

トランプ技術の習得を支援するカード型デバイスの試作と評価

津田顕輝^{†1} 沖真帆^{†1} 塚田浩二^{†1}

概要: 現在、演奏やスポーツ等の様々な分野でセンサやITを使った技術の習得支援が多く研究されている。その中でも道具にセンサを装着して道具の動きを直接計測する手法は一般的であり、製品化されて広く使われているものも多い。しかし、トランプ等のカードを扱う技術（例：シャッフル／カット）の分野では、センサやITを活用した技術習得支援の例は少ない。本研究では、トランプ技術の習得を支援するために、形状と使い心地がトランプに近いカード型デバイスを提案する。また、カード型デバイス自体のプロトタイプと、それを用いて使用するフィードバック用アプリケーションを実装した。これらの基礎性能評価を行った後、熟達者と初心者を利用して実際のトランプ技術のデータを収集した。収集したデータを分析し、利用者のスキル等に応じた違い／特徴からトランプ技術のコツ等を推定し、技術習得支援に利用できる可能性を示した。

キーワード: カード、トランプ技術、技術習得、導電性インク、センシング

Card Type Device to Support Acquisition of Card Techniques

KENKI TSUDA^{†1} MAHO OKI^{†1} KOJI TSUKADA^{†1}

Abstract: Recently, many research/commercial projects have been performed, which focus on skill acquisitions on sports or performances by using sensors and computer technology. In such projects, they often equip sensors on “tools” (e.g., balls) to detect motions of the tools. Meanwhile, there are few projects to support acquisitions of card techniques, such as shuffling, cutting and so on. Therefore, we propose a card-type device to support skill acquisitions of cards. We designed thin sensors using patterns of conductive ink to keep the thickness and shape of common cards. We develop the prototypes of the card-type device and feedback application. Using the prototypes, we perform the evaluation to analyze difference of sensor data of subjects with different skill levels. Finally, we reveal the possible usefulness of the device for acquiring card techniques.

Keywords: Cards, Acquisition of Techniques, Conductive ink

1. はじめに

近年、スポーツや楽器演奏等の分野において、センサやITを用いて技術を定量的に計測し、習得支援に活用する研究が盛んに行われている[1-5]。その中でも道具にセンサを取り付ける手法は一般的であり、MIZUNO社のスイングトレイサー[1]のように製品化されて広く使われるようになってきている。しかし、シャッフルやカットに代表されるトランプ等のカードを使ったテクニック（以下、トランプ技術）においては、センサやITを用いて技術を定量的に評価して習得支援を行う例は少ない。そのため、現在のトランプ技術の習得方法は、熟練者の技術を見て盗む、文献を参考に練習を繰り返す、といった古典的な手法が一般的である。また、スポーツ等に比べトランプ技術に精通している熟練者の人口は少なく、熟練者の技術に学ぶことも一般に困難である。このような背景から本研究では、トランプ技術のデータを収集／分析して定量的に評価するために複数のセンサを搭載しつつも、トランプに近い形状と使い心地を持ったカード型デバイスを提案する。

2. 関連研究

「道具にセンサを搭載した例」「導電性インクを用いてセンサを作成した例」「トランプを拡張した例」の三つの観点から、本研究に関連する研究事例を紹介する。

2.1 道具にセンサを搭載した例

演奏、料理、スポーツに用いる道具にセンサを取り付けてデータを収集し、技術の習得を支援する研究や製品が多く登場している。

山元ら[2]は、タップダンサーの技術向上のためのリズム計測タップシューズを開発した。これはタップシューズに9軸モーションセンサと圧力センサを取り付けたもので、タップのタイミングと足の姿勢をそれぞれ測定する。山本らはこのタップシューズで計測したデータからタップのタイミングとステップの識別を行い、ステップごとの打刻時刻のずれを解析することでタップダンスの演奏の特徴を評価できることを確認した。由良ら[3]は、料理に用いる包丁の柄の両端に6軸モーションセンサを取り付けて、キュウリの小口切り、人参と大根のイチョウ切り、大根の桂

^{†1} 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate

むきを行った際のデータを収集／分析した。その結果、それぞれの材料・切り方において被験者間に明確な違いがあり、包丁操作の特徴を見出せることを確認し、熟達者と初学者の違いから上達のためのアドバイスができる可能性を示した。

Sony 社のスマートテニスセンサー[4] は、テニスのスイング習得支援のための製品である。モーションセンサと振動センサが搭載されており、ラケットエンドに装着してラケットを使用することでスイングの際のラケットの動きやボールが当たった際の振動を検知して、データを使用者のスマートフォンに送る。スマートフォンではスイングや打ったボールの詳しい様子を表示する。また、それらの情報は後から振り返ることもでき、長期的な練習の支援にも活用できる。adidas 社の miCoach smartball[5] は、加速度センサを内蔵し、様々な情報を取得できるサッカーボールである。通常のサッカーボールと同様に蹴るだけで、蹴られた位置、飛距離、回転数等を取得できる。また、専用アプリケーションではデータの可視化や、プロのサッカープレイヤーのデータと比較できる。

2.2 導電性インクを用いてセンサを作成した例

Vadgama ら[6] は既製のインクジェットプリンタで出力可能な導電性インクを用いた曲げセンサのパターンを考案した。また、その曲げセンサを使用する 5 つのアプリケーション例を提示し、その実用性を示した。山路ら[7] は、タッチ操作やホバー操作を検出する機能を持つオブジェクトをプロトタイピングするための開発環境を作成するにあたり、紙に導電性インクを用いて印刷された様々な電極パターンを有するタッチセンサを設計し、タッチセンサ用の操作認識プログラムを作成した。橋爪ら[8] は、着圧測定において問題となる体表面に触れる配線の排除を目的として、センサに与えられた圧力を無電源・非接触で読み取ることのできる導電性インクを用いて印刷により形成された薄型のパッシブ型圧力センサを提案した。

2.3 トランプを拡張した例

トランプを用いたゲームやマジックを拡張した事例を紹介する。

田中ら[9] は、プロジェクタ・カメラシステムにより、トランプを用いた既存のゲームの拡張を行った。ゲームを行う場の上部に設置したカメラでカードのマークと数字を識別し、手の出現する位置からプレイヤーを特定した。そして、プロジェクタを用いてカードにエフェクトを投影した。これにより、トランプを用いたゲームのエンターテインメント性とコミュニケーション性の向上に成功した。

荒川ら[10] は視覚障害者と晴眼者が共通のルールでゲームを行うことができるように、IC タグを内蔵した音声出力型の電子トランプを開発した。開発した電子トランプを用いて実際に視覚障害者にゲームを行ってもらい、晴眼者と同条件でゲームを行うことが可能であることを確認した。

金山ら[11] は、トランプマジックに AR、プロジェクションマッピング、タブレットを用いた映像を使用した。これにより、その場を盛り上げる演出や、映像上のカードと実物のカードが相互に作用したように見せたり、映像がなければ成り立たないストーリーのあるマジックを実現した。これにより、映像技術とカードマジックを組み合わせた新たな見せ方を提案した。

2.4 本研究の特徴

2.1 節で紹介した事例は、スポーツ等で用いる道具に直接センサを搭載することでデータを収集し、得られたデータを用いて技術の習得の支援を目指したものである。本研究においてもカードという道具に 2.2 節で紹介したような導電性インクを用いて作成したセンサを取り入れることによって、トランプ技術のデータの収集／分析や技術習得を支援できると考える。また、本研究で提案するカード型デバイスは 2.3 節で紹介した事例のようなトランプを用いたゲームやマジックを拡張するものとは異なり、トランプを扱う技術の習得の支援を目指したものである。



図 1: 提案システムの利用イメージ

3. カード型デバイス

本研究では、トランプ技術のデータを収集し定量的に分析／比較するために、複数のセンサを搭載したカード型デバイスを提案する。センサの設計にあたって、以下の二点を考慮した。

- (1) トランプ技術に直結するカードの物理量を計測
- (2) できる限りトランプカードと同様の薄型の形状

(1) については、著者の一人がマジックを通してトランプ技術にある程度習熟している経験も踏まえて、特にシャッフルやカット等のカードの基礎的な扱いに重要になる「指がカードのどこに触れているか」「カードがどの程度曲がっているか」の動作に着目し、今回はこの 2 つを計測することとした。(2)については、薄型のフレキシブル基板と基板上的パターンを利用すれば、トランプカードに近い厚み／形状のデバイスにできると考えた。基板には静電容量型タッチセンサと曲げセンサを搭載することで、前述の 2 つの動作を検出する。

図 1 に、カード型デバイスの利用イメージを示す。デバイスはカードの山の一番上／一番下／またはその両方に置くことを想定している。

4. 実装

本章では、実装したカード型デバイスとフィードバック用アプリケーションのプロトタイプについて述べる。

4.1 カード型デバイス

まず、プロトタイプのカード部の外観を図2に示す。カード部はトランプと同様の形状と使い心地を目指しているため、薄くて柔軟性のあるフレキシブル基板を用いて実装する。カードの厚みは $73 \mu\text{m}$ で、サイズはトランプで最も一般的なポーカサイズ（約 $63\text{mm} \times$ 約 89mm ）と同様とした。前述したように、フレキシブル基板上のパターンを用いて、静電容量式タッチセンサと曲げセンサを設計した。図2左に設計したパターンを示す。ここで、カード周辺の8つの多角形のパターンが静電容量式タッチセンサ、中央の何度も往復する1つのパターンが曲げセンサとなっている。曲げセンサの設計には、Vadgama らの手法[6]を参考にした。各パターンは、カード下部のコネクタを介してケーブルで制御基板に接続され、制御用の回路を通してマイコン (Arduino Pro Mini) の入出力ピンに接続される (図3)。静電容量式タッチセンサの仕組みはデジタル出力を High にしてから、デジタル入力が高になるまでの遅延時間を計測する。静電容量タッチセンサに指が触れると、遅延時間が長くなるため、その遅延時間の長さから触れているかどうかを判断する。こうして設計したカード型のパターンを、P-Flex (エレファント株式会社) のサービスを利用して、導電性インクベースのフレキシブル基板として実装した (図2右)。

次に、処理の流れについて説明する。曲げセンサ部分が曲がる際の抵抗値の変化や、タッチセンサ部分に指が触れた際の静電容量の変化をマイコンで検出し、正規化した上でコンピュータにシリアル通信で送信する (図4)。

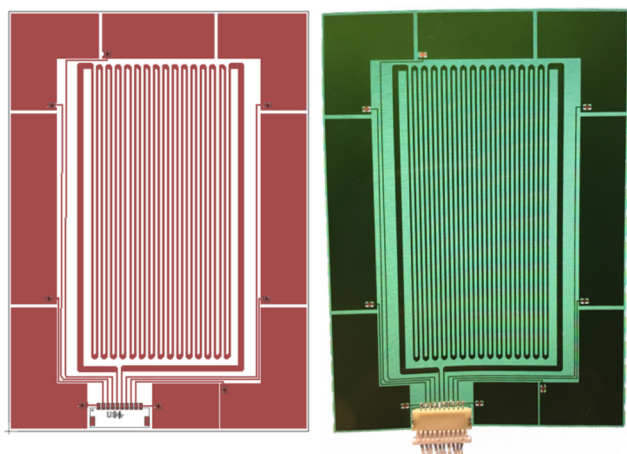


図2: 設計したパターン (左) とカード部の外観 (右)

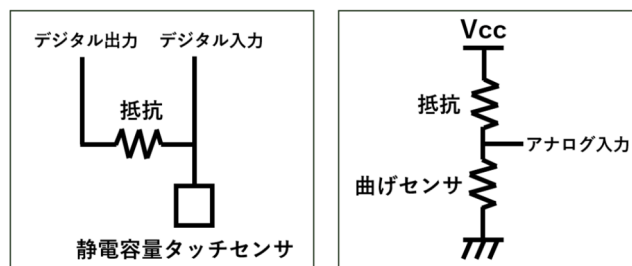


図3: 制御用の回路図

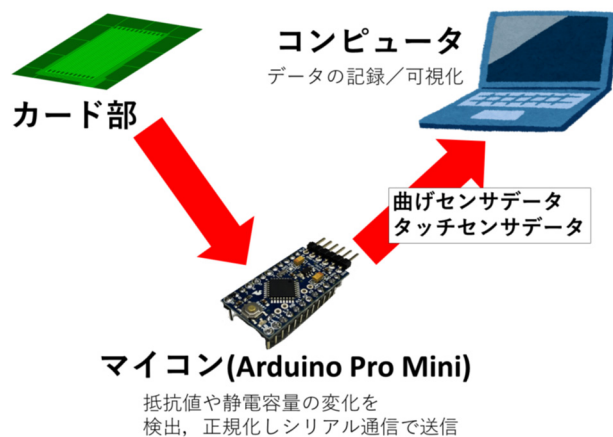


図4: 処理の流れ

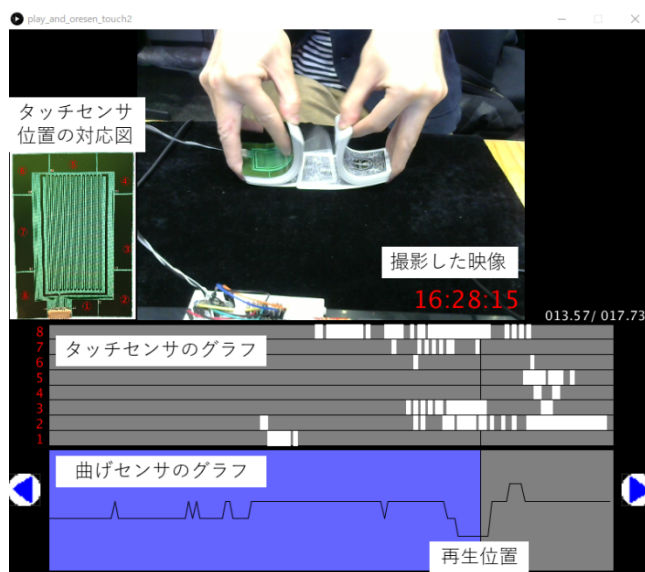


図5: フィードバック用アプリケーションのスクリーンショット。記録した技の動画とセンサデータを閲覧できる。

4.2 フィードバック用アプリケーション

フィードバック用アプリケーションは、センサデータの記録、PC 上の Web カメラでの動画撮影機能、および以前記録したセンサデータと動画の再生機能を備える。ユーザは、カメラで自分の手元を撮影しながら、動画とセンサデータを合わせて保存することができる。保存した動画/センサデータは同期して再生することで、手元のカード操作とセンサの状態を併せて視覚的に振り返ることができる (図5)。

5. 対象とするトランプ技術

本研究で作製したカード型デバイスは、マイコン部と接続するためのコネクタとケーブルが付いていることや、トランプ技術に使用するすべてのカードをカード型デバイスに置き換えることができないという理由から、対象とするトランプ技術が制限されてしまっている。ただし、この枠組みでも計測可能と思われるトランプ技術も存在する。そこで、本章では本研究の対象とする基本的なトランプ技術の例を3つ紹介する。

5.1 リフルシャッフル

リフルシャッフルとは、カードの山を二つに分け、両手でそれぞれの端をはじいて噛み合わせ、その後、再び一つの山に合わせるシャッフルである(図6)。このシャッフルは全ての動作が終了するまで、カードの山の一番上と一番下のカードが常に指に触れており、また、カードをはじく際の曲げ具合もシャッフルを行う際の重要な要素であると考えられるため、本研究のカード型デバイスの使用に適していると言える。

5.2 シャリアカット

シャリアカットは、カードの山の上下を片手で入れ替えるカットである。まず、カードの山を片手の指先で持ち、その山の下半分ほどを手のひらの上に落とす。その後、落とした下半分のカードを人差し指で押し上げ、上半分のカードと場所を入れ替え、カードをまた一つの山に戻すカットである(図7)。この技も全ての動作が終了するまで、カードの山の一番上と一番下のカードが常に指に触れている。また、カードの下半分と上半分を入れ替える際にカードのどこに指をおいて支えるかが重要であるため、本研究の対象に適していると考えた。

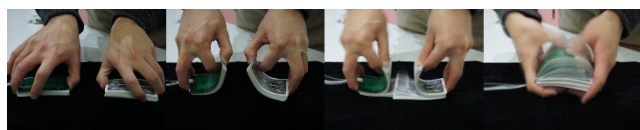


図 6: リフルシャッフルの手順

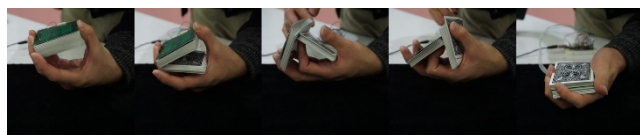


図 7: シャリアカットの手順

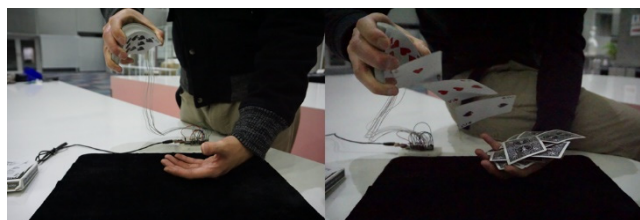


図 8: スプリングの手順

5.3 スプリング

スプリングはカードの山を片手で持ち、カードを曲げていくことで、もう片方の手に一枚ずつ飛ばしていく技である(図8)。カードを綺麗に一枚ずつ飛ばし、この技をうまく行うには、カードの曲げ具合が重要であると考えられる。そのため、本研究の対象として適しているといえる。

6. 基礎性能評価

作製したカード型デバイスのプロトタイプにおいて、曲げセンサとタッチセンサの検出精度を評価する。

6.1 曲げセンサ

曲げセンサにおける「何段階程度の曲がり具合の変化を計測することができるか」と「段階ごとにどの程度の角度の変化があるのか」について調べる。

6.1.1 手法

カード型デバイスのプロトタイプを分度器の前で曲げ、テスターで抵抗値を計測し、値が変化した際の角度を計測する。具体的には、プロトタイプを徐々に曲げ、テスターで計測した抵抗値が 0.1Ω 変化するたびにその時の角度を記録した。プロトタイプのコネクタがついている面を表、反対の面を裏とし、この実験は表向きに曲げる場合と裏向きに曲げる場合のそれぞれについて5回ずつ行った。実験の様子を図9に示す。

6.1.2 結果と考察

表向きに曲げた際の結果を図10に、裏向きに曲げた際の結果を図11に示す。実験の結果から、表向きは $44\sim 174$ 度、裏向きは $33\sim 175$ 度の範囲を計測できた。この結果から、やや不安定ではあるが、ある程度決まった範囲の曲がり具合を計測可能だと考えられる。

0.1Ω の角度変化量を一段階とすると、表向きは6段階、裏向きは7段階の曲がり具合を計測することができる。この段階の数の違いは、裏面には薄く削ったトランプが張り付けられていることによって生じる違いであると思われる。

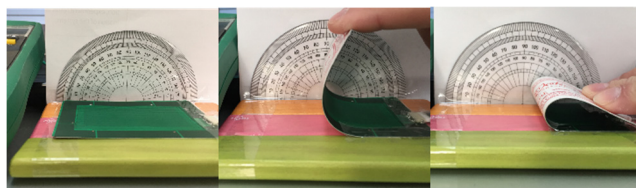


図 9: 曲げセンサの実験手法 (左: 0° , 中央: 104° , 右: 176°)

6.2 タッチセンサ

カード型デバイスのプロトタイプに8箇所あるタッチセンサそれぞれについて、指が触れたことの検出の可否と、その精度を検証する。

6.2.1 手法

タッチセンサ1カ所につき5秒程度、人差し指で触れてもらい、タッチが検出されるかを調べた。これをタッチセンサ8カ所分を行った(図12左)。得たデータを専用アプリ

ケーションで可視化し、検出の可否と、その精度を確認する。

6.2.2 結果と考察

すべてのタッチセンサで指が触れたことを検出することができた。ただし、タッチし続けている場合でも2~5回程度検出が短時間途切れる箇所があった(図12右)。このような短時間の検出不良は、平滑化などにより除去可能だと考えられる。専用アプリケーションにおいては僅かな遅延時間があったが、これは同期して再生されるはずである動画とのずれが生じていることが原因であると考えられる。

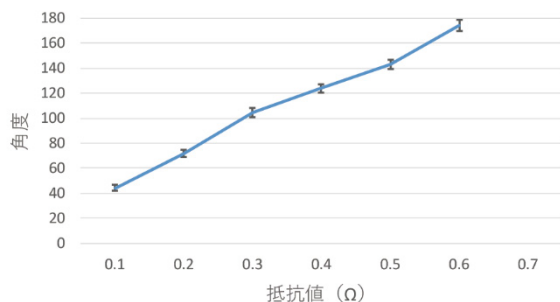


図 10: 表向き方向に曲げセンサを曲げた際の計測結果。抵抗値が 0.1Ω 変化した際の角度の平均値を示す。エラーバーは標準偏差。

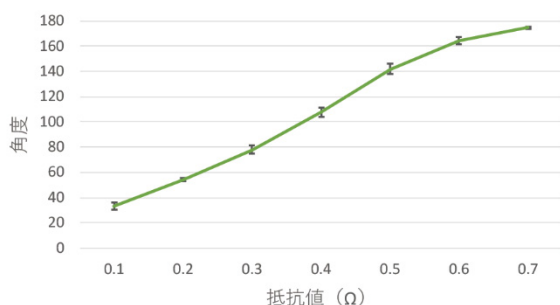


図 11: 裏向き方向に曲げセンサを曲げた際の計測結果。抵抗値が 0.1Ω 変化した際の角度の平均値を示す。エラーバーは標準偏差。

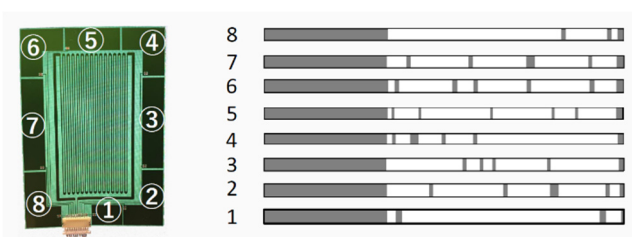


図 12: タッチセンサの計測結果。左: タッチセンサ 8 カ所の配置と記録番号, 右: フィードバック用アプリケーションで可視化した検出結果の一例。白い部分が約 5 秒間の検出状態を表す。

7. トランプ技術の計測評価

プロトタイプを用いてトランプ技術を行った際に、各センサのデータを取ることができるかを評価する。そのうえで、トランプ技術熟練者と初心者のデータを収集し、分析／比較することで、対象とするトランプ技術におけるコストを推定する。

7.1 手法

トランプ技術データ計測の実験の際は、フィードバック用アプリケーションを用いてセンサデータの記録と動画の撮影を行った。実験の準備として、カード型デバイスのプロトタイプを実際にトランプの山の上に置き、トランプを扱い易いようにマジック用のマットを設置した。実際の実験環境を図 13 に示す。

被験者として、トランプ技術の熟練者 3 名 (マジック経験 4~8 年), 初心者 6 名を採用した。被験者には、前述した「リフルシャッフル」、「シャリアカット」、「スプリング」の 3 つのトランプ技術を順に行ってもらった。それぞれの技を行う前に、技の手順を口頭での説明とともにトランプ技術に熟達した実験者が実演しながら、被験者に確認してもらった。その後、手順の確認も兼ねて被験者に数度の練習をしてもらってから、本実験を開始した。

実験によって得られたデータはフィードバック用アプリケーションを用いて、「熟練者と成功した初心者での比較」と「成功した被験者と失敗した被験者での比較」を行った。

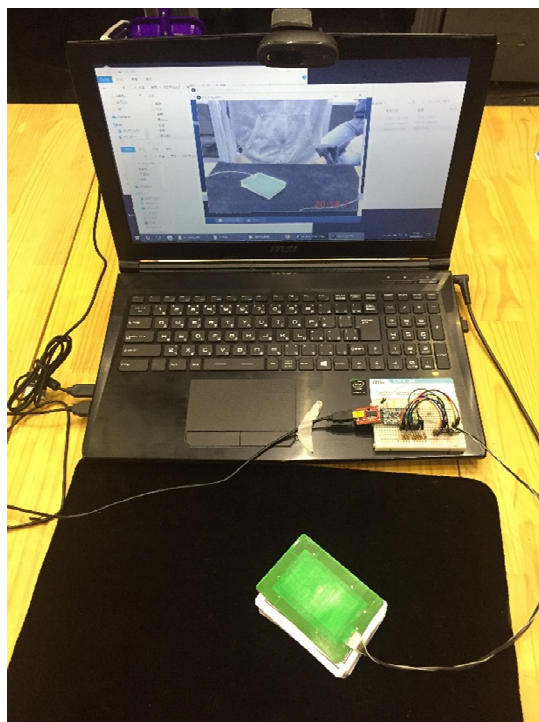


図 13: トランプ技術の実験を行った際の環境

7.2 結果と考察

トランプ技術ごとに結果と考察を述べる。

7.2.1 リフルシャッフル

被験者にリフルシャッフルを行ってもらったところ、熟練者は全員成功し、初心者は6人中1名が成功した。本実験では二つに分けたカードの山を完全に一つの山に合わせることができた場合を成功とした。成功例と失敗例を図14に示す。成功例は、カードの山が一つに合わさっているが、失敗例ではカードの山が崩れてしまっている。

熟練者と成功した初心者で比較した場合は、シャッフルを完了するまでの時間以外には目立った違いは見られなかった。時間の差はシャッフルに慣れているかの違いであり、リフルシャッフルが比較的容易な技であるため、方法さえ合っていればシャッフルを成功させることができるからではないかと考えられる。

次に、成功した被験者と失敗した被験者のデータを比較した。成功した被験者のデータは共通して、シャッフルの際に直前の状態から二段階曲げられていたのに対し、失敗した被験者のデータは皆、一段階しか曲げられていなかった。成功した被験者と失敗した被験者それぞれ1名ずつの曲げセンサのデータを、フィードバック用アプリケーションを用いてグラフ化したものを抜き出し、シャッフル中の位置を赤線で示したものを図15に示す。本実験結果と6.1節の結果から、リフルシャッフルを成功させるにはカードを70度以上曲げる必要があることが推察される。



図14: リフルシャッフルの成功例（左）と失敗例（右）

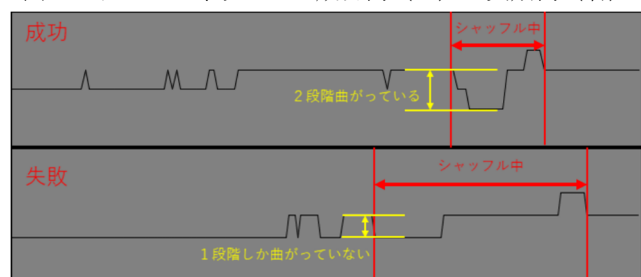


図15: リフルシャッフルにおける曲げセンサデータの成功／失敗の比較

7.2.2 シャリアカット

被験者にシャリアカットを行ってもらったところ、熟練者は全員成功し、初心者は6人中3名が成功した。この実験ではカードの山を大きく崩すことなく、上下を入れ替えることが出来た場合を成功とした。成功例と失敗例を図16に示す。

リフルシャッフルと同様に、シャリアカットも比較的容易な技であるためか、熟練者と成功した初心者に目立った

違いはみられなかった。次に、成功した被験者と失敗した被験者での比較を行った。成功した被験者と失敗した被験者それぞれ1名ずつのタッチセンサのデータを図17に示す。成功した被験者は共通してカットの際図17の3番と7番の場所に指が触れており、この部分をしっかりと押さえ、支えることで上半分のカードが手から落ちてしまわないようにしていたことがわかった。一方、失敗した被験者はあまり3番と7番の部分には触れず、カードの山の側面のみを押さえていた。この結果から、シャリアカットでは一番上のカードを上から押さえて支えることが重要であると考えられる。



図16: シャリアカットの成功例（左）と失敗例（右）

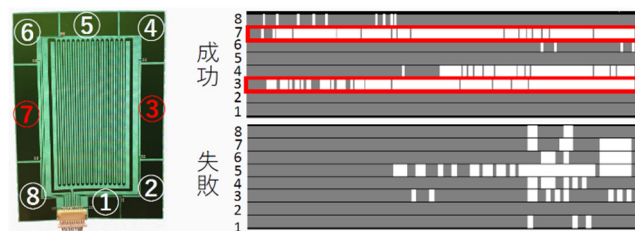


図17: シャリアカットでのタッチセンサデータの成／失敗の比較。図左はタッチセンサの位置と検出番号の対応を示す。

7.2.3 スプリング

被験者にシャリアカットを行ってもらったところ、熟練者は全員成功し、初心者は6人中1名が成功した。この実験では一方の手で飛ばしたカードを全てもう一方の手で受け止めることが出来た場合を成功とした。

「熟練者と成功した初心者」のセンサデータの比較について図18に、「成功した初心者と失敗した初心者」のセンサデータの比較について図19に示す。スプリング中の区間を赤線で図示した。他の技とは異なり、両方に違いがみられた。

まず、熟練者と成功した初心者の比較について、曲げセンサの変化を見ると、どちらもスプリングの後半で曲げを強めていた。タッチセンサの変化については熟練者と初心者で異なり、熟練者はタッチセンサ4番と8番に対応する場所のみを指先ではさむように持ち、他の場所にはほとんど触れていない。一方、成功した初心者はタッチセンサの多くの部分に触れており、カードの山を握るように持っていた。この握るように持つ動作は成功した初心者だけでなく、ほとんどの初心者に共通していた。

次に、成功した初心者と失敗した初心者と比較すると、成功した初心者はスプリングの後半で曲げ具合を強めているのに対し、失敗した被験者は曲げが弱まっている部分があった。タッチセンサについては、成功／失敗どちらの場合でも初心者はタッチセンサの多く部分に触れており、カードの山を握るように持っていた。

これらの結果から、スプリングを成功させるにはカードの曲げ具合を途中で強めることが重要であり、熟練者のように上手く行うには 4 番と 8 番の場所のみを指先で持つことがコツであると考えられる。

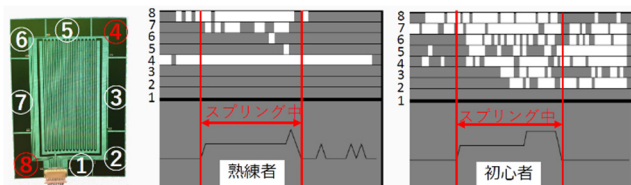


図 18: スプリングでの熟練者と初心者のデータ比較

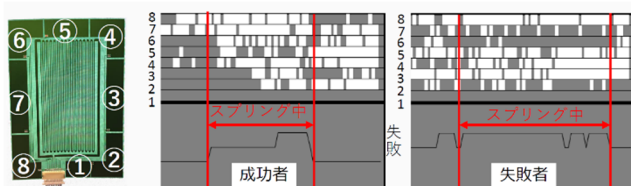


図 19: スプリングでの成功者と失敗者のデータ比較

8. 議論

本研究で提案するカード型デバイスについて「本システムの有用性」と「本システムの課題」といった視点から議論する。

8.1 本システムの有用性

試作したカード型デバイスとフィードバック用アプリケーションについて、基礎性能評価を行い一定の精度で曲げ／タッチを検出できることを確認した。さらに、熟練者と初心者を対象にトランプ技術のデータを収集し、そのデータを分析することで、「熟練者と初心者」「成功者と失敗者」の違いや共通点、つまりトランプ技術における要点やコツのようなものを推定することができたといえる。これらのことから、トランプ技術の収集や分析に一定の有用性があることが示唆される。今後、今回推定したコツが実際に技術習得に有効かどうかの検証や、本システムで記録／分析可能な他のトランプ技術の範囲を調査することで、本システムの有用性をさらに高めることができると考えている。

8.2 本システムの課題

本システムの課題を、カード型デバイス／フィードバック用アプリケーションそれぞれの観点から整理する。

8.2.1 カード型デバイス

プロトタイプを用いて実験を行っている際、「厚さや硬

さは問題無いが、ケーブルが邪魔である」、「ケーブルが硬く、カード型デバイスが自分の意に反した動きをしてしまう時がある」という意見を得た。この問題を解決するために、カード部とマイコン部の一体化も視野に入れて実装を行いたい。

次に、カード部の強度の問題がある。作成したカード型デバイスのプロトタイプは数回の実験を行うと、一部が通電しなくなる等の不具合が起き、そのたびに新しいものに取り換えて使用していた。これは、カード部の基板とコネクタを半田のみで接着していることが原因であると考えている。コネクタとの接続方法を補強する等、強度を向上させる工夫が必要である。

8.2.2 フィードバック用アプリケーション

現在、グラフ化されたデータを著者（トランプ技術の熟練者）が見比べて特徴／違い／共通点などを整理し、トランプ技術のコツ等を推定している。現実装のままでは、初心者が利用した際に特徴など発見できず、技術の習得に活かせないおそれがある。そこで、より特徴などが見出しやすい、フィードバック方法を考案する必要がある。

9. まとめ

本稿では、トランプ技術の習得を支援するカード型デバイスを提案した。このカード型デバイスは曲げセンサと静電容量タッチセンサを備えながらトランプと同様の形状と使い心地を目指したものである。また、カード型デバイス自体のプロトタイプを構築し、カードのセンサデータと動画を同時に振り返るフィードバックアプリケーションのプロトタイプも実装した。その後、プロトタイプを用いてトランプ技術を計測する実験を行い、フィードバックアプリケーションを用いて比較／分析を行うことで、成功した被験者と失敗した被験者それぞれの特徴や、熟練者と初心者との違いや共通点を見出し、トランプ技術の習得に役立てうる可能性を示した。今後は、まず議論の章で挙げた課題を解決できるようにカード型デバイスとフィードバック用アプリケーションの改良を行っていく。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 25700019 の支援を受けた。

参考文献

- [1] MIZUNO, ミズノスイングトレーサー, <http://www.mizuno.jp/baseball/swingtracer.aspx>, 最終アクセス 2018 年 1 月 10 日.
- [2] 山元亮典, 橋本周司, 三輪貴信, ギエルモエンリケズ, フェイイーヤップ. タップダンサーの技術向上のためのリズム計測タップシューズの開発. 情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集, pp.255-256, 2016.
- [3] 由良亮, 浜野純, 萩原勇人, 楠瀬千春. 6 軸モーションセンサによる包丁操作の記録. 日本調理科学大会研究発表要旨集 29(0), 20, 2017.
- [4] Sony Corporation, スマートテニスセンサー,

<http://smartsports.sony.net/tennis/JP/ja/>,
最終アクセス 2018 年 1 月 10 日.

- [5] Adidas Japan, miCoach smartball
<http://shop.adidas.jp/micoach/smartball/>,
最終アクセス 2018 年 1 月 10 日.
- [6] Nirzaree Vadgama and Jrgen Steimle. Flexy: Shape-Customizable, Single-Layer, Inkjet Printable Patterns for 1D and 2D Flex Sensing. In Proceedings of TEI '17, pp.153-162, 2017.
- [7] 山路大樹, 久保勇貴, 杉山慎一郎, 志築文太郎, 高橋伸. プロトタイピングのための紙製タッチセンサの設計及び操作認識プログラムの開発. 情報処理学会研究報告, Vol.2017 - HCI - 171, No.36, pp.1-8, 2017.
- [8] 橋爪崇弘, 笹谷拓也, 成末義哲, 川原圭博, 浅見徹. 銀ナノインクを用いた非接触読み取り可能なパッシブ型静電容量式圧力センサと着圧測定への応用. 電子情報通信学会ソサイエティ大会 2015, B-18-27, 2015.
- [9] 田中希武, 村田哲史, 藤波香織. プロジェクタ・カメラシステムによるトランプゲームの拡張環境の構築. 情報処理学会シンポジウム論文集, pp.647-652, 2012.
- [10] 新川拓也, 小島憲. IC タグを用いた音声出力型電子トランプの開発. ライフサポート, 2007.
- [11] 金山翔, 定國伸吾, 神垣太持. 映像技術を活用したカードマジック. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, pp.217-222, 2017.