人間学研究，2017，Vol. 16，37-45

重度肢体不自由児のためのアイカメラ用ゴーグル開発に関する基礎研究
—デジタルファブリケーションを活用した個人用ホルダの作成—

宮地弘一郎* 蛭田 直* 渡邉流理也** 村松 浩幸***

要約

重度肢体不自由児の発達援助においては，早期に児とのコミュニケーションを獲得することが重要である．近年の技術的進歩に伴い，様々な技術を用いたコミュニケーション手段を安価で提供できる可能性が拡がりつつある．本研究では，重度肢体不自由児への装着型アイカメラの適用に向けたゴーグル開発に関する基礎検討を行った．第1に，重症心身障害児2例を対象に，既製のゴーグルを改良しアイカメラ測定を実施した結果，瞳孔検出率にばらつきがみられ，日常的な適用が困難であった．理由として，未頚定の重度肢体不自由児の場合，枕や床面とゴーグルが接触することによる影響が大きいことが挙げられた．関連して，姿勢における個人差が大きく，ゴーグルとの接触部分も異なるため，個人の生活姿勢に合わせて頭部に固定できるゴーグル開発が必要と思われた．これらを踏まえて，第2に，安価な3Dスキャナと3Dプリンタを活用した開発の検討を行った．SMA Ⅰ型児1例を対象に，3Dスキャナによって頭部形状を測定し，対象児の日常生活姿勢に合わせた片眼用ホルダを3Dプリンタを用いて製作した．装着を試みた結果，脱落等の可能性は低く，また装着自体も簡便であった．個人に合わせた自助具や補助具製作における，デジタルファブリケーションの可能性が示された．

キーワード：重度肢体不自由児，アイカメラ，3Dスキャナ，3Dプリンタ

Ⅰ．はじめに

重度の肢体不自由を有する場合，家族や友人などの共同生活者が本人の反応や意図を読み取ることが困難なことから，適切な生活刺激や社会参加を保障できない問題がある．重症心身障害児のように乳幼児期から重篤な障害を持つ事例では，発達援助においても大きな制約となっている．また脊髄性筋萎縮症Ⅰ型のように，大脳の障害ではないにもかかわらず，療育者がコミュニケーションの糸口をつかめないことから知的発達において遅れを示す場合もある（宮地他，2017）．いずれも早期から，療育者が児を理解するためのコミュニケーション手段を得ることが重要と思われる．

コミュニケーションに障害のある人を支援するアプローチに，拡大・代替コミュニケーション（補助代替コミュニケーションともいう．Augmentative and alternative communication: AAC）がある（伊藤，2006）．AACの領域では，本人が遂行可能な身体機能を活用したスイッチなどの機器によって意図伝達を促進するAssistive tecnology（AT）について，様々な開発研究が行われてきた．四肢運動困難な重度肢体不自由児においては，視線を活用したATの有用性が指摘されてきており（Borgestig, et al. 2017），眼電図（EOG）やEye-tracking技術などを用いた視線入力インターフェースが開発されている（López, et al., 2017: Dickey, et al., 2007: 巖渕他，2013）．Eye-tracking機器については，近年急速に技術革新と低価格化が進み一般でも使用可能となってきた（大杉他，2016）．本研究では，これまでほとんど重度肢

＊信州大学学術研究院教育学系　准教授
＊＊新潟大学教育学部　准教授
＊＊＊信州大学学術研究院教育学系　教授

体不自由児には活用されてこなかった装着型アイカメラに注目した．装着型アイカメラは，ゴーグルに設置された赤外線カメラによって瞳孔を検出し（検出カメラ），視野カメラによる前方の映像と合成することで装着者の注視対象を日常環境下で測定できる方法である．コミュニケーションの初期発達段階では，聞き手効果に基いた大人の働きかけが重要となる（Bates, et al., 1975）．装着型アイカメラによる視線情報は，日常環境下で選択事態等に幅広く活用できることに加え，聞き手効果を促進する機能ももつと考えられ，早期から重度肢体不自由を有する児においても有効なAACとなることが期待される．

しかしながら，装着型アイカメラは主に研究用として開発されてきた経緯があり，重度肢体不自由児へのAACとしての適用には多くの課題がある．その重要な課題のひとつに，ゴーグルの問題がある．重度肢体不自由児は未頚定の児が多く，仰臥位や側臥位でのゴーグル装着の困難さが指摘されている（Torii et al., 2014）．また，遺伝性疾患がある場合，頭部形状も多様であり，既製のゴーグルでは固定が困難な可能性も高い．

最近，ものづくりの流れの中でデジタルファブリケーションと手法が急速に進歩してきており，使用される機器の低価格化も進んでいる．デジタルファブリケーションを活用することで個々の肢体不自由の状態に即した補助具等を作成し，困難を克服できる可能性が見いだされつつある（川名，2015）．

このような様々な方面での技術的進歩を背景に，本研究では，重度肢体不自由児への装着型アイカメラの適用に向けたゴーグル開発に関する基礎検討を行った．第1に，既製のゴーグルを改良し，きわめて重度の運動障害のある重症心身障害児への適用を試みた．これを踏まえて，第2に，デジタルファブリケーションを活用した開発の検討を行った．

Ⅱ．重症心身障害児を対象とした装着型アイカメラの試み

未頚定の重症心身障害児2例を対象に，ゴーグルの改良と測定を試みた．

1．対象

学齢期の重症心身障害児2例（事例A，10歳；事例B，11歳）を対象とした．いずれも，大島分類Ⅰに該当する最重度事例であった．ベッド上の姿勢は主に仰臥位で，事例A，Bとも未頚定であったが頭部の動きはみられた．本研究参加の際の姿勢はバギー上の支持座位であり，それぞれの頭部形状に合わせたクッションで頭部を保持されていた．研究実施にあたり，信州大学教育学部倫理審査部会の承認を得た上で，対象の保護者に対し文書および口頭によるインフォームドコンセントを実施し同意を得た．

2．アイカメラ装置

装着型アイカメラは，竹井機器製Talkeye Liteを使用した．Talkeye Liteは，アイカメラユニットと取付用の専用ゴーグル，制御用のWindows7ノートPCで構成されている．アイカメラユニットは両眼タイプと片眼タイプが可能だったが，本調査では片眼タイプを使用し，各対象の頭部を保持するクッションの妨げにならない側にユニットを取り付けた．専用ゴーグルは子ども用サイズを使用したが，対象の頭囲に対してサイズが大きく，また耳掛け部分が枕等に接触してずれが生じるなど，改良の必要性がみられた．

3．手続き

201X年9～12月に実施した．各対象の病室内のベッド上およびバギー上で専用ゴーグルの装着を行い，対象の反応や課題を研究者3名で検討しながらゴーグルを改良した．同時に，改良したゴーグルを用いたアイカメラ測定を6回実施した．測定は対象が日常的に授業で使用する学習室で実施し，学習室に入室してアイカメラ用ゴーグルを装着した後，自作のキャリブレーションボードを用いた注視課題を実施した（図1）．測定として，検出カメラ映像をもとに，課題中の瞳孔検出率（瞳孔検出時間／［課題の所要時間－閉眼時間］×100％）を計測した．瞳孔検出時間および閉眼時間の計測にはDKH製行動コーデックシステムを使用した．また，対象の様子をビデオカメラで記録した．

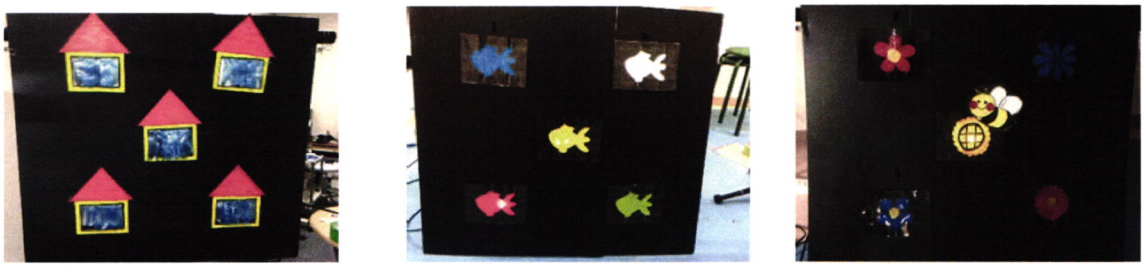


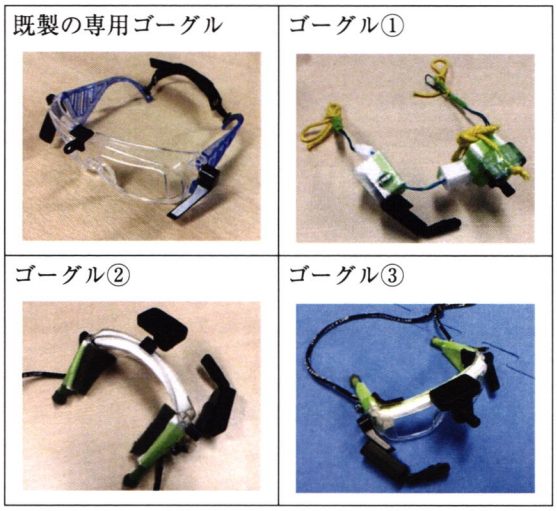
図1. キャリブレーションボード.

4. 結果

1) ゴーグルの改良について

図2に，専用ゴーグルおよび改良したゴーグルを示す．最初に，既製の専用ゴーグルのサイズの問題と，床面との接触でゴーグルがずれる問題を改善するために，針金でゴーグルのフレームを作りクッションや枕との接触部分を少なくし，長さ調節可能なように後頭部をひもで縛って固定できるようにした．対象児に直接触れる部分は発泡スチロールで覆い，ゴーグルが当たることによって不快感を抱いたり痛みを感じたりしないよう配慮した（ゴーグル①）．ゴーグルへの不快感を抱いた様子はなかったが，後頭部のひもだけではゴーグルを固定することができず，ひもを縛ることで装着に時間がかかってしまった．また，針金のため頭部運動時に視野カメラと検出カメラの相対位置に歪みが生じ，瞳孔の検出がきわめて困難であった．装着時間については，長さ調節用の留め具を付けたあごひもをつけることで短縮することができた．しかしながら，針金の歪みによる固定の問題は改善されなかった．

ゴーグル①の問題を踏まえ，専用ゴーグルのフレームを改良したゴーグルを試みた．耳かけ部分を切断し，ゴーグル①で用いた調整可能なひもを固定用に取り付けた．またゴーグルの不快感を軽減すること，頭部運動によるずれを防ぐことを目的として，フレームの額部分と側頭部分にクッション用ウレタン素材を貼り，その上にスポンジを貼り付けた（ゴーグル②）．結果，フレームと皮膚との接触は，ウレタンの貼り付けが困難な鼻部分のみとなり，正面を向いている場合にはゴーグルがずれることも少なかった．しかしながら，側頭部分のスポンジの厚みによって，2事例ともに装着に時間がかかり，さらにその途中に不快な表情が何度か出現した．装着後は不快な表情の出現が減少したことから，ゴーグルを側頭に通す際の圧迫による不快感が強いと思われた．また2事例とも終了後に鼻が赤くなった．そこで，ゴーグル②をベースに，各事例の頭部の形状に合わせてスポンジを用意し，簡単に貼り替えができるようにした（ゴーグル③）．事例Aは，眼を妨げ



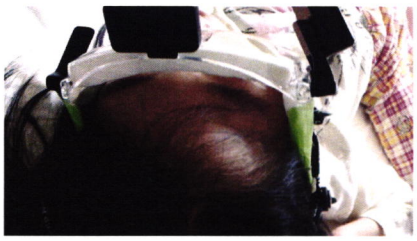


図2. 上）ゴーグル改良の経過．下）ゴーグル②を事例Aに装着した様子．側頭は固定されているが，こめかみ部分に隙間が生じていた．

表 1. 各事例におけるゴーグル③を用いた瞳孔検出率

事例		Trial 1	2	3	4	5
A	分析時間（s）［課題所要時間－閉眼時間］	218.8	179.1	158.6	248.5	266.6
	瞳孔検出率（%）	59.3%	61.6%	77.6%	65.8%	32.8%
B	分析時間（s）［課題所要時間－閉眼時間］	300.1	242.8	198	180.2	276.7
	瞳孔検出率（%）	54.5%	29.3%	78.7%	57.9%	48.7%

ない程度にこめかみ部分にスポンジを貼り，事例Bはスポンジを外した状態で装着した．また，鼻かけの部分に鼻当てを付けた．鼻当ては専用のものを用いたが，頭部を動かしても鼻当てが外れないよう固定した．結果，2事例とも装着の途中に不快な表情はみられず，装着後にゴーグルがずれることも少なかった．そこでこのゴーグルを用いて課題中の視線測定を行ったが，実際の測定では大きな頭部運動が生じる場合が多く，特に上下の頭部運動の際にゴーグルがずれる場合が複数回みられた．ただし，各対象に合わせてスポンジ等を貼り付けたことから，ずれた際の修正も比較的容易であった．

2) 瞳孔の検出率について

ゴーグル③を用いて実施した5回のキャリブレーション課題中の瞳孔検出率を表1に示した．A，B児とも，検出率は試行によって大きく変動し，A児では最高が77.6%，最低が32.8%，事例Bは最高が78.7%，最低が29.3%であった．

5. 考察

ゴーグルについて，装着後に不快な様子はあまりみられなかったことから，装着型アイカメラの活用は可能と思われた． また耳掛け部分を短縮することによって，床面への接触による装着困難は改善された．しかしながら，ゴーグル③では装着後の頭部運動によってずれが生じ，その都度ずれを修正する必要が生じた．視線検出についても問題であるが，ゴーグルにはカメラ等の突起物が設置されているため，ずれた時にすぐに援助者が対応できない状況では眼やその周辺を傷つけるリスクがある．これらより，現在のゴーグルでは援助者が傍らに待機する必要があり，日常場面での使用は困難と思われた．側頭部をスポンジで固定したゴーグル②ではずれは少なく，側頭部分が頭部運動時にクッション等と接触してずれることが主な原因と思われた．

瞳孔検出率については，2事例とも試行によって大きく変動した．このことは，毎試行の装着位置にずれが生じていた可能性を示しており，ゴーグルが頭部形状に合っていなかったためと思われる．また，毎試行のバギー搭乗時の姿勢に若干の違いがあり，頭部とバギーとの接触部分がずれていたことが，さらに影響を及ぼした可能性も考えられた．装着型アイカメラによって視線情報を得るためには，キャリブレーション課題中正確に瞳孔を検出することが必要となるが，瞳孔検出率のばらつきが大きく，またかなり低い試行もあったことから，現在のゴーグルではキャリブレーションが困難と思われる．

以上から，重度肢体不自由児用のゴーグルについては，頭部運動等によるずれが生じないよう個人に合わせた形状とすること，またできるだけ顔の前面や眼の周辺で固定できること，さらにこれらの課題をクリアした上で，視野カメラと検出カメラが正しく設置されることが必要となる．

Ⅲ. 個人差のある生活姿勢と頭部形状を克服する計測方法とホルダー作成の検討

前述の通り，重度肢体不自由児は，頭部形状に大きな個人差があり，既製の専用ゴーグルではサイズや形状が頭部形状に合わない．また，生活姿勢につ

いても多様なため，ゴーグルを頭部形状に合う様に加工しても視線計測用のカメラを最適位置に固定することが難しい．その為，アイトラッキング用カメラを最適位置に固定するためには，装着する個人に合わせたカメラを固定するゴーグルもしくは，ホルダを作成する必要がある．

こうした器具を作成するにあたり，前述のように，デジタルファブリケーションの普及を踏まえ，3Dプリンタおよび3Dスキャナの活用を考えた．3Dスキャナで頭部形状をデジタル化してホルダの設計に活用し，3Dプリンタで出力することで，個人に最適化したホルダの作成を安価に実現できる．

一方，3Dプリンタ等の安価なデジタル加工機が普及すると共に，デジタル加工機を一般にも使えるような施設や市民工房も広がってきている．その一つが国際的なデジタルファブリケーションのネットワークであるFabLabである(Neil, 2012)．本学部内でも2017年からFabLab長野として国際ネットワークに加盟し，正式運用をしている(信州大学総務部総務課広報室，2017)．また，産学官で連携しての製品開発などにも取り組んでいる(FabLab長野，2017)．こうしたノウハウや知見を持つ大学内のFabLabと連携することで，器具製造の技術的支援のみならず，教育研究としても進めていくことも可能になると考える．さらに，加工データや作成ノウハウを公開していくことで，各地のFabLabや類似施設を活用し，本研究の成果を普及させていくことも期待できる．

我々は，重度肢体不自由児の頭部形状に即したアイトラッキング用カメラホルダ作成の試みとして，①非接触による頭部形状の計測と頭部形状の3Dモデル化，及び，②3Dモデル化した頭部形状を活用したホルダ作成方法について検討した．

1. 対象

脊髄性筋萎縮症Ⅰ型児1例(事例C，6歳)を対象とした．未頚定で，生活姿勢は主にベッド上での側臥位であった．また視力が弱く，バギー上支持座位で眼鏡を使用することもあったが，日常生活の多くを過ごすベッド上の側臥位では，側頭部が枕と接触していることから装着が困難であり，またフレームが枕と頭部に挟まれることで側頭を圧迫し不快感が生じる等，使用において多くの問題があった．研究実施にあたり，対象の保護者に対し文書および口頭によるインフォームドコンセントを実施し同意を得た．

2. 非接触による頭部形状の計測と頭部形状の3Dモデル化

重度肢体不自由児の生活姿勢に合わせたゴーグルやホルダを用意するためには，頭部の形状計測が不可欠である．しかし，自分の意思で計測具を避けたり，拒んだりすることができない児にとって，頭部形状を計測する際に見慣れない器具を使用することや見知らぬ人との過度な接触，姿勢を動かされることは大きなストレスとなる．その為，機器の接触が生じる計測や型取りによる正確な頭部形状の計測は難しい．この問題を解決するには，非接触による計測方法が最も適していると考えられる．

現在，非接触による3Dスキャナは一定の普及が進み，低コストでも3Dモデル化ができるようになっている．低価格で3Dスキャンできる機材はMicrosoft社製Kinect v2などがあり，Kinect v2で義肢製作の採型工程を代替できるかの検討も進められている(池田他，2016)．また，3Dスキャンをした3Dデータの活用として，欠損した顔面の形状を補うエピテーゼにも応用され良好な結果が確認されている(吉岡・尾澤，2004)．これらの先行研究から，重度肢体不自由児の頭部形状の計測においても3Dスキャナを用いることは有効であると考えた．特に非接触かつ短時間で計測が行うことができる3Dスキャナの特徴は，対象の負担を軽減して頭部形状を得るのに最適な手段と言える．また，得られたデータを基に，カメラホルダやゴーグルを作成することで，アイトラッキングのためにカメラを最適位置に固定し，視線計測の精度を高められることが期待できる．

本稿では，3Dスキャンによる頭部形状の3Dモデル化をMicrosoft社製Kinect v2，及び，XYZprinting社製ハンドヘルド3Dスキャナを用いて行なった．計測は，Kinect v2による計測を1回，XYZprinting

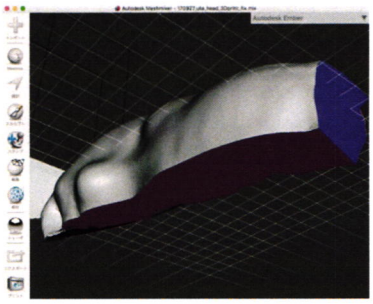


図 3. 調整した 3D モデル.

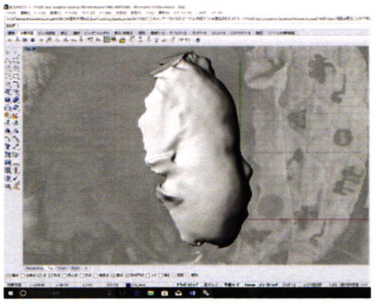


図 4. ライノセラスにレイアウトした 3D モデル.

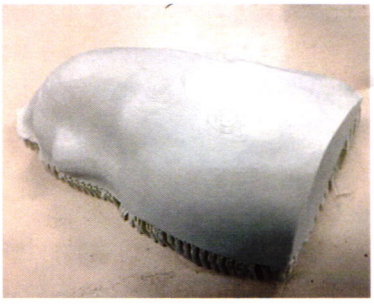


図 5. 出力した 3D モデル.

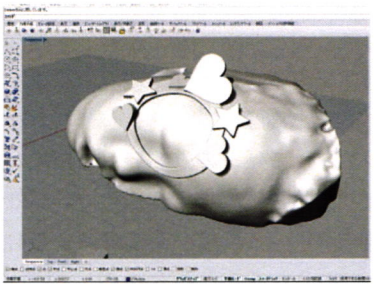


図 6. アクセサリの 3D モデル.

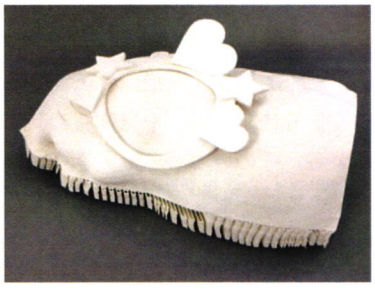


図 7. 出力したアクセサリ.

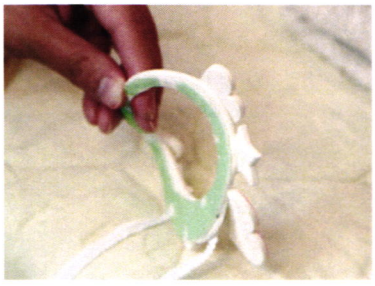


図 8. 出力後の加工.

社製 ハンドヘルド 3D スキャナによる計測を 2 回行なった. 測定中, 事例 C に顔をしかめるなどの表情の変化はみられなかった. 3D スキャナによる測定は非接触のため, 不安や不快はあまり生じなかったと考えられる. 計測したデータは, XYZprinting 社製 ハンドヘルド 3D スキャナで得た 3D モデルの方が良好であったことから, Autodesk 社製 Meshmixer で不必要な部分のデータを削除して試作を進められるよう整えた(図 3). その後, Robert McNeel & Associates 社製 3D モデリングソフト, ライノセラス上にレイアウトし, 事前に撮影した対象者の画像を用いてサイズの調整を行なった(図 4). 図 5 に, 調整を行ない XYZprinting 社製 3D プリンタ, ダヴィンチ 1.0 Pro 3in1 で出力したモデルを示す.

3. 3D モデル化した頭部形状を活用したホルダ作成方法

前述の通り, 対象への負担を減らすためには機器の装着はなるべく回数を減らすことが求められる. 試着についてもそれは同様である. 一方で, 正確にカメラを固定するためにホルダの試着は欠かすことができない. この試着の問題を, 作成したホルダに加飾パーツを追加して, アクセサリにすることで解決を試みた. ホルダをアクセサリにすることで, 装着することへの興味関心を高め, 今後の装着時における恐怖心や不安感を低減すると同時に, ホルダのサイズや形状, 装着時のバランスを確認することが可能になる.

事例 C は, 左側臥位で療育活動を行うことが多かったため, ホルダは右眼側に装着するものとし, 3D モデルに投影した自由曲線から作成することで, 頭部形状に合うようにかつ右眼周辺の顔部分のみで装着できるように作成した. その上で, 加飾パーツとなるハートと星の形状を追加してアクセサリとして完成させた(図 6). 完成したアクセサリは, 3D プリンタで出力した事例 C の頭部モデルを使用して, フィットの様子や脱落について確認を行った(図 7). 確認の結果, 出力を行なったアクセサリは, 安定性に若干の不安はあるものの事例 C の頭部形状に十分即しており, 脱落などの問題は生じない程度で

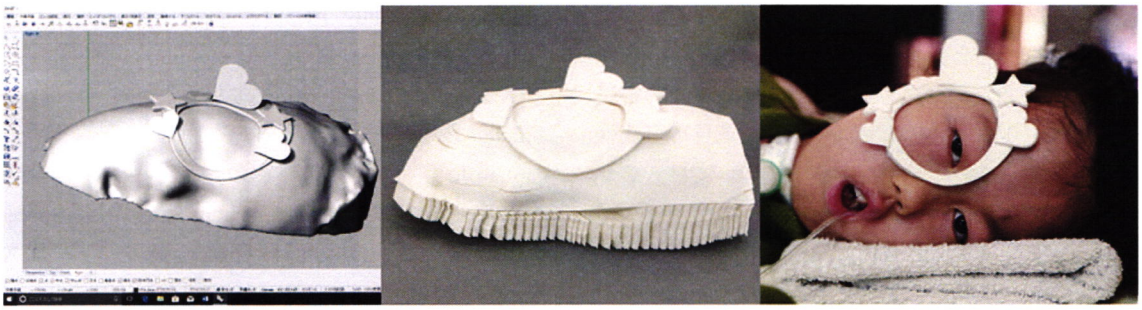


図 9. 画像によるホルダーの有効性検証（対象の写真掲載については保護者の同意を得た）.

あった．装着についても，右顔部にのせるだけで行え，頭部後方で固定する必要もなく調整に手間取るなどの問題はなかった．

出力後の改良として，顔面に擦れる部分に不織布を貼り樹脂が直接触れる不快感を軽減し，万が一の脱落に備えて，ゴム紐を顔面に触れない部分で接着剤を使用して取り付けた（図 8）．

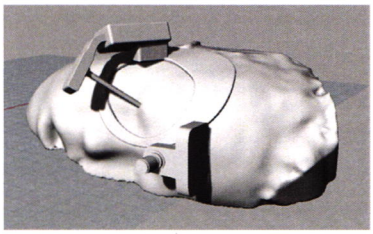


図 10. カメラホルダーの予想図.

4. アクセサリを用いたホルダの検証

アクセサリを用いたホルダの検証は，事例 C への聞き取りなどが難しいため，モデリングソフト上の装着画像，3D プリンタによる装着画像，事例 C の実際の装着画像の画像を比較することで有効性について検証を行った（図 9）．それぞれの画像を比較すると，モデリングソフト上，及び 3D プリンタによるモデル上での装着の具合と実際の装着の具合はほぼ同等であることが伺え，ホルダが十分に事例 C の頭部形状に即していることが確認できた．以上の確認から，3D スキャナと 3D プリンタを使用することで，ホルダ作成にあたり一定の有用性を確認でき，また，計測対象者の負担軽減にも繋がることがことが確認できた．

5. カメラホルダ作成への課題と展望

カメラホルダとして，フロントカメラ，アイカメラを取り付けた 3D モデルを図 10 に示す．

今後のカメラホルダ作成の課題は，①カメラを取り付けても脱落しないホルダのバランス，②アイカメラの向きを微調整できるアジャスト機構の 2 つが挙げられる．2 つの課題は，既製の専用ゴーグルを基に作成を継続していくが，実計測で事例 C への負担をより軽減できるように，サイズやバランスを含めたデザインの検討を重ねていく．

まとめ

未頚定の重度肢体不自由児への装着型アイカメラ適用においては，生活姿勢の個人差を踏まえ，床面との接触が生じないゴーグルを使用する必要がある．本研究では，安価な 3D スキャナと 3D プリンタを活用することで，重度肢体不自由児の頭部形状および生活姿勢に合わせたゴーグルを開発することができた．こうした自助具や補助具は，個々人に最適化することで使い勝手が向上するが，量産が難しいことから，どうしても高コストになってしまう．本研究で試みたように，個人に合わせた補助具を，安価なデジタル加工機を用いてデジタルファブリケーションで製作することができれば，カスタマイズやコスト問題の一定の解決が可能になる．そのためには，前述のように，開発ノウハウ及び関連データの公開・共有が重要である．これらの課題は特別支援教育の領域の研究者だけでは対応や解決が難しい．本研究において，大学内の FabLab と連携したように，

デジタルファブリケーション等のノウハウを持つ研究者や技術者らと連携することが効果的であろう．FabLabのようなデジタルファブリケーションの市民工房も広がりつつあるので，こうした連携の可能性はより高まっていく．また，義手については，デジタルファブリケーションの活用で安価でデザイナブルな義手を開発すると共に，関連データをオープンソース化し，コミュニティを作ることで開発ノウハウを共有し，普及を図っている事例もある[1)]．このような取り組みや連携が広がっていくことで，新たな自助具や補助具開発の可能性が広がっていくのではないだろうか．

一方，開発した補助具等を製品レベルとして考えると，当然ながら，製造物責任や継続的なメンテナンスといった実践・普及上の課題も複数考えられる．今後は，デジタルファブリケーションの活用をさらに進めると同時に，こうした法的な問題や運用上の問題等についても検討を進めていく必要がある．

謝辞

本研究に参加してくださった対象児の皆様とご家族様に感謝いたします．また，研究の遂行にあたっては，信州大学教育学部卒業生の湯本有貴さん，坂本和佳奈さん，および，対象児の在籍施設のスタッフの皆様に多大なご協力をいただきました．

なお，本研究は，文部科学省科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究 16K13597）の一部補助を受けて行われました．

引用・参考文献

Bates, E., Camaioni, L., Volterra, V. 1975 The acquisition of performatives piror to speech. *Merrill-Palmer Quarterly*, **21** (3), 205-226.

Borgestiga,M., Rytterströma,P. and Hemmingsson, H. 2017 Gaze-based assistive technology used in daily life by children with severe physical impairments: parents' experiences. *Developmental Neurorehabilitation*, **20** (5), 301-308.

Dickey, M.W., Choy, J.J., Thompson, C.K. 2007 Real-time comprehension of wh- movement in aphasia: Evidence from eyetracking while listening. *Brain and Language*, **100** (1), 1-22.

FabLab長野 2017 坂城町とのコラボ企画「さかきオシボリソン」を開催．http://fablab-nagano.org/archives/1141,（2017/06/11作成，最終アクセス 2018/01/17）

池田諒，花之内健仁，ゼバスティアン・シュミット祥，菅原貴志 2016 ハンディ3Dスキャナ Kinectを用いた下肢切断端スキャンの精度検証，*Medical Imaging Technology*, **34** (2), 103-105.

伊藤英一 2006 コミュニケーションの困難からとらえた肢体不自由とその支援．障害者問題研究，**34** (3), 18-27.

巌淵守，楊光，中邑賢龍 2013 コンピュータビジョンを利用した重度重複障害支援：人と社会を結ぶインタフェースを目指して．映像情報メディア学会技術報告，**37** (12), 47-50.

川名正昭 2015 3Dプリンタを活用した自助具製作による演習プログラムの開発．田園調布学園大学紀要，**10**, 319-328.

López, A., Ferrero, F., Yangüela, D, Álvarez, C., Postolache, O. 2017 Development of a computer writing system based on EOG. *Sensors*, **17**, 2-20.

宮地弘一郎，前田菜々子，糀谷由真 2017 脊髄性筋萎縮症Ⅰ型児における，スイッチの活用に関する事例研究—空圧スイッチの改良およびスイッチの機能理解のための教材開発—．教育実践研究，**16**, 179-188.

Gershenfeld, N（著），田中浩也（監修），糸川洋（訳）2012 Fab—パーソナルコンピュータからパーソナルファブリケーションへ．オライリージャパン．

大杉成喜，小林秀雄 2016 視線入力を活用した障害の重い児童生徒の教材制作環境の提案．日本教育工学会論文誌，**40**, 149-152.

信州大学総務部総務課広報室 2017 信大独創図鑑：世界のものづくりコミュニティと教育学部の出逢

1） NPO法人 Mission ARM Japan：http://www.mission-arm.jp/（最終アクセス 2018/01/09）

い FabLab Nagano. 信州大学広報誌「信大 NOW」, **104**, 7-8.

Torii, I, Ohtani, K., Ishii, N. 2014 Study and application of detecting blinks for communication assistant tool. *Procedia Computer Science*, **35**, 1672-1681.

吉岡文, 尾澤昌悟 2015 頭頸部癌術後の変形に対するエピテーゼの適用について, 頭部頸癌, 日本頭部頸癌学会, **41** (3), 330-334.