

生体ゆらぎに学ぶ知的人工物と情報システム

実施予定期間:平成 18 年度～平成 27 年度

総括責任者:鷺田 清一 (大阪大学総長)

協働機関:オムロン(株)、日本電子(株)、日本電信電話(株)、ニプロ(株)、松下電器産業(株)三菱重工業(株)、(株)村田製作所

概要:本拠点においては、生体システムの機能発現の仕組みを「ゆらぎの利用」の視点から徹底的に追求するとともに、その知見を取り入れた新しいナノ材料物質科学、情報システム科学、ロボット工学を基盤とした新たな融合領域を創出することによって、生体特有の柔軟な機能を実現した新しい知的人工物及び情報システムの創成を目指す。生体の「ゆらぎの利用」に焦点を当て「ものづくり」、「システムづくり」へと活かす本格的な試みとして国内外ともにはじめての構想であり、協働企業との強固な連携のもとに基礎科学から産業化・実用化技術に至る真のイノベーション創出を実現する。また、本拠点化構想を推進する上で有効なシステム改革に取り組む。

1. 機関の現状

a. 提案機関 (大阪大学) における研究のポテンシャル

大阪大学は、先端融合領域研究を推進し、真のイノベーションを創出する拠点形成を大学の理念として位置づけてきた。本学の研究・教育を特徴づけるモットーとして、「インタフェース」と「ネットワーク」の重視がある。それぞれが、『インタフェース:異文化の融合により新しい学問領域を生み出していくこと』、及び『ネットワーク:社会の要請に迅速に応え得る柔軟な研究・教育組織を構築するとともに学内外における「協奏」を推進していくこと』を重視しており、本学が先端融合領域研究教育をいかに重視しているかを明確に示している。このような大阪大学の研究活動に関する基本理念は、先端融合領域イノベーション創出拠点を形成するのに本学が最適の機関であることを示すものである。

大阪大学は、国立大学法人の総合大学として、文理にまたがる広範な領域において多大の研究成果を生み出しており、ISI Essential Science Indicators による機関別被引用件数に関する 1995 年～2005 年の評価では、総合で 35 位に位置して

いる。本拠点化構想に深く関わる生命機能、生物工学、ナノ材料、有機化学、情報科学、ロボット関連は、欧米との比較の上でも大阪大学が世界に誇る最もアクティビティの高い分野である。特に、日本経済新聞が、全国の国公立大学の工学系学部・大学院での研究開発の総合力を精査した結果、大阪大学がトップであることを報じている(2004 年 2 月 16 日 1 面)。

なお、研究のポテンシャルを示す一つのバロメータとも言える科学研究費補助金の獲得状況については、平成 17 年度は、採択件数 1,627 件、交付総額 8,262,470 千円(間接経費を含む。)であり、国内の大学で採択件数では 4 番目、交付総額では 3 番目の実績を有している。

b. 協働機関 7 社における研究のポテンシャル

オムロン株式会社は、超微細加工技術や MEMS 技術などについて高い水準の研究を行っており、これらの技術によって製作した微細構造をナノメートルの精度で樹脂表面へと複製する独自のナノ転写技術を有し、本融合研究のデバイス応用研究に関する十分なポテンシャルを持つ。

日本電子株式会社は、電子顕微鏡や分光装置など計測装置の研究開発で世界的に高い評価を受けている。特に、電子顕微鏡分野では世界 3 大メーカーの一つであり、生命科学用途に特化した生体巨大分子構造解析用の極低温電子顕微鏡の開発によって、この十数年にわたって常に世界最高分解能の成果を達成している。

日本電信電話株式会社(NTT)は、わが国の電気通信網の発展を支え、通信機器製造や通信サービスなどの研究開発、標準化、事業化において指導的役割を担ってきた。また、ITU/TTC などの標準化機関で、国際役職者 10 名、国際活動者は延べ約 400 名、国内でも約 300 名になり、ITU-T への寄書は世界全体の 5%(日本全体で約 11%)にのぼる。

ニプロ株式会社は、先進的な医療機器の研究開発を推進するとともに、人工臓器や再生医療の分野においても認知度の高い、世界をリードする企業である。なお、人工心臓・人工肺・循環系人工臓器の研究開発で世界的に卓越した業績を挙げってきた高野久輝が、本拠点化構想に参画する。

松下電器産業株式会社は、家庭電化製品や産業機器の開発と量産技術に長年の実績を誇る世界的メーカーで、超高集積度半導体技術やソフトウェア開発にも高い実力をもつ。技

術者の人員はグループ全体で4万人強に達し、基礎的・基盤的な研究開発から商品設計まで幅広いスペクトルでの技術開発を行っている。

三菱重工業株式会社は、総合「ものづくり」の世界的な企業であり、幅広い製品・技術分野で卓越して業績を挙げてきた。拠点化構想に直接関与するメンバーは、産業用ロボットや原子力・水中・宇宙など特殊環境ロボットなどの研究開発を行うなかで、特に実用化研究に取り組んできた。

株式会社村田製作所は、世界をリードする積層コンデンサ供給者であり、またセラミクスや単結晶を用いた小型センサ・アクチュエータ材料技術や電子回路への応用技術等について、高水準の研究力と実用化技術とを備える。さらに、その技術をより微細化した領域とか有機機能材、更には高度コンポジット材料へと広げ、本融合研究が必要とする基盤材料領域強化に十分なポテンシャルを持っている。

以上のように、本拠点化構想に参画する協働機関 7 社の有する研究ポテンシャルは非常に高く申し分のないものであり、構想成就を確実なものとする上で大きな役割を果たすことを確信する。

c. 大阪大学外の研究機関からの参画者

株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)からは、現在、大阪大学大学院生命機能研究科の客員教授である川人光男が参画する。現在、ATR 脳情報研究所室長であり、脳科学研究とロボット技術への応用に関する世界の第一人者として広く知られている。第 58 回中日文化賞(2005 年)、第 11 回大阪科学賞(1993 年)、科学技術庁長官賞(1993 年)をはじめ数々の賞を受賞するなど、その研究ポテンシャルは高く評価されている。

国立循環器病センター研究所からは、人工臓器部長の妙中義之が参画する。現在、大阪大学大学院医学研究科の招聘教授を務めており、補助循環、人工心臓、人工肺などの循環器系人工臓器の基礎研究と製品化、臨床応用に関する研究は、国際的に高い評価を得ている。

さらに、情報通信研究機構・関西先端研究センターからは、脳情報グループの主任研究員である村田勉が参画する。視覚的意識のゆらぎと脳内確率的活動ダイナミックスの MEG、fMRI を用いた計測とモデリングに関して、活発な研究を展開している。

2. 拠点化の対象とする先端融合領域及び研究開発

a. 生体ゆらぎに学ぶ「ものづくり」及び「システムづくり」

生体を構成する分子機械は、熱ゆらぎ(すなわち、「生体ゆらぎ」)を利用することによって、小さな入力エネルギーで働くことができるが、その働き方は確率的であいまいである。既存の人工機械が熱ゆらぎから逃れるために莫大なエネルギーを使用し、その要素機能素子を正確・高速に働かせているのは対照的である。しかし、こうしたあいまいで確率的にゆらぐ素子がシステム化されると、筋肉や脳に見られるような生体特有の柔軟性が生み出される。

そこで、生体における「ゆらぎの利用」を「ものづくり」、「システムづくり」へと活かすことができれば、筋肉や脳の機能を備えた、これまでにない新しい機能材料、新しい情報システムを創成することができるのではないかと、というのが本拠点化構想の根本の発想である。

本拠点化構想では、生体分子機械及びそれがつくる生体システムの機能発現の仕組みを「ゆらぎの利用」の視点から徹底的に追及するとともに、生命科学を取り入れた新しいナノ材料科学、情報システム科学、ロボティクスを構築することによって、生体特有の柔軟な機能を実現した新しい知的人工物および情報システムの創成を目指す。

b. 基本コンセプト: 生体に何を学ぶのか

生物における各階層でのダイナミクスを準安定なポテンシャル中での粒子の運動の総和として捉え、マイクロなレベルからマクロなレベルまでの各階層間において首尾一貫した関係が、「ゆらぎを利用」した「アトラクター選択」により自律的に生成されていく過程こそが、生物の情報処理機構形成の本質であると考えることが可能であろう。そこで、本拠点化構想では、「ゆらぎ」を利用した「アトラクター選択」を基本コンセプトとして採用し、「ものづくり」及び「システムづくり」へと応用展開を図ることにより先端融合領域でのイノベーションを創出する。

c. 本研究拠点で融合を図る研究領域および相互関係

本拠点化構想推進における研究開発の流れは、「測る」、「学ぶ」、「創る」、「使う」の四つの大きな機能によって記述される。つまり、「生体ゆらぎに学ぶ」ことを可能にするには、まず、生体のゆらぎに関する多様な挙動をマイクロなレベルで「測る」ことが求められる。この計測結果に基づいて、ゆらぎの挙動が解明されて数理的な解析式が導かれることにより、生体ゆらぎに「学ぶ」ことが達成される。

次に、生物ゆらぎに関する解明をもとに「ものづくり」及び「システムづくり」を推進するには、「創る」及び「使う」という視点が

重要になってくる。まず、「創る」ことに関しては、新たなパラダイムに基づく基本構成要素の設計及び合成技術の確立を目指して、ナノ材料及び有機化学材料分野の研究開発者や情報システム工学分野から集積化技術に造詣の深い研究開発者が参画する。さらには、ロボットや人工臓器への応用原理を追求する立場から超自由度システム及び環境・人間適応システムの設計原理を追求するロボット分野や機能制御外科学の一線で活躍している研究開発者・医師も本拠点化構想に参画する。

一方、「使う」という観点からは、新たなパラダイムのもとで創成された知的人工物を基盤とした情報処理機構や情報ネットワークの制御機構を構築する分野の研究開発者が参画し、ロボットや機能制御外科学の分野の研究開発者と共に本拠点化構想の成果の「出口」部分を担当する。

なお、基礎的な研究による「生物ゆらぎ」の解明に関わる「測る」及び「学ぶ」、それを基にした新たなデバイスの開発、さらに、そのデバイスを用いた情報基盤システムの構築や有用な応用システムの開発と繋がる「創る」及び「使う」という四つの機能が、それぞれフィードバック制御機構をなし、相互に関連してシナジー効果を発揮する構造をデザインしている。

本拠点化構想では、今後、生命機能、生物学などの関連分野をまとめて「生命領域」、ナノ材料、有機化学材料などの関連分野をまとめて「ナノ材料領域」、情報システム、情報ネットワークなどの関連分野をまとめて「情報システム領域」、ロボット技術、機能制御外科学などの関連分野をまとめて「ロボット領域」と呼ぶことにする。

d. 生体ゆらぎを活かした先端的融合研究の具体的な可能性

生体ゆらぎの本質の一つが「アトラクター選択」であることは確信が得られているが、今後それに関する諸特性に関するさらなる解明が生命系で推進される。ここでは、その諸特性が解明されることを前提とした場合に、その結果を活かしてどのような先端融合的な研究開発の進展が可能かを記すことにする。

(1) ナノ材料領域におけるアトラクター選択モデルの有用性

ナノ材料領域でのこのモデルの有用性に関して述べる。

(a) 生体ゆらぎを活かしたものづくり:

物質がもつランダムな「熱ゆらぎ」から方向性を取り出す分子システムを構築する。これにより、生体の筋肉において見られるアクチン-ミオシンの一方向運動を模倣する人工物への創製につながることを期待される。

(b) 脳機能模倣型の情報処理素子:

逐次適応学習機能を有する脳機能模倣型の情報処理素子により、アトラクター選択型情報処理素子の開発が可能である。具体的には、トンネル磁気抵抗素子をモデルとして、磁性／絶縁体／スピングラス材料の積層素子を用いる。

(c) 超低消費電力の生体適合した集積型多機能センサ:

外界からの情報を生体内の環境情報に変換して動作するデバイスとして、生体適合型多機能集積センサの研究開発が可能となる。例えば、光機能性有機物／強誘電体／磁性半導体の集積型素子を構築する。

(2) 情報システム領域におけるアトラクター選択モデルの有用性

大阪大学における生物学関係の研究グループは、大規模ネットワークを構築する細胞の遺伝子代謝ネットワークなど生物ネットワークの特性を解明して、その頑強性や拡張性の原理を情報通信技術につなげることを目指してきた。その結果、遺伝子発現量分布がインターネットのコネクションにも見られるべき乗則ネットワークの性質を示し、しかも、その分布が生物の種や進化の過程を越えてべき乗則に従うことを発見し、生物ネットワークと情報ネットワークの共通性を見いだした。さらに、大腸菌が分子メカニズムによらずに与えられた環境に適応して安定なアトラクターを選択する「アトラクター選択」の原理を提唱し、遺伝子代謝ネットワークを人為的に埋め込んだ細胞を創製して環境変動に対する応答を詳細に解析することによってこの原理が働いていることを実証した。

本拠点化構想推進者の村田正幸らは、その成果に基づいて、アトラクター選択の数理モデルをオーバーレイネットワークにおける経路選択技術に適用し、その実現手法と有効性を示した。従来のシステム設計者は、システム変動による悪影響をいかに軽減するかに腐心してきた。しかし、システム変動をゆらぎと捉え、アトラクター選択を適用することによって、むしろその変動を積極的に利用するという発想の転換を行うことによって、まったく新しい経路制御技術の創出に成功した。

(3) ロボット領域におけるアトラクター選択モデルの有用性

ロボット研究における最も重要な技術課題は環境変化に対する適応性である。そこで、生体ゆらぎの基本メカニズムに基づき、従来の制御理論や人工知能研究の限界を超えた新しい制御システムや知的行動システムを実現する。

生体ゆらぎに似たアプローチはすでに研究が始まっている。例えば CPG(パルス発生器)等によるアトラクター生成メカニズムを基にした歩行ロボットが、様々な床の形状に適応しながら

歩行を続けられることが実証されている。

しかし、アトラクターが実現する適応性は比較的限られた範囲である。より頑強で生物的なシステムを実現するには、例えば走行や起きあがりなどに対してもアトラクターを準備し、移動という目的を果たす仕組みを作る必要がある。生体ゆらぎの基本メカニズムは、まさにこのアトラクター選択を実現するものであり、従来の制御理論を超えてより環境適応性の高いロボットを実現できる。

また、ロボットは複雑に人間と関わり合うことが期待される。この人間とロボットの関係は非常に複雑であり、従来の人工知能研究におけるルールベースシステムでその関係を記述することは不可能である。この問題に対しても、生体ゆらぎはブレークスルーを与える。例えば、人間を含む環境に対し、ロボットが個々の関係を維持できない程の変化が起きた際、アトラクター選択のメカニズムにより、適切な行動を選択することで適応的に振舞う。

このようにロボット領域におけるアトラクター選択モデルは、従来の制御理論や人工知能研究を超え、より頑強で柔軟なシステムを実現する。

e. 具体的研究課題

従来、生体ゆらぎを「ものづくり」へと活かす本格的な試みはなく、「システムづくり」へと活かす試みについては、上記情報ネットワークアーキテクチャへの有効導入が開始されたところである。生体が「ゆらぎ」を活用する仕組みを理解し、その仕組みを人工の分子、システムのデザインに導くことができれば、新しい原理に基づくインテリジェントデバイス、センサ、アクチュエータ、情報処理プロセッサなどの創成、さらには情報ネットワーク制御への適用などが可能になる。そこで本拠点化構想では、生体ゆらぎの活用を目指した研究開発を通して、生命系、ナノ材料系、情報システム系、ロボット系の強力な連携を促進し、高度化する情報化社会の要求に応える新しい知的人工物と情報システムの創成を目指す。以下に具体的な研究テーマについて述べる。

(1) 生命領域の研究課題

生体ゆらぎの解明を目指す生命領域では、次のような研究課題に取り組む。

- (a) 生体分子モーターにおいては、新たな 1 分子機能計測法の開発、およびゆらぎのエネルギー理論構築を目指す。
- (b) 細胞内分子ネットワークにおいては、細胞内 1 分子イメージング法および高分解能 4 次元計測・解析システムを開発する。

また、「ゆらぎ」を考慮した確率的分子情報処理の理論を構築し、プロセッサ開発への指針を与える。

(c) 発生および免疫系においては、細胞の分化形質の「ゆらぎ」を計測し解析する実験系を開発し、情報ネットワーク制御機構の開発への指針を与える。

(d) 脳内情報処理においては、「多義図形」や「隠し絵」の認知情報処理を主たる研究対象とし、神経ネットワークのダイナミクス計測や脳機能イメージングのための基盤技術の開発および解析を行う。

(2) ナノ材料領域の研究開発課題

ナノ材料領域では次のような研究開発課題に取り組む。

(a) 脳機能模倣型の情報処理素子:

磁性体、強誘電体の空間的に「ゆらいでいる」物性を利用したアトラクター選択型情報処理素子を開発する。

(b) 超低消費電力の生体適合した集積型多機能センサ:

生体適合の見地から、人工臓器への組み合わせが可能な素子を開発する。

(c) 有機分子情報センサ:

生物の情報伝達方法を人工的に模倣するために、分子情報のわずかの違いを検出する高感度、高精度のセンサの開発を目指す。

(3) 情報システム領域の研究開発課題

情報システム領域では、次のような研究開発を行う。

(a) 環境情報ネットワーク基盤構築のための要素技術の確立:

環境の変動に柔軟に対応しつつ、情報収集、情報処理、環境制御を行う新しい情報ネットワークアーキテクチャを確立する。

(b) 環境情報ネットワークのためのソフトウェア基盤の構築:

生体ゆらぎを活かした確率的動作に基づく新しい情報ネットワークアーキテクチャのためのソフトウェア基盤を確立する。階層化された情報システムに存在する階層内および階層間の相互作用の在り方を解明し、それを積極的に利用することによって、全体として柔軟な構造を持つ統合化アーキテクチャを確立する。

(c) ゆらぎの動作原理に基づくプロセッサアーキテクチャの研究開発:

生体ゆらぎを活かした確率的動作に基づくプロセッサアーキテクチャを研究開発し、環境情報ネットワークに適用することによって高効率環境情報ネットワークを構築し、ゆらぎ原理に基づく情報システムの実現性を示す。

(4) ロボット領域の研究開発課題

ロボット領域では、生体ゆらぎを活用したロボット制御、人工臓器、さらには生体模倣ロボットの開発に至る諸課題に取り組む。

(a) ゆらぎを用いたロボット制御の基礎技術の確立:

アトラクタースイッチングによって、外界の変化に対してロボットがいかに対応的かつ頑強に振る舞えるかを理論的に検証する。

(b) 環境の変化に適応する人間型ロボット開発:

複雑な人間型ロボットを用いて、複数の制御階層においてアトラクタースイッチングによる適応的な制御を実現し、新しいロボットの制御メカニズムの枠組みを確立する。

(c) 高性能人工心臓の開発:

従来の人工心臓とナノテクノロジーで実現されるゆらぎセンサを組み合わせ、高感度のセンサ情報をもとに高度に人体に適応する人工心臓を実現する。

(d) 生体親和人工心臓の開発:

生体と親和性の高い人工心臓素材やアクチュエータを開発するとともに、そこに、先に取り組むアトラクターを基にした制御メカニズムおよび、ゆらぎセンサと情報処理装置を組み込み、新世代の人工心臓を実現する。

(e) 生体模倣ロボットの開発:

生体模倣ロボットは、柔らかく高感度なゆらぎセンサ、人間のように柔軟で高い適応性をもつ制御メカニズム、人間と柔軟な関係を築く相互作用メカニズムを持つ。人間に対して安全で、人間が高い親和性を持つロボットの実現は、未来社会において人間のクオリティライフを支えるために必要不可欠な研究である。

3. 拠点化構想の内容

a. システム改革の内容

(1) 企業が研究資源を提供しやすくするための特別な規則の設定

大阪大学における知的財産活動は、先進的・独創的な研究成果を知的財産の形で広く社会に公表し、具体的に還元することによって社会への貢献を積極的に推進し、人類の進歩と地域の発展に寄与することを目指すものである。知的財産ポリシーの他、知的財産の取り扱いや契約書雛形、守秘契約などは、法人化と同時に整備済みである。

また、産業界から見て連携しやすく、教職員等から見て特許

などを出願しやすく、全学の視点から見て社会貢献を活性化しやすいことを知的財産ポリシーの運用原則としており、その結果として共同研究費は平成 16 年度前年比 1.45 倍(全国平均 1.22 倍)、平成 17 年度前年比 1.22 倍(10 月現在)と大幅な増加傾向がみられる。

さらに、平成 17 年 10 月より、企業等との共同・受託研究の契約窓口を一元化し、契約業務の迅速化を図っている。また、研究成果有体物を産業界から受け入れる際、その有体物が存在しなければ発明が生まれなかった場合には、発明者が産業界側にいなくとも知的財産の権利を産業界側に認めるなど、研究促進を中心に据えた運用を進めている。

このように、既に研究資源提供のために先進的な取り組みを推進しているが、さらに、協働企業が人的・金銭的資源を大学に投入し、かつそこから得られる成果を事業に直結させていくための取り決めを進めていく。例えば、本拠点化構想は、10～15 年後に実用化を目指す研究を行うため、当初の数年間には極めて先端的、かつ基礎的研究成果となる場合が多い。これらの知的財産は、大学のみで生まれる可能性が高いが、将来の事業計画に合致する強い知的財産とするために、協働企業と連携して内容を強化した上で出願するなどの手法を取り入れる。一方で、事業化へ近い段階の研究成果については、実施権のみではなく、特許権自体の協働企業側へ譲渡するなどの対応も取る。

(2) 多様な人材の活用方策

大阪大学では、科学技術振興調整費、21 世紀 COE プログラム等競争的資金をもって運営されるプロジェクトにおいては積極的に公募制(国際公募も含む)、任期制、年俸制を導入し、旧来の硬直的な制度から柔軟な教員人事制度に転換を図っている。

このような柔軟な教員人事制度への転換のなかで、若手研究者の積極的な任用については特段の配慮をしている。例えば、退職金制度等については、退職者にとって不利にならないことを保障した早期退職制度を導入する等の柔軟な制度設計を取り入れて、人事の流動化を図り、特に若手の研究者の登用を促して活動の場を広げている。

また、女性研究者は、204 人(平成 18 年 2 月 1 日現在)であり、さらなる雇用を目指し、平成 17 年 4 月からは、学内に設置されている保育所に保育士 2 名分を運営費交付金から支援するなど、女性研究者の働きやすい環境整備の一助としている。

さらに、前述の公募制については国際公募も行われており、平成17年度「大学国際戦略本部強化事業」に採択されたことを機に設置された「国際企画室」（特任助教授1名、兼任教員2名、特任研究員1名、RA1名）及び海外拠点（サンフランシスコ、グローニンゲン）を中心に、世界各地で大阪大学フォーラムや大阪大学セミナーを開催する等の研究交流促進支援事業を行っている。

一方、海外からの研究者の受入態勢についても、平成14年には学内の既設建物を国際交流会館に改修して宿泊施設の充実を図っており、また、国際交流推進本部を中心に留学生センターと協力しながら、宿舍の一括斡旋等のワンストップサービス事業を策定している。

このように、大阪大学では、優秀な研究者等を確保するための制度・環境の整備を積極的に進めており、学問研究領域の発展に合わせて常に斬新な考えを持った多様な人材を活用して研究推進を図るものである。

(3) 人材流動化の促進

大阪大学では、法人化と同時に、能力にあわせた年俵・能力給制度をいち早く導入し運用している。さらに、本学の一部組織では任期付常勤教員を雇用可能にするなど特別に柔軟対応を図っている。

一方、産業界と大学との交流については、産業界から本学に迎える研究者は、従来の共同研究員・招聘研究員制度だけでなく、「出向制度」を新たに導入する。本拠点化構想において民間企業の研究者を教員として雇用する場合、実施期間の関係上、任用期間を10年などに区切って民間企業に籍を置いたまま大学に出向させるいわゆる「出向制度」は、企業及び大学双方にとって有効に機能すると考えられる。そのためには、大阪大学に研究者を「出向制度」で雇用することのできる体制整備が必要である。すなわち、民間企業において若手研究者等を大学に出向させる場合には本拠点研究終了後企業に復帰させる等の身分保障を考える必要があること、退職金や年金等（通算の打切り等）の不利益が生じないようにすることなど、民間企業に在籍のまま出向できる制度整備が求められる。

また、本拠点で取り組む先端的研究成果が協働企業で具体的に事業化計画が立てられ実行される段階になれば、本学の研究者を当該企業に出向させることも可能にする制度の導入を検討する。これにより、知的財産権などによる移転だけでなく、ノウハウも含めた連続的技術移転が可能となる。

b. 企業との協働体制

(1) 企業からのコミットメント

本拠点化構想には、7社の民間企業が協働機関として人的リソース及び設備等の提供を通じて、本拠点化構想を全面的に支援するコミットメントを得ているが、概ね各社とも、10年計画の事業であることを視野に入れつつ、本プログラム開始後3年目の時点において、その後の推進の方策については双方で協議することを考えている。

(2) 研究者・技術者の確保方策

大阪大学では、部局間の壁を意識することなく、複数の部局から選出された研究者からなる本拠点を構成し、多様な人材の有効活用を図る。企業からの研究者・技術者の確保については、既存人事制度を活用するとともに、新たなイノベーションを起こすための仕組みの一環として、企業に籍を置きながら、本学の任期付常勤教員に就任できる「出向制度」を整える。さらに、「共同研究ユニット」という企業との連携による新制度を立ち上げ、国際的に高い実績を有する研究者・技術者の確保を促進する。

共同研究ユニットとは、大阪大学の研究の活発化、産業界への貢献を図るために民間からの資金によって学内の部局に付加的に設置される独立した研究組織である。そこでは資金を出資する民間企業（以下「出資企業」という）から研究者及び研究経費などを受け入れて、大阪大学の教員と出資企業からの研究者とが対等の立場で共通の課題について共同して研究を行うことにより、優れた研究成果が生まれることを促進する制度である。これにより、社会の発展に資する学問領域の研究拠点を大学内に長期的に確保することで研究と社会への還元が期待される。

(3) 協働体制の運営方法

本拠点化構想の統括責任者を大阪大学総長が務め、本構想を推進する上で重要な四つの研究領域である生命領域、ナノ材料領域、情報システム領域、ロボット領域の各々に「研究領域リーダー」を設ける。そのもとで以下のような運営体制を確立する。

(a) 統括責任者・運営委員会

本拠点化構想の運営に関する重要決定を行う「運営委員会」を設け、その委員長を統括責任者である大阪大学総長が務める。委員としては、本拠点化構想に関わる副学長、本構想を推進する各研究領域リーダー、協働機関の責任者、さらに本構想に深く関わる部局長等が参画する。本拠点化構

想の機動的な運営を図るため、運営委員会は必要に応じて迅速な決断を行い、リーダーシップを発揮するとともに、人材配置や資金配分において透明性を確保しながら必要十分な裁量権をもつものとする。

(b) 研究推進部門

運営委員会のもとに、総合的な研究開発計画立案、及び本拠点化構想推進を行う「研究推進部門」を設ける。研究推進担当副学長が部門長を務め、四つの領域の研究領域リーダー、及び協働機関からは研究開発の実務者レベルのトップが部門委員として参画し、互いに協議を重ねながら、本拠点化構想の研究及び技術開発全体を統括する。

(c) 管理・研究支援部門(含む事務部門)

総務、経理等の業務を担当する他、広報・イベント運営など本拠点全体の成果をアピールする活動を推進する「管理・研究支援部門」を設ける。

(d) 諮問委員会

「学」の分野、「産」の両分野からの有識者 5 名からなる諮問委員会を設け、定期的に会合を開催し、本拠点化構想の進捗状況の評価、方向性のチェック、本構想の展開に関するコメントなど、さまざまな観点からの示唆をいただき、本構想を成功に導くための諮問を行う。

(4) 研究成果の取扱いの方針

知的財産の取扱いについては、大阪大学の規程、企業との連携契約等に則って知財本部が判断する。本拠点化構想においては、本学のみでの知的財産についても協働企業の事業化を考慮した強固な権利とする、また、事業分野・事業段階に即して権利配分を行う等の戦略を遂行する。一方、秘密を保持した上で、さまざまな知を交錯させ、新たな知の他分野からの導入を可能にする開かれた事業モデルを形成する。これは守秘義務の範囲を細かく設定せず、本拠点全体で極めて高度な守秘体制をとることで、事業内部での知の交流を促進するものであり、さらに、大阪大学は知的財産の権利に必ずしも固執せず、出向研究者の考案した権利については、出向元組織にも権利を残す形も検討する。

このため、本学の各部署の公募型オープンラボスペースを戦略的に割り当て、さらに専任の教員、ポストドクを割り当てるなど、事業化へ近づくにつれて既存研究室とは物理的にも切り分けた体制を段階的に導入し、その結果、企業側の知財・人材などをさらに投入しやすい体制を整える。

c. 人材育成

(1) 人材育成のための仕組み

本拠点構想と連動した専門性の高い人材育成の方向として、大阪大学と協働企業は、本構想のもとで共同研究へと発展することを指向しつつテーマ設定を行い、大学サイドからは教員の指導の下に関連研究に携わっている若手研究者、学生達をポストドクや特任研究員等の制度のもとで本拠点化構想に参画させ、先端融合領域の将来を担う有能な人材の育成に努める。

また、本拠点化構想と関連する大学院教育として生命機能、情報科学、理学、医学系、工学、基礎工学の各研究科において、産業科学研究所、サイバーメディアセンター等の教員を加えて、文部科学省 21 世紀 COE プログラム、「魅力ある大学院教育」イニシアティブなど、さまざまな大学院教育プログラムを強力に推進している。

(2) 育成された人材の活用方策

本拠点化構想における各研究領域は、サイエンスの加速度的なグローバル化の進展を支える基盤として大きく貢献している。本拠点化構想では、人的リソースの側面から大阪大学、協働企業の研究者や技術者を強いリーダーシップで纏めあげることで、構想推進の過程でグローバルな視点で 21 世紀の科学技術の進展に大きく貢献できる優秀な人材が育成される。

特に、本拠点化構想に参画する大学院学生については、例えば、生命科学と情報科学技術等の異分野間の融合、さらには情報科学技術分野内での技術指向と論理指向との融合を図る研究開発現場を直接体験することにより、融合科学を国際的視野で先導できる有能な人材が育成される。

また、協働企業からの研究者・技術者については、本拠点化構想への参画が、21 世紀における先端融合領域のイノベーションを創出する領域を実感する絶好の機会である。そのことを活かし、自身のキャリアパスとして有効に機能させることにより、協働企業において、10 年後の技術革新をリードする人材として多大の貢献をすることが可能になる。本拠点化構想においては、上記「出向制度」の確立を目指しており、協働企業からの有能な研究者・技術者の参画がキャリアパスとして有効に機能することについては、大学側として特段の配慮をする。

4. 具体的な達成目標

a. 3年目における具体的な目標

生体ゆらぎの計測およびモデル化を追求する。その知見を基にして、ゆらぎを模倣した有機化学的材料開発、及び室温で動作可能な高転移温度のゆらぎ内包材料の開発を開始する。また、生体ゆらぎ及びアトラクター選択の解析に基づいて、柔軟性、自律性、自発性を有する環境情報ネットワークのための要素技術を確立する。同時に、高機能なロボット開発に向けて、アトラクター及びアトラクター選択を用いて環境の変化に対して適応性の高い制御方法を確立する。

b.7年目における具体的な目標

数理情報科学・統計物理学・非線形科学的アプローチを通して生体ゆらぎのメカニズムを解明する。その成果に基づく生体機能模倣型の知的人工物としてのセンサ、メモリ素子プロトタイプを開発する。これらのインテリジェントデバイスを有用しながら、高感度のセンサ情報をもとに人体に適応する人工心臓の実現、及び複数の制御階層を持つ複雑な人間型ロボットの実現を目指す。また、環境情報ネットワークのための要素技術を統合した柔軟構造を持つソフトウェア基盤を構築する。

c.実施期間終了後における具体的な目標

生体を模した知的人工物、情報システム構築に関わる実装技術指針を確立する。その指針のもとで開発したセンサ、メモリ、プロセッサを実用システムに適用し、技術革新を促進する。特に、生体ゆらぎに基づくインテリジェントデバイスと制御方法を組み込んだ新世代の人工心臓の実現、及び環境の変化に対して高い適応性を持つ生体模倣型アンドロイドを実現する。また、確率的動作に基づくプロセッサアーキテクチャを用いて環境情報ネットワークの高効率化を実現する。

5. 実施期間終了後の取組

本拠点化構想が実現すれば、既に述べたような高機能を有する新規の機能材料、インテリジェントデバイス、センサ、アクチュエータ、プロセッサ、情報システム、さらにはそれらを組み合わせた生体模倣型ロボット、生体適応型人工臓器の開発基盤とその実装化技術の開拓へと途が拓かれるもので、その将来性ははかりしれない。

そこで、科学技術振興調整費による支援終了後においても、本拠点化構想における「測る」、「学ぶ」、「創る」、「使う」というサイクルを展開しながら、基礎研究から応用を指向した研究開発、さらには実装技術の高度化へと繋がる真のイノベーション創出を進展させ、高度情報化社会において求められる「ものづくり」、「システムづくり」に貢献することが重要である。そこ

で、本拠点については、学内処置によるセンター化等、実施期間終了後も活動が継続的に行われるように、大阪大学が全学を挙げて支援する。

また、今回の拠点化構想と連動して、システム改革の顕著なものとして導入を目指している「出向制度」、「共同研究ユニット制度(共同研究講座、共同研究部門)」等は、本拠点化構想終了後も大阪大学が全国に先駆けて推進する全学的な産学連携の制度として有効に機能させる。

6. 期待される波及効果

先述のように生命科学、情報科学の融合に限定した研究拠点については、スタンフォード大学の Bio-X プログラム、カリフォルニア大学の物理生命科学研究所などで、先端的学際研究体制の整備が進められている。しかし、本拠点化構想のように、さらにナノ材料領域、人工臓器も含むロボット領域をも組合せた本格的な融合領域のイノベーション創出を目指す拠点は世界に類がない。その意味で本拠点化構想は世界の注目するところであり、科学技術の進展への寄与についても計り知れないものがある。また、生体に学び新しいデバイスを創成する試みは従来からなされてきたが、本拠点化構想提案のような「生体ゆらぎの活用」に焦点をあてた先端融合研究開発は皆無と言ってよい。

また、大阪大学からは、本拠点化構想に深く関わる各分野から一線級の研究者が参画し、さらに株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)からは、脳科学研究とロボット技術への応用に関する世界の第一人者である川人光男、国立循環器病センター研究所からは、循環器系人工臓器の基礎研究と製品化、臨床応用に関して国際的に高い評価を得ている妙中義之、情報通信研究機構・関西先端研究センターからは、脳情報分野の若手研究者として注目されている村田勉が参画する。これらの卓越した研究者群に、計測機器、電子顕微鏡、情報通信、総合電器、医療・医薬、総合ものづくり等、本拠点化構想に深く関連する分野で国際的な企業活動を展開し、該当分野を代表する企業7社が協働機関として参画する本拠点化構想は、世界に類を見ない強力な融合領域のイノベーションを起こすに相応しい集団であり、その国際的な波及効果は計り知れないものがある。

7. 実施体制

国立大学時代は、産学連携の体制や研究科間の共同研究

体制が十分に整っていない等の問題があったが、法人化を契機として知的財産本部を設置するとともに、事務局に産学連携課を設置するなど、大学として産学連携を推進する体制を強固なものとしてきた。

実施機関である大阪大学では、こういった体制を土台として、

協働機関 7 社と連携しつつ、拠点化構想を推進していく。具体的な体制としては、総括責任者である大阪大学早朝の下、運営委員会、研究推進部門委員会、管理・研究支援部門を設置し、運営方針について適時諮問委員会に諮りながら、拠点の形成を進めていくことになる。

《主要な業務参画者》

氏名	所属部局・職名	当該構想における役割
◎鷺田 清一	大阪大学・総長	総括責任者、運営委員会委員長、総括業務
西尾 章治郎	大阪大学・理事(副学長)	研究推進部門部門長、運営委員、総括業務
○柳田 敏雄	大阪大学生命機能研究科・教授	研究推進部門副部門長、運営委員、生命領域における研究開発担当責任者
難波 啓一	大阪大学生命機能研究科・教授	生命領域における研究開発、研究推進部門委員
四方 哲也	大阪大学情報科学研究科・教授	生命領域における研究開発
○川合 知二	大阪大学産業科学研究所・教授	ナノ材料領域における研究開発担当責任者、運営委員、研究推進部門委員
谷村 克己	大阪大学産業科学研究所・教授	ナノ材料領域における研究開発、研究推進部門委員
藤原 康文	大阪大学工学研究科・教授	ナノ材料領域における研究開発
伊藤 正	大阪大学基礎工学研究科・教授	ナノ材料領域における研究開発
原田 明	大阪大学理学研究科・教授	ナノ材料領域における研究開発
○村田 正幸	大阪大学情報科学研究科・教授	情報システム領域における研究開発担当責任者、研究推進部門委員
清水 浩	大阪大学情報科学研究科・教授	情報システム領域における研究開発
尾上 孝雄	大阪大学情報科学研究科・教授	情報システム領域における研究開発
○浅田 稔	大阪大学工学研究科・教授	ロボット領域における研究開発担当責任者、運営委員、研究推進部門委員
石黒 浩	大阪大学工学研究科・教授	ロボット領域における研究開発、研究推進部門副部門長
澤 芳樹	大阪大学医学系研究科・教授	ロボット領域における研究開発、研究推進部門委員
宮崎 文夫	大阪大学基礎工学研究科・教授	ロボット領域における研究開発
青山 茂	オムロン(株)・参事	ナノ生体分子の高感度検出技術に関する研究開発、運営委員会委員
奥野 雄太郎	オムロン(株)・専門職	ナノ生体分子の高感度検出技術に関する研究開発
西川 武男	オムロン(株)・主事	ナノ生体分子の高感度検出技術に関する研究開発、研究推進部門委員
成瀬 幹夫	日本電子(株)・常務執行役員	生体分子解析に関する研究開発、運営委員
卜部 正章	日本電子(株)・専任部長	生体分子解析に関する研究開発、研究推進部門委員

石川 勇	日本電子(株)・研究員	生体分子解析用極低温電子顕微鏡に関する研究開発
篠原 弘道	日本電信電話(株)・情報流通基盤総合研究所長	環境情報ネットワーク構築技術に関する研究開発、運営委員
上田 修功	日本電信電話(株)・部長	環境情報ネットワーク構築技術に関する研究開発、研究推進部門委員
高野 久輝	ニプロ(株)総合研究所人工臓器開発センター長	生体適合型人工臓器の研究開発、運営委員
堀江 政雄	ニプロ(株)・部長	生体適合型人工臓器の研究開発、研究推進部門委員
楠見 雄規	松下電器産業(株)・CR&D戦略室長(兼)産学連携推進センター所長	生体ゆらぎの解明と情報技術・バイオ技術融合領域への展開、運営委員
田中 伸一	松下電器産業(株)・技監	生体ゆらぎの解明と情報技術・バイオ技術融合領域への展開、研究推進部門委員
上田 路人	松下電器産業(株)・主任研究員	生体ゆらぎの解明と情報技術・バイオ技術融合領域への展開
澤 明	三菱重工業(株)・所長	生体機能模倣型ロボットに関する研究開発、運営委員
長島 是	三菱重工業(株)・技師長	生体機能模倣型ロボットに関する研究開発、研究推進部門委員
日浦 亮太	三菱重工業(株)・主任	生体機能模倣型ロボットに関する研究開発
坂部 行雄	(株)村田製作所・研究開発センター長	運営委員
河野 芳明	(株)村田製作所・主席研究員	新規材料システムの全体設計、研究推進部門委員
川人 光男	(株)国際電気通信基礎技術研究所脳情報研究所・所長	生命領域における研究開発
村田 勉	(独)情報通信研究機構関西先端研究センター・主任研究員	生命領域における研究開発
妙中 義之	国立循環器病センター・研究評価室長	ロボット領域における研究開発担当
田畑 仁	東京大学大学院工学研究科・教授	ナノ材料領域における研究開発

8. 各年度の計画と実績

a.平成 18 年度

(1)計画

生命領域では、生体ゆらぎの計測およびモデル化を追求する。特に、生物分子モーターの「熱ゆらぎ」の整流メカニズム、細胞内分子ネットワークの確率的分子情報処理、および脳の認知情報処理に関して「ゆらぎ」を計測し、モデル化をする研究を推進する。

それを受けて、ナノ材料領域では、生体のダイナミクスに対応した評価技術の研究開発およびゆらぎの原理を模倣したデバイスの設計を開始する。

情報システム領域では、生命領域のモデル化過程と連携を密にし、生命体の柔軟性、自律性、自発性の原理を解析し、

その原理に学んだ、情報ネットワーク制御の要素技術に関する研究開発を推進する。

ロボット領域では、生体機能模倣型の高機能なロボット開発に向け、生命領域のモデル化過程の研究と連携しつつ、環境の変化に対して適応性の高いロボット制御方法に関する研究開発を開始する。これと並行して、「生体ゆらぎ」メカニズムを活かした人工臓器の設計に向けての要素技術に関する研究を開始する。

本研究の実施に当たっては、大阪大学、協働機関双方によって構成される運営委員会、研究推進部門委員会を開催して、全体の進捗を管理するとともに、今後のさらなる連携強化、研究成果の展開について議論する。さらに、「学」の分野、「産」の両分野からの有識者 5 名からなる諮問委員会を開催し、本

拠点化構想の進捗状況の評価、方向性のチェック、本構想の展開に関するコメントなど、さまざまな観点からの示唆をいただく。

(2)実績

(a)生命領域における研究実績

(1.分子モーターの熱ゆらぎ整流メカニズム

分子モーターのゆらぎを計測するために、分子モーターナノイメージング顕微鏡装置を構築した。これにより、従来機種よりも高い時間・空間分解能で分子モーターの1分子計測が可能になった。また、我々の得た主たる実験データを再現できるような、比較的小規模な数理モデルの構築を行った。計算機シミュレーションによる数理モデルの解析を通じて、熱ゆらぎ利用のメカニズムに関するいくつかの定性的な示唆も得られた。

(2.細胞内分子ネットワークのアトラクター選択メカニズムと確率的分子情報処理

細胞内1分子イメージング解析用蛍光顕微鏡装置を構築し、細胞運動の調節に関わる情報伝達分子の分子数ゆらぎの解析を開始した。その結果、従来機種よりも高いSN比で蛍光1分子画像の取得および分子数ゆらぎの計測が可能となった。また、細胞分化における「アトラクター選択」メカニズムの構成論的解明に向けて、遺伝子発現の「アトラクター選択」スイッチ(分子種のゆらぎ)を内包した大腸菌の調製を開始した。

(3.脳の認知情報処理メカニズム

時間的分解能の高い非侵襲計測法である脳磁界計測法(MEG)を用いて、脳活動におけるゆらぎや状態変化を捉えるための実験及び解析システムの開発に着手した。システムの動作が正常であることを確認するため、視覚、聴覚の基本的刺激を被験者に与え、その脳活動をMEG計測し、過去の知見と照らして妥当な結果が得られることを確認しつつある。

(b)ナノ材料領域における研究実績

ナノ材料領域では、生体システムのゆらぎを直接計測するための研究開発、および電子回路によるゆらぎ機能の具現化、「ゆらぎ」を活かしたデバイス設計を行った。

(c)情報システム領域における研究実績

生命領域のモデル化過程と連携を密にし、生命体の柔軟性、自律性、自発性の原理を解析し、その原理に学んだ、情報ネットワーク制御の要素技術に関する研究開発を推進した。

(d)ロボット領域における研究実績

ロボット領域における生体機能模倣型ロボットの開発、医療分野における人間とロボットの共生システム及び人工臓器の開発に向け、下記の7項目を実施した。

(1.生体ゆらぎメカニズムの工学的モデルへの検討

生体ゆらぎメカニズムを工学的に理解するために、分子生物学分野などの専門家とともに検討を実施した。その結果、ロボット制御等へのゆらぎの応用方法についておおよその目安を得ることができた。

(2.超複雑機構を有する片腕ロボットの制御手法の検討

人間の筋配置や骨構造に基づき、42の空気圧式人工筋肉や肩甲骨・尺骨・橈骨などを模した超複雑な機構多片腕ロボットを開発し、生体ゆらぎを利用した解の探索手法を利用し、ゆらぎを用いた制御の可能性を確認した。

(3.生体ゆらぎに基づく細胞分化メカニズムを用いた複数ロボットによる役割分化システムの検討

生体ゆらぎに基づく細胞分化メカニズムを計算機上でシミュレーションを行った結果を基に、その応用を検討した。その結果、細胞分化メカニズムをロボットの役割分化機能に利用するための、基本的な指針を得た。

(4.水圧駆動型アクチュエータシステムを用いた内視鏡手術支援ロボットによる動物実験の実施

人間とロボットが協調することを目指し、小型軽量化可能で、かつ潔癖性を有する水圧駆動型アクチュエータシステムを開発し、その手術支援ロボットの検証のために動物実験を実施した。その結果、水圧駆動型アクチュエータの内視鏡手術への利用可能性を確認することができた。

(5.動物実験によるゆらぎ成分に関する検証

国立循環器病センターにおける補助人工心臓慢性動物実験の血行動態データを基に、周波数解析からゆらぎ成分について検証を実施した。

(6.周波数成分と自律神経系指標についての解析の開始

補助人工心臓による生体への影響と生体ゆらぎの関係から解明するために、病棟モニタ項目の時系列データの保存やメモリ心拍計による計測環境の構築を行った。

b.平成19年度

(1)計画

生命領域では、平成18年度に引き続き、生体ゆらぎの計測およびモデル化を追求する。平成18年度に構築した「ゆらぎ」計測用装置の性能最大化・最適化を図り、特に分子モーターの「熱ゆらぎ」整流メカニズム、細胞内確率情報処理、および

脳の認知情報処理に関して「ゆらぎ」を計測し、モデル化を行う。

それを受けて、ナノ材料領域では、ゆらぎを用いた処理回路系の設計指針を構築する。同時に情報処理デバイス素子化に適した材料開発も行う。

情報システム領域では、生物ネットワーク解析に基づいた経路制御、輻輳制御、資源発見制御、セキュリティ制御、障害回復制御等の諸機能に関する研究開発のための検討を継続するとともに、特にアトラクター選択原理に基づく経路制御の実装を開始し、実証実験に備える。また、ゆらぎ原理に基づいた論理演算素子、回路素子について、決定論的に動作する既存システムとの融合性を確保するインタフェースに関する考察を開始する。

ロボット領域では、昨年度の研究成果をふまえ、生体機能模倣型の高機能なロボット開発に向けて、生命領域のモデル化過程の研究と連携しつつ、環境の変化に対して適応性の高いロボット制御方法に関する研究を引き続き行うと共に、実際のロボットに実装していく。また、これらのロボット制御に関する研究と並行して、「生体ゆらぎ」メカニズムを活かした人工臓器の設計に向けて、心臓におけるゆらぎ計測を中心に、研究をさらに深化させる。

本研究の実施に当たっては、運営委員会、研究推進部門委員会を開催し、全体の進捗を管理するとともに、今後のさらなる連携強化、研究成果の展開について議論する。また、平成18年度同様、企画委員会をサブテーマ毎、全テーマ合同で、進捗状況の確認・研究成果の相互利用に取り組む。さらに、諮問委員会を開催し、本拠点化構想の方向性のチェック、進捗状況のチェック、本構想の展開に関するコメントなど、さまざまな観点からの示唆をいただく。また、公開シンポジウムを開催するとともに、Web ページ、刊行物などを通じて本プロジェクトを広く周知するための活動を積極的に行う。

(2)実績

(a)生命領域における研究実績

(1.分子モーターの熱ゆらぎ整流メカニズム

本年度は、昨年開発した「分子モーターナノイメージング顕微鏡」の問題点の改善を行った。これにより、時空間分解能は27kfpsで1.6nm、証明範囲(及び視野)は従来の $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ 程度から $30 \times 30 \mu\text{m}^2$ へと拡大した。数理モデルによる研究としては、Fokker-Planck 方程式をベースにしたエネルギー論的解析に必要な方法論を構築した。

(2.細胞内分子ネットワークのアトラクター選択メカニズムと確率的分子情報処理

本年度は、細胞内情報分子の多状態性を細胞内で検出するための細胞内1分子イメージング解析法を確立した。この解析法を細胞運動の調節に関わる情報分子に適用した結果、細胞内の微小環境によって同じ分子が反応レートを変えることを見いだした。また、細胞における分子情報処理に触発された新しい確率的情報処理手法を松下電器産業株式会社と協働して開発した。上述した情報分子の特徴を踏まえて、『ノイズロバストな確率的演算手法』の開発に成功し論文として公表した。

大腸菌を用いた細胞分化における「アトラクター選択」スイッチ系の構築においては、相互作用が可能となる遺伝子の大量スクリーニング系を改変した後に探索を行い、合計12種類の遺伝子候補を見出した。

(3.脳の認知情報処理メカニズム

本年度は、脳磁界計測法(MEG)を用いた脳活動ゆらぎの計測システム開発として、MEG信号の複雑さを定量化するための相関次元(フラクタル次元の一種)解析法を開発した。この解析法を、被験者に単純な視覚刺激を与えたときのMEG信号に適用し、相関次元の時間的変動を調査した。その結果、与えた刺激と一定の時間的関係を持ちながら特定の脳領域において相関次元が特徴的に増減するという現象を見出した。さらに、刺激を与えていない区間でも、相関次元が自発的に変動する様子が捉えられた。

(b)ナノ材料領域における研究実績

ナノ材料領域では、平成19年度は、ゆらぎデバイスの設計指針の基礎を構築し、ゆらぎデバイスに必要な物理パラメータの抽出を行った。まず、ニューロン型確率共振素子のアナログ電子回路による具現化とその確率共振現象の観測を行った。次に、アナログ電子回路によって、生体が有する「センサー処理→運動制御」の一連の機能を、ニューロン型確率共振素子を構成単位として構築可能であることを示した。

(c)情報システム領域における研究実績

生命体の柔軟性、自律性、自発性の原理を解析し、その原理に学ぶ自己組織型情報ネットワーク制御の要素技術に関する研究を実施し、その実現が十分に可能であることをシミュレーション実験によって立証した。また、生体ゆらぎに基づく情報ネットワーク制御をナノ材料領域によるゆらぎ素子をもちいてシステム集積化することにより超高効率を実現するシステ

ムに関して検討を行った。

(d)ロボット領域における研究実績

昨年度に引き続き、生体ゆらぎメカニズムを工学的に理解するために、分子生物学分野やナノ材料科学分野などの専門家とともに検討を実施した。

昨年度に開発した超複雑多自由度片腕型ロボット、並びにサルモネラ菌の走行メカニズムを模倣した超単純ロボットの双方に有効な制御手法として、アトラクター選択を用いた探索アルゴリズムをシミュレーションにより検証するとともに、両ロボットに実装し、その有用性を検証した。そして、複数ロボットシステムにおける役割分化メカニズムに関する研究では、昨年度に引き続き分子生物学分野における細胞分化メカニズムを検証するとともに、その最小構成単位を導出し、計算機上でロボットシミュレーションを実施した。生体に対して高親和な手術支援ロボットの構築を目指し、動物実験にて明らかになった問題を解決するために、改良型アクチュエータシステムを試作し、性能評価するために動物実験を実施した。

また、臨床における補助人工心臓装着者の血圧、脈拍、心電図、酸素飽和度などの生体信号を獲得するための環境を整備し、その信号データの記録を実施した。また、獲得された記録データを基に解析を実施した。

さらには、ハルバッハ磁石配列による駆動シャフトを組み込んだリニアアクチュエータの性能を解析するためにシミュレーションを実施し、その実機を試作した。

c.平成 20 年度

(1)計画

本拠点化構想推進における研究開発では、生命領域、ナノ材料領域、情報システム領域、ロボット領域の 4 領域で構成される体制で臨んできた。この初期体制の下、これまでの 3 年間で各領域がゆらぎを利用した要素技術を探索すべく研究を進めてきた。そして、これまでの 3 年間で明らかになりつつある要素技術を基に、相互に密な情報交換及び議論を繰り返すことにより、以下に示すような、6 つの融合研究課題を新たに設定した。平成 20 年度からは、これらの融合研究課題を軸に、4 領域それぞれが連携しながら、研究活動を進める。

(a)生体ゆらぎ解析融合研究課題

本研究課題では、生命領域を中心に、分子モーター・細胞・脳各階層において厳密な生体ゆらぎ計測を行うと同時に、数理モデル化を通じた「ゆらぎ利用」の理論的解析を通じ、他の 5 つの融合研究課題に対して最新の「ゆらぎ利用」のコンセ

プトを提供する。平成 19 年度に引き続き、生体ゆらぎの計測およびモデル化を追求する。分子モーターでは「熱ゆらぎ」を整流する要因を実験により探る。細胞では細胞分化における「アトラクター選択」機構の構成論的解明に向けて、適応応答遺伝子の取得を目指す。脳レベルでは、脳活動信号の複雑さを評価する解析手法の構築を目指す。

(b)生体型人工筋肉融合研究課題

生命領域、ナノ材料領域、ロボット領域による融合研究テーマとして、生体 1 分子計測によって得られた筋肉構成要素相互作用に学び、生体運動筋肉の長所を生かした新たなアクチュエータの開発を目指す。

具体的には、まず、平成 20 年 4 月より(株)村田製作所が協働企業として参画することに合わせて、分子モーターの「ゆらぎ」利用のメカニズムを生かした人工筋肉開発の共同研究を開始する。さらに、三菱重工業との協働研究の下、特殊磁石配列を駆動シャフトに用いたリニアアクチュエータの試作を行い、その適用システムとして人間の骨格を模倣した片腕ロボットを試作する。

(c)生体型センサ融合研究課題

ナノ材料領域を核とした全領域融合のもと、確率共振型センサの発展形として、環境の突然の変化にも柔軟に対応できるような、アトラクター選択原理を踏まえた新たな生体模倣型センサの開発を目指す。平成 20 年度は、ニューロン型確率共振素子を用いた高感度センサの開発を見据え、確率共振素子の主要部分であるノイズ発生素子、閾値判断素子の材料による具現化を目指す。

(d)ゆらぎプロセッサ融合研究課題

細胞内ネットワークにおける分子情報処理や、神経回路網の情報処理に学び、ゆらぎを本質的に用いる新たな確率的情報処理手法を確立し、ナノ材料領域を核とした全領域融合のもと、生体型のあらたなゆらぎプロセッサの開発を目指す。平成 20 年度は、ニューロン型確率共振素子のリング回路をベースにしたゆらぎプロセッサの開発を見据え、確率共振素子の主要部分であるノイズ発生素子、閾値判断素子の材料による具現化と、既存 CPU とのインタフェースの設計を行う。

(e)安心・信頼情報システム融合研究課題

情報システム領域を核とした全領域融合のもと、(a) (c) (d)の成果を取り込みながら、突然の環境変化にも柔軟に対応可能な生物システムの振る舞いに学ぶ、安心・信頼情報システムの開発を行う。センサネットワーク等のダイナミクスを有

する大規模ネットワークを対象として、生物ネットワーク解析に基づいた経路制御、輻輳制御、資源発見制御、セキュリティ制御、障害回復制御等の諸機能に関する研究開発のための検討を継続するとともに、特にアトラクター選択原理に基づくセンサネットワークの経路制御を実装し、実証実験を行うことにより、その実用性を示す。

(f) 安全・親和ロボットシステム融合研究課題

ロボット領域を核とした全領域融合のもと、(1) (2) (3)の成果を取り込みながら、生体ゆらぎを活用したロボット制御、人工臓器、さらには生体模倣型ロボットの開発に至る諸課題に取り組む。

これまでのアトラクター選択を用いた超複雑ロボットシステムの制御手法を基に、モーション、デバイスの階層構造を持たせた制御手法の確立を行う。また、同様のアトラクター選択メカニズムを複数ロボットシステムの役割分化に応用する。さらに、アトラクター選択メカニズムを組み込んだ単純な生物模倣型ロボットの開発を進め、協働企業である村田製作所が所有する電歪アクチュエータの利用を検討する。

人工心臓に関する研究開発では、補助人工心臓装の慢性動物実験を行うとともに、臨床下での生体信号の獲得・解析を進める。

d. 平成 21 年度～24 年度

(1) 計画

(a) 生体ゆらぎ解析融合研究課題

分子モーターでは、高速 1 分子操作系の改良により、歪みセンサメカニズムのさらなる解明を進める。空間分解能 1nm、時間分解能 10 μ 秒での生体 1 分子計測を目指す。また、クライオ電子顕微鏡で 0.4nm 分解能の超分子観察を目指す。細胞では、2 分子間相互作用の 1nm、1 ミリ秒計測技術の確立を目指す。脳では、ひらめき機能に関連する前頭葉部位を、fMRI により、1 mm の空間分解能で区別する。脳活動の進行過程を MEG により、10 m 秒の時間分解能で区別する。

(b) 生体型人工筋肉融合研究課題

人工アクチュエータ開発では、変位量 10%以上、変位スピード 10Hz 以上を目指す。軸並行方向引っ張り弾性率については、筋肉の収縮弛緩と対応した弾性率スイッチ機能を持たせ、On 時の弾性率 300k \sim 10Mpa、スイッチ機能における On/Off 時の弾性率比が 300%以上を目指して開発を進める。

(c) 生体型センサ融合研究課題

多重階層性を意識したセンサ開発を行う。すなわち、各階

層での環境情報のセンシングとアクティビティの設計指針を構築し、確率的素子をベースにした適応的共振センサを開発し、ロボットシステムや情報システムへの搭載を試みる。平成 24 年度までに、信号雑音比が 1 程度の入力信号を、50 程度へ増幅する、ノイズアシスト型センサの実現を目指す。

(d) ゆらぎプロセッサ融合研究課題

ゆらぎの原理を用いた確率的情報処理手法を確立、生体型の新たなゆらぎプロセッサを開発する。数値目標として、10W から 10⁻³W 程度への消費電力減少を目指し、S/N 比が 10 程度の信号の処理が可能なプロセッサの開発を目指す。

(e) 安心・信頼情報システム融合研究課題

生体ゆらぎを活かした情報ネットワークアーキテクチャを創出し、ゆらぎを利用した情報システムのためのソフトウェア基盤を確立する。ゆらぎの階層的解析を背景とした階層型制御の導入により、1 万ノード規模のネットワークにおいて、5%の故障率におけるスリー・ナイン(99.9%)の稼働率達成を目指す。

(f) 安全・親和ロボットシステム融合研究課題

ゆらぎを用いた生物模倣型のロボットとして、生体型人工筋肉研究課題にて開発される人工筋肉アクチュエータを利用し、低消費電力で高機能な人工生物の実現を目指す。超多自由度ロボットについては、生体型人工筋肉研究課題にて開発される直動アクチュエータを利用した、指を含む 30 自由度程度の上肢ロボットを開発し、その制御法を確立し、安全で人と親和性の高いロボットの構築を目指す。また、家庭環境下でのロボット 10 台による役割分化ロボットシステムの実現を目指す。ゆらぎを用いた生体親和型人工心臓の研究開発では、1 週間以上の独立稼働ができる人工心臓の実現(現状、数時間程度の稼働)を目指す。

e. 平成 25 年度～27 年度

(1) 計画

(a) 生体ゆらぎ解析融合研究課題

分子細胞計測では、分子間相互作用ポテンシャルの 1nm 計測、電子顕微鏡による 1nm レベルの細胞観察、細胞内の多種分子間相互作用の 1nm、1 ミリ秒計測を目指す。脳活動のゆらぎ計測は 0.1 mm の空間分解能で、脳活動の進行過程は 1 ミリ秒の時間分解能で区別する。

(b) 生体型人工筋肉融合研究課題

人工アクチュエータ開発では、平成 24 年度の数値目標を、素子故障率 10%において実現することを目指す。リニアアクチュエータ開発では、直径 5mm、全長 50mm のサイズにまでの

小型化を目指す(体積ベースで現状の 1.7%)。平成24年度の
数値目標と同じ 10N の推力を小型化後も維持できるよう開発
を進める。伸び率は 70%を目標とする。

(c)生体型センサ融合研究課題

生物の多重階層性・自発ゆらぎを積極的に取り入れたより
柔軟で耐故障性の高い生体型センサ開発を行う。平成24年
度数値目標の 10 倍の性能の実現を目指す。

(d)ゆらぎプロセッサ融合研究課題

自発ゆらぎを積極的に利用したゆらぎプロセッサを開発す
る。平成 24 年度性能目標を 10 倍程度向上させ、S/N 比が 1
程度の信号処理が可能なゆらぎプロセッサの開発を目指す。

(e)安心・信頼情報システム融合研究課題

ゆらぎプロセッサを用いた超高効率実装を行い、従来ソフト
ウェア比 1 万倍の効率を達成する安心・信頼情報システムを
構築、さらにそのための開発技術指針を確立する。具体的
には、1 万ノード規模のネットワークにおいて、20%の故障率にお
けるスリーナイン(99.9%)の稼働率達成を目指す。

(f)安全・親和融合研究課題

超多自由度ロボットについては、安全で人と親和性の高い
全身型(60 自由度)のロボットを開発し、その制御法を確立さ
せる。人・環境に適応するロボット制御手法の開発では、街環
境下でのロボット 100 台による役割分化ロボットシステムの実
現を目指す。内視鏡手術支援ロボットについては、大研医器
と協働し、人と親和性の高い(安全・清潔な)水圧駆動型アク
チュエータの小型化を実現し、人に親和的な手術支援を実現
するゆらぎ制御手法を確立する。本ロボットについては阪大病
院と連携した検証実験をすすめ、10 年後の実用化を目標とす
る。ゆらぎを用いた生体親和型人工心臓の研究開発では、6
年以上継続装着可能な人工心臓の実現を目指す(現在、6 年
が世界記録)。さらに、各研究課題から導出される成果を用い
て、生体に対して高い親和性をもつ次世代型人工心臓の研
究開発を、村田製作所との協働、国立循環器病センターとの
連携協力のもと行う。

9. 年次計画

項目	18年度	19年度	20年度	21年度	22年度
<p>●拠点化構想</p> <p>○生命領域の研究開発計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生体システムの「ゆらぎ」の計測 <p>← 226 百万円 211 百万円 249 百万円 →</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生体システムの構築原理の解明 <p>←</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生体システムの再構成 <p>○ナノ材料領域の研究開発計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生体ゆらぎを測り・学ぶ計測技術開発と材料探索 <p>← 96 百万円 97 百万円 109 百万円 →</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生体ゆらぎを活かした材料・プロセス・機能開発 ・生体ゆらぎを活かした知的センサ・素子開発 <p>○情報システム領域の研究開発計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・環境情報ネットワーク基盤構築のための要素技術の確立 <p>← 175 百万円 197 百万円 216 百万円 →</p> <ul style="list-style-type: none"> ・環境情報ネットワークのためのソフトウェア基盤の構築 ・高率的な環境情報ネットワーク基盤の創出 <p>←</p> <p>○ロボット領域の研究開発計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・生体ゆらぎによる適応・頑強システムの構成的原理探求 <p>← 240 百万円 187 百万円 260 百万円</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人間に酷似した高性能生体模倣型ロボット <p>○プロジェクトの企画・運営</p> <p>← 17 百万円 19 百万円 43.5 百万円</p>					
<p>●調整費充当計画</p> <p>○生命領域の研究開発計画のうち</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人件費 <p>← 27 百万円 63 百万円 42 百万円 →</p> <ul style="list-style-type: none"> ・その他経費 <p>←</p> <p>○ナノ材料領域の研究開発計画のうち</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人件費 <p>← 53 百万円 16 百万円 48 百万円</p> <ul style="list-style-type: none"> ・その他経費 <p>← 28 百万円 51 百万円 56 百万円 →</p> <p>← 52 百万円 28 百万円 34 百万円</p>					

○情報システム領域の研究開発計画のうち ・人件費 ・その他経費 ○ロボット領域の研究開発計画のうち ・人件費 ・その他経費 ○プロジェクトの企画・運営 ・人件費 ・その他経費					
	←	9 百万円	42 百万円	44 百万円	←
	←	71 百万円	37 百万円	46 百万円	←
	←	28 百万円	51 百万円	46 百万円	
	←	51 百万円	24 百万円	44 百万円	
	←	0 百万円	0 百万円	0 百万円	
	←	5 百万円	5 百万円	18 百万円	
	総 計	754 百万円	711 百万円	877.5 百万円	
	うち調整費分	324 百万円	317 百万円	378 百万円	

10. 諮問委員会

委 員	所 属	備 考
○金森 順次郎 岸 輝雄 郷 通子 坂内 正夫 土井 美和子	(財) 国際高等研究所 所長 (独) 物質・材料研究機構 理事長 お茶の水女子大学 学長 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 所長 (株)東芝 研究開発センター 技監	