

中央大学博士論文

触覚および聴覚を考慮したオノマトペの音象徴性に  
基づく操作感覚設計に関する研究

Research on Operation Feeling Design  
Based on Sound Symbolism of Onomatopoeia  
in Consideration of Tactile and Auditory Sensations

宮入 徹

Toru Miyairi

博士（工学）

中央大学大学院

理工学研究科

精密工学専攻

令和4年度

2023年3月

# 目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	2
1.2	論文の目的と構成	5
第2章	オノマトペによる操作感覚設計における先行研究および課題	8
2.1	はじめに	9
2.2	日本語の語彙におけるオノマトペ	9
2.3	オノマトペの音象徴性	11
2.3.1	音象徴性	11
2.3.2	オノマトペを構成する音韻の音象徴性	11
2.3.3	五感を表すオノマトペと音象徴性の関係	12
2.3.3.1	触覚の印象を表すオノマトペ	12
2.3.3.2	聴覚の印象を表すオノマトペ	13
2.3.3.3	視覚, 嗅覚, 味覚の印象を表すオノマトペ	14
2.4	オノマトペの産業応用に向けた課題	19
2.4.1	触覚から得られる操作感覚を製品設計に反映する上での課題	19
2.4.2	聴覚から得られる操作感覚を製品設計に反映する上での課題	19
2.4.3	触覚および聴覚の複合的な操作感覚を製品設計に反映する上での課題	20
2.5	本研究におけるオノマトペの分析手法	20
2.6	おわりに	24
第3章	触覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の関係	25
3.1	はじめに	26
3.2	触覚から得られる操作感覚に影響する物理量	26
3.3	感触の大きさを表すオノマトペの特徴の把握	29
3.3.1	感触の大きさを表すオノマトペに関する実験方法	29
3.3.1.1	実験に用いた刺激	29
3.3.1.2	実験手順	29
3.3.1.3	分析方法	29
3.3.2	感触の大きさを表すオノマトペに関する実験結果	31
3.3.2.1	頻出語分析	31
3.3.2.2	共起ネットワーク分析	31
3.3.2.3	対応分析	32
3.3.3	感触の大きさを表すオノマトペに関する考察	33
3.4	感触の大きさとオノマトペの対応の定量化	40
3.4.1	オノマトペによる感触の大きさの定量化に関する実験方法	40

3.4.1.1	実験に用いた刺激.....	40
3.4.1.2	実験手順 .....	40
3.4.2	オノマトペによる感触の大きさの定量化に関する実験結果 .....	41
3.4.2.1	第1モーラに子音/s/または母音/u/を含むオノマトペ .....	41
3.4.2.2	第1モーラに子音/k/を含むオノマトペ .....	41
3.4.2.3	第1モーラに濁音を含むオノマトペ .....	42
3.4.3	オノマトペによる感触の大きさの定量化に関する考察.....	42
3.4.3.1	感触デザインにおけるオノマトペの有効性.....	42
3.4.3.2	オノマトペの音象徴性との対応.....	43
3.5	おわりに.....	51
第4章	聴覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の関係 .....	52
4.1	はじめに.....	53
4.2	聴覚から得られる操作感覚に影響する物理量 .....	53
4.3	音の大きさを表すオノマトペの特徴の把握 .....	57
4.3.1	音の大きさを表すオノマトペに関する実験方法.....	57
4.3.1.1	実験に用いた刺激.....	57
4.3.1.2	実験手順 .....	57
4.3.1.3	分析方法 .....	58
4.3.2	音の大きさを表すオノマトペに関する実験結果.....	58
4.3.2.1	頻出語分析.....	58
4.3.2.2	対応分析 .....	58
4.3.2.3	因子分析によるオノマトペと形容詞の対応.....	59
4.3.3	音の大きさを表すオノマトペに関する考察.....	60
4.4	音の甲高さを表すオノマトペの特徴の把握 .....	68
4.4.1	音の甲高さを表すオノマトペに関する実験方法.....	68
4.4.1.1	実験に用いた刺激.....	68
4.4.1.2	実験手順 .....	68
4.4.1.3	分析方法 .....	68
4.4.2	音の甲高さを表すオノマトペに関する実験結果.....	69
4.4.2.1	頻出語分析.....	69
4.4.2.2	対応分析 .....	69
4.4.2.3	因子分析によるオノマトペと形容詞の対応.....	71
4.4.3	音の甲高さを表すオノマトペに関する考察.....	71
4.5	おわりに.....	80
第5章	複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の関係 .....	81
5.1	はじめに.....	82

5.2	操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響	82
5.2.1	操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響に関する実験方法	83
5.2.1.1	実験に用いた刺激	83
5.2.1.2	実験手順	83
5.2.1.3	分析方法	84
5.2.2	操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響に関する実験結果	84
5.2.2.1	操作音によって印象評価点の上昇するオノマトペ	84
5.2.2.2	操作音によって印象評価点の低下するオノマトペ	84
5.2.2.3	音質の差異が印象評価点に影響するオノマトペ	84
5.2.3	操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響に関する考察	85
5.3	操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与	91
5.3.1	操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与に関する実験方法	91
5.3.1.1	実験に用いた刺激	91
5.3.1.2	実験手順	91
5.3.2	操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与に関する実験結果	91
5.3.3	操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与に関する考察	92
5.4	複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペの特徴の把握	94
5.4.1	複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペに関する実験方法	94
5.4.1.1	実験に使用した刺激	94
5.4.1.2	実験手順	94
5.4.1.3	分析方法	95
5.4.2	複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペに関する実験結果	95
5.4.2.1	頻出語分析	95
5.4.2.2	対応分析	95
5.4.3	複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペに関する考察	97
5.5	複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと形容詞の対応	103
5.5.1	操作感覚を表すオノマトペと形容詞の対応に関する実験方法	103
5.5.1.1	実験手順	103
5.5.1.2	分析方法	103
5.5.2	操作感覚を表すオノマトペと形容詞の対応に関する実験結果	103
5.5.3	操作感覚を表すオノマトペと形容詞の対応に関する考察	104
5.6	おわりに	109
第6章	結論	110
6.1	研究成果	111
6.2	今後の課題と展望	113
	研究実績一覧	115

参考文献 .....	117
謝辞.....	126

# 第 1 章

## 序論

## 1.1 研究の背景

市場の成熟に伴い、多くの工業製品においてコモディティ化が進んでおり、他の製品に対する差別化が困難になりつつある<sup>(1)(2)(3)</sup>。コモディティ化を脱するためには、製品の質感や UX (User Experience) などの感性価値の創出が重要とされる<sup>(4)(5)</sup>。感性価値は、「快適感」「わくわく感」「高級感」などの消費者の主観的な印象から想起されるものであり、「小型」「高耐久」「安価」といった製品の機能から決定される価値基準と比較すると、一意に決まらないことが多い。特に、現代では消費者のニーズが多様化しており、個々の消費者のニーズを的確に把握し、それらに適応した製品設計を行うことが市場に求められる。

個々の消費者のニーズを製品設計に反映する取り組みをカスタマイゼーションと呼ぶ<sup>(6)(7)(8)</sup>。カスタマイゼーションの概念は 1990 年代より提案されながらも<sup>(9)</sup>、製造コストや工数の増加といった理由から、その製造現場への取り組みは一部の製品に限られていた。しかし、AM (Additive Manufacturing) の高性能化や、AI, IoT 技術の発展により、製造コストや工数の面で大量生産に近い生産性を確保しつつ、個々の消費者のニーズに合わせた少量多品種製品の製造が可能となってきた。このような技術動向を背景として、アパレル製品<sup>(10)</sup>、医療機器<sup>(11)</sup>、車載製品<sup>(12)</sup>、自転車製品<sup>(7)</sup>など、様々な製品やサービスにおいてカスタマイゼーションの実用化が進んでおり、今後もあらゆる分野での応用が見込まれる。消費者はカスタマイズされた製品を手に入れることで、標準の製品と比較して高い選好の合致<sup>(13)(14)</sup>や自己表現<sup>(15)</sup>を得られることが報告されており、感性価値の提供におけるカスタマイゼーションの有効性が示されている。

カスタマイゼーションにより感性価値の高い製品を消費者に提供するためには、個々の消費者のニーズを的確に把握し、製品設計に反映する技術が求められる。ここで課題となるのが、製品を手で触れた際の手触りや、製品の動作音から感じ取る音質といった操作者の経験から得られる感性価値の把握手段である。近年では VR (Virtual Reality) による疑似的な経験を消費者に提供する技術も一部確立されてきているが、その範囲は限定的である<sup>(16)</sup>。そのため、製品の感性価値を構成する感触や音質といった要素は、多くの場合、言語を介した消費者とのやり取りからニーズを汲み取ることが求められる。そして、言語から得られた情報を元に、感性価値を製品へ反映すべく、製品設計パラメータをカスタマイズする作業が必要となる。

言語から得られる消費者の感性価値と製品設計パラメータとの関係を把握する取り組みは、SD (Semantic Differential) 法<sup>(17)</sup>を用いた印象評価手法が多くの研究で採用されている。SD 法は、対象となる刺激に対する印象を複数の形容詞対を用いてリッカートスケールまたは VAS (Visual Analog Scale) 上の点として評価する手法である。多様な刺激を対象として、多次元的に印象を可視化できるため、SD 法実験結果と五感に関わる物理量との対応から、印象を推定する手法が多くの研究で提案されている<sup>(18)(19)(20)(21)</sup>。

ただし、人の主観的な印象を把握する上で、SD 法の問題点も存在する。その一つとして、予め設定した形容詞対を用いて評点形式で印象を評価する実験手法故に、形容詞で表

されない印象は把握できないことが指摘されている<sup>(22)</sup>。そのため、形容詞で表現し難い繊細な印象の違いを表すことは難しい。さらに、印象と物理量の対応を把握する上での問題点として、形容詞それ自体は物理量と絶対的な関係にないことが挙げられる。形容詞を用いた表現には、回答者のその時点の状態（身体認知、動機付け、経験等）が回答に大きく関わっており<sup>(23)</sup>、実験結果の解釈には文脈や個人差の影響を十分考慮する必要がある。なお、これらは日本語の形容詞が持つ表現上の問題であり、SD法に限らず、一対比較法<sup>(24)</sup>や評価グリッド法<sup>(25)(26)(27)</sup>等の形容詞を評価語に用いる印象評価手法全体の課題といえる。

このような課題を背景に、形容詞を用いた実験結果に基づき感性価値と物理量の対応を尺度化し、製品設計へ適用する場合、繊細な印象の違いを製品に反映できない可能性がある。例えば、スイッチのような製品操作時の質感に対して「やや硬めの質感にしたい」といった要望があるとする。その際「やや」の表現の認識に齟齬が生じた場合「硬すぎる」印象の製品を提供してしまう可能性がある。このような要望と実際の製品との印象の相違は、消費者の感性価値の低下に繋がるため好ましくない。そこで、製品設計に消費者の感性価値を適切に反映すべく、形容詞に代わる繊細な印象の伝達手段が求められる。

形容詞に代わる印象評価手法として、非言語的に印象を評価する手法が存在する。その一つである感性パラメータ法<sup>(28)(29)</sup>は、複数の図形を用いて、評価対象から受ける印象に最も近いと感じる図形を被験者に選択させることで、視覚情報を元に印象構造を把握する手法である。類似した手法として、聴覚刺激を用いて対象の印象構造を把握する感性音パラメータ法<sup>(30)(31)</sup>も提案されている。これらの手法は、言語を介さずに印象を評価し、その印象を数量化できることから、形容詞として表現できない曖昧な印象を表現する上で有用である。一方、印象を把握するためには複数の視覚刺激または聴覚刺激を被験者に提示し、被験者はその中から印象に合致する刺激を選択する必要がある。非言語的な評価に不慣れた被験者にとっては負担となり得る。そのため、製品のカスタマイゼーションを目的とした印象の伝達手段としては、言語を介したコミュニケーションから印象を把握することが、消費者の負担の低減する上で有用と考えられる。

形容詞以外の言語を用いた印象評価手法としては、近年、オノマトペ（擬音語・擬態語）を用いた事例が多く報告されている<sup>(32)(33)(34)(35)(36)</sup>。日本語におけるオノマトペは、五感に対して多様な表現があり、その言葉の響きに物理的な意味合いを有する<sup>(37)(38)</sup>。これを音象徴性と呼び、音象徴性故にオノマトペは他者とイメージを共有しやすいという特徴を有する<sup>(39)</sup>。オノマトペの音象徴性に着目した先行研究では、視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚といった人の五感から得られる印象をオノマトペで表す際、対象となる刺激の材質や状態に応じて、オノマトペを構成する音韻に一定の傾向がみられることが示されている<sup>例えば(32)(40)</sup>。これらの知見から、五感から得られる印象を表すオノマトペは、その刺激の物理的な特性に応じて音象徴性を反映した表現が行われており、それらが評価者の間で一定の傾向にあることが示されている。また先行研究では、印象の伝達手段としてのオノマトペの形容詞に対する有効性も示されている。坂本ら<sup>(41)</sup>は触素材の感触から連想される印象をオノマト

べと形容詞で表現した際に、オノマトペの方が有意に多様な表現が行われていたことを報告している。このことは、オノマトペが形容詞よりも繊細な印象の違いを表現可能であることを示唆する。さらに江頭ら<sup>(42)</sup>は、触覚刺激と聴覚刺激（オノマトペと形容詞の発話音声）を同時に提示した際の事象関連電位（ERP）を計測し、オノマトペの方が形容詞よりも言葉の意味と感触の顕著な一致および不一致を生じたことを報告しており、印象の認知過程において、オノマトペの方が形容詞よりも直感的な表現である可能性が示唆される。

以上の知見を踏まえ、オノマトペの音象徴性を利用することで、感性価値を繊細かつ直感的に表現し、製品設計に反映し得る可能性がある。しかしながら、オノマトペを積極的に製品設計に活用した事例は少ない。これは特定の製品の印象を構成する物理量とオノマトペの対応が明確ではないことが要因として挙げられる。

そこで本研究では、オノマトペの音象徴性の活用による製品設計支援を目的として、製品の印象を表すオノマトペと製品の設計に関わる物理量の対応について検討した。ここでは、具体的な評価対象としてロータリースイッチを選定した。スイッチ製品は、コモディティ化に伴い、製品の仕様での差別化が困難な製品群の一つであり、快適感や高級感といった付加価値が求められている。また、スイッチ製品は車載機器や家電製品等の制御要素として用いられ、その操作時の印象は組み込まれる製品全体の感性価値に影響を与えることが知られており<sup>(2)(3)</sup>、繊細な設計が求められる。近年では多くの製品において、ロータリースイッチやプッシュスイッチなどの物理スイッチに代わって、タッチ操作可能なディスプレイに各種機能の操作を集約する傾向にあり、製品に搭載される物理スイッチの数は減少しつつある。その一方で、物理スイッチは感触と操作音を頼りに、視線移動を伴うことなく操作できる操作性の高さが利点であり、特に安全性の求められる操作要素には今後も物理スイッチの使用が想定される。そして、各種操作要素がタッチディスプレイに置き換わる中で残された物理スイッチこそ、感性価値に大きく影響を与える要素となり、今後、一層高い感性価値が求められる。以上の観点から、物理スイッチ操作時の印象と、その物理量の関係を把握することは多くの製品の感性価値向上に資する。

また、数ある物理スイッチの中で具体的な評価対象としてロータリースイッチを選定した理由は、以下3点による。

- ① ロータリースイッチは、組み込まれる製品の用途によって用いられる物理量に幅があり、細かな印象の違いを直感的に他者へ伝達できることは製品設計において有用である。
- ② ロータリースイッチのような指先の回転動作を伴う機器に対してオノマトペ評価を試みた研究事例は見られず、その傾向を把握することは新規性が高い。
- ③ ロータリースイッチ操作時の印象を表す際「カチカチ」「クルクル」等のオノマトペによる表現が日常的に用いられており、その操作時の印象をオノマトペと対応付けることは妥当性が高い。

以上の理由から、本研究ではロータリースイッチ操作時の印象を表すオノマトペと物理量の対応について報告する。なお、本研究ではスイッチ操作に伴い、操作者が抱く印象や

質感を「操作感覚」と定義し、以降、用いる。スイッチの操作感覚には、五感のうち触覚および聴覚の寄与が示されており<sup>(43)(44)</sup>、本研究ではこれらのモダリティから得られる操作感覚を対象とする。

「機器の操作感覚設計」に関する背景と課題を以下にまとめる。個々の消費者が求める操作感覚を製品設計に反映するためには、操作感覚を設計パラメータとして明確に表現できることが望まれる。しかしながら、操作感覚と設計パラメータの関係については、以下の 2 点の検討が不十分である。1 つ目は、繊細な操作感覚を他者へ伝達する手段に関する問題である。従来研究では、操作感覚と製品設計パラメータとの対応を把握するため、形容詞を用いた印象評価手法が採用される事例が多いが、形容詞では表現し難い繊細な操作感覚を製品設計に反映できない点が課題となる。2 つ目は、オノマトペによる表現と製品設計パラメータの関係についての検討が十分になされていない点である。上述した形容詞による課題の解決方法として、オノマトペの音象徴性の利用が考えられるが、従来研究では製品設計パラメータとオノマトペの音象徴性の対応が明確ではなく、操作感覚設計へ活用する上での課題となっていた。これらの課題に対して本研究では、ロータリースイッチを具体的な研究対象として取り組み、その操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討することで、オノマトペの音象徴性の活用による操作感覚設計手法を提案する。

## 1.2 論文の目的と構成

本研究の目的を Fig. 1-1 に示す。本研究では、感性価値向上に資する製品設計支援の実現に向けたオノマトペの音象徴性の活用による操作感覚設計手法を提案する。ここでは、具体的な評価対象をロータリースイッチとして、触覚および聴覚に関連する物理量と、その操作感覚を表すオノマトペの対応から具体的な設計指針を示す。

本論文は以下で構成する。第 2 章では、はじめに、オノマトペの音象徴性について先行研究に基づいて解説を行う。次に、操作感覚の設計にオノマトペを活用する上での課題を示す。さらに、その課題の解決に向けた本研究で取り組む分析手法について述べる。

第 3 章では、ロータリースイッチ操作時の触覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討する。はじめに、触覚から得られる操作感覚を表すオノマトペについて、自由回答による評価実験を実施する。これにより、触覚から得られる操作感覚を表すオノマトペの特徴を把握するとともに、オノマトペを構成する語の音韻とロータリースイッチの物理量との対応について検討する。次に、先の実験において高頻度で用いられたオノマトペを評価語に設定し、ロータリースイッチの操作感覚と評価語の適合度を評価する評点形式の実験を行うことで、オノマトペと物理量との対応を定量的に把握する。

第 4 章では、ロータリースイッチ操作時の聴覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討する。ここでは、ロータリースイッチ操作時の聴覚から得られる操作感覚を表すオノマトペについて、自由回答による評価実験を実施する。ロータリースイッチの操作音を構成する「音の大きさ」と「音の甲高さ」を対象に、それらを表す

オノマトペを構成する語の音韻と物理量の対応を把握する。さらに、オノマトペによる評価実験と同様の操作音を用いて、SD 法による印象評価実験を実施する。これにより、オノマトペによる評価実験結果と SD 法による評価実験結果の対応から、オノマトペの有する意味的な側面の解釈を試みる。

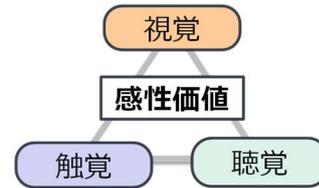
第 5 章では、ロータリースイッチ操作時の触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討する。はじめに、「① 感触のみを提示した場合」および「② 感触と操作音を同時に提示した場合」のロータリースイッチの操作感覚を、オノマトペを評価語とした評点形式の実験によって比較することで、操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響を把握する。次に、ロータリースイッチ操作時に触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚に対してオノマトペによる自由回答による評価実験を実施する。これにより、複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペの特徴を把握する。続いて、先の実験と同様の感触と操作音の複合刺激を用いて、SD 法による印象評価実験を実施する。これにより、オノマトペによる評価と SD 法による評価の対応から、オノマトペの有する意味的な側面の解釈を試みる。さらに、両実験手法の回答の傾向を比較することで、オノマトペによる印象評価手法の特徴について明らかにする。

第 6 章では、各章で得られた知見に基づき、本研究の成果をまとめる。そして、今後に向けた展望を整理する。

以上より、本研究ではオノマトペの活用による製品設計支援の実現に向けて、機器の操作感覚を構成する物理量とオノマトペの関係を明らかにする。日常使われる製品のうちロータリースイッチ製品を研究対象とし、触覚および聴覚から得られる操作感覚を表すオノマトペの音象徴性と物理量との対応を整理することで、得られる成果の他の製品群への展開および実用化を期待する。なお、本研究の全ての評価にあたっては、十分なインフォームドコンセントを行った上で被験者の同意を取得している。

### 感性価値による製品の差別化

- コモディティ化により，製品の差別化が困難
- 質感，UXによる感性価値の創出が求められる
- 製品の設計パラメータから感性価値を予測する手法の提案が各種行われている



### 従来手法（SD法）の問題点

- 形容詞対で表されない印象は把握できない
- 形容詞で表現し難い繊細な印象の違いを製品設計に反映できない



製品設計に感性価値を反映するため，繊細な印象の伝達手段が求められる

### オノマトペの音象徴性に着目

### オノマトペの産業応用上の課題

- オノマトペを積極的に製品のデザインに活用した事例は少ない
- 特定の製品の印象を構成する物理量とオノマトペの対応が不明確

### 研究目的

製品設計支援に向けた**オノマトペの音象徴性に**基づく**操作感覚設計手法**の提案

### 研究対象：ロータリースイッチ

触覚および聴覚が操作感覚に影響する製品

触覚から得られる操作感覚  
聴覚から得られる操作感覚  
触覚・聴覚の複合的な操作感覚

操作感覚を構成する物理量と  
オノマトペの関係の把握



Fig. 1-1 Background and purpose of this research

## 第2章

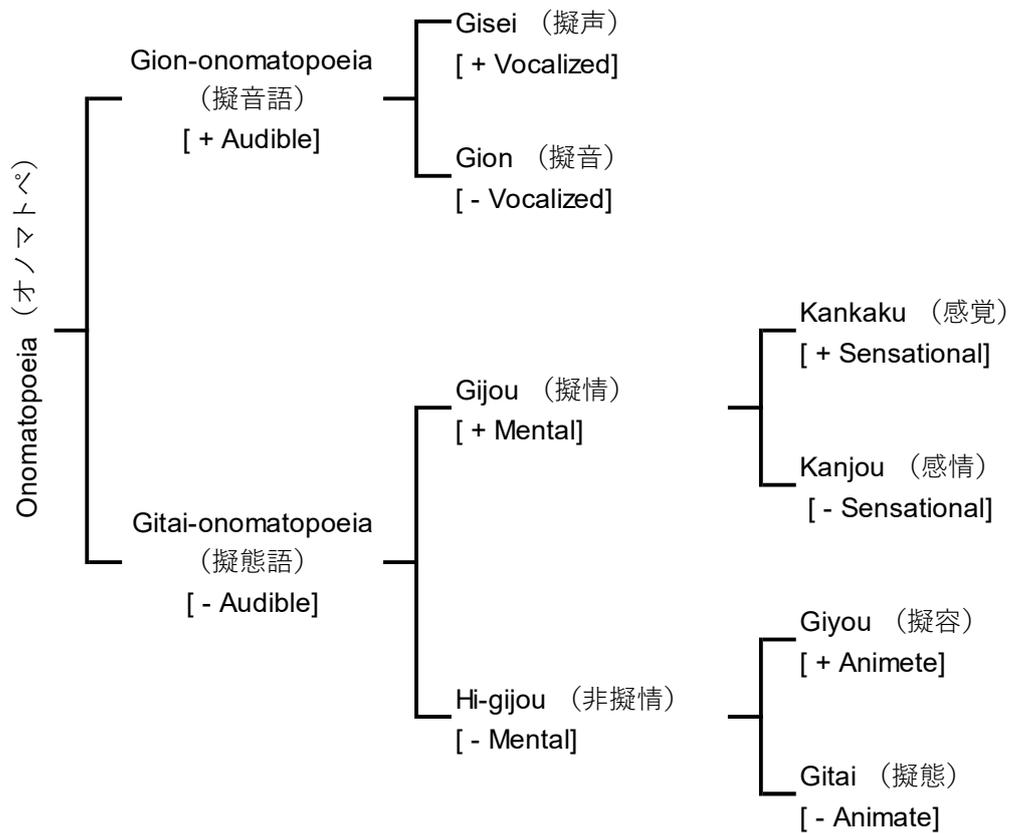
# オノマトペによる操作感覚設計 における先行研究および課題

## 2.1 はじめに

第1章では、機器の操作感覚設計における従来手法の課題を指摘し、本論文の目的について述べた。第1章で述べたように、本論文ではオノマトペの音象徴性の活用による機器の操作感覚設計手法の提案を目指す。本章では、はじめに日本語のオノマトペの特徴、およびオノマトペの有する音象徴性について先行研究に基づいて解説を行う。次に、オノマトペの音象徴性の活用による操作感覚設計を行う上での課題について、先行研究との対応から示すことで、本研究の位置付けを述べる。さらに、その課題解決に向けたオノマトペと物理量との対応を見出すための本研究で取り組む分析手法について説明する。

## 2.2 日本語の語彙におけるオノマトペ

日本語の語彙としてのオノマトペは、一般的に Fig. 2-1 のように分類される<sup>(45)</sup>。Fig. 2-1 に従うと、まず「+Audible」であるか否かにより、自然界の様々な音を模倣する擬音語と、動作の容態、状態、感覚等を表す擬態語に大別される。したがって、聴覚から受ける印象は擬音語、その他のモダリティから受ける印象は擬態語として扱われ、それらは明確に異なる表現として定義される。しかし、実用上それらの境界は曖昧な場合も多い。例えば、本研究で扱うスイッチ製品を例とした場合、その操作感覚には「カチカチ」や「ポチッ」などのオノマトペが日常的に用いられる。これらのオノマトペは聴覚から受けた印象を表現したものであるか、触覚から受けた印象を表現したものであるかの判断は容易ではなく、両者の影響を受けた表現であるとも考えることもできる。このように擬音語と擬態語の区別が難しい例は多く存在する。これは日本語の表現において、「Animate」と「Inanimate」の区別が曖昧になりやすい<sup>(46)</sup>という点や、オノマトペによる表現が聴覚、触覚、視覚など複数の知覚からの複合感覚的な要素が含まれること<sup>(47)</sup>が理由として挙げられる。このような観点から、本研究ではスイッチの操作感覚とオノマトペを結びつける際、明確に擬音語と擬態語との区別を行わず、一括りにオノマトペとして扱うことで触覚および聴覚から得られる操作感覚に対する検討を行う。



**Criteria**

- [± Audible] Whether or not it can be heard as sound
- [± Vocalized] Whether or not the vocalization is made by an animal
- [± Mental] Whether or not it relates sensation, perception, or mentality
- [± Sensational] Whether or not it relates to sensation
- [± Animate] Whether or not it is an animal, including humans

Fig. 2-1 Classification of Japanese onomatopoeia, adapted by English translation from Table 1 of (45)

## 2.3 オノマトペの音象徴性

### 2.3.1 音象徴性

音象徴性とは、語の響きが特定の印象や意味を連想させる現象であり、感覚間協応の一種とされる。ここで、感覚間協応とは、色の明るさと物体の大きさ、特定の言語音と感覚的イメージなど、一見無関係な情報間に自然な結びつきを感じる現象のことを指す<sup>(48)</sup>。

音象徴性に関する代表的な事例として Köhler による実験が挙げられる<sup>(49)</sup>。Fig. 2-2 のような2つの図形を提示した際、その図形が「Maluma」と「Takete」どちらがその名にふさわしいか問うと、多くの人が左の角張った図を「Takete」、右の丸みを帯びた図を「Maluma」と結びつける傾向にある。同様に「Bouba」と「Kiki」の2語を対象とした場合においても、丸みを帯びた図を「Bouba」、角張った図を「Kiki」と結びつける傾向にあり<sup>(50)</sup>、このような図形と語の響きに関する音象徴性の現象は一般に Bouba / Kiki 効果として知られる。Bouba / Kiki 効果に関する同様の実験については様々な言語、年齢に対しての検証が行われ、その回答が 90%程度一致することが報告されている<sup>(51)</sup>。また、Bouba / Kiki 効果は母音よりも子音の影響を大きく受けること<sup>(52)</sup>や、図形だけではなく人の顔の形にも類似した現象（Social Bouba / Kiki 効果<sup>(53)</sup>）が見られることが知られる<sup>(54)</sup>。

音象徴性に関する研究は、その他にも盛んに行われている。例えば、ポケットモンスターに登場するポケモンの名称の音象徴性に着目した研究では、進化レベルが上がるほどポケモンの名前に含まれる濁音の数が増えることが報告されている<sup>(55)(56)</sup>。また、子音から連想される「悪役らしさ」に着目した研究<sup>(57)</sup>など、近年では身近なキャラクターを題材とした研究も見られる。さらに、ブランド名から連想される製品のイメージに関する研究では、前舌母音/i/, /e/を含む語と比較して、後舌母音/a/, /u/, /o/を含むの方が、大きく、重く、丸い製品を連想させることが報告されている<sup>(58)</sup>。また、赤ちゃん用オムツには両唇音が採用されやすい<sup>(59)</sup>等、製品名の音象徴性に関する報告も各種行われている。これらの研究から、我々が語の響きから形状や大きさといった対象物の特徴を連想し得ることが示されている。

### 2.3.2 オノマトペを構成する音韻の音象徴性

日本語のオノマトペは、構成される語の組み合わせによって体系的な音象徴性があるとされる<sup>(37)</sup>。浜野<sup>(60)</sup>は、日本語のオノマトペにおける子音と母音の持つ音象徴性について、Table 2-1 のように整理し、オノマトペの有する意味は、その語を構成する音から予測できることを示している。また黒川<sup>(61)</sup>は、日本語の音の響きが持つ感性の質について、Table 2-1 のように音素ごとに特徴を述べている。Table 2-1 から、両者の主張は概ね対応しており、日本語のオノマトペが有する音象徴性が一定の傾向にあることがわかる。

オノマトペの音象徴について、工学的なアプローチにより定量的に把握する取り組みも行われている。藤澤ら<sup>(62)</sup>は2モーラのオノマトペ（擬音語）の印象について、SD 法によ

る印象評価実験を実施し、複数の形容詞対とオノマトペの音韻の対応を数量化理論 1 類によって定式化した。これにより「キン」のように子音/k/や母音/i/を含む擬音語から「かたい」印象の音が連想される等、音韻と印象の対応を定量的に示している。さらに、清水ら<sup>(63)</sup>は、藤沢らの手法に対して、オノマトペの語順がもたらす音象徴性の差異などの形態的な要素を考慮することで、より多様なオノマトペに利用可能なモデルを提案し、オノマトペに対して人が抱く印象を音象徴性の利用により精度高く予測できることを示している。また、戸本ら<sup>(64)</sup>はオノマトペを構成する音韻に対して、8次元の属性ベクトルを割り当て、ニューラルネットワークを用いて2次元マップ上にオノマトペを配置することで、オノマトペの意味の類似度を視覚的に示す手法を提案している。

以上のように、日本語のオノマトペは、語の組み合わせによって特有の音象徴性を有しており、オノマトペを構成する語から、その意味を予測し得ることがわかっている。

### 2.3.3 五感を表すオノマトペと音象徴性の関係

オノマトペは五感の印象を表す際に広く用いられる。ここでは、五感を構成する各感覚と、その印象を表すオノマトペの音象徴性に関連する先行研究について説明する。

#### 2.3.3.1 触覚の印象を表すオノマトペ

日本語は、他の言語と比較して触覚の印象を表すオノマトペが豊富に存在する<sup>(47)</sup>。そのため、オノマトペを使い分けることで、感触の違いをきめ細かく表現できる。例えば、「柔らかい」という形容詞をオノマトペで表現する場合、「フワフワ」「モコモコ」「モフモフ」など多様な表現方法が考えられる。これらの語の比較において坂本<sup>(65)</sup>は、以下のように述べている。

- ・ 「モコモコ」よりも「フワフワ」の方が弱さや、抵抗の少なさを表現できる。
- ・ 「モフモフ」は暖かさや親しみを含む柔らかさを表現する。
- ・ これらの差異は、オノマトペのもつ音象徴性の観点から説明し得る。

これらは、オノマトペを構成する語の組み合わせによって繊細な印象の違いを表現し得る一例といえる。このような利点から、触覚を対象としたオノマトペによる印象評価を行った事例が多く報告されている<sup>(32)(33)(34)</sup>。早川ら<sup>(32)</sup>は、オノマトペ42語に対して、それらの語が持つ感触の大きさ感、摩擦感、粘性感に対する印象評価を行い、その結果を2軸のオノマトペ分布図として Fig. 2-3 のように次元表現し、そのオノマトペ分布図と他の研究における感触の次元構成との共通項から、オノマトペによる感触表現の妥当性を示している。さらに、そのオノマトペ分布図を音韻論の観点から考察し、第1モーラの語の子音の濁音化が粗さ感覚を増す傾向から、触覚を表すオノマトペの音象徴性を示している。また、触素材の感触の質感や快不快の印象と、その感触を表すオノマトペの音韻が有意に対応していたことが報告されている<sup>(33)(66)</sup>。人の快不快の印象とオノマトペの音韻との対応について

は、マウスやキーボードなどのHMIデバイスの操作感覚をオノマトペによって評価した研究からも確認されている<sup>(67)</sup>。これらの知見から、オノマトペの音象徴性を利用することで、感触を定量的に表現し得る可能性が示されている。

### 2.3.3.2 聴覚の印象を表すオノマトペ

オノマトペは、世界中のあらゆる言語で用いられる一方、その用法は言語によって異なる。Fig. 2-4 は、各国の言語に見られるオノマトペの利用範囲である<sup>(65)</sup>。この図から、物の動きや手触り、身体感覚など多様な表現をオノマトペで賄う日本語のような言語が存在する一方、英語などのように、オノマトペの用途が主に聴覚の印象を表す表現に限定される言語も多い。しかし、多くの言語で共通して、聴覚の印象の表現方法としてオノマトペが用いられる傾向にある。その理由は、オノマトペは言葉を用いて現象を真似る行為であることから、聴覚の印象が最も容易に再現できるためと考えられる。実際、機械の動作音や動物の鳴き声など、言葉での説明が難しいものを表現する場合、その様子をオノマトペで表現することが有効である場合が多く、サイン音の設計や機械製品の音質評価等の分野において、その有効性が確認されている。高田ら<sup>(40)</sup>は、プリンタや複写機といったオフィス機器の動作音を対象として、動作音を表すオノマトペと、動作音から感じる印象との関係を検討した。ここでは、高周波数成分の高い擦れ音には母音/i/を含むオノマトペが用いられ、このような特徴を持つ動作音は不快感などの印象を伴うこと、低周波数成分の大きな衝突音には母音/o/を含むオノマトペが用いられ、このような操作音は丈夫な印象を伴う、といったオノマトペの音韻と印象の対応について報告している。また Bezat ら<sup>(68)</sup>は、自動車のドア閉め音に対する音質の評価語として「BON'M」や「KE」といったオノマトペを使用し、音質に関連する物理量との対応から印象をモデル化することで、オノマトペが定量的な音質評価に有効である可能性を示している。

聴覚の印象を表すオノマトペと物理量の対応については、サイン音や帯域ノイズを対象とした研究が行われている。大石ら<sup>(69)</sup>は、62.5 Hz, 500 Hz, 4000 Hz の純音聴取時の印象に対してオノマトペによる自由回答評価実験を実施し、62.5 Hz や 500 Hz の低音では「ボー」「プー」などの母音/o/や母音/u/を含む表現、4000Hz では「ピー」「キー」などの母音/i/を含む表現が行われていたことを報告している。また、1/3 オクターブバンドごとの狭帯域ノイズおよびローパスノイズを対象とした報告<sup>(70)</sup>においても同様に、低周波数成分の多いノイズには母音/o/もしくは母音/u/を第1モーラに含む表現、高周波数成分の多いノイズには母音/i/を第1モーラに含む表現が用いられるとされている。類似した傾向は、高田らによるオフィス機器を対象とした研究でも報告<sup>(40)</sup>されており、聴覚の印象をオノマトペで表現する際、その対象とする音の周波数成分に応じて異なる母音を含むオノマトペで表現される傾向にあることが分かっている。この理由は発声方法の観点から説明されることが多く、母音/i/は第2フォルマントが最も高いことから、対象音の音の高さを

表すのに適しており、対して母音/o/や母音/u/は第2フォルマントの周波数が低いことから、音の低さを表すのに適していると考えられる<sup>(71)(69)</sup>。また山内ら<sup>(72)</sup>は、振幅変調のあるサイン音を対象に、そのオノマトペについて検討し、変調周波数が fluctuation strength と roughness の境界となる周波数範囲において、第2モーラ以降に子音/r/（ピリリリ等）が用いられることを報告しており、オノマトペが対象音の時間的変動も表現し得ることがわかっている。

このように、聴覚の印象を表すオノマトペについては、一部の物理量との対応が確認されており、オノマトペの音象徴性を利用することで、音質を定量的に表現し得る可能性が示されている。

### 2.3.3.3 視覚、嗅覚、味覚の印象を表すオノマトペ

本研究では直接取り扱わないが、対象の見た目から受ける視覚<sup>(35)(73)(74)(75)</sup>や、嗅覚<sup>(76)(77)</sup>、味覚<sup>(78)(79)(80)</sup>に関連したオノマトペの対応についても盛んに研究が行われている。それぞれのモダリティが受ける刺激の強度や、対象の動的な様子の差異が音象徴性によって整理できることが示されている。

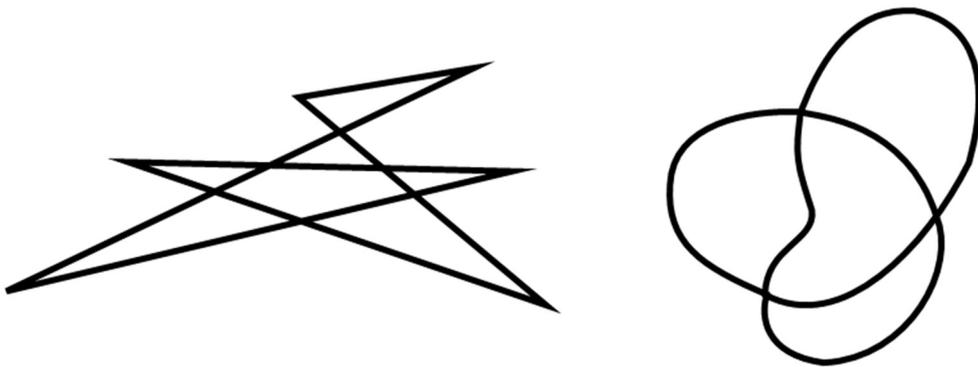


Fig. 2-2 Shapes used in the Maluma-Takete experiment.

Reproduction from Fig. 18 and 19 in p. 243 of (49)

Table 2-1 Sound symbolism of the onomatopoeias (in English), adapted by English translation from (60) in p. 40 of C1 and C2 (left column), and summarized by English translation from (61) in p. 96-152 (right column).

	Word	Adapted from Hamano <sup>(60)</sup>	Adapted from Kurokawa <sup>(61)</sup>
Consonant	p	stretched out surface, obese, light, small, fine	
	t	lax surface, relaxation, Inconspicuous, light, small, fine	Hardness : large Strength: Equivalent to k Humidity/Viscosity: max
	k	hard surface, tightness, certainty, light, small, fine	Hardness: max Strength: max Dryness: max
	s	resistance-free surface, liquid, fluid, quiet, light, small, fine	Airy feel, low friction coefficient, moderate humidity
	n	slip, elusive, stickiness, slowness	Adhesiveness: max Viscosity: max
	y	swaying, unreliable movement	Soft
	h	beauty, weakness	Warmth, moderate dryness, airy
	w/ consonantless	Excitement, unsteady	Diffuse expansion
	m	suppression/	softness, roundness
	r	fluid motion (second-mora)	Elasticity
	b	stretched out surface, obese, heavy, large, coarse	Strength, expansion, scattered liveliness, heavy, vulgar
	d	lax surface, relaxation, inconspicuous, heavy, large, coarse	
	g	hard surface, tightness, certainty, heavy, large, coarse	
z	resistance-free surface, liquid, fluid, heavy, large, coarse	Heavy, vulgar	
Vowel	a	Wide, flat, extensive, conspicuous	The size of the place due to its openness
	i	line, fine, high pitched sound, tension	Vectors strong enough to break through the object
	u	stick out	Small closed space
	e	vulgar	Flat space, distance, eternity of time
	o	inconspicuousness	Size of object

Table 2-1 Sound symbolism of the onomatopoeias (In Japanese), adapted from (60) in p. 40 of C1 and C2 (left column), and summarized from (61) in p. 96-152 (right column).

語	浜野 <sup>(60)</sup> より引用	黒川 <sup>(61)</sup> より引用	
子音	p	張力のある表面, 肥満, 軽い, 小さい, 細かい	
	t	張力の弱い表面, 弛緩, 目立たない, 軽い, 小さい, 細かい	硬さ (大/k に準じる) 強さ (k と同等) 湿度・粘性 (最大)
	k	固い表面, きつさ, 確実さ, 軽い, 小さい, 細かい	硬さ (最大) 強さ (清音中最大) 乾きの質 (最大)
	s	抵抗のない表面, 液体, 流動体, 静か, 軽い, 小さい, 細かい	空気感, 摩擦係数の低さ, 適度な湿度感
	n	滑り, 捉えにくい, 粘着性, のろさ	密着度 (最大), 粘性 (最大)
	y	揺れ, 頼りない動き	やわらか
	h	美しさ, 弱さ	温感, 適度なドライ感, 空気感
	w/ 子音なし	興奮, 動揺	輪郭がぼやける拡散型の膨張
	m	抑圧	柔らかさの質, 丸さ
	r	流れるような運動 (第2モーラ)	弾性
	b	張力のある表面, 肥満, 重い, 大きい, 粗い	力強さ, 膨張感, 飛び散る賑やかさ, 重い, 品のない
	d	張力の弱い表面, 弛緩, 目立たない, 重い, 大きい, 粗い	
	g	固い表面, きつさ, 確実さ, 重い, 大きい, 粗い	
z	抵抗のない表面, 液体, 流動体, 重い, 大きい, 粗い	重い, 品のない	
母音	a	広い, 平ら, 広範囲, 目立つ	解放感による場の大きさ
	i	線状, 細さ, 高音, 緊張	対象物を突き抜けるほどの強いベクトル
	u	突き出る	小さな閉空間
	e	野卑	平たい空間の広さ, 遠さ, 時の永遠
	o	目立たない	存在感による物体の大きさ

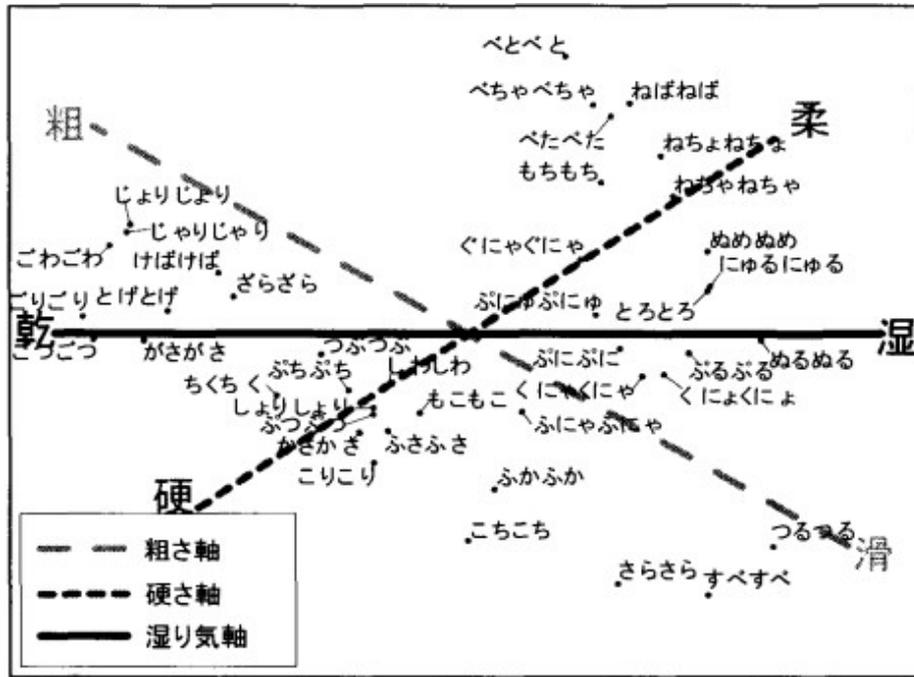


Fig. 2-3 Axes of components in the onomatopoeia distribution, adapted from Fig. 3 of (32)

Level	1	2	3	4
	Voice and sound	Movement, shape, pattern, and tactility	Physical sensation, emotion, taste, smell, and color	logical relation
English	■			
Basque	■	■		
Japanese	■	■	■	
Ewe	■	■		■
Korean	■	■	■	■

Fig. 2-4 Applications of onomatopoeia in the world's languages, adapted by English translation from Fig. 4-2 in p. 75 of (65)

## 2.4 オノマトペの産業応用に向けた課題

2.3 節で述べたように、オノマトペの音象徴性に関する研究は、人間の五感を対象として活発に行われている。しかし、第1章で述べた「機器の操作感覚設計におけるオノマトペの音象徴性の活用」という観点においては、以下の2.4.1～2.4.3の項目に掲げる課題を有する。

### 2.4.1 触覚から得られる操作感覚を製品設計に反映する上での課題

従来行われている触覚の印象とオノマトペの音象徴性に着目した研究では、材質が大きく異なる素材間の手触りの差異がオノマトペの評価対象となっており、特定の製品の感触を構成する物理量とオノマトペの音韻の対応は明確でない。

そこで本研究では、ロータリースイッチの感触を構成する物理量、具体的には第3章で詳述するクリックトルクの大きさを対象として、オノマトペの音韻との対応を把握する。これにより、オノマトペの音象徴性の活用による機器の操作感覚設計の有効性について検討する。

### 2.4.2 聴覚から得られる操作感覚を製品設計に反映する上での課題

従来行われている聴覚の印象とオノマトペの音象徴性に着目した研究では、対象となる音の周波数とオノマトペの対応関係について検討した事例が多い。しかし、多くの機器の操作音は広帯域な周波数成分を含んでおり、特定の周波数の音のみが知覚されることは稀である。そのため、従来の知見を製品設計に活用し難く、広帯域な周波数成分の評価に適した指標によってオノマトペの音韻との対応を示す必要がある。

広帯域の周波数成分の主観的な甲高さは、心理音響評価量の一つであるシャープネスが良い対応を示すことが知られる<sup>(81)</sup>。シャープネスの算出方法は、いくつか提案されているが、その一つである Zwicker の提案モデル<sup>(82)</sup>を式(2-1)に示す。

$$S = 0.11 \frac{\int_0^{24\text{Bark}} N' \cdot g(z) \cdot z dz}{\int_0^{24\text{Bark}} N' dz} \quad (\text{acum}) \quad (2-1)$$

ここで、

$N'(z)$ ：臨界帯域ごとのラウドネス

$g(z)$ ：甲高さの知覚特性を考慮した重み付け

$z$ ：臨界帯域番号

シャープネスの値が大きくなるほど、主観的な音の甲高さが知覚される。広帯域の周波数成分を有する操作音において、シャープネスの値で一元的に音の甲高さを評価できることは、オノマトペと物理量の対応を定量的に把握する上で有用である。そこで本研究では、

ロータリースイッチの操作音に対してシャープネスを指標とし、その甲高さとオノマトペの音韻の対応の把握を試みる。

また従来研究では、対象となる音の大きさを表す物理量とオノマトペの関係について議論された例は少ない。製品の音を評価する上で、音の大きさは快、不快を決定する重要な要素である<sup>(83)</sup>。そこで本研究では、上述した音の甲高さに対する検討に加え、操作音の音の大きさとオノマトペとの対応について検討することで、機器の操作音の音質設計に資する知見を得る。

#### 2.4.3 触覚および聴覚の複合的な操作感覚を製品設計に反映する上での課題

2.3.3 で述べたように、五感を表すオノマトペと象徴性の対応について検討した事例は、いずれも、触覚や聴覚、視覚などの特定の一つの知覚を対象に物理量との対応について検討が行われてきた。一方、機器の操作感覚は五感から複合的に捉えられる<sup>(84)(85)</sup>。そのため、特定の知覚を対象としたオノマトペの表現と物理量との対応を把握するのみでは、他の知覚からの入力に対する影響が考慮できていない点で問題となる。本研究で対象とするスイッチ製品においては、触覚および聴覚が操作感覚に影響を与えることが明らかになっている<sup>(43)(86)(87)</sup>。そのため、その操作感覚を表すオノマトペにおいても、触覚および聴覚の両者の影響が想定される。そこで本研究では、触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚をオノマトペによって評価することで、物理量との対応を把握する。

#### 2.5 本研究におけるオノマトペの分析手法

上述した 2.4.1 ~2.4.3 の項目に掲げる課題解決のために、本研究では具体的な研究対象をロータリースイッチの操作感覚とした上で、その操作感覚とオノマトペの音象徴性の関係について検討する。ここで、操作感覚とオノマトペの関係を定量的に把握するための印象評価手法として、以下の2つの方法が考えられる。

- (1) ロータリースイッチの操作感覚を適切に表現するオノマトペを、事前に評価語として選定し、評価語とロータリースイッチの操作感覚の適合度を評点形式で被験者に評価を求める。
- (2) ロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペを、被験者から自由回答により抽出する。

前者(1)の場合、その選定基準は、多くの研究においてオノマトペ辞典<sup>(88)</sup>等から、評価者の主観によって評価に適切と思われる語が選定される。しかし、本研究で対象とするロータリースイッチのように、回転動作を伴う操作感覚に関しては、適切なオノマトペが明らかでない。そのため、評価者の主観で選定することで、実際の操作感覚を反映しないオノマトペを選定することが懸念された。そこで本研究では、ロータリースイッチの操作感覚から得られるオノマトペについて、主に自由回答で抽出する実験体系を組むことで、本研

究の検討を行う。

自由回答によって被験者から得られたオノマトペは、計量テキスト分析により、ロータリースイッチの操作感覚を構成する物理量と、オノマトペに含まれる語の音韻の対応について検討する。計量テキスト分析は大量のテキストから情報を抽出し、文章中の語の共起パターンや関係性を把握するために用いられる手法である。定性的なアンケート結果<sup>(89)(90)(91)</sup>や Web 上のレビューデータ<sup>(92)(93)</sup>を定量的に分析できることから、様々な研究分野で応用されている。近年では、音質評価手法としても使用され、製品の印象評価における有効性も確認されている<sup>(94)</sup>。本研究では、計量テキスト分析の実施にあたり、テキストマイニング用ソフトウェア KH Coder<sup>(95)</sup>を使用した。

操作感覚を構成する物理量とオノマトペを構成する音韻の対応は、計量テキスト分析の分析手法の一つとして用いられる対応分析<sup>(96)</sup>により検討する。対応分析はテキストデータなどカテゴリカルデータの分析方法であり、コレスポンデンス分析とも呼ばれる<sup>(96)</sup>。

対応分析では、Table 2-2 に示す  $r$  行、 $c$  列のクロス集計データ  $F_{rxc}=[f_{ij}]$  の  $\chi^2$  統計量を用いる。 $\chi^2$  統計量の平方根は式 (2-2) で与えられる。

$$\chi_{ij} = \sqrt{n} \frac{f_{ij} - f_{i+}f_{+j}/n}{\sqrt{f_{i+}f_{+j}}} = \sqrt{n} \frac{p_{ij} - p_{i+}p_{+j}}{\sqrt{p_{i+}p_{+j}}} \quad (2-2)$$

ここで、

$f_{i+}$ :  $F_{rxc}$  の  $i$  行の合計,  $f_{+j}$ :  $F_{rxc}$  の  $j$  列の合計,  $n$ : データの総度数,  
 $p_{ij}$ : 総度数を基準とした相対度数,  $p_{+j}$ :  $p_{rxc}=[p_{ij}]$  における  $j$  列の合計,  
 $p_{i+}$ :  $p_{rxc}=[p_{ij}]$  における  $i$  行の合計  
 である。

対応分析では、 $F_{rxc}$  あるいは  $p_{rxc}$  を式(2-3)のように変換したコレスポンデンス行列  $Z=[z_{ij}]$  を用いる。

$$z_{ij} = \frac{f_{ij} - f_{i+}f_{+j}/n}{\sqrt{f_{i+}f_{+j}}} = \frac{p_{ij} - p_{i+}p_{+j}}{\sqrt{p_{i+}p_{+j}}} \quad (2-3)$$

また、対応分析で得られる行の成分得点  $X$  と列の成分得点  $Y$  は以下の式(2-4)、(2-5)で与えられる。

$$X = D_r^{-1/2}V \quad (2-4)$$

$$Y = D_c^{-1/2}U \quad (2-5)$$

ここで、

$D_r$ :  $p_{i+}$  を要素とした対角行列,  $V$ :  $ZZ^T$  の固有ベクトルからなる行列

$D_i: p_{+j}$ を要素とした対角行列,  $U: ZZ$ の固有ベクトルからなる行列である.

ここで得られた行および列の成分得点を散布図上に同時布置することで, 計量テキスト分析における「語」と「外部変数」の関係を可視化することが可能となる. 本研究では, 語を「オノマトペを構成する語」, 外部変数を「物理量」とすることで, これらの関係の可視化を試みる.

Table 2-2 Example of cross tabulation table

	<b>x1</b>	<b>x2</b>	...	<b>xj</b>	...	<b>xc</b>	<b>Sum</b>
<b>Sample 1</b>	$f_{11}$	$f_{12}$	...	$f_{1j}$	...	$f_{1c}$	$f_{1+}$
<b>Sample 2</b>	$f_{21}$	$f_{22}$	...	$f_{2j}$	...	$f_{2c}$	$f_{2+}$
...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Sample <i>i</i></b>	$f_{i1}$	$f_{i2}$	...	$f_{ij}$	...	$f_{ic}$	$f_{i+}$
...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Sample <i>r</i></b>	$f_{r1}$	$f_{r2}$	...	$f_{rj}$	...	$f_{rc}$	$f_{r+}$
<b>Sum</b>	$f_{+1}$	$f_{+2}$	...	$f_{+j}$	...	$f_{+c}$	$N$

## 2.6 おわりに

本章では、オノマトペの音象徴性に関連する先行研究について説明した。日本語のオノマトペには体系的な音象徴性があることが知られており、その音象徴性を利用することで、五感から得られる印象を繊細に表現し得る可能性が示されている。その一方で、本研究で対象とする機器の操作感覚設計に活用する上では、以下の課題がある。

- (1) 触覚を対象とした操作感覚の設計において、特定の製品の感触を構成する物理量とオノマトペの対応が明確ではない。そのため、具体的な製品の感触設計にオノマトペを活用できない。
- (2) 聴覚を対象とした操作感覚の設計において、音の大きさとオノマトペの対応は明確ではない。また、広帯域な周波数成分を含む操作音の物理量とオノマトペの対応は不明瞭である。そのため、操作音の音質設計にオノマトペを活用できない。
- (3) 複数の知覚から複合的に得られる操作感覚とオノマトペの対応は明らかでない。そのため、実際の機器の操作感覚の設計に対してオノマトペを活用できない。

本研究では、具体的な評価対象をロータリースイッチの操作感覚とし、その触覚、聴覚を構成する物理量とオノマトペの対応を把握することで、上記課題の解決を試みる。ロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペを把握するため、自由回答によるオノマトペ評価実験を実施し、その回答に対して計量テキスト分析を行うことで、オノマトペを構成する音韻の定量的な解釈を試みる。

第3章 から第5章 では、これらの課題解決の取り組みについて述べる。

## 第3章

# 触覚から得られる操作感覚を表す オノマトペと物理量の関係

### 3.1 はじめに

第2章では、オノマトペの有する音象徴性に関する先行研究を概説することで、ロータリースイッチの操作感覚をオノマトペの音象徴性によって定量的に説明し得る可能性があることを述べた。本章から第5章では、実際にロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討する。スイッチの操作感覚は、触覚、聴覚および視覚から複合的に捉えていると考えられ、中でも触覚が大きく寄与していることが報告されている<sup>(97)</sup>。そのため、スイッチ操作時の触覚から得られる操作感覚と、それを構成する物理量との対応を定量的に把握するために、各種の取り組みが行われている<sup>(43)(98)(99)(18)(100)(101)</sup>。これらの研究では、スイッチの操作感覚を把握するための手法としてSD法を代表とする形容詞対を用いた印象評価手法が多く採用されている。しかし、SD法は第1章で述べた理由から、繊細な操作感覚設計には適さないと考えられる。

本章では、ロータリースイッチ操作時に触覚から得られる操作感覚とオノマトペの音象徴性の関係から、操作感覚設計におけるオノマトペの有効性について検討する。以下、3.2節ではロータリースイッチの感触を構成する物理量について関連する先行研究から説明し、本章で対象とする物理量を示す。次に、3.3節では市販のロータリースイッチを対象に、その操作感覚を表すオノマトペについて、自由回答による評価実験を実施する。これは、触覚から得られるオノマトペの特徴を把握するとともに、オノマトペを構成する音韻とロータリースイッチの物理量の対応について検討することを目的とする。続いて3.4節では、3.3節の実験において高頻度で用いられたオノマトペを評価語に設定し、ロータリースイッチの操作感覚と評価語の適合度を評価する評点形式の実験を行うことで、オノマトペと物理量の対応の定量化を試みる。3.5節では、本章の総括および展望について述べる。

### 3.2 触覚から得られる操作感覚に影響する物理量

ロータリースイッチの感触に対応する物理量は、一般的に、角度あたりのトルクの大きさを示すフィーリングカーブで表される。フィーリングカーブの一例をFig. 3-1に示す。ロータリースイッチ製品にはオーディオ機器の音量調節部などに用いられるクリック感のない無段階のスイッチも存在するが、本研究ではこれらは対象とせず、Fig. 3-1に示すような角度あたりのトルク変化が伴うクリック感を有するスイッチを対象とする。クリック感を有するスイッチでは、製品の仕様としてトルクの最大値(単位:mNm, 以下これをクリックトルクと記す)と、一周あたりのクリックの数(単位:回/360°, 以下これをクリック数と記す)で示されることが多い。先行研究<sup>(43)</sup>では、クリックトルクの大きさが異なる5種類のロータリースイッチを対象に、その操作感覚をSD法により評価している。そこで得られた回答の因子分析結果から、Fig. 3-2に示すように、重厚感や明瞭感を表す操作感覚と各スイッチ(A~E)のクリックトルクの大きさが良い対応にあった(重厚感: $r=0.84$ , 明瞭感: $r=0.93$ )。クリックトルクの大きさと操作感覚の対応については、粗さ感

(18)や操作感<sup>(102)</sup>についても同様の報告がみられる。このように、クリックトルクの大きさはスイッチ操作者の感覚的な強度に影響を与えることが示されており、操作感覚との対応を適切に把握することは、スイッチの操作感覚設計において有用である。そこで本研究では、ロータリースイッチの触覚の操作感覚に影響する物理量としてクリックトルクの大きさを対象に、以降の検討を行う。

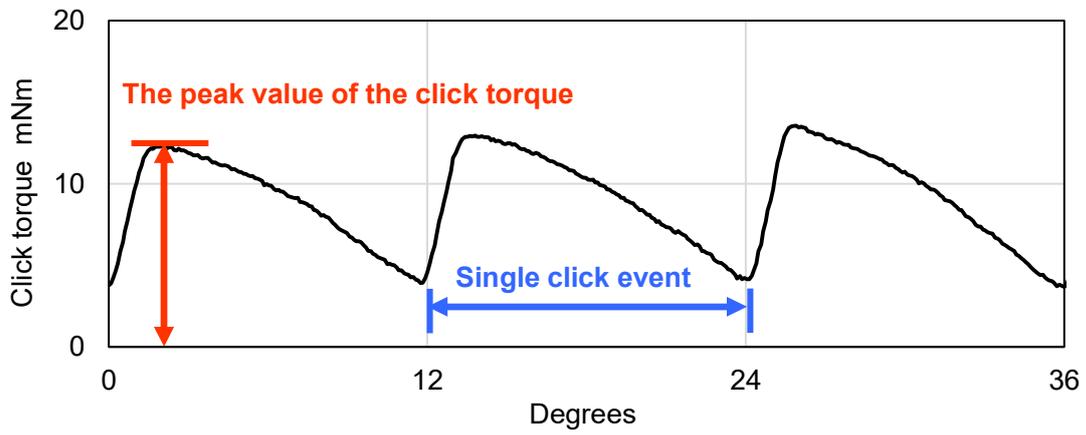


Fig. 3-1 Feeling curve of the rotary switches

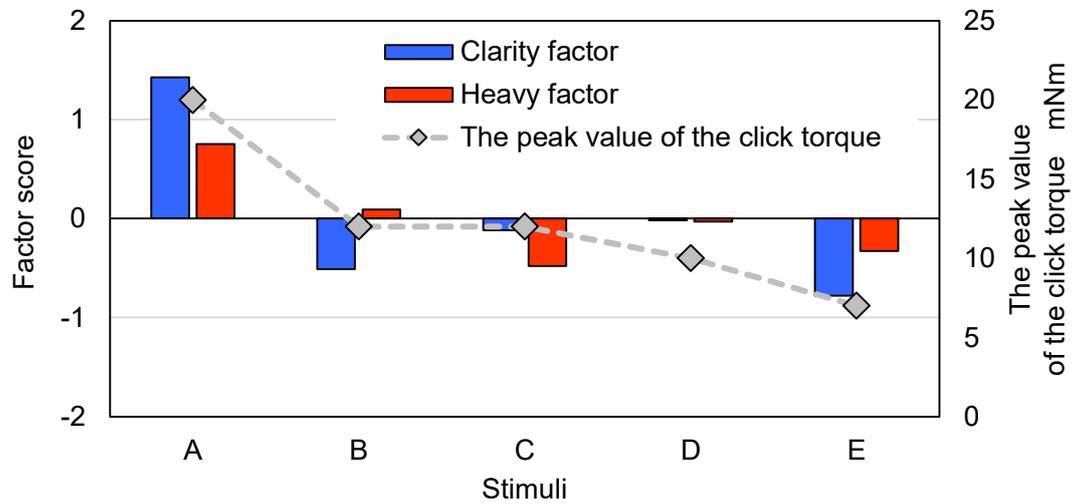


Fig. 3-2 Evaluation results of factor analysis

### 3.3 感触の大きさを表すオノマトペの特徴の把握

本節では、クリックトルクの大きさが異なる市販のロータリースイッチを対象として、触覚から得られる操作感覚をオノマトペによる自由回答で収集し、そのオノマトペを構成する音韻の特徴について計量テキスト分析から検討する。

#### 3.3.1 感触の大きさを表すオノマトペに関する実験方法

##### 3.3.1.1 実験に用いた刺激

本実験では、ロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペのクリックトルクの大きさによる違いを確認すべく、Table 3-1 に示すクリックトルクの異なる 10 種類の市販のスイッチを使用した。全てのスイッチのクリック数は 30 回/360° で統一した。各スイッチは、Fig. 3-3(a), (b)の一例に示すように、それ単体では異なる形状をしており、表面上の手触り感触も異なる。そこで、表面上の手触り感触と見た目の印象の統一を目的として、Fig. 3-3 (e)に示す直径 50 mm の円筒形状のノブを取付けることで供試体とした。各供試体は Fig. 3-3(f)に示すように円形の木製板の周囲に 10 個取付け、実験を行った。

なお、No.3 および No.4 のスイッチはクリックトルクの大きさは近いが、軸構造が異なることから Fig. 3-3(c), (d)に示すようにフィーリングカーブの形状がやや異なる。フィーリングカーブの形状の差異がロータリースイッチの操作感覚に影響を与えることも報告されており<sup>(103)</sup>、操作感覚から連想されるオノマトペにおいても差異が生じる可能性が考えられた。そこで、クリックトルクの大きさが近い No.3 および No.4 を実験用の刺激として選定した。

##### 3.3.1.2 実験手順

実験には触覚に異常のない日本語を母国語とする 36 名が参加した。被験者の属性を Table 3-2 に示す。

被験者は着座した状態で、各ロータリースイッチをおよそ 1 秒間に 180° 回転する動作を行い、その際の触覚から得られる操作感覚に対してオノマトペによる自由回答を求めた。このとき被験者には、ロータリースイッチの操作感覚から直感的に得られた語であれば、たとえ聞き馴染みのないオノマトペであっても自由に表現可能であることを事前に教示した。また、本実験では操作音が回答に影響を与えることを除くため、被験者はイヤーマフを着用し、操作音を遮断した状態で実験を実施した。

##### 3.3.1.3 分析方法

実験から得られたオノマトペを定量的に分析するため、計量テキスト分析を実施した。まず、オノマトペをモーラと呼ばれる日本語の文節単位に分解した。次に、以下に示す方法で分析対象とする語を選定した。

- ① 被験者から得られたオノマトペのうち、最初の 2 モーラを分析対象とする（例：サラサラ ⇒ 「サ」「ラ」）。
- ② ①の例外として、最初の 3 モーラの中に特殊モーラ（長音「ー」、促音「ッ」、撥音「ン」）が含まれる場合は、これらの語も分析対象として含める。（例：ゴリッゴリッ ⇒ 「ゴ」「リ」「ッ」）

ここで、各オノマトペのうち最初の 2 モーラ（特殊モーラを含む場合は 3 モーラ）を分析対象とした理由を以下に示す。

- ・ 被験者から得られたオノマトペのうち、85%が 2 モーラ（もしくは特殊モーラを含む 3 モーラ）の繰り返し表現（例：サラサラ、カチカチカチカチ、ゴリッゴリッ、等）であったことから、最初の 2 モーラを分析対象とすることで被験者から得られた語の大半を網羅し得る。
- ・ 繰り返し表現を伴うオノマトペは、全ての被験者が使用していたが、その繰り返し数は被験者によって傾向が異なっていた。例えば「カチカチ」と「カチカチカチカチ」は、繰り返し数は異なるが、本質的には同じ印象を伝えることを意図したオノマトペである可能性が高い。そのため、繰り返し数の異なるオノマトペ回答を同列に分析対象とすると、繰り返し数の多いオノマトペを多用する被験者の回答に結果が左右されることが懸念された。そこで、語同士の重み付けを等しくすることを目的に、最初の 2 モーラ（もしくは特殊モーラを含む 3 モーラ）を分析対象の語とした。

分析対象の語を用い、以下の分析を行った。

- ① 頻出語分析：分析対象の語のうち、出現頻度の高い語を抽出することで、スイッチ操作時の感触から連想されやすい語を把握する。
- ② 共起ネットワーク分析：頻出語のうち、どのような語同士の組み合わせでオノマトペが構成されていたかを評価する。

本研究では、共起性の指標として式(3-1)に示す Jaccard 係数を用いた。

$$J(M_1, M_2) = \frac{M_1 \cap M_2}{M_1 \cup M_2} \quad (3-1)$$

$M_1, M_2$ ：分析対象の語（第 1 モーラ、第 2 モーラ）

Jaccard 係数は値が大きいくほど、共起性が高いことを示す。厳密な指標はないが、『0.1：関連がある、0.2：強い関連がある、0.3：とても強い関連がある<sup>(104)</sup>』という点が一つの目安とされている。そこで本実験においても、Jaccard 係数が 0.1 以上であることを共起性の高さの判断基準とした。

- ③ 対応分析：ロータリースイッチのクリックトルクの大きさに応じて、用いられるオノマトペの音韻の傾向を把握するため、「語」と「実験に用いた刺激」条件の同時布置による

対応分析を行った。

### 3.3.2 感触の大きさを表すオノマトペに関する実験結果

はじめに、Table 3-2 に示す被験者の属性のうち、スイッチ製品に関連のある職種の被験者群と、それ以外の被験者群の回答を個別に分析した。これは被験者のスイッチ操作経験の程度によって、用いられるオノマトペに差異が生じる可能性が考えられたためである。実験結果のうち、各被験者群の頻出語分析結果を Table 3-3 に示す。結果より「ル (/ru/)」「カ (/ka/)」「ス (/su/)」「リ (/ri/)」など多くの語が、被験者群の差異によらず共通して用いられていた。また、他の分析結果の比較においても両群に大きな違いは確認されなかった。そこで、以降では全被験者から得られたオノマトペを対象として分析し、得られた結果を示す。

#### 3.3.2.1 頻出語分析

10 種類のロータリースイッチに対して、語の重複を含めて全 794 語が抽出された。頻出した順に、「ル (/ru/) 91 回」「カ (/ka/) 85 回」「ス (/su/) 65 回」「リ (/ri/) 57 回」「ク (/ku/) 50 回」「コ (/ko/) 44 回」「タ (/ta/) 36 回」「ー (長音, /R/) 35 回」「ゴ (go) 33 回」「ツ (/tsu/) 31 回」「ガ (/ga/) 28 回」「ッ (促音, /Q/) 26 回」「ト (/to/) 26 回」「チ (/tʃi/) 25 回」「ラ (/ra/) 21 回」「グ (/gu/) 20 回」「サ (/sa/) 13 回」「ヌ (/nu/) 13 回」「ロ (/ro/) 13 回」等の語が見られた。本実験では、上述した 10 回以上用いられた 19 語を以降の共起ネットワーク分析および対応分析における分析対象の語とした。

#### 3.3.2.2 共起ネットワーク分析

語同士が、どのような組み合わせでオノマトペとして表現されていたかを確認するため、10 回以上出現した語に対して、共起ネットワーク分析を行った。Jaccard 係数 0.1 以上の語の結果を Table 3-4 に示す。ここで  $M_1$  は第 1 モーラの語、 $M_2$  は第 2 モーラの語を表す。結果から「サ (/sa/)」と「ラ (/ra/)」、「ス (/su/)」と「ル (/ru/)」、「ゴ (/go/)」と「リ (/ri/)」、「カ (/ka/)」と「タ (/ta/)」等の語同士が、同時に用いられやすい傾向にあった。また、語順ごとの出現頻度の結果より、これらの語は特定の語順でのみ用いられていたことがわかった。具体例を示すと、共起性の高い「サ (/sa/)」と「ラ (/ra/)」の組み合わせにおいて、「サラ」という語順は多く用いられていたが、「ラサ」という語順は一度も用いられていなかった。3.3.1.3 の項目で先述したように、各オノマトペは 2 モーラの語の繰り返し表現が多用されていた。そのため、本実験結果からスイッチ操作時に触覚から得られる操作感覚に対して「サラサラ」「スルスル」「ゴリゴリ」「カタカタ」等のオノマトペが多く使用される傾向にあったことがわかる。また、これらの語の音韻に着目す

ると、第1モーラの子音には/k/, /s/, /g/を含む語が多く、第2モーラの子音には/r/や/t/を含む語が多く確認できる。このことから、第1モーラと第2モーラで、それぞれ用いられる語の傾向が異なることがわかった。

### 3.3.2.3 対応分析

実験条件ごとの語の出現傾向について確認するため、「語」と「実験に用いた刺激」条件の同時布置による対応分析を行った結果を Fig. 3-4 に示す。また、対応分析結果より、「実験に用いた刺激」条件の成分得点を用いて、ワード法による階層型クラスター分析を実施した結果を Fig. 3-5 に示す。ここでは、後述する「語」の条件の解釈の容易性を考慮して、以下の3クラスターで分類した。

クラスター1：3.3~12.0 mNm (No.1~No.4) のスイッチを含む

クラスター2：14.8~20.8 mNm (No.5~No.7) のスイッチを含む

クラスター3：27.6~40.0 mNm (No.8~No.10) のスイッチを含む

Fig. 3-4 には、それぞれのクラスターに属する刺激条件を円で囲うことで、クラスターの対応を示している。クリックトルクの小さいスイッチを含むクラスター1、クリックトルクが中程度の大きさのスイッチを含むクラスター2、クリックトルクが大きいスイッチを含むクラスター3 と、クリックトルクの大きさごとにクラスターが構成されていた。このことから、被験者の回答したオノマトペは、クリックトルクの大きさごとに異なると考えられる。

次に「語」の条件に着目すると、「クラスター1」に属するスイッチの方向には「ス (/su/)」「サ (/sa/)」の子音/s/を含む語および「ス (/su/)」「ヌ (/nu/)」「ル (/ru/)」の母音/u/を含む語が布置している。このことから、クリックトルクの小さい条件では、これらの音韻が用いられる傾向にあったと考えられる。クリックトルクの小さい条件で子音/s/および母音/u/を含む語が用いられる傾向は、Fig. 3-6(a), (b)に示す横軸をクリックトルクの大きさ、縦軸を子音/s/および母音/u/の出現頻度のグラフからも確認できる。そこで「実験に用いた刺激」条件と子音/s/および母音/u/の出現頻度のクロス集計結果に対して $\chi^2$ 検定を行ったところ、それぞれ有意差が確認された(子音/s/： $\chi^2(9)=95.33$ ,  $p < .01$ , 母音/u/： $\chi^2(9)=81.61$ ,  $p < .01$ )。これらの結果から子音/s/および母音/u/が、他のクラスターに比較して「クラスター1」に属するスイッチで多く使用される傾向にあると考えられる。

続いて、「クラスター2」に属するスイッチの方向には「カ (/ka/)」「ク (/ku/)」「コ (/ko/)」「タ (/ta/)」「ト (/to/)」といった子音/k/または子音/t/を含む語が布置している。このことから、クリックトルクが中程度の条件では、これらの音韻が用いられる傾向にあると考えられる。クリックトルクが中程度の条件で子音/k/または子音/t/を含む語が用いられる傾向は、Fig. 3-6(c)に図示する横軸をクリックトルクの大きさ、縦軸を子音/t/

および子音/k/を含む語の出現頻度のグラフからも確認できる。そこで「実験に用いた刺激」条件と子音/t/および子音/k/を含む語の出現頻度のクロス集計結果に対して $\chi^2$ 検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(9)=47.03, p < .01$ )。これらの結果から子音/k/および子音/t/が、他のクラスターに比較して「クラスター2」に属するスイッチで多く使用される傾向にあったと考えられる。

さらに、「クラスター3」に属するスイッチの方向には「ガ (/ga/)」「グ (/gu/)」「ゴ (/go/)」といった濁音を含む語および「チ (/tʃi/)」「リ (/ri/)」といった母音/i/を含む語が布置している。このことから、クリックトルクが大きい条件では、これらの音韻が用いられる傾向にあったと考えられる。クリックトルクが大きい条件で濁音および母音/i/を含む語が用いられやすい傾向は、Fig. 3-6(d), (e)に図示する横軸クリックトルクの大きさ、縦軸を濁音および母音/i/を含む語の出現頻度のグラフからも確認できる。そこで、「実験に用いた刺激」条件と濁音および母音/i/を含む語の出現頻度のクロス集計結果に対して $\chi^2$ 検定を行ったところ、有意差が確認された (濁音： $\chi^2(9)=113.90, p < .01$ , 母音/i/： $\chi^2(9)=64.51, p < .01$ )。これらの結果から濁音および母音/i/が、他のクラスターに比較して「クラスター3」に属するスイッチで多く使用される傾向にあったと考えられる。

以上より、クリックトルクの大きさに応じて、被験者が用いるオノマトペの音韻の特徴が異なることがわかった。なお、3.3.1.1の項目で述べたように、実験用の刺激として用いた11.8 mNmのスイッチと12.0 mNmのスイッチのクリックトルクは近いが、軸構造およびフィーリングカーブの形状が異なるため、オノマトペの差異が生じる可能性があると考えて選定した。しかし、これらのスイッチはFig. 3-4の対応分析結果において非常に近い位置に布置していることから、軸構造およびフィーリングカーブの形状の違いがオノマトペに与える影響は少ないとみなし、以降の考察では、ロータリースイッチの感触に関連する物理量としてクリックトルクの大きさのみを扱う。

### 3.3.3 感触の大きさを表すオノマトペに関する考察

本実験では、クリックトルクの異なるロータリースイッチの操作感覚に対して、自由回答によるオノマトペ評価を実施した<sup>(105)</sup>。共起ネットワーク分析では、ロータリースイッチの操作感覚から連想されるオノマトペについて検討した。結果から、「サラサラ」「コリコリ」等の他の手触り感触に関する研究<sup>(32)(33)(34)(35)</sup>とも共通するオノマトペが多く確認された。その一方で、「スルスル」「クルクル」「コロコロ」等、回転動作から連想されたと考えられるオノマトペも見られた点は、ロータリースイッチの操作感覚の特徴といえる。また、本分析結果より共起性の高い2語は必ず特定の語順で使用されており、さらに、第1モーラと第2モーラでは用いられる子音の傾向も異なっていた。このことから、第1モーラと第2モーラは、それぞれ異なるニュアンスを有しており、その組み合わせから、オノマトペとしての意味が構成されるものと考えられる。第1モーラと第2モーラの対応に

ついて浜野<sup>(65)</sup>は、同じ語であっても第1モーラに用いられる場合と第2モーラに用いられる場合とで意味合いが異なることを報告しており、本実験結果とも合致する。

続いて、これらの語の音韻とスイッチのクリックトルクとの対応について検討するため対応分析を行った。まず、子音に着目すると、子音/s/を含む語は、概ね10 mNm程度までの「クラスター1」に属するスイッチ、子音/k/、/t/を含む語は概ね20 mNm前後の「クラスター2」に属するスイッチ、濁音/g/を含む語は概ね30 mNm前後の「クラスター3」に属するスイッチと対応していた。日本語オノマトペの子音の音象徴について浜野<sup>(65)</sup>は、第1モーラの子音に/s/を含む語は滑らかな表面、子音/k/を含む語は硬い表面、第2モーラに子音/t/を含む語は打撃の印象と対応すると述べている。また、阻害音の濁音化は、多くの研究において大きい、重い等の印象と対応することが知られる<sup>(65)(106)(55)(107)</sup>。したがって、本実験結果において被験者は、「クラスター1」のスイッチを滑らか、「クラスター2」および「クラスター3」のスイッチを硬い感触として認識することで、その違いを異なる子音のオノマトペにより表現していたと考えられる。

次に、母音に着目すると、Fig. 3-4より「クラスター1」のスイッチで母音/u/、「クラスター3」のスイッチで母音/i/が用いられやすい傾向にあった。日本語オノマトペにおいて母音/u/を含む語は、小ささ<sup>(37)</sup>や、滑らかさ<sup>(32)</sup>の印象と対応し、母音/i/を含む語は硬さの印象と対応すると報告されており<sup>(108)(62)(64)</sup>、本実験結果とも対応する。これらのことから、母音においてもクリックトルクの大きさの違いに対して、音象徴性を反映したオノマトペが用いられる傾向にあることが示された。

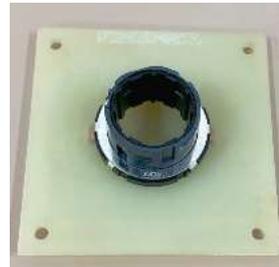
以上より、本節ではロータリースイッチ操作時の触覚から得られる操作感覚において、連想されやすいオノマトペの特徴を把握し、さらに、これらのオノマトペを構成する音韻がクリックトルクの大きさによって異なり、その音韻の傾向は日本語オノマトペの音象徴性とも対応していることを示した。本節で明らかにしたオノマトペと音韻とクリックトルクの対応をFig. 3-7に整理する。このようなオノマトペとクリックトルクの間関係を、より定量的に把握できれば、オノマトペをロータリースイッチの操作感覚設計に活用し得る可能性がある。そこで次節では、本実験結果を踏まえ、オノマトペとクリックトルクの間関係の定量的な把握を試みる。

Table 3-1 Switches used in the experiment

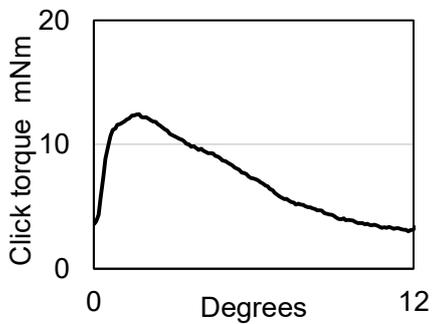
Stimuli	Click torque mNm	Shaft structure
No.1	3.3	Metal shaft (Fig. 1(a))
No.2	7.4	
No.3	12.0	
No.4	11.8	Hollow shaft (Fig. 1(b))
No.5	14.8	
No.6	18.0	
No.7	20.8	
No.8	27.6	
No.9	33.6	
No.10	40.0	



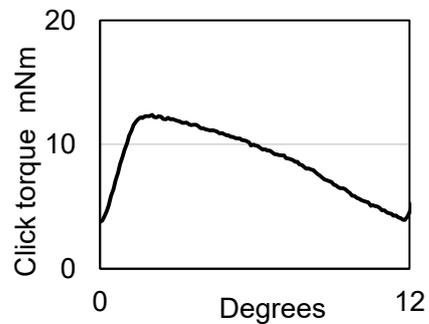
(a) Shape of switch No.3



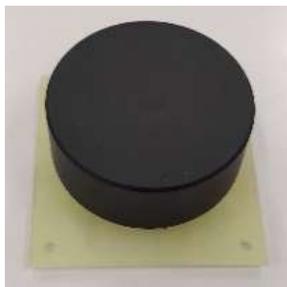
(b) Shape of switch No.4



(c) Feeling curve of switch No.3



(d) Feeling curve of switch No.4



(e) Shape of knob-mounted switch



(f) Placement of switches

Fig. 3-3 Switches used in the experiment

Table 3-2 Attributes of participants

Gender	Male: 22, Female: 14
Ages	20s:16, 30s: 10, 40s: 3, 50s: 2, 60s: 5
Occupation	Related to switch products: 20 Not related to switch products (including students): 16

Table 3-3 Analysis results of analysis of frequently used words by occupation of participants

Related to switch product		Not related to switch products		All participants	
Word	Frequency	Word	Frequency	Word	Frequency
/ka/ (カ)	49	/ru/ (ル)	44	/ru/ (ル)	91
/ru/ (ル)	47	/ka/ (カ)	36	/ka/ (カ)	85
/su/ (ス)	38	/su/ (ス)	27	/su/ (ス)	65
/ku/ (ク)	30	/ri/ (リ)	27	/ri/ (リ)	57
/ri/ (リ)	30	/go/ (ゴ)	22	/ku/ (ク)	50
/ko/ (コ)	23	/ta/ (タ)	22	/ko/ (コ)	44
/Q/ (ッ)	21	/ko/ (コ)	21	/ta/ (タ)	36
/ga/ (ガ)	20	/ku/ (ク)	20	/R/ (ー)	35
/tsu/ (ツ)	20	/R/ (ー)	17	/go/ (ゴ)	33
/R/ (ー)	18	/to/ (ト)	16	/tsu/ (ツ)	31

Table 3-4 Co-occurrence network analysis results

Co-occurrence words		Jaccard coefficient	Frequency of occurrence by word order	
M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>		M <sub>1</sub> ⇒ M <sub>2</sub>	M <sub>2</sub> ⇒ M <sub>1</sub>
/sa/ (サ)	/ra/ (ラ)	0.33	100%	0%
/su/ (ス)	/ru/ (ル)	0.32		
/go/ (ゴ)	/ri/ (リ)	0.29		
/ka/ (カ)	/ta/ (タ)	0.22		
/ka/ (カ)	/tʃi/ (チ)	0.20		
/ko/ (コ)	/ri/ (リ)	0.20		
/su/ (ス)	/R/ (ー)	0.19		
/ko/ (コ)	/ro/ (ロ)	0.16		
/ga/ (ガ)	/tʃi/ (チ)	0.14		
/ku/ (ク)	/ru/ (ル)	0.13		
/gu/ (グ)	/Q/ (ッ)	0.11		
/nu/ (ヌ)	/ru/ (ル)	0.11		
/ku/ (ク)	/Q/ (ッ)	0.10		

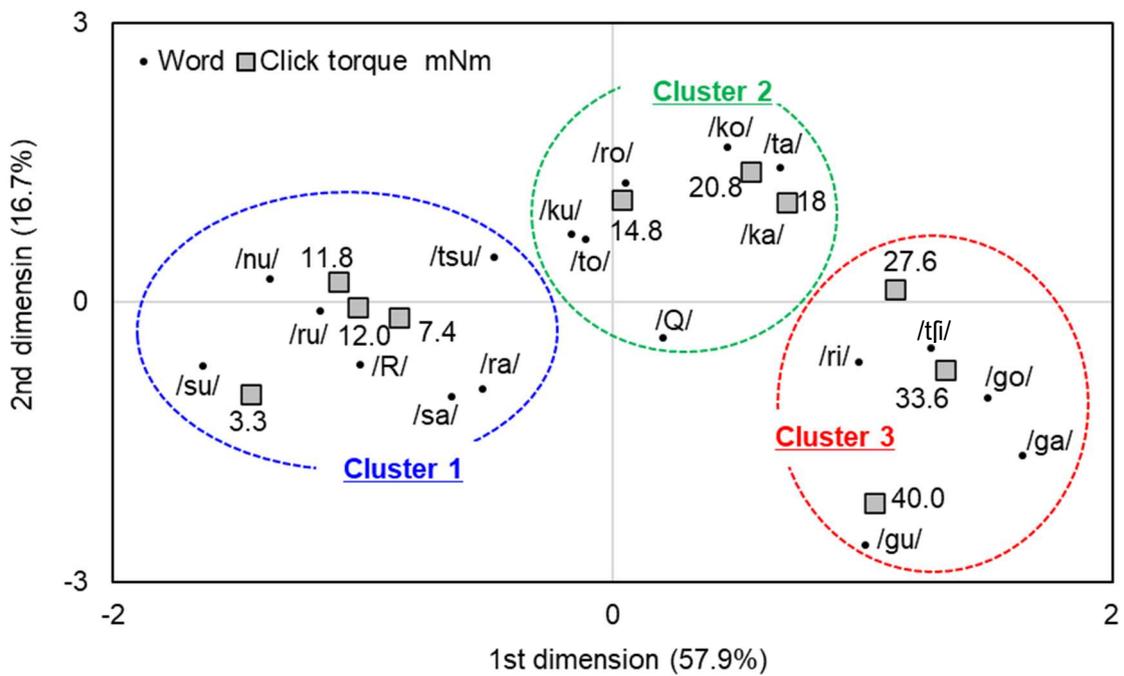


Fig. 3-4 Correspondence analysis results

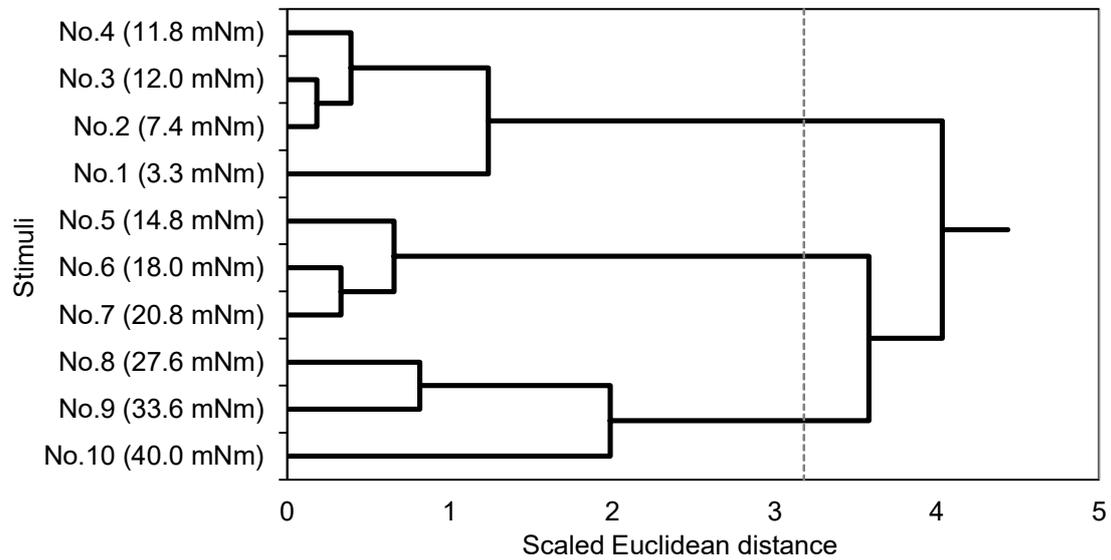
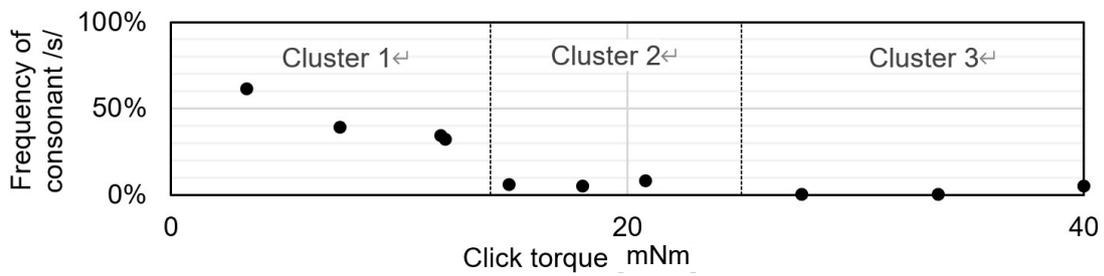
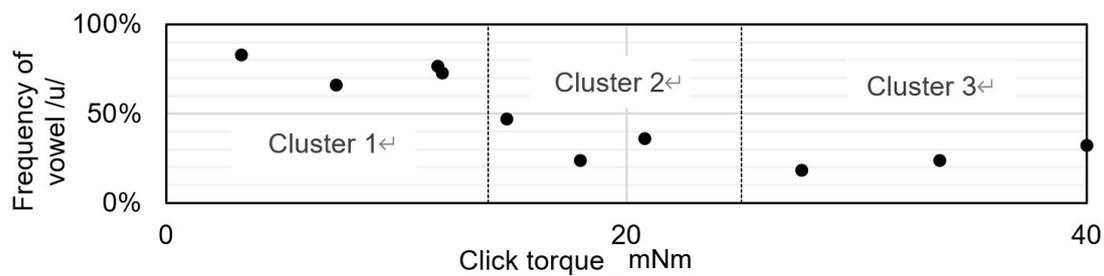


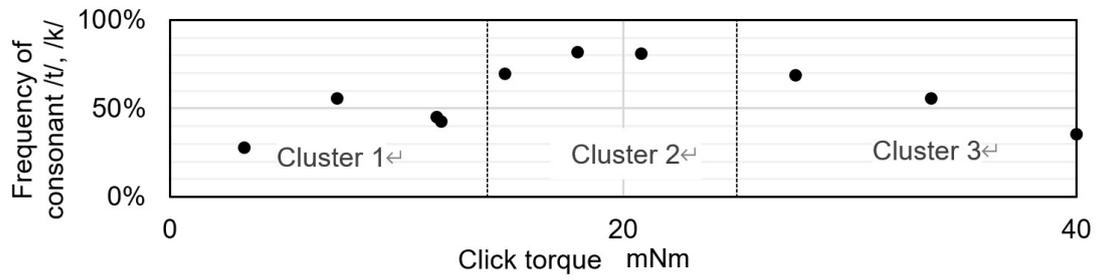
Fig. 3-5 Cluster analysis results



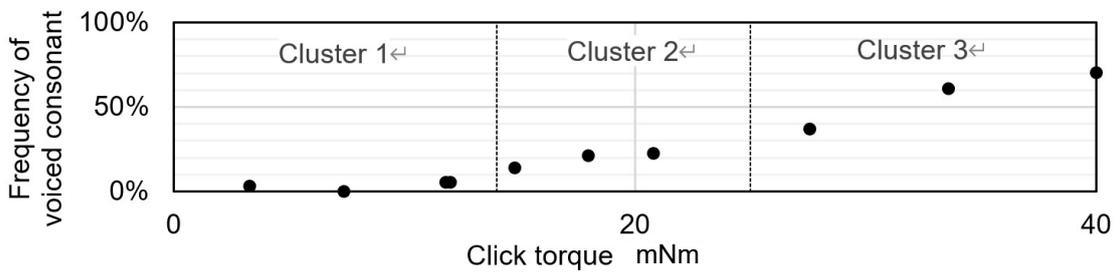
(a) Consonant /s/



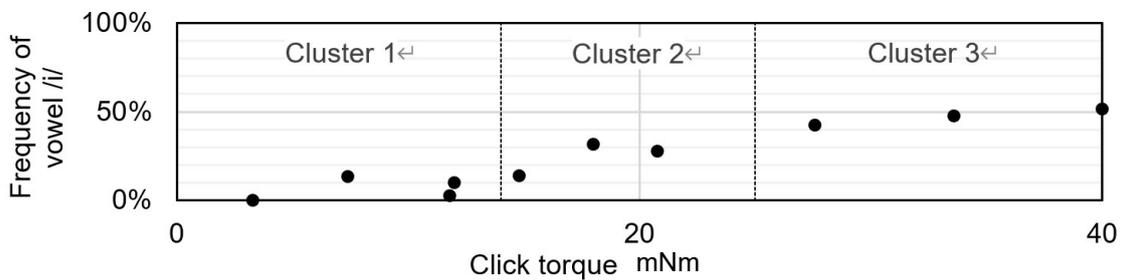
(b) Vowel /u/



(c) Consonant /t/, /k/



(d) Voiced consonant



(e) Vowel /i/

Fig. 3-6 Correspondence between click torque magnitude and frequency of onomatopoeias

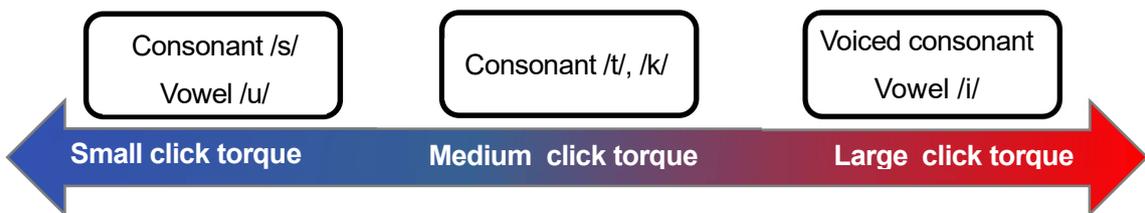


Fig. 3-7 Relationship between click torques and onomatopoeias

### 3.4 感触の大きさとオノマトペの対応の定量化

3.3 節の実験結果を踏まえ、本節ではロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペを評価語として事前に設定し、ロータリースイッチの操作感覚と評価語の適合度を評価する評点形式の実験を行う。これにより、オノマトペとクリックトルクの関係を定量的に把握する。

#### 3.4.1 オノマトペによる感触の大きさの定量化に関する実験方法

##### 3.4.1.1 実験に用いた刺激

ロータリースイッチの感触の大きさとオノマトペの関係を定量的に把握するためには、感触も定量的に制御できることが望ましい。そこで本実験では、Fig. 3-8 に示すロータリースイッチの操作感覚を疑似的に提示可能なシミュレータを製作して実験した。シミュレータでは、アクチュエータを用いてロータリースイッチの物理特性である角度あたりのクリックトルク曲線を模擬し、実物のロータリースイッチ操作時の感触を再現できる。本機を用いてクリック数とクリックトルクを設定し、刺激提示用のノブ（直径 50 mm）を操作することで感触の条件とした。

シミュレータを用いて、クリック数は 3.3 節の実験条件と同様に 30 回/360° に統一し、クリックトルクの大きさのみを変化させることで刺激を作成した。クリックトルクの大きさは、3.5～35.0 mNm の範囲で 3.5 mNm ずつ変化させた 10 種類の刺激を用いた。

##### 3.4.1.2 実験手順

実験では、Table 3-5 に示す 13 語を使用して、ロータリースイッチの操作感覚を評価した。これらは、3.3 節で実施した Table 3-4 に示す共起ネットワーク分析結果を参考に、共起性の高い 2 語から 2 モーラの繰り返し型のオノマトペとして構成したものである。ただし「スー(/suR/)」のオノマトペは、3.3 節での実験時、繰り返し表現で用いられる機会が少なかったため、2 モーラの語をそのまま評価語として採用した。

被験者は着座した状態で、シミュレータのノブ部をおよそ 1 秒間に 180° 回転する動作を行い、その操作感覚が Table 3-5 に示すオノマトペに対してどの程度合致するか 7 段階（非常にそう思う～どちらでもない～非常にそう思わない）で回答した。

刺激は、はじめに 3.5 mNm のクリックトルクで実施し、全てのオノマトペに対する回答を終えた後に、次の刺激（7.0 mNm）に移行し、その後、徐々にクリックトルクの負荷を上げ、最後に 35.0 mNm の刺激での評価を終えるまで、同様の手順を繰り返した。シミュレータから発生する音の影響を除くため、被験者はイヤーマフを着用し、実験を行った。

実験には触覚に異常のない日本語を母国語とする 20 代～30 代の 11 名（男性：5 名、女性：6 名、20 代：6 名、30 代：5 名）が参加した。

### 3.4.2 オノマトペによる感触の大きさの定量化に関する実験結果

各オノマトペに対する印象評価点の平均値とクリックトルクとの対応を Fig. 3-9(a)~(l) に示す。ここで、横軸はクリックトルクの大きさ、縦軸は印象評価点の平均値を表しており、印象評価点は+側である場合、操作感覚とオノマトペが合致していたことを示す。エラーバーは標準偏差を示す。なお実験時、特定のオノマトペにおいて、全てのクリックトルク条件で0点（どちらでもない）～-3点（非常にそう思わない）の点数をつける被験者が散見された。これらの被験者にとって該当のオノマトペは、本人の語彙に含まれない語であると判断し、結果からは除外して平均値を算出している。また、「クックッ(/kuQ-kuQ/)」のオノマトペは、全被験者のうちの約半数である5名の被験者が全てのクリックトルク条件で0点～-3点として評価していた。そのため、「クックッ(/kuQ-kuQ/)」は本実験条件の感触からは連想しにくいオノマトペであったと判断し、結果から除外した。

各実験結果は、印象評価点の平均値が0点に対して有意に大きいか、または小さいかを1標本のt検定によって評価し、1%水準もしくは5%水準で有意に大きい場合を、操作感覚とオノマトペが対応していると判断した。以下、各オノマトペの印象評価点の傾向について、各オノマトペの第1モーラの音韻の特徴ごとにまとめて述べる。

#### 3.4.2.1 第1モーラに子音/s/または母音/u/を含むオノマトペ

Fig. 3-9(a)~(d)のオノマトペは、第1モーラに子音/s/または母音/u/を含む語で構成されることから、Fig. 3-6の対応分析の結果を踏まえ、10 mNm程度までのクリックトルクと対応する想定で選定した。結果より、「スー(/suR/)」「スルスル(/suru-suru/)」「サラサラ(/sara-sara/)」「ヌルヌル(/nuru-nuru/)」は、3.5~7.0 mNmのクリックトルクにおいて高得点が得られていた。また、「クルクル(/kuru-kuru/, Fig. 3-9(e))」は7.0~10.5 mNmのクリックトルクと有意に対応し、上述した「スー(/suR/)」「スルスル(/suru-suru/)」等よりも、やや大きいクリックトルクとの対応が確認された。

#### 3.4.2.2 第1モーラに子音/k/を含むオノマトペ

Fig. 3-9(f)~(i)のオノマトペは第1モーラの子音に/k/を含む語で構成されることから、Fig. 3-6の対応分析の結果を踏まえて20 mNm前後のクリックトルクと対応する想定で選定した。結果より、対応するクリックトルクの範囲に違いは見られるが、それぞれのオノマトペが20 mNm前後のいずれかの刺激と有意に対応していた。以下、それぞれのオノマトペの特徴について述べる。

「コロコロ(/koro-koro/, Fig. 3-9(f))」は14.0 mNmを除く10.5~28.0 mNm、「カタカタ(/kata-kata/, Fig. 3-9(g))」は17.5~28.0 mNmのクリックトルクと有意に対応しており、いずれもクリックトルク20 mNmの前後において複数の刺激との対応が見られた。「コリコリ(/kori-kori/, Fig. 3-9(h))」は、10.5~35.0 mNmの幅広い範囲のクリックト

ルクと有意に対応しており、先述した「コロコロ(/koro-koro/)」および「カタカタ(/kata-kata/)」よりも大きなクリックトルクとの対応が見られた。「カチカチ (/katʃi-ka tʃi/, Fig. 3-9 (i))」は、有意に対応した刺激は 17.5 mNm のみであった。しかし、21.0~35.0 mNm の範囲において標準偏差が大きく、30 mNm 前後のクリックトルクの大きな刺激で高得点の回答をした被験者も多く存在したことが確認された。

### 3.4.2.3 第1モーラに濁音を含むオノマトペ

Fig. 3-9(j)~(l)のオノマトペは、第1モーラに濁音を含む語で構成されることから、Fig. 3-6 の対応分析の結果を踏まえ、他のオノマトペと比較してクリックトルクの大きな刺激と対応する想定で選定した。結果から、対応するクリックトルクの範囲に違いは見られるが、それぞれ最もクリックトルクの大きい 35.0 mNm を含む複数の刺激と有意に対応していた。

## 3.4.3 オノマトペによる感触の大きさの定量化に関する考察

### 3.4.3.1 感触デザインにおけるオノマトペの有効性

本節では、オノマトペとクリックトルクの間を定量的に把握することを目的として、ロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペを評価語として事前に設定し、ロータリースイッチの操作感覚と評価語の適合度を評価する評点形式の実験を行った<sup>(105)</sup>。

Fig. 3-9 の結果に示すように、クリックトルクの大きさとオノマトペとの対応を定量的に把握することができた。本実験結果から得られたオノマトペと対応するクリックトルクの範囲を Table 3-6 に示す。この対応表を用いることで、例えば「スルスルした感触が欲しい」といった要望に対しては 3.5~7.0 mNm 付近のクリックトルクを提示することで概ね要望に対応した操作感覚を提供できることがわかり、スイッチの操作感覚設計の一助となり得る。なお、ロータリースイッチの感触知覚において Reisinger ら<sup>(103)</sup>は、感触が同程度と感じるクリックトルクの変化範囲は 20%程度と報告している。Table 3-6 に示すように各オノマトペは、ある程度の幅を持っていることから、被験者は感触が異なることを認識しつつ、ある程度の幅を持ってオノマトペに対する回答を行っていた可能性が高い。したがって、繊細な操作感覚設計を行う上では、オノマトペによる評価に加えて、更に細かなクリックトルクのチューニングが必要な場面も考え得る。しかし、従来の操作感覚設計においては、物理量との対応が不明確な「滑らか」「硬い」等の形容詞による表現が用いられていた点を踏まえると、本実験より物理量とオノマトペの対応を明確に把握できたことは、スイッチ製品の定量的な感触デザインを行う上で有用な知見といえる。

ただし、本実験から得られた知見は、クリック数を 30回/360° に統制して実施した条件で得られたものである。オノマトペによる表現は時間的な変化にも影響を受けることが示されており<sup>(109)</sup>、クリック数の変化によっても、その操作感覚を表すオノマトペが異なっ

てくる可能性がある。そのため、クリック数の変化に応じたオノマトペについても今後、追加の実験により検討の必要がある。

### 3.4.3.2 オノマトペの音象徴性との対応

本実験では 3.3 節の実験結果を参考に、10 mNm 程度までのクリックトルクの小さな刺激では、滑らかな音象徴性を有する子音/s/および母音/u/を含むオノマトペ、クリックトルクが 20 mNm 前後の刺激では、硬さや衝撃といった音象徴性を有する子音/k/および子音/t/を含むオノマトペ、クリックトルクが 30 mNm 前後の刺激では重さや硬さといった音象徴性を有する濁音および母音/i/を含むオノマトペが、それぞれ対応するという想定で実験を行った。結果から、10 mNm 程度までのクリックトルクの小さな刺激と子音/s/および母音/u/を含む語で構成される「スー」や「スルスル」等のオノマトペ、クリックトルクが 20 mNm 前後の感触と子音/k/もしくは子音/t/を含む語で構成される「コロコロ」「カタカタ」等のオノマトペ、クリックトルクが 30 mNm 前後の刺激と濁音および母音/i/を含む語で構成される「ガチガチ」「ゴリゴリ」等のオノマトペが有意に対応しており、概ね想定通りの結果が得られた。このことから、3.3 節の結果と同様に、ロータリースイッチの操作感覚から連想されやすいオノマトペはクリックトルクの大きさによって異なり、その音韻の傾向が日本語のオノマトペの音象徴性とも対応していることが示された。その上で、滑らかな印象の音象徴性を有する母音/u/と硬い印象の音象徴性を有する子音/k/から構成される「クルクル」が、滑らかな印象の音韻（子音/s/, 母音/u/）のみで構成される「スー」や「スルスル」よりも、やや大きいクリックトルクの感触と対応していた。これは、子音/k/の音象徴性が有する硬さ印象が、操作感覚の判断に影響を与えたものと考えられ、音韻の組み合わせによって繊細な操作感覚の違いを表現し得る可能性を示唆する。

次に、オノマトペを構成する第 1 モーラの語と第 2 モーラの語の対応について述べる。本実験に用いたオノマトペのうち、第 1 モーラの語が等しい「コロコロ」と「コリコリ」および「カタカタ」と「カチカチ」は、それぞれ異なるクリックトルク範囲の刺激と対応していた。具体的には「コロコロ」と「カタカタ」は、それぞれクリックトルクが 20 mNm 前後の範囲において、複数の刺激との対応が見られた。その一方で、「コリコリ」は 10.5~35.0 mNm の幅広いクリックトルクの範囲の刺激と有意に対応していた。また「カチカチ」は、17.5 mNm の刺激と有意に対応するとともに、35.0 mNm を含むクリックトルクの大きな刺激で高得点の回答をしていた被験者も多く存在していた。このような印象の違いは、第 2 モーラの音韻による影響と考えられる。「コリコリ」「カチカチ」は、ともに第 2 モーラに母音/i/の語を含むオノマトペである。母音/i/は硬さ印象の音象徴性を有することから、「コロコロ」や「カタカタ」よりも硬さが連想され、より大きなクリックトルクとも対応したものと考えられる。加えて「カチカチ」は、スイッチの操作感覚を表すオノマトペとして汎用的に用いられる語であることも、被験者の回答に個人差が大きく生じ

た要因として考えられる。このように、本実験結果から第2モーラの音韻が操作感覚に影響を与えていることが示された。日本語オノマトペの音象徴に関連した研究の多くは、オノマトペの第1モーラの語のみに着目した事例が多い<sup>(32)(33)(107)</sup>。しかし本実験結果は、触覚から得られる操作感覚に関する物理量とオノマトペとの対応を定量的に関連付ける上では、第1モーラの音韻だけではなく、第2モーラの音韻についても考慮する必要があることを見出したといえる。第1モーラと第2モーラの対応については2章においても、各モーラで用いられる子音の傾向が異なることを示した。したがって、オノマトペを用いて他者に印象を伝達する際は、第1モーラ、第2モーラの子音と母音の対応について考慮することで、より明確に印象を共有し得ると考えられる。

なお、本節の実験は、3.3節の共起ネットワーク分析結果よりロータリースイッチの操作時に得られやすいオノマトペを把握することでTable 3-5に示すオノマトペを対象に実施した。しかし、実際にロータリースイッチの操作感覚をオノマトペによって他者と共有する場合Table 3-5に示すオノマトペのみが用いられるとは限らない。そのような新奇性の高いオノマトペに対しても、本実験の知見から得られた第1モーラの音韻と第2モーラの音韻の対応から、イメージに合致したクリックトルクの大きさを推測し得る可能性がある。このような点に関しては、今後実験的に検証していきたい。

以上より、本章ではロータリースイッチの操作感覚を疑似的に提示するシミュレータを用いることで、クリックトルクの大きさとオノマトペとの対応を定量的に把握した。本実験結果より、第1モーラと第2モーラの語を適切に組み合わせたオノマトペが、ロータリースイッチの定量的な操作感覚設計に活用し得ることを明らかにした。

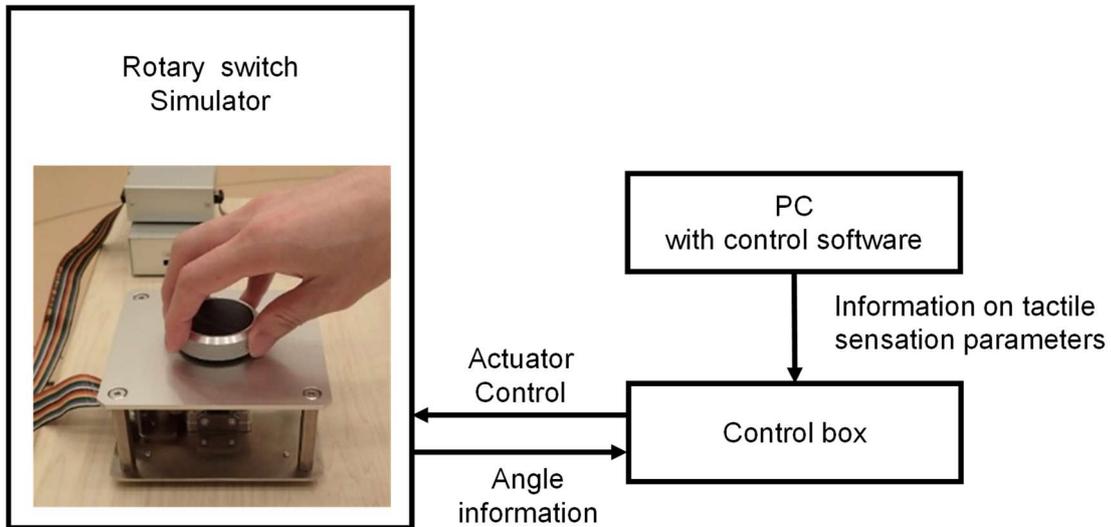
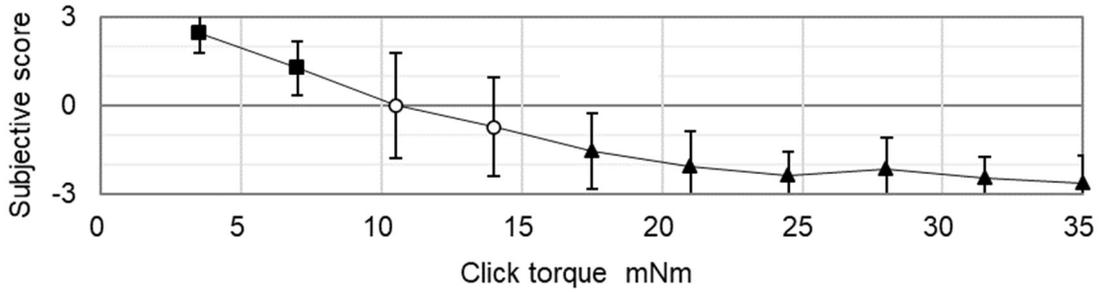


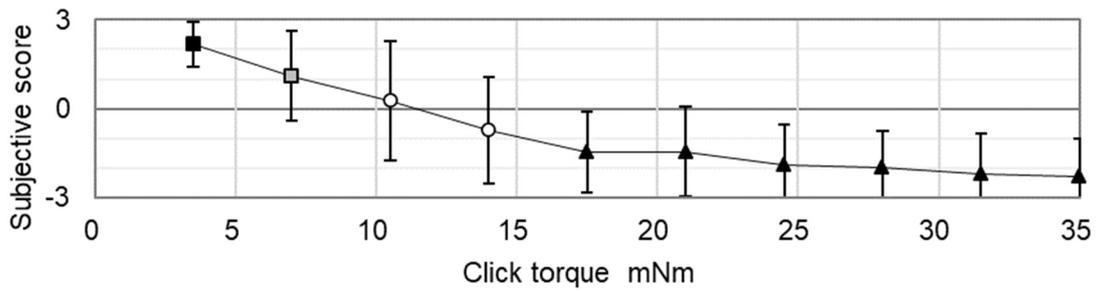
Fig. 3-8 Configuration of rotary switch simulator

Table 3-5 Onomatopoeias used in the experiment

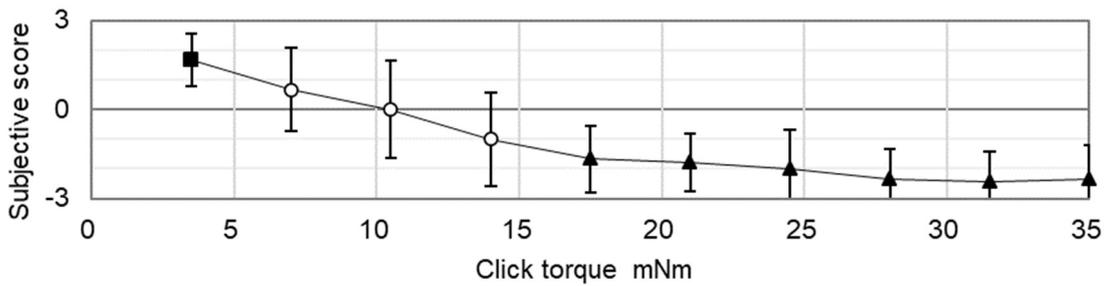
/suR/ (スー)	/suru-suru/ (スルスル)	/sara-sara/ (サラサラ)	/nuru-nuru/ (ヌルヌル)	/kuru-kuru/ (クルクル)
/kuQ-kuQ/ (クックッ)	/koro-koro/ (コロコロ)	/kata-kata/ (カタカタ)	/korikori/ (コリコリ)	/katji -katji / (カチカチ)
/guQ-guQ/ (グッグッ)	/gatji -gatji/ (ガチガチ)	/gori-gori/ (ゴリゴリ)		



(a) Subjective scores of /suR/ (n = 11)



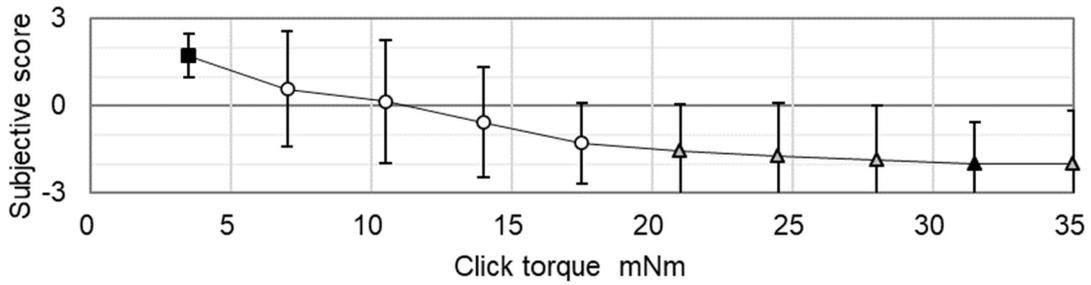
(b) Subjective scores of /suru-suru/ (n = 11)



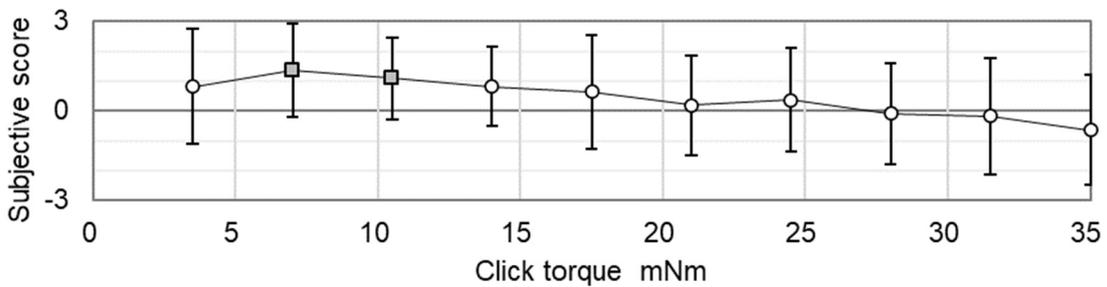
(c) Subjective scores of /sara-sara/ (n = 9)

Note. The value of n indicates the number of subjects for the calculation of averaged scores. The error bars indicate standard deviation.

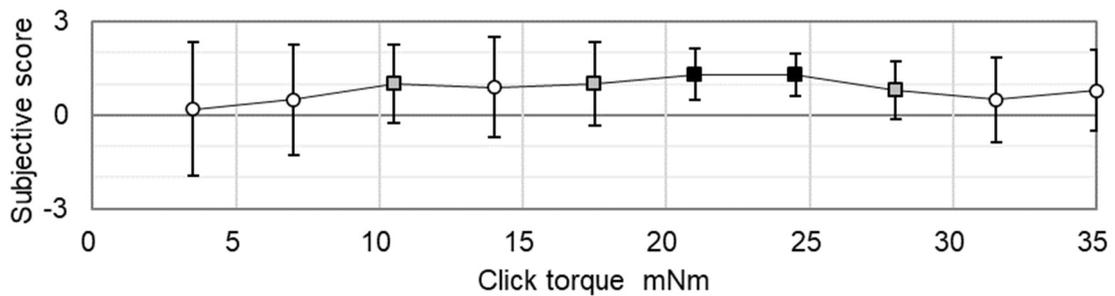
- : No significant difference from 0,
- : Significantly greater than 0 at the 5% level of significance,
- : Significantly greater than 0 at the 1% level of significance,
- ▲ : Significantly less than 0 at the 5% level of significance,
- ▲ : Significantly less than 0 at the 1% level of significance



(d) Subjective scores of /nuru-nuru/ (n = 7)



(e) Subjective scores of /kuru-kuru/ (n = 11)



(f) Subjective scores of /koro-koro/ (n = 10)

Note. The value of n indicates the number of subjects for the calculation of averaged scores.

The error bars indicate standard deviation.

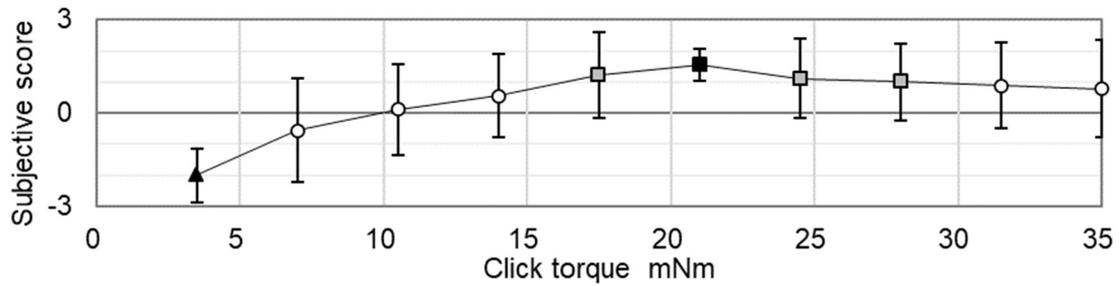
○ : No significant difference from 0,

■ : Significantly greater than 0 at the 5% level of significance,

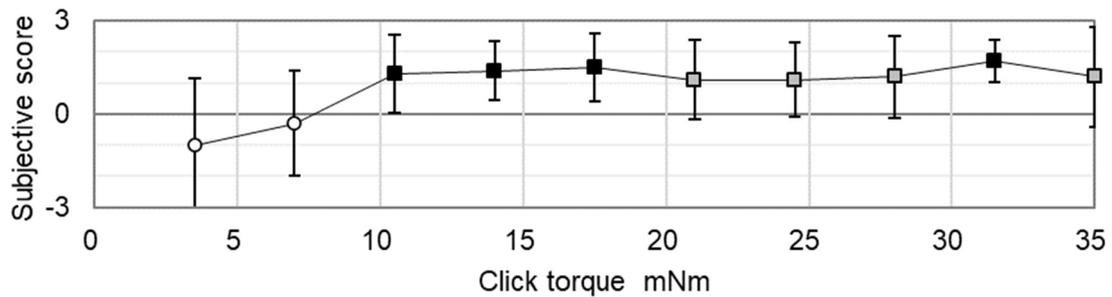
■ : Significantly greater than 0 at the 1% level of significance,

▲ : Significantly less than 0 at the 5% level of significance,

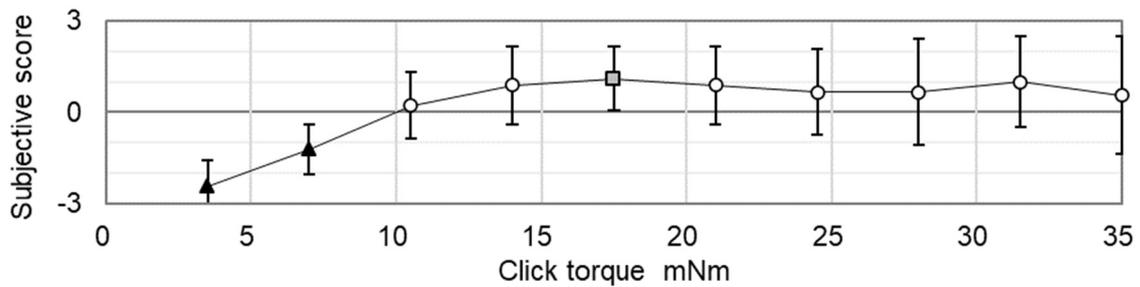
▲ : Significantly less than 0 at the 1% level of significance



(g) Subjective scores of /kata-kata/ (n = 9)



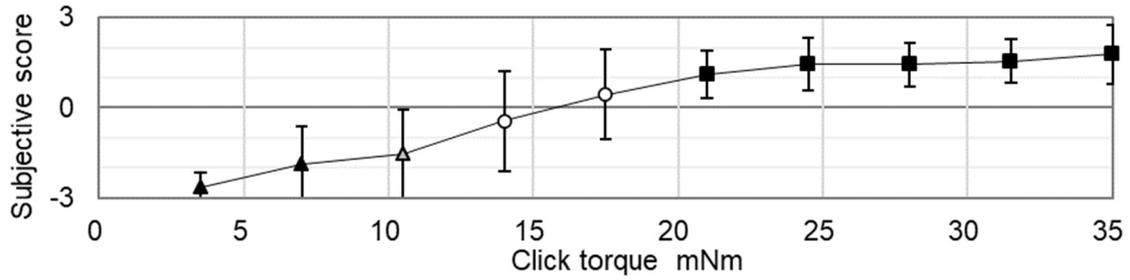
(h) Subjective scores of /kori-kori/ (n = 10)



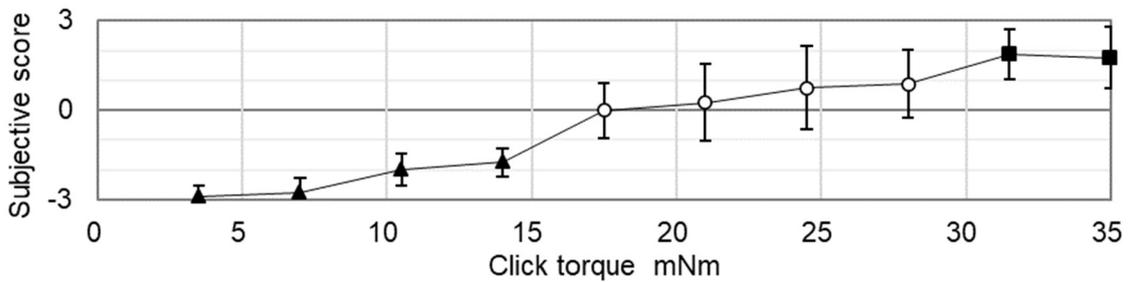
(i) Subjective scores of /katʃi-katʃi/ (n = 9)

Note. The value of n indicates the number of subjects for the calculation of averaged scores. The error bars indicate standard deviation.

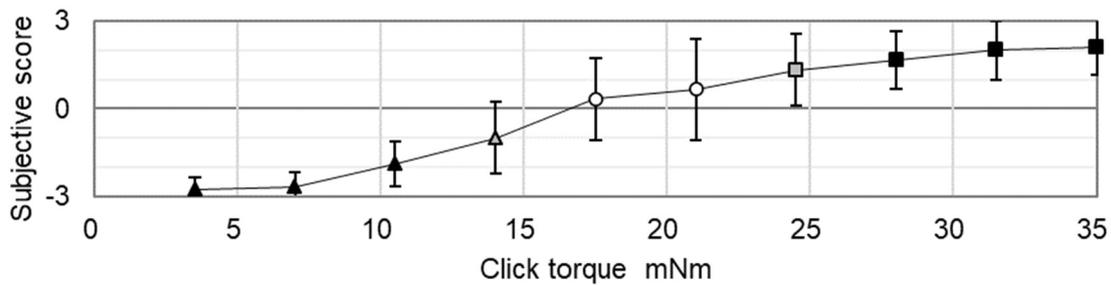
- : No significant difference from 0,
- : Significantly greater than 0 at the 5% level of significance,
- : Significantly greater than 0 at the 1% level of significance,
- ▲ : Significantly less than 0 at the 5% level of significance,
- ▲ : Significantly less than 0 at the 1% level of significance



(j) Subjective scores of /guQ-guQ/ (n = 9)



(k) Subjective scores of /gatʃi-gatʃi/ (n = 8)



(l) Subjective scores of /gori-gori/ (n = 9)

Note. The value of n indicates the number of subjects for the calculation of averaged scores. The error bars indicate standard deviation.

- : No significant difference from 0,
- : Significantly greater than 0 at the 5% level of significance,
- : Significantly greater than 0 at the 1% level of significance,
- ▲ : Significantly less than 0 at the 5% level of significance,
- ▲ : Significantly less than 0 at the 1% level of significance

Fig. 3-9 Correspondence between the subjective scores of onomatopoeias and click torques

Table 3-6 Correspondence between the onomatopoeias and click torques

Onomatopoeias	Corresponding range of click torques mNm										
	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5	21.0	24.5	28.0	31.5	35.0	
/suR/ (スー)	←→										
/suru-suru/ (スルスル)	←→										
/sara-sara/ (サラサラ)	←→										
/nuru-nuru/ (ヌルヌル)	←→										
/kuru-kuru/ (クルクル)		←→									
/koro-koro/ (コロコロ)			←→								
/kata-kata/ (カタカタ)				←→							
/kori-kori/ (コリコリ)			←→								
/katji-katji/ (カチカチ)				←→							
/guQ-guQ/ (グッグッ)						←→					
/gatji-gatji/ (ガチガチ)								←→			
/gori-gori/ (ゴリゴリ)						←→					

### 3.5 おわりに

本章では、触覚を対象として、ロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペについて検討した。

はじめに、ロータリースイッチの操作感覚に対してオノマトペによる自由回答評価実験を実施した。これにより、ロータリースイッチにおける触覚から得られる操作感覚の表現に適したオノマトペを把握するとともに、オノマトペを構成する音韻とロータリースイッチの物理量との対応について検討した。続いて、先の実験において高頻度で用いられたオノマトペを評価語に設定し、ロータリースイッチの操作感覚と評価語の適合度を評価する評点形式の実験を行うことで、オノマトペと物理量の対応の定量的な把握を試みた。本章で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) ロータリースイッチ操作時に触覚から得られる操作感覚を表すオノマトペの特徴として、「サラサラ」や「コリコリ」などの手触りの質感を表すオノマトペに加えて、「スルスル」や「コロコロ」等の回転動作に関連する表現が多く用いられることを見出した。
- (2) クリックトルクの大きさとオノマトペの対応について、オノマトペを構成する音韻の音象徴性によって Fig. 3-7 のように体系的に整理した。
- (3) オノマトペと対応するクリックトルクの範囲を定量的に把握し、Fig. 3-9 に示すように、感触表現を具体的な設計指針として明確に提示した。

以上より、本章ではロータリースイッチ操作時の触覚から得られる操作感覚を表すオノマトペについて、クリックトルクの大きさと対応を明らかにした。このことは、オノマトペの音象徴性を用いることで、操作感覚を定量的に表現し得る可能性を示唆する。ただし、本章ではスイッチの操作感覚に対して触覚が大きく寄与すると想定し、感触に関する物理量のみを対象とした。聴覚や視覚からの影響が無視できないことも報告されているため<sup>(43)(98)(100)(110)</sup>、これらの知覚の影響を考慮した上でオノマトペによる操作感覚設計の有効性について検討していくことが望まれる。特に、スイッチの操作音は操作者の嗜好に影響することが知られており、感性価値の高い操作感覚の設計を行う上で、操作音は重要な要素といえる。

そこで第4章では、ロータリースイッチ操作時に聴覚から得られる操作感覚を対象として、その操作感覚を表すオノマトペと物理量との対応から、オノマトペによる操作感覚設計の有効性について検討する。

## 第4章

# 聴覚から得られる操作感覚を表す オノマトペと物理量の関係

#### 4.1 はじめに

第3章では、ロータリースイッチ操作時の触覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討した。それにより、操作感覚を表すオノマトペは物理量の大きさに応じて変化し、その傾向がオノマトペの音象徴性によって整理できることを見出した。しかし、スイッチの操作感覚は触覚だけでなく、聴覚からも影響を受けることが知られる<sup>(43)(86)(111)(112)</sup>。そのため、スイッチの操作感覚を表すオノマトペにおいても、聴覚が影響する可能性がある。

そこで本章では、ロータリースイッチ操作時に聴覚から得られる操作感覚を表すオノマトペについて、操作音を構成する物理量との対応から検討する。以下、4.2節ではロータリースイッチの操作音を構成する物理量について関連する先行研究から説明し、本章で対象とする物理量を示す。次に、4.3節では、音の大きさの異なる操作音を対象として、オノマトペによる自由回答評価実験を実施する。これにより、オノマトペを構成する音韻と音の大きさの対応について検討する。続いて4.4節では、音の甲高さの異なる操作音を対象として、オノマトペによる自由回答評価実験を実施する。ここでは、音の甲高さを表す心理音響評価量であるシャープネスを指標として、オノマトペを構成する音韻との対応について検討する。なお、4.3節および4.4節では、オノマトペによる自由回答評価実験と合わせてSD法による形容詞対を用いた評点形式の実験を行い、オノマトペの有する意味的な側面の解釈を試みる。4.5節では、本章の総括および展望について述べる。

#### 4.2 聴覚から得られる操作感覚に影響する物理量

ロータリースイッチ操作音の一例をFig. 4-1に示す。ロータリースイッチの操作音は共通して次の特徴を有する。

- ① スイッチの回転開始直後は速度が速く、後半は速度が遅くなる。
- ② 回転開始直後は音圧振幅が大きく徐々に小さくなる。
- ③ ロータリースイッチの機構上、スイッチの回路切り替えの際に発生する音（以下、クリック音）と、構成部品同士の摩擦によって発生する音（以下、摺動音）の2種類の音を含む。

先行研究では、これらの特徴を考慮した操作音を用いて、その音質が操作感覚に与える影響についてSD法の印象評価実験によって検討している<sup>(43)</sup>。これより、Fig. 4-2に示すように、摺動音の有無が明瞭感に影響を与えることが見出されている。また、操作音の音の大きさにより印象が変化し<sup>(43)</sup>、適切な音の大きさの範囲があることも示唆されている<sup>(113)</sup>。さらに、音の甲高さを表す心理音響評価量であるシャープネスが低い操作音ほど、重厚感（Fig. 4-3）や快適感（Fig. 4-4）が高くなることが示されている<sup>(43)</sup>。ロータリースイッチの操作音に関する他の研究においても、低い周波数成分を持つ操作音が好まれるといった同様の傾向が報告されており<sup>(113)</sup>、操作音の甲高さに関する音質が操作感覚に影響

することがわかっている。以上の知見から、ロータリースイッチ操作時の操作音を表すオノマトペにおいても、これらの物理量が影響する可能性が考えられる。

そこで本研究では、クリック音と摺動音から構成されるロータリースイッチ操作音に対して、音の大きさおよび甲高さが、その音質を表すオノマトペに与える影響について検討する。

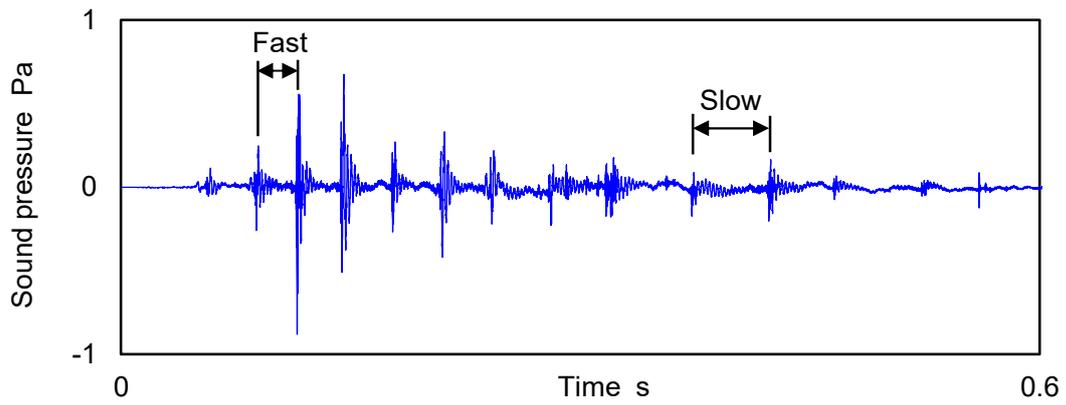


Fig. 4-1 Waveform of the recorded operating sound

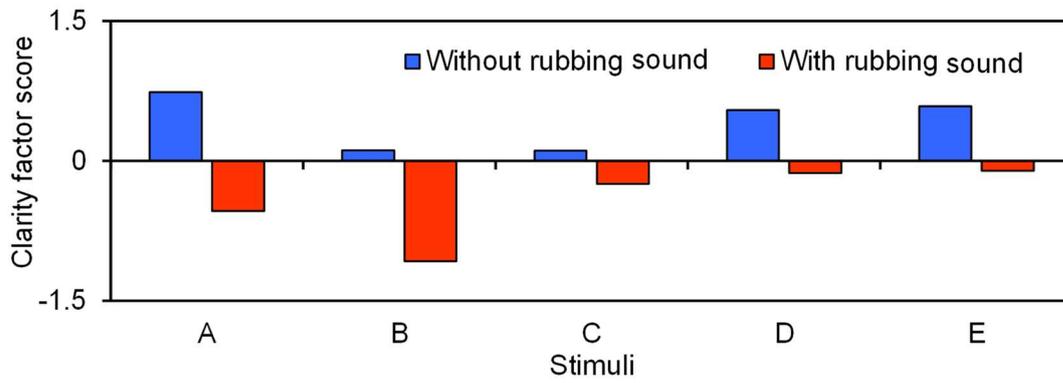


Fig. 4-2 Clarity factor scores of the operating sounds

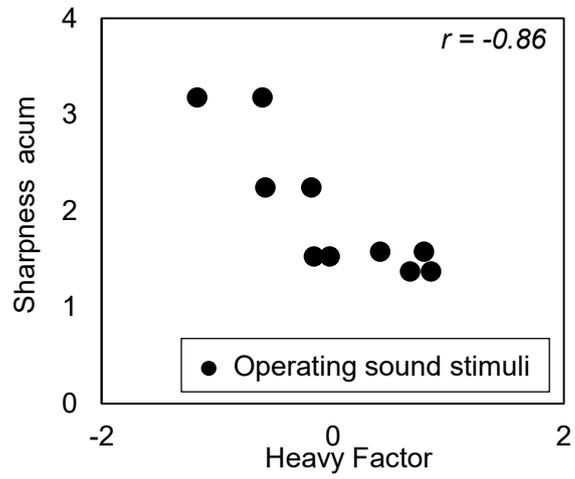


Fig. 4-3 Correlation results of heavy factor and sharpness values

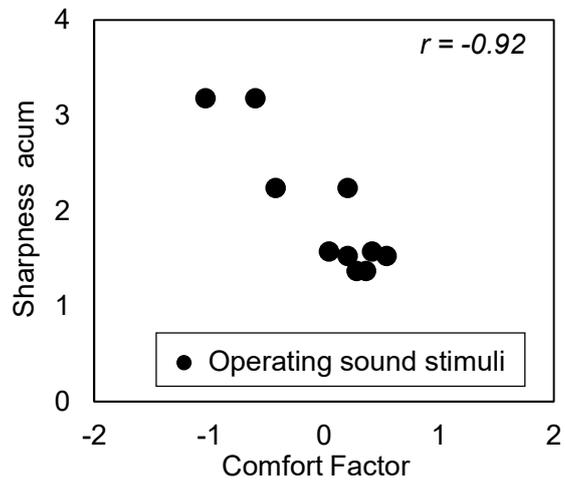


Fig. 4-4 Correlation results of comfort factor and sharpness values

### 4.3 音の大きさを表すオノマトペの特徴の把握

本節ではロータリースイッチの操作音における聴覚から得られる操作感覚に影響する物理量のうち、音の大きさとオノマトペとの対応を把握する。ここでは、ロータリースイッチの収録音から作成した音量の異なる操作音を用いて印象評価実験を実施する。

#### 4.3.1 音の大きさを表すオノマトペに関する実験方法

##### 4.3.1.1 実験に用いた刺激

実験用の試料として、クリック数30回/360°のロータリースイッチ1種類の操作音を無響室内で収録した。Fig. 4-5に示すように、スイッチのノブから20mm離れた位置にマイククロホン（ブリュエル・ケア社製、4189-A-021）を設置し、ノブを指で回した際に生じる操作音を収録した。

収録した操作音より、クリック音部分および摺動音部分をそれぞれ1箇所ずつ切り出し、これらを組み合わせることで、Fig. 4-6(b)に示す操作音を作成した。さらに、この操作音をFig. 4-6(a)に示すように、1秒間に15個配置することで実験用刺激を作成した。これは、クリック数30回/360°のロータリースイッチを1秒間に180°させたときの操作音に相当する。Fig. 4-1で示したように、指先でロータリースイッチを操作した際に生じる操作音を収録する過程において、回し始めは素早く回し、その後徐々にゆっくり回していく傾向が確認された。そこで、これらの動作を模擬することを目的として、回転速度が指数関数的に変化するよう、15個の操作音を式(4-1)に示す間隔で配置した。

$$t = 0.183e^{0.113n} \quad (4-1)$$

ここで、

$t$ :  $n$  番目の操作音を配置した時間(s)

実験には上述した条件で作成した操作音を、A特性時間平均音圧レベル  $L_{Aeq} = 40, 45, 50, 55, 60, 65$  dBの音量に設定した6種類の刺激を使用した。このうち、45 dBの刺激の周波数特性をFig. 4-7に示す。

##### 4.3.1.2 実験手順

実験は静穏な無響内もしくは会議室にて、ヘッドホン（STAX社製SRM-353）から再生した操作音から連想されるオノマトペについて、自由回答による評価を行った。また、オノマトペと形容詞の対応を把握するため、オノマトペによる評価実験と合わせてSD法による評価実験を実施した。被験者はTable 4-1に示す15組の形容詞対を用いて、評価刺激（40, 50, 55, 60, 65dBの操作音）から得られる操作感覚を、基準刺激（45dBの操作音）に対する相対評価として7段階で評価した。実験時の様子をFig. 4-8に示す。被験者は20代～60代の26名（男性：19名、女性：7名、20代：12名、30代：4名、40代：3名、

50代：2名，60代：5名）である。

#### 4.3.1.3 分析方法

自由回答により得られたオノマトペを定量的に分析するため，計量テキスト分析を実施した。まず，オノマトペをモーラ文節に分解した。次に，以下に示す方法で分析対象とする語を選定した。

- ① 被験者から得られたオノマトペのうち，最初の3モーラを分析対象とした。
- ② ①の例外として，第3モーラの語が第1モーラ，第2モーラと同じ語の場合は，分析から除外した。また，日本語の特殊モーラ（長音「ー」，促音「ッ」）は解析の対象外とした。

ここで，各オノマトペのうち最初の2モーラ（特殊モーラを含む場合は3モーラ）を分析対象とした理由を以下に示す。

- ・ 被験者から得られたオノマトペの多く（全回答の92%）は4モーラ以上の語から構成されていた。
- ・ さらに，第4モーラ以降の語の多くは，第1モーラ～第3モーラに含まれる語の繰り返しであった（例：「ブチリリ（/bu-tʃi-ri-ri/）」，「カチカチ（/ka-tʃi-ka-tʃi/）」）。

したがって，最初の2モーラを分析対象とすることで被験者から得られた語の大半を網羅し得ると考えた。分析対象の語を用い，以下の分析を行った。

- ① 頻出語分析：分析対象の語のうち，出現頻度の高い語を抽出することで，ロータリースイッチの操作音から連想されやすい語を把握する。
- ② 対応分析：操作音の音量の大きさに応じて，用いられるオノマトペの音韻の特徴を把握するため，「語」と「実験に用いた刺激」条件の同時布置による対応分析を行った。

また，SD法実験結果に対しては，主因子法およびバリマックス回転による因子分析を行った。

### 4.3.2 音の大きさを表すオノマトペに関する実験結果

#### 4.3.2.1 頻出語分析

6種類の ( $L_{Aeq} = 40, 45, 50, 55, 60, 65$  dB) の操作音に対して，重複を含め合計321語が得られた。このうち，10回以上出現した語を Table 4-2 に示す。母音に着目すると，「ガ (/ga/)」以外の語はすべて母音/u/または母音/i/を含んでいた。また，子音に関しては，「ギ (/gi/)」，「ブ (/bu/)」，「ズ (/dzu/)」などの濁音を含む語が多く用いられていた。

#### 4.3.2.2 対応分析

Fig. 4-9 に，被験者に10回以上用いられた語を対象とした対応分析結果を示す。また，対応分析結果のうち，「実験に用いた刺激」条件の成分得点に対して，ワード法による階層型クラスター分析を実施した結果を Fig. 4-10 に示す。ここでは，後述する「語」の

条件の解釈の容易性を考慮して、以下の2つのクラスターで分類した。

クラスター1：40～55 dB の操作音を含む

クラスター2：60, 65 dB の操作音を含む

Fig. 4-9 には、それぞれのクラスターに属する刺激条件を円で囲い、クラスターの対応を示している。音の大きさごとにクラスターが構成されていることから、操作音の音の大きさによって被験者の回答したオノマトペが異なっていたことがわかる。「実験に用いた刺激」条件の布置する位置に着目すると、音量の小さい操作音（40, 45, 50dB）は成分1の負の方向に、音量の大きい操作音は（55, 60, 65dB）は成分1の正の方向に布置している。さらに、成分1における「実験に用いた刺激」の成分得点とA特性時間平均音圧レベル  $L_{Aeq}$  の相関分析において、Fig. 4-11 に示すように高い相関が確認された ( $r=0.96$ )。カテゴリデータである「実験に用いた刺激」条件と物理量としての  $L_{Aeq}$  が高い相関関係にあることから、成分1は操作音の音量と関連の深い軸と解釈できる。そのため、 $L_{Aeq}$  の小さい条件が布置する成分1の負の方向には音量の小さい条件の特徴的な語、 $L_{Aeq}$  の大きい条件が布置する成分1の正の方向には、音量の大きい条件の特徴的な語が布置していると考えられる。

続いて、「語」の条件に着目する。Fig. 4-9 において、成分1の負の方向には「ズ (/dzu/)」、「プ (/pu/)」、「ル (/ru/)」などの母音/u/を含む語が多く布置している。このことから、音量の小さい条件では母音/u/が用いられる傾向にあると推察される。そこで、「実験に用いた刺激」条件と母音/u/の出現頻度に対してクロス集計した後、 $\chi^2$ 検定を行ったところ、有意差は確認されなかった ( $\chi^2(5) = 3.54, p > .05$ )。ただし、Fig. 4-12(a) に図示する「実験に用いた刺激」と子音/b/、子音/g/および子音/d/を含む語を除く母音/u/の出現頻度におけるクロス集計結果に対して  $\chi^2$  検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(5) = 11.72, p < .05$ )。これらの結果から、子音との組み合わせにもよるが、母音/u/を含む語が音量の小さい条件で用いられる傾向にあった。

次に、Fig. 4-9の成分1の正の方向には「ギ (/gi/)」、「ガ (/ga/)」、「ブ (/bu/)」などの濁音を含む語は正の方向に多く布置している。したがって、音量の大きい条件では濁音を含む語が用いられる傾向にあると考えられる。そこで、Fig. 4-12(b)に図示する「実験に用いた刺激」条件と濁音の出現頻度のクロス集計結果に対して  $\chi^2$ 検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(5) = 31.69, p < .01$ )。このことから、濁音を含む語が音量の大きい条件で用いられる傾向にあったことがわかる。特に、Fig. 4-12(b)より、65 dB 条件では全体の90%以上の回答に濁音が含まれており、音量の大きい操作音を表すオノマトペには高頻度で濁音が含まれていた。

#### 4.3.2.3 因子分析によるオノマトペと形容詞の対応

SD法実験結果に対する因子分析により、Table 5-4 に示す3つの因子が得られた。この

うち、最も因子寄与率の高い第1因子は「重い - 軽い」「鈍重な - 軽快な」「硬い - 柔らかい」などの形容詞対に高い因子負荷があった。ここで、第1因子の刺激ごとの因子得点と、Fig. 4-9の対応分析における第1成分の刺激ごとの成分得点の相関分析結果をFig. 4-13に示す。両者は相関係数 $r=0.84$ であり、高い相関関係にあった。

#### 4.3.3 音の大きさを表すオノマトペに関する考察

本節では、音の大きさの異なるロータリースイッチの操作音を対象に、オノマトペによる自由回答評価実験を実施した<sup>(114)</sup>。これより、音量が小さい条件では母音/u/を含む語の使用頻度が高く、音量が大きい条件では濁音を含む語の使用頻度が高くなる傾向にあった。濁音は音象徴性に関連した多くの研究において、大きい、重い等の印象と対応することが知られており<sup>(37)(80)(106)(55)(107)</sup>、本実験結果とも対応する。したがって、操作音のオノマトペによる表現は、その音量に応じた音象徴性を反映していたと考えられる。また、刺激の強度が小さい条件で母音/u/、大きい条件で濁音が用いられる傾向は、第3章の感触を対象とした場合とも類似している。これらの結果から、大きさを表す音象徴性は、触覚や聴覚のモダリティによらず共通した傾向にあると考えられる。

また、SD法実験における因子分析結果から、「重い - 軽い」「鈍重な - 軽快な」「硬い - 柔らかい」などの形容詞対に高い因子負荷のある第1因子の刺激の因子得点は、Fig. 4-9の対応分析における第1成分の刺激の成分得点と高い相関関係にあった。対応分析の第1成分は、負の方向に母音/u/を含む語、正の方向に濁音を含む語が特徴的に見られていたことから、母音/u/を含むオノマトペで表現された操作音は、被験者に「軽い」「軽快な」「柔らかい」といった操作感覚を与えていた可能性がある。同様に、濁音を含むオノマトペで表現された操作音は「重い」「鈍重な」「硬い」といった操作感覚を与えていた可能性がある。このようなオノマトペと形容詞の関係は、オノマトペの音象徴性に関する先行研究とも対応しており<sup>(37)(80)(106)(55)(107)</sup>、妥当な結果といえる。

以上より、本節ではロータリースイッチの操作音から連想されるオノマトペの特徴を音の大きさとの対応から見出した。さらに、SD法による実験との対応から、操作音から連想される形容詞とオノマトペとの対応を把握した。本実験結果から得られた音の大きさを表すオノマトペの音韻および形容詞の対応をFig. 4-14に整理する。これまで明確でなかった音の大きさとオノマトペの対応を把握したことで、操作音の音質設計に有効な知見が得られた。

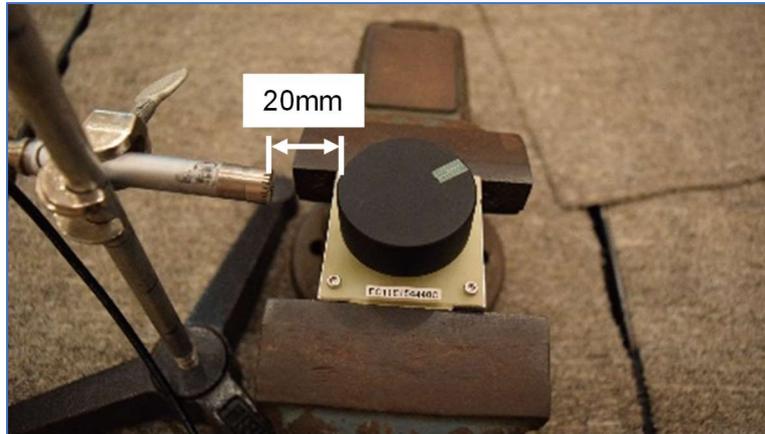


Fig. 4-5 Recording setup

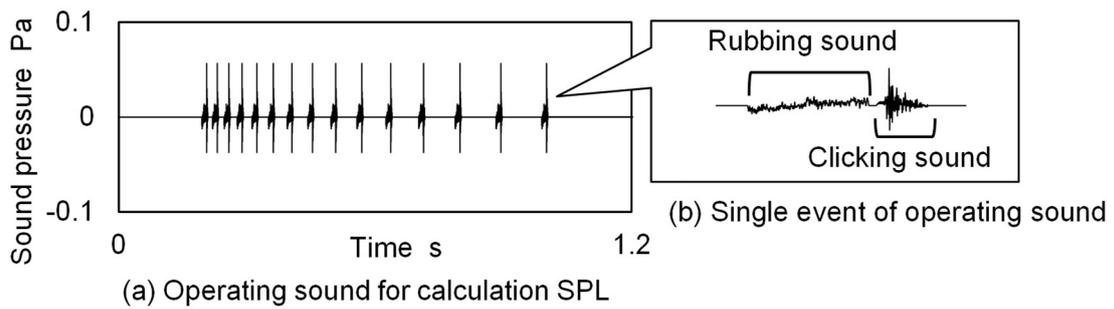


Fig. 4-6 Waveform of the operating sound used in the experiment

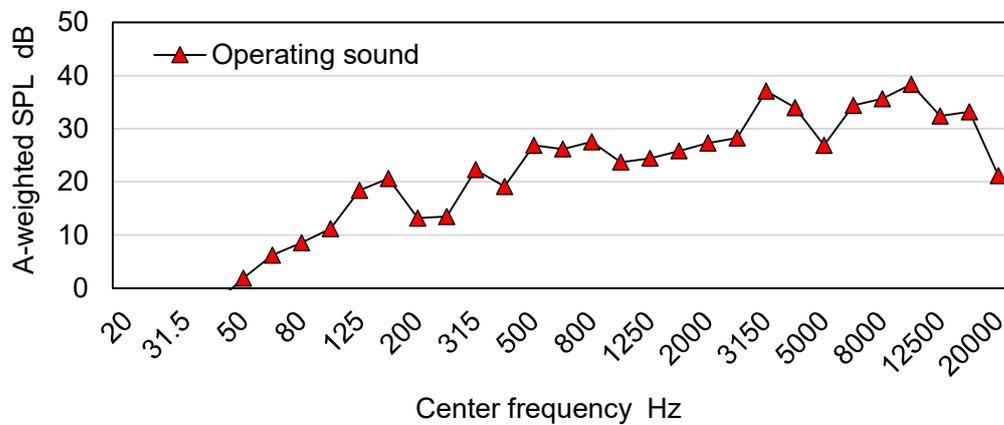


Fig. 4-7 1/3 octave band SPL of the operating sounds



Fig. 4-8 Actual experiment condition

Table 4-1 Adjective pairs for SD evaluations

Adjective pairs (in Japanese)		
Deep (野太い)	-	Shrill (甲高い)
Heavy (鈍重な)	-	Light (軽快な)
Thick (重い)	-	Thin (軽い)
Muffled (こもった)	-	Vivid (すっきりした)
Dull (鈍い)	-	Sharp (鋭い)
Vague (曖昧な)	-	Clear (明快な)
Desirable (好ましい)	-	Undesirable (好ましくない)
Comfortable (快適である)	-	Uncomfortable (快適でない)
Pleasant (心地よい)	-	Unpleasant (心地悪い)
Luxury (高級感のある)	-	Tinny (高級感のない)
Hard (硬い)	-	Soft (柔らかい)
Loud (騒々しい)	-	Quiet (静かな)
Obvious (はっきりとした)	-	Fuzzy (ぼやけた)
Oppressive (決定感のある)	-	Non-oppressive (決定感のない)
Smooth (滑らかな)	-	Rough (粗い)

Table 4-2 Word frequency analysis results

Words	Number of occurrences	Example answers of onomatopoeia
/ri/ (リ)	34	/bu-ri-ri-ri/, /gi-ri-gi-ri/, /go-ri-go-ri/
/ru/ (ル)	32	/pu-ru-ru-ru/, /tu-ru-ru-ru/, /su-ru-su-ru/
/gi/ (ギ)	31	/gi-gi-gi-gi/, /pi-gi-gi-gi-gi/, /ki-ri-gi-gi-gi/
/bu/ (ブ)	19	/bu-ru-bu-ru/, /bu-ri-ri-ri/, /du-bu-bu-bu/
/dzu/ (ズ)	18	/dzu-dzu-dzu-dzu/, /dzu-ru-dzu-ru/, /du-dzu-du-dzu-dzu/
/ɕi/ (ジ)	15	/ɕi-ɕi-ɕi/, /ɕi-ri-ɕi-ri/, /ɕi-ri-ri-ri/
/ki/ (キ)	14	/ki-ki-ki-ki/, /ki-ri-gi-gi-gi-gi-gi/, /bu-ki-tʃa-bu-ki-tʃa-bu-ki-tʃa/
/tsu/ (ツ)	13	/tsu-tsu-tsu-tsu/, /tsu-ru-ru-ru/, /pu-tsu-pu-tsu/
/tʃi/ (チ)	12	/tʃi-ri-tʃi-ri/, /ka-tʃi-ka-tʃi/, /ki-tʃi-ri-ki-tʃi-ri/
/pu/ (プ)	12	/pu-ru-ru-ru/, /pu-tsu-pu-tsu/, /pu-tʃi-pu-tʃi/
/ga/ (ガ)	11	/ga-ri-ga-ri/, /ga-ra-ga-ra/, /ga-gi-gi-gi/

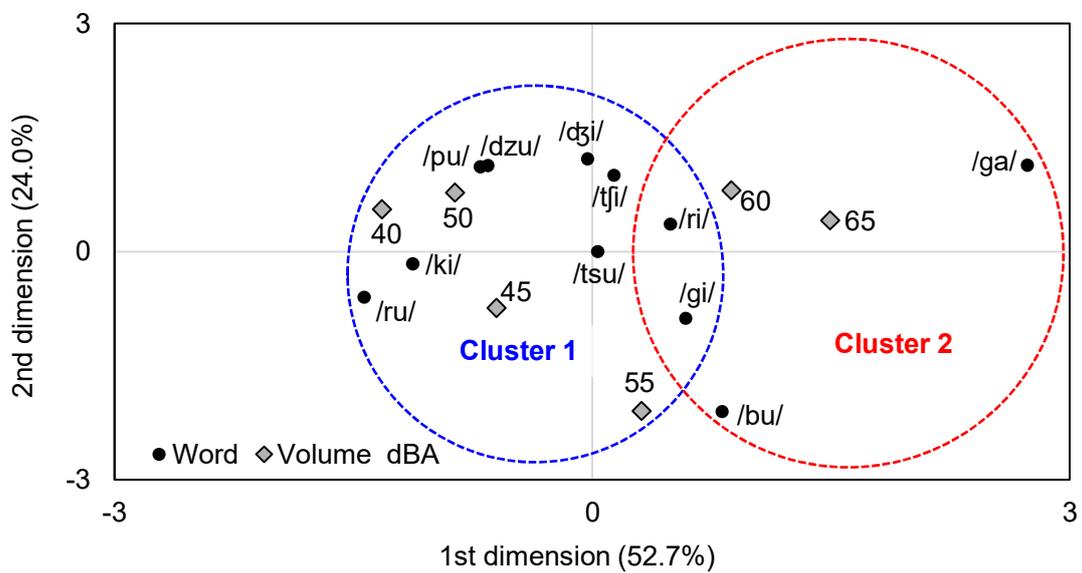


Fig. 4-9 Correspondence analysis results

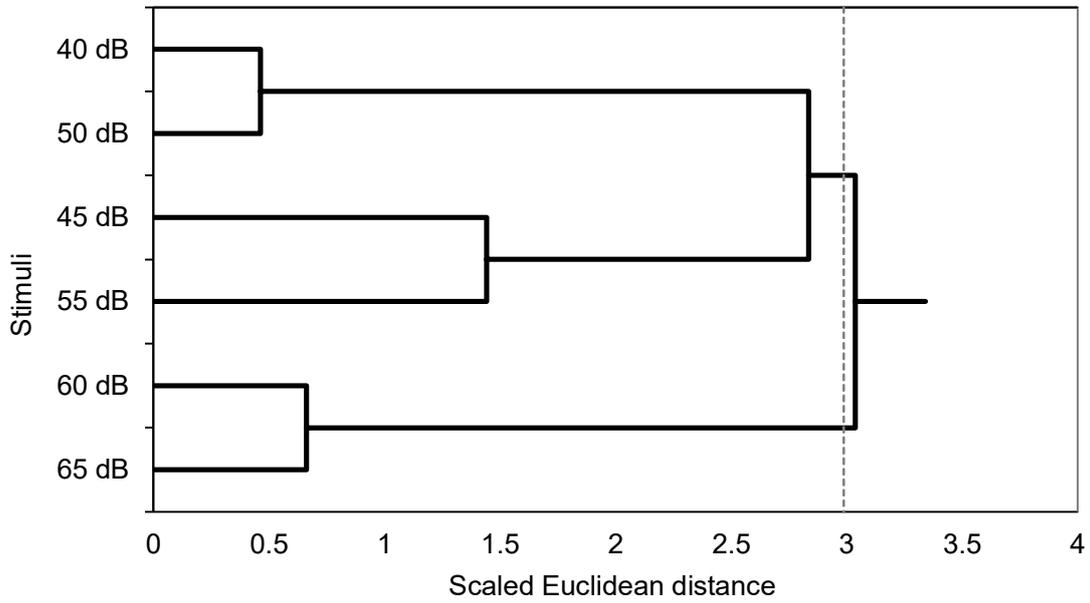


Fig. 4-10 Cluster analysis results

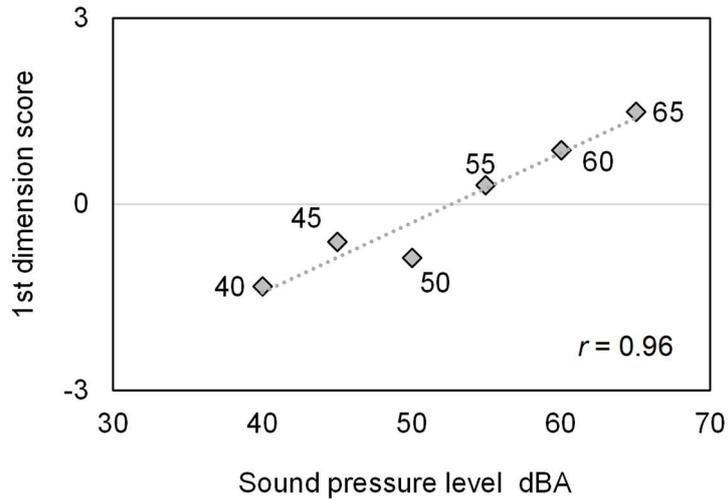
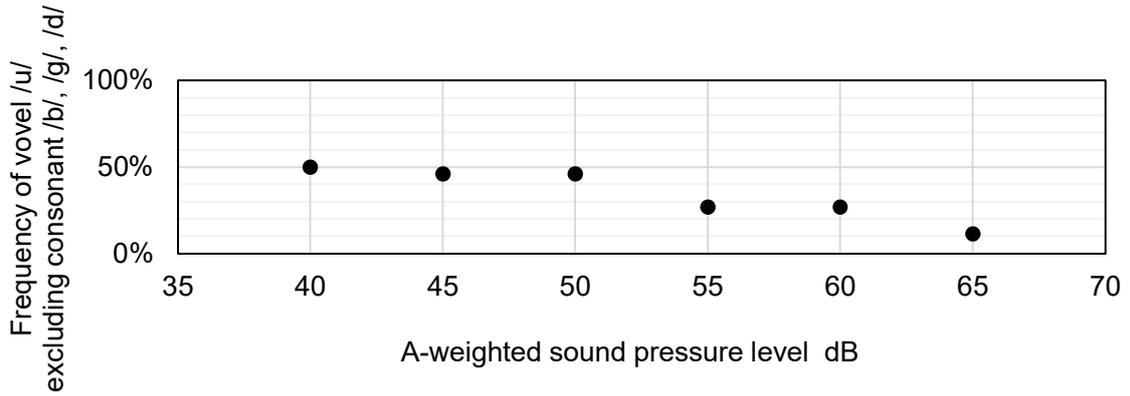
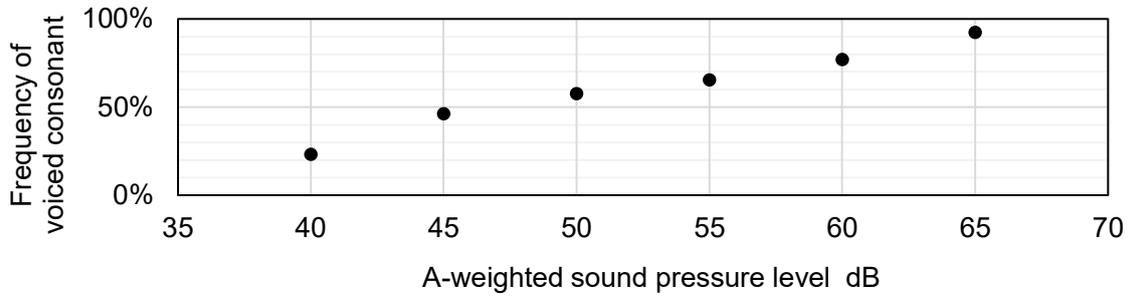


Fig. 4-11 Correlation between SPL and the first-dimension score in correspondence analysis



(a) Vowel /u/ excluding consonant /b/, /g/, /d/



(b) Voiced consonant

Fig. 4-12 Correspondence between SPL and frequency of onomatopoeias

Table 4-3 Results of factor analysis

(+ Adjective (-)		1st factor	2nd factor	3rd factor	
Thick (重い)	-	Thin (軽い)	<b>0.90</b>	-0.06	0.01
Heavy (鈍重な)	-	Light (軽快な)	<b>0.80</b>	-0.04	-0.27
Hard (硬い)	-	Soft (柔らかい)	<b>0.79</b>	-0.27	0.28
Loud (騒々しい)	-	Quiet (静かな)	<b>0.67</b>	-0.42	0.35
Rough (粗い)	-	Smooth (滑らかな)	<b>0.65</b>	-0.36	0.10
Oppressive (決定感のある)	-	Non-oppressive (決定感のない)	<b>0.59</b>	-0.01	0.31
Desirable (好ましい)	-	Undesirable (好ましくない)	-0.16	<b>0.90</b>	0.10
Pleasant (心地よい)	-	Unpleasant (心地悪い)	-0.27	<b>0.84</b>	0.04
Comfortable (快適である)	-	Uncomfortable (快適でない)	-0.16	<b>0.82</b>	0.17
Luxury (高級感のある)	-	Tinny (高級感のない)	0.02	<b>0.73</b>	0.03
Clear (明快な)	-	Vague (曖昧な)	0.33	0.07	<b>0.75</b>
Vivid (はっきりとした)	-	Muffled (ぼやけた)	0.07	0.17	<b>0.68</b>
Obvious (はっきりとした)	-	Fuzzy (ぼやけた)	<b>0.52</b>	-0.10	<b>0.67</b>
Sharp (鋭い)	-	Dull (鈍い)	-0.04	0.03	<b>0.65</b>
Shrill (甲高い)	-	Deep (野太い)	-0.45	0.13	<b>0.54</b>
Contribution ratio (%)		26.7	21.1	17.4	
Cumulative contribution ratio (%)		26.7	47.9	65.2	

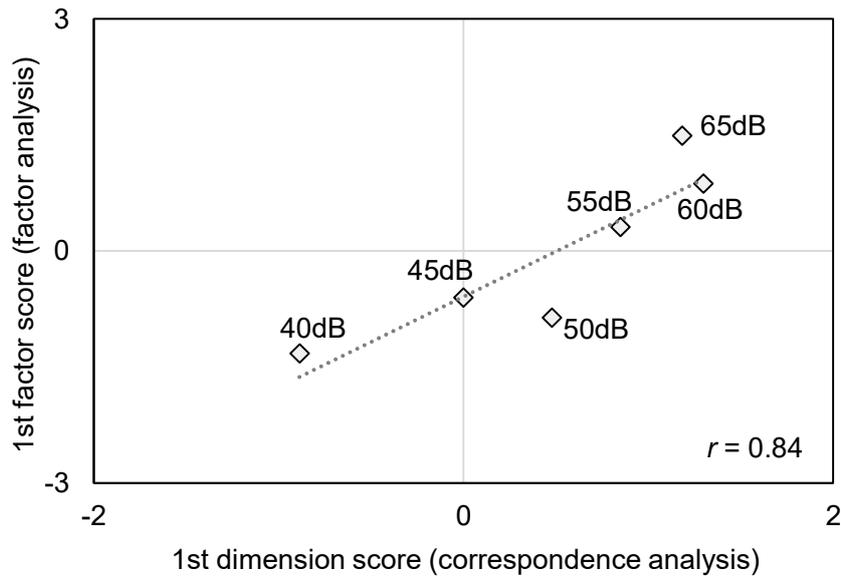


Fig. 4-13 Correlation results between correspondence analysis and factor analysis



Fig. 4-14 Relationship between onomatopoeias and adjectives for sound volume

#### 4.4 音の甲高さを表すオノマトペの特徴の把握

本節ではロータリースイッチの聴覚から得られる操作感覚に影響する物理量のうち、心理音響評価量の一つであるシャープネスを指標とした甲高さとオノマトペの対応を把握する。ここではロータリースイッチ 3 種類の収録音を対象に、クリック音と摺動音を異なる組み合わせで作成した操作音に対して印象評価実験を実施する。

##### 4.4.1 音の甲高さを表すオノマトペに関する実験方法

###### 4.4.1.1 実験に用いた刺激

Fig. 4-5 と同様の条件で 3 種類の市販のロータリースイッチ (No.1, No.2, No.3) の操作音を収録した。これらの収録音より、それぞれクリック音 ( $c_1, c_2, c_3$ ) および摺動音 ( $r_1, r_2, r_3$ ) を 1 箇所ずつ切り出した。なお、No.1 ( $c_1, r_1$ ) は 4.3 節で用いた操作音と同一である。聴感としては、No.1 のロータリースイッチの操作音 ( $c_1, r_1$ ) が最も甲高く、No.3 のロータリースイッチの操作音 ( $c_3, r_3$ ) が最も低い音の印象を抱く。これらの操作音を Table 4-4 の構成で組み合わせた上で、4.3 節で用いた式(4-1)に適用し、1 秒間に 15 個配置することで実験用の操作音を作成した。Fig. 4-15(a)~(c)に実験に使用したクリック音および摺動音の 1/3 オクターブバンド分析結果を示す。なお、各音圧レベルは 15 個の操作音の時間平均値から算出した。

Table 4-4 に示す操作音のうち、操作音 A~I はクリック音の音量を A 特性時間平均音圧レベル ( $L_{Aeq}$ ) = 43.2 dB、摺動音の音量を  $L_{Aeq}$  = 40.3 dB に固定したクリック音と摺動音の組み合わせから構成される。また、操作音 J および操作音 K は、クリック音  $c_1$  および摺動音  $r_1$  の組み合わせにおいて音量バランスを変更し、クリック音を強調した操作音 J および摺動音を強調した操作音 K として作成した。また、操作音 L は摺動音を含まないクリック音のみで構成される。Table 4-4 には各刺激の音量に加えて、甲高さを表す心理音響評価量であるシャープネスを記載している。シャープネスの算出方法は各種存在するが、ここでは、DIN 45692 で算出した値を示す。

###### 4.4.1.2 実験手順

実験環境および実験手順は 4.3.1.2 と同様であり、オノマトペによる自由回答評価実験および SD 法実験を実施した。SD 法実験は基準刺激 (操作音 A) に対する相対評価として実施した。被験者は 20 代~60 代の 26 名 (男性: 19 名, 女性: 7 名, 20 代: 12 名, 30 代: 4 名, 40 代: 3 名, 50 代: 2 名, 60 代: 5 名) である。

###### 4.4.1.3 分析方法

分析手順は 4.3.1.3 と同様であり、被験者から得られたオノマトペに対しては計量テキスト分析、SD 法実験結果に対しては因子分析を実施した。

#### 4.4.2 音の甲高さを表すオノマトペに関する実験結果

##### 4.4.2.1 頻出語分析

Table 4-4 に示した 12 種類の刺激に対して、合計 642 語が抽出された。このうち、10 回以上出現した語を Table 4-5 に示す。結果から、「ル (ru)」や「プ (pu)」などの母音/u/を含む語や、「ギ (/gi/)」や「チ (/tʃi/)」などの母音/i/を含む語が多く含まれており、4.3 節の実験と同様の傾向が確認された。ただし、「コ (ko)」「ト(to)」などの母音/o/を含む語も多く含まれており、4.3 節の実験結果とは異なる傾向も確認された。

##### 4.4.2.2 対応分析

Fig. 4-16 に、10 回以上出現した語を対象とした対応分析結果を示す。また、対応分析結果のうち、「実験に用いた刺激」条件の成分得点に対して、ウォード法による階層型クラスター分析を実施した結果を Fig. 4-17 に示す。ここでは、後述する「語」の条件の解釈の容易性を考慮して、以下の 2 つのクラスターで分類した。

クラスター1：操作音 A, B, D, J, K, L

クラスター2：操作音 C, E, F, G, H, I

Fig. 4-16 には、それぞれのクラスターに属する刺激条件を円で囲うことで、クラスターの対応を示している。

クラスター分析の結果の解釈を行うため、はじめに「実験に用いた刺激」条件に着目すると、クラスター1に属する操作音は成分1の負の方向に、また、クラスター2に属する操作音は成分1の正の方向に布置していることが確認できる。Table 4-4 との対応から、クラスター1には 2.2~3.7 acum のシャープネスが高い操作音が多く含まれており、それに対してクラスター2には、操作音 E を除いて 1.6~2.1 acum のシャープネスが低い操作音が含まれることから、操作音のシャープネスの大きさによって被験者の回答したオノマトペが異なっていたと考えられる。さらに、Fig. 4-18 に示すように、成分1の「実験に用いた刺激」の成分得点とシャープネスの大きさは高い相関関係にあった ( $r = -0.92$ )。したがって、成分1はシャープネスの大きさとの関係の深い軸であると解釈でき、操作音のシャープネスが高い条件が布置する成分1の負の方向にはシャープネスの高い条件の特徴的な語、操作音のシャープネスが低い条件が布置する成分1の正の方向には、シャープネスの低い条件の特徴的な語が布置していると考えられる。

次に、「語」の条件に着目する。Fig. 4-16 より、成分1の負の方向には「チ (/tʃi/)」、 「キ (/ki/)」、ジ (/dʒi/) などの母音/i/を含む語が多く布置している。このことから、シャープネスの高い刺激には母音/i/を含む語が多く用いられる可能性が示された。そこで、「実験に用いた刺激」条件と母音/i/の出現頻度のクロス集計結果に対して  $\chi^2$  検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(11) = 38.26, p < .01$ )。このことから、母音/i/は操作

音の音質によって用いられる頻度が異なっていたといえる。さらに、各操作音のシャープネスと母音/i/の出現頻度を示す Fig. 4-19(a)より、シャープネスが高い操作音ほど母音/i/の出現頻度が高い傾向（相関係数  $r = 0.87$ ）にある。これらの結果から、シャープネスの高い音質の操作音を表すオノマトペには、母音/i/を含む語が用いられる傾向にあったと考えられる。

また、Fig. 4-16 における成分 1 の正の方向には「ポ (/po/)」、「ロ (/ro/)」、「ド (/do/)」などの母音/o/を含む語が多く布置している。このことから、シャープネスの低い刺激には母音/o/を含む語が多く用いられる可能性が示された。そこで、「実験に用いた刺激」条件と母音/o/の出現頻度のクロス集計結果に対して  $\chi^2$  検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(11) = 22.06, p < .05$ )。このことから、母音/o/は操作音の音質によって用いられる頻度が異なっていたといえる。さらに、各操作音のシャープネスと母音/o/の出現頻度を示す Fig. 4-19(b)より、シャープネスの低い操作音ほど母音/o/の出現頻度が高い傾向（相関係数  $r = -0.76$ ）にある。これらより、シャープネスの低い操作音を表すオノマトペには、母音/o/を含む語が用いられる傾向にあったと考えられる。なお、シャープネスの低い操作音をオノマトペで表す際、多くの被験者より小母音/u/を含む「トゥ (/tu/)」「ドゥ (/du/)」を含む語が用いられていた。そのため、Fig. 4-19(b)の母音/o/の出現頻度の算出にあたっては、これらの語を含んでいる。

次に、Fig. 4-16 において、母音/u/を含む語は成分 1 の正方向、負方向を問わず広く布置している。「実験に使用した操作音」条件と母音/u/の出現頻度のクロス集計結果に対する  $\chi^2$  検定からも有意差が確認されなかった ( $\chi^2(11) = 16.47, p > .05$ )。したがって、本実験に用いた刺激において母音/u/は、特定の音質を表す語ではなかったと考えられる。

また、子音の傾向に着目すると、Fig. 4-16 において子音/p/および子音/b/を含む語（「ブ (bu)」「ポ (po)」「プ (pu)」など）の多くは、成分 1 の正の方向に布置している。このことから、シャープネスの低い条件では母音/o/を含む語が多く用いられる可能性が示唆された。そこで、「実験に用いた刺激」条件と子音/p/または子音/b/を含む語の出現頻度のクロス集計結果に対して  $\chi^2$  検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(11) = 26.85, p < .01$ )。したがって、子音/p/または子音/b/を含む語は、刺激の条件によって用いられる頻度が異なるといえる。さらに、各操作音のシャープネスと子音/p/または子音/b/の出現頻度を示す Fig. 4-19(c)より、シャープネスの低い操作音ほど両唇音の出現頻度が高い傾向（相関係数  $r = -0.78$ ）にある。これらの結果から、シャープネスの高い音質の操作音を表すオノマトペには、シャープネスの低い音質の操作音を表すオノマトペには、子音/p/または子音/b/を含む語が用いられる傾向にあると考えられる。ただし、Fig. 4-19(c)から、最もシャープネスが高い操作音 L も子音/p/または子音/b/の出現頻度が高い。これは、Fig. 4-16 において、操作音 L の付近に布置している「ピ (pi)」の語が、操作音 L の特徴的な語として被験者に用いられていたことによる。操作音 L は摺動音を含まないクリック

音のみで構成される操作音であることから、シャープネスでは表現されない音質の差異がオノマトペに現れていた可能性が示唆された。

#### 4.4.2.3 因子分析によるオノマトペと形容詞の対応

SD 法実験結果に対する因子分析により、Table 4-6 に示す3つの因子が得られた。このうち、最も因子寄与率の高い第1因子は「野太い - 甲高い」「鈍重な-軽快な」「こもった-すっきりした」などの形容詞対に高い因子負荷があった。ここで、第1因子の刺激ごとの因子得点と、Fig. 4-16 の対応分析における第1成分の刺激ごとの成分得点の相関分析結果を Fig. 4-20 に示す。両者は相関係数  $r = -0.86$  であり、高い相関関係が確認された。

#### 4.4.3 音の甲高さを表すオノマトペに関する考察

本節ではロータリースイッチの操作音に対して、オノマトペによる自由回答評価実験および SD 法による印象評価実験を実施し、音の甲高さとオノマトペの音韻の対応について検討した<sup>(114)</sup>。その結果、母音/i/を含むオノマトペはシャープネスが高い操作音、母音/o/を含むオノマトペはシャープネスが低い操作音に特徴的に使用されていた。対象音から連想されるオノマトペに着目した先行研究のうち、環境音や純音を対象とした事例において類似した傾向が確認されており、妥当な実験結果といえる<sup>(115)(116)(117)</sup>。その上で、従来研究ではオノマトペの音韻の傾向について周波数との対応から検討されており、広帯域の周波数成分を含む音との対応関係は不明確であった。本実験では、甲高さを表す心理音響評価量であるシャープネスを用いることで、甲高さの観点から物理量とオノマトペの音韻の対応を整理できた点が新たな知見といえる。なお、先行研究では母音/o/に加えて、母音/u/も低い音を表す傾向が確認されている<sup>(69)(70)</sup>が、本実験では明確な傾向は確認されなかった。母音/u/は、4.3 節の実験において音量の少ない条件の特徴語として確認されたことから、本実験において母音/u/は、 $L_{Aeq} = 45$  dB に設定した操作音の音量から連想されたものと推察され、音の甲高さよりも音の大きさを表す音韻である可能性が示された。

また、子音の傾向に着目すると、子音/p/または子音/b/はシャープネスの低い語で多く用いられる傾向にあった。類似した傾向は純音<sup>(69)</sup>やランダムノイズ<sup>(70)</sup>を対象とした研究からも確認できる。ただし本実験では、シャープネスが最も高い操作音 L においても、子音/p/を含む「ピ (pi)」の語が用いられていた。操作音 L は摺動音を含まず、クリック音のみから構成される操作音であり、他の操作音と比較して時間特性が異なる。ロータリースイッチの操作音に関する先行研究では、摺動音の有無によって印象が変化することが報告されている<sup>(43)</sup>。そのため、本実験においても、被験者はシャープネスでは表すことのできない時間特性に起因した音質の差異をオノマトペとして表現していた可能性がある。今後は操作音の時間的な変化に着目し、甲高さ以外の音質とオノマトペとの対応について検討していく必要がある。

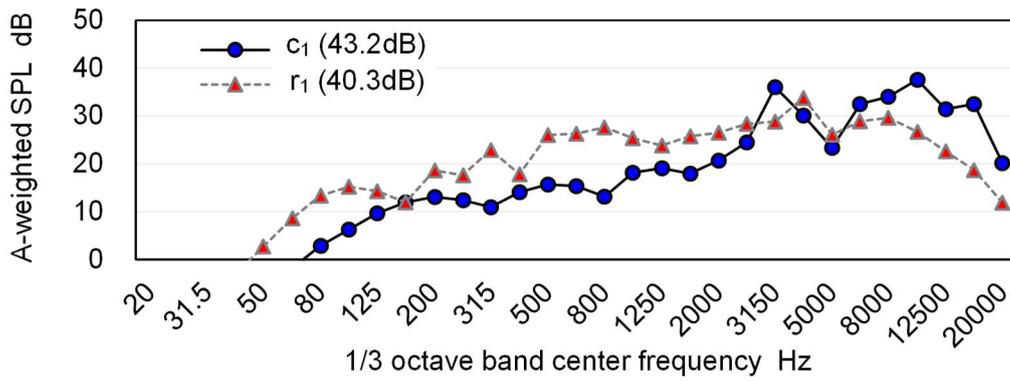
また、SD法の実験結果から、本実験に用いた刺激において「野太い－甲高い」「鈍重な－軽快な」「こもった－すっきりした」などの印象と対応する第1因子の因子得点と Fig. 4-16 に示す対応分析の第1成分の成分得点が高い相関関係にあった (Fig. 4-20,  $r = -0.86$ )。このことから、先述したオノマトペの自由回答評価実験の結果を用いて、オノマトペと形容詞との対応について総合的に解釈すると、シャープネスの高い操作音から被験者は、母音/i/を含むオノマトペが連想されやすく、さらにその際「甲高い」「軽快な」「すっきりした」などの印象を抱いていたものと推察される。また同様に、シャープネスの低い操作音から被験者は、母音/o/や子音/p/, /b/を含むオノマトペが連想されやすく、さらにその際「野太い」「鈍重な」「こもった」などの印象を抱いていたものと考えられる。

このように、本実験よりロータリースイッチ操作音から連想されるオノマトペと形容詞の関係を把握することができた。なお、「鈍重な－軽快な」は4.3節の実験において、音の大きさを表す表現とも対応が見られた形容詞対である。したがって「鈍重な－軽快な」は、音の大きさと甲高さのどちらを表現する際にも用いられる表現といえる。一方、4.3節の実験と本実験においてオノマトペは、音の大きさと甲高さに対して異なる表現上の特徴が見られた。これらは一例ではあるが、スイッチの操作音の設計において、オノマトペが形容詞よりも繊細に操作感覚を表現し得る可能性を示唆する結果といえる。

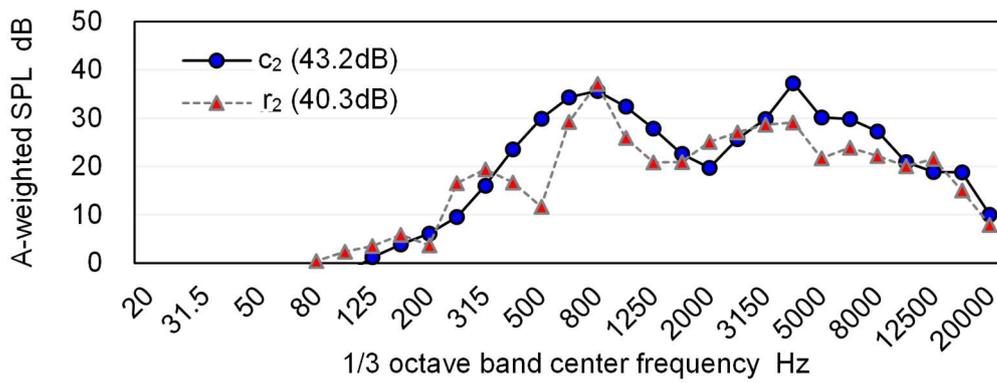
以上より、本節ではロータリースイッチの操作音を構成する音質のうち、甲高さとオノマトペとの対応について検討した。これより、操作音のシャープネスの差異によって、連想されるオノマトペが異なることを見出した。本実験結果から得られたオノマトペの音韻と音の甲高さの対応を Fig. 4-21 に整理する。従来のオノマトペの音象徴性に着目した研究では、広帯域の周波数成分を有する音と、それを表す音韻の対応は明らかではなかった。本研究では甲高さの指標であるシャープネスとの対応から、オノマトペの音象徴性を用いることで、甲高さに関する音質を定量的に表現し得る可能性を示した。

Table 4-4 Combination of operating sounds used in the experiment

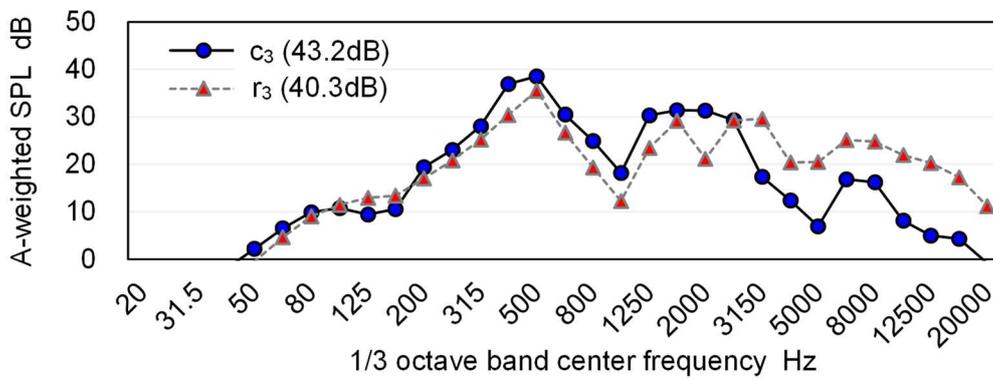
Stimuli	Clicking sound ( $L_{Aeq,c}$ dB)	Rubbing sound ( $L_{Aeq,r}$ dB)	Total SPL ( $L_{Aeq}$ dB)	Sharpness acum
A	c <sub>1</sub> (43.2)	r <sub>1</sub> (40.3)	45.0	3.0
B	c <sub>2</sub> (43.2)	r <sub>1</sub> (40.3)		2.2
C	c <sub>3</sub> (43.2)	r <sub>1</sub> (40.3)		1.9
D	c <sub>1</sub> (43.2)	r <sub>2</sub> (40.3)		3.0
E	c <sub>1</sub> (43.2)	r <sub>3</sub> (40.3)		2.8
F	c <sub>2</sub> (43.2)	r <sub>2</sub> (40.3)		2.1
G	c <sub>3</sub> (43.2)	r <sub>3</sub> (40.3)		1.6
H	c <sub>2</sub> (43.2)	r <sub>3</sub> (40.3)		2.0
I	c <sub>3</sub> (43.2)	r <sub>2</sub> (40.3)		1.6
J	c <sub>1</sub> (44.3)	r <sub>1</sub> (36.4)		3.3
K	c <sub>1</sub> (40.8)	r <sub>1</sub> (42.9)		2.7
L	c <sub>1</sub> (45.0)	No rubbing sound		3.7



(a) Clicking sound  $c_1$  and rubbing sound  $r_1$



(b) Clicking sound  $c_2$  and rubbing sound  $r_2$



(c) Clicking sound  $c_3$  and rubbing sound  $r_3$

Fig. 4-15 1/3 octave band SPL of clicking and rubbing sounds

Table 4-5 Word frequency analysis results

Words	Number of occurrences	Words	Number of occurrences	Words	Number of occurrences
/ru/	78	/ko/	19	/du/	14
/pu/	56	/ki/	18	/ro/	14
/ri/	43	/dzu/	18	/ku/	12
/bu/	36	/to/	18	/ɕʑi/	11
/ka/	33	/gi/	17	/pi/	11
/tu/	27	/tʃi/	16	/su/	10
/tsu/	24	/po/	15	/pa/	10
/ta/	23	/ra/	15	/bi/	10
/gu/	20	/do/	14		

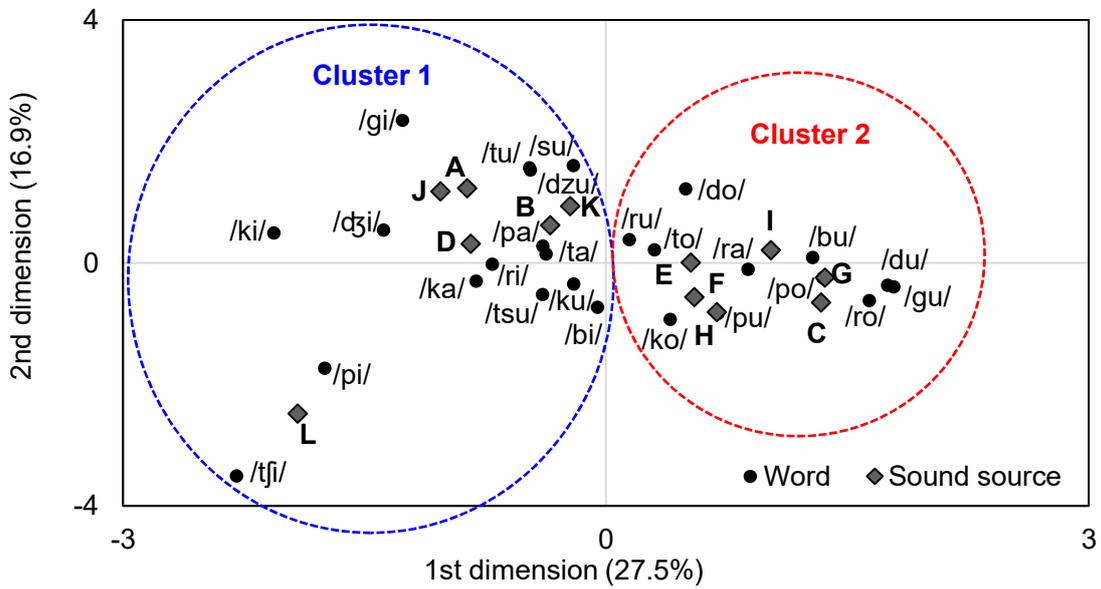


Fig. 4-16 Correspondence analysis results

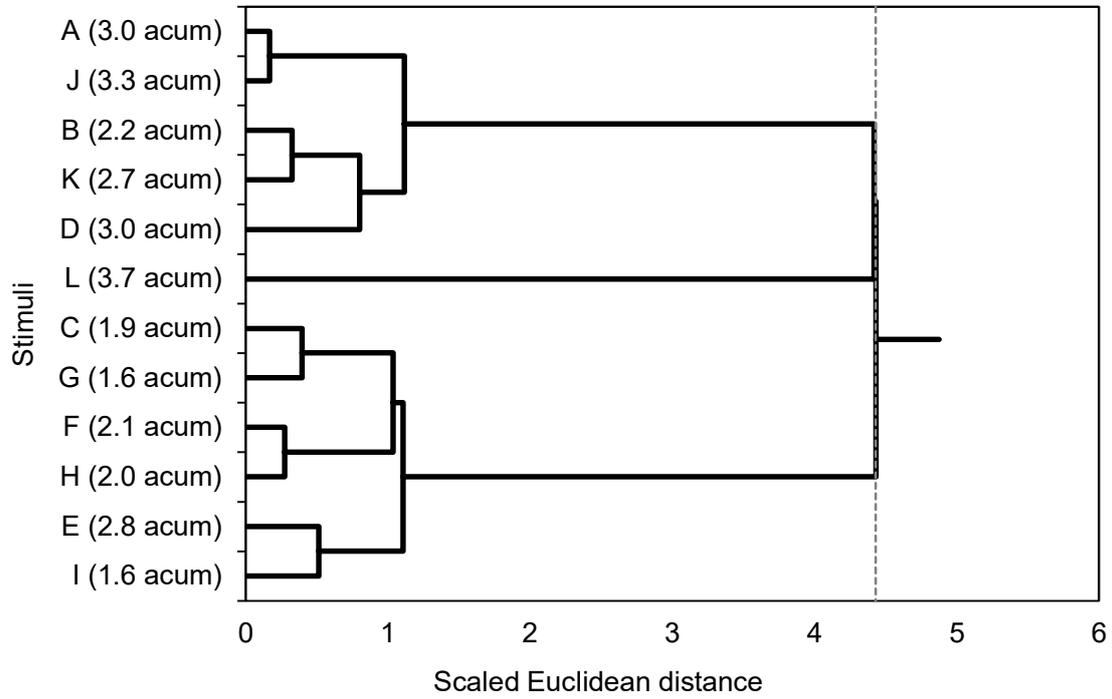


Fig. 4-17 Cluster analysis results

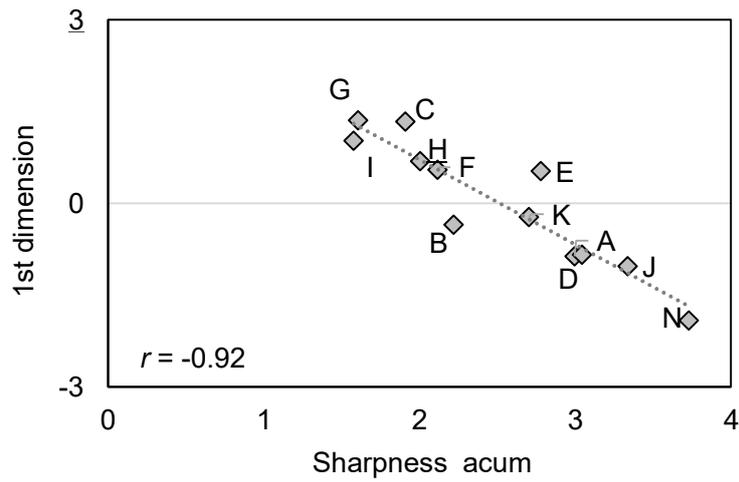
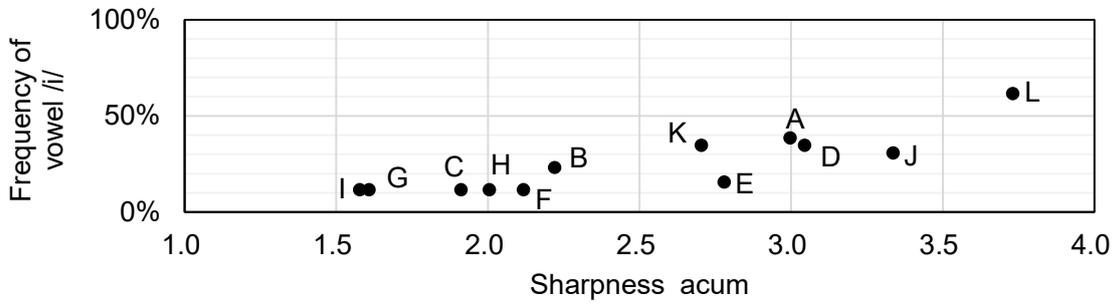
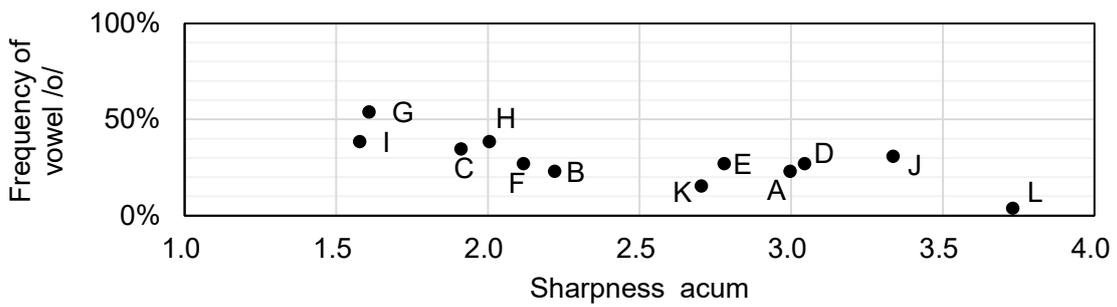


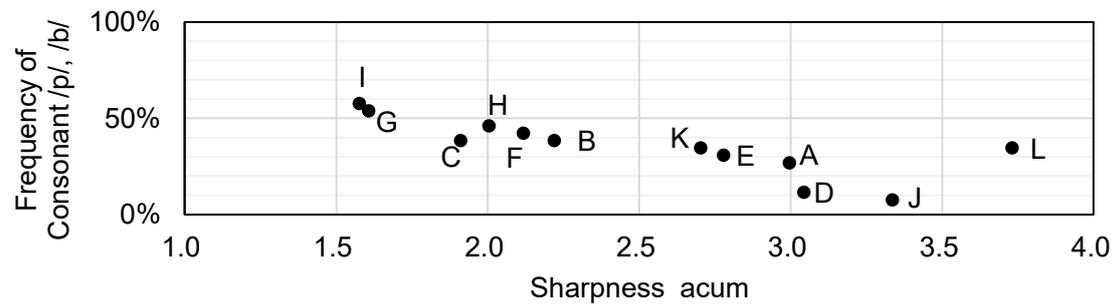
Fig. 4-18 Correlation between sharpness and the first-dimension score in correspondence analysis



(a) vowel /i/



(b) Vowel /o/ including /tu/ and /du/



(c) Consonant /p/, /b/

Fig. 4-19 Correspondence between sharpness and frequency of words

Table 4-6 Results of factor analysis

(+) Adjective (-)		1st factor	2nd factor	3rd factor
Deep (野太い)	- Shrill (甲高い)	<b>0.83</b>	0.01	-0.13
Heavy (鈍重な)	- Light (軽快な)	<b>0.78</b>	0.04	-0.35
Muffled (こもった)	- Vivid (すっきりした)	<b>0.77</b>	0.20	0.17
Dull (鈍い)	- Sharp (鋭い)	<b>0.77</b>	0.07	0.23
Thick (重い)	- Thin (軽い)	<b>0.76</b>	0.01	-0.48
Vague (曖昧な)	- Clear (明快な)	<b>0.60</b>	0.29	0.34
Desirable (好ましい)	- Undesirable (好ましくない)	0.16	<b>0.87</b>	-0.09
Comfortable (快適である)	- Uncomfortable (快適でない)	0.23	<b>0.79</b>	0.02
Pleasant (心地よい)	- Unpleasant (心地悪い)	0.12	<b>0.75</b>	-0.14
Luxury (高級感のある)	- Tinny (高級感のない)	-0.07	<b>0.67</b>	0.11
Hard (硬い)	- Soft (柔らかい)	0.00	-0.08	<b>0.75</b>
Loud (騒々しい)	- Quiet (静かな)	-0.07	-0.25	<b>0.67</b>
Obvious (はっきりとした)	- Fuzzy (ぼやけた)	<b>0.53</b>	0.16	<b>0.62</b>
Oppressive (決定感のある)	- Non-oppressive (決定感のない)	0.00	0.30	<b>0.60</b>
Rough (粗い)	- Smooth (滑らかな)	-0.49	-0.30	0.48
Contribution ratio (%)		26.9	18.7	17.3
Cumulative contribution ratio (%)		26.9	45.5	62.8

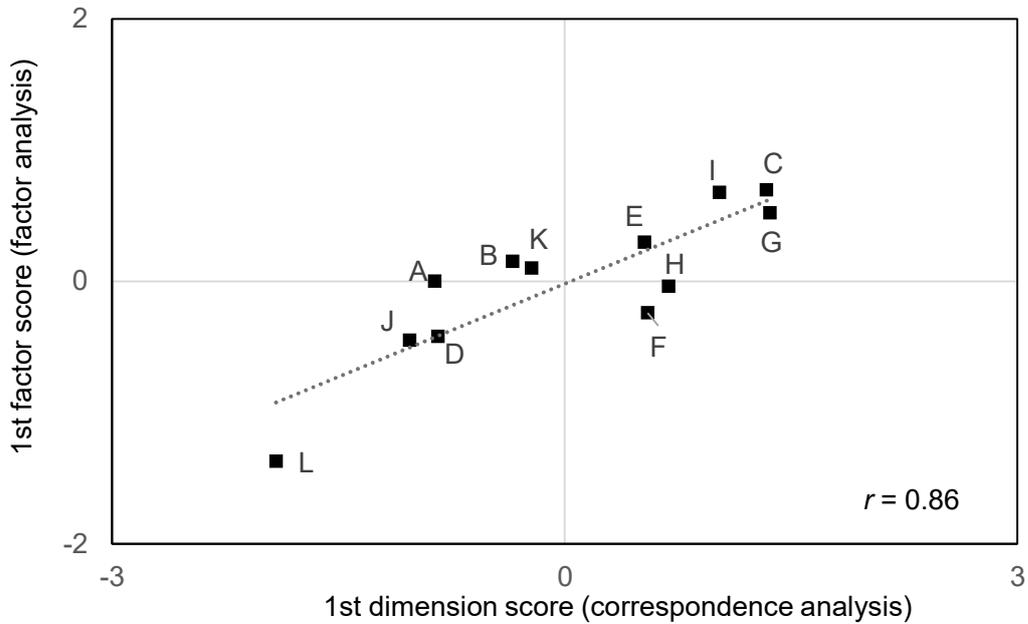


Fig. 4-20 Correlation results between correspondence results and factor analysis



Fig. 4-21 Relationship between adjectives and onomatopoeias for sound sharpness

#### 4.5 おわりに

本章では、ロータリースイッチ操作時に聴覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討した。ロータリースイッチの操作音の音質を構成する物理量のうち、「音の大きさ」および「音の甲高さ」を対象として、本章で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 音の大きさを表すオノマトペの特徴として、音量の小さい刺激に対しては母音/u/, 音量の大きい刺激に対しては濁音を含むオノマトペが用いられる傾向にあり、操作音の大きさによって、操作感覚を表すオノマトペを構成する音韻が異なることを把握した。
- (2) (1)の特徴は感触を対象とした実験結果とも類似しており、大きさを表す音象徴性はモダリティに依らず共通した傾向にあることを見出した。
- (3) 音の甲高さを表すオノマトペの特徴として、シャープネスの低い刺激に対しては母音/o/, シャープネスの高い刺激に対しては母音/i/を含むオノマトペが用いられる傾向にあり、操作音の甲高さによって、操作感覚を表すオノマトペを構成する音韻が異なることを把握した。
- (4) ロータリースイッチ操作時に生じる操作音に対する形容詞を評価語とした SD 法による評価を実施し、操作感覚を表すオノマトペの意味的な側面を把握した。また、(1)~(3)の結果の対応から、操作音の音質設計においてオノマトペは、形容詞よりも繊細に表現し得る可能性を示した。

以上より、本章では、ロータリースイッチ操作時の聴覚から得られる操作感覚を表すオノマトペについて、「音の大きさ」および「音の甲高さ」に関する物理量との対応を明らかにした。これらの結果から、オノマトペの音象徴性を用いることで、操作感覚設計における「音の大きさ」および「音の甲高さ」に関する音質を定量的に表現し得る可能性を示した。

ただし、実際の機器操作時に得られる操作感覚は、聴覚のみではなく触覚との組み合わせによって複合的に得られる。そのため、操作感覚設計にオノマトペを活用するためには、触覚と聴覚から得られる複合的な操作感覚とオノマトペの対応について把握する必要がある。そこで第5章では、ロータリースイッチ操作時に触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討する。これにより、複数の知覚を考慮したオノマトペによる操作感覚設計手法の有効性を把握する。

## 第 5 章

# 複数の知覚から得られる操作感覚を 表すオノマトペと物理量の関係

## 5.1 はじめに

これまで、第3章では触覚、第4章では聴覚を対象に、ロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペと物理量との対応について検討した。触覚においては、クリックトルクの小さな感触で「スルスル」などの母音/u/を含む語、クリックトルクの大きな感触では「ゴリゴリ」などの濁音を含む語がロータリースイッチの操作感覚と対応していることがわかった。また、聴覚から得られる操作感覚においては、甲高さの指標であるシャープネスが高い操作音ほど母音/i/を含むオノマトペが、シャープネスが低い操作音ほど母音/o/を含むオノマトペが得られやすい傾向にあった。このように、触覚および聴覚から得られる操作感覚ともに、物理量の大きさに応じたオノマトペの音象徴性の存在を明らかにした。これらの知見は、ロータリースイッチの感触および操作音の設計において有用である一方、実際のスイッチの操作時は、触覚と聴覚の両者の影響を受けて複合的な操作感覚が形成される。そのため、操作感覚設計にオノマトペの音象徴性を活用するためには、触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚とオノマトペの対応を把握することが求められる。従来の五感を表すオノマトペの音象徴性に着目した研究では、特定の知覚と物理量の対応に関する検討が行われてきた一方で、複数の知覚を対象とした事例は見られない。

そこで本章では、触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討する。以下、5.2節ではロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペについて、操作音提示の有無により比較することで、操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響について検討する。次に、5.3節ではロータリースイッチの操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与を定量的に把握することを目的として「触覚と聴覚のどちらが印象に残ったか」を操作者に問う実験を実施する。次に、5.4節では複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペの特徴の把握を目的として、ロータリースイッチの感触および操作音で構成される複合刺激を対象とした自由回答による評価実験を行う。続いて5.5節では、5.4節のオノマトペによる自由回答評価実験と同様の刺激を用いて、SD法による印象評価実験を行う。これより、形容詞とオノマトペの評価結果を比較することで、オノマトペの有する意味的な側面を把握するとともに、オノマトペによる印象評価手法の特徴を明らかにする。5.6節では本章の総括および展望について述べる。

## 5.2 操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響

スイッチの操作感覚には、触覚の寄与が最も大きいとされる<sup>(97)</sup>。そのため、操作感覚を表すオノマトペにおいても、触覚から得られる操作感覚の寄与が支配的である可能性がある。そこで本節では、ロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響について検討する。被験者は、感触（クリックトルク：3.5～35.0mNm）と操作音（操作音提示、操作音非提示）の組み合わせで構成される複合刺激に対して、オノマトペを評価語とした評点形式で操作感覚を評価する。操作音提示条件および操作音非提示条件の印

象評価点の比較により、操作感覚を表すオノマトペにおける聴覚の影響を把握する。

## 5.2.1 操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響に関する実験方法

### 5.2.1.1 実験に用いた刺激

本実験では、操作音刺激として 4.3.1.1 の項目と同様の手順で作成した Fig. 4-6(b)に示す操作音を使用した。ここで作成した操作音を本節では Sound H と呼ぶ。また、本節の実験では Sound H に対して周波数フィルタにより低域の音圧上昇、高域の音圧低減処理を行うことで作成した Sound L も使用した。それぞれの操作音の周波数特性を Fig. 5-1 に示す。Sound H のシャープネスは 3.0 acum, Sound L のシャープネスは 1.4 acum であり、二つの操作音は聴感上、音質が明確に異なる。なお、1/3 オクターブバンド音圧レベルおよびシャープネスの算出は、Sound H および Sound L の操作音を Fig. 4-6(a)のように 1 秒間に 15 個の操作音を配置し、時間平均 A 特性音圧レベルを 45 dB に統制した条件から算出している。シャープネスは DIN 45692 の方法で算出した。

また本実験では、感触と操作音の物理量を定量的に制御するため、3.4 節で使用したロータリースイッチのシミュレータを用い、Fig. 5-2 に示す装置の構成により、Fig. 5-3 のように実験を行った。操作音は感触の提示と同期して、ヘッドホンを介して再生される。なお、感触の提示に対して操作音は約 0.2 ms のレイテンシを持って再生される。触覚と聴覚の時間遅れに関する先行研究において、触覚に対する刺激の提示後、25 ms 程度までであれば、聴覚に対する刺激の時間遅れを感じないことが報告されている<sup>(118)(119)(120)</sup>。これらの報告に対して、本シミュレータによるレイテンシは十分に小さいことから、本実験では感触と操作音の間の時間遅れは知覚される程度のもではなかったと考えられる。

本実験では、以下に示す感触と操作音の組み合わせで構成される 30 種類の刺激を用いた。感触は、3.5~35.0 mNm の間で 3.5 mNm 刻みにクリックトルクを変化させた 10 種類の刺激を使用した。また、すべての刺激において、クリック数は 30 回/360° で統一した。

操作音は、2 種類の操作音提示条件および操作音非提示条件の 3 条件で実施した。操作音提示条件に用いた 2 種類の操作音は、上述した Sound H および Sound L を使用し、それぞれの音量はコントロールノブを 1 秒間に 180°（クリック数 30/360° のスイッチの 15 クリック分に相当）操作した際の A 特性時間平均音圧レベルが 45 dB となるよう設定した。

### 5.2.1.2 実験手順

本実験では、Table 5-1 に示すオノマトペを評価語に用いて、3.4 節の実験方法と同様に、シミュレータの操作感覚と評価語の適合度について、次に示す方法で評価を行った。

被験者は着座した状態で、シミュレータのノブ部をおよそ 1 秒間に 180° 回転する動作を行い、その操作感覚が、Table 5-1 に示すオノマトペに対してどの程度合致するかを 7 段階（非常にそう思う～どちらでもない～非常にそう思わない）で回答を求めた。刺激は、

各操作音条件 (Sound H の提示, Sound L の提示および操作音非提示) に対して, はじめに 3.5 mNm のクリックトルクで実施し, 全てのオノマトペに対する回答を終えた後に, 次の刺激 (7.0 mNm) に移行し, その後, 徐々にクリックトルクの負荷を上げていくことで, 最後に 35.0 mNm の刺激での評価を終えるまで, 同様の手順を繰り返した.

被験者は, 操作音提示条件ではヘッドホンを装着し, 操作音非提示条件では, イヤーマフを装着して実験を実施した. 実験には 20 代~50 代 (男性: 12 名, 女性: 13 名, 20 代: 7 名, 30 代: 6 名, 40 代: 4 名, 50 代: 1 名) の触覚および聴覚に異常のない 25 名が実験に参加した.

### 5.2.1.3 分析方法

各実験条件の結果に対して被験者の回答の平均値を求めた. また, 各感触条件のオノマトペ回答結果に対して, 操作音の提示条件ごとに, ボンフェローニ法による多重比較検定を実施することで, ロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響について検討した.

## 5.2.2 操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響に関する実験結果

各オノマトペに対する印象評価点を Fig. 5-4(a)~(f) に示す. 各実験結果において, 横軸はクリックトルクの大きさ, 縦軸は印象評価点の平均値, エラーバーは標準偏差を示す. 以下, 実験結果について操作音の提示によって得られた特徴ごとにまとめて述べる.

### 5.2.2.1 操作音によって印象評価点の上昇するオノマトペ

Fig. 5-4(a) から「カタカタ (/kata-kata/)」のオノマトペの印象評価点は, 3.5 mNm および 7.0 mNm のクリックトルクの条件において, 操作音非提示条件と比較して, Sound H, Sound L とともに操作音提示条件で有意に上昇した. また, Fig. 5-4(b) から「ガチガチ (/gatji-gatji/)」クリックトルク 3.5 mNm の感触条件の際, 操作音提示条件は, 操作音非提示条件に対して印象評価点が有意に上昇した.

### 5.2.2.2 操作音によって印象評価点の低下するオノマトペ

Fig. 5-4(c) および Fig. 5-4(d) から「スルスル (/suru-suru/)」および「クルクル (kuru-kuru/)」のオノマトペは, 3.5 mNm, 7.0 mNm のクリックトルクの条件において Sound H, Sound L とともに操作音提示条件は, 非提示条件よりも印象評価点が有意に低下した.

### 5.2.2.3 音質の差異が印象評価点に影響するオノマトペ

Fig. 5-4(e) から, 「カチカチ (/katji-katji/)」のオノマトペの印象評価点は, 「カタカタ (/kata-kata/, Fig. 5-4(a))」や「ガチガチ (/gatji-gatji/, Fig. 5-4(b))」と同様, 3.5 mNm

のクリックトルクの条件において、操作音提示条件は、操作音非提示条件より有意に上昇した。また「カチカチ (/katʃi-katʃi/)」は、複数のクリックトルクの条件で、Sound H の操作音提示条件が、Sound L の操作音提示条件および操作音非提示条件と比較して有意に印象評価点が高かった。

次に、Fig. 5-4(f)から、「ゴリゴリ (/gori-gori/)」のオノマトペの印象評価点は、Fig. 5-4(a), (b) および (e) と同様に、クリックトルク 3.5 mNm の条件において、操作音提示条件は、操作音非提示条件より有意に上昇した。また、Sound L の操作音提示条件において、クリックトルク 7.0mNm および 14.0mNm の条件の印象評価点が、操作音非提示条件に対して有意に高かった。

### 5.2.3 操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響に関する考察

本節では、ロータリースイッチ操作感覚を表すオノマトペにおける操作音の影響について、評点形式の印象評価実験により検討を行った<sup>(121)</sup>。結果から、「カタカタ」および「ガチガチ」などのオノマトペにおいて、操作音の提示条件で印象評価点が上昇する傾向にあった。3.4 節の感触を対象とした実験において、「カタカタ」は 17.5~28.0 mNm, 「ガチガチ」は 31.5~35.0 mNm の範囲のクリックトルクとの対応がみられたことから、これらは比較的大きな感触の操作感覚を表すオノマトペといえる。これらのオノマトペは一般的にも硬さの印象の表現として用いられる<sup>(88)</sup>。したがって 3.5 mNm と 7.0 mNm という低いクリックトルクであっても、操作音の提示によって、ロータリースイッチ操作時に硬い操作感覚を想起させた可能性がある。

また、「スルスル」および「クルクル」のオノマトペの印象評価点は、操作音の提示によって減少する傾向にあった。3.4 節の実験から、「スルスル」は 3.5~7.0 mNm, 「クルクル」は 7.0~10.5 mNm の範囲のクリックトルクとの対応がみられ、比較的小さな感触の操作感覚を表すオノマトペといえる。これらのオノマトペは、いずれも滑らかさや軽さの印象を有する<sup>(88)</sup>ことから、ロータリースイッチの操作感覚において、操作音を提示により滑らかさや軽さを低下させた可能性がある。

また、「カチカチ」「ゴリゴリ」のように、特定の音質の操作音の提示条件において、印象評価点が上昇するオノマトペも確認された。「カチカチ」は、一般的に金属製の硬い物体同士の衝突を表すオノマトペとして用いられる<sup>(88)</sup>。また、シャープネスの高い音は、金属的な質感を表し、硬さの印象とも対応することが知られている<sup>(83)(122)</sup>。したがって、スイッチ操作時にシャープネスの高い操作音を提示したことで、金属的な操作感覚を被験者が抱いていた可能性が示唆される。次に、「ゴリゴリ」は重く硬い物体同士が連続的に衝突している様子を表すオノマトペである<sup>(88)</sup>。したがって、本実験結果は、スイッチ操作時にシャープネスの低い音を提示することで、操作音非提示条件よりも重く硬い操作感覚を与えた可能性を示唆する。また、オノマトペに関連した研究では、周波数の低い音を表す

オノマトペは母音/o/を含む表現が用いられる傾向にあることが報告されており<sup>(69)(70)</sup>、類似した結果は4.4節の実験からも確認された。このことから、第1モーラに母音/o/を含む「ゴリゴリ」とシャープネスの低い操作音から得られる操作感覚が合致したことにより、印象評価点が上昇した可能性が考えられる。

以上の結果は、ロータリースイッチの操作感覚から連想されるオノマトペにおいて、聴覚が明確に影響を与えていたことを示す結果といえる。さらに、その影響は操作音の有無だけでなく、その音質も影響を与えることを明らかにした。ただし、「カタカタ」と「カチカチ」のオノマトペを除いて、操作音の提示による有意な印象評価点の変化は、14.0 mNm 以下のクリックトルクの小さな範囲のみで見られた。このことから、聴覚の影響は、クリックトルクの小さい条件において顕著に表れる傾向にあると考えられる。したがって、クリックトルクの大きさにより、操作感覚に対する触覚と聴覚の寄与が異なり、オノマトペによる操作感覚の表現は、聴覚と触覚の寄与を反映していた可能性がある。そこで本研究では「クリックトルクの大きさにより、操作感覚に対する触覚と聴覚の寄与が変化する。」との仮説を設定し、次節にて、ロータリースイッチの操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与の変化について把握するため「触覚と聴覚のどちらが印象に残ったか」を操作者に問う実験を実施する。

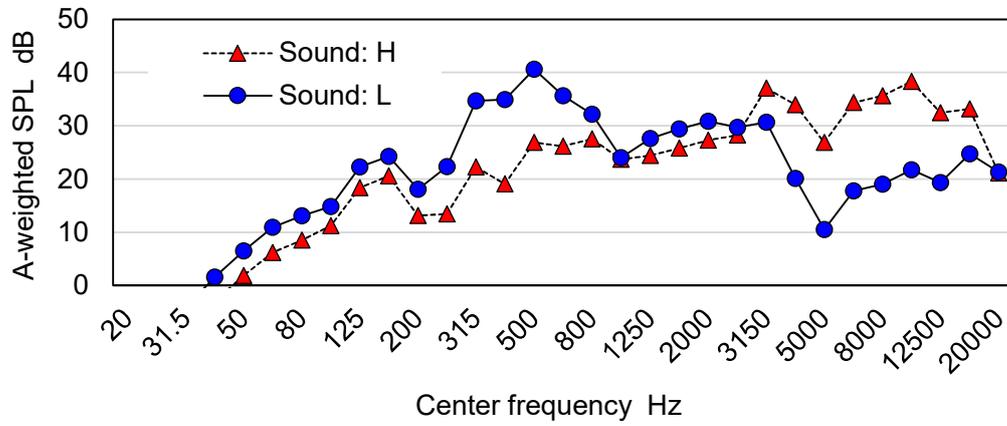


Fig. 5-1 1/3 octave band SPL of the operating sounds

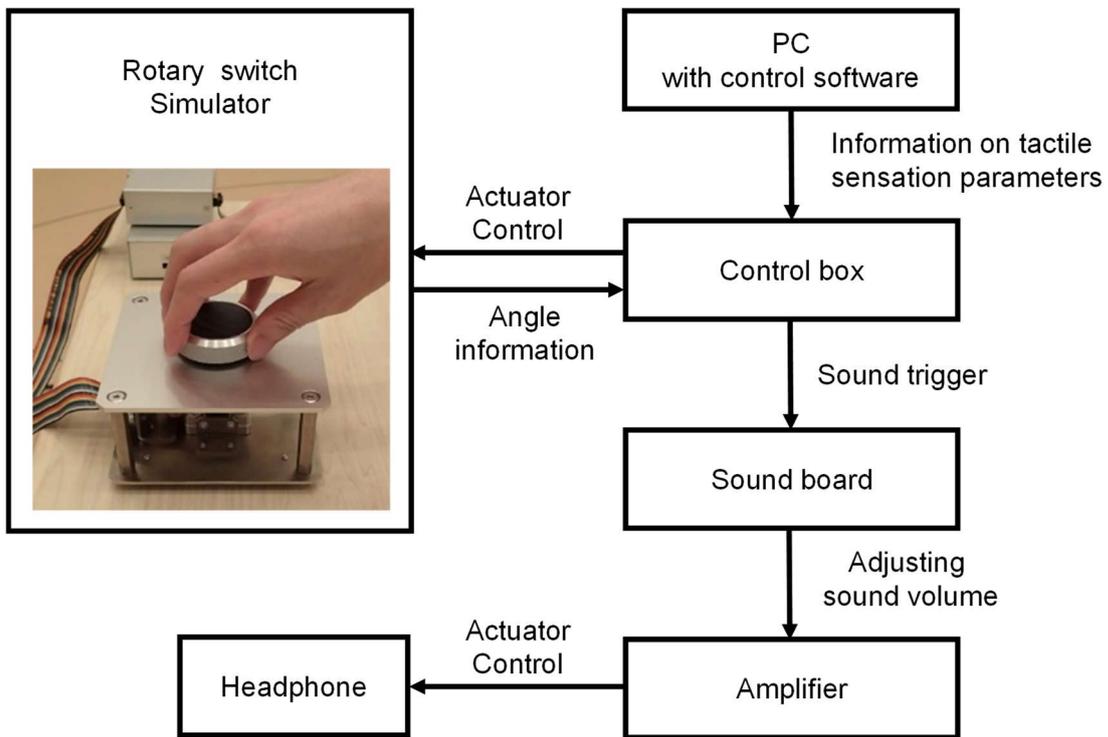


Fig. 5-2 Experimental setup

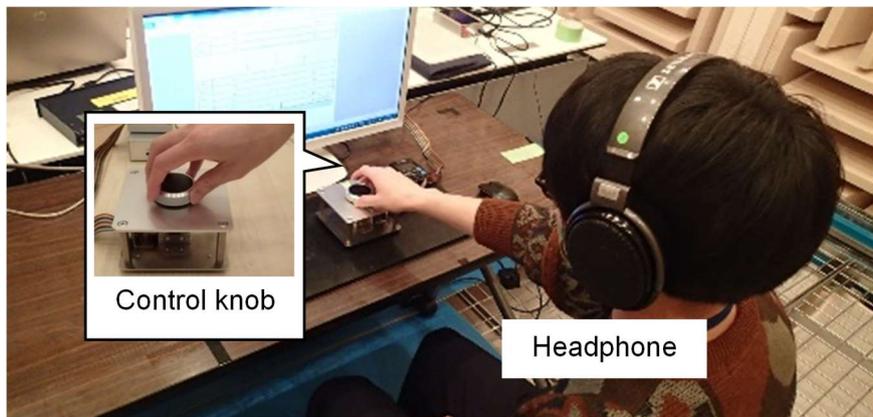
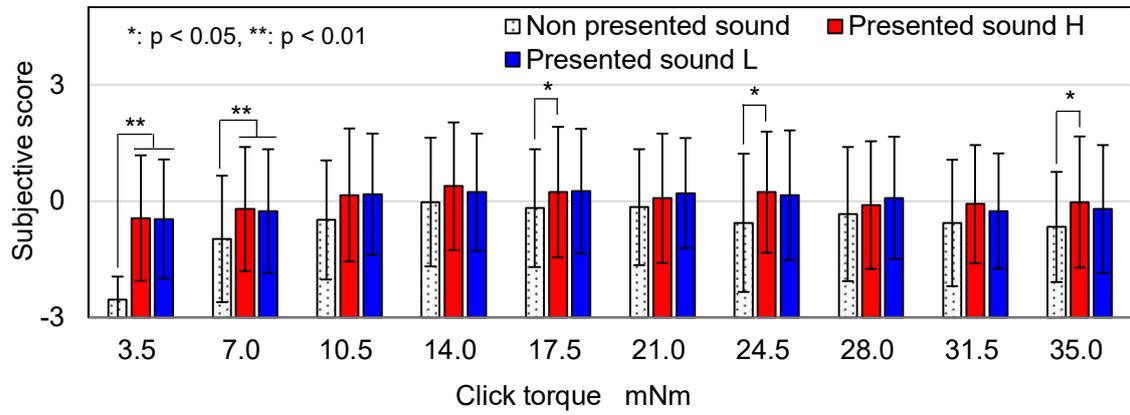


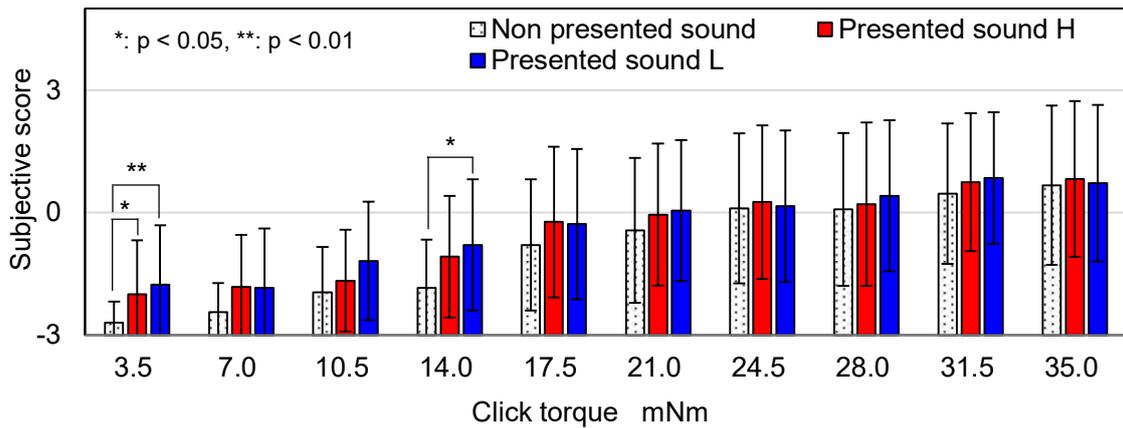
Fig. 5-3 Rotary switch simulator used in the experiment

Table 5-1 Onomatopoeias used in the experiment

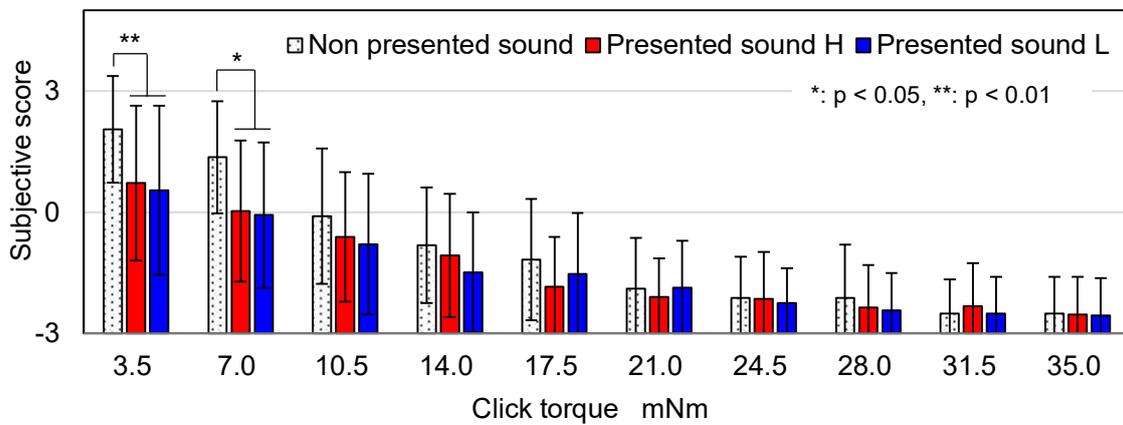
/suru-suru/ (スルスル)	/kuru-kuru/ (クルクル)	/katji-katji/ (カチカチ)
/kata-kata/ (カタカタ)	/gatji-gatji/ (ガチガチ)	/gori-gori/ (ゴリゴリ)



(a) /kata-kata/ (カタカタ)



(b) /gatfi-gatfi/ (ガチガチ)



(c) /suru-suru/ (スルスル)

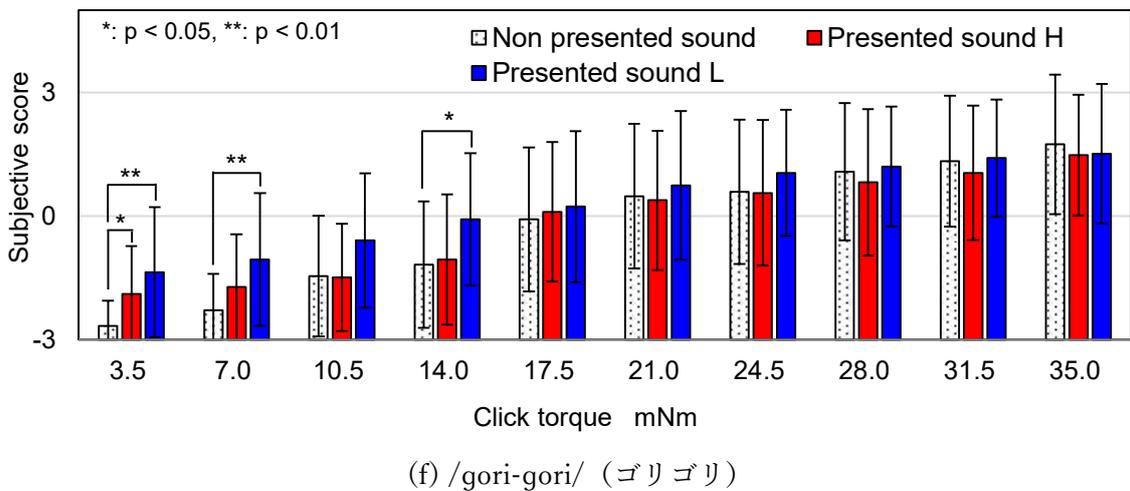
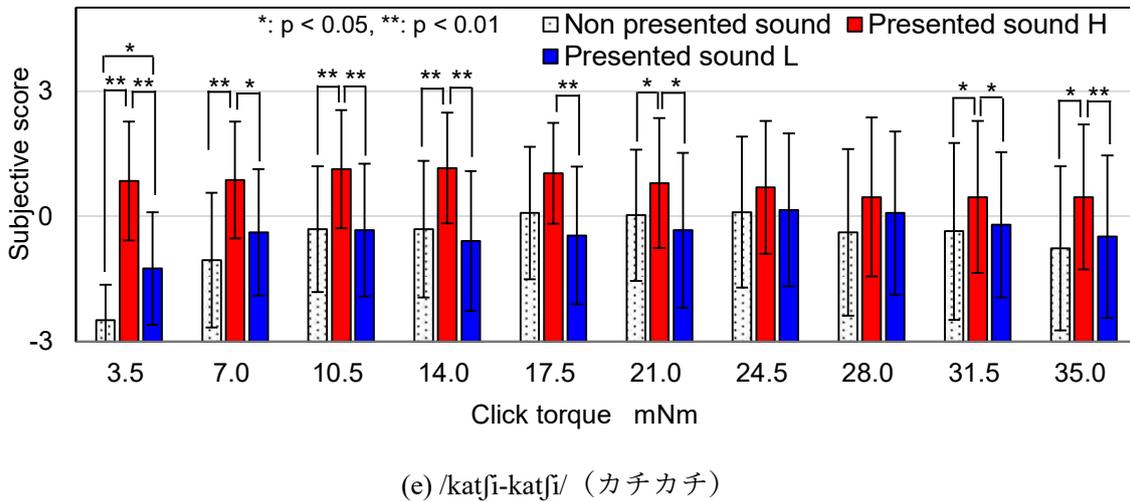
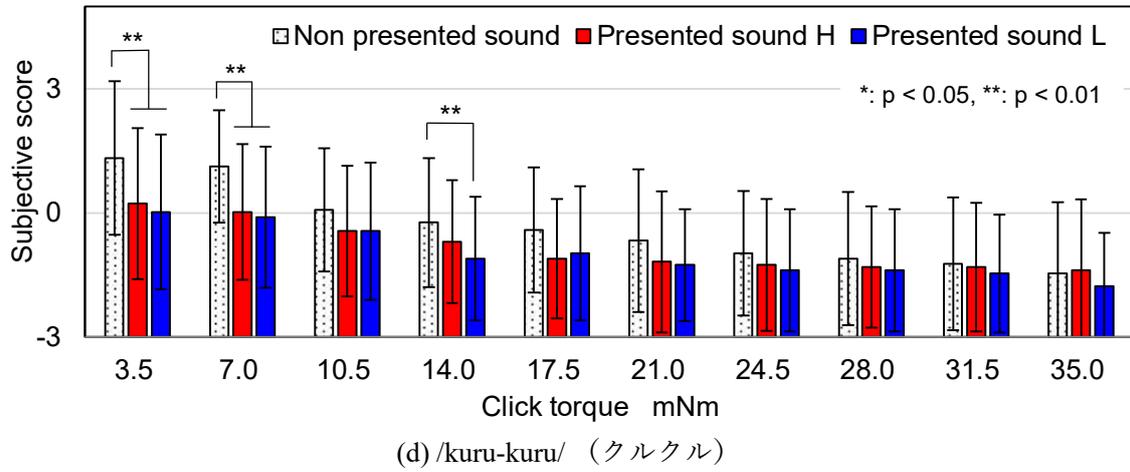


Fig. 5-4 Subjective scores of onomatopoeias. The error bars indicate standard deviation.

### 5.3 操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与

5.2 節の実験から、ロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響は、クリックトルクの大きさによって変化し、クリックトルクの小さい条件において、聴覚の影響が顕著に確認された。これはクリックトルクの大きさにより、操作感覚に対する触覚と聴覚の寄与が異なるためと考えられる。本節では、この仮説の検証として感触と操作音で構成される複合刺激の操作感覚において「触覚と聴覚のどちらがより印象的か」を被験者に尋ねる実験を実施する。これにより、ロータリースイッチの操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与の程度について、感触と操作音のそれぞれの刺激の強度から定量的に把握する。

#### 5.3.1 操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与に関する実験方法

##### 5.3.1.1 実験に用いた刺激

5.2 節で使用した Fig. 5-3 のシミュレータにより、感触と操作音から構成される複合刺激を使用した。感触は、クリックトルクの大きさが異なる 5 種類(10.5, 15.8, 21.0, 26.3, 31.5 mNm)を使用した。すべての刺激はクリック数を 30 回/360° で統一した。

操作音は、5.2 節の実験と同様、Fig. 5-1 に示す周波数特性を有する Sound H および Sound L を使用した。操作音はヘッドホン（ゼンハイザー製 HD650）より再生し、その音量はシミュレータのノブを 1 秒間に 180° させた際に A 特性時間平均音圧レベルが 45 dB となるよう設定した。

##### 5.3.1.2 実験手順

実験には、触覚および聴覚に異常のない 20 代～50 代の 25 名（男性：15 名，女性：10 名，20 代：11 名，30 代：9 名，40 代：4 名，50 代：1 名）が参加した。

被験者へは、椅子に座った状態でノブ部を 1 秒間に半回転させ、以下の 5 つの回答から 1 つを選択するよう求めた。

- 触覚の方が印象的だった。
- 触覚の方がやや印象的だった。
- 2 つの刺激の印象は同程度だった。
- 聴覚の方がやや印象的だった。
- 聴覚の方が印象的だった。

#### 5.3.2 操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与に関する実験結果

Fig. 5-5 は、横軸がクリックトルクの大きさ、縦軸が被験者の回答の平均評点であり、エラーバーは標準偏差を表す。ここで、正の値は聴覚、負の値は触覚が、より印象的であったことを示す。これより、Sound H および Sound L とともに、クリックトルク 10.5 mNm

の条件では、聴覚の方が印象的であることがわかる。また、クリックトルクが大きくなるにつれて、触覚の方が徐々に印象が強くなる傾向にあった。

### 5.3.3 操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与に関する考察

本節では、ロータリースイッチの操作感覚を構成する感触と操作音の複合刺激を用いて、「触覚と聴覚のどちらがより印象的か」を被験者に尋ねる実験を行った<sup>(121)</sup>。Fig. 5-5の結果から、クリックトルクが小さいほど操作感覚に対して聴覚の寄与が大きく、クリックトルクが大きくなるほど操作感覚に対して触覚の寄与が大きくなる傾向が確認された。このことは、5.2.3の考察で述べた「クリックトルクの大きさにより操作感覚に対する触覚と聴覚の寄与が異なる」という仮説を支持する。また、これらの結果は、触覚と聴覚の相互作用に関する先行研究<sup>(44)(123)</sup>で得られた結果とも一致する。したがって、ロータリースイッチの操作感覚に対する触覚と聴覚の寄与は、それぞれの刺激の組み合わせに応じて変化し、5.2節の実験結果で得られたように、オノマトペによる操作感覚の表現は聴覚と触覚の寄与を反映していたと考えられる。

以上より、ロータリースイッチの操作感覚に対して触覚および聴覚の両者が寄与することを見出した。また、5.2節の結果を考慮すると、オノマトペによる操作感覚の表現は、聴覚と触覚の寄与を反映しており、複数の知覚から得られる操作感覚設計において有効な評価手法である可能性を示した。

そこで次節では、感触と操作音の複合刺激で構成されるロータリースイッチの操作感覚に対して自由回答によるオノマトペ評価実験を実施することで、複合刺激の操作感覚を表すオノマトペの音韻的な特徴について検討する。

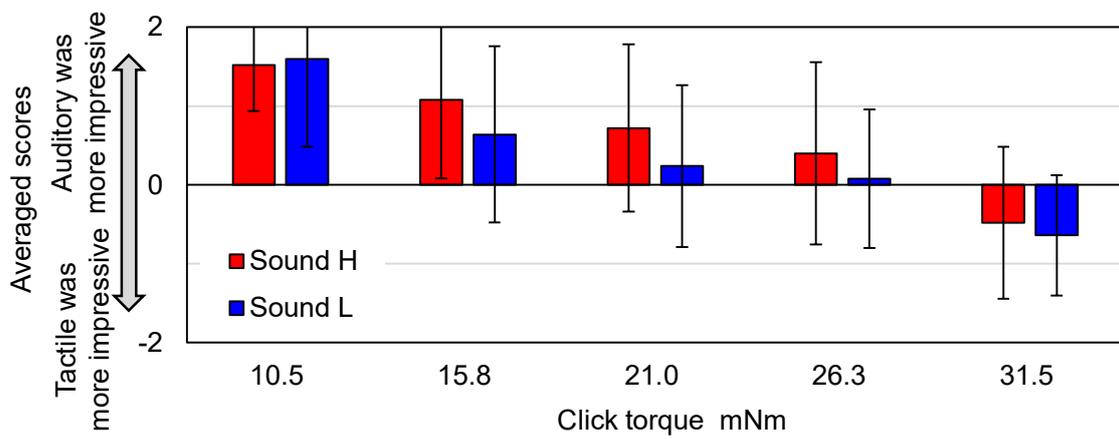


Fig. 5-5 Average scores on the questionnaire, was the tactile or auditory stimulus more impressive? The error bars indicate standard deviation.

## 5.4 複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペの特徴の把握

本節では、感触と操作音の複合刺激で構成されるロータリースイッチの操作感覚に対して、オノマトペによる自由回答評価実験を実施する。これにより、触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚を表すオノマトペの音韻的な特徴について、感触および操作音の物理量との対応から検討する。

### 5.4.1 複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペに関する実験方法

#### 5.4.1.1 実験に使用した刺激

本実験では、5.2 節および 5.3 節で使用したロータリースイッチの感触および操作音を疑似的に提示可能なシミュレータを使用して実験を行った。感触は Fig. 5-3 に示すロータリースイッチの形状を模したノブ（直径 50 mm）を操作することで提示され、操作音はヘッドホン（ゼンハイザー社製 HD650）から再生する。操作音は、感触の 1 クリックと同期して 1 クリック分の wave ファイルの音声再生を再生するようプログラムされている。

実験には Table 5-2 に示す組み合わせで構成する 20 種類の複合刺激を使用した。感触および操作音それぞれの詳細を以下に示す。

- ① 感触：一般的に、ロータリースイッチの仕様はクリック数（回/360°）とクリックトルク（mNm）で与える。本実験では、クリック数を 30 回/360° に統一し、10.5~31.5 mNm の範囲でクリックトルクを変化した 5 種類の刺激を用いた。
- ② 操作音：操作音は、音量条件  $L_{Aeq} = 35$  dB および 45 dB、音質（シャープネス）条件 1.4 acum, 3.0 acum の組み合わせで構成する 4 種類の操作音を使用した。音量およびシャープネスは、Fig. 4-6 (a) に示すように、1 クリック分の操作音（Fig. 4-6 (b)）を 1 秒間に 15 クリック配置（180° 回転動作に相当）した際の音圧の時間平均値から算出している。なお、各クリックイベントは実際のスイッチ操作を模擬し、指数関数的に時間間隔が広がるよう配置した。シャープネスは DIN 45692 法より算出した。操作音のうち、シャープネス 3.0 acum の操作音（以下、Sound H）は、実際のロータリースイッチ操作時の収録音を基に、音量の調整を行うことで作成している。また、低いシャープネス 1.4 acum の操作音（以下、Sound L）は、Sound H に周波数フィルタを使用し、低域の音圧上昇および高域の音圧低減処理を行うことで作成している。なお、Sound H, Sound L とともに 5.2 節および 5.3 節の実験で使用した Fig. 5-1 の周波数特性を有する操作音と同一である。

#### 5.4.1.2 実験手順

被験者は着座してシミュレータのノブ部を 1 秒間に約 180° 回転する動作を行い、その際の感触と操作音で構成される複合刺激から連想される操作感覚をオノマトペにより回答した。その際、被験者へはシミュレータの操作感覚から連想されたオノマトペであれば、普段馴染みのない語であっても自由に回答可能なよう教示した。回答数の制限は設けな

ったが、被験者は概ね各刺激に対して 1 つずつ、最大でも 2 つのオノマトペによる回答を行っていた。被験者は 20 代～50 代の 56 名（男性：27 名，女性：29 名，20 代：27 名，30 代：21 名，40 代：5 名，50 代：3 名）を対象とし，静穏な会議室または無響室で実施した。

#### 5.4.1.3 分析方法

被験者から得られたオノマトペに対して，モーラ文節を分析単位とする計量テキスト分析<sup>(95)</sup>を実施した。ここでは，オノマトペのうちの最初の 2 モーラを分析対象とした。例えば「カチカチ」といったオノマトペであれば「カチ」が分析対象の語となる。最初の 2 モーラを分析対象とした理由は，日本語オノマトペにおいて第 1 モーラと第 2 モーラが異なる意味合いを有していること<sup>(60)</sup>，また本実験で得られたオノマトペのうち 98%の語が 2 モーラの繰り返し表現（カチカチ等）もしくは 2 モーラ目の繰り返し表現（クルルル等）であったことから，最初の 2 モーラを分析対象とすることで被験者から得られた語の大半を網羅し得ると考えたためである。

分析対象の語に対して，次に示す 2 つの分析を行った。

- ① 頻出語分析：分析対象の語より，出現頻度の高さから，スイッチの操作感覚において連想されやすい語を把握する。
- ② 対応分析：各刺激条件と用いられるオノマトペの音韻の対応を把握するため，「語」と「感触条件（クリックトルクの大きさ）」および「操作音条件（音量，シャープネス）」を外部変数とした同時布置による多重対応分析を行った。

### 5.4.2 複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペに関する実験結果

#### 5.4.2.1 頻出語分析

Table 5-2 に示した 20 種類の刺激に対して，語の重複を含めて全 1180 語が抽出された。そのうち，10 回以上使用された語を Table 5-3 に示す。結果より，多くの被験者がロータリースイッチの操作感覚を「カチカチ（もしくはカチチチ）」「チチチチ」「チリチリ（もしくはチリリリ）」などのオノマトペで表現していたことがわかる。次に行う対応分析では，Table 5-3 に示す 10 回以上用いられた 36 語を分析対象とした。

#### 5.4.2.2 対応分析

Fig. 5-6(a)，(b)に，語と刺激の条件（感触条件および操作音条件）の同時布置による対応分析結果を示す。なお，Fig. 5-6(a)，(b)は，同一の分析結果を表すグラフであり，結果の可読性を考慮して，刺激名を示す Fig. 5-6(a)，オノマトペを示す Fig. 5-6(b)として個別のグラフで示している。

まず，Fig. 5-6(a)の成分 1 の刺激条件に着目する。負の方向には Sound H を含む操作音条件（Sound H35dB，Sound H45dB）が布置しており，正の方向には Sound L を含む操作

音条件 (Sound L35dB, Sound L45dB) が布置している。このことから、成分 1 は操作音の音質に関連の深い軸と解釈できる。成分 1 は寄与率が 54.9%であり、元データの 5 割以上の情報を反映した軸であることから、音質の違いは、被験者のオノマトペに大きく影響する要素であったと考えられる。これに対して、感触条件は成分 1 軸上において全て原点付近に布置している。このことから、感触条件は成分 1 に対しては寄与の小さな条件であったと考えられる。

次に、Fig. 5-6(b)より、成分 1 のオノマトペの傾向を観察すると、負の方向に「キキ (/ki-ki/)」「チチ (/tʃi- tʃi/)」等の母音/i/を含むオノマトペが多く布置している。Fig. 5-6(a)において、成分 1 の負の方向にはシャープネスの高い操作音 Sound H が布置していることから、母音/i/はシャープネスの高い操作音に特徴的な語と考えられる。この傾向は各刺激における第 1 モーラの母音/i/の出現頻度を表す Fig. 5-7(a)からも確認できる。そこで、「操作音の音質 (Sound H, Sound L)」条件と第 1 モーラの母音/i/の出現頻度におけるクロス集計結果に対して  $\chi^2$  検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(1)= 155.88$ ,  $p < .01$ )。これらの結果から、母音/i/はシャープネスの高い操作音を含む刺激において特徴的な音韻といえる。

また、Fig. 5-6(b)において、成分 1 の正の方向には「ポポ (/po-po/)」「ボロ (/bo-ro/)」などの母音/o/を含むオノマトペが多く布置している。Fig. 5-6(a)において、成分 1 の正の方向にはシャープネスの高い操作音 Sound H が布置していることから、母音/o/はシャープネスの高い操作音に特徴的な語と考えられる。この傾向は各刺激における第 1 モーラの母音/o/の出現頻度を表す Fig. 5-7(b)からも確認できる。そこで、「操作音の音質 (Sound H, Sound L)」条件と第 1 モーラの母音/o/の出現頻度におけるクロス集計結果に対して  $\chi^2$  検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(1)= 158.53$ ,  $p < .01$ )。これらの結果から、母音/o/はシャープネスの低い操作音を含む刺激において特徴的な音韻といえる。以上より、複合刺激を構成する音質の違いによって被験者の用いるオノマトペの母音が異なる傾向にあることがわかった。

続いて、Fig. 5-6(a)の成分 2 の刺激条件に着目する。成分 2 軸上においてクリックトルクの条件は、正の方向に布置する 10.5 mNm の条件から値が大きくなるに従って、軸上の負の方向へと順次布置している。加えて操作音条件は、成分 2 軸上の正の方向に音量 35 dB の刺激 (Sound H35dB, Sound L35dB)、負の方向に音量 45 dB の刺激 (Sound H45dB, Sound L45dB) が布置している。したがって、成分 2 はクリックトルクの大きさおよび音量の大きさに関連のある軸と解釈できる。

次に、Fig. 5-6(b)より、成分 2 のオノマトペの傾向を観察すると、正の方向には「スル (/su-ru/)」「クル (/ku-ru/)」等の母音/u/を含むオノマトペが多く布置している。Fig. 5-6(a)において、成分 2 の正の方向にはクリックトルクの小さい条件 (10.5, 15.8, 21.0 mNm) および音量の小さい条件 (35 dB) が布置していることから、母音/u/はクリック

トルクおよび音量の小さい条件に特徴的な語と考えられる。そこで、まず「操作音の音量 (35 dB, 45 dB)」条件と第1モーラの母音/u/の出現頻度におけるクロス集計結果に対して $\chi^2$ 検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(1)=5.41, p < .05$ )。また、同様の検討について、子音/b/, 子音/g/および子音/d/を含む語を除く母音/u/の出現頻度に対して行ったところ、より大きな有意差が確認された ( $\chi^2(1)=16.72, p < .01$ )。これらの結果から、特に子音/b/, 子音/g/および子音/d/を含む語を除く母音/u/は音量の小さな操作音を含む刺激において用いられる傾向にあると考えられる。続いて、「クリックトルクの大きさ」条件と第1モーラの母音/u/の出現頻度におけるクロス集計結果に対して $\chi^2$ 検定を行ったところ、有意差は確認されなかった ( $\chi^2(4)=6.12, p > .05$ )。そこで、同様の分析について「操作音の音量」条件ごと個別に行ったところ、音量 35dB の操作音を含む刺激における「クリックトルクの大きさ」条件と子音/b/, 子音/g/および子音/d/を含む語を除く母音/u/の出現頻度におけるクロス集計結果に対する $\chi^2$ 検定において、有意差が確認された ( $\chi^2(4)=10.21, p > .01$ )。これらの結果から、音量 35 dB の操作音とクリックトルクの小さい感触から構成される複合刺激において、子音/b/, 子音/g/および子音/d/を含む語を除く母音/u/を含むオノマトペが用いられる傾向にあるといえる。

さらに、Fig. 5-6(b)より、成分2の負の方向には「ゴリ (/go-ri/)」や「ガチ (/ga-tji/)」等の第1モーラに濁音を含むオノマトペが多く布置している。Fig. 5-6(a)において、成分2の負の方向にはクリックトルクの大きい条件 (26.3, 31.5 mNm) および音量の大きい条件 (45 dB) が布置していることから、濁音を含む語はクリックトルクおよび音量の大きい条件において特徴的に用いられると考えられる。この傾向は各刺激における濁音の出現頻度を表す Fig. 5-7(c)からも確認できる。そこで、まず「操作音の音量 (35 dB, 45 dB)」条件と第1モーラの濁音の出現頻度におけるクロス集計結果に対して $\chi^2$ 検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(1)=5.41, p < .05$ )。同様に「クリックトルクの大きさ」条件と第1モーラの濁音の出現頻度におけるクロス集計結果に対して $\chi^2$ 検定を行ったところ、有意差が確認された ( $\chi^2(1)=5.41, p < .05$ )。これらより、操作音の音量の大きさやクリックトルクの大きさによって、被験者の用いるオノマトペの音韻が異なる傾向にあることがわかった。

#### 5.4.3 複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペに関する考察

本節では、感触と操作音で構成される複合刺激から得られる操作感覚を対象に、オノマトペによる自由回答評価実験を実施した<sup>(124)</sup>。対応分析結果 (Fig. 5-6(a), (b)) から、成分1は音質 (シャープネス)、成分2はクリックトルクと音量の大きさとの対応が見られ、物理量の組み合わせに応じて異なるオノマトペが使用されていた。一般的に日本語オノマトペは、感触などの質感を表現する語を擬態語、動物の鳴き声などの音声模倣に関する語を擬音語として明確に区別されるが、本実験で被験者から得られた回答は、擬態語とも擬

音語ともつかない両者の影響を含んだ表現が行われていたと考えられる。その上で、音質との対応が見られた成分 1 は、元データの 5 割以上の情報を反映した軸であったことから、複合刺激から得られる操作感覚に対して音質の違いが被験者の回答に大きく影響を与えていたことがわかる。先行研究<sup>(97)(125)</sup>では、スイッチの操作感覚に対して聴覚や視覚よりも触覚の寄与が大きいことが報告されており、聴覚の方が寄与的であった本実験結果とは異なる。このことは、オノマトペによって複数の知覚から得られる操作感覚を評価する場合、聴覚の印象が大きく影響することを示唆する。

次に、刺激を構成する物理量とオノマトペの音韻の対応に着目する。本実験結果では、シャープネスが高い操作音から母音/i/を含む語、シャープネスが低い操作音から母音/o/を含む語が得られやすい傾向にあった。この結果は、4.4 節の操作音の単刺激を対象とした実験結果とも対応している。また、本実験ではクリックトルクおよび音量が大きい条件で濁音が用いられる傾向が確認され、この結果も 3.3 節の感触および 4.3 節の操作音の単刺激を対象とした実験結果と対応している。これらの結果より、複合刺激から連想されるオノマトペは、それぞれの単刺激を表すオノマトペの特徴を併せ持つ形で表現されると考えられる。ただし、本実験では単刺激の実験結果と異なる音韻の傾向も確認された。3.3 節の感触単刺激を対象とした実験では、クリックトルクの小さい条件において母音/u/を含む語が特徴的に用いられる傾向にあった。しかし本実験では、同様の傾向は音量 35 dB の操作音を含む刺激においてのみ確認され、45 dB の操作音との組み合わせでは見られなかった。このことから、母音/u/を含むオノマトペは、感触のクリックトルクおよび操作音の音量ともに小さい条件において特徴的に用いられる語であることがわかった。これは、45 dB の音量の操作音とクリックトルクの小さい感触とを組み合わせた場合、操作感覚に占める聴覚の影響が寄与的になり、被験者は操作音の音質からオノマトペの回答を行う傾向にあったことが一因と考えられる。クリックトルクの小さい条件において、聴覚の影響で母音/u/を含むオノマトペが連想されにくくなる傾向は、5.2 節で実施した評点形式によるオノマトペ評価実験の結果とも合致する。したがって、複合刺激から連想されるオノマトペは、操作感覚に対して触覚または聴覚のいずれか寄与の大きい刺激の影響を強く受け、その寄与の大きさは、クリックトルクの大きさと音量の大きさのバランスから決定されるものと考えられる。このことはロータリースwitchの操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与について検討した 5.3 節の結果とも合致する。

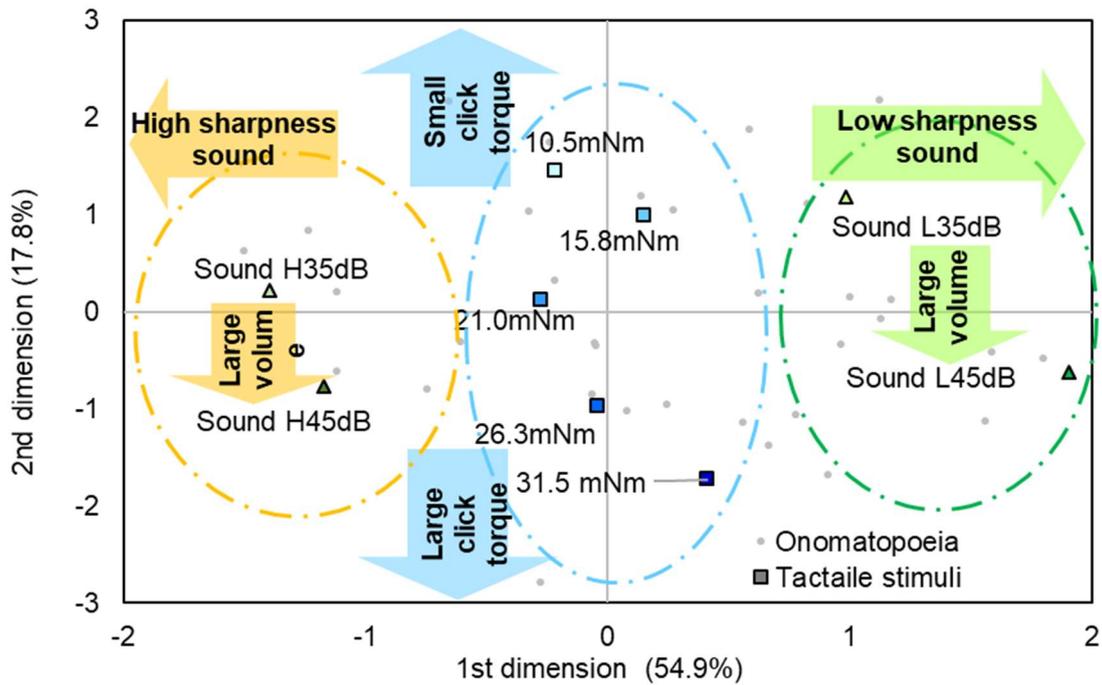
以上より、本節では感触および操作音で構成される複合刺激から連想されるオノマトペについて検討し、複合刺激を構成する物理量の大きさに応じてオノマトペの音象徴性を反映した表現が行われることを見出した。このことは、製品設計の現場においてオノマトペの音象徴性を利用することで、ユーザーのイメージに合致した物理量の組み合わせを推測し得る可能性を示す。このようにオノマトペを構成する音韻から適切な感触および操作音を推測し、提案することができれば、製品設計において有用なツールになり得る。

Table 5-2 Experimental stimuli

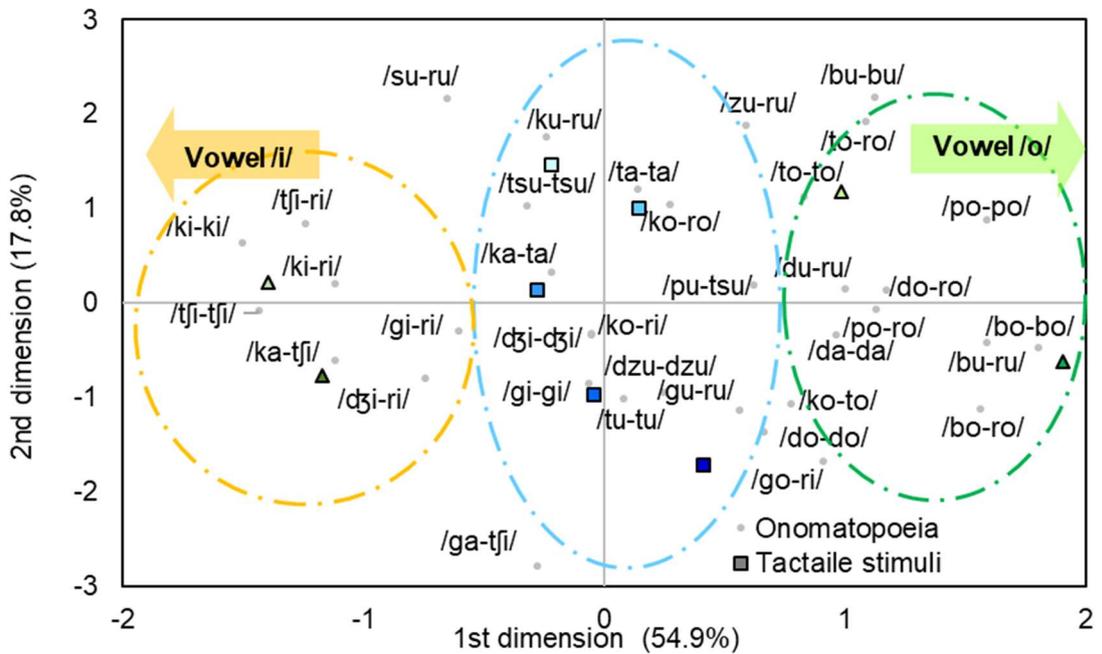
No.	Tactile stimuli	Auditory stimuli	
	Click torque mNm	L <sub>Aeq</sub> dB	Sharpness acum
1	10.5	35	3.0 (Sound H)
2	15.8		
3	21.0		
4	26.3		
5	31.5		
6	10.5	45	
7	15.8		
8	21.0		
9	26.3		
10	31.5		
11	10.5	35	1.4 (Sound L)
12	15.8		
13	21.0		
14	26.3		
15	31.5		
16	10.5	45	
17	15.8		
18	21.0		
19	26.3		
20	31.5		

Table 5-3 Commonly used words in the experiment

Onomatopoeia	Number of occurrences	Onomatopoeia	Number of occurrences
/ka-tʃi/ (カチ)	90	/bo-ro/ (ボロ)	17
/tʃi-tʃi/ (チチ)	74	/dzu-dzu/ (ズズ)	16
/tʃi-ri/ (チリ)	44	/ka-ta/ (カタ)	15
/dʒi-dʒi/ (ジジ)	41	/da-da/ (ダダ)	15
/to-to/ (トト)	40	/ga-tʃi/ (ガチ)	14
/ta-ta/ (タタ)	36	/tsu-tsu/ (ツツ)	14
/go-ri/ (ゴリ)	35	/do-do/ (ドド)	14
/bo-bo/ (ボボ)	32	/ko-to/ (コト)	13
/po-po/ (ポポ)	28	/to-ro/ (トロ)	13
/gi-gi/ (ギギ)	27	/bu-ru/ (ブル)	13
/gi-ri/ (ギリ)	26	/ki-ki/ (キキ)	12
/po-ro/ (ポロ)	26	/su-ru/ (スル)	12
/ki-ri/ (キリ)	24	/dzu-ru/ (ズル)	12
/ko-ri/ (コリ)	24	/du-ru/ (ドゥル)	12
/ku-ru/ (クル)	23	/do-ro/ (ドロ)	12
/ko-ro/ (コロ)	18	/gu-ru/ (グル)	11
/dʒi-ri/ (ジリ)	18	/tu-tu/ (トゥトゥ)	11
/pu-tsu/ (プツ)	17	/bu-bu/ (ブブ)	10

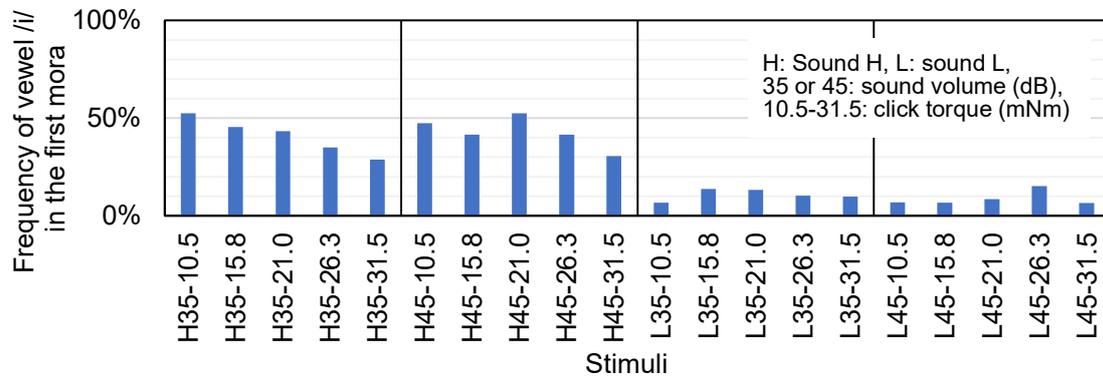


(a) Results focusing on stimulus conditions

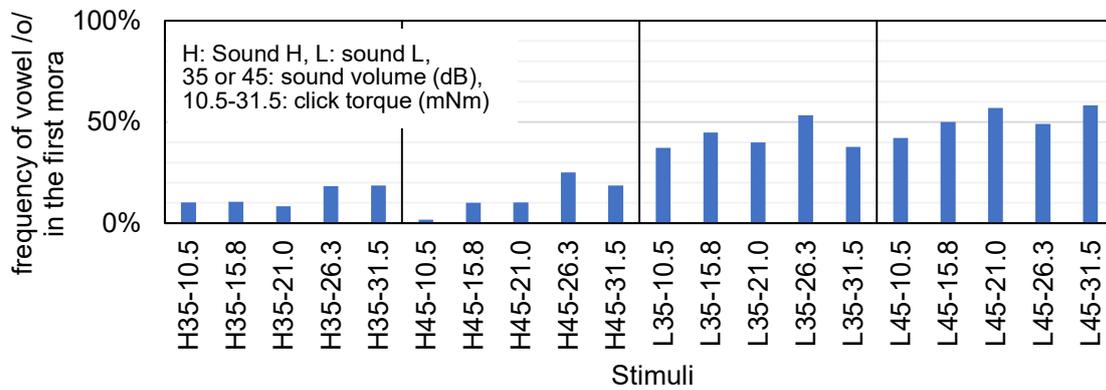


(b) Results focusing on onomatopoeias

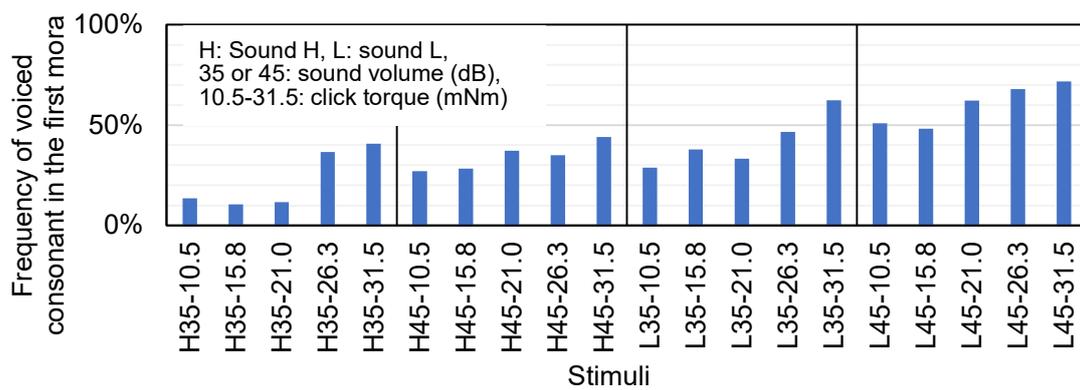
Fig. 5-6 Correspondence analysis results



(a) Vowel /i/ in the first mora



(b) Vowel /o/ in the first mora



(c) Voiced consonant in the first mora

Fig. 5-7 Frequency of onomatopoeia for each stimulus

## 5.5 複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと形容詞の対応

5.4 節の触覚と聴覚から得られる操作感覚を表すオノマトペに関する評価実験では、第 3 章の触覚および第 4 章の聴覚を対象とした実験と類似した特徴を有しており、両者の特徴を併せ持つ音象徴性を反映したオノマトペが用いられることを明らかにした。ロータリースイッチの操作感覚を構成する物理量に応じて異なるオノマトペが得られ、それらの傾向が音象徴性によって概ね整理できることは、オノマトペが操作感覚の定量的なデザインに有効である可能性を示す。ただし、操作者がオノマトペによる表現を行った際、ロータリースイッチの操作時にどのような印象を抱いていたかは明らかではない。オノマトペが有する意味的な側面を具体的な形容詞として把握し、さらに形容詞で表すことが難しい繊細な程度の情報をオノマトペの音韻が有する音象徴性で補間することができれば、より緻密な感性価値の設計に資すると考えられる。

そこで本節では、ロータリースイッチの操作感覚から連想されるオノマトペと形容詞の対応について、ロータリースイッチの操作感覚を構成する物理量との関連性から把握する。ここでは、感触と操作音から構成されるロータリースイッチの操作感覚に対して、形容詞を評価語とする SD 法による評価を行う。次に、SD 法による評価実験結果と 5.4 節のオノマトペによる評価実験結果の対応から、形容詞とオノマトペを構成する音韻の関係を把握するとともに、オノマトペによる印象評価手法の特徴について明らかにする。

### 5.5.1 操作感覚を表すオノマトペと形容詞の対応に関する実験方法

実験は、5.4 節と同様の機器および刺激を用いて、以下に示す手順によって行った。

#### 5.5.1.1 実験手順

刺激から得られる操作感覚に対して、4.3 節および 4.4 節の実験に用いた Table 4-1 に示す 15 形容詞対による 7 件法の SD 法により評価を行った。被験者は 20 代～30 代の 24 名（男性：12 名、女性：12 名、20 代：12 名、30 代：12 名）を対象とし、無響室内で実施した。

#### 5.5.1.2 分析方法

SD 法の実験結果を少数の次元に要約して解釈するため、因子分析を実施した。因子の抽出は主因子法、バリマックス回転により行った。また、刺激ごとに因子得点を算出することで、刺激を構成する物理量と操作感覚との対応について検討した。

### 5.5.2 操作感覚を表すオノマトペと形容詞の対応に関する実験結果

被験者の回答に対する因子分析結果を Table 5-4 に示す。これより、「硬い－柔らかい」「はっきりとした－ぼやけた」等の形容詞対の因子負荷量が大きい第 1 因子、「快適である

「快適でない」「好ましい－好ましくない」等の形容詞対の因子負荷量が大きい第 2 因子、「野太い－甲高い」「鈍い－鋭い」等の形容詞対の因子負荷量が大きい第 3 因子から成る 3 因子が得られた。

続いて、これらの 3 因子と各刺激との対応を把握するために因子得点を算出した。Fig. 5-8(a)～(c)は、横軸が各刺激の条件、縦軸が因子得点の平均値、エラーバーは標準偏差を示す。これより、Fig. 5-8(a)に示す第 1 因子は、いずれの操作音条件との組み合わせにおいてもクリックトルクが大きくなるに従い、因子得点が大きくなる傾向にある。また、H35 (Sound H, 35 dB) および L35(Sound L, 35 dB)の操作音条件は、クリックトルクが 26.8 mNm 以上の条件で、平均評価値が正に転じているのに対し、H45(Sound H, 45 dB)および L45(Sound L, 45 dB)の操作音条件では 21.0 mNm 以上の条件で正に転じている。このことから、音量の大きい 45 dB の操作音を含む刺激の方が、35 dB の操作音を含む刺激よりも全体的に因子得点は高くなる傾向にあることがわかる。したがって第 1 因子を構成する操作感覚は、クリックトルクと音量の大きさに影響を受けていたと考えられる。

Fig. 5-8(b)に示す第 2 因子は、各刺激ともに因子得点の平均評価値が 0 点付近であり、かつ標準偏差も大きいことから、明確な傾向は確認できなかった。

Fig. 5-8(c)に示す第 3 因子は、Sound H の操作音を含む刺激が概ね平均評価値が負であり、Sound L の操作音を含む刺激が概ね平均評価値が正であることが確認できる。また、いずれの操作音との組み合わせにおいてもクリックトルクが大きくなるに従って、平均評価値が大きくなる傾向にある。これらのことから、第 3 因子を構成する操作感覚は、操作音の音質とクリックトルクの大きさに影響を受けていたことがわかる。

以上より、本節では SD 法実験結果に対する因子分析から 3 因子が得られ、そのうち第 1 因子および第 3 因子の操作感覚は感触と操作音の組み合わせに応じて、定量的に変化する傾向が示された。

### 5.5.3 操作感覚を表すオノマトペと形容詞の対応に関する考察

本節では、感触と操作音で構成される複合刺激から得られる操作感覚を対象に、SD 法による印象評価実験を実施した<sup>(124)</sup>。本実験の因子分析結果から得られた 3 因子のうち、第 1 因子はクリックトルクおよび音量の大きさ、第 3 因子はシャープネスおよびクリックトルクの大きさとの対応が見られた。その一方で、第 2 因子は明確な物理量との対応は確認されなかった。第 2 因子は嗜好に関連した形容詞対で構成されていることから、個人差が大きく現れたものと推察される。本実験ではスイッチ操作時に明確な状況設定を行っていなかったことも個人差を生む要因として挙げられる。そのため、嗜好に関する操作感覚と物理量との関連については、操作時の状況設定や操作タスクを考慮した上で別途検討が必要である。

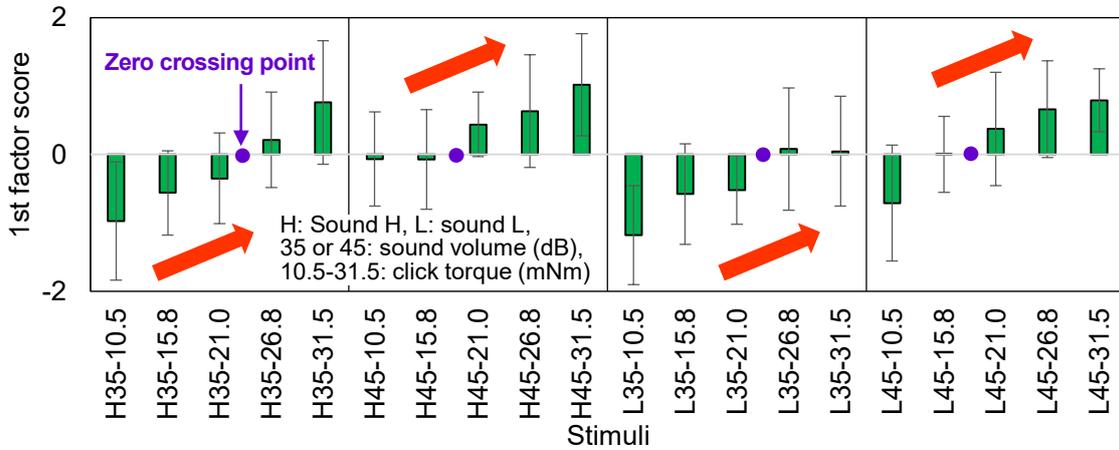
5.4 節の対応分析結果 (Fig. 5-6) より、成分 1 はシャープネス、成分 2 はクリックトル

クと音量との対応が見られた。本実験では因子分析結果より、第 1 因子はクリックトルクと音量、第 3 因子はシャープネスとクリックトルクとの対応が確認された。それぞれの実験から得られた物理量との対応から、オノマトペと形容詞の関係は Fig. 5-9 に示す 2 次元空間として整理できる。なお、図中に示す形容詞は、因子分析結果から、第 1 因子および第 3 因子に対して因子負荷量の高い形容詞を代表して 2 つずつ示している。図中では SD 法実験結果において第 3 因子との関連が見られた「甲高い (Shrill) / 鋭い (Sharp)」および「野太い (Deep) / 鈍い (Dull)」の形容詞は、それぞれ第 2 象限および第 4 象限のみに記載している。これは Fig. 5-8(c)において、シャープネスが高い操作音 Sound H を含む刺激はクリックトルクが小さい条件では「甲高い (Shrill) / 鋭い (Sharp)」操作感覚を抱くが、クリックトルクの増加に伴い因子得点が 0 点に近づくこと、さらにシャープネスが低い操作音 Sound L を含む刺激はクリックトルクが小さい条件では「野太い (Deep) / 鈍い (Dull)」操作感覚は 0 点付近であるが、クリックトルクの上昇に伴い「野太い (Deep) / 鈍い (Dull)」操作感覚が上昇する、といったクリックトルクの大きさに依存する要素を表現している。このようにオノマトペと形容詞との関係が把握できたことは、ロータリースイッチの操作感覚を定量的にデザインする上で有用な知見といえる。

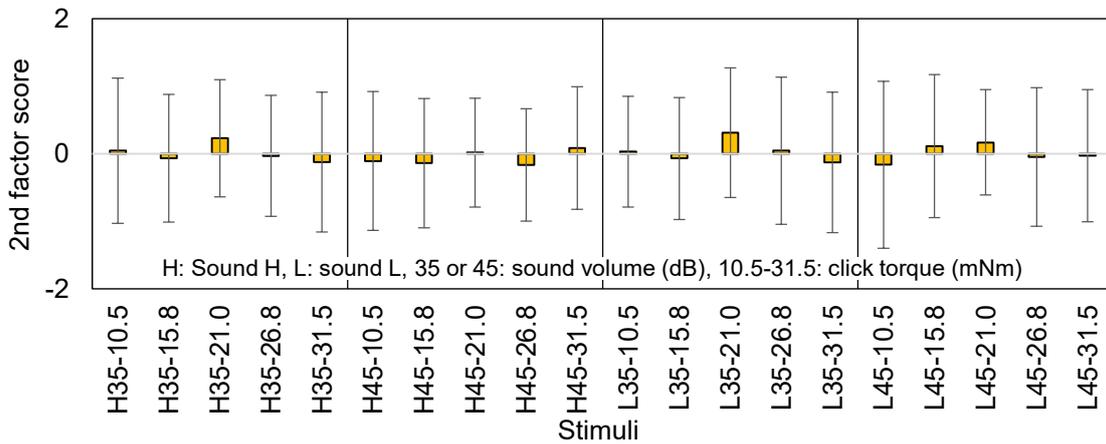
また、本研究ではオノマトペによる評価と形容詞による評価との間で差異が確認された。オノマトペによる評価では、対応分析において、音質と関連の深い軸である成分 1 の寄与率が 50%を超えており、操作音の音質の違いが被験者の回答に大きく影響を与えていた。このことは、オノマトペで操作感覚を表現する際、触覚から得た情報よりも聴覚から得た情報の方が優先的に表現される傾向にあることを示唆する。一方、形容詞による評価では、因子得点の結果から、2 つの因子においてクリックトルクの大きさが操作感覚に寄与していた。このことから、形容詞による評価では触覚から得た情報の方が優先的に表現される傾向にあると考えられる。このように、2 つの実験間で優先的に処理される知覚が異なる傾向にあった。このことは、複数のモダリティに影響する刺激を用いた印象評価実験では、選択した評価手法によって表現される操作感覚に差異が生じる可能性を示す。したがって、人の感性を製品設計に反映する上では両評価手法の特徴を把握し、これらを組み合わせることで、より繊細な感性価値の設計が可能になると考えられる。

Table 5-4 Results of factor analysis

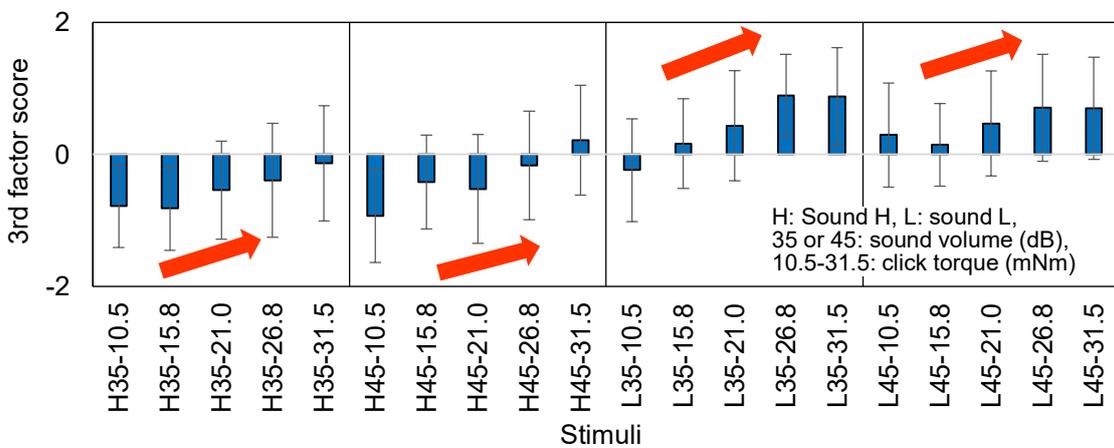
Adjective pairs (in Japanese)		1st factor	2nd factor	3rd factor
Hard (硬い)	- Soft (柔らかい)	0.744	-0.147	0.188
Obvious (はっきりとした)	- Fuzzy (ぼやけた)	0.669	0.309	-0.150
Rough (粗い)	- Smooth (滑らかな)	0.653	-0.237	0.416
Oppressive (決定感のある)	- Non-oppressive (決定感のない)	0.599	0.415	0.203
Clear (明快な)	- Vague (曖昧な)	0.551	0.396	-0.266
Loud (騒々しい)	- Quiet (静かな)	0.544	-0.107	-0.048
Comfortable (快適である)	- Uncomfortable (快適でない)	-0.055	0.891	-0.230
Desirable (好ましい)	- Undesirable (好ましくない)	0.028	0.883	-0.173
Pleasant (心地よい)	- Unpleasant (心地悪い)	-0.008	0.814	-0.219
Luxury (高級感のある)	- Tinny (高級感のない)	-0.008	0.483	0.050
Deep (野太い)	- Shrill (甲高い)	0.250	0.070	0.780
Dull (鈍い)	- Sharp (鋭い)	-0.171	-0.213	0.702
Thick (重い)	- Thin (軽い)	0.627	0.001	0.674
Heavy (鈍重な)	- Light (軽快な)	0.543	-0.137	0.676
Muffled (こもった)	- Vivid (すっきりした)	-0.190	-0.329	0.659
Contribution ratio (%)		21.4%	21.1%	19.5%
Cumulative contribution ratio (%)		21.4%	42.4%	61.9%



(a) First factor



(b) Second factor



(c) Third factor

Fig. 5-8 Factor score results. The error bars indicate standard deviation.

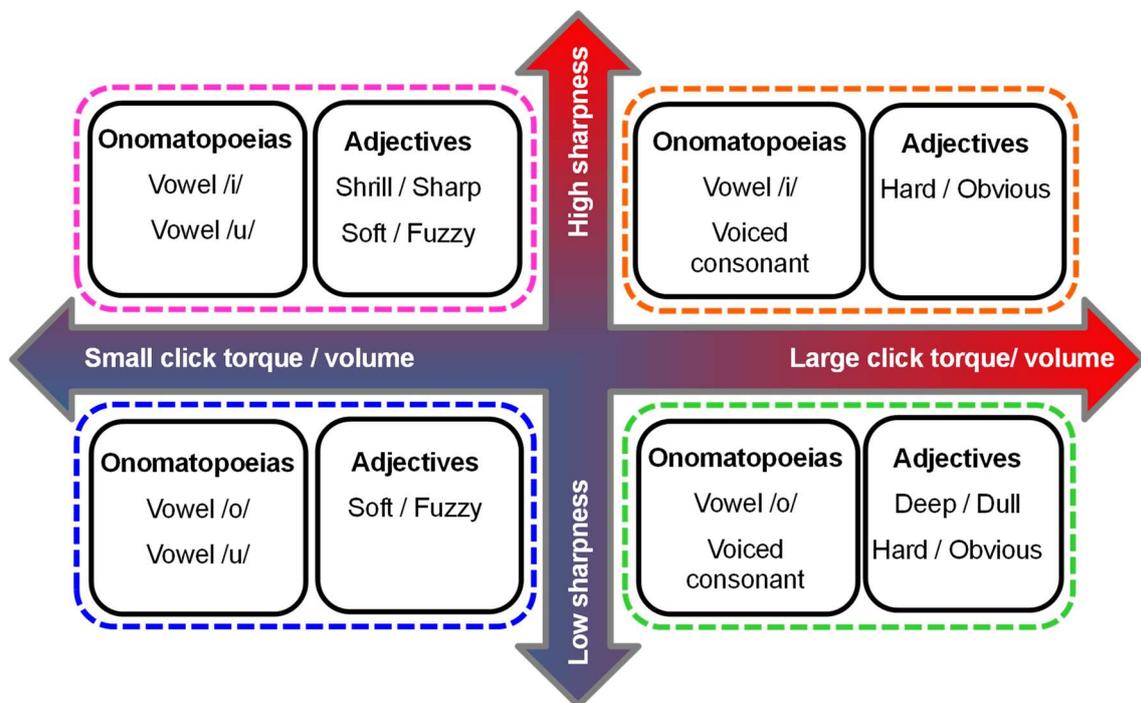


Fig. 5-9 Relationship between adjectives and onomatopoeias

## 5.6 おわりに

本章では、ロータリースイッチの操作感覚に対して、触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討した。はじめに、ロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペについて、操作音提示の有無により比較することで操作感覚を表すオノマトペに対する聴覚の影響について検討した。続いて、ロータリースイッチの操作感覚に対する触覚および聴覚の寄与を定量的に把握するため「触覚と聴覚のどちらが印象に残ったか」を問う実験を実施した。次に、ロータリースイッチの操作感覚を対象に、触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚に対して、オノマトペによる自由回答評価実験を行った。これにより、複数の知覚から得られる操作感覚を表すオノマトペの音象徴性と物理量の対応について検討した。次に、先述したオノマトペによる自由回答評価実験に用いた複合刺激と同様の刺激に対して、SD法による印象評価実験を行った。オノマトペによる評価と形容詞による評価の対応から、オノマトペの有する意味的な側面を把握するとともに、オノマトペによる印象評価手法の特徴について検討した。本章で得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚を表すオノマトペは、触覚と聴覚の両者から影響を受けることを明らかにした。さらに、聴覚の影響はクリックトルクが小さい条件において顕著に現れ、オノマトペによる操作感覚の表現が聴覚と触覚の寄与を反映していることを見出した。
- (2) 触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚を表すオノマトペは、第3章の触覚および第4章の聴覚を対象とした実験結果と類似した特徴を有しており、両者の特徴を併せ持つ表現が用いられることを明らかにした。
- (3) オノマトペによる評価実験と形容詞を評価語としたSD法による評価実験の結果の対応から、オノマトペを構成する音韻と形容詞の関係を Fig. 5-9 のように体系的に整理し、ロータリースイッチの操作感覚設計における一指針を示した。
- (4) オノマトペによる評価は聴覚、形容詞による評価は触覚から得られる操作感覚の影響を大きく受ける傾向にあり、選択する印象評価手法によって優先される知覚に差異が生じる可能性があることを見出した。

これらは、機器の操作感覚設計において繊細な印象の差異を他者へ伝達する際に有用な知見であると同時に、産業応用という観点において、本研究分野の新たな可能性を見出したといえる。本研究ではロータリースイッチを対象として操作感覚を表すオノマトペについて検討を行ったが、同様のアプローチにより、多様な機器の操作感覚設計への活用が期待される。

## 第 6 章

## 結論

## 6.1 研究成果

本研究では、機器の操作感覚を繊細かつ直感的に他者に伝達する手法の考案を目的として、ロータリースイッチの操作感覚を対象に、その操作感覚を表すオノマトペの音象徴性と物理量との対応について検討した。各実験の結果から、ロータリースイッチ操作時の触覚および聴覚に関連する物理量に対して、音象徴性を反映したオノマトペが用いられることを示した。また、これらの刺激の組み合わせから構成される複合刺激に対しては、触覚および聴覚の両者の影響を反映したオノマトペが用いられることを明らかにした。これらの知見から、感性価値向上に向けたオノマトペの音象徴性の利用による機器の操作感覚設計に関する指針を示した。

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3章では、ロータリースイッチ操作時に触覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討し、以下の知見を得た。

- (1) ロータリースイッチ操作時に触覚から得られる操作感覚を表すオノマトペの特徴として、「サラサラ」や「コリコリ」などの手触りの質感を表すオノマトペに加えて、「スルスル」や「コロコロ」等の回転動作に関連する表現が多く用いられることを見出した。
- (2) クリックトルクの大きさとオノマトペの対応について、クリックトルクの小さな感触では母音/u/を含む語、クリックトルクの大きな感触では濁音を含む語が用いられる傾向にあることを見出し、オノマトペを構成する音韻の音象徴性によって整理した。
- (3) オノマトペと対応するクリックトルクの範囲を定量的に把握し、感触表現を具体的な設計指針として明確に提示した。

第4章では、ロータリースイッチ操作時に聴覚から得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討し、以下の知見を得た。

- (1) 音の大きさを表すオノマトペの特徴として、音量の小さい刺激に対しては母音/u/、音量の大きい刺激に対しては濁音を含むオノマトペが用いられる傾向にあり、操作音の大きさによって操作感覚を表すオノマトペを構成する音韻が異なることを把握した。さらに、その特徴は感触を対象とした実験結果とも類似しており、大きさを表す音象徴性はモダリティに依らず共通した傾向にあることを見出した。
- (2) 音の甲高さを表すオノマトペの特徴として、シャープネスの低い刺激に対しては母音/o/、シャープネスの高い刺激に対しては母音/i/を含むオノマトペが用いられる傾向にあり、操作音の甲高さによって、操作感覚を表すオノマトペを構成する音韻が異なることを把握した。
- (3) ロータリースイッチ操作時に生じる操作音に対する形容詞を評価語としたSD法による評価を実施し、操作感覚を表すオノマトペの意味的な側面を把握した。また、オノマトペによる評価とSD法による評価の対応から、操作音の設計においてオノマトペ

は、形容詞よりも操作感覚を繊細に表現し得る可能性を示した。

第5章では、ロータリースイッチ操作時に触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討し、以下の成果を得た。

- (1) 触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚を表すオノマトペは、触覚および聴覚の両者から影響を受けることを明らかにした。さらに、聴覚の影響はクリックトルクが小さい条件において顕著に現れ、オノマトペによる操作感覚の表現が聴覚と触覚の寄与を反映していることを見出した。
- (2) 触覚および聴覚から複合的に得られる操作感覚を表すオノマトペは、第3章の触覚および第4章の聴覚を対象とした実験結果と類似した特徴を有しており、両者の特徴を併せ持つ表現が用いられることを明らかにした。
- (3) オノマトペによる評価実験と形容詞を評価語としたSD法実験の対応から、オノマトペを構成する音韻と形容詞の関係を体系的に整理し、ロータリースイッチの操作感覚設計における一指針を示した。
- (4) オノマトペによる評価は聴覚、形容詞による評価は触覚から得られる操作感覚の影響を大きく受ける傾向にあり、選択する印象評価手法によって優先される知覚に差異が生じる可能性があることを示した。

これらは、機器の操作感覚設計において繊細な印象の差異を他者へ伝達する際に有用な知見であると同時に、産業応用という観点において本研究分野の新たな可能性を見出したといえる。ただし、本研究ではロータリースイッチの操作感覚を表すオノマトペと物理量の対応について検討にあたり、以下に示す制約された条件で実施した。

- (1) クリックの有無に関する制約：市場のロータリースイッチには、オーディオの音量調節に用いられるようなクリックのない無段階のスイッチも存在する。しかし、本研究ではクリックを有するスイッチに限定して実験を行った。
- (2) クリック数に関する制約：市場のロータリースイッチは、その使用用途に応じて異なるクリック数を有する。しかし、本研究ではクリック数30回/360°のスイッチのみを対象とした。
- (3) 回転速度に関する制約：実際にロータリースイッチを操作する際は、その使用用途に応じて操作時の回転速度は異なる。しかし本研究の実験では「1秒間に約180°操作」とする回転速度の統制を行った。
- (4) コントロールノブのサイズに関する制約：市場のロータリースイッチは、その使用用途に応じて異なるノブの直径を有する。しかし本研究では直径50mmのノブのサイズに限定して実験を行った。

本研究成果は、これらの制約を設けることで自由回答によるオノマトペと操作感覚の対応を明確に把握できた。その一方で、製品設計に活用する上では、これらの制約の下で得られた知見であることを留意すべきである。今後は、制約したパラメータについても検討を

進め、より広範な操作感覚設計に有用な知見を得ることが望まれる。

続いて、本研究成果の具体的な活用例について述べる。車載機器用のスイッチは、近年、異なる機能を一つの感触デバイスに集約することで、制御要素数が減少してきている<sup>(126)(127)</sup>。このような感触デバイスの設計においては、制御する機能ごとに操作感覚の繊細な作り込みが求められる。その際、デザイナーと技術者の伝達手段として本研究成果を活用し、オノマトペを介した操作感覚の伝達を行うことで、デザイナーの意図にあった操作感覚の提供に資する。また、感触デバイスの感性価値の向上を図る場合、その操作感覚は消費者の要望に応じてカスタマイズできることが望ましい、消費者の意図を汲み取る際の伝達手段として本研究成果を活用することで、直感的な操作感覚を提供するための一助となり得る。なお、本研究ではスイッチ製品を事例として操作感覚と物理量の対応について検討したが、得られた知見の多くは他の分野においても広く応用可能である。例えば、製品のデザイン経験者はデザインのイメージを伝えるためにオノマトペを利用する頻度が高いとされる<sup>(128)</sup>。そのため、デザイン熟練者が用いるオノマトペの音韻的な特徴を把握することで繊細な印象の違いを他者へ伝達でき、デザイン未経験者に対する技術伝承等において有効に活用できる。本研究成果がオノマトペの音象徴性の産業応用において有用に活用されることを望む。

## 6.2 今後の課題と展望

本研究では、機器の操作感覚を繊細かつ定量的に他者に伝達する手法の考案を目的として、ロータリースwitchの操作感覚を対象に、その操作感覚を表すオノマトペの音象徴性と物理量との対応について検討した。以下、オノマトペの音象徴性を活用した操作感覚設計の発展のための課題をまとめる。

### (1) 様々な機器の操作感覚設計への適用

本研究で得られた操作感覚設計手法について、ロータリースwitch以外の各種機器の操作感覚設計に展開し、その有効性を把握することが望まれる。例えば、プッシュスイッチや、プッシュプルスイッチなどのスイッチ製品は、その感触を表す際「カチカチ」などのオノマトペが日常的に用いられることから、設計パラメータとオノマトペの音韻の関係を把握することで、本研究で得られた知見の活用が期待できる。

また、機器の操作感覚には、本稿で対象とした触覚および聴覚の他、視覚情報が影響する<sup>(129)</sup>。したがって、視覚情報から得られる操作感覚とオノマトペとの対応を把握し、本研究で得られた知見と合わせて適用することで、より繊細な操作感覚の設計に資する。

### (2) オノマトペによる評価における個人差の考慮

本研究では、オノマトペによる評価において、個人差についての明確な言及に至らなか

った。しかし、オノマトペの捉え方は性別によって異なることが報告されている<sup>(130)</sup>。また日本国内において関西圏では、関東圏などの多地域と比較してオノマトペを多用する傾向にある<sup>(131)</sup>。このような性別差や地域差といったクラスター間のオノマトペの差異を把握することで、個人差を明確化できる可能性がある。操作感覚を構成する物理量とオノマトペの音韻の対応について、個人差を反映することで、より個人の感性価値に合致した操作感覚の創生が期待できる。

### (3) 日本語以外の言語における検討

本研究では、日本語のオノマトペの音象徴性に着目し、感触および操作音から構成される操作感覚の設計手法について検討した。オノマトペの音象徴性は、主に聴覚情報の伝達手段として、イタリア語<sup>(132)</sup>、フランス語<sup>(68)</sup>、中国語<sup>(117)</sup>等、多くの言語話者で確認されている。そのため、他言語についても本研究と同様の検討を行うことで、研究成果の他言語への展開が期待される。ただし、その上での課題も存在する。その一つに発声方法に関する課題が挙げられる。日本語と他言語では発声方法が異なり、オノマトペの音象徴性に影響する可能性がある。また、触覚情報をオノマトペで表さない言語も存在し<sup>(65)</sup>、それら言語に対しては、本研究とは異なるアプローチを検討する必要がある。

上述した課題について検討することで、より多様な機器の操作感覚設計への応用が期待される。

## 研究実績一覧

### 原著論文

- (1) 宮入 徹, 坂下 丈, 追川 千夏, 白坂 剛, 下村 尚登, 戸井 武司.  
感触と操作音の連続複合刺激によるスイッチ操作感覚モデルの構築.  
自動車技術会論文集. Vol. 51, No. 4, 695-700 (2020).
- (2) 宮入 徹, 服部 遊, 村越 弘章, 小澤 佳佑, 田中 謙介, 千葉 慎一郎.  
バドミントン打音に対する印象構造の把握と音響物理量との関係性.  
日本感性工学会論文誌. Vol.20, No.2, 195-203 (2021).
- (3) 宮入 徹, 下村 尚登, 白坂 剛, 戸井 武司.  
ロータリースイッチ操作時の感触とオノマトペ表現の関係性.  
日本感性工学会論文誌. Vol. 21, No.2, 189-197 (2022).  
(本稿第3章の内容を構成)
- (4) 宮入 徹, 下村 尚登, 白坂 剛, 大友 貴史, 戸井 武司.  
感触と操作音の組み合わせを考慮したロータリースイッチ操作感覚設計手法の考案.  
自動車技術会論文集. Vol. 53, No. 5, 874-879 (2022).  
(本稿第5章 (5.4項, 5.5項) の内容を構成)
- (5) Toru Miyairi, Jo Sakashita, Takeshi Shirasaka, Hisato Shimomura, Takeshi Toi.  
Improving tactile feedback during push switch operation using intelligible operating sound.  
Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing. Vol. 16 No. 5, 1-12  
(2022).

### 国際会議

- (1) Toru Miyairi, Takeshi Shirasaka, Hisato Shimomura, Takeshi Toi.  
Understanding the Relationship between Onomatopoeic Expressions and Sound Quality for  
Rotary Switch Operating Sounds.  
Proceedings of INTER-NOISE 2021 - 2021 International Congress and Exposition of Noise  
Control Engineering (2021・8)  
(本稿第4章の内容を構成)
- (2) Toru Miyairi, Takeshi Shirasaka, Hisato Shimomura, Takashi Otomo, Takeshi Toi.  
The Effect of Sound feedback on the Perception of Rotary Switch Operation  
Proceedings of the 24th International Congress on Acoustics (2022・10)  
(本稿第5章 (5.2項, 5.3項) の内容を構成)

**国内会議・研究会**

- (1) 宮入徹, 坂下丈, 追川千夏, 白坂剛, 下村尚登, 戸井武司.  
感触と操作音の連続複合刺激によるスイッチ操作感覚モデルの構築.  
自動車技術会大会学術講演会講演予稿集. No. 6-17, 1-6 (2020・5)
- (2) 宮入徹, 服部 遊.  
過渡音と定常音で構成される機器騒音に対する印象評価.  
環境工学総合シンポジウム講演論文集. Vol. 2020.30 (2020・6)
- (3) 宮入徹, 服部遊, 村越弘章, 小澤圭佑, 田中謙介, 千葉慎一郎.  
バドミントン打音に対する好ましさを構成する印象構造の把握  
日本感性工学会春季大会. No.2A-04, 1-6 (2021・3)
- (4) 宮入徹, 勢川真以, 下村尚登, 白坂剛, 戸井武司.  
オノマトペ表現によるロータリースイッチ操作感覚の評価.  
日本音響学会研究発表会講演論文集. 1167-1170 (2021・3)
- (5) 勢川真以, 宮入徹, 宮入徹, 下村尚登, 白坂剛, 戸井武司.  
ロータリースイッチの物理特性を考慮した操作音の印象評価.  
日本音響学会研究発表会講演論文集. 1171-1172 (2021・3)
- (6) 宮入徹.  
感触と操作音を考慮したロータリースイッチの快適な操作感覚に関する研究.  
自動車技術会春季大会. 第2回学生ポスターセッション (2021・5) (最優秀賞受賞)
- (7) 宮入徹, 宮入徹, 下村尚登, 白坂剛, 戸井武司.  
感触と操作音の複合刺激によるロータリースイッチ操作感覚のオノマトペによる評価.  
日本音響学会研究発表会講演論文集. 1248-1249 (2021・9)
- (8) 広沢隼土, 宮入徹, 下村尚登, 白坂剛, 大友貴史, 戸井武司.  
ロータリースイッチのクリック数に着目した操作音および感触の印象評価.  
日本音響学会研究発表会講演論文集. 1317-1318 (2022・3).
- (9) 宮入徹, 下村尚登, 白坂剛, 大友貴史, 戸井武司.  
感触と操作音の組み合わせを考慮したロータリースイッチ操作感覚の創生.  
自動車技術会大会学術講演会講演予稿集. 354, 1-6 (2022・5)
- (10) 宮入徹, 下村尚登, 白坂剛, 大友貴史, 戸井武司.  
クリック数に着目したロータリースイッチ操作感覚のオノマトペによる評価.  
日本音響学会研究発表会講演論文集. 1552-1554 (2022・9)

## 参考文献

- (1) リチャード, Aダベニー (著), 東方雅美 (訳): 脱「コモディティ化」の競争戦略. 中央経済社(2011).
- (2) Breitschaft, Stefan Josef, Clarke, Stella, Carbon, Claus Christian: A Theoretical Framework of Haptic Processing in Automotive User Interfaces and Its Implications on Design and Engineering. *Frontiers in Psychology*. Vol. 10, No. 1470, p. 1–18(2019).
- (3) 福井信行: 自動車の内装開発への感性工学適用に関する解説. *バイオメカニズム学会誌*. Vol. 40, No. 1, p. 25–30(2016).
- (4) 長沢伸也: 感性工学と感性評価と経験価値. 第10回横幹連合コンファレンス. p. 1–8(2019).
- (5) 大井尚行 他: 五感で捉える自動車内装・室内空間の快適化技術大全: 感覚の定量化, 材料技術, デザイン, 評価技術. *サイエンス&テクノロジー*(2013).
- (6) 小野譲司, 酒井麻衣子, 神田晴彦: サービス・カスタマイゼーションー ハイタッチとハイテクによる個別対応ー. *マーケティングジャーナル*. Vol. 40, No. 1, p. 6–18(2020).
- (7) 小野晃典, 遠藤誠二: 世界も注目したマス・カスタマイゼーションの30年. *マーケティングジャーナル*. Vol. 37, No. 4, p. 102–118(2018).
- (8) 森岡耕作: ソリューション提示型カスタマイゼーションの効果ー カスタマイゼーション価値の構造と顧客のデザイン・スキルの異質性を考慮してー. *マーケティングジャーナル*. Vol. 40, No. 1, p. 31–42(2020).
- (9) Pine, B. Joseph, Davis., Stan: *Mass customization: The new Frontier in Business Competition*. School Press(1993).
- (10) Lindecrantz, Erik, Gi, Madeleine Tjon Pian, Zerbi, Stefano: Personalizing the customer experience: Driving differentiation in retail. *McKinsey Insights*. No. March, p. 1–7(2020).
- (11) 藤坂浩司: 医療機器におけるAM技術の普及ー中小製造業を事例にしてー. *産業学会研究年報*. Vol. 2021, No. 36, p. 39–58(2021).
- (12) 梶原武久: マスカスタマイゼーションの実現と戦略的コスト・マネジメント: マツダ株式会社のモノ造り革新からのレッスン. *原価計算研究*. Vol. 43, No. 1, p. 19–30(2019).
- (13) Dellaert, Benedict G. C., Stremersch, Stefan: Marketing mass-customized products: Striking a balance between utility and complexity. *Journal of Marketing Research*. Vol. 42, No. 2, p. 219–227(2005).
- (14) Randall, Taylor, Terwiesch, Christian, Ulrich, Karl T.: User design of customized products. *Marketing Science*. Vol. 26, No. 2, p. 268–280(2007).
- (15) Merle, Aurélie, Chandon, Jean-Louis, Roux, Elyette: Understanding the Perceived Value of Mass Customization: The Distinction between Product Value and Experiential Value of Co-Design. *Recherche et Applications en Marketing (English Edition)*. Vol. 23, No. 3, p. 27–50(2008).

- (16) Alcañiz, Mariano, Bigné, Enrique, Guixeres, Jaime: Virtual reality in marketing: A framework, review, and research agenda. *Frontiers in Psychology*. Vol. 10, No. JULY, p. 1–15(2019).
- (17) Osgood, Charles E., Suci, George J., Tannenbaum, Percy H.: *The Measurement of Meaning*(1959).
- (18) Neumann, Annika, Schmitt, Robert: Quality Perception of Rotary Switches. *ATZ worldwide*. Vol. 117, No. 12, p. 44–49(2015).
- (19) 戸田勇介, 齋藤晴輝, 戸井武司: 周波数帯毎の音圧変動に着目したディーゼルエンジンの快音設計. *自動車技術会論文集*. Vol. 52, No. 4, p. 769–774(2021).
- (20) 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, p. 1403–1408(2013).
- (21) 宮入徹, 服部遊, 村越弘章, 小澤佳佑, 田中謙介, 千葉慎一郎: バドミントン打音に対する印象構造の把握と音響物理量との関係性. *日本感性工学会論文誌*. Vol. 20, No. 2, p. 195–203(2021).
- (22) 永野光吾, 岡本正吾, 山田陽滋: 触覚的テクスチャの材質感次元構成に関する研究動向. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌学会論文誌*. Vol. 16, No. 3, p. 343–353(2011).
- (23) 金山範明, 中尾敬: 感性と生理心理学. *生理心理学と精神生理学*. Vol. 34, No. 1, p. 1–7(2016).
- (24) 寺田千春 (企画編集) : 官能評価活用ノウハウ・感覚の定量化・数値化手法. *技術情報協会*(2014).
- (25) 讚井純一郎, 乾正雄: レポートリーグリッド発展手法による住居環境評価構造の抽出—認知心理学に基づく環境評価(1)—. *日本建築学会計画系論文報告集*. Vol. 367, p. 15–22(1986).
- (26) 讚井純一郎, 乾正雄: 個人差及び階層性を考慮した住居環境評価構造のモデル化—認知心理学に基づく住環境評価(2)—. *日本建築学会計画系論文報告集*. Vol. 374, p. 54–60(1987).
- (27) 辻村壮平: 階層的に構造化された評価を引き出すための評価グリッド法. *日本音響学会誌*. Vol. 73, p. 783–789(2017).
- (28) 柏崎尚也, 岡本歌織: 感性パラメータ法による楽曲のジャンル分け—感性情報の数値的一般化に関する研究(1)—. *感性工学研究論文集*. Vol. 7, No. 2, p. 243–249(2007).
- (29) 柏崎尚也, 天野美生, 坂巻剛, 野村美佳, 窪田正男, 許山朋子: 世代による香水の香りの受け止め方の相違—感性情報の数値的一般化に関する研究(2)—. *感性工学研究論文集*. Vol. 7, No. 4, p. 615–620(2008).
- (30) 井ノ上寛人, 尚也柏崎: 音パターンを選択することで対象を評価する感性音パラメータ法の提案—感性情報の数値的一般化に関する研究(3)—. *日本感性工学会論文誌*. Vol. 9, No. 2, p. 179–186(2010).
- (31) 井ノ上寛人, 柏崎尚也, 春日正男: 香りの感性評価に基づく感性パラメータの評価特徴に

- 関する考察 — 感性情報の数値的一般化に関する研究 (4) —. 日本感性工学会論文誌. Vol. 10, No. 3, p. 425–431(2011).
- (32) 早川智彦, 松井茂, 渡邊淳司: オノマトペを利用した触り心地の分類手法. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌. Vol. 15, No. 3, p. 487–490(2010).
- (33) 渡邊淳司, 加納有梨紗, 清水祐一郎, 坂本真樹: 触感覚の快・不快とその手触りを表象するオノマトペの音韻の関係性. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌. Vol. 16, No. 3, p. 367–370(2011).
- (34) 近井学, 白井奈穂美, 塩野谷明, Ashu, MARASINGHE, 三宅仁: 触覚官能評価における基準試料の役割. 日本感性工学会論文誌. Vol. 13, No. 1, p. 259–268(2014).
- (35) 坂庭秀紀, 関将和, 董芳艶, 廣田薫: 遠隔対象物画像の触質感とその可視化手法. 日本感性工学会論文誌. Vol. 13, No. 1, p. 281–288(2014).
- (36) Sakamoto, Maki: System to quantify the impression of sounds expressed by onomatopoeias. *Acoustical Science and Technology*. Vol. 41, No. 1, p. 229–232(2020).
- (37) Hamano, Shoko: *The Sound-Symbolic System of Japanese*. CSLI Publications(1998).
- (38) 苧阪直行: 感性のことばを研究する — 擬音語・擬態語に読む心のありか. 新曜社(1999).
- (39) 田守育啓, スコウラップローレンス; オノマトペ——形態と意味——. くろしお出版(1999).
- (40) 高田正幸, 田中一彦, 岩宮真一郎, 河原一彦, 高梨彰男, 森厚夫: 擬音語を利用したオフィス機器から発生する音の評価. 騒音制御. Vol. 26, No. 4, p. 264–272(2002).
- (41) 坂本真樹, 渡邊淳司: 手触りの質を表すオノマトペの有効性—感性語との比較を通して—. 日本認知言語学会論文集. Vol. 13, p. 473–485(2013).
- (42) 江頭優佳, 本井碧, 崔多美, 裕本吏子, 高倉潤也, 西村貴孝, 綿貫茂喜: 触覚刺激がオノマトペ音声の認知過程に及ぼす影響. 日本生理人類学会誌. Vol. 19, No. 2, p. 69–75(2014).
- (43) 宮入徹, 坂下丈, 追川千夏, 白坂剛, 下村尚登, 戸井武司: 感触と操作音の連続複合刺激によるスイッチ操作感覚モデルの構築. 自動車技術会論文集. Vol. 51, No. 4, p. 695–700(2020).
- (44) Miyairi, Toru, Sakashita, Jo, Shirasaka, Takeshi, Shimomura, Hisato, Toi, Takeshi: Improving tactile feedback during push switch operation using intelligible operating sound. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*. Vol. 16, No. 5, p. JAMDSM0053(2022).
- (45) 田守育啓: 日本語オノマトペ—多様な音と様態の表現—. 日本音響学会誌. Vol. 54, No. 3, p. 215–222(1998).
- (46) 日英の比較の観点から見たオノマトペ—感性の表現の魅力—. 表現学会. No. 102, p. 7–18(2015).
- (47) 苧阪直行: 複合感覚:言語表現の観点からせまる—擬音語・擬態語による感覚尺度—. 人間工学. Vol. 34, No. 特別号, p. 92–93(1998).
- (48) 大野雅貴, 横澤一彦, 鳴海拓志: 多感覚の統合的認知の基礎と感覚提示インタフェースへ

- の応用可能性. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌. Vol. 27, No. 1, p. 18–28(2022).
- (49) Köhler, W.: Gestalt Psychology. Liveright(1929).
- (50) Ramachandran, V. S., Hubbard, E. M.: Synaesthesia - A window into perception, thought and language. Journal of Consciousness Studies. Vol. 8, No. 12, p. 3–34(2001).
- (51) Styles, Suzy J., Gawne, Lauren: When Does Maluma/Takete Fail? Two Key Failures and a Meta-Analysis Suggest That Phonology and Phonotactics Matter. i-Perception. Vol. 8, No. 4, p. 1–17(2017).
- (52) Fort, Mathilde, Martin, Alexander, Peperkamp, Sharon: Consonants are More Important than Vowels in the Bouba-kiki Effect. Language and Speech. Vol. 58, No. 2, p. 247–266(2015).
- (53) Barton, David N., Halberstadt, Jamin: A social Bouba/Kiki effect: A bias for people whose names match their faces. Psychonomic Bulletin and Review. Vol. 25, No. 3, p. 1013–1020(2018).
- (54) 江田康太郎, 菊池英明: 形態的音象徴性が付与された名前と顔画像の関係—日本語圏におけるコーカソイド女性を対象とした検討—. 日本感性工学会論文誌. Vol. 21, No. 1, p. 85–92(2022).
- (55) Kawahara, Shigeto, Noto, Atsushi, Kumagai, Gakuji: Sound symbolic patterns in Pokémon names. Phonetica. Vol. 75, No. 3, p. 219–244(2018).
- (56) 熊谷学而, 川原繁人: ポケモンの名付けにおける母音と有声阻害音の効果. 言語研究. Vol. 155, p. 65–99(2019).
- (57) 神谷祥之介: 悪役名における音象徴—英語母語話者に悪役らしさを喚起する子音の調査. 英文学研究 支部統合号. Vol. 13, p. 263–277(2021).
- (58) Klink, Richard R.: Creating Brand Names with Meaning: The Use of Sound Symbolism. Marketing Letters. Vol. 11, No. 1, p. 5–20(2000).
- (59) 熊谷学而, 川原繁人: 音韻素性に基づく音象徴——赤ちゃん用のオムツの名付けにおける唇音——. 言語研究. Vol. 157, p. 149–161(2020).
- (60) 浜野祥子: 日本語のオノマトベ 音象徴と構造. くろしお出版(2014).
- (61) 黒川伊保子: 怪獣の名はなぜガググゴなのか. 新潮社(2004).
- (62) 藤沢望, 尾畑文野, 高田正幸, 岩宮眞一郎: 2モーラの擬音語からイメージされる音の印象. 日本音響学会誌. Vol. 62, No. 11, p. 774–783(2006).
- (63) 清水祐一郎, 土斐崎龍一, 坂本真樹: オノマトベごとの微細な印象を推定するシステム. 人工知能学会論文誌. Vol. 29, No. 1, p. 41–52(2014).
- (64) 戸本裕太郎, 中村剛士, 加納政芳, 小松孝徳: 音素特徴に基づくオノマトベの可視化. 日本感性工学会論文誌. Vol. 11, No. 4, p. 545–552(2012).
- (65) 窪園晴夫 (編) : オノマトベの謎. 岩波書店(2017).
- (66) Sakamoto, Maki, Watanabe, Junji: Bouba/Kiki in touch: Associations between tactile

- perceptual qualities and Japanese phonemes. *Frontiers in Psychology*. Vol. 9, No. MAR, p. 1–12(2018).
- (67) 草場祐亮, 坂本真樹: オノマトペの音象徴性を利用したHMIデバイス操作感の定量化. 人工知能学会全国大会論文集. p. 1–3(2014).
- (68) Bezat, Marie-Céline, Kronland-Martinet, Richard, Roussarie, Vincent, Ystad, Sølvi: From acoustic descriptors to evoked quality of car door sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 136, No. 1, p. 226–241(2014).
- (69) 大石弥幸, 龍田建次: 音の物理特性と擬音語表記——純音を表す擬音語——. *日本音響学会誌*. Vol. 72, No. 3, p. 105–114(2016).
- (70) 田中基八郎, 松原謙一郎, 佐藤太一: 機械の異常音の擬音語表現. *日本音響学会誌*. Vol. 53, No. 6, p. 477–482(1997).
- (71) Ohala, John J.: The frequency code underlies the sound-symbolic use of voice pitch. *Sound Symbolism*. p. 325–347(1994).
- (72) 山内勝也, 岩宮眞一郎: 振幅変調音の擬音語表現とサイン音としての機能イメージ. *日本音響学会誌*. Vol. 60, No. 7, p. 358–367(2004).
- (73) 金田実久, 竹内将大, 金子征太郎, 梶本裕之: 柔軟物映像提示時のオノマトペと物性の関連性. *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*. Vol. 27, No. 1, p. 33–39(2022).
- (74) 鍵谷龍樹, 白川由貴, 土斐崎龍一, 渡邊淳司, 丸谷和史, 河邊隆寛, 坂本真樹: 動画と静止画から受ける粘性印象に関する音象徴性の検討. *人工知能学会論文誌*. Vol. 30, No. 1, p. 237–245(2015).
- (75) 佐々木康成, 鈴木孝典, 坂東敏博: 陰影のあるテクスチャ画像のオノマトペを用いた質感評価—音韻と画像特徴の関係の統計的分析—. *認知科学*. Vol. 18, No. 3, p. 477–490(2011).
- (76) 中野詩織, 綾部早穂: においの言語的表現におけるオノマトペの利用性.
- (77) 鈴木隆: においとことば—分類と表現をめぐる—. *におい・かおり環境学会誌*. Vol. 44, No. 6, p. 346–356(2013).
- (78) Sakamoto, Maki, Watanabe, Junji: Cross-modal associations between sounds and drink tastes/textures: A study with spontaneous production of sound-symbolic words. *Chemical Senses*. Vol. 41, No. 3, p. 197–203(2016).
- (79) 早川文代, 岩政由布子, 畑江敬子, 島田淳子: 食感覚の擬音語・擬態語の収集と選定. *日本家政学会誌*. Vol. 50, No. 5, p. 481–490(1999).
- (80) 早川文代: 日本語テクスチャー用語の体系化と官能評価への利用. *日本食品科学工学会誌*. Vol. 60, No. 7, p. 311–322(2013).
- (81) 高田正幸: 音質評価指標の計算法と適用事例. *日本音響学会誌*. Vol. 75, No. 10, p. 582–589(2019).
- (82) Eberhard, Zwicker, 山田由紀子: 心理音響学. 西村書店(1992).
- (83) 桑野園子: 機械騒音の音質評価方法. *日本音響学会誌*. Vol. 53, No. 6, p. 456–461(1997).

- (84) 有光哲彦: マルチモダリティ知覚における機能音のデザイン-機能性を有するスマート・サウンドスペース-. 日本音響学会誌. Vol. 74, No. 11, p. 603-607(2018).
- (85) 土井彩容子, 山岡俊樹: UXによる感覚と感情の関係性からみたユーザの満足度の向上に寄与する評価項目の把握. 人間生活工学. Vol. 21, No. 1, p. 33-38(2020).
- (86) Ozawa, Kenji, Yamaji, Kousuke, Shirasaka, Takeshi, Saito, Katsuya, Shimomura, Hisato: The Effects of Tactile Feedback on the Affective Evaluation of Switch Sounds. International Symposium on Affective Science and Engineering. Vol. ISASE2020, p. 1-4(2020).
- (87) Ercan Altinsoy, M.: Perceptual features of everyday push button sounds and audiotactile interaction. Acoustical Science and Technology. Vol. 41, No. 1, p. 173-181(2020).
- (88) 飛田良文, 浅田秀子: 現代擬音語擬態語用法辞典. 東京堂出版(2002).
- (89) 野本弘平, 佐藤大介, 佐藤亮: 居住歴と街のイメージとの関係— テキスト分析による高齢居住者と若年学生との比較研究 —. 日本感性工学会論文誌. Vol. 18, No. 4, p. 247-254(2019).
- (90) 王娜, 下川敏雄, 大山勲, 北村真一: 山梨県におけるnpo法人の持続可能性に関するヒアリング調査の計量的分析—山梨県におけるnpo法人の持続性に関する研究(2)—. 日本感性工学会論文誌. Vol. 14, No. 1, p. 207-214(2015).
- (91) 林秀紀, 櫛勝彦, 井上勝雄: 木育玩具による遊びと子どもの発達の対応分析. 日本感性工学会論文誌. Vol. 18, No. 4, p. 321-329(2019).
- (92) 山田篤拓, 橋本翔, 長田典子: レビューデータを用いた評価表現辞書に基づく印象の自動指標化. 日本感性工学会論文誌. Vol. 17, No. 5, p. 567-576(2018).
- (93) 竹之下遼, 原田利宣, 小野謙二: データマイニングを用いた2種類の酒類におけるWeb上の感性情報の比較と視覚化. 日本感性工学会論文誌. Vol. 17, No. 1, p. 11-20(2017).
- (94) Takada, Masayuki, Mori, Hiroaki, Sakamoto, Shinji, Iwamiya, Shin-ichiro: Structural analysis of the value evaluation of vehicle door-closing sounds. Applied Acoustics. Vol. 156, p. 306-318(2019).
- (95) 樋口耕一: 社会調査のための計量テキスト分析—内容分析の継承と発展を目指して. ナカニシヤ出版(2014).
- (96) 金明哲: テキストデータの統計科学入門. 岩波書店(2009).
- (97) Burnett, Gary, Irune, Ainojie: Drivers' quality ratings for switches in cars: Assessing the role of the vision, hearing and touch senses. Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, AutomotiveUI 2009. No. AutomotiveUI, p. 107-114(2009).
- (98) Wellings, Tom, Williams, Mark, Tennant, Charles: "Understanding customers' holistic perception of switches in automotive human-machine interfaces". Applied Ergonomics. p. 8-17(2010).

- (99) Liu, Quan, Tan, Hong Z., Jiang, Liang, Zhang, Yulei: Perceptual dimensionality of manual key clicks. *IEEE Haptics Symposium, HAPTICS*. Vol. 2018-March, No. 2679, p. 112–118(2018).
- (100) 新崎未奈, 神行寿章, 清水祐二, 田中由浩: ステアリングスイッチの押下フィーリングに関する嗜好性とF-S特性の関係分析. *自動車技術会 2021年秋季大会学術講演会講演予稿集*. p. 1–6(2021).
- (101) Vieira, Joana, Osório, Joana Maria A., Mouta, Sandra, Delgado, Pedro, Portinha, Aníbal, Meireles, José Filipe, Santos, Jorge Almeida: Kansei engineering as a tool for the design of in-vehicle rubber keypads. *Applied Ergonomics*. Vol. 61, p. 1–11(2017).
- (102) Kwang, Tae, Jung, Han, Kyung, Yun, Byung, Kwan, Cho: Turning Effect Design for the Operating Feel of Jog Dial. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*. Vol. 33, No. April 2004, p. 215–227(2014).
- (103) Reisinger, Jörg, Wild, Jörg, Mauter, Gerhard, Bubb, Heiner: Haptical feeling of rotary switches. *Proceedings of the Eurohaptics 2006 conference*. p. 49--55(2006).
- (104) 末吉美喜: テキストマイニング入門 ExcelとKH Coderで わかるデータ分析. オーム社 (2019).
- (105) 宮入徹, 下村尚登, 白坂剛, 戸井武司: ロータリースイッチ操作時の感触とオノマトペ表現の関係性. *日本感性工学会論文誌*. Vol. 21, No. 2, p. 189–197(2022).
- (106) Shinohara, Kazuko, Kawahara, Shigeto: A Cross-linguistic Study of Sound Symbolism: The Images of Size. *Annual Meeting of the Berkeley Linguistics Society*. Vol. 36, No. 1, p. 396(2010).
- (107) 佐藤広英, 吉田富二雄: 潜在連合テストによるオノマトペの印象評価——SD法との比較——. *心理学研究*. Vol. 80, No. 2, p. 145–151(2009).
- (108) 小松孝徳, 秋山広美, 清河幸子: オノマトペから感じる印象の客観的数値化方法の提案. 第25回人工知能学会全国大会論文集. p. 1–4(2011).
- (109) 山内勝也, 高田正幸, 岩宮眞一郎: サイン音の機能イメージと擬音語表現. *日本音響学会誌*. Vol. 59, No. 4, p. 192–202(2003).
- (110) 戸井武司: 快適な音環境による空間価値の創生. *人間生活工学*. Vol. 21, No. 2, p. 20–24(2020).
- (111) Treiber, Alexander S., Gruhler, Gerhard, Rozinaj, Gregor: Improvement of rotary encoders in human-machine-interfaces through optimized acoustic feedback. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 130, No. 2, p. EL57–EL61(2011).
- (112) Ozawa, Kenji, Yamaji, Kousuke, Shirasaka, Takeshi, Saito, Katsuya, Shirasaka, Hisato: Effects of Listening Attitudes on Affective Evaluation of Switch Sounds. *International Symposium on Affective Science and Engineering*. Vol. ISASE2019, p. 1–4(2020).
- (113) Treiber, A., Gruhler, G.: Psychoacoustic evaluation of rotary switches. *Proceedings of*

- IWSSIP 2008 - 15th International Conference on Systems, Signals and Image Processing. p. 17–19(2008).
- (114) Miyairi, Toru, Shirasaka, Takeshi, Shimomura, Hisato, Toi, Takeshi: Understanding the relationship between onomatopoeic expressions and sound quality for rotary switch operating sounds. Proceedings of INTER-NOISE 2021 - 2021 International Congress and Exposition of Noise Control Engineering. Vol. 263, No. 5, p. 1062–1071(2021).
- (115) Fujisawa, Nozomu, Iwamiya, Shin Ichiro, Takada, Masayuki: Auditory imagery associated with Japanese onomatopoeic representation. Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science. Vol. 23, No. 6, p. 351–355(2004).
- (116) Takada, Masayuki, Fujisawa, Nozomu, Obata, Fumino, Iwamiya, Shin Ichiro: Comparisons of auditory impressions and auditory imagery associated with onomatopoeic representation for environmental sounds. Eurasip Journal on Audio, Speech, and Music Processing. Vol. 2010, p. 1–8(2010).
- (117) Matsui, Megumi: Effects of pitch of short pure tones on onomatopoeic expressions: A cross-linguistic study of Japanese and Chinese. Acoustical Science and Technology. Vol. 41, No. 2, p. 472–480(2020).
- (118) Altinsoy, M. Ercan: Perceptual aspects of auditory-tactile asynchrony. Proceedings of the Tenth International Congress on Sound and Vibration. p. 3831–3838(2003).
- (119) Fujisaki, Waka, Nishida, Shin'Ya: Audio-tactile superiority over visuo-tactile and audio-visual combinations in the temporal resolution of synchrony perception. Experimental Brain Research. Vol. 198, No. 2–3, p. 245–259(2009).
- (120) Adelstein, Bernard D., Begault, Durand R., Anderson, Mark R., Wenzel, Elizabeth M.: Sensitivity to haptic-audio asynchrony. ICMI'03: Fifth International Conference on Multimodal Interfaces. p. 73–76(2003).
- (121) Miyairi, Toru, Shimomura, Hisato, Shirasaka, Takeshi, Otomo, Takashi, Toi, Takeshi: The effect of auditory feedback on user perception during rotary switch operation. Proceedings of the 24th International Congress on Acoustics. p. 1–7(2022).
- (122) 星野博之, 戸井武司: 音源のシャープネス値と感情極性値に基づく快適覚醒音刺激に関する考察. ヒューマンインターフェース学会論文誌. Vol. 19, No. 3, p. 231–242(2017).
- (123) Suzuki, Yuika, Gyoba, Jiro, Sakamoto, Shuichi: Selective effects of auditory stimuli on tactile roughness perception. Brain Research. Vol. 1242, p. 87–94(2008).
- (124) 宮入徹, 下村尚登, 白坂剛, 大友貴史, 戸井武司: 感触と操作音の組み合わせを考慮したロータリースイッチ操作感覚設計手法の考案. 自動車技術会論文集. Vol. 53, No. 5, p. 874–879(2022).
- (125) Mortensen, Ditte H., Bech, Søren, Begault, Durand R., Adelstein, Bernard D.: The relative importance of visual, auditory, and haptic information for the user's experience of

- mechanical switches. *Perception*. Vol. 38, No. 10, p. 1560–1571(2009).
- (126) “ハプティックコマンド® | HAPTIC™ | 製品・技術情報 | アルプスアルパイン”.  
[https://tech.alpsalpine.com/j/info/technology/tec\\_haptic/hapticcommander/](https://tech.alpsalpine.com/j/info/technology/tec_haptic/hapticcommander/)(2023.2.12  
閲覧).
- (127) Dobbstein, David, Walch, Marcel, Köll, Andreas, Şahin, Ömer, Hartmann, Tamino, Rukzio, Enrico: Reducing in-vehicle interaction complexity: Gaze-based mapping of a rotary knob to multiple interfaces. *Proceedings of the 15th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. p. 311–313(2016).
- (128) 山本裕子, 佐藤弘喜: オノマトペによるイメージ共有におけるデザイン経験の要因. *デザイン学研究*. Vol. 64, No. 2, p. 65–72(2017).
- (129) Wellings, Tom, Williams, Mark, Tennant, Charles: Understanding customers’ holistic perception of switches in automotive human-machine interfaces. *Applied Ergonomics*. Vol. 41, No. 1, p. 8–17(2010).
- (130) 博報堂生活総合研究所: 「感情オノマトペ調査」結果報告. p. 1–9(2010).
- (131) 平田佐智子, 中村聡史, 小松孝徳, 秋田喜美: 国会会議録コーパスを用いたオノマトペ使用の地域比較. *人工知能学会論文誌*. Vol. 30, No. 1, p. 274–281(2015).
- (132) Lemaitre, Guillaume, Rocchesso, Davide: On the effectiveness of vocal imitations and verbal descriptions of sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 135, No. 2, p. 862–873(2014).

**謝辞**

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中央大学理工学部精密機械工学科教授 辻知章先生、新妻実保子先生、同経営システム工学科教授 加藤俊一先生、電気通信大学大学院情報理工学研究科／人工知能先端研究センター教授 坂本真樹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勢川真以氏（2020 年度卒業研究生）、広沢隼土氏（2021 年度卒業・現修士研究生）、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、本研究を進めるにあたり多くの御指導および御協力を下さいましたアルプスアルパイン株式会社白坂剛氏、下村尚登氏、坂本秀樹氏、大友貴史氏に厚く感謝する次第です。さらに、実験装置の製作および研究に関する多くの御助言を頂きましたアルプスアルパイン株式会社の方々に併せてお礼申し上げます。

そして、入職以来多くの御指導を頂き、多くの研究および技術開発の経験をさせて頂いた地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター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。

2023 年 3 月 宮入 徹