

修士論文

生体反応を利用したテレビゲームの 「面白さ」判定方法の検討

IN RESPONSE OF BODY TO PLAYING GAMES,
CHECK UP “AMUSINGNESS”

2012 年度

工学研究科

システム工学専攻

修士課程

11R6102

トミザワ カズマ
富澤 一真

指導教授 渡辺 嘉二郎 教授

In response of body to playing games, check up “amusingness”

Kazuma TOMIZAWA

Abstract

We measure the heart rate and brain wave during game play and check the relationship between game, heart rate and brain wave. First we measure heart rate during game play. However we do not use sphygmograph on the fingertips. Instead, we use sphygmograph on the ear, because we cannot be measured in terms of fingertips. By use it, we can curtail the use of both hands. It is evident; we can measure the heart rate during the course of a game to not use both hands. Second, we measure brain wave during game play. And we examine the association between heart rate, brain wave and game state. From these results, we want to help to create a video game.

Key Words : *Heart rate, Brain wave, Video game*

目次

第1章 はじめに	4
1. 1 研究背景.....	4
1. 2 本研究の目標.....	4
第2章 準備	5
2. 1 「面白さ」の定義	5
2. 2 Arduino を用いた心拍センサ	5
2. 2 事象関連電位.....	6
第3章 実験1	8
3. 1 実験目的.....	8
3. 2 実験方法.....	8
3. 3 結果と考察	8
3. 3. 1 実験による計測波形	9
3. 3. 2 実験考察	16
第4章 実験2	17
4. 1 実験目的.....	17
4. 2 実験方法.....	17
4. 3 結果と考察	18
4. 3. 1 実験による計測結果	18
4. 3. 2 実験考察	21
第5章 実験3	22
5. 1 実験目的.....	22
5. 2 基礎実験.....	22
5. 2. 1 オドボール課題	22
5. 2. 2 結果	23
5. 3 実験方法.....	24
5. 4 結果と考察	25
5. 4. 1 実験による計測結果	25
5. 4. 2 実験考察	33
第6章 結論	34
付録	35
参考文献	41
謝辞	42

第1章 はじめに

1. 1 研究背景

テレビゲームが生体に及ぼす影響は多く、視力の低下やゲーム脳の影響などで社会の関心を集めている。その中でも興奮はテレビゲームを遊ぶ上で大事な要素であり、テレビゲームに熱中すると興奮し「面白さ」を感じる人が多い。ここでの「面白さ」とは、テレビゲームに集中し興奮していることに相関していると考えられている[1]。そして興奮は脳を始めとする生体を活性化させ、心拍数を上昇させると指摘されている[2]。しかしテレビゲームの「面白さ」と生体反応にたいして、これらの報告はあまり見当たらない。これはテレビゲームの興奮にたいする脳の反応の指標が定まっていない点が挙げられる。また心拍数にたいしては時々刻々と変動する血圧動態を知るために動脈波形の連続測定が必要となるが、特にテレビゲームのような両手を用いた作業では従来の方法である手指を使った脈拍の連続測定を行うのは極めて困難であったことが報告の少なさの原因だと考えられる。

1. 2 本研究の目標

本研究では、テレビゲームが生体に与える影響について、脳波と心拍数の2つの生体反応から確かめる。またどのようなゲーム状態のときに脳波や心拍数に影響を与えているのかを確かめ、人がどのようなゲーム状態のときに興奮し「面白さ」を感じるのかを検討し、生体反応によってテレビゲームの「面白さ」を判定できるかどうかを検討する。

第2章 準備

2.1 「面白さ」の定義

「面白さ」とは、個人に荷せられる情報負荷に関係しておりそれぞれの個人の情報処理能力にたいして適度の情報負荷、すなわち最適情報負荷が与えられるときに最も大きくなる。この最適情報負荷は「遊び」においてより容易に求められ得る状況が作り出され、結果のフィードバックを含むことで「面白さ」をより効果的にすると報告されている[3]。また情報負荷の加減は集中力に影響すると考えられており、適切な情報負荷は集中力の維持には必要であると報告されている[4]。このことから今回はテレビゲームに集中した際の脳波と興奮時の心拍数を元に、テレビゲームのコンセプトと一致したか否かで「面白さ」を判定する方法論を採用した。

2.2 Arduino を用いた心拍センサ

心拍数では Arduino という比較的手軽に開発ができるマイコンを使用しフォトリフレクタを利用した心拍センサから、指尖脈拍波として手指を使わずに耳介部における動脈波形を連続測定する装置を制作した。

図1に今回の実験で使用した Arduino と心拍センサシールド、フォトセンサを示し、表1にフォトリフレクタのセンサ仕様を示す。



図1 左：Arduino Uno R3, 中：A.P. Shield 05, 右：フォトセンサ

表1 フォトセンサの仕様

Parameter		Symbol	Limits	Unit
入力発光ダイオード	順電流	I_F	50	mA
	逆電流	V_R	5	V
	許容損失	P_D	80	mW
出力フォトトランジスタ	コレクターエミッタ間電圧	V_{CEO}	30	V
	エミッターコレクタ間電圧	V_{ECO}	4.5	V
	コレクタ電流	I_C	30	mA
	コレクタ損失	P_C	80	mW
動作環境		T_{opr}	-25～+85	°C
保存温度		T_{stg}	-30～+85	°C

2. 3 事象関連電位

脳波では事象関連電位(Event-Related Potentials: ERP)を指標とした検討を行った。特に着目したのは、N100, P300 の2つのERP成分である。N100は刺激提示後100ms以降にピークを持ち、刺激に対する注意や集中によって出現する陰性成分である(図2)。また、P300は刺激提示後300～500ms付近にピークを持つ陽性成分で、低頻度の刺激を選択的に注意することで出現する。更に新規刺激に対しても一貫して出現することが示されており、選択的集中力を反映していると言われている(図3)。

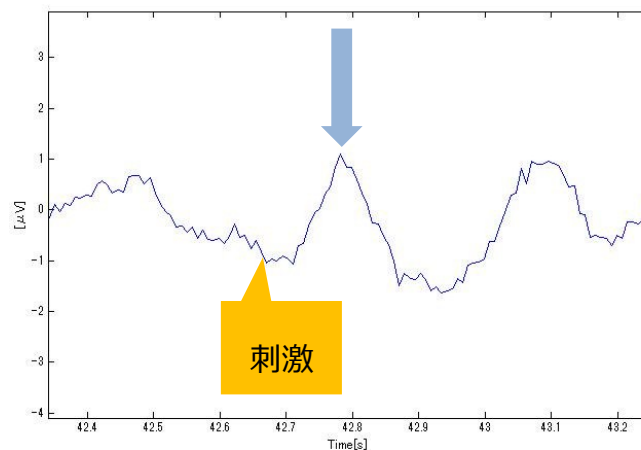


図2 N100 成分

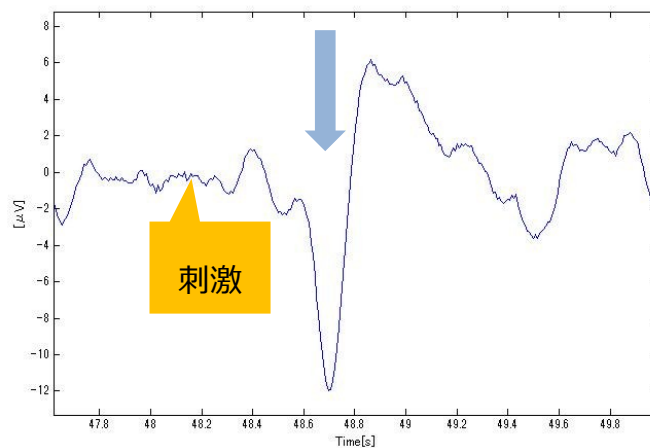


図3 P300 成分

図 4 に今回使用した脳波計である株式会社デジタルメディック社のミュージズブレインシステムを示し、表 2 に仕様を示す。



図 4 ミューズブレインシステム

表 2 ミューズブレインシステムの仕様

	本体	ヘッドセット
外形寸法 (W×D×H)	58×120×24mm	170×160×15mm
質量	95g	80g
サンプリング周波数	128Hz	
入力インピーダンス	10MΩ 以上	
電源	リチウムイオン充電電池	
充電時間	2時間	
連続使用時間	6時間	

第3章 実験

3. 1 実験目的

テレビゲーム遊戯中の心拍数を計測し平常時との違いを検証する。

3. 2 実験方法

健康な成人男子ボランティア 4 名(23±1 才)の被験者に協力してもらい、被験者にソニー製 PS2 コントローラーの操作に慣れてもらうために 5 分間の練習時間を与え、その後座位で 5 分間の安静状態を保たせた。そのままの姿勢でコントローラーを両手で操作させ、この間図 5 のように耳介部にセンサを装着して耳介部動脈波形を連続測定した。



図 5 耳介部にセンサ装着

ゲームソフトは難易度や設定を自由に変更できるハル研究所製「ニンテンドウオールスター！大乱闘スマッシュブラザーズ」を選び各被験者には CPULv. (Lv. 1：弱い—Lv. 9：強い)，ふっとび率 (50%：とびにくい—200%：とびやすい) を組み合わせた 4 つのルールで 1 分間 (ゲーム内時間)，それぞれのルールで 2 回ずつ行った。ゲームとゲームの間では、1 分間の安静を保たせた。

最後に被験者にはテレビゲームに対してどの程度集中したかの「集中力」，どの程度面白く感じたかの「面白さ」，再度同じルールで遊びたいかの「リトライ」，これら 3 つの質問に対し、1 を「少」、5 を「多」とする 5 件法で回答した。

3. 3 結果と考察

3. 3. 1 実験による計測波形

以下に被験者 4 名のテレビゲーム遊戯中の心拍数の変化を 1 回分のみ図 6 ~ 9 に示す. 短期間の動きに着目し約 1 秒ずつ心拍数を検出していることから, 直近 10 秒のデータから単純移動平均を求め, 心拍数を青の点線で, 単純移動平均を赤の線で示す.

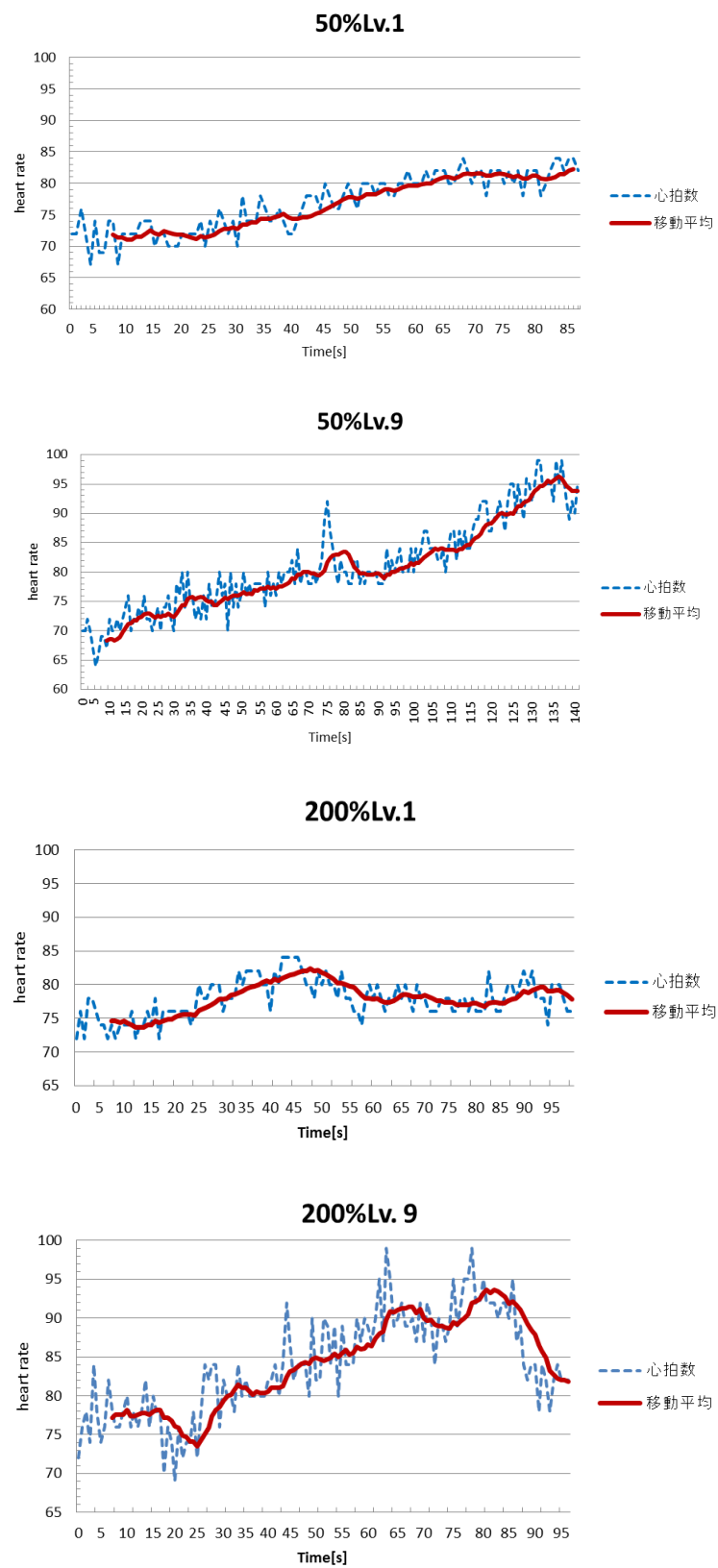


図 6 被験者 1 の各ルールでの心拍数の変動

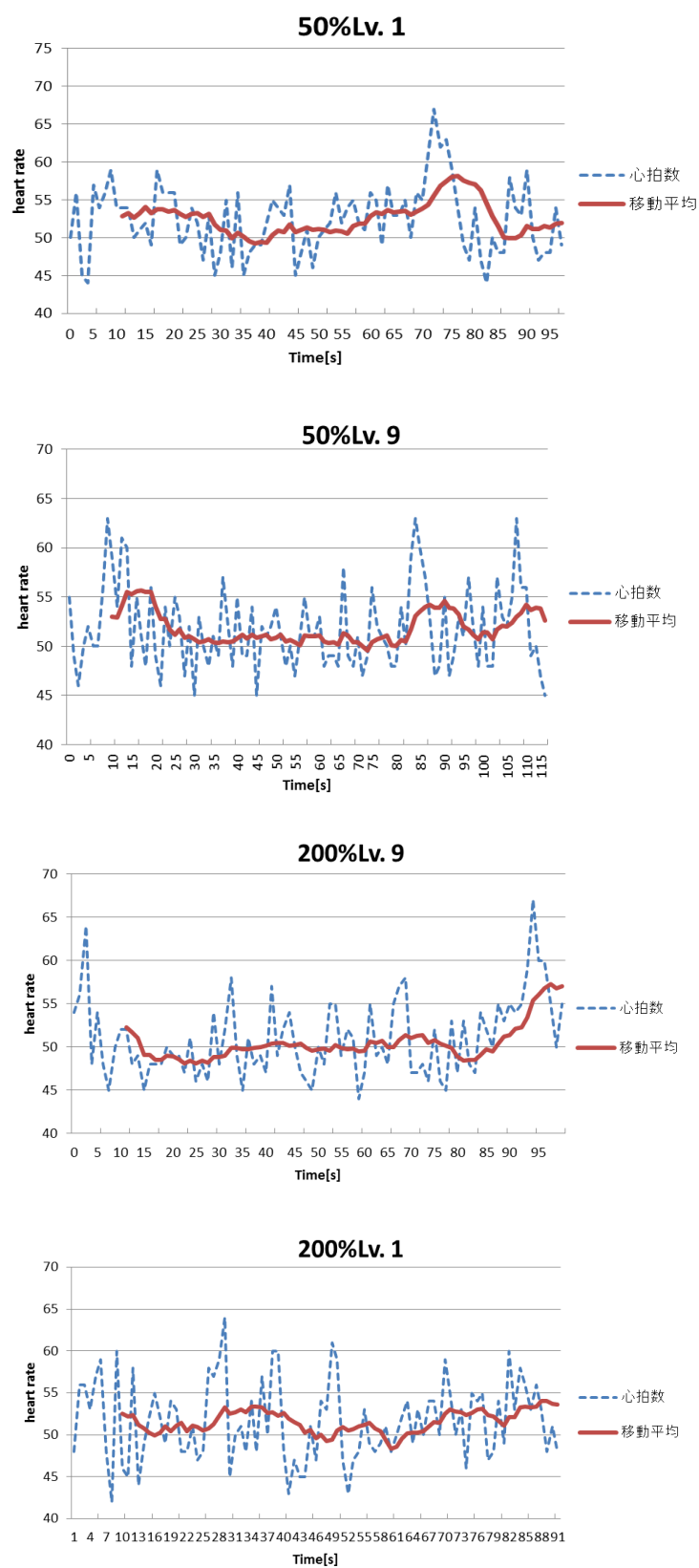


図7 被験者2の各ルールでの心拍数の変動

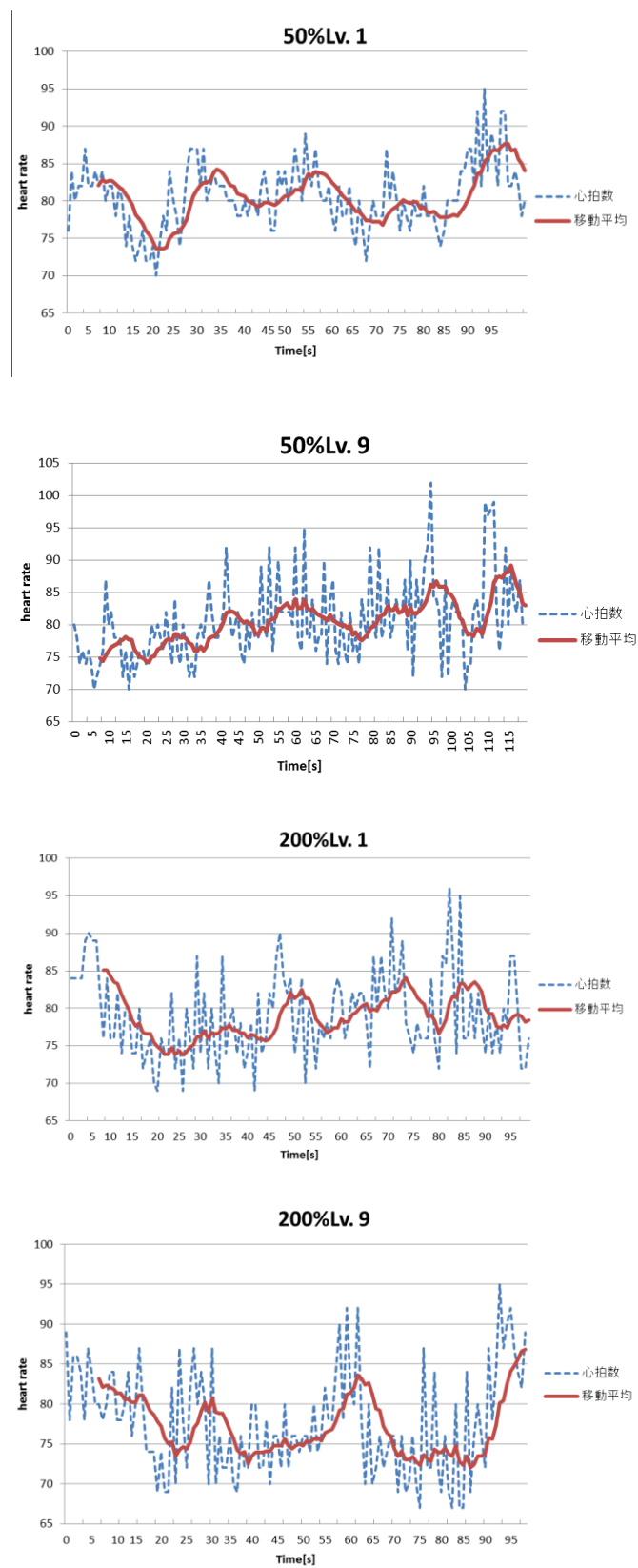


図 8 被験者 3 の各ルールでの心拍数の変動

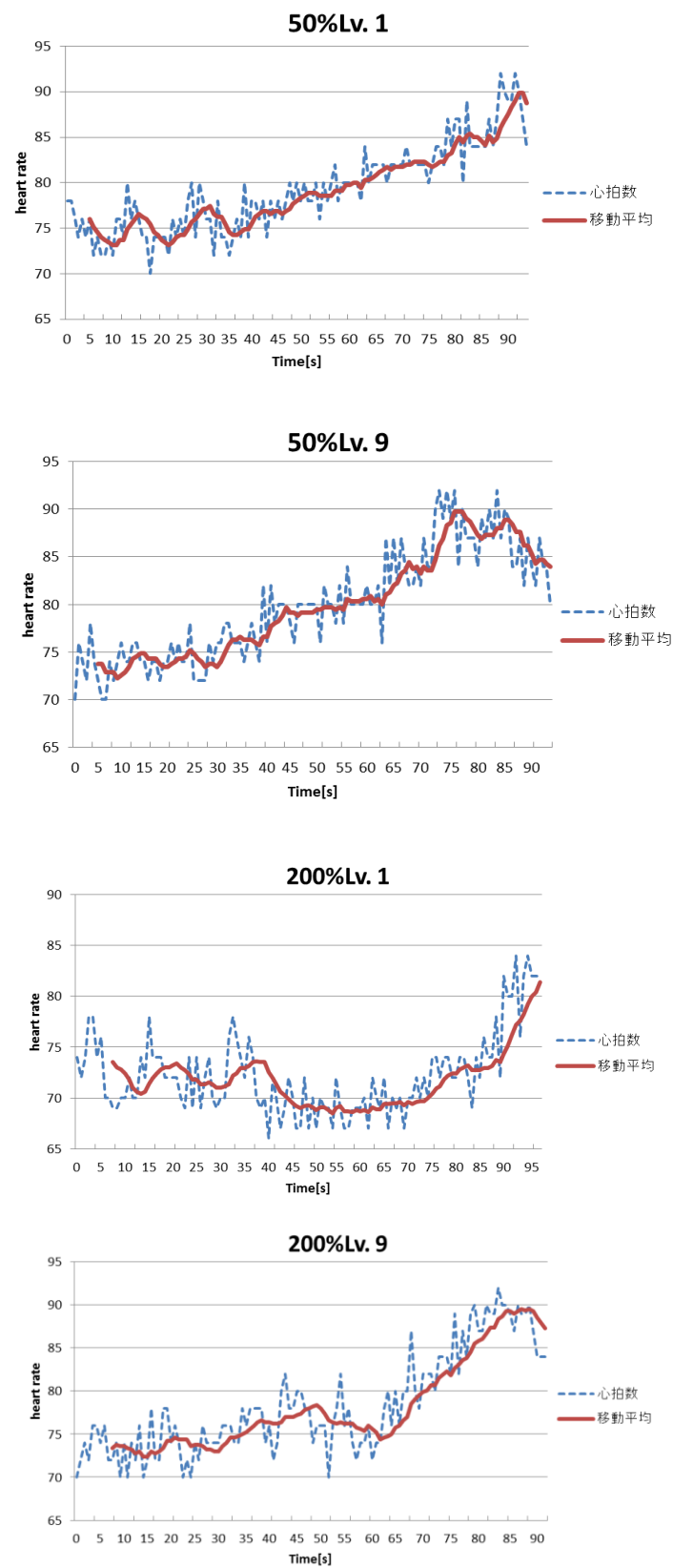


図9 被験者4の各ルールでの心拍数の変動

各被験者の各ルールのテレビゲーム遊戯中の単純移動平均の平均心拍数と各々の安静時の平均値の差と、最高値と安静時の最高値との差を表3～6に示す。

表3 被験者1の平均心拍数と安静時の平均値の差と、最高値と安静時の最高値との差

	50%Lv. 1	50%Lv. 9	200%Lv. 1	200%Lv. 9
平均値	0.75	5.13	5.63	7.88
最高値	3.75	12.75	9.00	12.75

表4 被験者2の平均心拍数と安静時の平均値の差と、最高値と安静時の最高値との差

	50%Lv. 1	50%Lv. 9	200%Lv. 1	200%Lv. 9
平均	2.38	2.00	2.50	2.38
最高値	5.50	4.00	4.75	4.75

表5 被験者3の平均心拍数と安静時の平均値の差と、最高値と安静時の最高値との差

	50%Lv. 1	50%Lv. 9	200%Lv. 1	200%Lv. 9
平均	5.25	5.88	2.38	5.88
最高値	9.50	8.75	5.25	11.25

表6 被験者4の平均心拍数と安静時の平均値の差と、最高値と安静時の最高値との差

	50%Lv. 1	50%Lv. 9	200%Lv. 1	200%Lv. 9
平均	7.75	9.25	3.63	3.38
最高値	11.00	15.00	7.00	5.75

また全被験者の各ルールでの心拍数の平均値と最高値と、平常時の平均値と最高値の差の中央値を表 7 に示し、アンケート結果と被験者の平均心拍数を比較したものを図 10 に示す。

1. ふっとび率 50%CPULv. 1 ルールのゲーム中の平均心拍数は各々の安静時の平均値に比して 4.25 ± 3.5 拍/分上昇した。また、ゲーム中の心拍数の最高値は安静時の最高値に比して 7.38 ± 3.63 拍/分上昇した。

2. ふっとび率 50%CPULv. 9 ルールのゲーム中の平均心拍数は各々の安静時の平均値に比して 5.63 ± 3.63 拍/分上昇した。また、ゲーム中の心拍数の最高値は安静時の最高値に比して 9.5 ± 5.5 拍/分上昇した。

3. ふっとび率 200%CPULv. 1 ルールのゲーム中の平均心拍数は各々の安静時の平均値に比して 4.0 ± 1.63 拍/分上昇した。また、ゲーム中の心拍数の最高値は安静時の最高値に比して 6.88 ± 2.13 拍/分上昇した。

4. ふっとび率 200%CPULv. 9 ルールのゲーム中の平均心拍数は各々の安静時の平均値に比して 5.13 ± 2.75 拍/分上昇した。また、ゲーム中の心拍数の最高値は安静時の最高値に比して 8.75 ± 4.0 拍/分上昇した。

表 7 各ルールの安静時の心拍数の平均値・最高値とテレビゲーム中の平均値・最高値の差

	50%Lv. 1	50%Lv. 9	200%Lv. 1	200%Lv. 9
平均値	4.25	5.63	4	5.13
	± 3.5	± 3.63	± 1.63	± 2.75
最高値	7.38	9.5	6.88	8.75
	± 3.63	± 5.5	± 2.13	± 4.0

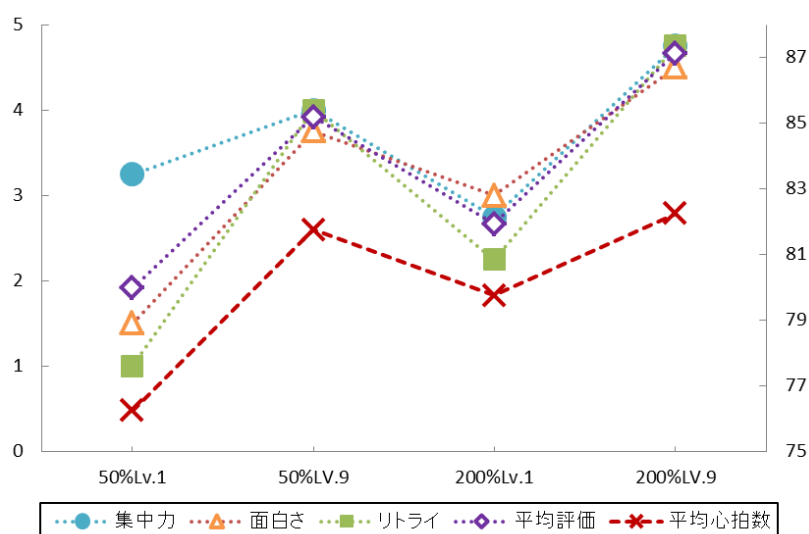


図 10 各ルールに対する感触と平均心拍数

3. 3. 2 実験考察

各ルール of テレビゲーム遊戯中の単純移動平均の平均心拍数は、各々の安静時の平均値に比して 4.91 ± 0.72 拍/分上昇していた。また最高値は安静時の最高値に比して 8.44 ± 1.06 拍/分上昇していた。このことからテレビゲームによって、平常時より心拍数が上昇することが確認できた。しかしながら図 6 や図 9 の 200%Lv. 1 のルールのように途中で心拍数が上昇しなくなった波形もあった。これはテレビゲーム開始後早い段階で強い刺激を受け慣れてしまったことにより、それ以降の刺激には反応しづらくなったためだと考えられる。

図 10 のアンケート結果より、平均心拍数が高めであるときテレビゲームの評価も高かった。これはテレビゲーム内での様々な現象により、被験者が興奮し平常時より心拍数が上昇したからだと考えられる。また 200%Lv. 9 のルールで「集中力」が高めなのは、このルールで実験が最後であるのと 200%とふっとび率が高く CPULV. も高いことから気を抜くとすぐに負けてしまう可能性があり、被験者が意識的に集中したことが原因であると考えられる。

これらの考察を踏まえて次の実験に望む。

第4章 実験2

4.1 実験目的

実験1で各被験者の心拍数が上昇したことから、テレビゲーム内での現象と心拍数との関係を検証する。

4.2 実験方法

実験1で各被験者から測定した心拍数より単純移動平均が上昇した際に（図11）、テレビゲーム内で起きていた現象とテレビゲーム内全体で起きていた現象をふつとび率とCPULv.の各ルールで分類した。ただし引き分けの際に発生する“SUDDEN DEATH”は、CPULv.にのみ依存する特殊なルールのため別に分類した。

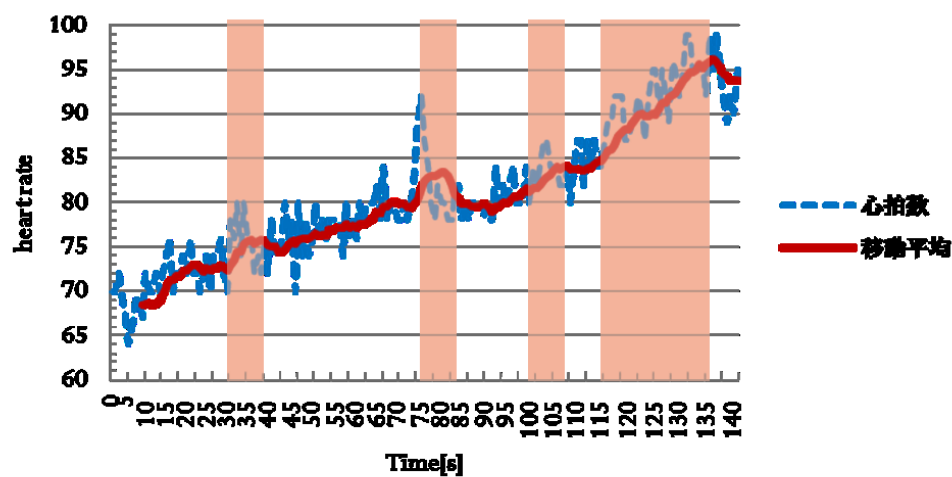


図11 単純移動平均の上昇

4. 3 結果と考察

4. 3. 1 実験による計測波形

テレビゲーム内で起きた現象により、心拍数が上昇するのに影響を及ぼした割合とその原因の内訳を図 12 に示す。

今回の実験で使用したテレビゲーム内で起きた現象は、大きく「ふっとび・乱闘・崖際・1対1・操作ミス・アイテム・結果」の7つの種類に分類することができ、その割合を表 8 に示す。

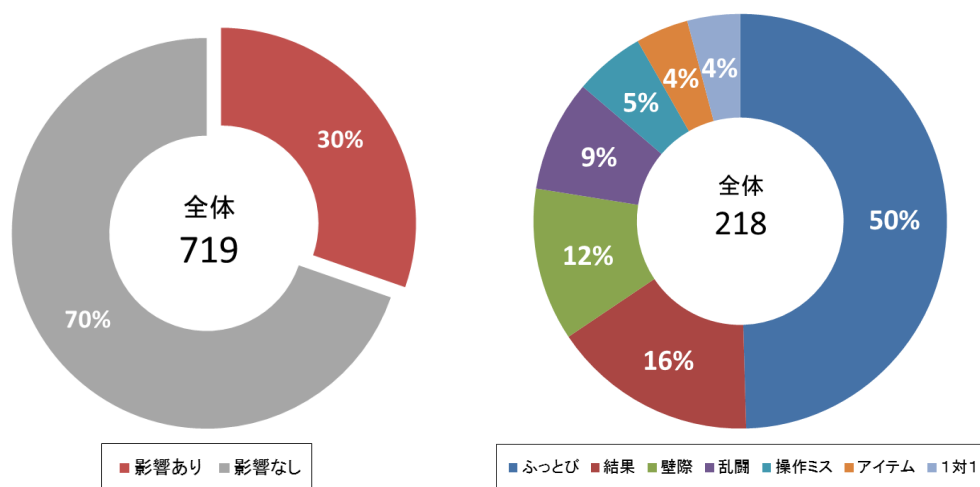


図 12 単純移動平均に影響を及ぼした割合と比率

表 8 全体に対するそれぞれの要素の比率

	ふっとび	乱闘	崖際	1対1	操作ミス	アイテム	結果	合計
影響あり	108	19	26	9	12	9	35	218
全体	409	51	45	16	15	55	128	719
割合	26%	37%	58%	56%	80%	16%	27%	30%

各ルールで単純移動平均が上昇した原因を分類したものを図 13、図 14 にそれぞれ示す。

ふっとび率の違いでは「ふっとび」、「乱闘」、「崖際」の現象に対して差があるが、CPULv.の違いでは目立った違いは見られなかった。

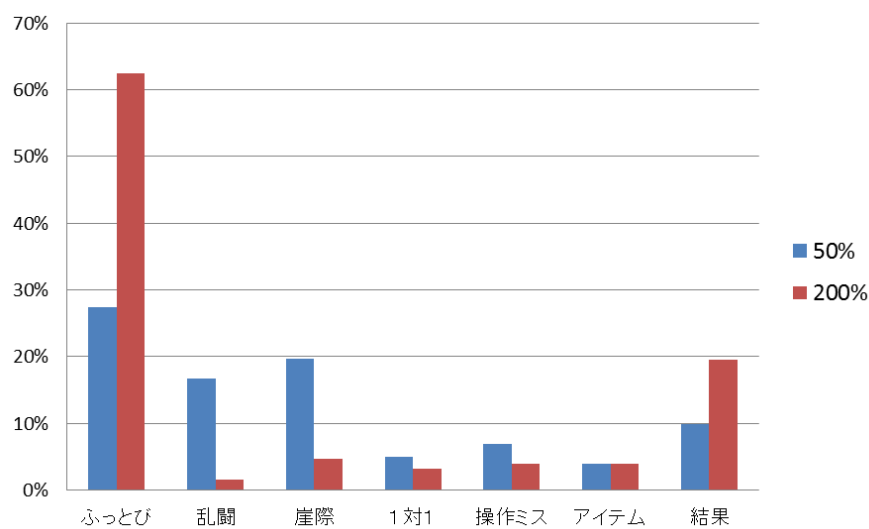


図 13 ふっとび率で心拍数が上昇した要素の割合

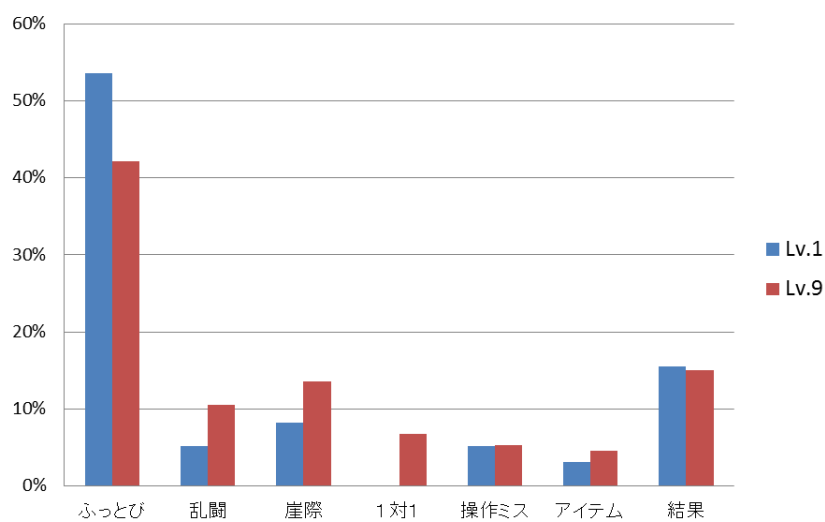


図 14 CPULv. で心拍数が上昇した要素の割合

また“SUDDEN DEATH”で心拍数が上昇するのに影響を与えた現象の割合とその比率を図15に示す。

“SUDDEN DEATH”でもLv.1, Lv.9共に「ふっとび」が最も高いことがわかる。

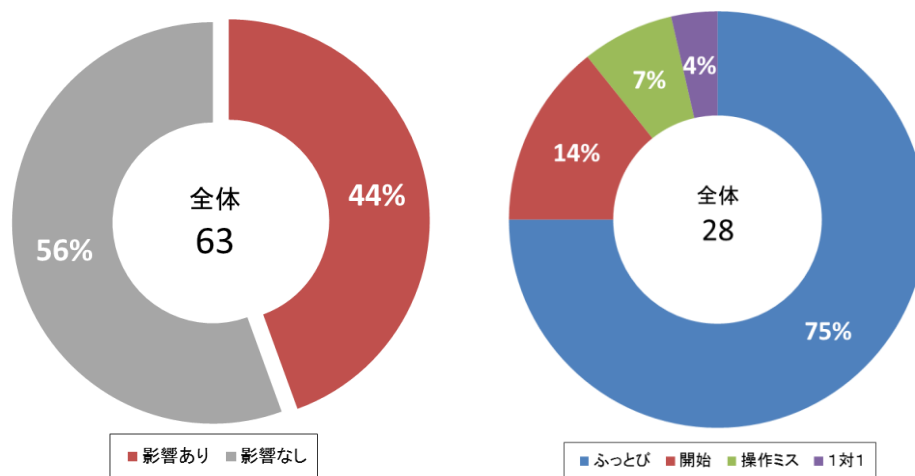


図15 “SUDDEN DEATH”で影響を及ぼした割合と比率

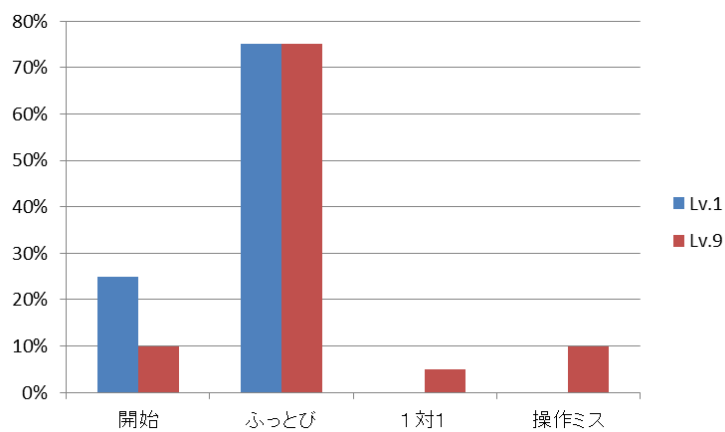


図16 “SUDDEN DEATH”で心拍数が上昇した割合

4. 3. 2 実験考察

図 12 より 30%が心拍数に影響を与えていることが確認できる。全てのテレビゲーム内の現象が心拍数に影響を与えなかったのは、被験者がテレビゲームに慣れるに従い CPU に対応しやすい攻撃方法を模索し使用キャラクターの操作のパターン化を行うことでテレビゲーム内現象の真新しさが薄れていったことや、「ふっとび」や爆発など強いインパクトをテレビゲーム序盤に受けることで、それ以降のテレビゲーム内現象では慣れにより大きな反応をしなくなるためと考えられる。

まず影響を及ぼした現象の中で 50%を占めていたのは「ふっとび」であった。これはテレビゲーム内現象でも演出が最も激しく派手であるためだと考えられる。そして図 13, 図 14 より CPULv. の違いでは影響を及ぼした各原因での差はあまり見られないのに対して、ふっとび率の違いでは「ふっとび」, 「乱闘」, 「崖際」の現象に対して差があることが確認できる。CPULv. の違いによるテレビゲーム内現象の変化は、「Lv. 1」では CPU が積極的に動かずこちらから攻めなければ反応を示さない設定であり, 「Lv. 9」では積極的に攻撃を仕掛けてくる設定である。しかし「ふっとび」などの派手な演出の変化は少ないことから、どちらの CPULv. でも差異がない演出となり被験者の興奮や緊張に繋がらず大きな差にならなかったと考えられる。またふっとび率の違いによるテレビゲーム内現象の変化は、「50%」では CPU にダメージを蓄積しなければ派手に飛ばない設定であり、何度もダメージを与える為の「乱闘」やダメージを与えず直接画面外に出せる位置の「崖際」に多く反応が集まっていると考えられる。一方「200%」では CPU に攻撃を与えダメージを蓄積しなくとも派手に飛ばせる設定であることから、主に「ふっとび」に反応が集中したのだと考えられる。

次に最も反応を示さなかったのが、「アイテム」であることが表 1 よりわかる。これは「アイテム」が 15 種類と膨大にあることからそれぞれの効果を被験者が把握しきれなかった点、被験者が CPU の動きに集中しており「アイテム」の出現に気づかなかった、もしくは使う暇がなかった点が考えられる。しかしながら CPU をダメージ蓄積率に関係なくふっとぼすことが可能な“ハンマー”や、派手な爆発演出がある「センサー爆弾」, 「ボム兵」などでは心拍数が変化していることから、CPU を強く飛ばすことが出来る、または視覚的効果がある「アイテム」については被験者の興奮や緊張に繋がり心拍数に影響を与えたことが考えられる。

“SUDDEN DEATH”は引き分けの際に発生する特殊条件によりデータ数は少ないが、図 15 より心拍数に影響を及ぼした割合は 44%と高めであることがわかる。これは初期蓄積ダメージが「300%」と各ルールよりも高く、一瞬で決着がつくルールにより被験者は緊張を強いられているからだと考えられる。そして図 16 より「ふっとび」が最も心拍数に影響を与えていることが確認できる。

第5章 実験3

5. 1 実験目的

テレビゲーム遊戯中の脳から外的あるいは内的な事象関連電位(Event-related potential: ERP)反応を調べ、N100, P300 の2つのERP成分に着目しテレビゲームとの関連性を検証する。

5. 2 基礎実験

5. 2. 1 オドボール課題

健康な成人男子ボランティア4名(22±1才)の被験者に協力してもらい、脳波計(株式会社デジタルメディック社のミュージズブレインシステム)を装着してもらった。脳の電気活動の影響を受けにくい部位に貼りつけた電極を基準として、図17のように頭皮上の探査電極から脳波を記録した。基準電極は耳介部に置いて計測を行った。

まず初めにオドボール課題(oddball task)を行ってもらい実際に脳波が計測出来ているかを確認した。オドボール課題は識別可能な2種類の感覚刺激をランダムにし、片方の刺激は高頻度に提示しもう片方の刺激は低頻度で提示する。被験者は提示頻度の低い刺激が提示された回数を心の中で数えさせる。このときの脳波を測定し低頻度の刺激が提示された時刻から300~500msにピークを持つ緩やかな脳波がP300であり、このP300が検出できているかを確認した。



図17 ミューズブレインシステムを装着しオドボール課題を行なっている様子

5. 2. 2 結果

各4名の被験者の脳波を自己回帰分析し移動平均したものからERP成分を図18のように確認できた.

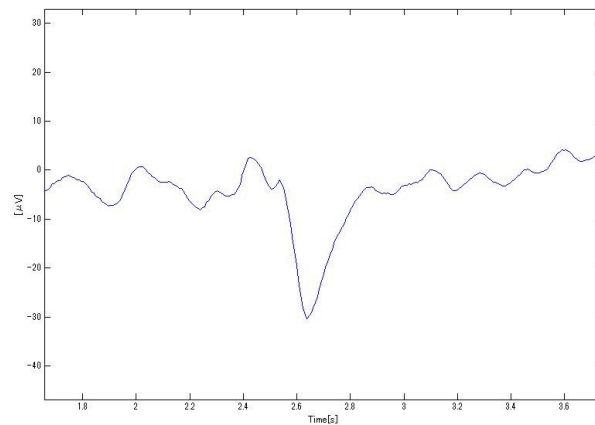


図 18 被験者のオドボール課題での P300 波形

刺激が提示された 300 ~ 500ms 以内に P300 が出現したことから脳波計は正常に作動し事象関連電位を計測出来ることが確認できた.

5. 3 実験方法

被験者にソニー製 PS2 コントローラーの操作に慣れてもらうために 5 分間の練習時間を与え、座位で 5 分間の安静状態を保たせた。そして図 19 のように脳波計を装着してもらい、テレビゲームは実験 1 と同様のものを使い同じ手順で脳波測定が実施された。サンプリング周波数は 128Hz、入力インピーダンスは $10\text{M}\Omega$ 以上であった。使用するゲームは実験 1 と同様にハル研究所製「ニンテンドウオールスター！大乱闘スマッシュブラザーズ」を選択した。

最後に被験者には実験 1 と同様のアンケートに回答した。



図 19 テレビゲーム中の脳波を計測

5. 4 結果と考察

5. 4. 1 実験による計測結果

4名の被験者のテレビゲーム遊戯中の脳波の波形を自己回帰分析し移動平均したものを1回分のみ図20～23に示す。各ERP成分の代表値として実験2で分類した7つの現象を元に、N100は現象出現後100～120ms、P300は現象出現後300～500msの区間の振幅を抽出した。ただしN100は単体で出現しているものを抽出した。

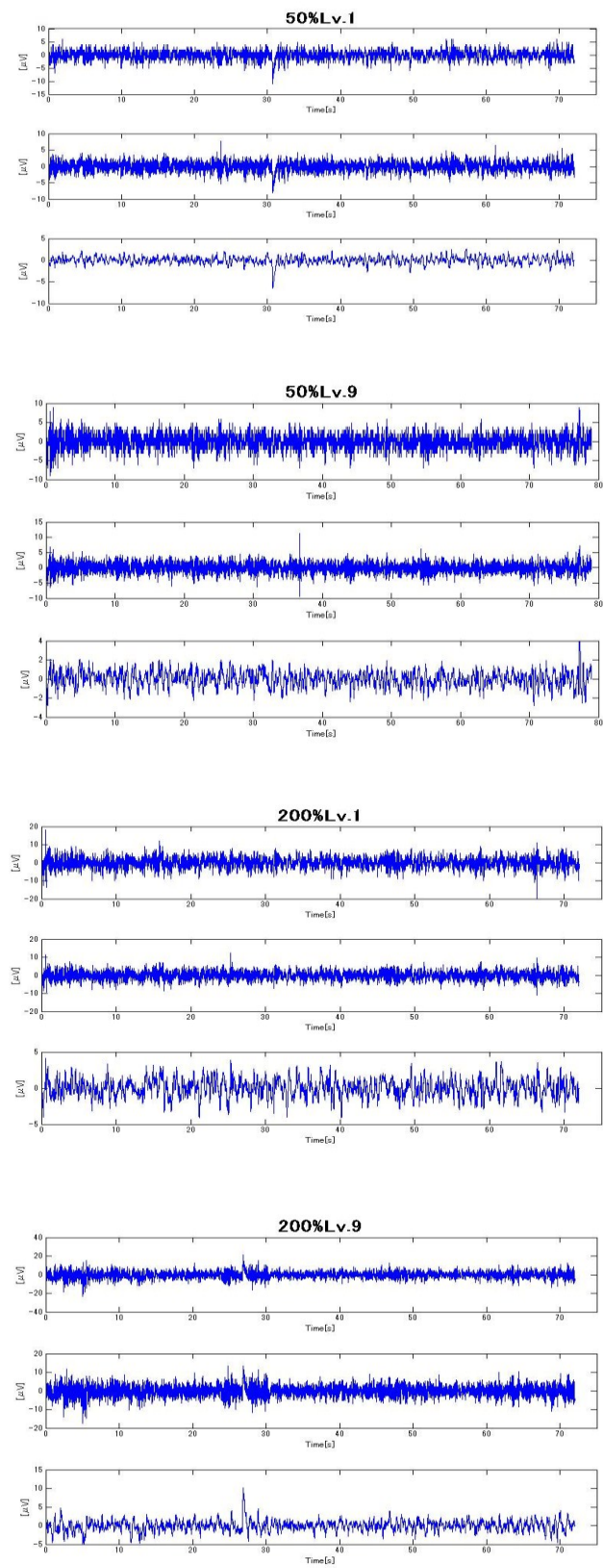


図 20 被験者 1 の各ルールでの脳波

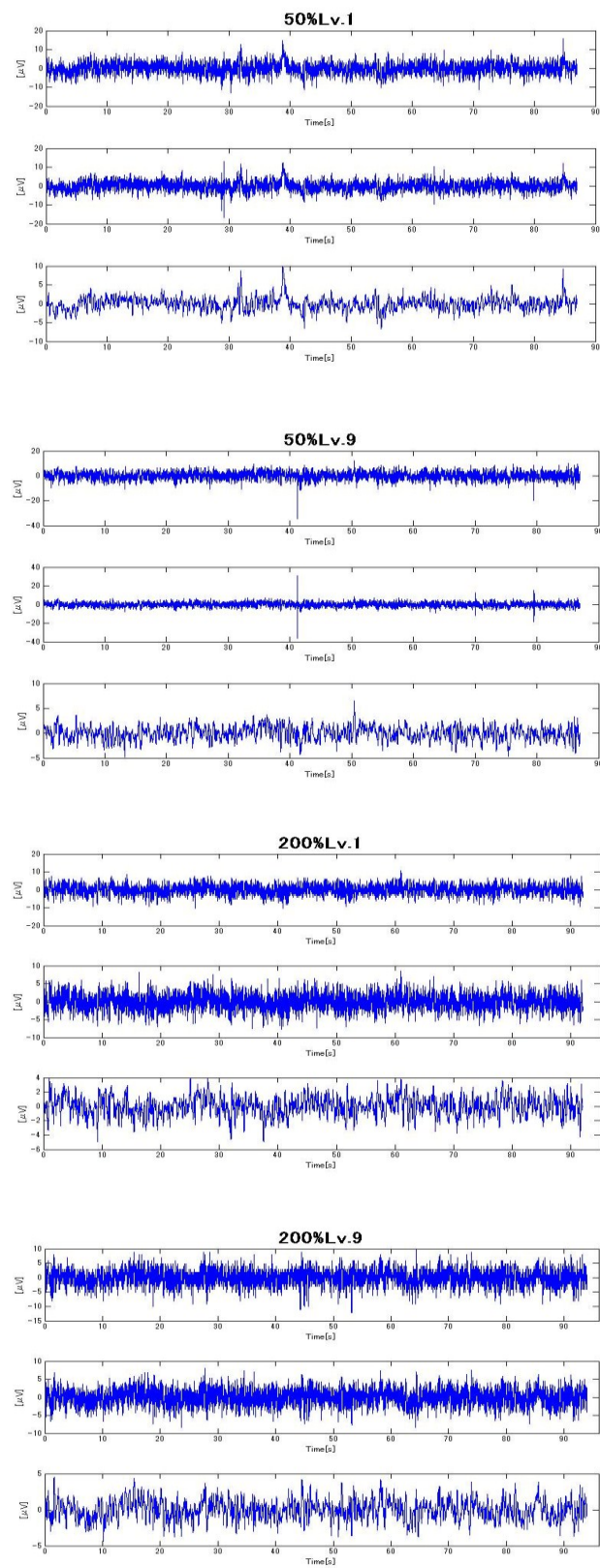


図 21 被験者 2 の各ルールでの脳波

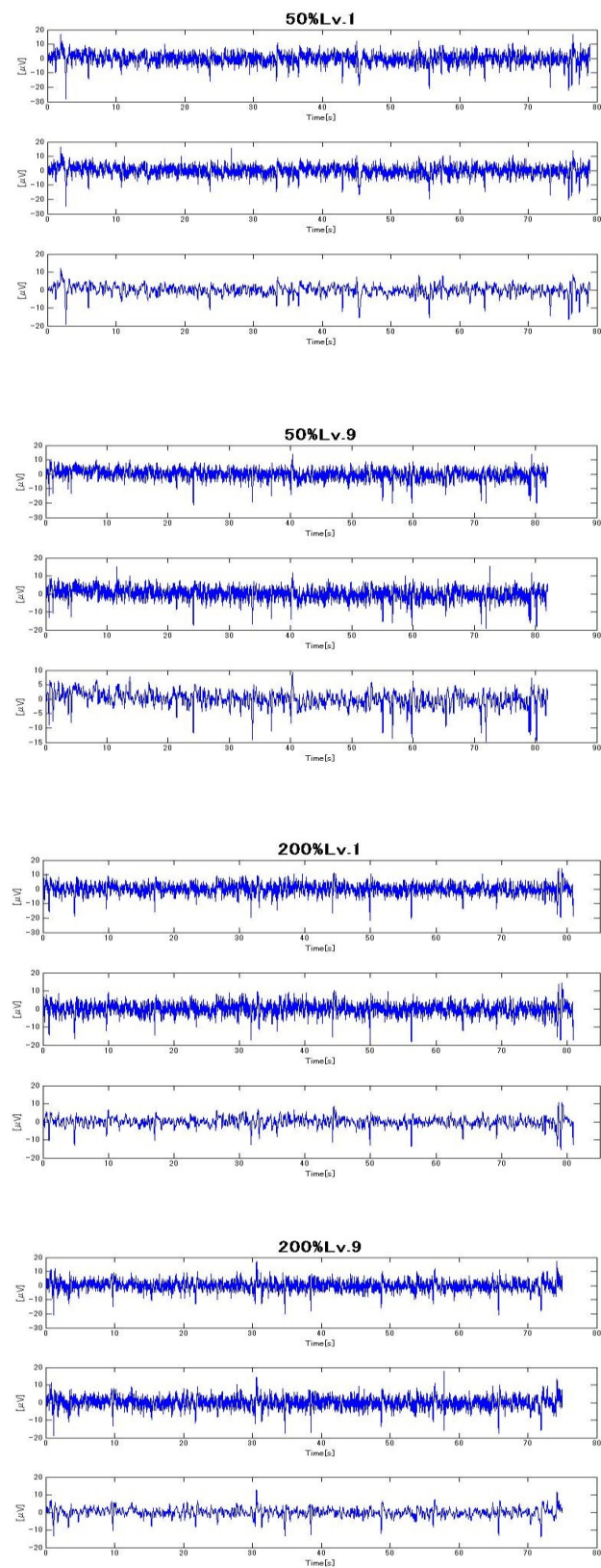


図 22 被験者 3 の各ルールでの脳波

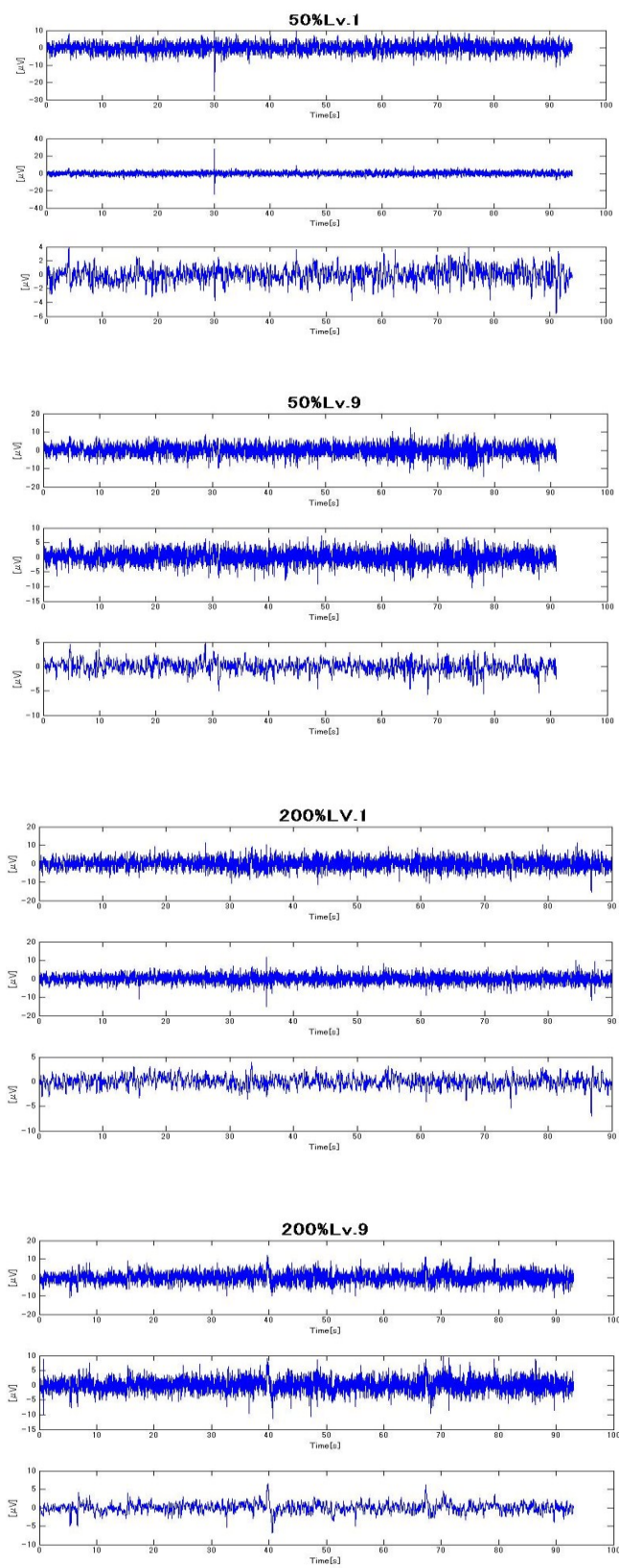


図 23 被験者 4 の各ルールでの脳波

測定された脳波データより、テレビゲーム内現象全体の 69%から ERP 成分の出現を確認することが出来た。そのうちの 44%が N100, 25%が P300 の振幅であった。テレビゲーム内で起きた現象に対して、ERP 成分が出現した現象の割合とその内訳を図 24 に示す。

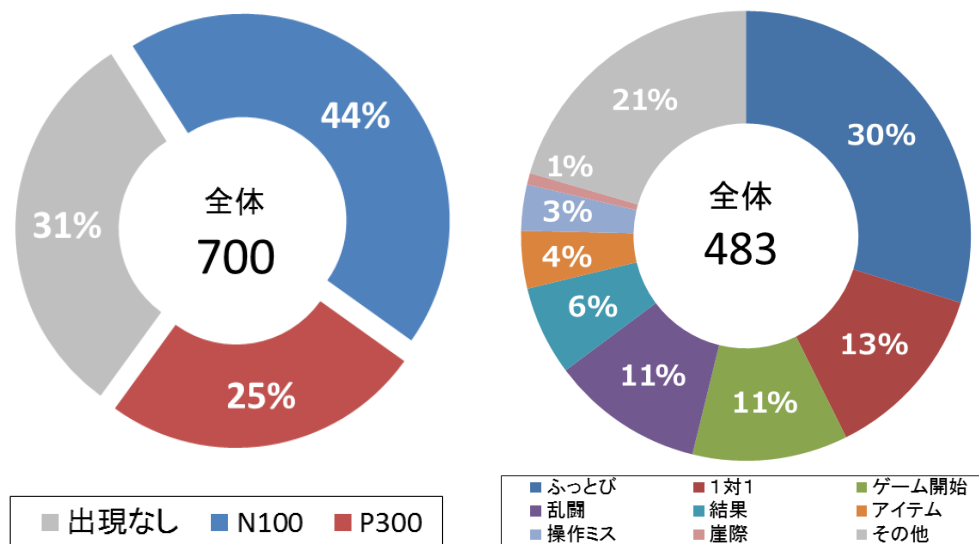


図 24 単純移動平均に影響を及ぼした割合と比率

各ルールで ERP 成分が出現した原因を分類したものを図 25, 図 26 に示す.

ふっとび率の違いでは「ふっとび」, 「乱闘」, 「1 対 1」での現象に対して差があるが, CPULv. の違いでは P300 で「乱闘」, 「1 対 1」で少し差はあったが全体として目立った違いは見られなかった.

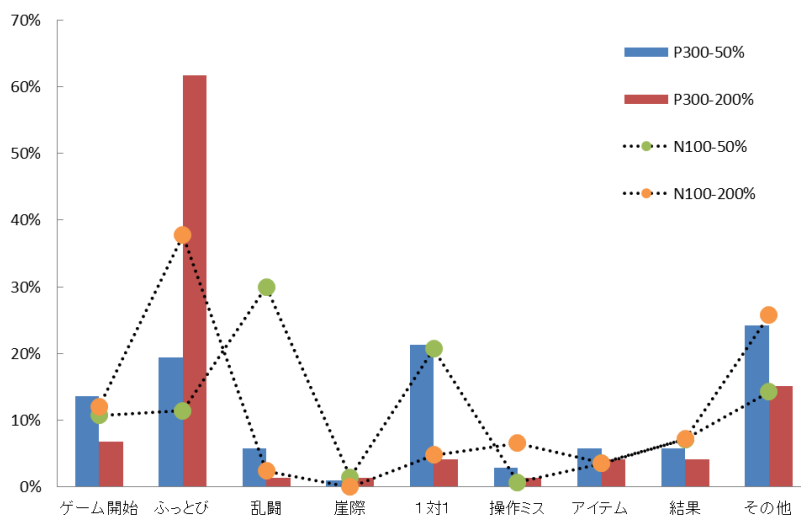


図 25 ふっとび率で ERP 成分が出現した原因の割合

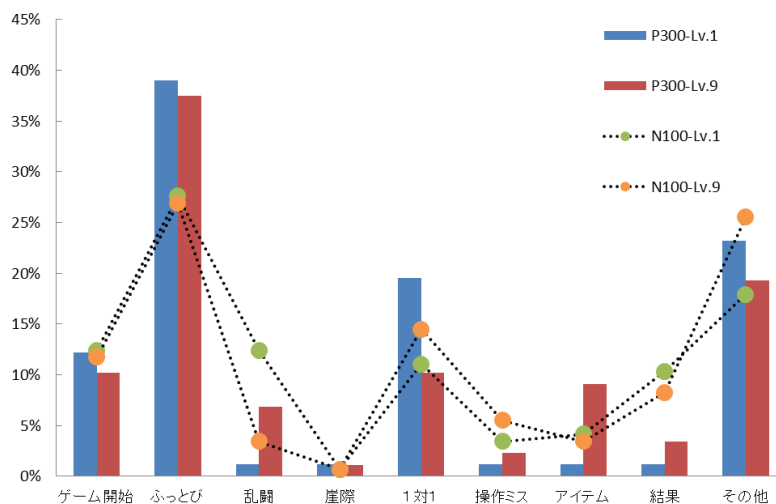


図 26 CPULv. で ERP 成分が出現した原因の割合

実験 2 と同様に“SUDDEN DEATH”を別にして考え、ERP 成分の全体に対する割合とその比率を図 27 に示す。

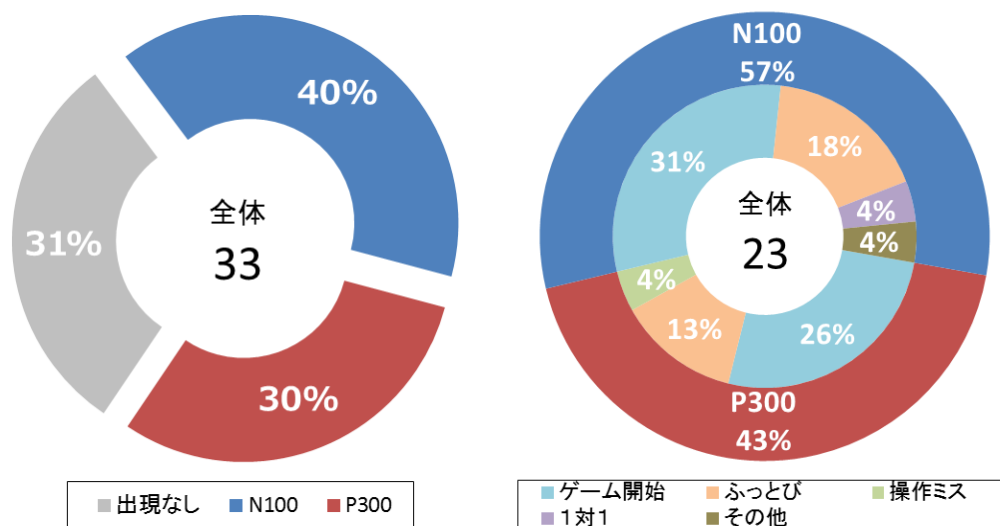


図 27 “SUDDEN DEATH”での全体に対する ERP 成分の割合と比率

またアンケート結果と被験者の各ルールに対する各 ERP 成分の出現回数の合計値を比較したものを図 28 に示す。

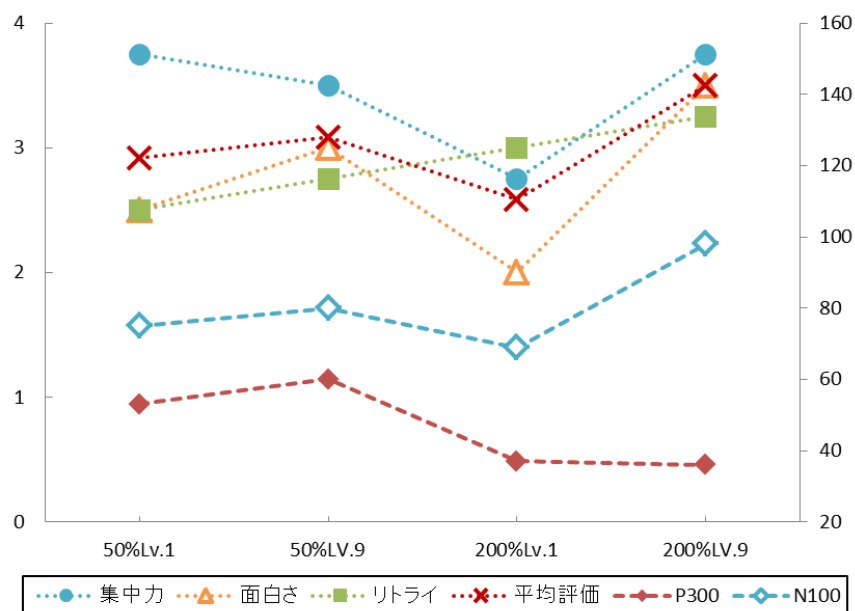


図 28 各ルールに対する感触と ERP 成分

5. 4. 2 実験考察

図 24 よりテレビゲーム内現象の刺激に対する ERP 成分で最も ERP 成分が出現したのは「ふっとび」であった。また実験 2 で分類した 7 つの現象以外にも ERP 成分が出現した。主に「ゲーム開始」時に出現しており、被験者が意識的に集中していたため ERP 成分が出現したと考えられる。「その他」は 7 つの現象と「ゲーム開始」以外の現象であり操作キャラクターや CPU の行動以外の現象により出現し、とくに被験者が予期していなかった現象や仕切り直しをしようと改めて集中したときなどに出現した。

図 25, 図 26 よりふっとび率の違いでは N100, P300 共にふっとび率「200%」が「50%」より多く出現することが示された。「200%」は 1 回の攻撃だけで派手に飛んでいくことから、CPU の攻撃に注意しつつ最適な攻撃を与える必要があり、常に集中している必要なことから「50%」と比して差が生じたと言える。また「1 対 1」や「乱闘」でも差が生じた。これは「50%」では CPU を飛ばす為にダメージを蓄積していく必要があり、ダメージを蓄積せずに飛ばすことが出来る「200%」と比して N100, P300 共に差が生じたと言える。

一方で図 26 より CPULv. の違いでは、N100 に対して「Lv. 1」と「Lv. 9」の差はあまり見られず、P300 も同様であった。つまり CPULv. の違いによる ERP 成分の差がなかったことから、CPULv. の変化で被験者の注意量はさほど変わらないことが示された。

図 27 より引き分けの際に発生する“SUDDEN DEATH”は引き分けの際に発生することからデータ数は少なめだが、各ルールをまとめた全体の 70%から ERP 成分の出現を確認することが出来た。N100, P300 共に「ゲーム開幕」の成分出現が最も高いのは、“SUDDEN DEATH”に突入した際「ゲーム開始」まで 2 秒しか無いことと、初期蓄積ダメージが「300%」あり一瞬で決着がつくルールにより、被験者が意識して集中していたためと考えられる。

図 28 のアンケート結果より各ルールに対する感触と N100 の出現数は「200%Lv. 1」で減り「200%Lv. 9」で増えていることが読み取れる。感触, ERP 成分共に「200%Lv. 1」で減っているのは実験が中盤に差し掛かり被験者がテレビゲームに疲れ始め「集中力」が切れ始めたからだと考えられる。「200%Lv. 9」では実験は最後であり、また飛びやすく CPU が強いルールで行うことから、被験者は勝つ為に集中しようとする事で N100 成分が増えたと考えられる。一方で P300 が減ったのは「50%Lv. 9」以降のルールで真新しい現象が起きなかったためだと考えられる。

また「200%Lv. 1」で「リトライ」の要素は高めにもかかわらず評価は低かったのは、CPU を好きなようにふっとばしたいという願望でもう一度遊びたいと思ったが、CPULv. は低く CPU に飛ばされる心配もないことから緊張感が沸かず「面白さ」を感じづらかったからだと考えられる。

第6章 結論

本研究では、テレビゲーム遊戯中に操作者がどのような生体反応を起こすかについて、心拍数と脳のERP成分を指標とした検討を行った。その結果、わずか1分間のゲーム使用によって心拍数の上昇とN100, P300成分が出現したことが示された。

被験者の心拍数はテレビゲーム内現象によって上昇した。しかしながら全てのテレビゲーム内現象で心拍数が上昇したわけではなく、一部の要素での上昇が多かった。被験者の心拍数の上昇が多かったとき「面白さ」を感じていたことから、テレビゲームの操作者に対して適当なルールでテレビゲームが行われることで適度な緊張感を与えられ心拍数は上昇し、「面白さ」を感じると考えられる。

またERP成分はテレビゲームの操作者に対してある程度の集中力をもたせるテレビゲーム内現象より出現した。N100はテレビゲーム内現象による刺激に対する集中力とともに出現したが、P300は新規刺激を反映することからテレビゲームに慣れ始めた後半からは出現数が減少した。このことから操作者に対してテレビゲーム内の新規刺激だけでなく、既出な刺激でも適度に与えることで集中力を維持し「面白さ」を感じると考えられる。

また本実験で使用したテレビゲームのコンセプトは「相手を攻撃してダメージを与え、フッ飛ばしてステージから落っことしていく」であり、ゲーム開発者が用意した「面白さ」を獲得できる全体的工夫・方法が「ふっとび」であった。このことから今回の実験により心拍数やERP成分ともにコンセプトの「ふっとび」に最も反応を示したことから、このテレビゲームは操作者に対してのアプローチが開発者の意図通りとなり、「面白さ」を獲得した作品になったと言える。このようにテレビゲームのコンセプトが生体反応の評価結果と一致すれば、「面白い」テレビゲームと判定できるだろう。

今回は基礎研究として一世代前のテレビゲームを用いたことから、より新しいテレビゲームでの検討も必要であろう。さらにテレビゲームのジャンルも豊富であり様々なジャンルでの検討も必要になるであろう。テレビゲーム遊戯時間も1分間と短かったため、長時間遊んだ場合は結果が異なる可能性も考えられる。

また本研究では心拍数、ERP成分共にどちらも耳介を利用する計測方法により、同時に計測をすると正しい波形が得られなかったことから別々に計測し検討をした。テレビゲーム遊戯中の生体反応を同時に計測し分析することが出来れば、より詳細な検討をおこなうことが可能だと考えられる。

今後さらなる検討を重ねていくことで、生体反応を利用したテレビゲームの開発が可能になると期待する。

付録

以下に実験 1, 実験 3 で使用したプログラムを示す.

実験 1-プログラム

脈拍から心拍数を割り出す Arduino のプログラムを示す.

```
/*
  A.P. Shield 05 Demo Program +
*/
int sensorPin = 4;
int ledPin = 13;
int sensorValue = 0;
int integral_plus = 0;
int integral_minus = 0;
int count = 0;
int elapse_up = 0;
int elapse_down = 0;
int ave = 0;

int current_millis;
int diff_millis;
int heartrate;

void setup() {

  // Arduino 標準搭載のデモ用
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  // デバッグ用シリアル接続開始
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int currentValue = analogRead(sensorPin);
  int diff = (currentValue - sensorValue);
  sensorValue = currentValue;
```

```
// 変化量が 0 に近く、この時点までの積分値が
// 一定量であれば心拍の候補として扱う
if ( diff < 10 && diff > -10 && integral_plus > 160 && integral_minus < -200 )
{
    // 立ち上がり時間とたち下がり時間を調べて、
    // 人間っぽい数値になっていれば、心拍としてみなす。
    if( elapse_up > 50 && elapse_up < 400 && elapse_down > 96 && elapse_down < 800 ) {

        // ★心拍が検出されるとここに処理が移る★
        //count++;
        ↑ 検出された回数を数えるだけなので心拍数を表示するよう変更

        //心拍数のタイミングから計算
        //millis()は実行中のプログラムがスタートしてからの時間 単位は msec(1/1000 秒)
        //まず diff_millis を決定、この時の current_millis=0
        diff_millis = millis() - current_millis;

        // 時間は増え続けるので心拍として反応しなかった分の時間を設定
        //そして millis() - current_millis より引いてあげる
        current_millis = current_millis + diff_millis;

        //例 : 60/((500/1000)/1000)=75,000 -> 75 となる
        heartrate = 60.0 / ( diff_millis / 1000.0 );

        // デバッグ用にシリアルコンソールに出力
        /*
        Serial.print(count,DEC);
        Serial.println();
        */
        //心拍数を表示
        Serial.println( heartrate );

    }

    // クリア
    elapse_up = 0;
```

```
    elapse_down = 0;
    integral_plus = 0;
    integral_minus = 0;
}
else if ( diff > 20 && diff < 280 )
{
    // 波形の立ち上がりを検出
    integral_plus += diff;
    elapse_up += 20;
}
else if ( diff < -20 && diff > -200 )
{
    // 波形の立下りを検出
    integral_minus += diff;
    elapse_down += 20;
}

if ( heartrate > 60 ){
    digitalWrite(ledPin, LOW);
}

// 20ms ごとにサンプリングするために、待つ。
delay(20);
}
```

実験 3- プログラム

オドボール課題のプログラムを示す.

```
clear all
tic; %% 実行時間を出してくれる
%% 変数設定
fs=44000;          % サンプリング周波数の設定
t=(0:1/fs:0.1);    % 時間の設定
s=(0:1/fs:1.2);    % 時間の設定
f_1=1000;          % 周波数の設定
f_2=2000;          % 周波数の設定
f_3=0;             % 周波数の設定
count=zeros(120,1); % カウント

%% 数値計算
y_1=sin(2*pi*f_1*t); % サインの計算
y_2=sin(2*pi*f_2*t); % サインの計算
y_3=sin(2*pi*f_3*s); % サインの計算

%% Oddball
for i=1:120
    soundsc(y_3, fs);
    r=rand(1); % 0~1の一樣乱数を発生させる
    if r<0.8
        soundsc(y_1, fs);
    else
        soundsc(y_2, fs);
        count(i)=1;
    end
end

end

count_all = sum(count);
b=xlswrite('ookubo_3count.xls', count);

toc;
```

自己回帰分析と移動平均のプログラムを示す.

```
clear all
close all

data3 = csvread('C:\¥BData¥ookubo_3odd.csv', 1, 0);
%data4 = csvread('C:\¥BData¥1Tomizawa19880815.csv', 1, 1);
dt=1/128;
y = data3(1:end, 1);
x = data3(1:end, 2);

y=y-mean(y);
N=10;%移動平均のデータ数 初期5
subplot(3, 1, 1); %複数座標軸作成
%set(gca, 'XTickLabel', data4, 'XTick', 1:length(data4));
plot(x, y)
%%
%標準誤差
count_1=length(y);%配列の個数
s_1=std(y);%配列の標準偏差
a_1=s_1/count_1;%標準誤差

%%
%AR法とAIC

order=14; % order : モデル数
% ac = zeros([count_1, 1]);
% for order=1:count_1-1
% ar_1=aryule(y, order); %aryuleで入力dataとモデルのorderに対するAR係数を返す
% aic=count_1*log(2*pi*a_1^2)+count_1+2*(order+1);%AICを求める
% ac(order) = aic;%AICの値を格納
%
% end
% [x, y]=min(ac);% AICの最小値を求める(:AICの値 y:何番目か)

ar_2=aryule(y, order);%AICを基にもとめた次数を用いたAR係数を求める。
```

```
%%
%誤差 2回目自己回帰モデル
i=1;
M=14;
st=0;
r=zeros([count_1, 1]); %count_1=length(y) × 1の0行列
for i=1:count_1-M
    c=0;
    st=0;
    for j=1:M
        c=st+ar_2(j)*y(i+M-j);
        st=c;
    end
    r(i+M)=y(i+M)-c;
end

subplot(3, 1, 2);
plot(x, r)

%%
%誤差の平均をとり、誤差を確定させる 3番目移動平均
H=zeros([count_1, 1]);
for i=fix(N/2)+1:count_1-fix(N/2)
    H(i)=mean(r(i-fix(N/2):i+fix(N/2))); %平均値を出力
end
subplot(3, 1, 3);
plot(x, H)

%%
```

参考文献

- [1] 松原 仁, TV ゲームの面白さに関するゲームの複雑さの観点からの研究, 研究実績報告書, 2004
- [2] 長澤 竜馬, 清水 久恵, 三澤 顕次, 山下 政司, 感性刺激時の呼吸方法と心拍変動 RSA 成分の相互相関係数の検討: 感性興奮指標の提案(BCI/BMI とその周辺), 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティックス 109(279), pp13-17, 2009
- [3] 小川 純正, 遊び概念を拡張する-面白さの根拠はどこにあるか-, 経営研究所論集 第 26 号, pp99-119, 2003
- [4] 渡邊 貴宏, 福間 秀行, 矢頭 攸介, 二宮 理憲, 井戸川 郷子, メニュー画面での項目数と認識効率についての一考察, 人間工学 Vol. 33, pp264-265, 1997
- [5] Arduino HP (<http://www.arduino.cc/>)
- [6] 藤本 直明, 神崎 康宏, 森 直久, 光永 法明, k.kinukawa, hatayan, 山田 斉, ざかん, あみのさん. 電脳 Arduino でちょっと未来を作る. CQ 出版社, 2010
- [7] 草野 勝彦, 植村 安浩: 心理的緊張 (スリル場面) が心拍・心音に及ぼす影響, 科学技術振興機構, 人間工学 24 巻, pp212-213, 1988
- [8] 坂本 弘, 杉浦杉子, 林文代, 稲垣千賀子: 音楽聴取時イメージおよび脳波反応の個人差に関する研究, 日本衛生学雑誌 45(6), pp1053-1060, 1991
- [9] 宮崎良文, 本橋 豊: 感情プロフィールテストによる森林浴の評価, 日本生気象学会誌 30(3), pp217, 1993
- [10] 入戸野 宏, 堀 忠雄: 心理学研究における事象関連電位 (ERP) の利用 広島大学総合科学部紀要IV理系編 26, pp15-32, 2000
- [11] 松田 剛, 開 一夫: 事象関連電位を指標としたゲームキャラクターの自己同一視に関する検討, 認知科学 17(1), pp241-245, 2010
- [12] 杉本 史恵, 片山 順一, 肩への電気刺激に対する P300 を指標とした無関連プローブ法の検討, 生理心理学と精神生理学 29 (1), pp13-19, 2011
- [13] 井街 悠, 笹山 哲, 小野 俊郎, 万井 正人: テレビゲーム遊戯中の動脈波形の変動, 人間工学 29(特別号), pp430-431, 1993
- [14] 井街 悠, 笹山 哲, 小野 俊郎, 万井 正人: コンピューターゲームによる精神作業中の動脈波形の変化と心拍変動のスペクトル解析, 人間工学 30(特別号), pp206-207, 1994
- [15] 河合 隆史, 野呂 影勇: 対戦格闘型 TV ゲームの脳波に与える影響 (1), 人間工学 Vol. 31, pp516-517, 1995
- [16] 河合 隆史, 野呂 影勇: 対戦格闘型 TV ゲームの脳波に与える影響 (2), 人間工学 Vol. 31, pp516-517, 1995

謝辞

本研究を進めていくにあたり，指導教員渡辺嘉二郎教授には適切なご指導，ご鞭撻をして頂きありがとうございました．特に，適切な方向へ導いて下さったことを深く感謝申し上げます．

また，実験に協力してくれた渡辺研究室・小林研究室の M2, M1 並びに B4 の方々皆様に感謝致します．たくさんのご協力ありがとうございました．

最後になりましたが，学生生活を支えて下さった両親に深く感謝致します．

2013 年 2 月 22 日

富澤一真