

〔論文〕

CLOCKWORK

時計型デバイスによる直感的な時間操作コンテンツの製作

池田雄一郎^{*1}・千田 陽介^{*2}・工藤 達郎^{*2}

CLOCKWORK

: A-clock-type device for content creation with intuitive time manipulation

Yuichiro IKEDA^{*1}, Yosuke SENTA^{*2} and Tatsuro KUDO^{*2}

Abstract

Today, the 12-hour clock is generally used to express the time of the day, and a clock that displays time is important for people's lives. Since time reflects the real environment represented by the Sun, it can be said that a clock reflects the one-way relationship from reality to time. Alternatively, there are several types of content that work in the opposite direction. The user of such content can manipulate time to change the environment. In this paper, we describe the clock-type device "CLOCKWORK" that we have created for experiencing time manipulation, and we describe how to experience time manipulation in a pseudo manner using this device. In addition, we have conducted comparative experiments with devices such as gamepads and keyboards to determine whether the created device really feels like it is being operated for a long time. We have used electronic components such as microcomputers and sensors such as photo interrupters to create this device

Key Words : time manipulation, microcomputer, photointerrupter

1. はじめに

現代では、1日の時間の表現方法として一般的に24時制が用いられており、それを表示する時計は人々の生活にとって重要なものである。また時間は、太陽に代表される現実の環境を反映させたものであることから、本来は現実の変化が時間を示すという一方向的な関係であると言える。そんな中で逆の方向性、すなわちユーザが時間を操作し、環境を変化させることのできるコンテンツが複数存在している。例えば図1はライフイズストレンジ [1] というユーザがボタンを押すと時間を巻き戻し、正しいルートでストーリーを進めていくといったゲームである。図2はシンギュラリティ [2] というゲームであり、主人公が時間を巻き戻すことで破壊された階段を壊れる前まで巻き戻すことで攻略するといったものである。



図1. 時間を巻き戻すシーンと操作説明部分の拡大図

^{*1} 大学院電子情報システム工学専攻, ^{*2} 情報ネットワーク工学科
令和2年12月8日受理



図2. 時間を巻き戻し階段を崩壊前に戻すシーン

しかし、これらのゲームにおいては時間操作の行程がボタン1つで完結しており、時間操作に対する没入感がなくユーザは時間を操作しているという感覚を得られない。そこで筆者らは、図3の様にユーザが実物の時計の針を回し、仮想の空間に存在するオブジェクトの時間を操作することで直感的な時間操作が可能な体験を生み出すことができるのではないかと考えた。本稿はこの考えに基づいて製作したインタラクティブ作品『CLOCKWORK』について述べるものである。なお、以降の文において作品全体を“CLOCKWORK”と表記、針を操作するデバイスを“時計型デバイス”と表記する。

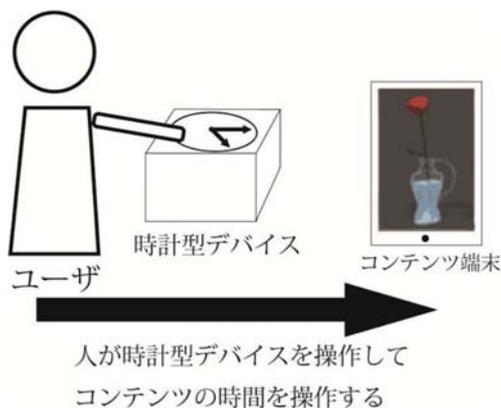


図3. 時計型デバイスで時間軸を操作しているイメージ

2. 時計型デバイス

時計型デバイスは、針が通常の時計の様に自動的に動きかつ、ユーザが直接針を動かした場合の回転量を把握しコンテンツ側に情報を送信する役割を持っている。さらに、デバイス自体が作品の1部でもあるため見た目は重要である。そのため、図4の様に電源は鉛蓄電池を使用し、コンテンツ間の情報のやり取りにはBluetooth通信を用いることで完

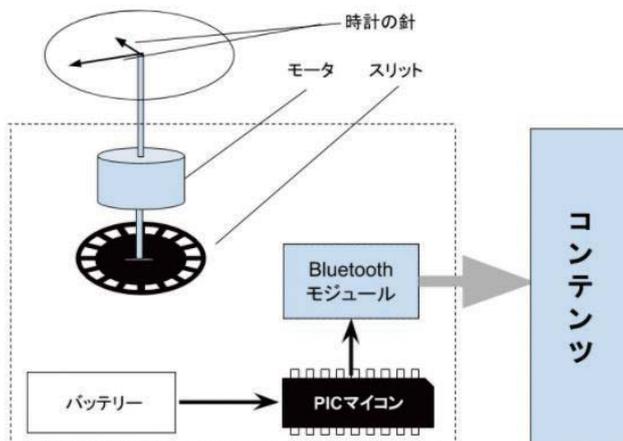


図4. インターフェースの内部構造とコンテンツとの関係

全ワイヤレス化した。これは作品として展示する場合に展示場所や配置において一切の制限をなくすためである。

時計型デバイスの見た目は時計であるため長針と短針が必要である。それぞれ独立したモータで動かし回転量を計測しても問題ないがシステムが複雑になってしまう。また時計の長針と短針の動作角度の比は12:1と決まっている。そこで歯車による減速機構を用いて1つのモータに統一することにした。12:1で動く機構は一般の時計も持っている。そこで市販品などを使うことも考えたがデザインや作品として完成した際にさまざまな場所で展示を行うため、小さい子供などが使用するケースも考えると強度の面での不安もあり、機構自体を作ることにした。構造としては図5右上のようにモータがあり、モータの回転は針と同期しておりかつ図5右下の様なスリットが取り付けられている。なお、モータはユーザが針を回していない時に自然と時間が進むように針を回すために使用する。

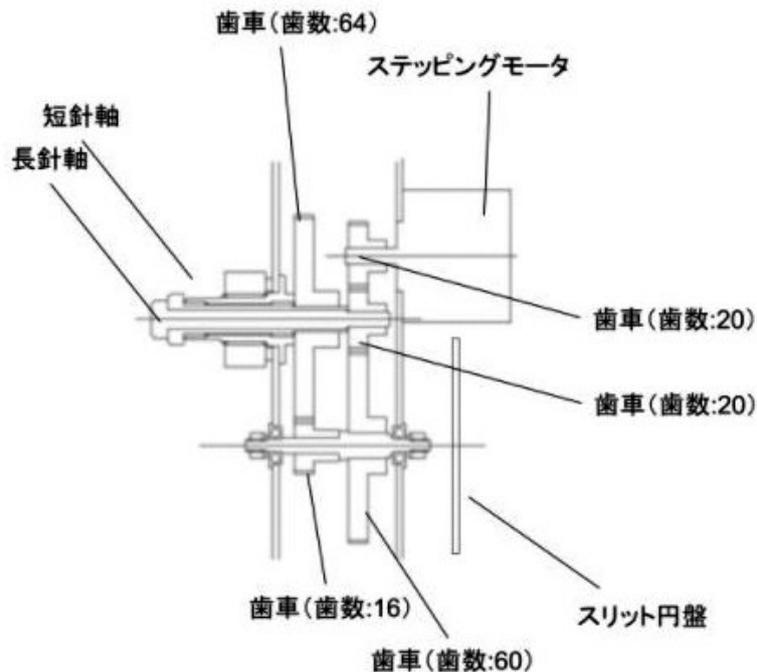


図5. 時計型デバイスの軸の図面

ユーザが回した針の回転量はフォトインタラプタを用いてロータリエンコーダを実現する。フォトインタラプタとは図6のような電子部品であり、図7のように発光素子と受光素子の間に障害物があるかを取得できるものである。図8のように時計の針と同期して回転するスリット付の円盤に2つのフォトインタラプタを配置する。2つのフォトインタラプタの位相が半周期ずれるように配置しておく、時計周りに回転させた場合の2つのフォトインタラプタの出力は図9のT軸方向のようになる。反時計回りにまわした場合逆の順番になる。例えば(P1,P2)が(1,0)の状態から(1,1)に変化した場合時計周りで、(1,0)から(0,0)になった場合は反時計回りで回転したことになる。これにより状態が(1,0)から(1,1)、(1,1)から(0,1)、(0,1)から(0,0)、(0,0)から(1,0)に変化した場合時計周りで動いたということが分かるので、回転量を+1、逆の順に変化した場合-1になるように、プロ



図6. フォトインタラプタ

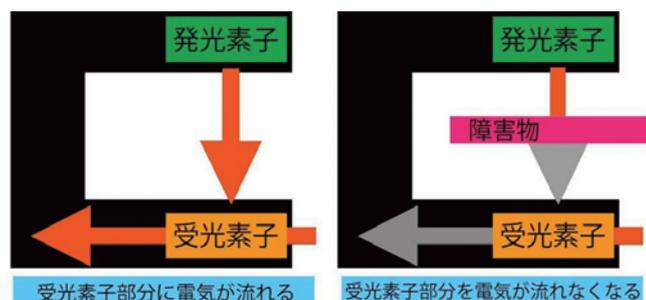


図7. フォトインタラプタの原理

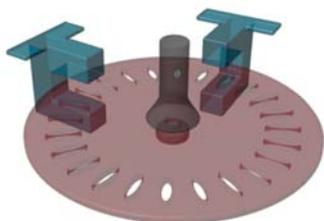


図8. 2つのフォトインタラプタと円盤の配置

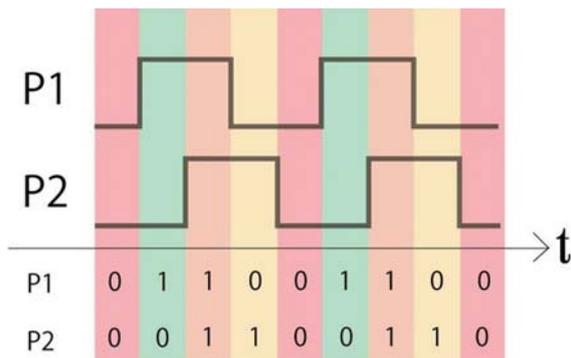


図9. 2つのフォトインタラプタが返す値

グラムもしくはロジック回路で組めば回転量を知ることができる。回転量の単位はスリットの数及び減速比で決定する。今回の場合スリットの数45で減速比が1/3倍なので長針換算で2分単位になる。

今回はPICマイコンを用いてモータの制御とフォトインタラプタの変化を検知し回転量を測定することにした。Arduinoやラズベリーパイなどの汎用的なシングルボードコンピュータを使わずPICマイコンを用いた理由はデバイスを小型化するためである。PICマイコンを搭載した電子回路を図10に示す。

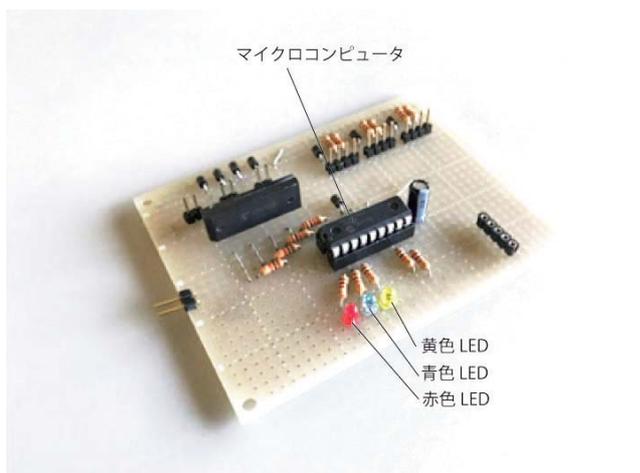


図10. 作成した電子回路

なお、図10の回路に搭載されている3色のLEDは回路の動作状態を確認するために搭載したものである。2つのフォトインタラプタの状態が赤と青で表示され、コンテンツに情報を送っているときは黄色が点灯するようになっている。

PICマイコンの計算にて得られた回転量のデータをコンテンツへと送信する際には図11のRN42 [3] を用いてBluetooth通信を行った。RN42はシリアル通信をBluetooth通信化するもので、PICマイコンは普通のシリアル通信処理をするだけである。



図11. RN42が実装された基板

図3のコンテンツにあたる部分は UNITY を用いて開発し、Android タブレット上で動作させた。しかし、開発時の最新バージョンの UNITY (2019. 3. 0f 3) ではシリアル通信を実装することができないことが判明した。そこで図12の様に一旦 PC で Bluetooth 通信を受信し、UDP プロトコルを用いて Wi-Fi 通信でコンテンツ側の端末に送信するようにした。



図12. パソコンを介した Android タブレットとの通信

図13及び図14に実際に製作した時計型デバイスを示す。なお、デバイスの大きさは220mm (w), 220mm (d), 145mm (h) である。透明アクリルを用いることでユーザに内部の回路や機械部分が見えるようにした。これは実空間の時間操作が現在の技術では不可能であるため、電子回路などや歯車が見えるようにすることでSF的な雰囲気を出すためである。なお、作成にはレーザーカッターを用いた。

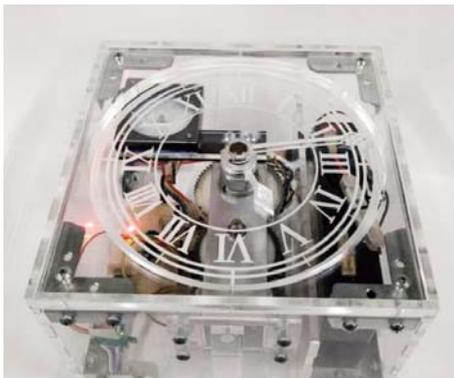


図13. 時計型デバイス



図14. 実際に回している時計型デバイス

3. 時間操作コンテンツの製作

前で述べたデバイスを用いて時間を進めたり、巻き戻したりして時間操作を体験できるコンテンツを作成した。コンテンツ内容としては、上部に表示されている制限時間までにユーザが図14の様に時計型デバイスの針をまわすことで切り花の時間経過を操作し、タブレット端末の向きを調整することで左下に表示される切り花の手本と同じになるように“時間”及び“視点の角度”を合わせるという問題を用意した。なお、問題数は全10問である。時計型デバイスの針を時計周りに進めると図15右の様に花は徐々に枯れ、巻き戻すと図15左のように前の状態に戻すことができる。お手本より枯れている場合は時計型デバイスを反時計回りに回し、お手本より枯れてない場合はデバイスを時計周りに回して時間を合わせる。

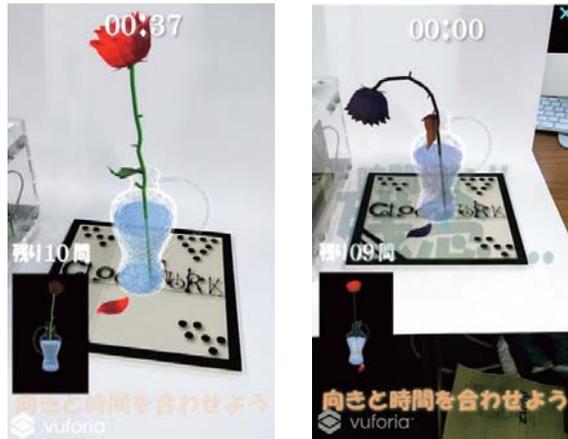


図15. 時計を回すことで変化した切り花のモデル

花が枯れる変化は図16のような3Dアニメーションとした。このアニメーションは今後差し替えることも考慮し、アニメーション全体の長さを1と考え、枯れ具合 W を0.0~1.0で表記することとした。システムは枯れ具合 W に応じた時刻の3Dモデルを描画する。例えば W が0.0の場合図16の左端の3Dモデルになり、 W が1.0の場合図16右端の3Dモデルのようになる。図16の両端を除く3つの3Dモデルはそれぞれ w が0.2ずつ増えたものである。お手本の枯れ具合 W_g はコンテンツ開始時に乱数で設定し、ユーザが時計型デバイスを用いて花の枯れ具合 W を W_g に近づくように操作する。ここで時計型デバイスが指し示す時刻と花の枯れ具合 W との関係を表1に示す。この式において T はアニメーション全体の長さ、 t はコンテンツ開始時に時計型デバイスが指し示していた時刻とユーザが操作したことによって変わった現在指し示している時刻の差、 S はコンテンツ開始時に描画するアニメーション時刻のオフセットである。オフセット S を設けたのはコンテンツ開始時にいきなり反時計回りに時計型デバイスの針を回すユーザがいたため、そのような操作でもある程度アニメーションが動くようにするためである。



図16. 時計操作と同期して変化する切り花の3Dモデル

$$W = \frac{t + S}{T}$$

式1. アニメーション再生位置

4. 実証実験と考察

図15のコンテンツを用い2019年5月に開催された“Spiral Independent Creators Festival 20”と2019年8月に開催された“遊べる！！デジタルアート展2019”の2件にて展示を行った。展示にて本コンテンツをプレイした多くの方から「今までにない体験」といった良い評価を得ることができた。ここで、作成した時計型デバイスが本当に既存のデバイスより時間操作を直感的に行えているかに関して客観的な評価を行うため以下のような実験を行った。

(1) 実験内容

実験は本学の学生24名（以後被験者と表記）に対して、時計型デバイスの他にキーボードとゲームパッド(Xbox360のコントローラ)の3つのデバイスで、3種類の異なる操作体系の動画再生アプリケーションで動画の時間操作を行ってもらい感想を聞いた。デバイスの操作方法としては時計型デバイスは針を時計回りに進めると動画が進み、半時計回りに進めると動画が逆再生される。キーボードの操作方法はカーソルキーの左矢印キーで動画を巻き戻し、右矢印キーにて動画を進めることができる。ゲームパッドはジョイスティックの水平軸の傾きによって操作する。傾きが左の場合



図17. Youtube を模した画面



図18. Google Earth Engine の映像

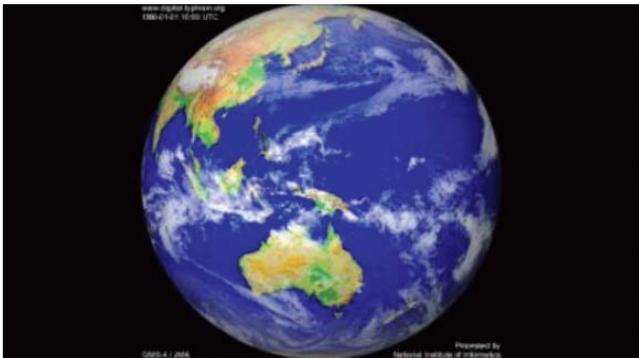


図19：約10年分の気象映像

は動画を巻き戻し、傾きが右の場合は動画を進めることができる。ゲームパッドの特徴としてキーボードと違いアナログ値を返すため、傾き具合と再生速度が比例するという特徴があるため、少し傾けるとスロー再生の様になり、大きく傾けると早送りの様になる。

1つ目の動画再生アプリケーションは、動画サイト「YouTube」を模した画面（図17）にて自作の動画を再生するもので、画面には動画と連動して動くシークバーが配置されている。2つ目にGoogleEarthEngine [4] より取得した自然地帯が開拓されていく様子を示した衛星画像を用いて作成したタイムラプス動画を再生する（図18）。3つ目に国立情報学研究所 [5] のページより取得した約10年分にわたる気象映像を再生する（図19）。デバイスごとの変化速度に大きな差があると、操作したときの快適性に差が出てしまうため、どのデバイスを用いて操作しても先頭から最後まで10秒程度の操作で動画を再生できるようにした。

(2) 実験結果

被験者に対して実験の後アンケートを取った。まず性別（図20）と年齢（図21）のデータを収集した。

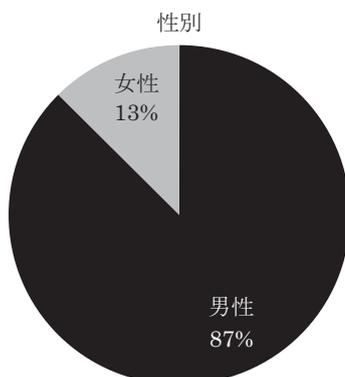


図20：性別のアンケート結果

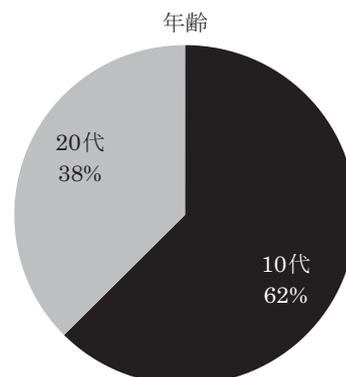


図21：年齢のアンケート結果

その後、図17～図19の各動画においてどのデバイスが“最も時間を操作している感じがあるデバイスか”という質問と“最も自分の意図した通りに映像を操作できるデバイスはどれか”という質問（図22）を行った。

- 時計型デバイス
- ゲームパッド
- ⊙ キーボード

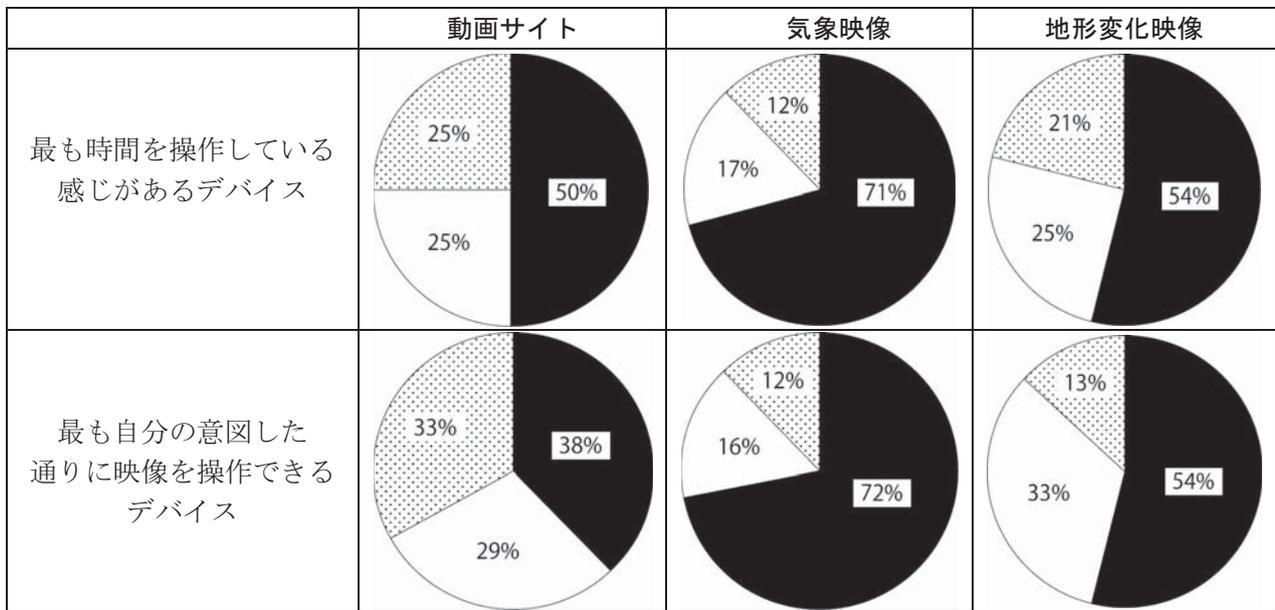


図22：アンケート結果

さらに、どのデバイスが操作していて楽しいかを把握するために図23の質問と、図17にて動画サイトを模した動画を用いているため、普段 Youtube などの動画サイトの利用頻度のデータは必要であると考え図24のような質問を行った。

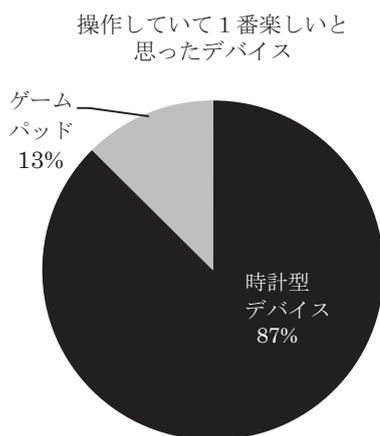


図23：操作していて楽しいと思ったデバイス

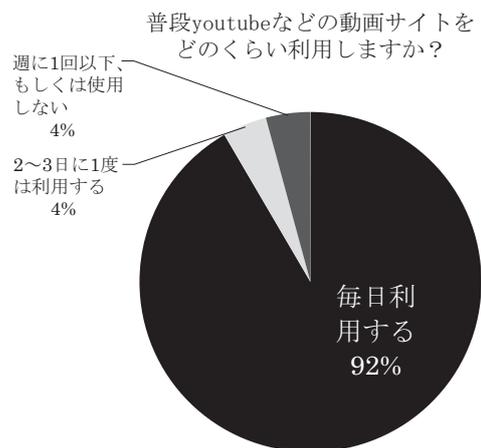


図24：動画サイトをどのくらい利用するか

他にも被験者より以下のような意見が寄せられた。

質問：ほかに時間操作の体験はありますか？

DS ゲーム機の日時の変更.
シークバーをいじる程度
時止めるタイムスイッチ
朝から夜までの空
音楽再生
DS ゲーム機などの時間
朝から夜にかけての町などの風景、オーロラ、ハイスピードカメラ、星（夜景）
電子レンジのタイマーのセット
世界史系動画で、国家や文明の変遷を見る時
U-NEXT
youtube などの動画サイトでシークバーをいじる程度

質問：今回の実験にて何かご意見、ご感想がございましたらご記述ください。

それぞれ時間を操作するには適切な速さが必要だと言うことが分かりました。
時計を使ったことで本当に自分自身で時間操作したような感覚を体験でき、楽しかったです。
時計で時間を操るのはとても面白いアイデアだと思いました。
キーボードは細かい時間を操作できなかった
CLOCKWORK での操作のときのみ動きがカクカクするのが気になりました。
もっとスルスル動けば時間操作している感覚がよく味わえると思いました。
細かく操作できたら好きです
時計の針で調整できるのは面白いと思います
今は瞬間移動している感じで、時間楽しんでいる感じがなかったので、もう少し、変化を楽しむような感じが欲しいです
面白かったです！
映像によって操作をしやすいと感じるデバイスが違う感覚が新鮮だった。
時計型のコントローラーを使っている時に、実際に時間を操作しているような不思議な感覚が味わえて新鮮でいいなと思った。
操作性に関して言えばゲームパッドが一番良かったです。時間を操作している感覚というのは、時計が一番だったかと思います。
youtube の時間操作は普段 PS4 でコントローラーでしているの、そっちのほうが馴染みがあった
地形変化映像は変化が少なくどのデバイスでも時間の移り変わりが分かりづらかった
気象と地形の映像は GameScene 上で移動した先が何年の映像なのかわからなかった、YouTube のシークバーみたいな UI が欲しかった
CLOCKWORK ですが短針が操作の邪魔になっている
地形変化がもっと長い時間見れば、森が開拓されて建物が立ったりというような変化がたくさん見られるんじゃないかと思います。
地形変化映像にマウスカーソルが映っているのが気になりました。
CLOCKWORK で動画のシークバーを操作するという新鮮な体験ができたので良かったと思います。

(3) 考察

“時間を操作している感じ”があるデバイスはどれかという質問において半数以上の被験者がすべての動画で時計型デバイスを選択したことから、時計型デバイスはキーボードやゲームパッドなどの既存のデバイスと比較して、時間操作を目的としたコンテンツには適したデバイスであるといえる。“最も自分の意図した通りに映像を操作できるデバイス”はどれかという質問においても地形変化映像と気象映像においては半数以上の被験者がキーボードやゲームパッドより時計型デバイスが意図した操作ができるとしている。しかし、動画サイトでの操作ではやや選択した被験者が少なくなった。これには2つの理由が考えられる。

1つ目は一般的に動画サイトなどで意図的に動画を進める場合、シークバーで自分が見たいシーンに移動させる。しかし、時計型デバイスの場合、目的のシーンまで離れている場合何周も回す必要があり、非常に手間がかかる。2つ目は他の2つの映像に比べキーボードを選択した被験者が増えており、相対的に時計型デバイスを選択した被験者が減っている。この理由として動画サイトの動画が他の2つの動画と違い、時間の経過を楽しむことが目的でないことがある。そのため、再生速度に緩急をつけられる時計型デバイスやゲームパッドではなく、一定の速度で変化するキーボードの方が被験者の見たい位置に移動させやすく、質問でキーボードを選択した割合が増えたのではないかと考えられる。

しかしながら、すべての動画において時計型デバイスを選択している割合が1番多く、意図した通りに操作できるデバイスであるといえる。

5. おわりに

現実の時計に近いインターフェースを用いることで、ユーザがより直観的に時間操作が可能なコンテンツを生み出すことが可能と考えた。そこで時計型デバイスを作成し、さらにデバイスを活かせるコンテンツを作成した。そして、実験の結果得られたデータを見るに時間を操作している感じがあるデバイスはどれかという質問において、半数以上の被験者がすべての動画で時計型デバイスを選択したことから時間操作に適したデバイスであると考えられる。さらに、最も自分の意図した通りに映像を操作できるデバイスはどれかという質問においてすべての映像においてキーボードやゲームパッドに比べ時計型デバイスが最も意図した操作ができると回答したことから、直観的に操作できるデバイスであり、このことからユーザがより直観的に時間操作が可能なコンテンツであるといえる。

しかし、実験を行った際、以下のような意見があった。

1. 長針を回す際に短針が指に当たる
2. 時計型デバイスでの操作のときのみ動きがカクカクする

このうち、1の問題は長針と短針の間に隙間がなく指の位置によってはぶつかってしまうためであると考えられる。解決方法としては強度を損なわない程度に厚さを下げ、長針と短針の間を空けることで解決すると思われる。他の方法として、アクリル板をレーザーカッターで加工して製作したため断面が図25左のように角張っているため、図25右のように側面の角を削り取ることで指が当たっても短針の上を指が乗り越えられるようにすることで解決すると思われる。

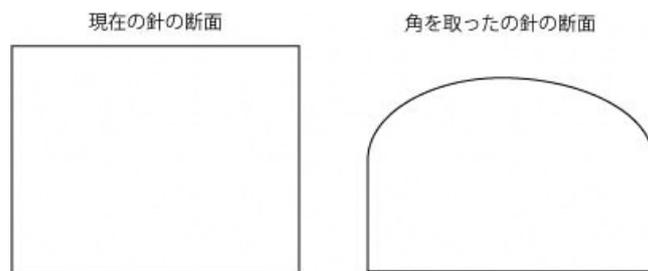


図25：短針の改良方法

一方、2の問題はデバイスが取得できる針の動きが現在時計型デバイスの時間軸で2分単位であり、秒単位の数値が存在しないため、動画の再生位置の細かい操作ができずカクカクしているように感じられると考えられる。これは、コンテンツ側で数値を補間するかスリット数を上げることでより細かい精度で時間情報を取得できるようにする必要がある。今後の展開としては作成したデバイスを生かし、より時間操作感覚を味わえるコンテンツはどういったものか考案しつつ新しい時間操作コンテンツを開発していく予定である。

文 献

- [1] ライフイズストレンジ (スクエアエニックス：2016 <https://www.youtube.com/watch?v=eCRvW6p5Yfl>)
- [2] シングularity (スクエアエニックス：2010 https://www.youtube.com/watch?v=SGbIJL6__lc)
- [3] RN42 (https://akizukidenshi.com/download/ds/microchip/rn42v2_32r.pdf)
- [4] Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>)
- [5] デジタル台風：雲画像動画アーカイブ (全球画像) (<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/archive/monthly/>)