

平成20年度 新規委託研究  
「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」  
研究計画書

## 1．研究開発課題

『複数モダリティ統合による脳活動計測技術の研究開発』

## 2．研究開発の目的

近年、脳科学分野においては、米国を中心として、侵襲的あるいは非侵襲的に脳内信号を収集し、双方向的に直接コンピュータと接続したり、収集した脳内信号を用いて義手・義足等の外部デバイスを直接コントロールする技術、すなわち BMI (Brain Machine Interface) や BCI (Brain Computer Interface) の研究開発が急速に発展しており、脳活動によってネットワーク上の情報通信機器を直接操作することが可能になりつつある。特に、脳活動情報の伝達によるロボットなど外部機器の操作が実現しつつあり、障害を抱える人達の脳からの運動出力や意思の伝達等を代替する手段として医療分野への適用も期待されている。また、脳機能を解明するために、非侵襲的脳活動計測法により脳活動を画像化する脳機能イメージング技術も進展が著しい。

現在、脳機能活性部位の空間位置を正確に測定し画像化する非侵襲的脳活動計測法には、神経活動に付随して起こる血流の変化を計測する方法として、磁気共鳴画像法を使った fMRI (機能的磁気共鳴画像法)、NIRS (近赤外線分光法) および PET (陽電子エミッショントモグラフィー) があり、また、脳神経活動による脳磁界の変化を測定する MEG (脳磁図測定法)、あるいは脳神経活動の電氣的信号を計測する EEG (脳波測定法) がある。これらの計測装置を組み合わせ、複数のモダリティの情報を統合 (複数モダリティ統合) しながらオンラインで脳活動を計測する技術、およびそのようにして収集した統合された複数のモダリティの脳内信号を解析してその特徴を抽出し、人の意図や行動を推定する技術の研究開発は、人が自分の意図を情報としての確かつ負担なく伝達することを目指す脳情報の通信技術において、各計測技術の弱点を相互に補完する重要な技術となる。

侵襲的脳内信号計測による BMI 技術は、研究の規模や蓄積、研究者人口で欧米とは 10 年の差が存在するとされている。しかし、非侵襲性の脳活動計測技術にもとづく BCI については、欧米では EEG 単独での研究開発が存在するに限られており、NIRS 等他のモダリティを含めた計測技術や推定手法などについては我が国が先行している。特に、NIRS や EEG は安全性が高く、利用者の負担等も少なく、日常生活での使用を可能にすると期待されている。こうした非侵襲性の脳活動計測でリアルタイムかつ高精度の計測・推定技術を実現することができれば、我が国の国際的な優位性の確保に繋がることが期待される。

また、もし人間が脳の中で如何にして情報を受け取り、理解し、伝達しているかを

解明し、その情報をどこでも誰でもが利活用できるような情報通信技術を体系化することができれば、日常生活において健常者と障害者等とのコミュニケーションを向上させることが可能となり、コミュニケーション弱者への新たな通信インターフェースの提供や、今後の高齢化社会に対応した遠隔医療・介護の実現、また、表面化しにくい人間の嗜好など心の領域の伝達など、従来とは全く違う新しいコミュニケーションの方法を作り出すことができる。そのためには、非侵襲的な一般向けの脳直結型リアルタイム通信インターフェースの実用化を視野に入れた、脳活動の複数モダリティ統合による計測技術と情報処理方法を確立することが重要な課題となる。

そこで、本委託研究では、高精度大規模システムを用いたオンライン脳活動推定法の開発、可搬型システムを用いたオンライン脳活動推定法の開発を目的とする。

### 3．研究開発期間及び予算

研究開発期間：平成20年度から平成24年度までの5年間

予算：平成20年度は240百万円程度を上限とする。

なお、平成21年度以降の予算は未定であるが、平成21年度以降の予算については平成20年度の提案額未満の金額で提案を行うこと。

### 4．研究開発課題

情報通信技術（ICT）は、人間と人間とが意思を伝え合う過程（ヒューマンコミュニケーション）をサポートすることを究極の目的とする。したがって、データの受け手が適切な解釈を得たかどうか、あるいはデータの送り手がその意図を適切に発することができたかどうか、という人間側の視点が、通信技術の進歩と並んで重要となる。

近年、進歩の著しい非侵襲的脳活動計測法の活用により、人間の認識や意図を担う脳情報を抽出し、前述したようなICTの問題に利用することが原理的に可能になってきた。

これまでの本分野に関する国内の研究開発としては、独立行政法人科学技術推進機構の戦略的創造研究推進事業の平成19年度戦略目標「精神・神経疾患の診断・治療法開発に向けた高次機能解明によるイノベーション創出」にて精神・神経疾患の治療等を目的としたシステムや機器の研究開発の推進を目指している例や、同平成20年度戦略目標「運動・判断の脳内情報を利用するための革新的要素技術の創出」において、脳情報解読技術を含めたBCIやBMIの各要素技術の創出が目的とされている事例などがある。また、平成20年度新規事業「脳科学研究戦略推進プログラム」においては、産学官連携の研究拠点の整備により、これまでの各研究成果の社会ニーズへ

の還元を目指している。

本委託研究開発では、非侵襲的な一般向けの脳直結型リアルタイム通信インターフェースの実現に不可欠な、オンライン脳活動推定法の開発を実施する。現在までに様々な非侵襲的脳活動計測機器が開発され、その性能も年々向上しているが、現時点では高い空間分解能と高い時間分解能を兼ね備えた計測機器は存在しない。そこで複数のモダリティを統合することで、より精度の高い時空間分解能を持つシステムの実現を目指す。

特に日常生活で使用できる可搬型脳活動計測システムにより得られる脳活動推定を検証するシステムとして、高精度大規模システムから得られる脳活動推定法についても同時に開発することにより、相互検証を行い信頼性の高いシステムを開発することを目指し、

- ・高精度大規模システムを用いたオンライン脳活動推定法の研究開発
- ・可搬型システムを用いたオンライン脳活動推定法の研究開発
- ・実験に伴うアーチファクトや外乱の除去方法の研究開発

を実施する。以下に個別課題を示すと共に、図1に研究開発の概要を示す。

**課題ア：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**  
**課題イ：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**  
**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**

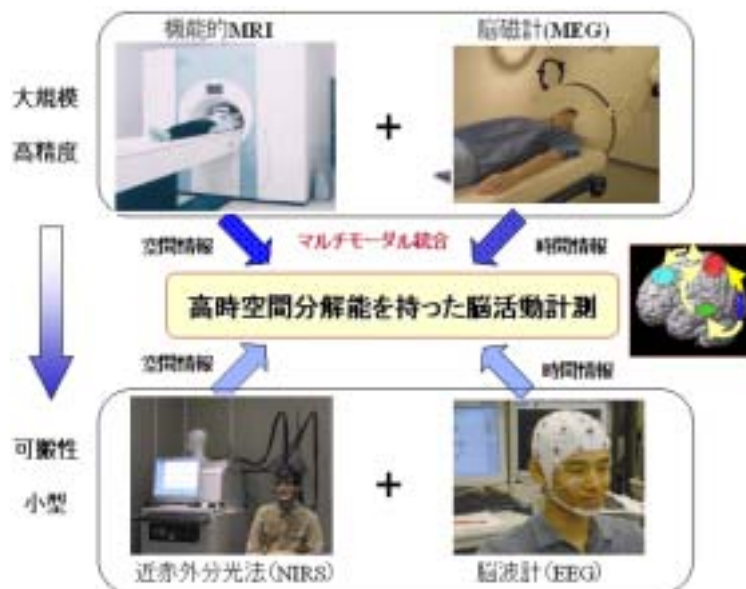


図 1 研究開発課題の概要

## 個別課題の具体的内容

### 課題ア 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

事前に計測された、高い空間分解能を持つ高磁場 fMRI データと、高い時間分解能を持つ超多チャンネルの MEG による計測と組み合わせることで、高時空間分解能で、かつオンラインで行える脳活動推定方法を開発する。また視覚、聴覚、運動、認知などの多様な脳活動を計測し、高次機能に伴う複雑な脳活動の時空間的特徴を抽出する技術の高度化を行う。具体的には、以下の 2 つの技術開発を行う。

#### 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

視覚、聴覚、運動、認知などの多様な脳活動を計測した fMRI データと超多チャンネル MEG データを統合し、脳内情報を取得する高時空間分解能のオンラインアルゴリズムを開発する。

#### 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

課題ア-1 によって得られた、視覚、聴覚、運動、認知など多様な計測データから脳内情報をオンラインで解析して特徴を抽出し、脳活動から情報処理メカニズムを推定するための技術の高度化を行うとともに、NIRS と EEG を用いたマルチモーダル解析、脳活動検証作業に利用可能な高空間分解能を持つ fMRI、及び高時間分解能を持つ MEG によるリファレンスデータの収集及び解析を実施する。

### 課題イ 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

課題アで実現する高精度大規模システムを、一般向けの脳直結型リアルタイム通信インターフェースとして用いるには、大型のシールドルームを必要とするなど問題が多い。そこで、可搬型のシステムを用いた簡易脳活動推定手法も同時に開発する。具体的には、NIRS と EEG の同時計測によるオンラインアルゴリズムを開発し、リアルタイムに脳活動推定を行う手法を開発する。

### 課題イー 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

NIRS と EEG を組み合わせた高時空間分解能の同時計測により、視覚、聴覚、運動、認知などの多様な脳活動を、時空間分解能において、最も高い精度で得られるオンラインアルゴリズムを開発する。

### 課題イー 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

課題イー 1 によって得られた視覚、聴覚、運動、認知などの多様な脳内情報を、リアルタイムで解析して特徴を抽出し、脳活動から情報処理メカニズムを推定することのできる推定手法を開発する。

### 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

脳活動計測において不可避である被験者の動きや心拍、眼球運動などによるアーチファクトや様々な外乱に対して、アーチファクトの性質に応じた高精度ノイズ除去方法を開発する。具体的には、内部環境アーチファクト及び外部環境による外乱情報を収集・分析し、ノイズ源の特定とノイズ除去（デノイジング）に必要な分析を実施することにより、アーチファクトや外乱情報のデノイジングアルゴリズムを開発する。

## 5 . 研究開発の到達目標

研究開発目標を以下のように設定する。

### 全体目標

fMRI と MEG の組み合わせによって、高い時空間分解能を持つ脳活動のオンライン計測・解析・特徴抽出・推定システムを開発し、それによって得られる情報を NIRS と EEG の組み合わせにより得られる脳活動情報のリファレンスとして共有し活用するためのデータベースのインフラ整備を図る。同時に、NIRS と EEG の組み合わせによる高時空間分解能のリアルタイム脳活動計測・解析・特徴抽出・推定手法を研究開発し、将来の BCI の実現に資する。

## 個別課題目標

### 課題アー 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

fMRI データと超多チャンネルの MEG データを統合し、高時空間分解能の脳内情報を取得するオンラインアルゴリズムを実現する。具体的には

事前に測定された fMRI 脳活動情報と超多チャンネルの MEG で得られた脳活動情報のオンライン統合を可能とすること。

時間分解能でミリ秒、空間分解能でミリメートルレベルの複数モダリティ統合によるオンラインアルゴリズムを実現すること。

### 課題アー 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

多様な計測データから脳内情報を解析して特徴を抽出し、脳活動から情報処理メカニズムを推定するためのオンライン脳活動推定法を実現する。また、現状の脳活動推定方法（特定領域の脳活動を個別に推定）に留まらず、脳全体で複数の脳活動を同時に推定可能にする方法を実現する。具体的には、

脳の複数部位（大脳皮質全体あるいは複数の領野）が連携して活動する高次機能を例として、各領域での情報処理様式と各領域間の時空間的相互連関のミリ秒オーダーでの解析を可能にすること。

課題ウのアーチファクトに関する成果を取り込んだ推定モデルを確立すること。

課題ア - 1 の fMRI と超多チャンネルの MEG の組み合わせで得られた脳活動情報および脳活動から情報処理メカニズムを推定するための技術に関するデータベースを構築し、また、解析したデータを課題イの NIRS と EEG による脳活動推定のためのリファレンスデータとして用いるためのインフラ整備を図ること。

### 課題イー 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

NIRS と EEG の組み合わせにより、多様な脳活動を高時空間分解能（時間分解能 1 ミリ秒、空間分解能数ミリメートル）で同時計測できるオンラインアルゴリズムを実現する。具体的には、

NIRS と EEG による脳活動同時計測の時空間分解能を数ミリ秒・3 センチメートル程度から 1 ミリ秒・数ミリメートルへ向上させ、リアルタイム処理も可能にすること。

100 チャンネル程度の NIRS と 100 チャンネル程度の EEG による同時計測ができるオンラインアルゴリズムを実現する。

## 課題イー 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

多様な脳活動を計測・解析・特徴抽出し、脳活動をリアルタイムで推定することのできる手法を実現する。具体的には、

現状の脳活動推定方法（特定領域の脳活動を個別に推定）を脳全体で計測・推定可能な方法へと変更する。

情報処理における脳の一次感覚野ニューロンの応答レスポンスにできる限り近づけるために、計測から特徴抽出までのリアルタイム化（計測から推定までを数ミリ秒、計測から特徴抽出までを 100 ミリ秒）を図ること。

課題アの成果である脳活動推定のためのリファレンスデータをリアルタイムで取り込むことのできる推定モデルを確立すること。

課題ウの成果であるアーチファクトに関する信号情報を取り込んだ推定モデルを確立すること。

## 課題ウ 生理的信号や運動等によるアーチファクト除去方法の研究開発

現状では、できるだけアーチファクトが出現しないように被験者に多くの拘束条件を課した環境（ノイズ源となる眼球運動等を制限）での計測が必要であるため、日常生活に近い環境（運動中等）での計測は困難な状況にある。そのために、心拍、眼球運動や外乱等によるアーチファクトの除去方法を実現する。具体的には、

生理的信号（脳信号に比較して、 $10^1$  倍から  $10^{2\sim 3}$  倍の信号強度）および外乱等によるアーチファクトとノイズ源を明確にすること。

で明らかとなったアーチファクトに関する信号情報を計測し解析すること。

日常生活に近い環境での計測を実現するために、運動等によるアーチファクトの除去アルゴリズムを確立すること。

MEG による計測により、ノイズ源を明確にし、その発生モデルを構築すること。

のモデルを応用した EEG 計測におけるアーチファクト除去のアルゴリズムを確立すること。

アーチファクトに関する信号情報を課題アおよびイの推定モデルに取り込めること。

## 6 . 研究開発スケジュール

スケジュールは概ね以下の通りである。

なお、平成 21 ~ 23 の各年度に中間評価を行う。



個別課題	H20 年度	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度
	スタートアップ <sup>o</sup> mtg	中間評価	中間評価	中間評価	
課題ア：fMRIとMEGによる脳活動計測のオンライン脳活動推定法の研究開発					
課題イ：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					
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					

最終評価

## 用語集

### **BMI ( Brain Machine Interface )**

脳内信号を収集し、双方向的に直接コンピュータと接続したり、収集した脳内信号を用いて義手・義足等の外部デバイスを直接コントロールする技術の総称。

キーボードやマウスの操作など、手や足等による身体動作による間接的な機器操作では無く、脳信号（電気信号、磁気信号、代謝信号）を利用することで、意図や思考などによる直接的な機器操作を実現するものである。ただし、機器制御に伴う稼働情報のフィードバックや操作に伴う安全手段の確保等が必要となる。

本研究では、BMI 自体の開発を対象としていない。

### **BCI ( Brain Computer Interface )**

BMI とほぼ同義であるが、特に非侵襲計測により人間の脳とコンピュータを直接つなぐインターフェースを指す。

### **脳活動推定**

脳神経活動に伴う血流、電気信号、磁場などの変化を計測し、そこから逆問題を解くことにより脳活動を推定すること。脳活動の計測部分と、それを解析するアルゴリズム部分に区別される。

脳活動における逆問題を解くことは、センサーの数に比較して推定すべきパラメータの数が多いため、高度なアルゴリズム処理が要求される。領域間の相関を時間的および空間的に解析することで、運動・知覚・認知に関わる脳の情報処理過程を推定することになる。

### **オンライン脳活動推定法**

従来は異なる計測法で個別に計測し、解析をおこなって来た。本研究開発は、例えば、EEG の計測時に NIRS で事前に測定された脳活動の情報を同時に用いることにより、異なる 2 種類の計測結果を組み合わせる高度なリアルタイム処理を実現し、脳活動を推定するものである。

### **脳直結型リアルタイム通信インターフェース**

BMI や BCI のこと。本研究は BMI・BCI 自体の開発を対象としていない。