

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

4.1 はじめに

従来の研究で、聴覚刺激に視覚刺激や触覚刺激を加える複合刺激により、音の印象や認知性に影響を与えることが確認されている^{[158],[159]}。また、環境の感性価値を向上させる機能音として、自動車車室内における快適性や覚醒水準の維持の向上が望まれている。

そこで第4章では、聴覚のみでなく視覚や動作意志を加え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。

まず、自動車車室内における複合刺激下での快適性の向上について検討する。そして、走行音のみ、走行音と走行映像の複合刺激下、走行音と走行映像および動作意志の複合刺激下における音質評価を行うことで、後席および助手席の同乗者、運転者の各立場における刺激条件の違いによる走行音の印象の差異を検討し、それぞれの違いを考慮したサウンドデザインの指針を示す。音質評価は、従来のガソリンエンジン車および電気自動車（EV：Electric Vehicle）の車室内の走行音について行い、それぞれの複合刺激下における印象の差異を明確にする^{[160]-[162]}。複合刺激下における音質評価を行うために、走行音と走行映像を独立して作成および制御することが可能で、さらに運転動作と連動可能なドライビングシミュレータを開発する。そして、走行音のみ、走行音と走行映像の複合刺激下、走行音と走行映像および動作意志の複合刺激下において主観的な音質評価をそれぞれ行い、モータ音の音質を変えたときに、視覚や動作意志が聴覚に与える影響を検討し、刺激条件の違いによる走行音の印象変化を把握する。ここでは、EV走行音で不足すると予測される迫力感に与える影響を考察する。また、開発したドライビングシミュレータで加速、定速、減速の走行条件の違いを再現し、走行映像や動作意志の影響による走行音の印象変化を把握する。ここでは、静粛性の高いEV走行音が快適性に与える影響を考察する。そして、ガソリンエンジン車とEVの走行音を用いた音質評価を行い、印象変化の違いを考察する。これらの結果より、本手法が走行音の印象を定量化でき、走行音を聞く立場の違いによる印象変化を評価できるか検討する。

次に、走行音のみでなく走行映像や動作意志を考慮した複合刺激下における走行音の印象変化を、生体情報に基づき客観的に評価できるか検討する。評価は、ドライビングシミュレータと実際の自動車を用いて行う。

さらに、複合刺激下における覚醒水準の維持に有効な機能音について、主観的お

よび客観的な音質評価手法に基づき検討する。ここでは、自動車走行時の覚醒水準の維持を目的に、眠気を低下させることで漫然運転が原因の死亡事故を防止できる新たな方法を検討する。本研究では、運転者が煩わしさを感じない音刺激として、自動車の定常走行音に着目する。また、夜間走行の慢性運転を想定して、車室内の照明の色刺激に着目する。そして、聴覚刺激と視覚刺激の複合刺激下における覚醒水準の維持に有効な音刺激と色刺激を検討する。まず、自動車走行音を音質変更することで覚醒水準の維持に有効な機能音を見出す。次に、走行時の覚醒水準の維持に有効な色刺激として照明色の色彩を見出す。そして、音刺激と色刺激を組み合わせた複合刺激による覚醒水準の維持の効果を評価し、有効性を検討する^[163]。

4.2 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

本節では、走行音のみでなく走行映像や動作意志を考慮した複合刺激下において、走行音の音質、刺激条件、走行条件および車種の違いによる走行音の印象変化を検討し、走行音のサウンドデザインの指針を示す。

4.2.1 電気自動車走行音の印象変化

EV 走行音の印象に対して、音質の違いによる走行映像や動作意志の影響についてドライビングシミュレータを用いて評価を行い、各音質での印象変化を把握する。

(a) 評価用ドライビングシミュレータの構成

現在使用されているドライビングシミュレータでは、走行音、走行映像および自動車の車種など全てを任意に変更できるものは少ない。そこで、走行音や走行映像および車種を任意に変更できる評価用ドライビングシミュレータを開発する。開発したドライビングシミュレータの構成を Fig. 4-1 に、ドライビングシミュレータのセットアップを Fig. 4-2 (a) に、直線道路の走行映像を Fig. 4-2 (b) に示す。任意の走行音を出力するためにステアリングコントローラのアクセルペダル (Accel) とブレーキペダル (Brake) にセンサを取り付け、各ペダルの踏み込み量の信号をサウンドシミュレータ (Auditory simulator) を動作させる PC に送り、走行状態に基づき Max/MSPTM で走行音を合成して出力する。サウンドシミュレータから出力した走行音は、ヘッドホンから再生する。走行映像を出力するために、市販のステアリング

コントローラと映像出力用のビジュアルシミュレータ (Visual simulator) を用いる。ステアリングコントローラは株式会社ロジクール製の G27 Racing Wheel™ を、シートは株式会社セクトインターナショナル製のプレイシート WRC™ を用いる。

Fig. 4-2 (c) に評価用ドライビングシミュレータ全体の上面図を、Fig. 4-2 (d) に側面図を示す。走行映像は 32 インチの液晶モニターに出力し、合成音はサウンドシミュレータを介し、スピーカから再生する。被験者の視野角は左右 35 度、上下 22 度である。この評価用ドライビングシミュレータにより、音質評価の際に走行音、走行映像および車種を全て任意に変更することが可能となる。

サウンドシミュレータソフトとビジュアルシミュレータソフトの動作を一致させるために、速度変化を合わせる校正を行い、その結果を Fig. 4-3 に示す。Fig. 4-3 (a) にアクセル踏み込み量が 100 % で 0 km/h から急加速で 10 秒間走行したときの速度変化を、Fig. 4-3 (b) にアクセル踏み込み量が 30 % で 0 km/h から緩加速で 10 秒間走行したときの速度変化を、Fig. 4-3 (c) にブレーキ踏み込み量が 30 % で 80 km/h から 0 km/h まで減速したときの速度変化を、Fig. 4-3 (d) にアクセルとブレーキの踏み込み量を指定せず 120 秒間自由に走行したときの速度変化を示す。各条件で両ソフト間の誤差は 13 % 以内に収まり、この誤差は視覚的に判別することができないので、音質評価に影響しない。

(b) 電気自動車走行音の作成

エンジン車には吸排気系があり、走行音の特徴はエンジンの回転基本振動や 2 次振動および気筒数に応じた回転次数が支配的になる。一方、EV はモータ音が支配的で、特に高周波成分の影響が大きくなる。そこで、EV 走行音の評価音は、モータ音の n 次、 $2n$ 次の 2 本の次数成分を正弦波掃引により作成し、この疑似モータ音に風切り音やロードノイズなどを合成する。

Table 4-1 に疑似モータ音の次数成分の周波数を固定し、A 特性音圧レベルを変更した評価音 S1～S8 を、Table 4-2 に疑似モータ音の音圧レベルを固定し、次数成分の周波数を変更した評価音 f1～f8 を示す。本評価は、8 秒間で 80 km/h まで全開加速する条件で行う。ここで、Table 4-1 および Table 4-2 の音圧レベルと次数成分の周波数は、80 km/h 時を示す。Fig. 4-4 に評価音の一例として、Table 4-1 に示す S3 のスペクトログラムを示す。

(c) 電気自動車走行音の主観的な音質評価方法

開発したドライビングシミュレータを用いて、Table 4-1 および Table 4-2 に示した EV 走行音について SD 法を用いた主観的な音質評価を行う。評価する刺激条件は、以下の3種とする。

- ・刺激条件 1: 実走行時に前方の走行風景を見ていない後席の同乗者を想定し、走行音のみの聴覚刺激下で評価。
- ・刺激条件 2: 走行風景を見ている助手席の同乗者を想定し、走行音の聴覚刺激に加え走行映像の視覚刺激を提示し、聴覚刺激と視覚刺激の複合刺激下で評価。
- ・刺激条件 3: 運転者を想定し、被験者自身が運転動作を行い、走行音の聴覚刺激と走行映像の視覚刺激および動作意志の複合刺激下で評価。

そして、これらの条件で音質評価を行い、走行音のみでなく走行映像や動作意志を考慮した複合刺激下において、走行音の印象変化について検討する。刺激条件 2 および刺激条件 3 の走行映像は、統一して直線道路の映像を使用する。

SD 法を用いた音質評価は、Table 4-3 に示す 15 の形容詞対を用いて、基準音とする Table 4-1 の S3 および Table 4-2 の f4 との相対評価で行う。各形容詞対の評価は 0 を含む±3 段階の合計 7 段階で行い、左側の形容詞を－、右側の形容詞を＋とする。被験者は聴覚が正常な 20 歳代の 16 名である。

(d) 疑似モータ音の音圧レベルを変更した音質評価

SD 法により得られた回答を、因子抽出は主因子法、回転はバリマックス回転法によって因子分析を行う。第 1 因子から順に迫力因子、快適因子、軽快因子の 3 つの因子が抽出でき、各因子の寄与は(迫力因子, 快適因子, 軽快因子)=(39.1%, 19.2%, 13.0%)である。Fig. 4-5 の横軸は、Table 4-1 で示した疑似モータ音の n 次成分の A 特性音圧レベルを示す。ここで、評価音は疑似モータ音に 60 dB の風切音やロードノイズなどを合成している。一方、縦軸は迫力因子の 3 つの形容詞対の評価得点を示し、縦軸の値が大きいほど騒々しき、変動感および力強さが大きいことを表す。

Fig. 4-5 (a) に刺激条件 1 の走行音のみの単刺激下における評価結果を示す。疑似モータ音の音圧レベルを変えたときの迫力因子の評価得点は、変化が小さいことがわかる。次に、Fig. 4-5 (b) に刺激条件 2 の走行音と走行映像の複合刺激下における

評価結果を、Fig. 4-5 (c) に刺激条件 3 の走行音と走行映像および動作意志の複合刺激下における評価結果を示す。刺激条件 2 では、刺激条件 1 の評価結果と比較すると疑似モータ音の音圧レベルが大きいほど騒々しさおよび変動感の印象変化が大きい。これは、疑似モータ音が走行映像に対応した走行音と認識され、迫力感が増したためと考えられる。刺激条件 3 では、刺激条件 1 および刺激条件 2 の評価結果と比較すると、疑似モータ音の音圧レベルが大きいほど騒々しさおよび変動感の印象変化がより大きい。これは、運転動作により、疑似モータ音が運転者自身の加速意志に対応した走行音と認識され、迫力感がより増したためと考えられる。

以上より、走行映像や動作意志の有無によって EV 走行音に対する印象が変化し、評価前に予測したように、騒々しさおよび変動感を表す迫力因子に影響があることが確認できた。また、EV 走行音は迫力感が重要な因子であり、運転者や助手席の同乗者には、音圧レベルを上げることで迫力感が増すことがわかった。一方、後席の同乗者は、音圧レベルを上げてても迫力感の変化は小さい。そして、今回の被験者は、運転者や助手席の同乗者の立場では迫力感を求め、後席の同乗者の立場では静かさを求めている傾向であった。よって、本評価の被験者には、評価音の範囲で音圧レベルを上げると、迫力感が運転者や助手席の同乗者は向上し、後席の同乗者には影響が小さいので良いことを把握した。

(e) 疑似モータ音の次数成分の周波数を変更した音質評価

次数成分の周波数を変更した評価音についても、4.2.1 (d) 節と同様に SD 法を用いて音質評価を行う。得られた回答を用いて因子分析を行い、最も寄与率が高い迫力因子に着目する。Fig. 4-6 (a) に示す刺激条件 1 の走行音のみの評価結果は、疑似モータ音の周波数が高くなっても変動感や力強さの印象変化は小さいが、騒々しさが増す傾向がある。よって、高周波音は騒々しさのみに影響することがわかる。

次に、Fig. 4-6 (b) に示す刺激条件 2 の評価結果は、刺激条件 1 の評価結果と比較すると、疑似モータ音の周波数が高いほど変動感の印象変化がわずかに大きい。Fig. 4-6 (c) に示す刺激条件 3 の評価結果は、刺激条件 1 および刺激条件 2 の評価結果と比較すると、疑似モータ音の周波数が高いほど騒々しさおよび変動感の印象変化が大きい。これは、疑似モータ音の音圧レベルを変更したときと同様に、視覚情報を加えると疑似モータ音が走行映像に対応した走行音と認識され、さらに運転

動作を加えると運転者自身の加速意志に対応した走行音と認識され、迫力感が増したためと考えられる。

また、刺激条件2および刺激条件3の評価結果は、4.2.1(d)節の音圧レベルを上げた結果と同じ傾向がある。よって、助手席の同乗者や運転者は、走行音の n 次と $2n$ 次成分の周波数を高くすることで迫力感が大きく増すことがわかる。しかし、後席の同乗者には、音圧レベルを上げたときの評価結果と異なり、周波数を高くすると騒々しさは大きくなる。後席の同乗者が迫力感を必要とするか否かで適切な周波数が変わるので、製品コンセプトに合わせて選定することが必要である。

本節では、EVの疑似モータ音の音圧レベルや次数成分の周波数を変えたときの運転者、助手席および後席の同乗者の立場で、走行音の迫力感への影響を定量化することができた。そして、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。

本ドライビングシミュレータを用いて、他の評価音や車種、迫力感以外の感覚に対しても同様の手順で現実的な精度の高い評価が可能で、走行音のサウンドデザインの際に必要な走行音を聞く立場の違いによる印象変化を評価できる。

4.2.2 走行条件および車種の違いによる自動車走行音の印象変化

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ドライビングシミュレータを用いて評価を行い、各条件での印象変化を把握する。また、ガソリンエンジン車の評価も行うことで、EV走行音との音質の違いによる影響の差異についても検討する。4.2.1節では運転者、助手席および後席の同乗者の立場で、迫力感の観点で音質評価を行ったが、本評価では快適性の観点で評価を行う。

(a) 走行条件の違いによる走行音の主観的な音質評価方法

評価する走行条件は、以下の4種とする。

- ・走行条件A：アクセルの踏み込み量を100%とし、8秒間で80 km/hまで急加速。
- ・走行条件B：アクセルの踏み込み量を30%とし、8秒間で40 km/hまで緩加速。
- ・走行条件C：アクセルの踏み込み量を一定とし、80 km/hで定速運転。
- ・走行条件D：ブレーキの踏み込み量を30%とし、80 km/hから減速。

ここで、加速や減速は一定の加減速度となるように、ドライビングシミュレータを動作させる。走行映像は統一して直線道路の映像を使用する。そして、走行条件の違いによる音質評価は、4.2.1 節と同様に刺激条件 1～3 の後席の同乗者、助手席の同乗者および運転者を想定して行う。

ガソリンエンジン車の評価音を Table 4-4 に示す。評価音は、A 特性音圧レベルが 60 dB のロードノイズのみの評価音を RN，ロードノイズに加え、エンジン音の音圧レベルが 54 dB で全体の音圧レベルが 65 dB の En1，同様にエンジン音の音圧レベルが 61 dB の En2，70 dB の En3 とし、それぞれの全体の音圧レベルを 70 dB，75 dB として作成する。Fig. 4-7 にアクセルの踏み込み量を 100%とした急加速時のエンジン音のスペクトログラムを示す。ガソリンエンジン車の評価音は電気自動車の評価音と比較して低周波成分を多く含み、電気自動車にはないギアチェンジがある。評価で用いるエンジン音は車室内で計測したデータを加工しているため、低周波数のこもり音も含んでおり、実際の走行音の特徴を捉えていると考える。一方、EV の評価音を Table 4-5 に示す。評価音は、A 特性音圧レベルが 60 dB のロードノイズに加え、疑似モータ音の音圧レベルが 37 dB の EV1，54 dB の EV2，70 dB の EV3 とし、それぞれの全体の音圧レベルをエンジン音と同様に 65 dB，70 dB，75 dB として作成する。なお、これらの音圧レベルは走行条件 A における 8 秒間の Overall 値であり、他の走行条件においては、走行条件 A を基にドライビングシミュレータ上で各音圧レベルを算出して作成した評価音を使用する。

評価はシェッフェの対比較法を用いた主観的な評価で行い、使用する評価シートを Fig. 4-8 に示す。被験者は、最初に提示する走行音と次に提示する走行音を比較し、どちらがどの程度快適であるか 7 段階評価で回答する。そして、得られた回答を、0 を含む±3 で得点化する。被験者は聴覚が正常な 20 歳代の 12 名であり、走行条件 A～D の 4 種に刺激条件 1～3 の 3 種を組み合わせた条件で評価を行い、結果を比較する。

(b) ガソリンエンジン車走行音の音質評価

ガソリンエンジン車の各走行条件の評価結果を Fig. 4-9 に示す。Fig. 4-9 (a)～(d) はそれぞれ走行条件 A～D に対応している。各グラフにおいて横軸は評価音の種類

を、縦軸は快適性の評価得点を示し、縦軸の値が大きいほど快適性が高いことを表す。ここで、刺激条件1～3の結果を比較するため、RNの評価結果を基準として評価得点を算出する。

Fig. 4-9 (a)～(d)より、エンジン車の評価音の快適性は走行条件Cの定速時を除き、多くの条件でRNと比較して高くなっている。これは、エンジン音の評価音には低周波成分が多く含まれるので、ロードノイズをマスキングする効果があり、不快な音が低減したためと考えられる。

また、走行条件Aの急加速時では多くの場合、刺激条件1より刺激条件2、刺激条件2より刺激条件3の順で著しく快適性が高くなる傾向があるのに対し、走行条件B～Dでは刺激条件1～3による快適性の印象変化が走行条件Aと比較して小さい。これは、走行条件Bの緩加速時や走行条件Cの定速時および走行条件Dの減速時は、走行映像の変化が小さく、アクセルやブレーキの踏み込み量も少ないため、刺激条件2や刺激条件3の複合刺激による快適性の印象変化も小さいと考えられる。

さらに、走行条件Aの急加速時は、本評価条件の音圧レベルの範囲では、刺激条件3のEn2やEn3で快適性は高くなっている。一方、同じ刺激条件3において、走行条件Bでは走行条件AほどEn2やEn3の快適性が高くない。これは、加速意志の強い急加速時は、ある程度大きなエンジン音により迫力感が助長され快適と感じるのに対し、緩加速時はアクセルの踏み込み量が少ないため、エンジン音が大き過ぎると運転者が動作意志と音の印象に違和感を抱き、快適性が低くなると考えられる。走行条件Cの定速時は、常に80 km/hの音圧レベルで変動感がなく、走行映像の変化も小さいため、刺激条件1～3において大きなエンジン音を含む音は騒々しく、好まれないと考えられる。走行条件Dの減速時は、ブレーキの踏み込み量が少ないため、大きなエンジン音は好まれにくいですが、減速意志に対してエンジン音が小さ過ぎても、減速の認識が弱くなり快適性が低くなると考えられる。

今回の被験者は、加速時や減速時の走行音に騒々しくない程度の迫力感があり、かつ走行音と走行映像や動作意志に違和感がないと快適と感じる傾向があった。そして、今回の評価では、加速、定速、減速いずれの条件でも、エンジン音の音圧レベルがEn2のときに快適性が最も高く、En2よりも大きくすると快適性は低減する。

(c) 電気自動車走行音の音質評価

EVの各走行条件の評価結果を、ガソリンエンジン車の結果と同様に Fig. 4-10 に示す。ガソリンエンジン車の評価結果と比較して、全体的に快適性が低くなっている。これは、エンジン音と比較して疑似モータ音の次数成分は高周波であり、大きな疑似モータ音は騒々しく、不快に感じやすいためと考えられる。

また、走行条件 A の急加速時では刺激条件 1 より刺激条件 2、刺激条件 2 より刺激条件 3 の順で快適性が高くなっているのに対し、走行条件 B~D では刺激条件 1 ~3 による快適性の印象変化が走行条件 A と比較して小さい傾向がある。これは、ガソリンエンジン車と同じ傾向であり、走行映像の変化が小さくアクセルやブレーキの踏み込み量も少ないためと考えられる。さらに、疑似モータ音を快適と感じるのは、加速意志の強い走行条件 A の急加速時における刺激条件 2, 3 が高い。したがって、EV の疑似モータ音は急加速時において、運転者や助手席の同乗者には快適性が向上するが、それ以外の走行条件では、あまり好まれないことがわかる。そして、今回の評価では、加速、定速、減速いずれの条件でも、疑似モータ音の音圧レベルが EV1 のときに快適性が最も高く、EV1 よりも大きくすると快適性は低減する。

以上より、加速、定速、減速の走行条件の違いにより、走行映像や動作意志を考慮したときに、ガソリンエンジン車や EV の走行音の印象が変化することがわかった。そして、エンジン音と疑似モータ音では音質の違いから、快適と感じる音圧レベルに差があり、走行映像や運転動作の有無や走行条件によって走行音の印象変化の度合いが異なることがわかった。

EV の評価音では、エンジン音と比較して快適性が低いので、4.2.1 節で得られた疑似モータ音の次数成分の音圧レベルや周波数を変えたときの評価結果と組み合わせ、運転者や助手席の同乗者には、騒々しくない程度に迫力感を向上させて快適性を向上させることが必要である。そして、加速、定速、減速の走行条件、運転席、助手席および後席などの走行音を聞く立場、およびエンジン音、疑似モータ音などの走行音の音質に適した各々のサウンドデザインが必要といえる。

本節では、加速、定速、減速の走行条件の違いによるそれぞれの走行音に対して、運転者、助手席および後席の同乗者の立場で、ガソリンエンジン車や EV の走行音の音圧レベルを変えたときの走行音の快適性への影響を定量化することができた。そして、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。得られた EV 走行音の音質の指針に従ってモータ音を改善することや、車室内のスピーカやカーナビゲーションシステムから指針に基づいた走行音を出力することで、音質向上を実現することが可能となる。

4.3 近赤外分光法による脳血流を用いた客観的な音質評価

本節では、4.2 節で行った主観的な音質評価で明確となった走行映像や動作意志を考慮した複合刺激下における自動車走行音の印象変化を、生体情報に基づく客観的な評価で検討する。生体情報は自動車車室内で計測するため、振動の影響を受けにくく、被験者の拘束が小さいポータブルタイプの近赤外分光法（NIRS）による脳血流を用いる。

まず、ガソリンエンジン車の走行音を例に、NIRS による脳血流を計測し、脳機能の活性化が走行音と動作意志のどちらに依存するか、4.2 節で使用したドライビングシミュレータを用いて評価を行う。次に、実際の自動車を使用して、走行音のみでなく、走行風景や動作意志を考慮した複合刺激下における走行音の印象変化を、主観的および脳血流を用いた客観的な評価を行う。また、主観的な評価と脳機能の活性化との相関を検討し、走行映像や動作意志を考慮した複合刺激下において、NIRS による脳血流を用いた客観的な評価手法は、走行音の印象変化を評価できるか検討する。

4.3.1 動作意志が脳血流に与える影響

脳機能の活性化が走行音と動作意志のどちらに依存するか、4.2 節で使用したドライビングシミュレータを用いて検討する。また、走行音のみや動作意志のみの刺激下と複合刺激下で脳機能の活性化に差異が生じるか検討する。

(a) 動作意志の影響の評価方法

本評価では、ガソリンエンジン車の走行音について評価を行う。ここで、刺激条件は、以下の3種とする。

- ・ 刺激条件 A：走行音のみの刺激下で評価。
- ・ 刺激条件 B：走行音なしで運転動作を行う動作意志のみの刺激下で評価。
- ・ 刺激条件 C：走行音および動作意志の複合刺激下で評価。

ここで、刺激条件 A と C の走行音は、2000 rpm, 20 km/h で走行するガソリンエンジンの走行音を用い、そのスペクトログラムを Fig. 4-11 に示す。刺激条件 B, C において、被験者は Fig. 4-12 に示すように PC 画面に表示したタコメータを見ながら、エンジン回転数が 2000 rpm となるように運転動作をする。PC ディスプレイに表示される走行映像は、刺激条件 A~C において全て統一する。

NIRS による脳血流計測は、Fig. 2-8 (c) に示すポータブルタイプを用いる。評価手順を Fig. 4-13 に示す。評価時間を長くすると、被験者の精神的な疲労やストレスにより酸化ヘモグロビンの濃度に影響を与える可能性があるため、評価時間は 120 秒とする。まず、被験者は精神的、肉体的に落ち着かせるために 60 秒間安静を保つ。刺激条件 A~C の各刺激は 30 秒間とし、その後、30 秒間安静を保つ。そして、安静時と刺激があるときの酸化ヘモグロビンの濃度を計測する。被験者は聴覚が正常な 20 歳代の 6 名である。

(b) 動作意志の影響の評価結果

NIRS による脳血流の計測データにおいて、全 22 ch の計測点の中で両端の各 4 ch については、プローブと髪の毛との接触によるデータの欠損が見られたため除外し、14 ch の時系列データを用いる。まず、計測した時系列データから移動平均法を用いてノイズを除去する。次に、使用する全 14 ch の時系列データを加算平均し、酸化ヘモグロビンの濃度変化をグラフで表す。そして、刺激条件 A~C の違いによる酸化ヘモグロビンの濃度の差異を比較する。

被験者 a の NIRS による脳血流に基づく客観的な評価結果を Fig. 4-14 に示す。横軸は時間、縦軸は酸化ヘモグロビンの濃度を示し、縦軸の値が大きくなるほど酸化ヘモグロビンの濃度が上がり、脳機能が活性化していることを表す。得られた結果より、刺激条件 A の走行音のみの刺激下では、刺激がある 60 秒から 90 秒の間で酸化ヘモグロビンの濃度に大きな変化はないことから、被験者 a の脳機能は、刺激条件 A の走行音のみの刺激下では活性化しないことがわかる。次に、刺激条件 B の走行音なしで動作意志のみの刺激下では、刺激がある 60 秒から 90 秒の間に、わずかに酸化ヘモグロビンの濃度が上昇していることから、被験者 a の脳機能は、刺激条件 A の走行音のみの刺激下と比較して活性化することがわかる。さらに、刺激条件 C の走行音と動作意志の複合刺激下では、刺激がある 60 秒から 90 秒の間に、大き

く酸化ヘモグロビンの濃度が上昇している。これらの結果から、被験者 a の脳機能は、刺激条件 A の走行音のみや刺激条件 B の動作意志のみの刺激下と比較して、刺激条件 C の走行音と動作意志の複合刺激下では活性化することがわかる。

6名の被験者の中で被験者 a を含む3名が同様の傾向で、残りの被験者は刺激の有無に関わらず、終始酸化ヘモグロビンの濃度の時系列データが安定しなかった。今後、有効なデータを得る手法の検討が必要となる。

以上より、ドライビングシミュレータを用いて走行音と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。

4.3.2 実車を用いた客観的な音質評価

実際の自動車を使用して、走行音のみでなく、走行風景や動作意志を考慮した複合刺激下における走行音の印象変化を、主観的および脳血流を用いた客観的な評価を行う。また、主観的な評価と脳機能の活性化との相関を検討する。

(a) 実車を用いた脳血流の評価方法

実際の自動車を使用して、SD法を用いた主観的、およびNIRSによる脳血流を用いた客観的な評価を行い、走行音のみでなく、走行風景や動作意志を考慮した複合刺激下において、刺激の違いによる脳機能の活性化への影響を評価する。ここで、刺激条件は、以下の3種とする。

- ・刺激条件 D：エンジンの空ぶかしによる走行音のみの単刺激下で評価。
- ・刺激条件 E：実走行時の走行音と走行風景の複合刺激下で評価。
- ・刺激条件 F：実走行時の走行音と走行風景および動作意志の複合刺激下で評価。

本評価では実際の自動車を使用するため、刺激条件 D では、被験者は助手席に座り、運転席で運転者がエンジンを空ぶかしすることで、走行音のみの単刺激下で評価を行う。刺激条件 E では、被験者は助手席に座り、運転者が実際に運転することで、走行音と走行風景の複合刺激下で評価を行う。刺激条件 F では、被験者は運転席に座り、実際に運転することで走行音と走行風景および動作意志の複合刺激下で評価を行う。被験者の運転は、間接視野でタコメータを見ながら、エンジン回転数が 2000 rpm、速度が 20 km/h で定常走行する。ここで、刺激条件 D では、エンジンの振動の影響が、刺激条件 E、F では、エンジンや走行時の振動の影響が加わる。

評価手順は、4.3.1 節と同様に評価時間は 120 秒とする。まず、被験者は精神的、肉体的に落ち着かせるために 60 秒間安静を保つ。刺激条件 D~F の各刺激は 30 秒間とし、その後、30 秒間安静を保つ。そして、安静時と刺激があるときの酸化ヘモグロビンの濃度を計測する。また、各脳血流計測の終了後に、SD 法を用いた主観的な音質評価を行う。SD 法は、刺激条件 D~F に対して、10 の形容詞対を 1~7 の 70 段階で評価する。

評価に使用する自動車は、Fig. 4-15 に示す直列 4 気筒のステーションワゴンタイプで、Fig. 4-16 に示す私有地の直線道路を定常走行する。被験者は聴覚が正常な 20 歳代の 5 名である。

(b) 実車を用いた脳血流の評価結果

脳血流のデータ処理は 4.3.1 節と同様に、まず計測した時系列データから移動平均法を用いてノイズを除去する。次に、使用する全 14 ch の時系列データを加算平均し、酸化ヘモグロビンの濃度変化をグラフで表す。そして、刺激条件 D~F の違いによる酸化ヘモグロビンの濃度変化の差異を比較する。

被験者 b の NIRS による脳血流を用いた客観的な評価結果を Fig. 4-17(a) に示す。横軸は時間、縦軸は酸化ヘモグロビンの濃度を示し、縦軸の値が大きくなるほど酸化ヘモグロビンの濃度が上がり、脳機能が活性化していることを表す。得られた結果より、刺激条件 D の走行音のみの刺激下では、刺激がある 60 秒から 90 秒の間で酸化ヘモグロビンの濃度に大きな変化はないことから、脳機能が殆ど活性化しないことがわかる。次に、刺激条件 E の走行音と走行風景の複合刺激下では、刺激がある 60 秒から 90 秒の間で酸化ヘモグロビンの濃度が上昇していることから、刺激条件 D の走行音のみの刺激下と比較して脳機能が活性化することがわかる。さらに、刺激条件 F の走行音と走行風景および動作意志の複合刺激下では、刺激がある 60 秒から 90 秒の間で酸化ヘモグロビンの濃度が最も大きく上昇していることから、刺激条件 D~F の中で最も脳機能が活性化することがわかる。

一方、被験者 b の SD 法を用いた主観的な評価結果を Fig. 4-17 (b) に示す。ここでは、各形容詞対の評価得点をレーダーチャートで示している。刺激条件 D~F の各評価結果を比較すると、刺激条件 D, E, F の順に臨場感 (Realistic) が増すことがわかる。これより、刺激条件 D の走行音のみの単刺激下に比べ、刺激条件 E や F

の走行風景や動作意志による複合刺激下では、走行音に対する臨場感が増し、脳機能が活性化すると考えられる。

同様に、被験者 c の NIRS による脳血流を用いた客観的な評価結果を Fig. 4-18(a) に、SD 法を用いた主観的な評価結果を Fig. 4-18 (b) に示す。被験者 b と比較して、酸化ヘモグロビンの濃度変化に違いはあるが、刺激条件 D の走行音のみの刺激下と比較して、刺激条件 E の走行音と走行風景の複合刺激下では、脳機能が活性化していることがわかる。そして、刺激条件 F の走行音と走行風景および動作意志の複合刺激下では、最も脳機能が活性化することがわかる。また、SD 法を用いた主観的な評価結果から刺激条件 D, E, F の順に臨場感が増すことがわかる。これより、被験者 b と同様に被験者 c も走行風景や動作意志による複合刺激下では、走行音に対する臨場感が増し、脳機能が活性化すると考えられる。

さらに、被験者 d の NIRS による脳血流に基づく客観的な評価結果を Fig. 4-19(a) に、SD 法を用いた主観的な評価結果を Fig. 4-19 (b) に示す。刺激条件 D~F の酸化ヘモグロビンの濃度変化より、刺激条件 D の走行音のみの刺激下と比較して、刺激条件 E や F の走行風景や動作意志による複合刺激下では脳機能が活性化するが、刺激条件 F の走行音と走行風景および動作意志による複合刺激下では、酸化ヘモグロビンの濃度は全体的に低く、脳機能の活性化が小さいことがわかる。一方、SD 法を用いた主観的な評価結果は、被験者 b や被験者 c と違い、条件 F, D, E の順に臨場感が増すことがわかる。これより、被験者 d は走行音のみの刺激下よりも走行音と走行風景の複合刺激下で走行音に対する臨場感が増し、脳機能が活性化するが、走行音と走行風景および動作意志の複合刺激下では、走行音に対してあまり臨場感を持たず、脳機能も活性化しないことがわかる。したがって、被験者 d は、本評価で使用した走行音では走行風景を見ながら走行音を聞く助手席では臨場感があるが、動作意志のある運転者の立場では臨場感が不足し、物足りない走行音だったと考えられる。5名の被験者の中で、残りの2名は刺激の違いに依存せずに、終始酸化ヘモグロビンの濃度の時系列データが安定しなかった。また、被験者 c と d は、主観的な評価で快適性を表す好き (Like), 心地よい (Comfortable) の形容詞と脳血流との相関も高く、NIRS による脳血流は快適性を評価できる可能性もある。

以上より、走行音と走行風景および動作意志による複合刺激下における脳機能の活性化は、走行音に対する臨場感を評価できることを見出した。

4.4 音刺激と色刺激の複合刺激下における覚醒水準の維持

本節では、複合刺激下の音質評価手法に基づく覚醒水準の維持について検討する。ここでは、自動車走行時の覚醒水準の維持を目的に、眠気を低減させることで漫然運転が原因の死亡事故を防止できる新たな方法を検討する。まず運転者が走行中に煩わしさを感じない刺激として、自動車の定常走行音に着目し、覚醒水準の維持に有効な機能音を見出す。次に、夜間走行の慢性運転を想定して、車室内の照明色に着目し、覚醒水準の維持に有効な色彩を見出す。そして、聴覚刺激の機能音と視覚刺激の色彩の複合刺激下における覚醒水準の維持の効果を検討する。

覚醒水準の評価は、従来、主観的な評価と生体情報を用いた客観的な評価が行われてきた。しかし、従来の主観的な評価は、質問に回答することが覚醒水準に影響を与えることやリアルタイムの評価ができない欠点がある。一方、従来の生体情報に基づく客観的な評価は、脳波を用いた事例が多く報告されてきた。しかし、脳波の計測は装置が大型で持ち運びが難しい場合が多く、さらに価格も高価である。本節での評価は長い時間行う必要があるため、生体情報に基づく客観的な評価にNIRSによる脳血流を用いると、長時間プローブを頭に取り付けることで被験者にとって負担が大きくなり、覚醒水準に影響を与える欠点がある。唾液アミラーゼを用いると、唾液を採取する際に覚醒水準に影響を与える欠点がある。呼吸を用いると、被験者が長時間背面でセンサに圧力をかける必要があり、被験者にとって負担が大きい欠点がある。そこで、本節の評価では、外来ノイズやリードの揺れに強く計測ばらつきが小さい心電計を用いて、心拍に基づく客観的な覚醒水準の評価手法を検討する。そして、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する。

4.4.1 覚醒水準の維持に効果がある走行音の検討

聴覚のみの単刺激で覚醒水準の維持に有効な機能音を検討する。ここでは、自動車の定常走行音を用いた機能音は覚醒水準の維持に有効か、主観的および客観的な評価を行い検討する。さらに、心拍を用いた客観的な評価手法は覚醒水準の維持の効果を評価できるか検討する。

(a) 評価に使用する走行音

自動車の定常走行音の原音を加工し，覚醒水準の維持の効果に差があると予測した機能音^{[164],[165]}を用いる．走行音の原音は，高速道路を 100 km/h，エンジン回転数 3500 rpm で定常走行するハイブリッド自動車の車室内の前席にダミーヘッドを設置して計測した．そして，覚醒水準の維持の効果に差がある音と予測して，以下の3種を音響シミュレーションで原音を加工して作成する．

- ・ AS1-1：原音のロードノイズ成分に相当する周波数帯域（40～500 Hz）の A 特性音圧レベルを 6 dB 上げた音．
- ・ AS1-2：原音の風切り音に相当する周波数帯域（1 k～5 kHz）の A 特性音圧レベルを 6 dB 上げた音．
- ・ AS1-3：原音の可聴域外の高周波数帯域（20 k～22 kHz）の A 特性音圧レベルを 36 dB 上げた音．

被験者の位置における機能音の Loudness は全て 10 sone に統一し，周波数特性の変更が覚醒水準の維持の効果に与える影響を評価する．Fig. 4-20 に原音（Original）と AS1-1 の周波数特性を示す．

(b) 走行音の評価方法

覚醒水準の維持の効果を評価する方法は，主観的な評価はカロリンスカ眠気尺度（KSS：Karolinska Sleepiness Scale）を用い，客観的な評価は心拍を用いる．さらに，主観的および客観的な評価結果を比較し，心拍を用いた客観的な評価手法は覚醒水準の維持の効果を評価できるか検討する．ここで，心拍を計測する際には，計測が長時間になるため，被験者の負担を考慮して呼吸統制は行わず，心拍が安定していることを確認して評価音を提示する．

(c) カロリンスカ眠気尺度を用いた主観的な音質評価

被験者は Fig. 4-21 に示す 9 段階の眠気の強さに対する項目から 1 つを選択し，得点化する．この手法は 9 段階全てに眠気を表す記述があるのではなく，それぞれ 1 段階飛ばして 5 つの眠気を表す記述が配置されているため，より簡便により短時間に評価を行うことが可能となる^[166]．

(d) 心拍を用いた客観的な音質評価

計測した被験者の心電図（ECG）のデータを 2.3 節で示したデータ処理方法に基づき，RR 間隔を周波数解析し，心拍変動を求める．自律神経系の活動を反映した指標である LF (0.04~0.15 Hz) と HF (0.15~0.40 Hz) を算出し，それらの比率の LF/HF からストレス度や緊張度を把握する．

(e) 覚醒水準の維持に有効な走行音の音質評価

評価は夜間走行を模擬するために暗室で行う．評価手順を Fig. 4-22 に示す．被験者は椅子に座り，まず主観的な評価として KSS に回答する．回答終了後に精神的，肉体的に落ち着かせるために 1 分間安静を保ち，その後，覚醒水準の維持に効果があると予測した機能音を，Fig. 4-23 に示すように被験者の前方 1.2 m の位置に設置したスピーカから提示する．本評価では被験者の評価の負担を軽減するために，機能音の提示時間を短くする．事前に行った評価から，機能音を 10 分程度提示すれば覚醒水準の維持の効果を判断できることを確認し，本評価では機能音を 12 分間提示する．そして，機能音を提示した際の ECG を計測する．また，提示終了後に再び KSS に回答する．

被験者の疲労や評価の慣れの影響を考慮して，各評価は同一日に連続して行わず，異なる日に行う．その際，サーカディアン・リズムの影響を考慮して，同一被験者の評価を全て同じ時間帯に行い，被験者には機能音の内容を教示しないブラインド試験を行う．被験者は，正常な睡眠および覚醒サイクルの生活を送っていて，聴覚が正常な 20 歳代の 6 名である．

KSS を用いた主観的な評価結果を Fig. 4-24 に示す．グラフの値は眠気得点を示し，機能音を提示する前後の得点の差を算出している．そして，値が大きいほど眠気があることを表す．一方，心拍を用いた客観的な評価結果を Fig. 4-25 に示す．グラフの値は，音源の提示から 12 分後の LF/HF と安静時の結果との差を算出し，さらに正規化している．そして，値が大きいほどストレス度や緊張度が高く，覚醒水準の維持の効果が大きいことを表す．

主観的な評価結果より，AS1-1 は原音（Original）と比較して眠気得点が高く，覚醒水準の維持の効果が小さいことがわかる．一方，AS1-2 と AS1-3 は原音より眠気得点が小さく，覚醒水準の維持の効果が大きいことがわかる．

客観的な評価結果は、主観的な評価と同様、AS1-1 は原音と比較して被験者はリラックスし、覚醒水準の維持の効果が小さいことがわかる。一方、AS1-2 と AS1-3 は、原音と比較すると、ストレス度や緊張度が高く、覚醒水準の維持の効果が大きいといえる。また、各機能音を提示した際の主観的な評価と客観的な評価結果は同じ傾向で、相関係数は-0.93 で負の強い相関がある。これより、心拍は覚醒水準の維持の効果を評価できるといえる。

以上の結果より、本評価では走行音の原音と比較して覚醒水準の維持に有効な機能音は AS1-2 と AS1-3 であり、風切り音または可聴域外の高周波数帯域の音圧レベルを上げた走行音は、覚醒水準の維持を向上させることを見出した。さらに、心拍を用いた客観的な音質評価は、覚醒水準の維持の効果を評価できることを示した。

4.4.2 音刺激と色刺激の複合刺激が与える心理的作用

自動車車室内において、色彩による色刺激が与える心理的作用を検討する。また、走行速度が変化したときを想定して、エンジン回転数に応じた走行音や色彩と心理的作用の関係をマッチング感、快適感および覚醒感の観点で検討する。

(a) 色刺激が与える心理的作用

自動車の車内照明を想定した色刺激を与え、SD法を用いて心理的作用を把握する。車内照明を模擬するために、内装の一部を光らせた静止画像を作成し、プロジェクタを用いて、被験者の前方 1.2 m の位置に横：1.6 m×縦：1.2 m の大きさを投影する。色刺激にはマンセルの色相環に基づき 60° ずつ色相角をずらした赤、黄、緑、シアン、青、マゼンタの 6 種を用いる。そして、各色刺激の車室内画像に対して 12 の形容詞対を 7 段階で評価する。ここで、評価は実走行環境を模擬するため、スピーカーで走行音の原音を提示した環境で行う。被験者は、正常な睡眠および覚醒サイクルの生活を送っていて、聴覚および視覚が正常な 20 歳代の 12 名である。

SD法は Table 4-6 の形容詞対を用い、得られた回答を因子抽出は主因子法、回転はバリマックス回転法によって因子分析を行う。第 1 因子から順に「心地よい (Comfortable) - 不快な (Uncomfortable)」などに代表される快適因子 (Comfortable factor), 「迫力のある (Powerful) - 迫力のない (Less powerful)」などに代表される迫力因子 (Powerful factor), 「軽快な (Light) - 重厚な (Heavy)」などに代表される

軽快因子 (Light factor) の3つの因子が抽出でき、各因子の寄与は (快適因子, 迫力因子, 軽快因子) = (30.5%, 27.1%, 15.1%) である。

そして、快適因子と迫力因子の因子得点の散布図を Fig. 4-26 に示す。ここで、グラフの縦軸の快適因子は値が大きいほど快適性が大きく、横軸の迫力因子は値が大きいほど迫力感が大きいことを表す。さらに、色相角と各因子得点の関係を Fig. 4-27 に示す。快適感と迫力感の相関係数は-0.86 で負の強い相関があり、色相角が $0^{\circ} \pm 60^{\circ}$ の色刺激 (赤, 黄, マゼンタ) は迫力感が大きく快適感が小さい傾向を、色相角が $180^{\circ} \pm 60^{\circ}$ の色刺激 (シアン, 青, 緑) は迫力感が小さく快適感が大きい傾向を示す。そして、色相角が 180° 変化することで快適感や迫力感が逆の傾向を示し、赤系色は緊張して興奮する傾向を、青系色は落ち着いて沈静する傾向がある。走行環境下の車内照明は、快適感や迫力感など何を重視するかにより、色刺激の使い分けが必要であると考えられる。また、黄色刺激が最も迫力感が大きく快適感が小さい。さらに、 $0 \sim 360^{\circ}$ で表される色相角を用いた周期関数で各因子得点を回帰分析することで、色相角から車内照明色の快適感や迫力感が予測可能であり、今回の評価で用いた6色以外の色刺激に対しても快適感や迫力感を予測できる。

一方、快適因子と軽快因子の因子得点の散布図を Fig. 4-28 に示す。ここで、グラフの横軸の軽快因子は、値が大きいほど軽快感が大きいことを表す。快適因子と軽快因子の相関係数は0.31で相関は小さく、軽快因子は快適性への影響が小さい。

以上より、自動車の車内照明を想定した色刺激による心理的作用を検討し、赤系色は緊張して興奮する傾向を、青系色は落ち着いて沈静する傾向があることを見出した。

(b) エンジン回転数を変えた音刺激と色刺激の心理的作用

走行速度に応じた色刺激の心理的作用の変化を把握する。ここでは、従来の研究から聴覚と視覚の複合刺激下において、音と映像の整合性が音の印象に影響を与えることが報告されており^[167]、本評価では快適感と覚醒感に加え、走行音と色彩のマッチング感についても評価を行う。

本評価では、走行速度の変化を模擬するため、低速走行から高速走行までを想定して、エンジン回転数を1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpmにした5種の走行音を用いる。評価における色刺激の提示は、4.4.2 (a) 節の評価と同様

に内装の一部を光らせた6種の色刺激の画像を、プロジェクタを用いて被験者の前方1.2 mの位置に投影する。そして、シェッフェの対比較法を用いて、各エンジン回転数に応じた色刺激をマッチング感、快適感および覚醒感について評価を行う。被験者は、正常な睡眠および覚醒サイクルの生活を送っていて、聴覚および視覚が正常な20歳代の12名である。

Fig. 4-29にマッチング感、Fig. 4-30に快適感、Fig. 4-31に覚醒感の評価結果を示す。各色刺激におけるマッチング感とエンジン回転数との相関係数は、(赤, 黄, 緑, シアン, 青, マゼンタ) = (0.82, 0.70, -0.99, -0.89, -0.94, 0.97), 快適感とエンジン回転数との相関係数は、(赤, 黄, 緑, シアン, 青, マゼンタ) = (0.89, 0.72, -0.71, -0.91, -0.95, 0.93)で、いずれも赤系色(赤, 黄, マゼンタ)はエンジン回転数と正の相関、青系色(シアン, 青, 緑)はエンジン回転数と負の相関があることが確認できる。また、各色刺激においてエンジン回転数が変化したときのマッチング感と快適感の相関係数は、(赤, 黄, 緑, シアン, 青, マゼンタ) = (0.98, 0.90, 0.63, 0.86, 0.95, 0.87)で緑を除いて強い相関があり、マッチング感が増すと、快適性も向上することがわかる。ここで、緑の相関係数が小さい理由は、緑は中間色のため刺激が弱く、色刺激以外の刺激の影響も受けやすくなり相対的に誤差が大きいためと考えられる。

一方、覚醒感に着目すると、各色刺激においてエンジン回転数が変化したときの覚醒感と快適感の相関係数は、(赤, 黄, 緑, シアン, 青, マゼンタ) = (-0.18, 0.70, -0.11, 0.00, -0.59, 0.28)で相関は小さい。そして、覚醒水準の維持の効果が大きい色刺激は赤系色の黄やマゼンタで、効果が小さい色刺激は青系色の青や緑であり、4.4.2 (a) 節の評価結果と同様に、赤系色は緊張して興奮する傾向を、青系色は落ち着いて沈静する傾向があることを見出した。また、各色刺激で、覚醒感はエンジン回転数の変化に依存しないため、視覚刺激の色彩は覚醒水準の維持に有効といえる。

4.4.3 音刺激と色刺激の複合刺激による覚醒水準の維持

4.4.1 節と4.4.2 節で検討した聴覚刺激の機能音と視覚刺激の色彩の複合刺激下において、覚醒水準の維持の効果を検討する。

(a) 複合刺激による覚醒水準の維持の評価方法

実走行環境を想定して、聴覚刺激の機能音と視覚刺激の色彩による複合刺激下において、覚醒水準の維持に有効な各刺激条件を、4.4.1節の評価と同様にKSSと心拍を用いて検討する。聴覚刺激の機能音には原音と4.4.1節で覚醒水準の維持に有効であることを見出したAS1-2の2種を用いる。視覚刺激の色彩には部屋の照明を利用し、4.4.2節で覚醒水準の維持に有効であることを見出した黄色刺激、効果が小さい青色刺激、および色刺激のない暗室の3種を用い、2種の機能音と組み合わせた計6種の刺激を評価する。本評価では、Fig. 4-32に示す評価手順に従い、機能音の提示と同時に色刺激も提示して評価を行う。その際に実走行環境を模擬するため、運転者からの視界の走行映像を作成し、Fig. 4-33に示すように被験者の前方1.2 mの位置に設置した32インチの液晶ディスプレイに映す。同一被験者の評価は全て異なる日の同じ時間帯に行い、被験者には機能音の内容を教示しないブラインド試験を行う。被験者は、正常な睡眠および覚醒サイクルの生活を送っていて、聴覚が正常な20歳代の6名である。

(b) 複合刺激による覚醒水準の維持の評価結果

KSSを用いた主観的な評価結果をFig. 4-34に、心拍を用いた客観的な評価結果をFig. 4-35に示す。

主観的な評価より、機能音の影響に着目すると、色刺激の違いに関係なく、4.4.1節と同様にAS1-2は原音を提示したときと比較して眠気得点が低く、覚醒水準の維持の効果が大きい。また、覚醒水準の維持の効果が大きいAS1-2を提示したときは、黄色刺激は暗室や青色刺激と比較して眠気得点が低く、覚醒水準の維持に有効であることがわかる。これより、色刺激のみでは覚醒水準の維持の効果は小さいが、機能音と合わせることで効果が大きくなるといえる。

一方、客観的な評価においても、機能音の影響に着目すると、色刺激の違いに関係なく主観評価と同様にAS1-2は原音を提示したときと比較してLF/HFの値が大きく、覚醒水準の維持の効果が大きい。また、覚醒水準の維持の効果が大きいAS1-2を提示したときは、黄色刺激は暗室や青色刺激と比較してLF/HFの値が大きく、覚醒水準の維持に有効であることがわかる。

これより、色刺激のみでは覚醒水準の維持の効果は小さいが、機能音と合わせる

ことで効果が大きくなるといえる。さらに、主観的な評価と客観的な評価の相関係数は-0.91で負の強い相関があり、心拍を用いることで覚醒水準の維持の効果を評価できるといえる。

以上の結果より、走行中の車室内を模擬した評価を行うことで、実走行環境においても聴覚刺激の機能音および視覚刺激の色彩が、覚醒水準の維持に有効であることを示した。そして、風切り音の音圧レベルを上げた走行音 AS1-2 と黄色刺激が共に覚醒水準の維持の効果が大きいことを見出し、これらを組み合わせることで効果がさらに大きくなることを示した。また、複合刺激下においても主観的な評価と客観的な評価の傾向が一致しており、心拍を用いた客観的な音質評価は、覚醒水準の維持の効果を評価できることを示した。

4.5 まとめ

第4章では、聴覚のみでなく視覚や動作意志を加えた“複合刺激下の音質評価手法”を提案した。また、快適性と覚醒水準の維持に有効な機能音を提案した。

まず、視覚や動作意志が聴覚に与える影響を検討するために、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を行った。また、車種の違いによる差も把握するため、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た。

次に、ドライビングシミュレータと実車を用いて走行音と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、走行音の印象変化を客観的に評価できるか検討した。

さらに、覚醒水準の維持に有効な音刺激と色刺激を把握するために、カロリンスカ眠気尺度を用いた主観的および心拍を用いた客観的な評価を行った。また、色刺激が与える心理的作用を主観的に評価した。そして、音刺激と色刺激を組み合わせた複合刺激下において、覚醒水準の維持に有効な聴覚刺激の機能音と視覚刺激の色彩を見出した。以下、結果をまとめる。

1. 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．
2. 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．
3. ドライビングシミュレータを用いて走行音と走行映像および動作意志の複合刺激下において，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. 覚醒水準の維持に有効な機能音を把握するために，カロリンスカ眠気尺度を用いた主観的および心拍を用いた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．
5. 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ける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を用いた客観的な評価を行い，適切な組み合わせで覚醒水準の維持の効果はさらに大きくなることを示した．

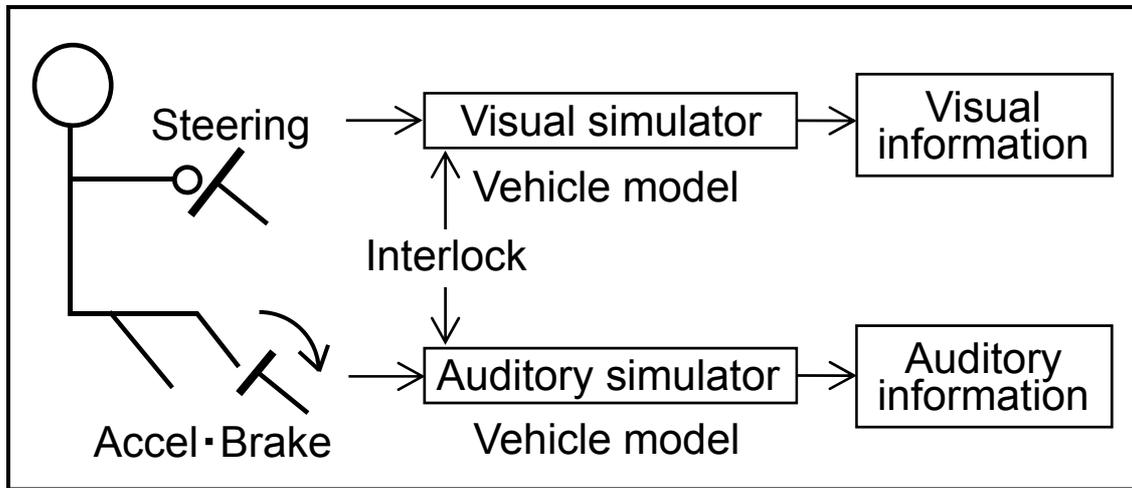
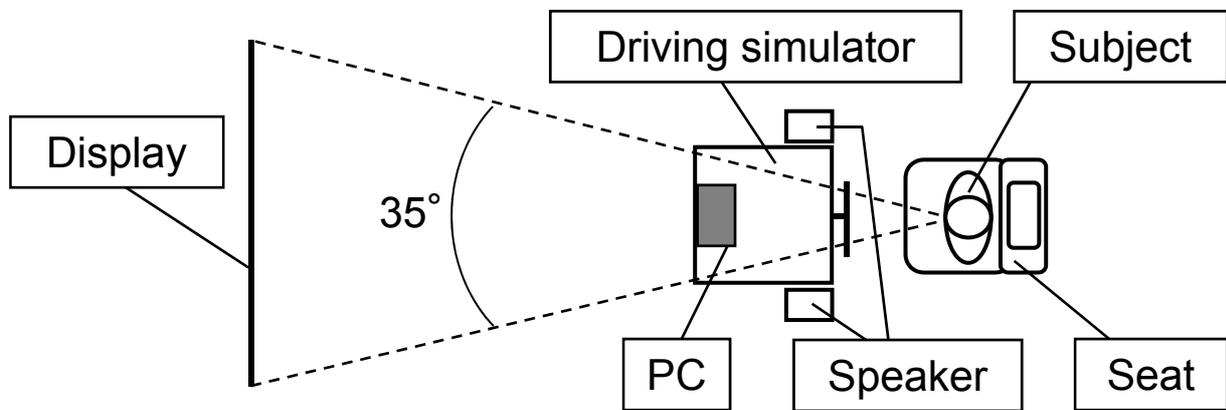


Fig. 4-1 Configuration of driving simulator

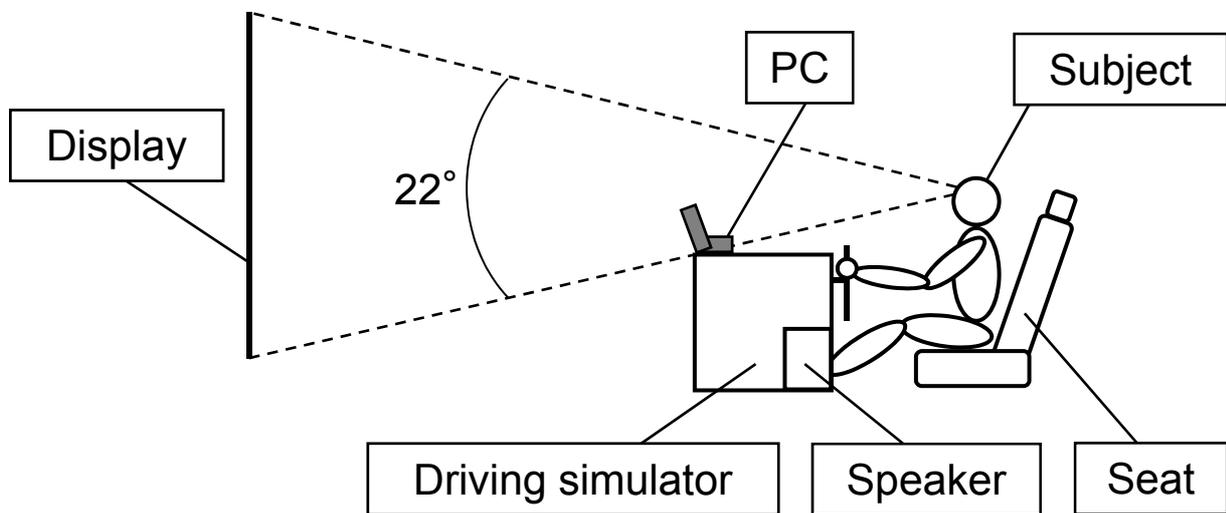


(a) Setup of driving simulator (b) Visual information

Fig. 4-2 Driving simulator

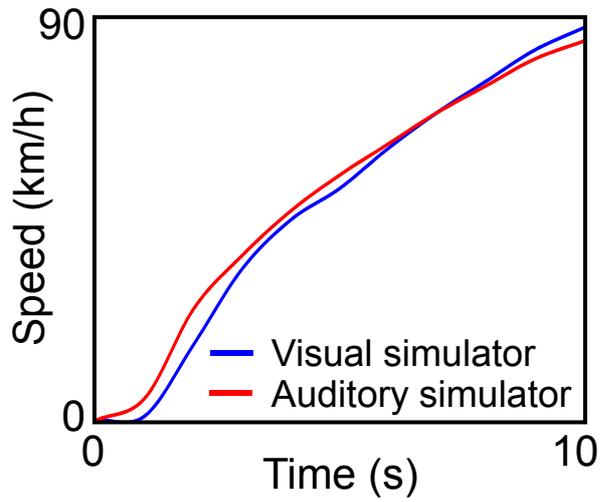


(c) Top view of evaluation setup

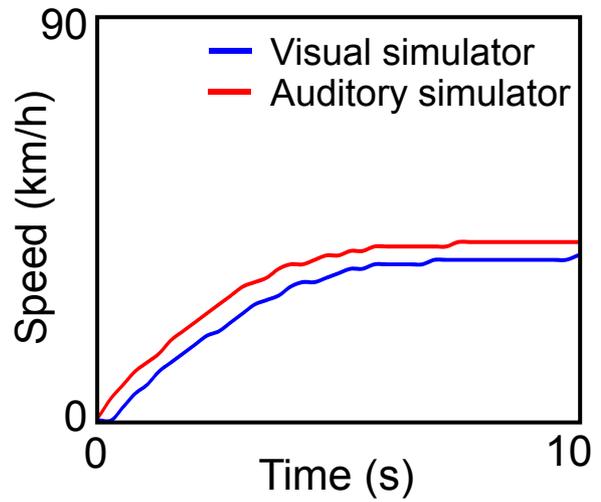


(d) Side view of evaluation setup

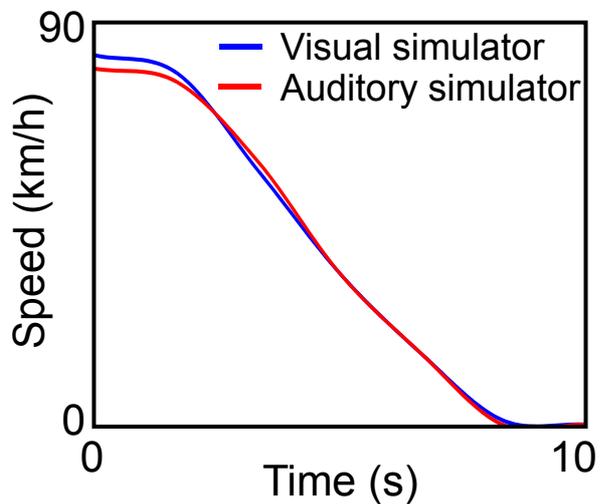
Fig. 4-2 Driving simulator



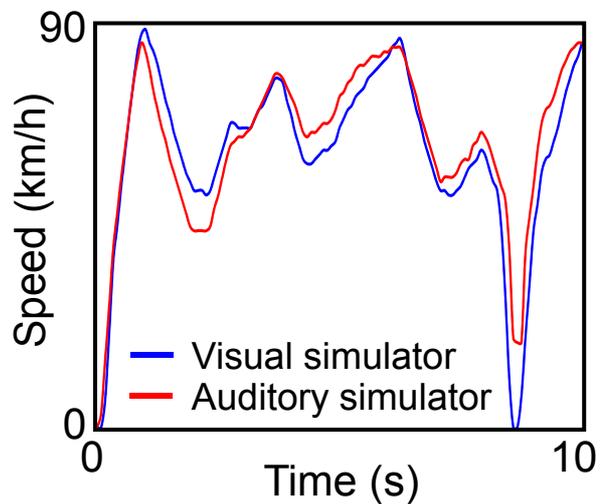
(a) Accel. 100%



(b) Accel. 30%



(c) Brake 30%



(d) Free run

Fig. 4-3 Comparison of running speed of visual simulator and auditory simulator

Table 4-1 Evaluation sound changing sound pressure level of motor

	A-weighted sound pressure level of motor (dB)		Frequency of motor (kHz)	
	n th	2n th	n th	2n th
S1	25	15	4	8
S2	30	20		
S3	35	25		
S4	40	30		
S5	45	35		
S6	50	40		
S7	55	45		
S8	60	50		

Table 4-2 Evaluation sound changing frequency of motor

	A-weighted sound pressure level of motor (dB)		Frequency of motor (kHz)	
	n th	2n th	n th	2n th
f1	35	25	1	2
f2			2	4
f3			3	6
f4			4	8
f5			5	10
f6			6	12
f7			7	14
f8			8	16

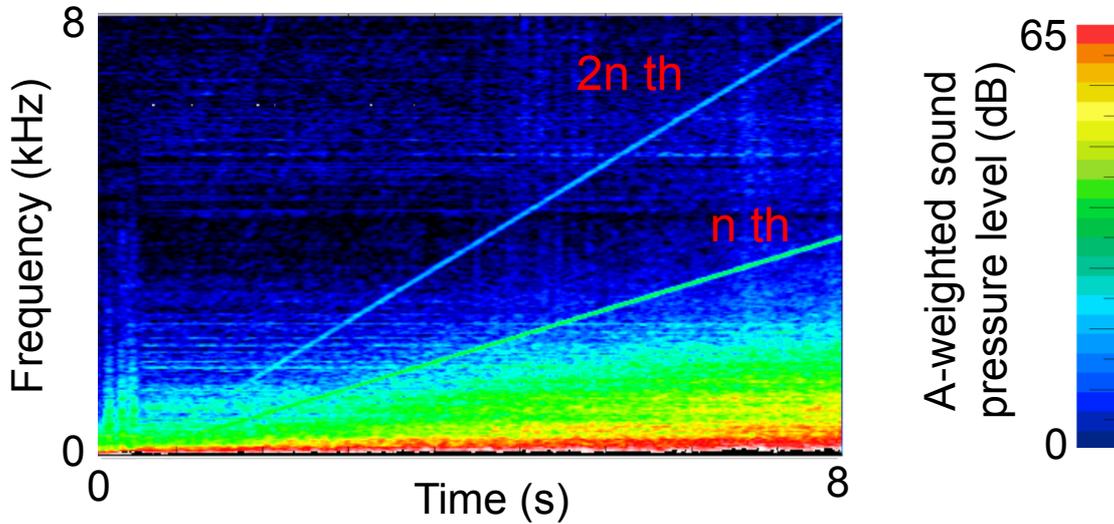
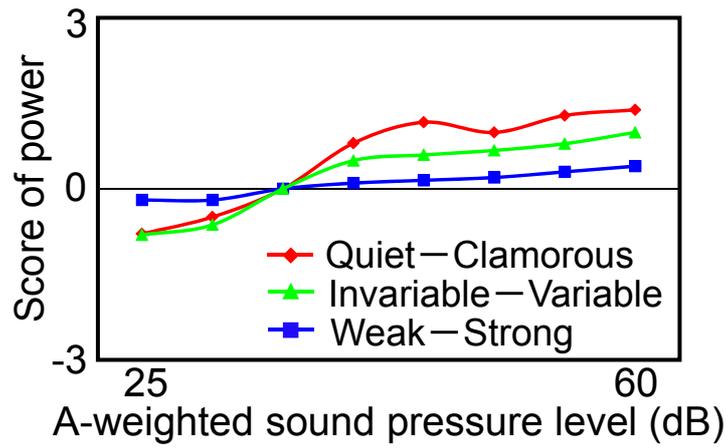


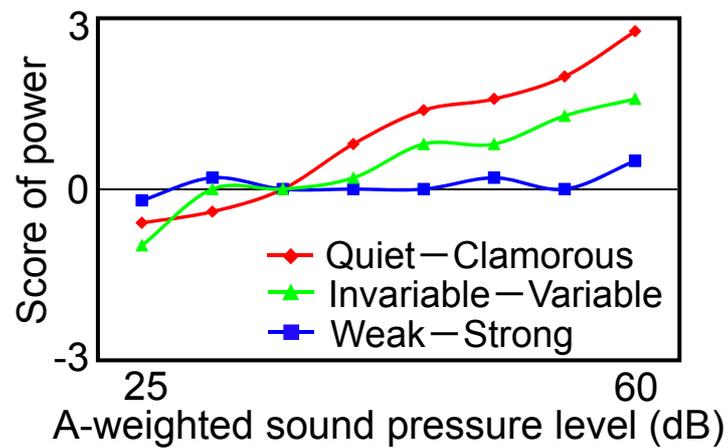
Fig. 4-4 EV sound (Table 4-1, S3)

Table 4-3 Adjective pairs for evaluation by SD method

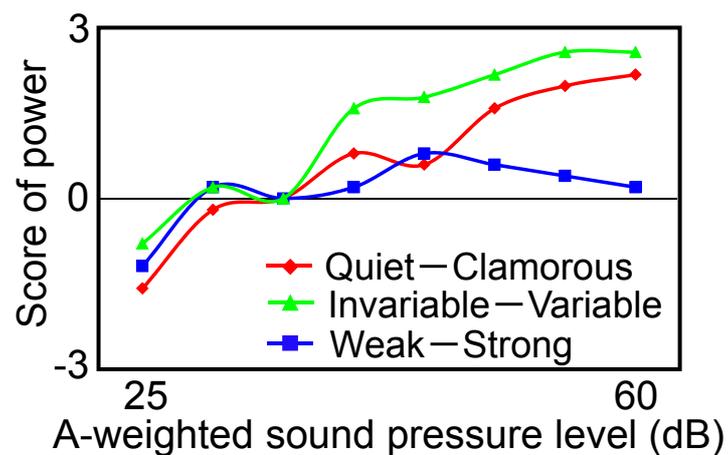
Adjectives	
Hoarse (かすれた)	- Satisfactory (満ち足りた)
Not resound (響かない)	- Resound (響く)
Muddy (濁った)	- Clear (澄んだ)
Dry (かわいた)	- Moist (うるおいのある)
Dirty (汚い)	- Beautiful (きれいな)
Rough (粗い)	- Smooth (滑らか)
Calm (落ち着いた)	- Shrill (甲高い)
Not crisp (丸みのある)	- Crisp (キーンとした)
Quiet (静かな)	- Clamorous (騒々しい)
Weak (弱々しい)	- Strong (力強い)
Invariable (変化のない)	- Variable (変化のある)
Cheap (安っぽい)	- Expensive (高級な)
Unpleasant (不快な)	- Pleasant (快い)
Booming (こもった)	- Not booming (こもらない)
Heavy (重厚な)	- Light (軽快な)



(a) Sound only

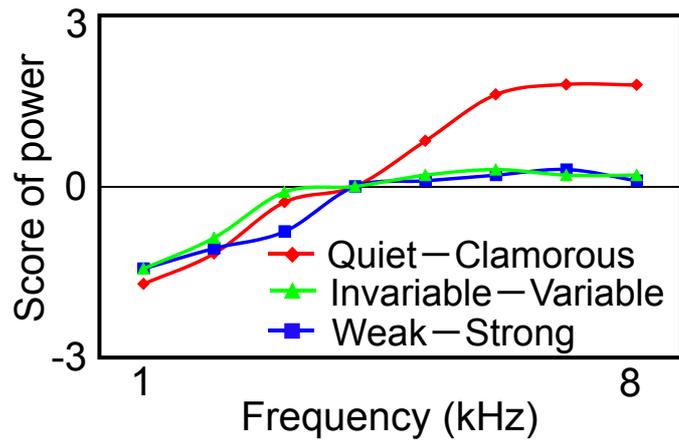


(b) Sound + Movie

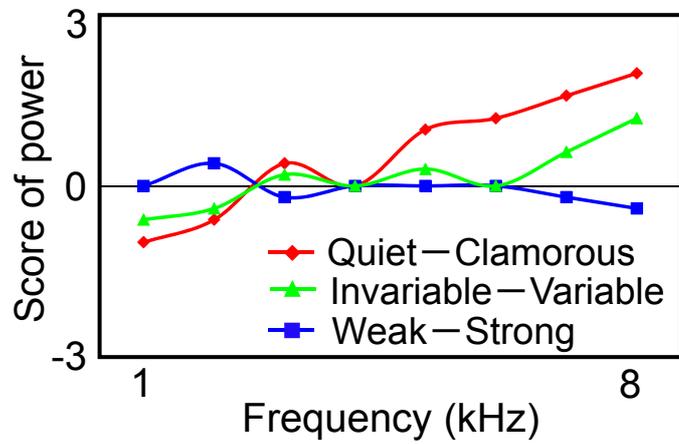


(c) Sound + Movie + Motion

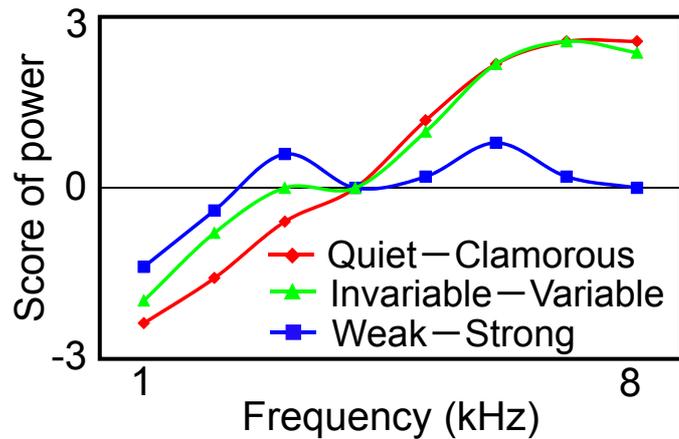
Fig. 4-5 Evaluation results of changing sound pressure level



(a) Sound only



(b) Sound + Movie



(c) Sound + Movie + Motion

Fig. 4-6 Evaluation results of changing frequency

Table 4-4 Evaluation sound of engine sound

	A-weighted sound pressure level (dB)		
	Road noise	Engine	All
RN	60	0	60
En1		54	65
En2		61	70
En3		70	75

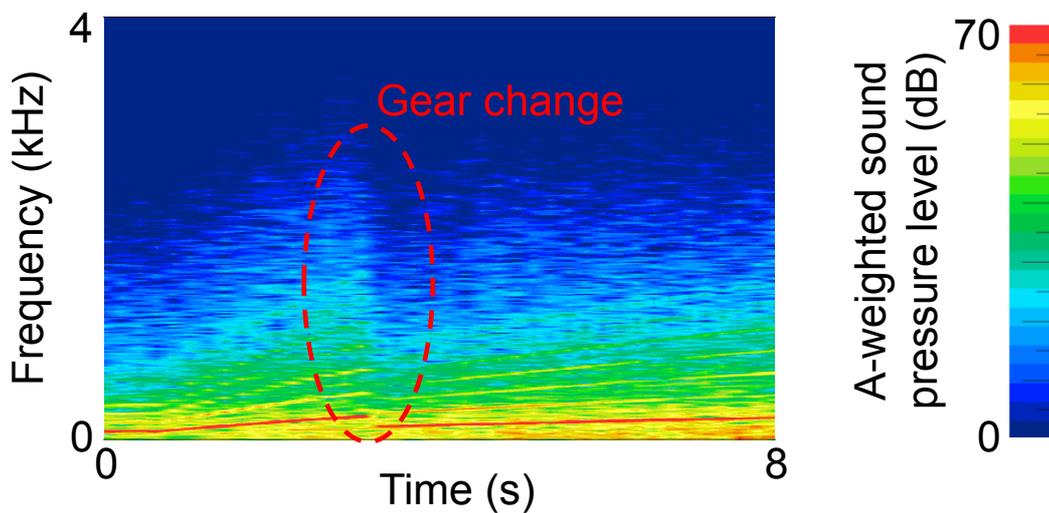


Fig. 4-7 Engine acceleration sound

Table 4-5 Evaluation sound of EV sound

	A-weighted sound pressure level (dB)		
	Road noise	Motor	All
RN	60	0	60
EV1		37	65
EV2		54	70
EV3		70	75

Evaluation sheet

Name: _____ Male / Female Age: _____

	First sound Very	First sound Quite	First sound Slightly	Same	Second sound Slightly	Second sound Quite	Second sound Very
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Fig. 4-8 Evaluation sheet for paired comparison method

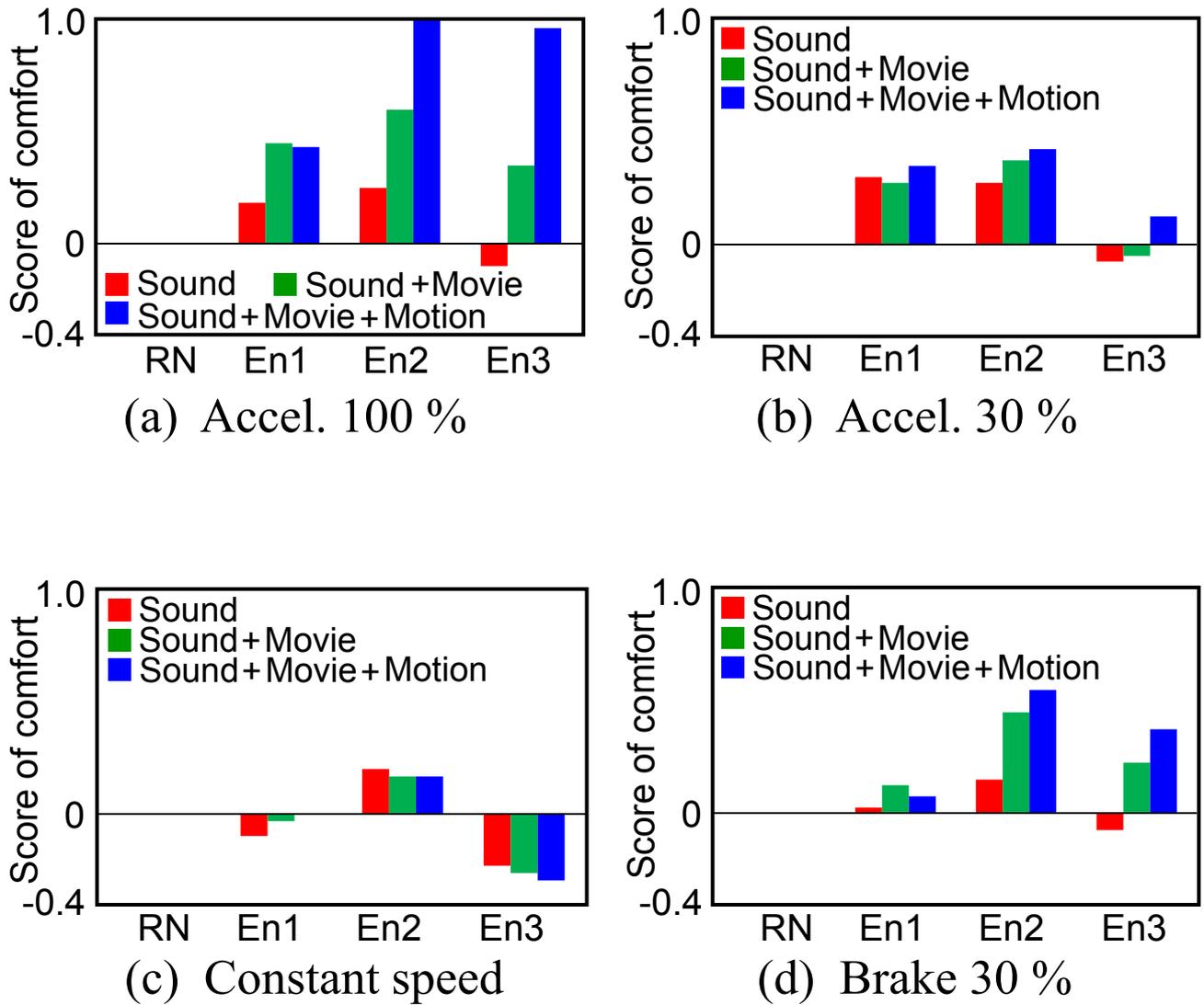


Fig. 4-9 Evaluation results of engine sound quality

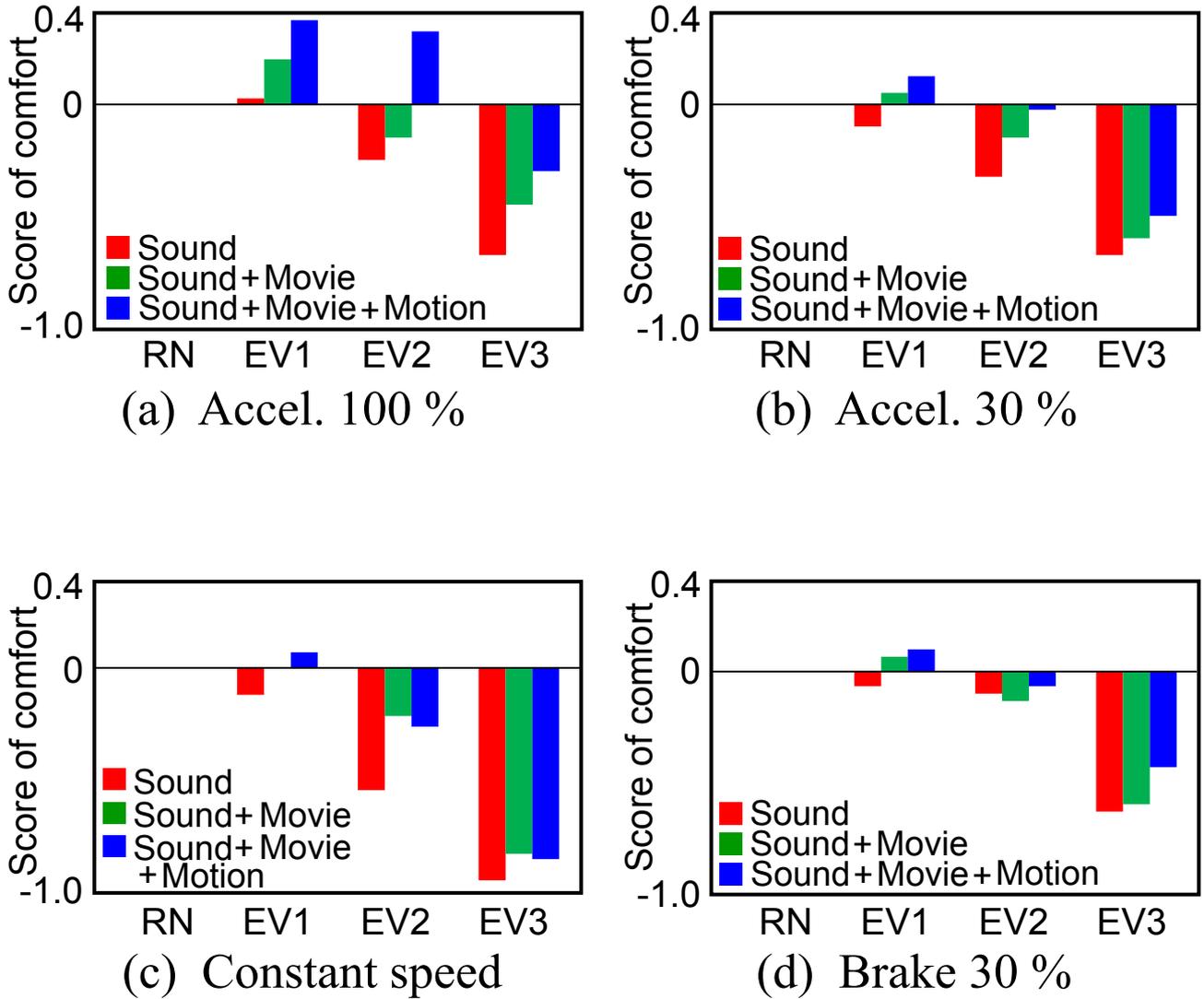


Fig. 4-10 Evaluation results of EV sound quality

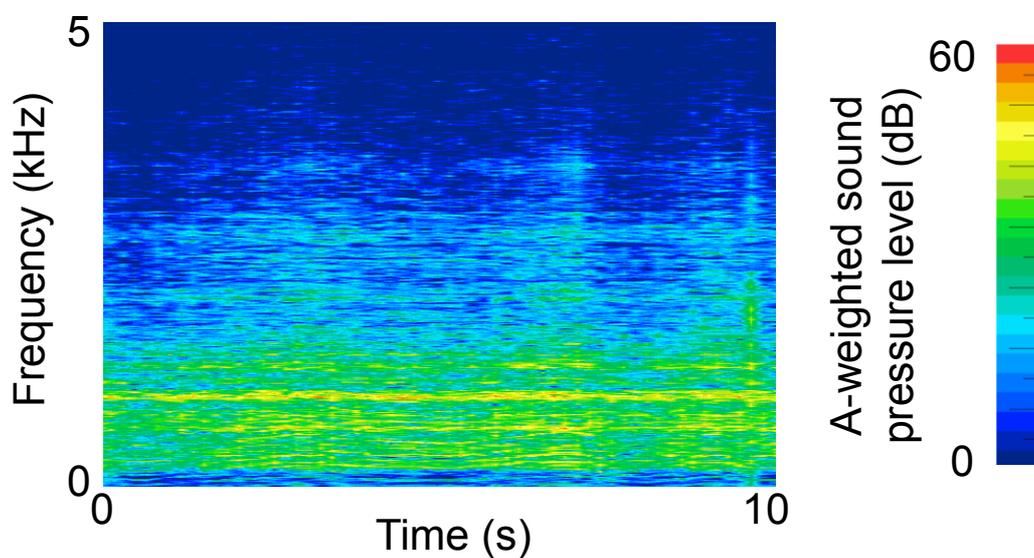


Fig. 4-11 Engine sound (2000rpm)



Fig. 4-12 Evaluation setup of sound quality under complex stimuli using driving simulator

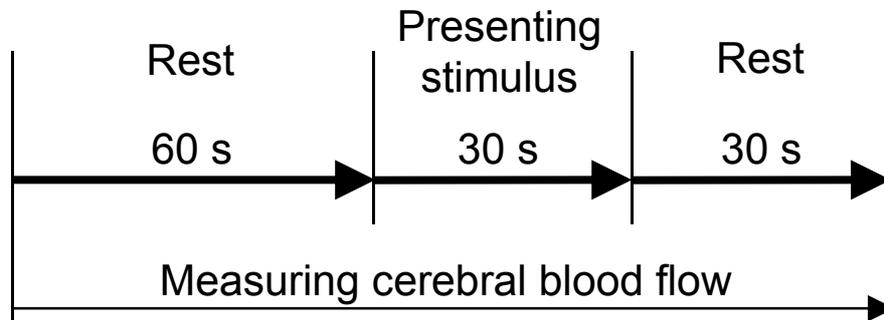


Fig. 4-13 Time protocol for measuring cerebral blood flow by NIRS

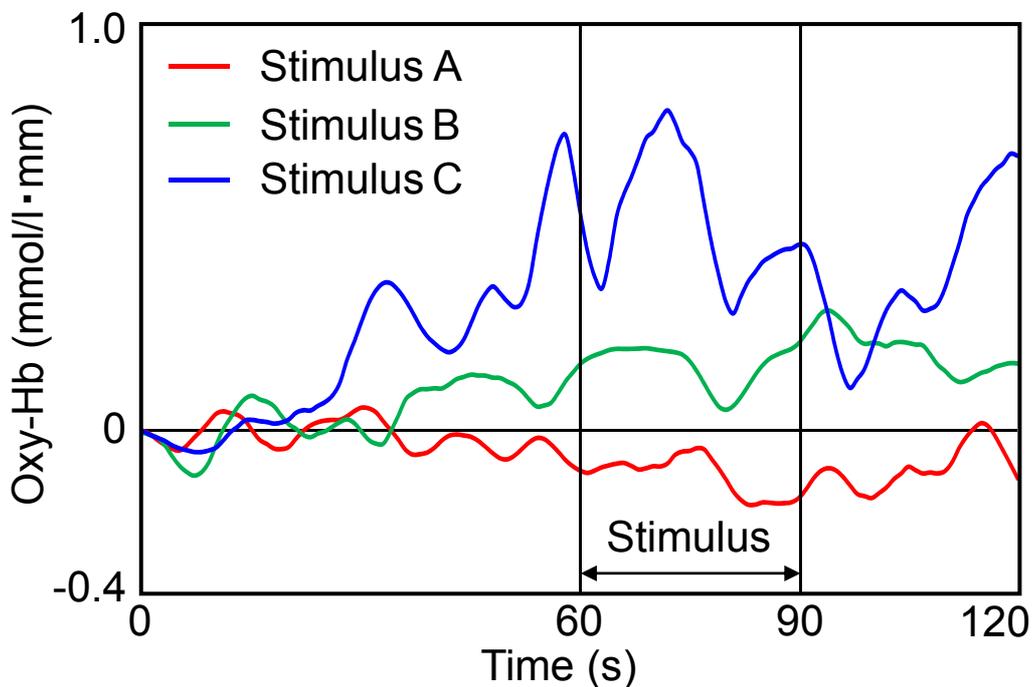


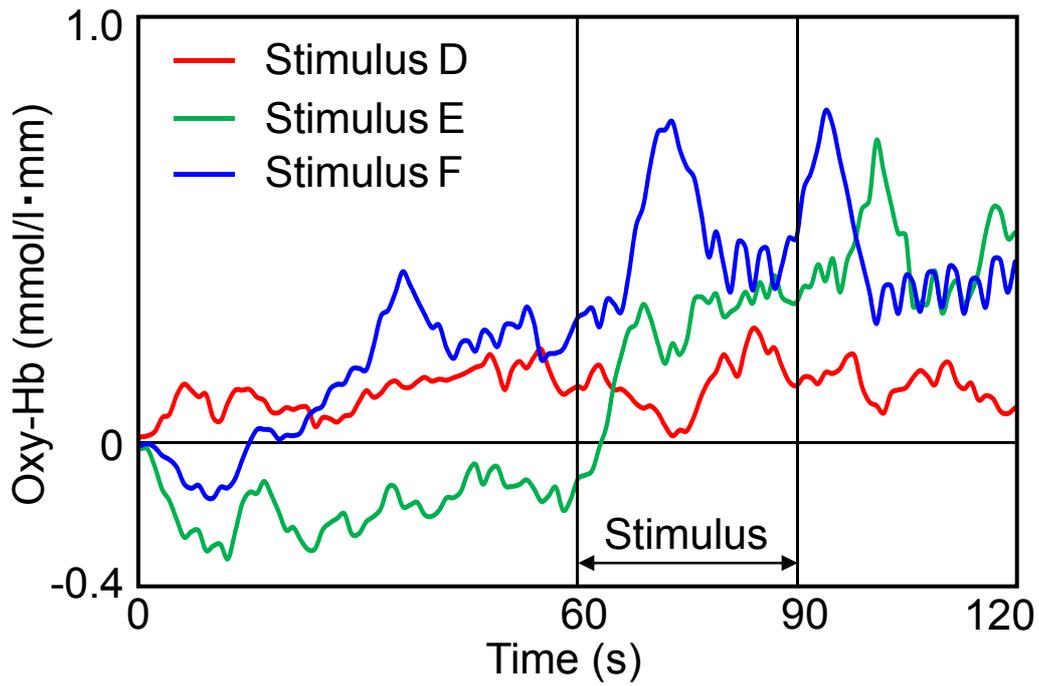
Fig. 4-14 Evaluation result of subject-a under stimuli using driving simulator



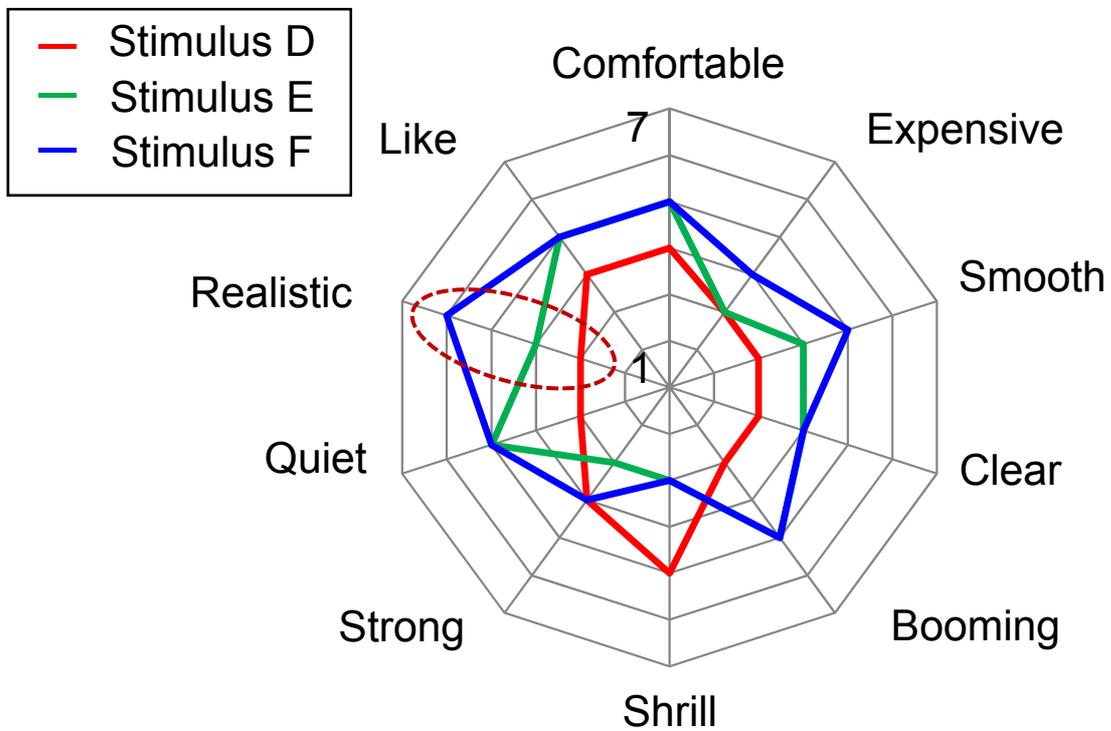
Fig. 4-15 Vehicle used for evaluation



Fig. 4-16 Road where experiment is conducted

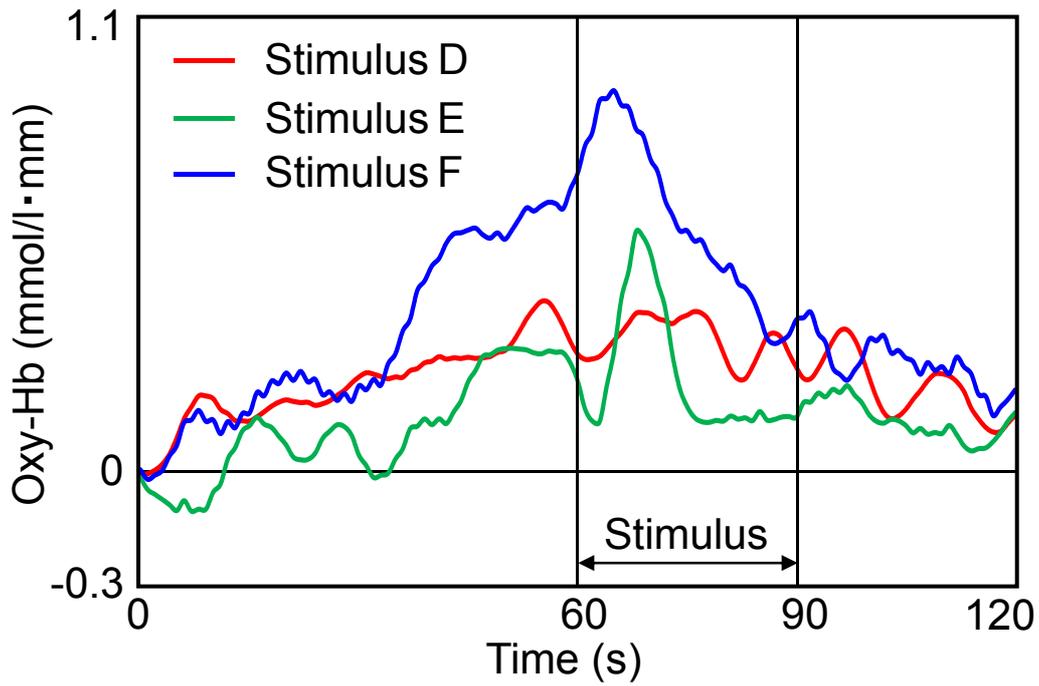


(a) NIRS

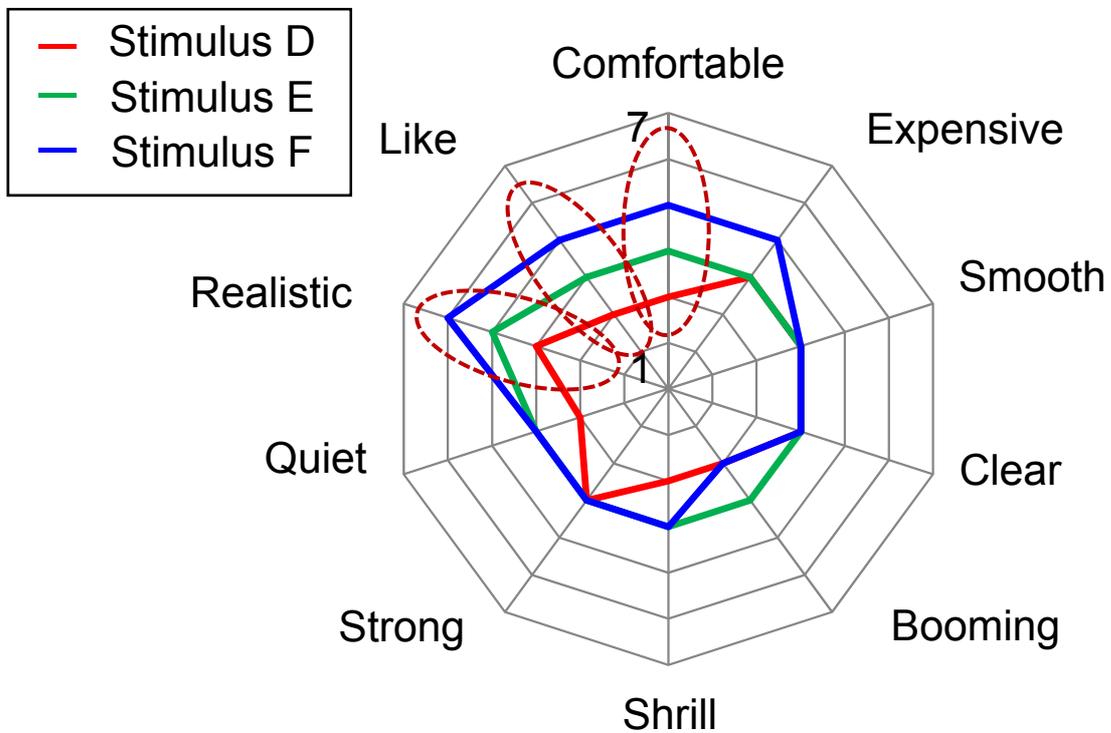


(b) Score of SD method

Fig. 4-17 Evaluation result of subject-b under stimuli using vehicle

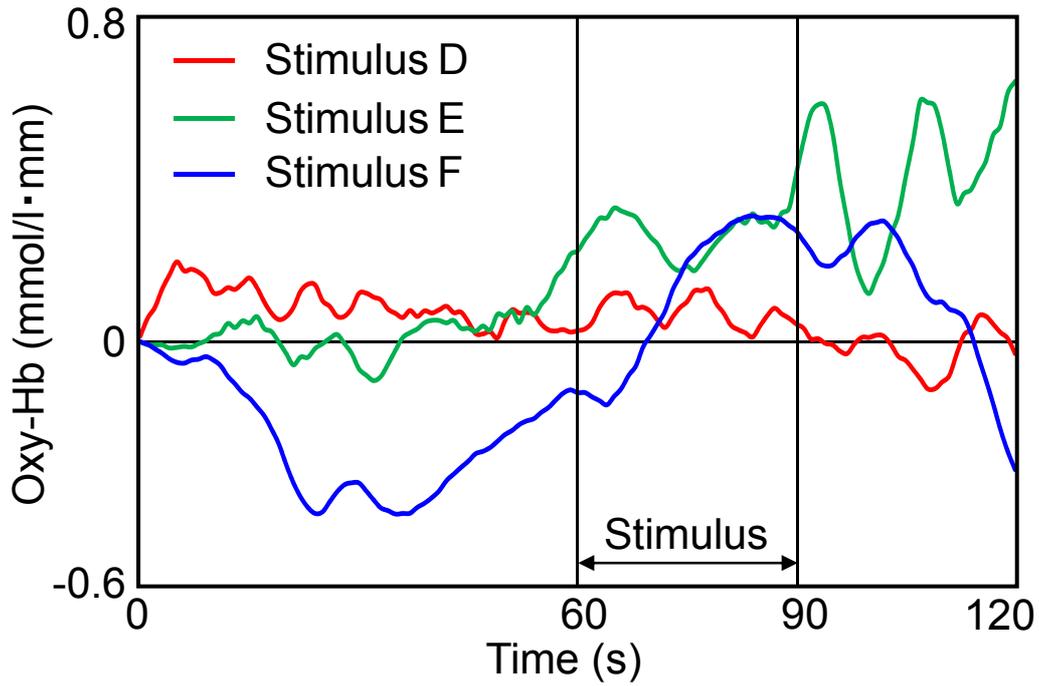


(a) NIRS

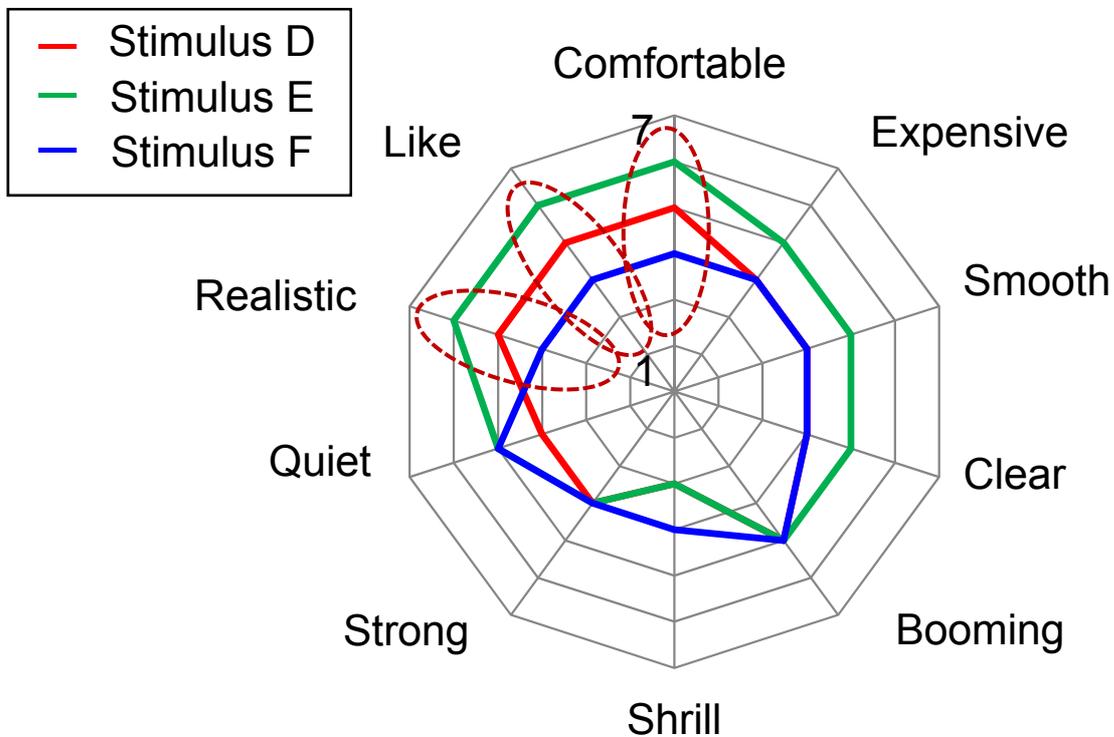


(b) Score of SD method

Fig. 4-18 Evaluation result of subject-c under stimuli using vehicle



(a) NIRS



(b) Score of SD method

Fig. 4-19 Evaluation result of subject-d under stimuli using vehicle

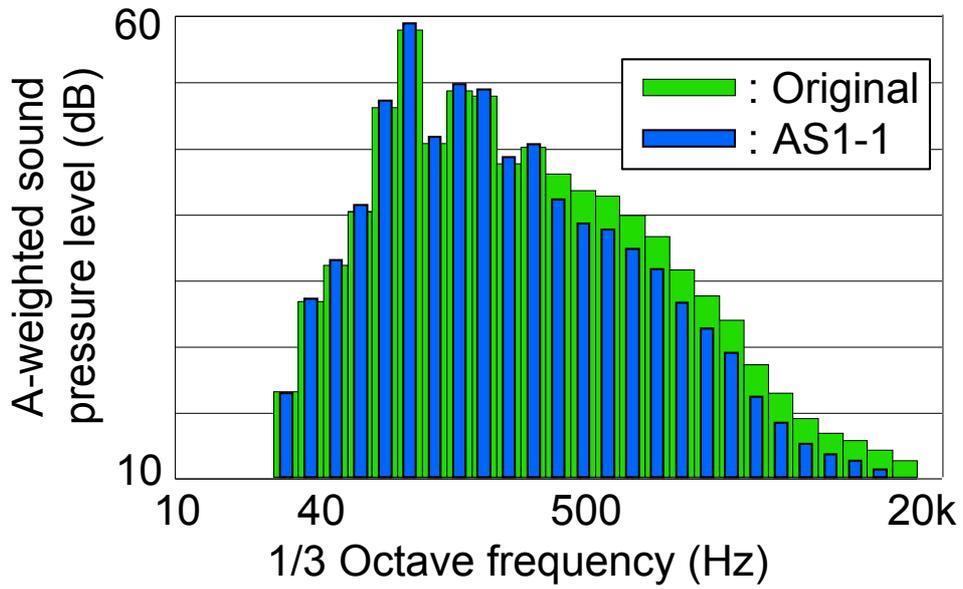


Fig. 4-20 Original driving sound and edited sound at constant speed

Please check your condition.

- 1 Awake very clear
- 2
- 3 Waking
- 4
- 5 Neither
- 6
- 7 Sleepy
- 8
- 9 Very sleepy

Fig. 4-21 Questionnaire of KSS

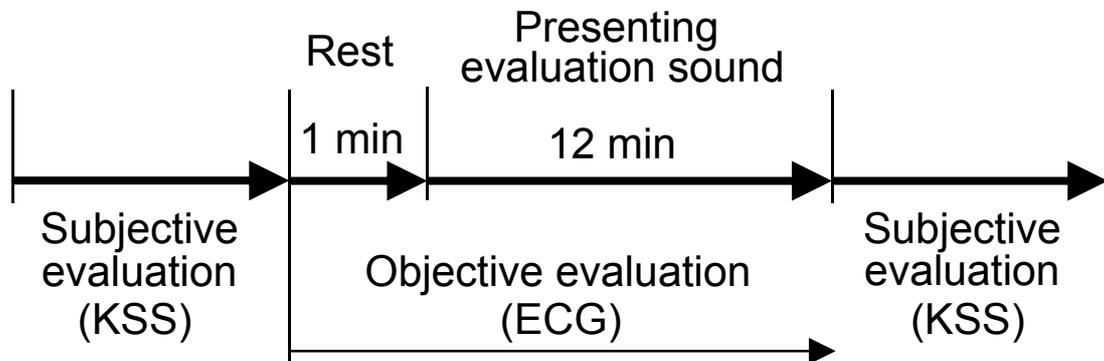


Fig. 4-22 Time protocol for evaluation of awakening level with presentation sound

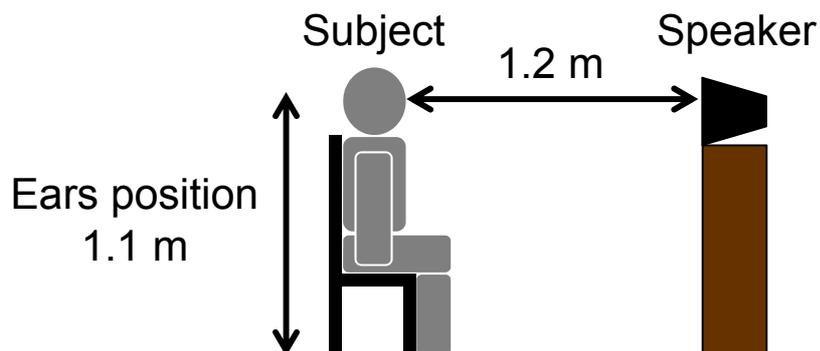


Fig. 4-23 Evaluation setup of awakening level with presentation sound

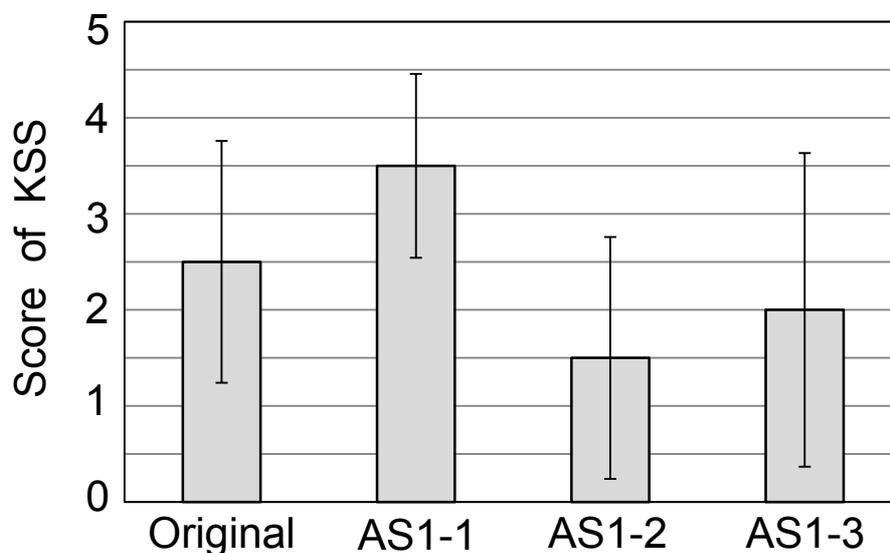


Fig. 4-24 Result of subjective evaluation of awaking level with presentation of sound

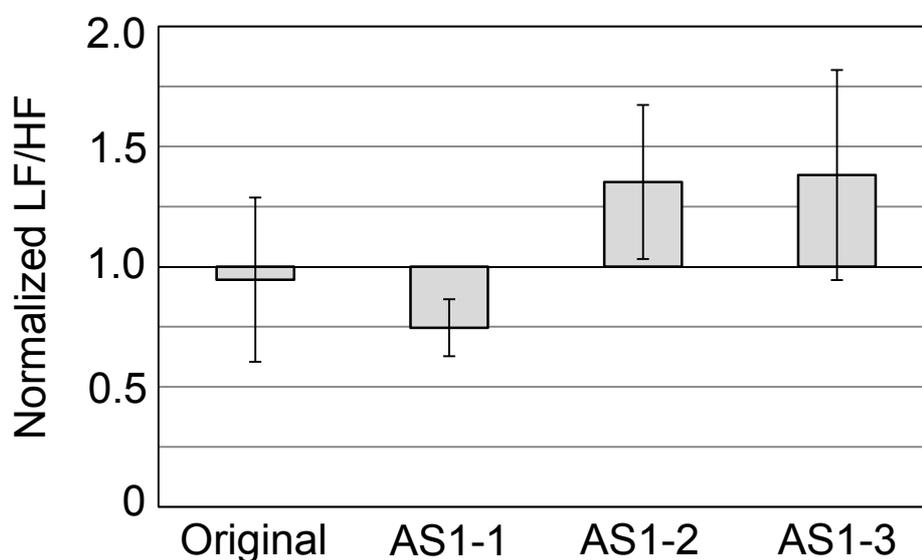


Fig. 4-25 Result of objective evaluation of awaking level with presentation of sound

Table 4-6 Result of factor analysis of color impression evaluation

	Comfortable factor	Powerful factor	Light factor
Desirable(好ましい) - Undesirable(好ましくない)	0.75	-0.45	-0.15
Comfortable(心地よい) - Uncomfortable(不快な)	0.73	-0.41	-0.16
Concentrated(集中できる) - Excursive(集中できない)	0.73	-0.52	-0.24
Clean(きれい) - Dirty(汚い)	0.71	-0.07	0.10
Cool(鎮静した) - Excited(興奮した)	0.67	-0.58	-0.24
Powerful(迫力のある) - Less powerful(迫力のない)	-0.25	0.82	0.19
Gaudy(地味な) - Sober(派手な)	-0.35	0.77	0.38
Clamorous(騒々しい) - Quiet(静かな)	0.61	0.64	0.21
Relax(落ち着いた) - Nervous(緊張した)	0.61	-0.63	-0.11
Cheerful(明るい) - Gloomy(暗い)	-0.15	0.35	0.79
Hilarious(陽気な) - Dismal(陰気な)	-0.33	0.29	0.63
Light(軽快な) - Heavy(重厚な)	0.09	0.01	0.61
Contribution ratio	30.5 %	27.1 %	15.1 %
Cumulative contribution ratio	30.5 %	57.6 %	72.7 %

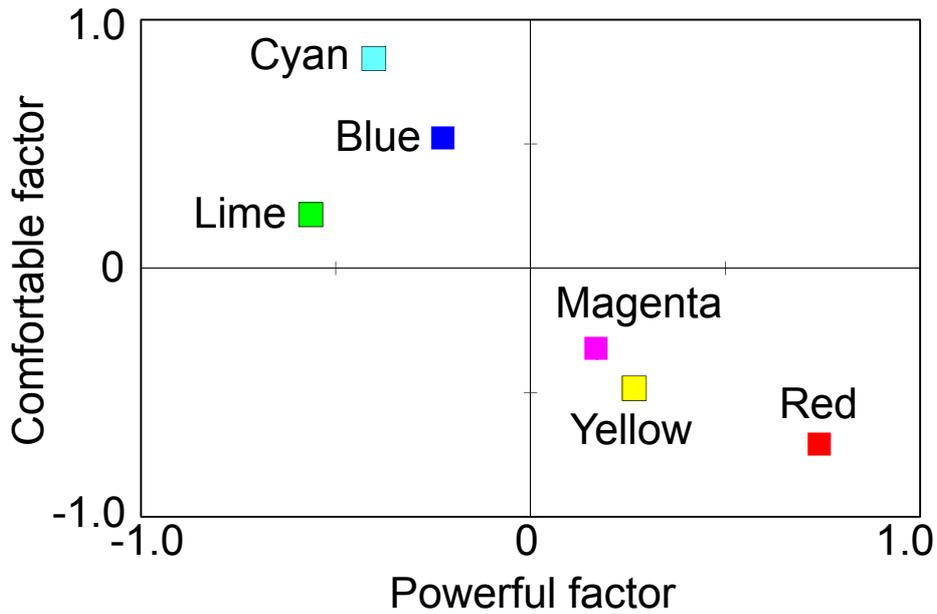


Fig. 4-26 Powerful factor vs. Comfortable factor

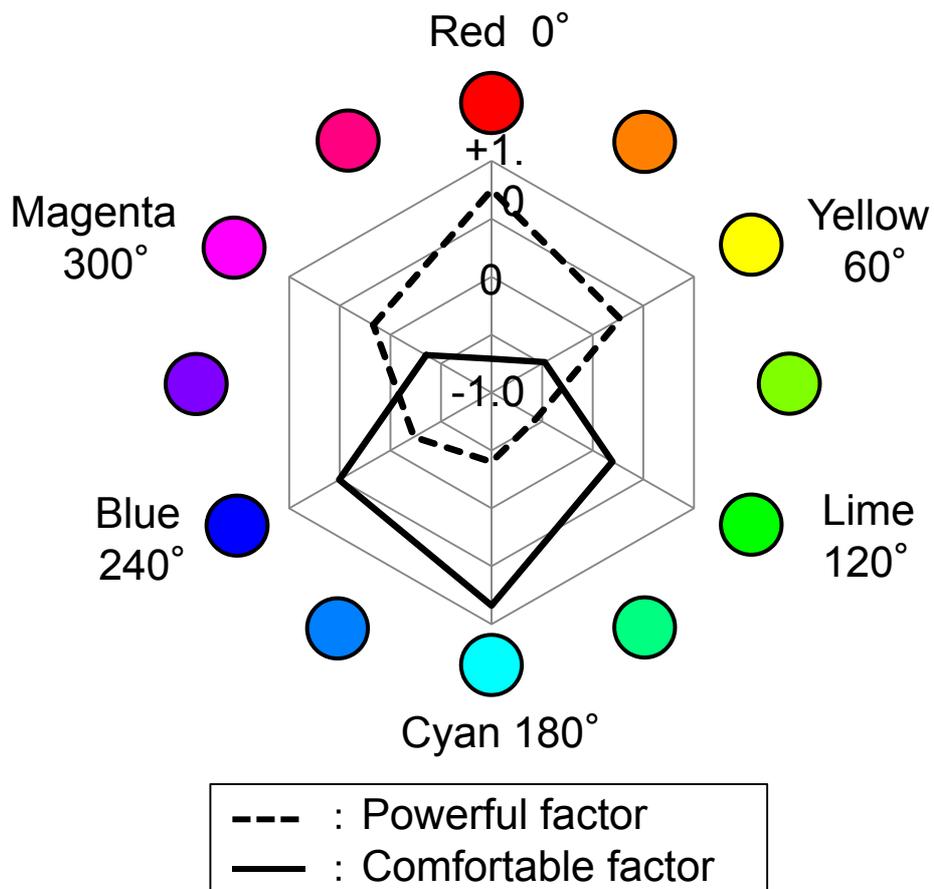


Fig. 4-27 Factor score of powerful factor and comfortable factor

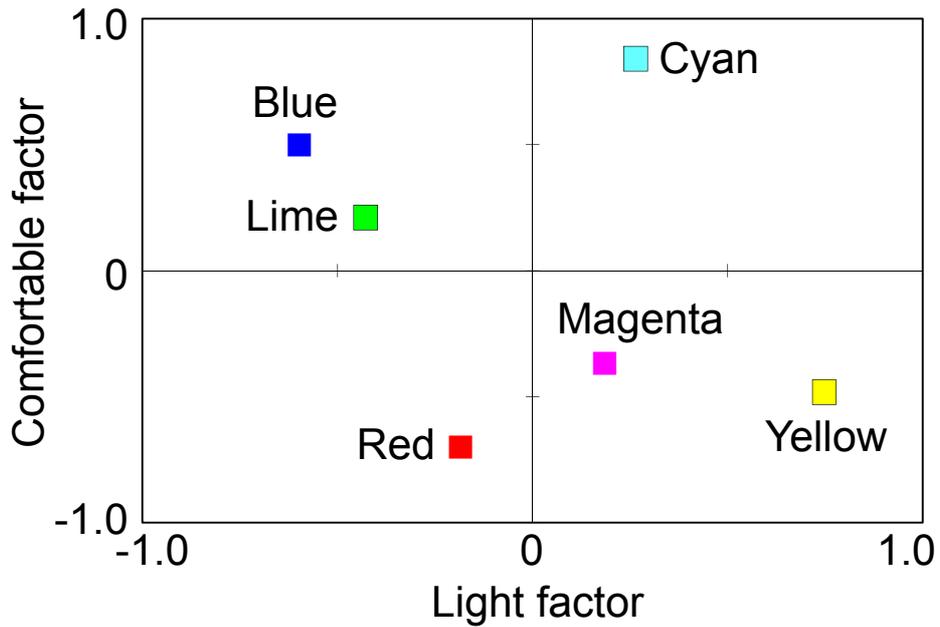


Fig. 4-28 Light factor vs. Comfortable factor

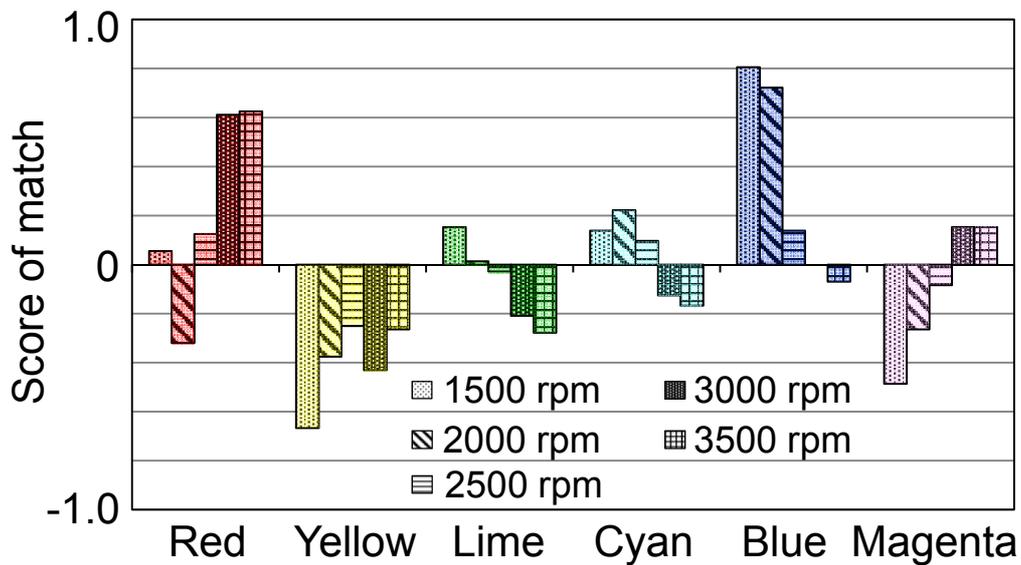


Fig. 4-29 Matching factor by paired comparison method

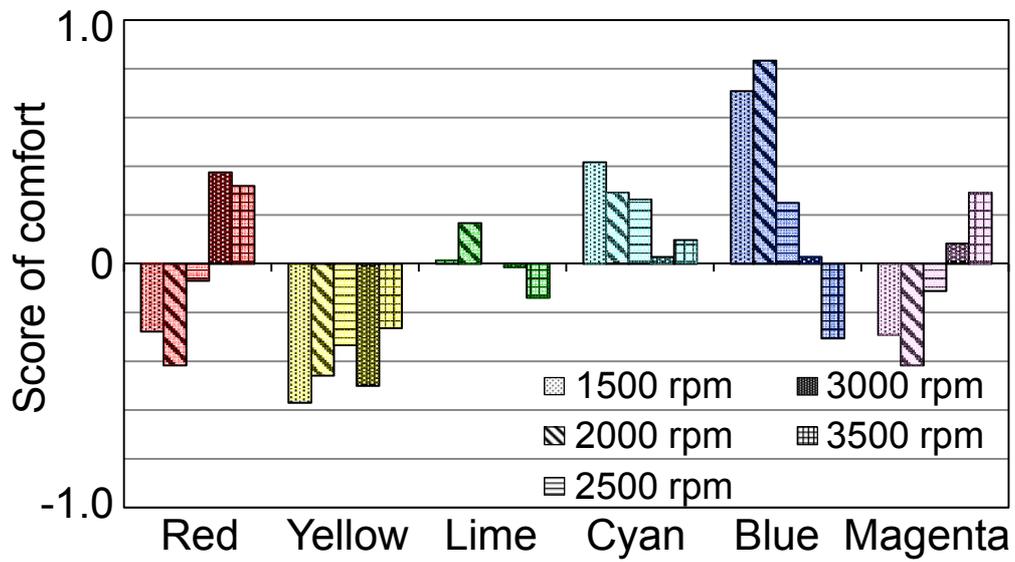


Fig. 4-30 Comfortable factor by paired comparison method

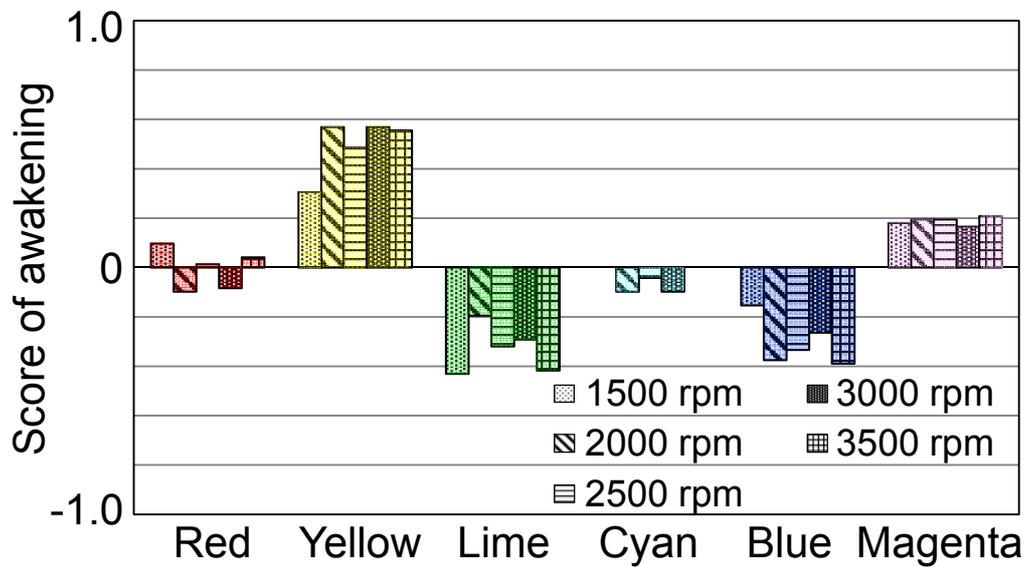


Fig. 4-31 Awakening factor by paired comparison method

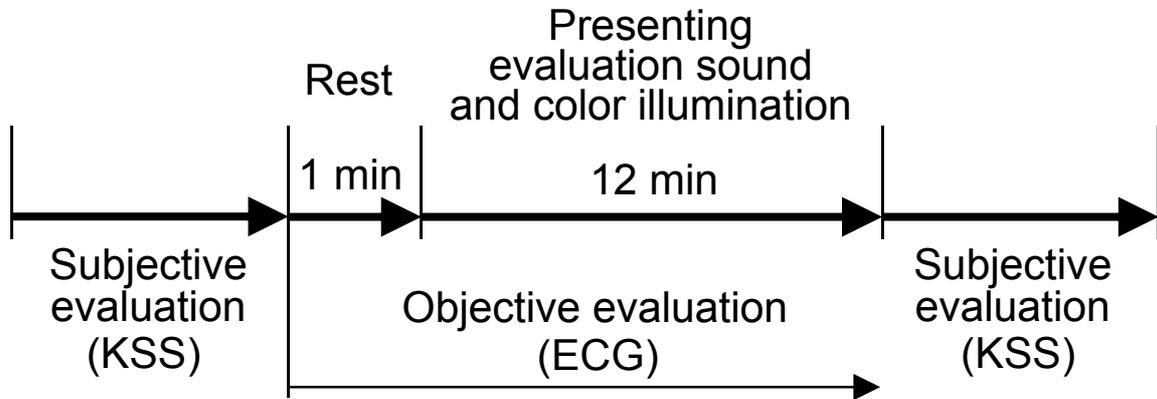


Fig. 4-32 Time protocol for evaluation of awakening level under complex stimuli with sound and color illumination



(a) Yellow illumination



(b) Blue illumination

Fig. 4-33 Evaluation setup of awakening level under complex stimuli with sound and color illumination

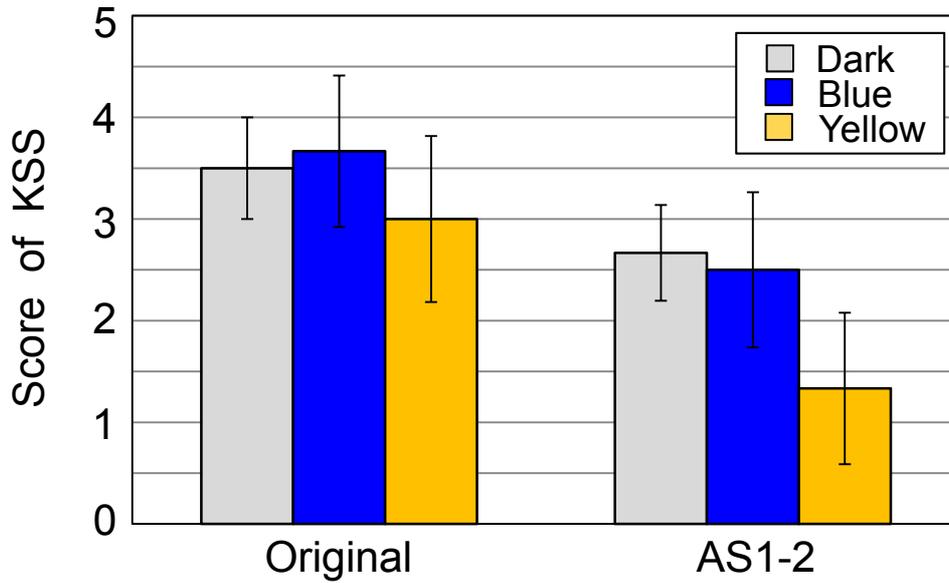


Fig. 4-34 Result of subjective evaluation of awakening level under complex stimuli with sound and color illumination

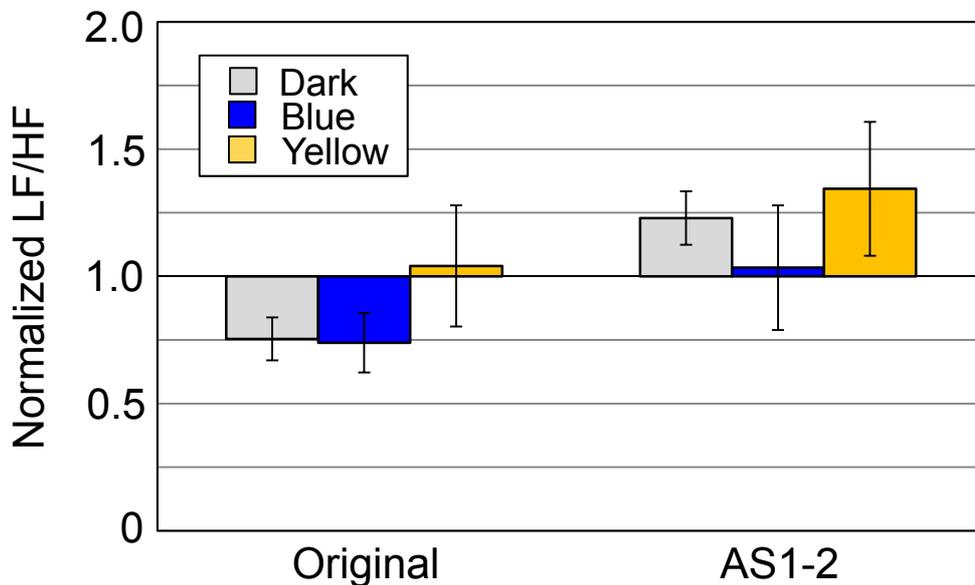


Fig. 4-35 Result of objective evaluation of awakening level under complex stimuli with sound and color illumination

第 5 章

時間経過に伴う機能音の 聞き慣れ評価手法

5.1 はじめに

音には聞き慣れやすい音と聞き慣れにくい音があり、初めは耳障りな音でも聞き続けると気にならなくなる音、初めは気にならない音でも聞き続けると気になってくる音があると予測できる^{[168],[169]}。第4章で覚醒水準の維持に有効な機能音を見出したが、継続的な使用で覚醒水準の維持の効果が低減することが懸念される。また、第3章で非定常音の周期音を対象に、リズム感の改善により快適性を向上した機能音を見出したが、継続的な使用で快適性が低減することが懸念される。一方、快適性が低い周期音でも継続的な使用で聞き慣れて、不快感が軽減する可能性がある。

そこで第5章では、時間経過に伴う機能音の効果維持について検討し、その評価手法を提案する。ここでは、第3章と第4章で見出した機能音を用いて“聞き慣れ評価手法”を検討し、提案する。また、継続的に機能音を使用した際に、覚醒水準の維持の効果や快適性の低下が小さい音、および騒音に対する不快感が軽減する音を見出す。

まず、定常音を対象とし、第4章で見出した自動車走行音の覚醒水準の維持に有効な機能音を用いて、主観的な聞き慣れ評価手法を検討する。ここでは、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(SPL)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音圧レベル変動評価(以下、SPL変動評価)手法を検討する。評価は、SPL変動評価手法に加え、従来の主観的および皮膚電位(SPR: Skin Potential Reflex)を用いた客観的な評価^[170]も行い、提案した手法の有用性を検討する。そして、聞き慣れ評価指数を提案する^{[171],[172]}。

次に、非定常音を対象とし、第3章で検討した事務機稼働音に含まれる一部の音や事務機を連続動作させたときの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を行い、唾液アミラーゼは聞き慣れを評価できるか検討する。評価音は、比較対象として聞き慣れやすいと予測される事務機稼働音に含まれる定常音、定常音と過渡音を合成した非定常音、実際の事務機を連続動作させたときの稼働音、およびリズム感を改善して快適性を向上させた稼働音を使用する。そして、聞き慣れやすい音、聞き慣れにくい音を検討し、快適性の低下が小さい音、および騒音に対する不快感が軽減する音を見出す^{[173],[174]}。

5.2 定常音の主観的な聞き慣れ評価手法

本節では、従来手法と比較して、評価精度と時間的な分解能が高く、被験者に評価を意識させずに負担が小さい聞き慣れ評価手法として、SPL 変動評価手法を検討する。

まず、従来行われている主観的な評価による聞き慣れ評価を行う。次に、SPL 変動評価手法に用いる評価音の SPL の変化量、および変化に気付いたと回答するまでの待ち時間を決めるための事前評価を行う。そして、決定した SPL の変化量と回答の待ち時間を用いて SPL 変動評価を行う。同時に、従来行われている SPR の計測を行い、SPL 変動評価の結果と比較することで、提案する SPL 変動評価手法の有用性を検討する。

5.2.1 評価に使用する定常音

評価音は、被験者の評価の負担を考慮して少なくすることを検討し、第4章で使用した自動車車室内における 100 km/h 定常走行音の原音 (OS: Original Sound) と、それを基に加工した3種の音を加えた計4種とする。加工音は、第4章で OS のロードノイズ成分に相当する周波数帯域 (40~500 Hz) の音圧レベルを 6 dB 上げた音は覚醒効果が小さいことを確認したので、本評価では 40~500 Hz の音圧レベルを逆に 6 dB 低減させた AS2-1、第4章で覚醒水準の維持に効果があることを確認した風切り音に相当する周波数帯域 (1 k~5 kHz) の音圧レベルを 6 dB 上げた AS2-2、および AS2-1 と AS2-2 を組み合わせた AS2-3 とする。各評価音の A 特性音圧レベルとラウドネスを Table 5-1 に示す。

5.2.2 聞き慣れの主観的な評価

まず、従来の主観的な評価による聞き慣れ評価を行う。被験者は評価音を聞き続け、評価音に対して主観的に慣れたか否かを評価する。評価における慣れの定義は、評価音を意識してしまう場合は「慣れない」を、意識しない場合を「慣れた」とし、聞き慣れたかの判断を行う。

(a) 聞き慣れの主観的な評価方法

被験者は、防音室内で椅子に座り、ヘッドホンから提示した評価音を聞く。被験者の前方には PC ディスプレイがあり、Fig. 5-1 に示すように「慣れた (Accustomed)」

「慣れない (Unaccustomed)」の質問が表示され、被験者は PC キーボードを押すことで慣れたか否かを回答する。得られた結果より、「慣れた」を 1 点、「慣れない」を 0 点として、被験者全員の平均値を算出する。

評価手順を Fig. 5-2 に示す。評価音の提示時間は被験者の評価の負担を考慮して 10 分間とし、被験者は、聞き慣れたか否かを 30 秒ごとに合計 20 回キーボードから回答する。被験者は、正常な睡眠および覚醒サイクルの生活を送っていて、聴覚が正常な 20 歳代の 18 名である。

(b) 聞き慣れの主観的な評価結果

被験者全員の主観的な評価結果の平均値を Fig. 5-3 に示す。グラフの縦軸は、得点が高いほど聞き慣れたことを表し、1.0 は全員が聞き慣れたことを示す。得られた結果より、全ての評価音で時間が経過すると得点が増加していることから、評価音に対する聞き慣れが生じていることがわかる。そして、主観的な評価では、AS2-1, AS2-2, AS2-3 は OS と比較して聞き慣れにくい音であるといえる。

5.2.3 音圧レベル変動評価手法に用いる評価音および評価条件

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、その変化に気付けば聞き慣れていなく、変化に気付かなければ聞き慣れたと判断する SPL 変動評価手法を検討する。まず、各評価音によって SPL の変化に対する刺激の強さに差があると予測し、その刺激の強さを同一にするための事前評価を行う。また、SPL を変化させてから変化に気付いたと回答するまでの入力待ち時間を決める。

(a) 評価音および評価条件の検討方法

評価手順を Fig. 5-4 に示す。評価音は 6 秒間ごとに SPL を変化させ、被験者は SPL が切り替わる前後の評価音の大きさを比較する。Fig. 5-5 に示す PC ディスプレイの表示に従い、音の大きさの変化に気付いたら「大きくなった (Larger)」, または「小さくなった (Smaller)」の回答を PC のキーボードから入力する。そして、SPL の変化を認識できた正答率と、回答するまでの時間を計測する。

本評価において、回答の入力待ち時間は事前に行った評価から 4 秒間とし、評価音の A 特性音圧レベルの変化量を ± 0.2 dB ずつ大きくしていく。各 SPL の変化量

は、+0.2 dB を 2 回、-0.2 dB を 2 回、交互に合計 4 回増減させる。そして、OS と AS2-1～AS2-3 の各 SPL の変化量を±0.2 dB から±3.0 dB まで変化させて、どの変化量になると被験者は変化を認識できるか評価する。また、評価音の SPL を変化させるタイミングは、被験者に教示しない。被験者は、正常な睡眠および覚醒サイクルの生活を送っていて、聴覚が正常な 20 歳代の 15 名である。

(b) 評価音および評価条件の検討結果

各評価音の評価結果を Fig. 5-6 に示す。グラフの縦軸は、全被験者の中で SPL の変化を認識できた被験者の比率を、横軸は変化させた A 特性音圧レベルを示す。ここで、全被験者の認識率が 1 を維持することは難しいため、SPL 変動評価で用いる音圧レベルの変化量は、認識率が 0.95 以上を維持したときの値とする。得られた結果より、音圧レベルの変化量は、それぞれ OS : 1.8 dB, AS2-1 : 1.4 dB, AS2-2 : 1.6 dB, AS2-3 : 1.8 dB とする。

また、評価における正答時の反応時間の平均値が 1.07 秒（標準偏差 0.15 秒）、誤答時の反応時間の平均値が 2.07 秒（標準偏差 0.33 秒）であった。誤答時の反応時間は、被験者が回答に悩んだ末の入力時間であることから、回答の入力待ち時間は 3 秒あれば十分であると判断し、SPL 変動評価で用いる入力待ち時間は 3 秒とする。

5.2.4 従来の客観的な手法と提案した主観的な手法を用いた聞き慣れ評価

(a) 聞き慣れ評価方法

SPL 変動評価の手順を Fig. 5-7 に示す。まず、被験者は椅子に座り、精神的、肉体的に落ち着かせるために、開眼状態で 5 分間安静を保つ。評価音の提示時間は被験者の評価の負担を考慮して 13 分間とし、提示開始から初めの 1 分間は、評価音に慣れさせるために SPL は変化させない。そして、残りの 12 分間を評価時間とし、SPL の変化を 6 秒に 1 回、合計 120 回加えた評価音を被験者に提示する。被験者は評価音の SPL の切り替わり直前までの音の大きさと比較し、音の大きさの変化に気付いたら PC ディスプレイの表示に従い、「大きくなった」または「小さくなった」を PC キーボードから利き手の指で入力する。これにより、評価音の SPL の変化に対する正答率と、回答するまでの時間を計測する。同時に、従来行われている聞き慣れ評価手法の SPR の計測を行うことで、本手法の有用性を検討する。SPR を計測する際

に、電極は非利き手の手掌人差し指と中指の中節に探查電極を、同側前腕屈側部に接地電極と基準電極を取り付ける。そして、評価音を提示すると同時に計測を開始する。視覚刺激が SPR に与える影響を考慮して、評価音を提示しているときは、被験者はアイマスクを着用する。また、評価音の SPL を変化させるタイミングは、被験者に教示しない。

被験者は、正常な睡眠および覚醒サイクルの生活を送っていて、聴覚が正常な 20 歳代の 12 名である。

(b) 従来 of 客観的な聞き慣れ評価結果

計測した SPR の結果を基に、SPR の反応が大きい人と小さい人がいることから、被験者ごとに正規化した陰性波成分の電圧の振幅を算出する。そして、被験者全員の平均値を算出した結果を Fig. 5-8 に示す。グラフの縦軸は、振幅が大きいほどストレスが大きく、聞き慣れていないことを表す。

得られた結果より、時間経過により全ての評価音で振幅が低下していることから、評価音に対して聞き慣れが生じていることが確認できる。また、相対的に AS2-2 および AS2-3 の振幅が大きいことから、これらの評価音が聞き慣れにくいと判断でき、覚醒水準の維持に有効であることがわかる。

(c) 音圧レベル変動評価手法を用いた主観的な聞き慣れ評価結果

SPL 変動評価で得られた結果より、 t 秒ごと（本評価では 6 秒ごと）に変化する評価音に対し、式 (5-1) を用いて聞き慣れ評価指数 E_n を算出する。

$$E_n = c_n \times \left(\frac{I - r_n}{I} \right) \quad (5-1)$$

ここで、 c_n は t 秒ごとのタイミング n において正答したか否かを表し、正答の場合は 1、非正答の場合は 0 とする。 I は回答の入力待ち時間（本評価では 3 秒）、 r_n はタイミング n において回答するまでの時間を表す。式 (5-1) の括弧内の $(I - r_n) / I$ は、 $r_n = 0$ の場合は 1 となり、回答が I 秒以上経過する $r_n \geq I$ の場合は 0 とする。 E_n は SPL が変化してから回答するまでの時間が短い場合は大きく、長い場合は小さくなり、値が大きいほど反応が早く聞き慣れていないことを表す。

Fig. 5-9 に本評価で得られた E_n の結果を示す。ここで Fig. 5-9 は、式 (5-1) を用

いて算出した各被験者の E_n を 60 秒ごとの 10 個のデータで平均値を算出し、さらに被験者全員の平均値 $\overline{E_n}$ を算出した結果を示す。時間経過により全ての評価音で $\overline{E_n}$ が低下していることから、評価音に対して聞き慣れが生じていることが確認できる。また、相対的に AS2-2 および AS2-3 が聞き慣れにくいと判断でき、覚醒水準の維持に有効であることがわかる。

(d) 音圧レベル変動評価手法の有用性

Fig. 5-3 に示す主観的な評価結果では、OS と比較して AS2-1 の聞き慣れを示す得点は小さいが、SPR および SPL 変動評価手法の評価結果では、OS と AS2-1 は殆ど差がない。評価終了後に被験者から従来の主観的な評価の感想を聞いたところ、評価のたびに評価音を意識してしまうとの意見が多く、評価精度に影響を与えるといえる。一方、SPL 変動評価手法は任意のタイミングで音の大きさの変化を判断しているので、被験者は評価を意識することが少ない。

OS に対して風切り音に相当する 1 k~5 kHz の SPL を上げた走行音は、第 4 章の結果から覚醒水準の維持に有効であることが示されており、さらに、SPR と SPL 変動評価手法の評価結果から、聞き慣れまでの時間が長くなることを示した。そして、これらの音を運転者が聞くことで覚醒水準を長く維持でき、覚醒水準の低下による事故の減少が期待できる。この走行音は、車室内のオーディオ機器やカーナビゲーションシステムのスピーカから違和感なく運転者に提示が可能である。さらに、提示する覚醒水準の維持に有効な機能音を聞き慣れる前に別の機能音に変化させることで、覚醒水準をさらに長く維持できる。また、運転者の覚醒水準をモニタリングし、覚醒水準の低下に依存した提示も可能である。

本節で検討した SPL 変動評価手法の聞き慣れ評価指数 (E_n) は、従来手法の SPR の評価結果と同じ傾向があることから、音の聞き慣れ状態を簡便に把握できるといえる。また、評価のたびに音を意識してしまう従来の主観的な評価の問題点を改善し、評価精度と時間的な分解能の高い評価が可能となる。さらに、SPR の評価は同じ姿勢を維持しなければならず評価の負担が大きい、SPL 変動評価手法は評価の負担が小さい。

5.3 非定常音の客観的な聞き慣れ評価手法

本節では、第3章で検討した事務機稼働音に含まれる一部の音や連続コピー時の稼働音を被験者に提示し、その際の主観的および生体情報に基づく客観的な聞き慣れ評価を行う。ここで用いる生体情報は、評価時間が長くなることから、同じ姿勢を保つ必要のない唾液アミラーゼを用いる。そして、唾液アミラーゼを用いた客観的な聞き慣れ評価の可能性を検討する。また、聞き慣れやすい音、聞き慣れにくい音を検討する。

5.3.1 唾液アミラーゼを用いた客観的な聞き慣れ評価

事務機稼働音に含まれる一部の音を被験者に聞かせ、一定の時間間隔で唾液アミラーゼを計測し、唾液アミラーゼ活性値からストレスの変化を評価する。そして、唾液アミラーゼ活性値が表すストレスにより、聞き慣れを評価できるか検討する。また、聞き慣れやすい音、聞き慣れにくい音を見出す。

(a) 聞き慣れ評価方法

評価手順を Fig. 5-10 に示す。まず、被験者は椅子に座り、精神的、肉体的に落ち着かせるために120秒間安静を保つと同時に、安静時の初期から90秒後にテストストリップを30秒間口にくわえて唾液を採取する。次に、ヘッドホンから評価音を聞き、160秒ごとに30秒間の唾液の採取を繰り返し行う。最後に主観的な評価を「慣れないー慣れた」のアンケートに回答して行う。また、それぞれ唾液を採取した後に、唾液アミラーゼ活性値をストレスモニターで計測する。

(b) 聞き慣れの事前評価

事前の評価として、聞き慣れやすいと予測できるMFP稼働音に含まれるポリゴンミラーモータ音やファンモータ音を合成した定常音を用いて、聞き慣れ評価を行う。評価音の音圧時間軸波形を Fig. 5-11 に示し、これを被験者に評価終了まで提示を続ける。被験者は聴覚が正常で、口腔内疾患が認められない20歳代の4名である。

Table 5-2 に主観的な評価結果を示す。全ての被験者は、評価音を提示してから5回目(M5)の評価後は、「慣れた」と回答した。一方、Fig. 5-12 に唾液アミラーゼを用いた客観的な評価結果を示す。グラフの縦軸は、各被験者の正規化した唾液アミラーゼ活性値と平均値(Ave.)を示し、値が大きいほどストレスを感じていることを

表す。Fig. 5-12 から多くの被験者は、評価音を提示してから5回目（M5）の評価では、安静時（M0）よりも唾液アミラーゼ活性値は小さくなっていて、ストレスが減少していることがわかる。ここで、被験者1（S1 [1]）は5回目の評価でアミラーゼ活性値が上がっているが、被験者に聞いた評価の感想より、評価が長時間のため最後にストレスを感じたのが原因と考えられる。

主観的な評価結果と唾液アミラーゼを用いた客観的な評価結果より、唾液アミラーゼ活性値の減少により表されるストレスの減少は、評価音を聞き慣れたことを示すといえる。

（c）不規則な時間間隔で過渡音が発生する聞き慣れ評価

聞き慣れにくいと予測される音として、MFP稼働音に含まれる定常音に過渡音を不規則な発生タイミングで合成した評価音を作成する。評価音の音圧時間軸波形をFig. 5-13 に示す。評価は、5.3.1（a）節のFig. 5-10 の手順に従い行う。被験者は聴覚が正常で、口腔内疾患が認められない20歳代の5名である。

Table 5-3 に主観的な評価結果を示す。被験者1～3（S2 [1]～S2 [3]）は5回目（M5）の評価終了後では「慣れない」と回答し、他の被験者は「慣れた」と回答した。よって、不規則な時間間隔で過渡音が発生する音は、5.3.1（b）節の定常音より聞き慣れにくいといえる。

一方、Fig. 5-14 に唾液アミラーゼを用いた客観的な評価結果を示す。グラフの縦軸は、各被験者の正規化した唾液アミラーゼ活性値と平均値（Ave.）を示す。被験者1～3は、他の被験者と比較すると安静時（M0）よりも唾液アミラーゼ活性値が大きい時間が長く、ストレスを感じている。これら被験者の主観的な評価結果が、評価音を「慣れない」ことから、唾液アミラーゼ活性値の増大により表されるストレスの増大は、聞き慣れていないことを示すといえる。

また、被験者4, 5（S2 [4], S2 [5]）は、評価音を提示してから5回目（M5）の評価では、安静時よりも唾液アミラーゼ活性値は小さくなっていて、ストレスが減少していることがわかる。主観的な評価結果が「慣れた」ことから、唾液アミラーゼ活性値の減少により表されるストレスの減少は、評価音を聞き慣れたことを示すといえる。

そして、人間が過渡音の発生タイミングを予想できない音は、聞き慣れにくいことを見出した。

5.3.2 非定常音を発生する事務機稼働音の聞き慣れ評価

MFPの連続コピー時の稼働音、および稼働音のリズム感を改善して快適性を向上させた周期音について、主観的および唾液アミラーゼを用いた客観的な聞き慣れ評価を行う。そして、唾液アミラーゼ活性値が表すストレスの大きさの変化により、聞き慣れを評価できるか検討する。また、聞き慣れやすい音、聞き慣れにくい音を見出す。

(a) 事務機稼働音の聞き慣れ評価方法

評価音は、Fig. 5-15に示すMFPの連続コピー時に発生する周期部を繰り返す。評価手順をFig. 5-16に示す。評価は5.3.1節の手順に加え、被験者の聞き慣れるタイミングを把握するため、唾液を採取する前に「慣れた」、「慣れない」の主観的な評価を行う。ここで、主観的な評価が唾液アミラーゼ活性値へ影響を与えることが危惧されるため、主観的な評価は唾液を採取する80秒前に行う。また、主観的な評価を行うタイミングで被験者に「評価開始」と記載された表示板を見せる。そして、被験者は評価音に聞き慣れていたら軽く手を上げ聞き慣れの結果を伝えることで、評価の負担を軽減する。被験者は聴覚が正常で、口腔内疾患が認められない20歳代の4名である。

(b) 事務機稼働音の聞き慣れ評価結果

Table 5-4に主観的な評価結果を、「慣れた」を“+”，「慣れない」を“-”で示す。得られた結果より、評価音を提示してから4回目(Q4)の評価で、全被験者が「慣れた」と回答した。

一方、Fig. 5-17に唾液アミラーゼを用いた客観的な評価結果を示す。全被験者が評価音を提示してから5回目(M5)の評価では、安静時よりも唾液アミラーゼ活性値は小さく、ストレスが減少していることがわかる。主観的な評価結果は全被験者が「慣れた」ことから、唾液アミラーゼ活性値の減少により表されるストレスの減少は、評価音を聞き慣れたことを示すといえる。また、被験者2(S3[2])は3回目の主観的な評価(Q3)まで、被験者4(S3[4])は2回目の主観的な評価(Q2)まで

聞き慣れていないが、客観的な評価もほぼ同じタイミングで安静時よりも唾液アミラーゼ活性値が大きく、ストレスを感じていることがわかる。よって、唾液アミラーゼ活性値の増大により表されるストレスの増大は、聞き慣れていないことを示すといえる。また、周期音は、初めは聞き慣れなくても、継続的に聞くことで聞き慣れることを見出した。

(c) リズム感を変更した事務機稼働音の聞き慣れ評価方法

評価音は、MFPの連続コピー時に発生する周期部を加工する。そして、事前の評価でリズム感が向上したことを確認した Fig. 5-18 に示す評価音について、聞き慣れの評価を行う。評価は、5.3.2 (a) 節の Fig. 5-16 の手順で行い、被験者は聴覚が正常で、口腔内疾患が認められない 20 歳代の 5 名である。

(d) リズム感を変更した事務機稼働音の聞き慣れ評価結果

Table 5-5 に「慣れた (+)」、「慣れない (-)」の主観的な評価結果を示す。評価音を提示してから 4 回目の主観的な評価 (Q4) で、全被験者が「慣れた」と回答した。

一方、Fig. 5-19 に唾液アミラーゼを用いた客観的な評価結果を示す。被験者 1, 5 (S4 [1], S4 [5]) は、1 回目の評価 (M1) では唾液アミラーゼ活性値が安静時より大きい、その後小さくなっている。被験者 2 (S4 [2]) は、4 回目の評価 (M4) で、被験者 3 (S4 [3]) は、3 回目の評価 (M3) で唾液アミラーゼ活性値が安静時より小さくなり、主観的な評価結果が被験者 2 (S4 [2]) は 4 回目の評価 (Q4) で、被験者 3 (S4 [3]) は 3 回目の評価 (Q4) で「慣れた」ことから、唾液アミラーゼ活性値の増減が表すストレスの増減は、「聞き慣れない」、「聞き慣れた」ことを示すといえる。また、被験者 4 (S4 [4]) は、唾液アミラーゼ活性値が 1 回目の評価 (M1) から徐々に下がっていて、主観的な評価で得られた最初から最後まで「慣れた」ことを示していると考えられる。

以上より、唾液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。また、周期音は、初めは聞き慣れなくても、継続的に聞くことで聞き慣れ、騒音に対する不快感が軽減することを見出した。

5.4 まとめ

第5章では、第3章と第4章で提案した機能音の“聞き慣れ評価手法”を提案した。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、結果をまとめる。

1. 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。
2. 自動車車室内における自動車定常走行音は、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聞き慣れにくく、覚醒水準を長く維持できることを見出した。
3. 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。
4. 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想できない非定常音は聞き慣れにくいことを見出した。

Table 5-1 Evaluation sounds for extent of being accustomed to hearing awaking sounds

	OS	AS2-1	AS2-2	AS2-3
A-weighted sound pressure level (dB)	60.0	57.9	60.6	58.6
Loudness (sone)	11.9	10.4	13.3	11.7

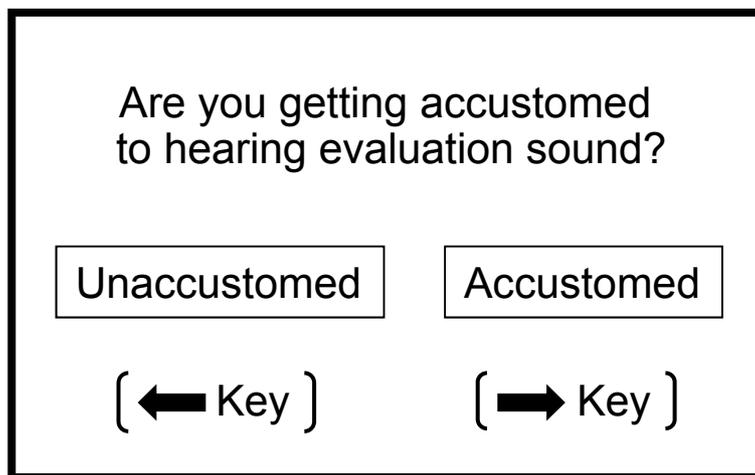


Fig. 5-1 PC display of conventional subjective evaluation of extent of being accustomed to hearing awaking sounds

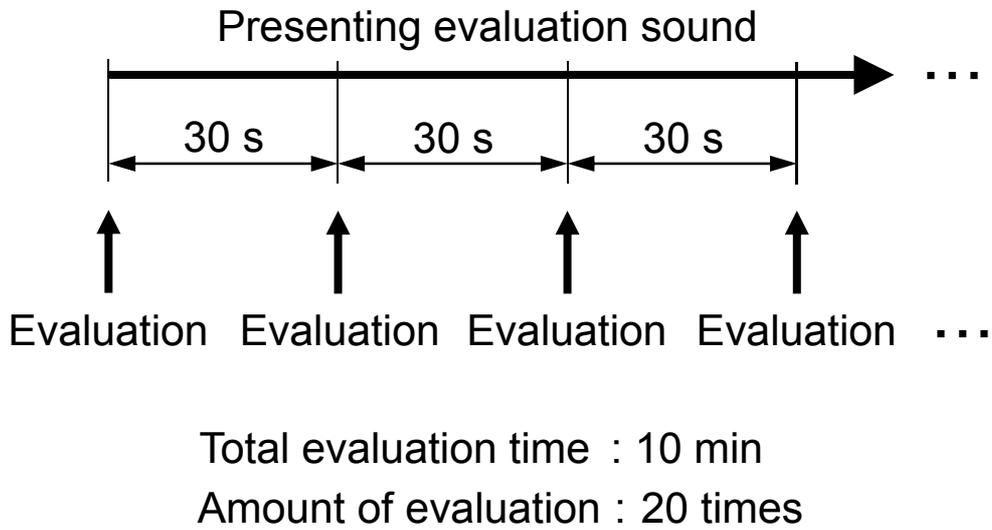


Fig. 5-2 Time protocol for conventional subjective evaluation

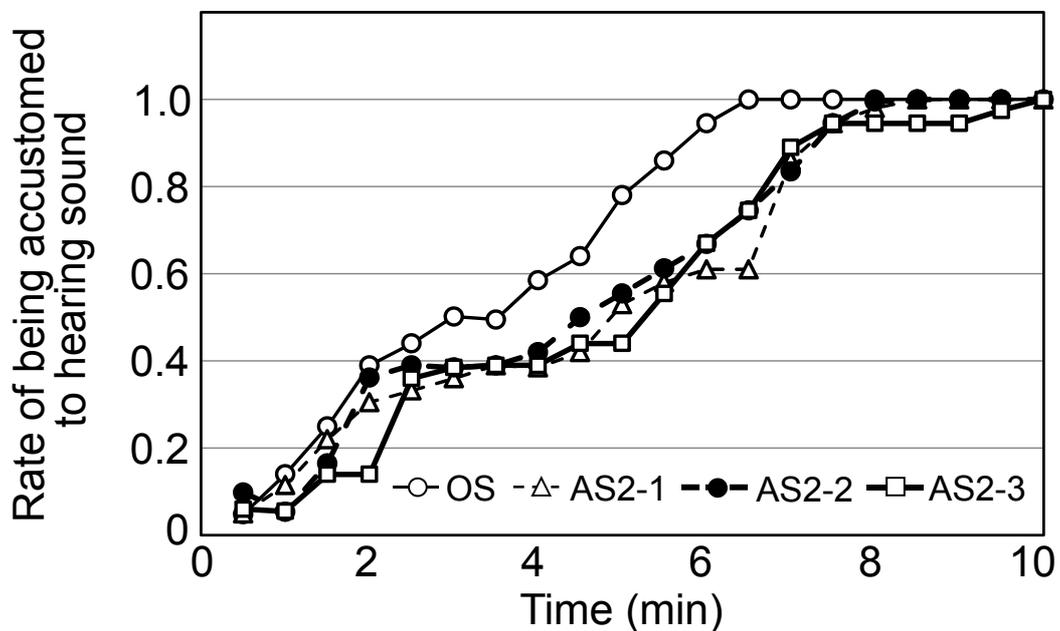


Fig. 5-3 Result of conventional subjective evaluation

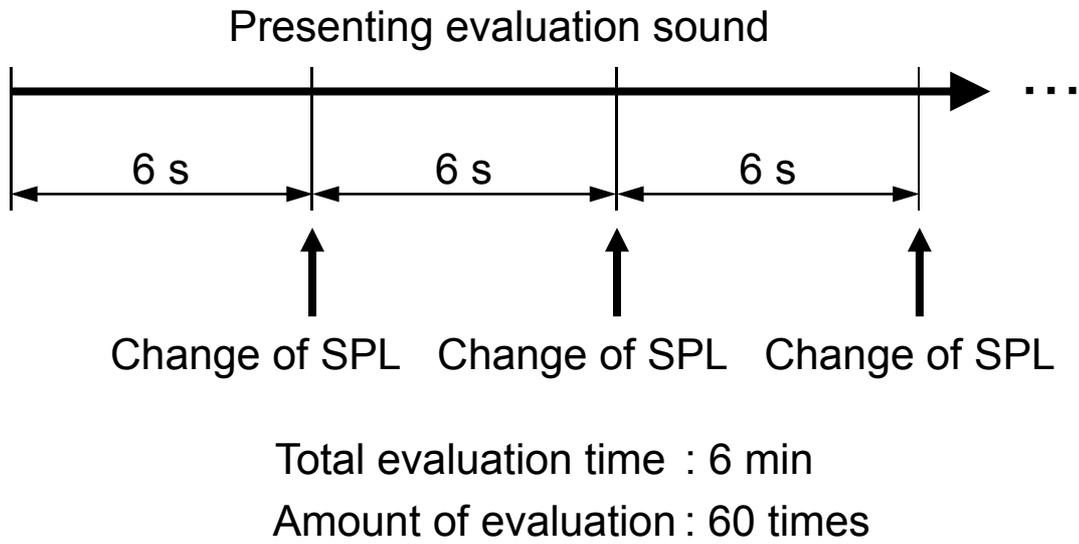


Fig. 5-4 Time protocol for pre-evaluation

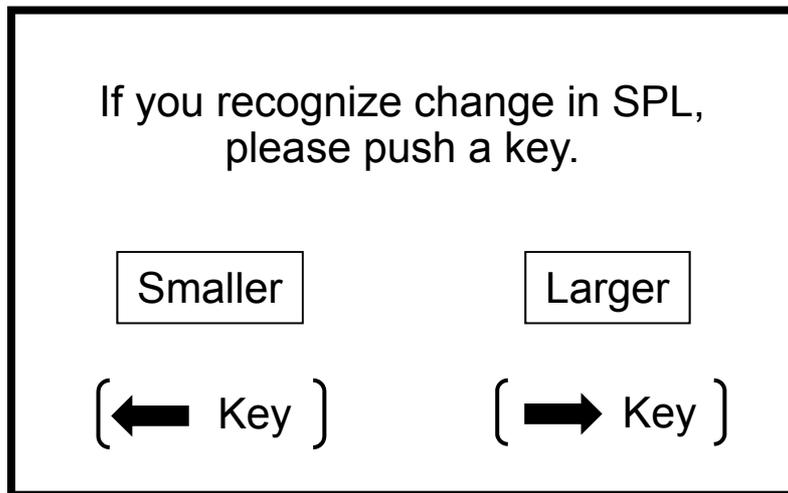


Fig. 5-5 PC display of pre-evaluation

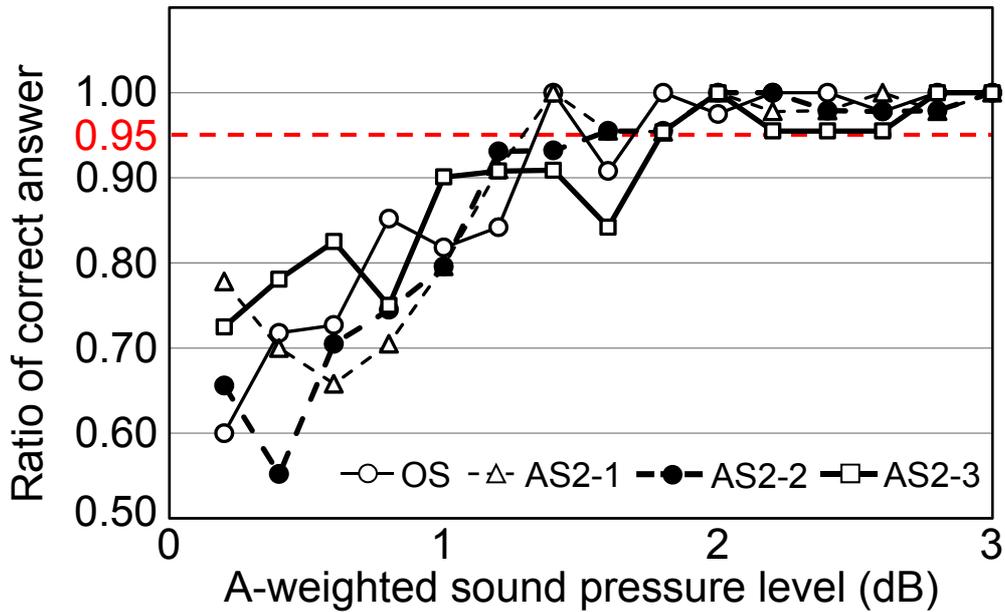


Fig. 5-6 Result of conventional subjective evaluation

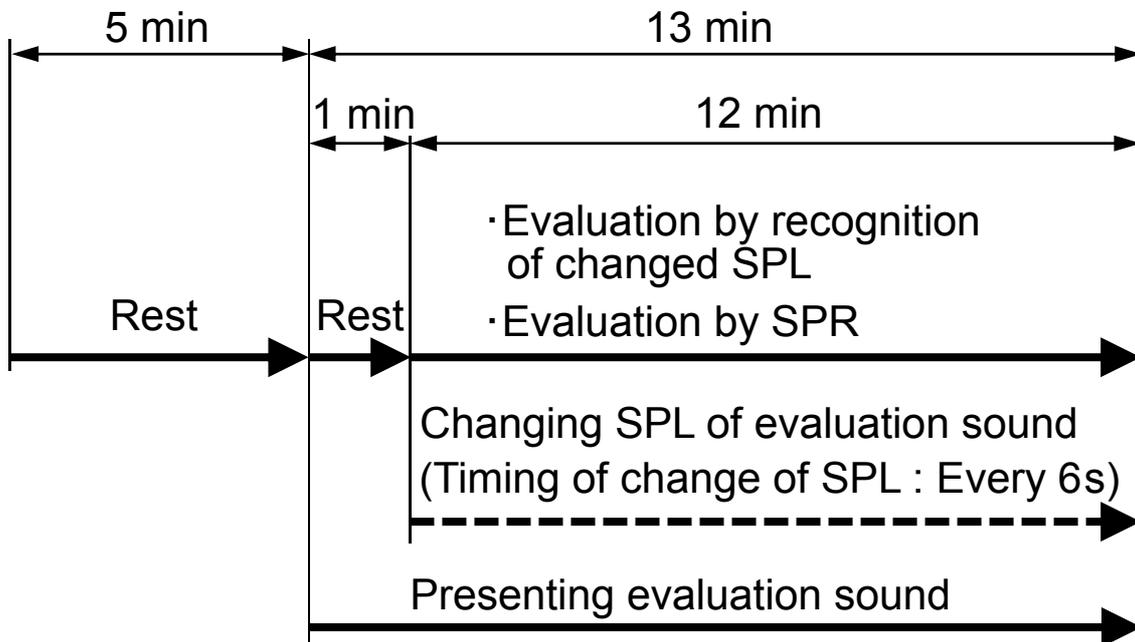


Fig. 5-7 Time protocol for evaluation by SPR and proposed method

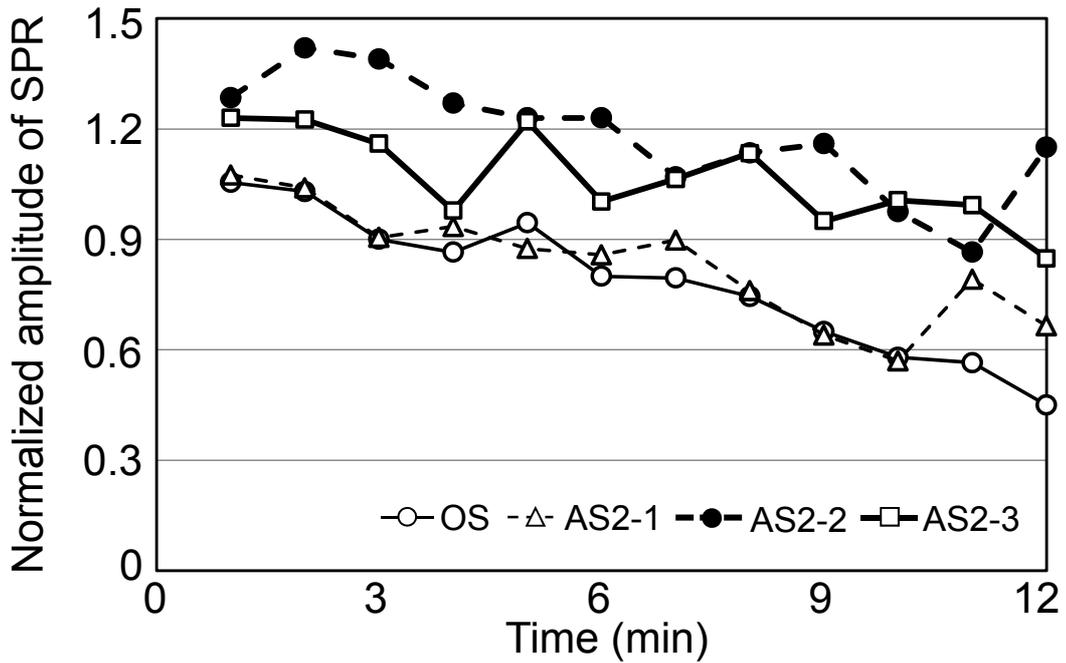


Fig. 5-8 Result of conventional objective evaluation by using SPR

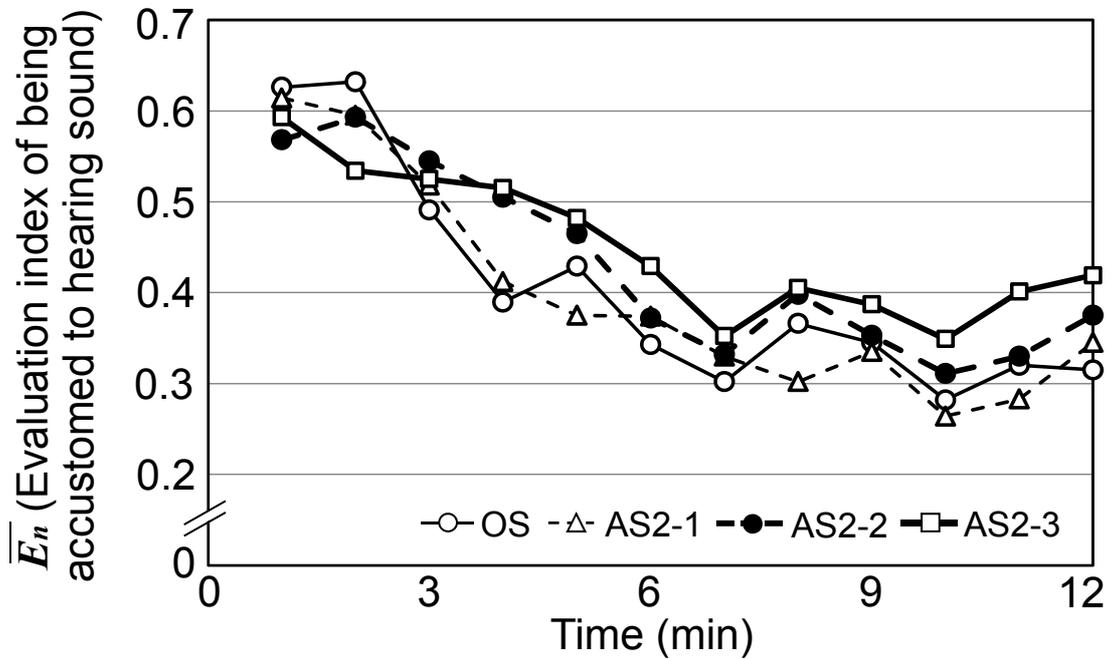


Fig. 5-9 Result of evaluation by using proposed method

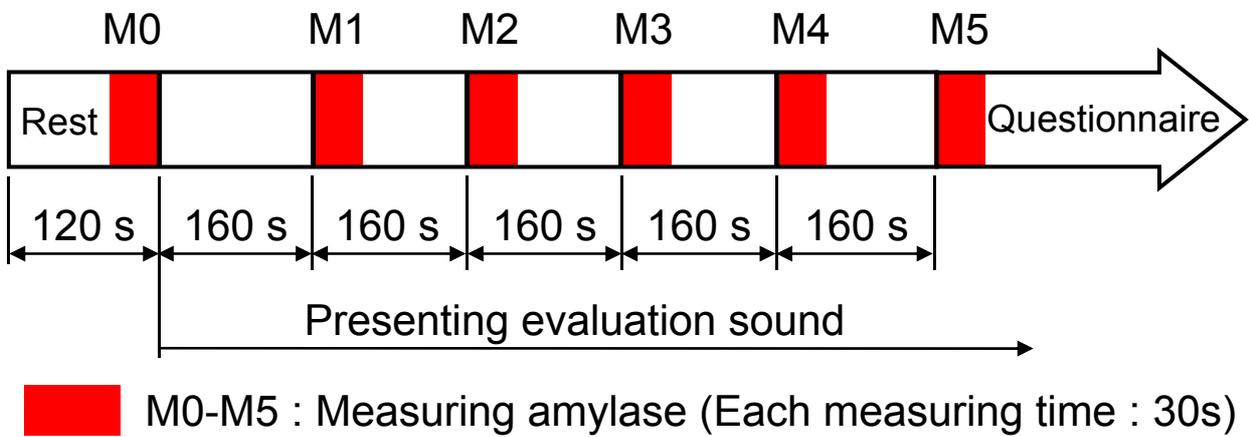


Fig. 5-10 Time protocol for evaluation of extent of being accustomed to steady sound and transient sound

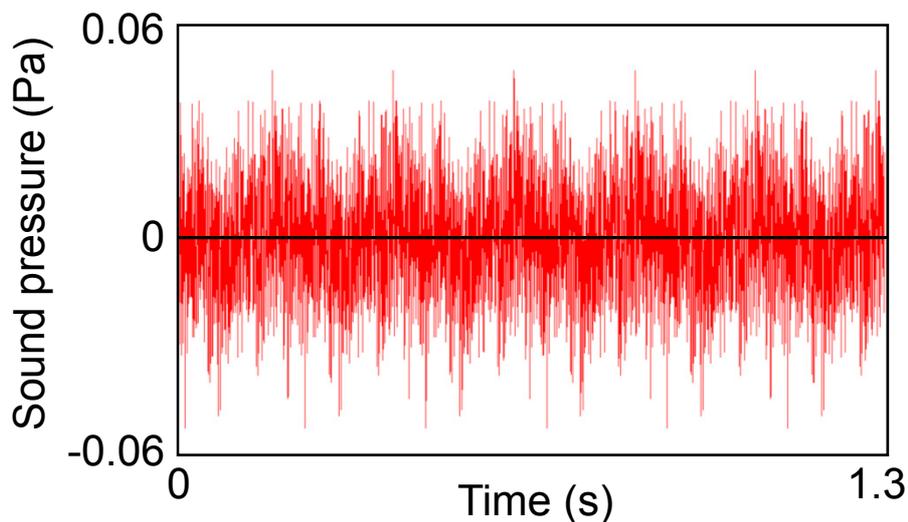


Fig. 5-11 Evaluation sound which is steady sound emitted by MFP

Table 5-2 Result of subjective evaluation of sound which is steady sound emitted by MFP

Subjects	Answer
S1 [1]	Accustomed
S1 [2]	Accustomed
S1 [3]	Accustomed
S1 [4]	Accustomed

S1 [1] : Subject 1, S1 [2] : Subject 2, S1 [3] : Subject 3 ...

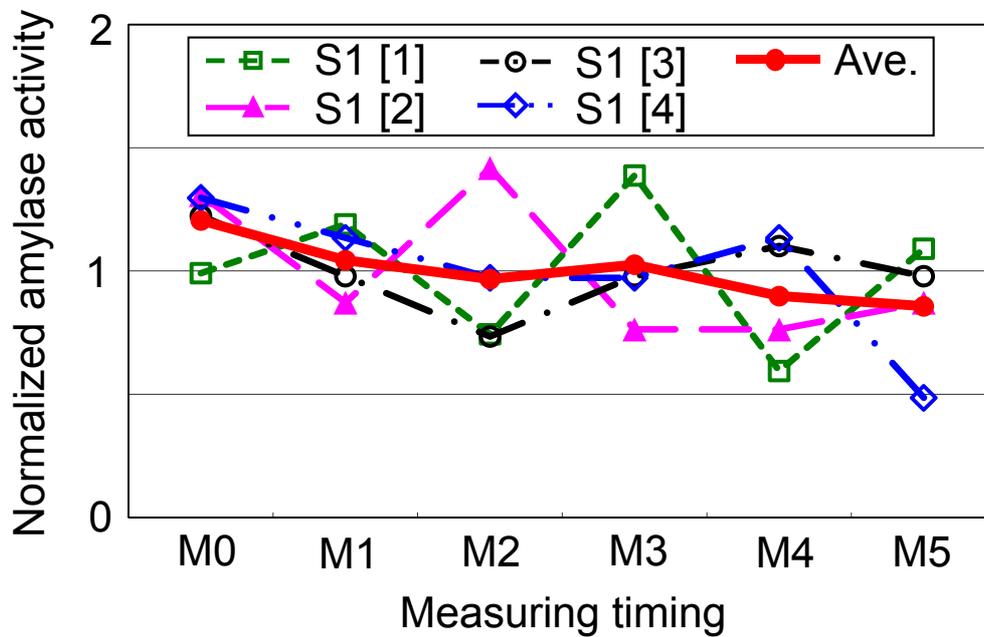


Fig. 5-12 Result of objective evaluation of sound which is steady sound emitted by MFP

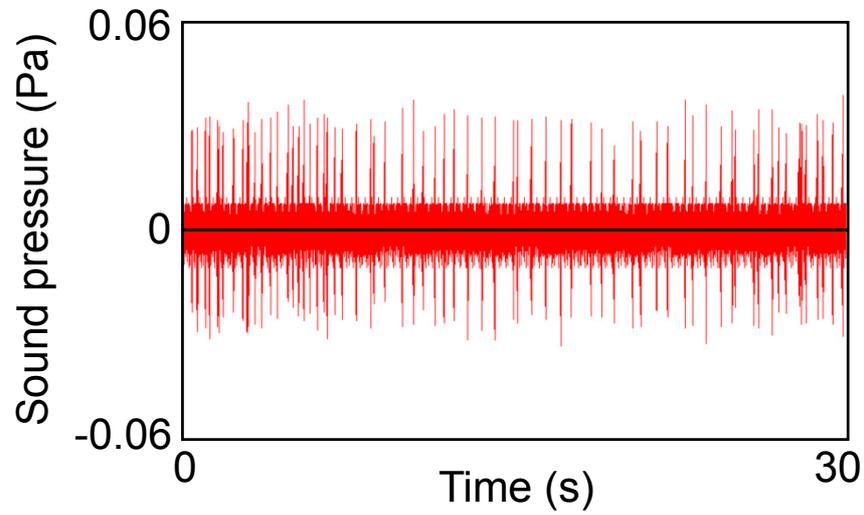


Fig. 5-13 Evaluation sound which is synthesized steady sound and transient sound emitted by MFP

Table 5-3 Result of subjective evaluation of sound which is steady sound and transient sound

Subjects	Answer
S2 [1]	Unaccustomed
S2 [2]	Unaccustomed
S2 [3]	Unaccustomed
S2 [4]	Accustomed
S2 [5]	Accustomed

S2 [1] : Subject 1, S2 [2] : Subject 2, S2 [3] : Subject 3 . . .

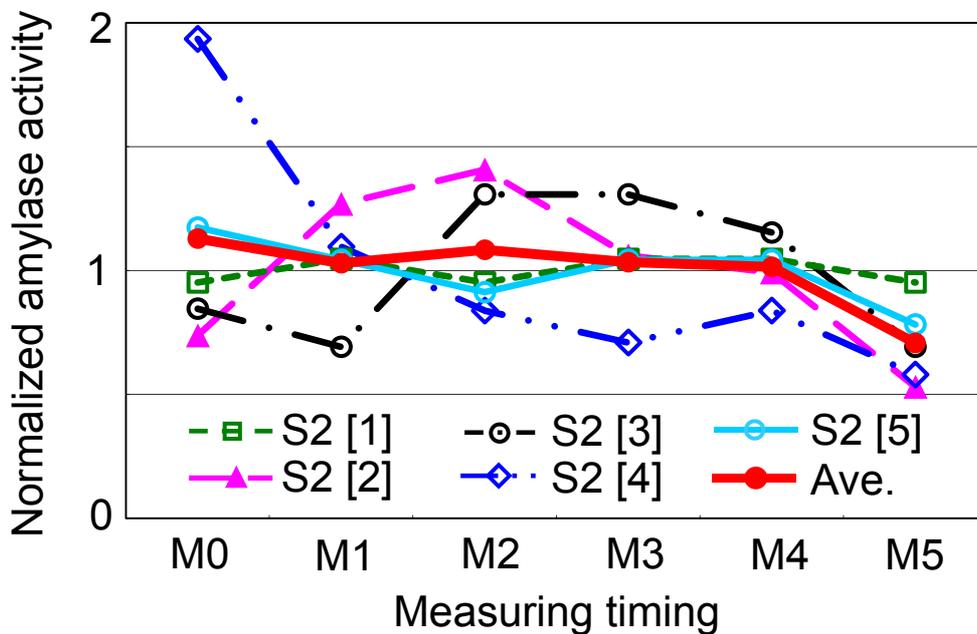


Fig. 5-14 Result of objective evaluation of sound which is steady sound and transient sound

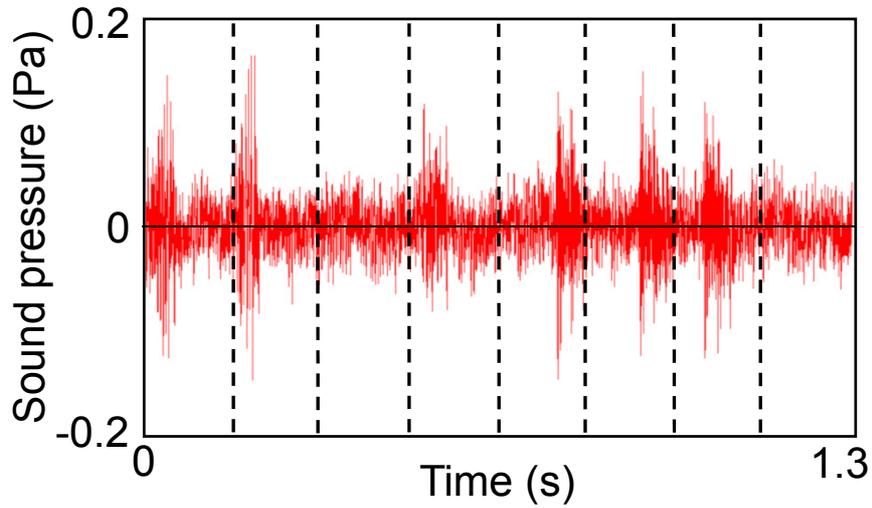


Fig. 5-15 Evaluation sound emitted by MFP

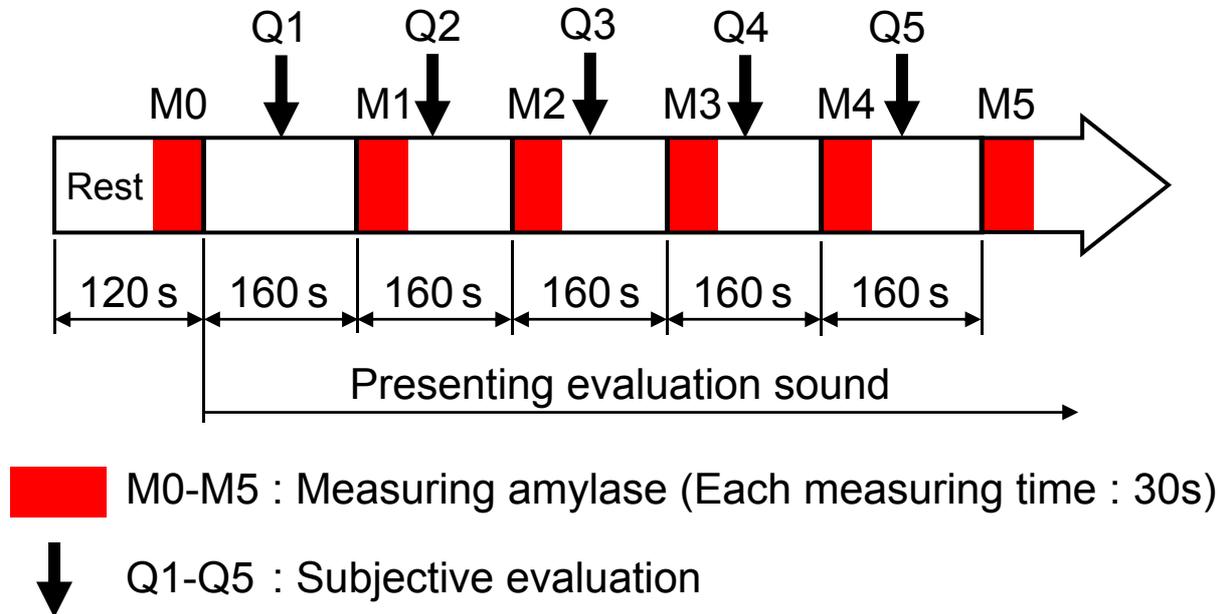


Fig. 5-16 Time protocol for evaluation of extent of being accustomed to sound emitted by MFP

Table 5-4 Result of subjective evaluation of original sound emitted by MFP

Subjects	Measuring Timing				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
S3 [1]	+	+	+	+	+
S3 [2]	-	-	-	+	+
S3 [3]	-	+	+	+	+
S3 [4]	-	-	+	+	+

+ : Accustomed - : Unaccustomed

S3 [1] : Subject 1, S3 [2] : Subject 2, S3 [3] : Subject 3 ...

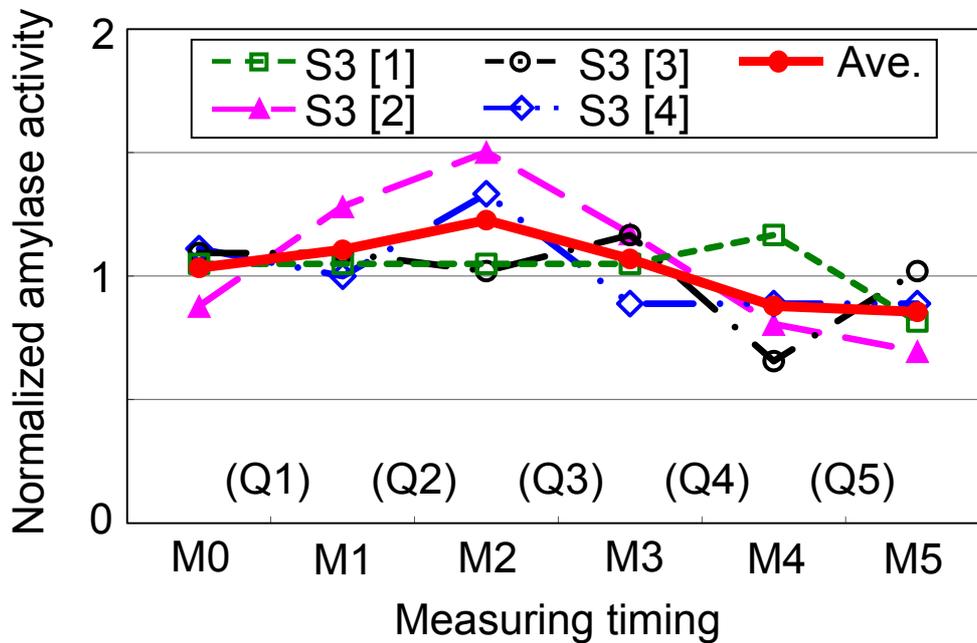


Fig. 5-17 Result of objective evaluation of original sound emitted by MFP

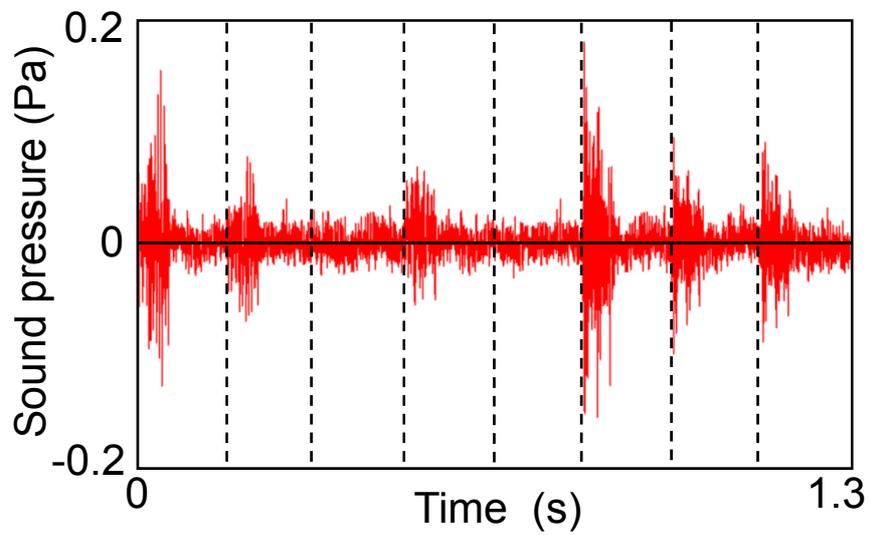


Fig. 5-18 Evaluation sound emitted by MFP whose rhythm is changed to be comfortable

Table 5-5 Result of subjective evaluation of sound emitted by MFP whose rhythm is changed to be comfortable

Subjects	Measuring Timing				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
S4 [1]	-	-	+	+	+
S4 [2]	-	-	-	+	+
S4 [3]	-	-	+	+	+
S4 [4]	+	+	+	+	+
S4 [5]	-	+	+	+	+

+ : Accustomed - : Unaccustomed

S4 [1] : Subject 1, S4 [2] : Subject 2, S4 [3] : Subject 3 . . .

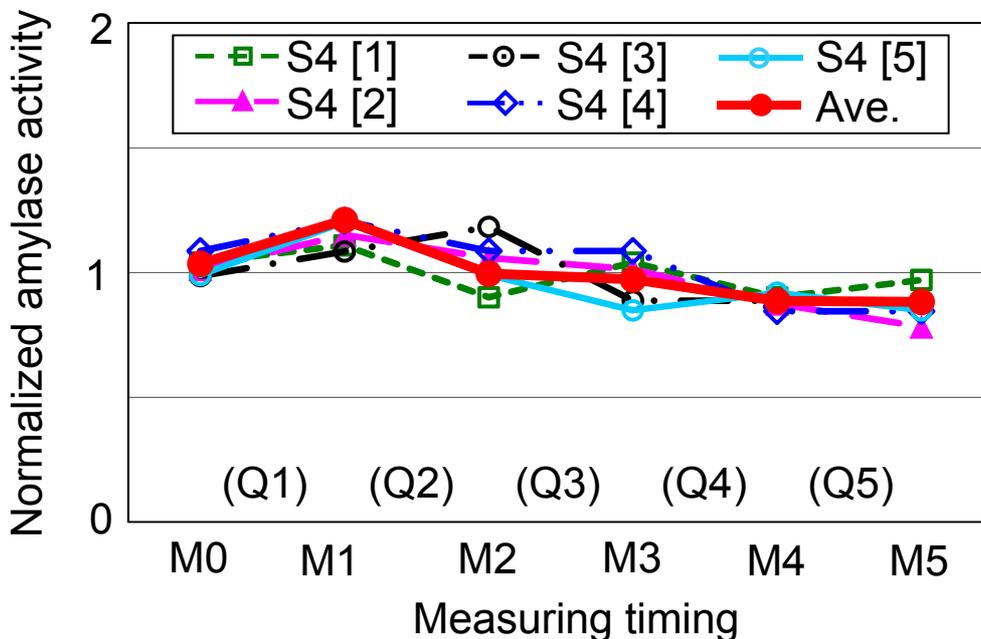


Fig. 5-19 Result of objective evaluation of sound emitted by MFP whose rhythm is changed to be comfortable

第 6 章

結論

6.1 研究成果

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”，聴覚のみでなく視覚や動作意志を加えた“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る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加えた複合刺激を考慮した機能音の音質評価，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、環境の感性価値を向上させる機能音が実現できた．

本論文の各章を通じて得られた主要な成果は、以下のとおりである．

第2章では、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した．

まず、生体情報を整理し、本研究で用いる生体情報として生体を傷つけない非侵襲、省スペースおよび低拘束の観点で選定した．次に、選定した生体情報を用いて基礎的な音質評価を行い、客観的な評価が可能か検討した．また、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、実際の機器に適用した．以下、結果をまとめる．

1. 生体情報を神経系，内分泌系，および免疫系で分類し，整理した．そして，本研究で検討する生体情報として，非侵襲，省スペースおよび低拘束の観点で心拍，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. 被験者に快音，ランダムノイズや騒音などを提示した際の心拍，唾液アミラーゼ，近赤外分光法による脳血流を評価した結果，音刺激の提示により生体反応に有意な差が得られ，これらの生体情報は音刺激に対して音質評価が可能なことを示した．

3. 被験者に快音や騒音を提示した際の呼吸を評価した結果、音質の違いによる呼吸振幅のピーク値と揺らぎに有意な差が得られ、呼吸は音刺激に対して音質評価が可能なことを示した。また、被験者の体動や深呼吸などがある場合に生じる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。
4. 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する手法、および客観的に音質を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、実際の機器である酸素濃縮機の稼働音の音質評価に適用できることを示した。

第3章では、非定常音を対象とし、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、時間経過に伴う周期音の経時変化について検討した。また、周期音のリズム感を考慮した知的生産性の向上を検討した。

まず、定常音と過渡音が含まれる事務機の稼働音の周期音について、音質変更に寄与が高い音源を明確にした。次に、周期音のリズム感について主観的および心拍と唾液アミラーゼを用いて客観的に音質評価を行い、これらの生体情報は周期音のリズム感の評価に適切であるか検討した。さらに、実際の装置を用いて得られた稼働音の原音を基に、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、時間経過に伴う経時変化を考慮した音質安定化手法を提案した。提案した手法を用いることで、複数の過渡音で形成される周期音のリズム感を向上させ、快適な環境を創生する機能音を生成できるといえる。

また、周期音のリズム感により知的生産性を向上させる機能音を検討した。ここでは、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、リズム感が知的生産性に与える影響を検討した。そして、周期音は知的生産性を向上させる可能性があることを示した。以下、結果をまとめる。

1. 定常音と過渡音が含まれる周期音について主観的な音質評価を行い、音質

変更により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。

2. 被験者に周期音を提示したとき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機能音を提示すると快適性が向上する可能性を見出した。
3. 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。
4. リズム感を変更した周期音を被験者に提示したときに簡単な計算タスクを与え、リズム感と計算の解答率と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増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。

第4章では、聴覚のみでなく視覚や動作意志を加えた“複合刺激下の音質評価手法”を提案した。また、快適性と覚醒水準の維持に有効な機能音を提案した。

まず、視覚や動作意志が聴覚に与える影響を検討するために、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を行った。また、車種の違いによる差も把握するため、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た。

次に、ドライビングシミュレータと実車を用いて走行音と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、走行音の印象変化を

客観的に評価できるか検討した。

さらに、覚醒水準の維持に有効な音刺激と色刺激を把握するために、カロリンスカ眠気尺度を用いた主観的および心拍を用いた客観的な評価を行った。また、色刺激が与える心理的作用を主観的に評価した。そして、音刺激と色刺激を組み合わせた複合刺激下において、覚醒水準の維持に有効な聴覚刺激の機能音と視覚刺激の色彩を見出した。以下、結果をまとめる。

1. 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。
2. 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。
3. ドライビングシミュレータを用いて走行音と走行映像および動作意志の複合刺激下において，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. 覚醒水準の維持に有効な機能音を把握するために，カロリンスカ眠気尺度を用いた主観的および心拍を用いた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。
5. 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ける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を用いた客観的な評価を行い、適切な組み合わせで覚醒水準の維持の効果はさらに大きくなることを示した。

第5章では、第3章と第4章で提案した機能音の“聞き慣れ評価手法”を提案した。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、結果をまとめる。

1. 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。
2. 自動車車室内における自動車定常走行音は、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聞き慣れにくく、覚醒水準を長く維持できることを見出した。
3. 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。
4. 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想できない非定常音は聞き慣れにくいことを見出した。

本研究の成果より、オフィスにおいては快適性と知的生産性の向上が期待でき、

自動車車室においては快適性が向上し、さらに覚醒水準の維持により安全性が向上することが期待できる。本研究では、日常使われている機械製品を対象としたので、本研究で得られた成果の実用化を期待する。

6.2 今後の課題と展望

本研究では、様々な環境の感性価値を向上させるために、機械の機能音の生成を提案した。そして、実際の機械が発生する稼働音を用いた実験では、オフィスの事務機稼働音、自動車車室内の走行音などを用いた。以下、機能音の生成の発展ために課題をまとめる。

1) 様々な音空間と機器への機能音の適用

今回、提案した機能音生成のための手法を様々な音空間、機器に適用して効果を把握することが望まれる。これにより、新たに課題が見つかる可能性があり、この改善をすることで、より大きな機能の生成が期待できる。

2) 生体情報の計測機器およびデータ処理技術の向上

今まで生体情報の計測機器の精度向上により、音質評価の精度が向上した。例えば、従来、心電計の電気信号はケーブルを通して信号処理する機器に送られていたが、ケーブルレスの機器やケーブルの揺れに強い機器が開発され、体動の影響などによるノイズが低減した。音のような比較的小さい刺激に対する評価では、計測機器のノイズの影響が大きくなるが、センサ技術、データ伝送技術の向上などにより、ノイズの影響が低減できると考えられる。さらに、得られたデータの中から有意なデータを処理する新たな手法により、ノイズ成分がさらに低減し、評価の精度が高まると期待できる。

3) 人の状態変化に応じた機能音の生成

生体反応には個人差があるため、得られた各個人に応じたデータのキャリブレーションにより、計測精度が高まると考えられる。さらに、同一被験者でも生体反応は日により変わり、さらに、同一日でもサーカディアン・リズムにより変わる。本

研究では、被験者の体調を設問調査により把握したが、生体情報から体調を把握する手法の開発も必要となる。さらに、複数の生体情報を同時に計測し、複合的な判断により音質評価を行うことで、評価の精度が高まると期待できる。

この研究分野は、各方面からの期待が大きく、今後もより効果の大きい機能音が要求されると考えられる。技術を構築していき、新たな機能音の生成が期待される。

参考文献

-
- [1] 戸井武司, “音環境に機能性を有するスマートサウンドスペース”, 騒音制御工学会秋季講演論文集, 61-64, 2011.
- [2] 有光哲彦, 柳館直成, 曹浣豪, 戸井武司, “自動車室内におけるスマートサウンドスペースの適用とその効果”, 日本機械学会環境工学シンポジウム講演論文集, No.12-6, 2012.
- [3] 難波精一郎, 桑野園子, 日本音響学会編, “音の評価のための心理学的測定方法”, コロナ社, 1998.
- [4] 村上和朋, 石川眞生, 立川弘一, 大塚荘太, 吉田拓人, 戸井武司他, “生体計測による音質評価”, 自動車技術会シンポジウムテキスト, 20064394, 31-35, 2006.
- [5] 倉森章, 内山雅史, 関根道昭, 立川弘一, 久保木将之, 戸井武司他, “生体計測に基づく音質評価の試み”, 自動車技術会シンポジウムテキスト, 20084169, 12-17, 2008.
- [6] 西雅洋, 倉森章, 内山雅史, 関根道昭, 里見雅行, 戸井武司他, “生体計測に基づく音質評価の試み(第2報)”, 自動車技術会シンポジウムテキスト, 20104444, 11-16, 2010.
- [7] 石井康夫, 山下剛, 荒賀裕, “生体反応-脳波を用いたロードノイズの感性評価”, Honda R&D technical review, Vol.14, No.2, 181-188, 2002.
- [8] 大森慈子, 水田敏郎, 吉田和典, “写真の快-不快と覚醒度が自発性瞬目に与える影響”, 生理心理, Vol.31, No.2, 76, 2013.
- [9] 大須賀美恵子, “生理心理計測によるインターフェース評価”, システム制御情報学会誌, Vol.49, No.8, 312-317, 2005.
- [10] “ストレス計測技術の安全対策への適用可能性に関する調査研究報告書”, 機械システム振興協会 2004, 1, 2004.
- [11] 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.
- [12] 矢野隆, 小林朝人, 泉清人, “繰り返し衝撃音のやかましき”, 日本音響学会誌, Vol.48, No.6, 403-411, 1992.
- [13] 藤原奨, 酒井大輔, 岩原明弘, 戸井武司, “音質評価に基づく掃除機のサウンドデザイン”, 日本機械学会環境工学総合シンポジウム講演論文集, 71-72,
-

- 2003.
- [14] 多喜健司, 大久保信行, 戸井武司, 大川成樹, “家庭用ミシンの音質評価と音源探査”, 日本音響学会秋季講演論文集, 745-746, 2001.
- [15] RAL UZ-171, “Basic criteria for award of the environmental label: office equipment with printing function (printers, copiers, multifunction devices)”, Blue Angel, 2012.
- [16] C. Fabris, “Low noise requirements for office equipment with printing functions according to the blue angel environment-related label”, Proc. of INTER-NOISE 2010, CD-ROM, 2010.
- [17] 貴堂寧正, 中根義満, 長谷川和彦, “複合機の製品開発における静音設計手法”, 日本音響学会秋季講演論文集, 1467-1470, 2011.
- [18] 岡田正幸, 糸田浩一, 中島由高, 磯崎直樹, 山崎章, “快適環境フラッグシップ 超静音技術”, 富士ゼロックス テクニカルレポート, No.23, 89-97, 2014.
- [19] 市川与志彦, 宇田川浩二, “静音設計を支える音源解析及び熱流体解析”, 日本音響学会秋季講演論文集, 1459-1462, 2011.
- [20] 牧野徹, 渡部直樹, 梅津雅彦, 井上貞敏, “静音設計を支える音源解析及び熱流体解析”, KONIKA TECHNICAL REPORT, Vol.12, 17-22, 1999.
- [21] S. Tashiro, N. Watanabe, T. Watanabe, T. Matsunaga, “Superior performance of Konica Minolta Mizuho acoustic test laboratory”, Proc. of INTER-NOISE 2011, CD-ROM, 2011.
- [22] 下田康平, 田代茂他, “多チャンネル同時騒音測定システムにおける構成状態の推奨確認方法”, ビジネス機械・情報システム産業協会, JBMIA-TR-28, 2014.
- [23] 岩宮眞一郎, “音のデザイナー—その必要性, 可能性, 将来性—”, 日本音響学会春季講演論文集, 1657-1660, 2011.
- [24] 戸井武司, “音響利用による質感向上のための快音設計”, 映像情報メディア学会誌, Vol.66, No.5, 379-384, 2012.
- [25] K. Genuit, W. Bray, “Sound quality issues and methods in information technology product design, development and manufacture”, Proc. of INTER-NOISE 2008, CD-ROM, 2008.
- [26] 田中基八郎, 戸井武司, 佐藤太一他, “静音化&快音化設計技術ハンドブック”,

- 三松株式会社, 2012.
- [27] 関研一, “機械設計の視点から見た音のサウンドデザイン”, 日本音響学会春季講演論文集, 1665-1666, 2011.
- [28] K. Ohtomi, R. Hosaka, “Design for product sound quality”, Proc. of INTER-NOISE 2008, CD-ROM, 2008.
- [29] 柏木隆宏, 大久保信行, 戸井武司, 岩原明弘, “音質評価に基づく掃除機の音質改善手法の開発”, 日本音響学会春季講演論文集, 979-980, 2003.
- [30] 花岡祥, 大久保信行, 戸井武司, “設置環境を考慮した冷蔵庫の放射音予測と音質評価に基づく改音設計”, 日本音響学会春季講演論文集, 643-644, 1999.
- [31] 関口卓也, 曹浣豪, 戸井武司, “音波干渉に基づく開口部放射音の快音設計”, 日本音響学会春季講演論文集, 1161-1164, 2011.
- [32] 横山一喜, 浅原康之, 戸井武司, “うなりを付加した電気自動車の加速音質の向上”, 日本音響学会春季講演論文集, 1109-1110, 2008.
- [33] S. H. Shin, S. Hatano, T. Tanaka, T. Hashimoto, S. Kitahara, T. Tsuchida, H. Takao, “Improvement of sound quality of car interior and exterior noises due to the intake system with porous duct”, Proc. of INTER-NOISE 2008, CD-ROM, 2008.
- [34] 勝又啓裕, 曹浣豪, 鱒渕宏章, 井上勝文, 戸井武司, “扁平型計量マフラにおける自動車排気音のサウンドデザイン”, 日本音響学会春季講演論文集, 1091-1094, 2011.
- [35] 森本紘之, 松久寛, 宇津野秀夫, 山田啓介, 澤田勝利, “ゴルフクラブ打球音の快音化に関する研究”, 日本機械学会シンポジウム講演論文集, 9-14, 2008.
- [36] 平岡大司, 石光俊介, “ゴルフショット音の客観的印象評価”, 日本音響学会春季講演論文集, 1687-1690, 2011.
- [37] 澤智裕, 有光哲彦, 曹浣豪, 戸井武司, “家電製品のドア閉まり音の数値化と改善音の予測”, 日本音響学会春季講演論文集, 1159-1162, 2012.
- [38] 中川紀壽, 関口泰久, 須之内俊也, “自動車におけるドア閉め音の音質研究”, Dynamics & Design Conference 2004, CD-ROM, 306, 1-6, 2004.
- [39] 内田博志, 中村誠之, 山田勝久, 長尾邦昭, 小嶋直哉, 三上真人, “重厚ドア閉め音創出技術の開発”, 振動・音響新技術シンポジウム講演論文集, Vol. 2003,

- 31-34, 2003.
- [40] 坪山睦, 石田康二, 三神圭司, “集中ドアロック音の主観評価”, 騒音制御, Vol. 37, No. 4, 206-210, 2013.
- [41] 西島慈子, 大久保信行, 戸井武司, 重藤博司, “音質評価に基づく快適なトイレ洗浄音の開発”, 日本音響学会春季講演論文集, 803-804, 2005.
- [42] W. Hsiaowen, H. Cheng Fa, C. S. Hwa, W. W. Hui, C. C. Yuan, “Psychoacoustic evaluation of indoor sound quality of a habitat space by head/torso simulator and jury test”, Proc. of INTER-NOISE 2011, CD-ROM, 2011.
- [43] 依田康義, 大久保信行, 戸井武司, 手島淳慈, 湯浅文雄, 小柴英俊, 福田秀司, “油圧ブレーカにおける音質改善手法の開発”, 日本音響学会春季講演論文集, 761-762, 2006.
- [44] 木内賢二, 戸井武司, “車室内走行騒音下における明瞭なカーナビゲーション操作音の研究”, 日本音響学会聴覚研究会資料, Vol. 36, No. 8, 683-687, 2006.
- [45] H. Fastl, E. Zwicker, “Psychoacoustics: Facts and Models”, 3rd ed., Springer, Heidelberg, 2007.
- [46] S. Kuwano, S. Namba, O. Takehira, H. Fastl, “Subjective impression of copy machine noises: An examination of physical metrics for the evaluation of sound quality”, Proc. of INTER-NOISE 2009, 2009.
- [47] 須賀悠次, 村田啓典, 野呂雄一, 竹尾隆, “小型プリンタ動作音の印象評価”, 日本音響学会春季講演論文集, 1063-1064, 2014.
- [48] 戸井武司, 加藤英介, “音響加振力を用いた高速回転体の騒音予測と音質改善”, 日本音響学会誌, Vol. 56, No. 6, 437-444, 2000.
- [49] 佐藤祐介, 大久保信行, 戸井武司, 佐藤正昭, 小池道郎, 森厚夫, “複写機の紙鳴騒音の発生メカニズムの解明”, 日本音響学会春季講演論文集, 749-750, 2002.
- [50] 戸井武司, “様々な環境における音のデザインと快音設計”, 日本音響学会春季講演論文集, 1663-1664, 2011.
- [51] N. Gueguen, C. Jacob, M. Lourel, H. L. Guellec, “Effect of background music on consumer’s behavior: A field experiment in an open-air market”, European Journal of Scientific Research, Vol. 16, No. 2, 268-272, 2007.

-
- [52] 大徳浩志, 堀口眞, 矢野勝, “ハイブリッド車, 電気自動車, 燃料電池車”, 自動車技術, Vol.65, No.8, 84-92, 2011.
- [53] 横山一喜, 浅原康之, 戸井武司, “EVの音質評価と内燃機関車両との位置付け”, 日本機械学会 第17回環境工学総合シンポジウム講演論文集, 111-114, 2007.
- [54] M. Sekine, T. Tanaka, I. Sakamoto, K. Morita, “Research on the acceptability evaluation of sounds to warn the approach of an electric vehicle”, Proc. of INTER-NOISE 2009, CD-ROM, 2009.
- [55] 戸井武司, “自動車の音色創りと快音設計の動向”, 自動車技術会, 12-17, 2006.
- [56] 有光哲彦, 相澤快, 花輪和人, 戸井武司, “主観および客観評価に基づく楽器音との類似性を考慮した自動車車室音のサウンドデザイン”, 自動車技術会春季学術講演会前刷集, No.71-13, 20135404, 9-14, 2013.
- [57] N. W. Alt, S. Jochum, “Sound design under the aspects of musical harmonic theory”, SAE, 2003-01-1508, 2003.
- [58] 星野 博之, “自動車車室内騒音の音質評価”, 日本音響学会誌, Vol.53, No.6, 462-465, 1997.
- [59] 山本学, 石光俊介, 高見健治, “自動車加速音の時変ラウドネスと聴感印象の相関解析”, 日本機械学会講演論文集, 457-458, 2009.
- [60] 宮川雅充, 鈴木真一, 青野正二, 高木興一, “視覚情報が環境音の印象に与える影響”, 日本音響学会誌, Vol.56, No.6, 27-436, 2000.
- [61] 相澤快, 有光哲彦, 穂垣周三, 徳永智彦, 戸井武司, “視覚と聴覚に基づく自動車トリム打音の快音化”, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.4, 1045-1050, 2013.
- [62] 丸山欣哉, 佐々木隆之, “視覚と聴覚間の相互作用諸効果”, 日本音響学会誌, Vol.52, No.1, 250-259, 1996.
- [63] 岩木直, 外池光雄, 山口雅彦, 浜田隆史, “視聴覚間選択的注意による脳内情報処理修飾の脳磁界による計測”, 生体・生理工学シンポジウム論文集, 14, 293-296, 1999.
- [64] 蘇勲, 金基弘, 岩宮眞一郎, “映像の切り替えパターンと音高の変化パターンの調和”, 日本音響学会誌, Vol.65, No.11, 555-562, 2009.
- [65] 岩宮眞一郎, “音楽と映像のマルチモーダル・コミュニケーション 改訂版”,
-

- 九州大学出版会，2011.
- [66] 藤山沙紀，矢萩徹，瀧下郁之，岩宮眞一郎，“音と映像の調和感が形成される心的過程”，日本音響学会秋季講演論文集，879-893，2012.
- [67] 堀田浩史，久保木将之，山口雅夫，戸井武司，“生体情報に基づく複合刺激下における音質評価”，日本音響学会春季講演論文集，1023-1024，2009.
- [68] 安倍幸次，小澤賢司，鈴木陽一，曾根敏夫，“視覚情報が環境音知覚に与える影響”，日本音響学会誌，Vol.56，No.12，793-804，2000.
- [69] 岩宮眞一郎，尾崎華子，高田正幸，“各種の音列と図形の変化パターンが視聴覚素材の印象に与える影響”，日本音響学会誌，Vol.61，No.5，250-259，2005.
- [70] A. Arimitsu, T. Toi, “Sound design of industrial products based on the preferred matching between visual and auditory sensation”, Proc. of ICSV 2012, CD-ROM, 2012.
- [71] 入戸野宏，“触覚刺激に対する脳電位を指標とした視聴覚体験の評価”，第31回日産科学振興財団 特定領域基礎研究助成 研究成果報告書，1-4，2004.
- [72] 高橋康介，齋木潤，“物体変形の視触覚時間順序判断における変形特性の効果”，Technical Report on Attention and Cognition, No.12, 2006.
- [73] 黄崇彬，原田昭，清水豊，“粗さの触感と視覚的表象”，デザイン学研究発表大会概要集，No.45，252-253，1998.
- [74] 鈴木結花，鈴木美穂，行場次郎，“聴覚情報が触覚的粗さ知覚に及ぼす影響”，電子情報通信学会技術研究報告．HIP ヒューマン情報処理，Vol.106，No.410，13-18，2006.
- [75] 澤田博文，井伊雅彦，大城隆吉，谷井勇一，“オートマチック車のシフトレバー操作感評価手法の検討”，自動車技術会学術講演前刷集，No.52-05，5-8，2005.
- [76] 石田久之，佐藤泰正，“触覚に及ぼす聴覚の影響：感覚間相互作用の基礎的研究”，視覚障害教育・心理研究，Vol.1，No.2，3-14，1980.
- [77] 警察庁交通局，“平成25年中の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取り締まり状況について”，警察庁，23，2014.
- [78] 北島洋樹，沼田仲穂，山本恵一，五井美搏，“自動車運転時の眠気の予測手法についての研究”，日本機械学会論文集（C編），Vol.63，No.613，3059-3066，

- 1997.
- [79] 沼田仲穂, 北島洋樹, 五井美博, 山本恵一, “自動車運転時の眠気予測手法についての研究(第2報, 眠気変動の予測と居眠り警報タイミングの決定)”, 日本機械学会論文集(C編), Vol.63, No.613, 3067-3074, 1997.
- [80] 植野彰規, 太田善久, 高瀬守一郎, 南谷晴之, “視覚誘発サッケードと内部誘発サッケードにおける覚醒水準依存性”, 電子情報通信学会論文誌, J81-D-2(6), 1411-1420, 1998.
- [81] 西山潤平, 谷田公二, 楠見昌司, 平田豊, “瞳孔ゆらぎを指標とした覚醒度状態評価”, 生体医工学, Vol.46, No.2, 212-217, 2008.
- [82] 伊藤潤, 小栗宏次, “ドライバの呼吸の変化と眠気との関係”, 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学, Vol.110, No.421, 153-158, 2011.
- [83] 鎌倉快之, 大須賀美恵子, 井上裕美子, N. Roongroj, 野口 祥宏, “瞬目波形を用いた覚醒状態評価に向けて”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 267-268, 2007.
- [84] 各務勇氣, 柳田康幸, 中野倫明, 山本新, 山田宗男, “運転中のドライバへの香り提示による覚醒効果に関する検討”, 電子情報通信学会, Vol.110, No.150, 49-54, 2010.
- [85] 岡崎義郎, “ニオイ環境がヒトに及ぼす影響 : 生理心理学の立場から、覚醒水準を中心として”, 日本味と匂学会誌, Vol.5, No.2, 119-124, 1998.
- [86] 有光哲彦, 戸井武司, “主観および客観評価に基づくビジュアルデザインとサウンドデザイン”, 映像メディア学会冬季講演論文集, 9-5, 2012.
- [87] A. Yoto, T. Katsuura, K. Iwanaga, “Effects of object color stimuli on human brain activities in perception and attention referred to EEG alpha band response”, Journal of Physiol Anthropol, 26, 378-379, 2007.
- [88] 有光哲彦, 中村朋矩, 曹浣豪, 戸井武司, “色彩と音色の印象ずれ補償に基づくサウンドデザイン”, 日本音響学会春季講演論文集, 1165-1168, 2012.
- [89] 澤智裕, 有光哲彦, 戸井武司, “色彩を考慮した箱型構造物のドア閉まり音のサウンドデザイン”, 日本音響学会春季講演論文集, 1555-1558, 2013.
- [90] 有光哲彦, 戸井武司, “視聴覚マッチングに基づく自動車ボディの色彩が扉閉まり音の印象へ与える影響の評価”, 自動車技術会論文集, Vol.44, No.6,

- 1403-1408, 2013.
- [91] 戸井田義徳, 猪股泰太郎, 杉野潔, 伊藤直明, “音と色光の複合刺激による環境の評価に関する研究”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol.1994, 1987-1988, 1994.
- [92] 有光哲彦, 戸井武司, “工業製品の形状および色彩に基づく扉閉まり音のサウンドデザイン”, 日本音響学会秋季講演論文集, 1577-1581, 2012.
- [93] 有光哲彦, 戸井武司, “音環境および色環境による体感温度の影響把握”, 日本音響学会春季講演論文集, 1561-1562, 2013.
- [94] 難波精一郎, 桑野園子, 木下明生, “騒音に対する慣れの測定”, 日本音響学会秋季講演論文集, 759-760, 1994.
- [95] 難波誠一郎, “航空機騒音の評価法と「慣れ」の問題”, 航空環境研究会, No. 2, 16-24, 1998.
- [96] 溝口耕三, 岡本健久, 田中洪, “選択的注意から見た「慣れ」の測定法の研究”, 日本音響学会誌, Vol. 55, No. 5, 343-350, 1999.
- [97] 難波精一郎, “聴覚ハンドブック”, ナカニシヤ出版, 321, 1984.
- [98] 山口雅夫, 吉田拓人, 大久保信行, 戸井武司, “生体計測を用いた定量的な音質評価”, 日本モーダル解析協議会, 1-4, 2007.
- [99] 山田富美雄, “新生理心理学”, 北大路書房, 24-35, 1998.
- [100] 鈴木浩明, “快適さを測る”, 日本出版サービス, 106-120, 1999.
- [101] 杉本俊二, 堀川順生, “脳波による快音と不快音の感性評価の検討”, 日本音響学会秋季講演論文集, 373-374, 2006.
- [102] 遠藤純一, 佐光興亜, “聴覚刺激により誘発される脳の感情応答”, 人間工学, Vol. 44, NO. 6, 1109-1110, 2008.
- [103] 石光俊介, 高見健治, 山本学, 中川誠司, 添田喜治, “脳磁界計測による自動車加速音評価に関する基礎的検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 109, No. 286, 79-84, 2009.
- [104] 荒井貴行, 石光俊介, 阪本浩二, 中川誠司, 好美敏和, 浅見敏彦, “脳磁界計測を用いたスイッチボタン音の客観的印象評価の基礎的検討”, 機械学会講演論文集, Vol. 2009, No. 47, 409-410, 2009.
- [105] 宿南篤人, 大塚明香, 石光俊介, 中川誠司, “聴覚誘発および自発脳磁界に及

- ぼす刺激音圧の影響 – 不快レベルの客観推定のための基礎的検討 –, 日本音響学会春季講演論文集, 619-620, 2013.
- [106] 外池光雄, “嗅覚における情報伝達・処理プロセスの機序”, 日本食品科学工学会誌, Vol. 47, No. 9, 660-669, 2000.
- [107] 松永昌宏, 金子宏, 坪井宏仁, 川西陽子, “主観的幸福感に着目した心身相関の新展開”, 心身医学, Vol. 51, No. 2, 2011.
- [108] 松田雅弘, 新田收, 妹尾淳史, 白谷智子, 渡邊修, “健常高齢者に対する健康指導によるストレス刺激時の脳内活動の経時的変化について – 機能的 MRI による分析 –, 第 29 回健康医科学研究助成論文集, 平成 24 年度, 47-57, 2014.
- [109] 勝山成美, “人間の視覚情報処理 ~ 陰影による奥行き知覚の例 ~”, 映像情報メディア学会誌 Vol. 68, No. 1, 46-51, 2014.
- [110] 小倉利幸, “脳血流 SPECT について”, アールティ, No. 54, 20-25, 2012.
- [111] 長瀬敦嗣, 小栗宏次, “NIRS 信号に基づく聴覚刺激呈示に伴う不快情動の判別に関する研究”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 355, 63-68, 2010.
- [112] 小島 治幸, “視覚対象処理における大脳半球活動差 – 近赤外分光法による測定 –, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 35, No. 51, 33-36, 2011.
- [113] 須田一哉, 森悠太, 山岡晶, 八田原慎吾, 片寄晴弘, “f-NIRS による音楽聴取時の没入感に関する検討”, 情報処理学会, Vol. 2006, No. 19, 41-46, 2006.
- [114] 石光俊介, “製品音の快音技術 ~ 感性にアピールする製品の音作り ~”, S&T 出版株式会社, 277-288, 2012.
- [115] 柏原誠一, 菅野普, 望月悦子, 石井千恵子, “省光束で快適な光環境の評価手法に関する研究 : その 2 生理学的な評価アプローチの検討”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 435-436, 2013.
- [116] 剣持聡久, 高木陽子, 福住伸一, “指尖脈波及び耳朶脈波による緊張状態推定 : 自動車運転シミュレータへの適用”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 95, No. 596, 13-18, 1996.
- [117] 久保木将之, 堀田浩史, 山口雅夫, 戸井武司, “自律神経系の生体情報を用いた音質評価”, 日本音響学会秋季講演論文集, 1101-1102, 2008.
- [118] M. Yamaguchi, M. Kuboki, H. Horita, T. Toi, “Quantitative sound quality

- evaluation by using physiological information of autonomic nervous system”, Proc. of ICSV 16, CD-ROM, 2009.
- [119] 善住秀行, 野澤昭雄, 田中久弥, 井出英人, “鼻部皮膚温度変化による快-不快状態の推定”, 電気学会論文誌, 213-214, 2004.
- [120] 高橋毅, 景山陽一, 石井雅樹, 西田眞, 後藤ゆり, “喜びの情動の生起と頬領域の皮膚温度変動に関する検討”, 映像情報メディア学会年次大会講演予稿集, 8-9-1, 2013.
- [121] 隈元美貴子, “ストレスの評価法に関する研究:鼻部皮膚温度と心理状態”, 山陽論叢, No.16, 39-48, 2009.
- [122] 苗村晶, 津田兼六, 鈴木直人, “騒音刺激が鼻部皮膚温度に及ぼす効果”, 心理学研究, Vol.64, No.1, 51-54, 1993.
- [123] 三谷博子, “交感神経皮膚反応とその検査法”, Laboratory and Clinical Practice, Vol.22, No.1, 25-29, 2004.
- [124] 中村透, 上垣百合子, 藤原ゆり, 奥谷晃久, 山本松樹, 長田典子, “照明刺激環境下のくつろぎ感に関する心理生理学的研究”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.499, 83-88, 2012.
- [125] 山崎勝男, “新生理心理学”, 北大路書房, 210-221, 1998.
- [126] 梅沢章男, 黒原彰, “バイオフィードバック指標としての皮膚コンダクタンス変化と皮膚電位活動の比較”, バイオフィードバック研究 21, 29-36, 1994.
- [127] 山田富美雄, “新生理心理学”, 北大路書房, 280-289, 1998.
- [128] 東朋幸, 水野康文, 山口昌樹, “唾液アミラーゼ活性を利用した交感神経活動モニターの開発”, Yamaha Mot Tech Rev, No.40, 111-117, 2005.
- [129] M. Yamaguchi, H. Yoshida, N. Okabe, “Analysis of accuracy of salivary amylase monitor”, Life Support 2009, Vol.21, No.3, 2009.
- [130] N. Takai, M. Yamaguchi, T. Aragaki, E. Kenji, K. Uchihashi, Y. Nishikawa, “Effect of psychological stress on the salivary cortisol and amylase levels in healthy young adults”, Achieves of Oral Biology, 49, 963-968, 2004.
- [131] 稲森義雄, “新生理心理学”, 北大路書房, 158-171, 1998.
- [132] 山口昌樹, “唾液マーカーでストレスを測る”, 日本薬理学雑誌, Vol.129, No.2,

- 80-84, 2007.
- [133] 灰田宗孝, “脳機能計測における光トポグラフィ信号の意味”, MEDIX, Vol. 36, 17-21, 2002.
- [134] 吉田拓人, 山口雅夫, 戸井武司, “呼吸の揺らぎ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, 377-378, 2006.
- [135] 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.
- [136] T. Toi, M. Kuboki, H. Horita, M. Yamaguchi, “Quantitative sound quality evaluation by using physiological information”, Proc. of INTER-NOISE 2008, CD-ROM, 2008.
- [137] 梅沢章男, “新生理心理学”, 北大路書房, 196-209, 1998.
- [138] 中尾光之, 山本光璋, “生体リズムとゆらぎ—モデルが明らかにするもの—”, コロナ社, 66-94, 2004.
- [139] Y. Ezawa, “Study of problems with noise and sound quality evaluations of copying machines, printers, and MFD”, Proc. of INTER-NOISE 2008, CD-ROM, 2008.
- [140] 山口雅夫, “製品音の快音技術～感性にアピールする製品の音作り～”, S&T 出版株式会社, 466-474, 2012.
- [141] M. Yamaguchi, S. Shirakata, T. Toi, “Sound quality evaluation of transient sounds in precision information equipments”, 4th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan, 3367, 2006.
- [142] 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.
- [143] 山口雅夫, “MFP 動作音の静音化・快音化技術”, 東芝レビュー, Vol. 68, No. 6, 52-55, 2013.
- [144] 山口雅夫, 白方翔, 大久保信行, 戸井武司, “複数音源を有する精密情報機器における周期音の音質評価”, 日本音響学会春季講演論文集, 399-400, 2007.
- [145] S. Shirakata, M. Yamaguchi, T. Toi, “Sound source identification for precision information equipments having many kinds of sound sources”,

-
- 4th Joint Meeting of the Acoustical Society of America and the Acoustical Society of Japan, 3367, 2006.
- [146] 白方翔, 山口雅夫, 大久保信行, 戸井武司, “複数音源を有する精密情報機器における周期音のリズム感評価”, 日本音響学会春季講演論文集, 397-398, 2007.
- [147] 本多薫, “音のテンポが心拍変動と快適感に与える影響”, 日本生理人類学会誌, Vol.2, No.1, 33-38, 1997.
- [148] 森谷政紀, 山口雅夫, 戸井武司, “主観的および客観的な音質評価を用いた機械稼働音の快適性評価”, 日本音響学会春季講演論文集, 1553-1554, 2013.
- [149] M. Yamaguchi, M. Moritani, K. Hanawa, W. Cho, T. Toi, “Evaluation of the effect of rhythmical sound on compatibility by using physiological information”, Proc. of INTER-NOISE 2012, CD-ROM, 2012.
- [150] 山口雅夫, 白方翔, 戸井武司, “複数音源を有する精密情報機器の音質安定化手法の開発”, 日本音響学会春季講演論文集, 523-524, 2008.
- [151] 白方翔, 山口雅夫, 戸井武司, “複数音源を有する精密情報機器の音響シミュレーションを用いた快音設計”, 日本音響学会春季講演論文集, 521-522, 2008.
- [152] 山口雅夫, “事務機器の快音化技術”, 騒音制御, Vol. 37, No. 3, 146-152, 2013.
- [153] M. Yamaguchi, S. Shirakata, N. Okubo, M. Kuboki, T. Toi, “Development of sound quality stabilization method of multi function peripheral”, Proc. of ISMA 2010, CD-ROM, 2010.
- [154] 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－”, 日本音響学会誌, Vol.69, No.6, 267-275, 2013.
- [155] 森谷政紀, 山口雅夫, 曹浣豪, 戸井武司, “知的生産性における好みの音楽の影響”, 日本音響学会春季講演論文集, 1153-1154, 2012.
- [156] 山口雅夫, 花輪和人, 戸井武司, “リズム感が聞き心地と知的生産活動に与える影響”, 日本音響学会春季講演論文集, 131-1132, 2013.
- [157] 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.
- [158] 佐久間真理, 大串健吾, “打楽器演奏における演奏者の意図の伝達－視覚と聴
-

- 覚の相互作用－”，日本音響学会誌，Vol.50，No.8，613-622，1994.
- [159] M. Yamaguchi, S. Kobayashi, M. Kuboki, T. Toi, “Cognition improvement of warning system by complex stimuli in vehicle interior”, Proc. of ICA 2010, CD-ROM, 2010.
- [160] 渡邊泰英，曹浣豪，浅原康之，戸井武司，“視覚情報および運転動作による快適な EV 車室内音の印象変化に関する研究”，日本音響学会秋季講演論文集，977-978，2011.
- [161] 渡邊泰英，曹浣豪，前田修，戸井武司，“視聴覚情報および運転動作による自動車の加減速時の印象変化”，日本音響学会春季講演論文集，1169-1170，2012.
- [162] 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.
- [163] 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”，自動車技術会春季学術講演会前刷集，15-18，2014.
- [164] 里見雅行，仲井渉，久保谷寛行，戸井武司，“車室内定常走行音によるドライバの覚醒維持効果に関する研究”，自動車技術会学術講演会前刷集，Vol.63, No.10, 11-14，2010.
- [165] W. Nakai, H. Kuboki, M. Satomi, T. Toi, “Research on maintenance of driver’s arousal level using steady running noise”, 8th ITS World Congress, TS53-3138, 1-12, 2011.
- [166] K. Kaida, M. Takahashi, T. Akerstedt, A. Nakata, Y. Otsuka, T. Haratani, K. Fukasawa, “Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables”, Clinical Neurophysiology, Vol.117, No.7, 1574-1581, 2006.
- [167] M. Yamaguchi, H. Horita, M. Kuboki, T. Toi, “Sound quality evaluation by physiological information under complex stimuli”, Proc. of INTER-NOISE 2009, CD-ROM, 2009.
- [168] 山口雅夫，関口卓也，曹浣豪，戸井武司，“生体情報を用いた家電製品稼働音の聞き慣れ評価手法の基礎研究”，日本音響学会春季講演論文集，1099-1100，2011.

-
- [169] M. Yamaguchi, T. Sekiguchi, W. Cho, T. Toi, “Objective sound quality evaluation for home electrical appliances by using physiological information”, Proc. of ICSV 18, CD-ROM, 2011.
- [170] 山崎勝男, 岡村俊彦, 高澤則美, “音に対する注意の有無と皮膚電位反応の出現態度”, 早稲田大学人間科学研究, Vol.4, No.1, 9-17. 1991.
- [171] 里見雅行, 山口雅夫, 曹浣豪, 戸井武司, “車室内定常走行音の聞き慣れ評価手法の研究”, 日本音響学会春季講演論文集, 1101-1102, 2011.
- [172] M. Yamaguchi, M. Satomi, W. Cho, T. Toi, “A study on the evaluation method of being accustomed to hearing vehicle interior noise”, Proc. of INTER-NOISE 2011, CD-ROM, 2011.
- [173] 小澤信司, 山口雅夫, 戸井武司, “複写機動作音の聴き慣れ評価手法の基礎検討”, 日本音響学会春季講演論文集, 1105-1106, 2010.
- [174] M. Yamaguchi, S. Ozawa, M. Satomi, T. Toi, “Objective sound quality evaluation for objective sound quality evaluation for precision information equipment by using the activity of salivary amylase”, Proc. of ICSV 17, CD-ROM, 2010.

謝辭

中央大学大学院博士課程後期課程への入学を勧めて頂き、本研究を遂行するにあたり日々ご多忙な中、貴重な御指導および研究を遂行しやすい環境を提供頂きました中央大学理工学部教授 戸井武司先生に甚大なる謝意を表します。本論文の原稿査読に対しても御指導を頂きましたことを併せて感謝する次第です。

本論文をまとめるにあたりご多忙の中、有益な御教示と率直な御意見を頂きました中央大学理工学部精密機械工学科教授 井原透先生，大久保信行先生，同経営システム工学科教授 加藤俊一先生，広島市立大学大学院情報科学研究科教授 石光俊介先生に深く感謝する次第です。

さらに，本論文の執筆にあたり懇切丁寧な御指導を頂きました中央大学理工学部精密機械工学科の諸先生方および中央大学理工学部精密機械工学科助教 有光哲彦先生にも併せて敬意を表す次第です。

本研究に際し，献身的に御協力して下さった吉田拓人氏（2006年度修了研究生），白方翔氏（2007年度修了研究生），久保木将之氏（2008年度修了研究生），小澤信司氏，小林真也氏，堀田浩史氏（2009年度修了研究生），関口卓也氏，里見雅行氏（2010年度修了研究生），渡邊泰英氏（2012年度修了研究生），岡崎啓吾氏，花輪和人氏，茂木勇祐氏（博士課程前期課程在籍），そして本研究に関して終始御協力を頂き，同じ時間を共有した中央大学理工学部精密機械工学科音響システム研究室の学生諸氏，卒業生諸氏に厚く感謝致します。

また，本研究に際し，実験装置製作に多大な御協力を頂きましたサウンドデザインラボ合同会社 前田修氏，実験の御助言を下さいました中央大学理工学部精密機械工学科元助教 曹浣豪先生に厚く感謝する次第です。

そして，入社以来多くの御指導を頂き，多くの研究および製品開発の経験をさせて頂いた株式会社東芝，東芝テック株式会社の方々に厚く感謝する次第です。

最後に，絶えず私を温かく見守り，支えてくれた家族に心から感謝します。

2015年3月 山口 雅夫