

## 肘関節運動を力源とした前腕能動義手 制御システムの開発 (第1報)

妹尾 勝利<sup>1,2)</sup> 小林 隆 司<sup>2)</sup>

キーワード 前腕能動義手, ハーネス, 肘関節運動

### 抄録

ハーネスは、義手の懸垂と体内力源の伝達および手先具操作時の sensory feedback において重要な役割を持つ。しかし、ユーザーには体幹部の窮屈さや腋窩ループ部の圧迫感等を生じさせる。目的は、過去に開発された肘関節運動を力源とした前腕能動義手を参考に、現行の部品を使用して体幹部にハーネスを必要としない能動義手を作製する上での課題をモデル義手によって検討することであった。その結果、手先具操作に必要な肘関節可動範囲はケーブルの調整によって異なること、ケーブルは内側走行が適していることなどが示唆された。今後の課題は、抽出した課題を考慮した体験用前腕能動義手を作製し、肘関節運動を力源とした前腕能動義手の実用性を検討することである。

### 1. 序 論

能動義手におけるハーネスは、義手の懸垂と体内力源の伝達および sensory feedback<sup>1)</sup> における重要な構成要素であるが、ユーザーには体幹部の窮屈さや腋窩ループ部の圧迫感を生じさせる<sup>2,3)</sup>。過去に開発された前腕能動義手には、肘関節運動を体内力源としてハーネスを必要としない能動義手も開発されていた<sup>4,5)</sup>。ユーザーが能動義手を快適に使用するためには、現行部品を使用してハーネスを必要としない前腕能動義手制御システム(以下、肘システム)の検討も重要であると思われた。

本論の目的は、現行部品を使用して肘システムを作製する上での今後の課題をモデル義手によって検討することであった。

### 2. 過去に開発された肘システムによる前腕能動義手<sup>4,5)</sup>

Horat Ballif の義手 (図 1A) : 手関節と指の屈曲はバネで行われ、伸展は断端運動で行われる。

Karoline Eichler の義手 (図 1B) : 指伸展は渦巻きバネにより受動的に行われる。肘関節部の力と伸展度で握力が左右される。

Van Peetersen の義手 (図 1C) : Ballif の原理

2009年7月13日受付

Development of body-powered below elbow prosthesis control system that makes elbow joint movement power source (the first report)

1) 川崎医療福祉大学医療技術学部リハビリテーション学科 〒701-0193 倉敷市松島 288

Department of Rehabilitation, Faculty of Health Science and Technology, Kawasaki University of Medical Welfare

288 Matsushima, Kurashiki-shi, Okayama, 701-0193 Japan

Katsutoshi SENOO (作業療法士)

2) 吉備国際大学大学院保健科学研究科

Ryuji KOBAYASHI (作業療法士)

に基づいている。義手の懸垂は上腕カフと撓み肘継手で行う。肘関節伸展で5指が同時に開き、屈曲で閉じる。

Hermann Härtel の義手（図1D）：母指は肘関節後面にある弓形金具のゴムによって、肘関節伸展で開き、屈曲で閉じる。

Sauerbruch の義手（図1E）：前腕部は Peeter-

sen の牽引法を用いている。肘関節伸展で母指が開く。

### 3. モデル義手による肘システムの検討

#### 3-1 モデル義手（図2）

モデル義手は Van Peetersen の義手を参考に作製した。ケーブルシステムの走行とリテーナの

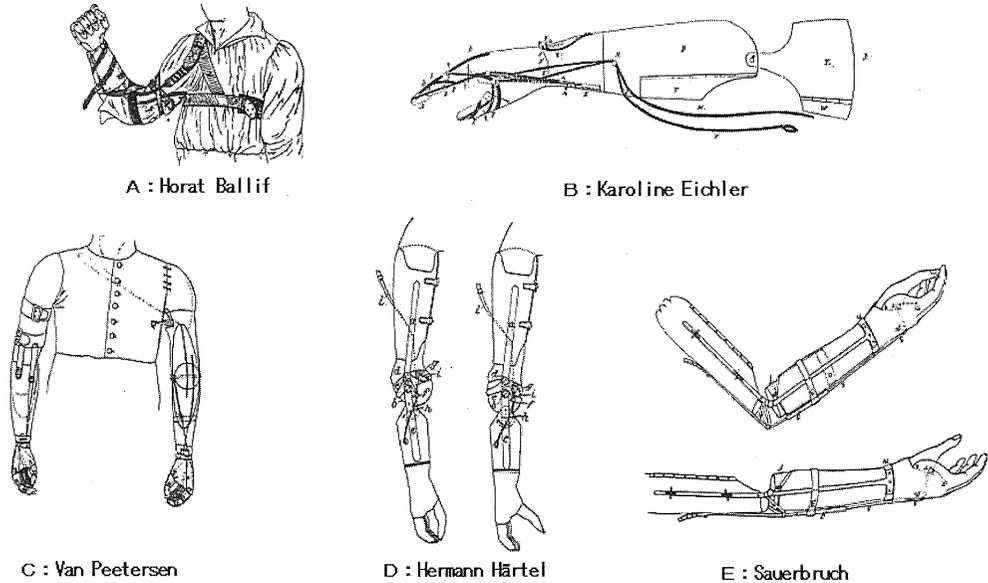


図1 過去に開発された肘システムによる前腕能動義手（文献4より引用）

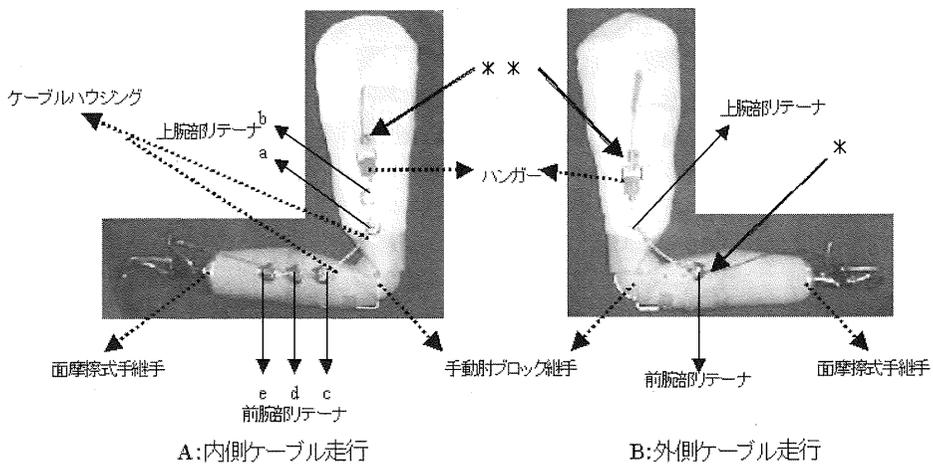


図2 モデル義手

\*：前腕部リテーナから制御レバーへのケーブルが手先具操作に伴って鋭角となり、摩擦力が大きくなる。  
\*\*：ハンガーは上腕幹部に木ネジで固定。

位置は以下のように設定した。上腕内側から前腕内側へのケーブル走行（以下、内側ケーブル走行）の上腕部リテーナは、肘継手軸延長線上の近位5 cm (a) と8 cm (b), 前腕部リテーナは遠位6 cm (c)・9 cm (d)・12 cm (e) に設置した。上腕外側から前腕外側へのケーブル走行（以下、外側ケーブル走行）の上腕部リテーナは、肘継手軸延長線上の近位5 cm, 前腕部リテーナは遠位6 cm で、1 cm 前面に設置した。肘継手は手動肘ブロック継手、手継手は面摩擦式手継手とした。手先具にはDorrance-Hosmerフック (Model 8) を使用し、力源ゴムは1.5 kg 重のピンチ力とした。手先具の回旋角度は制御レバーを移動軸として回内45°とした。

### 3-2 リテーナの位置と操作効率

操作効率は、前腕能動義手の操作効率測定<sup>6)</sup>を5回施行し、その平均を求めて算出した。内側ケーブル走行の操作効率はac (81.08%) で最も高く、be (71.43%) で最も低かった (図3)。外側ケーブル走行の操作効率は60.81%であった。

### 3-3 ケーブル張力調整と肘継手可動範囲

肘継手屈曲125°でケーブルが張る調整 (以下、

3A) と肘継手伸展0°で手先具が100%開くケーブル調整 (以下、3B) における各リテーナ位置での肘継手可動範囲を測定した。3Aは、肘継手屈曲125°から内側ケーブル走行でacが75°, adが65°・aeが55°・bcが55°・bdが45°・beが35°, 外側ケーブル走行で55°肘継手が伸展した時点で手先具の開き幅が100%となり、それ以上は伸展ができなくなった。3Bでは、肘継手は0~125°可動した。手先具は内側ケーブル走行でacが屈曲110°・adが屈曲100°・aeが屈曲95°・bcが屈曲90°・bdが屈曲85°・beが屈曲80°, 外側ケーブル走行では屈曲100°で開き始めた。3Aと3Bにおけるacの例を図4に示した。

## 4. 考察

### 4-1 リテーナの位置と操作効率

外側ケーブル走行では前腕部リテーナから制御レバーへのケーブルが前腕上部を斜めに走行し、ケーブルを引く力が分散されるために内側ケーブル走行よりも操作効率が低下すると考えられた。内側ケーブル走行において最も操作効率の高かったacは、リテーナが肘継手軸に近い位置にあることで上腕部リテーナと前腕部リテーナ間のケーブルの浮き上がりが抑えられ、ケーブルハウジン

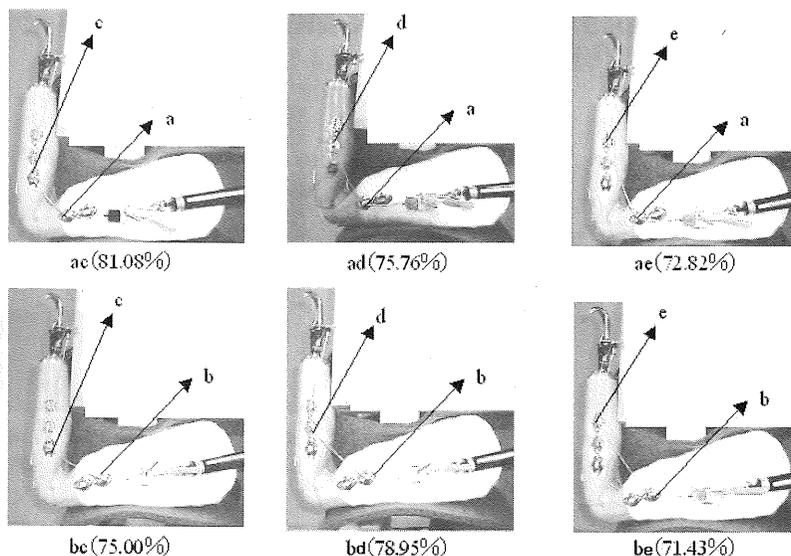


図3 リテーナの設置位置と操作効率 (内側ケーブル走行)

手先具単体で手先具を開くのに要した力は1.5 kg 重。操作効率 (%) = 手先具単体の時の力/ハンガーに加えた力 × 100 を5回施行して、その平均を求めて算出した。

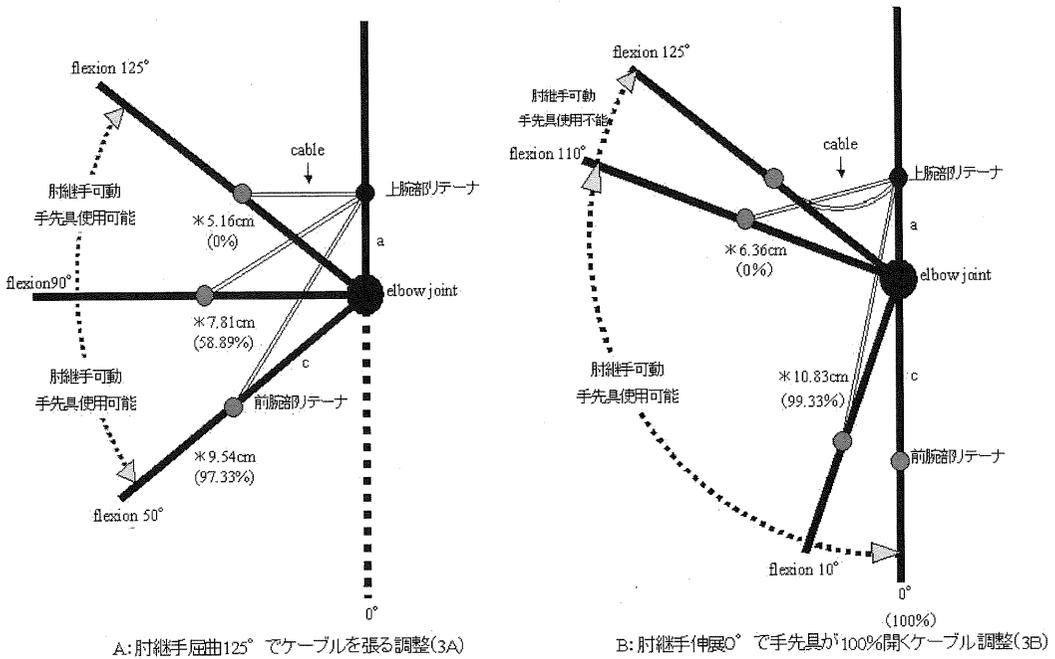


図4 ケーブルの調整の違いによる肘継手の可動範囲と手先具の開き幅 (ac)

\*: 上腕部リテーナと前腕部リテーナのケーブル間距離。 a: 5cm (上腕部リテーナと elbow joint 間距離), c: 6cm (前腕部リテーナと elbow joint 間距離)。 (%) は手先具の開き幅の割合。 A: 肘継手屈曲125° から伸展に伴って手先具は開き始める。 計算上では肘継手屈曲90°でのケーブルの移動距離は2.65cmで手先具の開き幅は58.89%となる。 肘継手屈曲50°でのケーブルの移動距離は4.38cmで手先具の開き幅は97.33%となる。 この場合の肘継手可動範囲は75°であった。 B: 肘継手屈曲110~125°間のケーブルは緩んだ状態となる。 手先具は肘継手屈曲110°から開き始め、伸展0°で100%開く。 この場合の肘継手可動範囲は125°で、手先具操作に作用する肘継手可動範囲は110°であった。

グとケーブルとの摩擦係数が他よりも小さくなったと考えられた。

#### 4-2 ケーブル張力調整と肘継手可動範囲

肘継手可動範囲は、3Aでは前腕部リテーナが肘継手軸よりも遠位ほど制限が大きくなり、3Bでは手先具の使用範囲が小さくなった。 今回の結果は、肘システムにおいてはケーブル張力調整によって肘関節可動と手先具使用の範囲が限定されることを示した。

### 5. 今後の課題とまとめ

現行部品を使用した肘システムのケーブル走行は、内側ケーブル走行が適していることを示唆したが、実際に装着する場合は、ケーブルシステムと体幹との接触も考慮しなければならない。ま

た、肘システムでは、肘関節可動と手先具使用の範囲に制限があることが理解できた。 肘システムを実用的にするためには、目的作業によってケーブルの張力が調整でき、かつ手先具未使用時のケーブルが緩む機構が必要であると思われた。 さらに課題となる点は、肘継手と上腕カフの構造であり、力源ゴムが6N<sup>7</sup>の場合は、現行の材料と構造ではこの力を支持することは困難であると推察される。 また、この力に抗して手先具の操作をするために必要な上腕三頭筋の筋力を測定することが課題となった。

本来の肘関節の役割は、肩の運動を介して空中に前腕を配置させ、機能的肢節である手を目的物に導くことである。 従来の前腕能動義手制御システムは、前ボタン位や口元まで手先具を導き、そこで手先具を開閉できる点で優れている。 今後

は、高橋ら<sup>8)</sup>や引地ら<sup>9)</sup>が作製した体験用前腕能動義手を参考に、従来の前腕能動義手制御システムと肘システムによる体験用前腕能動義手を作製し検討を重ねていきたい。

## 文 献

- 1) Muilenburg, A.L., et al. : Body-powered upper-limb components. Atkins, D.J., et al. eds., Comprehensive Management of the Upper-Limb Amputee, 28-38, Springer-Verlag, 1988
- 2) Kejlaa, G.H. : Consumer concerns and the functional value of prostheses to upper limb amputees, Prosthet. Orthot., 17 : 157-163, 1993
- 3) 陳 隆明 : 上肢切断のリハビリテーションの今後, 義装会誌, 20 (1) : 37-41, 2004
- 4) Liebhard Löffler 著, 平沢泰介訳 : 能動義手, 義手—その起源と発達—, 初版, 81-154, Enke : パシフィックサプライ, 1986
- 5) 武智秀夫ほか : 義手の歴史, 児玉俊夫 (監) 義手, 初版, 6-14, 医学書院, 1972
- 6) 中島咲哉 : 義手 (電動義手を含む), 義肢装具のチェックポイント, 第7版, 104-109, 医学書院, 2007
- 7) 鈴木祥生 : 能動義手コントロールケーブルシステムの標準化研究, 日本義肢装具研究会々報, 24 : 65-76, 1983
- 8) 高橋良作ほか : 訓練用前腕能動義手の試作, 日本義肢装具研究会々報, 4 : 37-38, 1974
- 9) 引地雄一ほか : 体験用前腕能動義手の製作, POアカデミージャーナル, 16 (Suppl) : 192-193, 2008