

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11345

研究課題名（和文）xR環境でのアーチェリーの忠実な再現のための弓と身体的相关モデルに関する研究

研究課題名（英文）Study on bow and body correlation model for accurate reproduction of archery in xR environment

研究代表者

安本 匡佑（Yasumoto, Masasuke）

東海大学・情報理工学部・特任准教授

研究者番号：00609448

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000 円

研究成果の概要（和文）：身体と弓の相互の情報を同時にリアルタイムに視覚化するシステムを構築し解析プロセスを容易にするとともに、アスリートに対してのフィードバックを行い、これらの情報をHMDで表示する試みを行った。精度を維持し、矢を使わずに代替の刺激や機構でリアリティを感じさせることができるのかを、弓デバイスの制作、実験、検証を繰り返した。歪ゲージでの計測制度を向上させるため、計測専用の弓の制作を複数回行った。実際に複数の重量、長さの矢を用いて実験を行い、歪ゲージの値、弦にかかる力と矢の初速の関係性を明らかにした。これらの成果から弦の引く位置、引き量、矢を使用した際の初速の高精度なシミュレートができるようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

矢の有無による弓の挙動の違いを明らかにし、さらに矢を使用しない場合でも十分に弱いリムであれば弓が壊れることはないことを実証した。複数の歪ゲージを使用することで正確に弦の弾く位置や引き量を計算可能にした。また矢を使った際の歪、初速、グリップにかかる衝撃を明らかにすることで仮に矢を用いた際にどのように飛んでいくのかが歪ゲージの値から明らかになった。これらの事から矢を使うことなく室内の狭い空間においても本物と同等にアーチェリーのトレーニングを行ったり、VR装置やプロジェクタによる映像の投影と組み合わせることで正確なシミュレーションが可能となった。

研究成果の概要（英文）：We attempted to build a system that simultaneously visualizes the mutual information between the body and the bow in real time to facilitate the analysis process, provide feedback to the athlete, and display this information on an HMD. We repeated the creation, experimentation, and verification of the bow device to see if we could maintain accuracy and create a sense of reality with alternative stimuli and mechanisms without the use of arrows. In order to improve the measurement system with strain gauges, we made multiple attempts to produce a bow dedicated to measurement. Experiments were actually conducted using arrows of multiple weights and lengths to clarify the relationship between the strain gauge values, the force applied to the string, and the arrow's initial velocity. These results enabled us to simulate with high accuracy the position of the string pull, the amount of pull, and the initial velocity of the arrow when used.

研究分野：メディアアート

キーワード：弓デバイス UI HCI xR 生体計測 デジタルスポーツ

## 1. 研究開始当初の背景

既存のリアルスポーツにおいて選手の計測や分析だけでなく、NFLなどでは戦術的にテクノロジーの導入が始まっており、チューリッヒ工科大学ではCybathlonとしてロボット技術に応用したスポーツ競技が行われ、日本でも超人スポーツ協会が中心となり、テクノロジー



図1: フィジカルeスポーツの定義

で新たなスポーツが生まれてきている。昨今はCOVID-19の影響もあり、競技だけでなく観戦すらこれまでの形で継続していくのは困難になる可能性がある。このような状況下において元来遠隔で可能なeスポーツがこれまで以上に隆盛していくことは予期されるが、身体運動を主とするリアルスポーツに置き換わるわけではない。テクノロジーを使いながらもリアルスポーツと同様の身体能力を競うものを図1のようにフィジカルeスポーツと位置づけ、それに必要な身体運動を妨げずに正確かつ客観的な情報を取り込む手法、競技性を如何にして実現するか、リアリティを如何にして再現するかを模索する。

## 2. 研究の目的

これまで知見のあるアーチェリーや弓道のスポーツにおいては、手に道具を保持し、リアリティの多くを手から取得し、広い空間が必要ではあるが動き回る必要がなく、個人競技であるため、本研究の題材としては最適と考えた。本研究の目的はxR環境のようなバーチャルな空間で、弓をUIデバイスとして競技レベルの精度のシミュレートを実現し、なおかつ本物の弓と同様のリアリティにすることでトレーニングにも使用可能なシステムを構築することであり、そのためにセンサを使った弓の詳細な分析と、人の生体計測を組み合わせ、弓と人の相関関係を明らかにし、UIを客観的な数値データとして評価できるようにすることで、本物を模したUIデバイスの開発を加速させることも可能となるHCIに関する研究である。

HCI分野において様々なインターフェースが提案されているが、これらを客観的に評価する手法が乏しい。アンケートやヒアリングなどは主観的なものになりがちで、他のインターフェースと比較したときの優位性が分かりづらく、そのデータの信頼性にも疑問が残る。それに付随して、どのようにすればさらに良くなるのか、使いやすさ、フィードバック、使っていて楽しいなどの効果がどのようにすれば向上するのも手探りで行わなければいけないという課題が存在する。これらのことから、客観的な数値データによって、インターフェースを評価できるようにすることで研究開発の方向性を定めやすくなるだろう。

xR環境で再現しつつも、スポーツとして成立させるために身体運動を妨げずに物理的に本物と同様の挙動をシミュレートし身体能力を高精度で取り込みプレイヤーが本物と同様のリアリティを感じられなければならない。弓と矢と人の関係性が重要となる。

- のためには弓に直接装着しつつも小型軽量でスタンドアローン、ゆえに大型のセンサや大量のセンサを使用できず、矢を打つ際の衝撃に耐えうるものでなければならない。
- のためには弦のどこを持っているのか、弦がどれくらい引かれているのか、矢にどれだけ

の力が加わったのか、弓の位置と方向、矢の飛び方。弓の各部位の挙動を視覚化、安全のために矢を使わないのであれば、それでも弓が壊れないようにするためにはどうすればよいか、矢の有無で力のかかり方の違いを明らかにしなければならない。

- のためにはプレイヤーである射手の情報を詳細かつ多方向から分析しなければならない。腕にかかる慣性力、筋肉各部位の表面筋電、視線、全身の動きがどのようになっているのか。次に弓と射手の相互関係を明らかにしなければならない。

### 3．研究の方法

本研究のタスクは表 1 に示す。本研究では図 2 に示すような実施する実験に特化した測定装置を独自に制作する必要があり、試行錯誤を繰り返し、研究後半では人の生体計測を繰り返し実施する。弓型 UI のデバイスは前半の研究結果に合わせて常に作り直しが必要なため、研究時間を長くとり、競技用リムの衝撃に耐えうる高強度の金属加工や高性能 3D プリントによる出力のため外注にて制作を行った。

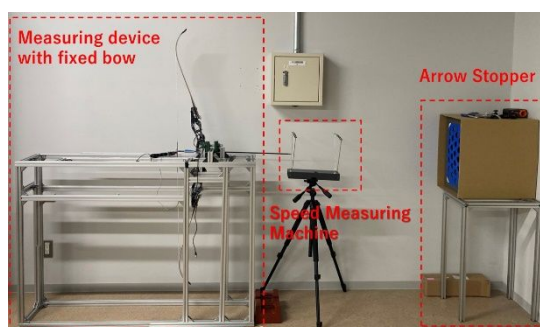


図 2: 弓を固定し、弦の引き量、矢の初速などを計測する装置

表 1: 研究目的・問いに対する研究方法一覧

	目的・問い	研究方法
A	矢を使用しない場合 弓が破損するとされているが真か。	弓を固定し計測できる装置を用いて弓が壊れるまで空射ち、弓の各部位の歪を計測、同時に高速撮影を定期的に行い弓の変化を分析したが、20 ポンド未満のリムの破損は確認されなかった。
B	弦の引き量、弦にかかる力、矢にかかる力を明らかにする	複数の重さと長さの矢を使用して図の実験装置を用いて、複数の強度のリムで射撃実験を行い、同時に歪の値を計測することで矢の初速を計算可能にした。
C	弦を引く位置と矢の方向を明らかにする	歪ゲージを上下に貼り同時計測することで歪ゲージの値から弦の弾く位置を明らかにした。
D	射撃時に弓にどのような力がかかるか	装置に固定した状態でグリップ部分に加わる力を慣性センサで測定した。トリガーと連携し、歪の値、高速度撮影による射撃時のリムと弦の挙動を同時に計測し分析を行った。
E	弓の違いや矢の有無で射手にかかる力の差異	重量、リムの強度、矢の有無を変えながら、射手に視線トラッカ、全身のモーションキャプチャ、指のモーションキャプチャ、主に上半身の表面筋電、頭と手と腕にかかる慣性力を同期して同時計測する。さらに弓の各部位にかかる力やセンサの値とも同期させる。これらから弓と人の関係を数値的に明らかにした。
F	UI デバイスの制作	グリップを上下対象にして複数回政策を行い、上下の歪ゲージの値の差異を減らし精度向上を行った。さらに加速度センサやポジショントラッキングセンサにかかる衝撃を軽減した。
G	弓のシミュレーターの作成	弓型 UI デバイスのセンサの値をもとにリアルタイムにその情報を可視化するソフトウェアを開発した。



#### 4. 研究成果

(1) 矢を使用しない弓デバイスの安全性の証明と矢の有無による弓の挙動の違いを明らかにした。図3に示す矢の有無による弓の挙動の違いを明らかにするための装置を制作していくつかの計測を行った。トリガーを引く弦が離されるのと同時に電気信号が送られ、グリップにかかる3軸の加速度、弓の上下に取り付けた歪ゲージの値、そして高速撮影が同時に実行される。矢を使用する場合としない場合に分けて計測を行った。これらの結果から矢を使用しないことで弓のグリップにかかる衝撃が大きくなること、弦の動きの収束がある程度大きくなることが確認できた。

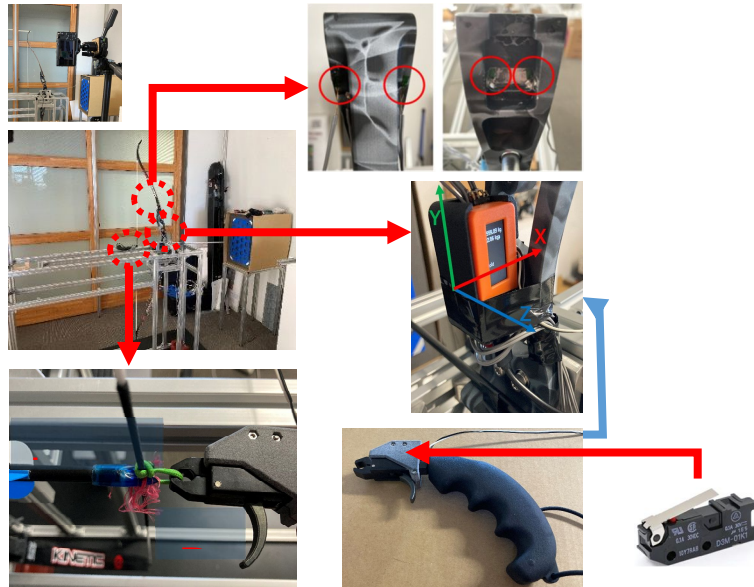


図3: 矢の有無による弓の挙動の違いの分析装置

が弓が破壊されるようなことはなかった。これは矢を使わずに弓を使うと壊れるという一般的な観念を覆すものであり、今後の矢を使わない弓デバイスの可能性を広げるものであると認識している。センサの値の安定性を考慮すると矢を使用するが射出されない仕組みも検討した方がよいと考えグリップに装着する形で矢止めを制作したうえで複数の実験を行ったが、故障が頻発し、矢が発射されてしまう危険があり、本研究の想定する使用場面であるアーチェリータグのような撃ち合いでは危険が伴うため、不適切と判断してこれ以上の実験は行っていない。

同計測装置をベースに、図2のように配置して使うことで矢の射撃実験も行っている。これによりリムの違いや矢の違いにより、矢の初速がどのように変化するかデータを取ることができ、より正確に矢のシミュレートが可能となった。これにより精度が必要な競技者のトレーニングにも生かすことができる可能性が高まった。



図4: 弓型 UI デバイスのグリップの構造。改良した2分割のグリップ（左上）

(2) 図4に示すように弓型 UI デバイスの制作を行った。リムや弦に関しては市販のものをそのまま使えるようにしている。これまで実験に使用してきた弱いリム用のリム止めの方式と競技用の ISO 方式のリム止めの方式の両方が使えるようにしている。一般的なリカーブボウの具リブ部分の形状と異なり、全体の形状を上下対称にすることで上下に取り付けた歪ゲージの値が弦の中心を引いたときに同程度の値が出るようにしている。さらに歪ゲージの取付位置がずれないように専用の土台やケーブル取り回し用の溝をつけているも特徴である。しかしグリップの大きさが大きいためすべてを機械で加工することができず、リム取付穴のみ手動での加工となったため精度が若干落ちてしまっていた。そこで図4の左上に示した改良型では上下にパーツを分け別々に加工することですべて機械加工で高精度を維持している。なおパーツを2分割したことで全体の強度は落ちているが、実験の結果弓が破損するようなことは起きておらず、十分に安全に使用できることが確認された。

射撃時に特に矢を使用しない場合はグリップに強い衝撃が発生することが分かったため、弓の内部に埋め込んだ M5StickC がグリップの金属に部分に発生した衝撃が伝わりにくくするために樹脂でばね構造を作り、それにより強い衝撃が直接伝わることを防いでいる。さらに外部に取り付けているポジショントラッキングセンサである Vive Tracker についても、特に強い衝撃が発生することが確認できた矢の進行方向に対しての衝撃を軽減するような構造で取り付けしており、これ以前の弓型デバイスよりも安定して使用できるようになった。

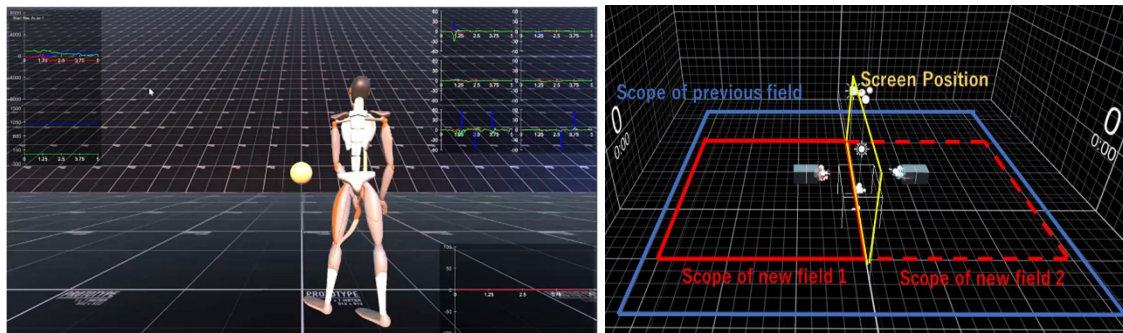


図5：トレーニング用の生体計測表示システムとエンタテインメント用の対戦システム

(3)弓型 UI デバイスを用いた情報提示用のシステムを2つ構築した。図5の左に示したものは弓型 UI デバイスと生体計測の結果を同時に提示するためのトレーニングを想定した情報提示システムである。使用するためには慣性式モーションキャプチャである MVN と、表面筋電の計測システム biosignalsplux を装着しながら使用する。弓内部の歪ゲージと3軸加速度の値も同時に計測しており、すべての情報が可視化されている。これらを参照しながら客観的なデータを元にトレーニングすることが可能となる。

図5右のシステムは簡易化したシステムで、エンタテインメント目的の対戦システムである。従来の VAIR Field システムをベースとしているが、弓にスマートフォンを装着するのではなく、映像を前方の壁に投影して使用することを想定したものである。弓型 UI デバイス単体での使用を想定しており、内部の慣性センサ、歪ゲージ、ポジショントラッキングセンサのみを使用している。身体の動きなどの詳細な情報は取得できないが、複数人で同時に対戦することが可能となっており、これらまでの弓型デバイスと比較すると、矢の挙動がより正確になっていることが特徴である。本研究では計測のために1つのみの制作になったが、複数台の弓型 UI デバイスを制作し、コンテンツ側も完成度を上げ、当初の目的の一つであったフィジカル e スポーツをより高い次元で実現することを目指して今後の研究や制作活動につなげていきたい。

これらの研究成果を国際学会 HCI International2023 にて“Bow Device for Accurate Reproduction of Archery in xR Environment”というタイトルで発表を行った。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1 . 発表者名 Masasuke Yasumoto
2 . 発表標題 Bow Device for Accurate Reproduction of Archery in xR Environment
3 . 学会等名 HCI International 2023（国際学会）
4 . 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6 . 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7 . 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------