

# VR はさみシステム利用時の身体性評価 — 脳内血流変化による評価 —

Embodiment assessment for using virtual scissors system  
- evaluation by hemodynamic change in the brain -

谷田 公二<sup>1)</sup>, 舟橋 健司<sup>2)</sup>, 近江 政雄<sup>3)</sup>, 楠見 昌司<sup>1)</sup>  
Koji Tanida, Kenji Funahashi, Masao Ohmi and Masashi Kusumi

1) (株) 本田技術研究所

(〒321-3393 栃木県芳賀郡芳賀町下高根沢 4630, {Koji\_Tanida, Masashi\_Kusumi}@n.t.rd.honda.co.jp)

2) 名古屋工業大学

(〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町, kenji@center.nitech.ac.jp)

3) 金沢工業大学

(〒924-0838 石川県白山市八東穂 3-1, ohmi@orchid.mattolab.kanazawa-it.ac.jp)

**Abstract:** We investigated how hemodynamics in the brain behave using NIRS (Near Infrared Spectroscopy) while man using tool. The tools in our experiment were a pair of real scissors and virtual reality scissors. Such a virtual reality technology allows amount of feedback information to change. We tested with five male-subjects, right-handed. The results showed that when amount of feedback information which was generated during cutting was richer, the hemodynamics change of oxygenated hemoglobin was greater in prefrontal area of left hemisphere. This observation means that it is necessary to process integration of motor and sensory information during operation with tool in order to feel “reality”.

**Key Words:** Embodiment, Near Infrared Spectroscopy, Brain activation, Scissor, Sensori-motor

## 1. はじめに

道具の使用は野生の類人猿でも観察される行為であり、ある目的をもって道具使用に至る。さらに道具は心理活動に作用するものと考えられている。近年では省力化など道具の改良、自動化の検討も行なわれている一方で、道具使用が脳活動にどのような影響を与えているかも検討されている。

他方、バーチャルリアリティ (以下 VR) 技術の分野では、ヒトの様々な感覚を刺激するディスプレイが開発されてきている。これまでの VR 技術の使用感の評価は主に官能評価によってなされてきた。しかしながら、官能評価は、課題設定や評価の同時記録が困難である。したがって、より客観的な評価手法の開発も望まれている。

本研究では、VR 技術使用時の使用者の脳内血流に着目し、VR 使用時に感覚情報を変化させると脳内血流がどのように変化するかを計測し、この生理計測が官能評価に置き代わりうるかを検討した。また、それらの結果から、VR 技術の高い身体性実現に必要な要素を提案した。ここで VR 技術使用時の高い身体性の獲得とは、自分自身の動きでないような、まるで使用時に他の媒体が介入したよ

うな道具使用感でなく、VR 技術そのものが使用者の手とあたかも一体化した作業感覚を得ることとし、操作「実感」に焦点を絞る。

## 2. 実験

### 2.1 被験者

被験者は成人男性5名であり、全員22歳であった。利き手はどの被験者も右手であり、健常者である。なお、被験者には十分な説明を行い、書面にて同意を得ている。

### 2.2 実験ツールとしての VR はさみ

実験に用いた道具には、次に述べる理由などからハサミを選んだ。1. 身近な道具。2. 操作中にフィードバックが持続。3. 途中結果は最終目標の過程。作業課題は、以下のように4水準設定した(図1)。

1. 現実ハサミ課題——着座した被験者の前にロール紙が置かれ、被験者は左手でロール紙を手繰って紙を引き出し、右手に持ったハサミで中央部を切断し続ける課題。
2. VR ハサミ課題[1]——着座した被験者の前に 19inch モニターが置かれ、センサを持った左手で CG の紙を引き寄せ、Immersion 社製 CyberTouch をはめた右手を開閉さ



図1 実験課題：左) 現実ハサミ課題、中央) 両 VR ハサミ課題、右) VTR 監視課題

せることで、CG の紙を CG のハサミで切断する課題。現実の両手の動きは Polhemus 社 3SPACE FASTRAK によって検出され、それらのデータはコンピュータ処理によって手、ハサミ、紙の動きの CG として描画される。手の動きに合わせた環境変化の演算速度と描画速度は約 20fps であった。

3. 聴触覚付加 (multimodal) VR ハサミ課題[2]——前述の VR ハサミ作業中に、予め記録しておいた現実切断作業での切断音を切断作業に合わせて再生し、かつグローブの指部背面に備えられた振動子が切断中に振動し擬似的な切断感覚となる。

4. VTR 監視課題——他人が現実環境で切断作業をしているのを録画した VTR 再生を監視する課題。

なお、先行実験で官能評価が示した「実感」の順は VTR 監視課題<VR ハサミ<聴触覚付加 VR ハサミ<現実ハサミである。

### 2.3 NIRS (Near Infrared Spectroscopy) での計測

NIRS は光学的原理を用い、非侵襲的な脳機能計測に用いられる[3]。脳組織が活動するには酸素と糖が必要で、活動部位に動脈血が供給され組織の血液量が増加し、局所的に酸化ヘモグロビンが増加する。酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンは光吸光度が異なるので、脳の外部から光を照射し脳からの散乱光を検出すると、脳内のそれぞれの血行動態を観測することができる[4]。本実験で用いた NIRS は 24 チャンネルを有し、サンプリング周波数は 10Hz である (日立メディコ社製 ETG-100)。計測部位は前頭部とした。脳波電極の配置基準である国際 10-20 法[5]を参照して、24 チャンネル分の計測ポイントを配置した (図2)。

### 2.4 実験手順

4 つの課題それぞれについて、1 試行あたり 20s 間の閉眼安静に続いて課題を 20s 間行い、その後続いて閉眼安静を 20s 間行なう実験ブロックを 10 試行繰り返した。試行と試行の間は 2~3 min 設けた。課題提示順は被験者ごとに異なりランダムである。また、現実ハサミ実験、両 VR

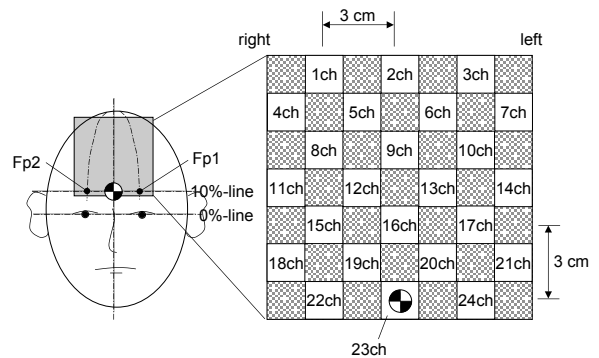


図2 国際 10-20 法に基づく NIRS プロブ配置

ハサミ実験とともに、被験者が十分にその作業に慣れたという印象を得た後で行なわれた。

## 3. 実験結果

### 3.1 解析方法

NIRS から得られる血行動態の変化データには原因不明のドリフト成分が生じる。そこで NIRS 研究における先行研究を参考とした[6]。試行開始 10~20s 間と 50~60s 間の酸化、還元ヘモグロビン変化それぞれを平均し、これらの平均値を新たに時系列上 15s ならびに 55s の値とみなす。そしてヘモグロビン変化軸と時間軸からなる 2 次元座標系で上記の 2 点を結ぶ直線を引き、その基線に対するヘモグロビン変化量の差分を新たなヘモグロビン変化量とした。また、変化量の数値化については、0~20s 間のそれぞれのヘモグロビン変化量の平均値を安静区間の変化量とし、20~40s までのそれぞれのヘモグロビン変化量の平均値を作業区間の変化量と定義した。この安静値と作業値は一実験水準あたり 10 組算出される。これらの値を用いて、作業中の両ヘモグロビン変化が安静中に対して有意に変化したかどうかを対応ある両側 t 検定で

判定した。なお、正の酸化ヘモグロビン変化 ( $\Delta C_{oxy}$ ) のみに着目する [7]。

### 3.2 現実ハサミでの脳活性

被験者全員に共通して正の酸化ヘモグロビン変化傾向を見せたのは ch14 と ch17 の 2 チャンネルのみであった。この部位は左半球の前頭前野である。被験者は右手で作業をしていたのでその反対側である左半球で活性化が見られ、また運動と感覚情報の統合化を司る前頭前野の活性化が観測された。また ch14 より ch17 の方が統計量が大きいので、ch17 がより活性化している部位に近いと思われる。以降この ch17 部の振る舞いに着目した。一方、VTR 監視課題では全被験者に共通した活性化部位は観測されなかった。すなわち、現実ハサミ課題で活性化した ch14 と ch17 は作業に関する運動も感覚も生じない VTR 監視課題では活性化しなかった。

### 3.3 VR ハサミでの脳活性

全被験者に関して両 VR ハサミ使用時に共通した活性化部位は観測されなかったため、現実ハサミ課題で活性化を示した ch17 部の血行動態を調べた。この ch17 での作業中の酸化ヘモグロビン変化量を全被験者に渡って算術平均を行なった (図 3)。現実ハサミで活性化した脳部位で VR ハサミ使用時は VTR 監視課題と比較して大きな血流変化を示していることから、脳内活動が盛んであることが示されている。さらに聴触覚付加 VR ハサミの方が視覚のみにたよる VR ハサミよりも血流変化が大きく、脳内活動がより盛んであることが示されている。

この血流変化の順序は先行実験での官能評価が示した「実感」の順である。血流量の大きさは、脳内の情報処理活動度合いを表わすと考えられている。したがって、本結果は「実感」を得るには豊富な作業フィードバック情報と運動感覚を統合化させる脳内情報処理が必要であることを示唆している。

## 4. 考察

運動プログラムや認知過程のようなまとまりの意識活動の持続時間の上限はおおよそ 3 秒であり、3 秒以内に起こる事象を 1 つの心理的ユニットとして神経系は捉えている [8, 9]。VR ハサミ使用時の聴触覚 VR 情報 (フィードバック感覚) は作業課題とほぼ同時に提示されるので、聴触覚情報が実際のはさみ使用時とは異なる部位 (指の甲、スピーカ音源) から生じても、被験者の脳神経は作業とそれらの情報との関連付けを自動的に模索、形成していると思われる [10, 11]。このことは次のことを示唆している。すなわち、脳への情報入力と運動出力が自動的に学習強化されることから、操作している道具が身体の延長となる身体性向上のためには、あるいは身体性維持のためには、作業に適切な感覚情報が必要であるということである。この脳内の情報処理の結果は、「実感」または「現実感」という高いリアリティの感覚を生み出し、またこの実感度合いは、運動出力と統合化される感覚情

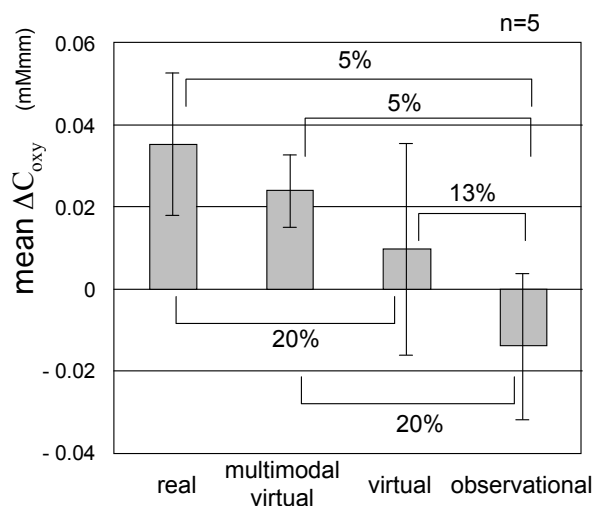


図 3 ch17 での課題比較：全被験者の課題実行時の酸化ヘモグロビン変化量 ( $\Delta C_{oxy}$ ) の平均値。図中の数値 [%] は有意水準を示す (分散分析 Ryan 法による)。フィードバック情報が豊富なほど血流変化が大きい。この大小関係は官能評価「実感」の順に相当する。

報入力の豊富さと相関がある。このことは実感という主観的評価が脳内血流なる生理量で表記できる可能性を示唆している。

## 5. まとめ

作業中に生じるフィードバック情報量を操作するために VR 技術を用いて同質作業環境を作成し、右手作業中の作業者の脳内血流を NIRS を用いて計測した。その結果、運動と感覚情報の統合を司る前頭前野の左半球の活性化が確認され、また感覚情報の量とその活性化度合いが相関を示し、主観評価なる「実感」の順に対応することを観測した。

さらには本来の現実作業とは異なる感覚情報でもってしても、運動とほぼ同時に感覚情報が生じればリアリティを感じる要素につながると本研究結果は示しているため、新しいヒューマンマシンインタフェースを構築することが可能であることを裏付けしていよう。もちろんこの場合、どのような感覚情報を呈示するかは、脳は一定時間内に生じる情報を自動的に統合化してしまう性質があるので、言い換えれば、脳はあいまいな情報を嫌う [12] ので、運動と同時に呈示する感覚情報は作業目的に応じて、例えば作業成績に着目するなど十分に考慮する必要があると思われる。

### 参考文献

- [1] 久保谷太亮, 舟橋健司, 伊藤英則, 岩堀祐之: 仮想はさみを用いた手による紙の切断システム, 日本パーチ

- ャルリアリティ学会第9回大会講演論文集, pp.165-168, 2004.
- [2]久保谷太亮, 舟橋健司, 伊藤英則, 岩堀祐之 : 仮想はさみシステムにおける切断効果音による臨場感に関する実験, 日本バーチャルリアリティ学会第10回大会講演論文集, pp.137-138, 2005.
- [3]H. Eda, I. Sase, A. Seiyama, H. C. Tanabe, I. Imaruoka, Y. Tsunazawa, T. Yanagida : Optical Topography system for multi-purpose measurements, Proceedings of Inter-Institute Workshop on In Vivo Optical Imaging at the National Institute of Health, pp. 26-27, 1999.
- [4]佐藤大樹, 牧敦 : 光による脳機能イメージング: 光トポグラフィ, 認知科学, Vol.12, No.3, pp.296-307, 2005.
- [5]G. H. Klem, H. O. Luders, H. H. Jasper, C. Elger : The ten-twenty electrode system of the International Federation, The International Federation of Clinical Neurophysiology. Electroencephalogr Clin. Neurophysiol, Suppl. 52, pp.3-6, 1999.
- [6]M. Okamoto, H. Dan, K. Shimizu, K. Takeo, T. Amita, I. Oda, I. Konishi, K. Sakamoto, S. Isobe, T. Suzuki, K. Kohyama, I. Dan : Multimodal assessment of cortical activation during apple peeling by NIRS and fMRI, NeuroImage, 21, pp.1275-1288, 2004.
- [7]H. Sato, Y. Fuchino, M. Kiguchi, T. Katura, A. Maki, T. Yoro, H. Koizumi : Intersubject variability of near-infrared spectroscopy signals during sensorimotor cortex activation, Journal of Biomedical Optics, 10(4), pp.044001-1-044001-10, 2005.
- [8]E. Pöppel : A Hierarchical Model of Temporal Perception, TRENDS in Cognitive Sciences 1, pp.56-61, 1997.
- [9]E. Pöppel : Lost in Time: A Historical Frame, Elementary Processing Units and the 3-Second Window, Acta Neurobiologiae Experimentalis 64:, pp.295-301, 2004.
- [10] E. von Holst, H. Mittelstaedt : Das Reafferenzprinzip. (Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und Peripherie), Naturwissenschaften, 37, pp.464-476, 1950.
- [11] H.-L. Teuber : Perception. Handbook of Physiology - Neurophysiology III, pp.1595-1668, 1960.
- [12] M. Hsu, M. Bhatt, R. Adolphs, D. Tranel, C. F. Camerer : Neural systems responding to degrees of uncertainty in human decision-making, Science, Vol.310, pp.1680-1683, 2005.