

ハプティクス技術を用いたプロダクトデザインについて －物理的操作感覚を有したコントロールパネルの制作－

ABOUT THE PRODUCT DESIGN USING HAPTICS TECHNOLOGY MANUFACTURE OF A CONTROL PANEL WITH PHYSICAL OPERATION FEELING

横山優太

Yuta YOKOYAMA

主査 佐藤康三教授 副査 小林尚登教授

法政大学大学院工学研究科デザイン工学専攻修士課程

Technology in recent years has achieved remarkable progress. Operation equipment to achieve the advanced features such as smartphone and tablet device have begun easily imported into everyday life. However, many of such apparatus does not have the feedback to operation, and they are lacked in physical operation. It's built up the hypothesis that without being dependent only on visual information, instructional information can be transfer under the situation where light is intercepted by using tactile sense information. In this research, we will propose an operation apparatus with physical operativity by using haptic technology.

Key Words : Product Design, Haptics, Universal Design

1. はじめに

(1) 背景

近年の技術は目覚ましい進歩を遂げ、スマートフォンを筆頭にタブレットデバイスといった容易に高度な機能を実現する操作機器が日常生活の中に溶け込み始めている。それらのほとんどは静電容量や感圧を応用したタッチパネルを使用することで本体内のアプリケーションを操作し機能を実現する。また、そういった機器を操作するための遠隔操作デバイスも数多く存在する。しかし、機器の中には操作状況の確認や操作に対するフィードバックを視覚のみを利用することで伝達するものが多い。フューチャーフォンでは突起した1つ1つのボタンによって、ボタンの配列を潜在的に記憶し、指先に感じる感覚を頼りにブラインドタッチを可能としていた。液晶を撫でるような操作方法は直感的と言われる反面、フィードバックがないため物理的にも身体的にも操作感に乏しい。また、機器自体が光を発することでボタンの配置を認知するものがほとんどである。

そこで、本研究では視覚情報のみに依存することなく、触覚情報を使用することで光が遮断された状況下においても情報の伝達が行えるのではないかと考え、ハプティクス技術を用いて物理的フィードバックを創造し物理的身体的操作性を有した室内用コントロールパネルの設計・制作を行う。

(2) ハプティクスとは

ハプティクスとは、触覚を通じて利用者に力、振動、動きなどを与えることで皮膚感覚フィードバックを得るテクノロジーである¹⁾。その伝達方法としてアクチュエータを使用した物が多く存在する。実用例としては、飛行機の操縦桿にサーボモーターを取り付け、飛行中に生じる機体外部からの力を操縦者へ伝達する仕組みや、携帯のバイブレーション機能が挙げられる。

2. 制作概要

本研究では、段階調節が可能でかつ汎用性があるという点からロータリー式のスイッチを操作用機器として用いることとする。使用環境は室内とする。今回、家庭やビジネスホテルでよく見られ、操作する頻度が多い「オーディオ」「テレビ」「照明(フロアランプ)」の3つを操作対象として設定する。この3つの対象を操作できる複合ユニットを最終成果物として提案する。それらの操作内容を図1に示す。操作内容にはそれぞれ別々の操作感覚を付与し、使用者がどの機能を選択しているかを触覚のみを通して把握できるようにする。今回、それぞれの操作内容に使用する物理的フィードバックは振動とアシスト感覚の2種類とする。操作内容への振り分けについてまとめた図を図2に示す。例えば、テレビの

Volume 設定では vibration pattern6 の振動パターンと Assist pattern6 のアシスト感覚がつまみを通して手に伝わる。

オーディオ	ON/OFF Volume Select Music	テレビ	ON/OFF Volume Select Channel	照明	ON/OFF Dimmer Control RGB Control
-------	----------------------------------	-----	------------------------------------	----	---

図 1 操作内容

オーディオ	テレビ	照明
Audio Vibration pattern1 	Television Vibration pattern2 	Illumination Vibration pattern3
ON Vibration pattern4 	ON Vibration pattern4 	ON Vibration pattern4
OFF Vibration pattern5 	OFF Vibration pattern5 	OFF Vibration pattern5
Volume Vibration pattern6 Assist pattern1 	Volume Vibration pattern6 Assist pattern1 	Dimmer Control Vibration pattern6 Assist pattern1
Select Music Vibration pattern7 Assist pattern2 	Select Channel Vibration pattern7 Assist pattern2 	RGB Control Vibration pattern7 Assist pattern3

図 2 振動、アシスト感覚 振り分け

(1) 制作目標

1. 設置型コントロールパネルとする。
2. 物理的操作感を有したコントロールパネルの実動プロトタイプ制作。
3. これら上記の実現に伴う機構・各パーツの創出。

(2) 制作指針

[審美性]

1. 構成主義を基調とした外観意匠とする。
2. 無駄な装飾を省いたシンプルな外観意匠とする。

[使用性・操作性]

1. 視覚、聴覚等にハンディキャップの方々の方々の生活自立支援を視野に入れたユニバーサルデザインの導入とする。
2. コントローラで選ぶ操作対象機器の起動は複数でも可能とする。

[機能性]

1. ハプティクス技術を用いて暗闇でも操作が可能で身体的認知を促すものである。
 - ・ 操作内容ごとに異なるつまみの振動を利用する。
 - ・ 操作内容ごとに異なるアシスト感覚を利用する。
2. 1つのスイッチで複数の操作を可能とする。
3. 制御を用い、他機能への応用が効く仕組みとする。

[持続可能性]

1. 分解可能な設計とする。

3. 制作準備

(1) 基礎実験

物理的な操作感覚をロータリースイッチに持たせるために使用するアクチュエータの選定について基礎実験を行う。



図 3 基礎実験機 1

a) 基礎実験 I

基礎実験 I では、ステッピングモーター (SPG20-1362 日本電産コパル株式会社) と可変抵抗器を用いて物理的操作感覚を作り出す (図 3)。Arduino Uno にて制御を行い、可変抵抗器の値に応じてステッピングモーターを回転させる。回路にはモータードライバー (TA7774PG) を使用し、トランジスタ (NPN 型 2SC2120) を使用する事でステッピングモーター動作時以外の外部電圧供給を絶つ。

基礎実験 I からの結果、稼働可能角度が狭い、精度不足、制御の応用がしにくいといった 3 つの問題点が挙げられた。

b) 基礎実験 II



図 4 基礎実験機 2

基礎実験 II では、角度検出のためのエンコーダーがモーターと一体となっているコアレス DC モーター (EC-234 403 シチズン千葉精密) を使用する。本機も同様に Arduino Uno を用いて制御を行い、モータードライバーには、外部つまみから供給電圧の変化が可能な DC モーターコントローラキット 2 (共立電子産業) を使用する。

基礎実験機 2(図 4) では、基礎実験機 1 で生じた問題点のほとんどが解決に至ったが、回転停止精度不足がつまみを通して発生する慣性の関係から問題として浮上した。この点についてはギアボックスを制作し、ギアを用いてトルクに変化を与えることで解決を試みる。

(2) ギアボックスプロトタイプの検討、制作

ギア比を 1:2.57(図 5)に設定し、問題の解決のためにギアボックスのプロトタイプを制作する。ギアボックスはレーザーカッターを用いてアクリルを切り出すことで制作する(図 6)。

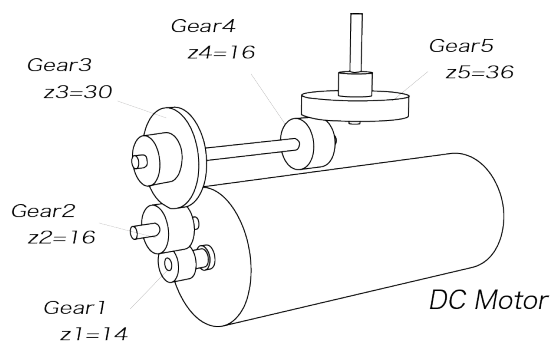


図 5 内蔵ギア概略図

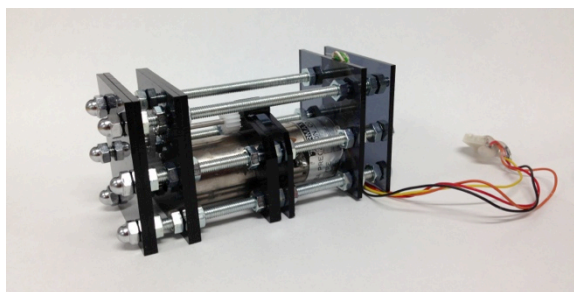


図 6 ギアボックスプロトタイプ

(3) 基礎実験Ⅲ

異なる 7 つの振動パターンの制作を、振動モーターを用いて行う。振動モーターには、CL-0614-13103-3 を使用する。振動モーターには振動の伝達率を均一にするために、ラバーを巻くこととする。振動モーターはギアボックスの上部、つまみの軸付近に装着する。

(4) 操作フローの検討

複数の機能を選択可能にするべく操作を 3 つの階層に分ける(図 7)。上から、操作対象を選択するための階層、操作対象機器の電源の ON/OFF 切り替え用の階層、機能切り替え用の階層とする。この階層の処理は上から順番に行われる。階層の移動にはつまみを上から押すことによって行う。階層内での切り替えには、つまみを左右に傾けることによって行う。作動パターンの一覧を図 8 に示す。

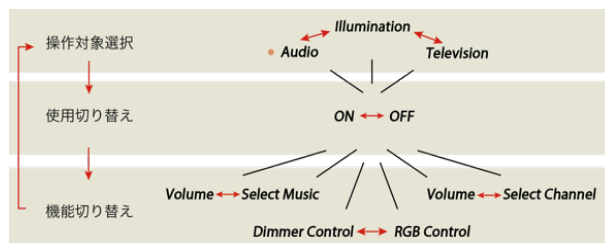


図 7 操作フロー



図 8 作動パターン一覧

(5) 基本プログラム作成

本研究のベースとなるプログラムの作成を Arduino を用いて行う。基礎実験では Arduino Uno を使用していたが、使用可能なピンの本数とマイコンの容量の問題から Arduino Mega に変更する。ブレッドボードにタクトスイッチを 3 つ(決定ボタン、左ボタン、右ボタン)と 15 本の LED を配線し、操作フローを実現するプログラムの作成を行う。また、7 つの振動パターン作成と、3 つのアシスト感覚作成についても同時に行う。

(6) 赤外線による外部機器操作

本研究では外部機器の操作を行う。その方法として学習リモコンを用いた。既存の製品に付属するリモコンの周波数を読み取り、Arduino に記憶する。そのデータを赤外線 LED より出力を行い、操作する。

今回使用した製品を以下に示す。

[使用機器製品名]

- ・ Lighting EVER A60 16 色 LED 電球
- ・ MP3 再生スピーカー UnicsCom UM-69
- ・ ドウシシャ RAPHAIE RL7V-11SG7 型ワンセグ液晶テレビ

4. 外観意匠検討

(1) 外観意匠検討

コントローラ正面に当たる、操作用つまみと作動パターン表示板のプロポーションについて検討を行う。

つまみ部を中心より上側に寄せた構成とし、側面に当たるハウジング部を赤系の木材にて制作を行う(図 9)。また、本体つまみは未使用時にはパネル面と面一に近いものとし、作動パターン表示についてはブラックアウトした状態とする(図 10)(図 11)。起動時にはつまみがせり上がるものとし、作動パターンを表示させる。未使用時にはパイロットランプとしてつまみ左右のトライアングルの LED が一定間隔で点滅し、せり上がり時は常時点灯に切り替わる。正面左上には縦に 3 連の赤外線 LED を配置し、指向性を高める。また、本研究では取り付けのイメージとして、天板に対して 45 度の角度で作品を取り付ける。

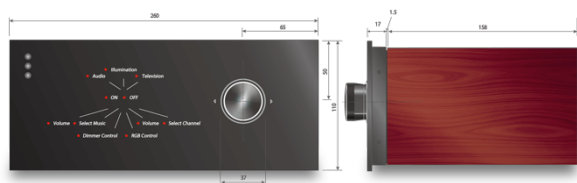


図 9 コントロールパネルグラフィカルデザインコンポジション

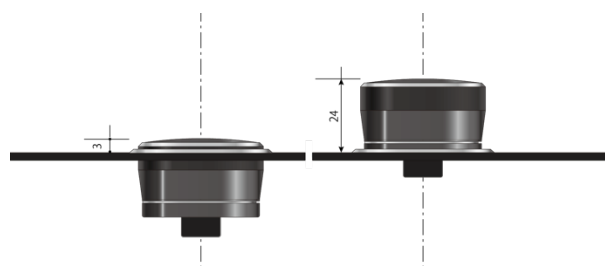


図 10 つまみ作動概念図

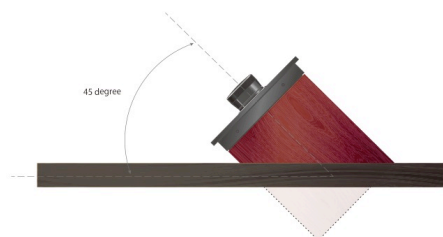


図 11 本体取り付け概念図

(2) 操作つまみ

つまみ中心部にはテーパーをかけ、左右に傾けて機能を選択する際の扱いやすさを意識する。側面上部はブラストによる梨地処理、テーパー部分はスピニング加工を施す(図 12)。また、ダイヤモンドカットによる鏡面加工も行い、旋盤加工にダイヤモンドを使用することでアルミ本来の光沢を出す。

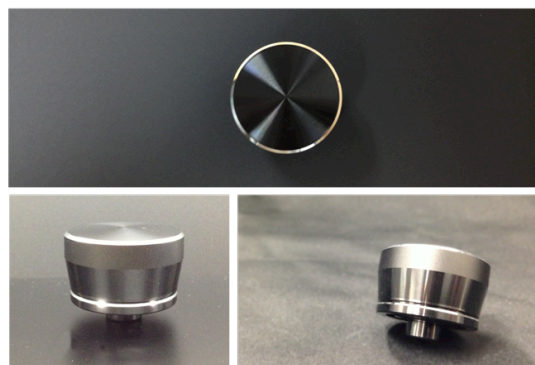


図 12 つまみ完成図

5. コントロールパネル制作

(1) 内部機構制作

a) 左右操作用機構

操作フローの階層内で設定を行う際に使用する左右ボタンについて制作を行った。2つのタクトスイッチの距離を離してアクリル板に設置し、ギアボックスを上へのせ、中心に軸を通す事で傾けることが可能な機構とした。

b) 決定操作用機構

操作フロー図の階層内を切り替える際に使用する決定ボタンについて制作を行った。H12×W12×D4.3のタクトスイッチをウォームギア下に設置する。ウォームギアを貫通し、上方向へ伸びたつまみに接続される軸は回転動作と上下動作を同時に行えるようにしなくてはならない。そこで軸を六角形のものにし、外形が円形の中心に六角形穴の開いた治具をウォームギアに取り付けることで可能とした。さらに、上下の動作に反発を持たせるべく、軸にバネを通した。

c) 上下機構および凸型ギアボックス

つまみ部分の上下を実現するために上下機構(図 13)を制作した。上下にはラックピニオン機構を使用し、2つのサーボモーター(GWS サーボ S03T/2BBMG/JR)を用いてギアを動かす。本サーボモーターはトルクが 7.4kg・cm(4.8v)と高く、内蔵ギアが金属製であるという理由から選択した。ラックピニオン機構は4つの柱についており、上昇時の停止状態での安定化をはかる。4つの柱は、左右ボタンが設置されたアクリル板にネジ止めされている。この4つの柱の中心にギアボックスを設置する。この時、外観意匠検討にて決定したプロポーションを実現するために上面が凸型のギアボックスに改良を行い、コンパクト化をはかった。

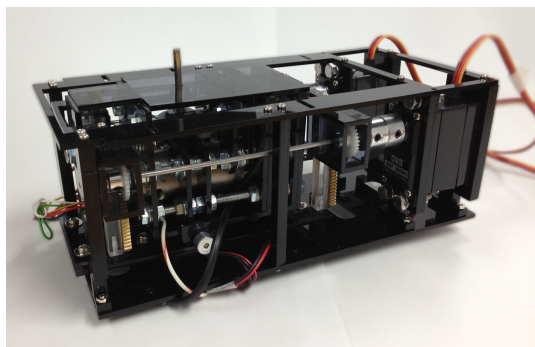


図 13 上下機構完成図

(2) コントローラ天板制作

a) 作動表示板透過部

コントロールパネル天板表面に浮かび上がる作動表示パターン透過部を制作した。素材は2mm アクリルに設定し、レーザー加工機を用いて表面ギリギリまで切削することで裏面からLEDを点灯することで透過させる。アクリルの色、切削条件、スモークフィルムといった方法で透過率について検証を行った(図14)。結果、8の黒マットアクリルに決定した。次にレーザー加工機の切削出力値について7パターン検証を行い、その中で最も鮮明に透過する値について選出を行った。さらに、その条件下で文字幅や線幅について5種類の検証を行った。以下に最終的に採用した数値を示す。

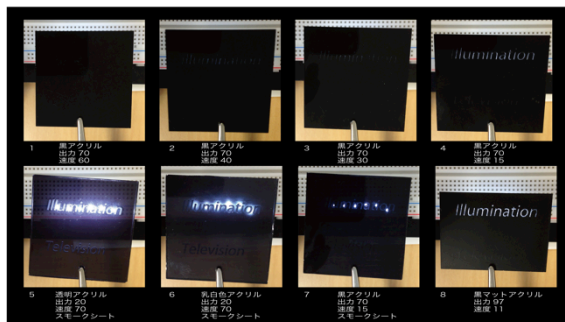


図 14 作動表示透過率検証の風景(一部抜粋)

[レーザー加工機設定]

出力:95

速度:13 (加工後表面推定厚み:0.5mm)

[文字データ]

フォント:Myriad Pro

フォントサイズ:12pt

トラッキング:15

[線データ]

線幅:1pt

[赤色LED用穴]

サイズ:Φ2

b) 作動表示板表示部光源

上記表示を実現するための光源を制作した。LED には表面実装赤色チップ LED(LST676-R)と表面実装白色チップ

LED(UW1143B)を使用した。CAD ソフトにて表示する文字の幅に対する LED の個数を算出し、LED それぞれをハンダで貼り合わせ、1本のLEDを制作した。それらを文字の真下に配置するために2mmのアクリルを積層し、ガイド板を制作後、そのガイド内にLEDの配置を行った。ガイド板には電源用とGND用の穴があいており、裏面より配線を抜き出しユニバーサル基板に半田付けをする。完成後は試験点灯を行った(図15)。

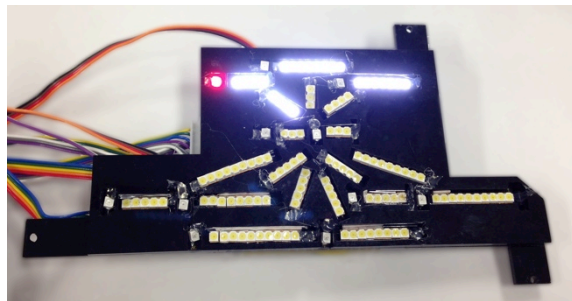


図 15 作動表示板表示部光源点灯試験の風景

c) コントローラ正面天板

作品の正面に当たる天板は2mmの黒マットアクリルで制作した(図16)。a)で検討した切削数値でレーザー加工を行い、裏面に内部機構取り付け、及びLED光源取り付けのための枠を設けた(図17)。また、つまみの左右に点灯するトライアングル表示についても同時に制作を行った。各部品取り付けにはネジを使用し、完全分解可能とした。また、コントローラ天板正面左上に赤外線LEDを3つ取り付けた(図18)。

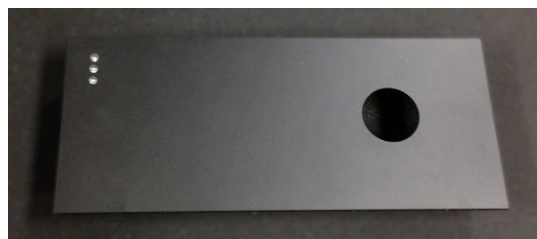


図 16 コントロールパネル天板完成図

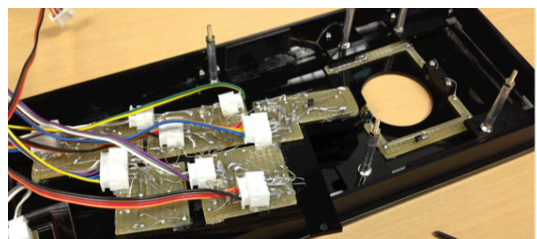


図 17 コントロールパネル裏面

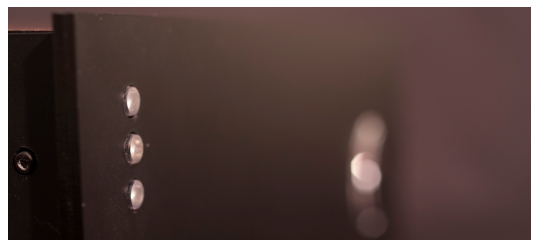


図 18 赤外線 LED 配置

(3) 組み込み電子基板

本体内部に組み込む電子基板の作成を行った(図 19)。Arduino Mega への接続にはシールドを用いることで配線のコンパクト化をはかった。シールド上に取り付けた配線用端子を以下に記す。

- ・ 9V出力AC電源入力端子
- ・ モーター電圧供給用端子台
- ・ 表示板LED接続用端子(8個)
- ・ 赤外線LED用端子
- ・ 左右表示LED用ヘッダーピン
- ・ 5v降圧用三端子レギュレーター
- ・ サーボモーター取り付けヘッダーピン(2個)
- ・ 左右タクトスイッチ取り付け用ヘッダーピン(2個)
- ・ 決定ボタンタクトスイッチ取り付け用ヘッダーピン
- ・ 振動モーター用ヘッダーピン
- ・ DCモーター用ヘッダーピン(FWD、REW、BRAKE、PWM)
- ・ エンコーダー用ヘッダーピン

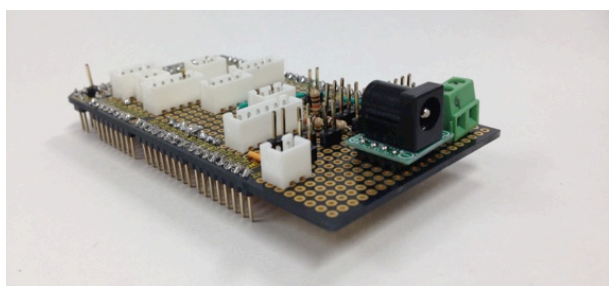


図 19 組み込み電子基板完成図

(4) ハウジング制作

a) ハウジング用木材検討

機構部を覆い、コントローラパネルと接続するハウジングの制作は木材で行った。また、色は赤系の光沢ある色味とした。地が赤い木材として、ローズウッドやサティアーネがあるが、色味が希望するもとはかけ離れていた。そのため、油性のオイルステインで着色を行い、スプレーニースにて表面保護及び光沢を出すこととした。そこで、オイルステイン使用後の木材への乗り方や木目の浮き上がり方について 15 種類の木材を購入し、全てに着色することで検討を行った(図 20)。15 種類の木材は、「杉」「サクラ」「屋久杉」「カシ」「カツラ」「ケヤキ」「カヤ」「タモ」「キングウッド」「ローズウッド」「レッドウッド」「ウォールナット」「サティアーネ」「カリン」「ハワイヤンコア」である。オイルステインには赤色に近いマホガニー色を使用する。塗料の乗り方、および木目の美しさを考慮した結果、ウォールナットを使用することとした。

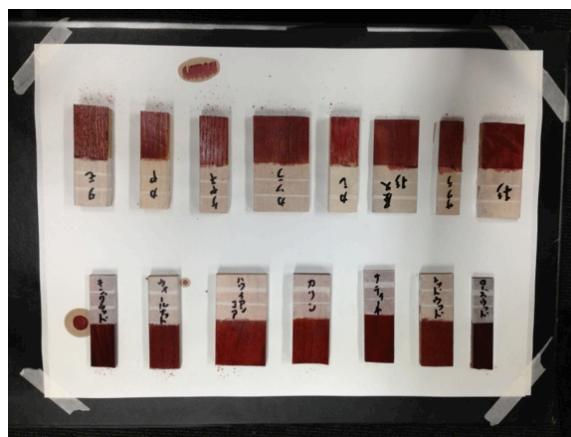


図 20 木材検討の風景

b) ハウジング部

前項で決定した木材を指定寸法にてカットする。着色前には 400 番のペーパーで足付けし、塗料の浸透をよくしてから 2 度塗りを行い、乾燥後はスプレーニースで 3 度塗りをした。板同士の接続には L 時金具を用い、内部 4 角にネジ止めを行うことで補強を行った。同時並行で、ハウジング底にあたる底面部をアクリル板にて制作を行った。底には ACC 電源供給のための端子を接続した。また、コントロールパネルとハウジングを固定するために使用する部材の制作も行った。パネルとハウジングの間に 1.5mm のパーティングラインを設けるため、この部材についても黒マットアクリルを使用した。接続には黒の六角ネジを用いた。完成した本体ハウジングを図 21 に、底面部を図 22 に示す。

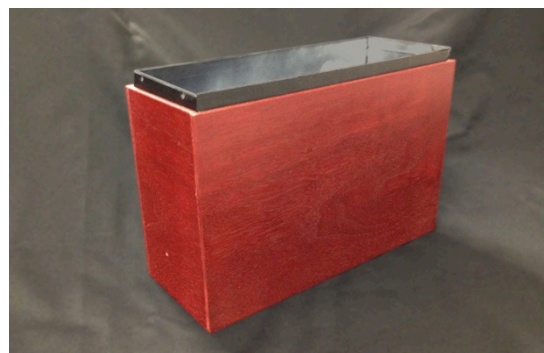


図 21 ハウジング部完成図



図 22 ハウジング底面部完成図

(5) 動作確認

完成した内部機構と電子機器の組み立てを行った(図23)。

制作したコントロールパネル部と機構部の組み立てを行い、動作調節、確認を行った。パネル内側に取り付けた枠の組み立てのために設けたネジ穴にステーを取り付け、30mmのM2のネジにスペーサーをはめ込む。そのネジの片側を内部機構の上面部材に差し込み、ナットとスプリングワッシャーで固定した。

次に、つまみを機構部に、リングを天板に取り付け、上下機構のせり出し具合についてプログラムと機構部とで微調節を行う(図24)。微調節後は実際に対象となる機器を操作することで動作の確認を行った。

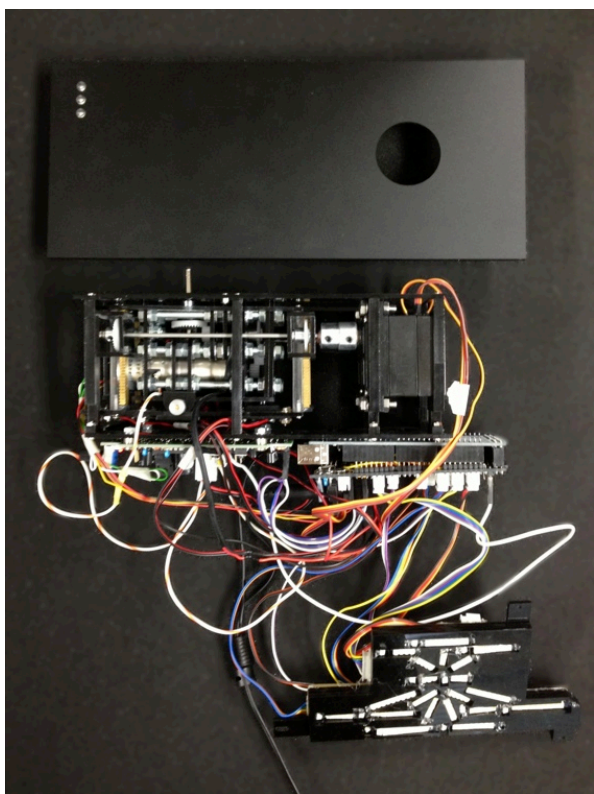


図 23 内部機構と電子基板組み立て完成図

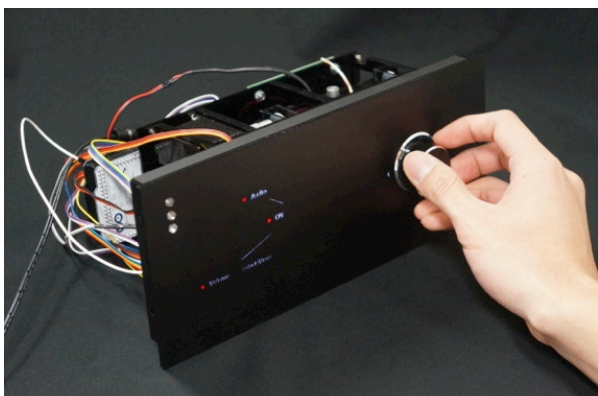


図 24 動作確認の風景

6. 完成作品

(1) 外観

完成した作品を図25に示す。



図 25 完成作品

(2) 作品仕様

[作品全体諸元]

- ・外形寸法：H260×W110×D175
- ・重量：700g
- ・素材：アクリル樹脂、アルミニウム、ステンレス、木材
- ・パーツ点数：322

[コントロールパネル天板諸元]

- ・外形寸法：H260×W110×D17
- ・重量：200g
- ・素材：アクリル樹脂、アルミニウム、ステンレス
- ・パーツ点数：46

[ギアボックス諸元]

- ・外形寸法：H100×W50×D57
- ・重量：250g
- ・素材：アクリル樹脂、アルミニウム、ステンレス
- ・パーツ点数：164

[上下機構諸元]

- ・外形寸法：H180×W86×D72
- ・重量：170g
- ・素材：アクリル樹脂、ステンレス
- ・パーツ点数：90

[ハウジング諸元]

- ・外形寸法：H240×W90×D158
- ・重量：80g
- ・素材：アクリル樹脂、ステンレス、木材
- ・パーツ点数：22

(3) 作品使用イメージ

制作した作品の使用イメージを図 26 に示す。



図 26 作品使用イメージ

(4) 作品回路図

制作した作品の回路図を図27に示す。

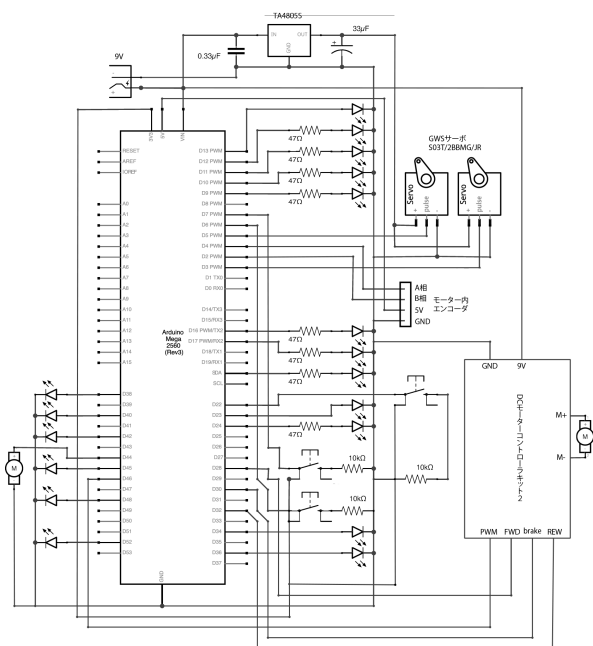


図 27 全体回路図

7. 展望・総括

(1) 展望

今回、ハプティクス技術を用いた室内使用のコントロールパネルを制作提案した。操作フロー選択時に発生する振動の意味について記憶することが必要であるという意見がいくつかあった。ただ、それぞれの機器を操作する際のアシスト感覚については、「わかりやすい」など高評価の意見が多かった。本作品は室内という身近な位置に存在する操作機器である。そのため、操作の記憶といった慣れについては家庭内では日を追うごとに取得できるとも考えられる。ただ、ホテルなど一時的な利用が多い場所での使用については手を加える必要がある。例えば、自分好みで振動パターンをスマートフォンのように自作が可能であれば、慣れという動作の負担が大いに軽減するのではないだろうか。また、それに加えて操作対象の選択も可能ならば、完全に「自分仕様」というインターフェースを構築することができる。本研究は作動方法のみの検討である。今後、設置位置やその時々に応じた形状に対する人間工学の検討が必要である。

(2) 総括

使用者は「人間が使用するものは使いやすくて当たり前」と考え市場の製品を購入し、生活に役立てている。しかし、実際には使いにくく、使用時のメンタルモデルの構築に一苦勞かけるような製品もたくさん存在する。それらは、性能のための技術本意の設計となっている共通点が見られる。これらは、機能のみに製品開発の重点が置かれていると思われる。Bronvega社のポータブルテレビ”Algol11” (Marco Zanuso,Richard Sapper,1964)や、Olivetti社による”Divisumma 24”(1956)、大型工作機械”SIGMA”(Rodolfo Bonetto ,1980)²⁾に見られるプロダクトデザインのように、「人間」から設計はスタートする必要がある。

技術の発展によって高度化された世の中で、技術のみが一人歩きし人間不在の製品開発姿勢は、ユニバーサルデザインの観点からしても正すべき問題である。より良い人間と機器の関係を真摯に考える必要があるのではないだろうか。

謝辞：本研究のご指導を頂きました、主査、指導教員佐藤康三教授、副査小林尚登教授に心から感謝致します。また、本研究にあたり、助言やサポート、アンケートに協力して頂いた研究室の学生に感謝致します。

参考文献

- 1)Mandayam A Srinivasan 「What is Haptics?」
Laboratory for Human and Machine Haptics: The Touch Lab Massachusetts Institute of Technology
- 2) Vittorio Gregotti - Il disegno del prodotto industriale Electa