

平成13年度 研究開発成果報告書

「人間情報コミュニケーションの研究開発」

目 次

- 1 研究開発課題の背景
- 2 研究開発分野の現状
- 3 研究開発の全体計画
 - 3-1 研究開発課題の概要
 - 3-1-1 研究開発課題全体の内容
 - 3-1-2 サブテーマごとの研究開発課題の内容
 - 3-2 研究開発目標
 - 3-2-1 最終目標
 - 3-2-2 中間目標
 - 3-3 研究開発の年度別計画
 - 3-4 研究開発体制
 - 3-4-1 研究開発管理体制
 - 3-4-2 研究開発実施体制
 - 3-4-3 研究実施場所
- 4 研究開発の概要（平成13年度）
 - 4-1 研究開発実施計画
 - 4-1-1 研究開発の計画内容
 - 4-1-2 研究開発課題実施計画
 - 4-2 研究開発の実施内容
- 5 研究開発実施状況（平成13年度）
 - 5-1 音声言語コミュニケーション機構の研究開発
 - 5-1-1 概要
 - 5-1-2 音声言語の生物機構の研究
 - 5-1-3 音声言語学習機構の研究
 - 5-1-4 まとめと今後の課題
 - 5-2 視覚認知コミュニケーション機構の研究開発
 - 5-2-1 概要
 - 5-2-2 視覚を中心としたマルチモーダルな知覚機構の解明
 - 5-2-3 マルチモーダルなインタラクション生成のためのシステム構築
 - 5-2-4 まとめと今後の課題
 - 5-3 コミュニケーション計算神経機構の研究
 - 5-3-1 概要
 - 5-3-2 人間コミュニケーションの脳内機構の計算論的神経科学的研究
 - 5-3-3 人間の行動学習および意思決定メカニズムの解明
 - 5-3-4 サイバーヒューマンをテストベッドとした脳研究
 - 5-3-5 まとめと今後の課題

- 5-4 コミュニケーション創発機構の研究
 - 5-4-1 概要
 - 5-4-2 進化システム構成技術
 - 5-4-3 人工情動技術
 - 5-4-4 社会ダイナミクスシミュレーション技術
 - 5-4-5 遺伝子ネットワークシミュレーション技術
 - 5-4-6 まとめと今後の課題
- 5-5 総括

(添付資料)

1 研究発表、講演、文献等一覧

1 研究開発課題の背景

IT（情報技術）革命のこぼれに象徴されるように、コンピュータの普及とそれらを結ぶネットワーク化の進展は情報通信環境に劇的な変化をもたらしてきた。この変化は、これまでの「時間・距離の短縮」型の通信から「多様な時間・空間の創出」型の通信へ、必要連絡型の「メッセージ空間」から常時接続型の「自由生存空間・社会産業空間」へとパラダイムをシフトさせ、ネットワーク上でのコミュニティやサイバー社会の出現を可能としつつある。それらに加えて、携帯端末などの通信技術の普及と多様化、ペット型・人間型ロボットの出現とそれらへの社会的関心の高まりは、人類とコンピュータが共存・共栄する「新しい情報文化」の醸成をもたらすものと期待されている。

このような情報通信環境の変化・発展、さらには高齢者や障害者の存在を考慮した福祉社会への対応を考慮すると、人間にとって容易かつ自然な機械とのインタフェースがその重要性を増しつつある。また、情報通信環境の急激な変化に、果たして生物としての人間は十分適応しているのか、適応できるのか、といった疑問もある。人間性を豊かにする新たな道具として、情報通信環境をいかにして使いこなし、適応させていくかを熟慮することが必要である。そのためには、人類進化の革命となった言語と道具を発明し、それらを活用するコミュニケーション能力を発達させた脳の情報処理に学び、人間の身体的能力と学習・適応する能力の理解に根ざした基盤技術の確立が極めて重要である。

一方、ITやネットワーク化を通して人間と人間、人間と情報との出会いの機会は拡がりつつあるのに反し、人々はコミュニケーションの豊かさを実感できず、むしろ疎外感や孤立感を深め、コミュニケーション不全が散見されるのも事実である。人間はなぜコミュニケーションを欲し、コミュニケーションに何を求めるのか。そのような根元的な問いかけに応えるためには、“コミュニケーションは人間の本能である”との立場をとり、人文社会科学的な見方も含めて情報やコミュニケーションの本質を探究する情報学的な視点から、人間と人間、人間と情報、人間とシステムとのコミュニケーションを捉え直すことも重要と考える。

このような社会的・技術的背景と動向を俯瞰すると、「人間を理解する」立場から、情報通信の主体たる人間のコミュニケーションの本質究明に向けた基礎的な研究開発を早急に立ちあげ、推進・展開することが肝要である。

2 研究開発分野の現状

本研究開発課題では、上記のような背景と考え方にに基づき、人間性豊かなコミュニケーション実現のための基盤技術の確立を目的として、人間情報コミュニケーションの研究開発を行う。具体的には、音声言語情報および視覚情報の知覚・生成・統合の観点から研究展開を図る人間コミュニケーション機構の研究、計算論的神経科学のアプローチからコミュニケーションの本質に迫る計算神経機構の研究、および情報学的な視点からコミュニケーションの新たな可能性を探るインタラクション（相互作用）機構の研究を行い、未来型の情報通信機器や人間との親和性に優れた適応的なヒューマンインタフェース、学習システム・福祉機器の開発に資する先端的な要素技術の構築を図る。

これまでも人間中心のインタフェース技術の実現に向けた種々の研究開発が行われてきたが、十分に“人間に優しい”技術として実現されるには至っていない。爆発的に発展しつつあるように見える情報通信技術も、人間のコミュニケーションの代行技術としては未熟な段階にあり、人間のコミュニケーション機能を機械によって処理し、模倣しようとしたとき、明らかに破綻することになる。このような問題の根本的解決のためには、人間のコミュニケーション機能の理解に基づく戦略的研究開発が必要不可欠である。

脳の情報処理に関しては、近年人間の知性と心の問題に真正面から取り組む気運が盛り上がりつつある。しかし、それは今なお大変困難な課題であり、最大のチャレンジは、人間に対しては電気生理学的手法や解剖学的手法などが利用できない中で、如何にして心と物質を繋ぐかという点にある。進歩したとはいえ、非侵襲脳活動計測の手法は、上記手法とは比べようもないほど、得られる情報が限られている。そこで、「脳を創ることによって脳を知る」また「脳を創れる程度に脳を知る」という計算論的神経科学の立場から、脳活動非侵襲計測、心理・行動実験、生理実験のモデル化、ロボット工学的手法等の様々な手法を組み合わせる多角的な手法を用いて、脳の入力から出力までの情報処理の仕組みを解明することが重要である。

コミュニケーションの本質を探究する情報学的な視点から、人間と人間、人間と情報、人間とシステムとのコミュニケーションの新たな可能性を探る試みは萌芽的な段階にある。人文社会科学的な研究は枚挙にいとまがないが、情報科学的な方法論を導入あるいは融合した研究が立ち上がりつつある。特に、事前にモデル化しにくく、反応や行動を予測しづらい人間という対象を扱うため、方法論としては動的な変化に自律的に適応し、自ら情報生成可能なものが必要となる。そこで、自発的あるいは相互依存的に変化をつくり出す機構とそれらの変化をシステムとして調整・統合していく機構に基づき、新しい機能や構造をシステム自らが獲得・形成していくシステム構成法としての進化システムが有力な方法論となる。

3 研究開発の全体計画

3-1 研究開発課題の概要

3-1-1 研究開発課題全体の内容

本研究開発課題では、人間性豊かなコミュニケーションの実現に向け、「人間を理解する」研究を展開し、「システムとして実現する」技術構築を図り、人間情報コミュニケーションの可能性を拓くための知識基盤の拡充と先端技術の創出を目指す。コミュニケーションには情報処理が必然的に伴う一方、情報発信という別の側面があり、両側面から研究を展開することが肝要である。すなわち、両側面の研究を通して、初めて人間コミュニケーションの本質の全容に迫ることができる。そのため、情報処理の側面として、①人間のコミュニケーション機能のうち最も基本となる情報入出力系として音声言語と視覚認知に着目する人間コミュニケーション機構の研究、②計算論的神経科学のアプローチから情報の入力から出力までの情報処理を一貫して扱うコミュニケーションの計算神経機構の研究、および情報発信の側面として、③情報学的な立場から人々の自発的な情報生成を誘発する仕掛けづくりを狙ったコミュニケーション創発機構の研究を行う。

具体的には、上記に掲げた3つの課題のひとつである人間コミュニケーション機構の研究を音声言語と視覚認知とに分けて行うこととし、以下に示す4つのサブテーマを設定して研究を進める。各サブテーマの概要は以下のとおりである。

(1) 音声言語コミュニケーション機構

人間の音声言語能力を理解することを通じて言語学習と音声生成の機能をシステムとして実現することを目標に、人間の体に備わった音声言語の生物的機構と言語環境に適応する学習機構を中心テーマとして音声言語を学習し生成するコミュニケー

ションモデルを構築する。

(2) 視覚認知コミュニケーション機構

人間の視覚を中心とした人間のマルチモーダルな知覚機構を解明するとともに、動的な3次元情報の認識・表出機構および視覚・発話・情動の協調機構をモデル化し、環境とのインタラクションを可能にするマルチモーダルな情報生成システムを構築する。

(3) コミュニケーション計算神経機構

「脳を創ることによって脳を知る」という計算論的神経科学のアプローチから運動制御・学習・注意などのコミュニケーションに関わる脳神経系の機能（情報処理の仕組み）を解明し、未来型の情報通信機器の開発に資する要素技術を創出する。

(4) コミュニケーション創発機構

情報学的な視点からコミュニケーションの新たな可能性を探るため、コミュニケーションという行為の基にある人間の本能的な習性に働きかけ自発的な情報発信を促すとともに、情報間の関係性を自律的に創発（発生・変化・発達）させるシステム技術を創出する。

3-1-2 サブテーマごとの研究開発課題の内容

(1) 音声言語コミュニケーション機構

本サブテーマでは、音声言語を用いた人間性豊かなコミュニケーション実現のための基盤技術の確立を目的として、人間の音声言語能力を模擬し、音声言語の学習を介助するシステムの研究を行う。音声言語は人間の体の仕組みを利用した通信方式であり、音声言語を使用する能力や音声の物理的性質は、体の形態と機能に大きく依存している。音声言語の能力は生後の言語環境に依存して発達するが、成長過程においても変化するために、学習環境にも依存する性質をもっている。これらの人間のもつ音声言語能力を機械により代行させようとする場合、あるいは人間が第二言語に適用しようとする場合、人間の機能・行動についての根本的な理解を怠るならば、音声合成の不自然性や音声認識の不確実性などの問題を生じ、また長年の語学教育にも関わらず第二言語の使用に困難をもたらすという結果を生じる。

そこで、音声言語の生成面について、計測が困難であるという理由で未解決のままになっていた形態・運動などの人間の生物機構を解明する研究と、その機構を発声発話モデルとして実現する研究を行う。また、音声言語の学習については、乳児を対象とすることが難しく、訓練システムの作成が困難であるためにこれまでに十分に研究されてこなかった第二言語を獲得する過程を主な対象として、生成と知覚の機能変化と異なる機能間の相互の関連、効率的な学習プロセス等を研究する。これらの生物機構と学習機構の研究成果を統合することにより、一つのシステムのなかで音声合成と音声認識を同時に学習する自律型音声言語処理を可能とする基盤技術を提案することができる。

ア. 音声言語の生物機構の研究

人間の音声言語の生成能力を模擬するシステムの研究開発を行う。このため、生物としての人間がもつ形態的構造と機能的特性を解明し、これらの生物機構を取り入れたシステムを構築する。人間の音声言語は、個人を識別できるだけの大きなばらつき（音声の個人性）をもちながら、等しい音韻として親子の間で取り交わすことができる性質（音声の共通性）を備えている。そこで、この特徴をもたらず機構を人間の体の中に新たに見いだすことにより、人間の機構に基づいた発声発話モデルを実現することを本課題の目標とする。

形態と運動機能の解明には、近年性能向上が著しい磁気共鳴画像法（MRI）を使用し、多くの話者を対象として発声発話器官（声帯、舌、唇など）の形状と動きを計測し、そのデータベースに基づいて生物機構の要因と音響特性あるいは音韻境界との対応関係を明らかにする。発声発話モデルの実現には、声帯の流体力学モデル、声道の音響モデル、生理学的調音モデルを構築し、人間の発声発話過程のモデルとして統合化する。また、このモデルに人間の神経機構を最大限に反映させ、性能の向上を図るため、音声生成と知覚に関わる脳機能を解明する。これには、機能的MRI（fMRI）を用いた脳機能観測法により脳幹を含めた脳内神経回路の地図（ブレインマップ）を作成し、音声生成系および音声知覚系の神経連絡を明らかにする研究を行う。

イ. 音声言語学習機構の研究

音声言語能力の学習的側面に着目し、人間が言語能力を獲得する過程における学習機構の理解を目指し、外国語学習支援システムの研究開発を行う。これまでの音声言語学習の研究では、音声の音響的特徴と人間の言語獲得や学習機能との関係など脳内処理に基づく分析はなされてこなかった。そこで、本研究では、例えば実際には存在しない外国語音の生成も可能な音声信号処理技術を駆使した学習実験を行い、音声の音響的性質と学習機能との関係を明らかにする。次に、それを基に音声言語学習モデルを構築し、より科学的・工学的に人間の音声言語学習機能を解明し、効果性・効率性で他の追随を許さない音声言語学習技術を構築する。

具体的には、音声処理技術を活用した各種外国語学習実験を行い、被験者の学習向上のプロセスやその要因を分析して学習前後の機能の変化を説明できる音声言語学習モデルを構築する。処理階層（音韻処理、語彙処理、韻律処理、統語処理など）間での学習効果の転移、および知覚と生成の間での学習効果の転移を測定する。さらに、年齢効果（幼児から高齢者まで）、母語効果（異なる言語の話者）などを明らかにし、これらの学習者要因を組み込んだ汎用的な学習モデルに発展させる。

本課題を達成するためには、多様な学習者を対象とした大規模データベースを作成する必要があり、従来の実験室の枠組みを超えたネットワーク実験環境を構築しなければならない。このため、音声言語学習に適したネットワーク環境と学習インターフェースの開発を行い、広く試験運用する。なお、本学習環境は、多様なデータの取得を主目的とするが、外国語学習支援システム（CALL 教材）と位置付け、e-Learning 環境における利用ならびに実環境への応用展開を進める。

(2) 視覚認知コミュニケーション機構

人間のコミュニケーションは、人間を対象とするばかりでなく人間をとりまく環境も対象とする。実世界の環境は、静的ではなく、環境要素の物理的な変化や、環境に身をおく人間のコミュニケーション行為自体によっても動的に変化する。すなわち、人間と環境との相互作用そのものが動的な振る舞いを産み出しつづける“場”を形成すると考える。

このような“場”における動的な振る舞いを真に解明できれば、人間の意思・感情を認識できる意思伝達システム、高度な視覚技能の訓練開発システムなど、理想的なコミュニケーションシステムの構築が可能になる。しかし、そのような“場”における人間のコミュニケーション機能は未だ充分には解明されてはおらず、環境の動的変化が人間の視覚認知に与える影響、複数のモダリティ（視覚、聴覚など）情報を駆使して環境を認識する認知機構や各モダリティ間の相互作用も明らかではない。さらに、人間の表情や動きを模擬する人工システムが介在した場合、円滑なコミュニケーションを達成するための違和感の解消や自然性の確保などの課題を解決していく必要がある。

本サブテーマでは、このような課題の解決に向けて、動的環境下における視覚を中心とした人間のマルチモーダルな知覚機構を解明するとともに、3次元動環境を認識し、顔・頭部の発話アニメーションとして表出するインタラクティブなシステムの構築を行い、次世代のコミュニケーションシステムの開発に資する基盤技術を創出する。

ア. 視覚を中心としたマルチモーダルな知覚機構の解明

本研究では、環境の変化に柔軟に対応できる高度な「適応」と環境からの膨大な視覚情報を効率良く処理するための「選択・統合」という新たな観点から、人間の視覚を中心としたマルチモーダルな知覚認知の実験とモデル化を行う。

まず、環境の動的変化が人間の視覚認知に与える影響を明らかにするため、視覚刺激に対する人間の認識、予測能力の向上や限界を探る心理物理実験を行う。そのための研究手段として、3次元環境の物理パラメータ（物体表面、奥行き、動きなど）を厳密に制御できる、仮想現実技術を活用した視覚環境シミュレータを構築する。これを用いて、動的に変化する視覚刺激を継続的に提示した時の視覚刺激に対する人間の認識、予測能力の向上や限界を心理物理実験や非侵襲脳計測実験により明らかにし、人間の視覚適応モデルを創出する。

さらに、人物の同定などの高次認知（認識・情動・行動に関わる処理）のための視覚認知の制御メカニズムに関して、要素情報（形状や動き）と認知機能（識別や情動認知）を比較的容易に知ることができる顔を題材に低次視覚から高次認知に至る情報の選択・統合機構に関するモデル構築と心理物理実験による検証を行う。

イ. マルチモーダルなインタラクション生成のためのシステム構築

自律的な人工システムが介在した場合のコミュニケーションへの影響を調べるため、3次元環境を認識して人間とのマルチモーダルなインタラクションを可能にするシステムを構築する。具体的には、トーキングヘッド（顔・頭部の発話アニメーションシステム）を対象に、それを用いてマルチモーダルな情報の生成と提示を行うシステム化技術を構築する。

まず、人間とトーキングヘッドが対面する状況を想定した場合の、例えば、視線の一致やあいづちの確認、環境中のある物体に対する共同注視などをトーキングヘッドにおいて実現するため、人間や環境の情報（位置、形状、表情など）を認識するための視覚による認識アルゴリズムを開発する。環境の動的な変化や人間のように移動や体の向きにより形状が変化する対象も扱えるようにするため、上下・左右・前後に自由に移動可能な複数のカメラを用いて、対象の3次元情報を能動的に獲得するシステムを構築する。次に、獲得した人間や環境の3次元情報を基に、人間に対してマルチモーダルなインタラクションを生成・提示するシステムとしてトーキングヘッドを構築する。トーキングヘッドは、頭の動き、表情、目の動き、発話など、動的に変化する複数のモダリティ情報を多く含み、マルチモーダルなインタラクションの好例でもある。このトーキングヘッドを使った知覚実験を通じて、人間の顔や表情の認知機能

やコミュニケーションにおける顔の役割を明らかにする。

(3) コミュニケーション計算神経機構

人間の知性の源には、非言語的なコミュニケーション能力があると考えられる。本サブテーマでは、そのコミュニケーション能力の本質、すなわち人間が外界あるいは他者と関わりを持つ際の脳神経系の機能、特に情報処理の仕組みを明らかにすることを研究開発の主眼とし、未来型の情報通信機器の開発に資する要素技術を創出する。

近年人間の知性と心の問題に真正面から取り組む気運が盛り上がりつつあるが、いまなおそれは大変困難である。最大のチャレンジは、人間に対しては電気生理学的手法や解剖学的手法などが利用できない中で、如何にして心と物質を繋ぐかという点にある。進歩したとはいえ、非侵襲脳活動計測の手法は、上記手法とは比べようもないほど、得られる情報が限られている。そこで我々は、「脳を創ることによって脳を知る」また「脳を創れる程度に脳を知る」という計算論的神経科学の立場から、脳活動非侵襲計測、心理・行動実験、生理実験のモデル化、ロボット工学的手法等の様々な手法を組み合わせる多角的な手法を用いて、脳の入力から出力までの情報処理の仕組みの解明を目指す。

具体的には、コミュニケーションの基本ともいえる運動、学習、注意等の脳機能について計算モデルを検討し、心理・行動実験によるシミュレーション、脳磁場計測計 (MEG)、fMRI による脳活動非侵襲計測を通じ、それらモデルの再構築を行う。これらの一連の取り組みを繰り返すことによりモデルの精緻化を図り、脳活動非侵襲計測により活動部位を特定する。なお、運動と注意の脳機能に関する研究は、以下のア. で、学習に関してはイ. で行うこととする。

ア. 人間コミュニケーションの脳内機構の計算論的神経科学的研究

コミュニケーションに関わる脳内機構の計算理論をより一般的なモデルとして構築するためには、運動制御の計算理論を基にした多角的・相補的な研究展開が必要である。そこで、ここでは人間のコミュニケーション機能のうち、運動制御、学習、注意などの計算理論について fMRI や MEG による脳活動非侵襲計測による実験的検証を行う。

具体的には、計算論的手法に基づき、人間のコミュニケーション機能に関する様々な計算理論やモデル (モザイク、運動制御、階層強化学習モデル等) を構築する。また、身体運動の制御に役立つと言われてきた小脳内部モデルが、①運動学習時、②道具使用時にどのように役立っているのか、③逆に内部モデルによる制御が役に立たない予測不可能な状況ではどのように学習・制御を行っているのかを調べる。さらには、コミュニケーションすなわち自己と他者の運動の認識に必須である、視覚処理情報のメカニズムにも迫る。これらの多角的・相補的な研究によりコミュニケーション全般を説明する計算モデルの構築を目指す。

イ. 人間の行動学習および意志決定メカニズムの解明

行動学習におけるコミュニケーションの役割とその進化の過程を明らかにするため、大脳基底核の報酬予測活動 (強化学習モデル) を発展させて、行動学習・意志決定モデルを構築し、心理・行動実験、非侵襲脳活動計測、生理実験、さらには、それらモデルを実装した学習ロボットの開発を通じて提案モデルの有効性を実証する。

(4) コミュニケーション創発機構

人間は、社会的動物と言われるように、他との関わりを求め、その関わりに意味を見出す存在と考えることができる。本サブテーマでは、コミュニケーションの情報発信の側面に着目し、コミュニケーションを“他との関係性のあり方”と捉えた関係性の創発機構を研究する。

ここで、関係性とは、対象とする要素同士が時空間的、構造的あるいは意味的に結びつけられることを意味し、創発とは、要素同士のマイクロレベルの相互作用からマクロな構造や状態が生成・出現し、さらには変化・発達するプロセスと定義する。従って、コミュニケーション（関係性）創発機構とは、人間－システム間でやり取りされる情報同士が自動的に結びついて構造化され、その構造化された情報に人間およびシステム各々が意味付けを行い、そのようなプロセスを繰り返しながら構造化された情報とその意味付けを変化・発達させる仕掛けのことである。言わば、情報が情報を呼ぶように集合・離散しながら、人間あるいはシステムにとって意味がある“かたち”に情報が自動編集される様子に例えることができる。

そのような機構を用いて、コミュニケーションという行為の基にある人間の本能的な欲求や習性に働きかけることを考える。人間は自分自身を知り（自己希求欲）、自己を表現し（自己表現欲）、自らの存在の意味を確かめ（存在表現欲）、自らの存在を集団のなかで位置付けたい（関係性欲求、社会帰属・参加欲）という思いをもつ。そのような人間の本能的な欲求を喚起し、そのための情報表現を簡便に支援する技術を創り出すことにより、人々の自発的な情報発信をごく自然に促すことが期待できる。

本サブテーマでは、関係性創発機構実現の基本的な方法論としての進化システム構成技術を核に研究展開を図る。また、近未来における情報通信環境にとって無視することのできない研究展開として、生体内の化学反応をタンパク質や酵素を要素とするネットワークの創発機構と捉える遺伝子ネットワーク技術など新技術を創出する。

ア. 進化システム構成技術

自発的あるいは相互依存的に変化をつくり出す機構とそれらの変化をシステムとして調整・統合していく機構に基づき、新しい機能や構造をシステム自らが獲得・形成していくシステム構成技術として進化システムの高度化を図る。具体的には、人間の脳に匹敵する神経細胞を有するニューラルネットワークをハードウェアとして発生・成長・進化させるセルオートマトン型人工脳（ハードウェア進化）のプロトタイプ化、並びにそれを用いたロボットの適応行動の進化実験を行い、自律性と創造性を有するシステム構成技術としての進化システムの可能性を明らかにする。

また、それらの結果を踏まえ、他との関係性の中で生ずる価値観・評価機構を育む仕組みとしての人工情動機構、社会の中での人間個々の相互作用を対象とする社会的コミュニケーションなど、関係性創発機構の構築に向けた新たな研究展開を図る。

イ. 遺伝子ネットワークシミュレーション技術

人間の基本的な行動様式が遺伝情報に左右されていることを考慮すると、ゲノム情報の視点から人間のコミュニケーション行動を理解することも重要となる。個々人のゲノム情報に基づく医療・食品・健康のための情報流通、ヒューマンインタフェースの究極のかたちとしての個性化、個々人のゲノム情報と関連付けたネットワークサービスなど、近未来の情報通信に対する影響は極めて甚大である。本サブテーマでは、そのような研究展開も視野に入れつつ、関係性創発技術とハードウェア進化技術を組み合わせた波及効果の大きい応用展開として以下の研究開発を行う。

すなわち、多細胞生物の遺伝子ネットワーク（分子間生化学反応）を超並列アーキテクチャ型のハードウェアとして具現化し、遺伝子ネットワークの高速シミュレーションを可能とするシミュレータを開発する。合わせて、生物情報に関するデータベ

スの上位レベルでの統合化を可能とするため、多様な情報の意味関係や内容を表現可能で、かつ、観点に応じて情報構造を自己組織化できる情報表現モデルを用いて生物情報の知識基盤システムを構築する。

3-2 研究開発目標

3-2-1 最終目標（平成 18 年 3 月末）

「人間情報コミュニケーションの研究開発」

- (1) 万人にとって自然で柔軟なヒューマンインタフェース実現のため、音声言語と視覚認知に関わるコミュニケーション技術を創出し、人間型の音声合成システム、年齢差・個人差に効果的に適応する音声言語学習インタフェース、自律的なトーキングヘッドシステムとして具現化する。
- (2) 計算論的神経科学のアプローチから運動制御・学習・注意などのコミュニケーションに関わる脳神経系の機能（情報処理の仕組み）を解明し、未来型の情報通信機器の開発に資する要素技術を創出する。
- (3) 人間の本能的な習性に働きかけ情報発信を促すとともに、各要素あるいは情報間の関係性を自律的に創発させるコミュニケーション創発性に優れた基盤技術を創出し、人工脳プロトタイプおよび遺伝子ネットワークシミュレータとして具現化する。

ア. 音声言語コミュニケーション機構

- ① 音声の個人性と普遍性をもたらす生物的基盤の解明
- ② 磁気共鳴画像法（MRI）による発話運動・声道音響データベースの完成
- ③ 音声言語学習機構の相互作用・年齢効果モデルの構築
- ④ 外国語音声の自動処理・日米音声の大規模データベース・外国語発音評定技術の構築

イ. 視覚認知コミュニケーション機構

- ① 視覚適応メカニズムに関する機能モデルの構築
- ② 顔の認知における選択と統合機構モデルの構築
- ③ 人間とインタラクションする自律的なトーキングヘッドの構築

ウ. コミュニケーション計算神経機構

- ① コミュニケーション神経機構におけるトップダウン的な予測とボトムアップ的な情報処理の統合モデルの構築
- ② 道具の使用や自己と他者の身体運動の認識に役立つ機構としての内部モデルの構築と脳活動非侵襲計測による検証
- ③ 外界や他者の状態推定、行動結果の予測、その評価と方向付けなど行動学習メカニズムの解明

エ. コミュニケーション創発機構

- ① 進化システムをハードウェアとして具体化したセルオートマトン型人工脳プロトタイプ構築（人工ニューロン数：10 億以上が目標）
- ② 細胞数 100 万の実時間シミュレーションが可能な遺伝子ネットワークシミュ

3-2-2 中間目標（平成 16 年 3 月末）

ア. 音声言語コミュニケーション機構

- ① 音声の個人性生成要因の解明と音響モデルの構築
- ② 音声言語学習機構の相互作用モデルの構築と言語間韻律変換技術の開発

イ. 視覚認知コミュニケーション機構

- ① 視覚適応実験に用いる視覚環境シミュレータの構築
- ② 対象物体の多視点理解と認識を行う計算アルゴリズムの構築
- ③ トーキングヘッドによる情動表出システムの構築

ウ. コミュニケーション計算神経機構

- ① 道具の使用に役立っている内部モデルのメカニズムの解明
- ② 注意および文脈情報の“一次視覚野”における視覚情報処理におよぼす影響の解明、fMRI と MEG を統合した時間的、空間的視覚ダイナミクスの研究手法の開発
- ③ 神経回路構造・生理実験データに適合する大脳基底核における強化学習のモデル提案

エ. コミュニケーション創発機構

- ① セルオートマトン型人工脳実験装置を用いたロボットの適応行動実験によるハードウェア進化の有用性の検証
- ② 細胞数 1000 を対象に 100 倍の速度でのシミュレーションが可能な遺伝子ネットワークシミュレータのプロトタイプ開発

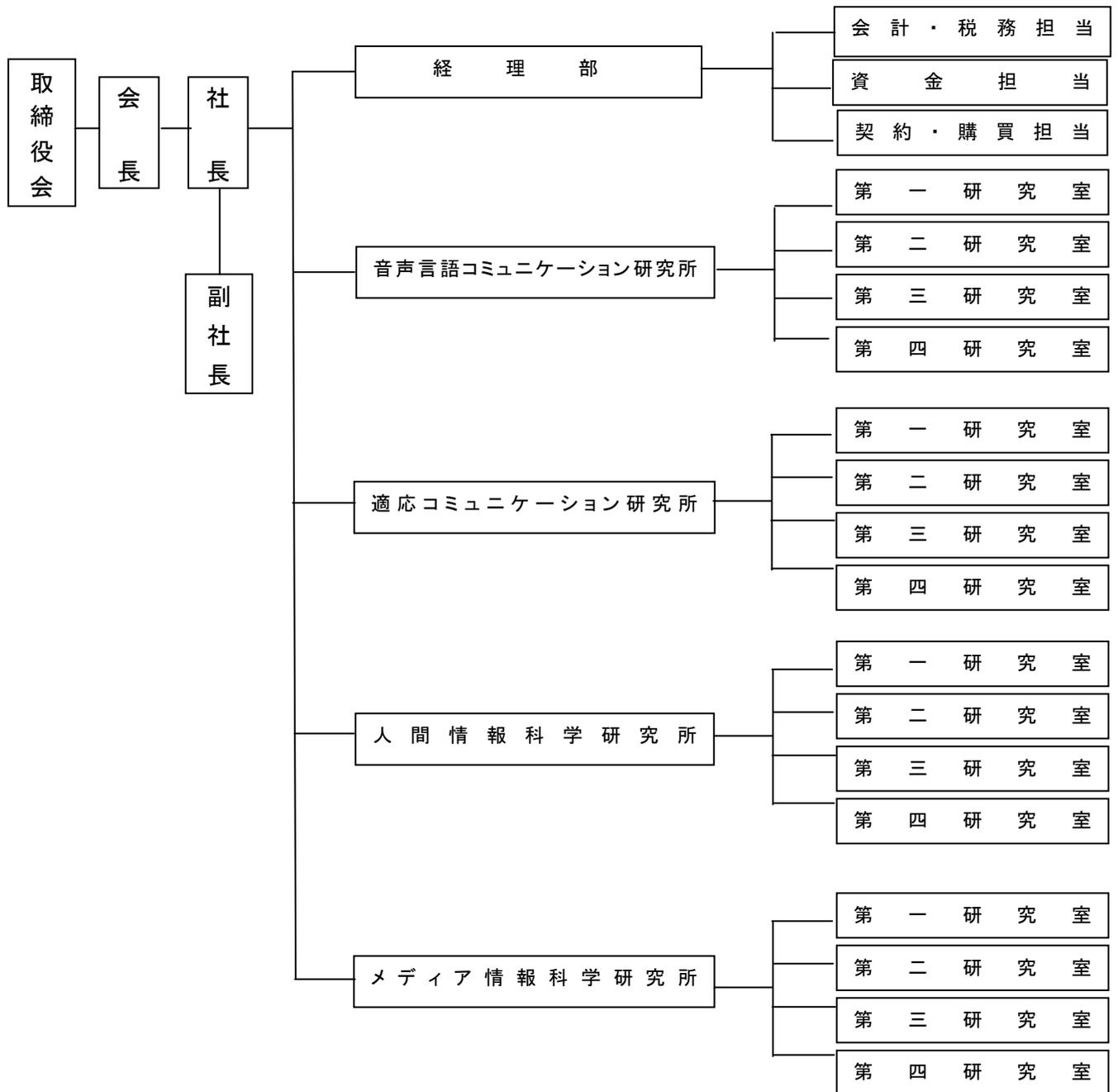
3-3 研究開発の年度別計画

(金額は非公表)

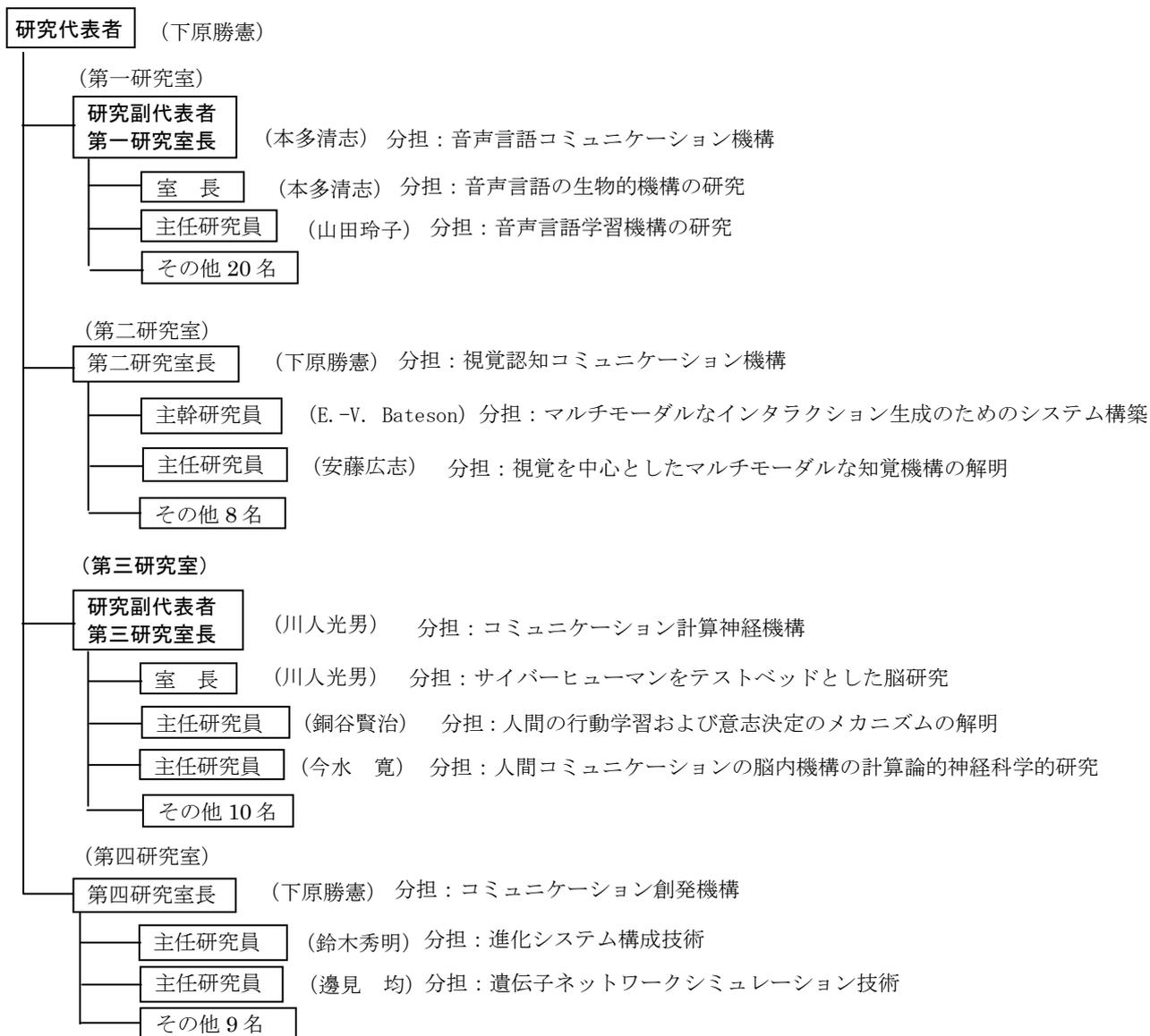
研究開発項目	13年度	14年度	15年度	16年度	17年度	計	備考
人間情報コミュニケーションの研究開発							九州芸術工科大学
(1) 音声言語コミュニケーション機構		生物的機構、学習機構の検討	生物的機構と学習機構の相互モデルの構築と評価	生物的基盤と学習的基盤の統合モデルの構築と評価			東北大学 九州大学
(2) 視覚認知コミュニケーション機構		マルチモーダルな知覚機能モデルの構築		インタラクション生成との統合 トーキングヘッド・プロトタイプ化			
(3) コミュニケーション計算神経機構		モザイクの階層強化学習 モデルの検討	脳計測実験	脳機能モデルの構築と評価 次世代ヒューマノイドロボットの開発			
(4) コミュニケーション創発機構		関係性創発機構の検討		遺伝子ネットワークシミュレータ・ 人工脳モデルのプロトタイプ化			
間接経費		研究展開フェーズ		重点化フェーズ			
			△ 中間評価		検証		
合計							

3-4 研究開発体制

3-4-1 研究開発管理体制



3-4-2 研究開発実施体制



3-4-3 研究実施場所

〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 内

4 研究開発の概要（平成 13 年度）

4-1 研究開発実施計画

4-1-1 研究開発の計画内容

人間のコミュニケーション機能を解明し、コミュニケーションの新たな可能性を拓く先端技術の創出に向けて、①音声言語コミュニケーション機構、②視覚認知コミュニケーション機構、③コミュニケーション計算神経機構、④コミュニケーション創発機構の4つのサブテーマに関して研究開発を行った。各サブテーマの平成 13 年度の研究開発内容は以下のとおりである。

- (1) 音声言語コミュニケーション機構
 - ア. 音声言語の生物機構の研究
 - ① 3次元磁気共鳴画像法（MRI）データに基づく声道形態計測
 - ② fMRI による発声発話および音声知覚の脳機能の分析
 - イ. 音声言語学習機構の研究
 - ① 音声言語学習の多面的理解に向けた語彙やリズムの学習実験
 - ② 外国語学習コンテンツの開発・評価
- (2) 視覚認知コミュニケーション機構
 - ア. 視覚を中心としたマルチモーダルな知覚機構の解明
 - ① 視覚シミュレータのシステム設計
 - ② マルチモーダル情報の低次および高次情報処理メカニズムの解析
 - イ. マルチモーダルなインタラクション生成のためのシステム構築
 - ① カメラシステムのための幾何計算手法の構築
 - ② トーキングヘッドの発話サブシステムの試作
- (3) コミュニケーション計算神経機構
 - ア. 人間コミュニケーションの脳内機能の計算論的神経科学的研究
 - ① モザイクの階層強化学習基本モデルの提案
 - ② 運動学習時の非侵襲脳活動計測実験による検証
 - イ. 人間の行動学習および意志決定メカニズムの解明
 - ① 大脳基底核の報酬予測活動をモデル化した行動学習モデルの提案
 - ② 心理・行動実験、非侵襲脳活動計測実験による検証
 - ウ. サイバーヒューマンをテストベッドとした研究
 - ① 新型アクチュエータ付き関節を用いた運動学習プログラムの高度化
- (4) コミュニケーション創発機構
 - ア. 進化システム構成技術
 - ① 進化・創発機構を利用した人工脳モデルの精緻化、物語自動生成モデルの提案および人工化学・分子コンピューティングの基本モデルの提案
 - イ. 人工情動技術
 - ① 関係性創発のための自己参照基本モデルの提案
 - ウ. 社会ダイナミクスシミュレーション技術
 - ① 分類子システムに基づく組織学習モデルの構築と Small World Network モデルを用いた情報伝播構造解析モデルの提案
 - エ. 遺伝子ネットワークシミュレーション技術
 - ① 遺伝子ネットワークシミュレータの基本モデルの設計と FPGA（Field Programmable Gate Array）を用いたブレッドボード試作

4-1-2 研究開発課題実施計画

(金額は非公表)

研究開発項目	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	計	備考
人間情報コミュニケーションの研究開発						
(1) 音声言語コミュニケーション機構	音声言語の生物的機構・学習機構の検討 ・声道形態計測と発生発話の脳機能の分析 ・音声言語の語彙やリズムの学習実験				→	九州芸術工科大学
(2) 視覚認知コミュニケーション機構	マルチモーダルな知覚機能モデルの構築 ・視覚シミュレータの設計 ・トーキングヘッドの発話サブシステムの試作				→	東北大学 九州大学
(3) コミュニケーション神経計算機構	モザイクの階層強化学習モデルの検討 ・行動学習モデルの提案と脳活動計測実験 ・運動学習プログラムの高度化				→	
(4) コミュニケーション創発機構	関係性創発機構の検討 ・進化・創発機構の応用展開モデルの提案 ・遺伝子 NW シミュレータの基本モデルの設計				→	
間接経費			研究展開フェーズ		→	
合計						

4-2 研究開発の実施内容

人間性豊かなコミュニケーション実現のため、音声・視覚の情報入出力系、脳神経系による総合処理、情報発信誘発の観点から人間のコミュニケーション機能を解明し、コミュニケーションの新たな可能性を拓く先端技術を創出する。

具体的には、i) 音声言語コミュニケーション機構、ii) 視覚認知コミュニケーション機構、iii) コミュニケーション計算神経機構、iv) コミュニケーション創発機構の4つのサブテーマに関して委託業務（研究開発）を実施した。

各サブテーマの課題は以下のとおりである。

- ① 音声言語コミュニケーション機構：人体に備わった生物的機能と言語環境に適応する学習機構に基づく音声言語インタフェース技術の創出。
- ② 視覚認知コミュニケーション機構：人間の視覚を中心としたマルチモーダルな知覚機能に基づくマルチモーダルな情報生成技術の創出。
- ③ コミュニケーション計算神経機構：コミュニケーションに関わる脳神経系の機能（情報処理の仕組み）の解明と未来型情報通信機器の開発に資する要素技術の創出。
- ④ コミュニケーション創発機構：人間とシステムとの相互作用を通じて情報間の関係性を自律的に形成することにより人々の情報発信を促すコミュニケーション誘発技術の創出。

なお、各サブテーマの進捗と得られた効果は以下のとおりである。

① 音声言語コミュニケーション機構

- ・ 音声言語の生物機構の研究では、磁気共鳴画像（MRI）動画撮像法を3次元化し、発話時の声道形態の動画記録を可能とした。これにより発話器官の立体変形と声道断面積関数の時間変化を可視化することができた。
- ・ fMRI による発声発話の脳機能の分析では、fMRI により発話時の脳幹と小脳の活動を記録した。冠状断面を用いることにより画像歪を押さえて小脳下端までの機能画像を求めることができた。これは発声発話における小脳の機能局在を支持するものである。
- ・ 音声言語学習機構の研究では、日本人を対象とした語彙学習実験、シラブル知覚学習実験を行い、それぞれ数日の実験で学習効果があがることを確認した。また、Webブラウザを使用した音韻知覚プログラム及びリズム学習プログラムを作成した。

② 視覚認知コミュニケーション機構

- ・ 視覚を中心としたマルチモーダルな知覚機構を明らかにするための実験システムである視覚シミュレータの設計を進めた。特に、広視野角の立体映像提示装置の立体提示方式（時分割／偏光方式など）や投影方式（多面／曲面投影など）については、機能や時空間精度の面から詳細なシステム設計を行った。
- ・ 顔の個人同定に関して調べる心理物理実験を計画し、実験を進行中である。低次視覚処理経路に含まれる周波数フィルタを施した画像や、顔や声の学習による再認成績の相関を調べた。本年度は、実験段階で必要な顔と声の画像、音声を収集し、編集を行った。
- ・ トーキングヘッドの発話サブシステム試作の基礎として、複数被験者について異なる表情の複数三次元顔形状を計測し、数学的に分析可能な三次元顔データベースを構築した。このデータベースから主成分を抽出し、少ないパラメータで個人の顔や表情を再現できること、また人種や性別の分類に有効と思われるパラメータを得ることができた。

③コミュニケーション計算神経機構

- ・ 試行錯誤による階層的な行動学習のモデルとして大脳基底核における報酬予測に基づき小脳で複数の運動要素を学習する手法を提案した。簡単な系列運動学習シミュレーションにより手法の有効性を示すとともに、モデル検証のための fMRI 実験で大脳基底核尾状核、小脳外側部の活動を確認した。
- ・ 運動学習時の非侵襲脳活動計測実験では道具を上手に使いこなすことを可能にする脳内機構を調べた。小脳と大脳皮質（運動前野、頭頂葉）のネットワークが重要な役割を果たしていることが明らかになった。
- ・ 人間の行動学習における大脳基底核の報酬予測活動モデルとしてドーパミン細胞の報酬予測的な応答の神経回路モデルを提案し、スパイク細胞モデルによるシミュレーションを行った。またその検証に向けたサル細胞記録実験の準備に着手した。
- ・ 心理・行動実験、非侵襲脳活動計測実験では、長期と短期の報酬予測にかかわる脳活動を比較するための行動課題を作成し、fMRI 計測実験を行い、前帯状回や小脳左半球などが長期の報酬予測に関わるという結果を得た。
- ・ 新型アクチュエータ付き関節を用いた運動学習プログラムの高度化の研究では、並列に学習できる階層型強化学習法を提案し、多自由度を持つヒューマノイドにタスク達成までに長い系列を必要とする腕の運動学習問題に対して適用し、学習時間を短縮しつつ、効率的に学習できることを示した。

④コミュニケーション創発機構

- ・ 進化・創発機構を利用した分子コンピューティングの研究では、生きた細胞を *in situ*（本来の場所）で計算機構として利用する新しい分子計算パラダイムとしてキナーゼコンピューティングのコンセプトを提案した。提案したキナーゼコンピューティングは、生きた細胞中の生体分子とその生化学反応を利用する分子計算であり、DNA や RNA などの生体分子を用いた分子計算のコスト（分子数と計算時間）の大幅削減と並列計算の性能向上が期待できる。
- ・ 人工情動の研究では、人工情動機構の創出に不可欠な自他境界の設定機構に関して、計算組織論における 4 つの組織学習、すなわち、i) 個体の持つルールの利用、ii) 個体の持つルールの生成／削除／内容変更、iii) 組織が持つルールの利用、iv) 組織の持つルールの生成／削除／内容変更との関係で捉える、新しいアプローチに着手した。
- ・ 社会ダイナミクスの研究では現実のネットワークの特徴が人々の富みの分布に与える影響に関して研究を進めた。平均経路長が短くかつクラスター係数が大きいという特徴を合わせ持つネットワークを Small World Network と呼ぶが、本研究はその概念を世界で初めて経済学に導入した研究であり、Small World Network 化すると貧富の階層が崩壊し平等化する性質があることを明らかにした。
- ・ 遺伝子ネットワークシミュレーションの研究では、FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いた遺伝子ネットワークシミュレータの実現に向けて基本モデルの設計を完了した。また、ブレッドボード試作に向けて動作条件を明らかにするための回路実験環境を構築した。

5 研究開発実施状況（平成 13 年度）

5-1 音声言語コミュニケーション機構の研究

5-1-1 概要

人間の音声言語には、思考、通信、情感表出、および身体情報の媒体としての機能があり、人間の生活と社会の形成に大きな役割を果たしている。音声言語の特徴はこ

のような多面性にあり、人間の体に備わった音声言語通信の能力と、音声言語を獲得する学習能力にその基盤を見いだすことができる。本サブテーマ、音声言語コミュニケーション機構の研究は、人間のもつ生物的機能と学習機能の解明を通じて、情報通信技術の開発を目指している。

本年度は、音声言語の生物的機構の研究に関しては、磁気共鳴画像法（MRI）を用いて発話器官や声道の形と運動を詳細に観測する新しい手法を開発し、発声発話機能のモデル化に必要な生理的・物理的な要素技術の開発を進めた。音声言語の学習機構の研究に関しては、音声情報処理の基本である、音韻、韻律、語彙に関して外国語として学習する際の問題点に関する基礎的なデータを収集、学習方法を確立し、実際の学習実験を通して効果を確認した。さらに、様々な背景を持つ学習者のデータを獲得するための基盤システムを整備した。

5-1-2 音声言語の生物機構の研究

本テーマでは、人間の音声言語を模擬する自動機械の創造を将来の目標として、発話機構の形態的・機能的特性、および音声言語コミュニケーションに関わる脳機能について、人間の音声の基盤となる生物的機能の本質的理解を目指した研究を行う。本年度は、MRI による発話器官の形態的・機能的特性の分析、発話機構の生理的・物理的モデルの構成法の基礎検討、脳機能画像法による発話時脳活動の可視化の研究を実施した。

(1) 3次元磁気共鳴画像法(MRI)データに基づく声道形態計測

ア. 発話器官の形態的・機能的特性

3次元MRI 動画撮像法による発話運動の観測を行った。日本語5母音「あいうえお」の連続発話を対象とし、その声道断面積関数の時間パターンを抽出した。この撮像法では、被験者の発話運動が時系列に沿った一連のボリュームデータとして記録される。そのデータに同一被験者の歯列の形態データを補填した後、領域拡大法を用いて声道を抽出した。さらに、声道断面積関数を求め、その時間パターンを抽出した。その結果、喉頭蓋や口蓋扁桃などの局所的な狭めは、発話運動を通じて常に観測されること、梨状窩の位置と大きさはほとんど変化しないこと、歯冠間隙の形状変化が大きいことなどが明らかになった。

声道模型を使って歯列間隙の母音への影響を測定した。男性2名による母音「え」の発声時のMRI から声道形状を抽出し、それをもとに管状構造を持つ半透明の声道模型を製作した。歯列間隙に注水しながら録音する人工母音生成実験により、歯列間隙が縮小するにつれスペクトルの谷が高域に移動する現象が観測された。これは、歯列間隙による反共振が存在すること、また、その周波数は歯列間隙の長さに関連することを示している。歯列間隙の音響効果は、梨状窩の音響効果より小さいものの、3-4kHz と 7-8kHz 付近における数 dB から 10 数 dB の減衰をもたらすと考えられる。

イ. 計測結果に基づいた音声生成機構のモデル化

発話器官の精密な形態計測に基づいて音声生成機構のモデル化を図るには声道の音響モデルについても、音響流体的要素を考慮する必要がある。このため、数値流体力学による空気流のシミュレーションを開始した。多様な音声を自在に合成することのできる音声生成モデルの構築を目指している。本年度は、空気墳流や乱流の運動を数値計算するための PC クラスタシステムを導入し、並列計算環境を整えた。この環境を用いて、初歩的な空気墳流の数値計算を行った。

また、音声生成機構のモデルを実現するため、生理学的調音モデルに新しい制御法を導入する研究を実施した。このモデルは発話器官の構造を計算機上に再現し、筋収縮により駆動する発話過程の計算モデルである。本年度は、調音筋の拮抗関

係を考慮に入れた制御方法を検討した結果、モデルの静的な特性と動的な特性が共に改善された。

(2) fMRI による発声発話および音声知覚の脳機能の分析

ア. 音声生成の分析

発話の生成における脳活動を画像化し、分析を行った。発話に関連する運動要因のうち、調音、発声、および、発声のための呼吸制御に関わる脳領域を調べた。調音運動時には大脳運動皮質および基底核の他に小脳後葉および中脳が活動していることを確認した。発声、および、発声のための呼吸制御運動を調音運動と比較すると、共に小脳の後葉下部が活動することに違いはないものの、前者の活動部位は後者にくらべて虫部寄りであることが明らかになった。

イ. 音声知覚の分析

音声知覚時の脳活動を測定するための聴覚実験手法を確定した。機能的磁気共鳴画像 (fMRI) 撮像時には騒音が発生するが、それに影響されることなく脳活動を測定する必要がある。そのために Sparse 法を用いることとし、その実験パラメータを決定した。今後、ATR 脳活動イメージングセンタの MRI 装置を用いて実験を行う。

5-1-3 音声言語学習機構の研究

本テーマでは、人間の音声情報処理のしくみを音声言語の学習という側面から明らかにするため、日本人が英語を学習する場合を中心とした多角的な研究を行った。具体的には、(1) 音声言語学習の多面的理解に向けた音韻、韻律、語彙の学習の研究および (2) 外国語学習コンテンツの開発・評価を行った。(1)では、様々な年齢の日本人を対象とした音韻知覚実験、語彙学習実験、韻律知覚学習実験を行い、それぞれ数日～数週間の実験で学習効果があがることを確認した。(2)では、Web ブラウザを使用した音韻知覚プログラム、リズム学習プログラムを作成し、また、そこで使用する音声コンテンツの収録、圧縮音声の音質評価を行った。

(1) 音声言語学習の多面的理解に向けた語彙やリズムの学習実験

音韻知覚実験では、日本人にとってたいへん難しいアメリカ英語の /r-/l/、/b-/v/、/s-/th/ などの子音の聞き取りに関してこれらの音の困難度の測定はもとより、詳細な調査、研究を行った。まず、日本語話者と韓国語話者の英語 /r//l/ 音知覚の比較から、学習者の母語が第二言語音の知覚に影響を及ぼすこと、およびこの現象を母語への同化という観点から説明できることが示された。さらに、日本語話者と韓国語話者が発音した米語 /r//l/ 音の米語話者による評定実験を実施した。その結果、生成（発音）においても知覚と同様に母語が干渉することが明らかになった。

また、聴取能力の対雑音性を測定するために、日本語話者とアメリカ英語話者を対象とし、様々な S/N 比の雑音下での /r//l/ 音の聴取実験を行い、言語間比較を行った結果、日本語話者のノイズがない条件での聴取成績はアメリカ英語話者がノイズ中の音声がかすかに聞こえる程度の S/N 条件における聞き取り成績よりも低いことがわかった。【再委託：九州芸術工科大学】

語彙学習については多くの研究者が語彙知識の獲得に焦点をあてて研究をすすめているなか、音声の混同 (R と L の混同) と関連付けた研究手法を確立し、日本語から英語、または英語から日本語という二つの翻訳方向に関して実際の学習実験を行い、

大学生では数日の訓練で効果があがること確認した。さらに、/r//l/音の音韻知覚における混同と単語の意味の混同の間に関連があることを示した。

韻律の学習では、英語では“MacDonald’s”が日本語では“マ・ク・ド・ナ・ル・ド”になるなどの言語間のリズムの違いに着目し、日本語話者にとって英語の音声リズムの基本単位とされる syllable のカウントが困難であること、また、フィードバックを提示する聴取訓練が有効であることを示した。また、英語話者に対する日本語の特殊拍（「せと」-「生徒」-「セット」の違いなど）の知覚について、英語話者を対象とした予備実験を行い、困難さの分析を行った。

上記、音韻知覚学習、語彙学習、韻律学習という3つの様相について、多様な学習者を対象とした学習実験を行うため、小学生、中学生、高校生、大学生、中高年齢者を対象とした学習実験を開始し、音声知覚の各レベルに関する系統的な研究フィールドの基盤を形成した。また、今後系統的な実験を行うための英語学習用音声データベース、日本語学習用音声データベースの作成に着手し、それぞれプロナレータ約10名による音声収録を行った。

さらに、これらの学習に関する神経基盤を探るための第一ステップとして、fMRIを用いた生理的指標の観測を音韻知覚学習に関して行った。/r/-/l/対立の学習の前後に計測を行ったところ、聞き取り能力の向上に伴い、fMRIで観察される脳活動に変化が観察され、学習の神経基盤研究に有効な研究手法が確立されたといえる。

(2) 外国語学習コンテンツの開発・評価

種々の学習内容（音韻学習、韻律学習、語彙学習、など）を多様な学習環境下（実験室での精密な実験環境、パソコンを使用した家庭での個別学習環境、LAN環境を用いた授業内での学習環境、インターネットを利用した大規模ネットワーク上でのオンライン学習環境など）で実施することにより大規模かつ系統的に研究を進めるため、これまでにATRで開発してきたATR CALL (ATR Computer Assisted Language Learning System)という学習支援システムを利用し、実験内容と実験データの一元管理による研究データの取得・分析を試みた。このATR CALLを中心に研究を進めることにより、多くの学習参加者のデータを募りつつ、データの分析から得られた効果的な訓練方法を再びシステムにフィードバックすることが可能となる。いわば、リアルユーザとの連携で研究サイクルがスパイラルに進める体制の基盤ができたといえる。本年度は、インターネットを利用した学習環境用のサイトに対して1ヶ月につき約100名の参加者を得た。更に、LAN環境型プログラム、個別環境型プログラムを、研究協力校において試用し、現場教師の意見集約を行った。

また、このシステムを利用して、音声言語学習研究をすすめる際の外国語学習コンテンツ要素技術として、第二言語の発音における音韻や韻律を客観的に評価し、個別学習におけるフィードバックとして役立てるため、日本語話者に対する英語発音評定システム作成の基となる英語音響モデルの作成、基本音声認識システムの作成を行い、精度の改善を行った。また、遠隔学習環境での学習コンテンツでは音声配信時間の問題がある。これを解決するため、圧縮英語音声を音韻明瞭度の観点から測定し、音韻別に使用可能な圧縮方式候補を選択した。

さらに、外国語発音プログラムの要素技術として音声変換技術の有効性の調査の結果、音素セグメンテーションの精度向上およびスピードの補償をすることによって、学習効果を飛躍的に向上させる可能性があることが示された。【再委託：和歌山大学】

5-1-4 まとめと今後の課題

音声言語の生物的機構の研究に関しては、分岐管を含めて声道の3次元形状を運動画像として記録し、分岐管の音響的効果を明らかにした。また、発話器官の運動から音声生成を実現する計算手法と声道の流体音響現象を分析する計算手法を開発した。さらに、発話時脳機能の画像化に要する観測法を確立した。今後は、MRIによる形態と機能の分析に要する歯列撮像法、喉頭撮像法の改善、生理的・物理的モデル化に要する計算手法の改善を行う。

音声言語の学習機構の研究に関しては、音声言語学習における階層性について、音韻、語彙、韻律のそれぞれの階層における基礎データおよび学習実験データを集積した。また、それらの研究を今後多様な学習者を対象とした学習実験に発展させるためのシステムの基盤を作成した。今後は、i) 各階層間の関係の研究、ii) 知覚と生成の関係の研究、iii) 学習対象者の拡大、iv) さらなる学習技術の改善により音韻生成、韻律生成訓練プログラムの確立、v) それに向けた音声データベースの拡充などが課題である。

5-2 視覚認知コミュニケーションの機構の研究

5-2-1 概要

人間の自然なコミュニケーションは、視覚情報と聴覚情報を主とした複数のモダリティにまたがり、また、複雑で動的に変化する環境下で起こり得る。このとき重要な役割を果たす人間の視覚機能を解明するとともに、発話や情動、身振りといったマルチモーダル情報がどのように生成、知覚され、また、脳内でどのように処理されるのかを解明することを目標とする。さらに、このようなマルチモーダルな情報を認識し、提示するシステムの構築も試みる。

これらの目標を達成するために、本年度は、人間と環境、知覚と生成という二組の要素を組み合わせた四つのテーマを掲げ、研究を進めた。

[環境×生成]：視覚シミュレータのシステム設計

[人間×知覚]：マルチモーダル情報の低次および高次情報処理メカニズムの解析

[環境×知覚]：カメラシステムのための幾何計算手法の構築

[人間×生成]：トーキングヘッドの発話サブシステムの試作

これら四つのテーマは独立ではなく、むしろ、互いに密に関係しあっている。たとえば、人間の視覚、マルチモーダル情報処理機能を知覚実験を通して計測、モデル化するためには、実験刺激として、トーキングヘッドシステムと、複雑で動的な視覚刺激を提示する広視野角の視覚シミュレータが必須である。さらに、このトーキングヘッドは、聴覚や視覚、運動、言語処理に関連した様々な領野にまたがる脳機能研究にも利用できる。また、人間とインタラクティブにマルチモーダル情報をやりとりするシステムの実現に向けた第一歩として、環境中の情報をカメラによって取得するシステムを開発しなくてはならない。

5-2-2 視覚を中心としたマルチモーダルな知覚機構の解明

(1) 視覚シミュレータのシステム設計

環境の動的変化が人間の視覚適応に与える効果を実験的に解明するために、3次元環境の物理パラメータを制御可能な視覚環境シミュレータの構築を試みる。

本年度は、広視野角の立体映像を提示するための基本的な技術を様々な角度から検討し、視覚シミュレータの光学系と制御マシンに関するシステム設計を行った。

ア. 視覚シミュレータの光学系と制御マシンの設計

広視野角の立体映像提示装置の基本技術となる、立体提示方法（時分割／偏光方式など）、プロジェクタ方式（DLP／3管式など）、投影方法（多面／曲面投影など）、マシン制御方法（同期技術など）を調査し、機能、時空間精度、スペース、コストの面からシステム設計の詳細な検討を行った。その結果、現在構築可能な大型の仮想現実提示装置は3タイプに分類できることが分かった。i) マルチパイプライン方式：最も安定した制御方法だが、この機能を持つマシンは高価。ii) PC クラスタ方式：複数のマシンを同期して多面表示させる方式。最近、Genlock 付き Graphics Card の開発などにより、比較的安価に構築できる可能性があるが、厳密なデータ同期には複雑な機構が必要。iii) 映像変換方式：マシン1台で曲面、多面に投影する方式。同期の問題がなく、低コストだが、空間解像度が限定され、画像変換ソフトの開発が必要。本年度は、特に、映像変換方式による新しい多面投影システムを提案し、その機構と機能を検討した。

今後は、さらに視覚認知研究に適した立体映像提示装置を追求していく方針である。

(2) マルチモーダル情報の低次および高次情報処理メカニズムの解析

コミュニケーションにおいて、人間がどのような情報を利用し、また、どのような情報を相手に伝えているのかを解明するとともに、これらの情報が人間の脳内でどのように処理されているのかを解明する。本年度は、マルチモーダルな発話行動の計測と、心理物理的な知覚実験を主に行った。

ア. 非言語的顔情報の解析

我々は、顔から、人物の同定や国籍、年齢、その人の気分、性格などの、コミュニケーションにおける初期的情報を獲得していると考えられる。この情報は、非常に強固であるので、顔の静止画を識別することはいとまたやすい。しかし、現実には顔の情報は、常に変化する周囲の環境の下で、時間とともに動的に得られるものである。もちろん、顔の表情などは本質的に動的なものであるともいえる。

このような情報がいかに形成され、また知覚されるのかを理解するために、形状や他の潜在的かつ静的な特徴とともに、時間変化を伴う顔の性質を調べる研究を行った。

【一部再委託：東北大学、九州大学】

イ. 人間の顔知覚における時間変化情報

コミュニケーションにおいて、我々は顔の形態的、物理的な情報を利用しているのはもちろん、それらの動的な変化も観察している。たとえば、人物の同定、表情の判断、もしくは発話内容の理解では、唇、あご、眉毛のような特徴上の解剖学、生理学、行動学的な制約によって決定される顔の構造だけでなく、これらの時間変化情報もまた重要な要因である。この時間変化情報のコミュニケーションにおける役割を明らかにするため、共通した心理物理プロトコルを開発した。個人識別や単数、複数モダリティの発話処理タスクでは、2次元フィルタリング、線形モーフィング、もしくはポイントライト提示などさまざまな変換を施した連続画像を用いている。マルチモーダルな発話行動の分析と合成と同様、これらの分析の結果についても今後の実験に用いるアニメーション刺激を生成するための統制パラメータとして利用する予定である。

ウ. マルチモーダルな発話行動の知覚的・機能的評価

発話を伴うコミュニケーションにおける、頭部と顔の動きの役割を調べるため、多数の知覚実験および機能的脳イメージング研究を以下の三つについて行った。

- ① 顔のアニメーションをポイントライト提示や自然な発話顔のビデオ提示と比較し、さらに頭部の動きあり・なし条件やさまざまな状況下でパラメータ制御し、系統的に（たとえば、頭部運動の大きさなどを）比較した。全体として被験者は、アニメーションに目や歯、舌の情報がないにもかかわらず、アニメーションに対しても通常のビデオ提示と同じような応答を示した。これは、アニメーションシステムが、言語に関連して自然な顔と同じような情報を与えているからだと考えられる。さらに、被験者の応答の強さはパラメータを制御したモデルを評価するのに十分信頼できるレベルであり、視聴覚発話処理を調べるためにこれまで経験的に用いてきた制御パラメータを使ったアニメーションシステムの価値を裏付ける結果となった。
- ② 視聴覚発話知覚において、音声と視覚情報が脳内でどのように統合されているのかについてはほとんど分かっていない。そこで、視覚的発話知覚の基本的な特性を調べるため、人間の行動と脳内神経機能を調べる研究を行った。空間フィルタを施したビデオ画像と、トーキングヘッドアニメーションシステムによって合成された刺激を、多数の被験者に提示したところ、以下のようなことが分かった。
i) 顔や頭部全体の動きが観察できることで、発話の聞き取り精度が上昇し、脳内での聴覚情報処理に関連する領野の活動が増加した。
ii) 視覚情報を提示すると、発話の生成に関わる領野が活動した。
iii) 発話知覚の情報でもっとも重要な情報は、視覚刺激内の中間的な空間周波数であった。
- ③ トーキングヘッドアニメーションを用いて、運動情報の知覚を、形状やテクスチャなど他の手がかりから分離して調べる方法を開発した。最近の研究では、顔の運動情報は、視点変化を伴う顔の認識に役立つということが分かっている。ここでは、連続する運動情報を文節化し、平均化する手法を開発した。これは、形状情報に依存せず、発話時の相違を強調したり、情動表出時の顔の動きを検出したり誇張したりできるものである。この手法により、情報の時間構造と空間構造の分離が可能となった。その有効性を、モーションキャプチャデータやトーキングヘッドアニメーションシステムを用いた視覚発話課題に適用して確認した。

5-2-3 マルチモーダルなインタラクション生成のためのシステム構築

(1) 複数カメラシステムのための幾何計算手法の構築

複雑でインタラクティブな環境下で、3次元物体（人間を含む）の検出と認識システムを構築する。複数のカメラを使って、環境の情報を取得するシステムを構築する。本年度は、複数のカメラ間の幾何学的な関係を計算するアルゴリズムを実装するとともに、画像間の対応付に関する手法の開発を開始した。

ア. 二枚の画像間の対応点探索

コンピュータビジョンにおいて、重要であり根本的な問題である対応点問題の解決に向けて研究を進めた。まず、画像中から特徴点となり得る点を画像処理により抽出する。次に、ドロネー網を使って、これらの点から多数の三角形パッチを生成する。

両画像の三角形パッチ同士の相関係数を計算することで、対応を決定する。このとき、エビポーラ幾何拘束やランダムサンプリングの手法を適用することで、より正確な対応を計算できるように改良した。

(2) トーキングヘッドの発話サブシステムの試作

発話機能を持った人間の顔と頭部のアニメーションを生成する。顔や唇、頭部の動きなどを表出し、インタラクティブに人間と会話させることを目標とする。本年度は、顔の動きと形状パラメータから、顔のアニメーションを生成するアルゴリズムを作成した。また、多くの人種、性別にわたる顔と頭部の3次元形状の大規模データベースを構築した。これは、トーキングヘッドアニメーションシステムや、マルチモーダル知覚実験の基礎データとして利用する。

ア. マルチモーダル発話行為の計測と解析

発話時の音声や、声道、顔、頭部の運動、EMGによる顔と声道の筋電位など、さまざまな時間変化を伴うデータを計測し、解析した。また、複数人の自然なコミュニケーションを計測、記録するための新しい手法を開発し、得られた異なる種類のデータから、時間変化を伴うイベントを抽出・分類する多重線形、非線形な解析手法も開発した。この解析結果を以下の課題に活用した。

- ① マルチモーダルな発話生成の神経運動制御や物理的な構造を記述するための分かりやすい計算モデルの構築
- ② 実験の解析・計算手法の妥当性の検証
- ③ 標準ビデオ映像からの顔と頭部の運動の非侵襲的な計測方法の開発と検証
- ④ 発話行動時の顔面筋活動のような顔と頭部の神経運動事象の検証
- ⑤ 発話時の音声や音韻（基本周波数F0）と顔と頭部の運動の関係を記述する関数の提案

イ. トーキングヘッドアニメーションシステム

時間変化を伴う顔の動き（筋肉のEMG計測もしくは音響学的計測によって獲得）と、顔の形態パラメータ（多様なポーズを伴う顔の3次元スキャンによって獲得）とを結びつけるシステムを構築した。このシステムでは、一度パラメータを計算してしまえば、時間的、空間的分解能を保ったまま、トーキングヘッドアニメーションを、ほぼリアルタイムで生成可能である。トーキングヘッドアニメーションシステムに共通の問題点として、時間的に変化する唇内部接触部分形状の動きの表現が難しいことがあげられるが、ここでは、発話運動時の詳細な唇表面位置と速度の検出を行う新しい唇モデルを開発した。このモデルにより唇接触の正確なタイミングが明らかとなり、フレーム間の時間変化を伴う唇の速度を示すような適切な曲線が得られた。

ウ. 顔面および頭部の構造解析

円筒型3次元スキャナを使って、顔の3次元形状を記録した大規模顔データベースを構築した。このデータベースは、200名を超す被験者の発話時と表情表出行動時の9種類の顔の3次元形状を収録している点が特徴である。今後、被験者数を更に増やし、性別や人種（日本人・非日本人）のバランスを取り、合計約300名のデータベースに発展させる予定である。このデータベースを解析することで、トーキングヘッドアニメーションシステムに必要な顔の変形パラメータの抽出や、顔の構造（3次元形状）と機能（表情表出など）を分類・比較するための多次元尺度の決定などが可能になる。また、時間変化を伴う状況での静的な構造の相互依存性を調べるために、性別や人種、他の特徴と関連のある成分軸を抽出、変形させる顔モーフィングツールと、プラットフォームに依存しない可視化ツールを開発した。

エ. 年齢情報のための顔画像解析と合成

日常のコミュニケーションにおいて、年齢の知覚は我々の行動を決定する重要な初期要因である。たとえば、我々は話している相手、乳児や子供、年上の人、同僚といった相手によって我々の行動や話すパターンを変化させている。個人差とは別に、顔画像の年齢を自由に操作、合成できるシステムを構築することを目標に、本年度は、顔の年齢知覚に関わる要因を解析した。顔の年齢知覚では、テクスチャと形状両方の情報が重要であることが知られているが、ここでは、知覚された年齢に関わる顔の形状特徴を主成分分析（PCA）を用いて抽出した。知覚された年齢データを構造データの一部としてPCAに加えることで、通常は困難な年齢に関わる顔の特徴主成分を抽出することが可能になった。さらに、PCAの結果から得られたデータをもとに、どのような年齢の顔も再構築できるように、モーフィングツールを改良した。

5-2-4 まとめと今後の課題

本年度は、マルチモーダル知覚機能の解明に関しては大幅な進展がみられた。トーキングヘッドアニメーションを用いた知覚実験により、顔や頭部の運動の役割を明らかにした。また、収集した顔の3次元大規模データベースを解析することで、トーキングヘッドアニメーションシステムの改良も可能となる。視覚シミュレータの設計、3次元環境認識システムに関するの初期的な設計と実装が完了した。今後、これらの実験システム、アルゴリズム、データベースを有機的に活用し、心理実験とシステム構築を通して、人間の視覚およびマルチモーダル知覚機構を解明していく。

5-3 コミュニケーション計算神経機構の研究

5-3-1 概要

ヒトのコミュニケーションの本質、すなわち脳の神経系の機能つまり情報処理の仕組みを明らかにするためには、従来からの伝統的手法、神経生理学、神経解剖学、分子神経生物学などの大半はハードウェアレベルの研究に終始していて不十分である。この問題点を解決するために、外界や相手の状態推定、行動結果の予測と評価を行う脳内のモジュール統合の理論が必須である。「脳を創ることによって脳を知る」また「脳を創れる程度に脳を知る」という計算論的神経科学の大きな枠組みの中で、脳の入力から出力までの情報処理を首尾一貫して理解することを目指す。具体的には、計算論的手法、脳活動非侵襲計測、心理・行動実験、生理実験のモデル化、ロボット工学的手法等の手法を有機的に組み合わせ、ヒトのコミュニケーションを、良く研究されている高次脳機能、すなわち運動制御、学習、思考、注意などに基づいて解明する。

5-3-2 人間コミュニケーションの脳内機構の計算論的神経科学的研究

多重順逆対モデル MOSAIC の検討、道具の使用を可能にする脳内学習機構、MEGによる視覚ダイナミクスの検討、人腕のメカニズムと運動制御モデルの検討を開始すべく、かねてより考案していた実験パラダイムの環境整備を行った。その中のいくつかは、すでに予備実験を開始し、注目に値するデータを取得することができた。

(1) モザイクの階層強化学習基本モデルの提案

試行錯誤による階層的な行動学習のモデルとして大脳基底核における報酬予測に基

づき小脳で複数の運動要素を学習する手法を提案した。簡単な系列運動学習シミュレーションにより手法の有効性を示すとともに、モデル検証のための fMRI 実験で大脳基底核尾状核、小脳外側部の活動を確認した。

また、新たな視点として、学習や記憶の分子メカニズムである小脳長期抑圧(LTD)が作り出すシステム理解のため、LTD のモデル構築を開始した。その結果、タンパク質などの分子の化学反応に基づく、LTD の引き金となるカルシウム上昇を再現することに成功した。

また、円滑性追跡眼球運動について、生理実験による知見と計算論的研究に基づき、視標を予測・学習している座は大脳皮質 MST 野であるあり、MST 野細胞集団の活動分布は視標ダイナミクスの確率分布を符号化しているという仮説を立て、さらに確率分布を推定、予測するベイズフィルタを円滑性追跡眼球運動のアルゴリズムとして提案した。

(2) 運動学習時の非侵襲脳活動計測による検証

道具の使用を可能にする脳内学習機構、MEG による視覚ダイナミクスの検討、人腕のメカニズムと運動制御モデルの検討のための、実験心理・計算理論・脳機能非侵襲計測の実験環境の整備を行った。それぞれの予備実験を開始し、以下の結果を得る事ができた。

道具の使用を可能にする脳内学習機構においては、小脳と大脳皮質（運動前野、頭頂葉）のネットワークが重要な役割を果たしていることが明らかになった。

また、MEG による視覚ダイナミクスの検討においては視覚注意が一次視覚野の活動に、刺激が提示される前の準備段階からバックグラウンドの活動を変化させるということで影響していることを示唆するデータを得た。従来の脳磁場計測や脳波計測が計測値の平均を検討していたため、このバックグラウンドの活動の変化を見のがしてきたが、この発見は視覚注意のメカニズムの解明への糸口となるものと期待する。

人腕のメカニズムと運動制御モデルの検討については、予測できない不安定な状況においていかに脳が巧みに抵抗力の大きさ、方向、形を最適となるように調節しているかについて Nature 誌（11 月）に報告したが、その一連の研究の掘り下げとして、不安定な力場のタイプや方向を変化させ、この適応性の限界を検討するための実験パラダイムを考案、予備実験の検討を開始した。

5-3-3 人間の行動学習および意志決定メカニズムの解明

ドーパミン細胞の報酬予測的な応答の神経回路モデルを提案し、スパイク細胞モデルによるシミュレーションを行い、その検証に向けたサルの細胞記録実験を準備を開始した。また、長期と短期の報酬予測にかかわる脳活動を比較するための行動課題を作成、fMRI 計測実験を行い、前帯状回や小脳左半球などが長期の報酬予測に関わるという結果を得た。

(1) 大脳基底核の報酬予測活動をモデル化した行動学習モデルの提案

セロトニン、ノルアドレナリン、アセチルコリンなどの神経修飾物質系が、報酬予測の時間スケール、行動探索のランダムさ、学習の速度係数を制御しているという仮説の検証と具体化に向けたモデル化と実験を行った。

系列運動の学習には、基底核—大脳皮質系の異なる部位が、異なる情報表現を与え、素早い学習と確実な制御を実現しているという仮説に基づき、サルの系列運動学習データを再現するモデルの構築を行った。

(2) 心理・行動実験、非侵襲脳活動計測実験による検証

長期と短期の報酬予測の脳活動計測実験では、帯状回前部の活動が注目され、そのセロトニン系との関係を検討した。サル系列運動学習データを再現するモデルについては、仮説の検証に向けた脳活動計測実験を開始した。

5-3-4 サイバーヒューマンをテストベッドとした脳研究

階層構造を利用してシェーピングを実現するための新しい強化学習法を提案し、その有効性を示した。

(1) 新型アクチュエータ付き関節を用いた運動学習プログラムの高度化

並列に学習できる階層型強化学習法を提案し、多自由度を持つヒューマノイドにタスク達成までに長い系列を必要とする腕の運動学習問題に対して適用し、学習時間を短縮しつつ効率的に学習できることを示した。

5-3-5 まとめと今後の課題

主には、人間コミュニケーションの脳内機構の計算論的神経科学的研究、人間の行動学習および意志決定メカニズムの解明、サイバーヒューマンをテストベッドとした脳研究において、かねてより検討していた実験パラダイムを実現すべく、環境整備を行った。また、運動課題シミュレーションシステムおよびネットワークの導入により、当サブテーマの核となる計算論的手法によるモデル構築、シミュレーションの高速化が実現したことは特筆に値する。これらの新しい環境において、すでに予備実験を開始し、注目に値するデータや知見を得る事ができた。

今後は、それぞれのテーマにおいて新しい実験パラダイムにおけるデータ収集、シミュレーションを行い、モデルの計算論的な性質の解明、およびfMRIを用いたヒトの学習実験を通して脳活動計測データと計算モデルの対応付けを行うことにより、従来のモデルを高度化するとともに、新しい理論的枠組みの検討を目指す。

5-4 コミュニケーション創発機構の研究

5-4-1 概要

人間は、社会的動物と言われるように、他との関わりを求め、その関わりに意味を見出す存在と考えることができる。本サブテーマでは、コミュニケーションの情報発信の側面に着目し、コミュニケーションを“他との関係性のあり方”と捉えた関係性の創発機構の研究を進めている。

ここで、関係性とは、対象とする要素同士が時空間的、構造的あるいは意味的に結びつけられることを意味し、創発とは、要素同士のマイクロレベルの相互作用からマクロな構造や状態が生成・出現し、さらには変化・発達するプロセスと定義する。従って、コミュニケーション（関係性）創発機構とは、人間－システム間でやり取りされる情報同士が自動的に結びついて構造化され、その構造化された情報に人間およびシステム各々が意味付けを行い、そのようなプロセスを繰り返しながら構造化された情報とその意味付けを変化・発達させる仕掛けのことである。

このような機構を用いて、コミュニケーションという行為の基にある人間の本能的な欲求や習性、例えば、自己希求欲、自己表現欲、存在表現欲、関係性欲求、社会帰属・参加欲などに働きかけることを考える。人間の本能的な欲求を喚起し、そのための情報表現を簡便に支援する技術を創り出すことにより、人々の自発的な情報発信をごく自然に促すことが期待できる。

本年度は、創発機構実現の基本的な方法論としての進化システム構成技術、他との関係性の中で生ずる価値観・評価機構を育む仕組みとしての人工情動技術、それらの社会的な研究展開としての社会ダイナミクスシミュレーション技術、および生体内の化学反応をタンパク質や酵素を要素とするネットワークの創発機構と捉える遺伝子ネットワークシミュレーション技術の研究を進めた。

5-4-2 進化システム構成技術

(1) セルオートマトン型人工脳モデルの研究

3次元セルオートマトン空間に、遺伝情報に基づくニューラルネットワークをハードウェアとして発生・成長・進化させるセルオートマトン型人工脳モデルの研究では、セルオートマトン型人工脳実験装置（CBM）を用いた進化実験のための機能モジュールライブラリを作成した。本ライブラリは機能モジュールを構成単位にネットワーク構造を形成するために必要な機能モジュールを提供するものであり、and/or/xorなどの個別ゲート、フリップフロップ、消去可能なスパイク状信号メモリ、連想記憶ユニット、強化学習ユニット、作業記憶構成ユニット、および発火ニューロンユニットなどから成る。現在、それら機能モジュールの最適化およびマルチモジュール構造の高速合成のためのソフトウェアツールの開発を進めている。

(2) 進化性に着目した進化システム基本デザイン最適化の研究

進化システムの進化能力(進化性:evolvability)はその基本デザイン(=情報空間+動作規則)によって決まる。そこでまず動作規則に注目し、それを最適に設計するための実験を行った。具体的には、文字列書き換えシステムを用いて書き換え則(動作規則)を自己複製する文字列密度の最大化という基準によって最適化した。さらに、得られた最適規則のもとで自己複製文字列の空間分布を調べ上げ、密度と進化性との関係を明らかにすることに成功した。また、情報空間に注目したいくつかの考察を行った。高い進化性を持つために情報空間が満たすべきいくつかの条件を洗い出し、その考察から「確率動作によって文字列の多重集合が操作される1次元空間」が最も有望な情報空間であるとの結論を得た。現在、このシステムの概要設計を終え、実験プログラムの実装を進めている。

(3) 無意識情報から生成される物語り技法の研究

人々は無意識のうちに情報をやりとりしながら日常のコミュニケーション活動を行っている。人々のコミュニケーションは多分に即興的であり、言わば動的に物語りを生成していると考えられることもできる。そのような創発的なコミュニケーションの実現に向け、無意識情報を検出し、無意識に働きかける技法としての物語りに着目した研究を開始した。手始めとして物語り的な構造を基にした創発的なコミュニケーションの1つの例としてインタラクティブ漫才を取り上げた。具体的には、漫才の形式を導入して人間の会話における「ノリ」を研究するための実験システムを吉本興業の協力のもと構築し

た。コンピュータが人間にツッコミをかけてコンピュータによる感性インタラクションを研究した。また、コンピュータが語り部として人間と禅問答を行うことにより、人間のコミュニケーションにおける発見と理解を浮き彫りにする研究の具体化も進めている。

(4) 分子コンピューティングの研究

進化・創発機構を利用した分子コンピューティングの研究では、生きた細胞を *in situ*（本来の場所）で計算機構として利用する新しい分子計算パラダイムとしてキナーゼコンピューティングのコンセプトを提案した。提案したキナーゼコンピューティングは、生きた細胞中の生体分子とその生化学反応を利用する分子計算であり、DNA や RNA などの生体分子を用いた分子計算のコスト（分子数と計算時間）の大幅削減と並列計算の性能向上が期待できる。

5-4-3 人工情動技術

(1) 関係性創発のための相互作用的自己反映モデルの研究

人工情動の研究では、人工情動機構の創出に不可欠な自他境界の設定機構に関して、計算組織論における4つの組織学習、すなわち、①個体の持つルールの利用、②個体の持つルールの生成／削除／内容変更、③組織が持つルールの利用、④組織の持つルールの生成／削除／内容変更との関係で捉える、新しいアプローチに着手した。具体的には、自律エージェントでの実装を前提に、自他との境界、価値観、目的と評価基準をベースとした相互作用的自己反映（Interactive Self-Reflection: ISR）という概念を提案した。自他との境界、価値観、目的と評価基準の3つの組合せはエージェントの自律性を構築する上で重要な要素となると考えている。

(2) 作業記憶におけるミーム相互作用モデルの研究

我々は、心の中で、しばしばいろんな思いや感情が交錯し、相矛盾する考えに葛藤することがある。本研究では、そのような心の中での葛藤を、脳の作業記憶においてミーム集団が相互作用するモデルとして扱うものである。ここで、ミームとは感情や行動など対象とする概念を表現する脳内記号であり、作業記憶内でお互いが相互作用するものと定義する。この観点は“相互作用するエージェントの社会としての心”という Marvin Minsky の考えを具体化する枠組みを与えるものである。本年度は、ミーム間相互作用をモデル化したシミュレーションツールを構築し、この考え方の有用性を確認した。現在、セルオートマトン型人工脳実験装置（CBM）を用いたシミュレーション実験のための CBM モジュールの設計を進めている。

5-4-4 社会ダイナミクスシミュレーション技術

(1) 進化する知的経済エージェントの意志決定メカニズム・集団的行動・応用に関する研究

本研究では、コミュニケーションの一形態としての交渉、すなわち、バーゲンニング (bargaining) を対象に、進化的計算や強化学習を用いたマルチエージェントモデルの構築を目指している。バーゲンニングは経済システムの基本的なやりとりのモデルであり、ゲーム理論を基にこれまでも最も研究されてきた枠組の一つでもある。検討課題は、①進化的計算による交渉戦略の獲得と様々なパラメータの集団的行動への影響、②公平な戦略を学習させるための「不確実性」の役割、③複数事項に関する交渉の際のシークエンシャルなバーゲンニングモデルの提案であり、本年度はそのためのシミュレーションツールの開発を進めた。

(2) 自己組織的な社会現象の数理モデル化の研究

個人の所得や富の分布を解析し、資本主義の下では、高額所得や富の領域はパレート法則(冪分布)に従い、その他の領域はジブラ法則(対数正規分布)に従う事を明らかにした。また、この普遍的な性質を説明するために、スモールワールドネットワーク (SWN) 上で相互作用する乗算的確率過程として、富の分布モデルを構成した。そして、数値計算を通して、エッジ数(隣人数)が減少することは富の不平等な配分をもたらすが、SWN におけるエッジの繋ぎ換えは富の平等な配分をもたらす事を明らかにした。また、不平等な富の配分は、富がクラスターを作る事に原因があること、また、SWN におけるエッジの繋ぎ換えはクラスターを壊すことにより富が平等に配分されるようになることなどを明らかにした。この研究を通じて、現実のネットワークが SWN になっている事が、パレート法則とジブラ法則が出現する理由である事を明らかにした。

(3) スモールワールドネットワーク解析手法の研究

スモールワールドネットワーク (SWN) は、規則的なネットワークとランダムなネットワークの中間に位置し、規則性とランダム性の両者の特徴を合わせ持つネットワークである。SWN 的な特徴は生物の代謝経路、線虫の神経回路網など自然界の様々なネットワークに見出すことができる。一方、生物の遺伝コードの起源と進化要因は、頑健性と可変性の両立だと考えられ、グラフ表現の解析に基づいている。様々な遺伝コードに対して SWN の解析手法を用いた結果、ネットワークのリンクに重みを付けた場合とそうでない場合には全く異なる結果が出た。このことは、従来の SWN の解析結果に対する検証の必要性を示唆している。

5-4-5 遺伝子ネットワークシミュレーション技術

(1) 遺伝子ネットワークシミュレータの研究

人間を含む高等生物とのコミュニケーションを真に科学的に理解するためには、心理学等による上位概念レベルでの検討とともに、生化学物質の代謝まで下がった下位レベルでの分析も欠かすことができない。情動と免疫力の関係など下位レベルでの検討なしでは理解不可能と思われる非常に興味深い現象も存在する。本研究は、完了しつつあるゲノムシーケンスなどの結果をもとに実際の生命現象を最も下位レベルから記述・解析し、上位の現象の本質的解明につなげることを目的とするものである。

本年度から実験システムの構築を開始した。アーキテクチャ設計およびいくつかのモジュールの論理設計をおこない、さらに論理シミュレータを使い動作を検証した。今後さらに詳細な設計を進めるとともに、システムの実装を行う。

5-4-6 まとめと今後の課題

本サブテーマは、情報が時空間的・構造的・意味的に結びつき、或いは、そのような結びつきを触媒する情報の関係性に着目し、人間と人間、人間と情報、情報と情報のコミュニケーションを関係性が生成・変化・発達するプロセスと捉えることを基本思想としている。情報を生成あるいは保持するものであれば、関係性を創発させる要素は人間のみに限定されない。すなわち、人間を中心に、粒度の大きい上位では人間集団、組織、社会まで、粒度の小さい下位では、エージェント、情報そのもの、神経細胞、たんぱく・遺伝子、分子まで、このような見方を普遍化できる。

本年度は、上述のように多様な研究展開が可能なコミュニケーション（関係性）創発機構のうち、創発機構実現の基本的な方法論としての進化システム構成技術、他との関係性の中で生ずる価値観・評価機構を育む仕組みとしての人工情動技術、それらの社会的な研究展開としての社会ダイナミクスシミュレーション技術、および生体内の化学反応をタンパク質や酵素を要素とするネットワークの創発機構と捉える遺伝子ネットワークシミュレーション技術の研究を進めた。いずれも研究推進・展開のための基本モデルの提案およびシミュレーションツールの開発に着手した段階であり、今後、提案モデルの有効性の検証、検証を通じたモデルの精緻化を進める。

5-5 総括

人間性豊かなコミュニケーションの実現に向け、人間のコミュニケーション機能を解明し、コミュニケーションの新たな可能性を拓く先端技術の創出を目指し、i) 音声言語コミュニケーション機構、ii) 視覚認知コミュニケーション機構、iii) コミュニケーション計算神経機構、iv) コミュニケーション創発機構の4つのサブテーマに関して委託業務（研究開発）を実施した。

人間の日常活動、個人的・社会的な行動や行為もコミュニケーション無しには成立しないことを考えると、コミュニケーションの研究は、情報通信分野の技術開発に留まらず、人間の存在、生活、人間と自然との関わりなど極めて広範囲にわたる発展性と応用性を有している。「人間を理解する」とともに、そのようなコミュニケーションの本質を理解するためには、絶えず多様な研究展開を意識することが不可欠である。

特に、本年度は、初年度であったため、多様な研究展開を図ることに重きをおき、バラエティーに富む研究テーマを立ちあげた。いずれも今後の研究推進・研究展開のために基本となるものであり、基本モデルの構築、データベースの構築、実験系や実験環境の整備、シミュレーションツールの開発等を進めた。

結論として、2ヶ月半という短期間ながら予想以上の成果を挙げたと自負している。本年度の研究業績は論文誌投稿13件（添付資料 1. 研究発表、講演、文献等一覧のリストでは非採択の論文は除いている）国際会議論文投稿18件、国内会議論文投稿10件、出版・雑誌等への投稿3件、講演その他5件、特許出願4件である。

(添付資料)

1 研究発表、講演、文献等一覧

決裁番号	発表方法	タイトル	雑誌名・国際会議名	発表者	発表(予定)日	状況
2001 人発-105	誌上	操作性を考慮した顔画像合成システム=FUTON- 顔認知研究のツールとしての評価 -	電子情報通信学会(和文A)「デジタルデータ付き論文特集」	向田 茂(ATR-HIS/NAIST) 蒲池 みゆき 尾田 政臣(立命館大学) 加藤 隆(関西大学) 吉川 左紀子(京都大学) 赤松 茂(法政大学/ATR-HIS) 千原國宏(NAIST)		印刷中
2001 人発-107	誌上	効果器間協調における順モデル使用の可能性 -ヒトの把持力負荷力結合モデルの仮説の検討 -	電子情報通信学会論文誌	宇賀田 正臣(長岡技術科学大学) 黒田 朋枝(ERATO/JST) 今水 寛(ATR-HIS) 吉岡利福(ATR-HIS) 和田 安弘(長岡技術科学大学) 川人 光男(ATR-HIS)		査読中
2001 人発-108	誌上	Composition and Decomposition Learning of Reaching Movements under Altered Environment: An Examination of the Multiplicity of Internal Model.	Systems and Computers in Japan	Eri NAKANO(ATR-ISD) John R. FLANAGAN(Queen's University) Hiroshi IMAMIZU(ERATO) Rieko OSU(ERATO) Toshinori YOSHIOKA(ERATO) Mitsuo KAWATO(ATR-HIP)		印刷中
2001 人発-109	国際会議	MAGTOENCEHALOGRAPHIC(MEG) EVIDENCE FOR PREPARATORY ATTENTION ACTIVITY WITHIN THE HUMAN PRIMARY VISUAL CORTEX	8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain	Noriko YAMAGISHI(ATR-HIS) Naokazu GODA(ATR-HIS) Daniel E. CALLAN(ATR-BAIC) Stephen J. ANDERSON(Aston Univ.) Yoshikazu, YOSHIDA(Shimadzu) Mitsuo KAWATO(ATR-HIS)	2002. 6. 2 ~ 2002. 6. 6	発表決定
2001 人発-110	国内大会	計測データに基づいた調音結合の分析と定式化	日本音響学会全国大会講演論文集, 第1分冊, pp. 303-304	党 建武(JAIST/ATR-HIS) 誉田 雅彰(NTT/CREST)	2002. 3. 18 ~ 2002. 3. 20	発表済
2001 人発-111	国際会議	Modeling and Rendering of Realistic Wrinkles on Human Skin	SIGGRAPH 2002	板東 洋介(東京大学) 倉立 尚明(ATR-HIS) 西田 友是(東京大学)	2002. 7. 21 ~ 2002. 7. 26	発表決定
2001 人発-112	国際会議	Brain Activity evoked by tool-use imagery: An fMRI study	8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain	Satomi HIGUCHI(NAIST/ATR-HIS) Hiroshi IMAMIZU(ATR-HIS) Mitsuo KAWATO(ATR-HIS/NAIST)	2002. 6. 2 ~ 2002. 6. 6	発表決定

決裁番号	発表方法	タイトル	雑誌名・国際会議名	発表者	発表（予定）日	状況
2001 人 発 -113	国際会議	Surround suppression in human striate and extrastriate visual cortex revealed by fMRI	8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain	Naokazu GODA (ATR-HIS) Hiroki YAMAMOTO (Kyoto Univ.) Masaki FUKUNAGA (Meiji Univ. of Oriental Med.) Chuzo TANAKA (Meiji Univ. of Oriental Med.) Toshihiko EBISU (Meiji Univ. of Oriental Med.) Masahiro UMEDA (Meiji Univ. of Oriental Med.) Shigeko TAKAHASHI (Kyoto City Univ. of Arts) Yoshimichi EJIMA (Kyoto Univ.)	2002. 6. 2 ～ 2002. 6. 6	発表決定
2001 人 発 -114	誌上	Analysis of 3D faces for Communicative Applications	EURASIP	Takaaki KURATATE (ATR-HIS) Guillaume VIGNALI (ATR-HIS/INT) Saeko MASUDA (ATR-HIS) Eric Vatikiotis-BATESON (ATR-HIS)		査読中
2001 人 発 -115	国内大会	スケールフリーネットワークでの富の分布	日本物理学会講演概要集 第 57 回年次大会 第 2 分冊, Vol. 57, No. 1, pp. 227	相馬 亘 (ATR-HIS) 藤原 義久 (CRL) 青山 秀明 (京都大学)	2002. 3. 24 ～ 2002. 3. 27	発表済
2001 人 発 -116	誌上	A Note on a Three-dimensional Model of Artificial Chemistry	IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A	Jian-Qin LIU Katsunori SHIMOHARA		査読中
2001 人 発 -120	誌上	ワイヤレス式舌圧センサを用いたヒューマンインターフェイスと電動車椅子の制御への応用	電子情報通信学会論文誌	一ノ瀬 裕 (NTT サイバースペース研究所) 和久本 雅彦 本多 清志 東 輝明 (ニッタ株式会社) 佐藤 準二 (株式会社 テイクファイブ)		査読中
2001 人 発 -121	国内大会	Fluctuations in Growth of Personal Income	日本物理学会講演概要集 第 57 回年次大会 第 2 分冊, Vol. 57, No. 1, pp. 230	藤原 義久 (CRL) 相馬 亘 青山 秀明 (京都大学)	2002. 3. 24 ～ 2002. 3. 27	発表済
2001 人 発 -124	国際会議	Designing Social Force: Control for Collective Behavior of Learning Individuals	The 6th International Conference on Simulation of Adaptive Behavior (SAB '02)	Keiki TAKADAMA Katsunori SHIMOHARA	2002. 8. 4 ～ 2002. 8. 10	発表決定
2001 人 発 -125	国際会議	Cross-Validation in Multiagent-based Simulation: Analyzing Evolutionary Bargaining Agents	The 2002 Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2002)	Keiki TAKADAMA Yutaka Leon SUEMATSU Norberto Eiji NAWA Katsunori SHIMOHARA	2002. 7. 9 ～ 2002. 7. 13	発表決定

決裁番号	発表方法	タイトル	雑誌名・国際会議名	発表者	発表(予定)日	状況
2001 人発 -126	国際会議	Neural networks involved in learning novel vocal tract configuration	8th International Conference on Functional mapping of the Human Brain	Jeffery A. JONES Daniel CALLAN K. G. MUNHALL(Queen's University) Saeko MASUDA Eric Vatikiotis-BATESON	2002.6.2 ～ 2002.6.6	発表決定
2001 人発 -127	国際会議	MRI Motion Imaging of Cricoarytenoid Joint Action	The Third International Conference on Voice Physiology and Biomechanics (ICVPB 2002)	Takeshi NISHIMURA(Kyoto Univ./ATR-HIS) Kiyoshi HONDA Hironori TAKEMOTO Yasuhiro SHIMADA(ATR-BAIC) Shinobu MASAKI(ATR-BAIC)	2002.9.14 ～ 2002.9.16	発表決定
2001 人発 -128	国際会議	DYNAMIC FUZZINESS	7th Pacific RIM International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI-02)	Andrzej BULLER	2002.8.18 ～ 2002.8.22	発表決定
2001 人発 -129	国際会議	Brain activity related to tool-use in a virtual environment	8th Int. Conf. on Functional Mapping of the Human Brain	今水 寛 山口 喜久(大阪大学) 北村 喜文(大阪大学) 岸野 文郎(大阪大学) 川人 光男	2002.6.2 ～ 2002.6.6	発表決定
2001 人発 -132	誌上	Distinct Muscle and Joint Level Adaptation mechanisms to stable and Unstable Environment	The Journal of Neuroscience	David W. FRANKLIN(ATR-HIS/SFU) Rieko OSU Etienne BURDET(NUS) Mitsuo KAWATO Theodore E. MILNER(SFU)		発表決定
2001 人発 -133	国際会議	Distinct roles of the basal ganglia and cerebellum in human reinforcement learning	HBM 2002(8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain)	Masahiko HURUNO Hiroshi IMAMIZU Mitsuo KAWATO	2002.6.2 ～ 2002.6.6	発表決定
2001 人発 -137	国内研究会	PCA を用いた年齢知覚に関与する顔形状特徴の抽出-みかけの年齢情報の利用-	電子情報通信学会技術研究報告, Vol.101, No.699, pp.17-24	向田 茂(ATR-HIS/NAIST) 蒲池 みゆき 木下 敬介 千原 國宏(NAIST)	2002.3.7 ～ 2002.3.8	発表済
2001 人発 -138	国際会議	Motor Control for a Physiological Articulatory Model Involving Muscle Antagonism	Conference on Motor Speech : Motor Speech Disorders & Speech Motor Control	Jianwu DANG(JAIST/ATR-HIS) Kiyoshi HONDA	2002.3.14 2002.3.17 ～	発表済
2001 人発 -139	国際会議	Interactive Manzai & Zen Conversation System	アート&テクノロジーワークショップ	Naoko TOSA	2002.2.21 ～ 2002.2.22	発表済
2001 人発 -141	誌上	ツッコミコンピュータ	月刊 大阪人 4月号, pp.1-2	土佐 尚子	2002.3.1	発表済

決裁番号	発表方法	タイトル	雑誌名・国際会議名	発表者	発表（予定）日	状況
2001 人発 -142	その他	語り部としてのドラエモン	The ドラエモン展	土佐 尚子	2002. 7. 6 ～ 2002. 9. 23	発表決定
2001 人発 -143	講演	Japanese Emotional Computer Expression	ジャパン・フェスト	土佐 尚子	2002. 5. 25 ～ 2002. 5. 26	発表決定
2001 人発 -148	国内研究会	Graph Rewriting in Topology IV : Rewriting based on algebraic operators	京都大学数理解析研究所「代数系のアルゴリズムと計算論」研究集会	Jian-Qin LIU Katsunori SHIMOHARA	2002. 2. 20	発表済
2001 人発 -149	誌上	A New GTPases-based Model for Efficiently Molecular Computing	IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part A : Human Systems	Jian-Qin LIU Katsunori SHIMOHARA		査読中
2001 人発 -152	国内研究会	Algorithmic Analysis of LS-systems: Solving 3-SAT problems in a logarithmic space	“代数系のアルゴリズムと計算論” 研究集会（京大／数理研）	Jian-Qin LIU Katsunori SHIMOHARA	2002. 2. 20 ～ 2002. 2. 22	発表済
2001 人発 -153	国際会議	Volitron: On a Psychodynamic Robot and Its Four Realities	Second International Workshop on Epigenetic Robotics	Andrzej BULLER	2002. 8. 10 ～ 2002. 8. 11	発表決定
2001 人発 -154	国際会議	Cortical and subcortical regions involved in motor control speech	8th International Conference on Functional Mapping of the Human Brain	Yukiko NOTA Kiyoshi HONDA Yasuhiro SHIMADA Ichiro FUJIMOTO	2002. 6. 2 ～ 2002. 6. 6	発表決定
2001 人発 -157	誌上	Computational study on monkey VOR adaptation and smooth pursuit based on the parallel control-pathway theory.	Journal of Neurophysiology, Vol.87, No, 4, pp. 2176-2189	Hiromitsu TABATA (ERATO/NAIST) Kenji YAMAMOTO (ETL/JST) Mitsuo KAWATO	2002. 4	発表済
2001 人発 -159	誌上	Emerging Nano-organisms by Simulated Evolutionary Moleware: A Bridge at the Boundary of Artificial Life and Nano-Computing	The Journal of 3D-Forum Society	Jian-Qin LIU Katsunori SHIMOHARA		印刷中

決裁番号	発表方法	タイトル	雑誌名・国際会議名	発表者	発表（予定）日	状況
2001 人 発 -160	その他	Interactive Chaos 2002	プログラム・シード, <かたち>の生まれる時	関口 敦仁 (情報科学芸術大学院大学) 片岡 勲人 (京都大学/ATR-HIS)	2002.3.8 ~ 2002.3.24	発表済
2001 人 発 -168	誌上	Adaptive Control of Stiffness to Stabilize Hand Position with Large Loads	Experimental Brain Research	David W. FRANKLIN (ATR-HIS/Simon Fraser Univ.) Theodore E. MILNER (Simon Fraser Univ.)		査読中
2001 人 発 -169	国内研究会	表情の瞬時的変化の認知	ヒューマンインタフェース学会第5回ノンバーバルインタフェース研究会, 講演論文集, pp.5-8	織田 朝美 (関西大学) 向田 茂 (HIS-ATR/NAIST) 安田 尚幸 (関西大学) 加藤 隆 (関西大学)	2002.3.19	発表済
2001 人 発 -171	国内研究会	入門: 計算組織理論とは何か? - 社会シミュレーションの基礎から最近の研究まで -	第25回システム工学部会研究会 「人工社会・組織・経済の基礎理論と応用」 ~ 人工社会・組織・経済の基礎原理からゲーム社会の応用まで ~, pp.67-77	高玉 圭樹	2002.3.20	発表済
2001 人 発 -172	誌上	Exploration and Exploitation Trade-off in Multiagent Learning	International Journal of Computational Intelligence and Applications	Keiki TAKADAMA Katsunori SHIMOHARA		査読中
2001 人 発 -173	国際会議	X-MAS: Cross-validation in MultiAgent-based Simulation	The CASOS (Computational Analysis of Social and Organization System) Conference 2002	Keiki TAKADAMA Yutaka L. SUEMATSU (National Univ. of Engineering, Peru) Norikazu SUGIMOTO Norberto E. NAWA Katsunori SHIMOHARA	2002.6.21 ~ 2002.6.23	発表決定
2001 人 発 -175	国際会議	ロイヤルロード GA での交叉による加速効果の数学解析	FOGA-VII (Foundations of Genetic Algorithms)	鈴木 秀明 沢井 秀文 (CRL)	2002.9.4 ~ 2002.9.6	査読中
2001 人 発 -176	その他	ネットワーク形の研究が開く未来	ATR Journal No. 47, pp.6-7	相馬 亘	2002.5.1	発表済
2001 人 発 -177	誌上	Molecular Computing by Signaling Pathways	Book Chapter of "Trends in Evolutionary Algorithms" by Springer-Verlag (Berlin, Hidenberg, New York)	Jian-Qin LIU Katsunori SHIMOHARA		査読中
2001 人 発 -178	誌上	キナーゼコンピューティング	Computing Today 5月号, No. 109, pp.17-20	劉 健勤 下原 勝憲	2002.5.1	発表済

決裁番号	発表方法	タイトル	雑誌名・国際会議名	発表者	発表（予定）日	状況
2001 人発 -179	その他	Human Communication Project-Towards the full realization of the richness of natural human communication-	ATR Up to Date	Katsunori SHIMOHARA		印刷中
2001 人発 -180	国内研究会	小脳単純スパイクの線形和はサル上肢筋電時系列を再編成する	電子情報通信学会技術研究報告, NC2001-216, pp. 159-166	山本 憲司 (AIST/JST) 川人 光男 琴坂 信哉 (埼玉大学) 北澤 茂 (AIST)	2002. 3. 18 ～ 2002. 3. 20	発表済
2001 人発 -185	国際会議	Psychodynamic Robot	2002 FIRA Robot World Congress	Andrzej BULLER	2002. 5. 27 ～ 2002. 5. 29	発表決定
2001 人発 -188	国内大会	脳の計算論としての強化学習	電子情報通信学会 2002 年総合大会	鮫島 和行	2002. 3. 27	発表済