

脳とICTに関する懇談会 中間とりまとめ（案）

～ 脳の仕組みを利用したICTの更なる発展 ～

平成22年8月6日

目次

1. 脳情報通信研究の背景と重要性	・・・	1
2. 基本的方向性	・・・	8
3. 重要な研究分野	・・・	14
4. 研究開発の推進に当たって考慮すべき事項	・・・	40

1. 脳情報通信研究の背景と重要性

1.1 ICTの現状と課題

近年のICTの進歩

●インフラ整備から利活用への期待

- ・我が国はこれまでブロードバンドによるICT基盤整備が非常に進展。今後は利活用の更なる進展が望まれるところ。
- ・特に、グリーンイノベーション、ライフイノベーション等の戦略分野に対し、ICTがその実現のための基盤の役割を担うことが強く期待されているところ。

第1章第1節 ICT利活用の徹底による地域活性化

1 先行する基盤整備と立ち遅れるサービス普及

○我が国は、ブロードバンド基盤整備は進んだものの、ブロードバンドサービス普及(第13位)や利活用(個人第9位、企業第8位、政府第18位)の面で立ち遅れ。特に、電子行政の取組の遅れが目立つ。

ICT総合進展度 第2位

第1位:韓国
第2位:日本
第3位:デンマーク
第4位:スウェーデン
第5位:米国
第6位:オランダ
第7位:シンガポール
第8位:スイス
第9位:フィンランド
第10位:オーストラリア
第11位:オーストリア
第12位:英国
第13位:カナダ
第14位:ドイツ
第15位:ポルトガル
第16位:ニュージーランド
第17位:フランス
第18位:ベルギー
第19位:スペイン
第20位:イタリア
第21位:ロシア
第22位:ブラジル
第23位:中国
第24位:南アフリカ
第25位:インド



(出典)総務省「ICT基盤に関する国際比較調査」(平成22年)

【出典】
情報通信白書平成22年版概要



【出典】
新成長戦略のポイント

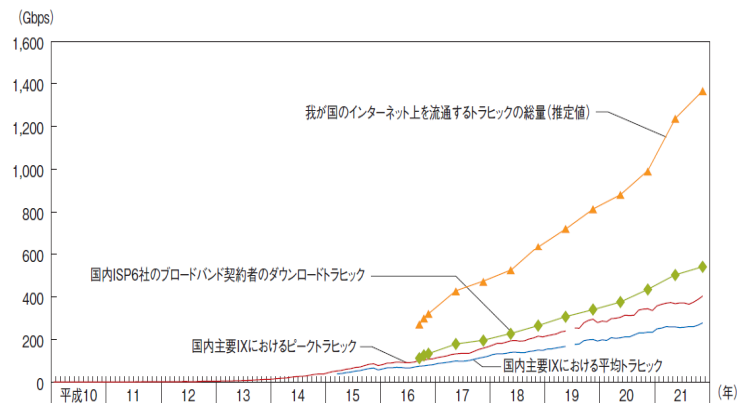
1.1 ICTの現状と課題

進歩に伴い顕在化してきた課題①

●データ、情報の氾濫

- ・社会・経済のインフラとして機能するICTネットワークには、多種多様な情報が集積。その結果、ICTネットワークを流通する情報量は急激に増加。このためネットワーク自体も大規模、複雑化。
- ・また、集積された膨大なデータの解析により、今まで気づけなかった新たな情報・知識の創出が可能になりつつあるところ。
- ・一方、ICTによる生産性の向上は、大量のデータを電子化し、高速に通信、処理する利便性のある情報流通により達成されてきたが、今後、データ、情報量がさらに増大した場合、
 - ①その量に人間の情報処理が対応できるのか
 - ②これらのデータ、情報の流通を支えるネットワークの制御、エネルギー消費量に問題は生じないか等が懸念される

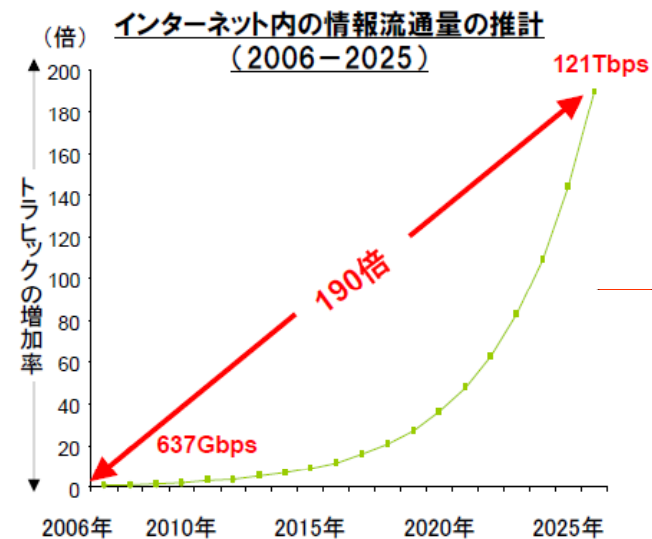
図表4-3-3-11 我が国のインターネット上を流通するトラフィックの推移



※ 1日の平均トラフィックの月平均
 ※ 平成19年6月の国内主要IXで交換されるトラフィックの集計値についてはデータに欠落があったため除外

総務省「我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計試算」により作成
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/25387.html

【出典】
 情報通信白書平成22年版



【出典】
 経済産業省 第1回 グリーンITイニシアティブ会議配布資料「グリーンITイニシアティブ」

1.1 ICTの現状と課題

進歩に伴い顕在化してきた課題②

●人間のコミュニケーションへの対応能力の限界

- ・ICTと人間を繋ぐ入出力インターフェースは、紙・タイプライターの時代の入出力方法をICT用に変えたものが大半。このため、膨大なデータの表現形式の制約がストレスになる可能性あり。
- ・近年、音声、タッチパネル等の新たな技術も導入されつつあるが、増大する情報量に今後も対応可能な入出力インターフェースであるか否かは現時点では未知数。高齢者、チャレンジド(障がい者)にとっては、使用することが困難なインターフェースも存在。

人間のコミュニケーション能力の限界例

意図や思考をスムーズに表現できない

したいことをコンピュータ・機器などに理解させる時にストレスが発生



高齢者やチャレンジド(障がい者)等利用者の状況によっては一層使いづらさを感じる場合もある。

伝えたいことが十分伝わらない

コミュニケーションの巧拙
手段の制約・様々な障害



膨大なデータや表現形式の制約によるストレス

知りたいことが手に入らない、
情報が映像・音声に限定

おいしい??



1.2 脳科学の発展

国内外における研究動向

国内外とも医学(人体の一部としての脳のしくみの解明)、臨床(脳疾患の治療の観点からの病理学的研究)領域における研究が主流であるが、近年日欧を中心に工学的応用分野にも展開

●国内

全体の予算規模は、300億円程度(ライフサイエンス分野全体の予算額の約7%)

医学・生命科学を指向した研究と物理、情報等工学分野を取り込んだ研究に大別。

前者は、文部科学省、厚生労働省等、後者は、総務省等において取組まれているところ。

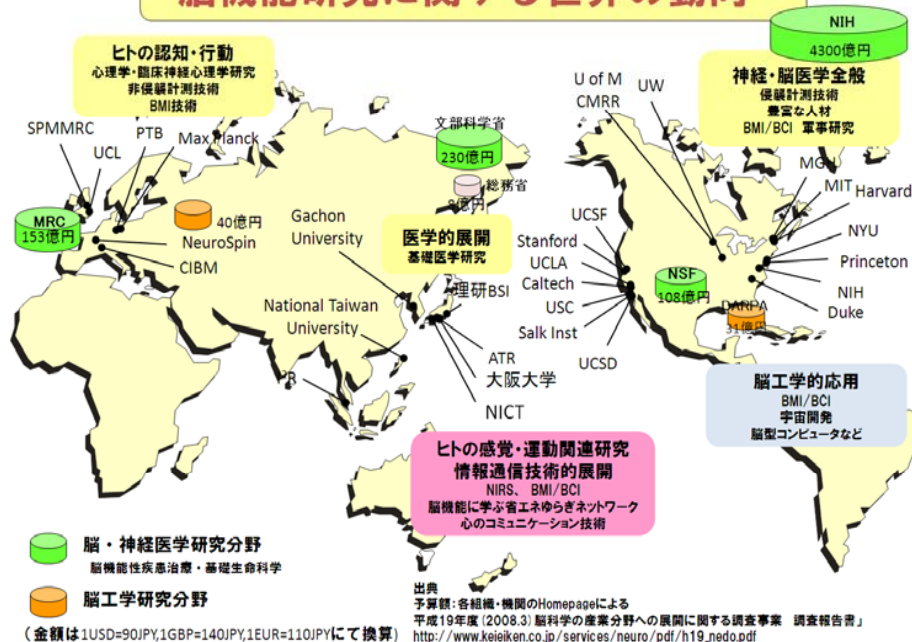
●国外

米国の予算規模は、4500億円程度と質量ともにぬきんでているが、米欧ともライフサイエンス分野全体における比率は、17(米)~19%(英)(日本の2倍以上)。

(出典:「長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想及び推進方策について」科学技術・学術審議会)

アジアは、中国、韓国で新たに研究所を設立するなど、最近になって取り組みを拡充した模様。

脳機能研究に関する世界の動向



国内における脳神経科学の取組み状況(H21年度)

単位:億円(概算)

文部科学省	科学研究費補助金(脳・神経科学系)	62
	脳科学研究戦略推進プログラム	27
	特定領域研究(「統合脳」)	19
	戦略的創造研究推進事業(脳科学領域)	23
	脳科学総合研究事業(理研BSI)	93
厚生労働省	健康科学研究事業(脳科学分野)	3
総務省	情報通信研究機構運営費交付金(脳情報分野)	8

1.2 脳科学の発展

脳科学の発展

●脳科学と他分野との融合による発展

- ・近年、脳科学と他の分野の融合領域が急速に広がり、脳科学と工学分野(特にICT)、あるいは心理学・認知科学との融合領域の研究開発が立ち上がりつつあるところ。
- ・これらの研究開発により、以下のような「人間や地球に優しい技術」の実現が期待されるところ。
 - ① 人工システムより桁違いに低エネルギーな脳の仕組みを利用した情報処理や制御
 - ② 脳から直接意思などを伝達 (特に、BMI※など)

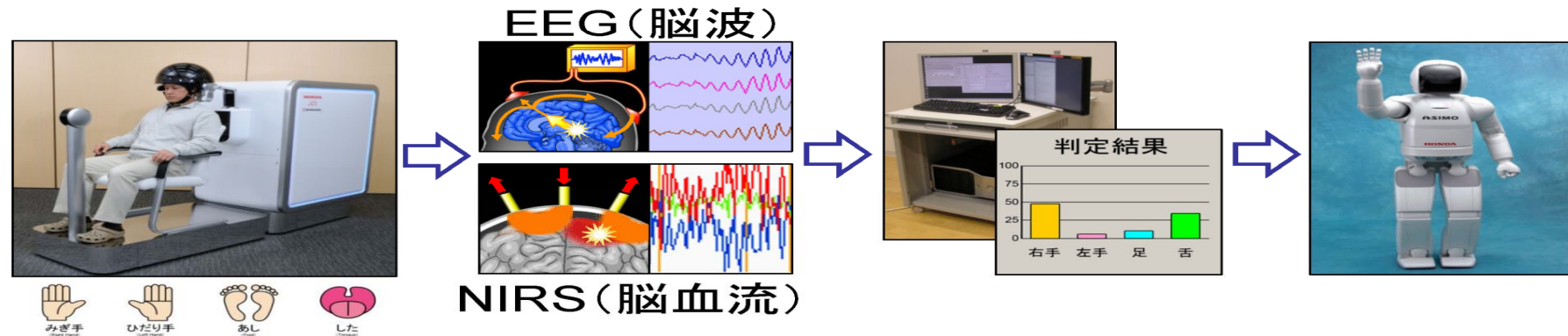
※ BMI(Brain-machine interface): 脳の情報からその人のしたいこと(意図)を推定し、その情報を直接PCや機器に取り込んで制御したり、知覚情報を脳内の信号に置き換えて直接脳に送る技術

【近年のBMI技術例】

被験者が考えるだけでロボットの簡単な動作を制御できる非侵襲※的なBMIが実現

※ 外科手術などによって人体を切開したり、人体の一部を切除する等、生体を傷つける行為を指す「侵襲」の対義語

(2009.3 / (株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン、ATR、(株)島津製作所)



被験者は身体を一切動かさずに4つの選択肢から一つをイメージする

その際の脳活動に伴う脳波と脳血流の変化を計測

計測したデータをリアルタイムで解析し、被験者のイメージを判別

その結果を受け取ったロボットが手や足を上げる等の動作を行う

1.2 脳科学の発展

脳科学の発展

●脳活動計測方法の高度化・高精度化

近年の計測素子の小型化・高性能化、演算速度の高速化等を背景に、各種の非侵襲脳活動計測方法が格段に高度化、高性能化。従来では、捕捉が困難であった微細な脳活動を人体に大きな負担をかけることなくほぼ実時間で測定することが可能になり、脳の活動の仕組みや機能がより明確になりつつある。これらの非侵襲計測技術及びその利用では、我が国は世界をリード。

高精度

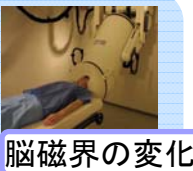
fMRI

(機能的磁気共鳴画像法)
高空間分解能 (mm)
血流の変化



MEG

(脳磁界計測)
高時間分解能 (ミリ秒)
脳磁界の変化



可搬・低拘束

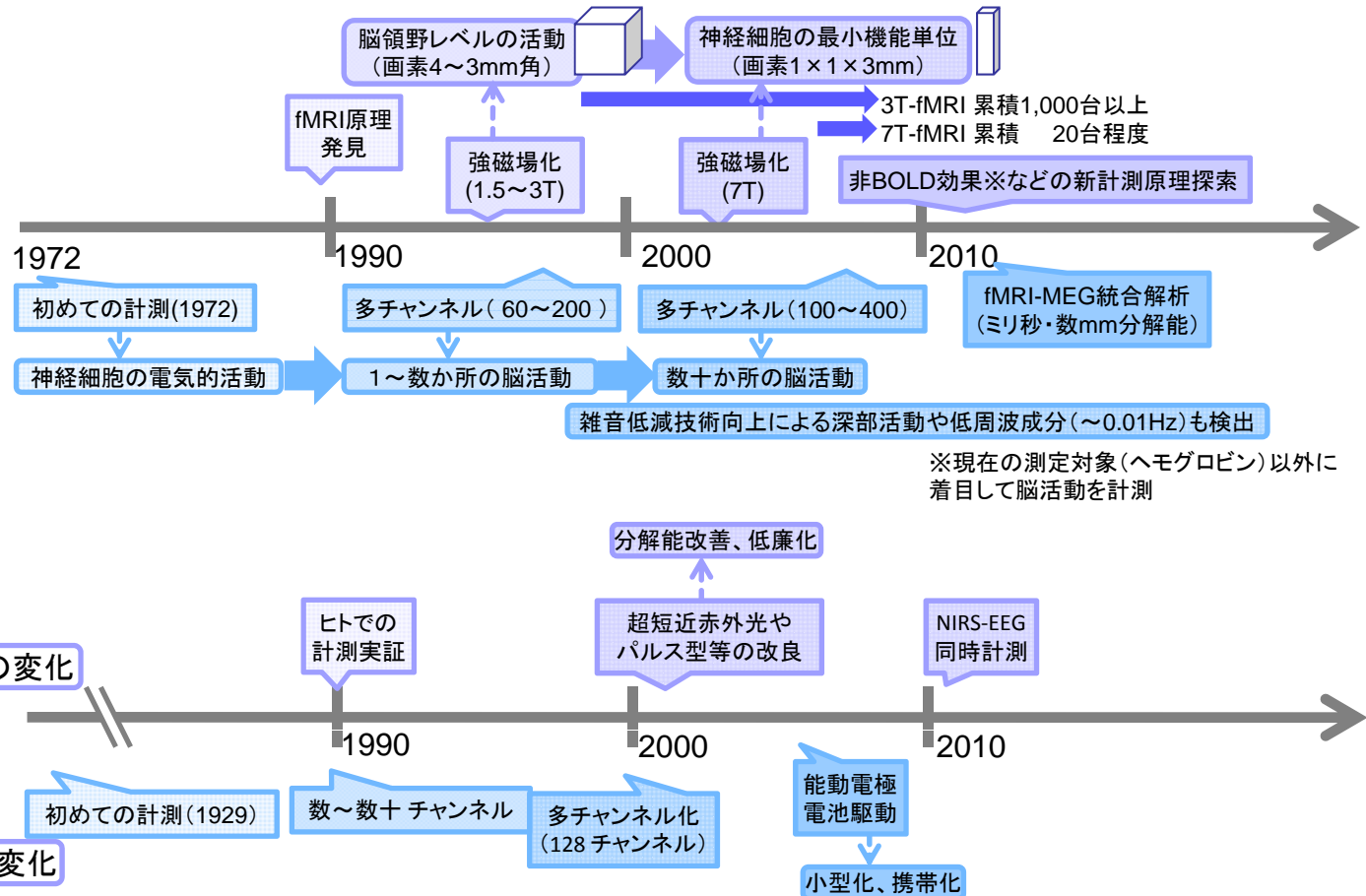
NIRS

(近赤外計測)
低拘束性
柔軟性 赤血球量、酸素交換量の変化



EEG

(脳波計測法)
低拘束性・高時間分解能
脳波(電気活動)の変化



2. 基本的方向性

2.1 脳科学によるICT発展への期待

脳科学との融合によるICTへの貢献の可能性

●貢献が期待できる分野

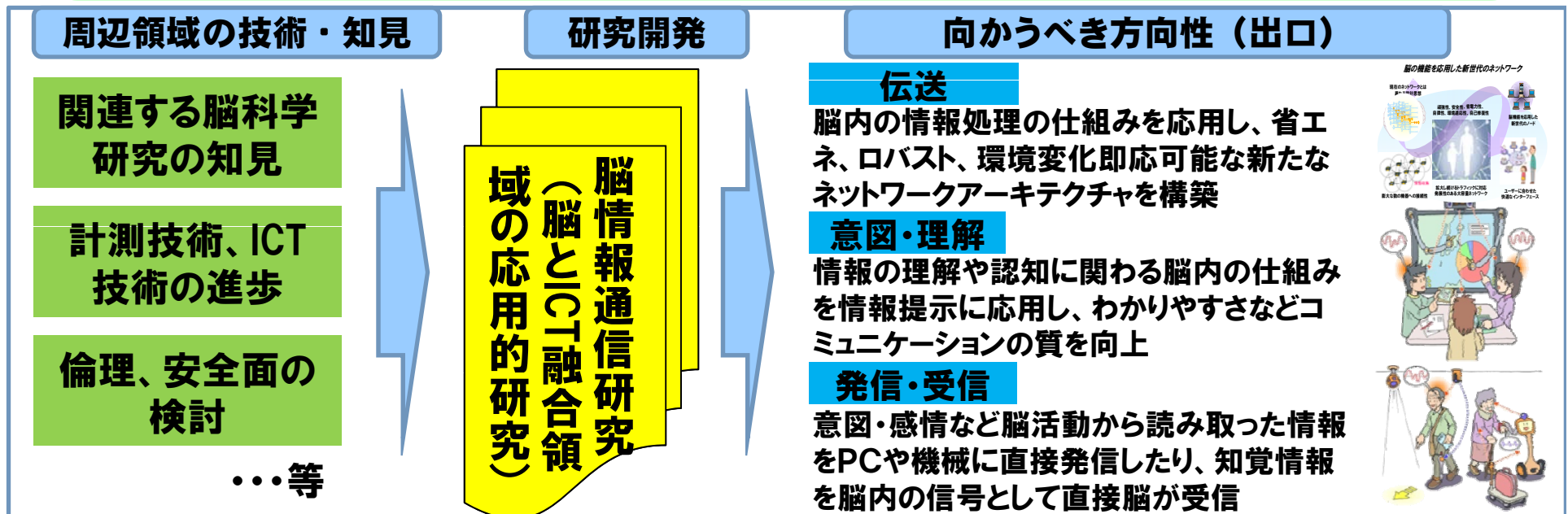
ICTの進歩に伴い顕在化してきた課題を解決するため、脳科学のICTへの(工学的)応用により、以下のような貢献の可能性が考えられる。

- (1) 脳における大局的かつ複雑な判断を行う仕組みを利用した、
 - ・ 短時間でかつ想定していない不確定な変動があっても機能を維持する情報処理
- (2) 行動、感情、意識等人間の振るまいの源である脳の働きの理解・分析による、
 - ・ 言語、動作に頼らない、脳からPCや機械を直接制御(誰にでも使えるインタフェース)
 - ・ ユーザの状態、状況に応じた、必要な情報の抽出。誰にでも理解しやすい情報提示。

●我が国の強み

上記の項目の実現に際して、我が国が有する以下の強みを活かすことが重要。

- ・ 利用者に優しい非侵襲脳活動計測による脳情報の解読
- ・ 全国に展開されたブロードバンド回線 ⇒ 「光の道」



2.2 脳情報通信研究による貢献が期待できる分野

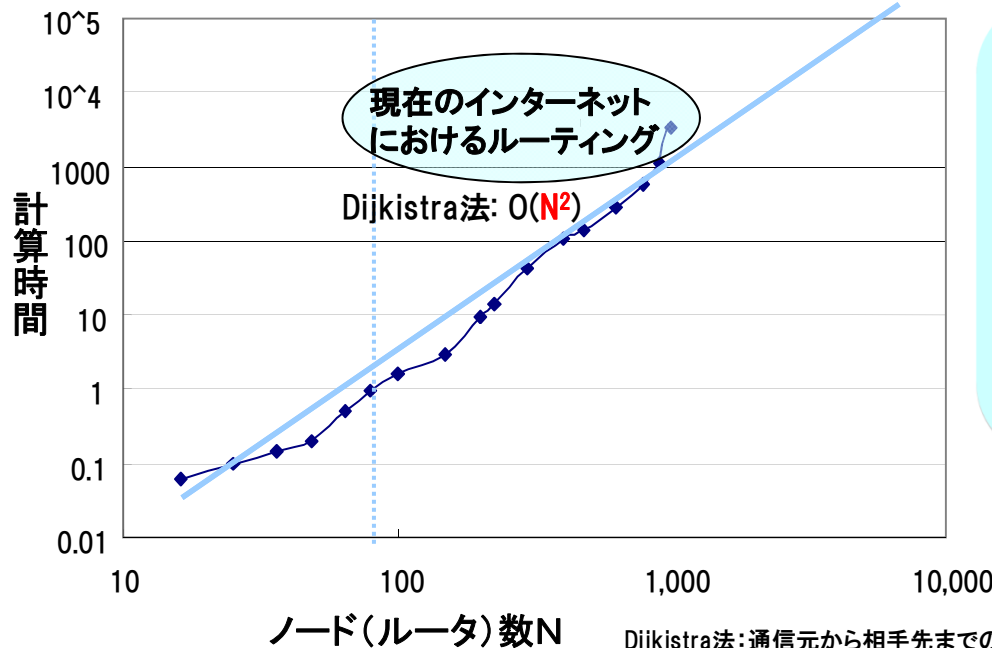
脳情報通信研究によるICTへの貢献①

●超低エネルギー消費で障害に強いネットワーク

- ・情報通信ネットワークで利用されるデータ量やトラフィック量は近年急激に増加し、ネットワーク規模の拡大に伴い、制御にかかる計算量や時間の削減や、ネットワーク制御機器における消費電力の低減が今後重要な課題。
- ・140億個の神経細胞がネットワークを形成する脳内の消費エネルギーは20W程度であり、脳内の情報処理の仕組みが解明され応用できれば、革新的な低エネルギー化に寄与する可能性あり。



脳内の情報処理の仕組みを応用し、省エネ、ロバスト、環境変化即応可能な新たなネットワークアーキテクチャを構築



Dijkstra法: 通信元から相手先までの最短経路を求めるためのアルゴリズム。インターネットではOSPF等の経路制御プロトコルで利用

人工システム

消費電力・情報量・計算速度・集積度

年1.5-2.0の速度で増加

ルータ消費電力

世界の情報量(7000EGB)

計算機の速度(10PetaFlops)

情報ネットワークの消費エネルギーは総発電力量の50% (2035年)

複雑化による厳密制御の破綻(事故, 故障変動に脆弱)

先端技術

バイオシステム

ヒト脳

140億の神経細胞

約50兆のシナプス

制御すべき組合せの数

10の15兆乗

消費エネルギー

脳: 20ワット

(計算機は10の15兆乗ワット)

不測の事態にも柔軟に対応

複雑システムを低エネルギーでロバストに制御する原理を持つ

生物の原理

バイオシステム・脳機能原理を用いて計算量を桁違いに低減省エネで、かつ不測の事態に柔軟に対応する高機能なネットワークの実現

2.2 脳情報通信研究による貢献が期待できる分野

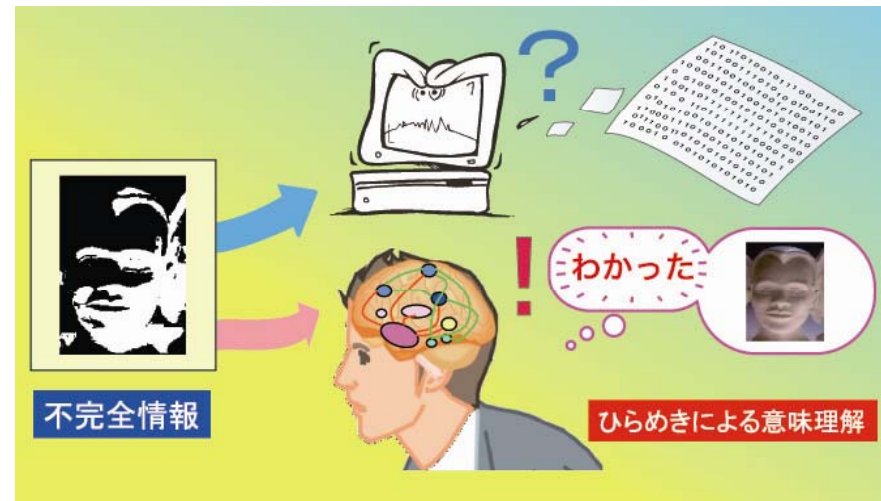
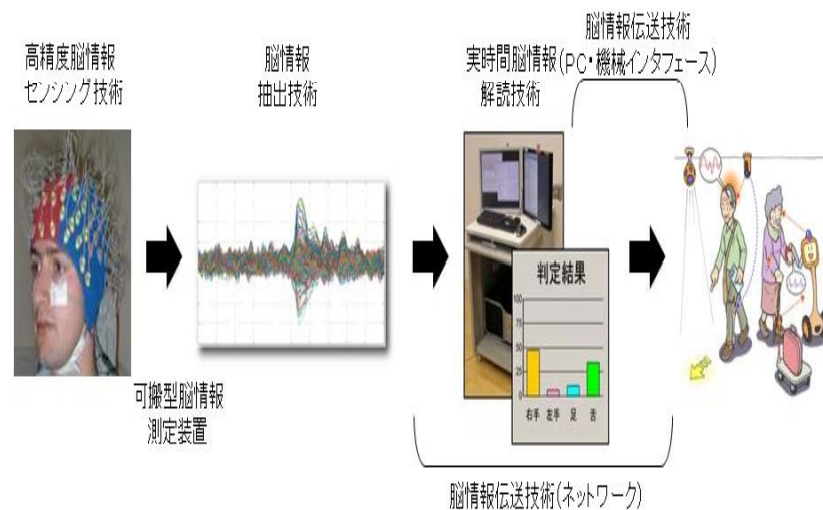
脳情報通信研究によるICTへの貢献②

●人間による利活用に適した入出力インターフェース

- ・インターネットの普及により膨大な情報にアクセスできるが、受け手が理解しやすいか等、情報受信の質または情報提示の方法が問題化。
- ・また、介護などの場面では会話が困難な場合に、意図や考えを十分伝えきれないという情報の発信における問題も存在。

意図・情動などの脳活動から読み取った情報をPCや機械にネットワークを介して直接発信し制御

情報の理解や認知に関わる脳内の仕組みを情報提示に応用し、わかりやすさなどコミュニケーションの質を向上



2.2 脳情報通信研究による貢献が期待できる分野

ICTによる脳情報通信研究への貢献

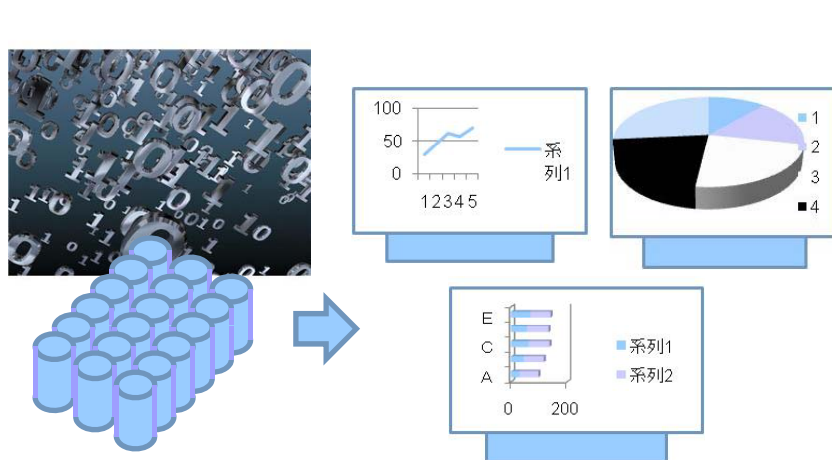
●大規模・高速ICTによる脳科学や脳情報通信研究そのものの加速

・「ライフログ」による脳活動の正確・精密な分析

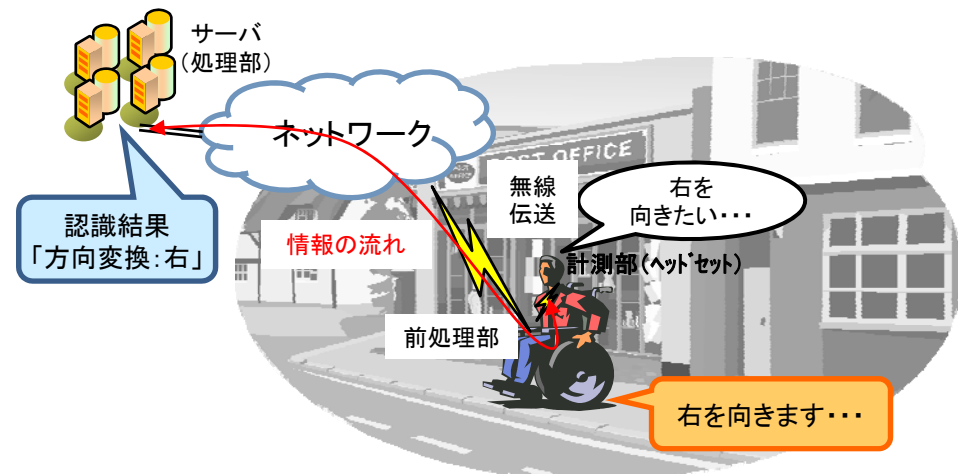
脳活動計測情報とともに生体計測データ等を取得し、データマイニングを行うことで、脳活動と行動、感情等が今まで以上に密接に関連づけることが可能。

・ユーザにとって負担のより少ないインタフェース

複雑で高度な処理のため、小型化・軽量化に限界がある装置(例: BMIの脳計測情報復号化装置)の情報処理をネットワークを介して遠隔地で行うことにより、ユーザに負担の少ない(より利用しやすい)インタフェースが可能。

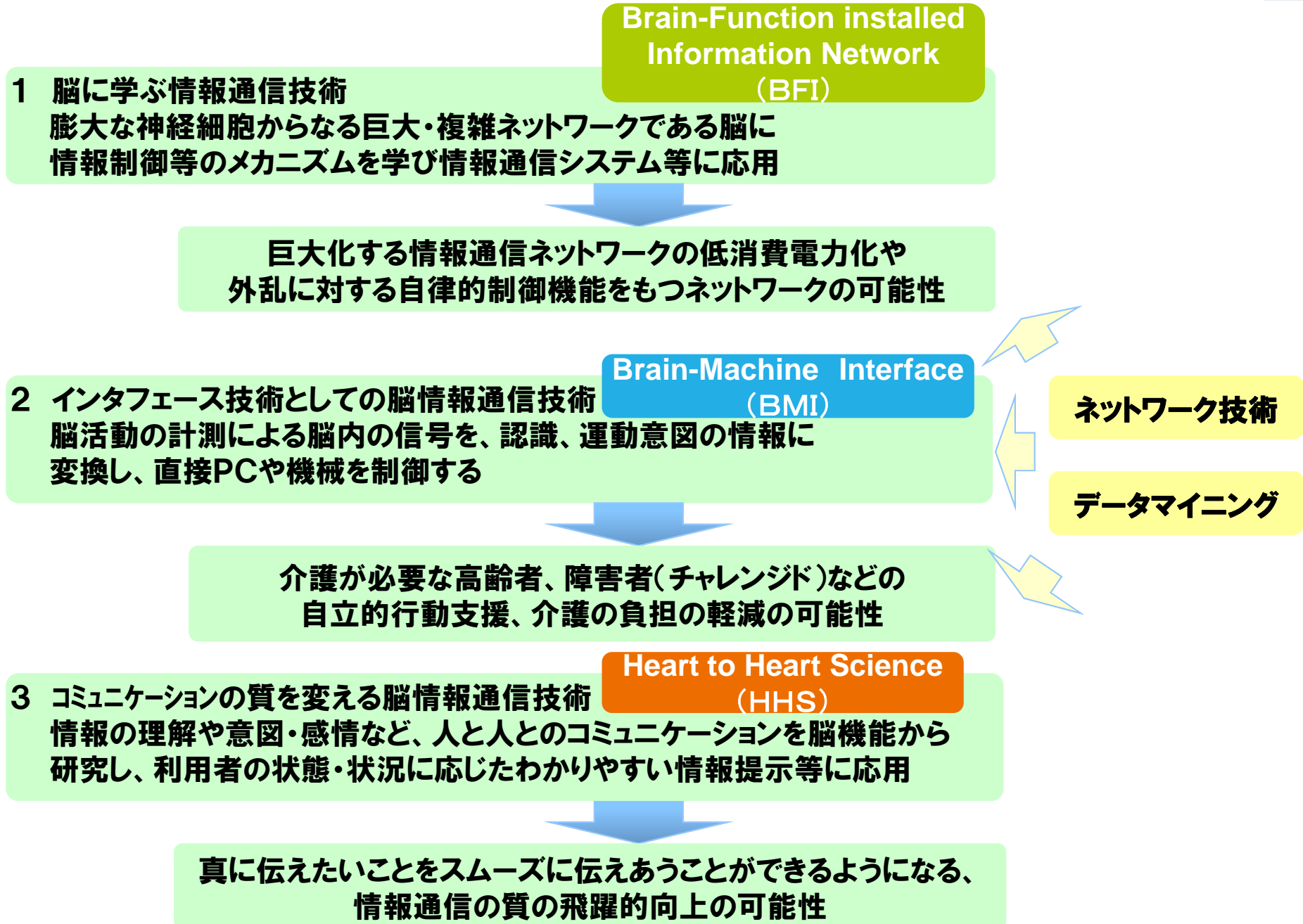


データマイニング



ネットワーク型BMI技術のイメージ

2.3 具体的な研究の方向性



3. 重要な研究分野

3.1 BFI

脳や生体における情報処理の特徴

現在の人工コンピュータは様々な状況への対処法を予め定めておき、脳や生体では状況の変化にその場で判断して対処する。

●人工コンピュータの特徴

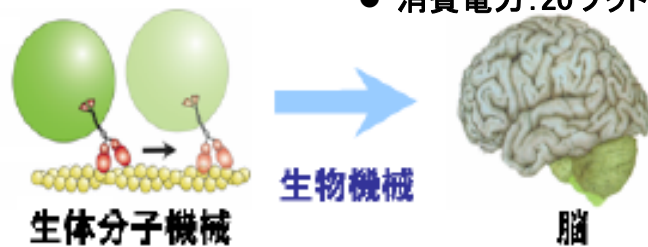
- ・熱雑音に対して、誤作動率を極めて低く押さえ、決定論^{*}的動作を高速に行う。しかし、その高速な処理のため、膨大な消費電力を発生。また、その動作を規定するアルゴリズムは、予測された環境に対応するようにプログラムされるため、環境変動に対し脆弱。

●脳や生体における情報処理・制御の特徴

- ・脳や生体がある状態で安定する時に、低エネルギーで作動し、ゆらぎ(ノイズ)を利用して確率的に動作。また、アルゴリズムを自発的に形成することができることから、そのシステムは環境変動に対し頑強。
- ・また、脳のある機能に対応する領域は局在し、多数の領域が相互に連携し統合されて言語や社会性等高次の機能を実現している。このような局在と統合の役割分担等に関する研究も進められている。

^{*}決定論：全ての出来事は、その出来事に先行する出来事のみによって決定される、とする立場の仮説。

- 140億の神経細胞(50兆個の結合)
- 消費電力:20ワット

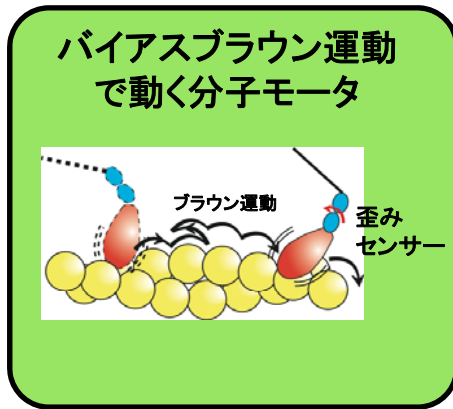


- 100億個のトランジスタ
- 消費電力:5万ワット

	生体コンピュータ	人工コンピュータ
入力エネルギー	kT 熱ゆらぎと同程度	>>> kT
性質	ゆらぎ(ノイズ)を利用 確率的・あいまい・低速	ノイズを遮断 決定的・正確・高速
特徴	省エネ・柔軟的・自発的 自律的・ロバスト	高エネルギーコスト 固定的・強制的
機能	直観・フィーリング 定性的情報処理	大量・正確 定量的情報処理

脳や生体におけるゆらぎを利用した制御機構

- 生体は、分子レベルから細胞・個体レベルに至る階層構造を持つダイナミック(動的)で複雑なシステムを巧妙に組織化(オーガナイズ)。このようなシステムを従来の決定論的手法で厳密に制御するのは、制御すべきパラメータが膨大になるため非現実的。
- それにも関わらず、生体は、個々が自立的に動作し、全体では意図する制御が実現される、巧妙な自己組織化制御により、極めて少ないエネルギーで秩序あるシステムを構成。
- 分子レベルから細胞、脳レベルまで、階層を越えて生体システムに共通して見られる制御機構をモデル化したものが、「ゆらぎ方程式」として定式化されている。



細胞, 脳レベル

$$\frac{d}{dt} x = f(x) \cdot activity + \eta$$

アトラクタを持つ制御構造 心地良さ 自発ゆらぎ
整合性

一般化
ゆらぎ方程式

分子レベル

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial U(x,t)}{\partial x} B + \sqrt{\frac{2kT}{\rho}} \eta(t)$$

ポテンシャルカ バイアス 熱ゆらぎ

↑
ゆらぎ方程式

- ゆらぎ方程式の構造: システムの詳細な構造を曖昧にすることで、高次元システムの有効次元数を減らし、粒度を粗くする上でも有効に働く
- ポテンシャル $U(x)$: ゆらぎを受け入れ粒度の粗い組織化を可能にする構造を持つエネルギー関数
- *activity*: 環境変化に応じてポテンシャルを変調させ、ゆらぎによるアトラクター選択を実現する変数。システムにとっての「都合の良さ」「ここちよさ」を表す。

ゆらぎ方程式の情報ネットワーク制御への適用

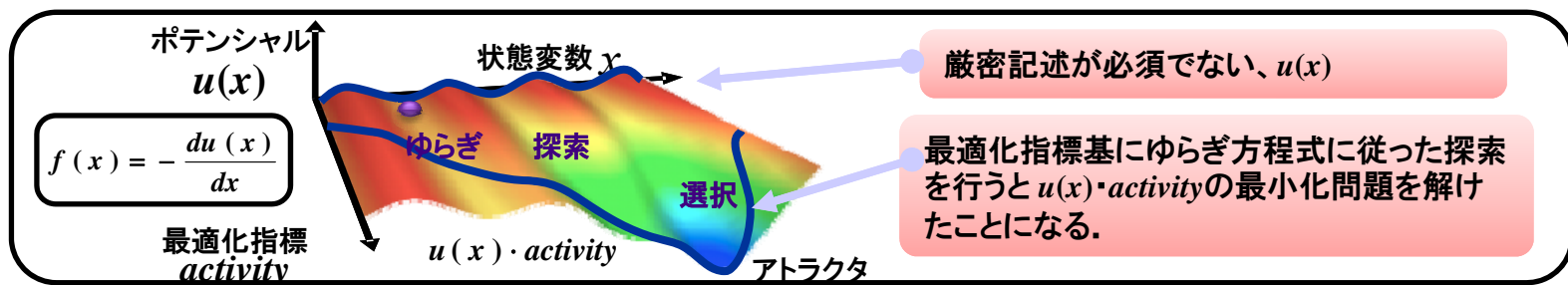
生体と情報ネットワークには規模の大きさや動作等に共通点が多く、脳の情報処理の仕組みを適用することにより、今までと異なる手順でのネットワークのコントロールが可能。

- 情報ネットワーク制御に適用する場合、外乱による想定外事象が多く発生した場合にそれをノイズとして素早く検知し、システム性能を回復するための新たな状態を探す制御のモデル化により、環境変動への対応が可能。
- これらによって、以下のネットワークが実現可能。
 - ・if-then-else型で扱われてきた制御システムを、アトラクタ選択*を用いてモデル化し、頑強かつ環境変動に柔軟に適応可能な情報ネットワークシステムを実現する
 - ・階層化アーキテクチャをとる情報ネットワークにおいて、各階層プロトコルをアトラクタを持つ制御構造によって実現し、新しい情報ネットワークアーキテクチャを実現する

※アトラクタ選択: 未知の環境変化に適応し環境変化によって劣化した状態を回復する生物の振る舞いのモデル

$$\frac{d}{dt} x = f(x) \cdot activity + \eta$$

	$f(x)$:アトラクタを持つ制御構造	$activity$:系の状態	η : ゆらぎの構造
生体・脳	ゆらぎが利用可能な構造	状態が良いと感じる度合い	熱ゆらぎ、自発ゆらぎ
情報通信ネットワーク	設計に基づく制御プロトコル動作	システム遅延、スループット、信頼性	いままでと異なる動作をノイズ(ゆらぎ)として検知

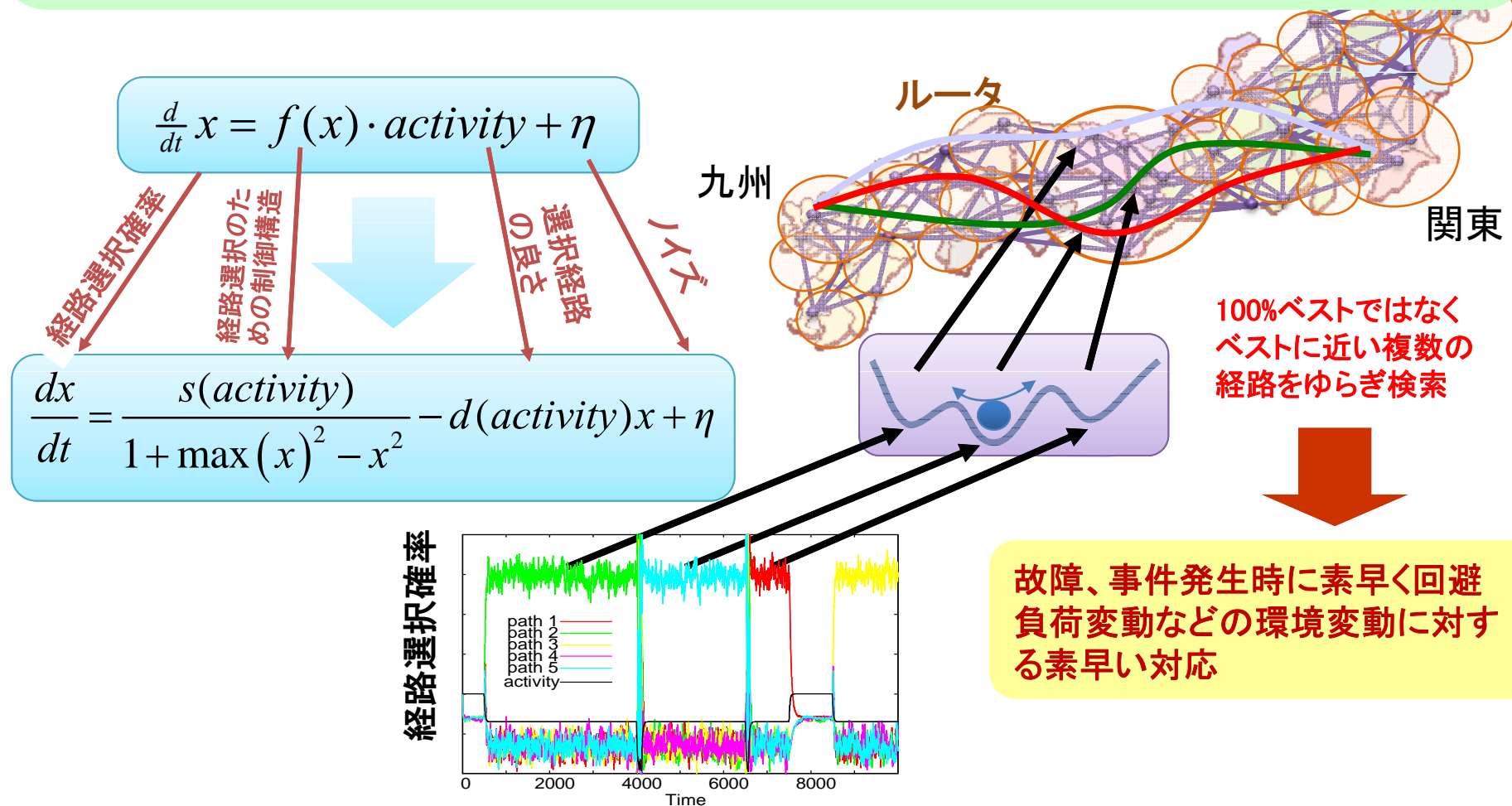


3.1 BFI

ゆらぎ方程式の情報ネットワーク制御への適用例

●経路選択(マルチパスルーティング)に対して、ゆらぎ方程式を適用した例

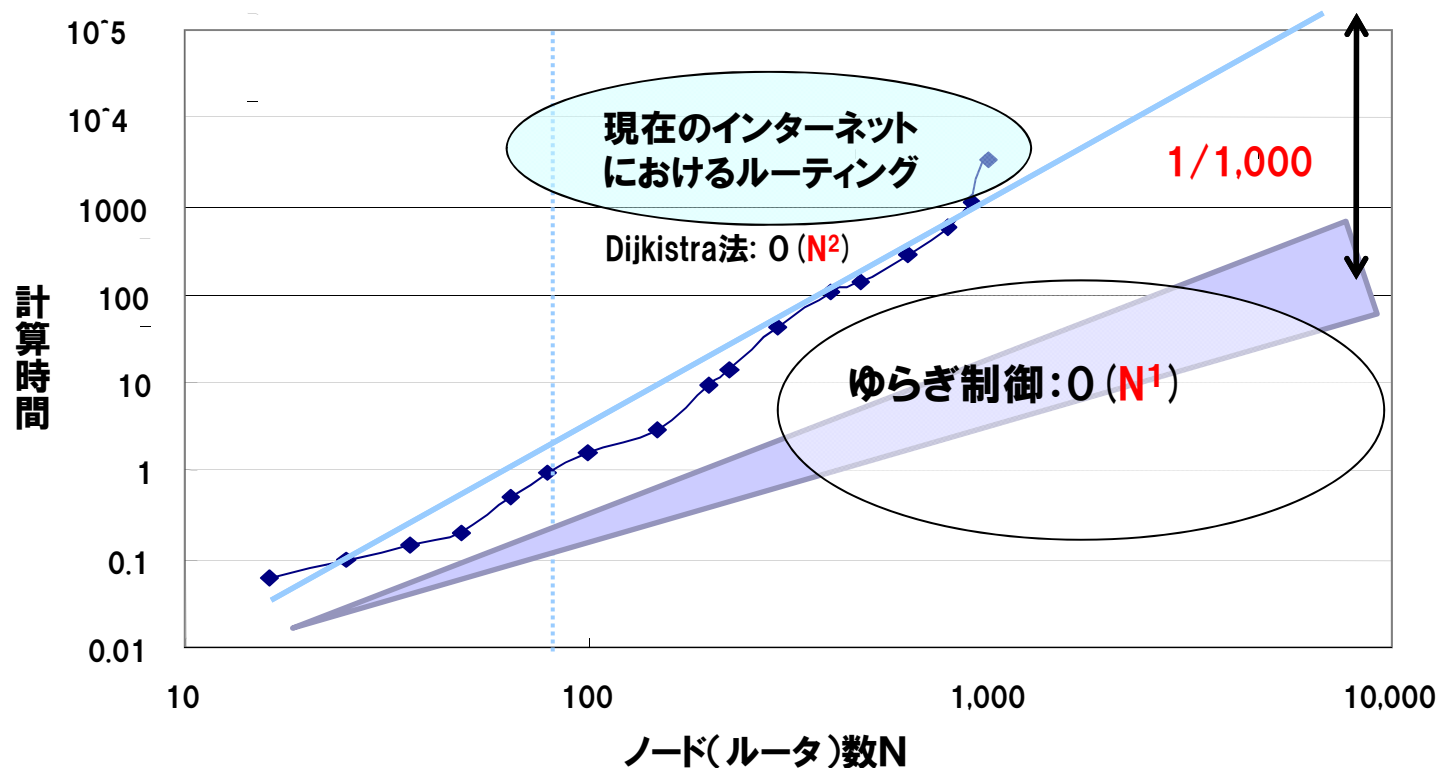
- ・生体における制御構造を参考に、経路選択を $f(x)$ として設計。
- ・常に揺らいでいる通信状況(トラフィック変動やノード/リンク故障)を環境情報として取り込みながら、適応的で応答性のよいルーティングを実現可能。
- ・故障や負荷変動に対して素早い対応が可能(但し、最適解を得ることは保証されない)。



ゆらぎ制御による計算量削減と省エネ効果

ゆらぎ制御(activityを目標とした自己組織的制御)による計算量の削減の効果は、例えば、経路制御を例にとると、以下のように計算できる。

- 従来制御(IP経路制御)は N (ルータ数)の2乗。ゆらぎ制御は $K * N$ ($K=3$ の場合、すなわち、各ルータが3個のルーティングパターンを持つ場合)に比例すると考えられることから、
 - ・今のインターネット運営組織が運営管理するネットワーク規模で、経路制御にかかる時間を約1/1,000に削減することが可能。
 - ・負荷に適応してCPU動作速度可変なルータであれば、同桁程度の消費エネルギー低減が期待。



これまでの制御技術との違い

ゆらぎ方程式に基づく制御を既存の制御と比較した場合、一般的に以下のことが言える

- 厳密な制御モデルを要しないゆらぎは計算量を削減可能(省エネ)
- 動的に変化する対象や、未知の対象には対応できない古典制御やニューラルネットやファジィに比べ、ゆらぎはこれらの対象に対応可能(ロバスト性)
- ゆらぎはモデルが正確に記述できない場合にも準最適解を得ることが可能

	古典制御(PID)	ニューラルネット	ファジィ	ゆらぎ
正確性	◎	○	△	△
複雑な対象への対応	×	○	○	○
動的な対象への対応	×	△ (オンライン学習)	×	○
初めての状況・頻度の低い状況への対応	×	△ (学習困難)	△	○
適用範囲	線形問題	非線形問題	部分的に記述不可能な問題	厳密に記述不可能な問題

ゆらぎ制御と他の制御技術との違い

当面の研究開発項目

前頁までで述べた通り、省エネ(例:非常に小さなエネルギーでも動く)、自律的(例:自ら学習する)、ロバスト(例:自然に回復する)などの優れた特徴を脳や生体は有していることから、脳や生体の仕組みを利用した技術を情報ネットワークの制御に適用することが当面の研究開発項目として考えられる。

具体的な研究開発項目としては、以下のとおり。

- ① **自己組織型超高速・省エネルギー制御技術**
変動している通信状況を環境情報として取得し、適応的かつ即応的にネットワーク経路を探索して、エネルギー消費が少ない経路制御を行う技術。
- ② **環境変動に適応した自己修復型ネットワークインフラ制御技術**
ネットワークの故障や環境の変化に対応し、即応的にネットワークを安定させる技術。
- ③ **大規模ネットワークへの段階的適用のためのネットワークアーキテクチャ技術**
生体制御原理の追求による基盤理論の構築(脳神経科学に加え社会行動実験等も視野に入れる)既存制御技術によるネットワークに当該技術を適用したネットワークを段階的に導入するために必要な運用監視・制御技術。

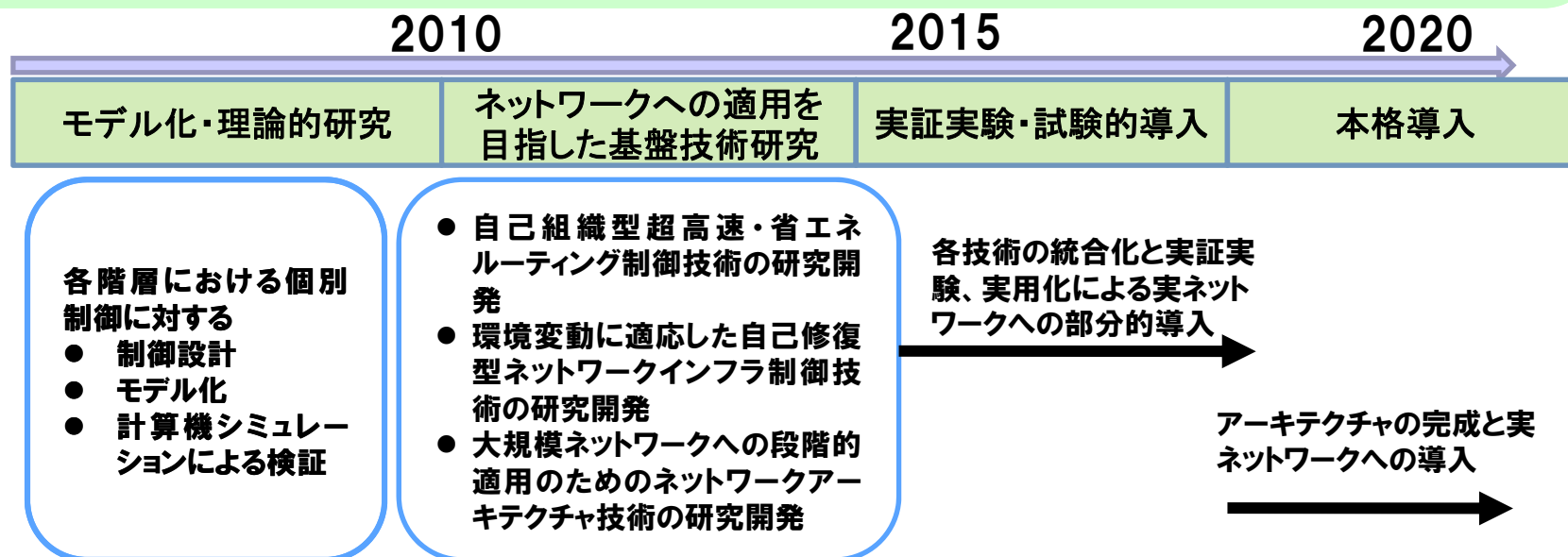
目指す姿に至るまでのステップとマイルストーン

これまで、ゆらぎ制御の実現性は、各階層における個別制御に対して

- ・制御設計、モデル化、計算機シミュレーションによる検証

によって示されている。今後、脳や生体の情報処理の仕組みを情報通信ネットワークの制御に適用し、環境変動に即応的かつ柔軟に、また既存ネットワークへの段階的適用が可能なネットワークアーキテクチャを確立するため、以下が必要である。

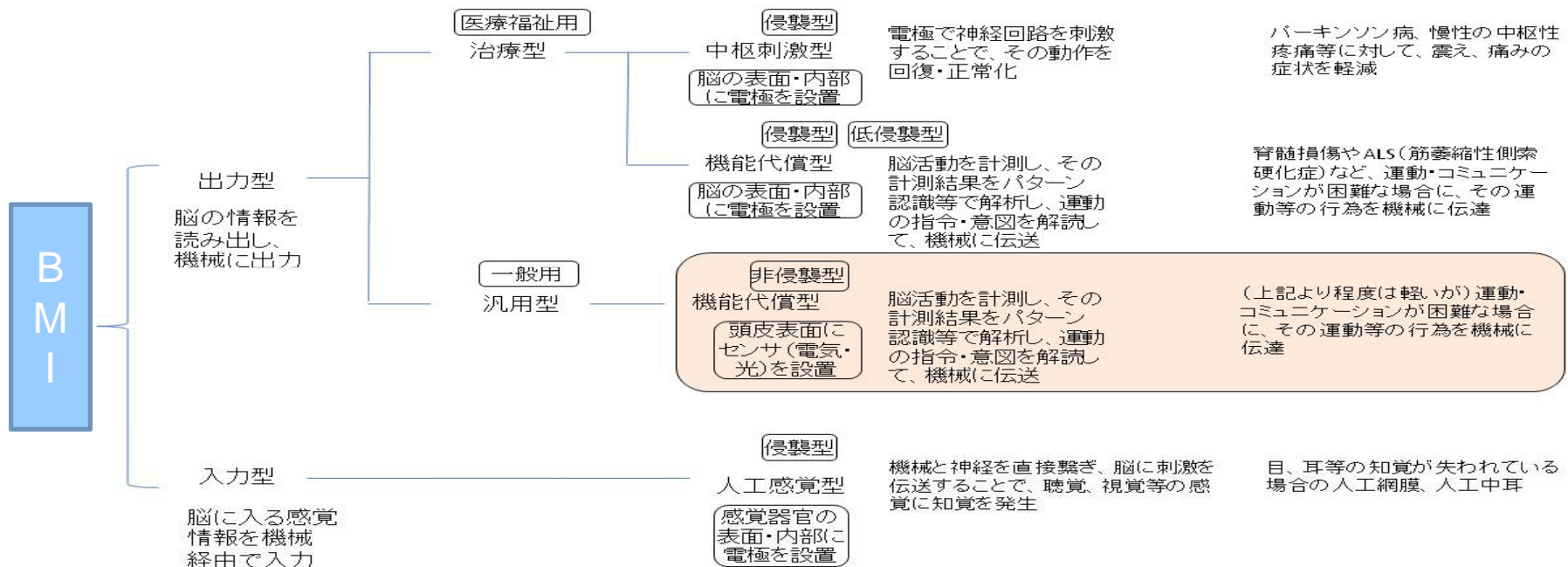
- ・分子から細胞、個体、さらには社会のレベルに至る階層を持つ、超複雑・高次元でダイナミックなシステムである脳や生体における動作原理の解明。具体的には、ゆらぎに基づく階層間インタラクションの検証
- ・階層性を持つ情報ネットワーク制御への適用とゆらぎに基づくアーキテクチャ設計の完成 (特に、実ネットワークへの部分導入から完全移行へのマイグレーションが可能なアーキテクチャ設計)
- ・実証実験を重ねることにより、実ネットワークへの部分導入を図るとともに、アーキテクチャを完成
- ・実ネットワークへの全面導入



BMIの現状

●BMIの種類

- 出力型(脳の情報を読み出し機械等へ出力)と入力型(脳に入る感覚情報を機械経由で入力)に大別。
- 出力型では、脳の表面、内部に電極を設置する方法(侵襲型)が欧米等で開発されてきたが、我が国では、手術を伴わず、頭皮表面上のセンサから脳活動を計測し、その計測結果から、運動の指令や意図を読み出す技術(非侵襲型(訓練なし))が発達。
- 非侵襲型の研究は、国外でも、米国、ドイツで実施されているが、脳波だけを用いる場合、ユーザの長期間の訓練を必要とすること、統計的な手法を用いてもそれほど性能が上がらないことが問題点。
- 脊髄損傷、ALS、重度の脳卒中などは文科省、厚労省、経産省などでプロジェクトがすでに推進されていることから、軽度の機能低下・障がいに対応して、日常生活の中で機能の補填ができる技術を確立することで、高齢者・障がい者に優しい社会の構築が期待できる。



3.2 BMI

BMIの現状

●日本型BMIの特徴

単純に脳波だけではなく、血流や脳磁場を測定する非侵襲デコーディング技術で世界をリード。

- ・fMRIを用いたものでは、被験者が見ている画像の再構成、被験者が考えたじゃんけんの手のロボットによる表示等に世界で初めて成功。
- ・脳波やMEGを用いたものでは、それぞれNIRS,fMRIなどと組み合わせて、大脳皮質の表面上の電流を推定する手法を開発。(被験者が念じた動作をロボットで再現したり、手の8方向の軌道をリアルタイムで再構成)

⇒ 我が国は、非侵襲型BMIに関して一定の分野、技術で世界のトップランナー。



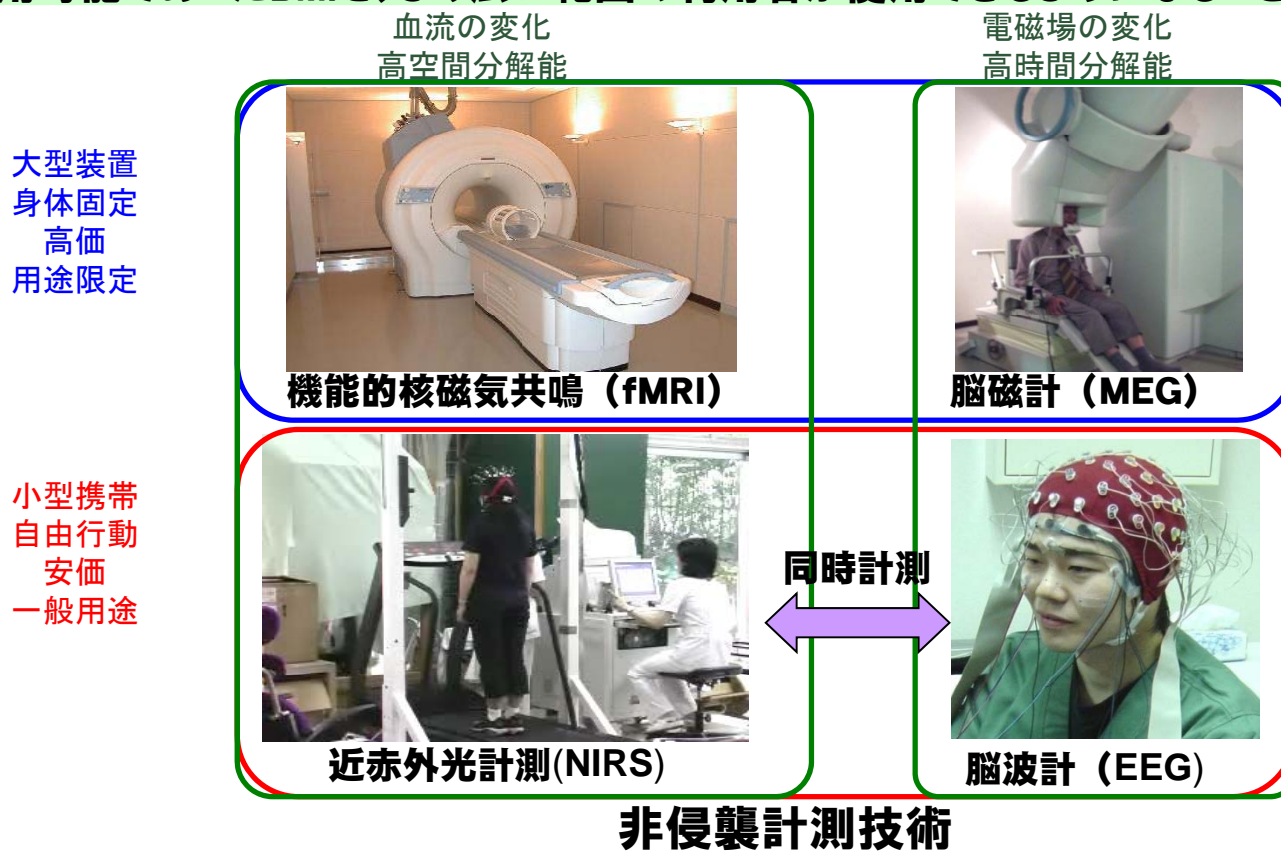
・被験者が見ている「○×△□」等の単純な画像をディスプレイ上に再現。

・被験者の脳波や脳血流の変化を計測することで、被験者が思い描いている簡単な4つの動作の中の一つを特定し、その動作をロボットに行わせた。

BMIの現状

●日本型BMI技術の強み

- ・我が国が非侵襲デコーディング技術で優位性を持っている理由としては、システム神経科学、先端医療、MEMS技術をはじめとした工学、デコーディングなどの計算論的神経科学が進展したことが考えられる。
- ・また、我が国は、計測機器では、近赤外光脳計測(NIRS)装置に強みがあり、世界のシェアのほとんどを日本国内メーカー2社で占有。両者は、最近比較的少数チャンネルで無線で信号を飛ばせる携帯型システム(ネットワークは利用せず、処理部は比較的近傍に設置)を開発中。従来、重度の患者のみが使用可能であったBMIを、より広い範囲の利用者が使用できるようになることが期待。



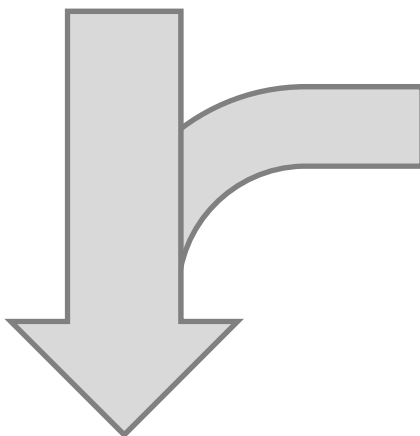
BMIの可能性

●BMIの将来像

BMI技術は、体を通じたコミュニケーション・外界知覚から、言葉を使わないコミュニケーションや、感覚情報を直接脳が受け取る知覚等、BMI技術そのものの高度化とともに、BFIにおける通信技術やHHSにおけるコミュニケーション技術により、コミュニケーション革命を引き起こす可能性を持つものと期待。

【従来のコミュニケーション、認知】

体(感覚器官、運動器官)を通じたコミュニケーションや外界の認知



【BMI技術】

- ・外界の情報を脳内の信号に変換する技術
- ・脳内の信号を人間が理解できる言葉や映像に変換する技術

これらの技術革新は、言葉を使わないコミュニケーションや感覚情報が直接脳に送られることによる知覚等、従来のICT、コミュニケーション技術を大きく変革しうる。

【ブロードバンド・ネットワーク】

いつでも誰でも、高速で大容量の情報を送る、受け取ることが可能。

【将来の可能性】

脳の活動がネットワークで直接結ばれたり、脳が肉体と同じように機械を取り込む可能性
医療や福祉など特定の利用から日常生活への利用への拡大、単純で小さな機能の置き換えから徐々に複雑、高次な機能レベルへの拡張の可能性

【次世代BMIの方向性】

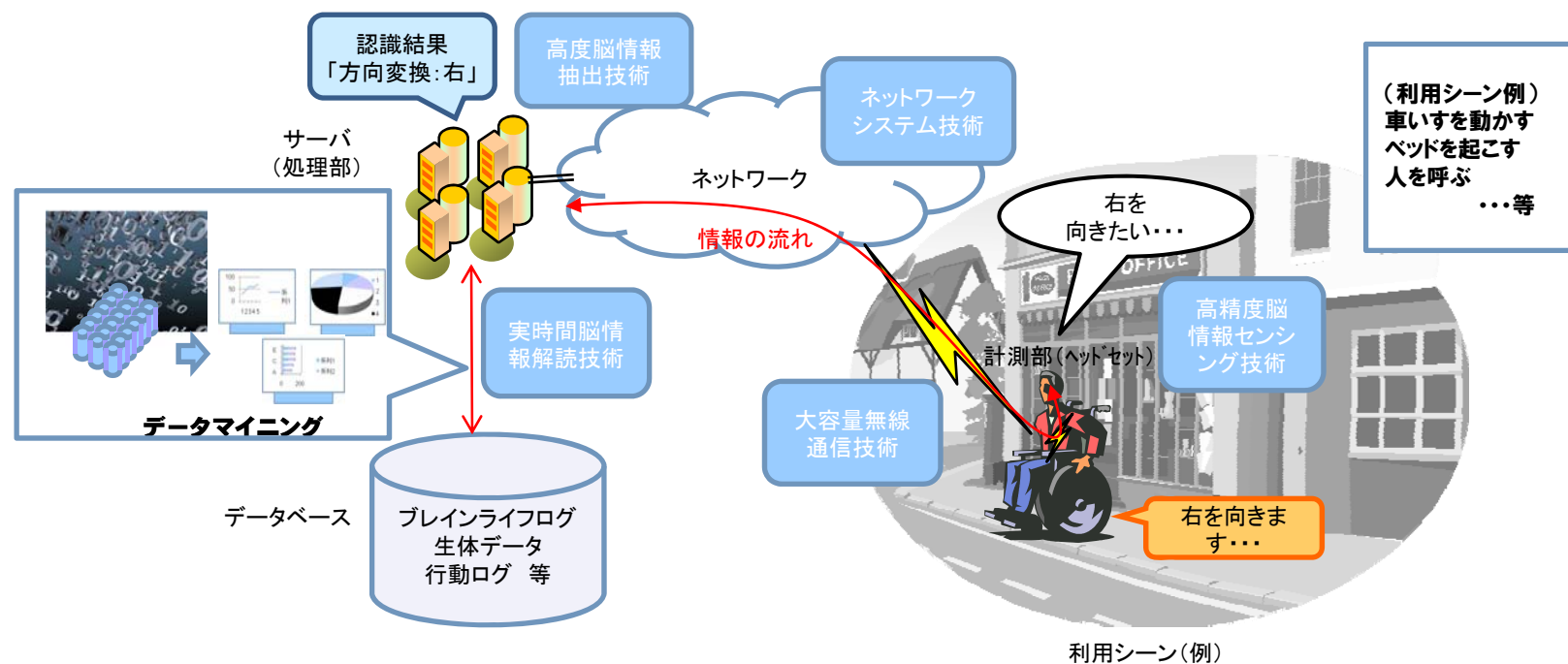
上記のような、対象ユーザや利用シーンの適用拡大を目指した、社会のインフラとなり得る、ネットワークシステムとしてのBMIが考えられる。

研究開発の方向性

●ネットワーク型BMIシステム

我が国の強みを活かし、さらにBMI技術の適用を拡大する場合、現行の医療福祉用に加えて、軽い病状の脳卒中、高齢で運動・コミュニケーション機能に衰えのある場合等、通常的生活を送ることもできるが、何らかのサポートが必要な方に対して、日常生活における運動等の指令・意図を機械や介護者に伝えることが考えられる。そのためには、脳情報を解読する複雑な装置を、計測や制御など日常生活の場から独立させ、遠隔に配置することが必要となる。

BMIシステムを道具として利用しやすいものにするために検討すべき、適切なユーザ訓練のあり方も踏まえ、いつでもどこでも誰もが利用できる、ネットワークを介して利用するBMIシステムの構築が必要。



当面の研究開発項目

●ネットワーク型BMIシステム実現に向けた研究開発項目

可能な限り利用者への負担を軽減しつつ、広範囲の日常生活をサポートするための、ネットワーク型BMIの実現のための必要な研究開発課題として、以下の項目が考えられる。

- ・脳計測情報の解読(デコーディング)に必要な信号を確保しつつ、頭部に装着するセンサを小型・軽量化(高精度センシング技術)。
- ・デコーディングに必要な情報抽出のための前処理のうち、身体に装着する装置で処理が困難なものについては、無線ネットワークでデコーディングを実施するサーバ等にデータを伝送することで、身体に装着する復号器を可能な限り小型・軽量化(ネットワークシステム技術)。
- ・サーバとの間のデータ伝送を可能な限り短時間で処理するための大容量無線通信技術。
- ・サーバーにおいてデコーディングを実施する際、許容時間内に一連の処理を行うために、脳活動やその活動に対比される利用者の行動などのデータを蓄積・参照する技術(実時間脳情報解読技術)。
- ・単純な運動意図に加えて、複雑な運動、さらに気分や情動など、より高次の脳機能を脳計測情報から推定する技術(高度脳情報抽出技術)。

HHSの意義

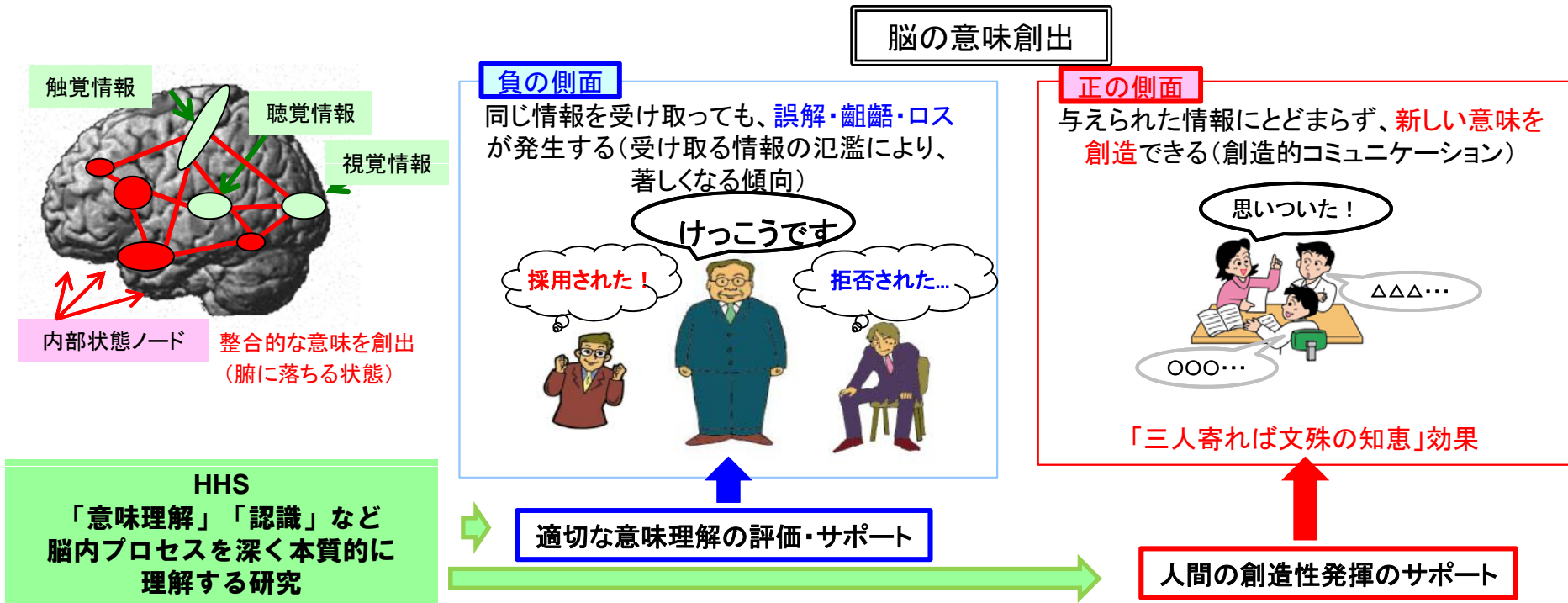
●コミュニケーションの質の変革の可能性

コミュニケーションの究極の目的は、脳がその働きを司る次の2つ。

- ・意味を正しく伝えること
- ・人間同士が創造的に協力することにある。

脳は、感覚データから「機械的」に情報を取り出すわけではなく、自身の内部状態(記憶、経緯、情動など)と統合的な意味を創出し理解するものであることから、コミュニケーションの中核である「意味理解」「認識」という脳内プロセスを深く本質的に理解することで、コミュニケーションの質に大きな変革が訪れる。

すなわち、HHSとは、人の相互理解を深め創造力発揮を支援するICT実現のために、コミュニケーションの中核である、「理解」「知覚」という脳内プロセスをより深く本質的に理解する研究である。



コミュニケーションで生じている課題とHHSの目的

元来、人と人の間のコミュニケーションでは、情報の伝達時に逸失や誤りが生じることはある程度不可避。

・逸失や誤りの原因

(送り手)情報量や質の問題、情報提示方法の問題、メディアの制約の問題

(受け手)提示された情報の受け取り方(知覚や認識)の問題

近年の情報爆発は、この逸失や誤りの増加を顕著なものにしており、ICTによる生産性の増加を減じることに繋がりがかねない。このため、人間の知覚や認知のメカニズムを解明し、現在のICTに補うべきものを明らかにすることで、伝えたいことを効率的かつ正確に伝えるコミュニケーションの実現を目指す。



三人寄れば文殊の知恵のはずだが

コミュニケーションの巧拙、手段の制約・様々な障害

効率・生産性の伸び悩み

人間の知覚や認知のメカニズムの解明により、現在の情報通信に補うべきものを明らかにする

従来の心理学(認知科学)の領域を脳科学的アプローチで研究

HHSの全体像

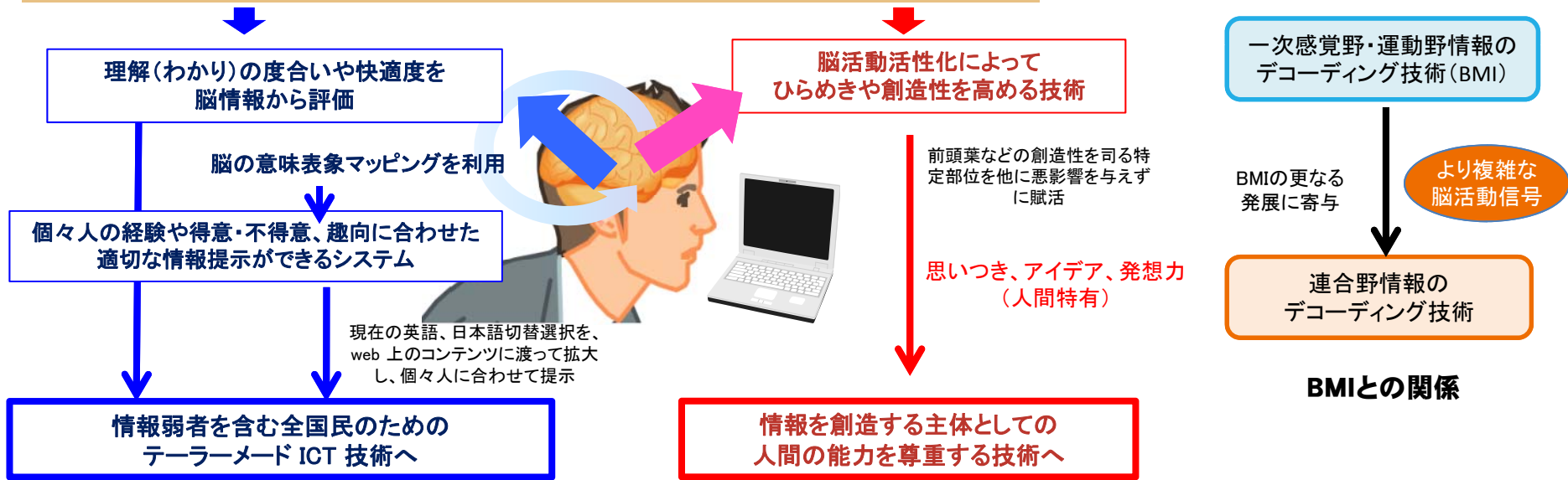
コミュニケーションは、人間ならではの知的思考をやりとりするために必要。そのコミュニケーションの中核である「意味理解」「認識」を脳情報通信研究により、定量化・可視化することで、以下のようにコミュニケーション能力の増強に貢献することが期待。

- 情報の知覚と理解をサポートすることで、コミュニケーションのロス、誤解を低減
- 創発的活動を刺激して新たな価値を創造するコミュニケーションの実現



人工の情報処理システムのパラダイムとは異なる「脳における情報処理」の理解の促進

コミュニケーションの中核である「意味理解」「認識」という脳内プロセスを深く本質的に理解



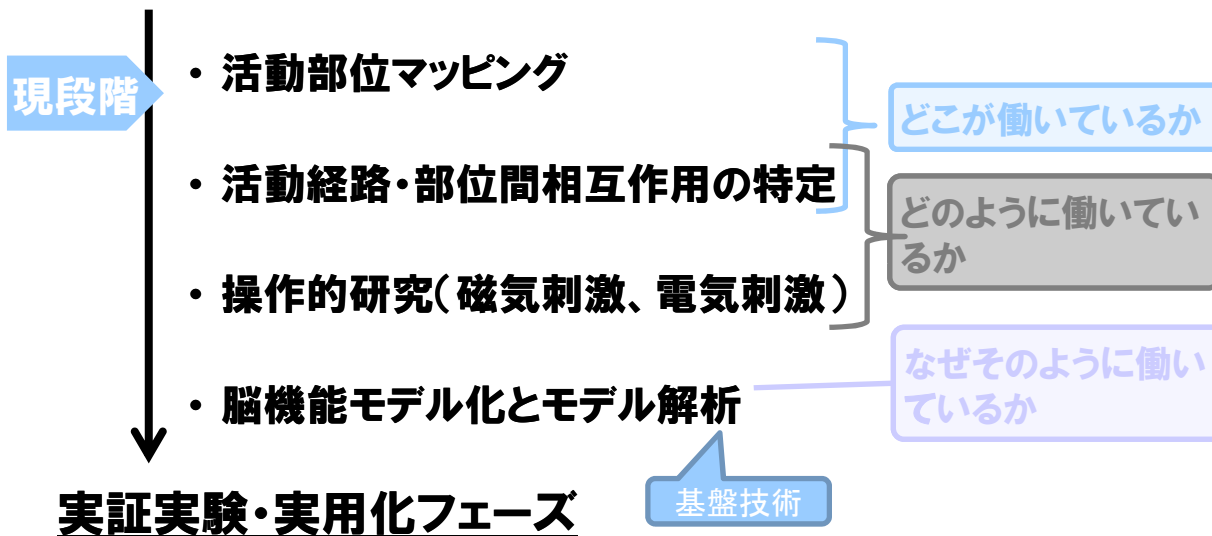
研究開発の現状

(意味理解・ひらめき): 情報の意味の表象部位の解明のため、fMRIやMEG等により関連部位マッピングの研究中。視覚や聴覚などの感覚の種類を越えた共通の意味表象が側頭葉前部に存在すると考えられてきている。

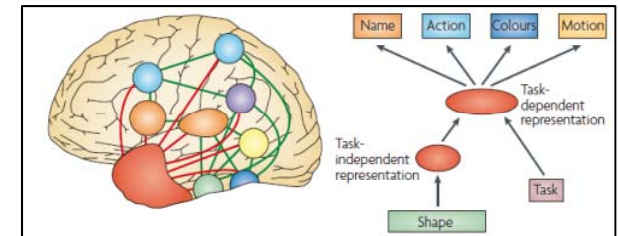
また、意味表象の選択や創出の仕組みとして、側頭葉(視覚情報の表象部位)における自発的な神経活動の役割や、前頭葉から表象部位への制御信号の流れなどの研究が実施中。

(情動・感じ方関連): 喜び、悲しみ、恐怖などの情動、感情と関連した研究については、動作・感覚等と比較してその解明は難しく、現時点では脳の関連部位のマッピングが主流。一部でデコーディング技術への発展が試みられ始めているところ。

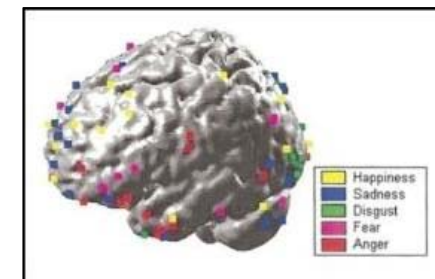
基礎研究フェーズ



脳内の意味表象の部位 (Patterson 等, 2007)



様々な情動の関連部位マッピング



(Phan 等, 2002)

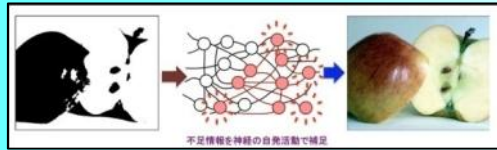
国内研究開発の現状と動向

文脈を利用した意味理解、ひらめきメカニズムの解明、情動音声の感じ方の解析等が実施。



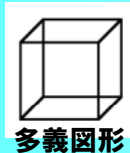
人間の見落とし現象における注意の役割など視覚・言語・情動に関するさまざまな研究テーマにより、ヒトの情報理解の原理の解明とその支援システムの開発が期待

▶ ひらめきのメカニズムの解明

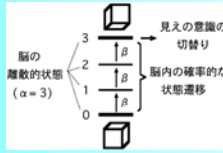


意味表象の創出
 視覚情報の表象部位である側頭葉における自発的な神経活動の役割
 (Murata 等, 2010)

▶ 「見たもの」と「見えたもの」の間をつなぐ脳システムの特性

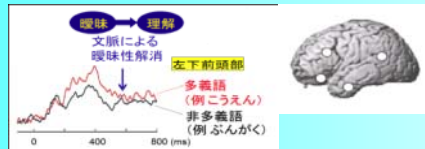


多義図形



(Murata 等, 2003)

▶ 文脈を利用した意味理解の解析



意味表象の制御
 前頭葉から表象部位への制御信号の流れ
 (Ihara 等, 2007)

▶ 情動音声の感じ方の解析



創造活動の活性化

ヒューマンエラーを取り除く
ヒヤリ・ハットを未然に防ぐ
情報通信システム

見落とし、ヒヤリ・ハットを防ぐ情報提示

最適な表現方法

高齢者にも優しい
情報・機械システム

理解しやすい表現のカスタマイズ

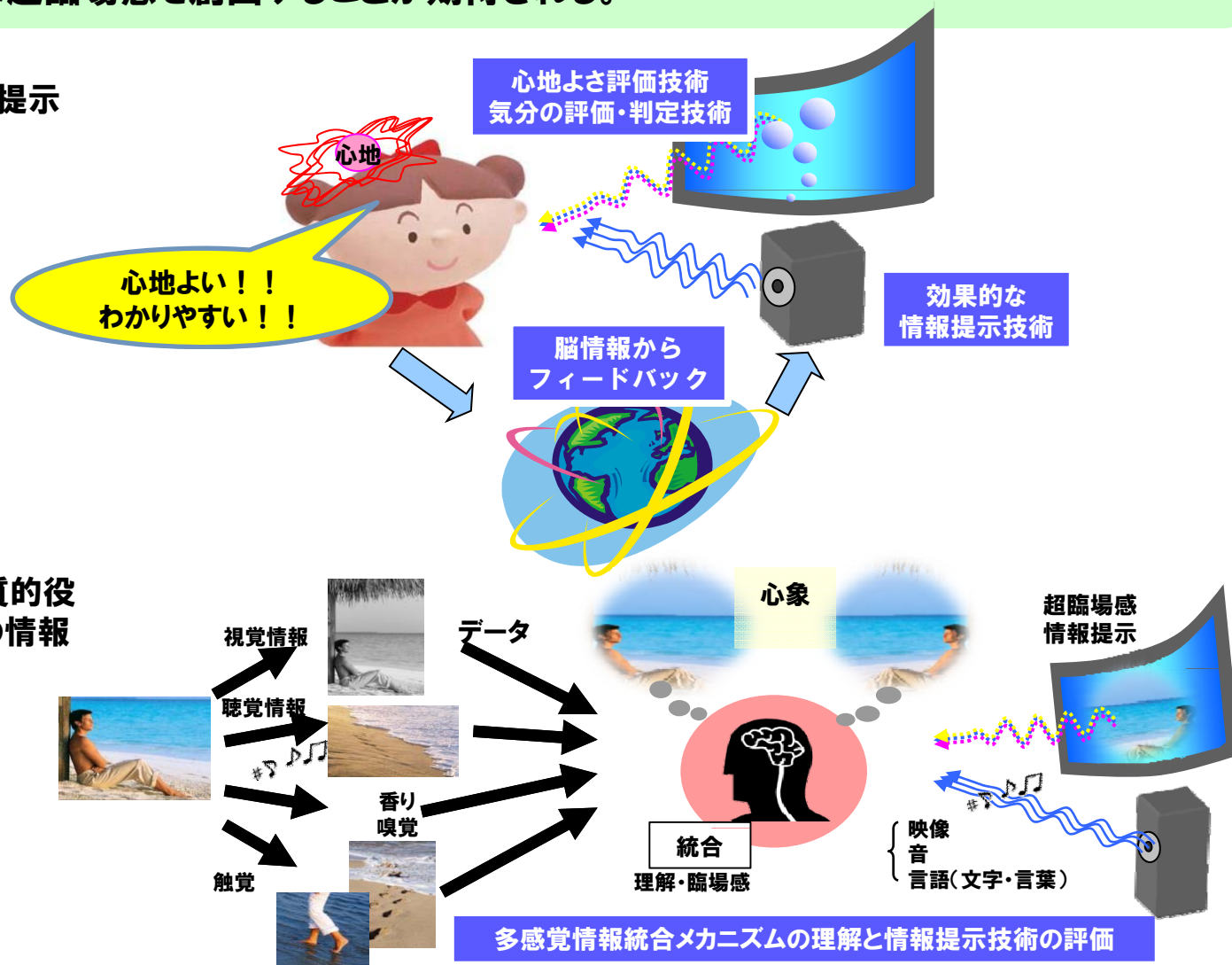
ユーザーに合わせて、最適な情報を提示する技術

人間の創造的活動をサポートするシステム

将来の実現イメージ

脳機能研究により、今まで定量化が困難であった心地よさ、気分等の情動を定量化することで、より効果的な情報提示が可能になったり、感覚以外の情報を含めて伝達することで、単独の感覚だけでは産み出すことが困難な超臨場感を創出することが期待される。

誰にでも快適な情報提示



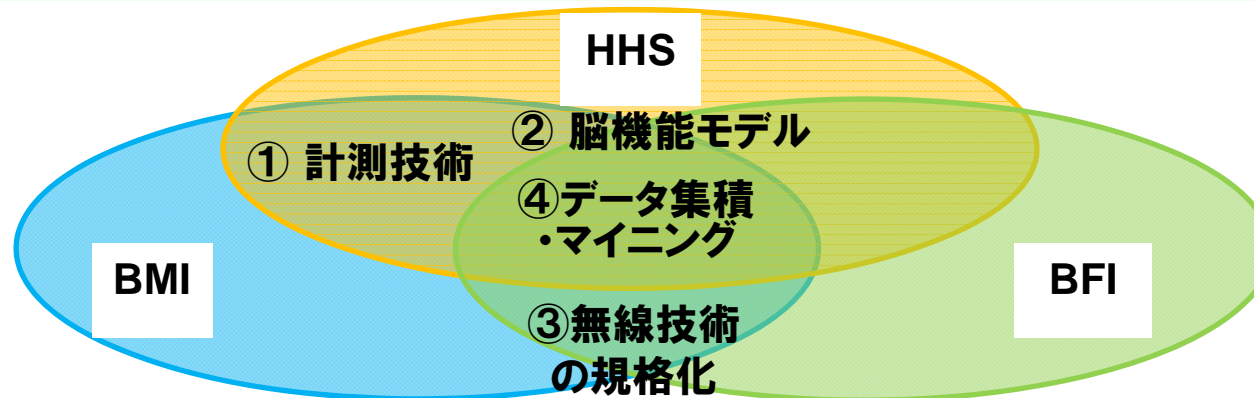
3.4 共通基盤技術

脳情報通信研究を支える基盤技術

● BFI,BMI,HHSの高度化に必要な研究開発

今後、脳情報通信の研究開発を推進するに当たり、その高度化に必要な基盤技術は各分野に共通するものが多数存在。このため、脳情報通信研究の全体像を念頭に、これらの基盤技術の研究開発を一体的に進めることが重要。具体的な項目としては、以下のとおり。

- ① 計測技術の高度化・高精度化
- ② 脳機能モデルの構築
- ③ 脳計測情報の無線伝送技術の規格化
- ④ 計測データの集積及びデータマイニング



基盤技術	概要	関連分野
① 計測技術	計測技術の進化に伴い、解読できる脳情報の種類が拡大	BMI,HHS
② 脳機能モデル	個別脳機能のモデル化から、脳内情報創発モデル(原理)へと発展	BFI,HHS,BFI
③ 無線技術の規格化	BMI運用の際の無線伝送区間の規格化。	BMI,BFI
④ データ集積・マイニング	脳計測情報及びこれに対比可能な各種の生体情報を集積し、そのデータ・マイニングを行うことで、行動と脳活動の新たな関係を導出	BMI,HHS,BFI

3.4 共通基盤技術

①計測技術

● 計測技術の高度化・高精度化

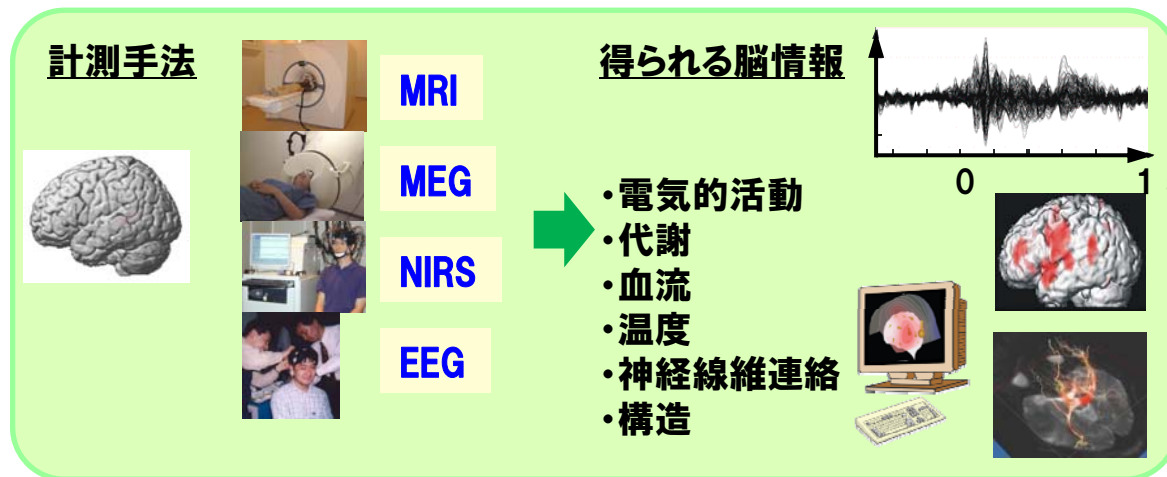
・高機能、高精度化

今後とも、計測手法はさらに発展することが期待できるが、計測手法の進化により、抽出できる脳情報が質的に向上するだけでなく、多様化することが期待。

・マルチ・モダリティ化

従来、計測技術は各々単独で進展してきたが、複数の装置で同時に計測したり、複数の計測データを組み合わせて脳活動を推定する技術が継続的に取り組まれており、この方向での研究により、脳情報間の関連が明確になるとともにデータの信頼性向上にも寄与する等、脳機能計測研究が大きく進展することが期待。

計測手法と得られる脳情報の種類



高度化・高精度化を図る事項

計測

- ・高度化(精度向上、時間短縮)
- ・普及化(可搬化、被験者拘束の軽減)
- ・新手法探索(MRS、非ボールド信号)

解析

- ・高度化(補正、脳ネットワーク解析)
- ・マルチモダリティ解析(信頼性向上、モデル化)
- ・最適化(実験課題設計、脳情報抽出法)

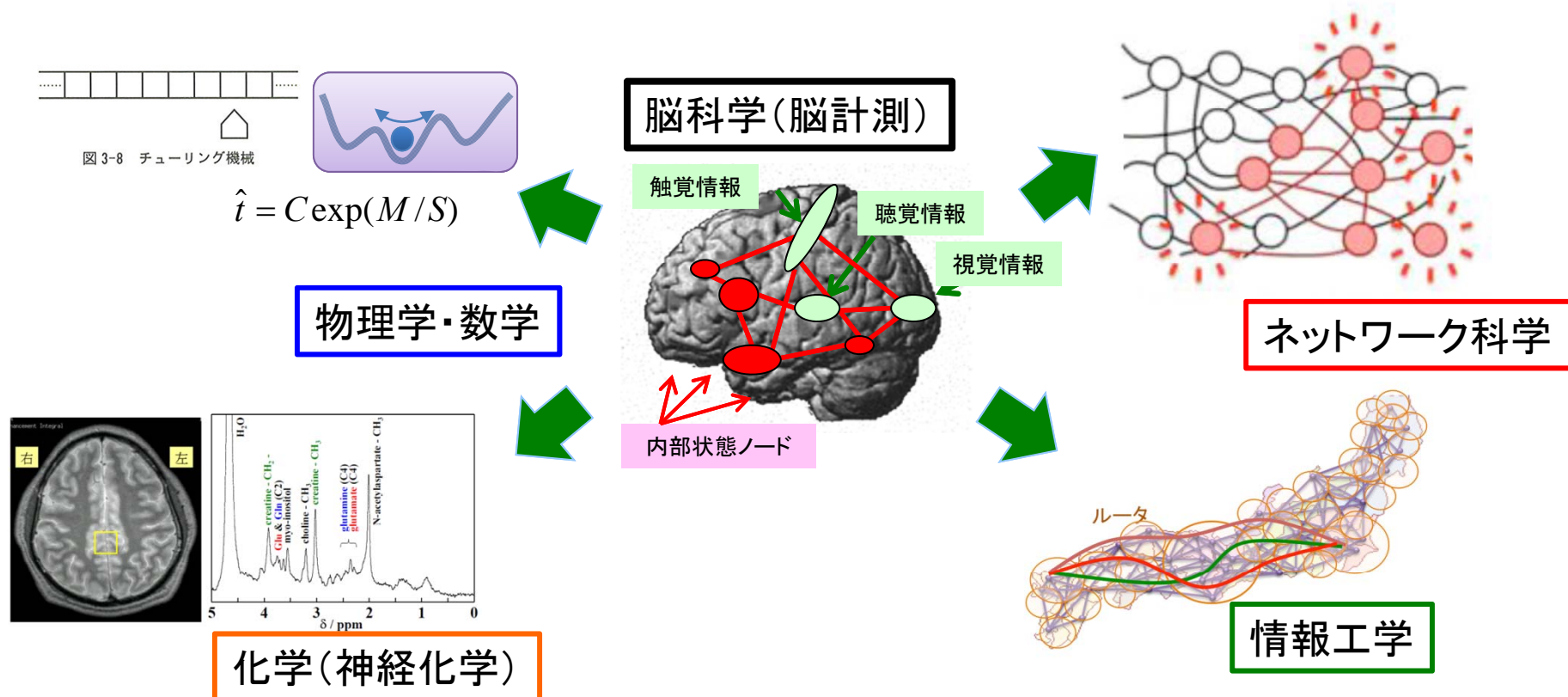
3.4 共通基盤技術

② 脳機能モデル

● 脳機能モデル(マップ)の構築

個別の脳機能(視覚認識、言語理解、運動制御等)のモデル化(マッピング)に加えて、認識、意味理解、創造性やストレスと関連した脳活動(部位および相互作用様式)についてもモデル化を行うことで、視覚、言語だけでなく、精神的活動の評価につながることを期待。

モデル化に当たっては、従来の生物学・心理学の基盤に加えて、情報工学・物理・化学・数学など他分野との融合的協力により、脳内情報処理のメカニズムの解明等を行うことが重要。



3.4 共通基盤技術

③ 無線伝送技術と標準化

● ネットワークBMI

将来のBMI技術の利用イメージを考えた場合、BMIにて述べた通り、ネットワーク型であることが望ましい(HHSについてもBMIが入出力インターフェースとして使用されることが考えられる。)が、汎用性、機器間の相互接続性、安全性の観点から、次の点について検討する必要がある。

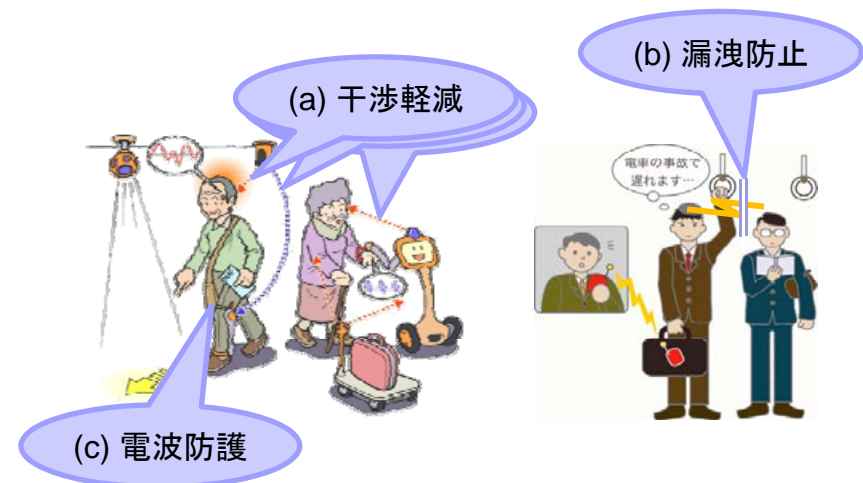
・無線伝送規格

複数の方式、機器に対応可能とするためのデータ伝送の規格化。

給電の煩雑さを回避するための非接触による電源供給(ワイヤレス給電)。

・安全性

- (a) 多数の計測機器が無線化された際における相互干渉の軽減
- (b) 脳情報など計測情報のコミュニケーション対象者外への漏洩防止
- (c) 計測機器の人体に対する電波防護



3.4 共通基盤技術

④ データ集積/マイニング

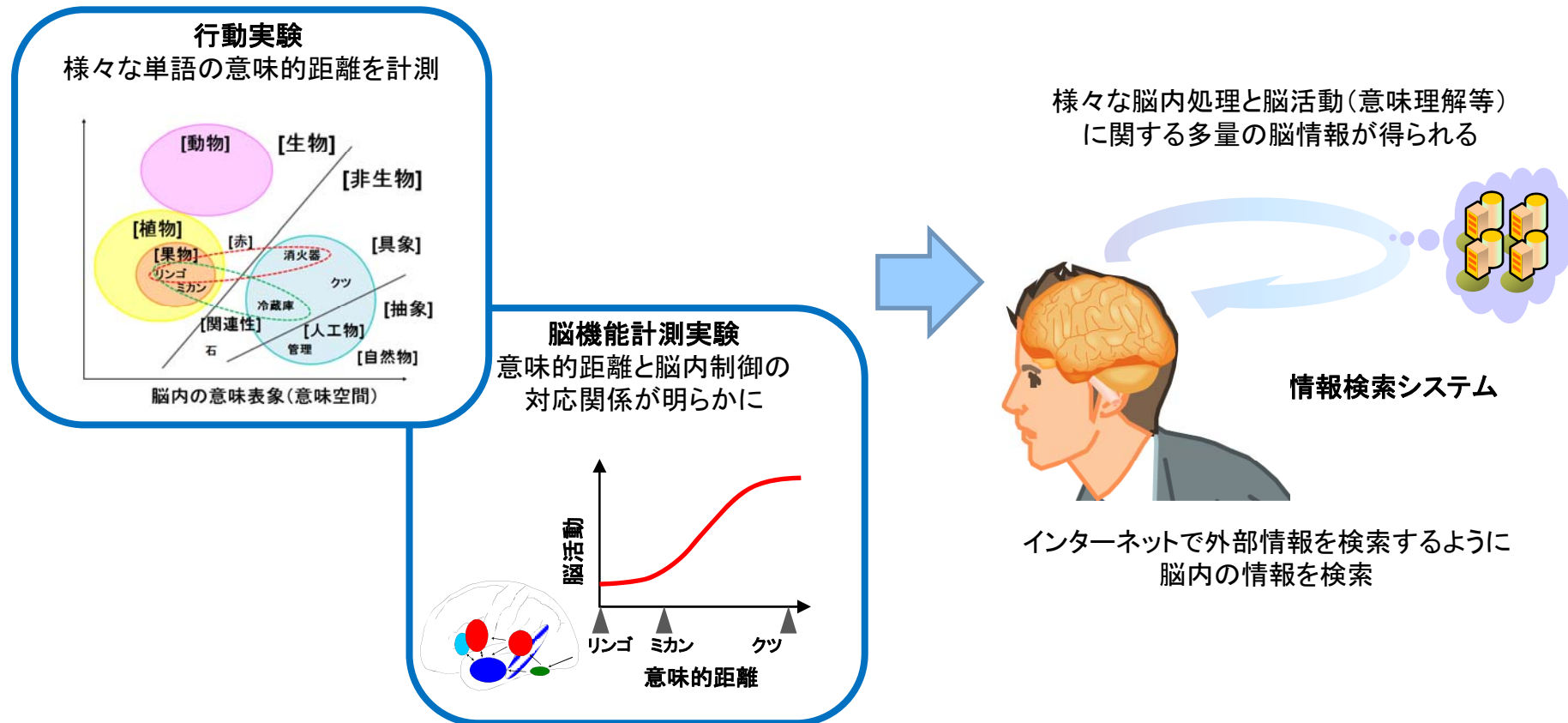
● データマイニングによる新たな知識の獲得

(a) 超感覚統合過程における脳活動計測結果のデータマイニング

- ・高次の認識機能のモデル化に基づく効率的かつ人に親和的な解析技術
- ・無意識的認知活動を反映した情報解析及び情報通信技術

(b) 意味理解メカニズムを活用した脳内情報検索技術

- ・言語等の意味的距離と脳活動の対応関係のデータベース化



4. 研究開発の推進に当たって 考慮すべき事項

4.1 研究開発の推進方策

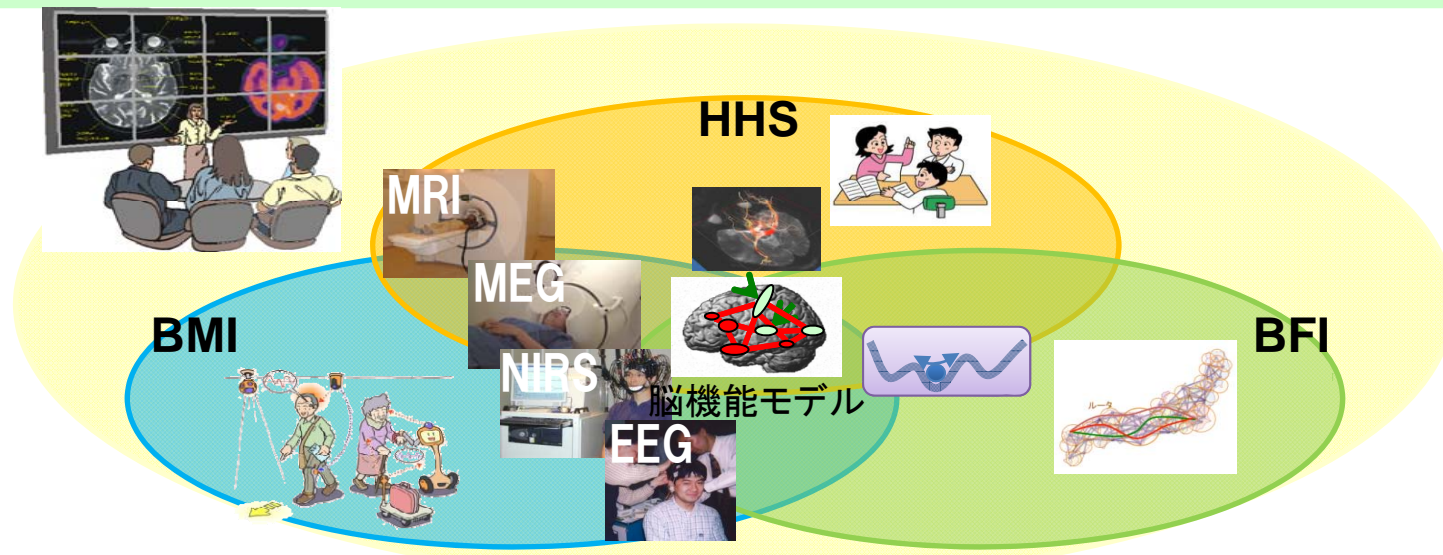
研究開発の推進体制①

●一体的取組み

第3章で述べた各分野の研究は相互に影響するとともに、成果を活用し得るもの(例:HHSの「脳内の仕組み」のBFIへの応用、BFIにおける情報伝送の研究成果のBMI,HHSにおける伝送への活用等)。各分野を戦略的に融合させることで、脳の情報処理を活用したICT分野のパラダイムシフトが可能となるとともに、高齢者・障がい者の社会参加の拡大、環境に優しいネットワークへの応用、表現・理解の発展によるコミュニケーションの進化等に寄与することが期待。したがって、各分野の研究を推進するに当たっては、各研究機関が連携するとともに、全体を総括する仕組み(例:研究統括者の設置など)を考える必要あり。

●中長期的取組み

各分野とも、その実現に当たっては中長期的な取組みが必要。研究開発の推進にあたっては、研究開発ロードマップを策定し、これを基に継続的な研究開発を行っていくとともに、想定する利用シーンの社会的な便益やユーザニーズの分析を踏まえて随時項目の見直しを行い、目標を見据えた研究開発を推進することが必要。



4.1 研究開発の推進方策

研究開発の推進体制②

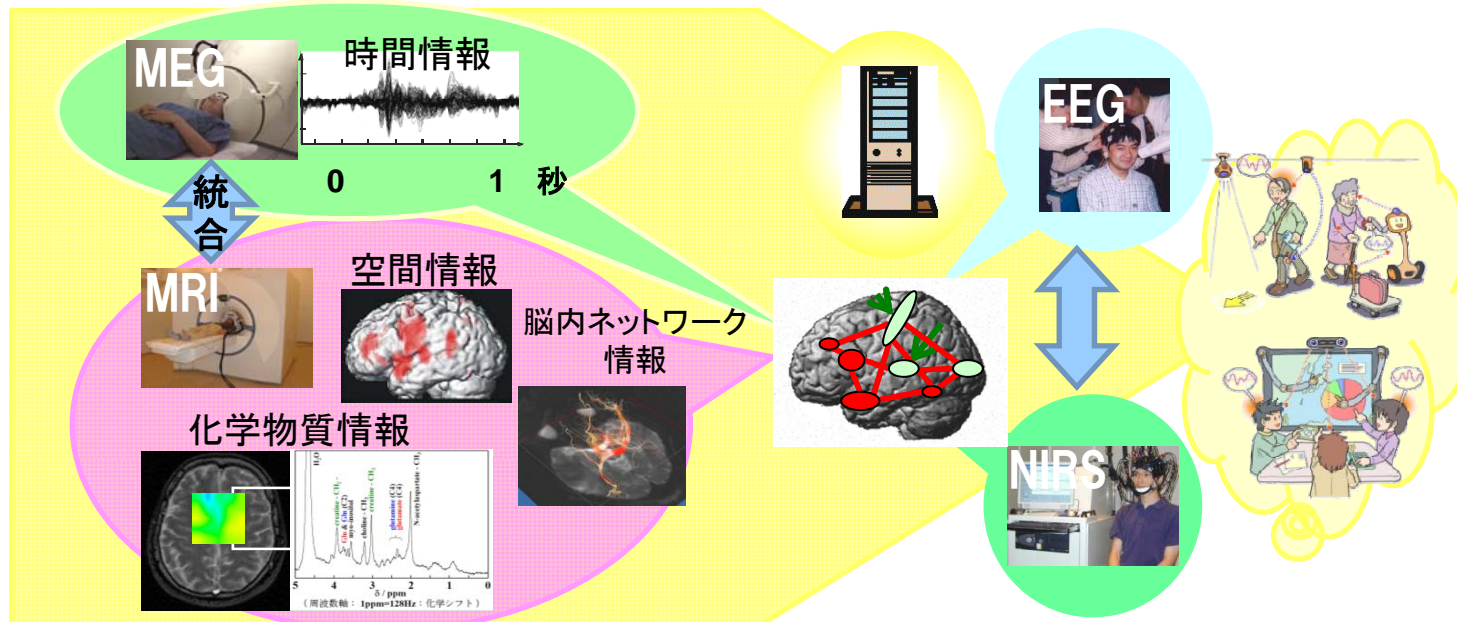
● 共通基盤技術の推進

BMI、HHS技術の一般化、汎用化には、高性能fMRI、MEG等の大型計測装置を用いた統合的な計測が非常に重要であり、この統合的な計測が可能になると、脳機能モデルの高度化に大きく貢献する可能性あり。そのためには、大型計測装置を集約し、関係計測装置による計測を一体的で実施できる環境を構築することが必要。

● 研究人材の育成

最新の計測技術など研究資源を融合させた拠点的な研究体制の構築を行い、持続的研究活動を行っていくためには海外を含む広範囲な分野での優秀な研究者が集い、研究人材の育成も行える環境が必要であり、その研究拠点の設置場所についても議論が必要である

また脳情報通信研究は、人文、社会、自然科学の幅広い分野と関連しており、今後の研究の方向性を踏まえ持続的に学際的人材を創出するための人材マネジメントについても検討が必要



4.1 研究開発の推進方策

国内外における産学官との連携

●他省庁との連携

脳科学分野、医学分野での取り組みを行っている他府省(例:文部科学省、厚生労働省)との連携を図ることにより、単に役割分担を意識するだけでなく、その成果が相乗効果をうむような研究開発を推進すべき

●産学官の連携

BMI,BFI,HHS,共通基盤技術の中で民間による着手が困難な基礎研究的な分野については、官(国または国の研究機関)が主導的な役割を果たしつつ、実用化への各分野における技術的達成度合いに基づき、大学、産業界の関連研究機関とも連携して研究開発の推進を強化。

知財戦略、国際競争力の確保

●知的財産権の適切な確保

脳科学の工学分野への応用に関しては、欧米の他、中国、韓国等のアジア圏においても取り組みが強化されているところ。現時点では、例えば、BMI(非侵襲計測)は、世界トップレベルであると言える状況だが、競争は激化しており、より具体的な成果の創出を知的財産権の確保を念頭に推進する必要あり。

また、知的財産権の確保を行う際には、国際的な市場ニーズ調査を行い、実用化を意識することが重要。

●国際標準化

高齢者、障がい者の社会参加という諸課題は各国に共通する地球的課題であることを踏まえ、脳情報通信研究の国際普及、展開方策についてはオープン化を意識して積極的に検討することが必要、また関連する技術の国際標準化を推進することでガラパゴス化にならない社会システムのトータルパッケージ構築を推進することが重要

4.2 脳神経倫理と安全性

脳情報通信研究の成果は、国民生活の様々な分野(例:医療、福祉、教育等)に大きな影響を与えうるが、特に注目すべき点は、一般の社会生活における個人の心と身体に直接影響を及ぼす可能性があることであり、研究開発成果を実社会に導入するに当たっては、その倫理性(脳神経倫理:ニューロエシックス)と安全性について十分に議論することが必要。

技術の適用範囲

- ・医療行為(例:神経・筋疾患の治療や代替手段の提供)のように、失われたり低下している機能・能力を補う行為(代償:Compensation)であれば、特段の問題は生じないと考えられる一方、人間の平均や標準を超えて、その能力の増強を図る行為(増強:Enhancement)については、その妥当性については様々な議論があるところ。
- ・例えば、人間が感じる「快・不快」を脳活動から研究することによる、教育の原点となる学習意欲等の精神の働きのメカニズム解明など、「増強」は非常に大きな影響と可能性を持ちうる。
- ・「増強」については、その効果と問題点を十分に検証し、導入についての理解が得られることが必要であり、どのようなケースについて導入することが適当か、更なる議論が求められる。
- ・更には、脳活動自体の活性化や機能低下も重要な研究領域であり、例えばBMIの利用において脳活動の機能低下を引き起こさないことへの留意や研究テーマの設定が想定される。

4.2 脳神経倫理と安全性(続き)

プライバシーの保護

- ・BMI及びHHSでは、人間の「心」の領域をも研究対象としていることから、研究開発を推進するに当たり、被験者のプライバシーや尊厳について十分な配慮が必要。これらの点を踏まえると、例えば、「本人の意思に反して脳情報通信技術により「心」を読んだり、制御することは許されない。」などの一定のルールを作り、そのルールを遵守すべき。

社会的な啓発、「ガイドライン」の必要性

- ・脳情報通信研究では、被験者のプライバシーや人権を社会的・科学的利益よりも優先して、研究開発を進めるべきであり、そのためにも研究開発の段階から、他分野の有識者の識見を積極的に取り入れる必要あり。
- ・また、研究開発の成果が誤って解釈された場合、科学的に根拠のない危惧を社会に引き起こすことになりかねないことから、研究開発と並行して、社会的な啓発を産学官の取り組みにより進めることが重要。
- ・治験や医学研究においては、法令・指針が定められており、これに基づいて、各研究機関・施設が規則を定めることが一般的であるが、脳情報通信研究の成果は、広く一般社会への普及が考えられることから、関連研究における指針を念頭に、国際的な共同研究や分野をまたがる学際的な研究も考慮して産業界・学会等における自主的なガイドラインを検討し、当該成果が適切に使用されることを促すべき。
- ・可動部(アクチュエータ等)を伴うBMIの場合、利用者や運用に関する条件を鑑みて安全性を検討する必要がある。また、一般での社会生活における利用を念頭に置くと、製造者、利用者、サービス提供者の間で適切な責任分担関係を構築しておくことが重要。