

両側上肢切断者を対象とした野球守備用義手手先具の設計と解析

Design and analysis of baseball fielding prosthetic terminal device for bilateral upper limb amputee

○ 大西謙吾(東電大) 山本真(東電大) 河邊和宏(東電大)

Kengo OHNISHI, Shin YAMAMOTO, Kazuhiro KAWABE, Tokyo Denki University

Abstract: This paper reports on the design and analysis process of a baseball fielding prosthetic terminal device for bilateral upper limb amputee. Recreational upper limb prosthesis is one of the key technologies for improving the social participation of the amputee. However, development targeting bilateral upper limb amputee is scarce, and therefore, requires scientific approach to optimize the function. The design and experiment is focused on the catching function of the terminal device, and dimensional performances are optimized based on the experimental evaluation based on Parameter Design Method. Data were collected from 8 prototypes and the analyze to coordinate a optimal prototype. Repeatability test was conducted with the optimized model, yet results reflected that further investigation is required on selecting the design parameters.

Key Words: Prosthesis, Recreational Prosthesis, Upper limb,

1. はじめに

義手のメカニズムと制御に関する研究開発は、1960年代から始まり、指の機能代替機構や制御アルゴリズムの開発が進み、既に製品化された多自由度の義手もある。そのような中で、上肢切断者にとってより本質的な問題は、義手の使用訓練も含めて適切なコストにて義手入手し、日常生活において使用し、作業や社会参加活動が可能になるかであり、義手も実用性や使い勝手を設計課題として開発が行われる必要がある。なかでもパラリンピックなどを通じ障害者スポーツへの認知が広がっており、社会参加という点からもレクリエーション用の義手への期待も高まっている。レクリエーション用の義手部品としては、米・TRS社等が捕球用手先具などの上肢切断者のスポーツ用義手に関する開発、販売を行っているが、商品化は片側切断者用に限られており、両側切断者が使用できるスポーツ用義手は報告事例も極めて少ない。

そこで、本研究では、両側上肢切断者の障害者野球への参加を支援する義手手先具の開発、設計を目的とし、使用者の要望にもとづき守備に必要な捕球・投球が可能な義手手先具の設計を進める。本報告では、まずは捕球機能に重点を置き、捕球機能を定義することで設計・評価指標を明確にし、実用に耐える手先具の構造、寸法の定めるため試作と実験を行った。

2. 野球の守備用手先具の設計

まず、手先具の機能を定めるにあたり、本研究で開発する手先具は相談を受けた使用者をユーザモデルとし、両側上肢切断(右肩離断、左前腕切断)であるが肩・肘関節の可動領域、筋力は投球を行う上で十分とする。ただし、左切断肢の前腕長は、橈骨の回内外を確認できる長さはないものとする。

設計する野球の守備用手先具の捕球機能は、野球用グローブを参考に、ボールの速度を手先具内でゼロに減速することと、捕球時に生ずる手先具の振動を可能な限り短時間で減衰することとした。また、手先具は屋外環境のグラウンド上での使用のため耐塵性、耐候性を付加するため随意的に動作させる関節等は設けないこととした。さらに、ユーザモデルより捕球時の手先具の使用方法は、肩より低い位置での捕球、捕球面は鉛直上向きに限られるものとした。

本研究では、対象ユーザがこれまでにラクロス用のクロ

スのヘッドに類似した遊具を応用した手先具を使用していたことから、これを模倣した手先具の一次試作を作成し、評価実験を行うことで、問題を確認した。一次試作は、外径114[mm]の硬質ポリ塩化ビニル薄肉管を環状に切り取り、工業用ドライヤで加熱しヘッド形状に成形してフレームをつくり、ネットに天然ゴムシートを用いフレームにリベットで固定した。同試作体の実験では高さ2[m]から落下させたボールがネット上で跳ね上がり、捕球機能としてボールの速度を手先具内でゼロに減速することが満たせなかった。よって、二次試作では捕球機能の改善を主課題とした。

二次試作では、上記の基本機能を満たす設計条件を明らかにすることを目的に、複数の試作を作成し、実験的に分析を行うこととした。このため、試作体の作成の都合、材料は廉価で入手しやすく加工性に優れる硬質ポリ塩化ビニル薄肉管と天然ゴムの組み合わせは一次試作と同じとした。ボールに直接接し、停止させるネット部形状は、野球グローブのクロス系ウェブ形状を模倣し、縦アーチ1本、横アーチ3本の形とし、ベルト部のゴムの厚さを2[mm]に変更した(Fig.1参照)。さらに、ゴム製の縦アーチの捕球時の弾性を向上するため、先端側のアーチのフレームへ取り付け部が弧状となるように取りつけた。先端側の横アーチも弾性を持たせることならびにボールを挟むように接触させ摩擦力を発生させることを目的に両端の取り付け部も弧状とした。以上の構造で手先具の基本機能を、捕球に特化するものとして、捕球するボールの運動エネルギーを弾性エネルギーと摩擦力による仕事とに効率的に変換することとし、寸法設計、最適化を行う。なお、試作体においては、塩ビ管に熱を加えて成形するため、図面で書いた通りの形状・寸法に仕上げられないため、シミュレーションによる解析ではなく、品質工学のパラメータ設計の方法を用い実験により設計因子の効果の検証と、最適化を行う。



Fig.1 2nd prototype model for the fielding terminal device

3. 実験

試作した手先具の捕球機能の評価実験として、落下するボールの捕球時にフレームの基部に伝わる衝撃(加速度)を測定し、振動波形の振幅が最大値の2%になるまでの時間を準整定時間として求める。この改善に効果が期待される設計因子として、Table 1の7点の寸法を選定し、それぞれに2通りの値を設けて、L₈直交表により定まる7因子2水準での組み合わせで計8体の試作を作成する。実験は、障害者野球の公式球である直径72[mm]の軟式ボールをネットの中心から1, 2, 4[m]の各高さからそれぞれ3回ずつ落とす。この際の加速度信号は、フレームにねじで固定した3軸加速度センサジュール(Kionix, KXP84-2050)のフレーム補球面に垂直な方向成分信号をデータ集録機(HIOKI, メモリハイコーダ 3802)で記録した。なお、試作体は、いずれも同じボルトで支柱に固定した。

4. 結果

試作体で全72件の実験を行い、全ての条件で捕球時にボールが試作体の中で停止することを確認した。記録した加速度波形より、準整定時間を求め、設計寸法パラメータの効果を分析するために、パラメータ設計法のゼロ点比例式のSN比 η と感度Sを各寸法の水準ごとに算出した(Fig. 3参照)。ここで求めたSN比は評価値としての準整定時間のばらつき度合いを表し、高い値が望ましいと判断できる尺度である。また、感度は、ボールの高さに対する準整定時間の比であり、これは小さくなるのが理想となる。ボールの高さは落下前の位置エネルギーと比例し、衝突直前の運動エネルギーとも比例するのに対し、準整定時間はボールが手先具に捕球された状態では、衝突時に摩擦等によりなされた仕事では消費されずに残ったエネルギーが手先具に伝えられ振動を始める運動エネルギーとなった量と関連する。このことから、設定した基本機能にいずれも関連する評価尺度であり、これらを最適化する上で効果が得られる寸法と水準をFig.3の要因効果図から選定する。図より、SN比を大きく向上させているD, E, Gの水準を選び、さらにB, C, Fについては、感度を小さくする水準を選び、Aについては水準間でSN比、感度とも差がないことから、加工が楽な1の水準を選び、A₁B₂C₂D₁E₂F₁G₁を最適条件とした。この組み合わせで試作体をつくり(Fig. 4参照)、改善効果を検証するために実験結果より求めたSN比と感度の推測値と比較するだけでなく、先行実験として進めたボールの高さ2mまでのデータで求めた最適条件であるA₂B₂C₂D₂E₂F₂G₂の試作体と比較することとした。

推測値と確認実験の結果をTable 2に示す。この結果より、最適条件の実機の結果は、比較条件よりも高いSN比が得られているものの、SN比と感度の各々の利得は、推測値の利得の7割の値より大きく下方に外れている。これは実験の再現性が不十分であり、設計寸法以外の要因が準整定時間の改善に効果がある可能性があることを示している。つまり、まだ機能改善の可能性が残されているといえる。

5. まとめ

切断者の社会参加支援を目的とした義手の開発として野球守備用義手手先具を、まずは捕球機能に特化して設計した。パラメータ設計法を用いて、寸法仕様の最適化を実験的に試み、分析結果より得られた設計条件で確認実験を行ったが予想した改善効果は得られなかった。今後は、改良を進めるとともに、投球機能にも適した設計仕様を検討も進め、実用化につなげたい。

Table 1 Control factors of the terminal device design

		Level 1	Level 2
A	PVC pipe's outer diameter [mm]	114	89
B	Frame width [mm]	30	50
C	Loop neck width [mm]	30	50
D	Loop longitudinal length [mm]	230	300
E	Transverse arch margin [mm]	15	30
F	Pipe end cutting angle [deg]	120	180
G	Loop gorge diameter [mm]	25	44

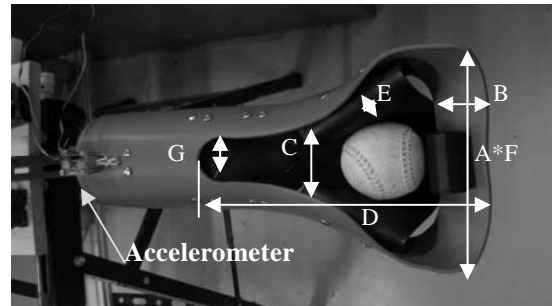


Fig. 2 The description of the control factors: dimension parameters of the terminal device design

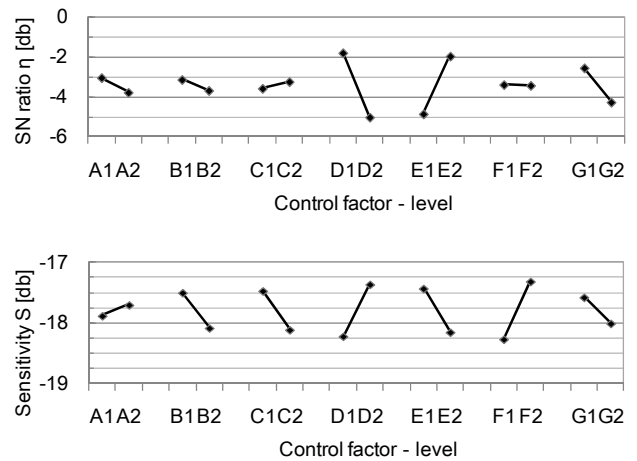


Fig. 3 Factors' effect plots: Analysis result of the SN ratio and Sensitivity of the L₈ orthogonal array experiment.



Fig. 4 Prototype terminal device based on the optimal condition

Table 2 Prediction and confirmation of SN ratio and Sensitivity

Condition	SN Ratio (db)		Sensitivity (db)	
	Predict.	Confirm.	Predict.	Confirm.
Optimized	0.81	-2.88	-17.98	-19.80
Comparison	-4.91	-3.63	-19.54	-18.92
Gain	5.72	0.75	-1.56	-0.88

参考文献

- (1) 大西謙吾, 野球の守備用義手手先具の設計, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会2011講演予稿集, pp.03-3-1 - 03-3-2, 2011.
- (2) 井上清和, 他4名, 入門パラメータ設計, 日科技連, 2008.