

令和 5 年 4 月 26 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04343

研究課題名（和文）紐の重さを利用した軽量物のキャストイング搬送

研究課題名（英文）Casting conveyor of light weight object using string weight

研究代表者

渡邊 鉄也（Watanabe, Tetsuya）

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：70240504

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：建設現場あるいは宇宙空間などにおいて、人的あるいは機械的アプローチが非常に困難な空間的に距離のある位置に軽量物を正確に配置する場合、軽量物の重さを利用してキャストしても届かないことが多い。この場合、柔軟な紐の重さを利用して投げれば遠距離でも軽量物を正確に配置できるのではないかと考え、キャストイング搬送装置の着想に至った。本システムを構築する前段階として、キャストイング方法が類似しているフライフィッシングに注目し、現象の把握や数値解析を行い、キャストイング搬送装置を試作した。そして、人間がキャストする角速度を用いてキャストイング装置を駆動した結果、シミュレーション結果と実験結果は一致した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

フライラインは柔軟な紐状であり、数値解析を行う場合、微小な弾性変形を扱う有限要素法では大変形するフライラインの挙動を良好にシミュレートすることは不可能である。したがって、本研究で行おうとしている実験・解析は、学術的に意義がある。また、本研究では数値解析モデルの構築およびモデル化の妥当性を検証し、フライラインの動的挙動を明らかにする。これによりキャストイングにおける最適な腕の振り方を解明できる。また、ラインやロッドの形状や剛性、ロッドアクションなどのパラメータを変化させたときのライン挙動を把握できるため、キャストイング搬送装置の設計指針を構築することができることから、社会的にも意義がある。

研究成果の概要（英文）：When accurately placing a light object at a spatially distant position where it is very difficult to approach manually or mechanically, such as at a construction site or in outer space, it is possible to cast using the weight of the light object. In this case, we thought that if we use the weight of the flexible string to throw it, we can place the lightweight object accurately even at a long distance. This idea of the casting transport device came up with. As a preliminary stage of constructing this system, we paid attention to fly fishing, which has a similar casting method, and performed an understanding of the phenomenon and numerical analysis and made a prototype of a casting transport device. Then, as a result of driving the casting device using the angular velocity of human casting, the simulation results and experimental results agreed.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：フライキャストイング マルチボディーダイナミクス 人間の腕の挙動 キャストイング装置

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

建設現場あるいは宇宙空間などにおいて、人的あるいは機械的アプローチが非常に困難な空間的に距離のある位置に軽量物を正確に配置する場合、軽量物の重さを利用してキャストしても届かないことが多い。この場合、柔軟な紐の重さを利用して投げれば遠距離でも軽量物を正確に配置できるのではないかと考え、キャストイング搬送装置の着想に至った。本システムを構築する前段階として、キャストイング方法が類似しているフライフィッシング(図1)に注目し、現象の把握や数値解析を行い、キャストイング搬送装置を試作する。

フライは魚が捕食する水生昆虫を模倣した疑似餌であるため、小さく軽いものである。そのため、フライフィッシングでは、フライ自体の重さを利用したキャストイングは不可能であり、フライラインの重さを利用して軽量のフライを適切な場所に投げなくてはならない。しかし、フライラインは柔軟な紐状の構造物であるため、その運動は大変複雑系の挙動となり、現象の把握やモデル化などが非常に困難である。フライラインが容易に飛ばない理由は二つある。一つは空気抵抗の影響であり、もう一つはラインの形状が時間変化するため、ライン全体に力を伝えるのが難しいことである。空気抵抗を減らすにはラインのループの幅を狭くし、前面投影面積を小さくすればよい。また、ラインに力を的確に伝えるにはラインが歪んでいたり、しわが寄っていたりしてはならない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は建設現場や宇宙空間などにおいて、軽量構造物を空間的に距離のある位置に正確に配置するために、柔軟な紐の重さを利用した搬送装置を開発することにある。柔軟な紐状の構造物は複雑系であるため、動的挙動を数値解析あるいは実験により把握することが極めて困難であり、解析事例や実験事例は極めて少ない。現時点ではスポーツ工学、人間工学的観点からのアプローチではあるが人間の腕を模倣したキャストイング装置を試作し、キャストイングが適切に行えるか実証する。

### 3. 研究の方法

人間がキャストした場合の上腕、前腕、手首、ロッド、ラインは、剛体を回転ばねと回転減衰要素で結合したモデル(図2)を用いた。キャストイング実験と数値シミュレーション結果を比較し、モデル化は妥当であることを明らかにした。次に3リンクのキャストイング装置を製作し、キャストイングが行えるか確認した。その後、人間がキャストした場合の腕の角速度を用いてキャストイング装置を駆動させた。そして、キャストイング装置のラインの飛行挙動とマルチボディーダイナミクスを用いた解析を比較検討した。

令和2年度、令和3年度は「サイドキャストの検討」および「ラインの伸びを考慮した解析」を行った。サイドキャストは上方に立木などが存在し、オーバーヘッドキャストが出来ない場合に用いられる。これまで行ってきた数値シミュレーションでは、オーバーヘッドキャストにおける鉛直平面内でのモデル化をしており、2次元での解析を実施してきた。しかし、サイドキャストは水平平面内でのモデルとなるため、平面直角方向の重力が作用することから、3次元での挙動解析が必要となり、モデル化が複雑になる。サイドキャストは実フィールドにおいては必要なテクニックであるが、3次元挙動で複雑なモデリングが必要なため、国内外でも全く検討がなされていなかった。そこで、本研究では、ラインが飛行中に水面に落下しないような最適なキャストイング方法、あるいは、ロッドやラインの剛性、重量を検討した。マルチボディーダイナミクスでは、剛体をリンクで結合しているため、軸方向の伸びは考慮されていない。しかし、実際のラインは飛行中の張力により若干ではあるが伸びている可能性がある。そこで、マルチボディーダイナミクスモデルとは異なり、軸方向の伸びに注目したモデルについて検討した結果、多数の質点を並進バネと回転バネで結合した計算モデルを構築した。これにより、ラインの伸びを考慮した解析が可能となる。また、マルチボディーダイナミクスとの比較検討をすることができ、より、実現象に近いモデル化の構築をした。

マルチボディーダイナミクスを用いた解析では、入力データとして腕あるいはロッドのグリップ部の角度、角速度、角加速度の時刻歴波形が必要となる。これまで用いていた角速度計は、最大600deg/sの角速度までしか測定できなかったため、水面に落下しないことを考慮したサイドキャストイングなどのように角速度が速いキャストイングにおいては測定が不可能であった。そこで、令和2年度は4000deg/sの角速度計を用いることにした。これにより、ラインの挙動は動画撮影装置を用いて観測し、ロッド、腕の挙動は角速度計を用いて把握した。その後、数値シミュレーションで、飛距離が長くなるキャストイング方法や、目標位置にフライを着水させる方法を検討した。

令和4年度は「キャストイング搬送装置の試作」を行った。キャストイング搬送装置のプロトタイプとして、2リンクのキャストイング装置を作製した。この装置は2つのステップモーター

タと2つのリンクから構成されている。下部のリンクは人間の肘を想定し、上部のリンクは手首を想定している。令和4年度は人間の上腕、前腕、手首の挙動を模擬可能な3リンクのキャストイング搬送装置も試作し(図3, 図4), キャスティング搬送が可能か調査した。また、人間がキャストする場合、腕の角速度は熟練者でも10%程度の誤差がある。そこで、設計指針を構築するために、人間の誤差が含まれない状態で、実験結果と解析結果を比較して解析モデルの妥当性を検証した。本研究プロジェクトは長期間にわたっており、本研究計画期間においてキャストイング搬送装置を試作できた。

#### 4. 研究成果

研究の成果として、「フライラインの力学 2リンクキャストイング装置を用いたフォワードキャスト(精密工学会)」および「フライラインの力学(3リンクキャストイング装置を用いたフォワードキャスト)(機械学会)」を投稿した。

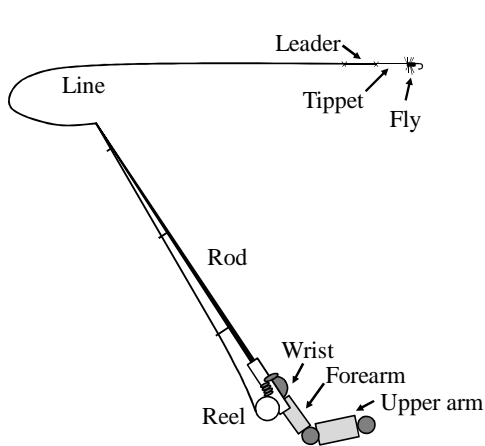


図1 フライフィッシングのタックル

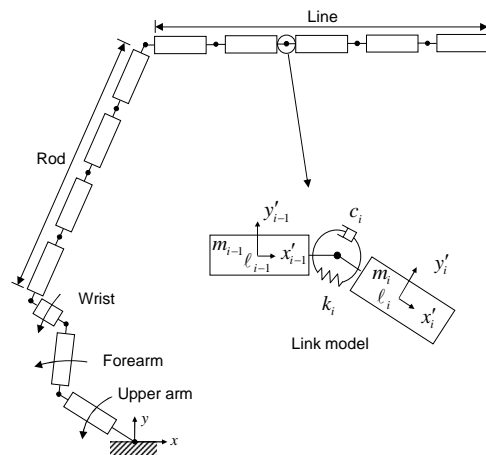


図2 剛体リンクモデル

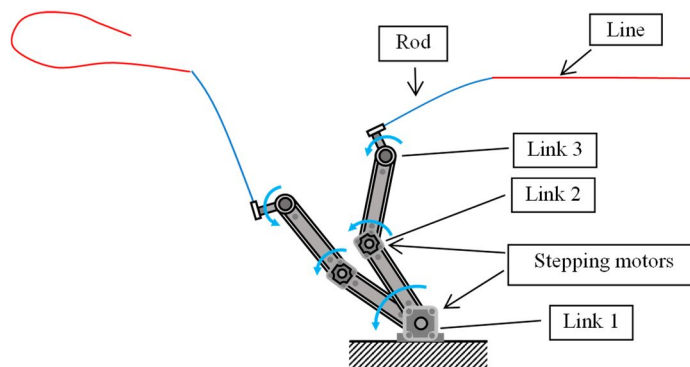


図3 3リンクキャストイング装置

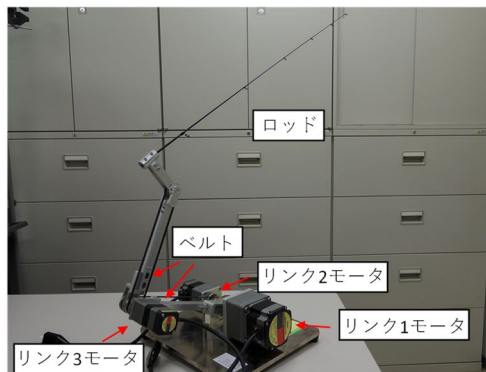


図4 3リンクキャストイング装置(写真)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 成澤慶宜, 渡邊鉄也	4. 巻 88
2. 論文標題 フライラインの力学 - 2リンクキャスト装置を用いたフォワードキャスト	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 639-644
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------