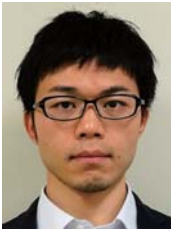


## [研究助成 (A)]

# 手指のしなりを活用する球技に適合した スポーツ用装具・補助具の基本設計

## Basic Design of Mechanical Hand with Elasticity for Ball Sports

2181026



研究代表者

福岡工業大学  
工学部 知能機械工学科

助教 榎田 諭

## [研究の目的]

## 1. はじめに

本研究ではバレーボールのプレーの中でも単純な打撃動作に置換できるもの（レシーブ、スパイク）ではなく、オーバーハンドパスに注目する。オーバーハンドパスはボールを受け止める緩衝動作と、ボールを押し出す射出動作の2つの複合動作となる。これについて、以下の研究課題が検討できる。

- (1) オーバーハンドパス時の、ボールの緩衝動作（落下するボールを手で受け止める）と射出動作（ボールを押し出す）を健常肢と協働して実現できる弾性・ダンパ要素の設計
- (2) 装着部への衝撃の緩和と、補助具としての生体への力覚フィードバックの両立
- (3) レシーブ・スパイク動作（打撃動作）に耐えうる（衝撃を抑制する）手指および手首の構造設計

このうち、本研究では特に (1) について、実際のバレーボールのオーバーハンドパスの動作の計測結果を分析し、それを反映できる機構の設計を検討した。具体的には以下の項目について調査した。

- (a) 人間によるオーバーハンドパスの動作時における、手指とボールとの接触力の計測。および計測結果から推定される手指とボ

ールとの接触時間の算出

- (b) 手指とボールとの接触力および接触時間を踏まえた、健常肢の動作に追従できるような弾性要素、ダンパ要素の設計。ただし、モータなどの動力源を持たない、受動的な機構とする。

以降、それぞれの項目について検討し、得られた結果を示す。

## 2. 人間によるオーバーハンドパスの動作におけるボールとの接触の分析

バレーボールのオーバーハンドパスにおける手指とボールとの接触は、ごく短時間で行われ、接触時間が長い場合には「キャッチ」の反則を取られる。著者らの先行研究では、1軸の押し付け加重を計測できる感圧センサを用いて、ボールとの接触時間を分析した（図1）。

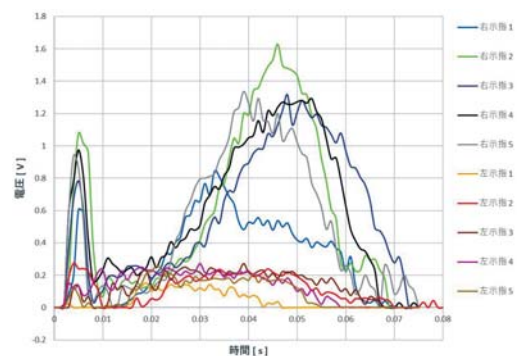


図1 オーバーハンドパスの動作時における手指とボールとの接触時間の計測結果

これによれば、プレーヤーの手指とボールとの接触時間はおよそ50~100ミリ秒であることが示された。ただし、この感圧センサは平板で、感圧素子が1つしかないため、指先の曲面に装着する場合には計測上の課題がある。指先でのボールの転がりによって接触力の変動が起こり、接触力および接触時間の計測にばらつきが生じることである。

そこで本研究では指先の接触力の分布を計測できるように、面圧分布を計測できる平板素子を指先型に変形加工した計測装置（イダブルシステム社製）を導入した（図2）。これは各指に貼付して装着し、合計で48素子が板上に分散配置されている。これを用いて、バレーボールのオーバーハンドパスの動作時における面圧分布の変化を計測した。圧力分布状態の変化を付属のアプリケーションで可視化し、出力ウィンドウをスクリーンキャストした（図3）。その中の一部を図に示す。このときは主として示指でボールを受け、拇指で補助し、ボールを



図2 指先の面圧分布計測装置の装着外観

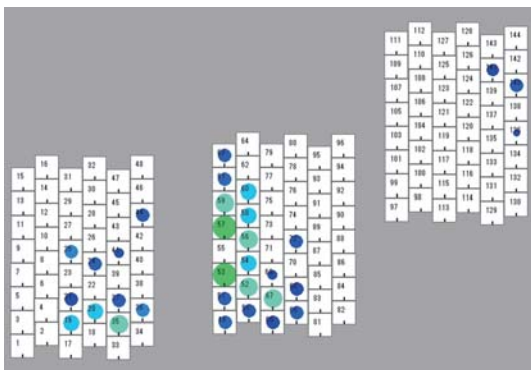


図3 オーバーハンドパスの動作時における右手とボールとの接触状態。左から拇指、示指、中指。各セル内の円形表示が大きいほど接触力大きいことを示す

射出していることが予想できる。

また、キャストした動画のコマ数から、30fpsでキャストしたときに3コマ、60fpsのときに6コマで接触状態が確認された。すなわち、この結果からもオーバーハンドパスの動作時における手指とボールとの接触時間が100ミリ秒程度であることが推定できる。

### 3. ボールの緩衝および射出を実現する人工指の受動的機構の設計

前述の計測実験を踏まえて、手指の弾性特性の再現を目指した指機構を設計する。ここでは以下の方針を置く。

- (1) 指機構はモータなどの動力を持たず、すべて受動的な応答をする構造物で構成する。
- (2) 人間の手のような形状に拘らず、運動機能の再現を重視する。

以上のうち、まず(1)について説明する。オーバーハンドパスの動作のすべて、すなわちボールを受け止める緩衝動作と、ボールを押し出す射出動作の一連が約100ミリ秒前後のごく短時間で実施されることから、これをセンサフィードバックを有する動的な機構で実現するのは容易でない。加えて、スポーツ用義肢・装具という観点から、モータ等による重量の増大を避けたい。また、部品点数の増大は故障率の増加につながる可能性があるため、できるだけ構成部品を減らす側面もある。

(2)についても同様に、人間と同等の手段によって動作を実現するのではなく、その要素を抽出して人工的な機構で代替する方法を検討する。すなわち、前述の計測結果に基づく人間の身体モデルに準ずる、人工的に構築可能な構造物を提案する。もちろん、将来的には装飾義手などと比較して遜色のない外観を目指すことは求められるであろう。

手指の弾性特性を模擬する構造物を検討するにあたって、本研究では磁石の反発力を利用する磁気ばねを採用した。材料の弾性特性を利用する機構には、圧縮ばねなどを使用するもの、

柔軟物体を使用するものなども考えられる。また、大きな反発力を生み出すものとして、陸上競技用の義足には弓状に加工したカーボンファイバー製の板バネがしばしば採用される。

この中で磁気ばねを採用した理由としてはまず、ボールを射出するのに必要な反発力を安定して生み出すことができることと、その強さを磁石の個数などで容易に変えられることを挙げる。本研究では比較的高い磁束密度を持つことで知られるネオジウム磁石を採用した。同一径の円板型磁石について、その厚みまたは重ねる枚数を変更することで、反発力を変化させられるので、プレー状況に応じて容易に調整ができると考える。

もう一つの理由として、非接触に反発力を生み出すことのできる点を挙げる。前に挙げた圧縮ばねや柔軟物体の場合には、反発力を生じるためには必ず、構造物への接触と変形を伴う。これにより構造物自体への変形および疲労が蓄積し、破断につながるおそれがある。また、圧縮ばねの場合には、適切な変形をさせるためのガイドの設計も必要となる。磁気ばねの場合にもシリンダ状のガイドは必要であるが、反発力を生み出す駆動部での接触、変形を減らすことができるため、長期的な利用にも耐えうると期待する。

以下に設計した弾性指の設計図と組み立て完成図を示す(図4)。部品同士の摩擦を低減す

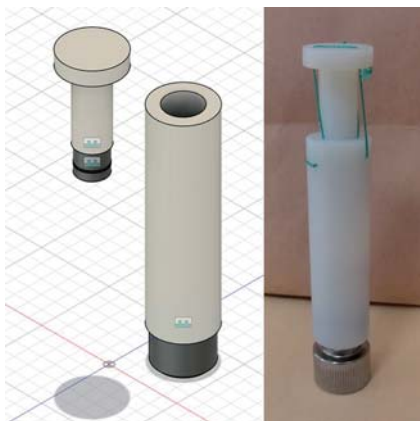


図4 設計した磁気ばね指機構。段付き棒部が指先に相当し、ここに外力を加えて押し込むことで、内部でボルト先端に取り付けた磁石が反発する

るため、構造材料にはMCナイロンを選定した。この樹脂製の円筒の中空部分に樹脂製の段付き棒を挿入し、シリンダのように上下する。

このとき、2つの部品が離れないように、ポリエチレン製の釣り糸を用いて結合した。釣り糸を採用した理由として、軽量であり、摩擦や引張に強いこと、組み立ておよび調整が容易であることを挙げる。この段付き棒の先端部と円筒の一方にめねじを切りスチールボルトを挿入する。そして、棒側のボルトの頭および円筒側のボルトの先端には円板形のネオジウム磁石を取り付け、それぞれの磁石の極が逆になるように組み立てる。これによって段付き棒を円筒内に押し込むと磁石が反発し、復元力を生み出す。一方、釣り糸で結合されているために、一定以上は離れないようにできる。

一例として、図4のように結合した機構について、変位量と復元力の関係を計測した結果を図5に示す。ここでは吸着力32.23 [N] (カタログ値)の円板形ネオジウム磁石(直径10 [mm], 厚さ5 [mm])を3つ、段付き棒側のM5スチールボルトの頭に、吸着力33.34 [N] (カタログ値)の円板形ネオジウム磁石(直径12 [mm], 厚さ5 [mm])を3つ、約1 [mm]のスペーサを2つ挟んで円筒側のM14スチールボルトに取り付けた。中空棒の長さ100 [mm], 段付き棒の初期飛び出し量を20 [mm], 全ねじボルトのねじ部飛び出し量を10 [mm]とした。なお、磁石の吸着力、取り付けられたボルトの材料特性には個体差があること、固定する

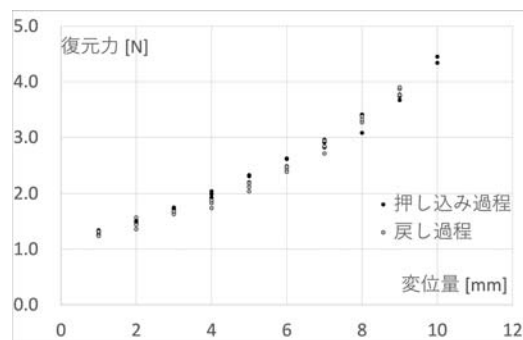


図5 磁気ばね指機構の指先変位量に対する復元力の変化(3回分のプロット)。

釣り糸のかけ方によって張力が異なることを踏まえて、以下の結果は本実験条件におけるものにとどまることを留意されたい。

この結果から、本研究で設計した磁気ばね指機構は指先の変形量に対して指数関数的に復元力が增大することが示された。これは先行研究で調べた、手指の伸展角度と指先発揮力の関係とよく似た傾向である。

また、押し込み過程と戻し過程の間のヒステリシスも小さく、再現性の高さが期待できる。加えて、本機構の利点に、復元力の調整が容易であることを挙げる。磁気ばねの復元力は磁石の磁束密度および磁石間の距離で決まるが、この距離はボルトの締め込み量で容易に変更・固定可能である。

この磁気ばね指機構を2つ作成し、中心間距離を50 [mm] で固定した2指ハンドを試作した(図6)。このハンドを片腕で保持し、健常肢との協調動作としてバレーボールをオーバーハンドパスする実験を行った。感性的な評価としては、単純な棒状のもので打撃するのと比較して、磁気ばねの弾性による緩衝動作が健常肢との協調を補助する働きが見られる。ボールとハンドとの接触力や接触時間等の詳細な計測は今後の課題であり、プレーを補助するために最適な反発力を生み出す設計パラメータを探索する。



図6 2つの弾性指とボールとの接触イメージ。それぞれの軸が遊びを持ち、受動的に弾性作用を発揮し、ボールになじむように接触する。

#### [今後の研究の方向、課題]

実際のプレーの計測においては、センサデータの集録を高機能化し、分解能およびデータの再利用性を高める必要がある。特に、分布圧を正確に計測することで、ボールコンタクト時の相互作用のモデルを記述できると期待される。

スポーツ用の指機構については基本的な設計方針を探索できたものの、指配置や弾性力などの最適化が求められる。加えて、他のプレーにも対応できる総合的な設計を行い、実際に競技可能なプロトタイプの完成を目指す。