

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500325

研究課題名(和文)異なる課題要求をもつ視覚・運動課題における対象物の把持位置の乖離に関する研究

研究課題名(英文) Dissociation of grasp point selections of a vision task and action tasks with different task-demands

研究代表者

片山 正純 (KATAYAMA, MASAZUMI)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：90273325

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、対象物の把持位置選択の脳内メカニズムの解明を目的として、課題要求の異なる3種類の課題(視覚課題、持ち上げ課題、つまみ課題)における把持位置について調べた。具体的には、(1)異なる課題における把持位置選択が脳内でどのように切り替えられているか、(2)把持位置選択に関与している視覚メカニズム、(3)把持位置選択と運動の熟練度との関係、(4)把持位置選択と視線との関係を調べた。得られた結果は我々の仮説「持ち上げ課題の把持位置選択には背側視覚経路、視覚課題とつまみ課題では腹側視覚経路が関与する」の妥当性を支持している。

研究成果の概要(英文)：In this study, in order to investigate the problem of how grasp positions of objects are selected, we examined grasp positions in the three tasks with different task demands: a vision task (VT), a lift-up task (LT) and a pinch task (PT). We have reported that the grasp positions of the two grasping tasks (the lift-up task and the pinch task) are different in a same object. Especially, we focused on a switching mechanism of grasp points by each task-demand, visual mechanisms that are contributed in grasp point selection, a relationship between grasp point selection and skillfulness of grasping, and a relationship between grasp point selection and fixation points during task execution. As a result, we ascertained that the dorsal vision stream in the human brain contributes the grasp point selection of LT and the ventral vision stream contributes the grasp point selection of VT and PT. Thus, those results indicate a plausibility of our hypothesis.

研究分野：総合研究

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：把持位置 視覚 運動 乖離 課題要求

1. 研究開始当初の背景

ヒトの巧みな運動において視覚情報が重要な役割を果たしており、古くから視覚と運動の密接な関係が知られている。この反面、錯視効果を利用した知覚課題と運動課題に関する研究が活発に行われており、知覚課題は錯視の影響を受けるが、運動課題は錯視の影響を受けないことが数多く報告されており、これらの結果は「知覚と運動の乖離」を示している (Aglioti ら, 1995; Haffenden ら, 1998; Milner ら, 2003; Ottode ら, 1999; Westwood ら, 2000 など多数)。しかし、これらの研究に関する多くの問題点が指摘されており、現在でも論争が続けられている (Bruno, 2001, 2009; Carey, 2001; Franz, 2000, 2001; Glover, 2002, 2004; Milner, 2008; Smeets, 2001 など多数)。知覚と運動の乖離に関する研究は興味深いですが、錯視を用いたアプローチではこの乖離の存在を明確に示すのは困難である。

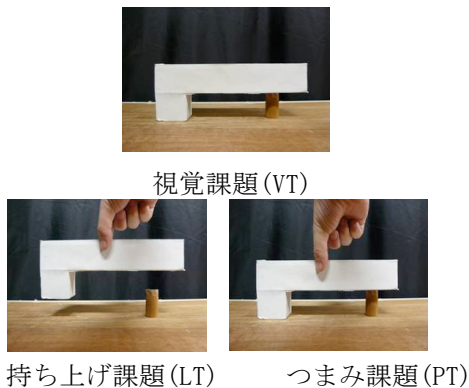


図1 把持位置計測の課題

そこで、本研究では、日常行っている対象物の把持運動に着目し、以下の3つの課題 (図1) における対象物の把持位置について調べた。ただし、実験参加者には、すべての課題において「対象物を把持して持ち上げたとき、対象物が回転しないで平行に持ち上げる位置を答える」ように指示した。

視覚課題 (VT) : 対象物を見て把持位置を答える

持ち上げ課題 (LT) : 対象物を把持して持ち上げる

つまみ課題 (PT) : 対象物を把持するが持ち上げない

各対象物の第1試行目 (未学習の状態) での把持位置を計測したところ、持ち上げ課題の把持位置は視覚課題の把持位置と異なっていた。これは、把持位置選択における視覚と行動の独立性 (乖離) を示している。さらに、つまみ課題の把持位置は持ち上げ課題の把持位置と異なっており、視覚課題の把持位置と一致していた。従って、これらの課題において、2種類の把持位置選択のメカニズムが存在し、各課題の課題要求に応じて把持位

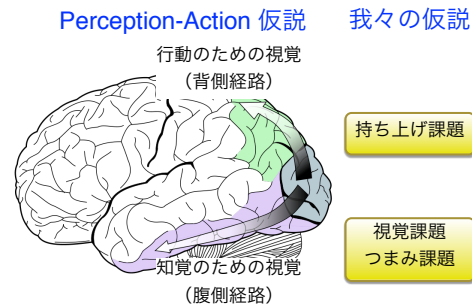


図2 把持位置選択の仮説

置が選択されていることを示唆している。

一方、このような知覚と運動の乖離を示す結果は、Goodale ら (Goodale ら, 1992; Milner ら, 1995, 2008) が提案している Perception-action 仮説に基づいて説明できる可能性がある。Perception-action 仮説では、脳内での2つの視覚経路 (腹側経路と背側経路) のそれぞれの役割を「知覚のための視覚」と「行動のための視覚」と仮定している。この仮説に基づいて考えてみると、持ち上げ課題での把持位置選択には背側経路が関与していることになる。そこで、我々は視覚課題とつまみ課題の把持位置選択には腹側経路が関与していると考えている (我々の仮説)。つまり、この仮説では、持ち上げ課題とつまみ課題のそれぞれの把持位置選択に関与している視覚メカニズムが異なっていることを予測する。

一方、Gonzalez ら (2008) は、普段使い慣れた指での把持運動では錯視の影響を受けないが、使い慣れていない指での把持運動では錯視の影響を受けることを報告した。この結果は、慣れた把持での把持運動には背側経路が関与し、不慣れた把持での把持運動には腹側経路が関与することを示唆している。従って、把持位置選択は運動の熟練度によっても影響を受ける可能性がある。つまり、我々の仮説では、つまみ課題の把持位置選択には腹側経路が関与していると考えているため、慣れた把持でも不慣れた把持でも把持位置は一致することを予測する。一方、持ち上げ課題では背側経路が関与していると考えているため、不慣れた把持での把持位置は慣れた把持でのつまみ課題の把持位置に変化することを予測する。

これらの観点から、把持位置選択の脳内メカニズムが解明できる可能性がある。

2. 研究の目的

上記の観点から、

- (1) 異なる課題における把持位置選択が脳内でどのように切り替えられているか、
 - (2) 把持位置選択に関与する視覚メカニズム、
 - (3) 把持位置選択と運動の熟練度との関係、
 - (4) 把持位置選択と視線との関係
- について調べた。

3. 研究の方法

図3に示す実験環境は、三次元運動計測装置(OPTOTRAK, Northern Digital Inc.), 視線計測装置(EyeLink II, SR Research Ltd), 視覚提示の ON/OFF を電氣的に切り替える視覚シャッター(ウムガラス, 日本板硝子), アゴ台, 実験台, 実験用椅子(生体工学的にデザインされたレカロ製シート使用, 座面の上下・背面の角度などが調節可, 特注)により構成し, 暗室内に構築した。

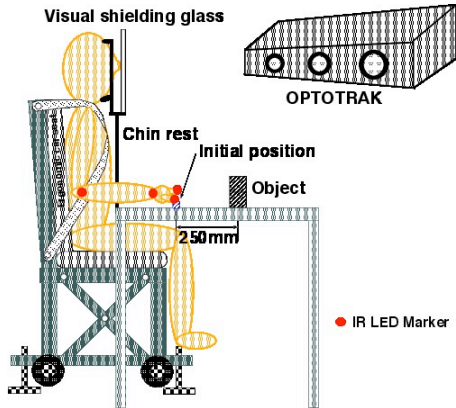


図3 実験環境

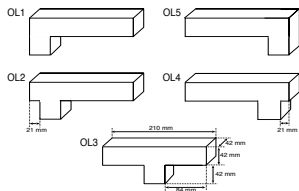


図4 対象物

(1) 把持位置選択の切り替えメカニズム

実験参加者には「対象物を把持して持ち上げたとき, 対象物が回転しないで平行に持ち上がる位置を答える」ように指示しているが, 視覚課題・つまみ課題と持ち上げ課題のそれぞれの把持位置が異なっている。これはそれぞれの課題の課題要求に応じて把持位置選択を切り替えていることを示唆している。そこで, 本研究では, タスクチェンジ・パラダイムを構築し, 持ち上げ課題とつまみ課題の把持位置について調べた。タスクチェンジ・パラダイムでは, 予め指定しておいた課題の実行中に予期できないタイミングでタスクチェンジの合図を与える。この合図があれば実験参加者はもう一方の課題に変更して実行するように指示しておく。本研究では, つまみ課題の実行時に持ち上げ課題に変更する条件, および持ち上げ課題の実行時につまみ課題に変更する条件で計測・評価した。タスクチェンジの合図は全試行の 50%の割合で与えた。また, タスクチェンジの合図は, 試行開始の合図から運動開始までの時間を 3 等分し, それぞれの 4 時刻 でランダムな順番で与えられた。また, 課題の実行中の指先軌道と把持位置を計測した。

(2) 把持位置選択に関する視覚メカニズム

腹側経路には中心視野からの視覚情報が比較的多く投射されており, 背側経路には周辺視野からの視覚情報が比較的多く投射されていることが明らかにされている。そこで, 前述の仮説に基づいて考えると, 視覚課題とつまみ課題での把持位置選択には主に中心視野からの視覚情報が関与し, 持ち上げ課題では主に周辺視野からの視覚情報が関与している可能性がある。この観点から, 本研究では, 課題実行中の視野を中心視野に制限する条件(中心視野条件)と周辺視野に制限する条件(周辺視野条件)で把持位置について計測・評価した。中心視野条件では, ゴーグルの全体を黒色に塗り, 左右のそれぞれ眼の前にピンホールを空けて正面が見えるようにした。左右のピンホールの位置と直径を設定した視野角になるように調節した。視野角は対象物の横方向の 1/4 が見える条件(±3 度), 半分が見える条件(±6 度), 全体が見える条件(±12 度)などに設定した。形状の異なる 5 種類の対象物を用いた(図4)。把持位置計測の課題は持ち上げ課題とつまみ課題とした。計測手順は, まず視野を制限しない条件で各対象物の第 1 試行の把持位置を計測した(試行回数は 2x5=10 試行)。次に, 中心視野条件での把持位置を同様に計測した(試行回数は 2x5=10 試行)。

周辺視野条件では, 対象物の上下にそれぞれ 2 点の注視点(青色の LED)を設置し, LED の発光した注視点を注視しながら課題を実行する。このとき, それぞれの注視点を注視しているとき, 周辺視野内に対象物が見えるようにした。対象物は中心視野条件と同じ 5 種類の対象物を用い, 課題は持ち上げ課題とつまみ課題とした。計測手順は, まず視野を制限しない条件で各対象物の第 1 試行の把持位置を計測した(試行回数は 2x5=10 試行)。次に, 周辺視野条件での把持位置を同様に計測した(試行回数は 2x5x4=40 試行)。注視点の位置はランダムな順番とした。



右手の慣れた把持



右手の不慣れ把持 左手の不慣れ把持

図5 慣れた把持と不慣れな把持

(3) 把持位置選択と運動の熟練度との関係

上述のように, 対象物の把持位置選択には運動の熟練度も影響する可能性がある。そこ

で, Gonzalez ら(2008)と同様に, 慣れた把持と不慣れた把持での把持位置について調査した. 右利き(HN 利き手テスト)と判定された実験参加者が本実験に参加した. 図 5 に示すように, 慣れた把持では右手の親指と指示指, 不慣れた把持では右手の親指と薬指, および左手の親指と薬指とした. 対象物は形状の異なる 5 種類とした(図 4). 実験参加者を 3 グループに分け, グループ 1 では視覚課題での把持位置を計測した(試行回数は 5 試行). グループ 2 と 3 では, それぞれ持ち上げ課題とつまみ課題について図 5 の 3 種類の把持型で計測した(試行回数は $3 \times 5 = 15$ 試行).

(4) 把持位置選択と視線との関係

上記のように(背景と研究テーマ(2)), 我々の仮説では, 持ち上げ課題での把持位置選択には周辺視野の視覚情報が主に関与し, つまみ課題では中心視野の視覚情報が主に関与することを仮定している. つまり, 把持位置を選択する際, 対象物を注視する範囲はつまみ課題の方が広がることを予測する. これは, 中心視野の視野範囲は狭いため 1 度に入力できる範囲が制限され, より広い範囲を注視する必要があるためである. この観点から, 視覚課題と持ち上げ課題とつまみ課題の課題実行時の視線について計測した(EyeLinkII, SR Research Ltd). 対象物は形状の異なる 5 種類とし(図 4), 右利きの実験協力者が参加した. 計測手順は, まず視覚課題とつまみ課題の把持位置を計測し(試行回数は $2 \times 5 = 10$ 試行), 次に持ち上げ課題について計測した(試行回数は 5 試行).

4. 研究成果

(1) 把持位置選択の切り替えメカニズム

図 6 と図 7 に規格化した把持位置と規格化した初期運動方向を示す. 把持位置はタスクチェンジ前の把持位置が 0, タスクチェンジ後の把持位置が 1 になるように規格化した. 同様に, 運動開始直後の初期運動方向も規格化した. また, 参加者毎に反応時間が異なるため, 試行開始の合図の時刻(対象物が見えた時刻)が 0, 運動開始時刻が 1 になるように規格化した. 図 6 に示すように, 持ち上げ課題(LT)からつまみ課題(PT)へのタスクチェンジでは, 把持位置および初期運動方向とも試行開始の合図から反応時間の $2/3$ の時刻までのタスクチェンジの合図により切り替えられている. しかし, 運動開始付近でのタスクチェンジの合図では切り替えられていない. 一方, 図 7 に示すように, PT から LT へのタスクチェンジでは, 試行開始の合図から反応時間の $1/2$ の時刻付近までのタスクチェンジの合図により把持位置は切り替えられている. 従って, これらの結果は, タスクチェンジの合図により, 把持位置が明確に切り替えられていることを示している. しかし, つまみ課題では把持した対象物を持ち上げ

ないために, どの把持位置を把持しても課題に失敗しない. このため, タスクチェンジ実験では, つまみ課題であっても常に持ち上げ課題の把持位置を把持しておけば, 把持位置を切り替える必要はないはずである. しかし, 上記の結果から分かるように, このような戦略はとっていなかった. この事実, 持ち上げ課題とつまみ課題のそれぞれの把持位置選択は独立しており, それぞれの課題要求に応じて切り替えていることを示唆している.

さらに, PT から LT へのタスクチェンジでは, 試行開始の合図から反応時間の $2/3$ の時刻付近でのタスクチェンジの合図では, 把持

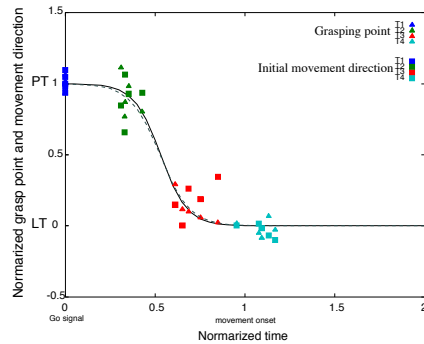


図 6 規格化した把持位置と初期運動方向 (LT から PT へのタスクチェンジ)

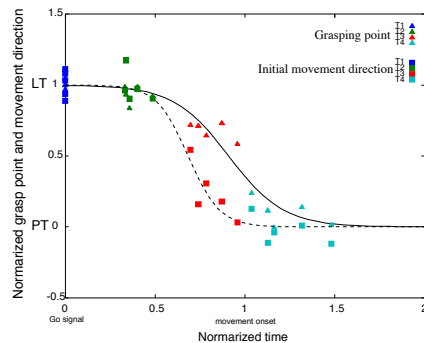
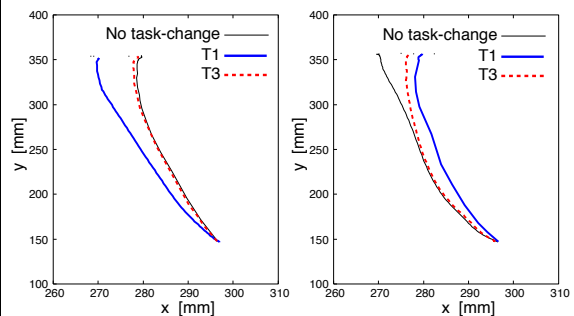


図 7 規格化した把持位置と初期運動方向 (PT から LT へのタスクチェンジ)



(a) LT=>PT (b) PT=>LT

図 8 運動実行中の指先経路

位置は切り替えられているが, 初期運動方向は切り替えられていない(図 7 参照). そこで, 運動中の指先経路を図 8 に示す. PT から LT へのタスクチェンジにおいて, 初期運動方向が切り替えられていなくても, 把持位

置を LT の把持位置に近づくように徐々に修正している（運動中のオンライン修正）。しかし、LT から PT へのタスクチェンジではこのようなオンライン修正は見られなかった。このように、運動中のオンライン修正も課題要求によって切り替えられていることを示している。

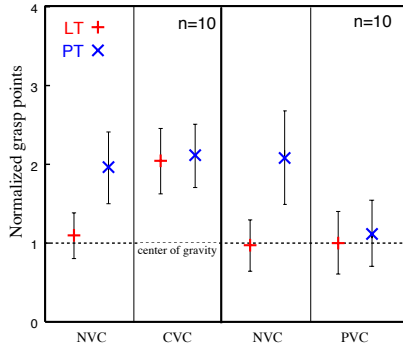


図 9 規格化した把持位置

(2) 把持位置選択に関与する視覚メカニズム

視野を制限していない通常条件(NVC)、中心視野条件(CVC)、周辺視野条件(PVC)のそれぞれの条件での規格化した把持位置を図 9 に示す。対象物の中心から重心までの距離で把持位置を規格化した。つまり、規格化した把持位置が 1 のとき重心を把持していることを示している。通常条件(NVC)では従来研究と同様に、持ち上げ課題(LT)とつまみ課題(PT)の把持位置が異なっている。つまみ課題の中心視野条件(CVC)の把持位置は通常条件(NVC)とほぼ一致しているが、持ち上げ課題の中心視野条件(CVC)の把持位置は通常条件(NVC)のつまみ課題の把持位置に変化している。一方、持ち上げ課題の周辺視野条件(PVC)の把持位置は通常条件(NVC)とほぼ一致しているが、つまみ課題の周辺視野条件(PVC)の把持位置は通常条件(NVC)の持ち上げ課題の把持位置（ほぼ重心）に変化している。これらの結果は、上述のように、我々の仮説からの予測結果と一致する。つまり、中心視野条件(CVC)において、持ち上げ課題では周辺視野の視覚情報を使用することができないため、中心視野の視覚情報を使用して把持位置選択することになったため、つまみ課題での把持位置選択が採用されたと考えることができる。また、周辺視野条件(PVC)において、つまみ課題では中心視野の視覚情報を使用することができないため、周辺視野の視覚情報を使用して把持位置選択したため、持ち上げ課題での把持位置選択が採用されたと考えられる。以上より、上記の結果は、我々の仮説「持ち上げ課題では主に周辺視野からの視覚情報が関与し、つまみ課題での把持位置選択には主に中心視野からの視覚情報が関与している」の妥当性を支持している。

(3) 把持位置選択と運動の熟練度との関係

右手での慣れた把持(right skillful-grip)、右手での不慣れた把持(right awkward-grip)、

左手での不慣れた把持(left awkward-grip)における規格化した把持位置を図 10 に示す。また、図 10 には視覚課題における規格化した把持位置も示す。右手での慣れた把持では、従来研究と同様に持ち上げ課題(Lift-up task)とつまみ課題(Pinch task)は異なっている。不慣れた把持でのつまみ課題での把持位置は右手での慣れた把持での把持位置とほぼ一致しているが、不慣れた把持での持ち上げ課題の把持位置は右手での慣れた把持でのつまみ課題の把持位置に変化している。つまり、図 10 に示すように、不慣れた把持での持ち上げ課題、慣れた把持と不慣れた把持でのつまみ課題、および視覚課題のすべての把持位置がほぼ一致している。これらの結果は、把持位置選択は運動の熟練度によっても影響を受けることを示している。さらに、我々の仮説「持ち上げ課題では背側経路が関与し、つまみ課題の把持位置選択には腹側経路が関与している」の妥当性を支持している。つまり、不慣れた把持での持ち上げ課題は熟練していないため、腹側経路の視覚メカニズムが選択されたことを示唆している。

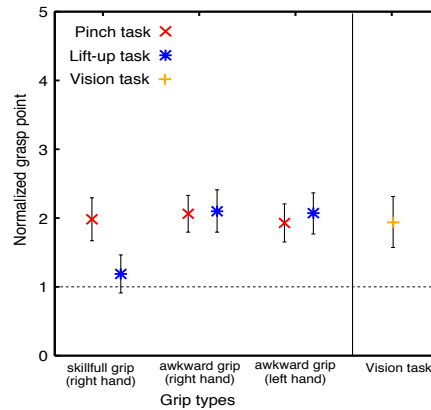


図 10 規格化した把持位置

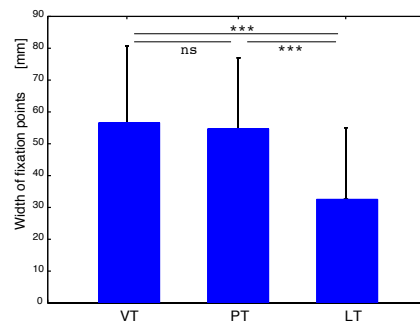


図 11 注視点の左右の範囲

(4) 把持位置選択と視線との関係（未発表）

試行開始の合図（対象物が見えた時刻）から最初に注視した点を第 1 注視点とし、運動開始までの注視点について評価した。第 1 注視点から運動開始前までの注視点の数に関しては 3 つの課題間で有意な差は認められなかった。そこで、注視点の左右の範囲を図 11 に示す。図 11 では、これらの注視点の最左点と最右点との距離を示している。この結果から、視覚課題とつまみ課題での注視点の

範囲には有意差は認められなかったが、持ち上げ課題とは有意な差が認められた。つまり、視覚課題とつまみ課題では持ち上げ課題と比較して、より広い範囲を注視していることが分かった。さらに、第1注視点から運動開始前までの注視点の移動距離についても比較したところ、視覚課題とつまみ課題では持ち上げ課題と比較して、より移動距離が長いことが分かった。これらの結果は我々の仮説からの予測結果と一致していることから、我々の仮説「持ち上げ課題では主に周辺視野からの視覚情報が関与し、視覚課題とつまみ課題での把持位置選択には主に中心視野からの視覚情報が関与している」の妥当性を支持している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

[1] Masazumi Katayama, Masaya Sakai: Grasp point of an object is switched between central and peripheral visual field conditions. *Journal of Cognitive Science: Procedia - Social and Behavioral Sciences Journal*, Vol. 97, Elsevier, 258-265 (2014) (査読有)

[2] Masazumi Katayama, Masaya Sakai: Grasp point of an object is switched between central and peripheral visual field conditions. *The 9th International Conference on Cognitive Science* (2013). (査読有)

[3] Masazumi Katayama, Tatsuya Kurisu: Human Object Recognition Based on Internal Models of the Human Hand. *The 3rd International Conference on Cognitive Neurodynamics* (2011). (査読有)

〔学会発表〕(計 13件)

[1] 片山正純, 福井優太: 異なる課題要求における対象物の把持位置 -中心視野条件と周辺視野条件-. 第36回日本神経科学大会, 6月20日-23日, 京都市, (2013). (査読有)

[2] 林侑平, 片山正純: 異なる課題要求における対象物の把持位置 -慣れた把持と不慣れた把持-. 第36回日本神経科学大会, 6月20日-23日, 京都市, (2013). (査読有)

[3] 片山正純, 酒井雅哉: 異なる課題要求をもつ把持運動課題における把持位置: -中心視野条件と周辺視野条件によるスイッチング-. 日本認知心理学会 第11回大会発表論文集, 6月29-30日, つくば市, 143 (2013). (査読有)

[4] 林侑平, 山田直樹, 片山正純: 異なる課題要求をもつ把持運動における把持位置: -不慣れた把持と対象物位置に関する研究-. 日本認知心理学会 第11回大会発表論文集, 6月29-30日, つくば市, 142 (2013). (査読有)

[5] 片山正純: 対象物の把持位置. 科学技術振興機構さきがけ研究21 第14回「知と構成」領域懇話会 (2013). (査読無)

[6] 酒井雅哉, 藤田貴大, 片山正純:

対象物の把持位置決定に関する脳内処理の解明: 中心視・周辺視条件による把持位置. 日本認知心理学会 第10回大会 6月2-3日, 岡山 (2012). (査読有)

[7] 山田直樹, 藤田貴大, 片山正純: ヒトの把持運動に関する脳内処理の解明: 慣れ・不慣れ条件における把持位置. 日本認知心理学会 第10回大会 6月2-3日, 岡山 (2012). (査読有)

[8] 片山正純, 酒井雅哉, 小松貴大: 中心視野・周辺視野条件における対象物の把持位置. 第35回日本神経科学大会, 9月18日-21日, 名古屋, 264 (2012). (査読有)

[9] 小松貴大, 山田直樹, 片山正純. 慣れ・不慣れ把持における対象物の把持位置. 第35回日本神経科学大会, 9月18日-21日, 名古屋, 264 (2012). (査読有)

[10] 片山正純: 対象物の把持位置. 科学技術振興機構さきがけ研究21 第13回「知と構成」領域懇話会 (2012). (査読無)

[11] Masazumi Katayama, Takeshi Nakayama, Takahiro Fujita: Grasp positions selected in grasping tasks with different task-demands: Switching by unexpected task-change. *The 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society*. Dec. 15-17, Okinawa, Japan, pp. 42-43 (2011). (査読有)

[12] 片山正純, Jiaole Wang, Minglong Xu: 把握運動中のヒト腕姿勢選択のための最適化モデル. 第34回日本神経科学大会, 9月14日-17日, 横浜, 285 (2011). (査読有)

[13] 藤田貴大, 中山健, 片山正純: 異なる課題要求を持った把持運動課題の把持位置の乖離. 第34回日本神経科学大会, 9月14日-17日, 横浜, 231 (2011). (査読有)

〔図書〕(計 2件)

[1] Masazumi Katayama, Tatsuya Kurisu: Human Object Recognition Based on Internal Models of the Human Hand. In *Advances in Cognitive Neurodynamics (III)* (Yamaguchi, Yoko, ed.), Springer, 591-598 (2013).

[2] Jiaole Wang, Masazumi Katayama: Optimal model for selecting human arm posture during reaching movement. In *Advances in Cognitive Neurodynamics (II)* (Rubin Wang, Fanji Gu, eds.), Springer, 453-458 (2011).

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片山 正純 (KATAYAMA MASAZUMI)

福井大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 90273325