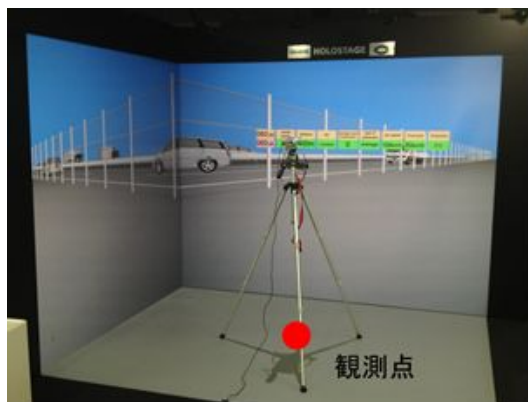


図-2 騒音計により測定している様子

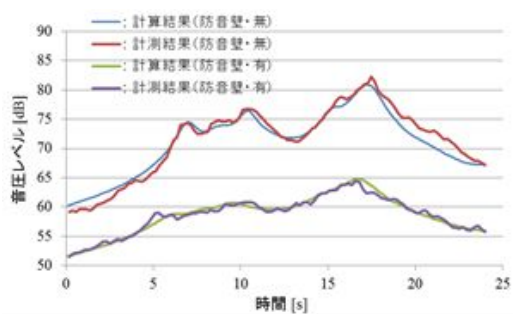


図-3 計算結果と計測結果の比較

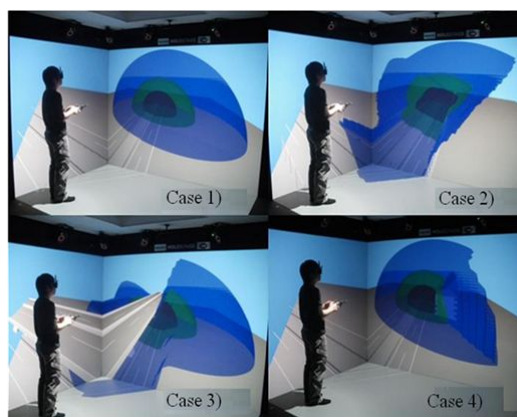


図-4 音圧レベル等値面の可視化

図-4は、別の例題(Case1:平面道路の場合、Case2:掘割道路の場合、Case3:高架下道路の場合、Case4:建物が隣接している場合)において可視化機能を用いて音圧レベルの等値面(50dB, 55db, 60db)を可視化している様子である。本システムの可視化機能を用いることにより、音圧レベルの空間分布を立体視により定量的に把握することが可能である。

(8)本研究で構築した幾何音響理論に基づくシステムは、道路交通騒音の迅速な予測と直感的評価および現象の把握が期待できる。例えば、交通量の多い道路に面した敷地境界に防音壁設置を計画する場合を考える。本システムでは、防音壁設置にとまなう周辺環境の変化をVR空間内に再現するため、騒音低減効果や視環境の変化を視覚的/聴覚的に体験でき、より良い対策案の検討、対策箇所の重点化あるいは設計者、住民など関係者間の合意形成に資するツールとしての活用が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7件)

谷川将規・江嶋孝・榎山和男・志村正幸、混合交通を考慮したVR技術に基づく道路交通騒音評価システムの構築、土木学会論文集 A2(応用力学)、査読有、Vol.70(No.2)、pp.1_195-1_202、2015
<https://www.jstage.jst.go.jp/article>

/jscejam/70/2/70_I_195/_pdf
A. Kageyama, N. Ohno, S. Kawahara, K. Kashiyama and H. Ohtani, Immersive VR visualization by VFIVE, Part 2: Applications, International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 査読有、Vol.4(Suppl. 1)、p.1340004、2013

谷川将規・守屋陽平・江島孝・榎山和男・志村正幸、VR 技術を利用した道路交通騒音評価システムの立体音響化と現実感向上に関する研究、土木学会論文集 A2(応用力学)、査読有、Vol. 69(No. 2)、pp.1_155-1_162、2013

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejam/69/2/69_I_155/_pdf

守屋陽平・谷川将規・榎山和男、AMR 法を用いた CIP 法による音場解析、土木学会論文集 A2(応用力学)、査読有、Vol. 69(No. 2)、pp.1_195-1_202、2013

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejam/69/2/69_I_195/_pdf

江嶋孝・谷川将規・榎山和男・志村正幸・上明戸昇、実車走行音を用いた VR 技術に基づく道路交通騒音評価システム、土木情報学シンポジウム講演集、査読なし、Vol. 38、pp.143-146、2013

榎山和男、VR 技術の進歩とその 3 次元数値シミュレーションへの応用、土木技術、査読なし、Vol.68(No.7)、pp.53-58、2013

江嶋孝・榎山和男・柴田啓輔・谷川将規、VR 技術を用いた道路交通騒音評価システム、土木情報学シンポジウム講演集、査読なし、Vol. 37、pp.113-116、2012

〔学会発表〕(計 23 件)

T.Nomura, M. Shimura, T. Osafune, H. Hasebe, N. Kamiakito, H. Iwabuki, Wind noise estimation for low frequency sound measurement in natural wind, 14th International Conference on Wind Engineering, 2015 年 6 月 21 日、Porto Alegre(Brazil)

N.Kamiakito, M.Shimura,T. Nomura, H.Hasebe,T.Osafune,H.Iwabuki、Wind Noise Estimation Functions for Low Frequency Sound Measuring in Natural Wind by different roughness、Proceedings of the 6th International Meeting on Wind Turbine Noise, 2015 年 4 月 20 日、Glasgow(Scotland)

長船寿一・岩吹啓史・上明戸昇・志村正幸・野村卓史・長谷部寛、風ノイズの影響を考慮した低周波音測定を試み、日本騒音制御工学会平成 27(2015)年春季研究発表会、2015 年 4 月 21 日、国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都渋谷区)

吉町徹・谷川将規・榎山和男、AMR 法を用いた CIP 法によるインパルス応答解析

手法の検討、第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会、2015 年 3 月 5 日~2015 年 3 月 6 日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

石田安理・吉町徹・榎山和男・陰山聡、VR 技術を用いた道路交通騒音評価システムにおける CG 映像品質向上に関する研究、第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会、2015 年 3 月 5 日~2015 年 3 月 6 日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

中村和寛・榎山和男・志村正幸、有限要素法を用いた騒音伝播解析手法の構築、第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会、2015 年 3 月 5 日~2015 年 3 月 6 日、東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

長谷川翔平・野村卓史、音の伝播解析における透過境界条件に関する考察、平成 26 年度日本大学理工学部学術講演会、2014 年 12 月 6 日、日本大学理工学部駿河台校舎(東京都千代田区)

Kazuo Kashiyama、Virtual Reality Technology and Its Application to Safety and Environmental Problems、The 2nd KSCM Computational Mechanics Workshop、2014 年 10 月 16 日~2014 年 10 月 18 日、Busan(Korea)

岡村理一郎・吉川仁・高橋徹・榎山和男、境界要素法による大規模 3 次元非定常音場解析、第 63 回理論応用力学講演会、2014 年 9 月 26 日~2014 年 9 月 28 日、東京工業大学大岡山キャンパス(東京都目黒区)

江嶋孝・吉町徹・榎山和男・谷川将規・志村正幸、VR 技術に基づく道路交通騒音評価システムの適用性の向上、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014 年 9 月 10 日~2014 年 9 月 12 日、大阪大学豊中キャンパス/ホテル阪急エキスポパーク(大阪府豊中市/吹田市)

岡村理一郎・吉川仁・榎山和男、境界要素法による大規模 3 次元音場シミュレーション、土木学会第 69 回年次学術講演会、2014 年 9 月 10 日~2014 年 9 月 12 日、大阪大学豊中キャンパス/ホテル阪急エキスポパーク(大阪府豊中市/吹田市)

江嶋孝・谷川将規・榎山和男・志村正幸、多重反射を考慮した VR 技術に基づく道路交通騒音評価システムの構築、第 17 回応用力学シンポジウム、2014 年 5 月 10 日~2014 年 5 月 11 日、琉球大学(沖縄県中頭郡)

江嶋孝・榎山和男・谷川将規・志村正幸、道路交通騒音評価のためのバーチャルリアリティシステム、第 19 回計算工学講演会、2014 年 6 月 11 日~2014 年 6 月 13 日、広島国際会議場(広島県広島市)

岡村理一郎・吉川仁・江嶋孝・榎山和男、道路交通騒音予測システムの構築のため

の境界要素法による音場解析、第 41 回土木学会関東支部技術研究発表会、2014 年 3 月 13 日～2014 年 3 月 14 日、長岡技術科学大学（新潟県長岡市）

K.Kashiyama、Modeling and Simulation for Safety and Environmental Problems Using Virtual Reality Technique、5th Asia Pacific Congress on Computational Mechanics、2013 年 12 月 11 日～2013 年 12 月 14 日、Singapore

K.Ejima,K.Kashiyama,M.Tanigawa and M.Shimura、A Road Traffic Noise Evaluation System Considering A Stereoscopic Sound Field Using Virtual Reality Technology、5th Asia Pacific Congress on Computational Mechanics、2013 年 12 月 11 日～2013 年 12 月 14 日、Singapore

長船寿一・岩吹啓史・野村卓史・長谷部寛・志村正幸・青木淳・立石賢吾・上明戸昇、低周波音測定における風ノイズ回帰式の改善、日本音響学会 2013 年秋季研究発表会、2013 年 9 月 25 日、豊橋技術科学大学（愛知県豊橋市）

M.Shimura,N.Kamiakito,A.Aoki,K.Tateishi,H.Niwa,T.Nomura,H.Hasebe、Wind noise estimation functions for low frequency structure、Inter-noise、2013 年 9 月 15 日～2013 年 9 月 18 日、Innsbruck(Austria)

江嶋孝・守屋陽平・榎山和男・志村正幸・谷川将規、VR 技術を用いた体験型道路交通騒音評価システム、第 62 回理論応用力学講演会、2013 年 3 月 6 日～2013 年 3 月 8 日、東京工業大学大岡山キャンパス（東京都目黒区）

守屋陽平・谷川将規・榎山和男、AMR 法を用いた CIP 法による音場解析、第 26 回数値流体力学シンポジウム、2012 年 12 月 18 日～2012 年 12 月 20 日、国立オリンピック記念青少年総合センター（東京都渋谷区）

⑳ K.Ejima,K.Kashiyama,M.Shimura and M.Tanigawa、Interactive road traffic noise evaluation system using virtual reality technology、CODE2012(2nd International Conference on Computational Design in Engineering)、2012 年 11 月 13 日～2012 年 11 月 16 日、Jeju(Korea)

㉑ 江嶋孝・榎山和男・柴田啓輔、VR 技術を用いた幾何音響理論に基づく道路交通騒音システムの構築、平成 24 年度土木学会全国大会第 67 回年次学術講演会、2012 年 9 月 5 日～2012 年 9 月 7 日、名古屋大学東山キャンパス（愛知県名古屋市）

㉒ 守屋陽平・谷川将規・榎山和男、AMR 法を用いた CIP 法による 3 次元音場解析、平成 24 年度土木学会全国大会第 67 回年

次学術講演会、2012 年 9 月 5 日～2012 年 9 月 7 日、名古屋大学東山キャンパス（愛知県名古屋市）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.civil.chuo-u.ac.jp/lab/keisan/kenkyuunaiyou.html>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

榎山 和男 (KASHIYAMA, Kazuo)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：10194721

(2)研究分担者

野村 卓史 (NOMURA, Takashi)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：50126281