

キーワード：ユーザーインターフェース, VR, フィードバック, 生理指標

序と目的

人間と機械のインターフェース(接点)において、ユーザー側に重点をおいた人間と機械の情報のやりとりを主に扱う領域をユーザーインターフェース(以下UI)と呼んでいる(山岡・岡田,1999)。フィードバック(以下FB)を与える手法など、ユーザーが機械から受け取る情報が分かりやすくなるような良いシステムは新しい技術の普及を促す。UIの研究について、心理学的側面からの検討も必要である。近年、VRの普及が進んでいるが、UIの効果は未知数であるため、FBの影響や生理指標を用いた評価指標の有益についての検証を行う。

方法

実験参加者：大学生計12名(男6名、女6名)を対象とした。平均年齢は22.3歳($SD=2.31$)であった。

実験課題：VR空間内でボタンを押して計算課題に取り組んでもらった。ボタンが正面・横にある条件とFBの有無で計4通りの条件を行った。

指標：生理指標として、心拍数(HR)および心拍変動(RMSSD)皮膚コンダクタンス(SC)を用いた。課題成績として正当数、誤答数、訂正数を用いた。心理指標として、一般感情尺度(小川・門地・菊谷・鈴木,2000)、ボタンの印象評価についての質問項目(加藤・土井・岡崎,1993)、(岡本ら,2000)を2種類用いた。課題について感じたことを自由記述で記入させた。

手続き：前安静2分、計算課題4分、後安静2分を1セットとし、続けて計4セット行った。心理指標は、前安静の際に1度回答してもらい、その後は各条件が終わる毎に回答してもらった。

結果

生理指標は、各指標でFB有条件のとき変化量が多く、加えてSCは横条件で変化量が多く見受けられた。分散分析の結果、HRとRMSSDの変化量は有意な効果が見られなかったが、SCの位置の効果は有意な傾向があると

認められた。課題成績は、正面・FB条件の時良くなる傾向が見受けられた。誤答数は位置の効果は有意であり、FBの効果に有意傾向がみられた。訂正数では位置の効果に有意な傾向がみられ、位置とFBの交互作用に有意な効果が認められた。心理指標は、一般感情尺度ではPAの位置の効果に有意な効果が認められ、FBに有意な傾向がみられたが、交互作用は有意ではなかった。各条件でNAの上昇、CAの下降が見受けられたが、NAとCAでは有意な効果が認められなかった。ボタンの印象評価では、FB条件のとき肯定的な印象が見受けられた。交互作用について『達成感がある』と『ボタンの重さ』、『目的のボタンが探しやすくなる』において有意な効果が認められた。

考察

HRとRMSSDには有意な効果が認められなかったが、SCは正面の方が横条件よりも有意に低かった。FB有条件で高く見受けられ、横×FBの条件が最も高くなった。SCは緊張のようなネガティブな感情、達成感のようなポジティブな感情双方に反応したと考えられた。UI評価における生理指標の役割は、補助的である事が望ましいとの見解を支持した(山岡ら,1999)。課題成績は、正面条件で正当数が多く、誤答・修正数が少なく、さらにFB条件で課題成績が良かった。視野の制約がある中で、視線の変化が多いと実空間との挙動に差異が生まれること(水地・稲邑,2018)からも、横条件の難易度が高かったと考えられたが、FBがあることで『目的のボタンが探しやすくなる』といった負担の軽減が可能と考えられた。心理指標は各条件におけるCAの低下や、正面×FB以外のPAの下降から難易度が高かったと推測される。『達成感がある』は正面条件でFB有り時に最も高く、逆に正面条件でFB無し時に最も低く、FBが達成感を生じたと推測され、『ボタンの重さ』でもFBがあると仮想ボタンでも質量を感じると判断し、FBの効果が顕著であった。

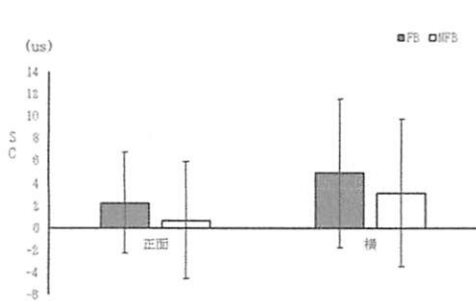


図1. 各条件のSCの変化量

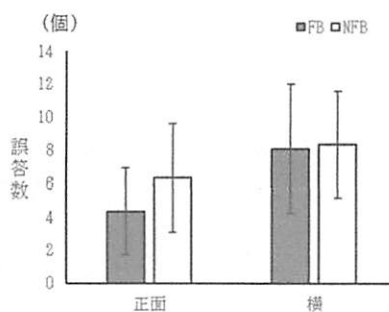


図2. 各条件の課題中の誤答数

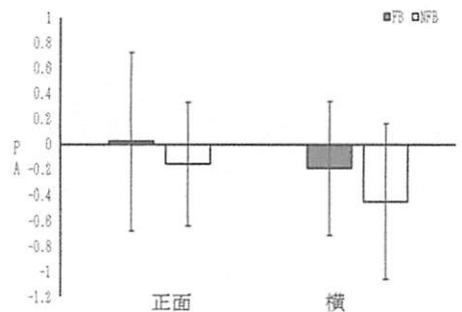


図3. 各条件のPAの変化量

VR 空間内での FB・視野情報の違いがユーザーインターフェースに
及ぼす影響の検討

学籍番号 15HP230

氏名 根岸 桃子

指導教員 長野祐一郎

序と目的

【人間と機械のインターフェース】

今日において、スマートフォンや PC に触れたことがないという人は少数派になりつつある。たとえそういった電子機器の類を持っていなくとも、電光掲示板の広告や道案内板、自動販売機、飲食店の注文タブレットまで、以前はアナログ式だったモノもデジタル式に移り代わっており、今後も私たちが日常生活を送る上で電子機器に触れることは必然になるだろう。こうした人間と機械のインターフェース(接点)において、ユーザー側に重点をおいた人間と機械の情報のやりとりを主に扱う領域をユーザーインターフェース(以下 UI)と呼んでいる。UI を構築する対象は製品の画面・操作部・外観など多岐に渡る(山岡・岡田,1999)。

【新しい技術と UI】

社会に新しい機器が増えれば、私たちはそれを扱えるように適応することが必要になる場合がある。例えば、今まで所謂ガラケーを使っていた人がスマホに機種変更しようとする、今までガラケーに慣れていた人はボタンを押す操作から新しくスマホのタッチパネル式の操作に適応する必要がある。しかし、スマホのように多機能な製品は機能性と同時に操作の複雑性を産むこともあり、物理的にボタンを押す操作に慣れていた人が、タッチパネルのボタンでは押す実感が沸かずに不信感を覚えるといった不適合が生じることもあるだろう。そこで、画面に触れる時に振動を起こし、ボタンを押したことへのフィードバック(以下 FB)を与える手法で改善を図るなど、ユーザーが機械から受け取る情報が分かりやすくなるようシステムを構築する検討が行われる。

このように全くの初心者にとってシステムの理解は困難であるため、ユーザーがシステムを楽しく容易に理解できるように支援する UI の研究がされている(佐藤・布川・楠見・野口,1993)。ユーザーがコンピューターを道具として使いこなすためのシステムの理解が自然と行えることは重要と考えられる。人間が機械と情報をやりとりする方法や操作の仕組みが分かりやすいことを良い UI と定義すれば、現代社会において良い UI の検証は新しい技術の普及に貢献できるだろう。

【ユーザーインターフェース(UI)の心理学的研究】

UI の研究において、容易な理解が可能かどうかについて、認知科学的手法の検証がどれだけ有効であるか評価する手法の確立は非常に重要である(佐藤ら,1993)。UI の研究開発は、情報入力における操作性の簡易化や、情報入力の効率化が中心に行われているが、現状では入力された内容や情報の理解に対してまでは考慮があまりなされておらず、北風・笠原(1986)は文字点灯の最適な認知速度について心理学的な側面から UI について検討していた。加えて UI について生体反応を用いた研究はまだ少なく、心電図等は補助的な役割で用いられる場合が多い(山岡ら,1999)。

【VR (バーチャル・リアリティ)】

ところで、近年の科学技術の発展は著しく、革新的な技術が突然私たちの生活に現れることがある。VR 元年と呼ばれた 2016 年を境に、Oculus Rift や PSVR の発売、アミューズメント施設への導入等が行われ、低価格で一般層が VR に触れられる機会が増加している。IDC Japan による市場予測によれば、AR/VR 双方を含めた市場規模は 2022 年には 2087 億ドルになり、2017 年の 140 億ドルから 71.6%の年間平均成長率が見込まれている(日経速報ニュースアーカイブ,2018)。一般ユーザーのゲームや動画での利用だけでなく、製造業での試作・設計、医療分野の手術学習のシュミレート、不動産の内見の代用など、多岐に渡る分野において VR の活用が検討されている。仮想空間の可能性は限りなく、今後 VR 空間を用いた仕事は増えていくと考えられる。

[VRにおけるユーザーインターフェース(UI)の検証、及び本研究の目的]

VRが普及する際にも、使い易いかどうか、容易に認知でき、直感的に操作できるシステムであることは重要な要素と考えられる。VR空間にもOculus touch等、新型コントローラーによる振動や触覚のFBを与えるハプティクス機能があるが、VRにおけるFBの効果については十分に検証されていない。さらにVR内で生体反応をUIの評価として用いた先行研究はあまりみられない。直感的に操作出来ているか、有意義なVRのUIについての検討が必要であると考えられる。VRにおけるUIのFBの効果について心理学的側面からは未検証な点が多い。そこで、本研究の目的はVR環境で行う課題時において、FBが及ぼすUI影響の検証を行い、また、良いUIはVR内でストレス反応の軽減が生じるといった仮説を立て、生体反応のUIの評価の有益性の検証を心理学的側面から行う。

方法

実験参加者

実験参加者は文京学院大学に所属する学生、内男性6名・女性6名の計12名を対象とした(平均年齢22.3歳、 $SD=2.31$)。

実験課題

Oculus Riftを用いて、ゲームエンジンunityで作成した仮想空間内でボタンを押して2桁の計算問題に答えてもらう課題を行った。空間内にボタンの土台を設置し、0から9までの数字のボタンと、右下に緑の修正ボタンと赤の解答ボタンを2つ設けた。今回はボタンを押す操作時のFBの有意性に焦点を当てるため、問題の正誤についてのFBは常に行うようにした(回答、修正キーの操作音も含む)。計算式は被験者の正面に表示し、ボタンが計算式の正面または横にある場合と、ボタンを押したときの音と振動によるFBの有無(それぞれFB、NFB)で「正面×FB」、「正面×NFB」、「横×FB」、「横×NFB」の計4通りの条件を行った(図1)。

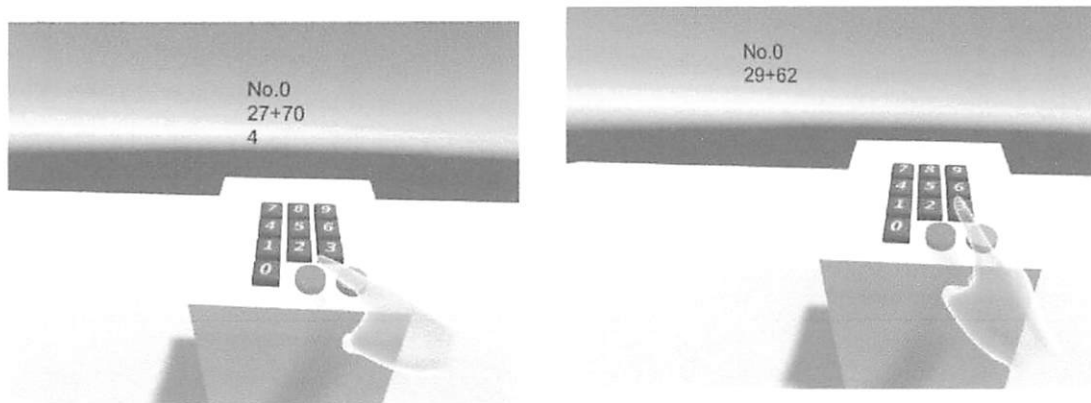


図1. 実験中の仮想空間(左：正面条件・右：横条件)

装置

心電図および皮膚コンダクタンスの測定に関しては、長野(2012)に準じて行われた。心電図は胸部に装着した電極(日本光電工業製 VitrodeF-150M)より、皮膚コンダクタンスは母指球および小指球に装着した電極(日本光電工業製 VitrodeF-150S)より記録された。

実験機材

VRヘッドマウントディスプレイ(Oculus社製Rift)、ハンドコントローラー2機(同じくOculus社製Touch)を用いた。

測定指標

生理指標として心拍数(以下 HR)、心拍変動(以下 RMSSD)、皮膚コンダクタンス(以下 SC)を用いた。また、計算課題の成績をみるため、正当数(correct)、誤答数(incorrect)、修正数(BS)を記録した。

心理指標

主観感情の変化をみるため、一般感情尺度(小川・門地・菊谷・鈴木, 2000)を用いた。これは快感情(PA)、不快感情(NA)、安静感情(CA)の3因子構造で構成されており、「全く感じていない」から「非常に感じている」の4件法で回答を求めた(表1)。また、共通項目としてボタンの押しやすさについての印象をみるため、仮想空間内で操作したボタンについての印象の質問調査表(加藤・土井・岡崎, 1993)と、スイッチの評価についての質問項目(岡本・月々瀬・藤田・田栗・奥田・黒須, 2000)を、実験内容と比較して妥当になるように一部修正して用いた(表2)。ボタンについての印象の質問調査表における「重量の差を感じた」の項目は、先行研究では異なるレバーを用いていた。本研究では各条件下において同じボタンを押すため、「ボタンの重さを感じる」という表現に置き換えた。スイッチの評価についての質問項目における「ボタンの文字は見やすいですか」の項目は本実験の目的として必要でない判断したため削除した。

表1. 一般感情尺度の質問項目

PA	NA	CA
活気のある	うろたえた	ゆったりした
充実した	恐ろしい	平穏な
快調な	動揺した	のどかな
やる気に満ちた	びくびくした	のんきな
元気な	緊張した	くつろいだ
陽気な	驚いた	ゆっくりした
楽しい	どきどきした	平静な
愉快的な	そわそわした	静かな

表2. ボタンの印象に関する質問項目

ボタンの印象に関する共通項目	
信頼できる	(信頼できない)
従順である	(思った通りにならない)
複雑である	(単純である)
反応が早い	(反応が遅い)
操作が早くできる	(操作が遅い)
達成感がある	(達成感がない)
間違い易い	(間違いにくい)
ボタンの重さを感じる	(感じない)
興味が持てる	(持てない)
使い易い	(使いにくい)
ボタンを押したことを実感できましたか	
ボタンを押し間違える心配がありましたか	
目的のボタンは探しやすかったですか	
次に何をすればいいか分かりましたか	
ボタンの位置は適切ですか	

手続き

まず被験者に実験についての簡単な説明をし、インフォームドコンセントをとった。心電図用の電極を胸部に装着した後、心拍計を肩口に装着した。さらに、皮膚コンダクタンス計を左手に装着し、その際、電極は剥がれないようテープで止めた後、手袋を装着し固定した。実験スケジュールは前安静2分、計算課題4分、後安静2分を1セットとし、続けて合計4セット行った。質問紙は前安静の際に1度回答してもらい、その後は各条件が終わるごとに回答してもらった。条件の呈示順序はカウンターバランスした(図2)。

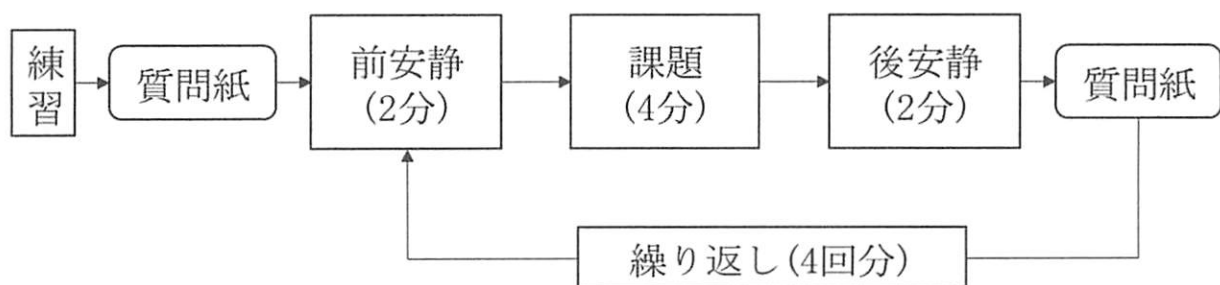


図2. 実験スケジュール

次に教示を行い、実際に HMD を装着したままピントなどを調整して仮想空間内のボタンについての説明と操作の練習を行った(図 3)。その際、以下のように教示を行った。

「本実験ではヘッドマウントディスプレイを用いて、VR 空間内でボタンを押して簡単な計算問題に答えてもらいます。計算は 2 桁の足し算です。実験は 1 条件の前安静が 2 分、計算課題が 4 分、後安静 2 分でその後質問紙を記入していただき、計 4 条件行います。安静時は機材をつけたまま目を閉じてください。次にボタンについての説明をします。ヘッドマウントディスプレイを装着して、実際に操作をしながら聞いてください。実験ではボタンを押したまま右手の人差し指を伸ばして、空間内のボタンを押します。ボタンが体の正面にくるようにして回答してください。0 から 9 までの数字のボタンと、緑と赤のボタンがあります。ボタンは軽い力で押せるので、深く押込みすぎないように気を付けてください。赤いボタンが回答ボタンで緑のボタンが訂正ボタンです。訂正ボタンは押した時点でリセットされるので、計算式に数字が残っていても回答はリセット出来ているので、回答を続けてください。実験では、計算式がボタンの正面にくるパターンとボタンが横にでるパターン、音と振動の有無の 4 条件を行います。なるべく多く解くようにしてください。」

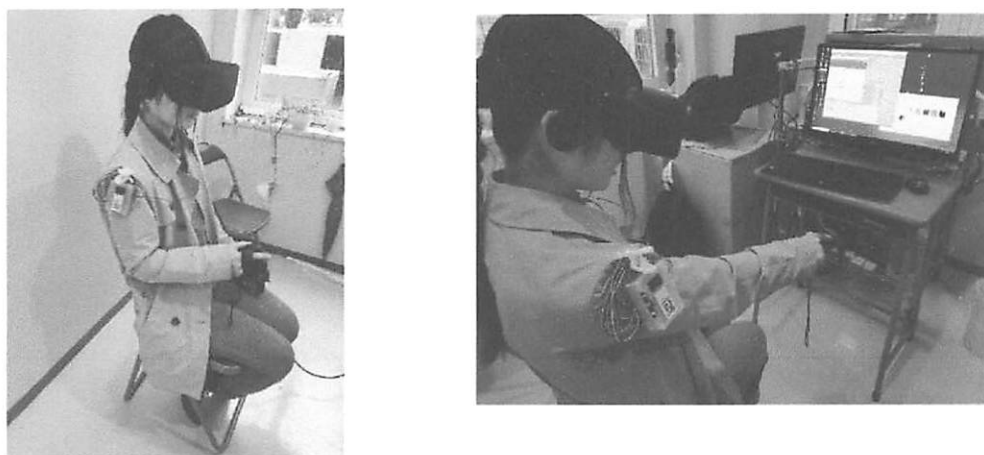


図 3. 実験中の操作時の様子

結果

生体情報に関しては、課題直前の安静期の値を基準値とし、課題期への変化量を求め、従属変数とした。HR の変化量を図 4 に示した。

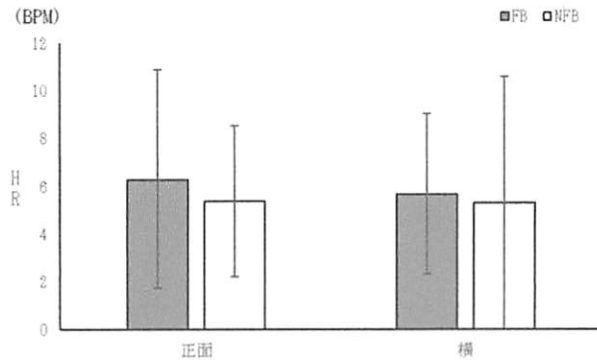


図4. 各条件のHRの変化量

HR 変化量は、NFB 条件より FB 条件の方が高いように見受けられた。かつ、横条件よりも正面条件のほうがやや高いように見受けられた。FB と NFB の差は、正面条件のほうが大きいようにみえた。

HR を従属変数とし、2(位置:正面,横)×2(FB の有無:FB,NFB)の 2 要因参加者内計画の分散分析を行ったところ、有意な効果はみられなかった (位置: $F(1,11)=0.08, ns$; FB: $F(1,11)=1.01, ns$; 位置×FB: $F(1,11)=0.6, ns$)。

各条件の前安静から課題期における RMSSD の変化量を算出し、図に示した(図 5)。

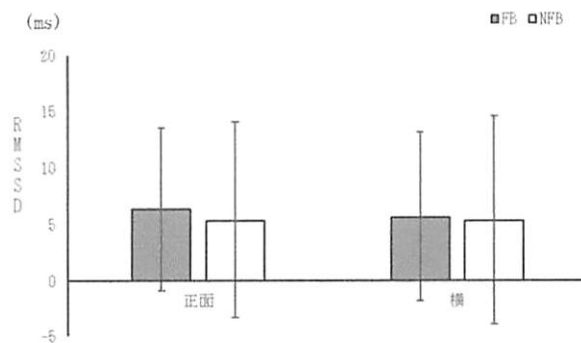


図5. 各条件のRMSSDの変化量

RMSSD の変化量は FB 条件の方が NFB よりも高く見受けられた。正面×FB 条件が一番高い変化量になった。

RMSSD を従属変数とし、同様に分散分析を行ったところ、有意な効果はみられなかった (位置: $F(1,11)=0.17, ns$; FB: $F(1,11)=0.15, ns$; 位置×FB: $F(1,11)=0.65, ns$)。

各条件の前安静から課題期における SC の変化量を算出し、図に示した(図 6)。

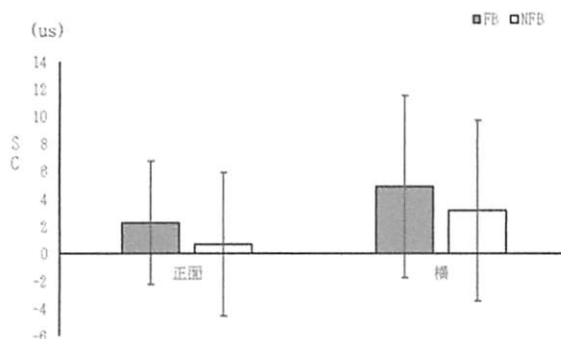


図6. 各条件のSCの変化量

SC の変化量は正面条件の方が横条件よりも高く見受けられた。かつ、FB 条件の方が

NFB 条件よりも低く見受けられた。正面×NFB 条件の変化量が一番低くみえた。

SC を従属変数とし、同様に分散分析を行ったところ、位置の主効果は有意な傾向がみられた(位置: $F(1,11)=3.66, p<.10$) が、FB の効果と位置×FB の交互作用については有意な効果がみられなかった(FB: $F(1,11)=0.15, ns$; 位置×FB: $F(1,11)=0.65, ns$)。

各条件の課題中の回答の正当数の平均値を算出し、図に示した(図 7)。

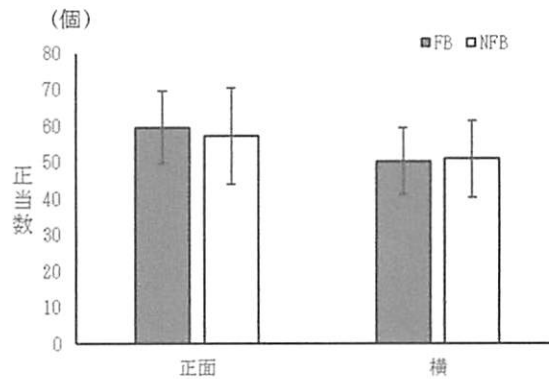


図7. 各条件の課題中の正当数

正当数は正面条件の方が横条件よりも多く見受けられたが、FB の有無による差はあまり見受けられなかった。

正当数を従属変数とし、2(位置:正面,横)×2(FBの有無:FB,NFB)の2要因参加者内計画の分散分析を行ったところ、位置について有意な効果が認められた(位置: $F(1,11)=11.41, p<.01$,) が、FB の効果と位置×FB の交互作用については有意な効果がみられなかった(FB: $F(1,11)=0.14, ns$; 位置×FB: $F(1,11)=0.79, ns$)。

各条件の課題中の回答の誤答数の平均値を算出し、図に示した(図 8)。

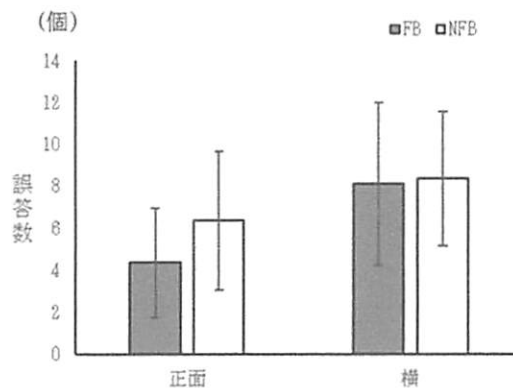


図8. 各条件の課題中の誤答数

誤答数は正面条件よりも横条件の方が多く見受けられた。正面条件では FB 条件より NFB 条件の方が誤答数は多かったが、横条件では FB による差異はあまり見受けられなかった。正面×FB 条件の誤答数が最も少なかった。

誤答数を従属変数とし、同様に分散分析を行ったところ、位置の効果が有意であり(位置: $F(1,11)=14.83, p<.01$,)、FB の効果は有意傾向がみられた(FB: $F(1,11)=4.45, p<.10$)。位置と FB の交互作用については有意な効果がみられなかった(位置×FB: $F(1,11)=1.29, ns$)。

各条件の課題中の訂正ボタンを押した数(以下、訂正数)の平均値を算出し、図に示した(図 9)。

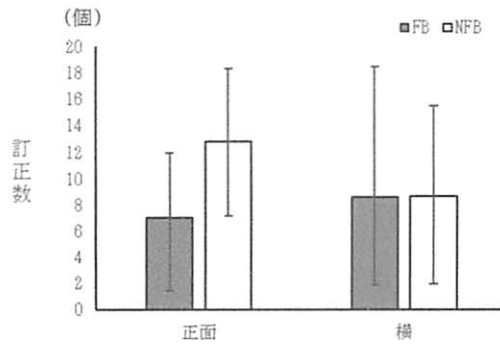


図9. 各条件の課題中の訂正数

訂正数は正面×NFB条件で最も多く見受けられた。正面×FBは横条件よりもやや少なく、最も少ない訂正数に見受けられた。横条件ではFBの有無による差異はあまり見られなかった。

訂正数を従属変数として、同様に分散分析を行ったところ、位置の効果に有意な傾向がみられたが(位置: $F(1,11)=4.35, p<.10,$)、FBの効果は有意ではなかった(FB: $F(1,11)=1.61, ns$)。位置とFBの交互作用は有意な効果が認められた(位置×FB: $F(1,11)=9.62, p<.01$)。

一般感情尺度は課題直前の安静期の値を基準値とし、課題期への変化量を求め、従属変数とした。各条件のPAの変化量の平均値を算出し、図10に示した。

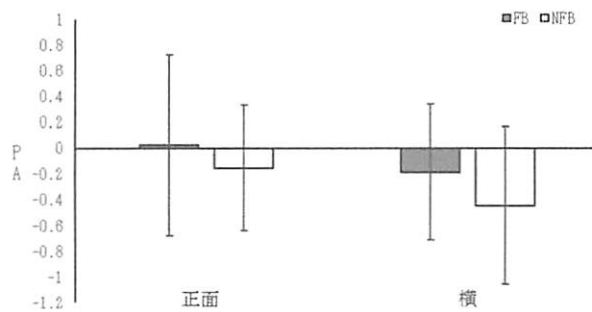


図10. 各条件のPAの変化量

PAは正面条件より横条件の方が下がっているように見受けられた。かつ、FB条件よりもNFB条件の方が下がっているように見受けられた。正面×FB条件のみ前安静から課題期へPAの変化量が上昇していた。横×NFB条件のPAが最も低かった。

PAを従属変数として、2(位置:正面,横)×2(FBの有無:FB,NFB)の2要因参加者内計画の分散分析を行ったところ、位置に有意な効果が認められ(位置: $F(1,11)=7.38, p<.05,$)、FBに有意な傾向がみられた(FB: $F(1,11)=3.46, p<.10$)。位置とFBの交互作用は有意な効果がみられなかった(位置×FB: $F(1,11)=0.18, ns$)。

NAの変化量を図11に示した。

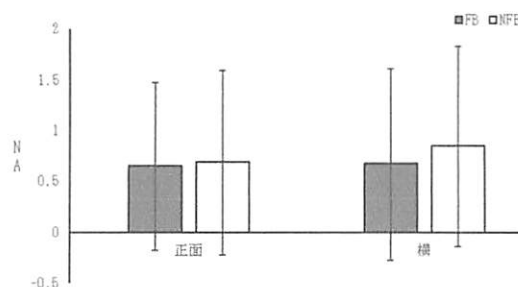


図11. 各条件のNAの変化量

NAはどの条件でも前安静より課題期に上昇していた。FB条件よりもNFB条件の方がやや高く見受けられた。横×NFB条件の変化量が最も高くなった。

NAを従属変数として、同様に分散分析を行ったところ、有意な効果はみられなかった(位置: $F(1,11)=0.52, ns$; FB: $F(1,11)=1.83, ns$; 位置×FB: $F(1,11)=0.58, ns$)。

CAの変化量を図12に示した。

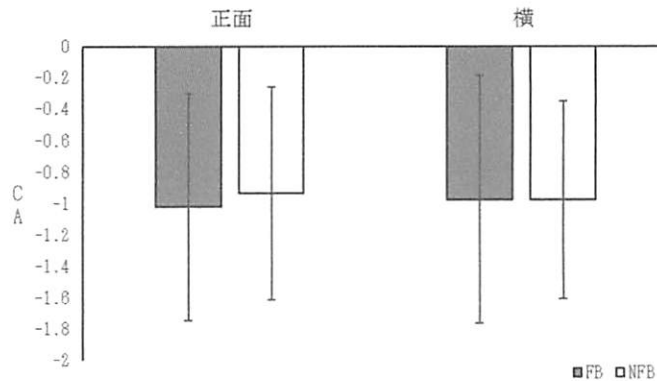


図12. 各条件のCAの変化量

CAはどの条件でも前安静より課題期に下降していた。正面条件ではFB有りの時やや低下して見られたが、横条件ではFBの有無による差異はあまり見受けられなかった。

CAを従属変数として、同様に分散分析を行ったところ、有意な効果はみられなかった(位置: $F(1,11)=0.00, ns$; FB: $F(1,11)=0.20, ns$; 位置×FB: $F(1,11)=0.28, ns$)。

各条件のボタンの印象に関する項目(加藤ら,1993)の平均値と標準偏差を算出し、表3に示した。

表3. 各条件のボタン評価に関する項目の平均値と標準偏差

		信頼できる	従順である	複雑である	反応が早い	操作が早くできる	達成感がある	間違い易い	ボタンの重さを感じる	興味が持てる	使い易い
正面	FB	0.25 (1.60)	0.25 (1.54)	-1.00 (1.04)	0.92 (0.90)	1.00 (1.13)	0.75 (1.22)	0.00 (1.54)	0.83 (1.19)	0.75 (1.06)	0.50 (1.45)
	NFB	-0.58 (1.08)	-0.75 (1.14)	-0.50 (1.31)	0.25 (1.36)	0.08 (1.56)	-0.50 (1.00)	1.25 (0.97)	-1.17 (1.34)	0.25 (1.22)	-0.67 (1.56)
横	FB	-0.42 (1.00)	-0.25 (1.54)	-0.67 (1.30)	0.42 (1.08)	-0.33 (1.30)	0.08 (1.24)	1.17 (0.94)	0.25 (1.60)	0.58 (0.90)	-0.33 (1.44)
	NFB	-1.00 (1.28)	-1.00 (1.54)	-0.25 (1.48)	-0.08 (1.56)	-0.58 (1.68)	-0.08 (1.08)	1.42 (0.90)	-0.92 (1.51)	-0.17 (1.27)	-1.00 (1.35)

※()内の数値はSD。

表3を見ると、『信頼できる』『従順である』『反応が早い』『達成感がある』『操作が早くできる』『ボタンの重さを感じる』『興味が持てる』『使い易い』はNFB条件よりもFB条件が高かった。『複雑である』『間違い易い』はFB条件よりもNFB条件の方が高い値だった。また、『操作が早くできる』は横条件よりも正面条件の方が高く、『間違い易い』は正面条件よりも横条件の方が高い値だった。

また、ボタンの印象評価に関する各項目の値を従属変数とし、2(位置:正面,横)×2(FBの有無:FB,NFB)の2要因参加者内計画の分散分析を行った結果をまとめて以下の表に示

した(表 4)。

表4. ボタン評価に関する項目の分散分析の結果

	位置	FB	位置×FB
信頼できる	ns	*	ns
従順である	ns	**	ns
複雑である	ns	**	ns
反応が早い	ns	*	ns
操作が早くできる	**	+	ns
達成感がある	ns	ns	*
間違い易い	*	ns	ns
ボタンの重さを感じる	ns	**	+
興味が持てる	ns	+	ns
使い易い	*	*	ns

*= $p < .05$, **= $p < .01$

『達成感がある』では位置とFBの交互作用に有意な効果が($F(1,11)=5.76, p < .05$)、
『ボタンの重さを感じる』では位置とFBの交互作用に有意な傾向が認められた
($F(1,11)=4.77, p < .10$)。

各条件のボタンの印象に関する項目(岡本ら,2000)の平均値と標準偏差を算出し、表5
に示した。

表5. 各条件のボタン評価に関する項目の平均値と標準偏差

		ボ タ ン の 実 感 を 押 し ま し た こ と を	ボ タ ン を 押 し 間 違 え る	目 的 の ボ タ ン は 探 し や す か っ た で す か	次 に 何 を す れ ば い い か 分 か り ま し た か	ボ タ ン の 位 置 は 適 切 で す か
正面	FB	4.25 (1.14)	2.92 (1.38)	3.83 (1.19)	4.25 (0.97)	4.50 (1.00)
	NFB	1.92 (1.08)	4.00 (1.48)	3.67 (1.07)	4.50 (0.67)	4.42 (0.67)
横	FB	3.92 (1.16)	3.92 (1.16)	3.33 (1.30)	3.83 (1.03)	2.67 (1.30)
	NFB	2.00 (1.13)	4.25 (1.06)	2.08 (1.31)	4.08 (0.79)	2.42 (1.44)

※()内の数値はSD。

表5を見ると、ボタン評価について『ボタンを押しした実感』はFB条件では約4程度と高く、NFB条件では約2程度と低く、特に正面×FB条件で実感を得られていた。『ボタンの押し間違い』ではNFBよりもFB条件の方がボタンは押しやすく、正面×FBが最も押しやすく、横×NFB条件が最も低かった。『目的のボタンの探しやすさ』では正面条件よりも横条件の方が高かった。正面×NFBが最も高く、横×NFBが最も低かった。

『次に何をすればいいか分かる』はFB条件よりもNFB条件の方が高く、正面×NFBが最も高く、横×FBが4以下最も低かった。『ボタンの位置適正』は横条件よりも正面条件の方が高く、正面条件では約4.5近くになった。

また、ボタンの印象評価に関する各項目の値を従属変数とし、2(位置:正面,横)×2(FBの有無:FB,NFB)の2要因参加者内計画の分散分析を行った結果をまとめて以下の表に示した(表6)。

表6. ボタン評価に関する項目の分散分析の結果

	位置	FB	位置×FB
ボタンを押したことを実感できましたか	ns	**	ns
ボタンを押し間違える心配がありましたか	+	*	ns
目的のボタンは探しやすかったですか	*	**	*
次に何をすればいいか分かりましたか	*	ns	ns
ボタンの位置は適切ですか	**	ns	ns

*= $p < .05$, **= $p < .01$

『目的のボタンの探しやすさ』について位置とFBの交互作用に有意な効果が認められた($F(1,11)=9.16, p < .05$)。

考察

本実験ではVR環境で行う課題時において、FBが及ぼすUIの影響を検証し、使い易い動作環境、実用性についての検討を目的とした。また、心理学的側面からUIについて検討するために、生理指標の有益性について検証した。

生理指標の考察

分散分析の結果、HR・RMSSDの変化量は各条件で有意ではなかったが、SCは正面の方が横条件よりも低い結果となった。統計的には有意ではなかったものの、各生理指標においてNFBよりもFBの方が高い数値を示していた。HRの変化量は各条件で上昇しており、先行研究の計算課題では心拍数が上昇しやすい点を支持する結果となった(長野,2012)。また、SCの変化量について、正面条件よりも横条件、加えてFB有りの方が高くなっており、横×FBの条件の変化量が顕著な反応を示していた。これに関して、横条件の方が難しく課題による緊張を高めたこと、後述の達成感の心理指標などFBがあることで単調にならず課題に取り組めるポジティブな影響を与えていた可能性が推測される。この結果から、SCは緊張のようなネガティブな感情にも、達成感のようなポジティブな感情にも同時に反応してしまう事が考えられた。これに加え、生理指標をUIの評価使うことに関して、RMSSDについては各条件であまり変化がなかったことや、分散分析の結果で有意な結果が得られなかった場合が多かったこと等、生理指標は評価の指標としては補助的に使った方が良いという山岡ら(1999)の見解と近いものになった。しかし、各条件における変化の差は少なからずあり、実験サンプルを増やすことで有意な結果が得られる可能性も考えられる。

課題成績、及び視野条件についての考察

分散分析の結果、正当数、誤答数、訂正数において、位置の効果は有意である。あるいは有意な傾向がみられ、正面条件の方が、正当数が多く、誤答・訂正数が少なかった。つまり正面条件の方が課題成績は良かったと考えられる。視野の制約がある没入型VR環境と実環境を比較して、視野の制約が物体の認識や操作を行う際の人間の挙動に影響を及ぼしており、環境内を見渡しながら空間を把握するような多くの視線の変化を伴う場合は実環境とVR環境における挙動に大きな差異が生じることが懸念されている(水地・稲邑,2018)。今回設けた位置の条件について、正面を向いたまま課題が行える場合よりも横にボタンがある場合の方が視線の変化が大きく、横条件の課題の難易度が高くなり作業効率がより低下していたと考えられる。よってVRのような視野の広域が限定される空間では、中心視野内で済む作業環境を構築することが好ましく、周辺視野での作業は避けた方が無難であると考えられる。しかし、「目的のボタンが探しやすくなる」の心理指標から横条件でもFBがあれば操作性が向上する効果がみられ、FBがあることにより被験者の感じる課題の負担が軽減されていると考えられる。FBの有無など、付与方法によって中

心視野よりは作業効率は劣ったとしても周辺視野の作業も効率よく出来るように改善できる余地ように見受けられた。

心理指標の考察

PA の変化量は正面×FB 以外は下降していた。NA は分散分析の結果、有意な効果はみられなかった。CA は各条件で下降していた。CA の下降は、どの条件も-1 程度であり、他感情に比べ顕著な変化と言えた。今回用いた課題は、指がテーブルを貫通してしまうため、ボタンを適切に押すために指の位置を正確にコントロールしなければならず、実際のボタン押しに比べ、かなり難易度高かった。CA の大きな下降は、そのような課題の性質を反映していると言えるかもしれない。ボタンの印象に関して、FB がある方がポジティブな評価が高く、FB が無いときには複雑・間違い易いという印象を受けていた。特に、『達成感がある』項目では正面条件で FB 有りの時に最も高く、逆に正面条件で FB 無しの時に最も低い結果となっていた。FB があることによって達成感を感じており、正面条件のようなやりやすい課題であれば達成感を感じるというわけではなく、丁度良い難しさとボタンを押す手ごたえがあることで自己効力感が高まり単調にならず達成感を得ているのではないだろうか。また、『ボタンの重さ』について、FB の効果が顕著であり、正面×NFB の条件より横×FB の方がボタンの重さを感じていた。仮想のボタンであっても、押したときに音や振動による触感といった FB があると重量を感じる結果が得られた。また、前述した FB が生む目的のボタンの探しやすさなど、何かしら反応があることは仮想空間における主観的な判断の指針として有益な効果が得られると検討される。

総合的な考察・今後の課題

UI を評価する指標として、生理指標を用いたが有意な効果が見られたのは一部であり補助的な役割で利用することが好ましいと見受けられた。しかし、SC や HR など各条件で変化の違いがないわけではなく、サンプル数を増やす、実験課題の見直しなどまだ検討の余地があると考えられる。中心視野と FB があるときに VR 空間内で最も作業効率が良かった。FB による作業効率の改善がみられる。FB によって達成感を生む、ボタンの重量を感じるといった効果を生みだしていた。仮想空間における質量の判断の指針に FB が有益であるという知見が得られた。今後、音や振動の違いなど実体の無いものに対してどのような刺激がより質量を与えるのかなど、更なる検証が望まれる。

VR 空間でボタンを押すという作業は難しいという意見が多かった。特に、FB が無いと集中力を使う、横条件で身体的に疲れるなど、集中して行う計算課題において集中力を削ぐ要因が多々あり、加えて、一人の被験者に対して実験スケジュールの合計時間が長かったといった、課題の難易度・疲労度が高かったと考えられ、課題について被験者への負担の軽減が求められる。

引用文献

- 加藤伸子・土井美和子・岡崎彰夫・(株)研究開発センター (1993) 仮想空間における自然な操作方法 ヒューマンインタフェース 48-7
- 北風晴司・笠原裕 (1986) 心理学実験に基づくユーザ・インタフェースの設計：プリンキングのパラメータ設定を例として 全国大会講演論文集第 33 回,情報システム,pp2175-2176
- 長野祐一郎 (2012) 計算・迷路課題が自律系生理指標に与える影響の検討 文京学院大学人間学部研究紀要 vol.13, 59-67
- 日経速報ニュースアーカイブ (2018) IDC Japan、2022 年までの世界 AR/VR 関連市場予測を発表
- 岡本卓也・月々瀬芳敬・藤田俊弘・田栗義輝・奥田玲子・黒須正明 (2000) 高齢者の操作

性向上を目的とした画面上に操作感を有する対話型ディスプレイの開発 (2)~ 触覚と音声によるフィードバックを伴うタッチパネル操作の評価~ インタフェース学会, 茨城

佐藤究・布川博士・楠見考・野口正一 (1993) ユーザインタフェース・メタファーの定性的評価とその考察 情報処理学会研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN) 75号, pp41-48

山岡俊樹・岡田明 (1999) ユーザーインターフェースデザインの実践 海文堂出版株式会社

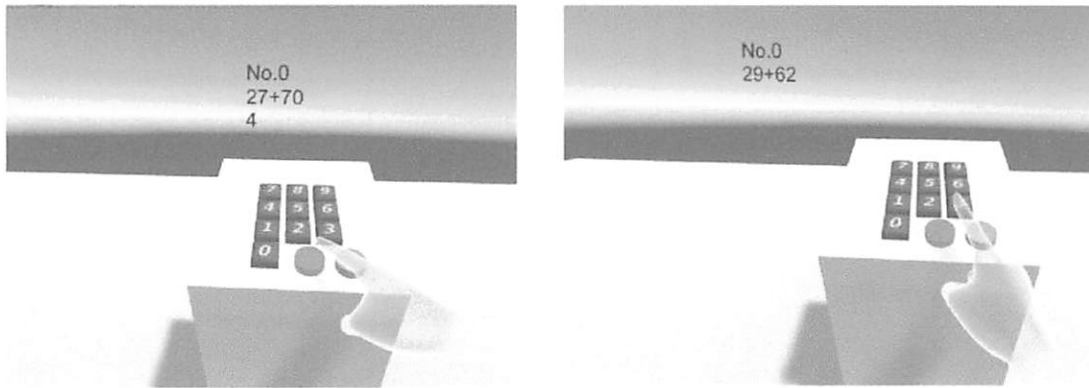


図1. 実験中の仮想空間(左：正面条件・右：横条件)

表1. 一般感情尺度の質問項目

PA	NA	CA
活気のある	うろたえた	ゆったりした
充実した	恐ろしい	平穏な
快調な	動揺した	のどかな
やる気に満ちた	びくびくした	のんきな
元気な	緊張した	くつろいだ
陽気な	驚いた	ゆっくりした
楽しい	どきどきした	平静な
愉快的な	そわそわした	静かな

表2. ボタンの印象に関する質問項目

ボタンの印象に関する共通項目	
信頼できる	(信頼できない)
従順である	(思った通りにならない)
複雑である	(単純である)
反応が早い	(反応が遅い)
操作が早くできる	(操作が遅い)
達成感がある	(達成感がない)
間違い易い	(間違いにくい)
ボタンの重さを感じる	(感じない)
興味が持てる	(持てない)
使い易い	(使いにくい)
ボタンを押したことを実感できましたか	
ボタンを押し間違える心配がありましたか	
目的のボタンは探しやすかったですか	
次に何をすればいいか分かりましたか	
ボタンの位置は適切ですか	

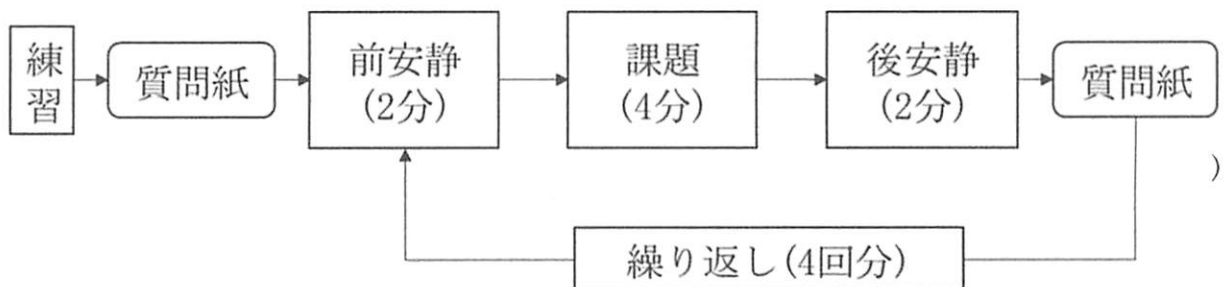


図2. 実験スケジュール



図3. 実験中の操作時の様子

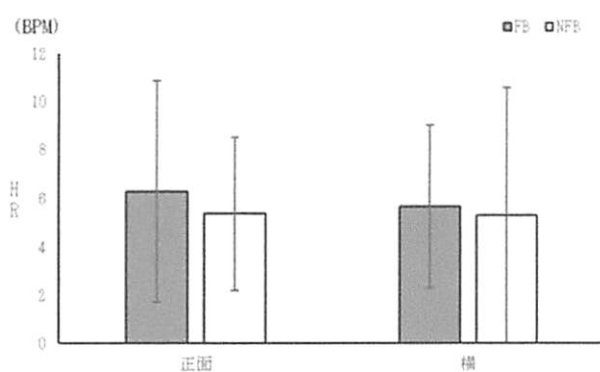


図4. 各条件のHRの変化量

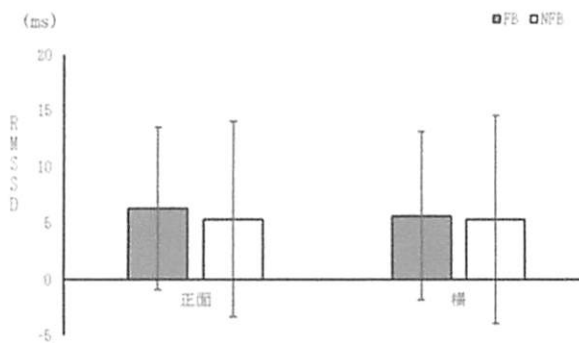


図5. 各条件のRMSSDの変化量

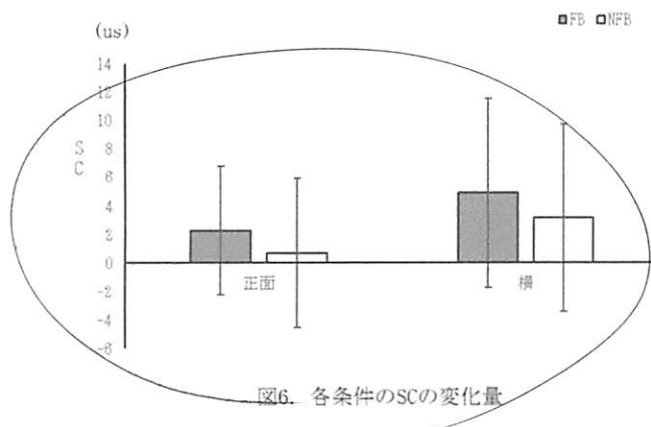


図6. 各条件のSCの変化量

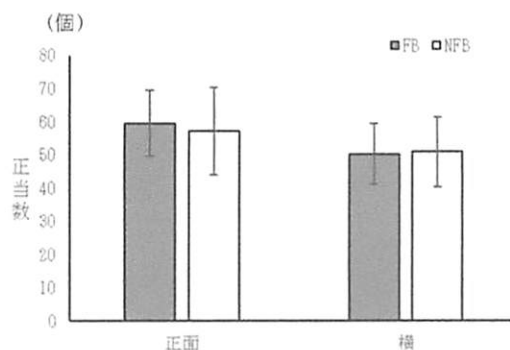


図7. 各条件の課題中の正当数

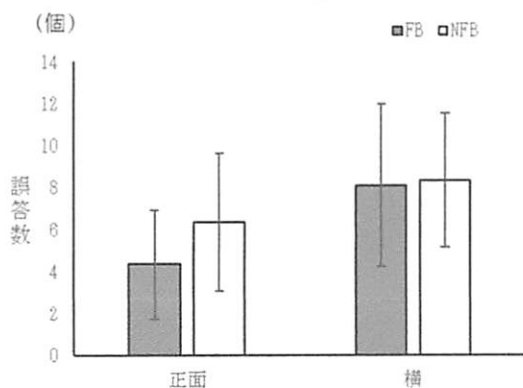


図8. 各条件の課題中の誤答数

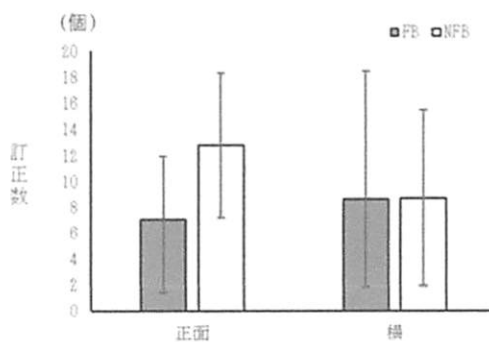


図9. 各条件の課題中の訂正数

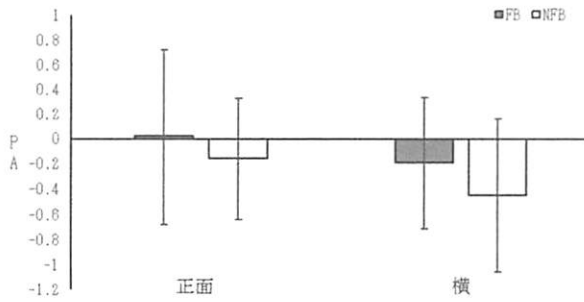


図10. 各条件のPAの変化量

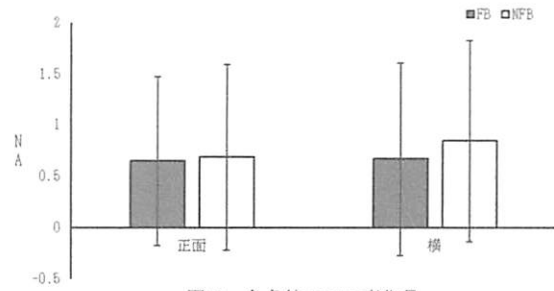


図11. 各条件のNAの変化量

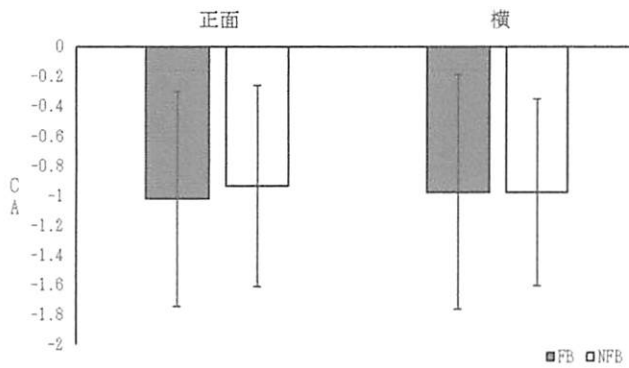


図12. 各条件のCAの変化量

表3. 各条件のボタン評価に関する項目の平均値と標準偏差

		信頼できる	従順である	複雑である	反応が早い	操作が早くできる	達成感がある	間違え易い	ボタンの重さを感じる	興味が持てる	使い易い
正面	FB	0.25 (1.60)	0.25 (1.54)	-1.00 (1.04)	0.92 (0.90)	1.00 (1.13)	0.75 (1.22)	0.00 (1.54)	0.83 (1.19)	0.75 (1.06)	0.50 (1.45)
	NFB	-0.58 (1.08)	-0.75 (1.14)	-0.50 (1.31)	0.25 (1.36)	0.08 (1.56)	-0.50 (1.00)	1.25 (0.97)	-1.17 (1.34)	0.25 (1.22)	-0.67 (1.56)
横	FB	-0.42 (1.00)	-0.25 (1.54)	-0.67 (1.30)	0.42 (1.08)	-0.33 (1.30)	0.08 (1.24)	1.17 (0.94)	0.25 (1.60)	0.58 (0.90)	-0.33 (1.44)
	NFB	-1.00 (1.28)	-1.00 (1.54)	-0.25 (1.48)	-0.08 (1.56)	-0.58 (1.68)	-0.08 (1.08)	1.42 (0.90)	-0.92 (1.51)	-0.17 (1.27)	-1.00 (1.35)

※()内の数値はSD。

表4. ボタン評価に関する項目の分散分析の結果

	位置	FB	位置×FB
信頼できる	ns	*	ns
従順である	ns	**	ns
複雑である	ns	**	ns
反応が早い	ns	*	ns
操作が早くできる	**	+	ns
達成感がある	ns	ns	*
間違え易い	*	ns	ns
ボタンの重さを感じる	ns	**	+
興味が持てる	ns	+	ns
使い易い	*	*	ns

**=p<.05, *=p<.01

表5. 各条件のボタン評価に関する項目の平均値と標準偏差

		ボタンを実感できませんでしたか	ボタンを押し間違える心配がありましたか	目的のボタンは探しやすかったですか	次に何をすればいいか分かりましたか	ボタンの位置は適切ですか
正面	FB	4.25 (1.14)	2.92 (1.38)	3.83 (1.19)	4.25 (0.97)	4.50 (1.00)
	NFB	1.92 (1.08)	4.00 (1.48)	3.67 (1.07)	4.50 (0.67)	4.42 (0.67)
横	FB	3.92 (1.16)	3.92 (1.16)	3.33 (1.30)	3.83 (1.03)	2.67 (1.30)
	NFB	2.00 (1.13)	4.25 (1.06)	2.08 (1.31)	4.08 (0.79)	2.42 (1.44)

※()内の数値はSD。

表6. ボタン評価に関する項目の分散分析の結果

	位置	FB	位置×FB
ボタンを押したことを実感できましたか	ns	**	ns
ボタンを押し間違える心配がありましたか	+	*	ns
目的のボタンは探しやすかったですか	*	**	*
次に何をすればいいか分かりましたか	*	ns	ns
ボタンの位置は適切ですか	**	ns	ns

*= $p < .05$, **= $p < .01$