

デジタルプレイセラピーデバイス体験時の効果の、生体情報を用いた効果測定による解析

保科篤志^{†1} 堀江亮太^{†1} イアノプール イリーニ^{†2} 菅谷みどり^{†1}

概要: 我々は“デジタルプレイセラピーデバイス”という、センサが搭載された家型デバイスとCGを連動した新しいセラピーデバイスの開発を行った。学習障害を持つ子どもを対象としたこのセラピーデバイスは、実際の定型発達段階の子どもに対して実験を行ったところ、通常のドールハウスと比較して、発話回数の向上やデバイス体験時間の向上という結果をもたらした。本論文は、“デジタルプレイセラピーデバイス(以下: DPTD)”の効果を用いてより詳細に分析することを目的とする。効果の比較に際し、DPTDと家型デバイス単体、CG単体との効果を比較した。その結果、DPTDを体験した被験者は、家型デバイス単体やCG単体を体験した時と比較して、高い集中度を発揮するという結果が得られた。

キーワード: セラピー, 生体情報, 集中度

Analysis of the Effect of Digital Play Therapy Device Using Biological Information

ATSUSHI HOSHINA^{†1} RYOTA HORIE^{†1} IRINI GIANNOPULU^{†2}
MIDORI SUGAYA^{†1}

Abstract: We developed new therapy device named “Digital Play Therapy Device”, which combines house-shaped device with sensors attached and CG. The device was targeted for children with learning disabilities. We obtained the result from routine developed children, and obtained the result of increasing the number of speaking and decreasing the number of miscommunication, comparing to normal dollhouse. This paper analyzes the effect of “Digital Play Therapy Device (DPTD)” more detailed by using biological information. We compared the effect between DPTD and just operating house-shaped device, DPTD and just operating CG. Analysis showed that participants who experienced DPTD exerts higher concentration than just experiencing house-shaped device or CG.

Keywords: Therapy, Biological Information, Concentration

1. はじめに

全国の小学校・中学校に就学している児童において、学習面または行動面に著しい困難を示す児童の数が6.5%存在し、学習面で著しい困難を示す児童の数が4.5%存在していると言われていた[1]。学習障害は、これらの障害を放置することで、生涯にわたり対人関係などに困難が生じてしまう[2]。この問題を解決するために、我々は“デジタルプレイセラピーデバイス”という、発達や学習に障害を持つ子どもに向けた新たなセラピー手法を提供するデバイスの開発を行った[3]。本デバイスは、様々なセンサを取り付けた家型デバイスと、そのセンサ情報をリアルタイムにフィードバックする、家型デバイスの風景を模したCG情報を組み合わせることによって運用される。家の風景は実際に子どもにとって最も身近な風景であるため、本デバイスに触れる子どもは自分の役割をデバイス中に投影することができ、子どもの社会的スキルを育むのに有用であると考

えた。

実際に、我々が想定する発達障害を抱える年齢と同程度の発達段階にある定型発達の子どもの対象として実験を行った。結果として、通常のドールハウスで遊んでいる時と比較して、言語の発話回数の向上や相手の意図を理解できずにミスコミュニケーションが発生する回数が減少したという結果が得られた。ことことから、本デバイスは子どもの発話回数を引き出す効果が示唆された。しかし、実験から得られた結果が、どのような要因によって引き出されたかの調査を、この段階では行っていなかった。今後より多くの子どもに対する実証実験を行うに際し、デジタルプレイセラピーデバイスの効果の要因をある程度、明らかにする必要があったと考えた。発話回数が増加したということは、なんらかの認知に効果があったと考え、我々は評価に、認知の理解をある程度客観的に得ることができると生体情報を用いるものとした。生体情報は、人間が外界から様々な身体部位を通じて受けとった刺激を、脳が分析した結果、変化する

^{†1} 芝浦工業大学

Shibaura Institute of Technology

^{†2} ピエール・エ・マリー・キュリー大学

Pierre and Marie Curie University

ものである。

生体情報には様々な評価方法が存在する。例を挙げると、心拍からは、わくわく度[5]やストレスの評価[6]、脳波では集中[7]やリラクスの評価[8]などが存在する。これらを用いて評価を行った研究の例として、画面上のCGに変化が起こった際の生体情報の変化を評価するものが挙げられる[5]。

これらの生体情報を用いて、デジタルプレイセラピーデバイスの効果と、CGによるフィードバックがない家型デバイス単体を運用した際の効果、および家型デバイスに触れずキーボードのみで操作をする、CG単体を運用した際の効果の比較を行う[9]。比較に際しては、実験を行った被験者から得られた、デジタルプレイセラピーデバイスを体験している際の生体情報の値を、家型デバイス単体とCG単体のそれぞれで比較する。これにより、デジタルプレイセラピーデバイスの効果の有意性やデバイスそのものの性質を分析する。分析の結果として、デジタルプレイセラピーは、CGの存在により、家型デバイス単体を運用する時と比較して、高い集中力を発揮することが可能なデバイスであるという結果が示唆された。

本論文の構成として、第2章で提案する研究内容の説明、第3章で評価に用いる手法やデバイスの詳細な説明、第4章で実験に関する説明および得られた結果についての考察、最後に第5章で本論文のまとめを示す。

2. 提案

2.1 概要

我々が提案した“デジタルプレイセラピーデバイス（以下：DPTD）”という、様々なセンサを取り付けた具体物とCGを連動した新しいセラピーデバイスは、実際に遊んだ子どもの発話回数などを増加させることが確認された。しかし、本デバイスを実験するにあたり、実験の結果が得られた効果の差分の調査が不足していたという課題が残された。我々は、実験の結果から、通常のドールハウスのみを子どもと遊んでもらう時と比較して、CGが操作に追加で連動されることによって、前記の結果が得られたのではないかと推測した。その効果を比較し、検証することを本研究の目的とする。

2.2 評価方法について

DPTDを体験している時のユーザのより詳細な効果を測定するにあたり、生体情報を用いるものとした。生体情報とは、ここでは脳波と心拍とする。脳波は認知に関する反応、心拍は自律神経を測定するもので、それぞれ集中や覚醒、快、不快などの気持ちを測定することができ、近年ではデバイスの評価実験などにも用いられている[5]。今回、発話回数が増えたことは、認知や体の状態が他のデバイスを操作している時と、違うと考えられることから、こうした状態を定量的かつ客観的に計測するものとした。

脳波、心拍を用いた評価するのにあたり、DPTDと、ドールハウス単体を体験した際の結果、およびCG単体を体験した際の生体情報を測定し、その効果を比較し、ドールハウスの効果を確認する。なお、DPTDは子どもに向けて提案する手法であるが、子どもからこれらの情報を取得するのは、装着などの状態から現段階では難しいと考えられたため、本論文では実証も兼ねて大学生から生体情報を取得するものとする。

3. 使用した生体情報およびデバイス設計

3.1 用いる生体情報について

本研究では、DPTDの評価にあたり、心拍と脳波を用いた測定及び評価を行う。それぞれの生体情報の説明を以下に記す。

3.1.1 心拍

心拍では、心拍数とLF/HFを用いて評価を行う。心拍数とは、心臓が拍動する回数の中で、1分間の拍動回数によって定義される(Beats Per Minute; BPM)。値が大きいくほど、心臓が拍動している回数が多くなる。心拍数を用いた評価方法は、「かわいい」の評価や[4]、「わくわく」の評価など[5]、様々な評価方法が現在までに検討されており、その中でも「わくわく」の評価に用いるものとした。

LF/HFとは、自律神経の一種である交感神経(LF)と、副交感神経(HF)の比のことである。交感神経はストレスを感じた時に活発にはたらき、副交感神経はリラックス状態の時に活発にはたらく。つまり、LF/HFの値が大きいくほど、装着者か感じているストレスが大きいくことがいえる。この点から、LF/HFはストレスの指標として用いられている[6]。

3.1.2 脳波

本論文では、脳波計にNeuroSky社のMindwave Mobile[10]を用いる。本脳波計は、脳波の種類であるデルタ波、シータ波、アルファ波、ベータ波、ガンマ波が取得される。また、それ以外にも、取得された値を用いて、本脳波計が独自のアルゴリズムで算出したAttentionとMeditationという値が算出される。これらの値は、0から100までからなる値である。Attentionは集中度[7]、Meditationはリラククス度[8]を測定することができるが、値の算出方法が公開されていないため、値の厳密な解釈が難しい。そこで、これらの値と、通常の脳波との関連の調査を行った。

関連性の調査にあたり、Attentionと通常の脳波、Meditationと通常の脳波との間で相関係数の算出を行った。データの分析は、のちに説明を行う実験に参加した28名の被験者の脳波データを用いるものとする。全28名の、Attentionと通常の脳波の相関係数、Meditationと通常の脳波の相関係数の平均の算出を行い、グラフ化したものを図1に記す。

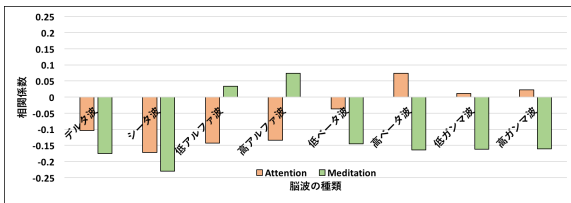


図 1 Attention, Meditation と脳波の相関

図 1 に記された結果より、デルタ波、シータ波と低ベータ波には Attention, Meditation の双方において負の相関が見られた。以下の分析では、正と負の相関が混在する、これら以外の脳波を用いて分析を行うものとする。相関を分析するにあたり、各脳波値から取得できる人の意識について理解する必要がある。表 1 に、分析に用いた脳波とその脳波から取得できる人の意識、そして得られた Attention と Meditation の相関を記す。

表 1 分析に用いた脳波と Attention, Meditation との相関

脳波の種類	記録される意識	Attention との相関	Meditation との相関
アルファ波	リラックス	負	正
高ベータ波	集中	正	負
ガンマ波	集中	正	負

表 1 で記された結果の分析を以下に記す。

1) Attention

Attention とアルファ波では負の相関が見られた。つまり、Attention の値が高いほど、被験者のリラックス度は低くなる。高ベータ波とガンマ波では正の相関が見られた。つまり、Attention の値が高いほど、被験者の集中度も高くなる。

2) Meditation

Meditation とアルファ波では正の相関が見られた。つまり、Meditation の値が高いほど、被験者のリラックス度は高くなる。高ベータ波とガンマ波では負の相関が見られた。つまり、Meditation の値が高いほど、被験者の集中度も低くなる。

実験において取得された Attention と Meditation は、上記の分析内容を用いて結果を解析するものとする。なお、一般的な脳波測定では、体の動きがノイズとして脳波に混入してしまう。本脳波計は、それらのノイズのフィルタリングを行っているため、人間が体を動かしている最中の脳波測定に用いられている[8]。そのため、DPTD を操作している際の脳波データへの影響は少ないものと思われる。

3.2 デバイス設計

DPTD の効果測定にあたり、センサやスイッチなどを取り付けた家型のおもちゃと PC に表示した CG 情報を連動するデバイスを新たに設計した。図 2 に、新たに設計した DPTD を記す。



図 2 デジタルセラピーデバイス(DPTD)

図 2 の左側に存在するのが、デバイスのハードウェアとなる家型デバイスであり、人形と、デバイスの手前に存在する、スイッチやつまみ取り付けられたコントローラーを用いて操作を行う。図 2 の右側に存在する PC に映し出されているのが、デバイスのソフトウェアとして設計を行った CG である。操作に連動して CG も同様に変わることが特徴となっている。操作者にとっては、デバイスで遊ぶだけでなく、本来であれば視覚することができない季節や時間の情報、およびそれらの変化によって気温の数値などが変わることから、自分の操作が様々な形で画面にフィードバックされることが直感的に楽しいと感じられる。特に、頭の中で抽象的にものごとを把握できない前操作期の子供にとって有効な効果を得られると考え、開発を行っている。さらに、ウサギ型のキャラクターを CG に出現させ、その感情を変化させる機能の実装を行うことで、より汎用的に共感性など、子供に必要な社会的スキルを身につけられることが大きな目的の一つとなるように設計を行なっている。

3.3 ハードウェア設計

新たに設計し直した DPTD (以下：本デバイス) は、Arduino[11]を用いて複数のセンサの制御を行っている。本デバイスは 3 種類のセンサと、LED を用いてハードウェアの設計を行った。用いたセンサと、その機能を記した表を表 2 に記す。

表 2 使用したセンサと、実装した機能

センサ	機能
圧力センサ	人形の認識
タクトスイッチ	エアコンと照明の電源操作、エアコン温度の調整
可変抵抗	CG と LED の明度調整

本デバイスは、3 つの圧力センサ、可変抵抗器、4 つのタクトスイッチから構成されている。これらのセンサを、構成通りの配線を行った回路図を図 3 に記す。

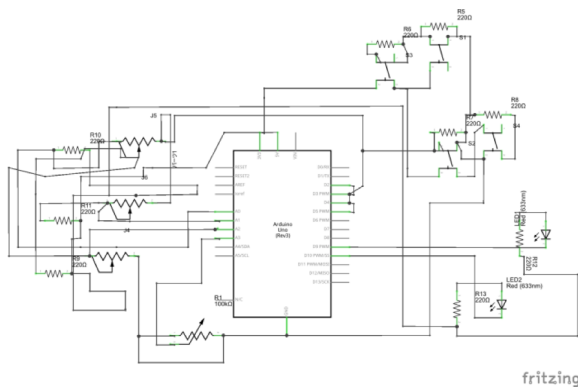


図 3 作成したデバイスの回路図

3.4 ソフトウェア設計

ソフトウェアは、家型デバイスでの入力が PC に表示された CG に出力されるように設計を行った。プログラムの実装には、Processing[12]と Arduino IDE[13]を用いた。Arduino には、あらかじめ PC と通信するための汎用プロトコルである StandardFirmata[14]を書き込む。センサ類の制御やアルゴリズムの記述、CG の表示などは Processing で行う。センサからは常時値が入力され、その値に応じて、CG 上の情報を変化させる。また、センサ類以外にも、キーボードを用いて CG 情報を変化することができる。これにより、家型デバイスと CG の連動を可能とする。本デバイスの具体的な機能を、表 3 に記す。

表 3 ソフトウェア機能および入出力方法

操作者	機能	入力	出力
体験者	キャラクターの表示	人形, 圧力センサ	CG
	エアコン・温度の操作	タクトスイッチ	CG
	照明の電源操作 照明, LED の明 度変更	タクトスイッチ 可変抵抗器	LED, CG LED, CG
説明者	季節の変更 (=気 温の変化)	キーボード	CG
	時間の変更 (=気 温, 部屋の明る さの変化)	キーボード	CG
	キャラクターの 感情表現	キーボード	CG

本デバイスは、操作者と説明者の 2 名によって運用することが前提となるデバイスとなっている。操作者は、家型デバイスに取り付けられているセンサ類を操作することでセラピーを体験する。また、説明者はキーボードを操作することで、CG 上に仮想的に表現された季節や時間を変化させる。その過程で、CG に出現したキャラクターの感情を操作し、デバイスの体験者に行動を促してもらう。

キャラクターの操作は、家型デバイスに存在する 3 つの圧力センサのうちの 1 つの上に人形を置くことで行う。人形を置く場所によって、キャラクターが出現する場所も変化する。キャラクターの感情の変化は説明者によってキーボードを用いて行われ、4 種類の感情を制御する。それぞれ、操作者が想定していた操作を行った際に用いる喜びの感情、操作者が想定していた操作を行わなかった際に用いる悲しむ感情、部屋の温度が暑いと思った際に用いる暑がる感情、部屋の温度が寒いと思った際に用いる暑がる感情となっている。これらの感情表現を用い、操作者に対して状況の説明や自身の行動のフィードバックを口頭で説明するよりもわかりやすく説明することが可能となる。

3.4.1 家型デバイスのみ、CG のみでの運用

これまで説明を行ったデバイスは、DPTD についてである。本研究では、DPTD の効果を比較するにあたり、家型デバイスのみを運用した時、または CG のみを運用した時の効果を比較する必要があると考えた。そのため、これらのデバイスは DPTD とは別に、操作系を変更して個別に実装した。なお、用いたハードウェアは DPTD と同様のものを用いるものとする。

家型デバイス単体での運用と DPTD との差異は、CG 出力の有無である。そのため、状況の変化の説明は、説明者が口頭で行う。CG 単体での運用と DPTD との差異は、家型デバイスの操作の有無である。CG 単体では家型デバイスを操作せず、代わりにキーボードを用いて操作を行う。

4. 実験

4.1 実験の概要

本実験は、DPTD と家型デバイス単体、CG 単体との効果の比較を、生体情報を用いて行う。被験者は 20 歳から 24 歳までの 20 名の大学生 (男: 16 名, 女: 4 名) で、この被験者を 1 グループ 5 名の計 4 グループ分けを行った。分けられたグループによってデバイスを体験する順番が異なり、この差異による生体情報への影響も測定する。グループの番号と、そのグループが体験するデバイスの順番を表 4 に記す。なお、第 2 章でも述べた通り、子どもに対して生体情報を取得するのは、装置を装着するなどといった要因により難しいと考えたため、実証のために大学生に対して実験を行った。

表 4 デバイスの体験順番

グループ番号	デバイスの体験版順番
グループ 1	家型デバイス単体, CG 単体, DPTD
グループ 2	CG 単体, 家型デバイス単体, DPTD
グループ 3	DPTD, 家型デバイス単体, CG 単体
グループ 4	DPTD, CG 単体, 家型デバイス単体

4.2 実験の手順

実験を行う際、被験者はあらかじめ用意された手順に沿ってデバイスを体験する。手順を示した図を図4に記す。

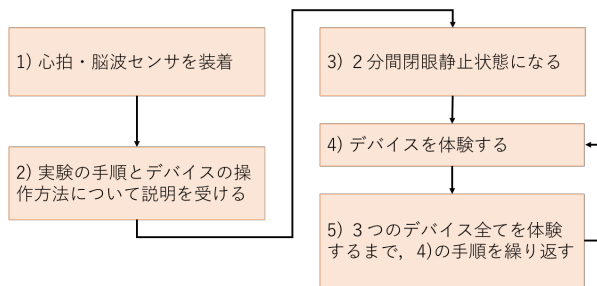


図4 実験の手順

実験は、生体情報への影響を最小限に留めるために、被験者と説明者以外に誰もいない静かな部屋で行われた。被験者は、説明者の指示を適時受けながら、デバイスを操作する。実験中、被験者に装着された心拍と脳波センサで生体情報を常時取得する。

4.3 分析手法

実験中の生体情報は、心拍および脳波センサによって取得される。取得されたデータは、以下に記す計算式によって変化率を算出する。

変化率(%)

$$= \frac{\left(\frac{\text{（デバイス体験時の生体情報の値の平均値）} - \text{（静止時の生体情報の値の平均値）}}{\text{（静止時の生体情報の値の平均値）}} \right) * 100}{\text{（静止時の生体情報の値の平均値）}}$$

本式は、閉眼静止状態時の生体情報の値の平均値から、デバイスを体験した時の生体情報の平均値の変化量を割合で表現したものである。この変化率は、正常時からの、心拍の変動の計算として用いられていた[15]。このことから、この算出式を生体情報の変化率の算出に用いるのは有用であると考えられる。実験結果の分析は、各デバイスの生体情報毎に算出を行った変化率を行って行う。

全員の変化率の算出を行った後、全グループから取得された各生体情報を要因とする繰り返しのない二限配置分散分析を行った。これにより、あるグループにおいて、3つのデバイスで記録された生体情報の変化率の分散に有意性があるか分析を行う。分散分析によって有意差が現れたグループの生体情報は、更にt検定を行い、DPTDと、家型デバイス単体およびCG単体の生体情報の変化率の平均に有意差が現れるか確認を行った。

4.4 実験結果

図5に、用いた生体情報の種類および分散分析によって算出されたP値を記したグラフを記す。

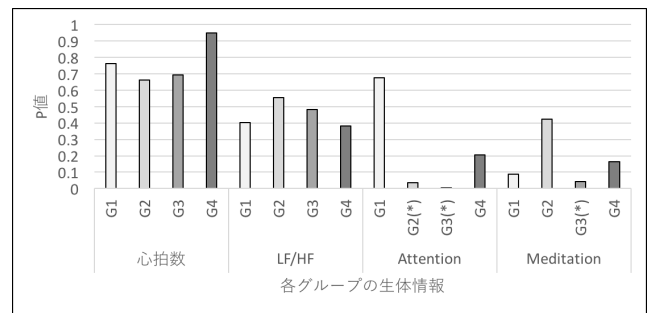


図5 各グループが記録した生体情報のP値
 (*: p<0.05)

図5より、P値が0.05を下回った生体情報、つまり有意差が見られた生体情報はグループ2, 3のAttentionと、グループ3のMeditationとなった。つまり、これらのグループが3つのデバイスを体験した際の生体情報の分散には意味があるのである。これらのグループの生体情報において、DPTDとそれ以外のデバイス間に有意差があるか確認をするために、等分散を過程した2標本の、両側によるt検定を行った。DPTDと家型デバイス単体、DPTDとCG単体のT値を表5に記す。更に、DPTDと家型デバイス単体、DPTDとCG単体との検定のいずれかにおいてT値に有意差が現れたグループの生体情報の推移をグラフ化したものを、図6に記す。

表5 T値と生体情報
 (*: t<0.05)

グループ	生体情報	DPTDと、家型デバイス単体でのt値	DPTDと、CG単体でのt値
2	Attention	0.617	0.118
	Attention	0.017 *	0.075
3	Meditation		
	n	0.125	0.053

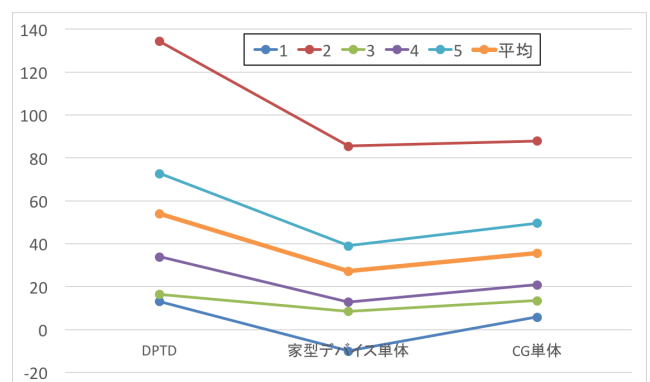


図6 グループ3のAttentionの推移

表5に記されたT値より、DPTDを最初に体験するグループであるグループ3のAttention、に有意差が現れた。表5の結果と、図6に示された生体情報の推移より、以下の通りに分析を行った。

t検定の結果より、グループ3のAttentionの変化率に有意差が確認されたことが示されたが、DPTDと家型デバイス単体を体験してもらった際のAttentionの変化率にのみ有意差が確認された。つまり、DPTDのAttentionの変化率の平均と家型デバイスのAttentionの変化率の平均には明確な差があることが示された。図6中の被験者のAttentionの変化率に着目すると、全被験者が、家型デバイス単体を体験した時と比べて、DPTDの方が高いAttentionを発揮していることがわかる。しかし、t検定において、CG単体を体験した際のAttentionの変化率とDPTDを体験した際のAttentionの変化率の間には、有意差は確認できなかった。つまり、これらのデバイスで記録されたAttentionには、明確な差が現れなかったことが示された。3.1.2節での分析より、Attentionの変化と集中の変化は比例していることが示されているため、CGを操作する方法にかかわらず、高い集中度を発揮することがいえる結果となる。つまり、高い集中度を発揮できない家型デバイス単体に、自分の行動と連動するCGを付加することで、高い集中度を発揮するデバイスを作成することができるということがいえる。

4.5 まとめと今後の課題

本実験を通じて、DPTDにはセラピー効果を高めることができると考えられる結果が得られた。

まず、DPTDは、脳波において優れた結果を示した。特に、DPTDを、家型デバイス単体やCG単体よりも先に体験した時と比較して、高い集中度が記録された。このことから、DPTDを用いたセラピーは、長時間の運用に適しているのではないかと推測できる。また、我々が子どもに対して実験を行った際に得られた、デバイスで遊ぶ時間が通常の家型デバイスよりも長いという結果も、今回の実験で得られた結果と対応付けて議論することができるのではないかと考えられる。

今後の課題として、まず子どもに対して実験を行うことが挙げられる。本論文に記してある実験の被験者は、DPTDで得られた知見が少なく、より多くの実証実験を行う必要があると考えたことから、全員大学生である。今後は、子どもに対して実験を行うことで、DPTDが発話回数や集中力の向上に適しているのかを確かめる。

また、DPTDをセラピーデバイスとして運用していく上で、デバイスにより多くの機能を実装し、子どもがより自身の日常をデバイスに投影することができる必要がある。

5. まとめ

本論文では、センサを搭載した家型デバイスと、CGを連動したデジタルプレイセラピーデバイスに関する調査を行った。我々が子どもに対して実験を行った際は、通常のドールハウスと比べて、発話回数やデバイス体験時間の向上、ミスコミュニケーション回数の減少の効果が見られたものの、その反応を裏付ける結果が得られなかった。そこで、

その効果の裏付けを得るために、デバイス体験時の生体情報を取得した。デバイスは、デジタルプレイセラピーデバイス、家型デバイス単体を運用したもの、CG単体を運用したものの3種類を用い、それらの効果の比較を行った。実験より、デジタルプレイセラピーデバイスを最初に体験した被験者に限り、それ以外のデバイスよりも高い集中度を発揮するという結果が得られた。このことから、子どもに対してデバイスを体験してもらった際に得られた、デバイスの体験時間が増加したという結果と関連づけることができるのではないかと考えられる。今後は、より多くの子どもにデバイス体験に協力してもらい、効果の実証を行っていきたい。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究費助成をして下さった立石科学技術振興財団および日本学術振興会の科学研究費助成事業に感謝申し上げます。

7. 参考文献

- [1] 文部科学省. 通常の学級に在籍する発達障害の可能性のある特別な教育的支援を必要とする児童生徒に関する調査結果について. 平成24年
- [2] 松井彰彦, READ統計調査チーム. 障害者の日常・経済活動調査(団体調査). 平成24年
- [3] Midori Sugaya, Yoshiko Okada, Hirota Osawa, Irini Giannopulu. 2015. "Feel as Agent: Immersive Dollhouse Enhances Sociality of Children with Developmental Disorders". HAI. 2015, pp.127-134
- [4] Michiko OHKURA, Sayaka GOTO, Asami HIGO, Tetsuro AOTO. "Relationship between Kawaii Feeling and Biological Signals"
- [5] Michiko OHKURA, Masahide HAMANO, Hiroyuki WATANABA, "MEASUREMENT OF "WAKUWAKU" FEELING GENERATED BY INTERACTIVE SYSTEMS USING BIOLOGICAL SIGNALS". KEER. 2010
- [6] 南谷晴之. "疲労とストレス". バイオメカニズム学会誌. Vol.21, No.2, 1997, pp.58-64
- [7] Greeta U Navalyal, Rahul D Gavas. "A dynamic attention assessment and enhancement tool using computer graphics". Human-centric Computing and Information Sciences, 2014, 4:11
- [8] Katie Crowley, Aidan Sliney, Ian Pitt, Dave Murphy. "Evaluating a Brain-Computer Interface to Categorise Human Emotional Response". IEEE. 2010, pp.276-278
- [9] Atsushi Hoshina, Yoshiko Okada, Irini Giannopulu, Midori Sugaya. "Haptic Virtual Approach: Biological Effect on Touching and Viewing". HCII. 2016, pp.261-270
- [10] "MindWave". <http://store.neurosky.com/pages/mindwave>, (参照 2016-02-01)
- [11] "Arduino - Home". <https://www.arduino.cc/>, (参照 2016-05-09).
- [12] "Processing.org". <https://processing.org/>, (参照 2016-05-09).
- [13] "Arduino - Software". <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, (参照 2016-05-09)
- [14] "Arduino - Firmata". <https://www.arduino.cc/en/Reference/Firmata>, (参照 2016-05-09)
- [15] 高津浩彰, 宗像光男, 小関修, 横山清子, 渡辺與作, 高田和之. "心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討". 電子論C. 120巻1号, 平成12年