

シャンプー泡特性を考慮した感覚創生に関する研究 Research on Sensory Creation in Consideration of Shampoo Foam Characteristics

精密工学専攻 41号 SONG Wenzhang

1. はじめに

近年、物作りの研究の発達により、製品の機能性は確立され、人の感性を考慮した製品作りも発展している⁽¹⁾。シャンプーの評価については主機能である頭髮や頭皮の汚れを洗浄するだけではなく、使用時の音についても自律感覚絶頂反応(ASMR: autonomous sensory meridian response)という観点から注目されている⁽²⁾。しかしながら、実際に自分で洗髪する際に聞こえる体感音(以下、シャンプー音)は、第三者に聞こえる気導音だけではなく、骨導音も含んだ音として聞こえる。また、シャンプーの洗浄方法による擦る強さと泡立ちなどの様々な因子(以下、制御因子)があり、シャンプー音の音質に影響を与えることが経験的に分かっている。

そこで本研究では、骨導音と気導音の特性を把握することで、シャンプー音の再現方法を確立する。また、シャンプー音の音質と、複数の制御因子との関係性を明確化し、感性価値の異なるシャンプー音の音質に対する感覚マップを構築する。

なお、本研究の評価実験は、被験者のインフォームド・コンセントを得ている。

2. シャンプー音の再現方法

本章では、シャンプー音の周波数特性を求め、シャンプー音の再現方法について説明する。

2.1 骨導気導聴感特性の把握

代表的な周波数において、骨導音と気導音のそれぞれが、シャンプー音にどの程度の影響を及ぼすか、定量的に把握する。オーディオメータを用い、被験者は20代男女4名、検査環境は完全無響室、骨導検査時のマスク法はABCマスク法⁽³⁾とする。Fig. 1に被験者4名の骨導、気導聴力の平均値の割合を示す。周波数によって割合は異なるが、シャンプー音において骨導音が一定の割合を占めていることがわかった。

2.2 体感フィルタの作成

シャンプー音は、気導音をベースとして、骨導特性による影響分を体感フィルタにより補正する。

本研究では、頭髮をお湯で濡らした上で、シャンプー液を塗り、手で擦った際の音を収集し、これを気導音とする。

体感フィルタの作成方法は、Fig. 2に示す通り、このように収集した気導音をベースに、シャンプー時の髪を擦る際の体感音に近づけるよう、1/1オクターブバンドごとに音圧レベルを増減し、補正係数を体感フィルタとして得る。

また、周波数帯は、聴感上聞こえやすい355-11200 Hzまでとした。Fig. 3に気導音と補正したシャンプー音を示す。体感フィルタで補正したシャンプー音は2000 Hz付近がピークとなるため、2000 Hz未満を低中周波数域とし、2000 Hz以上を高周波数域と設定する。

2.3 体感フィルタによるシャンプー音の再現

シャンプー洗浄時に測定された気導音に、2.2節で作成した体感フィルタをかけることにより、シャンプー音の周波数特性を求め、以降の感性評価では、すべて体感フィルタをかけた音源を用いた。

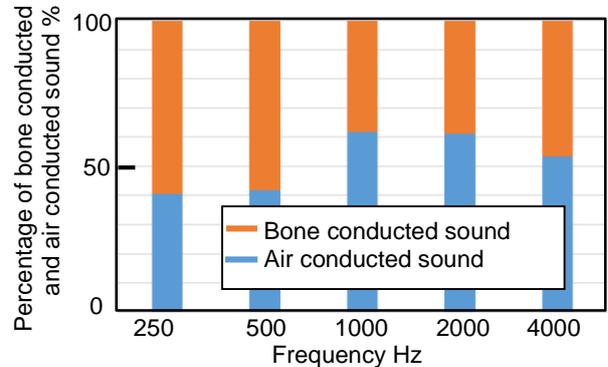


Fig. 1 Influence of bone conducted and air conducted sound on experience sound



Fig. 2 Scene of experience filter creation

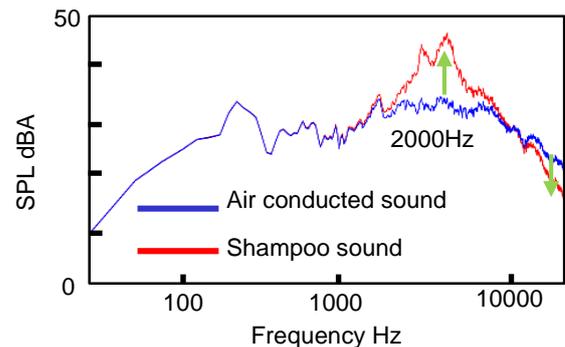


Fig. 3 Shampoo sound based on air conducted sound

3. シャンプー音の音質に影響の大きい特性の抽出

シャンプー音は、洗浄時の特性により、影響を受ける。本章では、様々な条件により測定したシャンプー音の音源データに対し、機械学習を用いることで、シャンプー音に影響の大きい特性を把握する。

3.1 ランダムフォレスト(RF)について

RFは、Fig. 4に示すように複数の決定木でモデルを構成しており、回帰や分類に使用される機械学習の手法である。

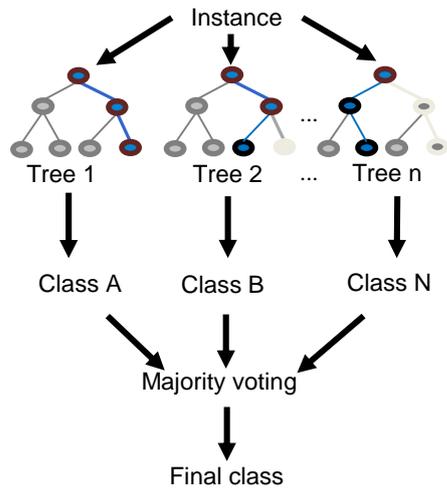


Fig. 4 Random forest simplified

Table 1 Distribution list

因子	A	B	C	D	E	空列
水準	弱	速	大	高	多	—
	強	中	小	高	多	—
	強	遅	中	低	多	—
	強	速	小	中	少	—
	強	速	大	低	中	—
	強	遅	大	高	少	—
	弱	中	中	中	中	—

RF の特徴の一つとして、変数重要度というものがある。これは目的変数に対する説明変数の影響度合を推定するものである。よって、主な洗浄時の特性を目的変数とし、シャンプー音の音圧特性を説明変数とすることにより、それぞれの影響度合を把握することができる。

3.2 主な洗浄時の特性の選定

シャンプー音の音質に影響を及ぼすと経験的に考えられる特性として、髪の毛の長さ、髪の毛の太さ、洗浄部位、泡量を選定した。

3.3 影響の大きい洗浄時の特性抽出

3.2 節に挙げた洗浄時の特性の中から、RF の変数重要度を用い、影響度合の大きい特性を抽出した。

3.2 節で示した各特性について、シャンプー音に及ぼす影響度合は以下の通りとなる。

髪の毛の長さ—19%、髪の毛の太さ—18%

洗浄部位—27%、泡量—36%

上記より、泡量の影響が最も大きいことが示唆された。

4. 実験計画法による制御因子の把握

3章の解析結果から、シャンプー音と泡量との関係が最も大きいことが分かった。よって、本章では実験計画法を用いて、シャンプー洗浄時の泡量に影響を与える制御因子の把握を行う。

4.1 カンファレンス行列⁽⁴⁾による割付

カンファレンス行列による実験計画法を用いることで、実験数を低減し、効率的かつ効果的に実験を行う。そして、泡量に影響が大きいと考えられる制御因子を次の通りに選定し、Table 1 に示す割付表で実験を行う。

ここで、A: 擦る強さ(弱, 強), B: 擦る速さ(遅, 中, 速), C: 泡立ち(小, 中, 大), D: 水温(低, 中, 高), E: 液量(少, 中, 多)とする。

4.2 重回帰分析

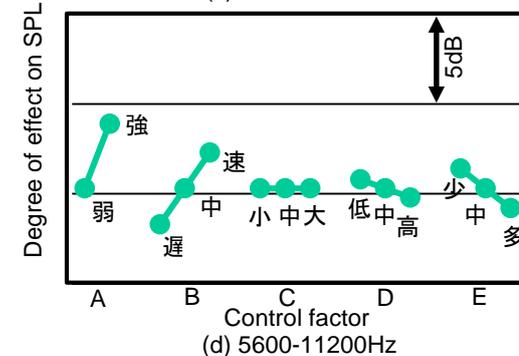
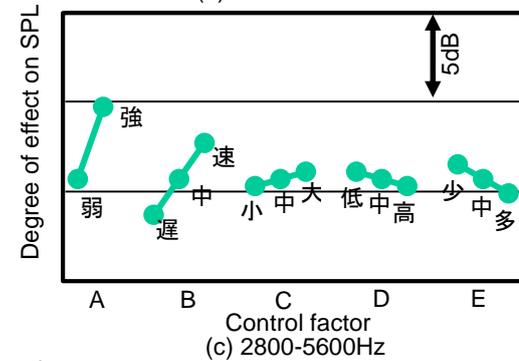
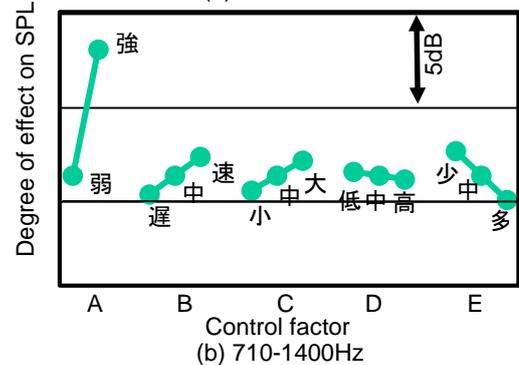
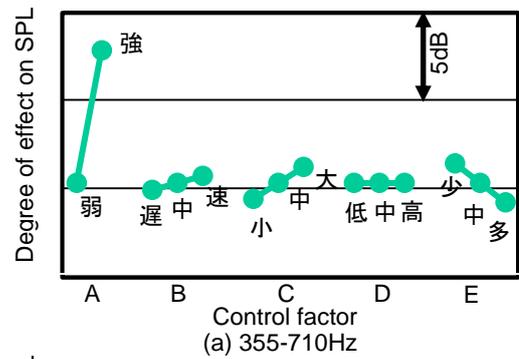


Fig. 5 Factor effect diagram

重回帰分析は、目的変数の予測や目的変数と説明変数との定量的な関係の把握を行う手法である。重回帰分析式は、以下に示す線形一次式(1)となる。

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b \quad \dots (1)$$

ここで、

y : 目的変数, x : 説明変数, a : 偏回帰係数, b : 定数項とする。

偏回帰係数とは、他の説明変数の値が一定のもと、その説明変数が1単位変化した時の予測値の平均的な変化量である。いわゆる重回帰分析式の中に現れる傾きを表す係数のことである。

また、分析の流れとしては、まずシャンプー音の音源を1/1オクターブバンドごとに分割する。その場合、体感フィルタ

Table 2 Representative sound source

周波数特性		低中周波数域	高周波数域
音源	S1	高	高
	S2	低	高
	S3	低	低
	S4	高	低

Table 3 Sound with characteristics

因子		A	B	C	D	E
音源	S1	強	速	大	中	中
	S2	中	中	小	低	中
	S3	弱	遅	小	中	中
	S4	中	中	大	高	中

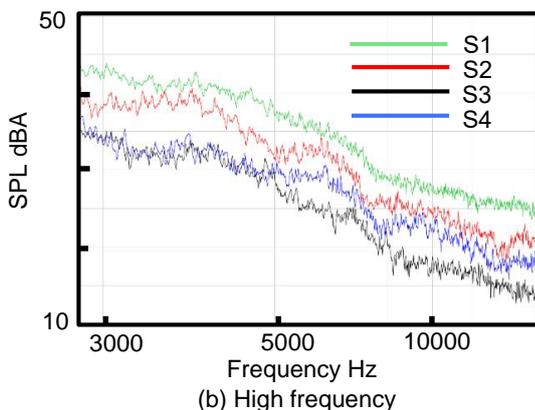
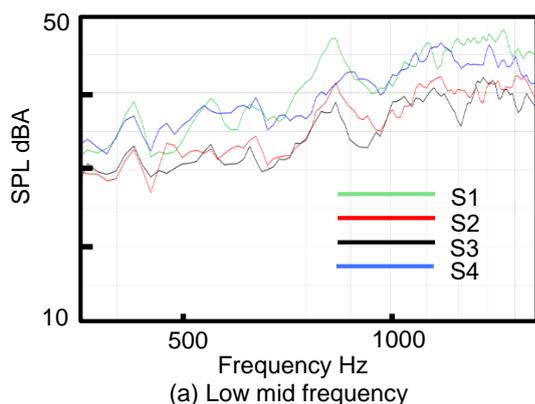


Fig. 6 Frequency response of shampoo sound

において、聴感上聞こえやすい周波数帯は、低中周波数域は355-710 Hzと710-1400 Hzのバンドとなり、高周波数域は2800-5600 Hzと5600-11200 Hzのバンドとなる。目的変数をシャンプー音の各バンドの音圧レベルとし、説明変数を各制御因子の水準とした場合、各制御因子の影響度は重回帰分析の偏回帰係数により算出される。

4.3 要因効果図

重回帰分析より算出した各制御因子の影響度合の係数をグラフ化したのが要因効果図であり、Fig. 5に示す通りとなる。

4.4 水温による泡のレオロジー特性の考察⁽⁵⁾

4.3節の要因効果図から、水温が上がると高周波数域の音圧レベルが低くなる。この理由として、泡のレオロジー特性の一つである剪断方向の動的弾性率(貯蔵弾性率)の変化による影響が考えられる。経験的に、シャンプー音の高周波数成分は、頭髮を泡が介在しながら指で擦る摩擦音により主に

Table 4 SD method results

- 評価形容詞対 +	爽快因子	迫力因子	癒され因子
暗い-明るい	0.915	0.282	-0.008
鈍い-鋭い	0.905	0.260	0.178
ぼやけた-はっきりした	0.829	0.383	0.069
野太い-甲高い	0.779	0.073	0.159
濁った-澄んだ	0.765	0.354	-0.106
眠くなる-目の覚める	0.760	0.484	0.149
丸みのある-とげとげしい	0.716	0.307	0.422
鬱陶しい-爽やかな	0.657	0.324	-0.448
静かな-騒々しい	0.627	0.501	0.369
軽い-重い	-0.788	-0.028	0.008
物足りない-迫力がある	0.336	0.936	-0.090
弱々しい-力強い	0.223	0.730	-0.082
不安な-安らぎのある	-0.183	-0.179	0.628
硬い-柔らかい	0.227	0.096	0.606
乾いた-潤い	-0.001	-0.053	0.530
累積寄与率	50.8%	66.6%	74.5%

構成されている可能性が高いと推察される。そして、このシャンプー洗浄時の貯蔵弾性率は、水温の上昇に伴い下がるため、頭髮を擦る際の摩擦音が低減することにより、高周波数域の音圧レベルも下がるのではないかと考えられる。

5. 感性価値の異なるシャンプー音の作成及び感覚マップの構築

本章では、要因効果図から感性価値の異なるシャンプー音を作成し、その音源に対してどのような印象を持つのか、SD法⁽⁶⁾の評価得点による検証実験を行う。

5.1 感性価値の異なるシャンプー音の作成

Fig. 5に示す各制御因子の要因効果図に基づき、Table 2に示す四つの特徴的なパターンのシャンプー音の音源(S1~S4)を再現できることが分かる。これにより、それぞれの音源に対応する制御因子の水準パターンはTable 3に示す通りとなる。

また、低中周波数域と高周波数域の両方の音圧が高いS1と逆に音圧が低いS3については、影響が大きいA:擦る強さとB:擦る速さにおいて適切な水準を選択することにより作成を行う。両周波数域の一方の音圧が高く、他方の音圧が低いS2とS4については、AとBの水準は「中」に設定し、さらに、低中周波数域に影響があり、高周波数域に影響が少ないC:泡立ちと低中周波数域に影響が少なく、高周波数域に影響があるD:水温において適切な水準を選択することにより作成を行う。

ここで、E:液量は、一般的に想定される傾向として、液量が多いほど泡量が増加すると仮定して制御因子の一つとした。しかし、本実験では、液量と泡量との相関が逆転した。これは、一般的に液量と髪に含まれる水量とのバランスで泡量が決定するが、本実験では水量を固定したため、液量が多いときに水が足りず泡立たなかったと推定される。そこで、髪に含む水量に対し、妥当な泡立ちとなる「中」に固定することにした。

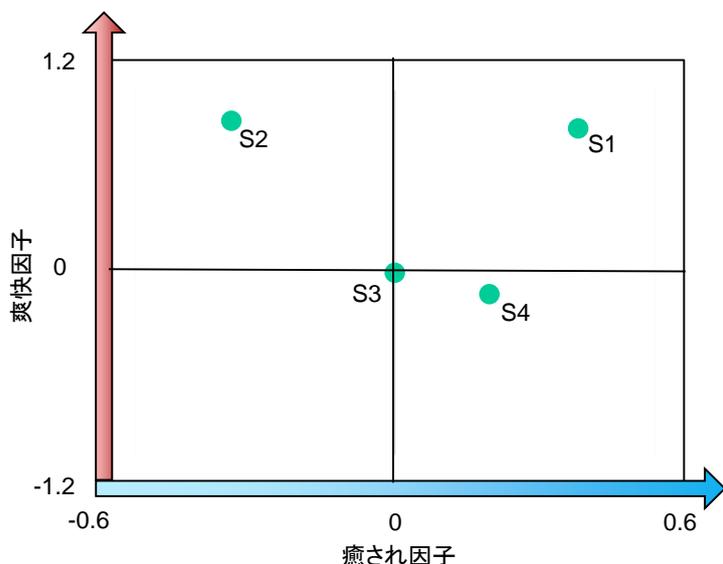


Fig. 7 Scatter plots of factor scores

ここで、Table 3に基づき測定したシャンプー音 S1～S4の周波数特性をFig. 6に示す。これより、Table 2通りの特性を再現できていることがわかる。

5.2 感性価値の異なるシャンプー音の感性評価

Fig. 6の音源がどのような印象を持つか、SD法による検証実験を行う。

5.2.1 検証方法と検証条件

使用した音源は5.1節で測定したS1～S4である。感性評価は、シャンプー音から得られる感情として一般的に想定される感情（爽快感、リラックス、癒され感等）にふさわしい形容詞を選定し、7段階の評価尺度を用いたSD法である。被験者は20代10名で、基準音S3を5秒、空隙1秒、評価音5秒で感性評価を行った。

5.2.2 感性価値の異なるシャンプー音の感性評価考察

感性評価から因子分析を行い、算出した因子負荷量や累積寄与率をTable 4に示す。

因子分析により爽快因子、迫力因子、癒され因子の計3因子を抽出した。Fig. 7に横軸が癒され因子、縦軸が爽快因子の散布図を示す。これにより、基準音S3を原点とし、低感覚状態を表す静粛感とした。音源S2は爽快因子の得点が高く、癒され因子の得点が低く、爽快感が高い。音源S4は爽快因子の得点が低く、癒され因子の得点が高く、癒され感が高い。さらに、音源S1については、両因子の得点が高く、爽快感と癒され感を両立する評価となる。このような感性評価のことを、心理学の分野ではリラクゼーション感⁽⁷⁾が高いと表現されている。

5.2.3 感性評価による感覚マップの構築

本節において感性価値の異なるシャンプー音の感性評価と、測定した四つの音源における低中周波数域と高周波数域の音圧傾向より、感覚マップをFig. 8に示す。各音源に対し、泡量が多いほどS1とS4音源となり、リラクゼーション感と癒され感を創生することができる。このとき、こもった音が発生すると考えられ、低中周波数域の音圧が高くなると推察される。一方、指と毛髪の摩擦音が大きくなる音源S1とS2においては、高周波数域の音圧が高くなり、澄んだ音に捉えられると共に、洗浄によりリズム感が想起されることで、爽快感への寄与が大きくなると推察される。

6. 研究成果

(1) オクターブバンドを用い、実際にシャンプー音を作ると

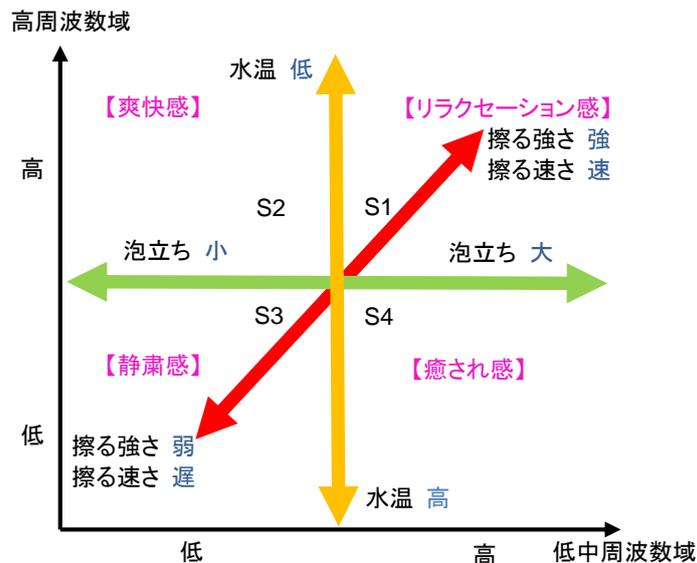


Fig. 8 Sensory map of shampoo sound

めの体感フィルタを作成した。これにより、シャンプー音の再現方法を確立した。

- (2) 機械学習のランダムフォレストを用い、シャンプー音の音質に影響を及ぼす主な特性を確認した。
- (3) カンファレンス行列による実験計画法を用い、シャンプー音の音質に影響が大きい制御因子を考慮し、それらの要因効果図を作成した。これにより、感性価値の異なるシャンプー音を作成した。
- (4) 要因効果図よりシャンプー音の音質と泡立ちとの関係を明らかにした。また、制御因子の一つである水温の要因効果と泡特性の一つであるレオロジー特性との関係について考察を行った。
- (5) 感性評価より感性価値の異なるシャンプー音の感覚マップを構築した。これより、シャンプー音のメカニズムを推定した。

以上より、日常のシャンプー行動は汚れを落とすだけでなく、様々な感覚を想起できることが分かった。この結果の応用により、新たな感性価値を付加したシャンプーの開発が可能となる。

謝辞

本研究は2021年度、2022年度の株式会社マンダムの共同研究により実施したものである。

参考文献

- (1) 戸井武司, 感性価値を高める快音設計, 日本設計工学会誌, 53(9), (2021)pp.653-658.
- (2) SONG WENZHANG, 田辺総一郎, 紺本香織, 戸井武司, 骨導音及び気導音を考慮したシャンプー音の感性評価, 日本音響学会講演論文集(春)(2023) 2-11-9.
- (3) 竹内義夫, 骨導聴力検査におけるマスキング法. 日本耳鼻咽喉科学会会報 95.11 (1992) pp.1744-1758.
- (4) Teruo Mori, et al, Application Conference Matrices for Parameter Design, Acta Scientific Nutritional Health 6.4 (2022) pp.103-113.
- (5) 大村賢司 他, 動的粘弾性測定による泡洗顔料の過渡的特性の評価. 日本レオロジー学会誌 (2015) pp.71-75.
- (6) 難波精一郎, 音色の定義を巡って, 日本音響学会誌, 49-11(1993)pp. 823-831.
- (7) 徳田完二, 心理的リラクゼーション尺度(ERS)の利点と基準関連妥当性. 立命館人間科学研究 (2011) pp.1-9.