氏名（本籍）	柴谷 直明（静岡県）
学位の種類	博士（情報工学）
学位記番号	甲第130号
学位授与年月日	平成30年3月23日
学位授与の要件	広島市立大学大学院学則第36条第3項及び広島市立大学学位規程第3条第3項の規定による
学位論文題目	A study on the sound quality evaluation and sound quality control of the engine noise エンジン騒音の音質評価と音質制御に関する研究
論文審査委員	主査 教授 石光 俊介 副査 教授 小林 康秀 副査 教授 岩城 敏

論文内容の要旨

自動車は主として目的地に移動する手段として利用されるが、旅行や帰省などでかなり長時間をその中で過ごすこともまれではない。ドライブそのものを楽しむような場合はもちろんのこと、どこかに行くためにやむを得ず利用するとしても、その車室内で快適に過ごすことが望まれ、会話や音楽を楽しむことができる、静かで快適な空間であることが求められる。その一方で、自動車は一人で過ごすことができるプライベート空間でもあり、スポーツカーが好きな人にとってそのエンジンサウンドは乗る楽しみでもある。このように、音はイメージを作る一つの要因であり、重要な性能である。近年、自動車の高品質化に伴い、車室内は「騒音対策による低騒音化」から「サウンドデザインによる快音化」へと推移している。自動車の品質はエンジン性能だけでなく、スタイルやネーミングなど様々な要因が関わっており、その中で音に対する「運転手の聴感印象」も重要な要因の一つと考えられている。特に、運転して楽しい、あるいは気持ちの良い車を実現するために、加速走行時の車室内で聞こえる加速音が重要視され、そのあり方や評価手法に関する研究が盛んに行われている。また、従来から加速音を調整する手段としては吸気系システムや排気系システムの共鳴をチューニングする手法が広く用いられてきた。しかし、これらの手法は定常走行時の静粛性や車外騒音との両立が課題となる場合がある。そこで、本論文では、加速音の音質制御のために、一般的に騒音対策で用いられる適応騒音制御を、加速音の音質制御へ適用することを検討した。加速音の音質を制御するためには、目標音を設定する必要があるが、目標音を聴感評価で設定すると多大なる開発工数がかかってしまう。そこで、本研究では、加速音の客観的な評価方法について検討した。また、加速音を制御するためには、加速音の変化に追従できる制御アルゴリズムの検討が必要なため、アルゴリズムの高速化についても検討した。さらに、音質制御アルゴリズムである Command filtered reference LMS アルゴリズムは、自動車加速音への適用例がないため、その有用

性を確認した。

本研究で検討した結果，時間変化に伴いラウドネス（音の大きさ）を増加させることで，スポーティ感を向上させることが確認でき，スポーティ感はラウドネスの時間的な変化率で評価できることがわかった．音質制御アルゴリズムである Command filtered reference LMS アルゴリズムを加速音に適用することで，調波構造における振幅の山谷が改善し，スポーティ感を向上できることがわかった．また，実用上の制御アルゴリズムにおいて，収束性能阻害の原因となるマイク・スピーカ間の伝達関数を平坦化することで収束性能が向上し，従来法より加速騒音に対する追従性を向上できることが確認できた．本研究により，加速音に対し適応音質制御を用い，車室内音の各次数振幅を制御することで，スポーティ感を演出できる可能性を示唆し，その評価方法についても示した．

論文審査の結果の要旨

平成30年2月15日午前10時40分から午後0時10分まで博士学位論文発表会（公聴会）を行った。学内外の22名が聴講した。申請者が論文内容について説明を行い、その後、論文内容に関する質疑応答を行った。すべての質疑に対して申請者は的確に回答した。本論文では、エンジン音質の評価および制御について検討している。近年では「騒音対策」から「サウンドデザイン」へと車内音対策も推移しており、ドライバの聴感印象が重要な要素の一つとなっている。そこで、まず、音質評価指標としてこれまであまり検討されていなかった非定常音を対象とした音質評価指標を提案し、“スポーツ感”の聴感印象との対応を検討している。次に、エンジン騒音の調波構造の違いの聴感印象への影響について調査し、ハーフ次数や次数成分そのものの振幅変動は“スポーツ感”，“高級感”の聴感印象を悪化させること、アクティブノイズコントロールで2次成分を消すことで“スポーツ感”の因子得点が向上すること、を明らかにしている。最後にこれらの結果を基に適応音質制御アルゴリズムとして、音質制御信号を導入した **Command Filtered-x LMS**アルゴリズムを提案している。これは消音するだけでなく、誤差信号(制御対象音場)を制御信号(所望の音)へと変化させる手法である。近年、吸気音を“スポーツ感”のあるサウンドを創り出すため車内に導くという試みすらある。そこで、提案アルゴリズムの制御信号に吸気音を導入することで、加速音の振幅変動が改善され、“スポーツ感”が向上したことを確認している。以上のような新たな手法の提案とともに本人の実際のNVH業務にも適用可能な技術開発でもあり、優れた論文と判断できる。以上により博士論文としては十分な内容であると判断された。本論文の主な成果は、日本機械学会論文集, **International Journal of Innovative Computing, Information and Control, ICIC Express Letters**などに5件論文発表したほか、査読付き国際会議9件公表済みである。以上により審査委員会は論文審査を合格とした。