

主観的および客観的な音質評価に基づく機械の機能音生成に関する研究

Research on Creation of Functional Sounds from Machines Based on Subjective and Objective Sound Quality Evaluation

中央大学大学院理工学研究科精密工学専攻

博士課程後期課程

山口 雅夫

1 序論

近年、機械製品の開発競争は激化しており、他社製品との差別化を図るために、その製品が本来持つ目的の機能をより高めることが要求されている。そして、家庭、オフィス、自動車車室内において、音を活用して目的の機能を有する音環境を創造する研究が始まっている。ここで、環境に新たな機能を生成する音を「機能音」と定義する。様々な環境の快適性、オフィスの知的生産性、および自動車車室内の覚醒水準の維持の向上などに機能音の活用が望まれている。しかし、機能音について以下の3点の検討が不十分である。1つ目は、機能音の生成手法、2つ目は、機能音の評価手法、3つ目は、時間経過に伴う機能音の効果維持である。機能音の生成手法は、非定常音の快音化、ばらつきや経時変化を考慮した検討が十分なされていない。機能音の評価手法は、主観的および客観的な音質評価、聴覚のみでなく視覚などを考慮した複合刺激下の音質評価手法が確立されていない。時間経過に伴う機能音の効果維持は、機能音のばらつきを考慮した経時変化や聞き慣れについて検討されていない。

そこで本研究では、様々な環境の感性価値を向上するために、ばらつきや経時変化を考慮した“音質安定化手法”、聴覚のみでなく視覚や動作意志を考慮した“複合刺激下の音質評価手法”、および時間経過に伴う“聞き慣れ評価手法”を提案する。“音質安定化手法”については、非定常音の快音化のために、設問調査に基づく主観的および生体情報に基づく客観的な音質評価により、ばらつきや経時変化を考慮した機能音の生成手法を提案する。

“複合刺激下の音質評価手法”については、聴覚のみでなく視覚や動作意志を考慮した複合刺激下における機能音の主観的な音質評価や、生体情報に基づく客観的な音質評価の手法を提案する。“聞き慣れ評価手法”については、時間経過に伴う機能音の効果維持を検討するために、聞き慣れの主観的および生体情報に基づく客観的な評価手法を提案する。これらの提案により、様々な環境の感性価値が向上できる。

論文は以下で構成する。第2章「機能音の効果を客観的に音質評価する生体情報の検討」では、音刺激に対して、従来の設問調査に基づく主観的な音質評価に加え、生体情報に基づく客観的な音質評価の可能性を検討する。第3章「機能音の音質安定化手法に基づく快適性と知的生産性の向上」では、非定常音を対象として、ばらつきや経時変化を考慮した“音質安定化手法”を提案する。また、周期音のリズム感を考慮した快適性や知的生産性を向上する機能音を提案する。第4章「複合刺激下の音質評価手法に基づく快適性の向上と覚醒水準の維持」では、聴覚のみでなく視覚や動作意志を考慮した“複合刺激下の音質評価手法”を提案する。また、快適性と覚醒水準の維持に有効な機能音を提案する。第5章「時間経過に伴う機能音の聞き慣れ評価手法」では、第3章と第4章で提案した機能音の“聞き慣れ評価手法”を提案する。また、継続的に機能音を使用した際に、機能の低下が小さい音、および騒音に対する不快感が軽減する音を提案する。

以下に、各章の要旨および研究成果をまとめる。

2 機能音の効果を客観的に音質評価する生体情報の検討

第2章では、まず、機能音の効果を評価するために、生体情報に基づく客観的な音質評価を用いて、音刺激に対して快適性が評価できるか検討した。本研究の音質評価は実用性を考慮して、生体を傷つけない非侵襲、省ス

ペースおよび低拘束で計測できる生体情報を選定する。次に、音質評価における精度向上のためのデータ処理手法および音質評価指標を提案し、実際の機械に適用した。以下の研究成果が得られた。

2.1 快・不快やストレス刺激に反応する生体情報の種類

生体情報について神経系、内分泌系、および免疫系の観点で整理した。そして、本研究で検討する生体情報として、心拍、唾液アミラーゼ、近赤外分光法による脳血流、および呼吸を選定した。

2.2 心拍を用いた客観的な音質評価

心拍を用いた客観的な音質評価の可能性を検討した。不快音として歯科ドリル音を提示した際の心拍変動を評価した。そして、不快音の提示により副交感神経よりも交感神経が優位となり、心拍は音刺激に対して音質評価が可能なことを見出した。

2.3 唾液アミラーゼを用いた客観的な音質評価

唾液アミラーゼを用いた客観的な音質評価の可能性を検討した。被験者に 2.2 節と同じ不快音を提示した際の唾液アミラーゼの活性値を評価した。そして、不快音の提示により唾液アミラーゼの活性値に有意な差が得られ、音刺激に対して音質評価が可能なことを見出した。

2.4 近赤外分光法による脳血流を用いた客観的な音質評価

近赤外分光法による脳血流を用いた客観的な音質評価の可能性を検討した。被験者に快音(川のせせらぎ)、ランダムノイズ、騒音(ガラスの擦り合わせ)の3種の音を提示した際の脳血流を評価した。そして、音質の違いにより脳血流の活性値に有意な差が得られ、音刺激に対して音質評価が可能なことを見出した。

2.5 呼吸を用いた客観的な音質評価¹⁾

呼吸を用いた客観的な音質評価の可能性を検討した。被験者に 2.4 節と同じ3種の音を提示した際の呼吸を評価した。そして、音質の違いによる呼吸振幅のピーク値と揺らぎの顕著な差を明確にし、音質評価が可能なことを見出した。また、被験者の体動や深呼吸がある場合の特異なデータを取り除く新たなデータ処理手法の必要性を示した。

2.6 客観的な音質評価における精度向上²⁾

定常的な呼吸のデータは正規分布に従うと仮定し、正規確率プロットが一直線に並ぶことを利用して、体動や深呼吸などによる特異な呼吸振幅のピーク値のデータを排除し、客観的に音質評価できる音質評価係数を提案した。また、提案した評価係数が、医療機稼働音の音質評価に適用できることを示した。

3 機能音の音質安定化手法に基づく快適性と知的生産性の向上

第3章では、非定常音を対象とし、まず、機能音の音質安定化手法として周期音で形成されるリズム感を考慮した快適性の向上、周期音の経時変化について検討した。次に、周期音のリズム感を考慮した知的生産性を向上させる機能音を提案した。以下の研究成果が得られた。

3.1 周期音のリズム感を考慮した主観的な音質評価³⁾

定常音と過渡音が含まれる周期音について、音質変更に対する寄与が高い音源を明確にした。そして、特定の過渡音をなくすとリズム感が悪化し、快適性が低減することを把握した。また、周期音のリズム感を改善する必要性を示し、快適性を向上させる指針を見出した。

3.2 周期音のリズム感を考慮した客観的な音質評価⁴⁾

被験者に周期音を提示した際の心拍と唾液アミラーゼを計測し、リズム感について客観的な音質評価を行った。そして、主観的な音質評価と客観的な音質評価の強い相関を見出し、心拍と唾液アミラーゼは周期音のリズム感の評価に適切であることを把握した。また、人間の心拍よりもやや遅いリズム感により、快適性が向上する可能性を見出した。

3.3 周期音のリズム感を考慮した音質安定化手法⁵⁾

事務機稼働音の計測データを加工して任意のばらつきを与えた評価音を作成し、音質評価を行うことで過渡音のばらつきが聴感に与える影響を把握した。そして、周期間ばらつきと周期内動作ばらつきを定義し、これらの影響を定量的に評価し、経時変化を考慮した音質安定化手法を提案した。

3.4 周期音のリズム感を考慮した知的生産性の評価

周期音のリズム感を用いて知的生産性を向上させることを検討した。リズム感を変更した周期音を被験者に提示した際に簡単な計算タスクを与え、両者の関係性を評価した。そして、人間の心拍よりもやや速い機能音を提示すると計算の解答率が增加することを把握し、知的生産性が向上する可能性を示した。

4 複合刺激下の音質評価手法に基づく快適性の向上と覚醒水準の維持

第4章では、まず、視覚や動作意志が聴覚に与える影響を検討し、刺激などの条件の違いによる音の印象変化を把握した。次に、聴覚刺激と視覚刺激を用いた覚醒水準の維持を、主観的および心拍に基づき客観的に評価した。また、覚醒水準の維持に有効な聴覚刺激の機能音と視覚刺激の色彩を提案した。以下の研究成果が得られた。

4.1 音刺激と映像刺激および動作意志を考慮した快適性の向上⁶⁾

自動車走行音の音質、走行映像、および車種を任意に変更できるドライビングシミュレータを構築し、走行音の印象に対して、走行映像や動作意志を考慮した複合刺激下における音質評価の必要性を示した。また、ガソリンエンジン車と電気自動車の走行音の印象に対して、加速、定速、減速の走行条件の違いによる走行映像や動作意志の影響について評価を行い、各条件での印象変化を把握し、それぞれ異なる音質が望まれることを明確にした。

4.2 近赤外分光法による脳血流を用いた客観的な音質評価

ドライビングシミュレータを用いて走行音、走行映像、および動作意志の複合刺激下で、近赤外分光法による脳血流の計測を行い、刺激の違いにより脳機能の活性化に差異が生じることを示した。また、実際の自動車を用いた主観的および脳血流による客観的な評価から、脳血流は複合刺激下における臨場感を評価できることを明確にした。

4.3 音刺激と色刺激の複合刺激下における覚醒水準の維持⁷⁾

覚醒水準の維持の効果を把握するために、カロリンスカ眠気尺度を用いた主観的および心拍に基づく客観的な評価を行った。そして、自動車車室内において風切り音に相当する周波数帯域の音圧レベルを上げると、覚醒水準の維持に有効であることを示した。次に、色刺激が与える心理的作用を主観的に評価し、黄色刺激が覚醒水準の維持に有効であることを示した。また、音刺激と色刺激を組み合わせた複合刺激下において、覚醒水準の維持の効果を主観的および心拍に基づき客観的に評価し、適切な組み合わせで覚醒効果はさらに大きくなることを見出した。

5 時間経過に伴う機能音の聞き慣れ評価手法

第5章では、時間経過に伴う機能音の効果の変動を評価し、聞き慣れ評価手法を検討した。まず、定常音を対象とし、自動車走行音の覚醒水準の維持に有効な聞き慣れにくい機能音を用いて、主観的な聞き慣れ評価手法を提案した。次に、非定常音を対象とし、事務機稼働音の快適性に有効な機能音を用いて、客観的な聞き慣れ評価手法を提案した。また、聞き慣れ評価手法の有用性を示した。以下の研究成果が得られた。

5.1 定常音の主観的な聞き慣れ評価手法⁸⁾

聞き慣れを音に対する意識の減少状態と考え、音圧レベルを変化させた評価音を被験者に提示したときに、その変化に気付くか否かで聞き慣れを判断する主観的な音圧レベル変動評価手法を提案した。また、提案した評価

手法と従来の皮膚電位に基づく客観的な評価手法の相関より、提案した手法の有用性を示し、聞き慣れ評価指数を提案した。そして、自動車車室内において風切り音に相当する周波数帯域の音圧レベルを上げた音は聞き慣れにくく、覚醒水準を長く維持できることを示した。

5.2 非定常音の客観的な聞き慣れ評価手法⁹⁾

事務機稼働音に含まれる一部の定常音と過渡音を合成した非定常音、および事務機稼働音を被験者に提示した際の主観的および唾液アミラーゼを用いた客観的な評価から、アミラーゼ活性値は聞き慣れを評価できることを見出した。そして、非定常音の中で周期音は聞き慣れやすいが、人間が発生タイミングを予期できない非定常音は聞き慣れにくいことを示した。

6 結論

第6章では、各章の研究成果をまとめ、今後に向けた課題および展望について整理した。

本研究では、様々な環境の感性価値を向上させるために、ばらつきや経時変化を考慮した“音質安定化手法”、“複合刺激下の音質評価手法”、および時間経過に伴う“聞き慣れ評価手法”を提案した。“音質安定化手法”については、非定常音の快音化のために、設問調査に基づく主観的および生体情報に基づく客観的な音質評価により、ばらつきや経時変化を考慮した機能音の生成手法を提案した。“複合刺激下の音質評価手法”については、聴覚のみでなく視覚や動作意志を考慮した複合刺激下において、機能音の音質評価や、生体情報に基づく客観的な音質評価手法を提案した。“聞き慣れ評価手法”については、時間経過に伴う機能音の効果維持を検討するために、聞き慣れの主観的および生体情報に基づく客観的な評価手法を提案した。これらの提案により、様々な環境の感性価値を向上させる機能音が実現できた。日常使われている機械を対象としたので、本研究成果の実用化が期待できる。

今後はさらに効果の大きい機能音や、人間の状態変化に応じた機能音の生成が課題である。

参考文献

- 1) 山口雅夫, 吉田拓人, 戸井武司, “生体計測を用いた音質評価の可能性の検討”, 日本音響学会秋季講演論文集, 375-376 (2006).
- 2) 吉田拓人, 山口雅夫, 大久保信行, 戸井武司, “呼吸のピーク値の変動を用いた音質評価”, 日本音響学会春季講演論文集, 765-766 (2007).
- 3) 山口雅夫, “MFP 動作音のデザインの現状と今後について”, 日本音響学会秋季講演論文集, 1463-1466 (2011).
- 4) M. Yamaguchi, K. Hanawa, T. Toi, “The Influence of the Sensation of Rhythm on Comfort and Productivity”, INTER-NOISE 2014, No. 120, 1-9 (2014).
- 5) 山口雅夫, 白方翔, 戸井武司, “精密情報機器の快音設計と音質安定化手法の開発—過渡音のばらつきが聴感に与える影響の評価—”, 日本音響学会論文集, Vol. 69, No. 6, 267-275 (2013).
- 6) 山口雅夫, 渡邊泰英, 前田修, 大久保信行, 戸井武司, “視聴覚情報および運転意志を考慮したEV 走行音の印象変化”, 自動車技術会論文集, Vol. 45, No. 5, 859-864 (2014).
- 7) 岡崎啓吾, 山口雅夫, 戸井武司, “視聴覚情報に基づく覚醒水準維持の研究”, 自動車技術会春季講演集, 15-18 (2014).
- 8) M. Yamaguchi, M. Satomi, W-H. Cho, T. Toi, “A Study on the Evaluation Method of Being Accustomed to Hearing Vehicle Interior Noise”, INTER-NOISE 2011, No. 437072, 1-6 (2011).
- 9) M. Yamaguchi, S. Ozawa, M. Satomi, T. Toi, “Objective Sound Quality Evaluation for Precision Information Equipment by using the Activity of Salivary Amylase”, Proc. of 17th ICSV, No. 317, 1-8 (2010).