

交通運輸技術開発推進制度
研究成果報告書
(ダイジェスト版)

交通運輸分野における
エネルギー・環境問題への対応

平成 28 年 3 月

独立行政法人交通安全環境研究所

研究成果報告要約

作成年月	平成 28年 3月
研究テーマ名	交通運輸分野におけるエネルギー・環境問題への対応
研究課題名	沿道騒音対策策定のためのインテリジェント化された アコースティックイメージングシステムの実用化研究 (2013-5)
研究代表者名	(独)交通安全環境研究所 宝渦 寛之
研究期間	平成 27年 6月 5日～平成 28年 3月 22日
研究の目的	騒音に係る環境基準の達成率は、全体として緩やかな改善傾向にあるものの、幹線道路の近接空間等では引き続き厳しい状況にある。現状の環境騒音は、マイクロホン1本で測定されているため、道路全体の騒音レベルはわかっても、個々の車両が発する騒音レベルを測定することはできない。そのため、基準超過となる要因までは把握することはできない。そこで本研究では、従来の環境騒音としての騒音計測ではなく、個々の騒音源を分離して計測し音源別に系統立てて評価を行うことが可能なシステムの構築を行う。沿道騒音について音源別に寄与率の評価を行うことにより、対策すべき優先順位をつけることが可能となる。
研究成果の要旨	<p>平成 26年度に製作したアコースティックイメージングシステムについて、改良加え、テストコース及び公道における検証試験を行った。</p> <p>これまでのシステムでは、車両が重なることにより車両がカメラに写らない場合、その車両情報を抽出することは出来なかった。そこで本年度事業においては、新たにエリアカメラを車線上方に追加した。画像処理プログラムとしては、昨年度に開発を行った1つのカメラ用のプログラムを発展させ、2つのカメラにて撮影された映像を組み合わせることで処理を行うことにより、複数車線の車両情報を抽出可能とした。</p> <p>システム改良にあたっては、道路交通騒音に関する環境基準の評価方法である L_{Aeq} に対するシステム改良にあたっては、車種別・音源別の寄与度を導出し、その順位づけを行うことが可能なプログラムの追加もあわせて行い、最終版のシステムとした。</p> <p>最終版のシステムについては、テストコースおよび公道における検証試験を実施し、性能評価を行った。</p>
知的財産権 取得状況	<p>例) 特許出願 0件</p> <p>特許出願 (予定) 0件</p> <p>著作権登録 0件</p>
研究成果発表実績	<p>論文発表：国内 1件、海外 0件</p> <p>口頭発表：国内 1件、海外 0件</p> <p>その他 :</p>

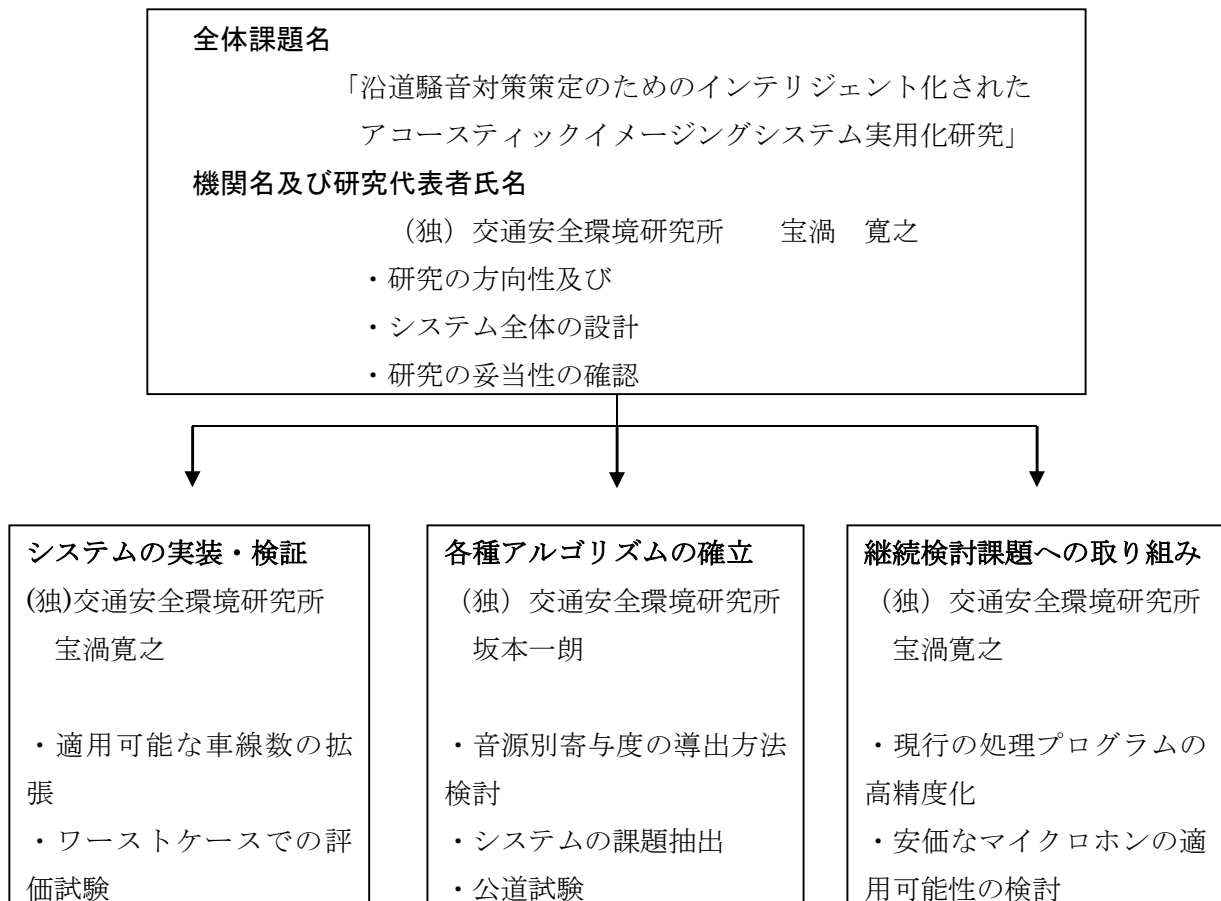
研究開発の目的と実施体制

研究開発の目的

騒音に係る環境基準について、その基準超過となる要因を把握することが可能なシステムの開発を行なう。具体的には、沿道騒音について音源別に寄与率の評価を行い、対策すべき優先順位をつけることを可能とすることを目的とし、従来の環境騒音としての騒音計測ではなく、個々の騒音源を分離して計測し音源別に系統立てて評価を行う。

研究実施体制

本研究は、交通安全環境研究所にて実施した。担当機関の研究実施の流れを示すチャートは以下の通りである。なお、研究を通じて、振動騒音に関する研究を多岐にわたり行っている神奈川工科大学 石濱正男教授と情報交換・意見交換を行い、研究の方向性を決定した。



研究開発成果

1. 序論

騒音に係る環境基準の達成率は、全体として緩やかな改善傾向にあるものの、幹線道路の近接空間等では引き続き厳しい状況にある。現状の道路交通騒音は、マイクロホン1本で測定されているため、道路全体の騒音の大きさはわかっても、個々の車両が発する騒音の大きさを測定することはできない。そのため、基準超過となる場合、その要因を特定することはできない。本研究では、従来の環境騒音としての騒音計測ではなく、個々の騒音源を分離して計測することにより、環境基準の超過要因を把握し、タイヤ音、排気音、エンジン音、ドアミラー等の風切り音などが、環境基準に与える影響を音源別に系統立てて評価し、音源別の寄与度を評価することにより、沿道騒音対策の優先順位をつけることを可能とすることを目的とする。

本研究は、3カ年の研究を計画しており、研究初年度である平成25年度は、音源探査アルゴリズムの評価を行うことが可能なシミュレーションプログラムを開発し、得られた知見に基づいてシステムのプロトタイプを作成した。基本となる音源定位のアルゴリズムには、ビームフォーミング法をベースとし音の反射まで考慮することにより、より高精度に音源位置の特定が可能な音源定位アルゴリズムの提案を行った。

研究の2年目である平成26年度は、まずは、25年度に開発したプロトタイプの検証試験をテストコースにおいて実施した。また、音の反射まで考慮した音源定位アルゴリズムの計算に必要な反射物の位置や大きさについて、カメラ画像を取り込み画像処理することによって、導出することが可能なプログラムを作成した。この画像処理プログラムについて検証を行う目的で、車種分類精度の検証を目的とした公道試験を実施し、寸法・速度の検証を目的とし既知の車両を用いたテストコース試験を実施した。検証の結果、車種判定については、複数車線のための車両の重なりなどの特殊な状況を除いては、間違いなく判定することができることが確認できた。

研究の3年目となる本年度は、前年度に開発を行った画像処理プログラムの改良より着手した。これまでの画像処理プログラムでは、複数車線の場合は、手前側車線と奥側車線の車両が重なるため、1車線の道路にしか適用できなかった。道路交通騒音が問題となる道路は、一般的に4車線以上の道路であるため、複数車線について適用可能とすべく、画像処理プログラムの改良とそれに付随するシステム改良を行った。システム改良にあたっては、道路交通騒音に関する環境基準の評価方法である L_{Aeq} に対するシステム改良にあたっては、車種別・音源別の寄与度を導出し、その順位づけを行うことが可能なプログラムの追加もあわせて実施し、最終版のシステムとした。最終版のシステムについて、公道における検証試験を実施し、性能評価を行った。

2. 適用車線の拡張

本システムは、道路の両端にマイクロホンアレイを設置し、マイクロホンアレイに挟まれる断面内について、音の可視化を行う。通常、道路交通騒音が問題となる道路は、複数車線道路であることから、従来の騒音源可視化方法を高度化させ、音源に近接する車両による音の反射まで考慮した新たな手法を

採用している。この反射を考慮した手法は、反射波がマイクロホンへ伝達する経路を計算する必要があることから、反射物の大きさや位置が既知である必要がある。しかし、本システムの適用対象は公道であるため、いつどのような大きさの車両が通過するかは不明であり、何らかの計測手法が必要である。26年度の本研究においては、カメラにて取り込んだ画像を利用し、車両の位置と大きさを計測する手法を開発した。しかし、26年度では、カメラ手前を走行する車両しか計測することが出来ず、3車線以上の複数車線道路には適用することが出来なかった。そこで本年度では、この課題を克服すべく、26年度に開発を行った画像処理プログラムを拡張し、複数車線に適用可能なものへ改良した。

複数車線について、通過車両の大きさを導出するため、エリアカメラを新たに1台追加した。図1に製作を行った最終版システムの模式図を示す。追加されるエリアカメラは、マイクロホンアレイの上方（高さ4m位置）に設置し、そこから地上を見下ろす形で画像を撮影する。前年度に開発を行った画像処理プログラムは、車線の側方から撮影した画像に対してのみ有効であったため、今年度は、上方カメラと側方カメラのそれぞれで撮影した画像を組合せ、処理を行い複数車線の車両情報を抽出可能なプログラムを作成した。

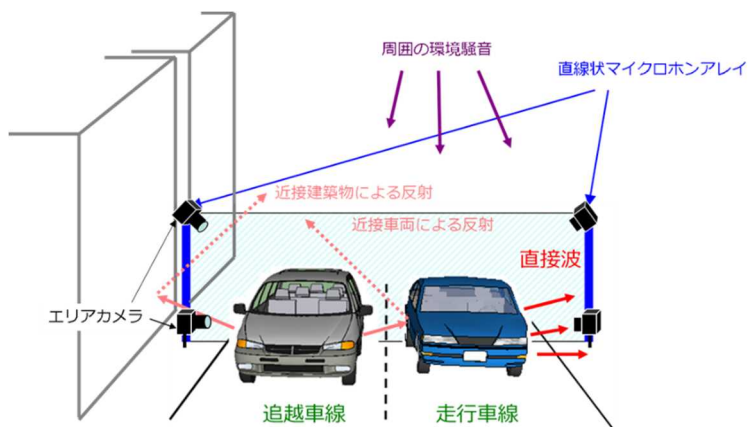


図1 最終版システム概要

上方から撮影した動画において、手前側車線に存在する車両と奥側車線に存在する車両を全く重なることなく撮影するためには、かなり上方にカメラを設置する必要がある。しかし、実環境では設置の制限があるため、車両が重なっていても車両情報を抽出可能な方法として、車線境界線を利用することを考案した。図2に、上方カメラにおける通過車両が走行する車線を判別する方法を示す。ここでは、手前側車線を走行する車線は、手前側車線の右側（奥側）の車線境界線を遮断するが、奥側車線の右側車線境界線は遮断しないものと仮定し、車線境界線近傍に、特定のY座標範囲を「車線スリット」として定義し、前景画像抽出結果の画像からスリット範囲の値を抽出する。また、車線スリットに加えて、特定のX座標範囲を「縦軸スリット」として定義している。開発を行うシステムでは、マイクロホンアレイに挟まれた垂直断面内について、騒音源の可視化を行う。そのため、反射音の伝達経路計算を行うために必要な反射物の情報は、マイクロホンアレイに挟まれた垂直断面を遮る断面の情報を、時系列に測定する必要がある。この垂直断面にあたるのが縦軸スリットとなる。

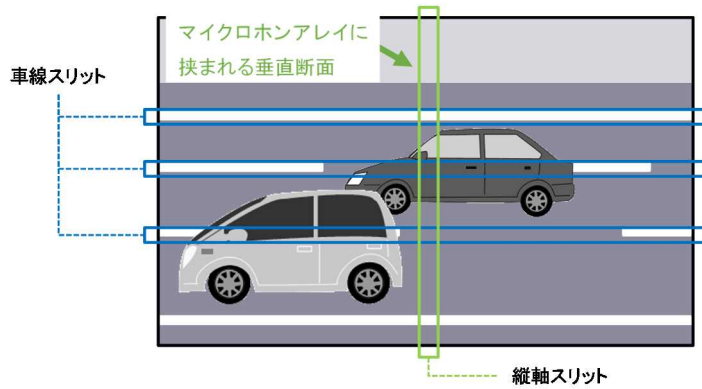


図2 上方カメラ撮影画像における車線判別の考え方

前項にて定義した車線スリットおよび縦軸スリットについて、その交点を「通過判定範囲」として定義する。通過車両の定義を、図3に示す。前景画像抽出結果の画像から、通過判定範囲の値を抽出し、対象フレームにおける車両の有無を判定する。通過判定範囲にて物体が検出されている車線は、車両が通過していると判断する。図3の場合、手前から2車線目を走行する車両のみ、通過していると判断される。なお、誤検出を防止するために、物体が通過判定領域の80%以上を占める場合のみ判断することとした。なお、本処理は検出対象の全ての車線について実行し、車両が通過していないと判定された車線に対してはそれ以降の演算は行わない。

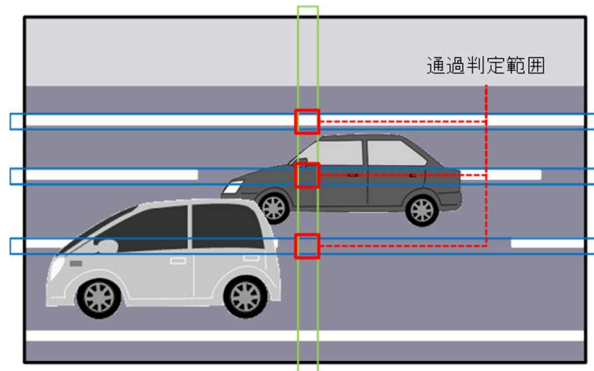


図3 各車線における車両の存在判定

3. 音源別寄与度導出プログラムの作成

我が国の道路交通騒音の環境基準は、 L_{Aeq} （等価騒音レベル）と呼ばれる指標にて評価されている。これは、ある時間幅の騒音レベルのエネルギー平均を意味するが、環境基準では、昼間：16時間、夜間：8時間という長時間の平均値となるため、基準を超過した場合、なぜ基準を超過したか原因を特定することは困難である。ここでは、 L_{Aeq} に対する各音源の寄与率を算出するため、計算プログラムを作成した。

自動車から発せられる音源が、車両のどこから発生されたものか特定する方法としては、マイクロホンアレイを用いて可視化を行い、その結果から人間が目視で判断する方法が一般的であり精度が高い。しかし、本システムの適用対象は交通流であり、通過する車両1台1台について目視で音源位置を判断しては、データの解析に膨大な時間を要することとなり非現実的である。そこで本研究では、プロ

グラムにて音源位置を自動判別することとした。ここでは、画像処理プログラムにて得られた車両の矩形の各面（上面、左右面、前後面の計5面）を、各面9等分し、計45区画のどこが一番大きな騒音となるか調べることによって、車両における相対的な位置関係より、どの位置が大きな騒音源となるかとした。本研究では、車種分類として、大型車（トラック、バス等）、二輪車、その他（乗用車等）という3車種分類を採用しているが、車種ごとに車両における音源（エンジン、タイヤ等）の配置が似通っているため、車種における相対位置が求まれば、騒音の発生源を特定することが出来る（例えば、大型車の前方の区画が大きい騒音となる場合、エンジンが音源といえる）。ここで図4に、本システム全体の処理の流れを示す。車種分類に従って、車種毎に各区画の騒音レベルを加算する点は、上記に述べた通りである。測定を行ったフレームについて、全て処理が終了した後は、簡易的な L_{Aeq} を求めることとした。ここでいう簡易的な L_{Aeq} は、下記の通り求める。

$$L_{Aeq} = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^9 L_{ijk}$$

ここで、 L は車種毎・区画毎に騒音レベルを加算した値であり、 k は車種をあらわす番号、 j は騒音レベルを求める面をあらわす、 i は各面における区画をあらわす番号である。通常、環境騒音の評価に用いられる L_{Aeq} は、測定時間における全ての騒音に対する平均値であるが、この値の中には、通過車両がマイクロホン周辺に存在しない時間帯の騒音や周囲の雑音等の影響を含めたものである。より自動車の騒音に焦点を当てるため、本研究で扱う L_{Aeq} を自動車から発せられる騒音のみで求めることとした。求めた L_{Aeq} で車種毎・区画毎に加算した騒音レベルを割ると、各区画の寄与率を求めることが出来る。

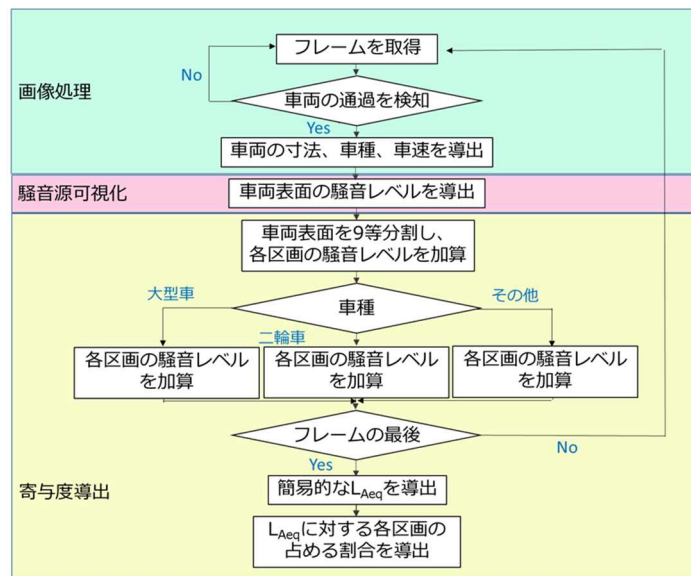


図4 最終版システムフローチャート

4. 検証試験の実施

最終版のシステムについて、テストコースおよび公道にて、検証試験を実施した。まずは、単独走行する車両について、画像処理プログラムの検証を行った結果を示す。表1は走行車線とその車種の判定精度を検証した結果であるが、実施した全ての条件において、正しい判断をすることができた。表2に車両寸法の導出精度を示す。車速については、一部の異常値を除いて、最大10%の誤差が生じている

が、真値には±1 (km/h) 程度のばらつきが含まれていると考えられることから、この測定ばらつきが誤差に混入していると考えられる。車両高については、5～10%の誤差であった。車両長は異常値を除いても10～25%と大きな誤差が生じているが、処理方式によるものである。車両長は「速さ×通過時間」で計算されるが、通過時間は「最初に検知したフレーム」から「最後に検知したフレーム」を意味する。しかし、「最初に検知したフレーム」の時点で縦軸スリットを通過していた部分と、「最後に検知したフレーム」以降に縦軸スリットを通過する部分の長さは、ここでの車両長として導出されない。そのため、誤差が大きいと考えられる。

次に、複数車線において、車両が併走して走行する場合について、車両検出の可否を検討した。図5に検出された画像を示し、図6に車両を検知した時間を示したグラフを示す。図6では、車線に車両が存在する場合、走行する車線番号を示し、車線に車両が存在しない時間対においては、ゼロを示している。検出を行った結果では、目視でフレームを確認した結果と合致した結果を得ることができ、車線を交差する等の誤りもなかったことが確認された。

表1 走行車線および車種判定結果

結果		真値		正否	
走行車線	車種	車線	車種	車種	車線
1	その他	1	その他	○	○
1	その他	1	その他	○	○
1	その他	1	その他	○	○
2	その他	2	その他	○	○
2	その他	2	その他	○	○
2	その他	2	その他	○	○
3	その他	3	その他	○	○
3	その他	3	その他	○	○
3	その他	3	その他	○	○

表2 車両情報抽出結果

結果			真値			誤差率 (%)		
車速 (km/h)	車両高 (m)	車両長 (m)	車速 (km/h)	車両高 (m)	車両長 (m)	車速	車両高	車両長
29.9	1.72	2.80	30.0	1.88	3.40	0.3	8.5	17.7
47.5	1.72	2.92	50.0	1.88	3.40	5.1	8.5	14.1
63.7	1.76	2.95	70.0	1.88	3.40	9.0	6.4	13.2
28.3	1.71	3.15	30.0	1.88	3.40	5.6	9.0	7.4
48.2	1.74	3.12	50.0	1.88	3.40	3.7	7.5	8.2
69.4	1.72	1.61	70.0	1.88	3.40	0.9	8.5	52.7
30.7	1.69	2.56	30.0	1.88	3.40	2.5	10.1	24.7
51.2	1.64	2.85	50.0	1.88	3.40	2.4	12.8	16.2
41.1	1.69	1.91	70.0	1.88	3.40	41.2	10.1	43.8

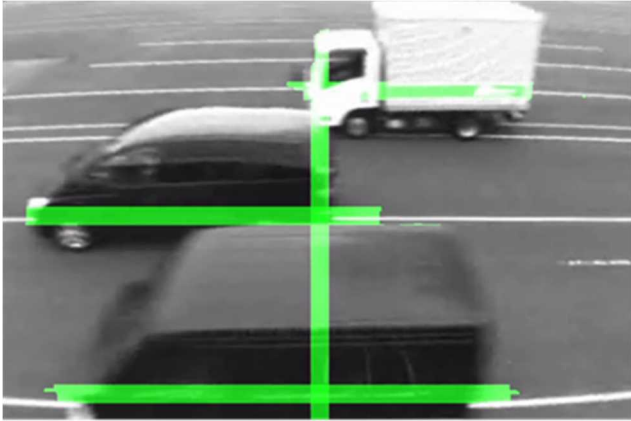


図5 複数車線における画像処理の様子

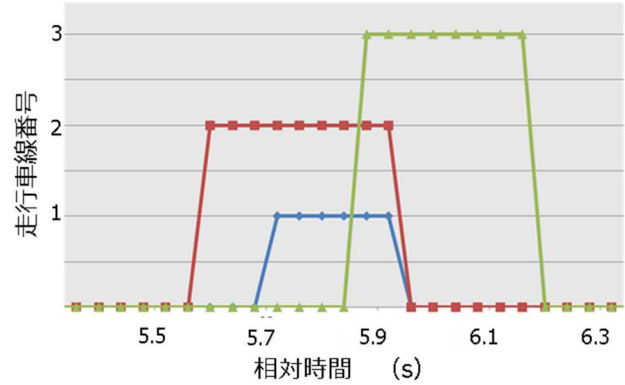


図6 複数車線における車両検出結果

5. システム運用にあたっての検討

システムの運用にあたって、使用者が注意すべき点について、とりまとめた。また、システムの普及にあたって障害となるシステムの製造コストについても、削減の可能性を探るべく、安価なマイクロホンの音響計測への適用の可能性を検討した。

本研究で使用しているマイクロホンは、計測用のものであるため、マイクロホンおよびプリアンプを含めると、1本あたり8万円（税込）ほどかかる。本システムでは、48本のマイクロホンを使用しているため、マイクロホンの購入費用だけで約384万円の費用が必要となることになる。本研究では、近年、技術の進歩が進んでいる携帯電話等に使用される安価なマイクロホンである、MEMS (Micro Electro Mechanical System) マイクロホンの音響計測への適用を検討した。使用したMEMS マイクロホンを図7に示す。MEMS マイクロホンは、図7のように、計測用マイクロホンに取り付け、各マイクロホンで計測された信号について検討を行った。図8に、公道において大型車が通過した際の周波数特性について、計測用マイクロホンおよびMEMS マイクロホンについて示す。今回使用したMEMS マイクロホンは、低周波数帯域で感度が落ち、高周波数帯で感度が上がる特性であったが、図8の結果からも、同様の傾向が見て取れる。MEMS マイクロホンの周波数特性および感度を考慮し、使用する周波数範囲の限定をするか周波数補正を行うことで、計測用インチマイクロホンとほぼ同等の結果が得られると考えられる。

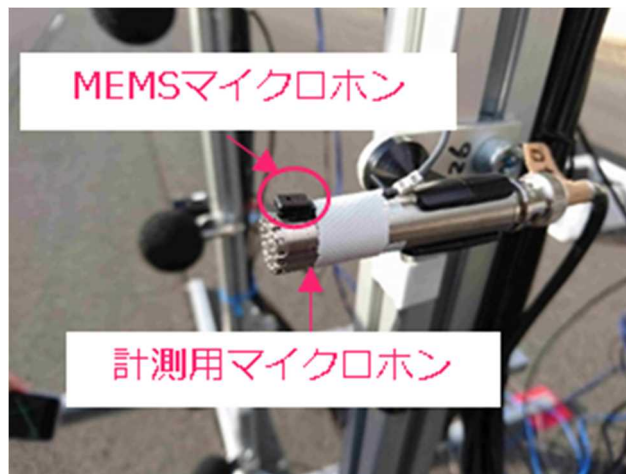


図7 MEMS マイクロホン

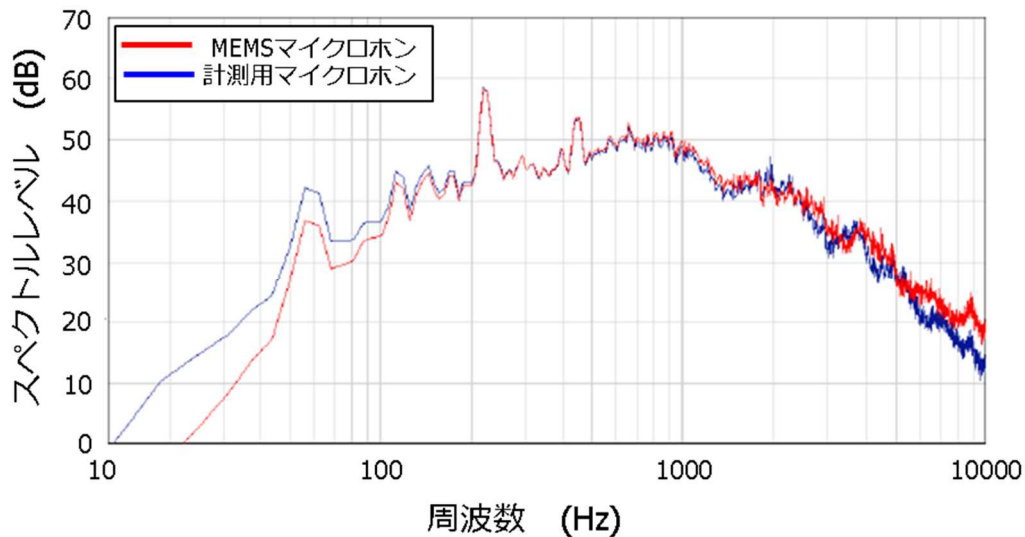


図8 計測用マイクロホン・MEMS マクロホンの周波数特性比較

6. 結論

今年度の研究開発においては、まずは、これまでの画像処理プログラムを改良し、複数車線について通過する車両情報を導出可能なよう、改良を行った。改良にあたっては、エリアカメラをマイクロホンアレイ上方に追加し、上方から見下ろす形で撮影された動画と、通過車両の側方にて撮影された動画を組み合わせて、処理を行う形とした。また、音源別に L_{Aeq} に対する寄与度を導出可能なプログラムを作成し、システム改良を図った。製作した最終版システムを用いて、テストコース及び公道にて検証試験を行い、その精度評価を行った。

本研究にて開発を行ったシステムは、音源探査技術と画像処理を組み合わせたもので、これまでに例のない画期的なシステムとなっている。交通安全環境研究所は、平成26年度から平成27年度にかけて行政関係者に向け、本システムに関する情報提供を含む、道路交通騒音対策に関する勉強会を計3回開催してきた。その中で意見として、どのような道路でどのような車両（音源）が理由として道路交通騒音が悪化しているか不明であるとの声があった。本システムを用いて、データの蓄積を図ることによって、今後の、我が国における自動車騒音対策の方向性を示す定量的なデータを得ることが出来ると考えられる。なお、上記のような行政関係者向けの勉強会は、次年度も実施する予定であり、引き続き情報の共有を図りたい。

7. 知的財産権取得状況

特許出願 0件

8. 研究成果発表実績

1) 論文発表

国内 1件、海外 0件

[1]宝渦 寛之、” 道路交通騒音に関するモニタリングシステム、” ,騒音制御、Vol. 39、No. 5、pp. 160-163、2015

2) 口頭発表

国内 1 件、海外 0 件

[1]宝渦寛之、坂本一朗、西孝弘、石濱正男、猿渡克己、” 道路交通騒音の超過要因把握のための新たな騒音源可視化装置の開発ー検証試験および通過車両情報抽出機能の追加ー、” 交通安全環境研究所 フォーラム 2015 講演概要集、pp. 97-100、2015

3) その他（研究内容報告書、機関誌発表、プレス発表等）

・