



研究論文 (Articles)

# コミュニケーション支援を目的とした接触圧 センシングによる指筆談可視化デバイスの開発

岡田 浩<sup>\*1</sup>・高木 久美子<sup>\*2</sup>・増尾 明<sup>\*3</sup>

(一般社団法人 愛知情報教育支援協会<sup>\*1</sup>, 東海地区遷延性意識障害者と家族の会「ひまわり」<sup>\*2</sup>, 星城大学<sup>\*3</sup>)

Development of a pressure-sensitive device that can visualize the writing moves  
of an assistive handwriting technique for assistive communication

OKADA Hiroshi<sup>\*1</sup> . TAKAGI Kumiko<sup>\*2</sup> and MASUO Akira<sup>\*3</sup>

(Aichi ICT Support Association<sup>\*1</sup>, Tokai PVS Himawari<sup>\*2</sup>, Seijoh University<sup>\*3</sup>)

This paper's primary objective focuses on enhancing the objectivity of assistive handwriting for individuals with locked-in syndrome. To achieve this goal, a pressure-sensitive device was developed, which can visualize writing movements by employing assistive handwriting principles. Additionally, PC software was created to recognize changes in pressure sensed by the pressure sensor, which captures micro pressure changes occurring on an individual's body when assistive handwriting is in use. The writing movements using the developed device were examined on four individuals who use assistive handwriting for communication. The evaluation of the device's functionality and analysis of the letters written by these individuals suggested that its use is effective for assistive communication among those with locked-in syndrome.

本研究は、閉じ込め状態の当事者のコミュニケーション支援技術である指筆談の客観性向上を目的として、その動作原理を利用した接触圧センサによる書字動作の可視化デバイスの開発を試みた。指筆談時の当事者の身体部位に微細な圧変化が発生している点に着目し、接触圧センサを用いてセンシングした圧変化を確認できるPC用ソフトウェアを開発した。意思疎通方法として指筆談を利用している当事者4名を対象として、開発デバイスを用いた書字動作実験を実施した。操作性の評価および判定された文字解析から、指筆談時の書字動作を可視化することができることを確認した。本結果から、閉じ込め状態の当事者のコミュニケーション支援における本デバイスの有効性が示唆された。

**Key Words** : locked-in syndrome, persistent vegetative state, pressure, assistive communication device, assistive handwriting

キーワード：閉じ込め症候群，遷延性意識障害，圧力，意思疎通支援デバイス，指筆談

## I. 問題

### 1. 重度身体障害者との意思疎通

筋萎縮性側索硬化症に代表される神経・筋疾患では、極めて重度の四肢麻痺により意思表示が障害される。身体機能が低下した当事者は、手指や眼球運動といった微小動作を活用して機器を操作し意思疎通を行う。また、重度の機能障害によって機器操作が困難な場合には、介助者が当事者のジェスチャーを目視で読み取る等のコミュニケーション支援技術を用いて意思疎通を行っている。しかしながら、身体機能が著しく低下し、発話やジェスチャーなどによる意思表示が困難な状態である閉じ込め症候群（山西，2019）に陥った場合、当事者との意思疎通が非常に困難になることが臨床上的な大きな課題となっている。

### 2. 意思疎通の方法

閉じ込め症候群を呈した当事者においては、眼球運動や瞬目による意思疎通が行える可能性がある。また、発話が困難な当事者との意思疎通の方法としては、介助者が相手の意思を身体動作で読み取る指筆談（大塚，2022）と称される意思疎通の方法があり、閉じ込め症候群の対象者に意思疎通の手法として使用している例もある。図1に指筆談によるコミュニケーション支援の実践例を示す。こうした残存機能を活用したコミュニケーション技法は、閉じ込め症候群の対象者の拡大代替コミュニケーションとなる可能性がある。しかし、眼球運動や瞬目による確認の場合は、当事者の身体機能の低下によりその動作が目視できなくなった場合などは意思疎通が困難となる。

指筆談では当事者の指先等に介助者が手を添え、微小な身体活動を自らの手掌や指先で読みとるなどの手技によって当事者の身体反応を意思疎通に応用するため、指筆談の技能者でなければ十分な意思疎通を行うことができない。指筆談のように第三者が間に入るコミュニケーション手法の場合は、判断した当事者の意思が正しいか否かの客観的な検証が困難であるため、当事者と意思疎通ができていないかの判断は非常に難しい。眼球運動や瞬目を含む身体活

動が困難な当事者においては、目視では確認することが難しい微小な身体活動あるいは生体信号をセンシングすることで意思疎通に応用できる可能性があるが、特殊スイッチや視線入力装置といった支援機器においては閉じ込め状態の当事者のような重度の障害者を対象としたものは少ない。閉じ込め状態の当事者の意思疎通を実現するために、近年では脳の生体信号を用いて機器制御を行うブレイン・コンピュータ・インターフェース（BCI）の研究報告が散見されるものの、福祉施設や一般家庭で実用的に使用されるまでには至っていない（Masuo, 2023; 吉村, 2023）。

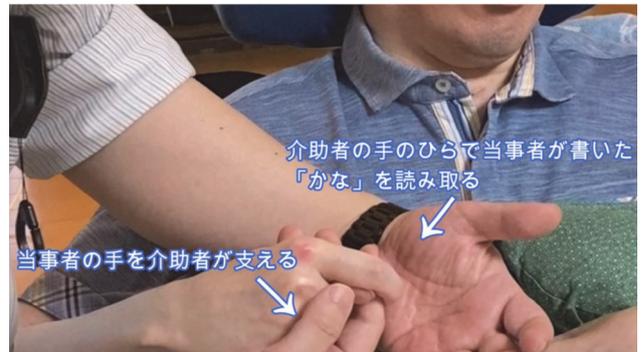


図1 指筆談の実施例

### 3. 指筆談の技術的課題

閉じ込め症候群を呈した当事者に対して指筆談を使用する場合は、当事者の身体動作は非常に微小で目視することが困難であり、スイッチ等の押下も困難であるため、家族や主介護者は当事者の身体活動を認識し、意思疎通に応用することは難しい。その当事者に指筆談を実施するためには長期にわたる技術習得が必要であるため、通常は指筆談の技能者が意思疎通を仲介することになる。そのため、閉じ込め症候群の当事者と家族との意思疎通は技能者に依存することとなり、技能者によって判定された当事者の意思の真偽に対する客観性が問題となる。指筆談によるコミュニケーションの客観性向上を図るために、指筆談時の書字動作を可視化することで、第三者が当事者の意思を確認できるようにすべきである（柴田，2014）。そこで、指筆談を通じて技能者が当事者の書字を読み取っている点に着目し、接触圧センサを用いて当事者の書字動作の定量化を試みる。意思疎通手段の確保は当事者を主体とした意思

決定において非常に重要であり、技能者を仲介しない家族間コミュニケーション手段の再獲得は生活の質の向上に大きく貢献する。

## Ⅱ. 研究の目的

本研究の目的は、閉じ込め症候群の当事者のコミュニケーションの手段である指筆談の客観性を向上させるための指筆談を可視化するデバイスを開発することである。対象者の書字動作時に発生する微小な身体動作を接触圧センサによって計測し、指筆談の動作原理を利用した書字動作の可視化デバイスの開発を試みた。また、開発デバイスを用いて当事者の指筆談を実施し、デバイスの性能を評価した結果を報告する。

## Ⅲ. 使用デバイス

### 1. デバイス化に必要な動作要件

当事者との指筆談時に技能者が書字動作を認識できていることから、書字部位に微小な書字動作、もしくは移動はしないが接触点に書字方向に対する圧変化が発生していることが想定された。あわせて、指筆談を筆者が習得練習した結果から、対象者の書字部位は移動していないと想定された。よって本研究で使用した装置は当事者の書字部位をデバイスに接触させ、接触点に発生する上下左右の書字方向の圧力変化を読み取るための装置として開発したものである。本研究ではこの接触点に発生する空間的に移動しない圧力変化による書字圧を認識する装置を開発する。空間的に移動しない書字圧を測定する装置の要件を以下に記す。

- (1) 書字時の移動を伴わない圧変化を識別するため、対象者の書字を読み取る部位をデバイスに接触させた状態で書字動作を計測できるようにする。
- (2) 当事者は書字時に移動を伴わない圧変化を発生させるのみと想定されるため、その圧変化を阻害するレベルの力で接触面に触れさせると期待する圧変化が識別できなくなってしまう。そのため、対象者とデバイスを接触させ

る接触圧力は極力小さくする。

- (3) 書字動作を妨げることがないように、接触点以外の部位は自由に動作することが望ましい。
- (4) 接触点で発生する圧力変化は  $0.02 \sim 0.09\text{N}$  であると想定されるため、その  $1/10$  程度の精度のセンサを用いる。
- (5) 書字認識のため、上下左右だけでなく全方向に対する方向識別が必要となる。
- (6) PC との  $1$  秒当たりの通信回数は多ければ多いほど良い。

### 2. デバイスの種類

本研究で使用しているデバイスは当事者の微小な移動を伴わない書字方向への圧力変化を読み取ることを目的としており、入力された圧力の方向を識別している。2023年3月に試作機を開発し、その後継続して改良を加えている（岡田，2023）。

### 3. デバイス概要

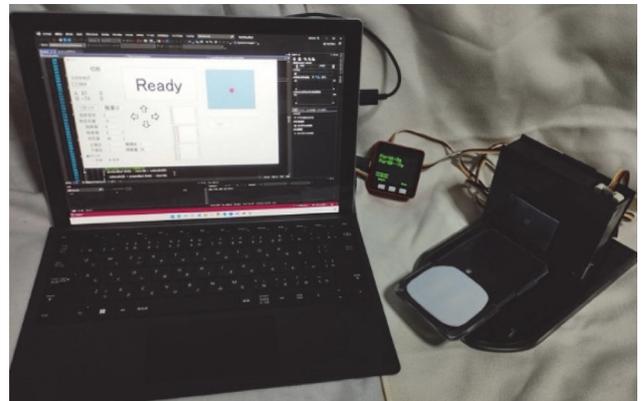


図2 デバイス写真



図3 デバイス使用例

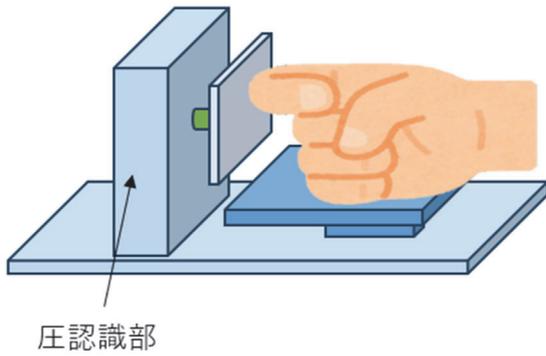


図4 本体接触方法図解

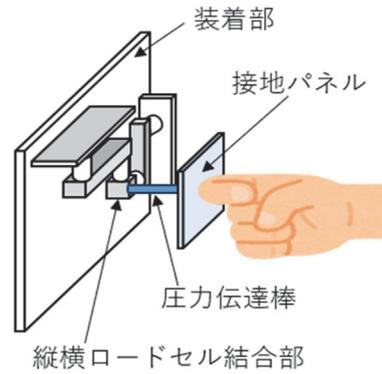


図5 圧認識部 内部構造

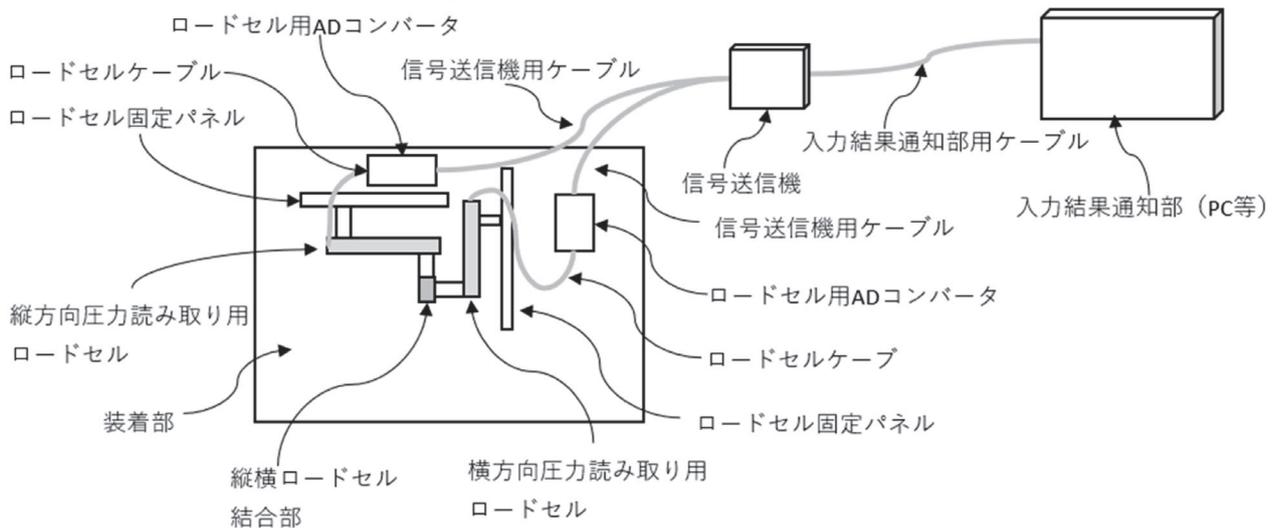


図6 内部詳細と中継器、PC 接続概要図

図2にデバイスの全体構造を示す。使用時は図3, 図4, 図5のように「圧認識部」の「接地パネル」に当事者の書字動作部位を接触させ移動しない上下左右の圧変化を認識する。図6の「装着部」は当事者の身体部位に図5の「接地パネル」(対象者との接触部)を接触させるための土台となる構造を有する。接触させる部位によっては部位を固定する三次元構造となる場合もある。また、「装着部」を別の形状の部位固定パネルに取り付ける場合もある。「縦方向圧力読み取り用ロードセル」と「横方向圧力読み取り用ロードセル」は「ロードセル固定パネル」によって「装着部」に固定される構造となっている。「接地パネル」に加えられた圧力は「圧力伝達棒」によって「縦横ロードセル結合部」に圧力を伝える。「縦横ロードセル結合部」は「縦方向圧力読み取り用ロードセル」と「横方向圧力読み取り用ロードセル」の2つのロードセルを結合しており、これによっ

て圧力は縦方向/横方向のそれぞれの「圧力読み取り用ロードセル」に伝えられる。ロードセルにはそれぞれ「ロードセルケーブル」が装着されており当事者の微小動作を電気信号に変換し、「ロードセル用ADコンバータ」に信号を送信している。「ロードセル用ADコンバータ」は入力された信号をデジタル信号へ変換する機能を有し、デジタル信号に変換された入力信号は「信号送信機用ケーブル」によって「信号送信機」に送られる。「信号送信機」は「入力結果通知部用ケーブル」もしくはBluetooth等の無線信号によって「入力結果通知部」にそれぞれのロードセルの圧力を送信する。「入力結果通知部」は入力された信号を使用し、視覚情報としての画面表示や聴覚情報としてのブザーまたは触覚情報としてのモーター稼働によって当事者の入力結果を介助者等に通知するデバイスである。「接地パネル」に加えられた圧力の方向が補助パネルの水平面に対し

て傾いている場合、縦用横用の2つのロードセルの圧力は垂直に圧力を加えた時と比較し異なる値となる。この垂直時と垂直に対して傾きがある場合との差を計算し、どれくらいの傾きをもって圧力をかけているかを割り出すことで圧力の入力方向を識別する。入力方向が識別できることにより、その方向や圧力の数値を複数種類の入力と判断させることで、カーソルの移動のようなアナログ入力的な処理や当事者の接触部を用いた書字による手書き文字入力の読み取りを可能とする機能を実現している。

#### 4. デバイスの動作詳細

本機は、ロードセル（Sparkfun Mini Load Cell-100g, Straight Bar「TAL221」）という力（重さ、トルク）を検出するセンサを用いて当事者が機器に触れている部分に対する微小な運動の入力方向を判定している。当事者が「接地パネル」の水平面に対して加えた圧力がどれだけ傾いているかを2つのロードセルを用いて計測する。ロードセルは2個以上設置してもよいが、ここでは2つのロードセルの場合で概要を説明する。使用しているロードセルは0～100g(圧力の測定範囲「0～0.98 N」)を使用している。精度は (mV/V):0.7+/-0.15, エラー :+/-0.05 F.S.である。M5Stack Fire Ver2.7を「信号送信機」として使用し、「ロードセル用 AD コンバータ」は M5Stack Fire 用重さユニット（HX711 チップ搭載）で24ビット A/D 変換を行い取得している。使用しているロードセルは正確な校正を行ったセンサではないが、本研究では当事者の接触させた部位の動作の変化を取得することが目的であり、測定荷重そのものに誤差があったとしても動作変化取得前と取得後の数値に同様に誤差が生じていると想定されるため、荷重の変化量取得には影響なしと判断している。本デバイスは荷重を計測するセンサの面を90度倒し、さらに2つのロードセルを水平面に対して異なる角度で連結し、その接点「縦横ロードセル結合部」にかかる圧力をそれぞれのロードセルの荷重として読み取っている。上下の縦方向の圧力を「縦方向圧力読み取り用ロードセル」が、左右の横方向の圧力を「横方向圧力読み取り用ロードセル」が主センサとなって計測する。本機は2023年6月に実用新案登録されて

いる（岡田, 2023）。

#### 5. PC による圧力方向識別方法

測定したロードセルの値は「ロードセル用 AD コンバータ」を経由し「信号送信機」内のプログラムにて電圧から荷重に変換される。単位は100mgであり、PCで受信した値が10であれば1gとなる。計測時の縦方向と横方向の取得値は1回の通信で同時にPCへ送信されるため、縦横の変化量は同時に演算される。またPC側での演算も縦横あわせて行われるため、上と右の圧変化が同時に発生した場合は、右上に対する圧変化であるというように、斜め方向の判定も可能となっている。

#### 6. 使用ソフトウェア

計測には以下の動作確認用ソフトウェアを使用した。

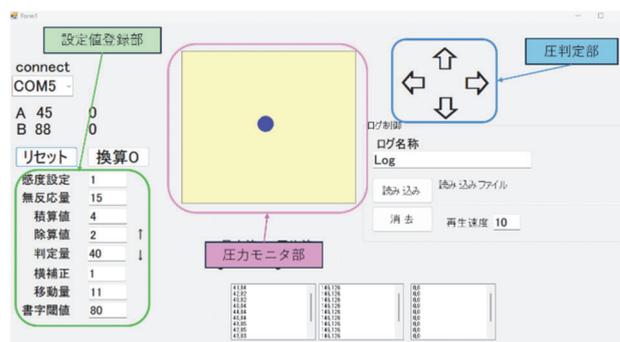


図7 リセット状態

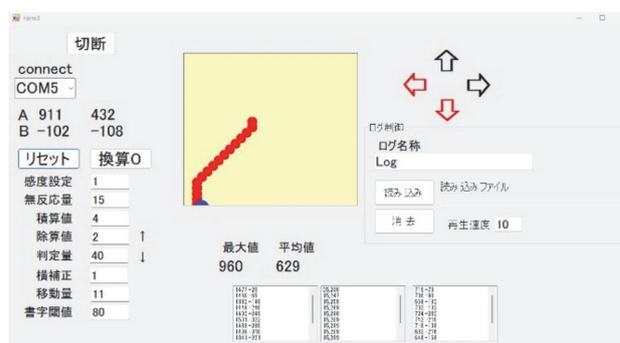


図8 左下に圧をかけた場合

基準の状態は図7の「リセット状態」(以下「①状態」)が基準状態となる。ソフトウェアを起動すると①状態となり、この状態でデバイスに対象者の微小動作部を接触させる。接触させるといずれかの方向に圧

力を検知するので、画面の「リセット」ボタンを押し接触状態の圧力をゼロ扱いとする。リセットされると①状態のように圧力モニタ部の青い●印が四角の中央に移動する。デバイスが圧力を検知すると検知した方向に●印が移動し検知方向を画面で視覚的に判断できるようになっている。図8は左下方向に圧を検知した状態である。また、このソフトウェアは●印が移動すると赤い●印として移動の軌跡を残す機能を持つ。図8では●印が左下に移動し左端に到達したため以後は下のみに移動し下端に位置している。圧判定部はその瞬間に発生している圧の方向を示す。圧が発生している方向の矢印が赤くなり圧発生方向として表示する。設定値登録部の「移動量」は方向を識別した際に識別方向に●印を1回計測当たりどれくらい移動させるかの設定値で単位はドットである。①状態では1回の判定で11ドット移動することを示している。設定値登録部の「書字閾値」はこの値が閾値以上の場合には書字動作時の線を描く移動動作として判断し、未満の場合は線を描かない移動と判断させることで書字を識別するための閾値である。書字閾値についてはセンサ取得値に方向判定用の演算を行った値に対しての閾値となるため、明確に単位は指定していないが取得値に対する閾値である。図8では圧発生時の値が書字閾値を超えていたため、移動の全てが軌跡となって画面に描画されているが、書字閾値を超えない場合は●印は軌跡を残さず移動するのみとなる。本ソフトウェアは、「PCへの入力値（センサの計測圧）」、「上下左右の圧力の演算結果」、「画面の●印の位置」、「書字閾値を超えているかどうか」についてログ出力（付録1）され、書字動作の解析に使用できるようになっている。

## IV. 方法

### 1. 研究期間

使用した機材は2023年3月に開発したものである。検証期間は2023年9月～2023年10月までで、実証試験に協力いただいた4名の方の結果報告である。

### 2. 対象者

本研究では、発話やジェスチャーなどの意思表示出が困難な閉じ込め症候群の当事者4名を対象とした。包含基準として、当事者から開発デバイスの使用感の主観的回答を得るために、指筆談によるコミュニケーションが可能な者とした。表1に、本研究の対象者の属性を示す。対象者はいずれもmodified Rankin Scale (mRS; van Swieten, 1988; 篠原, 2007)にて5であった。

### 3. 実証評価1 デバイスの操作感の確認

前述したデバイスとソフトウェアを使用し計測した。操作感の測定の事前に対象者に対してデバイスの操作方法について説明し、デバイス操作に慣れるための5分程度の操作習熟時間を設けた。対象者2名はPC画面を目視できるため、操作結果を確認しながら操作してもらった。他2名は視力低下のため、教示に従って左右方向のデバイス操作ができるかを確認した。操作結果の確認は、左右方向にデバイスを操作した際に、センサ取得値が正しく左右入力の状態に変化することを操作者の目視や操作結果を口頭で伝えることで確認してもらった。その後、左右各1回の合計2回を能動的に操作するデバイス操作実験を実施し、教示通りにデバイスを操作できるか検証した。加えて、指筆談によってデバイスの操作感の回答を得た。当事者は閉じ込め状態によって通

表1 対象者の属性

対象者	年齢	性別	傷病名	視力	拘縮	不随意運動	mRS
A	70代	男性	パーキンソン病	弱	無し	無し	5
B	40代	男性	遷延性意識障害	弱	無し	無し	5
C	30代	女性	遷延性意識障害	問題なし	有り	無し	5
D	40代	男性	重度交通外傷	問題なし	無し	有り	5

常の意思表出が困難であるため、デバイスの操作ログの解析に加え、指筆談の技能を有する実験協力者に意思疎通を依頼し、デバイスの使用感、操作性や改良点などを確認した。本研究で問題としている通り指筆談では第三者の技能者が間に入り回答を行うことになるため、客観性の担保は難しくなるが、当事者との意思疎通が指筆談でしか行えないため、指筆談での意思表出結果で確認せざるをえなかった。指筆談技能者には1文字読み取るごとに1文字発話してもらおうなど、少しでも妥当性を高める対応してもらったが、当事者の回答は客観性が完全に担保できているわけではないということを初めに断っておく。

#### 4. 実証評価2 書字動作の計測

実証評価1で左右操作可能となった対象者に対して、書字動作の計測実験を実施した。書字動作が取得できるかの検証として、ひらがなの「し」「つ」を指筆談時と同様にデバイスを用いて能動的に書字する操作実験を実施した。対象者は指筆談時に「ひらがな」で意思を伝えているため、検証時も同様にひらがなでの書字とした。また、「し」は上下方向、「つ」は左右方向の操作を計測できるか検証するために選定した。書字動作時の計測ログからどのような圧変化が生じたかを確認し、指筆談時の書字操作の動きをデバイスで取得できたかを確認した。まず、圧力読み取りパネルに当事者の微小動作可能部位を接触させ、その状態で計測した荷重をリセット処置し、●が中央にある状態から操作してもらった。ただし、生じる圧力量は対象者ごとに異なるため、PC画面上での判定を容易にするためセンサ感度などの演算値は対象者に応じて調整した。よって、発生した圧力の量は設定感度によって補正されるため対象者間比較が難しい。そのため本報告では取得した発生圧の方向変化を解析対象とした。本評価では指筆談技能者による回答ではなく、デバイスのみによる書字文字の書き分けの確認であるため、書字文字による意思表出は客観性が担保された回答である。

## V. 実証評価の結果

### 1. 実証評価1：デバイスの操作感

デバイス操作実験の結果、4名全員が対象者の能動的操作のみでデバイスを動作させることが可能であった。図9に、左右方向の移動操作に関する操作感について指筆談により確認した結果を示す。ただし、前述の通り指筆談での意思疎通については客観的証明が困難であることから、本操作感の報告は参考としての報告とする。「意図したとおりに操作できましたか?」という質問に対して、4名全員から「とてもかるくそうさできた」等の操作に問題ない旨の回答を得た。また、3名から「おもったとおりそうさすることができた、いしそつうにつかえそうだ」等の意思疎通に有効である旨の回答を得た。一方、指筆談時の書字動作と比較し、4名全員が左右方向の移動操作に時間を要していた。また、1名において意図の通りに動作させることは可能であるものの、動作の初動に時間を要した。

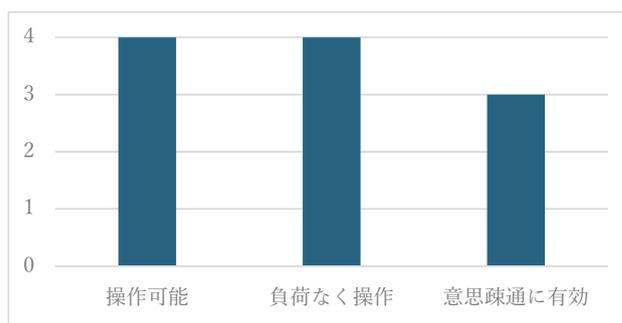


図9 操作感の主観評価

操作が可能である : 4人 (100%)  
 負荷なく操作することができた : 4人 (100%)  
 意思疎通に有効である : 3人 (75%)

### 2. 実証評価2の結果

図10～12に「し」、図13～15に「つ」の書字時に取得した、書字の軌跡を示す。始点は画面中央、終点は青丸、書字の軌跡を赤色で示す。書字時の圧変化を取得するデバイスの数値データから、どのように書字が行われたか軌跡を可視化したものである。対象者Dについては後述する数値解析にて書字操作不能と判断したため、以下の軌跡表示の対象か

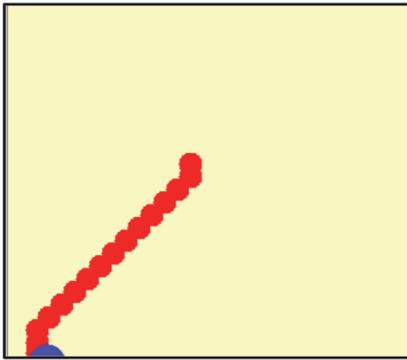


図 10 対象者 A 「し」

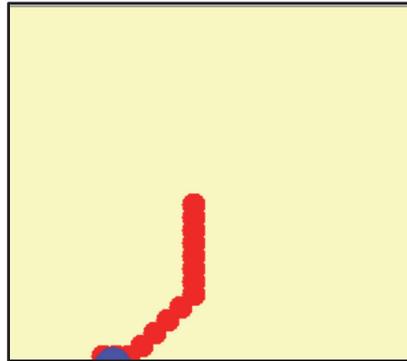


図 11 対象者 B 「し」

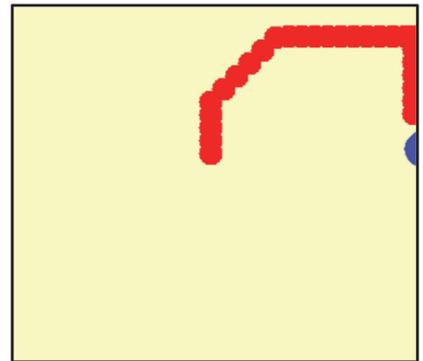


図 12 対象者 C 「し」

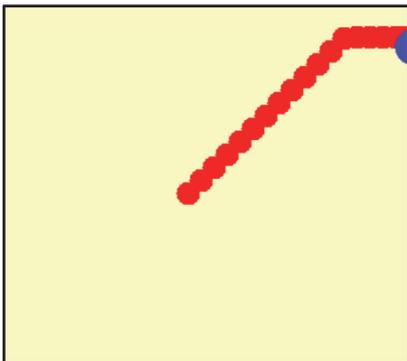


図 13 対象者 A 「つ」

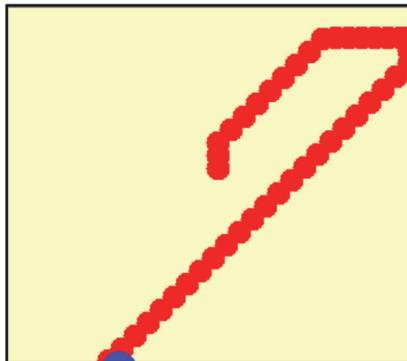


図 14 対象者 B 「つ」

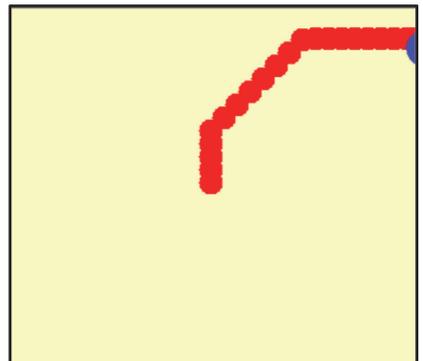


図 15 対象者 C 「つ」

らは除外している。

書字圧の取得結果の通り，対象 3 名ともデバイスの操作はできているが，書字の可視化結果については差が発生した。

(1) 対象者 A

「し」が斜めになるなど正確なひらがなには見えないが，「し」「つ」の書き分けができており，デバイスも書字の差を取得できている。(図 10, 図 13)

(2) 対象者 B

「つ」の折り返しのほうが長くなるなど正確なひらがなには見えないが，「し」「つ」の書き分けができており，デバイスも書字の差を取得できている。(図 11, 図 14)

(3) 対象者 C

「し」「つ」ともに同様の軌跡となっている。書き分けの差が小さく，識別困難である。(図 12, 図 15)

図 16～19 に「し」，図 20～23 に「つ」の書字時に取得した圧変化の A Cal と B Cal の生データを示す。

X 軸は書字動作時の時間経過を示している。1 の変化で約 0.1 秒，50 であれば約 5 秒の書字時間となる。対象者や文字によって書字完了までの時間は異なっている。Y 軸は発生した圧力値の変化を示している。個人によってソフトウェアの感度設定が異なるため圧力値は参考としない。本評価では圧方向の変化となる方向変化（符号の変化）に着目する。黄色線は Y 軸の 0 位置を示している。オレンジ線は縦方向の演算結果の値（- 値で下，+ 値で上方向の圧力）を示している。青色線は横方向の演算結果の値（- 値で左，+ 値で右方向の圧力）を示している。同図は，複数回の試行の中から最も安定した書字動作の計測ログである。操作可能だった 3 名については「し」については主に左下，「つ」については主に右上の圧力変化をデバイスが計測している。また 1 文字の書字に要した時間は 2～5 秒であった。指筆談時の書字時間は「し」「つ」のような 1 画の文字であれば約 1 秒であることから，指筆談時の書字と比較して時間を要した。以下に，各対象者の書字動作の可視化結果の特徴を示す。

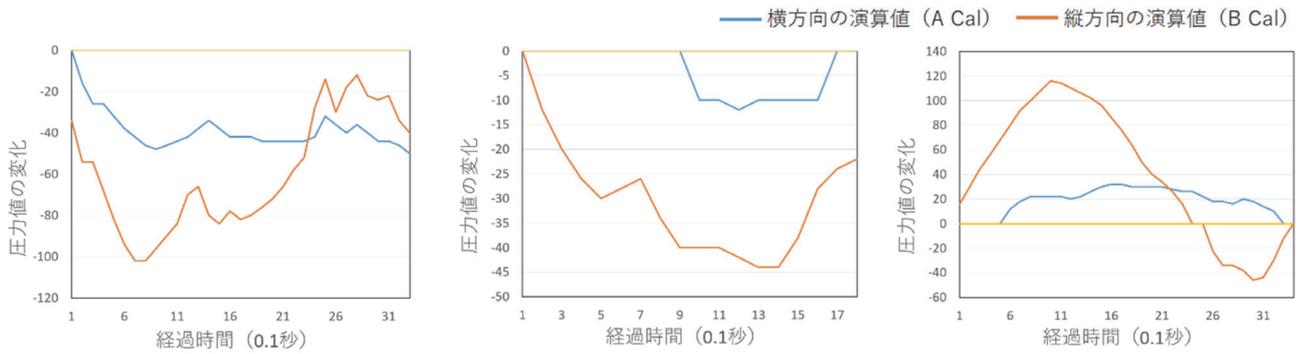


図 16 対象者 A 「し」

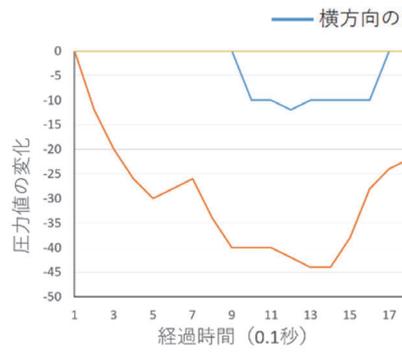


図 17 対象者 B 「し」

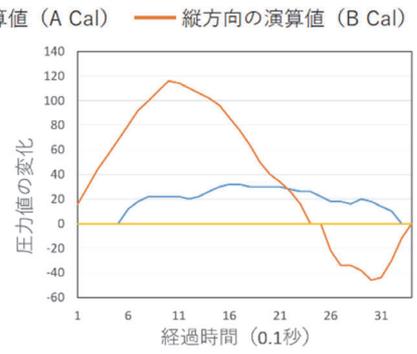


図 18 対象者 C 「し」

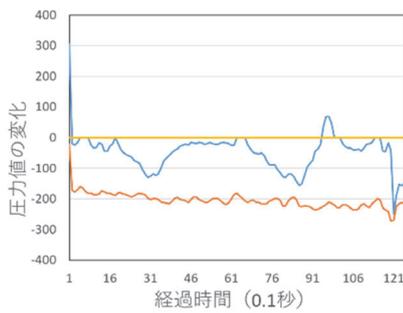


図 19 対象者 D 「し」

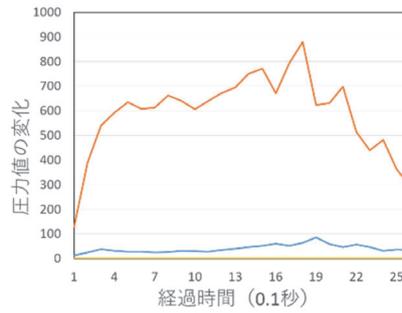


図 20 対象者 A 「つ」

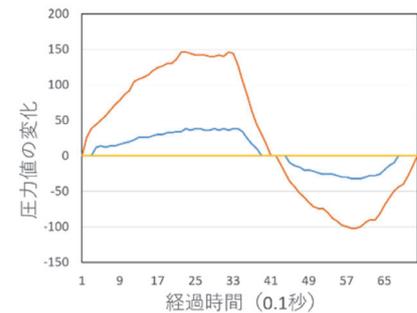


図 21 対象者 B 「つ」

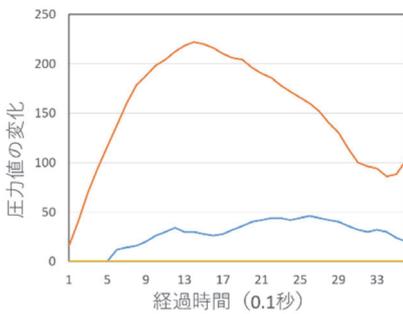


図 22 対象者 C 「つ」

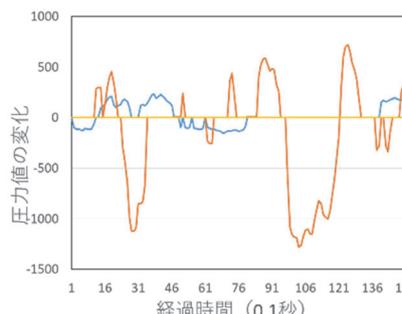


図 23 対象者 D 「つ」

(1) 対象者 A

オレンジの縦方向圧変化で圧変化が短時間に小刻みに上下している箇所があり、書字時に指先に震えが出ていると想定される。(図 16, 図 20)

(2) 対象者 B

指先に震えなどは生じておらず、「し」の書字時の後半で横移動が発生しており「し」の折り返し部分の書字を行ったと想定される。「つ」の書字時にも右上に圧を発生させたあと後半で左下の圧力変化が起きており、後半の左下の書字時間の方が短く「つ」の折り返し部分の書字を行ったと想定される。よって、最も「かな」の書字に近い圧変化を発生させている。(図 17, 図 21)

(3) 対象者 C

上下の圧変化もとらえているが、他の当事者ほど大きく操作できていない。拘縮の有無が影響しているかは追加検証の必要があるが、左右は操作できるが上下操作が難しかったと想定される。(図 18, 図 22)

(4) 対象者 D

実証評価 1 の左右操作は問題なく行えたが、書字操作ではデバイスでの圧計測自体はできているが、圧変化のどの部分が書字した圧変化なのか判断できない状態になった。操作時に筋緊張が発生し書字操作が行えなかったためである。(図 19, 図 23)

## VI. 考察

閉じ込め症候群の当事者を対象に、開発デバイスの操作実験を実施した結果、3名が操作可能であった。以上の結果から、対象者は書字時に部位の移動はないが、書字方向に対して圧変化を発生させることが可能であり、それらの身体活動を接触圧センサを用いてセンシングすることで書字動作を可視化できることを確認した。また、0.02～0.09Nの荷重変化は発生させることができているが、当初の想定通り接地点を移動させることはできないということが確認できた。デバイスに対して対象者が独力で接地・離地することが不可能であったことから、対象者の有する書字動作の能力は目視できるほどの身体活動ではなく、接地面への荷重方向を変化させるのみの微小運動であると推察される。こうした身体活動をセンシングし、デバイス制御に応用することで閉じ込め症候群のコミュニケーション支援に応用可能と考えられる。また、対象者からデバイスを操作しにくいという意見は無かった。これは対象者の運動機能に応じてデバイスの感度を調整したことが影響していると考えられる。

操作可能であった3人全員が同じ感度で書字動作時に負担なく操作できる圧力変化は、確認結果から0.05N程度であると想定できる。また、指筆談と比較してデバイスの方が書字認識に時間を要した。これは、指筆談では瞬間的に接触圧を加えれば技能者が圧方向を読み取れるが、デバイスの場合は瞬間的な圧変化だけでは書字として認識できないためだと考える。センサが書字方向を読み取り、その方向へ書字の軌跡を発生させるためには、圧を一定時間加え続ける必要がある。こうした要因が書字時間の差として表れたと推察される。左右移動は問題なく行える対象者であっても書字動作を依頼すると書字が難しい場合もあったことから、対象者の接地点の選択時に上下左右の圧変化を発生させやすい接地点にするなどの工夫も必要になると考えられる。

以下、デバイスでの検証で指筆談時の対象者の書字動作について確認できた項目をまとめる。

(1) 対象者は書字動作時に介助者の接地させた部位に対して水平方向に0.02～0.09Nの圧力変化を生じ

させている。

(2) 対象者の身体は移動が可能なレベルで動作していないため、書字動作させる部位を介助者の身体に確実に接触させておく必要がある。

(3) 対象者の圧変化を生じさせる力は0.05N以下が良いと想定されるため、介助者は対象者の接地点に対して必要以上の負荷をかけ接触させる等の抵抗がないようにする必要がある。

また、実証試験の結果、以下のような課題があることが分かった。はじめに、対象者A、Bと対象者Cの書字の軌跡の違いから、拘縮が起きている対象者はデバイスの操作は可能であるが、書字の動作は難しいことが分かる。操作そのものは行えていることからデバイスの感度等に問題はないが、書字のような意図した方向への確実な操作には課題があることが分かった。これについてはデバイスの接触面の形状を考慮するなど、拘縮の状態に合わせたデバイスを開発する必要があると考える。

次に対象者Dの操作結果から、筋緊張が発生した場合は本デバイスの操作は難しかった。微細な圧変化を計測するため高感度のセンサを搭載しており、目視できるレベルの筋緊張が発生すると容易にセンサ感度の限界値となってしまう入力方向の判定ができなくなる。センサ感度を柔軟に変化させることは現状のデバイスでは困難であるため、複数の感度を持つセンサを搭載し柔軟に切り替えるなどの技術開発が必要である。

さらに意図しない身体動作等でセンサパネルから接触面が離れると即操作できなくなるため、接触面の状態を常に監視する必要があった。安定した操作のためには書字操作中は同じ状態でセンサパネルに対象者の手等を接触させ続けることが必要となるためである。拘縮の無い対象者については比較的容易であるが、拘縮を伴う対象者については意図せずセンサパネルから接触面が離れることがあったため、接触方法の変更などデバイスの形状そのものを変更する必要も出てくると想定される。センサの感度としては現状で問題ないと判断できるが、形状等で以下のような課題があった。縦横ロードセル結合部でロードセルの固定角度を正確に作成する必要がある。試作時に複数台開発したが作成する都度角度が

微妙に異なることとなり、そのデバイス専用の処理演算補正式を持ったプログラムを用意する必要があった。また試作機のセンサ結合部の固定は接着剤だったが、接着剤が硬化後にやや軟質であったため測定値のずれにつながる場合があった。より硬質な固定ができるようにしておいた方が良いと考える。圧力伝達棒は「てこ」の原理で対象者の動作を計測するのが良いと考えられるため、ある程度の長がある方が良いと思われるが、最適長さについては今後検討していくこととする。対象者は圧の変化を発生させることができているが0.02～0.09Nレベルの微小荷重であり、その荷重を維持し続けたりすることは困難と考えられるため、ソフトウェアの入力として荷重の大きさを変化方向の移動量として使用するよりも、方向のみの判定として使用する方が精度の向上に繋がると考えられる。よって、デバイスの初期版では荷重の大きさを移動量としていたが、現行型では荷重は入力方向の判定にのみ使用しており、移動量はその方向の入力時間の長さで処理するように改良している。書字時の軌跡表示に関しては圧変化が「かな」に近い変化を計測しているが画面の制約で「かな」に見えない表示になっている場合があったため、圧変化をどのように表示させるかの改良が必要になる。

最後に本デバイスの精度向上を行う場合はセンサ精度向上にともなう開発コストの増加も発生する。360度全方向の圧変化を読み取るためのセンサは高頻度のメンテナンスを必要とすることから今後改良を行っても本デバイスを当事者へ提供し意思疎通支援のデバイスとして現場で使用することは難しいと考えられる。センサの読み取り部位に常に当事者が触れているのかの監視や、接触させた圧力が強くないかなどの調整等、本デバイスの形状ではデバイス自体の操作が難しいことも確認できた。当事者とデバイスの接触方法の変更、接触確認の不要化などのデバイス使用者の負担軽減、左右のみ操作可能な当事者であっても意思疎通装置として使用できるなどの対象者の適用範囲向上、提供時のコスト低減などを考慮した現場で使用できる装置としての改良も必要であると考えられる。意思疎通に必要な時間や自由度は方向入力での文字選択よりも書字認識の方が

高いと考えられるが、デバイス改良による書字認識の完成にはある程度の時間を要することになる。そのため、引き続き書字認識の精度向上を検討しつつ、低コストで使用方法が容易な現場で使えるデバイスの開発を並行して進めていく。

## VII. 結論

閉じ込め症候群の当事者のコミュニケーション支援目的として、指筆談時の書字動作を可視化するデバイスを開発した。デバイス試用の実証実験により、接触圧変化を可視化することができた。本デバイスを用いることで、指筆談の技能者によるコミュニケーション支援が必要な当事者の意思疎通を援助できる可能性が示唆された。研究時のデバイスで書字された文字の違いを識別できているが、書字された「かな」の認識には至らなかった。「かな」の認識にはデバイスの改良を含めた再検証が必要であると考えられるが、書字文字の違いを圧変化によって識別できるという一定の有効性は確認できた。今後デバイス使用に要する時間の短縮化、および書字操作の読み取り精度を向上させ、実用的な書字動作の可視化デバイスへと改良していく。

## 引用文献

- 大塚 美奈子 (2022). 知的障害児 (者) の筆談援助法による表出言語に関する一考察. 上田女子短期大学紀要, 45, 97-108.
- Masuo, A., Sakuma, T., Kato, S. (2023). Discriminating Brain Activation State in a Patient with Duchenne Muscular Dystrophy Using Near-Infrared Spectroscopy for Communication: An Exploratory Case Study, *Asian Journal of Occupational Therapy*, 19 (1), 55-62.
- 柴田 保之 (2014). 遷延性意識障害を有する中途障害者に対するコミュニケーションの援助. 國學院大學人間開発学研究, (6), 11-28.
- van Swieten, J.C., Koudstaal, P.J., Visser, M.C., Schouten, H.J., van Gijn, J. (1988). Interobserver agreement for the assessment of handicap in stroke patients. *Stroke*, 19 (5), 604-607.
- 篠原 幸人・峰松 一夫・天野 隆弘・大橋 靖雄 (2007). modified Rankin Scale の信頼性に関する研究 ー日本

語版判定基準書および問診票の紹介一. 脳卒中, 29 (1), 6-13.

山西 俊介・田中 宏知・宮本 宏人・巽 祥太郎・甲村 英二 (2019). 症例 外傷性原発性脳幹部損傷により閉じ込め症候群を呈した1例. *Neurological Surgery*, 47 (12), 1255-1259.

吉村 奈津江・板倉 直明 (2008). Transient型 VEP を用いた脳波入力インタフェースの研究. *生体医工学*, 46 (2), 202-211.

岡田 浩・高木 久美子・増尾 明 (2023). 指筆談時書字動作を可視化するデバイスの開発, 対人援助学会 第15回年次大会, ポスターセッション No.1.

岡田 浩・高木 久美子 (2023). 圧入力方向識別式 意思疎通支援装置, 実用新案実登 3242642.

ロードセル製品仕様 <https://cdn.sparkfun.com/assets/9/9/a/f/3/TAL221.pdf> (2025年2月25日検索)

M5Stack Fire 製品仕様 [https://docs.m5stack.com/en/core/fire\\_v2.7](https://docs.m5stack.com/en/core/fire_v2.7) (2025年2月25日検索)

M5Stack Fire用重さユニット製品仕様 <https://docs.m5stack.com/en/unit/Unit-Weight%20I2C> (2025年2月25日検索)

(2024. 5. 14 受稿) (2025. 4. 27 受理)  
(ホームページ掲載 2025年5月)

## 付録

### 付録1 デバイス操作ログ

Time	A Dat	B Dat	A Cal	B Cal	MAX	ABS	Sum	Hor	Val	WrtFlg
11:27:51	-2	26	0	0	0	0	0	157	148	0-
11:27:51	1	51	0	22	22	22	22	157	148	1上
11:27:51	9	81	0	38	38	30	38	157	137	1上
11:27:51	27	102	12	48	60	40	60	157	126	1左上
11:27:51	35	121	16	58	74	48	74	168	115	1左上
11:27:51	42	138	20	66	86	55	86	179	104	1左上
11:27:51	39	147	18	70	88	60	88	190	93	1左上
11:27:51	20	128	10	62	88	61	72	201	82	1左上
11:27:51	19	115	0	54	88	60	54	212	71	1上
11:27:51	28	119	14	56	88	61	70	212	60	1左上
11:27:51	36	127	18	60	88	62	78	223	49	1左上
11:27:52	41	143	20	68	88	64	88	234	38	1左上
11:27:52	48	163	24	78	102	67	102	245	27	1左上
11:27:52	57	171	28	82	110	70	110	256	16	1左上
11:27:52	59	175	28	84	112	73	112	267	15	1左上
11:27:52	59	186	28	90	118	76	118	278	15	1左上
11:27:52	62	212	30	104	134	79	134	289	15	1左上
11:27:52	73	225	36	110	146	82	146	300	15	1左上
11:27:52	78	239	38	116	154	86	154	311	15	1左上
11:27:52	81	262	40	128	168	90	168	322	15	1左上
11:27:52	85	309	42	152	194	95	194	329	15	1左上
11:27:52	87	359	42	176	218	100	218	329	15	1左上
11:27:52	85	403	42	198	240	106	240	329	15	1左上

付図1 操作ログ例

操作ログの取得データは以下のようになっている。

先頭行は取得時の各パラメータの値

2行目以下は

Time : 計測時の時間 (時:分:秒)

A Dat : 横方向圧力読み取り用ロードセルの取得値 (演算無し)

B Dat : 縦方向圧力読み取り用ロードセルの取得値 (演算無し)

A Cal : 横方向の演算結果 (取得感度等による演算式の計算結果)

B Cal : 縦方向の演算結果 (取得感度等による演算式の計算結果)

MAX : A Cal と B Cal の, 全取得期間中の演算結果の最大値

ABS : A Cal と B Cal の, 全取得期間中の演算結果の平均値

Hor : X 軸方向の●印の演算位置

Val : Y 軸方向の●印の演算位置

WrtFlg : 描画フラグ

(0 : 軌跡を描画していない, 1 : 軌跡を描画している)

枠外 : ●の前回位置からの移動方向

(上下左右の8方向,「-」は移動していない)