

面を返すことにより機能を切り替える 多面体スイッチの基礎検討

有賀玲子^{†,a} 宮田章裕[†] 浦哲也[†]
定方徹[†] 佐藤隆[†] 小林稔[†]

本研究では、システムを操作するのが簡単で、操作を覚える必要がなく、生活シーンの中に馴染みやすい操作インタフェース「多面体スイッチ」を構築することを目的とする。多面体スイッチでは、システムに与えたい命令が文字や図で筐体にかかれた操作インタフェースを用いて、与えたい命令が表にくるように筐体の面を返すことで対象機器を操作する。システムがどのような状態にあるか明示的なので操作方法を覚える必要がないことと、様々な形状で実装が可能なので、機械らしさがなく生活の中に馴染みやすいことを特徴とする。本稿では、マグネット型の裏表スイッチと、キューブ型の多面体スイッチの提案と実装を行う。

Fundamental Study on Flip Type Switch

REIKO ARUGA^{†,a} AKIHIRO MIYATA[†] TETSUYA URA[†]
TORU SADAKATA[†] TAKASHI SATO[†] MINORU KOBAYASHI[†]

1. はじめに

近年の家電の高機能化に伴い、機器の操作インタフェースのボタンや画面遷移が増え、ユーザはシステムを導入するたびに使い方を覚える必要に迫られるようになった。複雑なコントローラを導入することは、ユーザに恐怖心を与える場合もあり[1], 操作インタフェースを単純化する必要がある。

機器操作の複雑さを解消するために、これまでも様々な方式が検討されてきた。生活環境で扱う機器の増加に伴うリモコンの増加の煩わしさを解消する方法としては、複数機器を制御可能な集約型リモコンが挙げられる。また、より直感的に機器をコントロールする方式には、画面に触れてジェスチャを行う操作インタフェースや、ルールに基づいたホームオートメーションがある。これらの操作インタフェースは、ユーザがいくつかの手順を踏むことにより機器の操作を可能としている。

一方で、介護などの高齢者が機器を扱う場面では、数個のハードウェアスイッチで構成される、非常にシンプルな操作インタフェースが広く導入されている。例えば、ボタン1つから成るリストバンド型呼び出しアラーム[2]や、動作の図が描かれたボタンから成るタイマーなどがある[3]。特に後者は、時間などの抽象概念を理解するための認知機能が低下した患者が、独立して生活を営むことを支援するために提案されたものである。これらのデバイスは、機能

が明確なボタンが最小限に配置され、ボタンを1つ押すだけで操作が完了する点で、非常に操作が単純であると言える。しかし、機器の操作インタフェースにおいて、このようにシンプルなもの少ない。本研究では、操作機能が明示的であり、1つのアクションで操作が完了する、誰にでも簡単に扱うことができるような機器の操作インタフェースを構築することを目的とする。

本稿で提案する操作インタフェース、多面体スイッチは、従来のボタンやディスプレイなどを持つ操作インタフェースとは異なり、多面体の筐体を持ち、各面には操作命令が自然言語や図で物理的に記載されている。操作にボタンやディスプレイを用いず、所望の操作命令が表になるように操作インタフェースを返すことで、操作を行う。ユーザから見て表である面に記載された操作命令が対象機器に送信されるので、機器の状態を示すためにディスプレイやLEDを用いる必要がない。オフィスや病院等で、裏と表で色が異なる、氏名のかかれたマグネットによって、スタッフの出勤と退勤の状況を明示的に示すマグネットボードを用いられることがある。現在の状態が記載された面を表に返して表示することは、誰にでも理解できる操作メタファであると考え、各面にシステムの状態が物理的に記載された操作インタフェースを考案した。

多面体スイッチには、以下のような特徴がある。

- システムの状態が常時提示されており、操作方法を覚える必要がない。
- 表示デバイスを用いず、様々な形状で実装可能なので、機械らしさがなく生活の中に馴染みやすい。

[†] NTT サービスエボリューション研究所
NTT Service Evolution Laboratories
(a) aruga.reiko@lab.ntt.co.jp

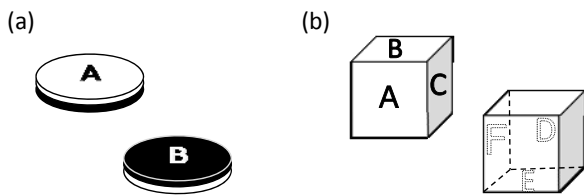


図1 多面体スイッチのコンセプト図
(a) 裏表スイッチ (b) サイコロスイッチ

多面体スイッチの筐体の形状は、ユーザにとって表であると認識可能な面が存在すれば、どのような形状でもよい。オイラーの多面体定理によれば、球面を多面体に分割した際に、頂点、辺、面の個数をそれぞれ a_0 , a_1 , a_2 と定義すれば、常に以下の関係式が成り立つ。

$$a_0 - a_1 + a_2 = 2$$

このとき、多面体と定義されるもののうち、面の個数が最小となるのは、頂点と辺が一致する、面の場合であり、そのとき面の個数は2である。

本稿では、最小の面の個数となる面型の裏表スイッチ(面の個数=2)と、キューブ型のサイコロスイッチ(面の個数=6)の実装を行うことにより、多面体スイッチの基本機能と実現方法について報告する。

2. 関連研究

これまでも、機器操作の複雑化を解消するために、様々な方式が提案されてきた。中でも、ボタン操作や画面遷移の少ない方式として、ホームオートメーション型、ディスプレイ型、タンジブル型が挙げられる。

2.1 ホームオートメーション型機器操作

ホームオートメーション型の機器操作における自動制御には、2つのレベルがある。1つ目は、ルールに基づく方式であり、廊下を歩くと明かりが点くと照明が点灯するものや、朝や夜のルーティーンを自動化するなどといったものが挙げられる。2つ目のホームオートメーションは、ユーザの操作が介入するものである。就寝前の消灯や施錠を1箇所からの操作で完了させるサービスが数多く提案されている他、ユーザが設定する温度を学習する空調管理システム[4]や、システムとユーザが自然言語を介して対話することで遠隔で機器を連携操作するシステム[5]など、ユーザ理解を含むシステムがある。また、ユーザが許容する節電の度合いを入力すると、自動的に優先順位の低い機器から電源が落とされる、節電対策用のシステム[6]も提案されている。これらの操作インタフェースは、ユーザが操作する必要がない、または操作数が少なく済む点がメリットであるが、予めシステムに導入されているルールや学習に基づくルールがユーザの好みに合わない場合、これを修正するのが困難であるというデメリットもある[1]。

2.2 ディスプレイ型機器操作

ディスプレイ型の機器操作インタフェースでは、古くから、映像上でインタラクティブに環境を操作するアイデアが提案されている[7][8][9]。近年では、タブレットインタフェースの登場により、操作対象とする空間を俯瞰する映像を映した画面に指で触れることにより操作するユーザインタフェースが多く提案されている。例えば、CRISTAL[7]では、タッチジェスチャで照明やロボット型掃除機等に命令を送ることができる。こうしたディスプレイベースの操作インタフェースは、直接画面で操作結果を確認しながら操作ができる。しかし、画面に対して行うジェスチャを覚える必要があった。

覚える必要がないタブレット型操作インタフェースとして、Lighty[8]では、所望の色を選んで塗るというペイント操作により照明の明度を操作できる。誰にでも経験のある色塗りの行動メタファを用いているので、操作と結果の対応付けが分かりやすい。しかし、ディスプレイ型インタフェースでの操作に用いることができる行動メタファには限りがある。多面体スイッチでは、様々な形状で実装が可能なので、操作に用いる行動メタファの幅が広い。また、筐体に自然言語を記入することもできるので、抽象度の高い操作の表現も容易である。

2.3 タンジブル型機器操作

より直感的な操作インタフェースとして、タンジブル型の機器操作インタフェースがある。特に、操作命令が自然言語や図で記載されている、タンジブル操作インタフェースとして、DataTiles[10]では、タイルに書かれた図に関連する情報が提示され、タイルを組み合わせることにより、複雑な情報の引き出しを行うことを可能にしている。また、tranSticks[11]では、同じ図柄が書かれたメモ리카ードを、接続させたい機器に挿すことで、機器同士が接続される。これらの手法は、明示的に操作ツールに図が書かれているため、ユーザは複雑な機器接続や情報の引き出しを行うための操作を覚える必要がない。また、自然言語を用いることができるので、ある程度複雑な操作も対応可能である。しかし、これらの機器では特別な液晶ディスプレイやアダプタが必要となる。多面体スイッチでは、通常のリモコンと同様に、操作に赤外線LEDを用いるので、家庭における導入が簡易である。

多面体スイッチにおける、面を返すことで機能を切り替えるという方式は、オフィスや病院等で用いられる、氏名の書かれた裏と表で色が異なるマグネットによって、スタッフの出勤と退勤の状況を明示的に示すマグネットボードに着想を得ており、冷蔵庫に貼られたマグネットのように自然と生活に馴染むコントローラを目指した点は、冷蔵庫に貼ったピザボックス型のボタンを押すことによりピザの注文を行うことができるシステム、VIP Fridge Magnet[12]に影響を受けている。

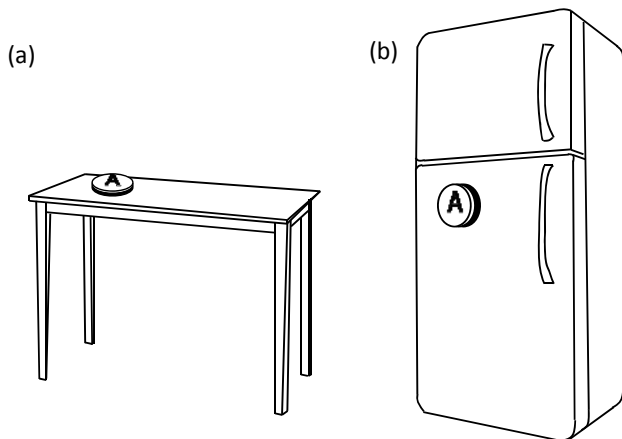


図2 面 A を表であるとユーザが認識する面と定義する。
(a)水平な台に置いた場合 (b)垂直な面に設置した場合

3. 多面体スイッチシステム

本稿では、特別なジェスチャを覚えたり、特別なコネクタを持つ機器を導入することなく、一般的な赤外線リモコンで駆動する機器であれば、面を表に返すだけで操作できる、多面体スイッチシステムを提案する。多面体スイッチシステムの構成要素は以下の通りである。

- 図や文字等が書かれたスイッチユニット
- 各面に貼付された圧力センサの値から、どの面が表に返されているか、また、どの面が触れられたか判定する判定ユニット
- 表に返されている面に対応する制御信号を赤外線 LED により送信する、制御信号送信ユニット

3.1 スイッチユニットの形状と操作命令の数

スイッチユニットの筐体の各面には、操作命令が自然言語または図で記載されている。ある面 A が表にくるように筐体が返されると、システムは面 A が表であることを検出し、面 A に記載されている操作命令に相当する制御信号が、制御信号送信ユニットから対象機器に向けて送信される。

筐体が N 面体である場合、記載可能な操作命令の数は、最大で N 種類である。例えば、マグネットやカードのように 2 面を持つ面型筐体で実装する場合には 2 種類、サイコロのようなキューブ型筐体で実装する場合には 6 種類、操作命令を付与することができる。

面を返すだけで機能が発動しては困る場合もある。その場合は、予備動作としてユーザが面を返し、表になっている面にユーザが触れることによって初めて対象機器へ制御信号を送信する設計にした。すなわち、N 面体の筐体では、表に返されている面の判定（表面判定）に加えて、表の面への接触判定（接触判定）を行うことにより、 $N \times 2$ 種類の操作命令を表現できる。

3.2 表面判定と接触判定

前節のように、表の面に記載された操作命令を実行する

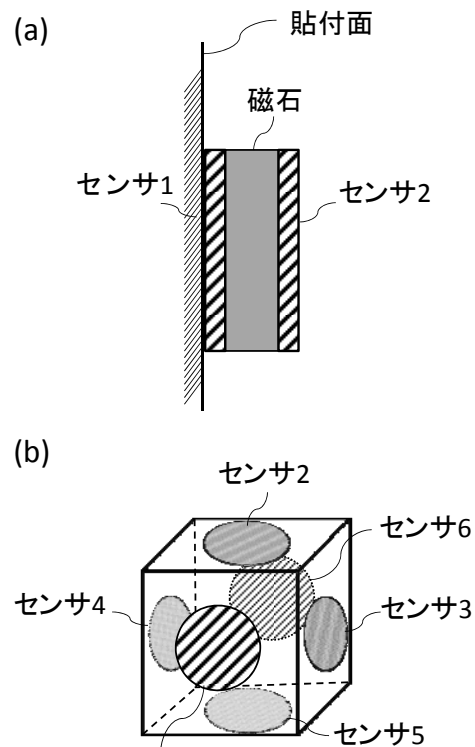


図3 圧力センサによる表面判定と接触判定の実装
(a) 2 面体の場合 (b) 6 面体の場合

システムを構築するには、表面判定と接触判定を行う必要がある。筐体の向きを判定する代表的な方式には、加速度センサで重力方向に体する傾きを検出するものがある。多面体スイッチでは、図2に示すように、水平な台に置いたり垂直な壁に貼付けたりするなど、ユーザが自由に設置できるようにすることを目指す。これを実現するためには、どの面がユーザに対して表であるか判定する必要がある。ここで、ユーザに対して表である面とは、水平な台や垂直な壁等に設置された面と対極にある面（図2における A と書かれた面）であると定義する。すなわち、筐体のどの面がユーザに対して表であるか判定するには、どの面が他の面と接しているか判定することと同義であり、重力に対する向きでは情報が不十分である。

どの面が他の面と接しているか判定するためには、例えば、照度センサを用いた実装が考えられる。図1における面 A に照度センサを設置すれば、面 A が他の面に設置された場合に照度が 0 となるため、対極にある面 B が表であると判定できる。照度センサ以外にも、距離センサや圧力センサを用いてもこれを実現できる。特に、圧力センサは面型のセンサであり、表面に指で触れることを入力とする機能をスイッチに持たせる際、照度センサや距離センサのように点型のセンサに触れるのではなく、面のどこに触れてもよいので、ユーザにとって扱いやすいと考えられる。これらのことから、本稿では図3のように圧力センサを用いてプロトタイプを構築する。

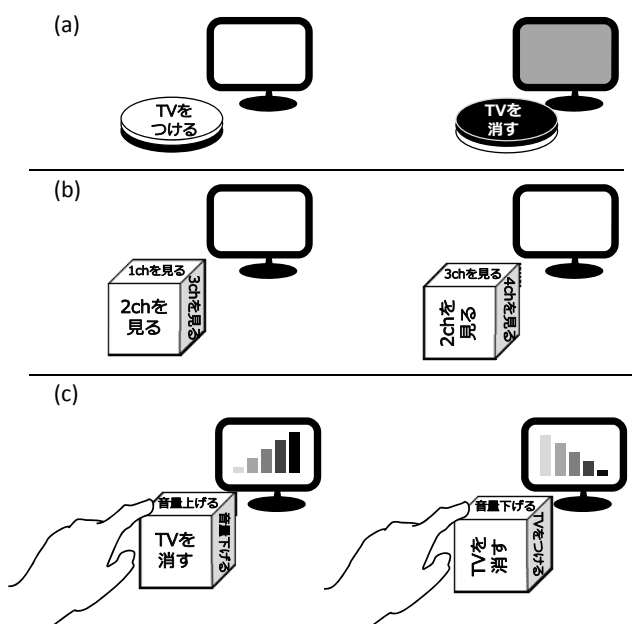


図4 多面体スイッチの基本機能. (a) 表面判定による電源のON/OFF (b) 表面判定によるモード切り替え (c) 接触判定による段階的コントロール

3.3 基本機能

操作インターフェースの基本的な機能には、以下の3つが考えられる。多面体スイッチも、これらの3つの機能を基本機能とする(図4)。

- ① 電源のON/OFF
- ② モード切り替え
- ③ 段階的コントロール

3つの機能のうち、電源のON/OFFは、どのような機器にも必要とされる機能である。多面体スイッチでは、表面判定により実装可能である。例えば、「テレビをつける」と書かれた面を表に戻すとテレビの電源が入り、「テレビを消す」と書かれた面を表に戻すとテレビの電源が切れる。

モードの切り替えには、テレビにおけるチャンネル操作や、音楽ストリーミングにおけるジャンル選択などが挙げられる。多面体スイッチでは、表面判定により実装可能である。例えば、「1チャンネルを見る」と書かれた面を表に戻すと、テレビの電源がついて1チャンネルが映される。現在のモード(この例の場合、チャンネル)を常時確認することができる。また、チャンネル操作のように具体的な操作命令ではなく、より抽象度の高い操作命令を機器操作と対応付けることもできる。例えば、「リラックスする」と書かれた面を表に戻すと、ゆったりとしたジャズの音楽ストリーミングが選択される、といった操作が可能である。

段階的コントロールは、オーディオ機器の音量調節のように、ユーザが段階的に、適切な物理量まで調節を繰り返す操作を想定している。多面体スイッチでは、接触判定により実装可能である。例えば、「音量を小さくする」と書か

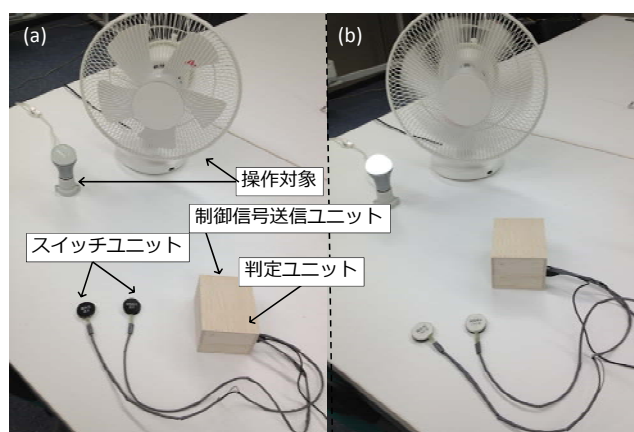


図5 システム構成図. (a)OFFの状態. (b)ONの状態.

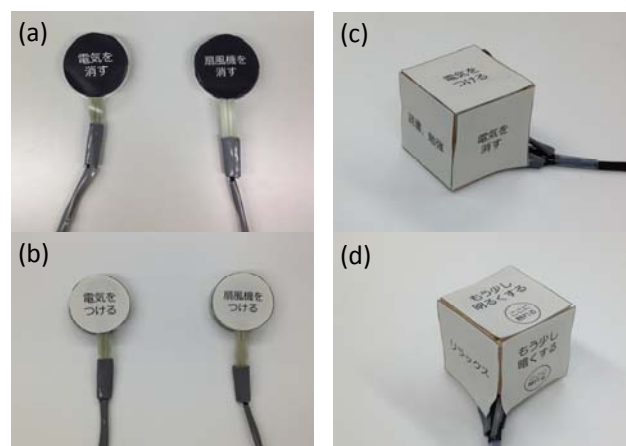


図6 面に貼ったシート

(a)(b)裏表スイッチの各面 (c)(d)多面体スイッチの各面

れた面を表に戻した上で、その面に指で触れると、触れている間、オーディオ機器の音量が段階的に下がるといった操作が可能である。

4. 実装

4.1 裏表スイッチとサイコロスイッチの設計

第1章において、オイラーの多面体定理で定義される多面体のうち、最も面の個数が最小となるのは、頂点と辺が一致する、面の場合であり、このとき、面の個数は2であることを示した。電源のON/OFFのみを機能として持つ機器を操作する場合、ONとOFFの2状態を表現できればよい。最も最小限の構成は、面型の筐体での実装である。ここでは、最も単純な形態の多面体スイッチを示すために、機器の電源のON/OFFを行う操作インターフェース、裏表スイッチ(面の個数=2)の実装を行う。

複数のモードを持つ機器の場合、複数の面が必要となる。2つ以上の面を持つ多面体のうち、立方体は、台に安定して設置することができ、誤って転がり、ユーザが意図する面以外の面が表になる可能性が低いと考えられる。また、12面体などのように面が多い場合に比べ、所望の操作命令

を見つけて出して選択するのも容易である。以上のように、配置と選択の容易さの観点から、ここでは、複数のモード切り替えを行う多面体スイッチの形状として、立方体を用いることとし、サイコロスイッチ（面の個数=6）の実装を行う。段階的コントロールは、面の数によらず実装が可能だが、ここでは、サイコロスイッチにおいて実装を行う。

4.2 表面判定機能と接触判定機能

表面判定機能は、圧力センサをスイッチユニットに貼付することにより実現した。裏表スイッチの筐体には両面利用できるマグネットを、多面体スイッチの筐体には5cm四方のキューブ型木材を利用した。裏表スイッチでは、マグネットの両面に圧力センサを貼付し、多面体スイッチでは、6面すべてに圧力センサを貼付した。圧力センサにはFSRを用いた。FSRは、圧力が加わると内部抵抗が変化する。マグネット型の裏表スイッチを金属面に貼付すると、引力によりマグネットと金属の間に圧力が生じる。また、キューブ型の多面体スイッチを台に設置すると、自重によりキューブと台の間に圧力が生じる。これらの圧力変化を、各FSRでの電圧変化を計測し、閾値判定を行うことにより、どの面が他の面と接触しているか、すなわち、どの面が表に返されているか判定する。

接触判定機能は、表面判定によってある面が表に返されていると判定されていて、かつ、表であると判定された面に貼付されたFSRの出力値が閾値を超えた場合に機能するように設計した。ここで、面判定機能と命令送信機能の制御には、ArduinoUNOを用いた。

4.3 命令送信機能

命令送信機能は、面判定機能と連動して動作する。面Aに貼付されたFSRからの出力が閾値を超えた場合、面Aと対極の面に書かれた機能を実行する制御信号を、制御信号送信ユニットの赤外線LEDが送信する。例えば、「扇風機をつける」と書かれた面が表になるように水平面に筐体を設置すると、この面と対極にある面の圧力センサが閾値を超え、制御信号送信ユニットは扇風機の電源をつける制御信号を送信する。制御信号送信ユニットには、あらかじめ、各面に書かれた機能を発動するために必要な制御対象機器の一連の制御信号を記録しておく。操作信号の記録には、赤外線リモコン受信モジュールを用いた。

操作対象機器として、リモコン付き家電を用意した。扇風機（プラスマイナズゼロ製）、調光機能付き照明（SHARP製）、テレビ（SONY製）の制御信号を記録し、これを制御信号送信ユニットから送信し、操作できることを確認した。

4.4 スwitchの外観

前節で述べた各面に貼付した圧力センサの上に、さらに、機能を表す単語が書かれたシートを貼付した。単一機能のON/OFFを扱う裏表スイッチと、複数機能の切り替えを行う多面体スイッチに、それぞれ図6のような単語シートを貼付した。

裏表スイッチでは、扇風機、照明の電源がON/OFFされるマグネット型スイッチを実装した。扇風機をコントロールするマグネットには、各面に「扇風機をつける」「扇風機をけす」と書かれた単語シートを貼付した。照明をコントロールするマグネットには、各面に「電気をつける」「電気をけす」と書かれた単語シートを貼付した。

サイコロスイッチでは、調光及び調色機能付き照明の電源のON/OFFと、モードの切り替え、また、照明の明度の段階的コントロールを実装した。各面には、「電気をつける」「電気をけす」「読書、勉強」「リラックス」「明るくする」「暗くする」と書かれている。「電気をつける」「電気をけす」と書かれた面が表に返されると、電源のON/OFFが操作される。また、「読書、勉強」が表に返されると、作業に適した昼白光が点灯され、「リラックス」が表に返されると、くつろぐのに適した電球色が点灯される。「もう少し明るくする」と書かれた面と、「もう少し暗くする」と書かれた面には、さらに、○印が書かれており、「ここに触れる」と記載されている。○印に触れると、光量を上げる、または下げるといった実装を行った。

5. アプリケーション

本稿での実装は、多面体スイッチの基本機能を明確に示すために、1つのスイッチユニットで1つの機器のみを操作する実装を行ったが、複数の機器を操作するといった複雑な構成をとることができる。例えば、「昼寝」と書かれた面を表に返すことにより、エアコンは微風モードに、照明はいったん消されて、30分後に徐々に点灯されるといった操作がされる。「寝る」と書かれた面を表に返すと、照明は消灯し、エアコンは1時間後にOFFになる。「部屋を出る」と書かれた面を表に返すと、すべての機器がOFFになる。このように、複数のコントローラを用いずに、複数の機器を操作することが可能である。

また本稿では、1つのスイッチユニットのみを用いた実装を行っているが、複数用いて、より多様な操作命令を実行するシステムを構築することも可能である。

6. 議論と今後の課題

ここでは、複雑な操作を単純にするために提唱された、ノーマンのデザインの7原則[13]の視点に基づいて、多面体スイッチについて議論を行う。7原則は、以下の通りである。

- ① 外界にある知識を利用する
- ② 作業の構造を単純化する
- ③ 自然の制約や人工的な制約など、制約の力を使う
- ④ 実行しやすく、結果を評価しやすくする
- ⑤ 操作と結果の対応付けを正しくする
- ⑥ エラーに備えたデザインをする
- ⑦ 以上がすべてうまくいかない場合は標準化をする

多面体スイッチでは、物理的に明確に記載された各面の操作命令が、①の外界の知識として働くので、機器に命令を与えるための操作を覚える必要がない。②の単純化については、所望の操作命令が書かれた面を表に返すだけで操作は完了するので、ユーザが意図してからその意図を操作として実行するまでに煩雑な手順を踏む必要がなく、非常に単純な作業であると言える。

ユーザが迷わずに確信を持って操作を行うためには、ある命令を実行するために行うことができる操作が、ただ1つしかない、ユーザに思わせることが必要となる。③における制約とは、形状や記載事項等に意味を持たせ、ユーザが取りうる操作の選択肢を最小限に狭めることである。裏表スイッチとサイコロスイッチでは、ある操作命令が書かれた面を表にして安定して配置させる方法は1つしかないという点で、スイッチの形状を利用してユーザの操作の選択肢の幅を狭めることができていると考えられる。

④における、実行のしやすさとは、ユーザが意図した行為をすぐに実行に移すことができることであり、結果の評価のしやすさとは、ユーザがシステムの物理的な状態を簡単に解釈でき、また、それがユーザの意図通りであることを指す。多面体スイッチでは、操作命令が自然言語で記載されているので、そのスイッチを用いて何が実行可能であるか明白であり、意図を実行に移すのは簡単である。また、「電気をつける」などの単純な操作命令が記載されている場合には、操作命令そのものがシステムの物理的な状態を示すので、システムの状態を解釈しやすい。

一方で、「リラックス」などの、より高次な操作命令が記載されている場合には、ユーザが意図するリラックスのための機器操作と、リラックスと記載された面が表に返された際にシステムが提供する機器操作との間に、ギャップが生じる場合が考えられる。このような⑤操作と結果の対応付けを、すべて正しくするためのルール作成は、ホームオートメーションの分野においても課題となっている[1]。高次な操作命令を記載する場合には、ユーザがカスタマイズしやすい設計にするなどの工夫が必要であると考えられる。また、もうひとつの課題点として、ユーザが希望する状態にならなかった場合の⑥エラーの対処法の設計がある。今回は、非常に単純な機器操作のみの実装を行ったが、今後、複数の機器を同時に制御する場合や、別のリモコンで機器が操作された場合などを検討していく必要がある。

今回は裏表スイッチとサイコロスイッチを提案したが、形状によって、使い方の理解のしやすさが異なる場合があると考えられる。また、機器が持つ機能の数と、面に書かれた機能の数の不一致が、操作の複雑さを招く可能性もあると考えられる。今後、これらの点について、評価実験を進めていきたい。

本研究の応用先としては、機器の扱いに不慣れた高齢者であっても簡単に使えるコントローラが挙げられる。視力

低下などの身体機能の低下や、短期記憶ができないなどの認知機能の低下により、小さな字で機能が書かれた操作端末や、複数の画面遷移を含む複雑な操作は困難となる。多面体スイッチでは、機能が物理的に明確に書かれており、面を返すだけで操作が完了する点で、高齢者にも簡単に扱えると考えられる。今後、機器操作を苦手とする層に対するインタビューを行い、有用性の評価を行いたい。

7. 結論

本稿では、所望の操作命令が記載された面を表に返すことで操作を行う操作インタフェース、多面体スイッチを提案した。圧力センサを用いて表に返された面の判定を行い、表の面に書かれた操作命令に対応する制御信号を機器に送信するシステムを構築することにより、機器操作が容易で、機器の状態を常時確認することができる操作インタフェースの実現可能性を示した。今後は、面に記載すべき操作命令の検討し、システムの機能拡張を進めていきたい。

参考文献

- 1) Brush, A.J. and Lee, B. Mahajan, R. Agarwal, S. Saroiu, S. and Dixon, C.: Home automation in the wild: challenges and opportunities, In Proc. of CHI 2011, pp. 2115-2124 (2011).
- 2) Social Alarm S37 Wristband Transmitter, http://de.boschsecurity.com/master_product/02_products_1/st_bu_f_258541_nsoode_catalog_prod_de/st_bu_p_258541_nsoode_catalog_prod_de_258541#section_3889076491
- 3) Quarter Hour Watch, <http://www.abilia.org.uk/produkter/produkt.aspx?productgroup=266921&product=261468>
- 4) Nest Learning Thermostat, <http://nest.com/>
- 5) A Social Web of Things, <http://www.ericsson.com/uxblog/2012/04/a-social-web-of-things/>
- 6) 堤富士雄, 中島慶人, 伊藤憲彦, 三浦輝久, 廣瀬文子: 節電ボリューム, 情報処理学会研究報告, 2012-HCI-149(17), pp.1-7 (2012).
- 7) Seifried, T. Rendl, C. Perteneder, F. Leitner, J. Haller, M. Sakamoto, D. Kato, J. Inami, M. and Scott, S. D.: CRISTAL: Control of Remotely Interfaced Systems using Touch-based Actions in Living spaces. ACM SIGGRAPH 2009 Emerging Technologies, pp. 37-44 (2009).
- 8) 橋本直, 盧承鐸, 山中太記, 神山洋一, 稲見昌彦, 五十嵐健夫: Lighty: ロボティック照明のためのペインティングインタフェース, 第20回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(2012).
- 9) Tani, M. Yamaashi, K. Tanikoshi, K. Futakawa, M. and Tanifuji, S.: Object-oriented video: interaction with real-world objects through live video, In Proc. of CHI 1992, pp. 593-598 (1992).
- 10) Rekimoto, J. Ullmer, B. and Oba, H.: DataTiles: a modular platform for mixed physical and graphical interactions, In Proc. of CHI 2001, pp. 269-276 (2001).
- 11) Ayatsuka, Y. and Reikimoto, J.: tranSticks: physically manipulatable virtual connections, In Proc. of CHI 2005, pp.251-260 (2005).
- 12) VIP Fridge Magnet <http://redtomato.biz/magnet/>
- 13) ノーマン, D.A.: 誰のためのデザイン?, 新曜社 (1990).