

相談事例に基づいた肢体不自由者向け操作スイッチ用汎用制御回路の設計

渡辺 崇史

日本福祉大学 福祉テクノロジーセンター

Design of Versatile Circuit for Operating Switches Based on Cases for Persons with Physical Disabilities

Takashi Watanabe

Center of Assistive Technology, Nihon Fukushi University

Abstract

When persons with physical disabilities operate a communications aid, a personal computer, an environmental control system, a remote-control device, and a toy, etc. with operating switches, the input or output signals to these equipments and devices are often needed to be controlled to enable the operation which adapts user's needs, place, and disabilities, etc. The purpose of this paper is to organize the needed control circuits and propose specifications to design versatile control circuit. For the purpose of my study, this paper presented 27 cases of using various control circuits. As a result, it was found to indicate the relation between various control circuits and physical disabilities and to determine the range of set time for control circuits.

Keywords: 肢体不自由, インタフェース, 入出力信号制御, 操作スイッチ, アシスティブテクノロジー

1. はじめに

1.1 研究の背景

肢体不自由の障害がある人が、スイッチやセンサー等を操作手段として各種コミュニケーション機器、呼び出し装置、環境制御装置、パソコンをはじめ、活動を拡大するための電化製品やおもちゃ等を操作する場合、利用者はもちろん、家族や支援者との相談により利用目的を確認する。そして、どの身体部位で、どのような動作により操作するかといった身体機能的側面と利用場所・時間等の環境的側面等についてよく検討した上で、個別のスイッチの適合を行なう¹⁻³⁾。

実際の相談場面では、操作スイッチのみの適合支援

だけでは利用ニーズに対応できない場合がある。例えば、筋力または関節可動域の減少や不随意運動が顕著に見られる場合、利用環境における何らかの変化の影響が大きい場合(例:ベッド上でのエアマットレスの空気圧変化、介助による体位変換等)は、スイッチ操作の確実性の低下が考えられるため、利用者のスイッチ操作に不感帯を設けることがある。不感帯は、一般的に操作スイッチと操作対象機器との間に遅延回路を設けて、反応遅れ時間を持たせるという方法で作られる⁴⁾。市販品では、スイッチマン⁵⁾等が対応できる。その他、複数の機器操作を行ないたい場合や、機器を用いて各種活動への参加を創出するために、スイッチ

パートナー⁶⁾や、ラッチ&タイマー⁷⁾等の市販のスイッチ用周辺機器が利用される。

これらの商品はそれぞれに特長を持っている反面、適用範囲がおのずと限定されてしまうことがある。そのため実際の導入場面では、より個別性の高い適合支援を行なうために、個々の利用ニーズに応じた制御回路を製作して対応する必要がしばしばある。この問題に対応するため、民生用のシーケンサー(プログラマブルコントローラ)を用いたり⁸⁾、操作スイッチ自身に制御回路を組み込んだりする対応もなされ⁹⁾、その有効性と必要性が報告されている。

しかし、個別対応の制御回路の適用は、工学的知識を持つ支援者に限定されてしまうし、さらに個別製作を必要とする場合には、構想設計や試作に時間がとられてしまい、利用者への提供を遅らせ、導入タイミングを逸してしまうこともある。この点は、進行性の障害を持つ利用者の生活や、障害を持つ学齢児の教育活動や生活体験にとって、大きな機会損失となってしまう。

スイッチの適合支援は、操作スイッチの選定と機器操作のための入出力信号制御の方法を含めて行なわれるべきであるが、そのためには相談に関わる支援者に工学的知識があまりなくても汎用的に利用でき、かつ、安価な入出力信号制御ができる操作スイッチ用周辺機器が必要とされている。

1.2 研究の目的

本研究は、個別性の高い数々のスイッチ適合支援の相談に対応し、より容易で汎用的に利用できる入出力制御回路を備えたスイッチ用周辺機器の開発を実現するためのものである。入出力制御回路とは、利用者のスイッチ操作から確実な入力信号が得られ、かつ、操作対象機器へ適切な信号が出力できるようにする信号制御回路である。

本論では、第2章に筆者が対応したスイッチ適合支援において入出力制御回路を導入した相談事例を検証し、必要とされる制御回路の種類とその設定範囲を明らかにした。第3章では、汎用的な入出力制御回路の仕様設計を示し、第4章では、この仕様をもとにしてスイッチ用周辺機器として扱えるために試作した汎用制御回路について述べた。最後に、まとめと今後の課題について述べた。

2. 相談事例研究

2.1 相談対応の結果

2001年3月～2005年2月の期間に機器操作を目的とした操作スイッチ適合相談に対応した事例のうち、何らかの制御回路を適用した27事例について検証した。利用者の障害または疾患名を表1に示し、操作スイッチと入出力制御回路を導入した目的の操作を表2に示す¹⁰⁾。導入した制御回路は、利用者の身体状況、利用環境、福祉制度における給付助成の利用可否等を考慮して、市販シーケンサーのプログラミングによる回路の作成、電磁リレー等利用による回路製作、PICマイコン利用して製作した制御基板¹¹⁾等を用いて対応した。

表1 制御回路を適用した利用者の障害・疾患名

障害・疾患	事例数
脳性麻痺	9
ALS(筋萎縮性側索硬化症)	9
ウェルドニッヒホフマン病	2
脊髄小脳変性症	2
頸髄損傷	2
疾病や頭部外傷による後遺症	2
脊髄空洞症	1

表2 制御回路を適用した目的の操作

目的の操作	事例数
意思伝達装置やVOCAの操作	6
異なる操作機器の切替操作	6
PCマウス、トラックボール等の操作	4
在宅用呼び出し装置の操作	4
テレビ、AV機器用リモコンの操作	4
学習および就労用機器の操作	3

表2において、“意思伝達装置やVOCA(音声出力会話補助装置)の操作”とは、伝の心(日立ケーイーシステムズ)¹²⁾、オペレートナビ(NEC)¹³⁾、レッツチャット(ファンコム)¹⁴⁾といった、走査(スキヤン)入力式の機器の操作である。“異なる操作機器の切替操作”とは、2種類の機器を1つのスイッチで利用者本人の操作で適宜使い分けることを可能にするために制御回路を用いた。また、“PCマウス、トラックボール等の操作”、“テレビ、AV機器用リモコンの操作”および“学習および就労用機器の操作”では、これらの機器にスイッチや制御回路が接続できるよう

に改造したり、スイッチや操作対象機器自身の製作を行なったりした。

2.2 適用した制御回路群

相談 27 事例に対して適用した制御回路は、入出力制御回路群(表 3)、切替制御回路群(表 4)、および外部リセット制御回路群(表 5)の 3 つの制御回路群に分けることができた。それぞれの表には、障害・疾患名別に適用したスイッチ・センサーと、これらを操作する身体部位についても明記した。また、表中のフィードバックとは、スイッチ操作者または周囲の者に操作したことや信号が出力されたことを視聴覚的にわかるようにするために必要に応じて付加装備したものである。フィードバックは特に利用者の視野外でスイッチ操作をする場合には必要となる^{2),4)}。

(1) 入出力制御回路群(表 3)

遅延回路とは、あらかじめ設定した時間以上継続してスイッチ操作がされたら、入力信号として認識されるようにした回路である。その適用目的は、主として不随意運動や協調運動障害等を持つ利用者のための誤操作防止と、筋力低下、関節可動域制限等による身体の微小動作や、瞬きや呼気等の不随意的な動きも示す部位をスイッチ操作手段として検出する場合に起こる誤動作防止である。本論に述べる誤操作とは、利用者の意思に反した身体の動作や認知できない知覚による操作の誤りとし、誤動作とは、何らかの外乱や本人が意図しない時にスイッチ操作がされて、機器が動作してしまうという誤りを示すものとした。遅延回路における遅延時間設定値は、遅延時間が必要なかった事例(0sに設定と同意味)を除けば、0.2～1.0sの範囲であった。

ラッチ回路とは、利用者のスイッチ操作時間に関係なく、一度スイッチ操作がされて入力信号として受け付けられると、次のスイッチ操作が行われるまで信号が出力され続ける回路である。適用目的は、不随意運動や筋緊張等による誤動作の防止である。特に、スイッチ操作を継続すること(例：押しボタンスイッチを押したままの状態を保持する)が困難な場合に有効であった。

ワンショット回路とは、利用者のスイッチ操作時間に関係なく、一度スイッチ操作がされて入力信号として受け付けられると、一定時間だけパルス信号が出力

される回路である。本相談事例での適用目的は、深部感覚麻痺による誤動作防止と、対象機器を適切に操作するためのものであった。前者は手の圧覚、上肢の位置覚の麻痺があり、押しボタンスイッチを押しているという状態の認知が困難であったため、MD プレーヤーのリモコンスイッチを押し続けてしまい、曲の頭出しができないという誤動作に対応するために適用した。後者は、ソレノイドを利用して楽器のタンバリンを叩いて音を出すという装置を製作した際に適用し、適切な打音を出すために 0.2～0.8s の範囲で出力時間を変えて行なった。ただし、最終的には両者とも出力時間は 0.4s であった。

(2) 切替制御回路群(表 4)

切替制御回路とは、通常は機器 A の操作スイッチとして利用されるが、操作スイッチからの信号があらかじめ設定された時間以上継続して入力されると、機器 B の操作スイッチとして切り替わるようにした回路である。同様に、機器 B が操作対象機器になっている状態にあっても、設定時間以上操作スイッチからの継続した入力信号があれば、機器 A が操作対象になる。つまり、操作スイッチからの入力信号継続時間によって出力先を切替えることのできるフリップフロップ回路である。表 4 には 4 事例を示したが、これらの切替設定時間の範囲は 1.0～2.0s であった。

(3) 外部リセット制御回路群(表 5)

外部リセット制御回路とは、操作スイッチからの信号があらかじめ設定された時間以上継続して入力されると、対象機器の操作が可能となる(スイッチ操作が有効となる)。そして、別に設けられた外部スイッチ等の入力信号により、初期状態にリセットされる(スイッチ操作が無効となる)という回路である。すなわち、自己保持回路である。本相談事例では、夜間や離れたところにいる介護者を呼ぶ等の呼び出し装置の操作に適用した。利用者がスイッチを設定時間以上操作し続けると、呼び出し装置が操作可能となり、何回でも呼び出しが可能となる。つまり、その呼び出しに気がついた介護者等が外部リセットスイッチを押さない限り、呼び出し装置の操作が行なえる状態を保つということである。この時の呼び出し装置のスイッチ操作は、自己保持させる際の設定時間にはもちろん関係しない。この制御回路での設定時間は、1.0～2.0s であった。

表3 相談事例から得られた制御回路群と設定値【その1】(入出力制御回路群)

障害・疾患名	適用した制御とその目的		フィードバック	適用したスイッチ, センサー	操作部位
	入力	出力			
脳性麻痺	遅延回路 設定値: 0~1.0s 目的: 不随意運動, 運動失調による誤操作防止	ラッチ回路 目的: 不随意運動, 運動失調, 筋緊張による誤操作防止	LED点灯 (出力時, ラッチ回路)	静電容量型タッチセンサー, PC用マウスクリックスイッチ, マイクロスイッチ, 押しボタンスイッチ	顎, 額, 手, 示指, 母指, 上肢, 下肢
ALS	遅延回路 設定値: 0.2~0.4s 目的: 微小動作による誤動作防止		LED点灯, ブザー音, リレー音 (出力時)	光ファイバーセンサー, 静電容量型タッチセンサー	母指, 示指, 中指
ウェルドニッヒ ホフマン病	遅延回路 設定値: 0~0.2s 目的: 微小動作による誤動作防止	ワンショット回路 設定値: 0.2~0.8s 目的: 対象機器を適切に操作するため	LED点灯, ブザー音 (出力時)	光ファイバーセンサー	母指
脊髄小脳変性症	遅延回路 設定値: 0.2~0.4s 目的: 運動失調による誤操作防止		リレー音 (出力時)	押しボタンスイッチ, 静電容量型タッチセンサー	手指, 母指
頸髄損傷	遅延回路 設定値: 0.4Sec 目的: 呼吸による誤動作防止			呼気スイッチ	呼気
脳疾病による 後遺症	遅延回路 設定値: 0.5s 目的: 協調動作障害による誤操作防止, 視覚障害による誤動作防止	ワンショット回路 設定値: 0.4s 目的: 深部感覚麻痺による誤操作防止	ブザー音 (出力時)	押しボタンスイッチ	手指
頭部外傷による 後遺症	遅延回路 設定値: 0.2s 目的: 不随意運動による誤操作防止, 微小動作による誤動作防止		リレー音 (出力時)	静電容量型タッチセンサー	顎

表4 相談事例から得られた制御回路群と設定値【その2】(切替制御回路群)

障害・疾患名	目的とした機器操作	フィードバック	適用したスイッチ,センサー	操作部位
ALS	パソコンと呼び出し装置操作との切替 設定値: 1.2~1.6s	LED 点灯 (出力切替時)	光ファイバーセンサー, 静電容量型タッチセンサー	口角, 頭部, 顎
	パソコンと本ページめくり機 操作との切替 設定値: 1.0s		押しボタンスイッチ	手指
頸髄損傷	パソコンと走査式電話機との切替 設定値: 1.0s		静電容量型タッチセンサー	頭部
脊髄空洞症	パソコンと走査式電話機との切替 設定値: 2.0s		静電容量型タッチセンサー	口角

表5 相談事例から得られた制御回路群と設定値【その3】(外部リセット制御回路群)

障害・疾患名	目的とした機器操作	フィードバック	適用したスイッチ,センサー	操作部位
ALS	呼び出し装置の操作 設定値: 2.0s, 外部リセット	LED 点灯 (出力時)	静電容量型タッチセンサー	顎
	2種類の呼び出し装置の切替 設定値: 1.0s, 外部リセット	LED 点灯 (出力切替時)	空気圧式スイッチ	顎

以上述べたように 27 相談事例の結果より、操作スイッチにおける入出力制御は、遅延回路、ラッチ回路、ワンショット回路、フリップフロップ回路、自己保持回路が必要な制御回路であることがわかった。

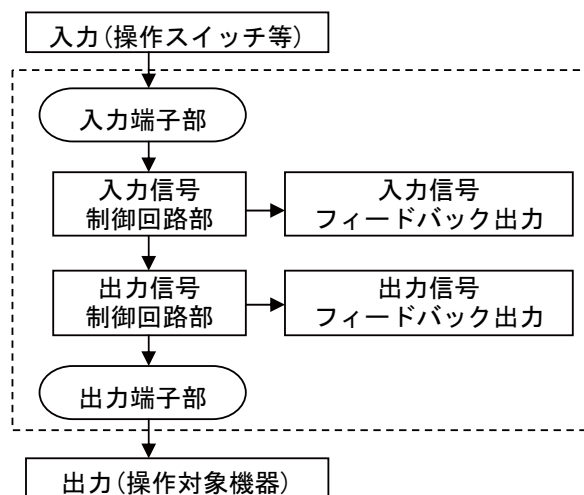


図1 試作した汎用制御回路のブロック図

3. 汎用制御回路の設計

入出力制御まで含めた操作スイッチの適合においては、第2章に述べた相談事例の結果より、汎用制御回路は図1に示す構造となる。このブロック図に従い、入出力制御回路部の仕様検討を行なった。

3.1 入力信号制御回路部

操作スイッチ等(SW)からの入力信号を受け付ける入力信号制御回路部に遅延回路を組み込み、可変可能な遅延時間設定タイマー(T1)を備える。T1の設定値の範囲は第2章2.2より0~1.0sとする。T1=0sとした時は、入力信号の遅延を行なわない。

3.2 出力信号制御回路部1

出力信号制御回路部には、ワンショット回路、ラッチ回路を組み込む。ただし、操作スイッチ等からの信号(入力信号制御回路部を経由した信号)は、立ち上がり時(入力信号がOFF→ON時)と、立下り時(入力信号がON→OFF時)が存在するため、この両方のタイミングで出力することが可能である。第2章2.1および表3で提示した相談事例では、立ち上がり時での出力による事例であったが、筋緊張の強い場合

または筋弛緩が顕著に見られる場合には、押しボタンスイッチから手を離すといった動作が困難になる場合があり、立下り出力が適切であることがスイッチ適合相談の経験から想定されるため、両方の出力パターンを用意することとする。

ワンショット回路の出力時間は第2章2.2より、0.4s(固定値)とする。操作対象機器等によっても異なるが100ms以上の時間であれば、十分にチャタリングによる機器の誤動作を防止することもできる。

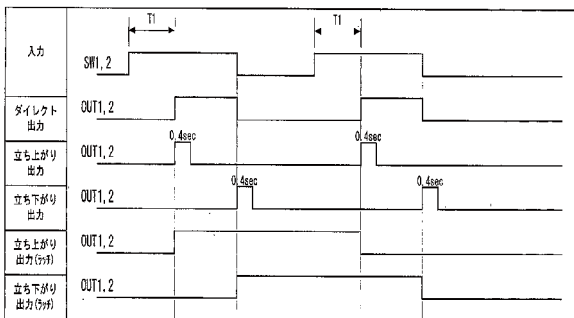


図2 入出力信号制御のタイムチャート

これらの入出力信号制御のタイムチャートを図2に示す。(注:図2中にはSW1の入力はOUT1に、SW2の入力はOUT2に出力されるように2系統の回路を示している)。また、出力制御を要しない場合のために、操作スイッチ等からの入力時間分だけ出力されるパターンを用意し、ダイレクト出力とした。

3.3 出力信号制御回路部2(出力先切替)

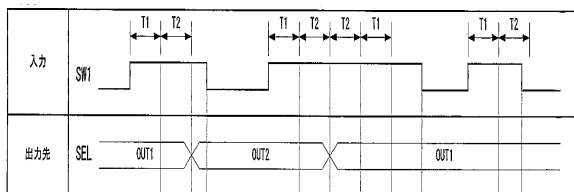


図3 フリップフロップ回路(出力先切替)のタイムチャート

フリップフロップ回路である出力先切替は、操作スイッチ等(SW1)からの入力継続時間が遅延時間設定タイマーの設定値T1経過後、出力先切替時間設定タイマーの設定値T2以上経過すると、出力先をOUT1からOUT2に切替えることができる。出力先OUT2からOUT1への切替えも同様である。この時のタイムチャートを図3に示す。

3.4 出力信号切替制御回路3(自己保持回路)

3.3で示した同様の操作によって操作スイッチ(SW1)の出力先がOUT1からOUT2に切替わるが、本制御回路に外部よりリセット信号が入力されない限り、出力先がOUT2に固定される。この時のリセット信号入力には、入力SW2を割り当てる。

4. 汎用制御回路の試作

制御回路の設計変更や追加、かつ、入手が容易であることから、PIC16F873A(Microchip Technology Inc.)¹⁵⁾を用いてプログラムによる制御回路を作製し、汎用制御基板を試作した。試作品の外観を図4に示し、図1に示した汎用制御回路の各部の仕様を下記に示す。

(1) 動作電源: DC 6V ~ 9V

利用場面は特定の固定した場所(ベッド上での利用等)だけでなく、移動時利用も含む特定されない場面(車いす上での利用等)および屋内外での使用等も想定されるため、ACアダプタ(DC 6V)または乾電池006P(DC 9V)のいずれでも接続可能なように、それぞれに電源端子を設けた。なお、同時接続された場合にはACアダプタ側からの電源供給が優先されるようにした。

(2) 入力端子部: 2入力(接点入力, SW1, SW2)

試作基板には3.5mmモノラルジャックと入力信号接続用ランドを設けたので、障害者向けとして市販されているスイッチ・センサー類の接続や、任意の接点信号の入力が可能である。SW1の入力はOUT1に、SW2の入力はOUT2に出力されるように独立した2系統の回路を備えた。ただし、入力端子SW2は、出力信号切替制御回路3(自己保持回路)選択時には外部リセット入力として使用する。

(3) 出力端子部: 2出力(接点出力1c, OUT1, OUT2)

出力部にはDC電磁リレー(接点容量2A,30VDC)を用いた。使用したリレーは1c接点としたため、スイッチ操作によって操作対象機器を動作または停止させること、いずれも行なうことができる。

(4) 入出力制御部

各種入出力制御回路は、基板上に配置したディップスイッチの切替えにより選択可能とした。遅延時間設定タイマー(T1)と出力先切替時間設定タイマー(T2)に必要な設定範囲は、第3章3.1, 3.2より、T1 = 0 ~ 1.0s, T2 = 1.0 ~ 2.0sであるが、本試作では、これらの設定範囲を含み、T1, T2とも0 ~ 3.0sの範囲でそれぞれ可変可

能とした。設定値は、基板上に配置したロータリースイッチにより、0.2s単位の16ステップでT1、T2とも変更可能とした。ただし、設定時間の範囲、ステップ単位時間ともマイコン内プログラムの変更により可能である。

(5) 入出力信号のフィードバック

入力信号フィードバック出力は、T1タイムアップ時(SW1 または SW2 からの入力信号受付時)とし、出力信号フィードバック出力は、出力用 DC リレー動作時または、T2タイムアップ時(OUT1 または OUT2 への出力先切り替わり時)とした。それぞれ LED の点灯、ブザーによる連続音または間欠音を発生させる。ブザー音色

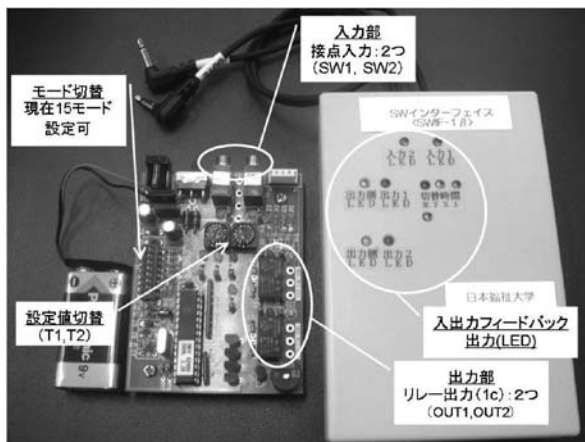


図4 試作した汎用制御回路の外観

(周波数)と間欠音のタイミング(パルス長)は、基板上のディップスイッチの切替により、変更可能とした。

また、T2タイムアップまでの待ち時間については、赤、黄、緑の3個のLEDを配置し、時間経過に従って赤→黄→緑と順に点灯するように設定した。点灯状態の変化によって利用者はスイッチ操作の見通し、すなわち状態のフィードバックが得られる。

5. まとめ・今後の課題

スイッチ適合相談事例に基づいて、必要とされる制御回路群とその設定値を求め、汎用的に利用することのできる操作スイッチ用制御基板開発のための設計仕様を決定し、実利用可能な汎用制御回路基板を試作した。

また本試作品は、工学的な知識を持つスイッチ適合相談の経験者であれば、制御回路の仕様書を用意することで、十分に活用できるものであると考えられる。

今後の課題として、本試作品を今後の相談に用いることによって、さらなるさまざまな障害状況や利用環境、利用ニーズに対応できるか、他にも制御回路群を用意す

る必要があるかどうか等について適用事例を増やしながらから評価を継続していきたい。

その一例として、本論では出力制御回路群のワンショット回路の出力設定時間を固定値(0.4s)としたが、この時間を可変にできるようにすることで、一定時間出力させるONタイマー制御回路を実装することが可能となる。

また、スイッチ適合相談の経験はあるが、あまり工学的知識がない支援者にとって、本試作品を十分に活用することはまだまだ難しいと考えられる。障害のある人への支援技術として本制御回路が広く利用されるためには、設定変更や入出力周辺機器との接続をさらに容易にする等のハード面の開発の追及はもちろん、有用で、かつ具体的な活用事例の情報提供やスイッチ適合時における制御回路導入マニュアル等のソフト面の開発がきわめて重要である。これらの点についても今後の課題として取組みたいと考えている。

参考文献

- 1) 畠山卓朗, 小島 操, 轟木敏秀, 春日正男: ナースコールにおける人間性の回復. 第12回ハ工学カンファレンス講演論文集, pp.297-300 (1997)
- 2) 東京都福祉機器総合センター編: 肢体不自由者のためのコミュニケーション機器. pp.18-21, 東京都福祉機器総合センター, 東京 (1999)
- 3) 松本琢磨: 操作スイッチのフィッティング. 電子情報技術を学ぶ (支援技術利用促進検討委員会編), pp.59-66 (2001)
- 4) 井手将文: 障害にあった操作スイッチの選択. ATACカンファレンス2000テキスト, pp.47-52 (2000)
- 5) <http://www.p-supply.co.jp/>, パシフィックサプライ(株)
- 6) <http://homepage3.nifty.com/tokuso/>, (株)徳永装置研究所
- 7) <http://www.ablenetinc.com/index.asp>, AbleNet Inc.
- 8) 寺師良輝, 河合俊宏: 入力装置に使える汎用制御機器. リハビリテーション・エンジニアリング, Vol. 14, No. 2, pp.53-56 (1999)
- 9) 寺師良輝, 松尾清美, 藤家 馨, 小林博光, 江原喜人: 2出力押しボタンスイッチの実現方法と試作. 労働者健康福祉機構総合せき損センター医用工学研究室

1998年研究報告書, pp.97-102 (1999)

- 10) 渡辺崇史: スイッチインタフェースの導入事例と制御回路の検討. 第20回リハ工学カンファレンス論文集, pp.300-301 (2005)
- 11) 渡辺崇史: PICマイコンを利用したスイッチインタフェースの試作. 第18回リハ工学カンファレンス論文集, pp.109-110 (2003)
- 12) <http://www.hke.jp/products/dennosin/denindex.htm>, (株)日立ケーイーシステムズ
- 13) <http://l21ware.com/software/openavi/>, 日本電気(株)
- 14) <http://www.funcom.co.jp/>, ファンコム(株)
- 15) <http://ww1.microchip.com>, Microchip Technology Inc.