

# 「複数モダリティー統合による脳活動計測技術の研究開発」の開発成果について

## 1. 施策の目標

・我が国が諸外国をリードしているfMRI, MEG, NIRS, EEG等の複数モダリティーを統合した非侵襲型の脳活動計測技術・推定技術を飛躍的に高精度化することにより、安全性の高い、利用者の負担も少ない、いつでも、どこでも、誰にでも利用可能な非侵襲型脳活動計測によるBMI開発に資することで、広く国民に利益をもたらし、国際的優位性を確保することを目指す。

## 2. 研究開発の背景

・脳神経科学の急速な進歩により、脳活動によってコンピュータやロボットを直接操作することが現実的な目標になって来た。手術や訓練といったユーザに対する負担を無くすために、人が頭の中で考えている意図そのものを非侵襲脳活動計測により推定し、その情報をどこでも誰でもが利活用できるようになれば、全ての人に開かれたIT社会の実現に向けて大きく前進することが出来る。

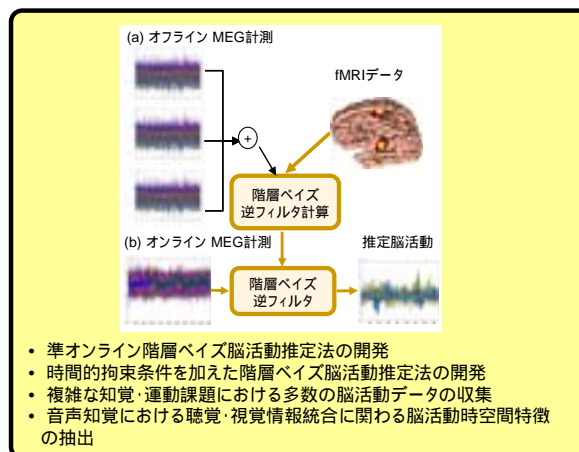
## 3. 研究開発の概要と期待される効果

本研究開発では、複数モダリティー統合による高時間・高空間分解能を持つ脳活動推定手法開発を目指し、以下の研究開発を推進する。 課題Aでは、fMRIとMEGを組み合わせたオンライン脳活動推定法の研究開発を行い、NIRSとEEGを組み合わせた可搬型システムの検証用として用いる。

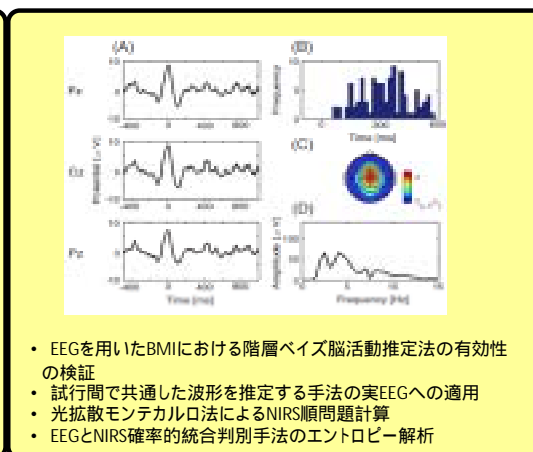
課題Iでは、NIRSとEEGを組み合わせたオンライン脳活動推定法の研究開発を行い、日常生活で使用できる可搬型の脳活動計測法を開発する。

課題Uでは、心拍や眼球運動等によるアーチファクト除去方法の研究開発を行い、脳活動計測に不可避なアーチファクトの影響を取り除き、信頼性の高い脳活動推定法を実現する。

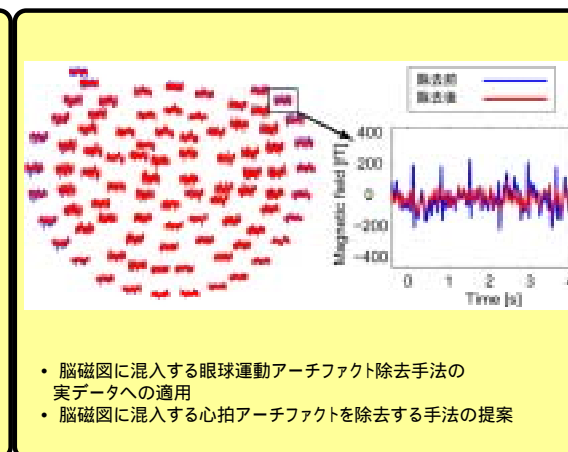
### fMRIとMEGを組み合わせたオンライン脳活動推定法の研究開発



### NIRSとEEGを組み合わせたオンライン脳活動推定法の研究開発



### 心拍や眼球運動等によるアーチファクト除去方法の研究開発



## 4. 研究開発の期間及び体制

平成21年4月1日～平成22年3月31日  
株式会社国際電気通信基礎技術研究所

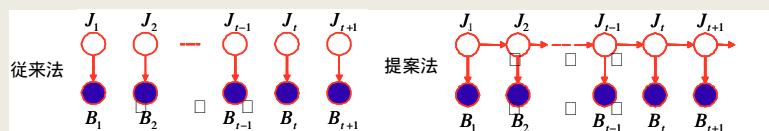
# 【課題ア - 1】 fMRIと超多チャンネルMEGによる脳活動計測のオンラインアルゴリズム技術

## 主な研究成果

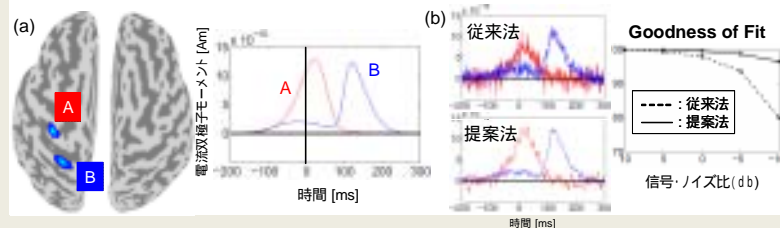
- 時間的拘束条件を加えた階層ベイズ脳活動推定法の開発
- 準オンライン階層ベイズ脳活動推定法の開発

### 時間的拘束条件を加えた階層ベイズ脳活動推定法の開発

- 従来の階層ベイズ脳活動推定法は、MEG逆問題の不良設定性を解消するために空間的拘束条件のみを用いていた。
- 空間的拘束条件、時間的拘束条件の両方を用いて、時間発展ダイナミクスを推定し、MEG逆問題を解く階層ベイズ脳活動推定法を開発した。
- シミュレーションデータを用いて提案手法の有効性を検証した。



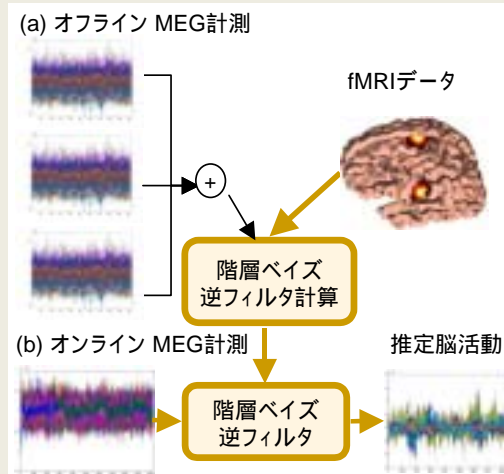
従来法(左)と時間拘束条件を考えた提案法(右)のグラフィカル表現。 $B_t$  ( $t=1, 2, \dots$ )は観測磁場、 $J_t$ は脳活動を表す。



シミュレーションによる評価。(a)生成した人工データ。(b)推定結果比較。左の2つの図は推定された時系列波形。右図は観測磁場の再構成の度合いを信号ノイズ比に対して比較した結果。

### 準オンライン階層ベイズ脳活動推定法の開発

- 従来の階層ベイズ脳活動推定法は、オフライン処理を前提とした繰り返しアルゴリズムである。
- 階層ベイズ脳活動推定法をオンライン化するために、準オンライン型アルゴリズムを開発した。
- MEGシステムから計測データをLAN経由で解析用PCに送り、準オンライン階層ベイズ脳活動推定を行うソフトを開発した。



準オンライン階層ベイズ脳活動推定法。(a)予め計測したMEGデータとfMRIデータを用いてオフラインで階層ベイズ逆フィルタを計算する。(b)MEGデータに(a)で計算した逆フィルタを掛けることによってオンラインで脳活動を推定する。

MEGオンラインシステムの構築にあたって、本田技術研究所との共同研究成果を活用させて頂きました。

## 【課題ア-2】 多様な脳活動計測による脳活動の時空間特徴抽出技術の高度化

### 主な研究成果

- 複雑な知覚・運動課題(飛行機シミュレーション)における多数の脳活動データの収集
- 音声知覚における視聴覚情報統合に関わる脳活動時空間特徴の抽出

#### 複雑な知覚・運動課題(飛行機操縦シミュレーション)における多数の脳活動データの収集

- 知覚・運動制御における基本的な適応は、自己中心的な思考の基準(主観視点)に基づいて成されていると考えられる。
- 第三者視点を用いて離れた知覚・運動制御を行うためには、脳内表現の変換処理が必要であると考えられる。
- 本研究では、飛行機操縦シミュレーション課題中に脳活動計測を行った。
- 結果、飛行機操縦における主観視点と、第三者視点による操作の違いが右運動前野に顕著に表れた。
- これは飛行機と、被験者の位置座標の変換に対応した脳活動であると考えられる。

課題: レッドブルエアレースコースのシミュレーション飛行

主観視点



第三者視点

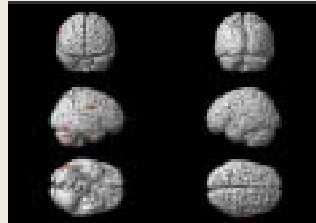


Red Cone  
Vertical  
Flight



Blue Cone  
Horizontal  
Flight

fMRI脳活動の結果:  
第三者視点 > 主観視点



脳活動の差( $p < 0.005$ )が右運動前野と小脳に見られた。

#### 音声知覚における聴覚・視覚情報統合に関わる脳活動時空間特徴の抽出

- 音声知覚において聞き手は話者の口の動きでも知覚しているように、脳では聴覚情報と視覚情報の統合が行われている。
- 聴覚・視覚情報統合の脳内メカニズムに関する先行研究においては、fMRIでどこで起こるか、脳波・MEGでどのような時間推移で起こるか調べた研究は存在する。しかし、fMRIと脳波・MEGを統合した研究や大規模な日本語母語者と英語母語者の脳活動計測を実施した研究は存在しない。
- 本研究では、英日母語者各23名計46名を被験者として、fMRIとMEGを用いた脳活動計測実験を行った。
- 下図は、MRI構造画像を空間情報として利用してMEGから推定した電流源の時間変化を示したものである。
- 今後はより詳細な電流源解析により時空間パターンを調べる予定である。



MEGデータの解析結果。左から100ms・200ms・350ms。上段は聴覚、下段は視聴覚条件の推定された電流源の分布を表示している。

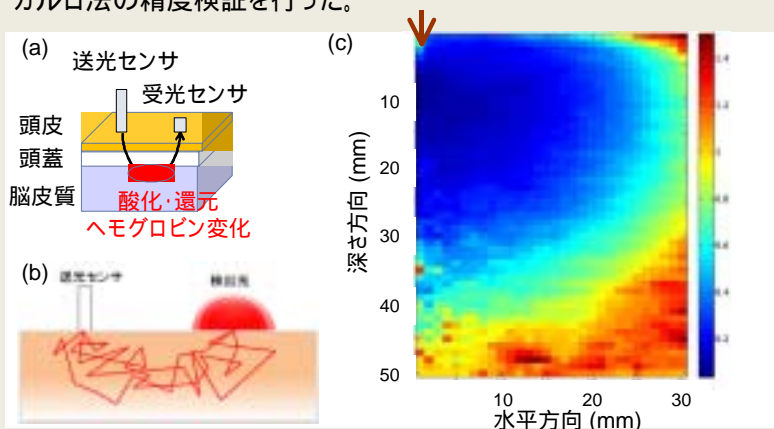
## 【課題イ - 1】 NIRSとEEGの同時計測によるオンラインアルゴリズムの開発

### 主な研究成果

- 光拡散モンテカルロ法によるNIRS順問題計算
- EEGを用いたBMIにおける階層ベイズ脳活動推定法の有効性の検証

#### 光拡散モンテカルロ法によるNIRS順問題計算

- 従来のNIRS計測では、検出光強度の変化量から送光・受光センサの真ん中付近の脳活動を頭表上にマップしているため、空間分解能が2～3cmと悪い。
- NIRSの空間分解能を向上させるために、光の脳内での拡散過程をモデル化してNIRS順問題を計算し、それに基づいてNIRS逆問題を解くことが必要である。
- 脳内の様々な組織の光拡散特性を考慮して計算する方法として、モンテカルロ法がある。
- 光拡散の理論的な解が分かっている1層モデルを用いて、モンテカルロ法の精度検証を行った。



モンテカルロ計算の誤差評価。(a),(b) NIRS計測, 光拡散モンテカルロ法の概念図。(c)各位置における解析解との正規化誤差。矢印は光入射位置。

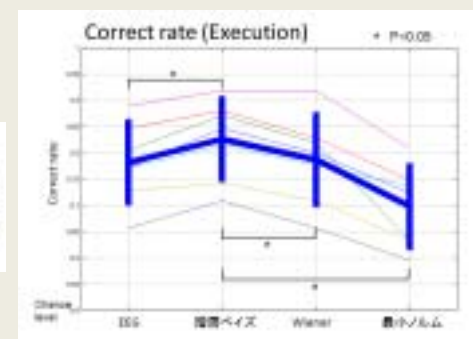
#### EEGを用いたブレイン-マシン・インタフェース(BMI)における階層ベイズ脳活動推定法の有効性の検証

- BMIとは、脳と機械を直接つなぐことで、考えるだけで機械を動かすシステムのことである。
- これまでにEEGを用いたBMIでは、EEGに脳活動推定手法を適用することによってBMIの精度が向上することが報告されている。
- 本研究では、階層ベイズによる脳活動推定法のBMIにおける有効性を検証した。
- 左右の人差し指伸展運動の実行・想像課題中にEEGを計測し、EEGからどちらの手の指運動を実行・想像したか予測し正答率を得た。
- 実行課題において、階層ベイズ脳活動推定法の適用による正答率向上が認められ、階層ベイズ脳活動推定法の有効性が明らかになった。

左手指運動 右手指運動



推定された脳活動



正答率。階層ベイズ脳活動推定法適用時に高い正答率が得られた。



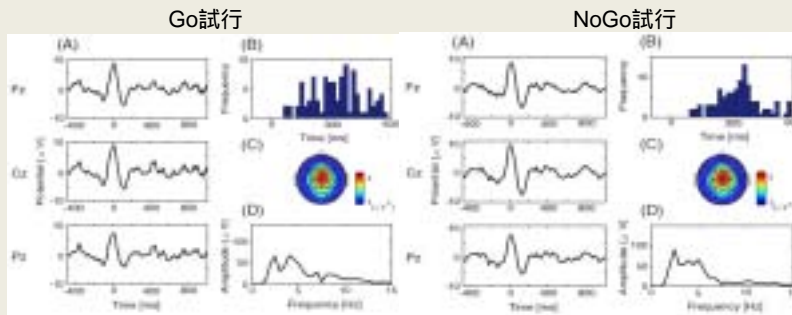
## 【課題イ-2】 NIRSとEEGを組み合わせたリアルタイム脳活動推定手法の開発

### 主な研究成果

- 試行間で共通した波形を推定する手法の実EEGへの適用
- EEGとNIRS確率的統合判別手法のエントロピー解析

#### 試行間で共通した波形を推定する手法の実EEGへの適用

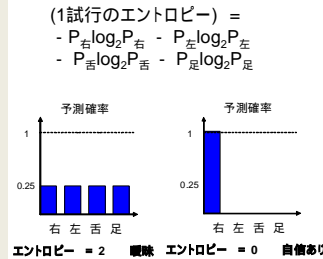
- EEGには試行間で共通した波形が存在する。
- これらの波形を推定するための一般的な手法を開発した。
- 開発手法は、任意のチャンネル数の脳波から試行間で共通した波形の数、波形の各試行の遅れ時間、そして全波形を推定する。
- Go/NoGo課題中のEEGに開発手法を適用した。
- 結果、Go試行中のEEGからは3つ、NoGo試行中のEEGからは2つの試行間で共通した波形が推定された。このうち、刺激呈示にも反応にも同期していない波形の性質はGo試行とNoGo試行で類似していた。これは、Go試行とNoGo試行で共通した情報処理プロセスが様々な遅れ時間で生じていることを示唆している。



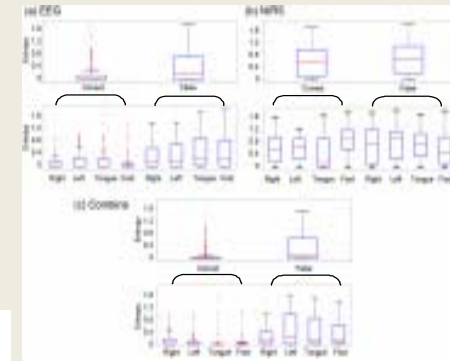
Go/NoGo課題中のEEGから推定された刺激呈示にも反応にも時間同期していない波形。

#### EEGとNIRS確率統合による判別手法のエントロピー解析

- EEGとNIRS同時計測データの判別手法として、判別出力レベルで統合する、確率統合による判別手法が提案された(Honda-ATR-Shimadzuによる共同研究成果(H21年3月の報道発表))。
- しかし、EEG判別器・NIRS判別器・統合判別器の詳細な関係および正答率が向上するメカニズムが明らかでなかった。
- エントロピー(判別の確信度)を尺度として、EEGデータの判別結果がどのような場合にNIRSデータの判別結果に影響を受けるかを調査した。
- 確率統合した判別器は、正答時に確信度が高く、誤答時に確信度が低いという応用上好ましい振る舞いをするのがわかった。



エントロピー計算。各ラベルの予測確率から計算される。エントロピーが大きい時は確信度は低く小さい時は確信度は高い。



エントロピー解析結果。(a).EEG, (b) NIRS (c) EEG-NIRS統合判別器。

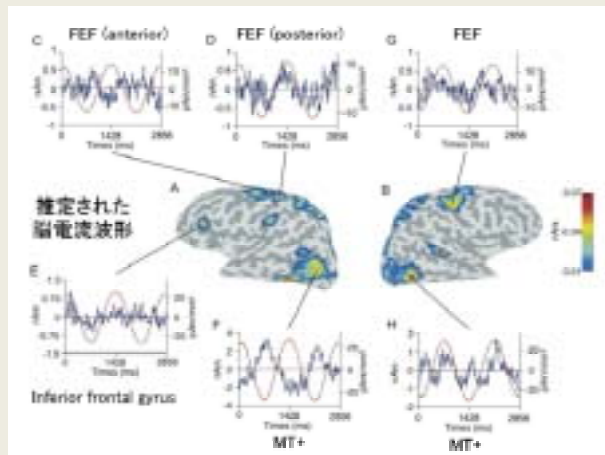
## 【課題ウ】 心拍や眼球運動等によるアーチファクト除去方法の研究開発

### 主な研究成果

- 脳磁図に混入する**眼球運動アーチファクト**除去手法の実データへの適用
- 脳磁図に混入する**心拍アーチファクト**を除去する手法の提案

#### 脳磁図に混入する**眼球運動アーチファクト**除去手法の実データへの適用

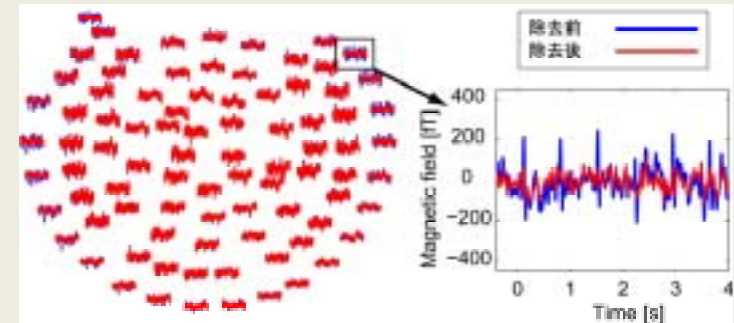
- 眼球運動によって生じる磁場は、脳磁図におけるもっとも一般的なアーチファクトの1つである。
- 目に電流源を仮定してモデル化し、脳磁図と眼電位両方の計測を用いて、脳活動と眼球電流を同時推定して眼球アーチファクトを除去する方法を提案した。
- 指標を目で追いかけている時のMEGデータに提案手法を適用し、眼球運動制御に関連のある領野(FEF)や運動視に関連のある領野(MT+)で、眼球運動と関連した電流が推定された。



眼球運動時のMEGから推定された脳電流波形。

#### 脳磁図に混入する**心拍アーチファクト**を除去する手法の提案

- 脳磁図に含まれる脳活動の信号は極めて小さく、眼球運動や心拍のような大きな信号のアーチファクトに埋もれている。
- 眼球運動や心拍等複数のアーチファクトに対応するアーチファクト源をモデル化し、脳活動とアーチファクト電流を同時推定して、脳磁図からその影響を分離する手法の提案を行った。
- アーチファクトの信号がどのぐらいの大きさなのか、という事前情報を用いることで、脳磁図から心拍の影響を除去することができた。



心拍アーチファクトの除去前後での脳磁図の比較。心拍アーチファクト除去前はスパイク状のアーチファクトが混入しているが(青色)、提案手法を用いることでそれらを除去できた(赤色)。

## 1. これまで得られた研究成果(特許出願や論文発表等)

|                                       | 国内出願     | 外国出願     | 研究論文     | その他研究発表    | 報道発表     | 展示会      | 標準化提案    |
|---------------------------------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|
| 複数モデリ<br>ティ-統合によ<br>る脳活動計測技<br>術の研究開発 | 2<br>(0) | 0<br>(0) | 4<br>(3) | 18<br>(14) | 0<br>(0) | 1<br>(1) | 0<br>(0) |