

# フィールドにおける fNIRS計測の展開

(株) 島津製作所 グローバルマーケティング部  
井上 正雄


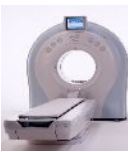

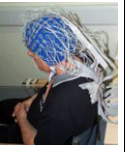

## 1. 背景

人類の進化による高度な高次脳機能は、多くの研究者に注目されている研究分野であり、21世紀は脳の世紀とも呼ばれる所以でもある。脳機能を計測する計測技術は、確実に進歩しており、その中のひとつであるfNIRS (functional near-infrared spectroscopy)は、基礎的な脳科学研究から、産業分野におけるヒューマンインターフェースの評価に活用し、新たな付加価値の評価などの研究も進められている。fNIRSは、安全な近赤外光を用いて、脳表面の酸素化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビンの変化を捉えることによって、脳活動を非侵襲に画像化することができる。しかし、高次脳機能は、複雑な脳の神経活動によりネットワークが形成され、脳の機能を分類できる最適な実験課題の選択と被験者の主観指標との関係、計測する部位の情報、さらに脳活動を反映する実際の信号に対する適切な解析手法を用いることが重要である。このような厳密な計測を行う必要がある一方フィールドでの脳活動を計測することが求められてきた。しかし光ファイバを頭部に装着することでその活動範囲も制約され、車載などのフィールドでの実験が困難であった。

今回、無線を通じてデータを送受信し、携帯型の機材を背中に装着して自由に移動することが可能なウェアラブルタイプの機器を発表したので紹介する。この機能によりフィールドでのヒューマンインターフェースの評価実験、車載実験、ヒューマンエラーなどの実際の現場での計測ができるのでさらに研究分野が拡大していくことになる。

## 2. 脳機能計測装置の概要

非侵襲脳機能計測装置比較 (図1)

計測機器	MEG	PET	fMRI	EEG	fNIRS
比較項目					
測定手段	磁気	ガンマ線	電磁波	電位	近赤外光
測定対象	頭皮表面の磁気 (神経電流)	脳血流変化 脳内代謝物質変化 (血流・代謝物質)	脳全体脳血流変化 (Deoxy-Hb)	頭皮表面の電位 (神経電流)	大脳皮質表面の血流変化 (Deoxy-Hb, Oxy-Hb)
時間分解能	ミリ秒	分	秒	ミリ秒	数ミリ秒～数100ミリ秒
空間分解能	2～10mm	5～10mm	1～3mm	計測条件に依存	15～21mm
観測対象特徴	神経の一次反応 高速	血流+酸素・糖代謝 高い定量性	血流変化 脳全体の機能情報	神経の一次反応 高速 小型・連続モニタリング	大脳皮質の血流変化 小型・簡便・低拘束 連続モニタリング

脳機能計測装置の概要と特徴を記載する。各々機種ごとに原理も異なり観測対象も異なる。fNIRSは、脳の皮質表面の血流変化を計測する装置である。比較の対照とされるのは、fMRIであり、非磁性体の延長ファイバを用いることで同時計測が可能である。しかし、後で示すが刺激呈示条件はfMRIとfNIRSでは異なるので共通の呈示条件を検討し実験を行う必要がある。又EEGとの同時計測も同様である。

図1

これらは異なる計測対象と異なる計測原理により、実験を行うため時間分解能による信号出力の違いや課題により賦活される部位が異なるので呈示条件の完全な同期は、必須である。

### 3. fNIRSの計測原理

近赤外光において650nm～950nmの波長の光は生体での減衰が少く、「生体の窓」ともいわれている。安全性の高い半導体レーザの光（安全性クラス1M）を頭皮に照射して検出された光の減光度を計測し、modified Beer-Lambert 則にもとずきOxy-HbとDoxy-Hbの濃度長変化を算出している。fNIRSは、生体への入り口と生体からの出口の信号を把握することができるが、吸収と散乱を繰り返してどのような光路経由してきたか計測することができない。したがって絶対値を計測することができないので、主には課題呈示による変化量を計測する。

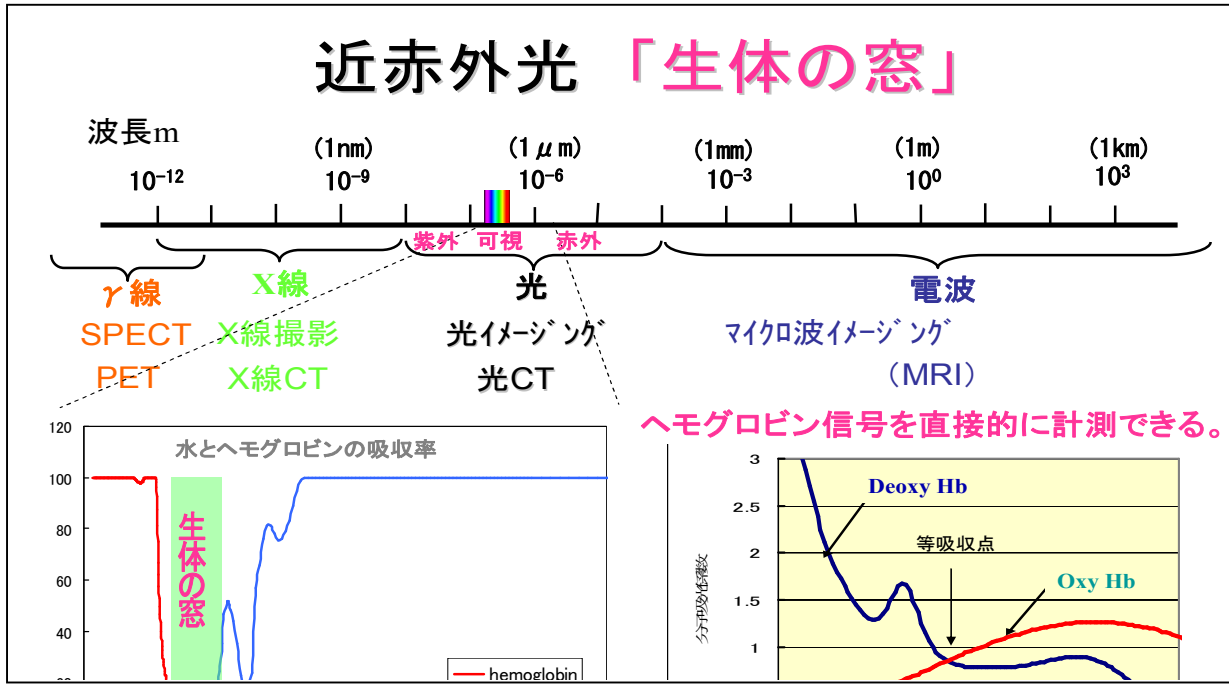


図 2

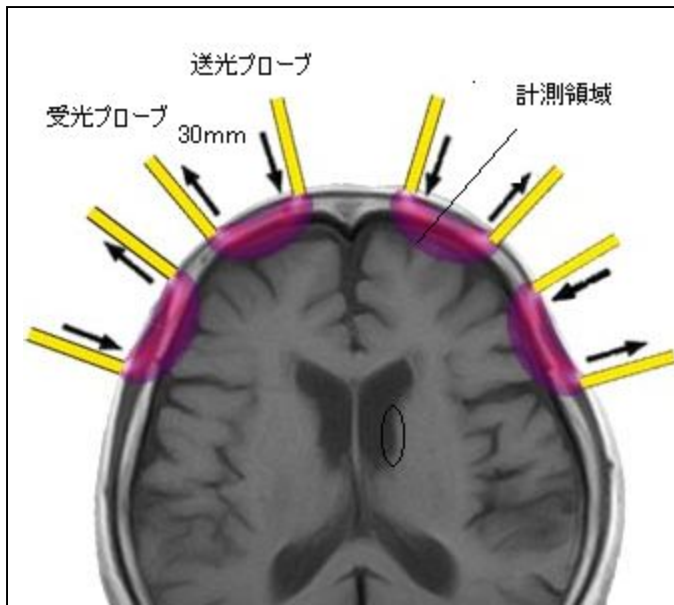


図 2

図 2 : 送光プローブと受光プローブを 30 mm 間隔で交互に均等に配置して、頭表から約 20mm の深さ方向の信号を検出することができる。

図 3 : 配置例を以下に示すが、赤が送光プローブで青が受光プローブである。四角で囲んでいるのがチャンネル番号である。

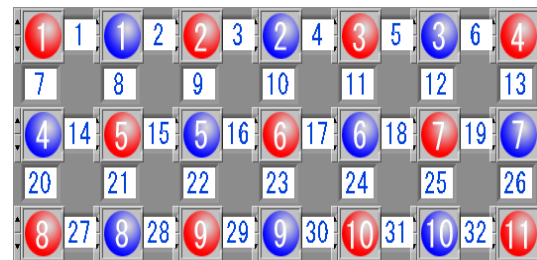


図 3

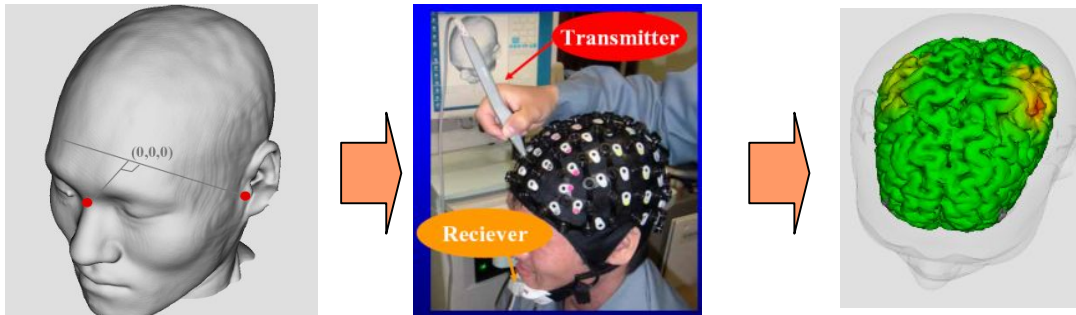
最近では、頭皮血流の影響をある程度除去するために、送受光プローブ間隔を 15mm にして浅部信号を検出し、30mm 間隔の深部殻浅部にいたる信号から ICA により、一定の除去を行う方法が開発されてきている。さらに図 3 の配置では近接するチャンネルの中心間の距離は 21mm になるが

一定方向の倍密度の配置により、空間分解能を 15mm まで向上させることが可能になった。

#### 4、計測位置情報の検出

計測位置の検出には、図 1 のように磁気を用いて、顎からの NZ、CZ、AP、AL の 4 点までの 3 次元の空間的位置情報を検出し、送受光プローブの位置情報と重ねる。MRI で取得された画像データから頭表、脳表を検出し、空間的位置情報と fNIRS データを重ねることで、精度の高い位置情報にもとずき、3 次元で画像化することができる。

(磁気式)

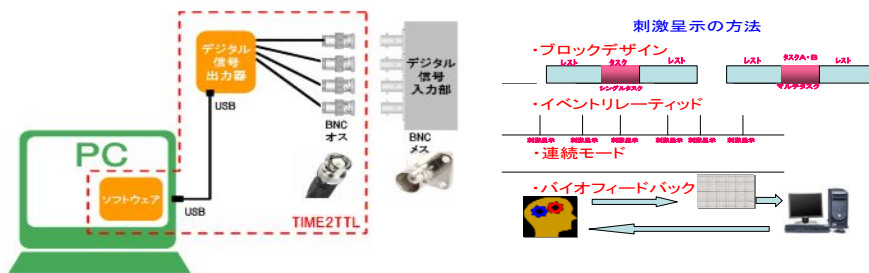


#### 5、刺激呈示条件とイベント信号の同期について

1) EEG や fNIRS 側などの計測機器の側には、通常イベントとして入力される信号は、TTL 信号が、広く採用されている場合が多い、しかし実験に用いる刺激呈示側の出力は USB による出力か RS-232C などのケースが多い。これらを簡便に変換できるソフトも広く活用され、USB の端子から、TTL が送信可能な BNC コネクタによるトリガ入力ができる。

これらの刺激呈示は、EEG や MEG のような神経活動の早い信号を検出する場合と、少し遅れて発生するヘモグロビン濃度長変化との同期を行うには、トリガーの検出条件を厳密に確認する必要がある。又ビデオ画像との同期を行うことでアーティファクトの検証や動作を伴う実験では特に必須となる。又、動画による刺激呈示は用いるソフトにより、若干の時間的遅れが生じることがあるので十分考慮して、条件を選択する必要がある。

香り、触角、痛みなどの生理的刺激呈示のコントロールについては、研究が進められている。これらは心理的な主観指標を取り入れて実験を行う必要がある。



実験の目的を明確にして、脳の機能的要素別に課題を分類し、課題に応じたレストの条件を選択する。言語などの発話があればレストも同様に発話するなど、機能が選択された条件で呈示することが重要なポイントである。

新しい実験手法として刺激呈示において、イベント信号を同期させて計測する方法以外に、fNIRS の信号をリアルタイムに送信し、結果に応じて被験者へ提示する方法が進められている。

#### 6、関連する各種の生体計測装置との同時計測におけるポイント

## 1) 視線活動との同時計測や野外での実験について

一般的に用いられている視線計測は、近赤外光を用いて検出されており、前述のように fNIRS も近赤外光を用いていることから、通常のホルダでは、光の干渉が発生し、強いスパイクノイズが発生する。そのために、送受光プローブと目より上部の頭の領域を遮光布で覆い、ほぼスパイクノイズを除去することができる。野外でも太陽の光に含まれる近赤外光が干渉するので同様の処置をして実験を行う。

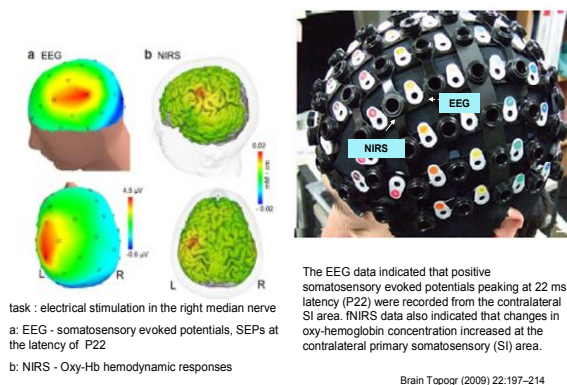


## 2) EEG との同時計測について

通常は、fNIRS 用ホルダの送受光プローブ間の中心に、EEG 電極を設置して計測を行う。

EEG のメーカーにより電極の形状が異なるので、形状に応じてホルダを作成していくことになる。これらの検出された結果は、独自の解析ソフトを用いて解析することになる。しかし刺激呈示条件が同期していれば、各々の解析ソフトで解析を行い、時系列に解析を進めていくことが可能である。

### EEGとの同時計測



## 3) モーションキャプチャなどの運動動作を伴う実験計測について

動作に伴いファイバなどのズレが生じないようにファイバの固定方法は、ホルダと一体化して行うことが物理的アーティファクトを避けることがポイントである。体動に伴う脳の血流変化は、生じるのであらかじめ被験者に同様の動作を行いその影響を確認し実験を行う必要がある。

また激しい運動動作を伴う場合は、汗の影響が発生する。モーションキャプチャとのスタートの同期は、画像処理のソフトを活用して検証する。

## 4) 各種の生体信号信号との同時計測

心拍変動解析システム、筋電計、血圧計などイベントの取り込み入力機能がないものが多いのでアナログ信号は、一括してアナログ入力可能な機器に組み込んでしまうことにより、イベントとの同期をさせることが可能である。

## 7、産業分野に有用な研究成果と今後の課題

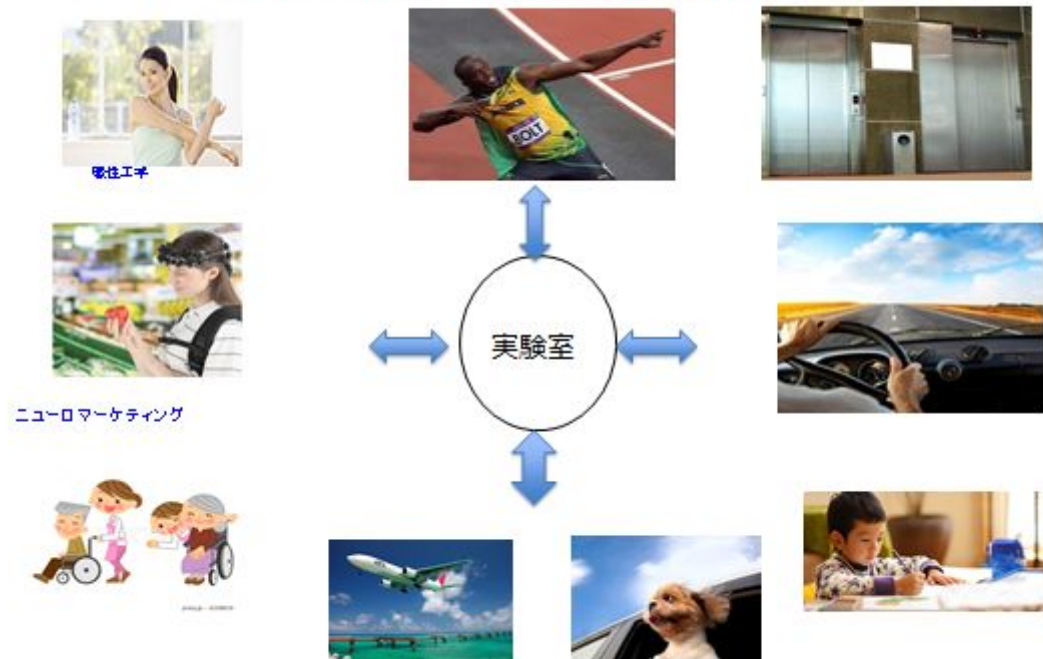
ニューロマーケティングやヒューマンインタフェースはじめ、いくつかの論文が出始めている。脳波計による事象関連電位による快/不快や情動変化について研究が進められている。産業分野は、変化が早い IT 関連、コマーシャルデザイン、香り、触覚、などの主観評価から、計測機器を用いて客観的データを取得することで、製品の付加価値をつけていくことに大きな期待が寄せられている。これらの要望に応じて、時間分解能を向上し、事象関連デザインの実験、さまざま関連機器との同時計測を可能にすべく連携を強化している。

さらにリハビリテーションや精神疾患などの医療分野での活用について検討が進められており、克服すべき多くの課題を残しつつも、一方では、大きな期待も寄せられている。

(以下ニューロマーケティング関連の fNIRS による代表的論文を記載する)



# フィールドでの実験研究が実現



(以下ニューロマーケティング関連の f NIRS による代表的論文を記載する)

## 1) Neural Representation of Preference Relationships 1

Tetsuya Shimokawa a, Tadanobu Misawa a and Kyoko Suzuki b

## 2) NIRS を用いた On/Off 型意思決定支援システムの開発

The 25th Annual Conference of the Japanese Society for Arti\_cial Intelligence, 2011

## 3) Neural Activity and Financial Decision-making: A Bayesian Neural Network

Model Journal of Neuroscience

## 4) Brain Computer Interface を用いた投資行動分析

人工知能学会論文誌 25 巻 1 号 B (2010 年)

(関連する学会)

1) 日本光脳機能イメージング研究会 <http://jofbis.umin.jp/>

2) 日本ヒト脳機能マッピング学会 <http://jhbm.umin.jp/>

3) 医用近赤外線分光法研究会 <http://square.umin.ac.jp/NIRS/>

(参考文献)

1) 酒谷薫 岡田英史 星詳子 宮井一郎 渡辺栄寿

NIRS —基礎と臨床—

2) Mikinobu Takeuchi A Etsuro Hori A Kouichi Takamoto A Anh Hai Tran A Kohno Satoru A Akihiro Ishikawa A Taketoshi Ono A Shunro Endo A Hisao Nishijo Brain Cortical Mapping by Simultaneous Recording of Functional Near Infrared Spectroscopy and Electroencephalograms from the Whole Brain During Right Median Nerve Stimulation