

電子・情報工学専攻	学籍番号	003058
申請者氏名	大山 剛史	

指導教員氏名	福村 直博
--------	-------

論文要旨(博士)

論文題目	ヒトの到達運動における計画軌道とばらつきに関する計算論的研究
------	--------------------------------

(要旨 1,200字程度)

本研究はヒトの脳機能の一つである運動について、運動のばらつきに着目し、解析及び考察を行った。運動のばらつきがなぜ、どのように生じているかを知ることは、脳の運動制御を解き明かすための重要な手掛かりとなり得ると考えられる。また、ばらつきの要因を知ることで、より妥当な運動制御モデルの提案や、効果的な運動教示やリハビリテーションの手法を提供することも期待される。

初めに、ヒトの運動の計測軌道からヒトが計画していた軌道（計画軌道）を求める方法を提案した。運動実行中のフィードバック制御による修正のために、実現される軌道は計画軌道とは異なる。運動のばらつきの要因が運動制御のどの段階で生じているかを調べるために、計測軌道から計画軌道を抽出する方法は有益である。計画軌道を抽出するために二つの仮定を設けた。(1) フィードバック信号の遅れ時間のために運動開始直後の計測軌道は計画軌道とみなすことができる。(2) ヒトの計画軌道は指令トルク変化最小軌道によって数理的に表現できる。指令トルク変化最小軌道は微分方程式によって表現できる。したがって、運動開始直後はほぼ計画どおりの軌道が生成されるとみなすことができ、その計測データに基づいて、微分方程式に従って計画軌道の全体を求めることができる。提案方法の妥当性を検討するために、計算機シミュレーション及び計測実験を行った。視覚がない状態で十分な訓練を行った後では運動中の修正の影響が少ないと考えられる。そこで、その計測軌道に提案方法を適用した結果、推定した軌道は計測軌道とよく一致していた。

次に、運動のばらつきが運動計画と運動実行のいずれで生じているかについて調べた。運動のばらつきの要因として二つが考えられている。(1) 運動計画でのばらつき：運動計画において体性感覚による目標位置知覚の不確かさのために運動はばらつく。(2) 運動実行中でのばらつき：運動実行中に運動指令に信号依存の生体ノイズが加わることで運動はばらつく。これら二つのどちらが運動のばらつきの要因として妥当であるかを見極めるために、軌道の類似性に着目し、運動軌道の解析を行った。その結果、運動実行中でのノイズでばらつかせた軌道は計測軌道ほど軌道の類似性保持性を再現できなかったが、運動計画における目標位置知覚の不確かさを想定して生成した指令トルク変化最小軌道は、実際の計測軌道に近い傾向を示した。よって、運動のばらつきは運動計画において生じていると考えられる。また、運動時間のばらつきについても調査した。運動時間と軌道の長さ、精度との関係から運動時間のばらつきは意図的に引き起こされるものではないと考えられる。更に、運動時間のばらつきは運動指令の時系列データ幅の伸縮によると仮定して、時系列データ幅の分布の平均が大きくなるほど運動のばらつきも大きくなると推測した。

最後に、計測軌道から計画軌道を推定する方法を用いて、計画軌道がどのようにばらつき、また、ヒトの運動制御がどのように行われているのかについて考察した。計測軌道の運動開始直後のデータから推定した計画軌道はばらついていたものとなっていた。以上より、ヒトの運動のばらつきは運動計画の段階で既に生じており、計画軌道の計算や実行中の修正もその影響を受けるであろうと結論付けた。