

# 欧州における脳情報関連技術の研究開発動向

平成30年3月

国立研究開発法人 情報通信研究機構

(欧州連携センター)

# 目次

目次.....	1
はじめに.....	3
要約.....	5
General summary .....	11
第1部 欧州における脳情報関連技術の研究開発プロジェクトの動向.....	19
第1章 ヒューマンブレインプロジェクト.....	20
第1節 ヒューマンブレインプロジェクトの基本構造.....	21
第2節 ヒューマンブレインプロジェクトの研究内容.....	29
第2章 モアグラスプロジェクト.....	40
第1節 モアグラスプロジェクトの概要.....	41
第2節 モアグラス オープンハウスイベント視察レポート.....	42
第2部 欧州諸国における脳情報関連技術の研究動向.....	49
第1章 脳情報デコーディング技術.....	50
オーストリア / グラーツ工科大学 神経工学研究院 グラーツ BCI 研究所.....	51
ドイツ / フライブルグ大学 トランスレイショナル神経工学研究所.....	53
フィンランド / アルト大学 計算機科学部 確率機械学習グループ.....	53
第2章 ブレイン・マシン・インターフェース.....	55
スイス / ローザンヌ連邦工科大学 神経補綴センター デフィテック基金 BMI 講座.....	56
イタリア / サンターナ大学院大学 バイオロボット工学研究院 トランスレイショナル神経工 学グループ.....	56
イタリア / イタリア技術研究院 神経科学・認知システムセンター ニューラル・コンピュー タ・インタラクション研究所.....	57
イギリス / ニューキャッスル大学神経科学研究院神経系・応用神経生理学グループ.....	58
第3章 ブレイン・コンピュータ・インターフェース.....	60
フランス / 原子力・代替エネルギー庁 (CEA) 電子情報技術研究所 クリナテック.....	61
オーストリア / GTEC 社.....	62
オランダ / ユトレヒト大学病院 ルドルフ・マグナス脳センター BCI グループ.....	64
第4章 脳での情報処理をモデルとした新しい人工知能技術.....	66
ドイツ / ハイデルベルグ大学 キルヒホフ物理研究院 電子ビジョングループ.....	67
イギリス / マンチェスター大学 計算機科学部 先端プロセッサ研究グループ.....	70
フランス / 国立科学研究センター 神経科学・情報・複雑性ユニット.....	72
第6回ニューロスティック (NeuroSTIC) 視察レポート.....	73
第5章 脳情報ビッグデータ.....	79
フランス / 脳・脊髄研究院 (ICM) アラミスグループ.....	80
フランス / 原子力・代替エネルギー庁 (CEA) フレデリック・ジョリオ研究院 ニューロスピ ン 情報分析・処理ユニット.....	86
ドイツ / ユーリッヒ研究センター 神経科学・医療研究院 脳の構造・機能組織 (INM-1) ビ ッグデータ分析グループ.....	88
第6章 脳信号計測技術の高度化.....	91
フランス / 原子力・代替エネルギー庁 フレデリック・ジョリオ研究院 ニューロスピン MRI・ 分光学ユニットと認知神経科学ユニット.....	92
ドイツ / ユーリッヒ研究センター 神経科学・医療研究院 医療イメージング物理学 (INM-4)	

と脳の構造・機能組織 (INM-1) .....	92
イタリア / フィレンツェ大学 物理学部 生物物理学生物フォトニクス研究所 ニューロイメー ジンググループ .....	94
第7章 脳情報のバイオマーカーへの応用 .....	96
スイス / ローザンヌ大学 生物・医学部 ニューロイメーキング研究所 .....	97
フランス / 脳・脊髄院 (ICM) アラムスグループ .....	97
ドイツ / シャリテ・ベルリン医科大学 .....	98
第8章 ニューロエコノミクス (神経経済学) .....	100
イギリス / ケンブリッジ大学 生理学・発達・神経科学部 シュルツ研究所 .....	101
スイス / チューリッヒ大学 社会・神経システム研究所 .....	101
スペイン / ビット・ブレイン社 .....	102
第9章 神経電極 .....	103
ドイツ / フライブルグ大学 マイクロシステム技術研究院 (IMTEK) 生物医療マイクロ技術研 究所 .....	104
ドイツ / コアテック社 .....	105
スイス / ローザンヌ連邦工科大学 神経補綴センター 柔軟生物電子インターフェース研究所 (LSBI) .....	105

# はじめに

## 調査の背景と対象

脳研究は世界各地で現在最も注目が集まっている研究分野の1つである。例えば、アメリカでは、2013年にバラク・オバマ前政権下で「ブレイン・イニシアチブ」という大型の脳科学研究支援プログラムが策定されているが、欧州でも、同じく2013年に欧州連合（以下、EUとする）が助成する「ヒューマンブレインプロジェクト」が開始されている。これらのプログラムの予算、期間、参加組織数を考慮すれば、アメリカと欧州諸国の脳研究への関心の高さが自ずと伺われる。

- 米 / ブレイン・イニシアチブ：プロジェクト期間：2013年～2025年（12年間）、予算：正確には確定していない（全体で約45億ドルが必要という報告もあるが、可能性が疑われている）、プロジェクト参加組織：国内外から30組織以上
- 欧州 / ヒューマンブレインプロジェクト：プロジェクト期間：2013年～2023年（10年間）、予算：約10億ユーロ（半分がEUから拠出、残りは加盟国と民間からの拠出）、プロジェクト参加組織：欧州市内外から100組織以上（現在、117組織）

さて、脳の働き方を理解することを目指す基礎的研究が進められる一方で、脳情報を計測し、収集し、利用する研究も盛んに実施されている。例えば、脳と外的世界を機械を通してつなぐブレイン・マシン・インターフェース（以下、BMI / Brain Machine Interface とする）やブレイン・コンピュータ・インターフェース（以下、BCI / Brain Computer Interface とする）、脳内での情報処理をモデルとする新しい情報通信技術、大量の脳データを処理し、分析するビッグデータ技術、脳情報を医療に利用するバイオマーカ研究、脳情報と経済学を融合し、意思決定プロセスを研究するニューロエコノミクス（神経経済学）、脳情報を計測し、記録するための脳信号計測技術や神経電極などの研究が欧米で積極的に進められている。欧州では、前述のヒューマンブレインプロジェクト、そして、各国内で、積極的に脳情報関連技術の融合研究が実施されている。

情報通信研究機構（NICT）、大阪大学、国際電気通信基礎技術研究所（ATR）の研究者を連係させる脳情報通信融合センター（CiNet）では、システム神経科学、情報通信技術、BMI、ニューロイメージング技術、ロボット工学を研究テーマとし、異分野を融合する脳研究が実施されており、欧州における脳情報関連技術の動向を知ることは日本の研究方針決定の参考になる。

本報告書では、欧州の脳情報関連技術に関わる研究プロジェクトと同技術の開発を実施する有力な研究組織という2点について報告する。

- 第1部では、脳情報関連技術の研究プロジェクトとして、EUのヒューマンブレインプロジェクトと、同じくEUのモアグラスプロジェクトを紹介する。ヒューマンブレインプロジェクトは、複数の脳研究プロジェクトに助成する大型の研究助成プログラムであるので、主に一般的な目的と構造、研究テーマなどについて記す。その際、ヒューマンブレインプロジェクトが巻き起こした論争、研究者サイドからの不満などの問題点についても触れる。モアグラスプロジェクトは、EUの大型研究支援プログラムであるホライズン2020から助成されている研究開発プロジェクトであり、主に研究体制、研究内容について記す。
- 第2部では、欧州諸国の有力な研究組織を紹介する。その際、脳情報関連技術の幾つかのキーワード（脳情報デコーディング、BMI、BCI、脳内での情報処理をモデルとした新しい人工知能技術、脳情報ビッグデータ、脳信号計測技術の高度化、脳情報のバイオマーカへの応用、ニューロエコノミクス、神経電極）にしたがって、研究組織の概要と動向について記す。

### 調査の方法

本報告書の執筆のため、1) インターネットや公刊物の精査、2) 関係者へのインタビュー調査、3) 関連イベント視察調査という3つの方法を採用した。インタビュー調査に関しては、フランスの原子力・代替エネルギー庁（CEA）と脳・脊髄研究院（ICM）、スイスのローザンヌ連邦工科大学の研究者にヒアリングを行った。イベント視察調査に関しては、ニューロスティック 2017（フランス）、オーブンブレインバー（フランス）、FET プロジェクトインフォメーションデー（フランス）、ヒューマンブレインプロジェクト・オープンデー（イギリス）、モアグラスプオープンハウス（ドイツ）を視察した。

本報告書では、情報を入手したウェブサイトの URL を参考のため注に載せているが、これらの記事はウェブサイト管理運営者の判断で随時移動、修正、削除される可能性がある。したがって、本報告書の発表後、注に記された URL から情報源となった記事にアクセスできないことがありうることを、前もって注記しておきたい。

# 要約

## 第1部 欧州における脳情報関連技術の研究開発プロジェクトの動向

- 欧州における研究開発の大きな特徴の1つは、各国内で研究開発が進められるだけでなく、超国家的な政治枠組みである欧州連合（以下、EU とする）により積極的に研究助成されていることである。特に脳研究に関しては、現在 EU のヒューマンブレインプロジェクトで、様々な研究が行われており、そこには脳に着想を得た ICT (Brain-inspired ICT) や脳情報ビッグデータなどの脳情報関連技術の研究プロジェクトも含まれる。だが、注目すべきことは、同プロジェクトでは、ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) とブレイン・コンピュータ・インターフェース (BCI) 分野に現在までのところ助成されていないことである。その上、EU の大型研究開発支援プログラムである第7次枠組計画 (FP7: 2007年～2013年) では、BMI 及び BCI 分野の数多くのプロジェクトに助成されたが、現行のホライズン 2020 (2014年～2020年: 第8次枠組計画に相当) ではごく少数のプロジェクトしか採用されていない。結果として、BMI と BCI 分野に対する EU の研究予算が減額されており、欧州の同分野の研究者はこのような状況を問題視している。

### ヒューマンブレインプロジェクト

- ヒューマンブレインプロジェクトは、EU が助成する脳研究の大型研究支援プログラムであり、神経科学、コンピューティング、脳医療の分野の研究開発を促進することを目的としている。
- プロジェクト期間：2013年～2023年(10年間)、予算：約10億ユーロ(半分がEUから拠出、残りは加盟国と民間からの拠出)、プロジェクト参加組織は欧州内外を含めて、100以上(現在、117組織)である。
- ヒューマンブレインプロジェクトは、脳情報関連技術とつながりが深く、今後、欧州の同技術の研究開発動向に大きな影響を与える可能性がある。
- アメリカでは、2013年に脳の研究を長期間に渡って助成する「ブレイン・イニシアチブ」が創設されており、ヒューマンブレインプロジェクトは欧州における類似する取り組みと言える。
- ヒューマンブレインプロジェクトは、基本的に、EU から助成される12のサブプロジェクトと EU から助成されないパートナーリングプロジェクトから構成される。
- スイス、ドイツ、フランス、イギリス、イタリア、スペイン、オランダ、スウェーデンなどの一定の欧州諸国の組織が、ヒューマンブレインプロジェクトの多くのサブプロジェクトでリーダーあるいはサブリーダー、また、サブプロジェクト内の作業パッケージのリーダーを務め、ヒューマンブレインプロジェクトを主導している(特に、プロジェクト全体を主導するローザンヌ連邦工科大学(スイス)、ユーリッヒ研究センター(独)、ハイデルベルグ大学(独)、フランス国立科学研究センター、カロリンスカ研究所(スウェーデン)など)。これらの組織は欧州の脳研究分野の有力な研究組織であることが可能である。
- ヒューマンブレインプロジェクトは、スイスのローザンヌ連邦工科大学のブルーマインド研究院が実施していたブルーブレインプロジェクトを前身プロジェクトとしている。ブルーブレインプロジェクトでは、人工脳の開発が究極の目標とされ、それがヒューマンブレインプロジェクトに受け継がれている。こうして、ヒューマンブレインプロジェクトでは、特に脳のコンピュータモデルと脳情報データベースの開発が最重要視されることになり、研究テーマの選択に影響が出ている。
- 実際、ローザンヌ連邦工科大学が実施する脳のシミュレーションモデルを開発する研究は、プロジェクト全体の中で最も重要な研究の1つとして位置付けられ、また、脳情報ビッグデータの研究がヒューマンブレインプロジェクト全体を通して積極的に進められている。

- ヒューマンブレインプロジェクトには、その研究テーマの選択によって、研究者サイドから不満の声が上がっている。まず、プロジェクト開始時期、プロジェクト上層部が認知科学分野をEUから助成されるサブプロジェクトとして承認しなかったことで、欧州中の認知科学者が抗議文書を公表し、論争を引き起こした。だが、その後、最終的に認知科学はサブプロジェクトとして認められるに至った。ついで、BMIとBCIの研究にはヒューマンブレインプロジェクト内では助成されていないので、同分野の研究者はこのような状況を問題視している。しかし、研究テーマを絞ったからこそ、プロジェクトの一貫性が高く、FETフラッグシッププロジェクトとして選択されたと評価する声もある。

#### モアグラスプロジェクト

- モアグラスプロジェクトは、EUのホライズン2020が助成する、数少ないBCI分野のプロジェクトである。
- モアグラスプロジェクトの特長は、BCIで神経補綴を操作するために実際に必要なすべての要素（BCI、神経補綴、EEG機器、被験者データのプラットフォーム、スマートウォッチなど）を開発していること、実際のエンドユーザ（運動機能に障害がある人々）と一緒に実験開発を行っていることである。
- モアグラスプロジェクトでは、ドイツ語圏の組織、すなわち、オーストリア（プロジェクトコーディネータ：グラーツ工科大学）及びドイツ（ハイデルベルグ大学病院）と、イギリス（グラスゴー大学）の研究組織が中心となり、プロジェクトを進めている。
- 研究期間：2015年3月～2018年2月（36か月）、予算規模（EU拠出分）：347万1452.5ユーロ（347万1452.5ユーロ）

## 第2部 欧州諸国における脳情報関連技術の研究開発の動向

- 欧州には、脳情報関連技術の研究開発を行う機関が数多く存在する。特に、脳情報デコーディング技術、BMI、BCI、脳内での情報処理をモデルとする新しい人工知能技術、脳情報ビッグデータ、脳信号計測技術、脳情報のバイオマーカーへの応用、ニューロエコノミクス、神経電極というキーワードに従って、有力な組織を紹介する。
- 組織の選択には、特に、EUのヒューマンブレインプロジェクトや第7次枠組計画（FP7）、ホライズン2020のプロジェクトへの参加実績、そして、研究開発の卓越した点、ユニークな点を基準にする。

#### 脳情報デコーディング

- 脳情報デコーディングは、脳信号から心の状態を解釈（デコード）することを目指す技術であり、身体を介さない、BMIやBCIという機械を介した通信を可能にする技術である。
- グラーツ工科大学神経工学研究院グラーツBCI研究所：現在まで多くのEUプロジェクトに参加し、特に非侵襲性の脳波（EEG）のデコーディングの研究を実施している。また、EUのBCI研究の取りまとめ役を果たしている。
- フライブルグ大学トランスレイショナル神経工学研究所：特に侵襲型の脳情報デコーディングの研究を実施している。癲癇患者の皮質脳波（ECoGs）を計測して、実生活で自然な会話を行う際の神経活動を分析する研究、深層学習を脳信号のデコーディングに利用する研究を実施している。
- アルト大学計算機科学部確率機械学習グループ：世界で初めて、ブレイン・インフォメーション・インターフェースと呼ばれる、BCIでインターネット上での情報検索を支援するシステムを開発しており、このため、FP7プロジェクトから資金を得ている。

### ブレイン・マシン・インターフェース

- ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) とは、脳信号の検出、また逆に脳の刺激により、脳と機械を連動させるインターフェースの技術である。
- ローザンヌ連邦工科大学 神経補綴センター デフィテック基金 BMI 講座 (CNBI) : 主に非侵襲型の BMI システムを研究し、実際にロボットなどを動かす研究を実施している。CNBI は、FP7 の TOBI プロジェクトのコーディネータを務めたが、最近では、ニッサン社との共同開発や BMI で利用できる外骨格の開発も行う。
- サンターナ大学院大学 バイオロボット工学研究院 トランスレイショナル神経工学グループ : FP7 の NEBIAS プロジェクトで、義手で物をつかむだけでなく、フィードバックにより、末梢神経を通して、感覚を回復させる研究を実施し、成功している。
- イタリア技術研究院 神経科学・認知システムセンター ニューラル・コンピュータ・インタラクション研究所 : 皮質脳波の分析及びデコーディング、双方向 BMI が研究テーマである。FP7 のシ・コードプロジェクトのコーディネータを務め、神経系全体の内部状態と神経の外部刺激に対する反応の間にある関係を研究している。
- ニューキャッスル大学 神経科学研究院 神経系・応用神経生理学グループ : 神経インターフェースの研究を実施し、光遺伝学コントロール向けの皮質インプラントを開発して、癲癇患者に世界初の臨床試験を実施することを目標としている。

### ブレイン・コンピュータ・インターフェース

- ブレイン・コンピュータ・インターフェース (BCI) とは、脳とコンピュータを接続するインターフェース技術である。
- 原子力・代替エネルギー庁 (CEA) 電子情報技術研究所 クリナテック : 「WIMAGINE (ワイマジン)」と呼ばれる侵襲性を抑えた皮質脳波向けの電極を開発している。WIMAGINE は「EMY (Enhancing MobilitY)」と呼ばれる BCI 向けの外骨格ロボットに無線通信技術で接続され、四肢麻痺の人の歩行を支援する。
- G TEC 社 : 1999 年に世界に先駆けて BCI システムを実用化、商用化させ、現在、60 各国以上で研究機関などに同社のシステムを販売している。
- ユトレヒト大学病院 ルドルフ・マグナス脳センター BCI グループ : 閉じ込め症候群 (locked-in syndrome) 患者のコミュニケーション能力を侵襲型 BCI で回復させることを目的とし、体内に埋め込まれる機器とアンテナ、受信機、コンピュータといった体外機器からなる神経補綴を開発している。

### 脳内での情報処理をモデルとする新しい人工知能技術

- 脳の働きを理解する研究が進む一方で、脳内での情報処理をモデルとする新しい人工知能技術、特に情報処理技術の研究も発展している。欧州では、特に脳に着想を得た ICT (Brain-inspired ICT) という名称の分野で研究されることが多い。
- この分野は、BMI、BCI と違って、EU のヒューマンブレインプロジェクトとのつながりが強く、特にサブプロジェクト 9/「ニューロモーフィックコンピューティングプラットフォーム」内で開発が進められている。
- ハイデルベルグ大学 キルヒホフ物理研究院 電子ビジョングループ : 脳に着想を得たコンピューティングシステム分野で EU の研究を主導する研究機関の一つである。EU のファセッツプロジェクト (第 6 次枠組計画 : FP6)、ブレインスケールズプロジェクト (第 7 次枠組計画 : FP7)、ヒューマンブレインプロジェクト (FET フラッグシップ / ホライズン 2020) のサブプロジェクト 9 で、コーディネータを務めている。ブレインスケールズ (Brainscales) という新しいコンピューティングシステムを開発していることで有名である。
- マンチェスター大学 計算機科学部 先端プロセッサ研究グループ : スピンネーカー

(SpiNNaker) という人間の脳の働きに着想を得た新しいコンピュータアーキテクチャを開発している。スピナーカーは、現在、EUのヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト9で開発が継続されている。

- フランス国立科学研究センター 神経科学・情報・複雑性ユニット：皮質及び下皮質のネットワーク機能を発生させるために、どのように神経特性、シナプス特性、ネットワーク接続性が相互作用するのか、計算アプローチを使って理解することを研究目標としている。ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト9に、ハイデルベルグ大学とマンチェスター大学とともに参加している。

#### 脳情報ビッグデータ

- 脳研究の進歩によって、大量の脳情報が発生しており、それらの情報を分析し、処理する脳情報ビッグデータの研究も発展している。
- 脳情報ビッグデータは、脳研究プラットフォームを開発しているヒューマンブレインプロジェクトで、非常に重要視されているテーマである。特に、サブプロジェクト5は、他のサブプロジェクトで生まれた脳情報を組織し、管理するためのツールとサービスを開発し、提供することを目的としている。
- 脳・脊髄研究院 (ICM) アラミスグループ：ICMのアラミスグループは、脳情報ビッグデータの研究により、人間の脳情報の新しい分析手段やソフトウェアを開発している。特に脳の数学的モデル化の研究を行っている。ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト8/「医療情報学プラットフォーム」に参加している。
- 原子力・代替エネルギー庁 フレデリック・ジョリオ研究院 ニューロスピン 情報分析・処理研究ユニット：情報分析・処理ユニットのナオ (NAO) グループは、脳をマッピングし、その可変性をモデル化するために、コンピュータによる脳画像分析のツールを開発している。ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト2/「人間の脳の組織」に参加している。
- ユーリッヒ研究センター 神経科学・医療研究院 脳の構造・機能組織 (INM-1) ビッグデータ分析グループ：人間の脳の3Dモデルの開発を目標としており、そのため、スーパーコンピュータを利用した脳情報のビッグデータ分析の研究を行っている。サブプロジェクト5/「神経情報学プラットフォーム」に参加している。

#### 脳信号計測技術の高度化

- 脳研究の発展には、脳信号計測技術の高度化が必要不可欠であり、欧州でも積極的に開発が進められている。EUのヒューマンブレインプロジェクト内で助成されている場合もある。
- 原子力・代替エネルギー庁 フレデリック・ジョリオ研究院 ニューロスピン MRI・分光学ユニットと認知神経科学ユニット：ニューロスピンは、大型の核磁気共鳴画像法 (MRI) 装置を開発し、運用して、脳研究を実施していることで世界的に有名である。MRI・分光学ユニットは、特にMRI装置の開発を実施しており、臨床研究向けとしては、世界最大の11.7 T MRI装置を開発中であり、2019年から利用開始予定である。認知神経科学ユニットは認知科学の研究組織であるが、光子イメージング技術も開発しており、世界初の3光子顕微鏡を開発している。
- ユーリッヒ研究センター 神経科学・医療研究院 脳の構造・機能組織 (INM-1) と医療イメージング物理学 (INM-4)：INM-1のファイバアーキテクチャグループは、新しい脳イメージング技術である3次元偏光イメージング (3D-PLI) 技術の開発をヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト2/「人間の脳の組織」に参加して進めている。INM-4は、大型の9T MRIとPETを結合したMR-PETハイブリッド装置を開発していることで有名である。
- フィレンツェ大学 物理学部 生物物理学生物フォトニクス研究所 ニューロイメージンググループ：ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト1/「マウスの脳の組織」に参加

し、光シート顕微鏡を開発している。

#### 脳情報のバイオマーカーへの応用

- 脳研究は、脳疾患の治療とも直接つながり、特にアルツハイマー病、パーキンソン病などの脳疾患向けに脳情報をバイオマーカーとして応用する研究が実施されている。
- 欧州では、特に EU のヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 8 / 「医療情報学プラットフォーム」で脳情報のバイオマーカーへの応用研究が実施されており、ニューロイメージング技術と脳情報ビッグデータの研究と関係が深い。
- ローザンヌ大学 生物・医学部 ニューロイメージング研究所：研究テーマの一つは、ビッグデータとアルツハイマー病の生物サイン (biological signature) である。ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 8 / 「医療情報学プラットフォーム」のコーディネータを務める。
- 脳・脊髄院 (ICM) アラムスグループ：脳の数学的モデルの構築を研究目標としているが、その際、脳情報をバイオマーカーとして利用し、アルツハイマー病の治療に役立つ研究を実施している。ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 8 / 「医療情報学プラットフォーム」に参加している。
- ドイツ / シャリテ・ベルリン医科大学：術後せん妄と術後認知障害向けの脳情報を特定する研究を行う FP7 のバイオコグプロジェクトでコーディネータを務めている。

#### ニューロエコノミクス

- ニューロエコノミクスは、意思決定を導く脳のプロセスを理解することを目標とし、生物学、医学、経済学、心理学、工学などの多様な科学的知見に基づく学際的な研究である。また、ニューロエコノミクスの研究は、ニューロマーケティングという神経科学や神経工学の研究をマーケティングに応用する研究も生んでおり、EU のホライゾン2020 から助成されているプロジェクトもある。
- ケンブリッジ大学 生理学・発達・神経科学部 シュルツ研究所：報償 (reward) と経済における意思決定の際に発生する脳信号を特定する研究を実施している。動物学習理論、経済的決定理論のコンセプトを利用し、行動学、神経生理学、ニューロイメージングの方法を組み合わせている。
- チューリッヒ大学 社会・神経システム研究所：ニューロエコノミクスの研究を専門とする研究機関である。社会的、経済的行動の神経生物学的な基礎、多様な報償のタイプ (金銭による報酬、社会的報酬など) に関する意思決定を媒介する神経ネットワーク、意思決定を因果的にコントロールする神経計算モデルを開発している。
- ビット・ブレイン社：ニューロマーケティングプラットフォームを開発しており、ニューロマーケティングの研究を実施するために必要となる非侵襲型の EEG 機器、バイオセンサー、アイトラッカー、屋内位置測定システム、研究管理ソフトウェアなどの製品群とニューロマーケティングのコンサルティングサービスを提供している。これらの製品群は EU のホライゾン 2020 から助成されて開発されている。

#### 神経電極

- 侵襲型の BMI 及び BCI の開発には、脳の電気活動の記録が前提となり、同分野の発展には神経電極の開発が不可欠である。
- フライブルグ大学マイクロシステム技術研究院 (IMTEK) 生物医療マイクロ技術研究所：電気活性コーティンググループが神経電極向けの炎症を起こしにくいコーティング技術を開発している。また、コアテック社などのスピンオフ企業を数社誕生させている。
- コアテック社：エアレイ (Air-ray) という電極技術を利用する皮質脳波向けの侵襲型柔軟神経

電極を開発し、商用化させている。

- ローザンヌ連邦工科大学 神経補綴センター 柔軟生物電子インターフェース研究所 (LSBI) : 柔軟電子インターフェース、すなわち、電子皮膚と柔軟神経電極の素材、技術、インテグレーションを開発している。

# General summary

## Part 1 : Trend of R&D projects on Brain information-related technology in Europe

- One of the major characteristics of R&D in Europe is that it's not only promoted in each country but also actively supported by the European Union (EU), which is a transnational political framework. Regarding brain research in particular, various researches on brain information-related technologies such as Brain-inspired ICT and big data for the brain are currently underway in the EU's Human Brain Project. However, it is noteworthy that the projects on the Brain Machine Interface (BMI) and Brain Computer Interface (BCI) fields have not been subsidized in the Human brain project so far. In addition, while numerous projects in the BMI and BCI fields were aided in the 7th Framework Program (FP7 : 2007 - 2013), which was a large-scale R&D support program of the EU, but only a small number of projects are supported in Horizon 2020 (2014 - 2020 : equivalent to the 8th framework Program). As a result, the EU research budget for the BMI and BCI fields has been reduced, and European researchers in this field feel dissatisfied with this.

### *Human Brain Project*

- The Human Brain Project is a comprehensive large-scale research support program for brain research funded by the EU and aims to promote R&D in the fields of neuroscience, computing, and brain medicine.
- Project period : 2013 to 2023 (10 years), Budget : approx. 1 billion euros (500M euro from the EU, and 500M euro from the EU member countries and the private sector), Project participating organizations, including within and outside Europe : more than 100 (Currently 117 organizations).
- The Human Brain Project is closely related to brain information related-technology and it will greatly influence the R&D trend in Europe in the future.
- In the US, the "Brain Initiative", the large-scale support program for brain research, have been founded since 2013. The Human Brain Project is a similar effort in Europe.
- Some European organizations, for example in Switzerland, Germany, France, UK, Italy, Spain, the Netherlands, Sweden, are leaders or sub-leaders in many Subprojects of the Human Brain Project and leaders of working packages within the Subprojects (In particular, Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne, which leads the Human brain project entirely, Jurich Research Center (Germany), Heidelberg University (Germany), the French National Science

Research Center, the Karolinska Institute (Sweden), etc.). These organizations can be considered as leading organizations in the European brain research field.

- The Human Brain Project is basically composed of 12 Subprojects funded by the EU and partnering projects not funded by the EU.
- The origin of the Human Brain Project is the Blue Brain project which was conducted by the Blue Mind Institute of the Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne. In the Blue Brain project, the development of "artificial brain" was regarded as the ultimate goal, which is inherited to the Human Brain Project. Thus, developping a computer model of the brain and a brain information database is particularly important in the Human brain project.
- So, research on brain simulation model conducted by the Federal Institute of Technology in Lausanne stands out as one of the important research themes in the overall project. And big data research for the brain is proactively advanced throughout the project.
- Regarding the Human Brain project, some researchers are also feeling dissatisfied with the selection of research topics. In particular, the executives of the project did not approve of cognitive science as a Subproject financed by the EU, so cognitive scientists in Europe published a protest letter and caused a big controversy. Eventually, cognitive science was recognized as a Subproject. Besides, since BMI and BCI studies are not being subsidized within the Human Brain Project, researchers are voicing their dissatisfactions in this field. However, according to other researchers, the Human Brain Project was selected as a FET flagship project by the European commission, because it narrowed down its research topics for the sake of consistency.

#### ***More Grasp Project***

- The Moregrap project is one of a few BCI fields projects subsidized by Horizon 2020.
- The feature of the Moregrap project is that it develops all the elements (BCI, neural prosthesis, EEG equipment, platform of subject data, smart watch, etc.) thqat are actually necessary for operating the neural prosthesis with BCI, and that researchers do experimentations with end users (those with disabilities in motor function).
- The German-speaking research organization, namely Austria (Project Coordinator : Graz University of Technology), Germany (Heidelberg University Hospital), and the UK (University of Glasgow) leads the project .
- Project period : March 2015 - February 2018 (36 months), Budget (EU contribution amount) : 3,471,452.5 euros (3,471,452.5 euros).

## **Part 2 : Trend of R&D of brain information related-technology in European countries**

- There are many institutions engaged in R&D on brain information related-technologies in Europe. We introduce European leading organizations in this field according to keywords such as brain information decoding, brain machine interface (BMI), brain computer interface (BCI), new artificial intelligence technology modeled by information processing in the brain, big data for the brain, brain signal measurement technology, use of brain information as biomarkers, neuro-economics, and neural electrodes.
- Our organization choice was based on their participation in the project of the EU Human Brain project, the 7th framework program (FP 7), Horizon 2020, and their excellent and unique points of R&D.

### ***Brain information decoding***

- Brain information decoding is a technique aiming to decode the state of mind from brain signals, and this technique allows communication via BMI or BCI without using the body.
- **Graz University of Technology, Neural Engineering Institute, Graz BCI Laboratory**
  - It has been participating into many EU projects and it currently conducts research on the decoding of non-invasive electroencephalograms (EEG). It also serves as a coordinator of EU's BCI research.
- **Albert-Ludwigs-University Freiburg, Translational Neurotechnology Laboratory**
  - It conducts a comprehensive study of invasive brain information decoding research : research to measure the cortical electroencephalogram of epilepsy patients in order to analyse nerve activity in real life conversation, and study how to use deep learning for brain signal decoding.
- **Alto University, Computer science department, Probabilistic Machine Learning Group**
  - For the first time, it has developed brain information interface, a BCI system to support information retrieval over the Internet, and it obtained funds from the FP7 project for this research.

### ***Brain machine interface***

- The Brain Machine Interface (BMI) is a brain machine interfacing technology detecting brain signals and conversely stimulating the brain.
- **Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne, Center of Neuroprosthetics, Defitech Foundation Chair in BMI (CNBI)**
  - It mainly studies non-invasive BMI system to move robots or prosthetics. CNBI served as the coordinator of FP7 's TOBI project, but recently it also collaborates with Nissan and develops

the exoskeleton that can be moved by BMI, called MANO.

- **Sant'Ana School of Advanced Studies, Biorobotics Institute, Translational Neural Engineering Group**
  - In the NEBIAS project of FP7, it conducted research not only for grasping things with artificial hands, but also for recovering sensation through peripheral nerves.
- **The Italian Institute of Technology, Center for Neuroscience and Cognitive System, Neural Computer Interaction Laboratory**
  - Its research topics are the decoding of cortical electroencephalograms (ECoGs), and bi-directional BMI. It was the coordinator of FP7's SICODE project and studied the relationship between the internal state of the neural network and the response to external stimuli of the nerve.
- **Newcastle University, Institute of Neuroscience, Neural system and Applied neurophysiology group**
  - Its goal is to conduct the world's first clinical trial of cortical implants for optogenetic neural control on epilepsy patients.

#### *Brain computer interface*

- Brain computer interface (BCI) is an interface technology for directly connecting a brain with a computer.
- **Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA), LETI, CLIMATEC**
  - It develops a low-invasive electrode for a cortical electroencephalogram called "WIMAGINE". WIMAGINE is connected to an exoskeleton robot called "EMY (enhancing mobility)" by wireless communication technology, that can thus support walking of quadriplegic people.
- **G TEC**
  - It has put BCI system to practical use and marketed it in the rest of the world since 1999, and now sells its system to research institutions in over 60 countries.
- **Utrecht University, Hospital Rudolph Magnus Brain Center, BCI Group**
  - For the purpose of restoring the communication ability of patients with locked-in syndrome with invasive BCI, it develops a neural prosthesis inside the body, and extracorporeal equipments, antennas, receivers, computers.

#### *New artificial intelligence technology modeled by information processing in the brain*

- While fundamental research to understand the workings of the brain is progressing, research on new artificial intelligence technologies, especially information processing technologies modeled

by information processing in the brain is developing too. In Europe, it is often studied in the field named Brain-inspired ICT.

- This field, unlike BMI and BCI, has strong connection with the EU's Human brain project, and it is developed particularly within the Subproject 9 / "neuromorphic computing platform" in the Human brain project.
- **Heidelberg University, Kirchoff-institute for Physics, Electronic Vision Group**
  - It is one of the leading European research institutes in the brain-inspired computing system. It was the coordinator of the EU's Facets Project (the 6th Framework Program / FP6), BrainScales Project (the 7th Framework Program / FP7), and now it is the coordinator of the Subproject 9 of the Human Brain Project (FET Flagship / Horizon 2020). It is famous for developing a new type of computing system called BrainScales.
- **Manchester University, Institute of Computer Science, Advanced Processor Technologies Research Group**
  - It conducts research on a new computer architecture inspired by the human brain function called SpinNaker. Spinnaker is currently being developed in the Subproject 9 of EU's human brain project.
- **The French Scientific research center, Unit of Neuroscience, Information and Complexity, Neuroinformatics group**
  - One of the research goals is to understand how neural characteristics, synaptic properties and network connectivity interaction generate cortical and subcortical network functions, with a computational approach. It contributed to developing BrainScales with Heidelberg University, and now participates into the Subproject 9 of the Human Brain project with Heidelberg University and Manchester University.

#### ***Big Data for the brain***

- As brain research progresses, research on big data for the brain that analyzes and processes a large amount of generated brain information has also developed.
- Big data for the brain is very important in the EU's Human brain project. In particular, the Subproject 5 / "Neuroinformatics platform" aims to develop and provide tools and services for organizing and managing brain data generated in other Subprojects.
- **Brain and Spinal Cord Institute (ICM), Aramis Group**
  - ICM's Aramis Group develops new tools and software for human brain big data. It constructs a mathematical model of the brain for treatment of neurodegenerative diseases. It participates in the Subproject 8 / "Medical informatics platform" of the Human Brain project.

- **Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA), Frederick Joliot Research Institute, Neurospin, Information Analysis and Processing Unit**
  - Nao (NAO) group in Information Analysis and Processing Unit has developed a brain image analysis tool to map brain and model its variability. It participates into the Subproject 2 / "Human brain organization" of the Human Brain project.
- **Jurich Research Center, Institute of neuroscience and medicine, Structural and functional organization of the Brain (INM - 1), Big data analytics group**
  - It aims to develop a 3D model of the human brain in the Subproject 5 / "Neuroinformatics platform" of the Human Brain project. For that, it analyzes brain data with super computers.

#### *Brain signal measurement technology*

- The Advancement of brain signal measurement technology is indispensable for the development of brain research. Some projects are subsidized within the EU's human brain project.
- **Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA), Frederick Joliot Research Institute, Neurospin, MRI and Spectroscopy Unit and Cognitive Neuroscience Unit**
  - Neurospin is famous in the world for its large-scale MRIs. The MRI and Spectroscopy unit is developing the world's largest MRI, 11.7 T MRI, for clinical research (it will be used in 2019). Besides, the Cognitive neuroscience unit develops photon imaging technology, the world's first three-photon microscope.
- **Jurich Research Center, Institute of neuroscience and medicine, Structural and functional organization of the Brain (INM-1) and Medical Imaging Physics (INM-4)**
  - The development of three dimensional polarized imaging (3D-PLI) technology is underway by the Fiber architecture group of INM-1 in the Subproject 2 / "Human brain organization" of the Human brain project.
  - The INM-4 is famous for developing an MR-PET hybrid that combines a large-sized 9T MRI and a PET.
- **Florence University, Department of Physics, Biophysics Biophotonics Laboratory, Neuro Imaging Group**
  - In the Subproject 1 of the Human Brain Project 1 / "Mouse brain organization", it develops a light sheet microscope.

#### *Research for applying brain information as biomarker*

- Brain research is directly linked to the treatment of brain diseases. Research to apply brain information as bio markers, especially for brain diseases such as Alzheimer's disease and Parkinson's disease is conducted in Subproject 8 / "Medical informatics platform" of the EU's

Human brain project.

- **Lausanne University, Biology and Medicine Department, Neuro Imaging Laboratory**
  - One of the research themes is big data and biological signature of Alzheimer's disease. It is the coordinator of Subproject 8 / "Medical informatics platform" of the Human brain project.
- **Brain and Spinal Cord Institute (ICM), Aramis Group**
  - Aiming to construct a mathematical model of the brain based on brain information, it uses brain information as a biomarker for treatment of Alzheimer's disease. It participates into Subproject 8 / "Medical informatics platform" of the Human Brain project.
- **Charité / University Medicine Berlin**
  - Coordinator in the BIOCOG project of FP7, it conducted research to identify brain information for postoperative delirium and postoperative cognitive disorders.

#### *Neuro-economics*

- Neuro-economics is an interdisciplinary study based on diverse scientific knowledge such as biology, medicine, economics, psychology, engineering, that aims to understand the brain process leading to decision making. In addition, neuro-economics produced a research that applies neuroscience, neuro-science and neural engineering to marketing, Neuro-marketing.
- **University of Cambridge, Department of Physiology, Development and Neurosciences, Schultz laboratory**
  - It conducts research to identify the brain signals during reward and economic decision making. Using the concept of animal learning theory, economic decision theory, it combines behavioural theory, neurophysiology, neuroimaging (fMRI) methods.
- **University of Zurich, Social and Neurological Institute**
  - It is a research institute specializing in neuro-economics. It studies a neural network that mediates decision-making, namely the neurobiological basis of social and economic behaviour, the type of various reward types (money compensation, social reward, etc.), and the neural computation model that causally controls decision making.
- **Bit&Brain**
  - It develops applications of neural engineering such as EEG equipment. It provides neuro marketing platforms and products such as EEG equipment, biosensor, eye tracker, indoor position measurement system, research management software, etc. necessary to develop neuro marketing, and also consulting services. These products have been subsidized by EU Horizon 2020.

### *Neural electrodes*

- For the development of invasive BMI and BCI, it is prerequisite to record the electric activities of the brain by neural electrodes.
- **Albert-Ludwigs-University Freiburg University, Institute of Microsystem Technology (IMTEK), Biomedical Microtechnology Laboratory**
  - Its Electroactive coating group develops coating technology for neural electrodes that is less susceptible to inflammation. IMTEK created several spin-off companies such as Coretec.
- **Coretec**
  - It develops and commercializes an invasive flexible neural electrode for cortical electroencephalogram, called Airplay.
- **The Federal Institute of Technology of Lausanne, Center of Neuroprosthetics, Laboratory of Soft Bioelectronic Interfaces (LSBI)**
  - It develops soft electronic interface, namely, electronic skin and soft neural electrodes.

## 第 1 部 欧州における脳情報関連技術の研究開発プロジェクトの動向

- 第 1 部では、欧州における脳情報関連技術の研究開発プロジェクトの動向について記す。
- 欧州における研究開発の大きな特徴の 1 つは、各国内で研究開発が進められると共に、超国家的な政治枠組みである欧州連合（以下、EU とする）により積極的に助成されていることである。特に脳研究に関しては、現在 EU の ヒューマンブレインプロジェクト で、様々な研究が行われており、そこには、脳に着想を得た ICT（Brain-inspired ICT）や脳情報ビッグデータなどの脳情報関連技術の研究プロジェクトも含まれる。だが、注目すべきことは、同プロジェクトでは、BMI と BCI 分野に現在までのところ助成されていないことである。その上、EU の大型研究開発支援プログラムである第 7 次枠組計画（FP7：2007 年～2013 年）では、BMI 及び BCI 分野の数多くのプロジェクトが実施されたが、現行のホライゾン 2020（2014 年～2020 年：第 8 次枠組計画に相当）ではごく少数のプロジェクトしか採用されていない。結果として、BMI と BCI 分野に対する EU の研究予算が減額されており、欧州の同分野の研究者はこのような状況を問題視している。
- ヒューマンブレインプロジェクトは、スイスのローザンヌ連邦工科大学のブルーマインド研究院が実施していたブルーブレインプロジェクトを前身プロジェクトとしている。ブルーブレインプロジェクトでは、人工脳の開発が究極の目標とされ、それがヒューマンブレインプロジェクトに受け継がれている。こうして、ヒューマンブレインプロジェクトでは、特に脳のコンピュータモデルと脳情報データベースの開発が最重要視されており、研究テーマの選択に影響が出ている。
- 以上のような欧州の状況を考慮して、第 1 部ではヒューマンブレインプロジェクトとモアグラスプロジェクトの動向について紹介する。ヒューマンブレインプロジェクトは、単一の研究プロジェクトというよりは、複数のサブプロジェクトから構成される大規模研究プログラムなので、プログラムの構造や研究トピックなどの概要について記す。これに対して、モアグラスプロジェクトは、ホライゾン 2020 から助成される数少ない BMI 及び BCI 分野の研究プロジェクトであり、その具体的な内容について記す。

## 第1章 ヒューマンブレインプロジェクト

- ヒューマンブレインプロジェクト<sup>1</sup>は、EUが助成する脳研究の包括的な大型プロジェクトであり、神経科学、コンピューティング、脳医療の分野の研究開発を促進することを目的としている。同プロジェクトは、脳情報関連技術とつながりが深く、予算規模などを考慮すれば、今後、欧州の同技術の研究開発動向に大きな影響を与える可能性がある。
- アメリカでは、2013年に脳の包括的な研究を主導する「ブレイン・イニシアチブ」が創設されており、ヒューマンブレインプロジェクトは欧州における類似する取り組みと言える。
- ヒューマンブレインプロジェクトは、基本的に、EUから助成される12のサブプロジェクトとEUから助成されないパートナーリングプロジェクトから構成される。
- スイス、ドイツ、フランス、イギリス、イタリア、スペイン、オランダ、スウェーデンなどの一定の欧州諸国の組織が、ヒューマンブレインプロジェクトの多くのサブプロジェクトでリーダーあるいはサブリーダー、また、サブプロジェクトの作業パッケージのリーダーを務めている（特に、プロジェクト全体を主導するローザンヌ連邦工科大学（スイス）、ユーリッヒ研究センター（独）、ハイデルベルグ大学（独）、フランス国立科学研究センター、カロリンスカ研究所（スウェーデン）など）。
- ヒューマンブレインプロジェクトは、スイスのローザンヌ連邦工科大学のブルーマインド研究院が実施していたブルーブレインプロジェクトを前身プロジェクトとしている。ブルーブレインプロジェクトでは、人工脳の開発が究極の目標とされ、それがヒューマンブレインプロジェクトに受け継がれており、特に脳のコンピュータモデルと脳情報データベースの開発が重視されることになった。
- こうして、ローザンヌ連邦工科大学が実施する脳のシュミレーションモデルを開発する研究がプロジェクト全体の中で最も重要な研究の1つとして位置付けられ、また、脳情報ビッグデータの研究がヒューマンブレインプロジェクト全体を通して積極的に進められている。

---

<sup>1</sup> <https://www.humanbrainproject.eu/en/>

## 第1節 ヒューマンブレインプロジェクトの基本構造

### ホライゾン 2020 におけるヒューマンブレインプロジェクトの位置付け

- ヒューマンブレインプロジェクトは、ホライゾン 2020 の FET フラッグシッププロジェクト（FET：未来・新興技術）の一つである。
- ホライゾン 2020 の概要
  - ・ EU の大型研究開発助成プログラムであり、2007 年から 2013 年にかけて実施された第 7 次枠組計画の後継プログラムである。
  - ・ 2010 年に発表された EU の経済戦略、『ヨーロッパ 2020』<sup>2</sup>の重点的取り組みの 1 つである「イノベーションのための連合」を実現する手段である。
  - ・ 「卓越した科学」（予算：約 244 億ユーロ）、「産業界のリーダーシップ確保」（約 170 億ユーロ）、「社会的課題への取り組み」（約 296 億ユーロ）、「欧州イノベーション・技術機構」（約 27 億ユーロ）、「共同研究センター（約 19 億ユーロ）」などを主なトピックとし、2013 年から 2020 年にわたって、約 800 億ユーロを助成する予定である<sup>3</sup>。
  - ・ 例えば、情報通信技術（ICT）に関しては、「産業界のリーダーシップ確保」に ICT 部門向けの助成枠組みが設置され、将来インターネットなど、6 つのテーマが定められている。2 年ごとに公募要項を示す作業プログラムが発表され<sup>4</sup>、参加組織は研究コンソーシアムを作って、研究プロジェクトを実施する。
  - ・ FET フラッグシッププロジェクトは「卓越した科学」から助成される。
- FET（Future and Emerging Technologies：未来・新興技術）フラッグシップの概要
  - ・ EU の科学研究を重視した大規模研究開発助成イニシアチブであり、欧州を将来的に特定の分野の主導者とし、国際提携の中心地とすることを狙い、長期間に渡って助成を行う<sup>5</sup>。
  - ・ 2013 年にスタートし、10 年間にわたって、約 10 億ユーロ（2 プロジェクトに対して）が EU から拠出される予定である。
  - ・ 長期間の大規模な助成を特徴とする FET フラッグシッププロジェクトとして選ばれるためには、厳正な審査を受ける必要があり、2010 年にビッグデータやロボット工学などを含む 7 つのプロジェクトが提案されたが、2013 年に最終的に脳とグラフェンという 2 つの研究テーマのプロジェクトが選択され、開始されている。2016 年に、第 3

<sup>2</sup> <http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/COMPLET%20FR%20BARROSO%20-%20Europe%202020%20-%20FR%20version.pdf>

<sup>3</sup> <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>

<sup>4</sup> <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/information-and-communication-technologies>

<sup>5</sup> <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/fet-flagships#Article>

のテーマとして、量子技術が FET フラッグシッププロジェクトとして選ばれている<sup>6</sup>。

## ヒューマンブレインプロジェクトの背景

- ヒューマンブレインプロジェクトは、ブルーブレインプロジェクトという前身プロジェクトを持つ。ブルーブレインプロジェクトは、スイスのローザンヌ連邦工科大学のブレインマインド研究院が 2005 年に開始した齧歯類動物の人工脳、そして、究極的には人間の人工脳を開発することを目指すプロジェクトであった<sup>7</sup>。この人工脳を開発するという最終目標がヒューマンブレインプロジェクトに受け継がれることになる。
- ブレインマインド研究院を創設したのは、現在ヒューマンブレインプロジェクトのコーディネータであるヘンリー・マクラム (Henry Markram) 教授である。ブルーブレインプロジェクトのパートナーは、ヘブライ大学 (イスラエル)、IBM (米)、聖エリザベス医療センター (米)、マドリード工科大学 (西)、ロンドン大学 (英)、ネバダ大学 (米)、エール大学 (米) であった。ブレイン・マインド研究院は、米 IBM 社と協定を結び、同社のスーパーコンピューターである BlueGene/L が同プロジェクトで利用された。
- FET フラッグシッププロジェクトとして採用されるためには、2011 年から 2012 年の 1 年間、申請者は準備活動となるプロジェクトを実施しなければならなかった。ブレインマインド研究院は、この際、ヒューマンブレインプロジェクトを準備するためのプロジェクトを提案し、研究目標は、人間の脳の働きを理解することを通して、情報技術、医療、社会を変革することとされ、そのため、脳に関するあらゆる研究を統合して、巨大なデータベースと脳のコンピューターモデルを構築するとしていた<sup>8</sup>。このプロジェクトが、現在のヒューマンブレインプロジェクトの原型となり、ヒューマンブレインプロジェクトで脳のコンピューターモデルの開発と脳情報ビッグデータ研究が重要視されることになった。

### ヒューマンブレインプロジェクト (準備活動プロジェクト) の基本概要

プロジェクト略称	HBP
プロジェクト正式名称	ヒューマンブレインプロジェクト
コーディネータ	ローザンヌ連邦工科大学 (スイス)
研究期間	2011 年 5 月～2012 年 4 月 (12 ヶ月)
全予算 (EU 拠出金)	163 万 2174 ユーロ (141 万 4388 ユーロ)

<sup>6</sup>

<https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-commission-will-launch-eu1-billion-quantum-technologies-flagship>

<sup>7</sup> <https://bluebrain.epfl.ch/page-56882-en.html>

<sup>8</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/99188\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/99188_en.html)

参加組織	原子力・代替エネルギー庁(仏)、インスブルグ医科大学(オーストリア)、ヘブライ大学(イスラエル)、IMEC(ベルギー)、フォルティス(独)、ゲノム・リサーチ(英)、マドリッド工科大学(スペイン)、パスツール研究院(仏)、ローザンヌ大学病院(スイス)、カロリンスカ研究所(スウェーデン)、ユーリッヒ研究センター(独)、ハイデルベルグ大学(独)
------	--

## ヒューマンブレインプロジェクトの研究期間・予算・参加組織

- プロジェクト期間：2013年～2023年（10年間）
- 予算：約10億ユーロ（半分がEUから拠出、残りは加盟国と民間からの拠出）
- プロジェクト参加組織は欧州内外を含めて、100以上（現在、117組織）である<sup>9</sup>。

## ヒューマンブレインプロジェクトの目標

- ヒューマンブレインプロジェクトの前身となるブルーブレインプロジェクトでは、人工脳をつくることが最終目標とされたが、この目標が基本的にヒューマンブレインプロジェクトに受け継がれ、人間の脳のコンピュータモデルと脳情報のデータベースの開発が重視されている。以下に、6つの目標を記す。
  - ・ 脳研究、認知神経科学、脳に着想を得た科学向けの欧州科学研究設備を開発し、運用すること。
  - ・ 脳と脳疾患を記述するデータを収集し、組織し、流布すること。
  - ・ 脳をシュミレーションすること。
  - ・ 脳のマルチスケールの基礎理論とモデルを構築すること。
  - ・ 脳に着想を得たコンピューティング、データ分析、ロボット工学を発展させること。
  - ・ ヒューマンブレインプロジェクトにおける研究が責任を持って実施され、社会に利益をもたらすことを確保すること。

## ヒューマンブレインプロジェクトの構造

- ヒューマンブレインプロジェクトは、EUから助成されるコアプロジェクト及び共通設計（Co-design）プロジェクト、そして、EUから助成されないパートナーリングプロジェクトから構成される。

<sup>9</sup> <https://www.humanbrainproject.eu/en/open-ethical-engaged/contributors/partners/>

- コアプロジェクトは、12 のサブプロジェクトと 6 つの学際的な共通設計プロジェクトからなる。
- コアプロジェクトは EU から助成され、欧州の科学的リーダーシップと結束を強化し、研究設備の構築を行う<sup>10</sup>。
- 共通設計プロジェクトは EU から助成され、学際的なプロジェクトで、サブプロジェクトに参加する組織が参加する。
- 各サブプロジェクトは複数の作業パッケージから構成されている。作業パッケージ毎にコンソーシアムがつくられ、研究開発が行われる。
- パートナリングプロジェクトは、EU から助成されず、加盟国の研究開発支援機関などから助成され、コアプロジェクトを補完することを目的とし、ヒューマンブレインプロジェクトが構築するプラットフォームを実証的に試験する。

---

<sup>10</sup> <https://www.humanbrainproject.eu/en/collaborate/open-calls/subprojects-ceols/>

## ヒューマンブレインプロジェクトの構造図：コアプロジェクトとパートナーリングプロジェクト

### コアプロジェクト（EU から助成される）

#### 1. 12 サブプロジェクト

- マウスの脳の組織
- 人間の脳の組織
- システム認知神経科学
- 理論神経科学
- 神経情報学プラットフォーム
- 脳シミュレーションプラットフォーム
- 高性能分析・コンピューティングプラットフォーム
- 医療情報学プラットフォーム
- ニューロモーフィックコンピューティングプラットフォーム
- ニューロロボット工学プラットフォーム
- 管理とコーディネーション（ヒューマンブレインプロジェクト全体の事務と広報を担当）
- 倫理と社会

#### 2. 6 共通設計プロジェクト

- マウスの脳全体のモデルと関連するマウスの脳アトラスの開発
- マウスに基づく細胞皮質と皮質下のマイクロ回路モデル
- 人間の脳のマルチレベルアトラス
- 視覚・運動統合
- 大規模システムで学習する機能的可塑性
- 医薬品の発見のためのモデリング

#### 1. パートナーリングプロジェクト（EU から助成されない）

## ヒューマンブレインプロジェクトが構築するプラットフォーム

- ヒューマンブレインプロジェクトは収集されたデータを組織するプラットフォームを構築しており、研究者はデータにアクセスできる。プラットフォームにはプロジェクト参加組織でなくても、誰でもアクセスできるが、参加組織には利用特権がある。
  - ・ 神経情報学プラットフォーム：脳のデータの収集と組織を行う環境
  - ・ 脳シミュレーションプラットフォーム：収集されたデータに基づく脳組織の再構成とシミュレーションを行う環境
  - ・ 高性能分析・コンピューティングプラットフォーム：脳のマッピング、モデル構築、大規模シミュレーション、データ処理のためにコンピューティング機能を提供する環境
  - ・ 医療情報学プラットフォーム：脳の病気を理解することを目的として、病院と医療研究機関のデータを共有するための環境
  - ・ ニューロモーフィックコンピューティングプラットフォーム：脳に着想を得たコンピューティング技術を提供する環境
  - ・ ニューロロボット工学プラットフォーム：仮想、あるいは現実のロボット、脳モデルのシミュレーションを試験するための環境

**プロジェクトコーディネータ：ローザンヌ連邦工科大学生命科学部ブレインマインド研究院 (スイス)**

- ローザンヌ連邦工科大学生命科学部ブレインマインド研究院<sup>11</sup>は、ヒューマンブレインプロジェクトのコーディネータを務める欧州を代表する脳研究機関である。
- ブレインマインド研究院は、様々なアプローチを用い、開発して、脳の基本的な原理を理解することを目標としている。
- ブレインマインド研究院は、ヘンリー・マクラム教授<sup>12</sup>によって設立され、主導されている。同教授は、2005年にブルーブレインプロジェクトを開始しており、このプロジェクトがヒューマンブレインプロジェクトの前身プロジェクトとなっている。
- ブレイン・マインド研究院には中心となる20の研究所が設置されるとともに、関連する分野の18名の教授陣が同研究院で研究及び教育に従事している。
- ブレイン・マインド研究院の研究トピック
  - ・ 齧歯類動物を使った人間の神経退化性疾患のモデリングと治療
  - ・ 認知神経科学
  - ・ 神経補綴システム、ロボットインターフェース、神経リハビリテーション処置

<sup>11</sup> <https://sv.epfl.ch/brainmind>

<sup>12</sup> <https://markram-lab.epfl.ch/cms/lang/en/pid/79982>

- ・ ニューラルネットワークと計算神経科学
- ・ エピジェネティクス
- ・ 経頭蓋磁気刺激法 (TMS : Transcranial magnetic stimulation)、脳波 (EEG : Electroencephalogram)、数学モデリングを利用する視覚情報処理
- ・ 代数的位相幾何学と、その神経科学への応用
- ・ 脳の皮質構造と機能、それらと睡眠などの脳状態の関係理解、神経情報学、データ分析、スーパーコンピュータの利用
- ・ 神経可塑性、感覚運動機能の神経コントロール、運動スキル習得と学習、機能の再組織と回復、ニューロイメージング技術や非侵襲型の脳刺激技術
- ・ 生物標本の 3D イメージング
- ・ 化学、生物物理学、分子生物学の手法を統合して、プロテインのミスフォールディングと集合の解明
- ・ 脳エネルギー代謝の細胞と分子メカニズムの理解
- ・ 感覚運動システムに含まれる神経網とシナプス連結の理解
- ・ 新皮質のマイクロ回路の構造、機能、可塑性の理解 (ヒューマンブレインプロジェクトを主導するヘンリー・マクラム教授の専門<sup>13</sup>)
- ・ 個人のニューロンとシナプスの相互作用のレベルにおける感覚的知覚と学習の理解
- ・ 神経工学
- ・ 社会において、ストレスとパーソナリティが脳の機能と行動に影響を与えるメカニズム
- ・ シナプスのメカニズム、脳における情報処理の起源

## ヒューマンブレインプロジェクトサミットとオープンデー

- ヒューマンブレインプロジェクトは、年に一度プロジェクト参加組織向けの会議、ヒューマンブレインプロジェクトサミットを開催している。2 回目となる同サミットはイギリスのグラスゴーで、グラスゴー大学の主催によって 2017 年 10 月 18 日～19 日にかけて行われた。このサミットの前日に、プロジェクトを一般公開するイベント、ヒューマンブレインプロジェクトオープンデー (以下、オープンデーと略す) が開催された。オープンデーは市民やメディア、そして、特にヒューマンブレインプロジェクトに関心を持つ研究者を対象とするイベントである。
- オープンデーは、2 つのイベントから構成され、1 つはサイエンスマーケット、すなわち、ヒューマンブレインプロジェクト参加組織が場内にスタンドを立てて、直接イベン

<sup>13</sup> <https://markram-lab.epfl.ch>

ト参加者と交流する場であり、もう1つは欧州委員会やヒューマンブレインプロジェクト参加組織などによるカンファレンスである。

- 2017年のヒューマンブレインオープンデーのカンファレンスで、欧州委員会のヒューマンブレインプロジェクト科学責任者は、イギリスのEU離脱という政治的状況を踏まえて、イギリスがEUプロジェクトへの主要な参加者であることを強調し、また、英スコットランド議会議員は英政府を批判した（スコットランドではイギリスのEU離脱に反対の立場が優勢であった）。

## 第2節 ヒューマンブレインプロジェクトの研究内容

- 第1節で見たように、ヒューマンブレインプロジェクトは、EUから助成される12のサブプロジェクトとEUから助成されず、参加機関が資金を持ち寄るパートナーリングプロジェクトから構成される。ところで、サブプロジェクトの研究テーマ設定について、欧州の研究者から不満の声が上がっていないわけではない。例えば、当初、ヒューマンブレインプロジェクトの上層部は認知科学をサブプロジェクトとして認めることを却下しており、多くの議論の末、現在のように認知科学はサブプロジェクト3として設定されるに至っている。また、BMIとBCI分野にもヒューマンブレインプロジェクトから助成されておらず、同分野の研究者はこのような状況を問題視している。
- 以下に、まず、(1) 12サブプロジェクトの概要（プロジェクトリーダー組織名、主な研究内容、プロジェクトを構成する作業パッケージなど）について記す<sup>14</sup>。ついで、(2) 研究テーマの設定が引き起こした研究者間の論争、そして、研究者サイドからの不満について紹介する。

### (1) ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクトの概要

#### サブプロジェクト1: 「マウスの脳の組織」

- リーダー：スペイン生物医療技術センター<sup>15</sup>
- サブリーダー：パヴィア大学（イタリア）<sup>16</sup>、カロリンスカ研究所（スウェーデン）<sup>17</sup>
- 研究内容：人間の脳と比較研究を行うために、マウスの脳の研究をする。
  1. 作業パッケージの名称とリーダー
  2. 亜細胞と分子：ピサ高等師範学校（イタリア）<sup>18</sup>
  3. 細胞とマイクロ回路：スペイン生物医療技術センター
  4. 脳全体：フィレンツェ大学（イタリア）<sup>19</sup>
  5. マイクロ解剖データの統合：エジンバラ大学（イギリス）<sup>20</sup>

<sup>14</sup> 以下の情報は、ヒューマンブレインプロジェクトオープンデーのサイエンスマーケットのスタンドで配布されていた資料とインタビュー調査、カンファレンスのプレゼンテーションで得た情報に基づく。ヒューマンブレインプロジェクトのウェブサイトも参考のこと。

<https://www.humanbrainproject.eu/en/about/project-structure/subprojects/>

<sup>15</sup> <https://loop.frontiersin.org/people/5/bio>

<sup>16</sup> <http://www-5.unipv.it/dangelo/>

<sup>17</sup> <http://ki.se/en/neuro/grillner-laboratory>

<sup>18</sup> <https://www.sns.it/ugov/persona/antonino-cattaneo>

<sup>19</sup> <http://lens.unifi.it/bio/>

<sup>20</sup> <https://www.ed.ac.uk/informatics/news-events/inlecture/douglasarmstrong>

## 6. 管理と科学コーディネーション：スペイン生物医療技術センター

### ● その他

- ・ 収集したマウスの脳の構造に関わるデータを遺伝、分子、細胞、生理学のデータに結合、統合し、脳のモデルを開発する。

### サブプロジェクト2：「人間の脳の組織」

#### ● リーダー：ユーリッヒ研究センター（ドイツ）<sup>21</sup>

#### ● サブリーダー：原子力・代替エネルギー庁（フランス）<sup>22</sup>、フィレンツェ大学<sup>23</sup>

#### ● 研究内容：人間の脳がどのように組織され、どの領域が繋がり、一つの機能を実行するためにどの部分と一緒に働くか明らかにする。

#### ● 作業パッケージの名称とリーダー

##### 1. ヒューマンニューロゲノミクス：パスツール研究院（フランス）<sup>24</sup>

##### 2. 人間の脳の形態とアーキテクチャ：フィレンツェ大学

##### 3. 機能と可変性：デュッセルドルフ大学（ドイツ）<sup>25</sup>

##### 4. マルチモーダル処理ストリームの比較計算アーキテクチャ：ブレインイノベーション社（オランダ）<sup>26</sup>

##### 5. 統合マップとモデル：原子力・代替エネルギー庁

##### 6. 共通設計/方法とビッグデータ分析：ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン（イギリス）<sup>27</sup>

##### 7. 管理とコーディネーション：ユーリッヒ研究センター

### ● その他

- ・ ユーリッヒ研究センターは、脳研究向けに3D偏光イメージング技術を開発している。
- ・ 人間の脳のデータを収集し、プラットフォームの開発に利用する。

### サブプロジェクト3：「システム認知神経科学」

#### ● リーダー：アムステルダム大学（オランダ）<sup>28</sup>

#### ● サブリーダー：グラスゴー大学（イギリス）<sup>29</sup>、イタリア国立原子力物理研究院<sup>30</sup>（イタリア）

<sup>21</sup> [http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-1/EN/Amunts\\_Katrin.html](http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-1/EN/Amunts_Katrin.html)

<sup>22</sup> [http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites\\_de\\_recherche/neurospin/unati/research.aspx?Type=Chapitre&numero=3](http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites_de_recherche/neurospin/unati/research.aspx?Type=Chapitre&numero=3)

<sup>23</sup> <http://lens.unifi.it/bio/>

<sup>24</sup> <https://research.pasteur.fr/fr/team/human-genetics-and-cognitive-functions/>

<sup>25</sup> <http://www.neurosciences-duesseldorf.de/principal-investigators-and-junior-researchers/simon-b-eickhoff.html>

<sup>26</sup> <http://www.brainvoyager.com/index.html>

<sup>27</sup> <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/~john/>

<sup>28</sup> <http://www.uva.nl/en/profile/p/e/c.m.a.pennartz/c.m.a.pennartz.html>

<sup>29</sup> <http://muckli.psy.gla.ac.uk>

<sup>30</sup>

<http://home.infn.it/en/approfondimenti-3/interviews/1661-pier-stanislo-paolucci-interview-with-pier-stanislo-paolucci-researcher-at-the-infn-and-head-of-the-wavescales-project>

- 研究内容：認知神経科学の基礎研究を行い、最終的に応用研究として、ロボットに認知機能を装備させることを目指す。
- 作業パッケージの名称とリーダー
  1. コンテキストセンシティブ多感覚オブジェクト認知：グラスゴー大学
  2. ウェーブスケーリング実験とシミュレーション：イタリア国立原子力物理研究院
  3. 多感覚再構築としてのエピソード記憶：アムステルダム大学
  4. マウスと人間における意識メカニズムの実験とコンピューテーションによる探求と方法：オスロ大学<sup>31</sup>（ノルウェイ）
  5. 科学コーディネーション、プロジェクト管理、広報：アムステルダム大学
  6. 共通設計プロジェクトとインフラストラクチャへの貢献：アムステルダム大学
- その他
  - ・ ミロ（MiRO）というロボットの認知機能の開発に貢献している<sup>32</sup>。

#### サブプロジェクト4：「理論神経科学」

- リーダー：フランス国立科学研究センター<sup>33</sup>
- サブリーダー：ヘブライ大学<sup>34</sup>（イスラエル）、エックス・マルセイユ大学<sup>35</sup>
- 研究内容：脳を理解するために、数学モデルを使いながら、生命プロセスをシミュレーションする。
- 作業パッケージの名称とリーダー
  1. 様々なスケールに橋をかけること：フランス国立科学研究センター
  2. 脳モデルの一般モデル：ユーリッヒ研究センター<sup>36</sup>
  3. 学習と記憶：ローザンヌ連邦工科大学<sup>37</sup>（スイス）
  4. 認知プロセスのモデル：ポンペウ・ファブラ大学<sup>38</sup>（スペイン）
  5. モデルアクティビティと機能を実験データにつなぐこと：ユーリッヒ研究センター<sup>39</sup>とエックス・マルセイユ大学
  6. 欧州理論神経科学研究院：フランス国立科学研究センター
  7. 科学コーディネーション：フランス国立科学研究センター
- その他
  - ・ サブプロジェクト4は欧州理論神経科学研究院という研究組織を設立している。同組

<sup>31</sup> <http://www.med.uio.no/imb/personer/vit/jstorm/>

<sup>32</sup> <http://consequentialrobotics.com/miro/>

<sup>33</sup> <http://www.paris-neuroscience.fr/en/alain-destexhe>

<sup>34</sup> <https://elsc.huji.ac.il/index.php?q=segev/biocv>

<sup>35</sup> <http://ins.univ-amu.fr/research-teams/team-member/v.jirsa/>

<sup>36</sup> [http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-6/EN/Diesmann\\_Markus.html](http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-6/EN/Diesmann_Markus.html)

<sup>37</sup> <http://lcn.epfl.ch/~gerstner/>

<sup>38</sup> <https://www.upf.edu/web/cns/gustavo>

<sup>39</sup> [http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-6/EN/Gruen\\_Sonja.html](http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-6/EN/Gruen_Sonja.html)

織はフランスの国立科学研究センター<sup>40</sup>によって運営されている。

- ・ 脳情報ビッグデータの研究も行い、様々な病気、パーキンソン病、アルツハイマー病の進行を予見し、例えば、どんな外科手術をすればいいか検討することを可能にする。

#### サブプロジェクト5:「神経情報学プラットフォーム」

- リーダー：オスロ大学<sup>41</sup>（ノルウェイ）
- サブリーダー：カロリンスカ研究所<sup>42</sup>（スウェーデン）
- 研究内容：他のサブプロジェクトで生まれた脳情報を組織し、管理するためのツールとサービスを開発し、提供する。
- 作業パッケージの名称とリーダー
  1. データキュレーションサポート研究所：ローザンヌ連邦工科大学<sup>43</sup>
  2. 齧歯動物の脳のマルチレベルアトラス：オスロ大学
  3. 人間の脳のマルチレベルアトラス：ユーリッヒ研究センター<sup>44</sup>
  4. データとアトラスキュレーションツール：オスロ大学
  5. コミュニティ主導の神経情報学プラットフォームとインフラストラクチャ運営：ローザンヌ連邦工科大学
  6. データマイニングと神経情報学分析能力：ハイデルベルグ大学<sup>45</sup>（ドイツ）
  7. アクティビティデータの統合され、パーソナライズされた分析のためのツールとキュレーション：ユーリッヒ研究センター<sup>46</sup>（ドイツ）
  8. 管理とコーディネーション：オスロ大学
- その他
  - ・ 脳のマッピングを行い、3Dアトラスを開発する。

#### サブプロジェクト6:「脳シミュレーションプラットフォーム」

- リーダー：ローザンヌ連邦工科大学<sup>47</sup>
- サブリーダー：カロリンスカ研究所<sup>48</sup>、ローザンヌ連邦工科大学<sup>49</sup>
- 研究内容：脳モデルのデジタル再構築とシミュレーション向けに設計された共同プラットフォームとツールを開発し、提供する。
- 作業パッケージの名称とリーダー

---

<sup>40</sup> <https://www.eitn.org>

<sup>41</sup> <http://www.med.uio.no/imb/english/people/aca/jang/>

<sup>42</sup> <http://www.neuro.ki.se/grillner/cv/stencv.html>

<sup>43</sup> [https://www.researchgate.net/profile/Martin\\_Telefont](https://www.researchgate.net/profile/Martin_Telefont)

<sup>44</sup> [https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-1/EN/Dickscheid\\_Timo.html?nn=534704](https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-1/EN/Dickscheid_Timo.html?nn=534704)

<sup>45</sup> <https://hci.iwr.uni-heidelberg.de/people/fhamprec>

<sup>46</sup> [http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-6/EN/Gruen\\_Sonja.html](http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-6/EN/Gruen_Sonja.html)

<sup>47</sup> <https://bluebrain.epfl.ch/projectdirector>

<sup>48</sup> <http://ki.se/en/neuro/hellgren-kotaleski-laboratory>

<sup>49</sup> <https://bluebrain.epfl.ch/people/felixschuermann>

1. 下位細胞と分子モデリング：カロリンスカ研究所
  2. 細胞レベルと脳全体のモデリング：パヴィア大学<sup>50</sup>
  3. 再構築とシュミレーションツール：ローザンヌ連邦工科大学
  4. ブレインシュミレーションプラットフォーム：イタリア国立研究評議会<sup>51</sup>（イタリア）
  5. コーディネーションとコミュニティ・アウトリーチ：カロリンスカ研究所
- その他
    - 同サブプロジェクトのリーダーは、ヒューマンブレインプロジェクト全体を主導するローザンヌ連邦工科大学のヘンリー・マクラム教授が務め、ヒューマンブレインプロジェクトでは中心的なサブプロジェクトである。
    - オープンで、協動的な脳のシュミレーション科学を発達させることを目指す。

#### サブプロジェクト7:「高性能分析・コンピューティングプラットフォーム」

- リーダー：ユーリッヒ研究センター<sup>52</sup>
- サブリーダー：ETH チューリッヒ<sup>53</sup>（スイス）
- 研究内容：収集された脳データに基づいてモデルを開発することをサポートするコンピューティングツールの開発と提供
- 作業パッケージの名称とリーダー
  1. シュミレーション技術：ユーリッヒ研究センター<sup>54</sup>とノルウェイ生命科学大学<sup>55</sup>
  2. データ集中スーパーコンピューティング：ユーリッヒ研究センター<sup>56</sup>
  3. インタラクティブ・ビジュアライゼーション：RWTH アーヘン大学<sup>57</sup>（ドイツ）
  4. ダイナミック資源管理：バルセロナ・スーパーコンピューティングセンター<sup>58</sup>（スペイン）
  5. 高性能分析・コンピューティングプラットフォーム：ETH チューリッヒ
  6. 管理とコーディネーション：ユーリッヒ研究センター
- その他
  - ユーリッヒ研究センター、バルセロナ・スーパーコンピューティングセンター、スイ

<sup>50</sup> <http://www-5.unipv.it/dangelo/>

<sup>51</sup> <http://www.pa.ibf.cnr.it/personale/migliore/index.php>

<sup>52</sup> [http://www.fz-juelich.de/ias/jsc/EN/AboutUs/Staff/Lippert\\_T/vita.html;jsessionid=4D03DCF39E927DCF6D9B425D3DC236BF?nn=362224](http://www.fz-juelich.de/ias/jsc/EN/AboutUs/Staff/Lippert_T/vita.html;jsessionid=4D03DCF39E927DCF6D9B425D3DC236BF?nn=362224)

<sup>53</sup> [http://www.ethlife.ethz.ch/archive\\_articles/080925\\_Schulthess\\_CSCS/](http://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/080925_Schulthess_CSCS/)

<sup>54</sup> [http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-6/EN/Diesmann\\_Markus.html](http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/INM/INM-6/EN/Diesmann_Markus.html)

<sup>55</sup> <http://arken.nmbu.no/~plessner/>

<sup>56</sup> [https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/IAS/JSC/EN/staff/pleiter\\_d.html](https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Personen/IAS/JSC/EN/staff/pleiter_d.html)

<sup>57</sup>

<http://www.rwth-aachen.de/cms/root/Die-RWTH/Aktuell/Pressemitteilungen/Januar/~dirh/Europaeisches-Megaprojekt-entw ickelt-Verf/?lidx=1>

[https://www.researchgate.net/profile/Benjamin\\_Weyers](https://www.researchgate.net/profile/Benjamin_Weyers)

<sup>58</sup> <https://www.bsc.es/sirvent-pardell-raul>

ス国立スーパーコンピューティングセンター (ETH チューリッヒの内部組織)<sup>59</sup>、スーパーコンピューティング・アプリケーション&イノベーション<sup>60</sup> (イタリア) のスーパーコンピュータが利用される。

#### サブプロジェクト8: 「医療情報学プラットフォーム」

- リーダー：ローザンヌ大学<sup>61</sup> (スイス)
- サブリーダー：テル・アヴィブ大学<sup>62</sup> (イスラエル)
- 研究内容：神経病や精神病を理解するために、脳情報を収集し、分析するためのツールを開発する。
- 作業パッケージの名称とリーダー
  1. 連合された臨床データインフラストラクチャ：ローザンヌ連邦工科大学<sup>63</sup>
  2. データ選択とコミュニティ参加：ローザンヌ大学<sup>64</sup>
  3. データ、ツール、病気の生物サイン：テル・アヴィブ大学
  4. 理論、病気モデル、ビッグデータ工学：カーディフ大学 (イギリス)<sup>65</sup>
  5. 医療情報学プラットフォーム：ローザンヌ大学
- その他
  - ・ 脳情報をバイオマーカとして利用し、脳疾患の治療を改善すること、治療、脳科学、臨床研究の間にある障壁を取り除くことを目指す。
  - ・ 病院、研究機関などから安全な仕方でも脳医療データを収集し、蓄積して、誰でも利用可能なオープンソースインフラストラクチャを開発する。
  - ・ 脳疾患の予防と治療のためにビッグデータ技術を開発するため、WP3 では、収集したデータから数学的モデル、アルゴリズムを開発する。これにより、アルツハイマー病の患者の個人ごとに異なる進展を予測できる。以上のため、収集されたデータから病気進行モデルを研究するためのソフトウェアを開発しており、プラットフォームに搭載する予定である。インターフェースはすでに完成しており、すべての完成にはさらに 3 か月かかる。最終的にプラットフォームには誰でもアクセスできるようになる。フランスの脳・脊髄院 (ICM) がソフトウェアを開発している。

#### サブプロジェクト9: 「ニューロモーフィックコンピューティングプラットフォーム」

- リーダー：ハイデルベルグ大学<sup>66</sup>

---

<sup>59</sup> <http://www.cscs.ch>

<sup>60</sup> <http://www.hpc.cineca.it/news/marconi-new-cineca-supercomputer>

<sup>61</sup> <https://www.unil.ch/lren/en/home/menuinst/lab-members/directorate/ferath-kherif.html>

<sup>62</sup> <http://ictaf.tau.ac.il/inner.asp?page=about&sub=10&lang=eng>

<sup>63</sup> <https://people.epfl.ch/anastasia.ailamaki?lang=en>

<sup>64</sup> <https://www.unil.ch/lren/en/home/menuinst/lab-members/directorate/bogdan-draganski.html>

<sup>65</sup> <https://www.cardiff.ac.uk/people/view/126648-pocklington-andrew>

<sup>66</sup> <http://www.kip.uni-heidelberg.de/~meierk/?lang=en>

- サブリーダー：マンチェスター大学<sup>67</sup>（イギリス）
- 研究内容：ブレインスケールズ（BrainScaleS）とスピNNaker（SpiNNaker）という2つの脳に着想を得たコンピューティングシステムの開発と運用、そして、脳に着想を得た新しい人工知能の研究を行う。
- 作業パッケージの名称とリーダー
  1. プラットフォームソフトウェアと運用：フランス国立科学研究センター<sup>68</sup>
  2. 次世代物理モデル実行：ハイデルベルグ大学<sup>69</sup>
  3. 次世代メニーコア実行：マンチェスター大学<sup>70</sup>
  4. コンピューテーショナル原則：グラーツ工科大学<sup>71</sup>（オーストリア）
  5. プラットフォームトレーニングとコーディネーション：ハイデルベルグ大学
- その他
  - ・ ブレインスケールズとスピNNakerという既存の脳に着想を得たコンピューティング技術の開発をヒューマンブレインプロジェクトでさらに進める。

#### サブプロジェクト10：「ニューロロボット工学プラットフォーム」

- リーダー：ミュンヘン工科大学<sup>72</sup>（ドイツ）
- サブリーダー：ローザンヌ連邦工科大学<sup>73</sup>
- 研究内容：脳モデルとそれが搭載されるロボットを試験する仮想環境を開発する。
- 作業パッケージの名称とリーダー
  1. クローズド・ループ実験（データ主導脳モデル）：ローザンヌ連邦工科大学
  2. クローズド・ループ実験（機能/コントロールモデル）：サンターナ大学院大学<sup>74</sup>（イタリア）
  3. クローズド・ループ実験の構成要素：KIT<sup>75</sup>（ドイツ）
  4. トランスレイショナル神経ロボット工学：ミュンヘン工科大学<sup>76</sup>
  5. 神経ロボット工学向けのシュミレーションとビジュアライゼーション：フォルティス社<sup>77</sup>（ドイツ）
  6. 神経ロボットプラットフォーム：ミュンヘン工科大学<sup>78</sup>
  7. 科学コーディネーションとコミュニティ・アウトリーチ：ミュンヘン工科大学<sup>79</sup>

<sup>67</sup> <http://apt.cs.manchester.ac.uk/people/sfurber/>

<sup>68</sup> [https://www.unic.cnrs-gif.fr/people/Andrew\\_Davison/](https://www.unic.cnrs-gif.fr/people/Andrew_Davison/)

<sup>69</sup> <https://loop.frontiersin.org/people/1075/overview>

<sup>70</sup> <http://www.cs.manchester.ac.uk/about-us/staffspotlights/steve-furber/>

<sup>71</sup> <http://www.igi.tugraz.at/maass/>

<sup>72</sup> <https://www6.in.tum.de/en/people/prof-dr-ing-habil-alois-knoll/>

<sup>73</sup> <https://bluebrain.epfl.ch/page-77938-en.html>

<sup>74</sup> <http://sssa bioroboticsinstitute.it/user/57>

<sup>75</sup> [http://his.anthropomatik.kit.edu/21\\_321.php](http://his.anthropomatik.kit.edu/21_321.php)

<sup>76</sup> <https://www.nst.ei.tum.de/team/jorg-conradt/>

<sup>77</sup> [https://www.researchgate.net/profile/Axel\\_Von\\_Arnim](https://www.researchgate.net/profile/Axel_Von_Arnim)

<sup>78</sup> <https://www6.in.tum.de/en/people/prof-dr-ing-habil-alois-knoll/>

- その他
  - ・ プラットフォームとして、ロボット工学に利用出来る仮想環境を開発している。
  - ・ 生物に着想を得たロボット工学の開発

#### サブプロジェクト11:「管理とコーディネーション」

- リーダー：ローザンヌ連邦工科大学
- サブリーダー：ローザンヌ連邦工科大学
  - ・ 活動内容：ヒューマンブレインプロジェクト全体の事務や広報など

#### サブプロジェクト12:「倫理と社会」

- リーダー：ウプサラ大学<sup>80</sup>（スウェーデン）
- サブリーダー：パスツール研究院<sup>81</sup>
- 研究内容：脳研究が社会や倫理面で引き起こす問題を予測し、検討する。
- 作業パッケージの名称とリーダー
  1. 予測：キングス・カレッジ・ロンドン<sup>82</sup>（イギリス）
  2. 神経倫理学と哲学：ウプサラ大学
  3. 公的対話と参加：デンマーク技術基金ボード<sup>83</sup>（デンマーク）
  4. 倫理管理：ド・モンフォート大学<sup>84</sup>（イギリス）
- その他
  - ・ ヒューマンブレインプロジェクトで実施されている研究プロジェクトが欧州の研究規範を順守しているかチェックする。違反がある場合は研究を停止できる。
  - ・ 神経科学の倫理的側面について考察することは、研究を遅らせる要因となりうる。だが、このように遅く進むことが最終的に最も速く最終的な目標にたどり着く手段でもある。

#### ヒューマンブレインプロジェクトへの非EU加盟国による参加条件

- 日本のような非EU加盟国のヒューマンブレインプロジェクトへの参加条件
  - ・ EU非加盟国は、原則上、EUから財政支援されるコアプロジェクトには参加できない。
  - ・ EU非加盟国は、パートナーリングプロジェクトには参加できるが、予算は自国持ちである。
  - ・ パートナリングプロジェクトに参加することによって、準メンバーとなる。
  - ・ パートナリングプロジェクトに参加するには、プロジェクトの計画をヒューマンブレ

<sup>79</sup> <http://www.i6.in.tum.de/Main/Roehrbei>

<sup>80</sup> <http://www.crb.uu.se/staff/kathinka-evers/>

<sup>81</sup> <https://research.pasteur.fr/fr/member/jean-pierre-changeux/>

<sup>82</sup> <http://nikolasrose.com>

<sup>83</sup> <http://www.tekno.dk/contacts/lars-kluever/?lang=en>

<sup>84</sup> <http://www.dmu.ac.uk/about-dmu/academic-staff/technology/bernd-carsten-stahl/bernd-carsten-stahl.aspx>

インプロジェクト側に提出し、審査を受ける必要がある。参加にあたっては、ヒューマンブレインプロジェクトと MOU を結ぶ必要があり、倫理面などで基準がある。だが、MoU には拘束力はない。

- ヒューマンブレインプロジェクトに参加する意義
  - プラットフォームは誰でもアクセスできるが、準メンバーには特別なアクセス権がある。
  - プラットフォームの開発に貢献できる。
  - ヒューマンブレインプロジェクトサミットなどの会議への参加権が得られる。
  - ヒューマンブレインプロジェクトの研究内容を知ることができる。
  - 欧州内で存在感を高めることができる

#### **ヒューマンブレインプロジェクト教育プログラム**

- ヒューマンブレインプロジェクトは学生向け（修士課程からポストドクターまで）の教育プログラムを持つ。
  - 学生向けのワークショップの実施しており、日本の学生もワークショップなどに参加可能である。

## (2) ヒューマンブレインプロジェクトの問題点

- 以上、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクトを概観してきたが、ヒューマンブレインプロジェクトは、2013年の開始から現在まで順風満帆に進められてきたわけではなく、研究者サイドから不満の声も上がっている。それは特に、プロジェクトの研究方針、すなわち、研究テーマの設定に関わる。ヒューマンブレインプロジェクトは、ローザンヌ連邦工科大学のブルーマインド研究院が実施していたブルーブレインプロジェクトを前身プロジェクトとしていたことを忘れてはいけない。ブルーブレインプロジェクトでは、人工脳の開発が究極の目標とされたが、それがヒューマンブレインプロジェクトに受け継がれ、ヒューマンブレインプロジェクトでは、特に脳のコンピュータモデルと脳情報データベースの開発が最重要視されることになり、研究テーマの選択に影響が出たのである。
- 以下、ヒューマンブレインプロジェクトへの批判を2点紹介する。
  1. ヒューマンブレインプロジェクト開始当初、フランスの研究機関である原子力・代替エネルギー庁のフレデリック・ジョリオ研究院ニューロスピンを主導する認知科学者のスタニスラス・ドゥアエヌ教授が中心となって、欧州の認知科学の研究者は認知科学研究をEUから助成されるコアプロジェクトの一つのテーマとして提案していたが、ローザンヌ連邦工科大学のヘンリー・マクラム教授が主導するヒューマンブレインプロジェクトの理事会にこの提案は却下された。ドゥアエヌ教授は2014年に他の多くの研究者とともに公開の抗議文書<sup>85</sup>を欧州委員会に提出し、ヒューマンブレインプロジェクトは大きな論争を巻き起こした。ドゥアエヌ教授は、ヘンリー・マクラム教授が目標とする人間の脳のシュミレーション、すなわち、分子、細胞、解剖などの脳データを出発点とする「ボトムアップ」型の研究を批判し、人間の行動や人間やマウスなどの脳内の電気活動の記録から出発するトップダウン型の研究の必要性を訴えた。その後、認知科学の研究はサブプロジェクトの1つとして結局認められることになったが、スタニスラス・ドゥアエヌ教授はヒューマンプロジェクトから離れている<sup>86</sup>。
  2. 欧州の研究者からの不満の声は、認知科学分野からだけではなく、BMIとBCI分野からも上がっている。現在までのところ、この分野はヒューマンブレインプロジェクトの助成対象となっていないからである。ヒューマンブレインプロジェクトにはロボット工学のサブプロジェクトもあり、そこではBMIが研究トピックの1つとして含められてい

<sup>85</sup> <http://www.neurofuture.eu>

<sup>86</sup> <http://www.nature.com/news/brain-fog-1.15514>

<http://www.sciencemag.org/news/2014/07/updated-european-neuroscientists-revolt-against-eus-human-brain-project>

るのだ<sup>87</sup>が、実際には助成されていないのが現状である。さらに、第7次枠組計画ではBMIとBCI分野の多くのプロジェクトに助成されたが、ヒューマンブレインプロジェクト以外のホライゾン2020の同分野のプロジェクトはごく少数である。こうして、EUからBMIとBCI分野への研究助成は減額されており、同分野の研究者から不満が上がっている。

こうして、ヒューマンブレインプロジェクトの研究対象の設定が批判の対象になっている一方で、同プロジェクトの一つのプロジェクトとしての一貫性の高さを評価する人もいる。FET フラッグシッププロジェクトは、2010年から公募を開始し、2011年に6つの候補となるプロジェクトが選ばれ、最終的にヒューマンブレインプロジェクトとグラフェンの研究が選ばれ、2013年からこれら2つのプロジェクトが開始されている。ヒューマンブレインプロジェクトとグラフェンプロジェクトが選考された理由の一つとして、プロジェクトの最終目標の明快さと単純さ、そして、一貫性の高さをあげるプロジェクト関係者もいる<sup>88</sup>。つまり、認知科学やBMIとBCI分野を退けて、研究トピックを絞ったからこそ、ヒューマンブレインプロジェクトはFETフラッグシッププロジェクトとして選択という意見もある。

---

<sup>87</sup> 2017年10月にグラスゴーで開催されたヒューマンブレインプロジェクトオープンデーにおけるプレゼンテーションでは、BMIも研究トピックとして挙げられていた。

<sup>88</sup> 2017年12月21日にフランスのバリで開催されたFETフラッグシップ・インフォメーションデーにおけるヒューマンブレインプロジェクト関係者の発言による。

<http://www.horizon2020.gouv.fr/cid123210/journec-d-information-sur-les-futurs-flagships-fet.html>

## 第2章 モアグラスプロジェクト

- 前章では、EU のヒューマンブレインプロジェクトを概観したが、ついで、同じく EU のホライゾン 2020 から助成されているモアグラスプロジェクトを紹介する。
- モアグラスプロジェクトは、特に脊髄の疾患や損傷の問題を持つ人向けに、非侵襲型の BCI を使い、コミュニケーションや一定の動作の可能にするアプリケーションや補綴の開発を実施しており、実際に試験的使用を行っている。
- プロジェクトコーディネータのグラーツ工科大学は、BCI 研究に関して、欧州で非常に有名な研究機関の 1 つであり、EU の第 7 次枠組計画（2007 年～2013 年）では多くのプロジェクトに参加し、2 つのプロジェクトでプロジェクトコーディネータの役割を果たした。
- モアグラスプロジェクトは、EU のホライゾン 2020 から助成されている数少ないプロジェクトである。第 7 次枠組計画（FP7：期間 2007 年～2013 年）では、BMI 及び BCI 関連では、BACKHOME プロジェクト、MINDSEE プロジェクト、NEBIAS プロジェクト、SICODE プロジェクト、ABC プロジェクト、ASTERICS プロジェクト、BETTER プロジェクト、BRAIN プロジェクト、BRAINABLE プロジェクト、CONTRAST プロジェクト、DECODER プロジェクト、MINDWALKER プロジェクト、MUNDUS プロジェクト、TOBI プロジェクト、TREMOR プロジェクト、WAY プロジェクト、BNCI ホライゾン 2020 プロジェクト、Future BNCI プロジェクトと、多くのプロジェクトに助成されていたが<sup>89</sup>、ホライゾン 2020 では、モアグラスプロジェクトが唯一助成されているプロジェクトである<sup>90</sup>。
- FP7 では、BMI と BCI に特化して、公募枠は設置されておらず、「アクセス可能性と社会支援 ICT」、「スマートで、パーソナライズされた社会統合のための ICT」、「パーソナルヘルスシステム」などの障害者を支援する ICT や e ヘルスの公募枠、あるいは、「認知システムとロボット工学」という公募枠で同分野の研究プロジェクトに助成されていた。

<sup>89</sup> <http://bnci-horizon-2020.eu/project/related-projects>

<sup>90</sup> モアグラスプロジェクトのコーディネータからの情報による。

## 第1節 モアグラスプロジェクトの概要

- モアグラスプロジェクト<sup>91</sup>は、BCI で神経補綴を操作するために実際に必要なすべての要素（BCI、神経補綴、EEG 機器、被験者データのプラットフォーム、スマートウォッチなど）を開発していること、実際のエンドユーザ（運動機能に障害がある人々）と一緒に実験開発を行っている。
- モアグラスプロジェクトでは、ドイツ語圏の組織、すなわち、オーストリア（プロジェクトコーディネータ：グラーツ工科大学）、ドイツ（ハイデルベルグ大学病院）、そして、イギリス（グラスゴー大学）の研究組織が中心となり、プロジェクトを進めている。

### モアグラスプロジェクトの基本情報

プロジェクト名	モアグラスプ (MoreGrasp)
正式名称	日常生活におけるインタラクションに必要な複合神経補綴による脊髄損傷を伴う個人の上肢機能の回復
研究期間	2015年3月～2018年2月 (36か月)
予算規模 (EU 拠出分)	347万1452.5ユーロ (347万1452.5ユーロ)
コーディネータ	グラーツ工科大学神経工学研究院 BCI 研究所 (オーストリア)
参加組織	ハイデルベルグ大学病院 (独)、グラスゴー大学 (英)、メーデル医療電子 (独)、BIT&ブレイン・テクノロジー (スペイン)、ノウセンター (オーストリア)

<sup>91</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/194120\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/194120_en.html)  
<http://www.moregrasp.eu>

## 第2節 モアグラスブ オープンハウスイベント視察レポート

- モアグラスブプロジェクトの研究体制と研究内容をより詳しく調査するために、モアグラスブオープンハウスイベントを視察した。
- モアグラスブオープンハウスイベントでは、2018年2月のプロジェクト終了期日を前に、研究成果がドイツのハイデルベルグで、2017年11月27日～29日の3日間にわたって発表された。
- イベントでは、プロジェクトの概要の紹介のほか、同プロジェクトで製作された BCI システム、EEG 機器、上肢向けの神経補綴のデモンストレーションを実際に運動機能に障害のある人に着用して行った。
- イベント参加人数は30名ほどであった（医療施設従事者など）。
- イベントは、モアグラスブプロジェクト参加組織の一つであるハイデルベルグ大学病院で行われた。同病院はドイツで脊髄損傷による運動障害の治療や回復で有名であり、長年グラーツ工科大学とともに BCI の研究を実施しており、特に神経補綴の開発と臨床試験を担当している。
- 調査項目：ホライゾン 2020 のプロジェクト、脳情報デコーディング、BMI、BCI、脳情報計測技術（特に EEG）、神経電極（特に、上肢の補綴向け）
- 調査理由：
  - ・ モアグラスブプロジェクトは、欧州連合（EU）のホライゾン 2020 から助成されている研究プロジェクトである。ホライゾン 2020 では、現在までのところ、BCI や BMI 関連のプロジェクト予算が減らされており、モアグラスブプロジェクトはホライゾン 2020 から助成される数少ないプロジェクトの1つである。
  - ・ モアグラスブプロジェクトの目標は、特に脊髄損傷の問題を持つ人向けに、非侵襲性の BCI（ブレイン・マシン・インターフェース）システムを使い、一定の動作（特に物をつかむ動作）を可能にするアプリケーションや神経補綴を開発することであり、実際に臨床試験を行っている。
  - ・ プロジェクトコーディネータのグラーツ工科大学は、BCI 研究に関して、欧州で非常に有名な研究機関の1つである。

### イベントの概要

イベントでは、モアグラスブプロジェクトの概要説明、開発物の紹介とエンドユーザによるデモンストレーションが行われた。以下に、その概要を記す。

写真：会場の様子



## セッション1/ モアグラスプロジェクトの概要

### プレゼンテーション：モアグラスプロジェクトの全体像

- モアグラスプロジェクトは、6つの組織のコンソーシアムによって実施されている。
  - グラーツ工科大学神経工学研究院（オーストリア）<sup>92</sup>：20年以上前に、EEGに基づくオンラインBCIシステムを導入した研究組織の1つである。同組織は、モアグラスプロジェクトの他、EUからフィール・ユア・リーチプロジェクトで研究助成を受けている<sup>93</sup>。2年か、3年に一度ブレイン・コンピュータ・インターフェース会議<sup>94</sup>をグラーツで開催している。
  - ハイデルベルグ大学病院SCI（Spinal Cord Injury）センター<sup>95</sup>：ドイツで唯一SCIの治療を専門とする大学機関である。SCIの治療向けに、最先端の工学的方法の応用を研究している。
  - グラスゴー大学計算機科学部IDI（Inference, Dynamics and Interaction）グループ<sup>96</sup>：イギリスのグラスゴー大学では、人間とコンピュータの研究を30年以上前から実施している。

<sup>92</sup> <https://www.tugraz.at/institute/ine/home/>

<sup>93</sup> <https://www.tugraz.at/institute/ine/research/current-projects/feel-your-reach/>

<sup>94</sup> <https://www.tugraz.at/institute/ine/graz-bci-conferences/7th-graz-bci-conference-2017/>

<sup>95</sup>

<https://www.heidelberg-university-hospital.com/diseases-treatments/brain-and-nervous-system-diseases/spinal-cord-injury/>

<sup>96</sup> <http://www.dcs.gla.ac.uk/idi/>

- ・ ノウセンター<sup>97</sup>：オーストリアの研究組織であり、マシンラーニングを使ったビッグデータ分析ツールやプラットフォームなどの開発が研究トピックの1つである。脳情報だけが研究開発の対象ではなく、他のデータの分析処理も行なっている。
- ・ ビット・ブレイン社<sup>98</sup>：スペインの新興企業であり、EEG キャップや EEG 増幅器などを開発している。
- ・ メーデル社<sup>99</sup>：ドイツの医療端末製造事業者であり、補綴などを開発している。
- モアグラスプロジェクトの目標
  - ・ 一般的な目標：事故などで物をつかむ上肢の機能を失った人々向けに、EEG 計測技術と BCI を使う上肢向けの神経補綴を開発する。特に、利用が簡単な BCI システムと補綴を製作することを目指し、ユーザの BCI 使用を助けるスマートウォッチも開発する。
  - ・ 目標 1：EEG 計測技術を使う非侵襲性の BCI システムの開発
  - ・ 目標 2：半自動的な非侵襲性の神経補綴の開発
  - ・ 目標 3：BCI システムや神経補綴のパーソナライゼーションとユーザ中心の設計
  - ・ 目標 4：被験者の情報登録や被験者選択向けのウェブサービスの開発
  - ・ 目標 5：被験者と共に、長期間の臨床研究（生活品質の改善の研究も含む）
- モアグラスプロジェクトでは、実際にエンドユーザとなる運動機能に障害がある人々を募集し、実験に協力してもらっている。

### プレゼンテーション：モアグラス共有コントロールコンセプト

- モアグラスプロジェクトの研究内容：物をつかむ上肢の機能を失った人向けに、EEG 計測技術、神経補綴、また、BCI システム、あるいはジョイスティック（胸部と肩に装着する）を使って、2つのグラスパターン（grasp pattern）を回復させる。モアグラスプロジェクトでは、BCI でも、ジョイスティックでも神経補綴を操作できるシステムを開発し、被験者は選ぶことが可能である。
- グラスパターン 1：キーグラスパターン（鍵を回す時の手の型）：これは、指が全て開いた状態から、まず、親指以外の 4 本の指を閉じ、親指を最後に上から下に閉じるグラスパターンである。このパターンは小さな物をつかむのに向いている。
- グラスパターン 2：パルマーグラスパターン（手のひらを使って物をつかむ際の手の型）：このパターンは手のひらを使って缶を持つ時のような手の型であり、大きな物をつかむのに向いている。

<sup>97</sup> <http://www.know-center.tugraz.at/en/>

<sup>98</sup> <http://www.bitbrain.es/en/>

<sup>99</sup> <http://www.medel.com/int/>

## セッション2/ 臨床試験

- モアグラスプロジェクトの特長のひとつは、実際にエンドユーザが臨床試験に参加し、開発に協力していることである。

### 臨床試験の概要

- 臨床試験の手続き（3段階）
  1. BCI（Brain Computer Interface）と FES（Functional Electrical Stimulation）のスクリーニング（適性検査）の実施
  2. 開始後、8～12週間 BCIとFESのトレーニングと並行して、各被験者に対する神経補綴のパーソナライゼーションを行う
  3. 日常生活での使用
- BCIのスクリーニングとトレーニング
  - スクリーニングでは、最初の EEG データをエンドユーザから収集する。
  - トレーニングでは、BCIシステムに被験者を慣れさせることが目標となる。
  - モアグラスプロジェクトでは、ゲームベースのスクリーニングやトレーニングツールも開発した。
- FESのスクリーニングとトレーニング
- FESスクリーニングでは、被験者の筋肉の状態や電気刺激に対する反応を検査する。モアグラスプロジェクトでは、FESスクリーニングソフトウェア（モバイル評価ツールキットの一部）を開発しており、プラットフォーム上に情報を入録し、随時チェックできる。
- トレーニングでは、被験者が電気刺激装置を使って、補綴を実際に利用し、手を動かす訓練を行う。
- マッチメイキングプラットフォーム及びモバイル評価ツールキットの開発
  - モアグラスプロジェクトでは専門家をサポートするデジタルツールを開発した。
  - マッチメイキングプラットフォームには、臨床試験希望者が様々な情報を登録でき、専門家がそれを見て被験者を選択する。
  - モバイル評価ツールキットはモバイルアプリケーションで、タブレットなどで、被験者の情報、例えば、BCIとFESのスクリーニングの結果や臨床試験の進捗状況などを確認することができる。

## セッション3/ モアグラスの実用可能な全構成部品

- セッション3の前半部では、プロジェクト参加組織が開発物の説明をそれぞれ行った。

## グラーツ工科大学神経工学研究院

### BCI システム (スクリーニング、トレーニングツール、ゲーム)

- ただのトレーニングではエンドユーザが飽きるので、ゲームも開発している。

## ハイデルベルグ大学病院とメーデル社

### 上肢向けの神経補綴

- 補綴は EEG に基づく BCI か、ジョイスティックで動かすことができる。ジョイスティックは胸部と肩に装着され、肩を上下左右動かすことによって補綴を動かすことができる (手の開閉、キーパターンとパルマーパターンの切り替えが可能)。つかむ力の強さを調節するために、その力を計測する機器も開発している。
- 神経補綴の開発：
  - 補綴は、肘から手の指にかけて着用するサポーターの形をしている。シリコン、ネオプランなどの素材が使われ、指、手、腕を固定するサポーター部分がつくられ、サポーター内部には電極とセンサーが搭載されている。
  - 電気刺激装置と補綴内の電極が筋肉を動かし、手を開き、閉じる運動を実行させる。キーグラスパターンとパルマーグラスパターンでは、電気刺激が異なる。

## グラスゴー大学 計算機科学部

### スマートオブジェクト

- センサー付きの小型機器 (縦、横、深さが 2-3cm ほどの正方形の機器)。他の大きな物、例えば、マグカップに装着可能。
- この機器はそれが装着される物に応じて、キーパターンか、パルマーパターンか、信号を発するように設定されている。
- 例えば、マグカップに装着するならば、この機器にはパルマーパターンの信号を発信するように設定する。エンドユーザの手がマグカップに触れると、このオブジェクトが揺れを感知し、ブルートゥースでパルマーパターンの信号を PC に送る。ついで、PC が電気刺激装置にブルートゥースで信号を送る。最後に、電気刺激装置が自動的にパルマーパターンを選択し、実際にマグカップをつかむために補綴を動かす。

## スマートウォッチ

- スマートウォッチは、ブルートゥースで補綴と接続し、補綴の状態をユーザに示す。
- キーパターンであるか、パルマーパターンであるか、手が閉じているか、開いているか、単純なイメージで示す。
- ユーザはこのスマートウォッチを見ながら、現在補綴が現在どのような状態にあるか確認しながら、補綴を操作する。

## タッチパネルカメラ

- モアグラスプロジェクトでは、神経補綴とは別に、テーブルなどをタッチパネルとして使うことを可能にするカメラシステムを開発している。
- テーブル上で手を動かすことによって、タブレット上のキーボードを見ながら、PC 上で文章を打ち込むことができる。

## ビット・ブレイン社

### EEG キャップと増幅器

- キャップを頭部に装着する際には、通常のジェルは使わずに、水を使う。
- センサーは 32 ある。

## ノウセンター

### マッチメイキングプラットフォーム

- 臨床試験参加希望者が同プラットフォームに登録する。希望者は身体検査などを受け、そのデータがプラットフォームに登録される。専門家がそのデータを見て、臨床試験に参加できるか決定する。
- 希望者のデータはパーソナルデータであり、EU のデータ保護法に沿って管理される。限られた数の専門家だけがデータを見ることができる。
- 現在まで 22 名が実際に登録している。

### セッション3 (後半部) ・4/ エンドユーザによるデモンストレーション

- 被験者 3 名によって、モアグラスプロジェクトの開発物を実際に使用するデモンストレーションが行われた。3 名とも交通事故などで身体の一定の部分が不随となる障害を持ち、車椅子を使用しているが、被験者によって手と腕の運動障害の重度は異なる。
- 被験者 A と被験者 B は、このイベントで初めてモアグラスの神経補綴を装着する試

験に参加した。両者は、BCIではなく、胸部と肩に装着するジョイスティックを用いて、神経補綴のデモンストレーションを行った。

- 問題は、腕に装着する電極の正確な位置を決めることが難しいこと、そして、様々な条件（肌の状態など）によって、刺激の強さを調節しなければならないこと、つまり、機器を被験者ごとに調整すること、また、電気刺激装置は車椅子に装備できなければならないが、まだサイズが大きすぎることと説明があった。
- 被験者 A の運動障害の重度は高く、腕を上げること、手を開くことができない。デモンストレーションでは手を開くことはできたが、物をつかむことは不可能であった。
- 被験者 B の場合、腕を上げことは可能であるが、手を開くことができない。デモンストレーションでは、キーグラスパターンでペンをつかむこと、また、パルマーグラスパターンで（最初は技師の補助を受けて）ビール瓶をつかみ、ビールを飲むことに成功した。
- 被験者 C は、モアグラスプロジェクトの開発物（BCI、神経補綴、ジョイスティック、スマートウォッチなど）を完成された形で利用するデモンストレーションに参加した。
- 被験者 C は、被験者 B と同じように、腕を動かすことはできるが、手を開いたり、閉じたりすることができない。ジョイスティックによる神経補綴の操作のトレーニングは、3~4 か月ほど自宅で行っているが、BCIについては今回が3回目であり、トレーニング期間がとても短かった。
- デモンストレーションでは、ジョイスティックと BCI で、物をつかむことに成功した。BCI に関しては、キーグラスパターンだけ行えるように調整した。

## 第2部 欧州諸国における脳情報関連技術の研究動向

- 第1部では、特に欧州の脳情報関連技術のプロジェクトとして、EUのヒューマンブレインプロジェクトとモアグラスプロジェクトを紹介した。第2部では、欧州各国の同技術の研究動向として、有力な欧州研究組織を紹介する。基礎研究や応用研究の概要、社会実装、製品化、臨床応用の動向などが問題となるが、特に以下の9つのキーワードに従って記す。
  1. 脳情報デコーディング
  2. ブレイン・マシン・インターフェース (BMI)
  3. ブレイン・コンピュータ・インターフェース (BCI)
  4. 脳内での情報処理をモデルとした新しい人工知能技術
  5. 脳情報ビッグデータ
  6. 脳信号計測技術の高度化
  7. 脳情報のバイオマーカーへの応用
  8. ニューロエコノミクス (神経経済学)
  9. 神経電極
- 組織の選択には、特に、EUのヒューマンブレインプロジェクトやFP7、ホライゾン2020のプロジェクトへの参加実績、研究開発の際立った点などを基準にした。

## 第1章 脳情報デコーディング技術

- 脳情報デコーディング技術は、心の状態を脳信号から解読（デコード）する技術であり、BMI や BCI というような脳と機械を接続する通信を可能にする技術である。
- 1) オーストリアのグラーツ工科大学神経工学研究院グラーツ BCI 研究所、2) ドイツのフライブルグ大学トランスレイショナル神経工学研究所、3) フィンランドのアルト大学計算機科学部確率機械学習グループという 3 つの研究組織を紹介する。
- グラーツ工科大学 神経工学研究院 グラーツ BCI 研究所
  - 現在まで多くの EU プロジェクトに参加し、特に非侵襲型脳波（EEG）のデコーディングの研究を実施するとともに、EU の BCI 研究の取りまとめ役を果たしている。
- フライブルグ大学 トランスレイショナル神経工学研究所
  - 特に侵襲型の脳情報デコーディングの研究、癲癇患者の皮質脳波を計測して、実生活で自然な会話を行う際の神経活動を分析する研究、深層学習を脳信号のデコーディングに利用する研究を包括的に研究している。
- アルト大学 計算機科学部 確率機械学習グループ
  - 世界で初めて、ブレイン・インフォメーション・インターフェースと呼ばれる、BCI でインターネット上での情報検索を支援するシステムを開発しており、FP7 プロジェクトから資金を得ている。

## オーストリア / グラーツ工科大学 神経工学研究院 グラーツ BCI 研究所

- グラーツ工科大学神経工学研究院グラーツ BCI 研究所<sup>100</sup>は、オンライン EEG デコーディング技術に基づく BCI を 20 年以上前に導入し、特に健常者と障害者の双方に対する非侵襲型のブレインコンピュータインターフェース (BCI) と応用アプリケーションの開発を実施している。 所長は、ゲルノ・R. ミュラー=プッツ教授である。
- 研究開発テーマ：ブレイン・コンピュータ・インターフェース、運動デコーディングと神経補綴、機能的ニューロイメージング、脳卒中リハビリテーション、生物信号処理、機能電気刺激 (FES) など
- 利用する脳信号獲得手段：脳波 (EEG) 装置、機能的磁気共鳴イメージング (fMRI) 装置、同時 EEG-fMRI 装置、近赤外脳機能計測法 (fNIRS) 装置
- BCI アプリケーション：スペル端末、コンピュータゲームなど
- グラーツ BCI 研究所は、年に一回、BCI の研究開発に特化した BCI カンファレンスを主催している。
- EU プロジェクト：グラーツ BCI 研究所は現在まで多くの EU プロジェクトに参加している。
- EU の第 7 次枠組計画 (FP7) では、7 つのプロジェクトに参加し、2 つのプロジェクト (Future BNCI<sup>101</sup>と BNCI ホライゾン 2020<sup>102</sup>) でコーディネータを務めた。コーディネータを務めた 2 つのプロジェクトは、双方とも研究開発を直接行うプロジェクトではなく、研究アジェンダを策定したり、研究機関の提携を促進したりするプロジェクトであり、グラーツ BCI 研究所が欧州において BCI 分野の研究でまとめ役をはたしていることがわかる。
- 第 7 次枠組計画と比べて、ホライゾン 2020 では BCI と BMI 分野のプロジェクトは数少ないが、グラーツ BCI 研究所は、BCI システムと神経補綴の包括的な研究であるモアグラスプロジェクトをコーディネータとして実施している<sup>103</sup>。

### FP7 の Future BNCI プロジェクトの基本情報

略称	Future BNCI
正式名称	BNCI (Brain / Neuronal Computer Interaction) 研究の将来的な方向性
研究期間	2010 年 1 月～2011 年 12 月

<sup>100</sup> <https://www.tugraz.at/institute/ine/home/>

<sup>101</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/93832\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/93832_en.html)

<sup>102</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/188912\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/188912_en.html)

<sup>103</sup> モアグラスプロジェクトに関しては、本報告書第 1 部第 2 章を参考のこと。

予算 (EU 拠出分)	55 万 6255 ユーロ (50 万ユーロ)
コーディネータ	グラーツ工科大学 (オーストリア)
参加組織	ローザンヌ連邦工科大学 (スイス)、バルセロナ・スターラボ (スペイン)、トゥエンテ大学 (蘭)

#### FP7 の BNCI ホライゾン 2020 プロジェクトの基本情報

プロジェクト正式名称	BNCI ホライゾン 2020
研究期間	2013 年 11 月～2015 年 4 月
予算 (EU 拠出分)	102 万 5341 ユーロ (94 万 8976 ユーロ)
コーディネータ	オーストリア工科大学 (オーストリア)
参加組織	ローザンヌ連邦工科大学、ヴェルツブルグ大学 (独)、サンタ・ルチーヤ基金 (伊)、ユトレヒト大学病院 (蘭)、ベルリン工科大学 (独)、バルセロナ・デジタル技術センター (スペイン)、G TEC 社 (オーストリア)、トゥエント大学 (蘭)、チュービゲン大学 (ドイツ)、グットマン研究院 (スペイン)、イナブリーング MNT (独)、EURECAT (スペイン)

- グラーツ工科大学は、欧州研究評議会 (ERC) から、非侵襲型の脳情報デコーディングの研究を行うフィール・ユア・リーチプロジェクト<sup>104</sup>に対して研究資金を得ている。
  - ・ 欧州評議会 (ERC)<sup>105</sup> : 2007 年に設立された EU の研究支援機関であり、現在ホライゾン 2020 の一部である。ERC は、2014 年から 2020 年にかけて、130 億ユーロを欧州のフロンティア研究に割り当てることを任務としている。フロンティア研究とは、リスクが高いだが、高い利益が望まれる研究 (ハイリスク・ハイリターン) のこと。
- フィール・ユア・リーチプロジェクト : より自然に BCI で補綴を制御できるように、新しい制御枠組みを開発する。特に、目標到達運動デコーダーと連続電位誤差デコーディングを実現することが目指される<sup>106</sup>。

#### ERC のフィール・ユア・リーチプロジェクトの基本情報

プロジェクト名称	フィール・ユア・リーチ
研究期間	2016 年 5 月～2021 年 4 月

<sup>104</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/202573\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/202573_en.html)

<https://www.tugraz.at/institute/ine/research/current-projects/feel-your-reach/>

<sup>105</sup> <https://erc.europa.eu>

<sup>106</sup> 関連論文 : [https://www.openaire.eu/search/project?projectId=corda\\_\\_h2020::f0458d0647529cfceb6cd997d3fc6a5f](https://www.openaire.eu/search/project?projectId=corda__h2020::f0458d0647529cfceb6cd997d3fc6a5f)  
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1741-2552/aa8911/pdf>

予算 (EU 拠出分)	199 万 4161 ユーロ (199 万 4161 ユーロ)
予算獲得者	オーストリア工科大学 (オーストリア)

## ドイツ / フライブルグ大学 トランスレイショナル神経工学研究所

- ドイツのフライブルグ大学のトランスレイショナル神経工学研究所<sup>107</sup>では、医学、神経生物学、物理学、工学、言語学の学際的研究を3つのグループで行い、侵襲型の神経デコーディングに基づく神経工学アプリケーションを開発している。
- インテリジェント・クローズドループシステムグループ<sup>108</sup>では、ロボットなどの外部端末やコンピュータプログラムの操作を可能にするために脳活動デコーディング、つまり、様々な認知活動とそれに対応する脳の活動、侵襲型及び非侵襲型脳波 (EEG) を分析している。同グループは、侵襲型の頭蓋内脳波、特に皮質脳波 (ECoG) をフライブルグ大学医療センターの癲癇センターと共同で分析している。頭蓋内脳波の記録は侵襲性なので、健常な被験者に対して行えないが、一定の癲癇の患者は神経外科手術前に癲癇の病原を観察するために電極 (皮質脳波アレイや定位的脳波の電極) を脳内に植え込んでおり、侵襲型の脳情報デコーディングの研究を行うことが可能である。さらに、脳情報のデコーディングだけでなく、マイクロ皮質脳波のアレイによって脳を直接刺激する研究を動物実験に基づいて行っている。最終的に安全性が確かめられるならば、この研究は侵襲型 BMI の開発につながる。
- BCI アプリケーション向け実生活スピーチ発生デコーディンググループでは、癲癇患者の皮質脳波を計測して、実生活で自然な会話を行う際の神経活動を分析する研究を行っている。このスピーチデコーディングの研究は侵襲型 BCI のスピーチアプリケーションの開発につながる。
- 深層学習・CNN 視覚化グループ<sup>109</sup>では、深層学習を脳信号のデコーディングに利用する研究を行っており、特に EEG 信号の分析に CNN (Convolutional Neural Network) を使っている。

## フィンランド / アルト大学 計算機科学部 確率機械学習グループ

- アルト大学計算機科学部の確率機械学習グループ (以下、確率機械学習グループとする)<sup>110</sup>では、確率モデル、ベイズ推定、機械学習をデジタルヘルス、神経科学、ユーザイン

<sup>107</sup> <https://www.tnt.uni-freiburg.de>

<sup>108</sup> <https://www.tnt.uni-freiburg.de/research/BCI-Neurobotics>

<sup>109</sup> <https://www.tnt.uni-freiburg.de/research/deep-learning>

<sup>110</sup> [http://research.cs.aalto.fi/pml/?\\_ga=2.213701011.663390341.1515669112-111869651.1471971458](http://research.cs.aalto.fi/pml/?_ga=2.213701011.663390341.1515669112-111869651.1471971458)

タラクション分野に応用する研究を行っている。

- 確率機械学習グループの責任者は、サミュエル・カスキ教授<sup>111</sup>である。同教授は、フィンランド機械推定研究 CoE (Centre of Excellence)<sup>112</sup>の所長とヘルシンキ大学の講師も務めている。
- サミュエル・カスキ教授は、ヘルシンキ情報技術研究院とともに、非侵襲型の EEG 機器に基づく BCI 技術の研究を実施している。
- 2016 年 12 月には、世界で初めて、非侵襲型の BCI によって被験者の脳信号をデコーディングし、インターネット上の情報検索の支援を行うことに成功している<sup>113</sup>。同システムは、ブレイン・インフォメーション・インターフェースと呼ばれる。
- まず、被験者は、ウィキペディアのある記事の序文を読むが、読んでいる間、EEG データが記録され、そのデータは被験者がどの言葉に興味を持ったか知るために分析される。これによって、被験者の検索意図を予見し、被験者にとって興味がある他の記事を自動的に推薦することが可能になる。
- 以上の研究のため、機械学習が利用される。機械学習は有益な言葉を特定することを可能にする。
- この研究は、EU の FP7 のマインドシープロジェクト<sup>114</sup>から助成されている。
- マインドシープロジェクト : BCI を利用する情報検索アプリケーションを開発することを目標とし、脳信号を分析し、ユーザの意図を予見する。

#### FP7 のマインドシープロジェクトの基本情報

プロジェクト略称	マインドシー (MINDESEE)
プロジェクト正式名称	情報検索向けのシンビオティック・マインドコンピュータインタラクション
研究期間	2013 年 10 月～2016 年 9 月 (36 か月)
予算 (EU 拠出分)	377 万 9783 ユーロ (299 万ユーロ)
コーディネータ	ヘルシンキ大学 (フィンランド)
参加組織	ベルリン工科大学 (独)、アルト大学、パドヴァ大学 (伊)、i2 メディアリサーチ (英)

<sup>111</sup> <https://users.ics.aalto.fi/sami/>

<sup>112</sup> <http://research.cs.aalto.fi/coin/index.shtml>

<sup>113</sup> <http://www.aalto.fi/en/current/news/2016-12-08-002/>

論文 : <https://www.nature.com/articles/srep38580>

<sup>114</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/109701\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/109701_en.html)

## 第2章 ブレイン・マシン・インターフェース

- ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) とは、脳信号の検出、また逆に脳の刺激により、脳と機械を連動させるインターフェースを実現する技術である。
- 1) スイスのローザンヌ連邦工科大学神経補綴センターデフィテック基金 BMI 講座、2) イタリアのサンターナ大学院大学バイオロボット工学研究院トランスレイショナル神経工学グループ、3) イタリアのイタリア技術研究院神経科学・認知システムセンターニューラル・コンピュータ・インタラクション研究所、4) イギリスのニューキャッスル大学 神経科学研究院神経系・応用神経生理学グループについて記す。
- ローザンヌ連邦工科大学 神経補綴センター デフィテック基金 BMI 講座 (CNBI)
  - ・ 主に非侵襲型の BMI システムを研究し、実際にロボットなどを動かす研究を実施している。CNBI は、FP7 の TOBI プロジェクトのコーディネータを務めたが、最近では、ニッサン社との共同開発や BMI で利用できる外骨格 (exoskelton) の開発も行う。
- サンターナ大学院大学 バイオロボット工学研究院 トランスレイショナル神経工学グループ
  - ・ マイクロ・ナノテクノロジー、電気機械、計算機科学と細胞、分子、認知神経科学を結合する研究を実施している。FP7 の NEBIAS プロジェクトで、義手で物をつかむだけでなく、フィードバックにより、末梢神経を通して、感覚を回復させる研究を実施して、成功している。
- イタリア技術研究院 神経科学・認知システムセンター ニューラル・コンピュータ・インタラクション研究所
  - ・ 皮質脳波 (ECoGs) の分析とデコーディング、双方向 BMI が研究テーマである。EU の FP7 の シ・コードプロジェクトでコーディネータを務めており、神経ネットワークの内部状態と神経の外部刺激に対する反応の間にある関係を研究している。
- ニューキャッスル大学 神経科学研究院 神経系・応用神経生理学グループ
  - ・ アンドリュー・ジャクソン教授が神経インターフェースの研究を実施している<sup>115</sup>。同教授は現在、イギリスの国内プロジェクトである CANDO プロジェクトを主導し、光遺伝学コントロール向けの皮質インプラントを開発し、癲癇患者に世界初の臨床試験を実施することを目標としている。

<sup>115</sup> <http://www.ncl.ac.uk/ion/staff/profile/andrewjackson.html#research>

## スイス / ローザンヌ連邦工科大学 神経補綴センター デフィテック基金 BMI 講座

- スイスのローザンヌ連邦工科大学では、脳研究を含む生命科学、そして、生物工学の様々な研究が実施されている。同大学のブルーブレイン研究院<sup>116</sup>は、EU のヒューマンブレインプロジェクトのコーディネータであることで有名であるが、他方で、BMI とロボット工学の優れた研究も神経補綴センターで実施されている。
- 特に非侵襲型 BMI については、神経補綴センターのデフィテック基金 BMI 講座 (CNBI) で研究開発が実施されている。

## イタリア / サンターナ大学院大学 バイオロボット工学研究院 トランスレイショナル神経工学グループ

- サンターナ大学院大学バイオロボット工学研究院<sup>117</sup>は、様々な分野のロボット工学を研究している。研究院長のパオロ・ダリオ教授は、スイスのローザンヌ連邦工科大学の客員教授とともに、また、日本の早稲田大学の客員教授・研究者、東京大学の特別研究員も務め、日本と繋がりが深い<sup>118</sup>。
- バイオロボット工学研究院のトランスレイショナル神経工学グループでは、マイクロ・ナノテクノロジー、電気機械、計算機科学と細胞、分子、認知神経科学を結合する研究を実施している。
- 研究目標
  - ・ 神経系の働き方の基礎知識の理解を深めること
  - ・ 神経障害を持つ人々の感覚・運動機能を回復させるシステムを開発すること
- 研究分野：特に、神経インターフェース、計算神経科学、トランスレイショナル神経回復、神経補綴と生体工学、運動生物力学の研究
- トランスレイショナル神経工学グループの責任者であるミセラ・シルベストロ教授<sup>119</sup>は、スイスのローザンヌ連邦工科大学トランスレイショナル神経工学研究所の所長<sup>120</sup>も務め、ローザンヌ連邦工科大学と緊密な繋がりを持つ。
- 2014 年、シルベストロ教授は義手で物をつかむだけでなく、フィードバックにより、末梢神経を通して、感覚を回復させることに成功している<sup>121</sup>。同教授は、EU の第 7 次枠

<sup>116</sup> 本報告書第 1 部第 1 章を参考のこと。

<sup>117</sup> <http://sssa bioroboticsinstitute.it/theinstituteataglance>

<sup>118</sup> <http://sssa bioroboticsinstitute.it/user/56>

<sup>119</sup> <http://sssa bioroboticsinstitute.it/user/94>

<sup>120</sup> <https://tne.epfl.ch/page-76732-en.html>

<sup>121</sup> <http://www.bbc.com/news/health-26036429>

組計画（FP7）の NEBIAS プロジェクトでコーディネータを務めて、同種の研究を実施した。同プロジェクトでは、直感的に制御でき、自然なものとして感じられる上肢部の神経制御補綴を開発した。

#### FP7 の NEBIAS プロジェクトの基本情報<sup>22</sup>

略称	NEBIAS
正式名称	神経でコントロールされる双方向性の人工上肢と義手
研究期間	2013年11月～2017年10月
コーディネータ	サンターナ大学院大学（イタリア）
参加組織	DPZ（ドイツ）、アルベルト・ルードヴィヒ大学フライブルグ（ドイツ）、バルセロナ自治大学（スペイン）、サクロ・クオーレ・カトリック大学（イタリア）、カリアリ大学（イタリア）

#### ● NEBIAS プロジェクト開発物

- ・ 末梢神経とのインターフェースとなる内神経電極（まず動物で試験され、ついで腕が切断された人で試験される）
- ・ 埋め込み電気発信機と受信機
- ・ 外部の組み込み電子機器（記録、処理、電気刺激）
- ・ 人工上肢と義手
- ・ デコーディングとエンコーディングのアルゴリズム

#### イタリア / イタリア技術研究院 神経科学・認知システムセンター ニューラル・コンピュータ・インタラクション研究所

- イタリア技術研究院の神経科学・認知システムセンターには、MRI 研究所、機能的ニューロイメージング研究所、神経計算研究所、神経コーディング研究所、脳刺激研究所、活動ビジョン研究所、ニューラル・コンピュータ・インタラクション研究所が設置されており、神経科学と認知科学の包括的な研究が実施されている。
- BMI に関しては、特にニューラル・コンピュータ・インタラクション研究所<sup>123</sup>で研究が実施されている。
  - ・ 皮質脳波（ECoGs）の分析とデコーディングと双方向 BMI が研究テーマである。
  - ・ 神経データの分析に関しては、数学モデルを開発しているニューラルコンピューター

<sup>122</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/110903\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/110903_en.html)  
<http://www.nebias-project.eu>

<sup>123</sup> <https://cnscs.iit.it/labs/neural-computer-interaction>

ション研究所<sup>124</sup>と提携している。

- ニューラル・コンピュータ・インタラクション研究所は、EU の FP7 のシ・コードプロジェクト<sup>125</sup>にコーディネータとして参加している。
- シ・コードプロジェクト
  - ・ 神経ネットワークの内部状態と神経の外部刺激に対する反応の間にある関係を研究している。神経ネットワークの内部状態は、外部からの刺激に対する神経の反応に影響を与えており、それが脳情報の分析の障害となっている。プロジェクトでは、リアルタイムで神経ネットワークの状態の情報を抽出する「状態に依存する双方向 BMI (state-dependent bidirectional BMI)」のプロトタイプを開発する。

#### FP7 のシ・コードプロジェクトの基本情報

略称	シ・コード (SI-CODE)
正式名称	新しいブレイン・マシン・インターフェースに向かって：状態に依存する情報コーディング
研究期間	2012 年 3 月～2015 年 8 月 (42 ヶ月)
コーディネータ	イタリア技術研究院
参加組織	チューリッヒ大学 (スイス)、マックスプランク協会 (独)、国際先端研究学校 (伊)

#### イギリス / ニューキャッスル大学神経科学研究院神経系・応用神経生理学グループ

- ニューキャッスル大学神経科学研究院では、神経系・応用神経生理学グループのアンドリュー・ジャクソン教授が神経インターフェースの研究を実施している<sup>126</sup>。
- ジャクソン教授は現在、光遺伝学コントロール向けの皮質インプラントを開発する CANDO (Controlling Abnormal Network Dynamics using Optogenetics) プロジェクト<sup>127</sup>を主導している。

#### イギリス国内プロジェクト：CANDO プロジェクトの基本情報

略称	CANDO
正式名称	光遺伝学を使った異常ネットワークダイナミクスのコントロール
研究期間	2014 年～2020 年 (7 年間)

<sup>124</sup> <https://cnsc.iit.it/labs/neural-computation>

<sup>125</sup> <http://www.sicode.eu/objectives.html>

[http://cordis.europa.eu/project/rcn/102378\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/102378_en.html)

<sup>126</sup> <http://www.ncl.ac.uk/ion/staff/profile/andrewjackson.html#research>

<sup>127</sup> <http://www.cando.ac.uk>

予算	1000 万ポンド
コーディネータ	ニューキャッスル大学 (イギリス)
参加組織	インペリアル・カレッジ・ロンドン (イギリス)、ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン (イギリス)、ニューキャッスル病院 (イギリス)

- CANDO プロジェクトはイギリスの国内プロジェクトであり、「ウエルカム・トラスト」<sup>128</sup> (独立医学研究支援組織) と工学・物理科学研究評議会<sup>129</sup> (政府系研究支援機関) から助成されている。
- 目標：光遺伝学コントロール向けの皮質インプラントを開発し、癲癇患者に世界初の人間に対する臨床試験を実施すること。
  - 胸部のコントロールシステムが、脳皮質部に埋め込まれる光電子工学アレイに接続される。

<sup>128</sup> <https://wellcome.ac.uk/about-us>

<sup>129</sup> <https://www.epsrc.ac.uk>

### 第3章 ブレイン・コンピュータ・インターフェース

- ブレイン・コンピュータ・インターフェースとは、脳とコンピュータを接続するインターフェースを実現する技術である。
- 1) フランスの原子力・代替エネルギー庁 (CEA) 電子情報技術研究所クリナテック、2) オーストリアの G TEC 社、3) オランダのユトレヒト大学病院ルドルフ・マグナス脳センターBCI グループを紹介する。
- 原子力・代替エネルギー庁 (CEA) 電子情報技術研究所 クリナテック
  - ・ 脳医療とナノテクノロジーの共同研究機関であり、重要な研究プロジェクトの1つが BCI プロジェクトである。主として、BCI によって、脳の活動が正常であるが、四肢が麻痺している患者に身体の運動を取り戻させることを目標にする。このため、「WIMAGINE (ウイマジン)」と呼ばれる侵襲性を抑えた皮質脳波向けの電極を開発している。WIMAGINE は「EMY (enhancing Mobility)」と呼ばれる BCI 向けの外骨格ロボットに無線通信技術で接続される。
- G TEC (GUGER TECHNOLOGIES) 社
  - ・ 1999 年に世界に先駆けて BCI システムを商用化させ、現在、60 各国以上で同社のシステムを販売している。BCI 関連のシステムを実用化、商用化し、研究機関などに販売している。様々な製品を開発しており、利用者は購入後すぐに BCI の実験をすることが可能である<sup>130</sup>。
- ユトレヒト大学病院 ルドルフ・マグナス脳センター BCI グループ
  - ・ 「ユトレヒト神経補綴」という BCI を開発している。閉じ込め症候群 (locked-in syndrome) 患者のコミュニケーション能力を侵襲型 BCI で回復させることを目標としている。

---

<sup>130</sup> <http://www.gtec.at/Products>

## フランス / 原子力・代替エネルギー庁（CEA）電子情報技術研究所 クリナテック

- 原子力・代替エネルギー庁（CEA : Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives）は、元来原子力エネルギー技術の開発を行うために創設されたが、現在はエネルギー、情報技術、保健分野の研究を実施しており、パリ郊外のサックレーやグルノーブルなど、フランスの幾つかの地域に研究拠点を持つ。脳研究に関しては、サックレーではニューロスピンドで認知機能の基礎研究、脳信号計測技術、そして、脳情報ビッグデータの研究を実施し、グルノーブルでは CLINATEC（クリナテック）で応用研究となる BCI の研究を実施している。
- 電子情報技術研究所（Laboratoire d'Electronique des Technologies de l' information : LETI）は、グルノーブルを拠点とする CEA の研究機関の 1 つであり、マイクロ電子工学とナノテクノロジーの研究を実施している。電子情報技術研究所のクリナテックは、フランスで有名な神経外科医であるアリム＝ルイ・ベナビッドと CEA の最高責任者であったジャン・テルムが創設した脳医療とナノテクノロジーの共同研究機関であり、2012 年に研究施設がグルノーブルで設立され、2013 年から患者が施設に入っている。
- クリナテックでは、ロボット工学、数学、物理学、電子工学、計算機科学、生物学、神経学の専門家と外科医が協働して学際的研究を行い、主に最新の医療端末を開発している。クリナテックは、実際の患者とともに臨床試験を行い、端末の実用化を促進することを目指している。
- クリナテックの重要な研究プロジェクトの 1 つが BCI プロジェクトである<sup>131</sup>。このプロジェクトは、脳の活動が正常であるが、四肢が麻痺している患者が身体の活動を取り戻すことを目標にする。
- このプロジェクトでは、「WIMAGINE（ウイマジン）」<sup>132</sup>と呼ばれる侵襲性を抑えた皮質脳波の記録と解読向けの電極を開発している WIMAGNE は、64 の電極を備え、脳皮質の電気活動を記録するために、脳外科手術後、脳皮質の上に装着される。端末にはバッテリー搭載されておらず、電磁誘導（induction）によって充電される。
- WIMAGINE は、「EMY（エミィ）」<sup>133</sup>と呼ばれる BMI 向けの外骨格ロボットに無線通信技術で接続される。EMY は CEA のサックレー拠点にあるロボット工学部門で完成された。被験者は、EMY を装着し、WIMAGINE が脳に植えこまれた被験者は運動を想像することによって、実際にその運動を EMY によって果たすことが可能になる。

<sup>131</sup> <http://www.clinattec.fr/en/research/projects/bci-project/>

<sup>132</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24110298>

<sup>133</sup> WIMAGINE で利用されている技術について、より詳しくは以下のサイトの論文を参考のこと。

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6846362>

- 2015 年末、WIMAGINE と EMY を開発する BCI プロジェクトは、臨床試験を行う認可を得ている。2016 年 9 月には、臨床試験参加者 1 名が決定されたことをクリナテック創設者の一人であるアリム＝ルイ・ベナビッドが仏科学大衆雑誌『科学と未来 (Sciences et Avenir)』のインタビューで明らかにしている<sup>134</sup>。WIMAGINE を使わずに、MEG の装置を使った実験では、すでに EMY を操作することに成功している。
- 2017 年 6 月 21 日、臨床試験のため、ベナビッド氏は四肢が麻痺した被験者に WIMAGINE 2 器を外科手術で植え込んだこと、そして、すでに 5 名の患者に同様の手術を行う認可を得ていることを発表している<sup>135</sup>。

## オーストリア / G TEC 社

- G TEC 社 (GUGER TECHNOLOGIES)<sup>136</sup>は、1999 年に世界に先駆けて BCI システムを商用化させ、現在、60 各国以上で同社のシステムを販売している。
- G TEC は、オーストリアに本拠地を持ち、スペインとアメリカにも支社をそれぞれ持つ。
- 製品 : BCI 関連のシステムを実用化、商用化し、研究機関などに販売している。様々な製品を開発しており、利用者は購入後すぐに BCI の実験をすることが可能である<sup>137</sup>。
- 代表的な製品
  - ・ g.ノーティラス・ワイヤレス EEG (NAUTILUS) : キャップ状のワイヤレスの脳波 (EEG) 獲得システムであり、研究施設の外で利用することが可能である。同製品はアンドロイド OS に対応し、利用者はタブレット上で脳情報を見ることができる。
  - ・ マインドビーグル (MindBEAGLE)<sup>138</sup> : 閉じ込め症候群患者向けの意識状態の診断とコミュニケーションツール
  - ・ リカベリックス<sup>139</sup> : 脳梗塞患者向けのリハビリテーションシステム
- 研究プロジェクト : G TEC は、EU プロジェクトにも積極的に参加しており、4 つのプロジェクトでコーディネータを務める。どのプロジェクトもヒューマンブレインプロジェクトではなく、中小企業の研究開発を支援する枠組み、すなわち、中小企業支援プログラムであるユーロスターズ<sup>140</sup>とホライゾン 2020 の中小企業支援助成枠組みで助成されている。

<sup>134</sup>

[https://www.sciencesetavenir.fr/sante/cerveau-et-psy/chez-clinatec-nous-ne-faisons-pas-de-transhumanisme-mais-de-l-homme-repare\\_104885](https://www.sciencesetavenir.fr/sante/cerveau-et-psy/chez-clinatec-nous-ne-faisons-pas-de-transhumanisme-mais-de-l-homme-repare_104885)

<sup>135</sup>

[https://www.sciencesetavenir.fr/sante/cerveau-et-psy/un-tetraplegique-opere-du-cerveau-pour-actionner-un-exosquelette-afin-de-se-mouvoir\\_113881](https://www.sciencesetavenir.fr/sante/cerveau-et-psy/un-tetraplegique-opere-du-cerveau-pour-actionner-un-exosquelette-afin-de-se-mouvoir_113881)

<sup>136</sup> <http://www.gtec.at>

<sup>137</sup> <http://www.gtec.at/Products>

<sup>138</sup> <http://www.mindbeagle.at/Home>

<sup>139</sup> <http://www.recoverix.at/Home>

<sup>140</sup> <https://www.eurostars-eureka.eu/about-eurostars>

ユーロスターのRAPIDMAPS プロジェクトの基本情報<sup>41</sup>

プロジェクト名称	RAPIDMAPS
研究期間	2015年7月-2018年6月
予算	167万3840ユーロ
コーディネータ	G TEC
参加組織	コアテック社（ドイツ）
研究内容	リアルタイムの脳マッピングツールの開発

ユーロスターのCOMALERT プロジェクトの基本情報<sup>42</sup>

プロジェクト名称	COMALERT
研究期間	2015年5月-2019年6月
予算	174万7070ユーロ
コーディネータ	G TEC
参加組織	ヴォー大学病院（スイス）
研究内容	昏睡状態の患者の意識状態を診断する方法の開発

ホライゾン2020のCOMAWARE プロジェクトの基本情報<sup>43</sup>

プロジェクト略称	COMAWARE
正式名称	アダプティブ・リアルタイム環境のコミュニケーションとアセスメント
研究期間	2015年10月-2018年9月
全予算（EU 拠出分）	294万3500ユーロ（203万8750ユーロ）
参加組織	G TEC
研究内容	昏睡状態の患者の意識状態を診断する方法や患者とコミュニケーションをとる方法、また、状態を予測し、回復する方法を開発し、臨床試験を行う（マインドビーグルの利用）。

ホライゾン2020のRICOVERIX プロジェクトの基本情報<sup>44</sup>

略称	RICOVERIX
正式名称	ペアになった連合刺激による運動回復
研究期間	2016年2月-2018年5月

<sup>41</sup> <http://www.gtec.at/Research/Projects/RAPIDMAPS-2020>

<https://www.eurostars-eureka.eu/project/id/9273>

<sup>42</sup> <http://www.gtec.at/Research/Projects/ComAlert>

<sup>43</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/198865\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/198865_en.html)

<sup>44</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/198848\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/198848_en.html)

<http://www.recoverix.at/Home>

全予算（EU 拠出分）	266 万 4250 ユーロ（186 万 4957 ユーロ）
参加組織	G TEC
研究内容	脳梗塞患者向けのリハビリテーションシステムの開発

- スウェーデン・トビー社と提携 / アイトラッキング技術への BCI の応用
  - スウェーデンに本拠地を持つトビー社<sup>145</sup>は、アイトラッキング技術を開発し、製品化している。同社は 2001 年にスタートアップ企業として設立された。スウェーデンのほか、アメリカ、中国、日本、ドイツ、イギリス、ノルウェイ、台湾、韓国に支社を持つ。
  - アイトラッキング技術は、正確に目がどこに焦点を置いているのか知ることが可能にする。
  - トビーは、アイトラッキング技術を様々な研究分野向けに応用開発しており、オーストリアの G TEC 社と提携して、アイトラッキング技術と BCI 技術を結合させている（トビーのトビー・プログラズ 2<sup>146</sup>と G TEC の g.ノーティラス・ワイヤレス EEG の結合）<sup>147</sup>。
  - トビー・プログラズ 2 は、メガネの形態をした端末で、人間が現実の環境で行動する際にどこを見ているのか知ることが可能にする。同端末は g.ノーティラス・ワイヤレス EEG と組み合わされて、視覚と脳波の関係をj知る実験研究を行うことが可能になる。なお、このため、G TEC は、g.アイトラッキング・インターフェースを開発している<sup>148</sup>。
  - これらの技術を使って、マーケティング、ウェブ開発、スポーツ、登山、ドライビングテストなどの分野で、視覚と脳jの関係を研究できる。

## オランダ / ユトレヒト大学病院 ルドルフ・マグナス脳センター BCI グループ

- ユトレヒト大学病院に設立されたルドルフ・マグナス脳センター<sup>149</sup>の BCI グループでは、「ユトレヒト神経補綴」<sup>150</sup>という BCI システムを開発している。BCI グループを主導するのはニック・ラムゼイ教授<sup>151</sup>である。同教授の研究は、閉じ込め症候群（locked-in syndrome）患者のコミュニケーション能力を侵襲型 BCI で回復させることを目標としている。

<sup>145</sup> <https://www.tobii.com>

<sup>146</sup> <https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2/>

<sup>147</sup> <http://blog.gtec.at/human-centered-research-eye-tracking-and-bci/>

<sup>148</sup> <http://www.gtec.at/Products/Software/g.EYEtracking-Interface-for-SIMULINK>

<sup>149</sup> <http://www.umcutrecht.nl/en/Research/Research-programs/Brain-Center-Rudolf-Magnus>

<sup>150</sup> [http://neuroprosthesis.eu/?page\\_id=63](http://neuroprosthesis.eu/?page_id=63)

<sup>151</sup> <http://www.nick-ramsey.eu>

- ユトレヒト神経補綴は2つの部分から構成される<sup>152</sup>。米メドトロニック (Medtronic)<sup>153</sup> 社が全てのインプラントの要素を提供している。
- 体内に装着される2つの機器：皮質電極及び電極とコードで接続される増幅・発信機：電極が脳活動を読み取り、ユーザーの胸部に埋め込まれた増幅・発信機へと伝達される。試験用バッテリーは1年間しかもたないが、新しいバッテリーの寿命は3～5年間になる予定である。
- アンテナ、受信機、コンピュータから構成される体外機器：体内の増幅・発信機から信号をアンテナが受け、それを受信機に伝達し、コンピュータ上でマウスをクリックしたり、ボタンを押したりすることを可能にする。
- ユトレヒト神経補綴の臨床試験は2015年～2016年にかけて実施されており、実際に閉じ込め症候群の患者が利用している<sup>154</sup>。
  - 患者は指を動かす動作を想像し、電極がその脳信号を読み取ることによって、マウスを操作するに至る。患者はタブレットなどのスクリーン上で、文字を1つずつ選択していくことによってコミュニケーションを行う。

---

<sup>152</sup> より詳しくは、ユトレヒト神経補綴のウェブサイト上の説明動画を参考のこと。

[http://neuroprosthesis.eu/?page\\_id=63](http://neuroprosthesis.eu/?page_id=63)

<sup>153</sup> <http://www.medtronic.com/covidien/en-us/index.html>

<sup>154</sup> より詳しくは、以下のリンク先にあるレポートを参考のこと。

<http://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa1608085#t=article>

## 第4章 脳での情報処理をモデルとした新しい人工知能技術

- 脳の働き方を理解する研究が進む一方で、脳内での情報処理をモデルとする新しい人工知能技術、例えば、情報処理技術の研究も発展している。欧州では、特に脳に着想を得た ICT (Brain-inspired ICT) という名称の分野で研究されることが多い。
- この分野は、BMI、BCI と違って、EU のヒューマンブレインプロジェクトとのつながりが強く、特にサブプロジェクト9/「ニューロモーフィックコンピューティングプラットフォーム」内で開発が進められている。
- 1) ドイツのハイデルベルグ大学キルヒホフ物理研究院電子ビジョングループ、2) イギリスのマンチェスター大学計算機科学部先端プロセッサ研究グループ、3) フランス国立科学研究センターの神経科学・情報・複雑性ユニットを紹介する。
- ハイデルベルグ大学 キルヒホフ物理研究院 電子ビジョングループ
  - ・ 脳に着想を得たコンピューティングシステム分野で EU の研究を主導する研究機関のひとつであり、EU のファセッツプロジェクト (EU の第 6 次枠組計画)、ブレインスケールプロジェクト (第 7 次枠組計画)、ヒューマンブレインプロジェクト (FET フラッグシップ / ホライゾン 2020) のサブプロジェクト 9 でコーディネータを務めている。ブレインスケールスという新しいコンピューティングシステムを開発していることで有名である。
- マンチェスター大学 計算機科学部 先端プロセッサ研究グループ
  - ・ スピンネーカー (SpiNNaker) <sup>155</sup> という人間の脳の働きに着想を得た新しいコンピュータアーキテクチャの研究で有名である。スピナーカーは、現在、EU のヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 9 で開発が継続されている。
- フランス国立科学研究センター 神経科学・情報・複雑性ユニット
  - ・ 皮質及び下皮質ネットワーク機能を発生させるために、どのように神経特性、シナプス特性、ネットワーク接続性が相互作用するのか、計算アプローチを使って理解することを目標とする。上記の 2 組織とともに、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 9 に参加している。
- 本章最後に、フランスのブレストで開催されたニューロスティック 2017 を視察した際のレポートを収録する。同イベントは神経科学の学際的なイベントであるが、主催者のフランス国立科学研究センターの STICC 研究所 IAS チームは脳に着想を得た人工知能技術の開発を実施しているため、同技術のプレゼンテーションを行う参加者が多かった。

<sup>155</sup> <http://apt.cs.manchester.ac.uk/projects/SpiNNaker/project/>

## ドイツ / ハイデルベルグ大学 キルヒホフ物理研究院 電子ビジョングループ

- ハイデルベルグ大学キルヒホフ物理研究院電子ビジョングループでは、脳内情報処理原理を理解するための電子システムの開発と制御の研究が実施されている<sup>156</sup>。
- 電子ビジョングループは、脳に着想を得たコンピューティングシステム分野でEUの研究を主導する研究機関のひとつであり、EUのファセッツプロジェクト（第6次枠組計画）、ブレインスケールプロジェクト（第7次枠組計画）、ヒューマンブレインプロジェクト（ホライゾン2020のFETフラッグシップ）のサブプロジェクト9/「ニューロモーフティックコンピューティングプラットフォーム」で、コーディネータを務めている。
- ハイデルベルグ大学、フランス国立科学研究センター、グラーツ工科大学は、これら3つのプロジェクト（ファセッツプロジェクト、ブレインスケールプロジェクト、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト9）に共に参加しており、緊密に提携して研究を行っている。
- ファセッツプロジェクト<sup>157</sup>：ハイデルベルグ大学はEUの第6次枠組計画（FP6）から助成されたファセッツプロジェクトにコーディネータとして参加している。同プロジェクトは、全予算が1000万ユーロを超える大型プロジェクトである。
- ファセッツプロジェクトは、神経システム内で実験的に観察されるコンセプトを利用する新しいコンピューティングパラダイムを実現するため、理論的、実験的基礎を研究する。

### FP6のファセッツプロジェクトの基本情報

プロジェクト名	ファセッツ (FACETS)
正式名称	神経アーキテクチャ内の創発的過渡状態による迅速なアナログコンピューティング
研究期間	2005年9月～2009年8月（48か月）
予算規模（EU 拠出分）	1389万3000ユーロ（1050万9000ユーロ）
コーディネータ	ハイデルベルグ大学（独）
参加組織	フライブルグ大学（独）、フランス国立科学研究センター、DEBRECENI EGYETEM（ハンガリー）、ボルドー電子・情報学・電波通信国立学校（仏）、ローザンヌ連邦工科大学（スイス）、フュネティクス（スイス）、INRIA（仏）、スウェーデン王立工科大

<sup>156</sup> <http://www.kip.uni-heidelberg.de/forschung>

<sup>157</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/80613\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/80613_en.html)

<https://facets.kip.uni-heidelberg.de/index.html>

	学、グラーツ工科大学(オーストリア)、ドレスデン工科大学(独)、ロンドン薬科大学(英)、プリマス大学(英)
--	---

- **ブレインスケールズプロジェクト<sup>158</sup>** : ファセッツプロジェクト後、ハイデルベルグ大学は、ブレインスケールズ (BrainScales) という EU の第 7 次枠組計画から助成されるプロジェクトのコーディネータを務めている。同プロジェクトは、ファセッツプロジェクトの研究成果に基づく後継プロジェクトである。
- ブレインスケールズプロジェクトは、全予算が 1000 万ユーロ以上、研究期間 4 年以上、参加組織 15 組織以上の EU の大型プロジェクトである。
- ブレインスケールズプロジェクトでは、脳内の情報処理における空間と時間スケールの機能と相互作用を理解することを目標とし、ブレインスケールズという新しいコンピュータシステムを開発している。
- ブレインスケールズプロジェクトが提案する新しいアプローチは、特に、生体実験とコンピュータによる計算分析にある。脳のデータは、マウス、ラット、猫、猿から収集される。
- ブレインスケールズプロジェクトの 6 つの研究トピック<sup>159</sup>
  1. 知覚システムに由来する生体内のマルチスケールレコーディングと集成的特徴の分析
  2. 局所的・大域的相互作用を伴う並列システムにおける計算一般原理
  3. 総合された皮質ネットワークにおける生体内のような状態の創造と分析
  4. 非ノイマン型ハイブリッドマルチスケール施設
  5. クローズド・ループとオープン・ループのデモンストレーションの実行と評価
  6. 脳科学外での非ノイマン型コンピューティングの探求
- ブレインスケールズプロジェクトには、スイスのローザンヌ連邦工科大学が参加しており、同プロジェクトは、ヒューマンブレインプロジェクトの前身プロジェクトとなるブルーブレインプロジェクトと強いつながりを持ち、ヒューマンブレインプロジェクトを準備することも目標としていた。

#### FP7 のブレインスケールズプロジェクトの基本情報

プロジェクト略称	ブレインスケールズ (BrainScales)
正式名称	ニューロモーフィックハイブリッドシステムにおける脳に着想を得たマルチスケールコンピューテーション

<sup>158</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/97165\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/97165_en.html)

<sup>159</sup> [http://brainscales.kip.uni-heidelberg.de/images/3/39/Public--BrainScaleSFlyerObjectives\\_2011.pdf](http://brainscales.kip.uni-heidelberg.de/images/3/39/Public--BrainScaleSFlyerObjectives_2011.pdf)

研究期間	2011年1月～2015年3月（50か月）
予算規模（EU 拠出分）	1209万6899ユーロ（919万9970ユーロ）
コーディネータ	ハイデルベルグ大学（独）
参加組織	グラーツ工科大学（オーストリア）、ローザンヌ連邦工科大学（スイス）、チューリッヒ大学（スイス）、ユーリッヒ研究センター（ドイツ）、アーヘン大学病院（独）、ドレスデン工科大学（独）、ボンペイ・ファブラ大学（スペイン）、フランス国立科学研究センター、エクス・マルセイユ大学（仏）、インリア（仏）、デブレツェン（ハンガリー）、オランダ王立芸術科学アカデミー、ノルウェイ生命科学大学（ノルウェイ）、スウェーデン王立工科大学（スウェーデン）、ケンブリッジ大学（英）、マンチェスター大学（英）

- **ヒューマンブレインプロジェクト**：ハイデルベルグ大学は、2013年に開始されたEUのヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト9「ニューロモーフィックコンピューティングプラットフォーム」で、ブレインスケールスの開発を続けている。
  - ・ サブプロジェクト9は、ニューロモーフィックコンピューティングプラットフォームの開発を目標としており、ハイデルベルグ大学がプロジェクトリーダーを務めている。
  - ・ サブプロジェクト9では、ブレインスケールスとスピNNaker（SpiNNaker）という2つの脳に着想を得たコンピューティングシステムの開発と運用、そして、脳に着想を得た新しい人工知能の研究を行う<sup>160</sup>。

サブプロジェクト9/「ニューロモーフィックコンピューティングプラットフォーム」のリーダー、サブリーダー、作業パッケージのリーダー組織

リーダー	ハイデルベルグ大学
サブリーダー	マンチェスター大学
作業パッケージリーダー1：プラットフォームソフトウェアと運用	フランス国立科学研究センター
作業パッケージリーダー2：次世代物理モデル実行	ハイデルベルグ大学
作業パッケージリーダー3：次世代メニーコア実行	マンチェスター大学
作業パッケージリーダー4：コンピューテーショナル原則	グラーツ工科大学
作業パッケージリーダー5：プラットフォームトレ	ハイデルベルグ大学

<sup>160</sup> ヒューマンブレインプロジェクトについては、本報告書第1部第1章を参考のこと。

## イギリス / マンチェスター大学 計算機科学部 先端プロセッサ研究グループ

- マンチェスター大学計算機科学部に設置された先端プロセッサ研究グループ（以下、先端プロセッサ研究グループとする）では、情報処理とコンピューテーションの新しいアプローチを研究している。
- マンチェスター大学は、スピナーカー（SpiNNaker）<sup>161</sup>という人間の脳の働きに着想を得た新しいコンピュータアーキテクチャの研究で有名である。スピナーカーは、最初のプロジェクト終了後、BIMPA プロジェクト、そして、現在はEUのヒューマンブレインプロジェクトとBIMPCプロジェクトで開発が継続されている。
- スピナーカープロジェクト：2005年に、イギリスの工学・物理研究評議会から助成されてプロジェクトが開始され、2009年に最初のテストチップ（スピナーカーチップ）が開発されている。
- スピナーカープロジェクトの目標
  - ・ 神経科学、ロボット工学、計算機科学の研究者の研究ツールとして、リアルタイムで神経ネットワークシミュレーションに対応する高性能大規模並列処理のためのプラットフォームを提供すること。
  - ・ 既存のスーパーコンピューティングの規則を超えて、エネルギー効率の高い、並列計算の新しい原理に基づくコンピュータアーキテクチャを研究すること。
- スピナーカーは、神経科学、ロボット工学、計算機科学という3つの分野に大きな影響を与える。
  - ・ 神経科学への影響：神経科学者に脳を理解することを支援するプラットフォームを提供する。
  - ・ ロボット工学への影響：低電力で神経ネットワークをシミュレーションすることを可能にする。
  - ・ 計算機科学への影響：既存のスーパーコンピュータが利用する規則を超えて、並列計算の新しい原理を発見する可能性を示す。
  - ・ ARM社がARM968プロセッサをスピナーカーチップ開発のために提供している<sup>162</sup>。

### 英工学・物理研究評議会のスピナーカープロジェクトの基本情報

プロジェクト名称	スピナーカー（SpinNNaker）
----------	--------------------

<sup>161</sup> <http://apt.cs.manchester.ac.uk/projects/SpiNNaker/project/>

<sup>162</sup> スピナーカーチップについてより詳しくは、以下のサイトを参考のこと。  
<http://apt.cs.manchester.ac.uk/projects/SpiNNaker/SpiNNchip/>

研究期間	2005年～2009年
コーディネータ	マンチェスター大学（英）
参加組織	サウサンプトン大学（英）、ケンブリッジ大学（英）、シーフィルド大学（英）、ARM社（当時はイギリスの企業、現在は日ソフトバンク社傘下）、シリスティックス社（英）、タレス社（仏）

- **BIMPA プロジェクト**<sup>163</sup>：スピナーカーは、プロジェクト終了後、イギリスの工学・物理研究評議会から助成を受けて、BIMPA プロジェクトで開発が続けられている。

#### 英工学・物理研究評議会のBIMPA プロジェクトの基本情報

プロジェクト名称	BIMPA
正式名称	生物に着想を得た大規模並列アーキテクチャ
研究期間	2009年1月～2014年10月
研究予算	270万7120ポンド
コーディネータ	マンチェスター大学（英）
参加組織	ARM社、シリスティックス社（英）

- **ヒューマンブレインプロジェクト**：スピナーカーの開発は、ハイデルベルグ大学のブレインスケールズとともに、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト9で続けられる。
  - ・ サブプロジェクト9は、ニューロモーフィックコンピューティングプラットフォームの開発を目標としており、マンチェスター大学はプロジェクトのサブリーダーを務めている。
- **BIMPC プロジェクト**<sup>164</sup>：スピナーカーの開発は、EUの第7次枠組計画で助成されたBIMPCプロジェクトでも継続されている。
  - ・ 研究トピック：神経記憶、シンボリック計算（どのように記号を表象するか）、制約を使った問題解決（数独のような制約がある問題の解決）、NENGOとSPAUNの利用（神経システムをシュミレーションするためのソフトウェアパッケージと機能的脳モデルの利用）<sup>165</sup>

#### FP7のBIMPC プロジェクトの基本情報

プロジェクト名称	BIMPC
----------	-------

<sup>163</sup> <http://gow.epsrc.ac.uk/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=EP/G015740/1>

<sup>164</sup> <http://apt.cs.manchester.ac.uk/projects/BIMPC/>

<sup>165</sup> <https://www.nengo.ai/index.html>

正式名称	生物に着想を得た大規模並列計算
研究期間	2013年3月～2018年2月
研究予算	239万9761ユーロ
コーディネータ	マンチェスター大学 (英)

## フランス / 国立科学研究センター 神経科学・情報・複雑性ユニット

- フランス国立科学研究センターの神経科学・情報・複雑性ユニット（以下、ユニックとする）では、物理学と生物学を交差させる学際的な研究が実施されている。
- ユニックの人員は40名（研究者と技師）
- ユニックは、特に統計的物理学、ダイナミックシステム、応用数学に由来するコンセプトを利用して、視床・皮質ネットワークにおける感覚処理の実験的探求、低レベルの知覚のシナプスと神経メカニズムの特定を目標としている。
- ユニックには6つの研究チームがある。
  - ・ 視覚認知科学
  - ・ 体知覚処理、神経モデレーション、可塑性
  - ・ 視床・皮質ネットワークの神経サイバネティクス
  - ・ 計算神経科学と視床・皮質ダイナミクス
  - ・ データ主導のモデリングとニューロモーフィックコンピューティングのための神経情報学
  - ・ マルチ感覚統合と非形式的知覚の皮質処理
- ユニックの神経情報学研究チーム長のアンドリュー・ダヴィソン教授<sup>166</sup>は、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト9の作業パッケージリーダー1（プラットフォームソフトウェアと運用）のリーダーを務めている。
- 神経情報学研究チームは、ハイデルベルグ大学が主導するEUのブレインスケールスプロジェクトに参加しており、ニューロモーフィック計算システムを開発している。
- ユニックの神経情報学研究チームの目標
  - ・ 皮質及び下皮質ネットワーク機能を発生させるために、どのように神経特性、シナプス特性、ネットワーク接続性が相互作用するのか、計算アプローチを使って理解することを目標とする。
  - ・ 神経科学と情報学の学際的研究：神経科学に関しては、感覚システムにおける計算機能を研究するために、データ主導アプローチを利用する。情報学に関しては、神経科学データのデータベース化と共有の方法論を開発している。

<sup>166</sup> <https://www.unic.cnrs-gif.fr/teams/Research%20group%20of%20Andrew%20Davison>

- 神経情報学研究チームが採用する方法
  - 計算モデリング
  - 大規模シミュレーション
  - データベース開発
  - ワークフロー自動化
  - ニューロモーフィック計算
- 神経情報学研究チームはオープンソースソフトウェアを開発し、リリースしている。
  - PyNN<sup>167</sup> : 神経ネットワークモデルを構築するためのシミュレータから独立した言語
  - Neo<sup>168</sup> : 電気生理学データの分析、視覚化、一般化向けのパイhtonツール間での相互運用性を改善するツール
  - ニューロツール<sup>169</sup> : 神経シミュレーションプロジェクト向けのサポートツール
  - スマトラ<sup>170</sup> : プロジェクト管理ツール
- 神経情報学研究チームは、NeuroML<sup>171</sup>と NineML<sup>172</sup>という国際標準化活動と電気生理学データ共有活動に参加し、国際神経情報学コーディネーティング組織 (INCF) でフランスを代表している<sup>173</sup>。

## 第6回ニューロスティック (NeuroSTIC) 視察レポート

- ニューロスティックは、神経科学に関わる研究開発を行うフランスの研究機関や企業が参加するカンファレンスであり、様々な分野の研究者が研究や製品についてプレゼンテーションを行う場である。今回で6回目であり、初めてブレストで開催された (期間 : 2017年10月5~6日)。
- ニューロスティックは学際性を特徴とするイベントであり、脳の解剖学的研究からドローンの開発まで幅広い分野のプレゼンテーションが行われる。第6回目の主催者は、フランス国立科学研究センターの STICC 研究所 IAS (Interaction between Algorithms and Silicon) チーム<sup>174</sup>である。IAS チームは、脳の働きをモデルにした新しい人工知能を開発する研究グループなので、イベントでは深層学習の応用研究、脳や生物に着想を得た新しい人工知能やロボットの開発に関するプレゼンテーションが多かった。

<sup>167</sup> <http://neuralensemble.org/PyNN/>

<sup>168</sup> <http://neuralensemble.org/neo/>

<sup>169</sup> <http://neuralensemble.org/NeuroTools/>

<sup>170</sup> <http://neuralensemble.org/sumatra/>

<sup>171</sup> <https://www.neuroml.org>

<sup>172</sup> <http://neuralensemble.org/docs/PyNN/nineml.html>

<sup>173</sup> <http://neuroinf.fr>

<sup>174</sup> <https://www.labsticc.fr/en/index/>

<https://www.labsticc.fr/en/teams/m-9-ias-.htm>

## イベントの概要

- 第6回目のイベントには81名が参加登録した。参加者の内訳は、企業から12名、研究機関から55名、学生が5名、その他9名であった。
- イベントが開催された場所は、ブレスト郊外の技術開発拠点（テクノポール）であり、様々な研究機関、企業が集まっている。

## コーディネータの基本情報

- 主催者の STICC 研究所 IAS チームは、IMT アトランティック<sup>175</sup>を含む、複数の研究機関を統合する研究ユニットである。IAS チームでは、特に IMT アトランティック電子工学部の研究者が中心になって、神経コーディング（Neural coding）の研究を実施している。
- 情報学者として有名な IMT アトランティックのクロード・ベルー名誉教授が、2011年に NEUCODE プロジェクト<sup>176</sup>で脳研究に情報理論を利用する研究を開始し、その研究が現在の IMT アトランティックにおける脳研究と情報理論の融合研究の起源となっている。
- IMT アトランティック電子工学部のニコラ・ファールジャ准教授が、脳研究に基づく新しい人工知能の開発を目標とするブレイン（BRAIN : BRain inspired Artificielle INtelligence）<sup>177</sup>プロジェクトのコーディネータを務めている。ファールジャ准教授は、電子工学の研究の博士課程で行った後、神経科学の研究を開始した。

## 1. 各プレゼンテーションの概要

- 以下に、主なプレゼンテーションの概要を記す。

### 深層学習、人工知能技術の研究関連分野

#### 戦闘潜水ドローンのインテリジェンス：タレス WAVES 研究所

- 仏タレス社（Thales）の WAVES 研究所（Labo Waves : Water Autonomous Vehicles and Embedded Systems）は、無人ドローンの開発を行っている。
- タレスは 1995 年頃から潜水ドローンの開発を開始し、海底監視向けドローンなどを開

---

<sup>175</sup> IMT アトランティックは、テレコムブルターニュを含む、複数の機関を編成し、2017年1月に設立された。

<sup>176</sup> <http://recherche.imt-atlantique.fr/neucod/>

<sup>177</sup> <http://recherche.telecom-bretagne.eu/brain/>

発している。2015年に、タレスはフランス政府と英国政府と契約して、海洋機雷を自動的に探知し、処理する対策システムの開発を開始している。

- 現在、ドローンの技術が進歩しており、特に、センサーの性能向上（ソナーなど）、自律移動に関わる通信能力（ドローンとコントロール室の通信速度の向上）、バッテリー（消費電力の減少）、知覚能力の拡張がドローン向けの技術として挙げられる。
- ドローンへの脳研究に関連する人工知能の利用については、知覚能力の拡張、すなわち、画像分類への深層学習の利用と機雷の探知技術の向上（DAE 技術 / De-noising Auto-Encoder から CNN 技術 / Convolutional Neural Network へ移行）が考えられている。
- 今後の課題としては、多数の無人ドローンを集団的に利用すること、また、学習し、自ら改善する能力を自律システムに与えることなどがある。無人ドローンの集団的な利用に必要な集団的インテリジェンスは、複数のドローンが一緒に一つの目標に到達することを可能にする。

#### **65mm CMOS 人工ニューロンにおける確率共鳴の実験的調査：マイクロ電子工学・ナノ技術研究院**

##### **(IEMN) と情報・先端通信ソフトウェア部品・素材研究院 (IRCICA)**

- マイクロ電子工学・ナノ技術研究院 (IEMN)<sup>178</sup>、情報・先端通信ソフトウェア部品・素材研究院 (IRCICA)<sup>179</sup>、リール第 1 大学、フランス国立科学研究センターは、ニューロモーフィックの共同研究を実施しており、人工ニューロンを開発している。
- 現在、ニューロモーフィックや脳に着想を得たシステムの研究開発が世界で進められている。
- 研究の目的は、情報処理の電力消費を減少させるために、超低電力性の単純な人工ニューロンを開発すること、生物のニューロンで観察される現象を人工ニューロンの中で再現し、新しいバイオ医療アプリケーションを開発することである。
- この人工ニューロンは、100fj/spikes 以下の電力消費、57pW 以下の超低電力を実現する。

##### **深層学習と組み込みアプリケーション：NVIDIA**

- NVIDIA<sup>180</sup>はアメリカの半導体メーカーであり、GPU（グラフィック処理ユニット）を開発し、販売している。GPU という言葉を作ったのは同社である。同社はもともとゲームや自動運転、ドローン向けに組み込み品を開発していたが、最近では深層学習の応用研究を行っている。
- 人工知能の研究開発が現在盛んであり、特に自動運転には産業が大きく投資している。

<sup>178</sup> <https://www.iemn.fr>

<sup>179</sup> <http://www.ircica.univ-lille1.fr/?lang=fr>

<sup>180</sup> <https://www.nvidia.fr/page/home.html>

- GPUを使った深層学習が新しいコンピューティングモデルである。NVIDIAは、トレーニング向けにDGX-1、データセンター向けにTesla、エッジ端末向けにJetsonを開発している。
- 人工知能はスマートシティで非常に重要である。特に、監視カメラの大量の動画分析のために有用である。他にも、自動車や人、顔の探知、追跡、画像の分類に利用できる。
- 分析処理の速度を上げるためには、精度をある程度抑えた方がよく、最適化する必要がある。NVIDIAは、TensorRTという深層学習の最適化エンジンを開発している。
- NVIDIAは、端末の組み込み品として、JetsonTX1とTX2を開発している。
- JETSONは、工場の自動化、ロボット、スマートシティアプリケーションなどの端末に組み込み、利用できる。

#### その他のプレゼンテーション

#### MRIデータに基づく脳の早期発達についての研究：IMTアトランティック

- 脳の機能の研究ではなく、解剖学の観点から、MRIのデータを使って、出生前の胎児の脳の発達について研究をしている。
- 解剖学的研究なので、fMRI（機能的磁気共鳴画像装置）ではなく、sMRI（構造的磁気共鳴画像装置）を使う。
- 研究の結果、未熟児の脳（例えば、8ヶ月で誕生）は同じ歳の胎児の脳（母体内の8ヶ月）と比べて、発達度合いが明らかに大きいことがわかっている。だが、なぜこのような違いが出るのかはわかっていない。
- MRIデータに基づいて、脳の発達の動的なデジタルシュミレーションモデルを開発したが、現在、発達の逆をたどる動的なシュミレーションモデルを開発している。
- 自閉症の子供の脳は、そうでない子供の脳とシワの場所、形が違うという研究がある。
- 脳の形と機能にはつながりがあり、形は機能の制約となる。またある一定の機能を使えば、形が変わることもある。

#### サリエンシーモデルと目の運動の検討と見通し：情報学・確率システム研究院（IRISA）

- 情報学・確率システム研究院（IRISA）<sup>181</sup>は、フランスのブルターニュ地方に拠点をもち、800名の人員、40の研究チーム、7つの研究部門を持ち、特に情報学、自動化、信号とイメージ処理、ロボット工学の研究を行っている。
- 視覚における注意とは、情報量を減らすことにある。例えば、『チャーリーを探せ』という本では、一辺に現れる情報量が多すぎて、すぐにチャーリーが見つからない。
- 視覚的注意には、目の運動を伴うもの（Overt visual attention）と伴わないもの（Covert

<sup>181</sup> <https://www.irisa.fr>

visual attention) がある。

- 視覚的注意には、ボトムアップ性（受動的に無意思的に注意する）、トップダウン性（能動的に意思的に注意する）がある。
- 情報学・確率システム研究院は、目の運動を伴うボトムアップ性注意の研究を実施している。

## **2. 脳の情報処理をモデルにした新しい人工知能と生物に着想を得たロボット開発組織の概要**

- ニューロスティック 2017 に参加していた脳や生物に着想を得た新しい人工知能やロボットの開発を行う組織を紹介する

### **脳に着想を得た新しい人工知能開発**

#### **BVS テック社**

- BVS テック (Brain Vision Systems) 社<sup>182</sup>は、2006 年にパリに設立された企業であり、インテリジェントビジョンシステムを開発し、ロボット製造業者などに製品を供給している。
- BVS は、特に BIPS (Bio-inspired Perception Systems) の開発で有名であり、この技術は目と脳の生理学に基づいており、視覚機能を電子機能へ適応する。

#### **グローバルセンシングテクノロジーズ社**

- グローバルセンシングテクノロジーズ社<sup>183</sup>は、信号処理と組込電子工学の専門にしており、人工知能を搭載する軽量システムを開発している。
- ブルゴーニュ大学と提携して、画像や動画を自動的に処理するために、深層ニューラルネットワークの研究を実施している。

### **生物に着想を得たロボット開発**

#### **パートナーングロボティクス**

- パートナリングロボティクス社<sup>184</sup>は、ディヤ・ワン (Diya One) という空気清浄ロボットを開発している。同ロボットは空気清浄機と各種センサー（気温、湿度、酸素など）が搭載されており、自動移動装置にマウスの動きに着想を得た技術が使われている。

<sup>182</sup> <http://www.bvs-tech.com/website/eng/page.php?id=15>

<sup>183</sup> <https://gsensing.eu/fr>

<sup>184</sup> <https://partnering-robotics.com/fr/>

### IMT アトランティック

- IMT アトランティックは、ローザンヌ連邦工科大学（バイオロボット工学研究所）と提携して、生物をモデルとするロボット工学の研究を行っており、ウナギのような形をした複数の分節を持つ蛇型ロボットを開発している。

## 第5章 脳情報ビッグデータ

- 脳研究が進むにつれて、大量の脳情報を分析し、処理する脳情報ビッグデータの研究が進展している。
- 脳情報ビッグデータは、様々な角度から脳を研究し、研究プラットフォームを開発するヒューマンブレインプロジェクトで、重要視されているテーマである。サブプロジェクト2 / 「人間の脳の組織」、サブプロジェクト8 / 「医療情報学プラットフォーム」、サブプロジェクト5 / 「神経情報学プラットフォーム」で、それぞれ研究が進められている。特に、サブプロジェクト5は、他のサブプロジェクトで生まれた脳情報を組織し、管理するためのツールとサービスを開発し、提供することを目的としている。
- 1) フランスの脳・脊髄研究院 (ICM) アラミスグループ、2) フランスの原子力・代替エネルギー庁フレデリック・ジョリオ研究院ニューロスピンユナティ、3) ドイツのユーリッヒ研究センター神経科学・医療研究院 脳の構造・機能組織 (INM-1) ビッグデータ分析グループを紹介する。
- 脳・脊髄研究院 (ICM) アラミスグループ
  - ・ 脳情報ビッグデータの研究により、人間の脳情報の新しい分析手段やソフトウェアを開発している。特に脳の数学的モデル化の研究を行っている。ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト8 / 「医療情報学プラットフォーム」に参加している。
- 原子力・代替エネルギー庁 フレデリック・ジョリオ研究院 ニューロスピン ユナティ
  - ・ MRI と遺伝のデータの統合方法、高磁場 MRI のデータを分析処理するための技術、コンピュータによる脳画像分析のツールを開発している。ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト2 / 「人間の脳の組織」に参加している。
- ユーリッヒ研究センター 神経科学・医療研究院 脳の構造・機能組織 (INM-1) ビッグデータ分析グループ
  - ・ 人間の脳の3Dモデルの開発を目標としており、そのため、スーパーコンピュータを利用した脳情報のビッグデータ分析の研究を行っている。大規模な神経科学データの処理と分析を行い、人間の脳のマルチスケール・マルチモーダルなデジタル地図を開発することを目標とする。ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト5 / 「神経情報学プラットフォーム」に参加している。

## フランス / 脳・脊髄研究院 (ICM) アラミスグループ

- 脳・脊髄研究院 (Institut du Cerveau et de la Moelle épinière / 以下、ICM とする)<sup>185</sup>は、神経科学の包括的な研究機関であり、25 の研究グループを持つ。特に、細胞分子生物学、神経生理学、認知科学の研究を実施している。
- ICM は、フランス国立科学研究センター、国立保健・医療研究院、パリ・ピエール・マリキュリー大学 (旧パリ第 6 大学) の合同研究所であり、フランス各地に分散した神経科学の研究組織を集合させるために 2010 年に設立された。
- ICM は、フランスで精神病と神経病の研究で歴史的に有名なサルペトリエール病院内に設置されており、医学とのつながりが深いことが特徴である。
- ICM のアラミスグループは、脳情報ビッグデータの研究により、人間の脳情報の新しい分析手段やソフトウェアを開発している。
- アラミスグループの人員 : 30 名
- アラミスグループの特徴・ユニークな点 :
  - ・ 脳情報ビッグデータ、特に脳の数学的モデル化の研究に捧げられている。
  - ・ 脳医学とのつながりが深い。
  - ・ 数学者、エンジニア、神経科学者などが共同して、学際的な研究を実施している。
- アラミスグループのスタンレー・デュレルマン主任研究員は数学者であり、MRI のデータや遺伝データを分析し、脳の数学的モデルを構築することを目標としている<sup>186</sup>。最終的に、アルツハイマー病などが各個人において、どのように進展するかを予測することを目指す。
- ヒューマンブレインプロジェクト : アラミスグループは、EU のヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 8 / 「医療情報学プラットフォーム」に参加している。
- サブプロジェクト 8 は、医療情報学プラットフォームの開発を目標としている。同プロジェクトでは、病院、研究機関などから安全な仕方では脳医療データを収集し、蓄積して、誰でも利用可能なオープンソースの研究設備の開発を目指す。
- サブプロジェクト 8 は、脳情報をバイオマーカーとして利用し、脳疾患の治療を改善すること、治療、脳科学、臨床研究の間にある障壁を取り除くことを目指す。
- サブプロジェクト 8 の作業パッケージ 3 では、収集したデータから数学的モデル、アルゴリズムを開発し、アルツハイマー病の患者ごとに異なる進展を予測することを目標としている。以上のため、アラミスグループが、収集されたデータから病気進行モデルを研究するソフトウェアを開発しており、プラットフォームに搭載する予定である。

<sup>185</sup> <https://icm-institute.org/en/>

<sup>186</sup> 2017 年 11 月 19 日にインタビュー調査を実施した。

サブプロジェクト8/「医療情報学プラットフォーム」のリーダー、サブリーダー、作業パッケージの  
リーダー組織

リーダー	ローザンヌ大学（スイス）
サブリーダー	テル・アヴィブ大学（イスラエル）
作業パッケージリーダー1：連合された臨床データ インフラストラクチャ	ローザンヌ連邦工科大学
作業パッケージリーダー2：データ選択とコミュニ ティ参加：	ローザンヌ大学
作業パッケージリーダー3：データ、ツール、病気 の生物サイン：	テル・アヴィブ大学
作業パッケージリーダー4：理論、病気モデル、ビ ッグデータ工学：	カーディフ大学（イギリス）
作業パッケージリーダー5：医療情報学プラットフ ォーム：	ローザンヌ大学

**ICM 主催の第2回オープンプレインバーの視察レポート**

- 日程：2017年9月20日
- 場所：フランス・パリ

**イベントの概要**

- 2017年9月20日、フランスのパリで、ICMと仏科学雑誌『科学と未来(Sciences & Avenir)』の共催で、第2回オープンプレインバーが開催された。
- ICMは脳と神経系の理解、神経系の病気の診断と予測、そして、治療法の発見を学際的に研究する公益法人の研究機関であり、パリに2010年に設立された。
- 同機関は、公的機関と民間（企業による支援、寄付など）から助成されるとともに、産業界と研究契約し、資金を得ている。
- 同機関は、神経科と精神科で有名なサルペトリエール病院内に設置されている。
  - ・ オープンプレインバーは、ICMの研究者が市民に最先端の研究について紹介し、議論する場であり、今回が2回目であった。テーマは、9月21日が世界アルツハイマーデーであることから、「人工と人間の知能はアルツハイマー病を克服するか？」というもので、同機関で研究されている脳情報ビッグデータの研究や脳情報のバイオマーカーへの応用研究の紹介も行われた。
  - ・ ICMの研究者2名、ステファン・エペルボーム氏（ICMのアルツハイマー病・プリオ

ン病研究チーム主任研究員 / 認知や行動に関わる症状の診断が専門)、スタンレー・デュルレマン氏 (ICM のアラミス・人間の脳のイメージと信号処理のための数学的モデルとアルゴリズム研究チーム主任研究員 / ニューロイメージングデータの数学的モデル化が専門)、そして、ICM と提携するジェニウスグループ (GENIOUS Groupe) のピエール・フーロン氏 (ジェニウスグループ デジタル・シリアスゲーム・eヘルス拠点長 / デジタル技術の健康部門への応用が専門) がイベントにスピーカーとして参加した。一般市民は 40~50 名ほどがイベントに参加した。

写真 会場の様子 (イベントはパリのカフェで開催された)



#### プレゼンテーションの概要

以下に、各スピーカーのプレゼンテーションの概要を記す。

#### ICM アルツハイマー病・プリオン病研究チーム主任研究員 / ステファン・エペルボーム氏

- 今日、アルツハイマー病の診断はより信頼できるものになった。特にアルツハイマー病であるか否か診断する記憶力の試験が進歩し、また、この診断をほぼ確実にバイオマーカーによって確かめることができるようになった。アルツハイマー病では、一方で記憶力の障害という症状があり、他方で、脳に損傷が蓄積されており、症状は脳の損傷を反映している。現在、非侵襲性の新しい脳計測技術によって、人間を傷つけずに、症状を引き起こす脳に起きた損傷を知ることができるようになった。アルツハイマー病研究に関しては、この 10 年から 15 年にかけて、おそらく計測技術を使った診断が最も進歩した。
- アルツハイマー病に対する治療法がないわけではない。その効果は産業界だけでなく、研究機関の研究によっても証明されている。産業界ではなく、研究機関による治療効果

の研究は、一定の公平性を確保することができるはずである。この 15 年間で開発されたアルツハイマー病向けの幾つかの医薬品は、症状の原因を断つことはないが、緩和する効果がある。これは患者にとって好ましいだけでなく、患者を見守る家族にとっても非常に良いことである。

- ICM は、スタートアップ企業のカルテラ (Carthera)<sup>187</sup>と提携して、超音波を利用する脳向けの侵襲性の医療端末を開発している。この端末は人間への利用が認可されており、現在アルツハイマー病ではなく、脳腫瘍に対して使われている。
  - サルペトリエール病院の神経外科医であり、カルテラの科学責任者でもあるアレクサンダー・カルポンチエ氏が同端末の開発に関わった。通常、超音波は頭蓋骨によって阻まれて、分散してしまい、有効な仕方では脳内には届かない。だが、ICM とカルテラが開発した端末は、外科医によって頭蓋骨に固定され、そこから超音波を脳内に発信できる。同種の端末は ICM とカルテラが世界で初めて開発したものであり、端末の侵襲性は最小限度に抑えてある。
  - 超音波は、血液脳関門を一時的に開き、脳への化学医薬品の効果を増大させる。通常、投与された薬は血液脳関門 (Blood-Brain Barrier) に阻まれ、血管内を通るのみで、脳へと浸透せず、その効果が限定されてしまうが、超音波は血液脳関門を開き、薬を血管から脳へと浸透させる<sup>188</sup>。
  - 同端末のアルツハイマー病への利用も進められており、遺伝でアルツハイマー病を生じさせたネズミで同端末の実験を行ったら、効果があった。
  - 現在、1 名の被験者がいるのみであるが、今後すぐに利用を展開させていく予定である。このため、ICM 内で、外科医、ニューロイメージング技術の専門家と協力している。
- 以上のようなアルツハイマー病の治療と共に、ICM は同病の早期診断法を研究している。
  - 例えば、また健全な記憶力がある 50 代の人々を対象に、アルツハイマー病の兆候を特定しようとする研究を行っている。
  - この研究のため、われわれは脳の数学的モデルの構築が専門であるスタンレー・デュルレマン氏 (同イベントの三番目のスピーカー) と提携して、研究を行っている。われわれの研究チームは最大限データを収集し、スタンレー氏の研究チームに提供する。彼らは人工知能を使って、データを処理し、アルツハイマー病のリスクを特定しようとする。
  - スタンレー氏の研究は、アルツハイマー病の進行の個人差も特定することを可能にする。ある患者では病気の進行が他の患者よりも速く、また深刻でありうる。

---

<sup>187</sup> <http://carthera.eu>

<sup>188</sup> より詳しくは、カルテラのホームページを参考のこと。

<http://carthera.eu/technologies/technologies/>

- ・ 脳内に生物学的変異が生じ、アルツハイマー病の症状が起こるまでには、10年以上も時間がかかることがある。
- ・ 身体運動がアルツハイマー病の予防に効果があるかどうかは、科学的に断定したことが言えるわけではない。
- ・ アルツハイマー病を発症する人の数が近年少しずつ減っているが、これは他の様々な病気に対する治療法が進歩していること、社会が身体運動をより推奨するようになったことなど、多数の要因が考えられる。

#### ジェニウスグループ デジタル・シリアスゲーム・eヘルス拠点長 / ピエール・フーロン氏

- ジェニウスグループは、ICM と提携して、ラブコム (Laboratoire Commun : 共通研究所) を創設した。このラブコムの名称は、ブレイン・eノベーション (BRAIN e-NOVATION)<sup>189</sup>である。
- ブレイン・eノベーションは、デジタル技術を使った治療法の開発を行っており、アルツハイマー病の治療法として、シリアスゲームを開発している。
- 開発のため、アルツハイマー病患者に参加してもらい、認知、身体、行動、情動の計測を行い、データを収集した。
- ブレイン・eノベーションは、キュラピィ (Curapy)<sup>190</sup>というシリアスゲームのオンラインプラットフォームを開発した。このゲームはアルツハイマー病の症状の進行を遅らせることを目的とし、来週頭 (9月25日) にリリース予定である。
  - ・ キュラピィは、認知活動と身体運動を訓練するゲームであり、医療施設でも、自宅でも利用できる。
  - ・ 医師などにゲームの結果を毎日送り、アルツハイマー病の進展を追跡することができる。
  - ・ 例えば、X トープ (X-TORP)<sup>191</sup>というゲームでは、利用者は軽度のエアロビクスのような身体運動を行うとともに、アルツハイマー病に特有の症状を診断するためのテストをゲーム内で受ける。同ゲームはフランス製であり、医療機器として認可されている。
  - ・ パーキンソン病向けのゲームもあり、同病で最も危険である患者の転倒を 40 パーセント減少させる結果が出ている。
  - ・ これらのゲームの利用は無料であるが、月額 5 ユーロでゲームの結果のデータを取得でき、月額 10 ユーロで、医療関係者が患者のゲーム利用の際のデータを受け取り、病気の進展を追跡することができる。

<sup>189</sup> <http://www.brainnovation.com>

<sup>190</sup> <https://www.curapy.com>

<sup>191</sup> <https://www.curapy.com/jeux/x-torp/>

アラミス・人間の脳のイメージと信号処理のための数学的モデルとアルゴリズムチーム主任研究員 /  
スタンレー・デュルレマン氏

- ・ われわれは、収集したデータに基づく脳の数学的なモデルの開発を行っている。これはアルツハイマー病の発症と進展を予測することを可能にする。
- ・ 脳研究は海の潮汐表の作成に類似している。潮の満ち引きを予測するには、それを引き起こす無数の物理的要因を考慮して、計算を行う必要はなかった。19世紀以来、潮汐表を作成することが可能になったが、それは何世紀にもわたって、特に軍事向けに潮汐のデータが収集されてきたからであり、実のところデータの膨大な蓄積と規則性の発見によってなされた。同じ潮の満ち引きというものは存在しないが、規則性は存在するのである。
- ・ 生物学者ではない私が ICM に来た当時、アルツハイマー病について知らないことが多かったが、エペルボーム氏（最初のスピーカー）が同病について様々なことを教えてくれ、私なりにアルツハイマー病とその研究について理解した。
- ・ 第一に理解したことは、われわれはアルツハイマー病についてかなり多くのことを知っており、いわば、多くのパズルのピースを持っているが、最終的に再構成すべきイメージを持たないことである。エペルボーム氏は、その最終的なイメージについて一つの考えを持っていたが、それは外的に表現しにくく、操作できず、伝達できないものであるようであった。
- ・ 第二に理解したことは、患者がアルツハイマー病と診断された時にはすでに手遅れであることである。脳の損傷がすでに何年前から進んでおり、診断された時には回復不可能である。したがって、発症するずっと以前に予測することが必要である。
- ・ 私は数学的な知識を基に、世界には非常に複雑であり、すべての要因を理解することはできないが、再現すること、総合すること、操作すること、伝達すること、そして、予測することが可能であるようなシステムが存在すると考えている。
- ・ 例えば、iPhone の音声認識アプリケーションである Siri は、フランス語を理解するが、文法などを学んだわけではない。たくさん事例と文脈をただ知っているだけである。だが、事例数が多く集まると傾向がわかるようになる。これは子供が言語を習得する過程にも似ている。子供は文法などを勉強せずに、単純に模倣によって、間違えながら言語を学ぶ。
- ・ われわれの研究はアルツハイマー病の患者の症状を予測すること、リズム、過程を明らかにすることにある。そのため、データを収集し、アルゴリズムを当てはめ、人工知能のプログラムで処理する。人工知能はまだ新しい分野であり、開発を進めるには非常に多くのデータを必要とする。われわれの研究グループでは、神経科学者、数学者、統計学者が一緒に働いている。

- ・ 様々なデータから規則性を抽出することが問題であるが、最終的には、各人のケースに合わせて、アルツハイマー病の発症と展開を予測し、予防することが目標になる。われわれの研究は、将来的に様々なアルツハイマー病に対する治療法を改善することになる。だが、予防のために外科手術を行うほどには、まだ十分に正確に予測することはできない。
- ・ 人工知能は以前からある考えであるが、科学的な概念ではない。それは人間の知能の諸側面を人工的に機械で再現しようとする試みである。私が学生の頃は、人工知能にはほとんど人は関心を持たなかったが、現在はメディアで取り上げられるほど流行している。人工知能を再現する技術は一つではないが、その技術としては現在、データ処理を基盤とする機械学習、そして、機械学習の技術として深層学習に注目が集まっている。現在、これらの技術の研究が飛躍的に進められるとともに、IT 産業が非常に多くのデータを保持しており、研究に有利な状況にある。
- ・ 脳情報ビッグデータの脳研究や神経系医療への影響としては、脳の数学的モデル化の研究によって、新しい仮説を提出でき、また病気の進展を予測することができるようになったこと、医者や患者に、アルツハイマー病などの病気の進展について情報を提供できることをあげることができる。

## フランス /原子力・代替エネルギー庁 (CEA) フレデリック・ジョリオ研究院 ニューロスピン 情報分析・処理ユニット

- 原子力・代替エネルギー庁 (CEA : Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies alternatives) は、元々、原子力エネルギー技術の開発を行うために創設されたが、現在は他分野の様々な研究を実施している。CEA は、サックレーの他に、グルノーブルなど、フランスの幾つかの地域に研究拠点を持つ。
- CEA は、サックレー拠点に幾つかの研究院を持つが、その1つがフレデリック・ジョリオ生物科学研究院である<sup>192</sup>。この研究院は4つの内部組織を持ち、その1つがニューロスピンである。
- ニューロスピン<sup>193</sup>は、大型ニューロイメージング装置を装備した脳研究の研究センターであり、2007年以來、国内外の研究機関と産業によって利用されている。
- ニューロスピンには、ニューロイメージング技術の専門家である物理学者から神経科学者まで、複数の分野の専門家が集まり、正常な脳と病的な脳の働き方を理解するため、ツールとモデルを開発するとともに、様々な研究を実施している。

<sup>192</sup> <http://www.cea.fr/drf/Pages/La-DRF/Instituts/institut-joliot.aspx>

<sup>193</sup> [http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites\\_de\\_recherche/NeuroSpin.aspx](http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites_de_recherche/NeuroSpin.aspx)

- ニューロスピンの最高責任者は、認知科学の専門家であるスタニスラス・ドゥアエヌ教授である。同教授は、当初ヒューマンブレインプロジェクトに参加する意向であったが、プロジェクトの上層部が認知科学を助成対象外としようとしたことから、プロジェクトを離れている<sup>194</sup>。
- ニューロスピンは、特に脳信号計測技術の開発、認知科学、脳情報ビッグデータの開発を実施している。
- ニューロスピンの研究グループ<sup>195</sup>
  - ・ 臨床応用・トランスレイショナルニューロイメーキング研究ユニット（ユニアクト：UNIACT）
  - ・ MRI・分光学ユニット（ユニール：UNIRS）
  - ・ 情報分析・処理ユニット（ユナティ：UNATI）
  - ・ 認知神経科学ユニット（ユニコグ：UNICOG）
  - ・ 神経機能イメージング（ボルドー：BORDEAX）：仏ボルドー大学との共同研究を実施
- ニューロスピンの下部組織である情報分析・処理研究ユニット（以下、ユナティとする）<sup>196</sup>では、脳情報ビッグデータの研究を実施している。
- ユナティの3研究グループ
  1. ブレイノミクス（Brainomics）グループ<sup>197</sup>：MRIと遺伝のデータの統合方法と、これらの方法を神経科学や精神医学、神経遺伝病の研究、神経腫瘍学へ応用する研究を実施
  2. パリエタル（Parietal）グループ<sup>198</sup>：ニューロスピんに設置された高磁場MRIのデータを分析処理するための技術を開発し、利用して、脳の機能、構造、可変性を記述する研究を実施
  3. ナオ（NAO）グループ<sup>199</sup>：脳をマッピングし、その可変性をモデル化するために、コンピュータによる脳画像分析のツールを開発。ブレインビザ（BrainVisa）<sup>200</sup>というソフトウェアを開発し、公表している。
- ヒューマンブレインプロジェクト：ナオグループの責任者、ジャン＝フランソワ・マンガン研究者は、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト2/「人間の脳の組織」のサブリーダーと作業パッケージ5のリーダーを務めている。

<sup>194</sup> 本報告書第1部第1章第3節を参考のこと。

<sup>195</sup> ユニールとユニコグについては、次章で記す。

<sup>196</sup> [http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites\\_de\\_recherche/neurospin/unati.aspx](http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites_de_recherche/neurospin/unati.aspx)

<sup>197</sup> [http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites\\_de\\_recherche/neurospin/unati.aspx](http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites_de_recherche/neurospin/unati.aspx)

<sup>198</sup> <https://www.inria.fr/equipes/parietal>

<sup>199</sup> [http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites\\_de\\_recherche/neurospin/UNATI/research.aspx?Type=Chapitre&numero=3](http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites_de_recherche/neurospin/UNATI/research.aspx?Type=Chapitre&numero=3)

<sup>200</sup> [http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites\\_de\\_recherche/neurospin/UNATI/research.aspx?Type=Chapitre&numero=3](http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites_de_recherche/neurospin/UNATI/research.aspx?Type=Chapitre&numero=3)

- サブプロジェクト2の研究内容：人間の脳がどのように組織され、どの領域が繋がり、一つの機能を実行するためにどの部分が一緒に働くか明らかにする。

サブプロジェクト2/「人間の脳の組織」のリーダー、サブリーダー、作業パッケージのリーダー組織

リーダー	ユーリッヒ研究センター
サブリーダー	CEA、フィレンツェ大学
作業パッケージリーダー1：ヒューマンニューロゲノミクス	パスツール研究院（仏）
作業パッケージリーダー2：人間の脳の形態とアーキテクチャ	フィレンツェ大学（伊）
作業パッケージリーダー3：機能と可変性	デュッセルドルフ大学（独）
作業パッケージリーダー4：マルチモーダル処理ストリームの比較計算アーキテクチャ	ブレインイノベーション社（蘭）
作業パッケージリーダー5：統合マップとモデル	CEA
作業パッケージリーダー6：共通設計/方法とビッグデータ分析	ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン
作業パッケージリーダー7：管理とコーディネーション	ユーリッヒ研究センター

ドイツ / ユーリッヒ研究センター 神経科学・医療研究院 脳の構造・機能組織  
(INM-1) ビッグデータ分析グループ

- ユーリッヒ研究センターの神経科学・医療研究院の脳の構造・機能組織グループ（以下、INM-1 とする）<sup>201</sup>では、人間の脳の3Dモデルの開発を目標としており、そのため、スーパーコンピュータを利用した脳情報のビッグデータ分析の研究を行っている。
- この3Dモデルは、皮質アーキテクチャ、接続性（コネクティビティ）、遺伝、機能を考慮するものであり、ユーブレイン（JuBraion）と呼ばれている。
- INM-1の研究グループ
  - ・ アーキテクチャ・脳機能グループ
  - ・ ファイバアーキテクチャグループ
  - ・ ゲノミックイメージンググループ
  - ・ ビッグデータ分析グループ
  - ・ 言語神経解剖学グループ

<sup>201</sup> [http://www.fz-juelich.de/inm/inm-1/EN/Home/home\\_node.html](http://www.fz-juelich.de/inm/inm-1/EN/Home/home_node.html)

- ・ コネクティビティグループ
- ビッグデータ分析グループの研究
  - ・ 大規模な神経科学データの処理と分析を行い、人間の脳のマルチスケール・マルチモーダルなデジタル地図を開発することを目標とする。
  - ・ 人間の脳組織のイメージデータの処理、3D モデル構築、分析のために、深層学習の方法を使う。このため、ユーリッヒ研究センターのユーリッヒ・スーパーコンピューティングセンターと協力して、スーパーコンピュータを利用する。
  - ・ 脳イメージデータの管理向けのワークフローを設計し、運用している。
  - ・ 脳のデジタル地図を開発している (ヒューマンブレインプロジェクトの重要な要素)
  - ・ 神経科学データの標準化活動を欧州内外の機関と共に行っている。これらの標準はヒューマンブレインプロジェクトでも利用されている。
- ヒューマンブレインプロジェクト：ビッグデータ分析グループは、サブプロジェクト5 / 「神経情報学プラットフォーム」の作業パッケージ3 / 「人間の脳のマルチレベルアトラス」のリーダーを務めている。
  - ・ サブプロジェクト5の研究内容：他のサブプロジェクトで生まれた脳情報を組織し、管理するためのツールとサービスを開発し、提供する。

**サブプロジェクト5 / 「神経情報学プラットフォーム」のリーダー、サブリーダー、作業パッケージのリーダー組織**

リーダー	オスロ大学
サブリーダー	カロリンスカ研究所 (スウェーデン)
作業パッケージリーダー1：データキュレーションサポート研究所	ローザンヌ連邦工科大学
作業パッケージリーダー2：齧歯動物の脳のマルチレベルアトラス	オスロ大学
作業パッケージリーダー3：人間の脳のマルチレベルアトラス	ユーリッヒ研究センター
作業パッケージリーダー4：データとアトラスキュレーションツール	オスロ大学
作業パッケージリーダー5：コミュニティ主導の神経情報学プラットフォームとインフラストラクチャ運営	ローザンヌ連邦工科大学
作業パッケージリーダー6：データマイニングと神経情報学分析能力	ハイデルベルグ大学

作業パッケージリーダー7：アクティビティデータの統合され、パーソナライズされた分析のためのツールとキュレーション	ユーリッヒ研究センター
作業パッケージリーダー8：管理とコーディネーション	オスロ大学

## 第6章 脳信号計測技術の高度化

- 脳研究の発展には、脳信号計測技術の高度化が必要不可欠であり、欧州でも積極的に開発が進められている。EU のヒューマンブレインプロジェクト内で助成されている場合もある。
- 1) フランスの原子力・代替エネルギー庁 (CEA) フレデリック・ジョリオ研究院ニューロスピン ユニールとユニコグ、2) ドイツのユーリッヒ研究センター神経科学・医療研究院 医療イメージング物理学 (INM-4) と脳の構造・機能組織 (INM-1)、3) イタリアのフィレンツェ大学物理学部生物物理学生物フォトニクス研究所ニューロイメージンググループを紹介する。
- 原子力・代替エネルギー庁 フレデリック・ジョリオ研究院 ニューロスピン ユニールとユニコグ
  - ・ ニューロスピンは、大型の MRI (核磁気共鳴画像法) 装置を開発し、運用して、脳研究を実施していることで世界的に有名である。
  - ・ ユニールは、脳の解剖構造と働きをマッピングする研究と新しいニューロイメージング装置、特に MRI 装置の開発を実施しており、臨床研究向けとしては、現在、世界最大の 11.7 T (Tesla) MRI 装置を開発中であり、2019 年から利用開始予定である。
  - ・ ユニコグは認知科学の研究組織であるが、光子イメージング技術も開発しており、世界初の 3 光子顕微鏡を開発している
- ユーリッヒ研究センター 神経科学・医療研究院 医療イメージング物理学 (INM-4) と脳の構造・機能組織 (INM-1)
  - ・ INM-4 では、主に MRI 装置、PET (Positron Emission Tomography) 装置、装置を開発している。特に、大型の MRI と PET を結合した MR-PET ハイブリッド装置を開発していることで有名である。
  - ・ INM-1 のファイバークテクチャグループでは、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 2 / 「人間の脳の組織」で、新しい脳イメージング技術である 3 次元偏光イメージング (3D-PLI) 技術の開発を進めている。
- フィレンツェ大学物理学部生物物理学生物フォトニクス研究所ニューロイメージンググループ
  - ・ マウスの脳に関して、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 1 / 「マウスの脳の組織」で、光シート顕微鏡を開発している。

## フランス / 原子力・代替エネルギー庁 フレデリック・ジョリオ研究院 ニューロスピンMRI・分光学ユニットと認知神経科学ユニット

- 原子力・代替エネルギー庁 (CEA) フレデリック・ジョリオ研究院ニューロスピン<sup>202</sup>は、大型の MRI 装置を開発し、運用して、脳研究を実施していることで世界的に有名である。
- MRI・分光学ユニット (ユニール) <sup>203</sup>は、脳の解剖構造と働きをマッピングする研究と新しいニューロイメージング装置、特に MRI 装置の開発を実施している。
  - ・ 動物の脳の研究向けとしては、7T MRI 装置、11.7T MRI 装置、17T MRI 装置を保有し、運用している。
  - ・ 臨床研究向けとしては、3T MRI 装置、7T MRI 装置を保有し、運用しているが、現在、世界最大の 11.7 T MRI 装置<sup>204</sup>を開発中であり、2019 年から利用開始予定である。
- 認知神経科学ユニット (ユニコグ) は認知科学の研究組織であるが、光子イメージング技術、世界初の 3 光子顕微鏡を開発している。この装置は、ニューロスピン内に設置され、運用される予定である。

## ドイツ / ユーリッヒ研究センター 神経科学・医療研究院 医療イメージング物理学 (INM-4) と脳の構造・機能組織 (INM-1)

- ユーリッヒ研究センターの神経科学・医療研究院の医療イメージング物理学<sup>205</sup> (以下、INM-4 とする) では、新しい脳イメージング技術の開発を行っている。また、人間の脳の 3D モデルの開発している脳の構造・機能でも同技術の開発が進められている。
- INM-4 では、主に MRI 装置、PET (Positron Emission Tomography) 装置、MEG (Magnetoencephalography) 装置を開発している。特に、大型の MRI と PET を結合した MR-PET ハイブリッド装置を開発していることで有名である。 MRI と PET を組み合わせることによって、脳の機能と構造を同時に観察することが可能にする。
- MR-PET ハイブリッド装置は、9 コンマ 4 (9komma4) プロジェクト<sup>206</sup>で開発されている。
  - ・ 9 コンマ 4 プロジェクト : 同プロジェクトでは、大型の 9.4T MRI 装置と PET 装置を

<sup>202</sup> [http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites\\_de\\_recherche/NeuroSpin.aspx](http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites_de_recherche/NeuroSpin.aspx)

<sup>203</sup> [http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites\\_de\\_recherche/neurospin/UNIRS.aspx](http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Entites_de_recherche/neurospin/UNIRS.aspx)

<sup>204</sup>

[http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Plateformes\\_et\\_infrastructures/plateformes\\_imagerie/plateforme\\_neurospin/Imageurs-cliniques.aspx?Type=Chapitre&numero=3](http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Plateformes_et_infrastructures/plateformes_imagerie/plateforme_neurospin/Imageurs-cliniques.aspx?Type=Chapitre&numero=3)

<sup>205</sup> [http://www.fz-juelich.de/inm/inm-4/EN/Home/home\\_node.html](http://www.fz-juelich.de/inm/inm-4/EN/Home/home_node.html)

<sup>206</sup> [http://www.fz-juelich.de/inm/inm-4/EN/Forschung/MR-Physik/9komma4/\\_node.html](http://www.fz-juelich.de/inm/inm-4/EN/Forschung/MR-Physik/9komma4/_node.html)

一つの装置内で組み合わせ、2つのイメージング技術で同時に脳を計測する装置を開発している。これらのMRI装置とPET装置は、独シーメンス社の医療MRI装置とPET装置（BrainPET）を基礎としており、9.4T MRI-PET装置はユーリッヒ研究センターとシーメンスの共同開発である。

- ・ INM-4は、9.4T MRI-PET装置のほか、3T MRI-PET装置も開発している。
- FP7のトリメージプロジェクト<sup>207</sup>：MRI-PETハイブリッド装置のほか、INM-4は、PET、MRI、EEGを結合した3様相イメージングツールを開発するために、FP7のトリメージ（TRImage）プロジェクトに参加している。
- ・ 統合失調症の治療向けに、バイオマーカとPET-MR-EEGの3技術で同時に脳をイメージングする装置を開発する。

#### FP7のトリメージプロジェクトの基本情報

プロジェクト名	トリメージ (Trimage)
正式名称	統合失調症向けの3様相 (PET/M/EEG) イメージングツール
研究期間	2013年12月～2018年11月 (60か月)
予算規模 (EU 拠出分)	797万5902ユーロ (599万4380ユーロ)
コーディネータ	ピサ大学 (伊)
参加組織	アテネ技術教育機関 (ギリシア)、ユーリッヒ研究センター (ドイツ)、アーヘン大学病院 (独)、ミュンヘン工科大学 (独)、チューリッヒ大学 (スイス)、イタリア国立原子力物理研究院 (伊)、ADVANSID (伊)、WEEROC (仏)、RS2D (仏)

- 脳の構造・機能組織 (以下、INM-1とする) のファイバアークテクチャグループ<sup>208</sup>では、人間の脳の3Dモデルの開発を進めているが、同時に、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト2 / 「人間の脳の組織」で、新しい脳イメージング技術である3次元偏光イメージング (3D-PLI) 技術の開発を進めている。
- 3次元偏光イメージング技術は、脳の3Dモデルの構築を可能にする重要な技術となる。

#### サブプロジェクト2 / 「人間の脳の組織」のリーダー、サブリーダー、作業パッケージのリーダー組織

リーダー	ユーリッヒ研究センター
サブリーダー	CEA、フィレンツェ大学
作業パッケージリーダー1：ヒューマンニューロゲ	パスツール研究院 (仏)

<sup>207</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/110145\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/110145_en.html)

<http://www.trimage.eu>

<sup>208</sup> [http://www.fz-juelich.de/inm/inm-1/EN/Forschung/Fibre%20Architecture/Fibre%20Architecture\\_node.html](http://www.fz-juelich.de/inm/inm-1/EN/Forschung/Fibre%20Architecture/Fibre%20Architecture_node.html)

ノミクス	
作業パッケージリーダー2：人間の脳の形態とアーキテクチャ	フィレンツェ大学（伊）
作業パッケージリーダー3：機能と可変性	デュッセルドルフ大学（独）
作業パッケージリーダー4：マルチモーダル処理ストリームの比較計算アーキテクチャ	ブレインイノベーション社（蘭）
作業パッケージリーダー5：統合マップとモデル	CEA
作業パッケージリーダー6：共通設計/方法とビッグデータ分析	ユニバーシティ・カレッジ・ロンドン
作業パッケージリーダー7：管理とコーディネーション	ユーリッヒ研究センター

### イタリア / フィレンツェ大学 物理学部 生物物理学生物フォトニクス研究所 ニューロイメージンググループ

- フィレンツェ大学物理学部バイオ物理学バイオフォトニクス研究所では、ニューロイメージング、単一分子生物学、生物医療イメージング、心臓イメージング、機械学習の研究を実施している。ニューロイメージンググループでは、脳の構造と機能を研究するための光学技術を開発し、特に、マウス、魚類、人間の脳の神経構造を解明するために応用している<sup>209</sup>。
- マウスの脳に関しては、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト1/「マウスの脳の組織」で、光シート顕微鏡を開発している。
- サブプロジェクト1では、収集したマウスの脳の構造に関わるデータを遺伝、分子、細胞、生理学のデータに結合、統合し、脳のモデルを開発することを目標にしている。

#### サブプロジェクト1/「マウスの脳の組織」のリーダー、サブリーダー、作業パッケージのリーダー組織

リーダー	生物医療技術センター（スペイン）
サブリーダー	パヴィア大学（イタリア）、カロリンスカ研究所（スウェーデン）
作業パッケージリーダー1：亜細胞と分子：	ピサ高等師範学校（イタリア）
作業パッケージリーダー2：人間の脳の形態とアーキテクチャ	フィレンツェ大学（伊）
作業パッケージリーダー3：細胞とマイクロ回路	生物医療技術センター

<sup>209</sup> <http://lens.unifi.it/bio/>

作業パッケージリーダー4：脳全体	フィレンツェ大学（イタリア）
作業パッケージリーダー5：マイクロ解剖データの統合	エジンバラ大学（イギリス）
作業パッケージリーダー6：管理とコーディネーション	生物医療技術センター

- 人間の脳に関しては、サブプロジェクト2/「人間の脳の組織」に参加し、2光子蛍光顕微鏡を使って、脳の3Dモデルを構築することを目標としている。ユーリッヒ研究センターのINM-1と提携して、研究している。

## 第7章 脳情報のバイオマーカへの応用

- 脳研究は、脳疾患の治療とも直接つながり、特にアルツハイマー病、パーキンソン病などの脳疾患向けに脳情報をバイオマーカとして応用する研究が実施されている。
- 特に EU のヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 8 / 「医療情報学プラットフォーム」で脳情報のバイオマーカ研究が実施されており、ニューロイメージング技術と脳情報ビッグデータの研究と関係が深い。
- 1) スイスのローザンヌ大学生物・医学部ニューロイメージング研究所、2) フランスの脳・脊髄院 (ICM) アラミスグループ、3) ドイツのシャリテ・ベルリン医科大学を紹介する。
- ローザンヌ大学 生物・医学部 ニューロイメージング研究所
  - 研究テーマの一つは、ビッグデータとアルツハイマー病の生物サイン (biological signature) であり、疾患サイン (disease signature) と呼ばれる潜在的な原因によって特徴づけられる患者のグループを特定することである。ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 8 / 「医療情報学プラットフォーム」のコーディネータを務める。
- 脳・脊髄院 (ICM) アラミスグループ
  - 脳情報に基づく脳の数学的モデルの構築を目標としているが、その際、脳情報をバイオマーカとして利用する研究を実施している。ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト 8 / 「医療情報学プラットフォーム」の作業パッケージ 3 / データ、ツール、病気の生物サインに参加している。
- ドイツ / シャリテ・ベルリン医科大学
  - 術後せん妄と術後認知障害向けの脳情報を特定する研究を行う FP7 のバイオコグプロジェクトでコーディネータを務めている。

## スイス / ローザンヌ大学 生物・医学部 ニューロイメージング研究所

- ローザンヌ大学生物・医学部ニューロイメージング研究所（以下、ニューロイメージング研究所とする）<sup>210</sup>では、人間の脳の構造と機能を研究し、特に昏睡状態における脳機能、計算解剖学、核磁気共鳴物理学、脳卒中回復の予見を研究トピックにしている。
  - ニューロイメージング研究所のフェラス・ケリフ教授<sup>211</sup>は、1) ニューロイメージング技術を使った臨床神経科学の基礎研究と 2) 統計学、生物情報学、医療情報学の応用研究を実施している。
1. ニューロイメージング技術を使った臨床神経科学の基礎研究：研究テーマの一つは、ビッグデータとアルツハイマー病の生物サイン（biological signature）であり、疾患サイン（disease signature）と呼ばれる潜在的な原因によって特徴づけられる患者のグループを特定することを課題としている。
- 4つの研究目標
    - ・ MRI 装置、遺伝子型、神経心理学及び生物、臨床計測による脳情報を使って、アルツハイマー病の患者の特徴を特定すること。
    - ・ 研究パートナー組織とともに、現在のパイロット研究（200名の患者）の規模を大きくすること（2000-4000名の患者）。
    - ・ スーパーコンピュータ（ローザンヌ連邦工科大学などの）を利用する新しいデータマイニングのアプローチを使って、疾患サインを抽出すること。
    - ・ 規則的な疾患サインが包括的な説明モデルを与えることを証明すること。
2. 統計学、生物情報学、医療情報学の応用研究：ニューロイメージング研究所は、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト8/「医療情報学プラットフォーム」のリーダーを務めている。
    - ・ サブプロジェクト8は、脳情報をバイオマーカーとして利用し、脳疾患の治療を改善することを目指しており、世界中から収集された大量のデータのプラットフォームを構築することを目標としている。

## フランス / 脳・脊髄院 (ICM) アラミスグループ

- 脳・脊髄院 (ICM) のアラミスグループは、脳情報に基づく脳の数学的モデルの構築を

<sup>210</sup> ローザンヌ大学は、ヒューマンブレインプロジェクト全体のコーディネータを務めるローザンヌ連邦工科大学とは異なる。

<https://www.unil.ch/lren/home.html>

<sup>211</sup> <https://www.unil.ch/lren/home/menuinst/lab-members/directorate/ferath-kherif.html>

目標としているが、その際、脳情報をバイオマーカとして利用する研究を実施している。

- ヒューマンブレインプロジェクト：アラミスグループは、ヒューマンブレインプロジェクトのサブプロジェクト8/「医療情報学プラットフォーム」の作業パッケージ3/データ、ツール、病気の生物サインに参加している。アラミスグループは、収集したデータから数学的モデル、アルゴリズムを開発し、アルツハイマー病の患者の個人ごとに異なる進展を予測することを目標とし、病気進行モデルを構築するためのソフトウェアを開発している。同研究では、脳情報をアルツハイマー病のバイオマーカとして利用している。
- ニューロマーカプロジェクト<sup>212</sup>：アラミスグループは、2017年10月から、フランスの情報学分野の国立研究機関インリア（INRIA）と提携して、ニューロマーカプロジェクトを実施している。このプロジェクトは、インリアとICMからそれぞれ5グループずつ参加して、実施する学際的研究である。
  - ・ 脳イメージング技術は、アルツハイマー病やパーキンソン病などの神経変性疾患のデータを与えることができるが、これらのデータの分析は困難である。ニューロマーカプロジェクトでは、これらの疾患を引き起こす神経の早期変質を特定し、疾患の進行を予見するための新しい情報統計的アプローチを開発するため、脳情報をバイオマーカとして利用する研究を実施する。

## ドイツ / シャリテ・ベルリン医科大学

- シャリテ・ベルリン医科大学（以下、シャリテとする）では、神経学、精神医学、神経外科、神経病理学などの研究が実施されており、研究テーマの一つは脳情報をバイオマーカとして応用する研究である。
- シャリテは、術後せん妄と術後認知障害向けの脳情報を特定する研究を行うFP7のバイオコグプロジェクトでコーディネータを務めている。
- バイオコグプロジェクトの目標：術後せん妄と術後認知障害を理解するためには、バイオマーカを特定することが必要であり、バイオマーカにより、これらの障害の予見すること。
  - ・ MRI装置、DTI（Diffusion Tensor Imaging）装置、ASL（Arterial Spin Labelling）装置、同時fMRI/EEG装置、MRS（MR-spectroscopy）装置という脳イメージング技術を利用して、脳の構造と機能を研究するとともに、これらの脳イメージングによる研究、遺伝表現の分析、血漿及び脳脊髄液マーカの分析を統合する。

<sup>212</sup> <https://www.inria.fr/recherches/structures-de-recherche/inria-project-labs>  
<https://icm-institute.org/fr/actualite/lancement-de-linria-project-lab-neuromarkers/>

- ・ 生物情報学のアプローチを採用し、脳イメージングデータと分子バイオマーカの情報を統合して、データベースを開発する。
- ・ 術後せん妄と術後認知障害のリスクを考慮して、手術前の意思決定を支援すること、そして、より洗練された臨床研究と医薬品試験を設計することが目標となる。

#### FP7 のバイオコグプロジェクトの基本情報

プロジェクト名	バイオコグ (BioCog)
正式名称	高齢者における術後認知損傷向けバイオマーカの開発
研究期間	2014年2月～2019年1月 (60か月)
予算規模 (EU 拠出分)	774万3063ユーロ (598万2400ユーロ)
コーディネータ	シャリテ・ベルリン医科大学
参加組織	ユトレヒト医科大学センター (蘭) ケンブリッジ大学病院 (英)、マックス・デルブリュック分子医療センター (独)、イタリア国立研究会議 (伊)、ルクセンブルグ大学、アトラス・バイオラボ (独)、ファーマイメージ・バイオマーカソリューションズ (独)、イミュンディアグノスティック社 (独)、アルタ・生物工学研究開発社 (伊)、セロジック (独)、ドイツ物理工学研究所

## 第8章 ニューロエコノミクス（神経経済学）

- ニューロエコノミクスは、日々の生活の不確実な状況の中で、意思決定を導く脳のプロセスを理解することを目標とし、生物学、医学、経済学、心理学、工学などの多様な科学的知見に基づく学際的な研究である。
- 欧州では、ニューロエコノミクスの研究が盛んに行われている。世界で2000年から2010年にかけて最も多くニューロエコノミクスとそれに関連する論文を発表した10大学のうち、4校が欧州の大学（ケンブリッジ大学、チューリッヒ大学など）である<sup>213</sup>（他4校はアメリカ、2校は日本）。
- その上、ニューロエコノミクスの研究は、ニューロマーケティングという神経科学や神経工学の研究をマーケティングに応用する研究も生んでおり、EUのホライゾン2020から助成されているプロジェクトもある。
- 1) イギリスのケンブリッジ大学生理学・発達・神経科学部シュルツ研究所、2) スイスのチューリッヒ大学社会・神経システム研究所、3) スペインのビット・ブレイン社を紹介する。
- ケンブリッジ大学生理学・発達・神経科学部シュルツ研究所
  - ・ 報償（reward）と意思決定の際の脳信号を特定する研究を実施している。動物学習理論、経済的決定理論のコンセプトを利用し、行動学、神経生理学、ニューロイメージング（fMRI）の方法を組み合わせる。
- チューリッヒ大学社会・神経システム研究所
  - ・ ニューロエコノミクスの研究を専門とする研究機関であり、社会的、経済的行動の神経生物学的な基礎、多様な報償のタイプ（金銭による報酬、社会的報酬など）に関する意思決定を媒介する神経ネットワーク、意思決定を因果的にコントロールする神経計算モデルを研究している。
- ビット・ブレイン社
  - ・ 脳波（EEG）機器などの神経工学のアプリケーションを開発している。ニューロマーケティングプラットフォームを開発し、ニューロマーケティングの研究を実施するために必要となる EEG 機器、バイオセンサー、アイトラッカー、屋内位置測定システム、研究管理ソフトウェアなどの製品群と、ニューロマーケティングのコンサルティングサービスを提供している。これらの製品は EU のホライゾン 2020 から助成されて開発された。

<sup>213</sup> <http://www.chronicle.com/article/The-Marketplace-in-Your-Brain/134524>

## イギリス / ケンブリッジ大学 生理学・発達・神経科学部 シュルツ研究所

- ケンブリッジ大学の生理学・発達・神経科学部の研究トピックの1つは神経科学であり、シュルツ研究所<sup>214</sup>でニューロエコノミクスの研究実施されている。
- ヴォルフアラム・シュルツ教授<sup>215</sup>は、報償 (reward) と意思決定の際の脳信号を特定する研究を実施している。動物学習理論、経済的決定理論のコンセプトを利用し、行動学、神経生理学、ニューロイメージング (特に fMRI) の方法を組み合わせる。特に、シュルツ教授は、報償予測誤り (Reward prediction error) の脳内プロセスの研究を実施している<sup>216</sup>。報償予測誤りとは、期待していたことと実際に起きたことの間にある違いのことであり、シュルツ教授は報償予測誤りとドーパミン神経の関係を研究している。

## スイス/ チューリッヒ大学 社会・神経システム研究所

- チューリッヒ大学の社会・神経システム研究所 (以下、社会・神経システム研究所とする)<sup>217</sup>は、ニューロエコノミクスの研究を専門とする研究機関である。
- 社会・神経システム研究所は、2007年にチューリッヒ大学とチューリッヒ大学病院によって設立された。
- 社会・神経システム研究所には、マイクロ経済学・実験経済学グループ、ニューロエコノミクスグループ、ニューロエコノミクス・意思決定神経科学グループの3グループが設置されている。
  - ・ マイクロ経済学・実験経済学グループのエルンスト・フェア教授は、戦略的なインタラクションにおける制限された合理性の役割と社会的、経済的行動の神経生物学的な基礎について研究している。
  - ・ ニューロエコノミクスグループのトッド・ハエ教授は、多様な報償のタイプ (金銭による報酬、社会的報酬など) 応じて変化する意思決定を媒介する神経ネットワークを研究している。現在、ストレス、社会的フィードバック、注意のような要因が自己コントロールと規範的な意思決定に対する影響を研究している。
  - ・ ニューロエコノミクス・意思決定神経科学グループのクリスチャン・ルフ教授は、意思決定を因果的にコントロールする神経計算モデルを開発している。

<sup>214</sup> <https://www.pdn.cam.ac.uk/directory/wolfram-schultz>

<sup>215</sup> <https://research.pdn.cam.ac.uk/staff/schultz/index.shtml>

<sup>216</sup> <https://research.pdn.cam.ac.uk/staff/schultz/pdfs%20website/2016%20Schultz%20DialoguesClinNeurosci.pdf>

<sup>217</sup> <http://www.sns.uzh.ch/en.html>

- ニューロエコノミクスの研究向けの研究施設は、チューリッヒ大学病院に設置されており、fMRI 装置、脳刺激装置、EEG 装置などが利用されている。

## スペイン / ビット・ブレイン社

- ビット・ブレイン社<sup>218</sup>は、2010 年にスペインのサラゴサ大学の BCI 研究グループからスピンオフ企業として設立された企業（中小企業）であり、EEG 機器などの神経工学のアプリケーションを開発している。
- ビット・ブレイン社は、EU のホライゾン 2020 から助成されているモアグラスプロジェクト（オーストリアのグラーツ工科大学のコーディネータ）に参加し、EEG 機器を提供している<sup>219</sup>。
- ビット・ブレイン社は、EEG 機器を利用する神経科学研究向けプラットフォーム、認知機能の回復向けのヘルスプラットフォームのほか、ニューロマーケティングプラットフォームを提供している。
- ニューロマーケティングプラットフォームは、ニューロマーケティングの研究を実施するために必要となる EEG 機器、バイオセンサー（心臓活動と肌向け）、アイトラッカー、屋内位置測定システム、研究管理ソフトウェアなどの製品群とニューロマーケティングのコンサルティングサービス（ブランディング、広告、デジタル環境の改善など）からなる。
- ニューロマーケティングプラットフォームは、EU のホライゾン 2020 の USENNS プロジェクト<sup>220</sup>を通しても開発資金が供給されており、USENNS・ニューロプラットフォームとも呼ばれる。
  - ・ USENNS プロジェクトは、中小企業向けの公募枠で助成されており、プロジェクト参加組織はビット・ブレイン社のみである。

### USENNS プロジェクトの基本情報

プロジェクト名称	USENNS
正式名称	市場研究における顧客の感情を理解するための神経工学
研究期間	2014 年 9 月～2014 年 11 月（3 か月）
予算規模（EU 拠出分）	7 万 1429 ユーロ（5 万ユーロ）
参加組織	ビット・ブレイン社

<sup>218</sup> <https://www.bitbrain.tech/about-us>

<sup>219</sup> 本報告書第 1 部第 2 章を参考のこと。

<sup>220</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/194775\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/194775_en.html)

## 第9章 神経電極

- 侵襲型の BMI 及び BCI の開発には、脳の電気活動の記録が前提となり、同分野の発展には神経電極の開発が不可欠である。
- 1) ドイツのフライブルグ大学 マイクロシステム技術研究院 (IMTEK) 生物医療マイクロ技術研究所、2) ドイツのコアテック (CORETEC) 社、3) スイスのローザンヌ連邦工科大学神経補綴センター柔軟生物電子インターフェース研究所 (LSBI) を紹介する。
- フライブルグ大学マイクロシステム技術研究院 (IMTEK) 生物医療マイクロ技術研究所
  - マイクロシステムを医療向けに応用する研究を実施している<sup>221</sup>。電気活性コーティンググループが神経電極向けの炎症を起こしにくいコーティング技術を開発している<sup>222</sup>。IMTEK からコアテック社などのスピンオフ企業が数社誕生している。
- コアテック社
  - エアレイ (AirRay) という柔軟神経電極を開発している。エアレイは皮質脳波向けの侵襲的神経電極製品であり、皮質の表面で脳活動を記録し、刺激する。IMTEK のスピンオフ企業である。
- ローザンヌ連邦工科大学神経補綴センター柔軟生物電子インターフェース研究所 (LSBI)
  - 柔軟電子インターフェース、つまり、電子皮膚と柔軟神経電極の素材、技術、インテグレーションを開発している。

<sup>221</sup> [http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/bm\\_home?set\\_language=en](http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/bm_home?set_language=en)

<sup>222</sup> [https://www.imtek.uni-freiburg.de/professuren/bmt/forschung/eacgroup/eac?set\\_language=de](https://www.imtek.uni-freiburg.de/professuren/bmt/forschung/eacgroup/eac?set_language=de)

## ドイツ / フライブルグ大学 マイクロシステム技術研究院 (IMTEK) 生物医療マイクロ技術研究所

- フライブルグ大学マイクロシステム技術研究院 (IMTEK) は、マイクロシステム工学の研究開発を実施しており、研究トピックの1つが生物医療工学である。
- トマ・スティグリッツ教授が主導する生物医療マイクロ技術研究所は、マイクロシステムを医療向け、つまり、診断、治療、リハビリテーション向けに応用する研究を実施している<sup>223</sup>。
  - 電気活性コーティンググループ：神経電極向けの炎症を起こしにくいコーティング技術を開発している<sup>224</sup>。
  - 神経補綴グループ：神経システムを回復させるための超小型技術システムを開発している<sup>225</sup>。
  - 神経モニタリンググループ
  - 生体適合組み立てとパッケージング技術グループ
- 最新の研究プロジェクトの事例
  - 国内プロジェクト / COMBINE<sup>226</sup>：研究期間 / 2017年2月～2018年12月：小型ワイヤレス双方向神経インターフェースの開発
  - 国内プロジェクト / MOTOR-BIC<sup>227</sup>：研究期間 / 2015年5月～2018年4月：運動機能のリハビリテーション向けの侵襲的雙方向 BCI の開発 (コアテック社がプロジェクトをコーディネート)
- 生物医療マイクロ技術研究所からは、コアテック社<sup>228</sup>を筆頭に、神経電極を開発し、実用化するスピノフ企業が誕生している。
- ニューロループ社<sup>229</sup>：2016年に、医療技術系企業 AESCULAP 社が生物医療マイクロ技術研究所とフライブルグ大学医療センターにおける研究を基に、ニューロループ社を設立している。ニューロループ社は、高血圧をコントロールする新しい薄型のフィルム神経電極を開発している<sup>230</sup>。

<sup>223</sup> [http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/bm\\_home?set\\_language=en](http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/bm_home?set_language=en)

<sup>224</sup> [https://www.imtek.uni-freiburg.de/professuren/bmt/forschung/eacgroup/eac?set\\_language=de](https://www.imtek.uni-freiburg.de/professuren/bmt/forschung/eacgroup/eac?set_language=de)

<sup>225</sup> [http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/research/neural\\_prostheses](http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/research/neural_prostheses)

<sup>226</sup> [http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/projects/projects\\_overview?projectId=10500](http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/projects/projects_overview?projectId=10500)

<sup>227</sup> [http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/projects/projects\\_overview?projectId=10455](http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/projects/projects_overview?projectId=10455)

<sup>228</sup> コアテック社については後述する。

<sup>229</sup> <http://neuroloop.de>

<sup>230</sup> <http://news.tf.uni-freiburg.de/en/single/artikel/598/implantat-gegen-bluthochdruck.html>

## ドイツ / コアテック社

- コアテック社はフライブルグ大学マイクロシステム技術研究院 (IMTEK) 生物医療マイクロ技術研究所のスピンオフ企業として、2010年に設立され、神経補綴の開発と実用化を行っている。本拠地は現在、フライブルグ大学キャンパス内である。フライブルグ大学マイクロシステム技術研究院生物医療マイクロ技術研究所のトマ・スティグリッツ教授はコアテックの創立株主の一人である。
- コアテックの開発物
  - ・ エアレイ (AirRay)<sup>231</sup> : エアレイは皮質脳波向けの侵襲型神経電極製品であり、皮膚の表面で脳活動を記録し、刺激する。エアレイは非常に柔らかく、薄い電極である。
  - ・ 活性インプラント技術 : 接続部品<sup>232</sup>、活性インプラント医療端末向けの電子回路<sup>233</sup>、PC ソフトウェア製品<sup>234</sup>
  - ・ コアテックブレイン・インターチェンジ<sup>235</sup> : 長期間にわたって、脳活動を記録し、刺激する技術システム
- 研究プロジェクト
  - ・ EU のユーロスタープロジェクトの RapidMaps 2020<sup>236</sup> : 研究期間 2015 年 7 月-2018 年 6 月、予算 167 万 3840 ユーロ / 研究参加組織 コアテック社、G TEC、研究内容 : リアルタイムの脳マッピングツール
  - ・ 国内プロジェクトの MOTOR-BIC<sup>237</sup> : 研究期間 2015 年 5 月~2018 年 4 月、研究参加組織 : コアテック社、フライブルグ大学、チュービンゲン大学、ウルム大学、フライブルグ大学医療センター、マックスプランク・チュービンゲンインテリジェントシステム研究所、研究内容 : 運動機能のリハビリテーション向けの侵襲型双方向 BCI の開発

## スイス / ローザンヌ連邦工科大学 神経補綴センター 柔軟生物電子インターフェース研究所 (LSBI)

- ローザンヌ連邦工科大学神経補綴センターの柔軟性物電子工学インターフェース研究所 (以下、LSBI とする)<sup>238</sup>では、柔軟電子インターフェース、すなわち、電子皮膚と

<sup>231</sup> <http://cortec-neuro.com/en/solutions/solutions-industry/electrodes>

<http://cortec-neuro.com/en/solutions/clinical-use>

<sup>232</sup> <http://cortec-neuro.com/en/solutions/solutions-industry/active-implant-technology>

<sup>233</sup> <http://cortec-neuro.com/en/solutions/solutions-industry/active-implant-technology/electronics>

<sup>234</sup> <http://cortec-neuro.com/en/solutions/solutions-industry/active-implant-technology/software>

<sup>235</sup> <http://cortec-neuro.com/en/solutions/complete-system>

<sup>236</sup> <http://www.gtec.at/Research/Projects/RAPIDMAPS-2020>

<sup>237</sup> [http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/projects/projects\\_overview?projectId=10455](http://www.imtek.de/laboratories/biomedical-microtechnology/projects/projects_overview?projectId=10455)

<sup>238</sup> <https://lsbi.epfl.ch>

柔軟神経電極の素材、技術、インテグレーションを開発している。LSBI を主導するのはステファニー・P=ラクール教授<sup>239</sup>である。

- LSBI はイタリアのベルタレリ基金<sup>240</sup>から助成されている。同基金は、海洋学、地方公共団体、神経科学のプロジェクトに資金を提供している。
- LSBI は 2013 年にスイスのジュネーヴに新設されたキャンパス・バイオテックに本拠地を持つ。キャンパス・バイオテックには、神経科学分野のローザンヌ連邦工科大学、ジュネーヴ大学、企業の研究者が集まり、研究開発を実施している。
- 研究内容：
  - 電子皮膚
    - 皮膚のような電子製品向けの基板
    - エラストマー基板の薄膜トランジスタ
    - コンプライアントタッチインターフェース
  - 柔軟神経電極
    - 生体外電子力学プラットフォーム
    - 細胞生物力学を研究するための制御されたコンプライアンスを伴う表面
    - 生体内の電極インプラント
    - 3D 電極インターフェース
    - コンプライアント表面電極
    - 表面電極アレイ刺激

---

<sup>239</sup> <https://cnp.epfl.ch/page-78254-en.html>

<sup>240</sup> <https://www.fondation-bertarelli.org>