

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

## 主論文の要旨

論文題目

車内における音環境評価と聴覚インタフェースに関する研究

氏名

星野 博之

## 論文内容の要旨

最近の自動車においては、高機能化、高性能化が進み、ユーザの満足度はかなり高いレベルになってきた。しかしながら、ユーザは車の基本的性能のみならず、付加的な情報デバイスや安全システムを含めて、さらなる快適性や安全性の向上を望んでいる。

一方、自動車まわりには様々な音が存在している。大きく分類すると、自車が発生する音と車外の様々な音である。自車が発生する音としては、エンジン音、路面とタイヤによる音、風切り音など自車の走行のために発生する音が主体となり、車内の音環境を悪化させる主要因であり、乗員の快適性への影響が非常に大きい。また、最近自動車に搭載されるようになってきたナビゲーションシステムの一機能である音声認識機能への影響、すなわち車内騒音による音声認識率の低下は、重要な問題の一つである。また、車外の音としては、他の車両の走行により発生する音、および、緊急自動車のサイレン、踏切の警報音、クラクションなどの警報音であり、安全な運転にはかかせない情報となる。しかしながら、車両の遮音性向上や車内オーディオのため、ドライバがこれらの音情報を得られにくくなっている。

本論文では、自動車まわりの音とドライバとの関係として、快適性の観点からは、車内の音環境の評価手法、及び、車内における音声認識率評価について、これまで行ってきた研究成果について述べる。また、安全性の観点からは、車外の車両周辺の情報音を音により検知する手法と、検知した情報をドライバに音で知らせる聴覚インタフェースについて、これまで行ってきた研究成果について述べる。

まず、快適性の観点であるが、近年の自動車車室内の静粛性はかなり向上してきている。しかし、軽量化を進めつつ静粛性を向上させるためには、騒音レベルをさらに低減するのではなく、走行状況ごとの音環境の印象を支配する要素的な音（要素音）に注目して車内音を評価し、それに基づいて騒音対策を行うことが必要となる。ここでは、まずはじめに、種々の加減速や定常走行を含んだパターン走行を設定し、車内音を構成している主な四つの要素音「エンジン音」「こもり音」「路面音」「風切り音」に注目して車内音の官能評価を行った。そして、それぞれの要素音について、目立って聞こえ

るかという官能評価と相関の高い物理量（音響特徴量）を明らかにした。そして、この音響特徴量を用いて要素音の「目立ち度」を推定することにより、走行状況ごとに各要素音がどの程度目立つかを客観的に把握できることを示した。

そして、エンジン音、こもり音、路面音、風切り音という要素音の聴感上の大きさ（聞こえやすさ）、及び、バランス（聴感上の比率）に注目した車内音の評価を行った。要素音の聴感上の大きさ、及び、それらのバランスを求める場合、車内音は周期音とランダム音により構成される複合音であり、周期音とランダム音が聴感上識別できることを考慮すること、及び、音の周波数成分間のマスキングの影響を考慮することが必要となる。ここでは、マスキングに注目した車内音の聴覚系処理モデルを仮定し、それに基づいて要素音の聴感上の大きさを高精度に求める手法を作成した。この手法では、周期音成分とランダム音成分の相互のマスキング効果を考慮して、各要素音の大きさとバランスを算出できる。そして、これにより算出した要素音のバランスが総合的な車内音の良否を評価する指標の一つになることを、路面音と風切り音を対象とした検討により示した。

次に、高速走行時の車内において特に問題となる風切り音を対象とし、マスキングや両耳聴による音の方向知覚といった人間の聴覚特性に基づいた、風切り音評価法を作成した。この評価法は、周波数帯域ごとに聴感と合った音の大きさと方向が算出可能であり、方向が明確で目立つ風切り音を分析的に示すことができる。また、評価法算出値（両耳聴風切り音指標）により、聴感上の風切り音の大きさが精度よく定量化できる。本評価法により、レベルだけでなく音の方向が問題となる場合についても、風切り音の客観的な評価が可能となり、対策指針を具体的に、定量的に示すことができるようになった。

さらに、最近、機器操作の利便性向上のためにナビゲーションシステムなどに搭載されるようになった音声認識機能に関して、車内騒音下における音声認識の評価を行った。前述のパターン走行時の車内騒音を評価対象として音声認識率を調査し、騒音の音響特徴量との対応関係を解析した。結果として、騒音のラウドネスと音声認識率とが最も良い対応を示すこと、さらに、ラウドネス値が同じでも、定常走行時に比べて加減速走行時は全体的に音声認識率が低下し、騒音の特徴によっては認識率が大きく低下する場面があることを明らかにした。このように、音響特徴量と音声認識率との関係を解析・評価することにより、平均的な認識率だけでなく、どのような騒音の場合に認識率が悪化するのかといった検討や、それを対策した場合の効果の検証を容易に行えるようになった。

一方、安全性の観点においては、複数のマイクロホンを車両に装着して走行音から接近車両を検知し、自車からの方位を推定してドライバに情報伝達することにより、見通しの悪い交差点での出会い頭事故などを未然に防ぐためのシステムについて、その有効性を明らかにすることを目的として検討を行った。具体的には、2本のマイクロホンから入力される走行音の信号処理により接近車両の検知と方位推定を行う手法の検討を行い、車載実験システムを作成して実際の交通状況においてシステムの評価実験を行った。結果として、車両接近の検知は95～100%可能であるが、周囲騒音の大きい場所での誤検出を考慮することや、方位推定精度の向上のためには信号処理やマイク位置により自車ノイズの影響を少なくすることが必要であることがわかった。また、車両接近情報をドライバに伝える出力音として、接近に伴ってレベル変化させたものが適しており、車両接近音のレベル変化を模擬したような物理現象と合った変化をする音が、ドライバの感覚に合ったものであることがわかった。

次に、車両周辺の情報を音でドライバに伝える場合の方向定位警報音の効果を実験により明らかにした。音声メッセージや警報音（非音声信号）を用いた音による走行環境情報提示においては、音声は緊急時に適さないという問題点、非音声信号には、注意対象が何かはすぐにお

からないことによるわずらわしさや、音量、音質の違いのみで音の意味の了解度や識別性を高めることの限界といった問題点がある。このような問題点を解決するための一つの考え方として、音の音像制御技術を用いて、警報音により注意対象の位置・方向を提示することが挙げられる。すなわち、これまでの警報音では、提示タイミング、音の違いで危険度、緊急度を示していたのに対して、ここでは、音像制御により方向感、距離感のある音を提示することにより、注意対象の位置をドライバがすぐに認識できるようにするという考え方である。この考え方の有効性を明らかにするため、方向定位音がドライバの操作を早め、ヒューマンエラーを低減できるかどうかを、LED 反応タスクにおける反応時間と視線移動の計測実験により調べた。反応時間分布と視線移動の分析を行った結果、ドライバの反応を示す尺度としては、平均反応時間よりも、実際の運転中に事故につながるようなヒューマンエラーの可能性と対応すると考えられる大きな反応遅れ回数の方が適切であることがわかった。そして、方向定位音は、大きな反応遅れの回数を低減でき、注意対象の認識に有効であることがわかった。