

# ヘッドマウントディスプレイベースドBMI構築と 定常状態視覚誘発電位によるマイクロヘリコプタ操作

Development of a Head Mounted Display based Brain Machine Interface and  
Micro Helicopter Control via Steady State Visual Evoked Potentials

梶原 俊也 (電通大)      ○ 井上 玲於 (電通大)      菊島 達也 (電通大)  
学 フルコン ラディアン (電通大)      田中 基康 (電通大)      正 田中 一男 (電通大)

Toshiya KAJIWARA, The University of Electro-Communications  
Reo Inoue, The University of Electro-Communications  
Tatsuya KIKUSHIMA, The University of Electro-Communications  
Radian FURQON, The University of Electro-Communications  
Motoyasu TANAKA, The University of Electro-Communications  
Kazuo TANAKA, The University of Electro-Communications

This paper presents development of a head mounted display based brain machine interface (BMI) and its application to micro helicopter control via steady state visual evoked potentials (SSVEP). The head mounted display based BMI system developed in this paper brings us the possibility of being easy to use due to its portability and no training requirements. We demonstrate that a micro helicopter is well controlled using our BMI system, that is, using brain signals, although helicopter control is very difficult due to nonlinear coupling in addition to instability.

**Key Words:** Brain machine interface, Head mounted display, Steady state visual evoked potentials, Micro helicopter.

## 1. 緒論

最近, Brain-Machine Interface (BMI)[1] は手足の運動や言語機能に重篤な障害を持つ患者への支援技術として注目を浴びている. BMI 技術の中でも, 周期的に点滅する視覚刺激を観察中に誘発される脳波 [2] を利用した定常状態視覚誘発電位 (Steady-State Visually Evoked Potentials: SSVEP) 型 BMI はその識別の容易さから多くの研究がなされてきた. 新皮質の錐体細胞において, 視覚刺激の周波数に同期した活動が誘発されることで, SSVEP が観測 [3][4] されることが知られている.

SSVEP 型 BMI の先行研究 [5][6] のほとんどでは, 視覚刺激のデバイスとして, ディスプレイを用いている. したがって, システム自体が移動することが難しく, 脳波を用いた BMI の最大の利点である, 利便性に欠けてしまう.

本研究では, ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display: HMD) を用いた BMI を構築することで, 携帯型 BMI の構築を目指す. さらに, 開発した携帯型 BMI システムの適用事例として, マイクロヘリコプタの操縦タスクを通して本開発システムの有効性を示す. 本システムは, 被験者の個人的技能によらず, トレーニングをまったく行っていない初心者でも簡単に利用可能であることも実験において示す.

飛行体を含む飛行ロボットは姿勢 3 自由度と位置の 3 自由度が強く干渉している, 不安定な非線形干渉系である. 姿勢変化は必ず位置の変化に, また, 位置の変化は必ず姿勢の変化に多大な影響を及ぼすため, 飛行ロボットの機体の姿勢 3 自由度の安定化をセンサーフィードバックで行ったとしても脳による方向操縦との協調が必要不可欠な大変制御が難しい系である. この操縦タスクは姿勢安定化コントローラと脳 (のコントローラ) のハイブリッド協調系として興味深く, 既存のコントローラとの協調という点で BMI システムの応用の場を広げることが期待できる. 加えて, 非線形かつ不安定な対象ということも手伝って, チャレンジングな操縦対象といえる.

## 2. 定常状態視覚誘発電位実験

BMI を構築するにあたり, マイクロヘリコプタを前後左右に操縦できるように, 4 クラス識別 SSVEP 型 BMI を前提とす

る. このインタフェースの有用性を検証するために, 図 1 に示すように, 視覚刺激を視野角 2 [deg.] に設定し, 4 つの異なる周波数で点滅する刺激提示を行った. 一般には, 視野角が大きいほど識別精度の向上を見込めるが, 同一画面上で複数の視覚刺激を提示する場合 [7] には, 隣り合う視覚刺激とは 5 [deg.] 以上の視野角の間隔をあければ隣の視覚刺激の影響はないとされている. 将来的には, 9 クラス程度まで識別クラスを増やす予定なので, 本実験では視野角 2 [deg.], 後述の HMD では 4 [deg.] 程度の大きさの視覚刺激を用いることにする.

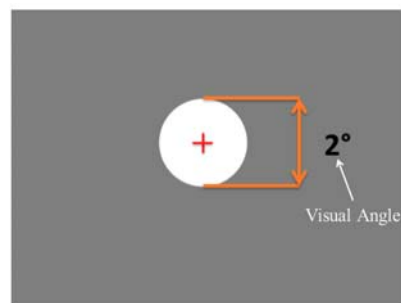


Fig.1: Visual stimulus.

SSVEP 型 BMI の実験の様子を図 3 に示す. 被験者の眼球から約 60[cm] の距離に設置した LCD 上で, 円状の点滅刺激を提示した. 刺激を提示する LCD の応答速度は 3 ~ 4[ms] であり, 垂直リフレッシュレートが 120[Hz] である. 実験を行う際は, アゴ台を用いて被験者の眼球とモニタの距離を固定し, また, 筋電によるノイズの影響の低減に努めた.

脳波計測は Polymate II (アクティブ電極 ×12, REF×1, E×1) を用い, 電極の位置は国際 10-20 法に従い, Pz, POz, Oz, Iz, PO3, PO4, O1, O2, I1, I2, PO7, PO8 に取り付けられた. この電極の位置選定は SSVEP による神経細胞の発火が主に一次視覚野 (V1) 周辺で起こるとされることによる. また, サンプリング周波数は 1000[Hz] とし, Polymate II の GUI 上でノッチフィルタ (50[Hz]) およびローパスフィルタ (60[Hz]) を設定し脳波計測を行った.

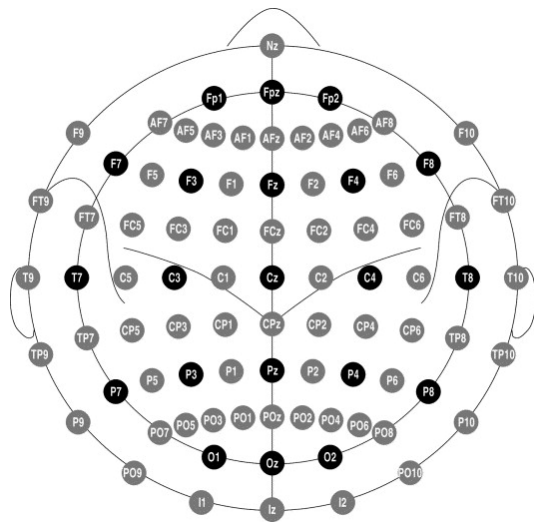


Fig.2: International 10-20 system of electrode placement.

tenTwentyFivePercent

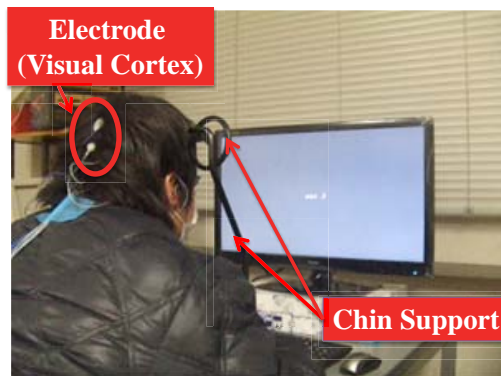


Fig.3: SSVEP Experiment.

図 4 に実験の視覚刺激提示のタイムスケジュールを示す。まず、スタート画面が 2 秒間表示され、つぎに、赤い十字線 (fixation cross) 画面が表示されて、待機状態となる。このとき、被験者がスペースキーを押すことで、6 秒間の刺激が提示され、その後、4 秒の休憩画面を表示する。これを 1 ブロックと定義し、4 ブロックで 1 トライアルを構成する。4 ブロックは周波数の異なる 4 つの点滅刺激を提示しており、刺激の点滅周波数は、6.67, 7.5, 8.57, 10Hz を用いている。本実験では各被験者に対して計 40 トライアル分のデータを計測した。被験者は 20 代の健康な成人男性 6 人とした。

### 3. SSVEP を用いた識別

計測された脳波に対して、式 (1) の処理を行う。

$$Y = 4X(Oz) - (X(PO3) + X(PO4) + X(O1) + X(O2)) \quad (1)$$

ここで、 $X(Oz)$ ,  $X(PO3)$ ,  $X(PO4)$ ,  $X(O1)$ ,  $X(O2)$  はそれぞれ  $Oz$ ,  $PO3$ ,  $PO4$ ,  $O1$ ,  $O2$  電極で計測された脳波の電位値である。この前処理 [8] は、 $Oz$  信号と  $Oz$  周辺の 4 つの電極の信

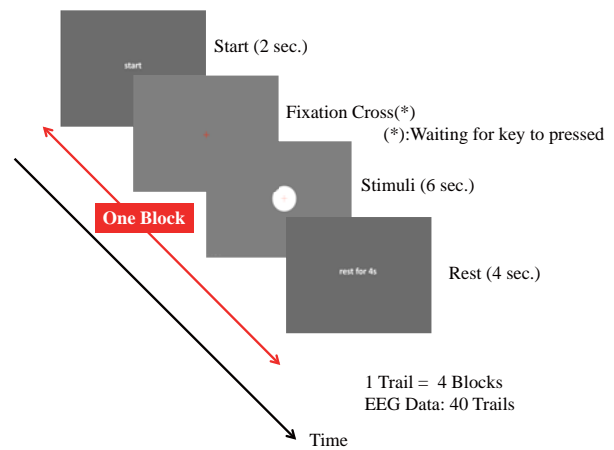


Fig.4: Time schedule in SSVEP experiment.

号との差分をとることで、SSVEP が計測されやすい  $Oz$  の信号を強調処理していることに相当する。

この前処理後の脳波  $Y$  に対して、高速フーリエ変換を行い、各視覚刺激周波数およびその 2 倍周波数のパワーを特徴量と定義する。したがって、4 つの視覚刺激周波数に各倍周波のパワを考えているので、特徴空間の次元数は 8 次元となる。このように定義した特徴空間で、判別分析による 4 クラス識別を行う。ここでは、10-fold cross validation を行うことで、識別率を評価する。SSVEP の実験結果における識別率を図 5 に示す。被験者 6 人の識別率平均は  $97.50\% \pm 3.30\%$  であった。この結果より、本実験で使用した SSVEP 型 BMI はすべての被験者に対して高識別率を確保できる有用なインターフェースであると判断できる。また、今回の実験においても、被験者は事前のトレーニングを一切行っていないため、初心者でも簡単に利用できる点が本システムの特徴である。

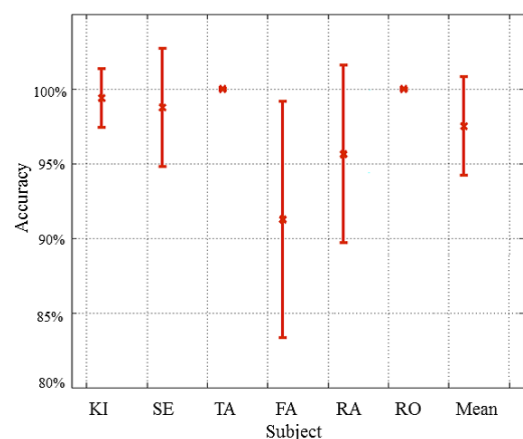


Fig.5: Recognition rates in SSVEP experiment (mean±standard deviation).

### 4. ヘッドマウントディスプレイベースド BMI の構築

構築した視覚誘発電位によるヘッドマウントディスプレイベースド BMI システムを図 6 に示す。HMD での視覚刺激提示を図 7 に示す。

図 7 において、中央にはヘリコプタに搭載したカメラの映

像が映し出され、飛行の状態がモニタリングできる。その映像の上下左右に点滅の刺激ブロックが用意され、それぞれが、ヘリコプタの前進、後退、左移動、右移動に対応している。被験者から計測された脳波は前述の判別法によって識別され、その識別結果をもとにマイクロヘリコプタへ信号を送る。よって、被験者は進みたい方向に対応する刺激を見ることで、マイクロヘリコプタの方向を制御できる。なお、ヘリコプタの姿勢は内部の加速度、ジャイロセンサなどにより、マイコンで安定化されており、脳波によって飛行方向が制御される。

マイクロヘリコプタはコンピュータと無線により、常時接続されているため、マイクロヘリコプタに搭載されたカメラからの映像を被験者へ常にフィードバックしている。このため、離れた場所でも遠隔でヘリコプタ操縦が可能なシステム構成となっていることも本システムの特徴である。

HMD を利用する利点として、外部のノイズ的な視覚情報を遮断することができ、また、従来の LCD による BMI では、周囲の明るさに影響されてしまう可能性があり、実験時に室内の照明を暗くするなどの対策が必要であるが、HMD ではその必要がなくなることなどが挙げられる。さらに、被験者とともにシステム全体が移動できる利点がある。SSVEP 型 BMI は視覚刺激を被験者に提示する必要があるが、従来ではディスプレイを用いて刺激提示を行っていた。しかし、本システムでは刺激提示がウェアラブルデバイスにより行われるので、被験者と共に移動が可能になる。

これらの点から、本システムは従来の BMI よりも使用範囲の拡大が見込める。

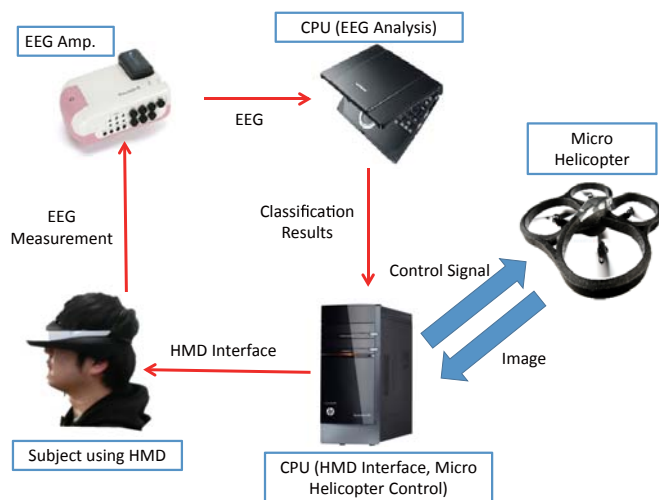


Fig.6: Head mounted display based brain machine interface (HMD-based MBI).

## 5. マイクロヘリコプタ操作への適用

飛行体を含む飛行ロボットは姿勢 3 自由度と位置の 3 自由度が強く干渉している、不安定な非線形干渉系である。姿勢変化は必ず位置の変化に、また、位置の変化は必ず姿勢の変化に多大な影響を及ぼすため、飛行ロボットの機体の姿勢 3 自由度の安定化をセンサーフィードバックで行ったとしても脳による方向操縦との協調が必要不可欠な大変制御が難しい系である。この操縦タスクは姿勢安定化コントローラと脳（のコントローラ）のハイブリット協調系として興味深く、既存のコン

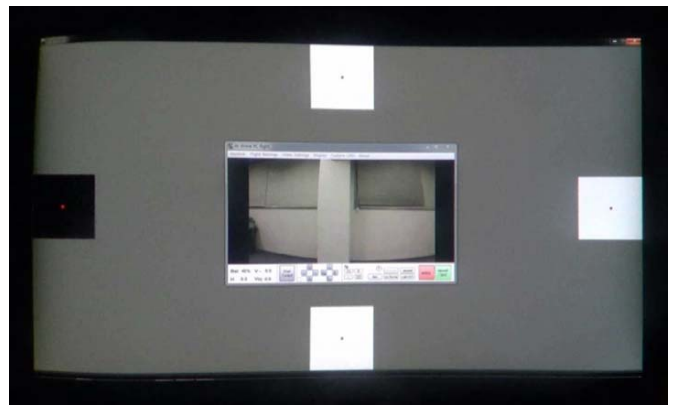


Fig.7: Visual stimulus on head mounted display.

トローラとの協調という点で BMI システムの応用の場を広げることが期待できる。加えて、非線形かつ不安定な対象ということも手伝って、チャレンジングな操縦対象といえる。

本システムの特徴は被験者の個人的技能によらず、トレーニングをまったく行っていない初心者でも利用できる点である。そこで、2. 章の実験に参加した被験者ではなく、全く別の被験者を選定し、操縦タスク実験を行った。操縦タスク実験を行う前に、4 クラス（前後左右）の識別テスト実験を行った結果、20 回（4 クラス × 5 回）で 95% の識別率が得られ、ヘッドマウントディスプレイベース BMI の有用性を確認した。

操縦タスクは、図 8 に示すように、中央におかれたボールの周りを右回り、左回りで飛行させるものである。図 9 は提案したヘッドマウントディスプレイベース BMI を用いたヘリコプタ操縦実験の様子を示している。

図 10 は右回りのタスクにおける操縦結果の連続写真を示している。右回りのタスクに限らず、左回りのタスクも完全に成功し、脳波だけでヘリコプタの方向制御を実現できた。

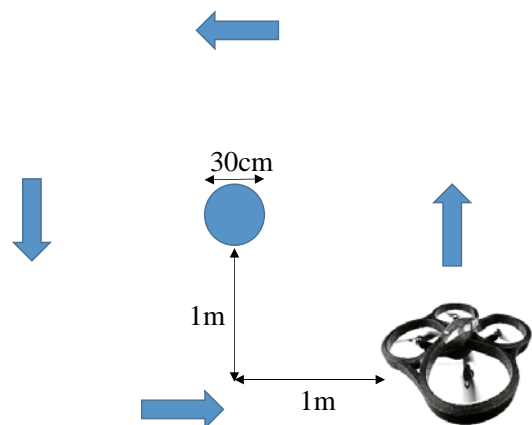


Fig.8: Micro helicopter control task.

前述のとおり、本システムでは、ヘリコプタ上のカメラから送られてくる映像を見ながら、ヘリコプタを操縦できるので、ヘリコプタの遠隔操作も可能である。今後は、実際に遠隔場所で行うマイクロヘリコプタの脳波操縦実験を行う予定である。





Fig.9: Helicopter experimental system with HDM-based BMI.

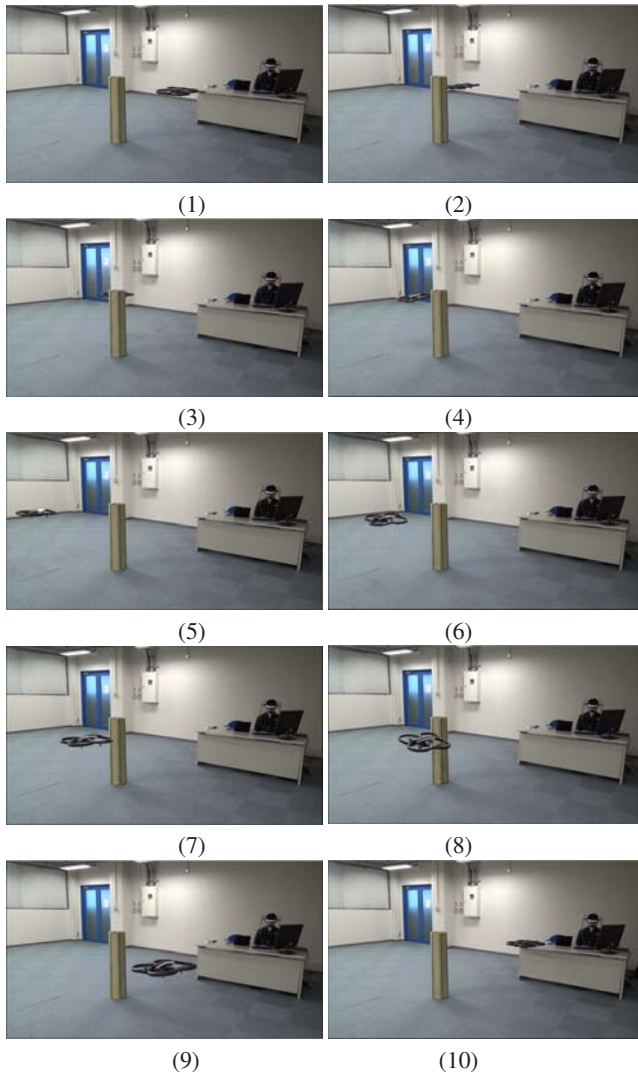


Fig.10: Micro helicopter control result using HDM-based BMI.

## 6. 結論と今後の課題

本研究では、HMDを用いたBMIの構築を目指し、4クラス識別SSVEP型BMIの実験を行い、その有用性を示した。また、携帯可能なヘッドマウントディスプレイベースドBMIを構築し、マイクロヘリコプタの操作タスクを通して開発シス

テムの有効性を示した。

今後は構築したヘッドマウントディスプレイベースドBMIの詳細な評価、HMDの無線化と計算機部分の小型化による完全ウェアラブル型BMIの構築を行う。

## 参考文献

- [1] G. Dornhege, et al., "Toward Brain-Computer Interfacing", MIT Press, 2007.
- [2] F. D. Russo, et al., "Steady-state VEP and attentional visual processing", A. Zani and A. M. Proverbio (Eds.): The Cognitive Electrophysiology of Mind and Brain. Academic Press: New York, pp.259-274, 2002.
- [3] R. B. Silberstein, J. Ciorciari, A. Pipingas, "Steady-state visually evoked potential topography during the Wisconsin card sorting test", Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol., pp.24-25, 1995.
- [4] R. B. Silberstein, P. L. Nunez, A. Pipingas, P. Harris, F. Danieli, "Steady state visually evoked potential (SSVEP) topography in a graded working memory task", Int. J. Psychophysiol., pp.219-232, 2001.
- [5] J. J. Wilson and R. Palaniappan, "Analogue mouse pointer control via an online steady state visual evoked potential (SSVEP) brain-computer interface", Journal of Neural Eng. No.8, pp.1-6, 2001.
- [6] S. Dasgupta, M. Fanton, J. Pham, M. Willard, H. Nezamfar, B. Shafai, D. Erdogmus, "Brain controlled robotic platform using steady state visual evoked potentials acquired by EEG", Conference Record of the Forty Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers (ASILOMAR), pp.1371-1374, 2010.
- [7] K. B. Ng, A. P. Bradley and R. Cunnington, "Effect of competing stimuli on SSVEP-based BCI", 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.6307-6310, 2011.
- [8] R. Prueckl and C. Guger, "Controlling a robot with a brain-computer interface based on steady state visual evoked potentials", The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), pp.1-5, 2010.