

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：宮原 秀夫（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)

I. 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. 提案機関および協働機関における研究のポテンシャル

(1) 提案機関（大阪大学）

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。このような本学における融合科学への強い志向は、本学に脈々と謳われてきており、例えば、第 6 代総長正田建次郎は、『「科学」と「技術」の融合による科学技術の根本的な開発、それにより人類の真

の文化を創造する学部』として基礎工学部が創設された。また、第 12 代総長熊谷信昭は、『21 世紀の革新的な科学技術のブレークスルーを拓く鍵は二つ、「自然と生物に学ぶ」ことと、人文・社会科学系を含む「異分野間の融合」をはかることである。』ことを力説している。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、全国の国公私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）。また、21 世紀 COE プログラムについては、本拠点化構想に関連する諸分野をはじめとして、人文科学、社会科学分野も含めて、現在 15 プログラムが推進されており、世界に誇る研究教育拠点形成が着実に推進されつつある。ここで、各分野における卓越した研究ポテンシャルの概要を記す。

生命機能関係の教育研究の中心である生命機能研究科は、工学から医学までの広範な研究分野を融合した本格的な融合型研究科として平成 14 年度に設置された。1 分子計測技術や高分解能構造解析法の開発やアポトーシス、免疫系研究など、生体システムのダイナミクス研究において世界を先導する研究が展開され、本拠点構想推進者である柳田敏雄、長田重一の学士院賞恩賜賞、文化功労賞受賞や、本拠点構想推進者である平野俊夫らが ISI HighlyCited.com で最高引用栄誉賞を受賞するなど、国内外から高い評価を得ている。

生物工学分野関係では、大阪大学では、明治 29 年(1896 年)に醸造科が日本ではじめて創設されたことからもわかるように、生命現象の工学的解析と展開という他大学に例

を見ない研究分野を古くからを切り開いてきており、世界の生物工学をリードしていることは、国の内外の認めるところである。また、こうした経緯もあって生物工学を支える主導的な学会である「日本生物工学会（会員数 5,000 名）」が、大阪大学内に設置されている。本拠点構想推進者の四方哲也が Molecular Evolution 分野の世界的な荣誉であるズッカーカンドル国際賞を受賞、また国内の生物工学分野の最高の荣誉である生物工学賞を大阪大学から 4 名が受賞していることは特筆すべきである。

ナノ材料関係については、21 世紀 COE プログラムにおいて、有機化学関係の「自然共生化学の創成」、ナノ融合領域の「新産業創造指向インターナノサイエンス」、材料デザイン関連の「構造・機能先進材料デザイン研究拠点の形成」、「構造・機能先進材料デザイン研究拠点の形成」、さらに、ナノメーターレベル表面創成に関わる「例のない次世代物づくりの拠点へ」の五つのプログラムが進行中である。

特に、本拠点化構想に関わる「自然共生化学の創成」については、ある進学塾が実施した数百名の大学研究者アンケートにより、本 COE プログラムは、化学・材料科学分野では第 1 位、文系を除く全ての 21 世紀 COE プログラムでは第 2 位のランクを得た。発表論文数や被引用回数は世界においてもトップレベルであり、1994 年から 2004 年の化学に関する引用論文数は世界の大学で第 13 位である。同様に本拠点化構想における知的人工物開発に深く関わる「新産業創造指向インターナノサイエンス」は、全国約 300 の全 COE プログラムの中で第 1 位の研究費を獲得し、中間評価においても 5 段階評価の最高レベルの評価を得ている。さらに、本拠点化構想で目指すナノ物質における「ゆらぎ」を研究する上で、半導体量子ドットで見出された励起子発光のゆらぎと二光子励起によるその抑制効果は分子分光で見られるゆらぎとの類似性の観点から極めて重要であるが、「物質機能の科学的解明とナノ工学の創出」ではこの分野の研究が強力に推進されている。さらに、ゆらぎと相補性をなすコヒーレンスの研究では、半導体の電子対励起状態のコヒーレンスを光子対の量子相関に移す先駆的研究に成功し、2004 年の Nature 誌において高く評価されている。

なお、ナノ材料関係で本拠点化構想に参画する川合知二は紫綬褒章、原田明は大阪科学賞及び日本 IBM 科学賞を受賞

している。

情報科学関係の教育研究の中心である情報科学研究科は、大学院基礎工学研究科、大学院工学研究科、大学院理学研究科に分散していた情報関連の組織を結集して平成 14 年度に創設された。情報科学を核とした融合科学・技術に果敢に取り組んでいるが、本研究科の設立理念の一つは、「生物学と情報科学の融合」を推進する世界的な研究教育拠点を目指すことであり、本拠点化構想はその理念を具現化する絶好の機会と捉えている。本拠点化構想推進者の西尾章治郎のリーダーシップのもとで推進している文部科学省 21 世紀 COE プログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」は、生物工学と情報科学という二つの先端科学技術の融合研究に基づく新しい情報技術の創出を目指している。特に、本 COE プログラムは、5 段階評価の最高ランク評価を得ており、該当分野の総評においてもその優秀性が特記されている。情報科学技術関係の ACM や IEEE の論文誌、生物工学分野の論文誌 Nature、Proc. Natl. Acad. Sci. などの国際的に著名な論文誌、また、ACM MobiCom、IEEE INFOCOM、IEEE ICDM など該当分野で頂点とされる国際会議で多くの卓越した研究業績を公表してきている。さらに、エリクソン・テレコミュニケーション・アワード、電子情報通信学会業績賞及び論文賞、船井情報科学振興賞など該当分野において顕著なさまざまな賞を受賞してきた。ロボット工学と医療の分野において、工学研究科と基礎工学研究科及び医学研究科は両者とも日本の大学の中で最大規模の組織であり、日本の工学研究及び医学研究の先導的役割を担ってきた。近年ではこれら両者が密に連携し、未来医療センターや臨床医工学融合研究教育センターを発足させるなど、新しい研究教育領域創成に成果を上げつつある。

工学研究科と基礎工学研究科におけるロボット研究としては、本拠点化構想推進者の浅田稔の世界的ロボット研究教育組織 RoboCup の主催と、その成果による文部科学大臣賞の受賞や、本拠点化構想推進者の石黒浩の世界に先駆けたアンドロイド開発は国内外から高い評価を得ている。また、基礎工学研究科では、大型プロジェクト研究を推進しリーダーとして活躍している新井健生のナノバイオロボティクス・安心安全ロボティクスや本拠点化構想推進者の宮崎丈夫の外科手術支援ロボットなどで顕著な成果をあげている。

医学研究科は、人工臓器等の研究臓器移植や再生利用技術など高度先進医療に多くの実績をもつ。これらの実績は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「細胞・組織の統合制御にむけた総合拠点形成」の採択に結実している。特に、研究面では、ES 細胞や体性幹細胞を中心に血管、血液細胞、インスリン分泌細胞、心筋細胞などの増殖・分化の研究、生体材料の開発、細胞機能の計測制御から再生医療への応用などにおいて高いレベルの研究を推進している。また、臨床面では、本拠点構想推進者で、最近、日経新聞での病院評価で AAA の格付けをされ臨床的にも最高水準にある大阪大学心臓血管外科の澤芳樹は、未来医療センターのセンター長も兼任し、心臓移植をはじめとする臓器移植や心筋再生、人工心臓の開発などにおいて、国内外から高い評価を得ている。

以上のような世界的にも卓越した研究業績をベースに、各分野が独自に欧米やアジア地区との研究教育に関わる強力なネットワークを構築しており、研究教育の国際化を推進している。

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。

(2) 協働機関 6 社

次に、協働機関 6 社における研究ポテンシャルの概要について記す。

オムロン株式会社は、本先端融合領域に関連した技術開発として、超微細加工技術や MEMS（微小機械：Micro Electro Mechanical Systems）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もつ。

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は世界的に高い評価を受けており、研究ポテンシャルは非常に高い。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、日本電子の電子顕微鏡が世界中の大学や研究機関、あるいはさまざまなナノ材料・デバイス製造現場で活躍している。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ことは、今回の本拠点化構想に関連して特に重要な点である。

日本電信電話株式会社(NTT)は、戦後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、事業化のすべてにおいて産業界の指導的役割を担ってきた。日本電信電話株式会社（NTT）は約 3,000 人の研究員を擁し、研究開発費は約 1,500 億円（2004 年）規模である。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%）になり、標準化でも大きな影響力をもっている。NTT は、ISP サービス、コンテンツサービス、法人向けソリューションなど多様な事業展開で情報通信の基盤化の流れをリードし、加速させてきた。最近では、光化によるブロードバンドサービス事業にとどまらず、ライフスタイルの変化につながる高付加価値サービスの研究開発もとりくんでおり、本拠点化構想で目指している新たな情報システムの構築のための基盤形成に関する協働企業として最適である。

ニプロ株式会社は、昭和 29 年の設立以来、「技術」をコンセプトとし、常に患者の QOL（クオリティ・オブ・ライフ）や医療現場の課題・ニーズに沿った独創的な製品の研究開発を展開してきた。医療業界がかつてない変革期を迎えている近年、常に技術革新をモットーとして、独自の視点から先進的な医療機器の研究開発を推進しているとともに、注射剤事業の他、経口剤事業にも注力し、さらには人工臓器や再生医療の分野においても世界的にも認知され、世界をリードしている。特に、総合研究所・人工臓器開発センター研究所長の高野久輝は、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てきたが、本拠点化構想に企業サイドからの研究者として参画する。

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、プラズマ・液晶テレビ用の画像処理システムなど、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。研究開発に従事する者を含む技術者の人員は、グループ全体で 4 万人強であり、全従業員の 10%を超えている。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。本拠点化構想との関連では、1990年代には、けいはんな学研都市の先端技術研究所内に国際研究所として独自の生体ナノ構造研究グループを擁した。現在も文科省リーディングプロジェクトの一環として、タンパク質の自己組織化能を活用した均一サイズのナノドットの量産とその半導体メモリーへの応用に焦点をあてた研究を進めており、その一部として本拠点化構想推進者の柳田敏雄の研究グループと、ノイズレベルのエネルギーで確率的動作をする情報処理素子の活用について共同研究を進めている。

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。その多様な活動のうち、今回の拠点化構想に直接従事するメンバーは、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幅広い研究開発を行っているなかで、自社産業用多関節ロボットをオープン化して研究開発プラットフォームとして公開したり、本格的な家庭用ロボットの販売を手がけるなど特に実用化研究に対する取り組みを展開してきた。これらの活動に対して各界受賞実績をもつ。

以上のように、本拠点化構想に参画する協働機関6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。

なお、本拠点化構想を推進する上で重要な産学連携に関する本学の積極的な取り組みに関しては、法人化後、企業との研究・人材育成に対して全学的に関与する連携協定を5件結び、それぞれ運営協議会を設置し、実質的な活動を開始している。知的財産本部による企業との権利関係の整備も進んでおり、平成17年度発足のスーパー産学官連携本部活動により、従来に比べて加速度的に産学官連携の推進が可能となった。

(3) 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おり、研究テーマも本拠点化構想と深い関連性がある。

つぎに、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。また、これらの研究テーマは、本拠点化構想のテーマと非常に合致している。

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おり、本拠点化構想への貢献が大いに期待される。

以上の三つの研究機関は、独立行政法人あるいは民間の研究機関として関西を代表する機関であり、それらの研究所群から、該当分野で世界トップレベルの研究者の参画を得る意義は非常に大きいものがある。

b. 提案機関における研究開発及び人材育成の実績

(1) 研究開発

大阪大学における卓越した研究開発の実績を示す一端として、科学技術振興調整費による研究開発で現在進行中のプロジェクトに限っても以下のような実績がある(共同参画機関、共同研究者として参画しているプログラムを含む)。

(a) 戦略的研究拠点育成：「フロンティア研究拠点構想」(2005年度末まで)、「サステイナビリティ学連携研究機構」(2009年度末まで)

(b) 重要問題解決型研究等の推進：「セキュリティ情報の分析と共有システムの開発」(2006年度末まで)、「違法薬物・危険物質の非開披探知装置の開発」(2006年度末まで)

(c) 先導的研究等の推進：「細胞分子複合体構造解析用極低温電顕の開発」(2005年度末まで)、「超コヒーレント・パイオ位相差電子顕微鏡」(2005年度末まで)、「テラヘルツ波応用のための新結晶材料の開発」(2005年度末まで)

(d) 産学官共同研究の効果的な推進：「糖鎖制御による次世代抗体医薬品の創出」(2005年度末まで)

(e) 総合研究：「染色体の構造と機能解明のためのナノデバイスに関する総合研究」（2005年度末まで）

(f) 若手任期付研究員支援：「自己組織化による機能性ナノマテリアルの創製」（2006年度末まで）、「DNA二重鎖切断修復制御のメカニズム」（2006年度末まで）

また、研究開発の指針となる特許件数については、平成18年1月末現在で、国内115件、国外35件、計150件であり、研究開発力の秀でていることの証左と言えよう。また、外部資金については、平成16年度総額25,600,000千円を獲得している。

(2) 人材育成

大阪大学は、「教養・デザイン力・国際性」を全ての学生が習得できるように学内体制を整備し、社会からの要請に応え得る人材の育成に取り組んでいる。これら人材育成に関する日頃の弛まぬ意識高揚の成果を示す評価尺度として、人材養成及び大学教育支援プログラムに関する競争的資金の獲得状況が考えられる。

まず、科学技術振興調整費による新興分野人材養成については、「セキュア・ネットワーク構築のための人材育成プログラム(2005年度末まで)」、「環境リスク管理のための人材養成(2008年度末まで)」、「ナノ高度学際教育研究訓練プログラム(2008年度末まで)」、「臨床医工学・情報科学技術者再教育ユニット(2009年度末まで)」が、現在推進中であり、それぞれが非常に有意義な成果をあげている。また、文部科学省関係の教育支援プログラムについては、「特色ある大学教育支援プログラム(特色GP)」が3件(共同申請を含む)、「現代的教育ニーズ取組支援プログラム(現代GP)」が2件、「法科大学院等専門職大学院形成支援プログラムへの取組」が2件(共同プロジェクトを含む)、「大学教育の国際化推進プログラム(戦略的国際連携支援)」が1件、各々、単独あるいは共同申請のプログラムとして採択され、現在、強力で推進されている。

さらに、平成17年度開始された「魅力ある大学院教育イニシアティブ」については、大阪大学は全国最多の10件(2位は東京大学の7件)が採択され、「教養・デザイン力・国際性」をモットーする教育の質の向上が全学的に浸透していることを如実に示している。

c. 協働機関における技術開発の実績

協働機関6社の技術開発力については、各社が斬新なアイデアによって開発してきた製品群が、世界の該当分野にお

ける市場を牽引してきた経緯を考えるにつけても、その卓越性について疑う余地はない。以下に、各社の技術開発力の一端について記すことにする。

オムロン株式会社は、平成14年より生命機能研究科に寄附講座を設置し、バイオとナノテクの融合研究を行ってきた。バイオ関係では表面プラズモン共鳴バイオセンシング技術、情報関係ではMEMS技術やマイクロフォトリソグラフィの研究に優れており、さらに、これらの技術と半導体技術および光導波路技術を融合することによって、新規的なセンサーデバイスやフォトリソグラフィデバイスの最先端の研究開発を行っている。また、大阪大学と包括的連携契約を結び、研究・人材育成に関する協働活動を加速させている。

日本電子株式会社は、世界トップレベルの理科学機器メーカーとして、その技術力を活かし、研究・開発用理科学機器をはじめ、半導体関連機器、医用機器、産業機器などを手がけている。その開発製品は、基礎科学から先端産業分野まで幅広く使われ、国内だけではなく、世界各国へと輸出されている。その高い開発力・技術力を活かし、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、ライフサイエンス、光通信などの次世代技術へと活躍の場は広げており、科学技術と産業の振興に不可欠な事業としてますます注目されている。

日本電信電話株式会社(NTT)は、1990年には映像を含めた高度な通信サービスの提供を目指した「VI&P」構想を発表し、1993年米国の「情報スーパーハイウェイ(NII)」構想にも影響を与えた。この流れが、今日の情報化社会の基盤を築いたことはよく知られている。近年のインターネット通信技術の研究開発においても、光技術に基づくバックボーンネットワークの大容量化、アクセスネットワークのブロードバンド化などにおいて先端的な研究開発を行ってきた。最近3年間(2002年～2004年)においても、学術誌への発表は年間約600件、国際会議での発表約900件、特許出願は3,000件前後とその研究開発に関する技術力は万全である。特に、最近は、情報通信技術の研究開発にとどまらず、「“光”新世代ビジョンーブロードバンドでレゾナントコミュニケーションの世界へー」を発表し、「ブロードバンドで双方向に」、「いつでも、どこでも、だれとでも」、「安全・確実・簡単に」を目指したユビキタス社会における新サービスの研究開発とビジネス機会の創出に取り組んでおり、本拠点化構想が目指す研究開発と方

向性は完全に合致している。

ニプロ株式会社は、世界をリードする人工透析(人工腎臓) 関連をはじめ、ニプロブランドとして知られる医療機器が国内外で広く使用され、その技術力と品質は世界的に高い評価を得ている。また、医薬品の分野でも、医療現場のニーズを捉えた各種キット製剤等により、着実に実績を伸ばしている。薬事法改正を機に需要拡大が見込まれるジェネリック医薬品・受託製造分野においても、最先端の技術を駆逐することで、より安全で使い易い製品を着実に提供する企業展開を実施している。

松下電器産業株式会社は、近年では、DVD・ブルーレイ・レコーダー、プラズマディスプレイテレビ、第3世代携帯電話、65ナノメートルルールシステムのLSI、家庭用据え置き型燃料電池コジェネシステム、ハイブリッド型電気自動車用蓄電池、高ダイナミックレンジ監視カメラ、使い捨て型血糖値計測器などで卓越した技術力を発揮してきた。特に、DVDシステムについては、当社を含む国内数社と技術開発を競争し、さらに連携して標準化を推進して日本初のグローバル商品に仕上げてきた。また、プラズマディスプレイにおいては、標準解像(CD)仕様の他、高精細度(HD)仕様についても開発を行い高い評価を得ている。

三菱重工業株式会社は、本拠点化構想関係では、いままで開発してきた画像処理や無線制御などのRT技術に、最新の音声認識技術を組み合わせ、世界で初めての本格的な家庭用ロボット「wakamaru」を開発し、販売運用を行っている。また、世界初のノンストップ料金収受システムをシンガポールへ納入するなど、開発技術のロボット以外の製品群への適用も積極的に推進している。さらに、国立大学と企業との間では初めてとなる包括的な技術連携推進協定を締結し、基礎研究から応用開発まで一貫した協力体制を整え、研究開発の効率化を目指している。

2. 拠点化の対象とする先端融合領域及び研究開発

a. 拠点で取り組む領域及び研究の内容

(1) 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とは対照的である。しかしながら、こうしたあいまいで確率的にゆらぎ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。例えば、脳を構成する神経細胞一つ一つは雑音を包含している素子であるにもかかわらず、それらが集まると信頼性が高い情報処理が可能なシステムを構築している。フォン・ノイマンは、現在のプログラム内蔵方式のコンピュータの原理を考えた数理科学者であるが、彼自身にとっても脳に関する論文をいくつか書いており、ある意味でこのような特性をもった脳を創ることが重要な関心事であったことが伺える。現在のデジタルコンピュータは、基本的に彼らが描いたシナリオに沿ってつくられ、そして、短い期間のうちに非常に勢いで発展して、今日の高度情報化社会が実現した。しかし、より速くかつより大容量へとコンピュータの能力が急速に発展するにつれて、逆にデジタルコンピュータでは実現困難な情報処理機能の存在が顕在化することとなった。すなわち、人間の脳では容易に実現されている、画像や音声の意味を理解する能力、自由に言語を操る能力、さらには意識や意思、創造するといった能力は、現在のデジタルコンピュータの単純な延長では実現できそうになく、現在のコンピュータ技術の限界が見えてきたのである(このような議論は、合原一幸[編著]「脳はここまで解明された」、ウェッジ選集、に詳しい)。

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、というのが本拠点化構想の根本の発想である。時あたかも、近年のバイオナノサイエンスを中心とした生命科学の急速な進展により、生体における「ゆらぎの利用」の原理が明らかにされつつあり、「ものづくり」、「システムづくり」への応用展開が現実的になってきている。このような状況のもとで、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。

(2) 基本コンセプト：生体に何を学ぶのか

生体ゆらぎを利用した知的人工物と情報システムの創成に向けて、「生体コンピュータ」と現在のデジタルコンピュータである「人工コンピュータ」との動作状況の根本的差異について、特に物理学的観点から整理する。

人工コンピュータの特徴は、熱雑音に対して高エネルギーを用いて誤作動率を極めて低く抑さえ、決定論的作動を高速に行う点にある。しかし、その高速な処理は膨大な消費電力を伴う。また、その動作を規定するアルゴリズムはソフトウェアとしてハードウェアから切り離され、システムは環境変動に対し脆弱である。それに対して、生体コンピュータの特徴は、処理速度が低速であるが、熱雑音と同レベルの低エネルギーで作動し、熱雑音と分子ゆらぎの中で確率的に作動する点にある。アルゴリズムを自発的に形成することができ、そのシステムは環境変動に対し頑強なものになる。

こうした生体コンピュータと人工コンピュータの動作状況の根本的差異を踏まえ、「ゆらぎの利用」への視点として、特に次の4点に注目する必要がある。

(a) 計算の熱力学（動作に必要なエネルギー）

(b) 「素子」としてのタンパク質の物理的性質（動的多型性）

(c) ゆらぎから誘起される動作メカニズム（熱雑音/分子数ゆらぎ中の安定な動作）

(d) ミクロとマクロの動的関係性（首尾一貫性の自律的確保）

以下、各々の視点について説明をする。

(a) 計算の熱力学：1ビットの情報を得るのに必要なエネルギーの下限は $kT \log 2$ である。ただし、 k はボルツマン定数であり、 T は温度である。これは生体分子モーターのエネルギー論とも深い関連性がある。実際、生体コンピュータにおいては、可逆な複写計算を行う RNA ポリメラーゼに代表されるように、本質的な動作はブラウン運動だが、環境条件にバイアスされ、「計算」が特定方向へ統計的に進む、という確率的計算メカニズムが機能していると考えられる。この仮定のもと、動作に必要なエネルギーを計算した文献値として、RNA ポリメラーゼでは、1ビット当たり約 $100kT$ という値が挙げられる。分子モーターの1分子計測実験においては、ミオシン分子やキネシン分子が運動方向を選択するのに必要なエネルギーとして $3\sim 6kT$ と実

測されている。これはトランジスターにおける1ビット当たりのエネルギーの百万分の一のオーダーであり、生体の動作は低速であっても、いかに低エネルギーで機能するかを示している。生体分子は、ほぼ物理的限界にまでエネルギー効率を上げている。

(b) 「素子」としてのタンパク質の物理的性質：生体システムの要素であるタンパク質の物性、特に、その安定性/不安定性、エネルギー構造（フェネル構造等）、そして緩和過程（stretched exponential 緩和等）における特徴が、近年の進展著しいナノバイオロジー研究により明らかになってきている。さらに、タンパク質化学反応における履歴や運動論的協同性の出現について注目されている。これらの現象は、タンパク質分子が熱ゆらぎ程度のエネルギーにより遷移するような多数の準安定状態をもつと考えることで理解が可能になる。つまり、ゆらぎを利用する「素子」の基本特性として、多数の準安定状態を有することが重要になる。

(c) ゆらぎから誘起される動作メカニズム（熱雑音/分子数ゆらぎ中の安定な動作）：ゆらぎから誘起される動作メカニズムの例として、次のような動作が知られている。

(1. ゆらぎから方向性を取り出す「バイアスされたブラウン運動」

(2. 共鳴を利用してノイズに埋もれた信号を取り出す「確率共鳴」

(3. ノイズを印加する事によって秩序運動が出現する「ノイズ誘起秩序」

(4. 不安定な状態間のネットワークから安定な状態間遷移の規則が生成する「ルナーアトラクターネットワーク」このうち、生体システムの動作原理として現在の段階で重要性が認識されているのは、分子機械における「バイアスされたブラウン運動」と分子ネットワークにおける「アトラクター選択」である。本拠点化構想推進者の一人である四方哲也らによる遺伝子ネットワークの実験的解析により、ゆらぎの中での情報処理の仕組みとして「アトラクター選択」の有効性が確認されている。

(d) ミクロとマクロの動的関係性（自己一貫性）：生物のミクロな構造からマクロな構造への階層間の関係性が、首尾一貫性（self consistent）を保ちながら自律的に形成される論理が提唱されている（例えば、金子邦彦著「生命とは何か—複雑系生命論序説」、東京大学出版）。この論理

のもとでは、ゆらぎを利用した「アトラクター選択」により、環境変化に対してシステム全体として安定した応答が可能である。

以上の考察から、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。つまり、準安定なポテンシャルの深さは「ゆらぎ」の大きさと同程度のために各階層での安定性は低いが、システム全体としては安定化し、環境が変化した時にもシステム全体として柔軟に応答することが可能になる。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。

(3) 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。このような研究の推進は、生命機能、生物工学の研究領域の研究者が携わる。そのなかには、脳科学を専門とする研究者を含めて、この分野の多岐にわたる研究者が含まれている。また、協働機関としては、計測機器関連企業としてオムロン株式会社、電子顕微鏡等に関する研究開発を行っている日本電子株式会社が参画する。また、バイオナノプロセスに関する基礎研究を展開している松下電器産業株式会社も参画する。

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。

なお、有機化学はもともと、生物（有機）をなす分子の研究からスタートしており、現在においても医薬や人間の道具、人工臓器に至るまで、ありとあらゆるものをつくる基本になっている。生物特有の構造を抽出しその機能を合成した人工有機物で置き換えることは、生物の機能はもとより、生物でも実現できないような新たな性質や機能を実現できる可能性がある。本拠点化構想において、有機化学材料は「生物」と「知的人工物」との間を結ぶ重要なインターフェースであり、有機材料によって「生物」の機能を実現することは「知的人工物」を創る上で欠かせないものである。

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。

「創る」及び「使う」に関する研究開発には、情報システム・情報家電関連のメーカーである松下電器産業株式会社、情報通信関連の研究開発を展開している代表である日本電信電話株式会社、医療機器・医薬品メーカーであるニプロ株式会社、ロボット関連の研究開発を展開している三菱重工業株式会社が参画する。

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、生物工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。

(4) 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。

(a) 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

ナノ材料領域における「アトラクター選択」モデルの有用性に関しては、以下の三つの方向からの可能性がある。

(1. 生体ゆらぎを活かしたものづくり：

生体ゆらぎを利用した系を人工的に合成した分子を用いて実現し、「知的人工物」の構築を目指す。例えば、「自己組織化」を利用して線状の分子に輪の形をした分子を詰め込むと、環状の分子は線状分子に沿って「熱運動」（並進、回転）する。線状分子の中に環状の分子の動きを制御する部分を導入することにより、輪の分子を望みの方向、速度で移動させる仕組みの構築が可能となると考えている。また、その方向や速度を温度や光、圧力、イオンなど、外的な刺激により制御することを目指す。「熱ゆらぎ」から方向性を取り出し、それを繰り返す、一定方向の運動とする。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が期待される。

(2. 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の実現により、アトラクター選択表現される情報処理機構向け素子の研究開発が可能である。脳における情報は、各々重みづけられた多入力情報が、ある閾値をこえた時に発火することで次のレセプターへと転送される。この情報処理を数式で表したものが、スピングラス状態と同値の物理的数式（ハミルトニアン）で示されることを利用して（ホップフィールドモデル）、スピングラス材料により脳機能模倣型の情報処理素子を開発することが可能となる。具体的には、磁性素子としてハードディスク等に用いられている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において入力信号パルスの強度、パルス幅を変えることにより多入力を実現し（ハミルトニアン第1項）、トンネル接合の障壁を閾値と

して（同第2項）、スピントネル電流を検出することにより、脳型情報処理素子を実現させる。本系を実現する上でキーマテリアルとなるスピングラスは、従来 50K 程度の低温でのみ発現する現象であったが、産研グループは巧妙なスピン設計により、室温でもスピングラス現象が発現する薄膜単結晶材料の合成に世界で初めて成功しており、当該材料をベースとした素子が核となる。

(3. 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であるイオン濃度勾配や、熱ゆらぎ（熱振動）や化学ポテンシャル変化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、我々は外界からの光情報を目（網膜）で検出して、レチナール分子の構造変化（シストランス）、電気的、化学的信号に逐次物理量を変換させて情報伝達している。そこで光機能性有機物／強誘電体／磁性半導体の集積型素子を構築する。有機物質内で外界からの光入力により生じた光起電力が、強誘電体の結晶格子を圧電効果により伸縮させ、隣接する磁性半導体内のスピン移動積分項を変化させることで、磁気抵抗変化として検出する。強誘電体はメモリ特性を有するため、光情報は分極による格子歪み効果として「記憶」されることになる。ナノスケールで積層したモノリシックな素子であるため、超低消費電力による駆動が実現する。さらに磁性半導体の部分に上記(2. で示したスピングラス材料を用いることで、「認識」「判断」「記憶」といった一連の機能が、ナノ材料技術により実現される。本拠点化構想推進者の田畑らは当該センサの元となる集積型多機能素子の研究により、応用物理学会講演奨励賞を受賞している。

(b) 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

情報システムの大規模化、複雑化に伴って、耐故障性に優れた構築技術については、集中型管理はもとより計画的なシステム構築はもはや不可能である。それよりもシステム全体を自律的なエンティティの集合体とし、それぞれのエンティティが安定状態を保ちつつ、環境変動にも柔軟に対応できるようにすることによって、本来のサービス機能を維持可能とするような情報インフラストラクチャの構築手法に最近注目が集まっている。

その解決策として期待されているのが、生物に学ぶ情報システムの構築である。生物界において細胞は、複雑な遺伝

子代謝ネットワークを持っている。大きなネットワークが環境の激しい変動に対して高い頑強性を示していることは驚くべきことである。大阪大学における生物工学関係の研究グループは、このような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。

本拠点化構想推進者の清水浩らの細胞内での代謝の変化や共生系の解析に加え、本拠点化構想推進者の四方哲也らは、細胞内の遺伝子の発現量の分布を解析した。その結果、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パワーロー（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、その研究成果に基づいて、情報ネットワーク技術として最近注目を集めているオーバーレイネットワークにおいて、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すでに示している。従来のシステム設計者は、システムに対するトラヒック入力の変動（外的要因）や故障などの発生（内的要因）などを予測しつつ、そのような変動がシステムに与え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、むしろそのような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、従来に類例のないまったく新しい経路制御技術の創出に成功した。その重要性、他技術への将来的な適用可能性が認められ、研究成果は情報科学分野において最も重要な論文誌の一つである Communications of ACM に採択が決まっている。

情報システムはさまざまなレベルの階層化が行われており、例えば情報ネットワークにおいても、上述の経路制御だけでなく、データリンク制御技術、データ転送技術、障害回避技術などさまざまな制御技術が重層化を成している。アトラクター選択原理をそれらの技術に適用すること

によって、システム全体として環境変動に対して安定した応答、すなわちユーザに対して安定したサービスを維持可能な情報インフラストラクチャの創成が可能となる。

(c) 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、環境の変化に対する適応性である。これまでのロボット研究では、ロボットの低レベルな行動制御は従来の制御理論に基づき、また、環境認識を伴う高レベルの行動においては、人工知能研究と同様のアプローチが取られてきた。しかしながら、例えば、人工知能研究でも用いられるルールベースシステムに基づくアプローチでは、環境の変化を全て想定し、それに対する対処法をあらかじめロボットのプログラムとして埋め込まなければならない。

ここでは、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、ロボットの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。このシステムでは、ロボットに様々な床の形状があらかじめ教示されているのではない。特定の床で歩行を学習したロボットが、歩行したことのない床でも適応的に歩行するものであり、そのロボットはいわば、生物的な頑強さを持つ。

しかしながら、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、歩行以外にも例えば、走行や起き上がりなどに対するアトラクターを準備し、環境の大きな変化に対してもアトラクター選択によって、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することができる。

またロボットは単に移動するだけでなく、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メカニズムはブレークス

ルールを与える。ロボットは個々の関係を維持することができない程大きな状況(また関係)変化が起こったとき、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。

(5) 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 2. a. (4) の (b) で示した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、上記 2. a. (4) に論じたように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。

(a) 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。

(1. 生体分子における「熱ゆらぎ」の利用メカニズムを解明するために、分子モーターを主たる研究対象とし、新たな 1 分子機能計測法の開発および超高压極低温電子顕微鏡・XFEL などによる高分解能立体構造解析システムの開発を行う。また、生体分子が kT オーダーの低いエネルギーで作動する仕組みを理解するために、分子モーターのエネルギー論の構築を目指す。

(2. 細胞内分子ネットワークにおいては、「熱ゆらぎ」に起因した分子数の「ゆらぎ」および分子種の「ゆらぎ」が「アトラクター選択」などの情報処理に重要な役割をもつと考えられている。そこで、細胞内分子ネットワークにおける「ゆらぎ」の役割および「アトラクター選択」のメカニズムを解明することを目的として、分子数・分子種の「ゆらぎ」を実測するためのイメージング技術を開発する。具

体的には、遺伝子発現調節・細胞分化・細胞運動を主たる研究対象として取り上げ、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、確率的動作に基づくプロセッサ開発への指針を与える。

(3. 発生および免疫系においては、ダイナミックな細胞間相互作用を通して細胞ネットワークが構築され、多細胞システム全体での柔軟な環境適応が可能になっている。「アトラクター選択」という理論的概念は、もともと、こうした多細胞システムにおける柔軟な応答を説明するものとして生物学に適用されてきたが、実験的検証は十分ではなく、メカニズムは理解されていない。そこで、多細胞システムにおける「アトラクター選択」のメカニズムの解明を目指して、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。

(4. 脳内情報処理における「ゆらぎ」の役割を明らかにするために、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を行う。近年、「ゆらぎ」の重要性が明らかとなってきた「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、その脳内情報処理のゆらぎ計測および解析を行う。

(b) ナノ材料領域の研究開発課題

生命系の生体ゆらぎの解析結果をもとに、ナノ材料領域では次のような研究開発課題に取り組む。

(1. 脳機能模倣型の情報処理素子：

この課題では、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の実現により、アトラクター選択表現される情報処理機構向け素子の研究開発をする。特に、情報材料である磁性体、強誘電体の持つ双安定ポテンシャルが空間的に「ゆらいでいる」物性を利用した脳機能模倣型の情報処理素子を目指す。具体的には、室温付近に転移温度を有するスピングラスや双極子ガラス(リラクサー)をスピネルあるいはペロブスカイト化合物において設計・合成し、ホップフィールドモデルに示されるシナプス系情報処理がスピングラスと同じ形の基本式(ハミルトニアン)で示されることを活用した脳型情報処理素子を作製する。これにより、アトラクター選択表現される情報処理機構向けの素子を研究開発する。

(2. 超低消費電力の生体適合した集積型多機能センサ：

この課題では、2. a. (4). (a)の(3. 項で示した視覚-脳機能融合型の集積型多機能センサに加えて、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。生体内では、高々0.8Vの電位差により室温（低エネルギー）で、情報伝達・処理および機械が実現している。そこで活用されている、イオン濃度勾配や、熱ゆらぎ（熱振動）や化学ポテンシャル変化を利用したデバイスを目指す。例えば、人工心臓適用材料に圧電体薄膜、生体親和性材料の酸化半導体である ZnO ベースのトランジスターを用いたイオン感応型薄膜センサ等をマイクロメートルスケール（カテーテルのサイズ以下）で組み合わせることで、血圧、pH、血中イオン濃度をリアルタイムでモニタリングできる、生体適合した超小型多機能集積センサを開発する。

(3. 有機分子情報センサ：

生物は、分子やイオンを用いて情報伝達を行っている。すなわち、情報を伝える分子と情報を受ける分子が存在する。これを人工的に利用するために、それぞれの分子やイオンに対する「受容体」となる分子を合成し、「分子認識」により、分子情報を識別する。この受けた「分子情報」をさまざまな方法でその感度と精度（確度）を増幅するためのシステムを構築する。分子受容体としては、モノクローナル抗体のような生体分子をも用い得る。ここでは分子情報のわずかの違いをも格段に増幅することにより、高感度、高精度のセンサの開発を目指す。

(c) 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、「生体ゆらぎ」及び「アトラクター選択」の解析に関する研究を深化させ、その結果に基づく情報ネットワーク制御機構の研究開発を展開する。その成果に基づいて、制御機構を実現するソフトウェア基盤の開発、及び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の研究開発を行う。

(1. 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（C³:Communication, Computing & Control）を確立する。そのために、「生体ゆらぎ」及び「アトラクター選択」の解析をさらに進めるとともに得られたの知見に基づき、生命体の柔軟性、自律性、自発性に学んだ情報ネットワーク制御の要素技術を研究開発する。そのために、まず、セン

サネットワークを対象として、以下の研究課題に取り組むことによって新しい環境情報ネットワークアーキテクチャの実現可能性を明らかにする。

- (a. 生物ネットワーク解析
- (b. 経路制御、輻輳制御、資源発見制御
- (c. セキュリティ制御
- (d. 障害回復制御

(2. 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を創出し、そのソフトウェア基盤を確立する。そのために、まず、細胞内の多階層ネットワークにおけるインタラクション解析を行い、その成果に基づいて、階層化された情報システムに存在する二つの相互作用、すなわち、各々の階層において柔軟構造を有する制御が実行された時の階層間のインタラクション、および、階層内における「ゆらぎ」に基づいた制御対象となるエンティティ間のインタラクションの在り方を解明し、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。すなわち、以下の研究課題に取り組む。

- (a. 細胞内遺伝子と代謝ネットワーク二階層のネットワークのインタラクション解析
- (b. 上記に基づいた情報システムに存在する二つのインタラクションの解明
- (c. 生体ゆらぎに基づいた柔軟構造を有する、制御が多重階層を形成する情報ネットワークアーキテクチャのソフトウェア基盤
- (d. ゆらぎ原理で動作するプロセッサの情報ネットワークアーキテクチャへの実現性の検討

(3. 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。

- (a. 生体情報処理に基づく論理演算素子、回路素子による、ゆらぎ原理で動作するプロセッサの研究開発
- (b. ゆらぎ原理で動作するプロセッサと決定論的動作をインタフェースすることによるアプリケーション開発環

境の構築

(c. ゆらぎの動作原理に基づくプロセッサに基づくネットワーク装置（ルータ、サービスノード）の研究開発

(d) 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。

(1. ゆらぎを用いたロボット制御の基礎技術の確立：

アトラクター及びアトラクタースイッチングを用いた頑強な制御ができることを実証する。特に、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、適応的に、頑強に振る舞えるかを理論的に検証する。
(2. 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それぞれ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。

(3. 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。

(4. 生体親和人工心臓の開発：

人工心臓の素材やアクチュエータそのものも生体と親和性の高い物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。

(5. 生体模倣ロボットの開発：

人工心臓と同様の技術は、人間に酷似した生体模倣型ロボットにも適用する。このロボットは、柔らかく高感度なゆらぎ皮膚センサ、人間のように柔軟で、環境の変化に対して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。人間社会において、人間に対して安全で、人間が高い親和性を持つロボットを実現することは、少子高齢化によって人間の存在感が薄まる未来社会において、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。なお、全てが人間と酷似するロボットをそのまま利用するよりも、その一部を状況や目的に応じて利用する機会の方が多くなる。ここで開発する生体模倣型ロボットは、あくまでも高度な技術開発の象徴で

ある。

b. 関連分野における国内外の研究開発動向と本拠点化構想の優位性

本拠点化構想提案にある物質科学、生命科学、情報科学の融合を目指した研究拠点の必要性は諸外国においても強く認識され、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、ペンシルバニア大学の医学工学研究所、ジョンズホプキンス大学の生命医学工学研究所、マックスプランク研究所などで、先端学際研究体制の整備が進められているようであり、国内においても長期的な展望に立った包括的融合プロジェクトの立ち上げが早期に行なわれることが望まれている。

本拠点化構想は、そのような次世代研究領域を先取りするものであり、さらに近年ますます重要になってきているロボット領域をも包含して、横断的に融合する学際的研究は国際的にも稀である。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「ゆらぎの利用」に焦点をあてた先端融合研究開発は皆無と言ってよい。

本拠点化構想の要素技術である生命領域、ナノ材料領域、情報システム系、ロボット領域の個別分野において、世界をリードする研究開発は国内的にも数多く存在するが、本拠点化構想の推進者は個別の分野において国内外をリードする研究者で構成されている。したがって、ここでは本拠点化構想の要素技術としての各領域における国内外の研究開発動向を中心に述べ、本拠点化構想推進者の優位性を示すことにする。

(1) 生命領域の動向

本拠点化構想の生命領域の研究拠点となる大学院生命機能研究科は、バイオテクノロジーとナノテクノロジーの本格的な融合を実現した我が国唯一の研究教育組織であり、1分子機能計測技術、X線構造解析、極低温電子顕微鏡、最先端レーザー光学などのナノテクノロジー研究者と、生命科学の諸問題に携わるバイオテクノロジー研究者が渾然一体となって研究教育を展開している。本拠点化構想の推進に深く関わる生体分子機械のゆらぎを計測するための1分子機能計測に関する研究においては、1分子蛍光顕微鏡法、1分子操作法を世界で初めて開発し、さらに、生きた細胞内システムにおいて生体分子の1分子観察にも世界で初めて成功した実績をもつ[Nature 352 (1991)；

Nature 374 (1995); Cell 92 (1998); Nature 397 (1999); Nature Cell Biol. 2 (2000); Science 294 (2001); Nature 415 (2002); Nature Chem. Biol. 1, (2005); Nature Chem. Biol. 2 (2006)]. また、生体ナノマシンの高分解能立体構造解析を可能にした極低温電子顕微鏡や X 線構造解析法が世界に先駆けて開発され、代表的な生体ナノマシンとして知られるべん毛モーターの原子構造が次々と解明されている [Science 227 (1985); Science 231 (1986); Nature 342 (1989); Science 252 (1991); Science 290 (2000); Nature 410 (2001); Nature 424 (2003); Nature 431 (2004)].

また、本拠点化構想と深く関わる免疫ネットワークのゆらぎに関しては、サイトカインであるインターロイキン 6 の発見、その作用機構の研究、さらにそのシグナル伝達機構の異常により自己免疫疾患が発症することを明らかにした実績をもつ。さらに、サイトカインネットワークが上皮-間葉変換にかかわっていることを世界に先駆けて明らかにした [Nature 324(1986), Nature 332 (1988), Science 241 (1988), Cell 58(1989), Cell 63(1990), Immunity 5(1996), Immunity 11(1999), Immunity 12(2000), J. Exp. Med 196 (2002), Dev Cell 2(2002), Nature 429 (2004)]. 免疫ネットワークやサイトカインネットワークのゆらぎを研究することにより、免疫応答、がん、発生の仕組みの解明に発展することが多いに期待される。

さらに、本拠点化構想で重要視する脳科学の分野では、特に認知脳科学の分野で図形特徴選択性コラムの発見 [Nature 360 (1992)] や多義図形の認知における離散的確率過程の発見 [Neuroreport 14, (2003)] といった先駆的業績がある。また、「小脳内部モデル理論」を提案し実験的にその存在を証明した。さらに、人と同じような機械的な柔らかさ、速さ、力強さと 30 の自由度を持つヒューマノイドロボットを開発、上記の脳の学習理論に基づいて、そのヒューマノイドロボットに高度な学習機能と、感覚運動統合の能力を与えることに成功した実績をもつ [Nature 365 (1993); Science 272 (1996); Nature 403 (2000); IEEE Intelligent Systems 15 (2000); Nature 414 (2001)]. 一方、大学院情報科学研究科バイオ情報工学専攻の四方哲也らによる進化実験、細胞創成、生物揺動散逸定理、アトラクター選択による遺伝子発現の適応応答は、国際的に注目されている [Nature Biotechnol. 17 (1999); Nature

Struct. Biol. 6 (1999); PNAS 99 (2002); PNAS 100 (2003); FEBS Lett. 576 (2004)].

なお、本拠点化構想には、株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)から、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。その研究ポテンシャルは国際的に非常に高く評価されており、研究テーマも本拠点化構想と深い関連性がある。また、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おり、本拠点化構想に関する高い研究ポテンシャルを有している。

(2) ナノ材料領域の動向

まず、大学院生命機能研究科においては、本拠点化構想の目的とする「ゆらぎ」を制御・利用するナノ材料研究の立場から、ボトムアップナノテクノロジーとして、1原子・1分子レベルでの結晶構造制御形成技術を確認してきた。その中で電子やスピン関連の揺らぎ制御による新規超伝導体、超交換強磁性体創製の実績を持つ [Nature 394 (1991); Science 270 (1998)].

本拠点化構想のナノ材料領域の研究開発拠点となる産業科学研究所(産研)、はナノテクノロジーの中核として世界の最先端機関であり、産業に資するナノサイエンス・ナノテクノロジーに関する研究を推進すべく「産業科学ナノテクノロジーセンター」が平成 14 年に設置されている。ここでは、文部科学省ナノテク総合支援プロジェクトのナノテクノロジープロセスファウンドリーは、原子・分子単位の結晶成長技術(ボトムアップ)、10nm スケールのナノ加工を可能とする量子ビーム技術(トップダウン)をはじめとする技術最先端のナノテク研究設備を阪大全校の研究者に対して提供して希有な施設である。さらにオープンラボラトリーとして、ナノテク総合研究棟施設の約 50%を全校に対して開放しており、そこには阪大全校からナノテクノロジー研究を推進する研究グループが集まり、情報・設備共有、人的交流を通して当該研究分野の融合を推進している。当該研究の国際的な交流として、フォーカス分野を 3 回/年の国際会議をここ 4 年間連続して開催し、世界に向けた情報発信の場としてもその存在は大きい。また、

産研とエネルギー工学研究科が推進する 21 世紀 COE プログラムは、全国約 300 の全 COE プログラムの中で第 1 位の研究費を獲得し、中間評価においても 5 段階評価の最高レベルの評価を得ており、「新産業創造指向インターナショナルサイエンス」として新しい産業創造に資する科学を標榜し、産業連携室を窓口として企業との強い連携のもとに研究展開されている。

また、本拠点化構想の推進拠点の一つである 大学院理学研究科では、21 世紀 COE プログラムとして化学と高分子科学専攻が「自然共生化学の創成」と題して自然と生物などからのインスピレーションにより新たなものを創り出すことに取り組んでいるが、本拠点化構想で目指すテーマとも非常に合致している。自己組織化や分子マシンの研究において Nature 誌に 3 年連続[Nature 356 (1992); Nature 364 (1993); Nature 370 (1994)]で先駆的な研究を発表し、Nature 誌の News としても取り上げられ、現在の世界的に波及した研究の発端となった。その後もアメリカ化学会誌や Science 誌に紹介され、自己組織化や分子素子の研究の指導原理になっている。21 世紀 COE プログラムの成果は 7 回にわたる国際シンポジウムなどで世界に発信され、特に、第 6 回の国際会議は日本の 6 大学合同での国際会議で日本の主要大学の化学系の 21 世紀 COE プログラムが一同に会し、大阪大学がその開催大学として、主要な役割を果たした。さらに高分子科学専攻では 2 年に一度、国際会議 Osaka University Macromolecular Symposium (OUMS) を開催し、世界の高分子研究者が大阪大学に一同に会し、その最先端の研究について情報交換、ディスカッションし、その先導的役割を果たしている。2004 年にはその会議をまとめた 335 ページにわたる書籍“Macromolecular Nanostructured Materials” (Springer) を発行した。本書は反響を呼び、アメリカ化学会誌にもとりあげられ、書評などでもきわめて高い評価を得ている。

さらに、基礎工学研究科では、物質創成専攻未来物質領域に微小物質のコヒーレンスとゆらぎのダイナミクスを教育研究するレーザー分光を主体とする講座が設置されており、物理と化学の両方面から有機・無機のナノ構造物質に迫る体制が敷かれている。また、21 世紀 COE プログラム「物質機能の科学的解明とナノ工学の創出」を通じて、超伝導、ナノ磁性、モレクトロニクス、量子情報、ナノ光工学、超微細加工等、いずれも「ゆらぎ」が物性を支配す

る各種機能性材料の基礎研究において、国内 1、2 位を競う優れた研究者群による多くの注目される成果が発表されている。

特に、本拠点化構想で目指すナノ物質における「ゆらぎ」を研究する上で、半導体量子ドットで見出された励起子発光のゆらぎと二光子励起によるその抑制効果は分子分光で見られるゆらぎとの類似性の点で極めて重要であり、さらに、ゆらぎと相補性をなすコヒーレンスの研究では、半導体の電子対励起状態のコヒーレンスを光子対の量子相関に移す先駆的研究に成功し、2004 年 Nature 誌にて高く評価され、半導体ナノ粒子のレーザー発振においても特異なコヒーレンス状態(超放射状態)を形成することが 2005 年秋の米国 MRS (材料研究学会) の招待講演として取り上げられた。

一方、ナノ分野の人材育成に関しては、科学技術振興調整費新興分野人材養成「全学横断ナノ高度学際教育研究訓練プログラム」の取りまとめを引き受け、大学院・社会人向けの講義・実習に関して多数の教員が連携協力しているなど、研究教育両方面でのポテンシャルは極めて高い。

(3) 情報システム領域の動向

本拠点化構想の情報システム領域の研究開発拠点となる大学院情報科学研究科は、大学院基礎工学研究科、大学院工学研究科、大学院理学研究科に分散していた情報関連の組織を結集して創設されたものである。数学的概念の情報科学への応用を扱う情報基礎数学専攻、数理的アプローチに基づく情報数理学専攻、ソフトウェアを扱うコンピュータサイエンス専攻、システム・ハードウェア設計を扱う情報システム工学専攻、インフラストラクチャ形成を担う情報ネットワーク学専攻、情報の高次処理技術を扱うマルチメディア工学専攻、生命系へのアプローチを扱うバイオ情報工学専攻の 7 専攻からなり、情報科学を核とした融合科学・技術に果敢に取り組んできた。

特に、大学院情報科学研究科が、本拠点化構想推進者の西尾章治郎のリーダーシップのもとで推進している文部科学省 21 世紀 COE プログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」は、生物工学と情報科学という二つの先端科学技術の融合研究に基づく新しい情報技術の創出を目指してきており、中間評価においても 5 段階評価の最高レベルの評価を得ている。本拠点化構想推進者の村田正幸らのアトラクター選択原理に基づくオーバーレイネッ

トワークの経路制御技術も 21 世紀 COE プログラムの研究遂行の中で確立されたものであり、細胞の環境適応原理の発見とその経路制御技術への展開という生物工学と情報科学の融合の成果の結実であるということが出来る。

ただし、生物界のアナロジーを情報技術に適用した例は決して珍しいものではない。例えば、遺伝子アルゴリズムは最適化問題を解くものとしてこれまでも数多く用いられてきた。しかし、このような単なる生物界のアナロジーに基づいたものではなく、生物界の様態の本質を数理モデルとして理解し、大規模化・複雑化する情報システムの問題を科学的に解決しようとする試みはさほど多くない。上記 21 世紀 COE プログラムにおいて目指している「外界からの環境変化に対して個々のオブジェクトが安定した状態を保ちながら、本来の機能を果たしていく」ような自律性、拡張性、強靭性、適応性を有する情報システムの構築を目指すものであるが、その他には、以下のように数えるほどである。

(a) IBM の eLiza プロジェクト：複雑化するシステムの不調や構成変化、外部からの攻撃に自律的に対応し、自己調整を行えるシステムに関する研究開発

(b) UCL の分散システムの自律調整機構：複雑化・巨大化するネットワーク資源のマネージメントにバクテリアの振る舞いなどの生物界のモデルを応用した分散システムの自律調整手法の研究開発

(c) Bologna 大学の Anthill プロジェクト：大規模かつダイナミックで、非中央志向を特徴とする P2P 型アプリケーションのフレームワークを生物界の複雑系をモデルとして確立するための研究開発

(d) Belgium 国立物理化学研究所の免疫コンピューティング：ウイルスやノイズ、エラーの影響を除きつつ、複雑な問題解決にタンパク質免疫系のネットワークを応用する情報処理技術の原理の確立

しかし、最近、この分野の研究は注目を浴びてきており、以下のように関連するワークショップが徐々に開催されるようになってきている。

(a) The First International Workshop on Biologically Inspired Approaches to Advanced Information Technology (Bio-ADIT2004), January 2004.

(b) IFIP/IEEE International Workshop on Self-Managed Systems & Services (SelfMan 2005), May 2005

(c) International Workshop on Self-* Properties in Complex Information Systems (Self-STAR 2004), May 2004

(d) The Second International Workshop on Biologically Inspired Approaches to Advanced Information Technology (Bio-ADIT 2006), January 2006.

Bio-ADIT は、ピアレビューによる論文採択制を採用している国際ワークショップであり、LNCS (Lecture Notes in Computer Science) として出版されているものであるが、採択論文 32 件のうち 15 件が上記 21 世紀 COE プログラムの事業推進担当者の関係する論文であり、同分野における大阪大学大学院情報科学研究科の研究レベルの高さを示している。また、Self-STAR においては、村田正幸が招待講演を行っている。

(4) ロボット領域の動向

本拠点化構想のロボット領域の推進母体である大学院工学系研究科及び基礎工学研究科は、材料工学、電子工学、機械工学、ロボット工学に関する全ての研究分野を有する日本でも最大規模の研究科である。特に、ロボット技術に関わる研究者の数は日本で最も多く、ロボットの制御理論、運動機構、知覚機能、人工知能など、必要な分野全てを網羅している。特に、知能ロボットの研究開発は世界的なロボット研究組織 Robocup の主催者を有し、ロボット研究教育を世界的に先導している。また、産学官連携プロジェクトにおいても、地域の企業と連携しながら最先端の人間型ロボットを開発し、その成果が認められ、大阪商工会議所から大阪活力グランプリを受賞している。さらには、大阪市、大阪府、関西経済連合会において多くのロボット研究開発プロジェクトを委員長や委員として推進し、名実ともに、関西圏におけるロボット研究開発の中核となっている。具体的な研究開発において特に注目されているのは、次世代のヒューマノイドロボットである、人間酷似型ロボット「アンドロイド」を世界に先駆けて開発し、世界から高い注目を集めている。また、人間理解の科学とロボット工学が融合する認知発達ロボットの研究拠点 (JST ERATO Project) ともなっている。

また、本拠点化構想のロボット領域の研究開発の一翼を担う 大学院医学系研究科 は、世界最先端の医療診断技術を誇る日本で有数の機関である。特に、臓器移植や再生利用技術など高度先進医療には多くの実績を持つ。これらは再生医療に関する 21 世紀 COE プログラム研究教育拠点とし

て採択されている。さらに、大阪大学は、研究面では、血管、血液細胞、インスリン分泌細胞、心筋細胞などの増殖・分化の研究、生体材料の開発、細胞機能の計測制御などにおいて、臨床面では、心臓移植をはじめとする臓器移植や人工骨の開発などにおいて、多大な業績をあげてきた。本拠点化構想推進者の澤芳樹の研究グループの研究開発業績を基盤に、研究科・専攻の枠を超えて結集することにより、コンパクトながらもインパクトのある医工連携をおこなうことが可能である。また、医学部附属病院には、未来医療センターがすでに設置されており、基礎研究から試験的治療へのトランスレーショナルリサーチをスムーズにおこなう基盤が充実している。これらのことから、本研究拠点が形成できれば、本拠点化構想の10年間という期間だけではなく、臨床への応用や人材の育成をも含めて、15年、20年にわたり活動できる新たな再生医学の拠点へと成長させていくことができ、本拠点化構想の目標達成に大きな貢献が期待できる。

なお、本拠点化構想には、国立循環器病センター研究所から人工臓器部長の妙中義之が参画する。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。また、これらの研究テーマは、本拠点化構想のテーマと非常に合致したものである。

c. 先端融合領域として取り組む必要性・重要性

ムーアの法則が着実に実現されてきたようなデジタルコンピュータの急速な技術開発によって、より速くかつより大容量へとコンピュータの能力が他に類を見ない速度で発展するにつれて、逆にデジタルコンピュータでは実現困難な情報処理機能の存在が顕在化している。すなわち、人間の脳では容易に実現されている、画像や音声の意味を理解する能力、自由に言語を操る能力、さらには意識や意思、創造するといった能力は、現在のデジタルコンピュータの単純な延長では実現できそうでなく、現在のコンピュータ技術の限界が見えてきている。ただし、従来型のデジタルコンピュータの発展は、日本における産業、経済、学術分野等あらゆる分野に恩恵を被る計算リソースとして必須であり、ペタフロップス級のスーパーコンピュータの開発を目指す文部科学省主導の京速コンピュータプロジェクト等の重要性については疑いの余地はない。

一方で、従来型のデジタルコンピュータとは全く発想の異

なるコンピュータの研究開発に着手しなければ、上記で述べているような限界突破は不可能であり、21世紀の高度情報化社会が人間にとって真に豊かになることへの確証が得られない。つまり、次のような疑問にきっちりと答えることができないのである。

(1) 一文字間違えただけで動かないコンピュータは、我々にとって本当に使い易いのだろうか？

(2) 大災害が起きても柔軟に自律的に回復するような情報システムが実現できるのだろうか？

(3) コミュニケーションにとって大切な「感情」など非言語情報がうまく伝わっているのだろうか？

(4) 生物のもつ融通無碍さを実装できるのだろうか？

これらの要望に応える必要性和重要性を真摯に捉え、本拠点化構想では、生命機能と既存の物質機能の根源にある本質的な差異と類似性を「ゆらぎの利用」という視点から学び、生体のエネルギー変換・情報処理に触発された新しい原理に基づく物質機能の創成へと応用展開を図ることを目指している。これまでに述べてきたように、既存の物質材料からできた人工機械システム、例えば、従来型のデジタルコンピュータが、熱ゆらぎをはるかに超えた高いエネルギーで駆動されるシステムであり、生体分子が熱ゆらぎを巧妙に利用することにより低エネルギーで熱雑音のなかで機能を発現することとは対照的である。

この実現のためには、バイオ計測技術開発・理論構築・概念創出、ナノ材料設計、情報システム設計、ロボット設計、さらには人工臓器デザイン等すべてにおいて斬新なアプローチが求められており、まさに先端融合として取り組むことが求められている。特に、生体のゆらぎのメカニズムと人工機械システムに見られる差異と類似性を理解し、その知見を活かした応用研究へと展開するためには、生命領域、ナノ材料領域、情報システム領域、ロボット領域の最先端の研究者群が高い水準において研究協力・研究交流をはかり、既存の知識・技術の新しい組合せを通して創造性を高めることが必要不可欠と考える。

本拠点化構想の実現は、こうした研究者間の円滑な学内連携を推進するとともに、社会のニーズに直面している企業研究者との共同研究を強力に支援することになる。特に、本拠点化構想は、既に述べたように基礎となる研究のポテンシャルからも大阪大学のみが成し得るものと確信する。本拠点化構想により、現在よりもさらに高速化・高度化す

るであろう将来の情報化社会の要求に応え得る基礎科学・応用科学の構築、ならびに大学における新しい研究推進システムの体制構築に寄与し、次世代の先端融合領域イノベーション拠点のモデルを実践的に提案する。

また、こうした先駆的融合研究も、それを継続的に維持し成熟発展させていく人的資源の存在がなければ、将来的な興隆は望めない。生命領域、ナノ材料領域、情報システム領域、ロボット領域といった異分野の研究者を横断的視点で結集することにより、これら異分野を内面から融合した次世代の有能な研究者群を育成することが、本拠点化構想により可能となる。

d. 先端融合領域として見込まれる将来性

本拠点化構想では、従来のフォン・ノイマン型のコンピュータのさらなる発展の必要性・重要性は十分に認識しつつも、現在のデジタルコンピュータでは実現困難な情報処理機能の存在が顕在化しているなかで、別の方向性をもった情報処理機構の研究開発を目指すものである。つまり、本拠点化構想では、人間の脳では容易に実現されている、画像や音声の意味を理解する能力、自由に言語を操る能力、さらには意識や意思、創造するといった能力、筋肉のようになややかに作動するアクチュエータや、あるいは、未知の外乱に対しても自律的に適応する柔軟性をもったシステムの工学的実現に向けた研究開発を強力に推進する。その実現に対する社会的な期待度は極めて高く、同様の試みが多くなされてきていることも確かである。従って、本拠点化構想の先端融合領域として成果に見込まれる将来性、及び重要性については非常に高いものがある。

しかしながら同時に、現在の技術水準では早期の実現は極めて困難であるというのが一般的な認識であろう。そこで、その実現へのアプローチが非常に重要になってくる。本拠点化構想の特徴は、こうした生体らしい機能の発現に「ゆらぎ」が重要な役割をもつという視点から、従来の工学においては排除される傾向にあった「ゆらぎ」や確率性を導入することであり、これまでにない斬新な試みである。本拠点化構想においては、最終の10年目には、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し、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ことを目標にしている。

したがって、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のロボット、生体適応型の人工臓器の開発の基盤とその実装化技術の開拓へと途が拓かれるもので、その将来性には測りきれないものがある。

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世界に先行して広く社会に公表し、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。

さらに、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、柔軟に運用を図っている。

具体的には、法人化後に企業と大学で見解が異なり易い、いわゆる不実施補償についても、相互理解を図りながら迅速に契約を締結したり、組織的連携において企業側が完全に納得する契約書雛形を作成するなどの対応を行ってきた。その結果、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一元化を行い、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、

当初の数期間は極めて先端的、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、協働企業側への権利移転を実施権のみではなく、特許権自体を譲渡するなどの対応も取る。このように知的財産については、一律の固定的な戦略で望むのではなく、事業分野や事業化への段階の違いによる特性を十分に考慮しながら、協働企業とともにきめ細かな戦略を立案・実行していく。

(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。このような環境の整備等を推進しながら、全学的に女性研究者の積極的な活用を図ることが部局長会等においても議論されているとともに、本拠点化構想のような大型プロジェクトへの参画を通じた女性研究者の育成の重要性についても認識が高まっている。

さらに、前述の公募制については、一部、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。さらには、アジアにおける新しい研究ネットワークの構築と留学

生のリクルートを行うことを目標として、バンコクにも海外拠点を設置すべく準備作業を行っている。

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たところであり、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、宿舎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ところである。

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、能力にあわせた年俸・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ところであるが、今後本学が取り入れる柔軟な制度も含めて、自動的に本拠点化構想に適應できるようにする。さらに、現在、本学に雇用されている教職員で本拠点化構想に参画する教職員については、全学を挙げて推進する本構想に可能な限り専念できることが望ましく、教育・運営面の負担を軽減も含めて何らかの支援制度の導入を検討する。

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（通算の打ち切り等）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ている。

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の具体的な内容

本拠点化構想には、6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。

生命領域には、生体ゆらぎのメカニズムを「測り」、「学ぶ」という観点から、オムロン株式会社、日本電子株式会社、松下電器産業株式会社が参画する。また、生体ゆらぎの解析結果をベースに情報システムを「創り」、「使う」観点から日本電信電話株式会社、松下電器産業株式会社が参画する。同様に、ロボットシステムを「創り」、「使う」観点から三菱重工業株式会社、人工臓器を「創り」、「使う」観点からニプロ株式会社が参画する。各社のコミットメントの内容は以下の通りである。

オムロン株式会社は、近年、局在表面プラズモン共鳴を用いた生体分子の検出手法が注目されていることを重視している。そこで、本拠点化構想において、このようなナノ構造に発生する光学効果・量子効果を応用し、周期構造付加によるバンド制御、ナノ構造形成材料の検討によるエネルギー準位の狭帯域化などに取組み、ナノサイズの生体分子を高感度に検出する技術の理論検証を行う。また、それらを実現するためのナノ周期構造の高精度微細加工技術の確立を行う。

日本電子株式会社は、まず、本拠点化構想のメインテーマである生体ゆらぎのメカニズムに学んだ新たな科学技術創出に関わる知見を明確に捉えることに傾注する。その深い理解のもとに、会社にとって最重要課題である計測技術開発、新薬開発等に应用可能な装置開発、さらに新規事業に应用展開を目指した研究開発を行う。

日本電信電話株式会社は、情報システム領域に関連して、環境情報ネットワークに求められる柔軟性、多様性などの要件を複雑系の問題として定式化し、複雑系理論を援用して自立性を備えた情報ネットワークアーキテクチャを確立する基礎理論を確立する。さらに、膨大な環境センシ

ングデータを環境知識として高次化するためのマイニング機能を内包する機能ネットワークの構成法を深化させる。ニプロ株式会社は、総合研究所・人工臓器開発センター研究所長の高野久輝を中心とする研究開発グループが本拠点化構想に参画し、生体ゆらぎのメカニズムをもとに、生体に酷似した情報センサを組み込んだ高性能生体適合型人工臓器の実現を目指す。創成される最終成果をもとに、生体ゆらぎ材料によるバイオ心臓の病院等の医療機関への応用展開を目指す。

松下電器産業株式会社は、まず、本拠点化構想の主題である生体ゆらぎに学んだ「ものづくり」、「システムづくり」に関する大学における学理の究明を企業の立場で咀嚼理解する。その理解をベースにネットワーク、ヒューマンインタフェース等のユビキタス情報社会の基盤事業である情報技術関連事業や情報技術とバイオ技術が融合する新規事業に資する基礎・基盤技術としての応用展開を目指した研究開発を行う。

三菱重工業株式会社は、「生体ゆらぎ」の原理をロボットを題材に構造的に理解するため、研究員の参画とともに、初期ステージでの実験や各種ソフトウェア開発のプラットフォームとなる供試体ロボットを複数台提供し、研究の効率的な推進を図る。

(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。また、一方企業からの有能な研究者・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を、組織を運営しながら立案し、機動的に先進的取り組みを導入する。これらの先進的制度を取り入れた上で、大学全体でも取り入れるべき制度はいち早く反映する。その一環として、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。大阪大学内に、共同研究を行うために設ける独立した研究組織で、大阪大学と出資企業とが協議しながら研究を行い、柔軟かつ迅速に研究活動を運営することを特徴とし、従来の共同研究制度や寄附講座制度とは異なる効果をねらうものである。

このユニットにより大阪大学は、社会の多様な要請に応えるため、社会の発展に資する学問領域の研究拠点を産業界などと共同して大学内に長期的に確保し、協働することにより研究と社会に貢献することを目指す。共同研究ユニットは大阪大学の研究科、附属研究所、附属病院などの中に設置されるものであるが、研究を行うことを目的とし、その教員に原則として教育の義務は課さない。

(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、本構想を推進する四つの領域の研究領域リーダー、協働機関の責任者、さらに本構想に深く関わる部局の長等が参画する。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機動的かつ迅速な決断を行い、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、お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。なお、本部門に大学側から研究計画担当、協働機関からは事業計画担当の副部門長をそれぞれ置き、本拠点化構想開始当初

は、先端的・創造的イノベーション創出の立ち上げを目指し、研究計画担当副部門長が主導で推進するが、事業化計画段階からは、研究計画担当副部門長と事業計画担当副部門長が双方連携して本構想を主導する。

(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。

本拠点化構想の推進に関して、以上のように直接的な運営管理に関わる組織に加えて、外部評価の観点からも本構想について大局的な立場からご意見をいただき、諮問委員会を設ける。

(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、定期的な会合を開催し、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、本構想を成功の導くための諮問を行う。

なお、大阪大学との間で連携推進協定を既に締結している企業については、本拠点化構想への参画を、その協定のもとで推進する企画が進んでいる。その場合は、該当の連携推進協定のもとでの運営協議会の内部に、本拠点化構想に関わる協働運営ワーキンググループ(WG)を組織し、WGには本学及び企業の双方から本拠点化構想に携わる研究者と産学連携担当者が参加する形態が考えられる。本学からは本拠点化構想推進者の参加以外に、スーパー産学官連携推進本部からの教員もオブザーバーとして助言する。連携活動については各企業との連携協議を基本とするが、合意が得られれば、企業連合体の形成も推奨する。

(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。そのなかで、本拠点化構想については上記 3. a. (1)でも述べたように、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・事業段階にあわせた権利配分を行うなどの戦略を遂行する。一方で、秘密の徹底はもちろん重要であるが、秘密を保持した上で、さまざまな知が交錯しあい、新たな知を各分野の研究に導入できる、ある意味で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、本学の各部局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) 人材育成のための具体的な仕組み

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は、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。

ここでは、各研究グループのテーマと深く連動した人材育成の仕組み、あるいは、各研究科における人材育成のための仕組みとは別に、本拠点化構想で活用する横断的教育、社会人再教育による人材育成、英語コース等について記す。

(a) ナノ高度学際教育研究訓練プログラム

(1) ナノ高度学際教育

育成対象者：大学院博士前期課程（修士）

育成目標：専門分野以外のナノ関連の幅広い知識と経験を修得する。

教育手段：修士は、関連研究科のナノ関連科目約 90 科目を五つのコースに分けて、講義科目、実習を併用し、主専攻に重ねて副専攻として 9 単位以上を履修する。

(2) 産学連携 PAL 教育訓練、先端萌芽研究訓練

育成対象者：大学院博士後期課程（博士）

育成目標：ナノ関連の異分野融合による幅広い課題の提案・企画・実施を行える能力を修得する。PAL 教育訓練

では企業センスを修得する。

教育手段：一つのテーマに対して複数異分野から学生を集めて、ブレインストーミングから始めて、企画・実施・討論・報告を組み合わせて実施する。PAL 教育訓練では、企業からの派遣教員の指導と企業インターンシップにより企業センスを併せて修得する。

(3) 社会人再教育

育成対象者：企業人を対象とし、ナノ関連の研究開発、技術にかかわる仕事を現在担っているか、これから担おうとしている企業に所属する者。

育成目標：ナノ関連の幅広い課題の提案・企画・実施においてリーダーシップを発揮できる能力を修得する。

教育手段：大学院レベルの五つのコースに分けて、夜間の講義科目、実習（スクーリング）を併用し、9 単位以上を履修する。遠隔講義システムにより全国のいくつかの地域に配信している。

(4) 教育を実施する組織：現在は、ナノ研究推進機構の企画推進室会議（教授会相当）の下で、プログラム実施委員会（教務委員会相当）がプログラムを実施する。実施委員会は各コース、プログラム、実習等の責任者により構成される。平成 18 年度より、学際連携教育研究プラットフォーム（大学院全学連携教育機構）が創設され、連携教育の支援を行う予定である。

(b) 臨床医工学教育プログラム

博士前期課程、再教育に関してナノプログラムと同様のシステムを用いて、医学、工学、情報科学に跨る人材養成が実施されている。

(c) セキュア・ネットワーク構築のための人材育成

セキュア・ネットワークに関心のある情報系の博士前期・後期課程の学生、情報ネットワーク実務担当の社会人に対する集中講義形式のセミナーが実施されている。

(d) 英語特別コース

本拠点化構想関連では、生物工学国際コース、基礎工学英語特別コースなどが、英語のみで博士前期・後期課程を修了できるシステムが整備されており、日本語未修得でも優秀な外国人留学生を受け入れることが可能な大学院国際コースである。

(2) 育成された人材の活用方策

本拠点化構想における生命領域、ナノ材料領域、情報システム領域、ロボット領域は、各々、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により、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、上記のように「出向制度」を新たに確立することを目指しており、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ことを考えている。

d. 波及効果

本拠点化構想の要素技術である生命領域、ナノ材料領域、情報システム系、ロボット領域の個別分野において、世界をリードする研究開発拠点は国内的にも存在する。近年、本拠点化構想のように、物質科学、生命科学、情報科学の融合を目指した研究拠点の必要性が諸外国においても強く認識されている。先に述べたように、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、ペンシルバニア大学の医学工学研究所、ジョンズホプキンス大学の生命医学工学研究所、マックスプランク研究所などで、先端的学際研究体制の整備が進められている。また、本拠点化構想のように国内においても長期的な展望に立った包括的融合プロジェクトの立ち上げが早期に行なわれることが強く望まれている。

本拠点化構想は、近年ますます重要になってきているロボット領域をもさらに包含し、次世代融合研究領域を先取りするものであり、このような学際的研究は国際的にも稀で

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。

本拠点化構想の推進者は個別の分野において、国内外をリードする研究者で構成されている。以上のように、本拠点化構想はその対象領域の広範性、斬新性、また、参画研究者・技術者の質の高さから、世界の注目するところであり、その波及効果及び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。

4. 具体的な達成目標

(1) 3 年目における具体的な目標

本拠点化構想では、従来のフォン・ノイマン型のコンピュータのさらなる発展の必要性・重要性は十分に認識しつつも、現在のデジタルコンピュータでは実現困難な情報処理機能の存在が顕在化しているなかで、別の方向性をもった情報処理機構の研究開発を目指す。

つまり、本拠点化構想では、人間の脳では容易に実現されている、画像や音声の意味を理解する能力、自由に言語を操る能力、さらには意識や意思、創造するといった能力、肉のようにしなやかに作動するアクチュエータや、あるいは、未知の外乱に対しても自律的に適応する柔軟性をもったシステムの工学的実現に向けた研究開発を強力に推進する。

しかしながら同時に、現在の技術水準では、以上のようなシステムの実現早期は極めて困難であろうというのが一般的な認識である。そこで、その実現に向けての初期の 3 年目、中間の 7 年目、最終の 10 年目を目指したアプローチが非常に重要になってくる。本拠点化構想の特徴は、こうした生体らしい機能の発現に「ゆらぎ」が重要な役割をもつという視点から、従来の工学においては排除される傾向にあった「ゆらぎ」や確率性を導入することであり、これまでになかった斬新な試みである。そこで、本拠点化構想では、生命領域、ナノ材料領域、情報システム領域、ロボット領域の四つの先進領域を融合し、世界をリードするイノベーション創出を目指す。

まず、本拠点化構想の 3 年目における具体的な目標を次のように設定する。

全体：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。

以上の全体目標のもとで、各領域の目標を次のように設定する。

生命領域：生命領域では、本事業の基盤となる生命システムのゆらぎを「測る」観点から、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ついて「ゆらぎ」を計測し、モデル化する。

ナノ材料領域：生体シスナノ材料領域においては、生命領域と連携しながらナノ材料を「創る」という観点から、生体システムのゆらぎを直接計測するための、時間・空間分解の優れ、ダイナミクスに対応したイメージング技術を開発する。また、「ゆらぎ」を活かした「ものづくり」として、ゆらぎ内包材料として例えば室温動作スピングラス材料の設計や、有機化学手法による情報伝達、駆動のシステム系の設計を行う。

情報システム領域：情報システム領域では、生命領域での「学ぶ」という観点から明らかになった研究成果をベースにししながら、さらに、ナノ材料領域で「創る」という観点から設計・合成された人工物に関する成果を活かしながら、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を確立する。特にセンサー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、障害回復制御を実現し、新しい環境情報ネットワークアーキテクチャの実現性を明らかにする。

ロボット領域：ロボット領域では、生命領域において「学ぶ」という観点から研究推進されるアトラクター選択等に関する解析結果、さらには、ナノ材料領域で「創る」という観点から設計・合成される人工物に関する研究開発成果を活かしながら、アトラクター及びアトラクタースイッチングを用いた環境の変化に対して適応性の高い制御方法を確立する。

(2) 7年目における具体的な目標

本拠点化構想における中長期的な進展を図る上で、7年目における達成目標は非常に重要である。まず、四つの領域全体の具体的な目標を次のように設定する。

全体：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用いながら、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。

以上のような全体目標のもとで、各領域の目標を次のように設定する。

生命領域：数理情報科学、統計物理学、非線形科学的な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。特に「ゆらぎの利用」と「アトラクター選択」メカニズムに注目する。

ナノ材料領域：生体ゆらぎを活かした「ものづくり」として、有機化学手法による材料・プロセス・機能の開発。生体機能の特徴の一つである適応学習の模倣を目指し、「加算性」等の機能を持つ機能性材料による知的人工物（メモリ・センサ素子）を開発する。

情報システム領域：「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を創出し、そのソフトウェア基盤を確立する。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を構築する。

ロボット領域：高感度のセンサ情報をもとに人体に適応する人工心臓を実現する。複数の制御階層を持つ複雑な人間型ロボットを実現する。

(3) 実施期間終了後における具体的な目標

本拠点化構想においては、最終の10年目には、生体を模倣した知的人工物、情報システム構築に関わる実装技術指針を確立し、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ことを目標にしている。そこで、四つの領域全体の具体的な

目標を次のように定める。

全体：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。

このような全体目標のもとで、各領域の目標を次のように設定する。

生命領域：生体システムの階層構造に通低する基本原理を追求し、生体システムの特徴とされる「低エネルギー性」、「柔軟性」、「自発性」、「自律性」「ロバストネス」を実現した知的人工物創成、情報システム構築に関わる開発技術指針を確立する。

ナノ材料：生体ゆらぎを活かした知的人工物をロボットや人工臓器への搭載することを検討し、総合的な評価を実施する。生体の仕組みを利用して知的人工物を構築するためには、センサ部と運動部を繋げる必要がある。センサで受けた信号を伝達する手段としてポリアセチレンやポリチオフェンのような導電性高分子を用いる。ただし、バルクとしての機能ではなく、限りなく小さな単分子として用いる。その配線のコネクタとしてニューロンによる情報伝達のようなホストゲスト系を用いる。

情報システム領域：ゆらぎ原理に基づいたプロセッサを設計し、定性的な情報処理をアプリケーション開発に活用する方法を確立する。また、ゆらぎ原理に基づいたプロセッサを、ネットワーク装置（ルータ、サービスノード）などに適用し、高効率な環境情報ネットワーク基盤を創出する。

ロボット領域：アトラクターを基にした制御メカニズムおよび、インテリジェントセンサと情報処理装置を組み込んだ新世代の人工心臓を実現する。柔らかく高感度なインテリジェント皮膚センサ、人間のように柔軟で、環境の変化に対して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生体模倣型ロボットを実現する。

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のロボット、生体適応型の人工臓器の開発の基盤とその実装化技術の開拓へと途が拓かれるもので、その将来性には測りきれないものがある。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さらに発展させ、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をする等、実施期間終了後も本拠点の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。さらに、本拠点化構想で構築する協働企業コンソーシアムについても、複数企業を融合した産学連携の典型的な組織としてますます重要になることは必至であり、その存続を大学サイド、企業サイドの双方で協議する。

6. 期待される波及効果

先に述べたように、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、ペンシルバニア大学の医学工学研究所、ジョンズホプキンス大学の生命医工学研究所、マックスプランク研究所などで、先端的学際研究体制の整備が進められている。また、本事業のように国内においても長期的な展望に立った包括的融合プロジェクトの立ち上げが早期に行なわれることが強く望まれている。

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生命機能、生物工学、ナノ材料、有機化学、情報科学、ロボット、人工臓器関連から、該当分野における国際的に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6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。

一方、研究科間の協力体制についても、大阪大学として各研究科間の研究テーマや共同研究体制の整合性を図るため、役員会の下に研究推進室が設置されており、さらに個別の研究分野の調整を図る機関として研究推進室直下にナノ関連では「ナノサイエンス・ナノテクノロジー研究推進機構運営協議会」を、また、生命関連では「生命科学・生命工学研究推進機構運営協議会」を設置した。一方、附置研究所・センターについては、部局長会議の下に「学術研究機構会議」を設置して部局間調整を行っている。このように大阪大学では総合的に知力、技術力を結集する体制が備わっている。

これらを土壌として、さらに本拠点化構想を促進していくために、図1に示す体制で取り組む。大阪大学においては、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研究グループを構成する。一方企業側は、協働企業コンソーシアムを形成し、企業間での連絡を密にしながらも、大阪大学における研究グループの関連研究者とそれぞれ密な連携を図る。これにより、大阪大学の英知と企業の実現力を統合した強力な研究体制となる。

また、密に連携する企業以外に、地方公共団体や経済連合会、その他の大学とも連携を図っていく。大阪市や関西経済連合会からは実証実験場所の提供をうけ、成果展開の場とする。国内外の他大学や、独立行政法人および民間企業等の研究機関からは、当研究組織に不足しているシーズの提供や、有能な人材を特任教員等の兼任教員として受け入れる。

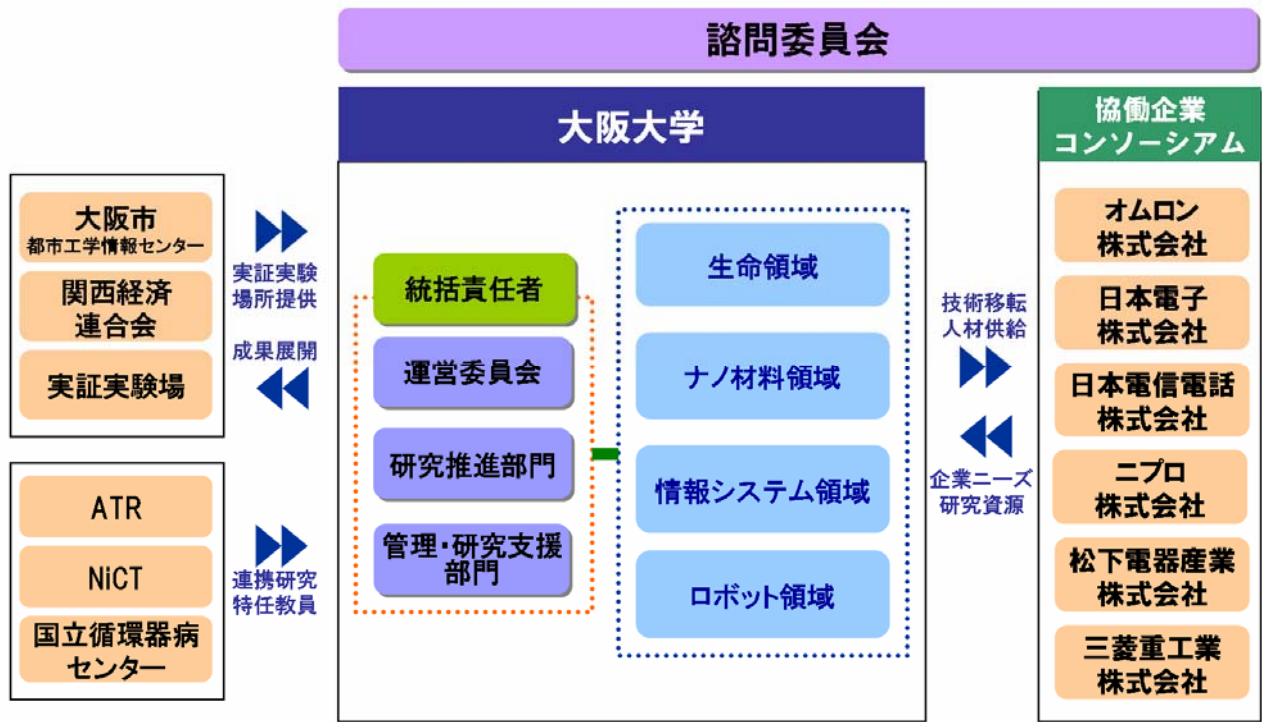


図 1. システム改革の実現体制

このような組織の実現可能性について記す。まず、部局間の壁を越えた研究グループの実現可能性については、本拠点化構想の各々の研究開発領域の推進者が該当分野において実績を伴う複数の研究科と兼任等を務めながら関連しており、その実績に基づけば、その実現可能性は非常に高い。

企業と連携した研究組織の実現可能性として、密に関連する協働企業コンソーシアムに参加する企業は、大阪大学の基礎研究に期待し、従前より共同研究を進めてきた企業がほとんどである。従って、企業とは既に高い信頼関係、密な協力関係が築かれており双方が連携した拠点化構想の速やかな進行は保障されている。

さらに、地方公共団体や関西経済連合会との連携については、本拠点化構想の推進者はこれらの団体が主催するさまざまな企画に関する委員会などに委員長として参画してきており、相互の高い信頼関係が築かれている。また、独立行政法人等の研究機関に関しても、これらの研究機関で本拠点化構想の推進者がリーダーシップを執って研究プロジェクトを推進してきた経緯があり、他方、これらの研究機関から大阪大学の客員教員に就任しているケースも多々あり、既に相互の強い連携体制が構築されている。

(※ 諮問委員会等については、27ページの「(3)協働体制の運営方法」を参照。)

氏名	所属部局・職名	当該構想における役割
◎宮原 秀夫	大阪大学・総長	総括責任者、運営委員会委員長
馬越 佑吉	大阪大学・理事（副学長）	研究推進部門部門長
○柳田 敏雄	大阪大学大学院生命機能研究科・教授	研究推進部門副部門長 生命領域における研究開発担当責任者
難波 啓一	大阪大学大学院生命機能研究科・教授	生命領域における研究開発
平野 俊夫	大阪大学大学院生命機能研究科・教授	生命領域における研究開発
四方 哲也	大阪大学大学院情報科学研究科・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
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
藤原 康文	大阪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
伊藤 正	大阪大学大学院基礎工学研究科・教授	ナノ材料領域における研究開発
原田 明	大阪大学大学院理学研究科・教授	ナノ材料領域における研究開発
○西尾 章治郎	大阪大学大学院情報科学研究科・教授	研究推進部門副部門長 情報システム領域における研究開発担当責任者
村田 正幸	大阪大学大学院情報科学研究科・教授	情報システム領域における研究開発
清水 浩	大阪大学大学院情報科学研究科・教授	情報システム領域における研究開発
尾上 孝雄	大阪大学大学院情報科学研究科・教授	情報システム領域における研究開発
○浅田 稔	大阪大学大学院工学研究科・教授	ロボット領域における研究開発担当責任者
石黒 浩	大阪大学大学院工学研究科・教授	ロボット領域における研究開発
澤 芳樹	大阪大学大学院医学系研究科・教授	ロボット領域における研究開発
宮崎 文夫	大阪大学大学院基礎工学研究科・教授	ロボット領域における研究開発

青山 茂	オムロン（株）グループ戦略室 経営戦略部・参事	ナノサイズ生体分子の高感度検出技術に関する研究開発
松下 智彦	オムロン（株）技術本部先端デバイス研究所 コア技術グループ・主事	ナノサイズ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）技術本部先端デバイス研究所 コア技術グループ・主事	ナノサイズ生体分子の高感度検出技術に関する研究開発
蓮井 亮介	オムロン（株）技術本部先端デバイス研究所 コア技術グループ・研究員	ナノサイズ生体分子の高感度検出技術に関する研究開発
成瀬 幹夫	日本電子（株）電子光学機器本部 常務執行役員	生体分子解析用極低温電子顕微鏡に関する研究開発
卜部 正章	日本電子（株）大阪支店 専任部長	生体分子解析用極低温電子顕微鏡に関する研究開発
石川 勇	日本電子（株）電子光学機器本部 EMグループ・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
岡田 忠信	日本電信電話（株）情報流通基盤総合研究所 所長	環境情報ネットワーク構築技術に関する研究開発
上田 修功	日本電信電話（株）コミュニケーション科学基礎研究所 部長	環境情報ネットワーク構築技術に関する研究開発
新井 賢一	日本電信電話（株）コミュニケーション科学基礎研究所 主任研究員	環境情報ネットワーク構築技術に関する研究開発
水谷 伸	日本電信電話（株）コミュニケーション科学基礎研究所 主任	環境情報ネットワーク構築技術に関する研究開発
柳沢 豊	日本電信電話（株）コミュニケーション科学基礎研究所 研究員	環境情報ネットワーク構築技術に関する研究開発
亀井 聡	日本電信電話（株）サービスインテグレーション基盤研究所 研究員	環境情報ネットワーク構築技術に関する研究開発

高野 久輝	ニプロ（株）総合研究所人工臓器開発センター・センター長	高性能生体適合型人工臓器に関する研究開発
堀江 政雄	ニプロ（株）総合研究所人工臓器開発センター・部長	高性能生体適合型人工臓器に関する研究開発
小林 進	ニプロ（株）総合研究所人工臓器開発センター・主任研究員	高性能生体適合型人工臓器に関する研究開発
高木 信雄	ニプロ（株）総合研究所人工臓器開発センター・副主任研究員	高性能生体適合型人工臓器に関する研究開発
川村 慎一	ニプロ（株）総合研究所人工臓器開発センター・副主任研究員	高性能生体適合型人工臓器に関する研究開発
宮部 義幸	松下電器産業（株）コーポレートR&D戦略室(兼)産学連携推進センター・室長(兼)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
上田 路人	松下電器産業（株）先端技術研究所・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
吉田 篤	松下電器産業（株）先端技術研究所 知能情報技術研究所・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
加治 充	松下電器産業（株）ネットワーク開発センター・主任技師	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）神戸造船所・所長	生体機能模倣型ロボットに関する研究開発
長島 是	三菱重工業（株）神戸造船所・技師長	生体機能模倣型ロボットに関する研究開発
大坪 記一郎	三菱重工業（株）神戸造船所先端機械・宇宙部・部長	生体機能模倣型ロボットに関する研究開発
日浦 亮太	三菱重工業（株）神戸造船所先端機械・宇宙部・主任	生体機能模倣型ロボットに関する研究開発

大嶋 京子	三菱重工業（株）神戸造船所先端機械・宇宙部・研究員	生体機能模倣型ロボットに関する研究開発
宮内 均	三菱重工業（株）神戸造船所先端機械・宇宙部・研究員	生体機能模倣型ロボットに関する研究開発
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所先進医工学センター・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

・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、生体システムのゆらぎを直接計測するための、時間・空間分解に優れ、ダイナミクスに対応した評価技術の研究開発を開始する。また、「ゆらぎ」を活かした「ものづくり」に関して、ゆらぎ内包材料として例えば室温動作スピングラス材料の設計や、有機化学手法による情報伝達、駆動のシステム系の設計を開始する。

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。特にセンサ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

御等の諸機能を有する新しい環境情報ネットワークアーキテクチャの実現性に関する研究を開始する。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、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開発を開始する。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。

・実績

(1) 生命領域における研究実績

(a) 分子モーターの熱ゆらぎ整流メカニズム

本研究課題では、生体分子における熱ゆらぎの利用メカニズムを解明するために、分子モーターを主たる研究対象とし、生体分子が $k_B T$ オーダーの低いエネルギーで作動する仕組みの解明を目指している。そのためには、生体分子の構造のゆらぎ、反応のゆらぎを高精度で計測すると共に、その機能発現の仕組みのモデル化が必要である。

本年度は、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、分子モーターのモデル化研究としては、まずその第一段階として、すでに発表された既存の膨大な数理モデルを参考に、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。

また、本研究項目に関連して、オムロン株式会社および日本電子株式会社と協働研究を開始した。具体的には、ゆらぎ計測技術の開発の一環として、オムロン株式会社とナノサイズ生体分子の高感度検出技術に関する研究を開始した。また、日本電子株式会社とは、生体分子の構造ゆらぎを的確に捉える研究開発の重要なステップとして、電子線トモグラフィのために開発した加速電圧300 kVの極低温電子顕微鏡の性能を極限まで引き出す研究を開始した。

(b) 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

細胞内分子ネットワークにおいては、熱ゆらぎに起因した分子数・分子種のゆらぎの影響を強く受けながら、シグナル処理・伝達がなされており、工学的に実現されてきた情報処理システムとは異なる動作原理で働いていると考えられる。本研究課題では、細胞内分子ネットワークにおけるゆらぎの役割および「アトラクター選択」のメカニズムを解明することを目的として、分子数・分子種のゆらぎを実測するためのイメージング技術を開発する。具体的には、遺伝子発現調節・細胞分化・細胞

運動を主たる研究対象として取り上げ、細胞内1分子イメージング法および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構築を目指す。

本年度は、細胞内分子ネットワークのゆらぎを計測するために、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。具体的には、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、大腸菌が漏出物質を通して相互作用することが必要であり、本年度は、漏出物質を通し相互作用可能となる遺伝子の大量スクリーニング系を構築した。また、候補となる遺伝子の選択を行い、イソロイシン要求性とロイシン要求性の組み合わせが有効であることが明らかになった。

また、本研究項目に関連して、松下電器産業株式会社と協働研究を開始した。具体的には、細胞内情報処理に対する「電場ゆらぎ」の効果に着目し、そのメカニズムの推定を行う研究を開始した。

(c) 脳の認知情報処理メカニズム

脳内情報処理における「ゆらぎ」の役割を明らかにするために、本研究課題では、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を行う。近年、「ゆらぎ」の重要性が明らかとなってきた「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、その脳内情報処理のゆらぎ計測および解析を行うことを目的とする。

本年度は、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。本システムでは、MEG信号の相関や位相の時間変化や次元等の動的パラメータと脳機能との対応を評価することにより、脳活動のゆらぎを評価することを目指している。システムの構築にあたり、まず、外来の諸原因による磁気ノイズを検討し、測定精度を高めるための実験条件を設定

した。そして、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。今後、ターゲットとする認知情報処理の課題に適用していく予定である。

(2) 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、時間・空間分解に優れ、ダイナミクスに対応した評価技術の研究開発を開始し、評価技術としての適用を始めた。その結果、スピングラス材料の零磁場下での時間分解吸収スペクトル測定により動的過程を評価した。また、「ゆらぎ」を活かした「ものづくり」に関して、ゆらぎ内包材料として室温動作スピングラス材料の設計を行い、作製条件の最適化を開始した。作製した試料の電気伝導特性評価から、トンネル磁気抵抗素子への適用が可能であることがわかった。今後も、素子化に向けて作成条件を最適化していく予定である。さらに、有機化学手法による情報伝達、駆動のシステム系の設計を開始した。特に、自己組織化プロセスにおけるゆらぎの影響を調べた。

スピングラス材料の作製、評価と、時間分解吸収スペクトル測定の適用から、「生命領域における研究開発」を受けて、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「ゆらぎ」を活かした「ものづくり」に関する具体的な設計、試作を開始し、材料による素子化の可能性を示すと共に、電子回路による実装を行い、材料での実装のためのパラメータ抽出の環境を整えた。今後、明らかにされたパラメータをもとに材料開発を行っていく予定である。

(3) 情報システム領域における研究実績

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。

本年度の業務実績は以下の通りである。

細胞の持つ複雑な遺伝子代謝反応ネットワークの解析に関しては、環境の変動やゆらぎの中でこの大きなネットワークが適応し安定に機能するという特性を解明し、生物システムの頑強性や拡張性を情報技術につなげることを目指している。アトラクタ選択による環境応答の原理が発見された細胞を解析することに加えて、細胞内反応をより簡

単な反応システムで再構成することによって、頑強性や拡張性の本質を探求する。具体的には、pure systemと呼ばれる試験管内遺伝子翻訳ネットワーク（約100要素のネットワーク）を人工的に構成し、そのダイナミクスを明らかにする。本年度は、翻訳ネットワークに対して、他の要素を加えた場合の遺伝子発現翻訳活性の変化を調べた結果、1%程度の要素が翻訳ネットワークに影響を与えていることが分かった。今後、観察される揺らぎ、頑強性、拡張性を細胞と比べることによって、細胞内ネットワークの特性を明らかにする。

センサネットワークに関しては、個々のセンサノードがアトラクタ選択モデルにもとづいて自律分散的にメッセージ転送先を決定する、適応的な経路制御手法を提案し、その有効性をシミュレーションによって示した。また、反応拡散方程式を利用したパターンベースの通信制御機構について、その実現性、実用性を、実機を用いた予備実験によって検証するとともに、そのシステム応用のための数学的解析およびシミュレーションによる特性分析を行い、自律分散的な制御によって望むパターンが形成されることを確認した。さらに、ノイズを積極的に利用する情報処理・通信制御の検討に取り組み、いくつかの応用シナリオを策定した。これらの研究成果は、国内学術研究集会、国際学術会議、学術論文として発表を予定、計画しており、また、あわせて、特許出願も準備中である。

モバイルアドホックネットワークに関しては、モバイル端末が他の複数のモバイル端末から受信する無線信号の強度や受信位置などの情報から、端末の現在位置および移動軌跡を推定する手法について検討した。その結果、ネットワークトポロジが動的に変更することや信号強度という不安定な対象を取り扱うため、ゆらぎの考慮が重要であることが明らかとなった。本年度は、プロジェクトの初年度ということもあり、まずは一般的なベイズ推定等の技術を利用して、位置推定を行う手法を考案した。また、アトラクタ選択モデルの利用についても検討を開始した。その結果、アトラクタ選択モデルを適用する上で、移動軌跡の推定におけるどの事象を状態情報としてモデル化するかが重要であることが明らかとなった。

さらに、ゆらぎ回路素子の実現に向けて、アトラクタ選択モデルに見合った動作が可能な材料技術について、その動作原理とシステム集積化可能性について検討した。また、

アトラクタ選択モデルに基づく回路素子を実現した際の外界とのインタフェースの実装仕様について検討するため、現行CMOSプロセスを用いてアトラクタ選択の動作をハードウェア化し、動作速度を計測した。その結果、ハードウェア化によりソフトウェア実装の場合の800倍の速度で動作するという結果を得た。今後これらの研究成果を公表していく予定である。

また、松下電器との協働の元、自律分散型カメラセンサネットワークおよび子供の見守りシステムを実現するアドホックネットワーク制御に関する研究課題に取り組んだ。さらに、NTT との協働の元、不確実なセンサデータのマイニング法、ゆらぎを使ったセンサネットワークの数理的研究、およびEmergent Overlay Networkに関する研究にそれぞれ取り組んだ。

(4) 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及び医療分野における人間とロボットの共生システムの開発に向け、下記の4項目を実施した。

(a) 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生命機能領域における専門家とともに検討を実施した。その結果、ゆらぎをロボット制御等にどのように利用すればいいかおおよその目安を得ることができた。この研究はロボットのゆらぎ制御に関する基本的な指針を与えるものである。一方協同研究を担う三菱重工においては、人と親和性の高いロボットの動作を設計するという具体的目的のもとに、ロボットの制御ソフトウェアの開発に取り組んだ。今後両者の接点をより具体的に検討していく。

(b) 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するなど、その制御手法の検討を実施した。その結果、さらなる工夫は必要とされるものの、基本的にゆらぎを用いた制御が可能であることを確認した。

(c) 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

複数の人間及びロボットが存在する環境内で、環境の変化

に対してロボットらが自律的にその役割を分化し適応するシステムを構築するために、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に利用するための、基本的な指針を得た。この細胞分化メカニズムも生体ゆらぎを基にしたものであり、より高度なロボット制御を実現する重要なメカニズムである。またこれは、将来的に協同研究を担う三菱重工のロボットに搭載が期待される機能の一つである。

(d) 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

生体に対して親和性の高い手術支援ロボットを構築するために、小型軽量化可能で、且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。この研究は生体ゆらぎを持つ人間とロボットが協調することを目指したものであり、そのためのロボットの制御においてもゆらぎが重要な役割を果たす。ロボット領域における「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第一段階として、下記の2項目を実施した。

(e) 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。

(f) 周波数成分と自律神経系指標についての解析の開始
臨床と動物実験の両面から、補助人工心臓がもたらす生体への影響を生体ゆらぎとの関係から解明するために、計算機による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い、周波数成分や自律神経系指標について解析を開始した。一方、協同研究を担うニプロにおいても、人工心臓そのもののより詳細な特性の解析を進めた。

(5) 諮問委員会等について

本研究の実施にあたっては、運営委員会、研究推進部門委員会を各々開催して、本学の各研究参画機関と協働機関である民間企業6社との総合調整等を行い、本年度の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・発信について議論した。

また、本拠点で推進するプロジェクトの趣旨および進捗状況を多方面で紹介し、これからの展開に関するご意見を広く一般から得ることを目的として、東京および大阪でシンポジウムを開催した。東京では150名の会場において立ち見ができるほどの参加者、大阪では220名もの参加者があり、本プロジェクトへの期待と興味の高さが伺われた。また、このシンポジウムの開催日と合わせて「学」および「産」の両分野からの5名の有識者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示唆をいただいた。

b. 平成 19 年度

・計画

本プロジェクトの2年目として、次年度の再審査を目指して大阪大学と協働機関、また、四つの領域が密な連携を取りながら、以下のような研究開発活動を強力に展開する。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、生体システムのゆらぎを直接計測するための、時間・空間分解に優れ、ダイナミクスに対応した評価技術の適用性について調べる。また、「ゆらぎ」を活かした「ものづくり」に関して、ゆらぎを用いた処理回路系のプロトタイプ的设计を開始し、そこで用いられる「ゆらぎ内包材料」として、例えば室温動作スピングラス材料のゆらぎの制御性に関する研究や、有機化学手法による情報伝達、駆動のシステム系の作製プロセスの検討を行う。

情報システム領域では、センサ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。

c. 平成 20 年度

・計画

生命領域では、平成 19 年度に引き続き、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、モデル化を通して、「ゆらぎ」を機能に利用するという人工機械にはない生体特有の仕組みの解明を目指す。従来の工学ではしばしば負の要因として考えられてきた「ゆらぎ」「ノイズ」「確率性」が生体においては正の要因としてはたっていることから、その仕組みを学び、ナノ材料、情報システム領域、ロボット領域と連携して、新しい工学応用への可能性を追求する。また、企業との連携としては、まずオムロン株式会社は生体分子のゆらぎ計測に資する高感度検出技術開発を昨年度に引き続き行う。日本電子株式会社は、生体分子の立体構造の計測するために、電子線トモグラフィー用の極低温電子顕微鏡の性能を極限まで引き出す研究を引き続き行う。松下電器産業株式会社は、細胞内情報処理における「ゆらぎ」の役割に着目し、確率的情報処理のモデル化を引き続き行う。さらに、平成 20 年度 4 月より新たに協働研究機関として参加することになった

た株式会社村田製作所は、分子モーターにおける「ゆらぎ」利用のメカニズムに基づいた、新しい人工筋肉（アクチュエーター）の設計を開始する。

ナノ材料領域では、平成 19 年度に得られたニューロン型確率共振電子回路によって得られた成果を基礎として、ニューロン型確率共振回路の、材料による部分的あるいは完全な素子化を目指す。ニューロン型確率共振素子は、ノイズ発生部と閾値判断部から構成される。ノイズ発生部と閾値判断部の材料による実現に際し、求められる特性を有する材料探索および物性最適化（材料開発）を行う。すなわち、室温付近に相転移を有する物質のうち、相転移に伴う物性ゆらぎを有する物質の「ノイズ発生部」としての利用可能性を検討する。また、外場誘起相転移現象を示す物質のうち、相転移に伴って電気伝導性などの巨視的物性が顕著に変化する材料を探索し、閾値判断部としての適用可能性を追求する。これらの研究と並行して、確率共振デバイスやゆらぎ利用のアトラクター選択デバイスの実用化のための企業協働を模索する。

情報システム領域では、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って、その実用性を示す。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の設計を行う。さらに、協同機関との共同研究を継続し、実証実験を行う。

ロボット領域では、生体模倣ロボットのアクチュエーターとしての利用を見据え、高出力・高性能なリニアアクチュエーターに関する研究開発に取り組む。特に、これまでシミュレーションで確認した性能を実現するために、協働機関である三菱重工業株式会社とともに、バネ特性を有したアクチュエーターの試作を繰返し行い、その性能評価及び制御手法について検討を行う。さらに、アームロボットのアクチュエーターとして試行し、その性能なども検証する。また、生物の持つ頑強な環境適応能力を実装した人工生物に関する研究においては、サルモネラ菌などの走行メカニズムを模倣した生物模倣型ロボットの試作を行い、そ

の制御においてゆらぎのメカニズムが有効に働くことを検証する。超複雑な腕ロボットシステムに関する研究においては、これまでに考案したゆらぎを利用した探索アルゴリズムに改良を加え、稼動範囲を増大させ、より人間らしい動作を生成するメカニズムを実現していく。細胞分化メカニズムを利用した複数ロボットの役割分化に関する研究においては、考案したアルゴリズムを日常活動型ロボット wakamaru に実装を行い、さらに検証を深めていく。また、医学分野においては、生体心臓のゆらぎ計測及び解析を通して、生体親和型人工心臓の実現を目指し研究開発を行う。特に、生体動物駆動実験を通して、補助人工心臓装着時における生体ゆらぎを利用した制御手法の検証を行う。また、高親和性の内視鏡手術支援ロボットシステムの構築に向け、そのロボット制御にゆらぎの組み込みを検討する。

d. 平成 21 年度～24 年度

・計画

生命領域では、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の 3 つを主たる研究課題として設定し、生体「ゆらぎ」の計測と数理モデル化を通して、「ゆらぎ」を機能に利用するという人工機械にはない生体特有の仕組みの解明を目指す。「ゆらぎ」「ノイズ」「確率性」を利用するような新しい工学を追求することによりイノベーションの道を拓く。平成 21～24 年度においては、各々の研究課題における「ゆらぎ利用」のメカニズムの理解をさらに深化させるとともに、生物の階層構造に通底する「ゆらぎ」利用の統一的数量モデルの構築を目指す。また、「ゆらぎ」を利用するための工学的設計指針を具体例に適用しつつプロトタイプ の完成を目指す。具体的には以下の 3 つについて特に重点的に研究を行う。

(a) 分子モーターの熱ゆらぎ整流メカニズム

ここでは、分子モーターを主たる研究対象として生体分子が $k_B T$ オーダーの低いエネルギーで作動する仕組みの解明および数理モデルの構築を追求してきた。平成 21～24 年度においては、分子モーターナノイメージングで得られたこれまでの実験データに基づき、数理モデルの構築を目指す。さらに、得られた数理モデルによる工学指針を基に、人工筋肉（アクチュエーター）の設計およびプロトタイプの作成を協働企業とともに取り組む。

(b) 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

ここでは、細胞内分子ネットワークにおける「ゆらぎ」の役割および「アトラクター選択」のメカニズムを解明することを目的とし、細胞内分子ネットワークの「ゆらぎ」計測と数理モデルの構築を追求してきた。平成21～24年度においては、細胞分化における「アトラクター選択」メカニズムを解明し、ロボット領域と連携して複数ロボットの制御法を開発し、自律的役割分担制御のプロトタイプの実現を目指す。また、情報システム領域、ロボット領域への応用可能な生物の適応応答の新しい様式を探求する。

(c) 脳の認知情報処理メカニズム

ここでは、脳内情報処理における「ゆらぎ」の役割を明らかにすることを目的とし、脳内のさまざまな活動の「ゆらぎ」計測と数理モデルの構築を迫ってきた。平成21～24年度においては、神経ネットワークのダイナミクスの計測や脳機能イメージングのための基盤技術の開発に取り組み、脳内の「ゆらぎ」計測を進めていく。「隠し絵」や「多義図形」の脳認知機能と脳内情報処理における「ゆらぎ」の対応関係について解析し、数理モデルの構築を目指す。

また、企業との連携としては、平成20年度に引き続き、オムロン株式会社、日本電子株式会社と連携して、生体分子のゆらぎ計測技術の開発を進める。また、協働機関である松下電器産業株式会社とは、項目(b)と関連して、確率的情報処理の数理モデル構築とプロセッサの設計を引き続き行う。さらに、株式会社村田製作所とは、項目(a)と関連した共同研究を引き続き行ない、新しい人工筋肉のプロトタイプの実現に取り組む。

ナノ材料領域では、平成18～20年度に得られた要素技術であるニューロン型確率共振素子の材料による具現化を目指す。すなわち、ニューロン型確率共振素子を構成するノイズ発生源と閾値判断部の各部分を材料によって置き換えるため、多様なゆらぎ特性を生かした研究開発を進め、そのための更なる材料・プロセス・機能開発の更なる深化と究極材料の探索を行う。また、高性能ロボット制御・親和的人工臓器・頑強な情報ネットワーク制御といった実用化を見据え、求められるデバイス素子の性能および特性を実現する材料探索および最適化を迫る。具体的には、新規物質の探索・合成と創製、原子種の選択、組成

比、構造制御などにより、室温付近に相転移点を有する材料開発を行い、物性ゆらぎの利用可能な「ゆらぎ材料」の開発を行う。また、平成20年度に引き続き、外場誘起相転移現象などの外場応答を示す物質のうち、外場変化に対して電気伝導性などの巨視的物性が顕著に変化する材料を探索し、「閾値判断部」としての適用可能性を追求する。さらに、これらの「ゆらぎ材料」と「閾値判断部」をモノリシック化や集積化により小型化し、ニューロン型確率共振デバイス素子およびゆらぎ利用のアトラクター選択素子の具現化を協働企業と共に目指す。より具体的には、以下の研究開発を行う。

(a) センサー入力部

外界の環境ゆらぎを利用した生体型センサーデバイス素子の開発(感度調節可能な赤外線センサーの開発、ガス吸着や機械的構造変化といった環境の変化に伴う有機半導体デバイスのゆらぎ特性評価、スピニングラス材料を用いた光応答型電場発生源の開発、メソポーラス材料や架橋高分子を用いた分子集合体系を用いた光スイッチング分子反応場の構築、物質濃度ゆらぎに着目した環動ゲルによる物質能動輸送膜の構築など)

(b) 脳型情報処理部

ニューロン型確率共振素子のリングフィードバック回路による生体型記憶素子およびアトラクター選択原理に基づく脳型情報処理素子の開発(強誘電体や有機半導体による学習型記憶素子、ニューロン型閾値デバイス素子)、および神経回路系のニューロン間の結合強度を動的に変調する「可塑性」に学んだ可塑性デバイス素子の開発を目指したスピニングラス材料の機能化

(c) 運動制御用出力部

セントラルパターンジェネレータ(CPG)や適応的な情報ネットワーク用ゆらぎデバイスを目指した、周波数・位相がゆらぐ「ゆらぎ発振素子」の開発

以上の(a)～(c)の各部を統合したデバイスシステム、すなわち、(a)のセンサー入力部によって得られた環境情報を、(b)脳型情報処理部においてゆらぎ処理(あいまい処理、全体を網羅的に判断)し、(c)の運動制御用出力部へ伝送することにより、環境情報を基に柔軟に動作する生体模倣型デバイスシステムのプロトタイプ構築を目指す。

情報システム領域では、生体ゆらぎに基づく適応的かつ頑強な情報システムの構築を目指した研究を進める。平成1

8～20年度においては、センサー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情報ネットワークの諸機能に関する研究開発を進め、特にアトラクター選択原理に基づくセンサー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って、その実用性を示すことが可能になりつつある。続く4年間では、階層的な制御にその適用領域を拡げ、情報システム全体を対象とした研究を行う。その実現においては、ゆらぎ原理をソフトウェアによって実装していくが、同時にハードウェア処理の実現に向けた研究開発を推進し、高速なゆらぎ処理による情報システムの構築を目指す。

平成18～20年度においては、生物ネットワーク解析に基づいて、生命領域の成果である「ゆらぎ原理」を適用した経路制御、輻輳制御、資源発見制御等を、センサーネットワーク・アドホックネットワークを対象として実現し、ゆらぎ原理を情報システムに適用することの有効性が確認できた。特に、経路制御についてはセンサーネットワーク上に実装し、実証実験システムを構築することによって、ゆらぎ原理を適用した情報システムの実用化についても目途が立ちつつある。また、カメラセンサーを用いた画像伝送制御についても協同企業との共同研究によって、その有用性が明らかになりつつある。しかし、情報ネットワークシステムは生命システムと同様に階層化をなしており、それぞれの階層における制御においてゆらぎ原理を適用した制御を実現しつつ全体システムを構築することによって始めて、ゆらぎ原理に基づく情報ネットワークシステムの構築が完成されたと言える。そこで、平成21～24年度の4年間においては、そのような、ゆらぎ原理を各階層に適用することによって、システム全体として適応的かつ頑強なシステム構築を目指していく。このような階層型構成はロボットシステムにおいてもとられており、情報システム領域とロボットシステム領域の知見を結集し、相互にフィードバックすることにより、人工物におけるゆらぎ原理の適用手法とその優位性を明らかにする。

さらに、平成20年度まではセンサーネットワークやアドホックネットワークなど、ダイナミックなシステムではあるが閉じた領域に適用されるネットワークを主として対象としてきているが、平成21年度からは広域なネットワークも視野に入れた研究をさらに推進する。すなわち、生

物ネットワーク解析に基づいて、環境変動に対して頑強な広域ネットワークシステムの構築についても研究開発を推進する。

以上の研究開発においては、ゆらぎ原理のソフトウェア処理による実現を目指してきているが、それと同時に、これまでナノ領域と重ねてきた議論に基づいて、ナノ領域において実現が予定されているゆらぎ原理に基づいた論理演算素子、回路素子を用いたボードシステム的设计を行う。平成21年度以降、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設計を完成させ、ゆらぎ原理のハードウェア動作の実現を目指した研究開発を進める。同時に、システム開発環境の実現の準備を進める。ロボット領域では、生体ゆらぎによる適応・頑強システムの構成的原理探求を目的として、ロボット制御における、ゆらぎ利用の研究を進める。平成18～20年度においては、ゆらぎに基づいてロボットを効果的に制御できることが明らかにされつつあるが、続く4年間では、階層的な制御に関しても原理を明らかにし、より複雑なロボット制御を実現すると共に、実証実験を通して協働機関である三菱重工株式会社と共に、その実用性を確認する。

ロボットに関しては、平成18～20年度において、ロボットにゆらぎを取り込んだ場合の特性を確認するための人工生物の開発、ゆらぎ探索を用いた超多自由度ロボットの制御、細胞分化メカニズムを利用した役割分化を持つ複数ロボットシステムの研究において、それぞれゆらぎの有効性を確認する基本システムを完成し、ロボット制御におけるゆらぎに基づく基本的なアルゴリズムを確立する。しかしながら、生命システムが多重の階層であるように、一つのゆらぎ探索アルゴリズムであらゆる問題が解けるわけではない。多重階層のメカニズムを工学的に実現することにより、最終的に目指す生体模倣型ロボットの生体に学んだ適応的で、効率の高い制御を実現することができる。生命システムの多重階層のメカニズムは、幼児の発達研究にも関係が深い。幼児はその行動の多様性を見ると生まれた直後は多様性が多く、一旦多様性が減り、再度多様性が増えていく。これをU字発達と呼ぶが、この多重階層のメカニズムを工学的に実現できれば、ロボットで幼児の発達の側面を説明することができると期待される。

人工心臓に関しては、平成18～20年度の研究において、人間や動物の心臓が持つゆらぎを調べるとともに、協働機

関であるニプロ株式会社と共に、人工心臓を駆動するアクチュエーターの性能について検討を重ねてきた。この4年間では、実際に人工心臓用のアクチュエーターを開発し、ロボット研究によって明らかにされたゆらぎ制御の基本アルゴリズムを取り入れることで、協働機関であるニプロ株式会社と共に補助人工心臓や人工心臓の試作を行い、動物実験によってその効果を検証することを目指す。

ゆらぎに基づく制御に関する研究開発の一方で、ロボットや人工知能の構成単位として重要なアクチュエーター開発も同時に進める。三菱重工業株式会社とは既に発案し、開発に着手している人間の筋肉特性を再現可能なリニアアクチュエーターをさらに改良し、実用化レベルの完成度を目指す。そして、そのアクチュエーターを先に述べたニプロ株式会社と協働開発する人工心臓用のアクチュエーターに用いる。また、平成20年度から参画する協働機関である株式会社 村田製作所とも連携して、構造がより人間の筋肉に近い人工筋肉を開発すると共に、それに基づいたロボットを研究開発する。よりマイクロなレベルで生体構造に近いアクチュエーターを用いることで、ゆらぎに基づく制御の有用性を検証する

e. 平成25年度～27年度

・計画

生命領域では、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の3つを主たる研究課題として設定し、生体「ゆらぎ」の計測と数理モデル化を通して、「ゆらぎ」を機能に利用するという人工機械にはない生体特有の仕組みの解明を目指している。「ゆらぎ」「ノイズ」「確率性」を利用するような新しい工学を追求することによりイノベーションの道を拓く。平成25～27年度においては、各々の研究課題における「ゆらぎ利用」のメカニズムの理解に基づき、生物の階層構造に通底する「ゆらぎ」利用の統一的数理モデルの完成を目指す。さらに、得られた数理モデルに基づいた工学的設計指針を具体例に適用することにより、「ゆらぎ」利用の仕組みを実装した新たな知的人工物の完成を目指す。具体的には以下の3つについて特に重点的に研究を行う。

(a) 分子モーターの熱ゆらぎ整流メカニズム

ここでは、分子モーターを主たる研究対象として生体分子が $k_B T$ オーダーの低いエネルギーで作動する仕組みの解明

および数理モデルの構築を追求してきた。平成25～27年度においては、これまでの「ゆらぎ」計測データに基づき、生物の階層構造に通底する「ゆらぎ」利用の統一的数理モデルの完成を目指す。さらに、人工筋肉（アクチュエーター）のプロトタイプ改良およびロボットへの実装を協働企業とともに取り組む。

(b) 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

ここでは、細胞内分子ネットワークにおける「ゆらぎ」の役割および「アトラクター選択」のメカニズムを解明することを目的とし、細胞内分子ネットワークの「ゆらぎ」計測と数理モデルの構築を追求してきた。平成25～27年度においては、細胞分化における「アトラクター選択」メカニズムを解明し、ロボット領域と連携して複数ロボットの制御法を開発し、自律的役割分担制御の実現を目指す。また、平成21～24年度で得られた適応応答の新しい様式を基に、情報システム領域、ロボット領域への応用可能な概念形成の創出を目指す。

(c) 脳の認知情報処理メカニズム

ここでは、脳内情報処理における「ゆらぎ」の役割を明らかにすることを目的とし、脳内のさまざまな活動の「ゆらぎ」計測と数理モデルの構築を追及してきた。平成25～27年度においては、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によって得られた実験データに基づき、数理モデルの完成を目指す。また、得られた数理モデルを基に、「隠し絵」や「多義図形」の脳認知機能と脳内情報処理における「ゆらぎ」利用の仕組みの解明を目指す。さらに、脳内情報処理における「ゆらぎ」利用に学ぶ、あらたな知的人工物のプロトタイプの開発を目指す。また、企業との連携としては、平成21～24年度に引き続き、オムロン株式会社、日本電子株式会社と連携して、生体分子のゆらぎ計測技術の開発を進める。また、松下電器産業株式会社とは、項目(b)と関連して、確率的情報処理の数理モデルの完成とプロセッサの開発を目指す。さらに、株式会社村田製作所とは、項目(a)と関連した共同研究を引き続き行ない、人工筋肉のプロトタイプ改良およびロボットへの実装に取り組む。

ナノ領域では、平成25～27年度には、平成24年度までに構築する環境情報を基に柔軟に動作する生体模倣型デバイスシステムのプロトタイプを、ロボット領域での高

性能ロボット制御や親和的な人工臓器ならびに情報システム領域での頑強なネットワーク制御に組み込むためのデバイス開発の融合研究の更なる実施と、その成果を元に協働企業と共に実用化へのイノベーション創出を意識した試みを行う。具体的には、以下の研究開発を行う。

(a) 材料研究開発の立場から、上述の「閾値判断部」の閾値電圧の低電圧化を目指し、デバイス消費電力の低減化を推進する。生体模倣型デバイスシステムの消費電力の低減化により、人工臓器を含む様々なロボットシステムへの適用性の向上を目指す。また、強誘電体の分極中間値の利用や閾値電圧の多値化により、より柔軟な外場応答性や情報処理の機能を有するデバイスシステムの構築を目指す。

(b) 神経回路系のニューロン間の結合強度を動的に変調する「可塑性」に学んだ可塑性デバイス素子の開発を行う。上述のニューロン型確率共振素子をベースにしたネットワークデバイスにおいて、環境情報を元に素子間の結合強度を動的に変調させることにより、従来技術では困難であったより高度な処理や判断が可能なデバイスの構築が可能となる。より具体的には、室温動作スピニングガラス材料の発光素子とのモノリシック化とそのアレイ化により、環境情報やシステムの内部状態を制御パラメータとして結合強度を変調することができる可塑性デバイス素子の開発を目指す。

(c) 様々な材料が有する特性を継承したニューロン型確率共振素子をベースに、多重階層型ネットワークデバイスによる環境センサー情報の高度な情報処理に基づく「意思・動作決定」デバイスの構築を行い、生体ゆらぎを活かした知的センサーデバイス、機能複合型インテリジェントセンサーおよびプロセッサの開発を行い、生体融合型ロボットシステムや人間社会適応型情報システムの実現に向けてデバイス開発の立場から貢献する。

(d) 平成20～24年度の研究成果を元に、材料科学の多様性を活かした様々な切り口からの生体型デバイスシステムの開発を目指し、ロボットおよび情報システム分野での適用性を検討する。有機半導体のゆらぎ特性を活かした嗅覚・味覚・触覚センサー、分子レベルのアクチュエーター、液液界面に形成した分子集合体を利用したキラルおよび磁気の同時認識センサーの実現を目指す。また、これらの分子集合体を階層的に組み合わせたメゾスコピックレベルのシステムの構築を目指す。

情報システム領域では、当初の目標に掲げた、ゆらぎ原理に基づいた情報ネットワークアーキテクチャの完成を目指す。

階層化されたネットワークアーキテクチャの中で、ゆらぎ原理が有用な制御を順次置き換えていくことによって、これまでになかった新しい原理に基づく、適応的かつ頑強な情報ネットワークアーキテクチャを実現していく。特に、現状のインターネットアーキテクチャの限界が最近指摘されるようになって、インターネットに変わる新しい新世代ネットワークアーキテクチャに関する研究開発が2015年の実現を目指して、国内外を問わず始められつつある。現状ではまだその緒についたばかりであり、最終的な形態は明らかではないが、今後、研究開発が進むにつれ、標準化などの議論も始まると予想される。平成25年前後はまさしくその時期であり、本プロジェクトの研究成果をもとに積極的に標準化活動などにも貢献し、実用化・産業化につなげていく。

また、より直接的な成果として、ナノ領域において実現されるゆらぎ原理に基づく論理演算素子、回路素子を用いた、プロトタイプシステムを実現する。そのために、インターフェースシステム、開発環境システムを開発する。具体的には、協働企業とともにゆらぎ原理に基づいたネットワークノードシステムを研究開発する。

ロボット領域では、当初の目標に掲げた、ゆらぎのメカニズムを基に、素材機能・情報処理機能ともに、人間に酷似した生体模倣型ロボットの実現と、ゆらぎのメカニズムを基に、素材機能・情報処理機能ともに、生体に酷似した情報センサーを組み込んだ高性能生体適合型人工心臓の実現を目指す。

人間に酷似した生体模倣型ロボットについては、これまでに人間の筋肉や骨の構造を模倣した複雑な腕ロボットとその制御、人間の筋肉特性を持つリニアアクチュエーター、構造的にも人間の筋肉に似た人工筋肉等、全ての技術を統合した生体模倣型ロボットを開発する。この生体模倣型ロボット総体そのものは、様々な生体研究のテストベッドであり技術の象徴であるが、その部分的な構造や機能は、知的で人間に親和的な多様なロボットシステムに利用され、ものづくりにおける技術革新をもたらすと期待される。人間の生体に近い構造や機能を持つロボットを開発する一方で、人工心臓に象徴されるような生体に親和的な人工

臓器の開発を行う。先に述べたロボット研究で開発されるアクチュエーターやセンサーの技術に加え、材料研究で生み出されるゆらぎ制御のための素子を用いて、人間の生体

に高い適応性を持つ人工心臓を開発し、人工臓器開発に新たな技術革新をもたらすことを目指す。

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 ・生体システムの構築原理の解明 ・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 ・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 ・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>○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 ・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>← 226 百万円</p>	<p>211 百万円</p>	<p>→</p>	<p>←</p>	
	<p>← 96 百万円</p>	<p>97 百万円</p>	<p>→</p>	<p>←</p>	
	<p>← 175 百万円</p>	<p>197 百万円</p>	<p>→</p>	<p>←</p>	
	<p>← 240 百万円</p>	<p>187 百万円</p>			
	<p>← 17 百万円</p>	<p>19 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 ・その他経費 <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 ・その他経費 	<p>← 27 百万円</p>	<p>63 百万円</p>	<p>→</p>	<p>←</p>	
	<p>← 53 百万円</p>	<p>16 百万円</p>	<p>→</p>	<p>←</p>	
	<p>← 28 百万円</p>	<p>51 百万円</p>	<p>→</p>	<p>←</p>	
	<p>← 52 百万円</p>	<p>28 百万円</p>	<p>→</p>	<p>←</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	→	←
	←	71 百万円	37 百万円	→	←
	←	28 百万円	51 百万円		
	←	51 百万円	24 百万円		
	←	0 百万円	0 百万円		
	←	5 百万円	5 百万円		
	総 計	754 百万円	711 百万円		
	うち調整費分	324 百万円	317 百万円		

10. 諮問委員会

委員	所属	備考
<p>○金森 順次郎 岸 輝雄 郷 通子 坂内 正夫 土井 美和子</p>	<p>(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</p>	