

操作者の嗜好と操作シーンを考慮した 快適なキーボード操作感覚の創生

Creation of Comfortable Keyboard Operation Feeling in Consideration of Operator Preference and Operation Scenes

精密工学専攻 52号 藤倉 圭
Kei Fujikura

1. はじめに

近年、リモートワークの増加に伴いキーボードなどヒューマンインタフェースの感触や操作音などの操作感覚向上が期待されている。そこでメカニカルキーボードでは様々なスイッチ軸が開発され操作感覚の多様性などの利点をもたらす一方、開発された様々な操作感覚の中から操作者が自らに適合した操作感覚を正しく選択できるのかという問題がある。特に操作者の嗜好を考慮した操作感覚や複雑な操作方法下での印象把握は明確になっていない⁽¹⁾⁽²⁾。操作者に好まれる感触と操作音を考慮した操作感覚を提示することで、更なる快適感の向上が見込まれる。

そこで本研究では、メカニカルキーボードにおける設計構造と、感触や操作音などの操作感覚の印象との関係性を明らかにし、操作者の嗜好に応じた操作感覚の創生を目指す。さらに単純操作だけでなく実際の使用状況下での有用性を検証するため、操作シーンを考慮した複合刺激実験を実施し、複雑な操作方法での操作感覚の印象把握を目指す。

なお、本研究におけるすべての評価において、被験者には十分なインフォームドコンセントを実施している。

2. メカニカルスイッチの特性把握

本章では、メカニカルキーボードスイッチ(以下メカニカルスイッチ)の感触と操作音を単刺激実験により比較し、操作感覚の特性把握を行う。

2.1 メカニカルスイッチの印象把握

2.1.1 感触のみの単刺激実験

スイッチ操作下において、感触がどのように知覚され、被験者が種類の違いを判別可能であるかを把握する目的として、動作圧と押下圧のバランスが異なる t1-t9 の9種類のスイッチ軸を評価対象とした単刺激実験を行う。評価手法として Semantic Differential 法(以下、SD法)の絶対評価を用いる。Fig. 1にスイッチ動作を示す。ここで動作圧とはスイッチ操作時に接点まで押し込むのに必要な力であり、押下圧とは接点を超えてスイッチを押し切るまでに必要な力とする。

Fig. 2に示すように評価に際して、被験者は操作時にメカニカルスイッチから発生する操作音が聞こえないよう、操作音提示用イヤホンを装着し、その上からイヤーマフを装着した状態にて10秒間に10回スイッチ操作を行う。14対の評価形容詞対が記載された評価シートに評価を行い、無響室にて実験を実施した。

複合刺激実験においては1秒以上押し続けてから離す動作を長押し、1秒間に5回以上スイッチを押す動作を連打と定義した。加えて、感触と操作音の複合刺激においてどちらが主観的に印象に残ったか把握するため、簡易的なアンケート評価も同時に行う。被験者は20代12名である。

2.1.2 感触のみの評価実験結果

因子分析より、快適因子、重厚因子、軽快因子の計3因子を抽出した。Fig. 3(a)に因子分析に基づき、横軸に重厚因子、縦軸に快適因子とした因子得点の散布図を示す。Fig. 3(a)より、各スイッチ軸の因子得点が異なることを把握し、被験者は各スイッチ軸の差異を判別可能であり、動作圧の高い感触 t8, t9 は重厚感と快適感が高いことがわかった。

2.1.3 操作音のみの単刺激実験

操作音がどのように知覚され、種類の違い判別可能であるかを把握する目的として、2.1.1項にて選定した s1-s9 の9種類のスイッチ軸操作音を評価対象とした単刺激実験を行う。評価音源は人間の聴感特性を考慮し、全ての操作音の最大音圧を70 dBとした。実験条件は2.1.1項と同様である。

2.1.4 操作音のみの評価実験結果

因子分析より、明瞭因子、重厚因子、快適因子の計3因子を抽出した。Fig. 3(b)に因子分析に基づき、横軸に明瞭因子、縦軸に快適因子とした因子得点の散布図を示す。Fig. 3(b)より感触同様に各操作音の因子得点が異なる事を把握し、被験者は操作音の差異を識別可能であることがわかった。

2.2 感触と操作音の嗜好度評価

9種類の感触と操作音の嗜好度を把握するために、クラスター分析と各刺激の良悪について7段階評価を行う。

まず、被験者の好みを分類するために、2.1.2, 2.1.4項の感触と操作音の単刺激実験の評点結果をサンプルとしたクラスター分析をそれぞれ行う。クラスター数は非類似度から感触ではT1, T2, T3の3つのクラスター、操作音ではS1, S2の2つのクラスターに分類した。T1は動作圧の高い感触

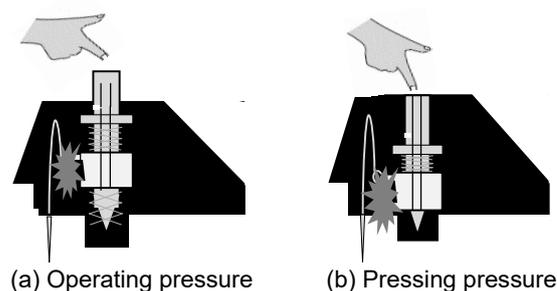


Fig. 1 Switch operation



Fig. 2 Experiment condition

の快適感が高いクラスターとなっており、T2, T3 は押下圧の高い感触の快適感が高いクラスターとして構成されている。また S1 は打鍵感の高い操作音の快適感が高いクラスターとなっており、S2 は硬い印象のある操作音の快適感が高いクラスターとして構成されている。

続いてクラスター内で好まれる感触と操作音選定するためそれぞれの良悪について7段階評価を行う。クラスターT1, S1の各刺激の嗜好度をFig. 4に示す。クラスターT1では感触t9の嗜好度が高く、クラスターS1では操作音s7の嗜好度が高いとわかった。

3. 操作者の感触の嗜好を考慮した実験

本章では、操作者に好まれる感触を選定し、操作者の嗜好を考慮した触角及び聴覚情報である感触と操作音が同時に提示される複合刺激下⁽³⁾⁽⁴⁾における主観評価を行う。

3.1 操作者の嗜好を考慮した感触の選定

2.2節より感触の単刺激評価実験の因子分析に基づき、操作者の感触に対する嗜好と快適感の関係を分析した。クラスターT1, T2, T3で好まれる感触をそれぞれt9, t2, t3, 各クラスターで好まれない感触をt1として選定した。t9は動作圧の高いクリッキースイッチ, t2, t3は押下圧の高いタクトイルスイッチ, t1は動作圧のないリニアスイッチである。選定した4つの感触と比べて違和感のない一般的なキーボード操作音を1つ採用する。実験条件は2.1.1項と同様である。

3.2 評価結果および考察

因子分析より、明瞭因子、重厚因子、快適因子の計3因子を抽出した。Fig. 5に縦軸を快適因子得点とした、各クラスターの推移を示す。クラスターT1ではt9の快適因子が高く、クラスターT2ではt2の快適因子が高く、クラスターT3ではt3の快適因子が高くなった。またt9の明瞭因子が高く、t2とt3は重厚因子が高いことがわかった。t1の快適因子が各クラスターで最も低いことが確認できた。

結果よりクラスターT1では動作圧優位の感触が好まれ、クラスターT2, T3では押下圧優位な感触が好まれると考えられる。また各クラスターで選定した嗜好度の高い感触が複合刺激下でも快適感が高いことから、感触の嗜好が快適感に寄与することが示唆された。単純操作下での複合刺激実験における感触の好みは動作圧優位のスイッチと押下圧優位のスイッチで2分できることがわかる。

4. 操作者の操作音の嗜好を考慮した実験

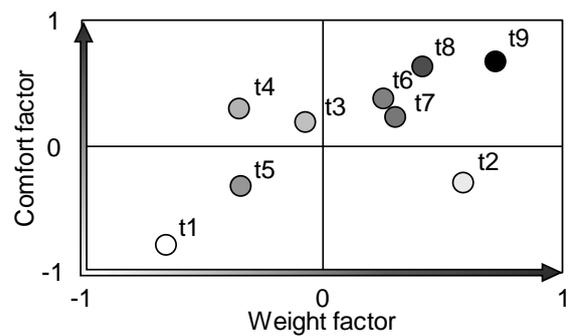
本章では、操作者に好まれる操作音を選定し、3章同様に操作者の嗜好を考慮した感触と操作音が同時に提示される複合刺激下における主観評価を行う。

4.1 操作音の嗜好と快適性の関係

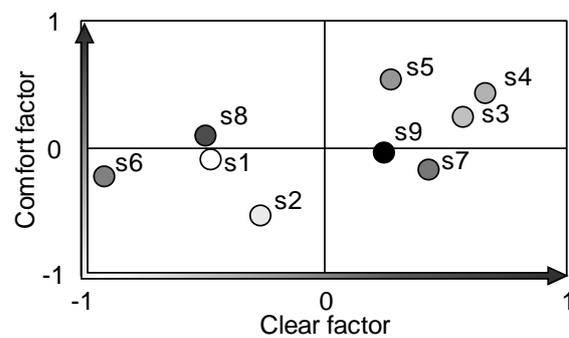
2.2節より操作音の単刺激評価実験の因子分析に基づき、操作者の操作音に対する嗜好と快適感の関係を分析した。クラスターS1, S2で好まれる操作音を選定した。クラスターS1, S2で好まれる操作音をそれぞれs7とs5, 各クラスターで好まれない操作音をs4とする。s7は「パチパチ」とした打鍵感のある操作音であり、s5は「コツコツ」とした硬い印象のある操作音である。選定した3つの操作音と比べて違和感のない一般的なキーボード感触を一つ採用する。実験条件は2.1.1項と同様である。

4.2 評価結果および考察

因子分析より、明瞭因子、重厚因子、快適因子の計3因子を抽出した。Fig. 6に縦軸を快適因子得点とした、各クラスターの推移を示す。クラスターS1ではs7の快適感が高く、クラスターS2ではs5の快適感が高くなった。また各クラスターでs7の明瞭感が高くs5の重厚感が高いことがわかった。



(a) Tactile simple stimulation



(b) Sound simple stimulation

Fig. 3 Evaluation results of single stimulation by SD method

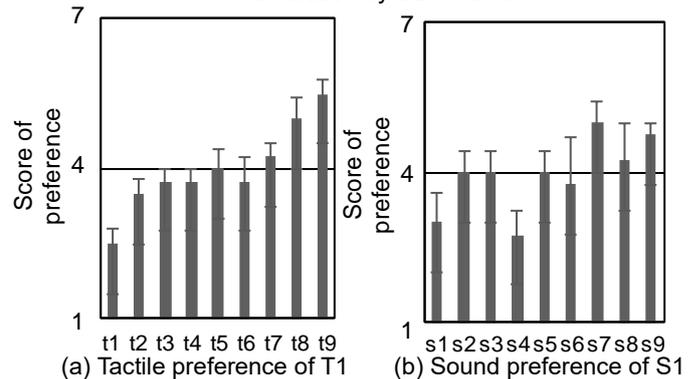


Fig. 4 Preferable degree

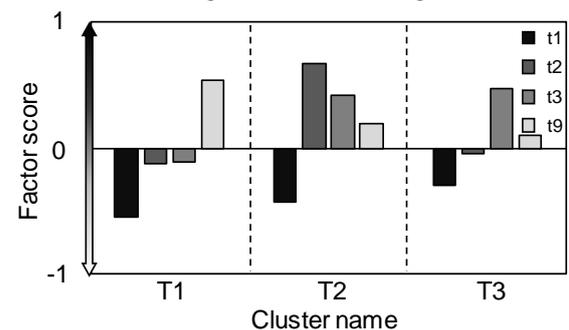


Fig. 5 Evaluation results of complex stimuli by SD method

s4の快適感が最も低いことがわかった。

結果よりクラスターS1では明瞭感の高い「パチパチ」とした操作音が好まれ、クラスターS2では重厚感の高い「コツコツ」とした操作音が好まれると考えられる。また各クラスターで選定した操作音が複合刺激下でも快適感が高いことから、操作者の嗜好が感触の嗜好同様に快適感に寄与することが示唆された。そこで嗜好操作感覚の快適性に感触と操作音

どちらの刺激の寄与がより高いか検討する。

5. 感触と操作音の嗜好を考慮した実験

本章では、操作者に好まれる感触と操作音を選定し、3章同様に操作者の嗜好を考慮した触覚および聴覚情報である感触と操作音が同時に提示される複合刺激下における主観評価を行う。

5.1 評価感触と操作音の選定

2.2節の感触と操作音の単刺激実験に基づいたクラスター分析結果より操作者のグループ分けを行った。

操作音に基づいたクラスター分析の結果、被験者 12 名をクラスターS1(4名)とクラスターS2(8名)に分類した。同様に感触に基づいたクラスター分析の結果よりクラスターT1(4名)、クラスターT2(4名)、クラスターT3(4名)に分類した。ここでクラスターT1は操作音に基づいたクラスターであるクラスターS1に該当し、クラスターT2、T3はクラスターS2に該当することがわかった。

ここでTable 1に示すグループとして被験者をA, B, Cの3つのグループに分け、各グループで感触と操作音の嗜好度が高い刺激と低い刺激を各1種類選定し、計4パターンを提示して印象把握を行う。例えば好まれる感触Tと好まれない操作音Sを提示した場合には、TOS×と表現する。実験条件は2.1.1項と同様である。

5.2 評価結果および考察

因子分析の結果、明瞭因子、重厚因子、快適因子の計3因子を抽出した。代表としてグループAとBの縦軸を因子得点とした各因子得点の推移をFig. 7に示す。結果より各クラスターでTOSOの快適感が最も高く、T×S×の快適感が最も低いことがわかる。グループAでは、TOSOの明瞭因子が高く、TOSOとTOS×の重厚因子が高い。またTOSOに次いでTOS×の快適因子が高いことがわかる。

グループAでは動作圧の高いクリッキーで明瞭感のある感触の印象が「パチパチ」とした操作音より強かったためTOSOに次いでTOS×の快適因子が高くなったと考えられる。グループBではTOSOとT×SOの重厚因子が高い。またTOSOに次いでT×SOの快適因子が高いことがわかった。グループBでは「コツコツ」した操作音の印象が強く、そのため嗜好する操作音を提示したT×SOの快適感が高いと考えられる。以上より単純操作の複合刺激下ではグループ毎に感触と操作音の寄与が異なり、好みの感触と操作音を用いることで使用時の快適感が向上することが確認できた。

6. 操作シーンを考慮した複合刺激実験

本章では、実環境を考慮してゲームタスクを用いた操作シーンを考慮した複合刺激実験を行い、複雑な操作方法での操作感覚の印象把握を行う。

6.1 操作シーンについて

本実験で用いられるメカニカルキーボードを考慮してFig. 8に示す自作したFPS(一人称視点)シューティングゲームを用いてより実環境を考慮した状況下にて操作感覚の印象把握を行う。一般的なFPSゲームのキー配置を元に上下左右移動をW, A, S, Dキーとし、今回はキーボード操作に対する評価を行うため、マウスは使用せずに射撃キーをKキーとする。被験者からキーボードまでの距離は0.3 m, 23 inchモニターまでの距離は0.5 mである。操作シーンの定義として長押しと連打を評価対象とし、長押しを上下左右移動、連打を射撃と定義する。

6.2 評価結果および考察

Fig. 9 感触と操作音のどちらが印象に残ったかのアンケート結果を示す。7段階評価のアンケート結果を最低0、最

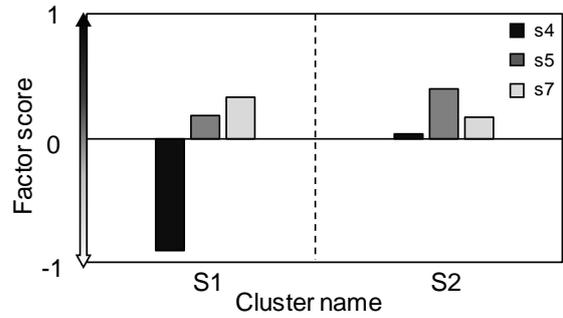
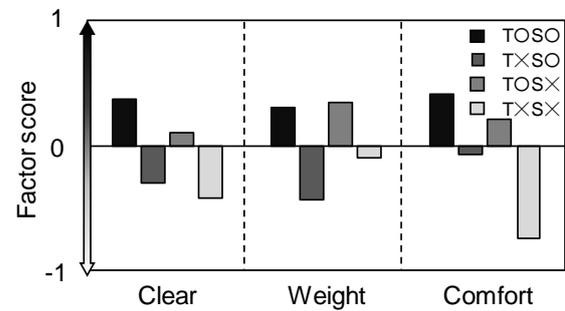


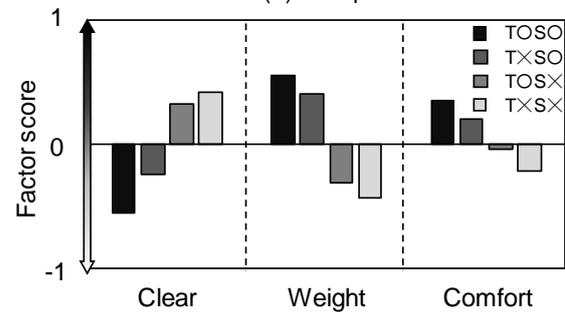
Fig. 6 Evaluation results of complex stimuli by SD method

Table 1 Each Groups

Group name	Tactile	Sound
Group A	T1	S1
Group B	T2	S2
Group C	T3	S2



(a) Group A



(b) Group B

Fig. 7 Evaluation results of complex stimuli by SD method

高1の正規化を行い、比率で示した。例として感触の平均評点が6の場合、感触が88%、操作音が12%として扱う。Fig. 9より、グループAの長押し時は感触の印象が50%以上残る傾向があり、連打時には操作音の印象が残る傾向を把握した。またグループBでは長押し、連打共に操作音の印象が50%以上残る傾向を把握した。

両クラスターで長押し時に比べ連打時の操作音の印象が増加することから、被験者は長押し時には一つ一つの操作を識別しやすく、連打時には操作の識別が困難になるため感触の印象が弱まり、操作音の印象が相対的に強くなったことからクラスター毎に感触、操作音を認識する割合が異なると考えられる。

因子分析により明瞭因子、重厚因子、快適因子の計3因子を抽出した。Fig. 10に横軸明瞭因子、縦軸快適因子とした因子得点散布図を示す。Fig. 10(a)よりグループAでは長押し、連打時共にTOSO時の快適感が最も高く、T×S×の快適

感が最も低いことがわかる。また長押し時に比べ連打時の TOSO, T×SO の快適感が増加することがわかった。Fig. 10(b) よりグループ B ではグループ A 同様に長押し、連打時共に TOSO 時の快適感が高く、T×S× の快適感が最も低いことがわかる。また全ての提示条件で長押し時に比べ連打時に明瞭感が高くなった。これは加工操作音を用いた実験^[5]同様の傾向であり実験の妥当性が確認できた。

これより、長押し時に比べ連打時には感触より操作音を認識しやすく、すべての提示条件で明瞭感が向上したのは連打が要因と考えられる。またグループ A では「パチパチ」とした明瞭感の高い音を用いたため、明瞭感の高い刺激の快適感が高く、グループ B では「コツコツ」とした重厚感の高い音を用いているため、明瞭感の低い刺激の快適感が高いと考えられる。長押し、連打でグループ A の T×SO, TOS× の快適感が逆転したが、これは長押し時は一つ一つの感触を認識しやすいため、重厚感の高い感触を嗜好した TOS× の快適感が高く、連打時には、感触より操作音を認識しやすいため、明瞭感の高い操作音を使用した T×SO の快適感が高まったと考えられる。

5 章同様に各クラスターで TOSO の快適感が最も高く、T×S× の快適感が最も低いことから、実環境に近い使用状況でも操作者の嗜好によって快適感に変化し、より嗜好に近い感触と操作音を用いることで快適な操作感覚を得られることが示された。特に連打時には操作音の影響が強まるため操作者は好みの操作音を選択することが有効だと考えられる。

7. 研究成果

- (1) 単刺激実験の結果を用いたクラスター分析より各クラスターで嗜好度の高い感触と操作音が異なることを確認した。
- (2) 感触の嗜好を考慮した操作感覚の提示によりクラスター毎に動作圧と押下圧のバランスによって快適感が異なることを確認した。
- (3) 操作音の嗜好を考慮した操作感覚の提示によりクラスター毎に印象が変化することを確認した。
- (4) 感触と操作音の嗜好を考慮した操作感覚の提示によりクラスター毎に快適感に寄与する刺激が異なることを確認した。
- (5) ゲームタスクを用いた複雑な操作下にて、操作方法によって操作感覚の印象が変化することを確認した。また連打時には操作音の影響が強くなり、嗜好を考慮した操作音の有効性を示した。

参考文献

- (1) 坂下丈, 白坂剛, 下村尚登, 戸井武司, プッシュスイッチの感触と操作音を考慮した複合刺激時の操作感覚推定モデルの構築, 日本音響学会講演論文集(春), (2020) pp.1371-1374.
- (2) 渡辺嘉二郎, 芹沢一唯, 感性データに基づくキーボードスイッチの選択と設計, 計測自動制御学会論文集, Vol.30, No.2, 208-215, 1994.
- (3) 藤倉圭, 戸井武司, 操作者の嗜好を考慮した快適なキーボード操作感覚の創生, 日本音響学会講演論文集(秋), (2021) pp.1173-1174.
- (4) 藤倉圭, 戸井武司, 操作者の嗜好と操作シーンを考慮した快適なキーボード操作感覚の創生, 日本音響学会講演論文集(春), (2022) 1-11-6.
- (5) 藤倉圭, 戸井武司, 使用状況に応じたキーボード操作感覚の創生, 日本音響学会講演論文集(春), (2021) pp.1173-1174.

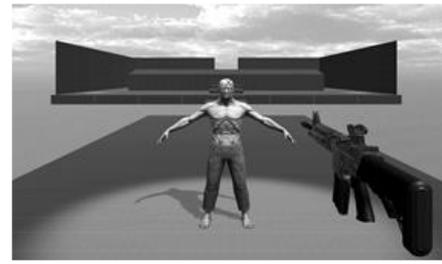


Fig. 8 Operation scene

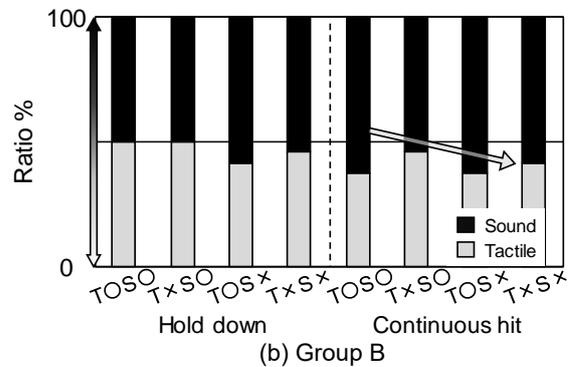
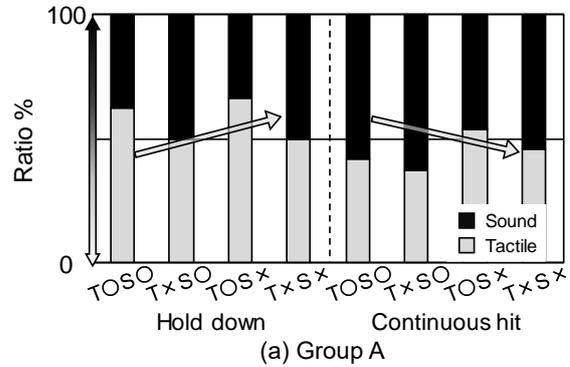


Fig. 9 Questionnaire results

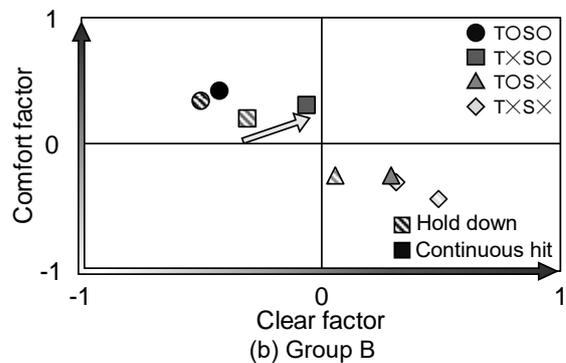
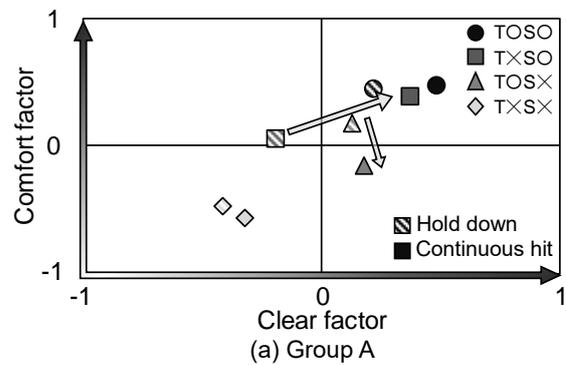


Fig. 10 Evaluation results of complex stimuli by SD method