

# 肘関節部への「カチカチ感」付与に関する研究

Applying “Rotary Switch Feeling” Feedback to the Elbow Joint

電気通信大学 人間コミュニケーション学科 梶本研究室  
0816020 栗原 洋輔 指導教員 梶本 裕之 准教授

## 1. はじめに

スポーツやダンスなどの運動において、運動者の姿勢は競技のパフォーマンスに大きく影響する。そのため正しい運動姿勢を学習することは非常に重要である。しかし、一般的に頭の中で思い描いた正しい姿勢と実際の姿勢を一致させることは容易ではない。例えば、十分に屈伸すべき身体部位が全く屈伸しておらず、固定すべき部位が動いてしまうといったことがしばしばある。

これは深部・皮膚感覚といった触覚の手がかりにより身体の姿勢・動きといった運動感覚をある程度取得可能であるが[1]、一方でその詳細を把握するには不十分であるためである。これに対し、注目部位の直視あるいは鏡を介しての目視により身体姿勢を確認し、所望の姿勢に一致させる方法が考えられるが、頭部運動を伴うため姿勢を崩してしまうこともある。

そこで私は身体運動に伴った新たな触覚の手がかりを付与することで、運動感覚を鮮明化することを考えた。本研究ではロータリスイッチの持つ触覚フィードバック「カチカチ感」に着目し、これを新たな触覚の手がかりとして肘関節の屈伸運動に適用し肘部の運動感覚の鮮明化を試みる(図1)。

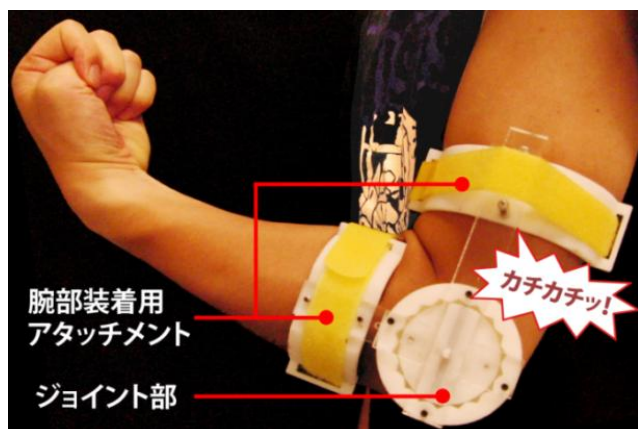


図1. 肘関節へのカチカチ感付与

## 2. 先行研究：触覚呈示による運動教示

これまでに、触覚呈示を用いた運動教示手法が多数提案されている。例えば Linden らはヴァイオリン演奏訓練者の肘・手首・腰に振動モータを装着し、訓練者が誤った姿勢をとった際その身体部位に振動刺激を呈示することで姿勢教示を試みた[2]。しかし訓練者は振動を避けることに尽力し、演奏技能習得という本来の目的に集中できなくなり、ぎこちない演奏動作になった。これは振動刺激を避けることが訓練者の身体運動の目的となっており、その結果運動学習に重要な運動の主体性[3]が欠如していたためであると考えられる。

そこで私は、「運動した後」に感覚呈示を行うことで主体性が実現されると考えた。運動後に感覚呈示することで、呈示された感覚は訓練者にとって身体を動かすきっかけではなく、身体がどのように動いたかを知覚するためのフィードバックとなる。視点を変えると、ヒトの運動感覚はすべて運動した「後」に生じるものであるから、運動後の感覚呈示は訓練者の運動感覚を拡張する試みとも捉えることができる。

## 3. 提案手法

### 3.1. ロータリスイッチ的触覚「カチカチ感」

ロータリスイッチを手で回すと、カチカチとした周期的な触覚が手に返される。このカチカチ感は周期的な抵抗感の変化と衝撃感で構成されており、ダイヤル型スイッチなどの操作性向上に応用されている。例えば自動車内のダッシュボードに取り付けられたロータリスイッチにより、運転者は手元を見ることなくダイヤルを所望の位置に調節できる[4]。

このカチカチ感は運動の結果を伝える触覚の手がかりであり、私が目指す運動感覚の拡張を実現する手段であるといえる。本研究ではヒトの関節部屈伸運動にカチカチ感を適用することで、関節部運動感覚の増強を試みる。

### 3.2. カチカチ感呈示装置

私は肘部屈伸運動に伴ってカチカチ感を呈示する装置を開発した(図1)。本装置は前腕および上腕に腕部装着用アタッチメントとマジックテープ式バンドで固定される。

本装置のカチカチ感呈示原理を図2に示す。円形のジョイント部は肘屈伸に伴って回転し、内部には押しばねと2つのステンレス球が格納されている。初期状態で球はジョイント壁面の凸間の谷にある(図2-1)。肘屈伸によりジョイントを回転させると、凸面により球がばねを押し縮める。その際ばねの弾性力に応じて球に遠心方向の力が加えられ、球と凸の間に回転方向と反対の方向に力が生じる(図2-2)。この反力によって肘屈伸を続けると、球は凸の頂点を乗り越え、ばねは球を遠心方向に押し出す(図2-3)。このとき反力が瞬時に減衰し、押し出された球が隣接する凸間の谷に衝突して「カチッ」という衝撃が生じる。本装置は、肘を完全に伸展させた状態を0度とし、10度、30度、50度…という間隔でカチカチ感を呈示する。

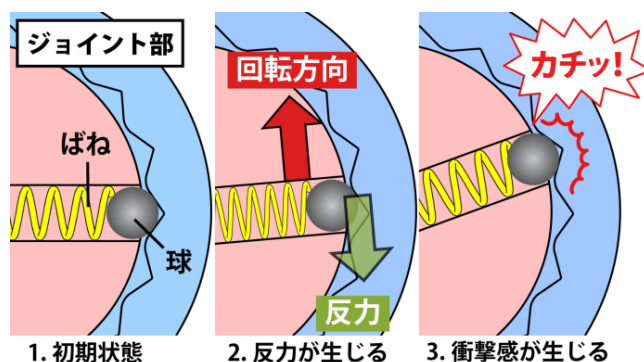


図2. カチカチ感呈示原理

## 4. 肘屈伸運動教示実験

本実験では、肘関節部へのカチカチ感付与により、実験者から教示された肘屈伸角度を訓練者がより正確に再現できるかを検証する。

実験者は被験者にアイマスクを装着させた。被験者の左手首に再帰性反射素材のマーカを装着し、光学式モーションキャプチャシステム(NaturalPoint, Inc., OptiTrack)を用いて、肘

屈伸軌跡を測定した。

まず実験者は被験者を床に座らせ、被験者の左上腕を机の上の台に固定し、肘を伸展させた。この状態を 0 度とした。次に実験者は被験者に対し左腕の力を完全に抜くように指示した。実験者は被験者の左肘下に置かれた分度器に従い、片手で被験者の左前腕を持ち、肘関節を中心に一定の教示角度まで肘を屈曲させた後、0 度まで伸展させた (図 3 左)。

その後、被験者は自らの力で腕を動かし、教示角度を再現するように肘を屈伸させ、元に戻した (図 3 右)。この教示・再現動作を 1 試行とし、被験者 1 名に対してカチカチ感 2 条件 (あり/なし)、教示角度 4 条件 (70,80,90,100 度) を各 2 試行ずつ、計 16 試行を行った。被験者は 21~25 歳の男性 4 名とし、2 名の被験者がカチカチ感あり条件での試行を先に、その後カチカチ感なし条件での試行を行った。他の 2 名は逆の順序で実験を行った。実験中、教示角度はランダムに呈示され、被験者には伝えられていなかった。

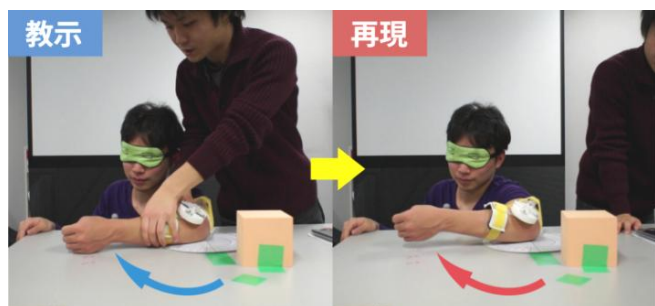


図 3. 肘屈伸の教示・再現実験の様子

## 5. 実験結果・考察

図 4 にある被験者 1 名の教示および再現時の軌跡を示す。横軸・縦軸は水平面における X・Y 方向の位置を表す。再現軌跡の最大到達点と教示軌跡の最大到達点の 2 点間の符号付き距離を、教示軌跡に対する再現軌跡の誤差と定義した。本実験結果に対してカチカチ感・教示角度・試行の 3 要因 (2 × 4 × 2) 被験者内計画とみなし、分散分析を行った。

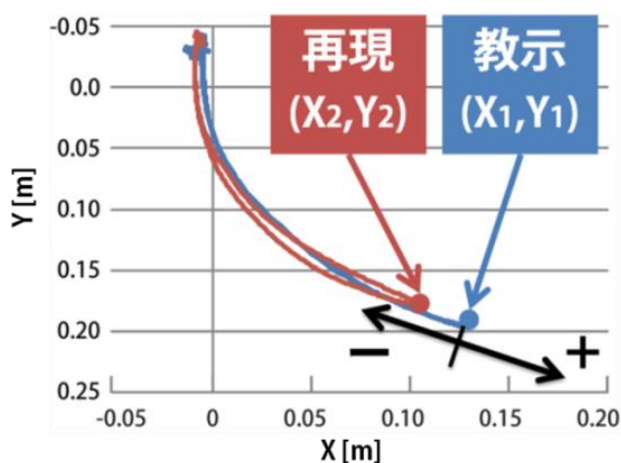


図 4. 再現軌跡と教示軌跡の誤差

### 5.1. 教示角度による再現精度の違い

教示角度 4 条件のうち 70 度と 90 度はカチカチ感が呈示される角度である。そのためカチカチ感を付与した際に 70 度と 90 度では特に正確に教示角度を再現でき誤差が小さくなると実験前に予想した。しかし分散分析の結果、教示角度条件において肘屈伸軌跡の誤差に有意差は認められなかった (F(3,9)=1.99, n.s)。この原因として、カチカチ感呈示装置を装

着した際に腕部の皮膚変形が生じ、装置が肘屈伸に伴って回転していなかったことが挙げられる。したがって、装置の形状を被験者の腕の形に合わせ、腕に固定しやすくするなど装置の改良が必要であるといえる。

### 5.2. カチカチ感条件と試行条件の相互効果

図 5 にカチカチ感条件と試行条件の組み合わせによる誤差の比較を示す。グラフの横軸はカチカチ感の有無と試行を、縦軸は教示軌跡と再現軌跡の平均誤差を示す。エラーバーは被験者間の標準偏差である。カチカチ感ありにおいては試行間に有意差は認められなかった (F(1,3)=0.42, n.s)。一方でカチカチ感なしにおいては試行間に有意差が認められ、第 2 試行で誤差が小さくなった (F(1,3)=16.45, p<0.05)。

本結果に対して二つの考察ができる。一つはカチカチ感なしの場合における再現タスク学習効果である。しかし本実験では 2 試行しか行っていないため、仮に第 3 試行を行った場合は図 5 における誤差が負の値になる可能性がある。

もう一つは被験者のカチカチ感への依存である。今回開発したカチカチ感呈示装置は、装着時の皮膚変形や分解能の問題により、所望の角度でカチカチ感を呈示できていなかった。しかし被験者はカチカチ感を頼りにしたため、カチカチ感なしの場合のように誤差が縮小せず、同様の姿勢をとったと考察できる。

以上の考察より、今回開発した装置によって運動感覚の鮮明化は実現できなかったが、カチカチ感は運動感覚取得の手がかりになりうることが示唆された。

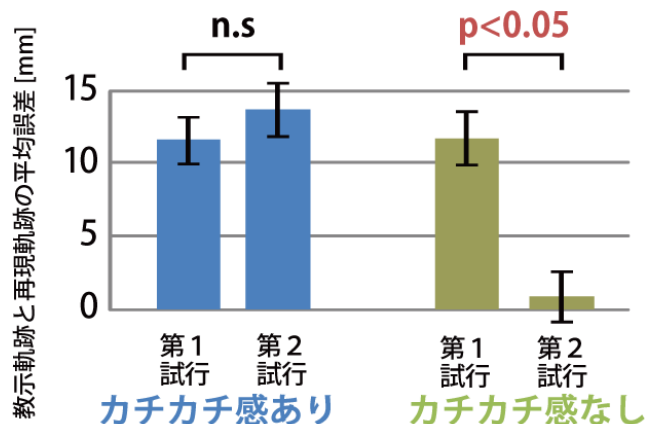


図 5. カチカチ感と試行の組み合わせによる誤差の比較

## 6. おわりに

本研究では、身体姿勢・運動の状態を把握するための新たな触覚の手がかりとしてカチカチ感を肘関節に付与することを試みた。そしてカチカチ感呈示装置を開発し、教示角度再現実験によりその有効性を検証した。しかし、本装置によって運動感覚の鮮明化は実現できなかった。一方でカチカチ感は運動感覚取得の手がかりになりうることが示唆された。

今後は、実験試行数を増やすことでカチカチ感が与える長期的な効果を検証とカチカチ感呈示装置の改良を行うと共に、カチカチ感の応用可能性を検討していく予定である。

### 参考文献

- [1] 岩村, タッチ. 医学書院, 2001.
- [2] J. V. D. Linden et al., Buzzing to Play: Lessons Learned From an In the Wild Study of Real-time Vibrotactile Feedback. *CHI*, 2011.
- [3] S. Saga et al., Teaching using Opposite Force Presentation. *IEEE World Haptics Conference*, 2005.
- [4] M. Badesc et al., Rotary Haptic Knob for Vehicular Instrument Controls. *Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 2002.