

「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」

事業原簿 【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI 部
-----	--

— 目次 —

概 要	2
プロジェクト用語集	5
I. 事業の位置付け・必要性について	I-1
1. 事業の背景・目的・位置付け	I-1
1.1. 政策的な重要性	I-1
1.2. 我が国の状況	I-2
1.3. 世界の取組状況	I-3
1.4. 本事業の狙い	I-4
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I-5
II. 研究開発マネジメントについて	II-1
1. 事業の目標	II-1
1.1. アウトプット目標	II-1
1.2. アウトカム目標	II-1
1.3. アウトカム目標達成に向けた取組	II-1
2. 事業の計画内容	II-2
2.1. 研究開発の内容	II-2
2.2. 研究開発の実施体制	II-16
2.3. 研究開発の運営管理	II-19
2.4. 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	II-30
3. 情勢変化への対応	II-31
III. 研究開発成果について	III-1
1. 事業全体の研究開発成果	III-1
2. 個別テーマの研究開発成果	III-2
IV. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	IV-1
1. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	IV-1
【別紙】	
1. 研究開発成果の概要	別紙 1-1
2. プロジェクト用語集	別紙 2-1
【添付資料】	
(添付資料 1) プロジェクト基本計画	
(添付資料 2) 事前評価関連資料	
(添付資料 3) 特許・論文・外部発表リスト	

概要

		最終更新日	平成 29 年 10 月 23 日
プロジェクト名	次世代人工知能・ロボット中核技術開発	プロジェクト番号	P15009
担当推進部／PM 及び担当者	<p>ロボット・AI 部（平成 28 年 4 月、ロボット・機械システム部より名称変更）</p> <p>【プロジェクトマネージャー（PM）】 関根 久（平成 27 年 4 月～平成 29 年 10 月現在）</p> <p>【プロジェクト担当者】 高木 宗谷（平成 27 年 5 月～平成 29 年 10 月現在）[アドバイザー] 本田 卓（平成 27 年 9 月～平成 28 年 8 月）[知的財産プロデューサー（※）] 松村 善邦（平成 28 年 4 月～平成 29 年 2 月）[知的財産プロデューサー（※）] 後藤 哲也（平成 29 年 4 月～平成 29 年 10 月現在）[知的財産プロデューサー（※）] 松本 剛明（平成 27 年 4 月～平成 28 年 7 月） 松本 崇（平成 27 年 4 月～平成 29 年 3 月） 服部 祐人（平成 27 年 4 月～平成 29 年 3 月） 石倉 峻（平成 27 年 4 月～平成 29 年 10 月現在） 吉野 順（平成 28 年 1 月～平成 29 年 10 月現在） 野中 俊一郎（平成 28 年 8 月～平成 29 年 10 月現在） 森村 直樹（平成 29 年 4 月～平成 29 年 10 月現在） 寺岡 真（平成 29 年 5 月～平成 29 年 10 月現在） 金山 恒二（平成 29 年 5 月～平成 29 年 10 月現在） 村本 衛一（平成 29 年 5 月～平成 29 年 10 月現在） 堀川 隆（平成 29 年 5 月～平成 29 年 10 月現在） 藤田 裕子（平成 29 年 5 月～平成 29 年 10 月現在） 葛馬 弘史（平成 29 年 5 月～平成 29 年 10 月現在） 渡邊 恒文（平成 29 年 10 月～現在） 前原 正典（平成 29 年 10 月～現在）</p> <p>（※）知的財産プロデューサーは、独立行政法人工業所有権情報・研修館（INPIT）より派遣。</p>		
0. 事業の概要	<p>本事業は、現在の人工知能・ロボット関連技術の延長線上に留まらない革新的な要素技術の研究開発を狙いとして、人間の能力に匹敵する、更には人間の能力を超える人工知能、センサ、アクチュエータ等を新たな技術シーズとして研究開発し、これまで人工知能・ロボットの導入について考えもつかなかった分野での新たな需要の創出や我が国が強みを有する分野との融合による産業競争力の強化に繋げる。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>人工知能・ロボット関連技術の熟度に応じて、（1）既に技術的に確立し、社会への普及促進が図られる段階、（2）技術的に概ね確立し、実用化研究開発によりモデルを提示する段階、（3）人工知能・ロボットの利用分野を念頭におきつつ、人間の能力を超えることを狙う、又は人間に匹敵する大きな汎用性、ロバスト性等を有する革新的な要素技術の研究開発する段階の三つの領域に整理する。</p> <p>本事業では、現在の人工知能・ロボット関連技術の延長上に留まらない、人間の能力に匹敵する、更には人間の能力を超える革新的な要素技術の研究開発する。具体的には、人工知能技術やセンサ、アクチュエータ等のロボット要素技術について、我が国と世界の状況に鑑み、速やかに実用化への道筋をつける革新的な要素技術の研究開発する。</p> <p>また、人間を超越する又は人間に匹敵する人工知能、センサ、アクチュエータ等を新たな技術シーズとして研究開発し、これまで人工知能・ロボットの導入について考えもつかなかった分野での新たな需要の創出や我が国が強みを有する分野との融合による産業競争力の強化につなげていく。</p>		

II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標

【アウトプット目標】

本プロジェクトは、既存の技術やそのアプリケーションとは非連続な、いわゆる未踏領域の研究開発を実施する。このためのブレイクスルーを生み出す要素技術、あるいは、それらを統合するシステム化技術を研究開発し、実用化研究を開始できる水準にまで技術を完成させる橋渡し研究を本プロジェクトの目標とする。

なお、次世代人工知能技術とロボット要素技術の有機的な連携を図ることで、平成32年度には、次世代人工知能を実装した6種類のロボットの実現可能性を示す。

例えば、次世代人工知能技術においては、新しいサービスの実現へ向けた実用化研究を開始可能なレベルにまで人工知能フレームワークとモジュールを完成させ、それらを統合したロボットを含むアプリケーションを設定した上で、その実現可能性を示すことを目標とする。センサやアクチュエータ等のロボット要素技術においては、次世代人工知能技術の活用も考慮して、実用化研究を開始可能なロボット要素技術を組み込んだプロトタイプ機を試作することを目標とする。

【アウトカム目標】

本プロジェクトの取組により生まれた成果を用いた人工知能・ロボット等の活用を通じて、人間の代替により労働力不足を補うアプローチに留まるのではなく、従来に比べて非連続なロボット技術がどのように社会から評価されるか、どのようなアプローチであれば人々に受容されるかを、心理学、社会学や社会受容性の観点から考察・考慮した上で、様々な場面において、直接的あるいは間接的な複合的ロボットサービスとして、人類の生活を豊かにする機能を社会に提供する。こうして開発した次世代人工知能技術及び革新的なロボット要素技術を応用して、「日本再興戦略 2016」において2020年には、IoT、ビッグデータ、人工知能、ロボットに係る30兆円の付加価値創出、2035年には、ロボットについて、我が国の9.7兆円の市場創出に資する。

事業の計画内容

	平成27年度 (2015年度)	平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	平成30年度 (2018年度)	平成31年度 (2019年度)	平成32年度 (2020年度)
		ワークショップ	ワークショップ 中間評価			事後評価
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p><研究開発項目></p> <p>【次世代人工知能技術分野】</p> <p>①大規模目的基礎研究・先端技術研究開発 ②次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発 ③次世代人工知能共通基盤技術研究開発 ④次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 45%;"> <p><研究開発項目></p> <p>【革新的ロボット要素技術分野】</p> <p>④革新的なセンシング技術（スーパースセンシング） ⑤革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション） ⑥革新的なロボットインテグレーション技術</p> </div> </div>					
	1. H27FY開始：人工知能分野【研究開発項目①～③】（課題設定型）、ロボット分野【研究開発項目④～⑥】（テーマ公募型）					
【1】 H27FY 開始①	公募	先導研究 【AI:2件、ロボット:18件】 ★★★★	研究開発 【AI:2件、ロボット:12件】 ★★★			
	2. H27FY開始：人工知能分野【研究開発項目①】、ロボット分野【研究開発項目④～⑥】（RFIを踏まえた課題設定型）					
【2】 H27FY 開始②	公募	調査研究 【AI:3件、ロボット:13件】 ★★★	先導研究 【AI:1件、ロボット:7件】 ★★★★	研究開発		
	3. H28FY開始：人工知能分野【研究開発項目①】、ロボット分野【研究開発項目④～⑥】（課題設定型テーマ公募）					
【3】 H28FY 開始	公募	先導研究 【AI:2件、ロボット:11件】 ★★★★	研究開発			
	4. H29FY開始：人工知能分野【研究開発項目⑦】（課題設定型テーマ公募）					
【4】 H29FY 開始①			公募	先導研究 （研究開発項目⑦） 【AI:15件】		
	5. H29FY開始：人工知能分野【研究開発項目①～③】（課題設定型テーマ公募）					
【5】 H29FY 開始②	★ 技術推進委員会（人工知能分野） ★ 技術推進委員会（ロボット分野） ★ ワークショップ内にて開催	公募	調査研究 （研究開発項目①～③） 【AI:6件】			

	会計・勘定	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	総額
事業規模の推移	一般会計（委託） ※両分野の内訳は、 以下のとおり。	12.1 億円	28.5 億円	43.6 億円	84.2 億円
	【人工知能分野】	(7.9 億円)	(16.9 億円)	(30.7 億円)	(55.5 億円)
	【ロボット分野】	(4.2 億円)	(11.6 億円)	(12.9 億円)	(28.7 億円)
開発体制	経済産業省 担当原課	産業技術環境局 研究開発課			
	プロジェクト マネージャー	関根 久（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）ロボット・AI 部／統括研究員）			
	プロジェクト リーダー	【次世代人工知能技術分野】 辻井 潤一（国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター（AIRC）／研究センター長）			
	委託先	（事業原簿 第 II 章 2.2 を参照。）			
評価に関する 事項	事前評価	平成 27 年 4 月実施 担当部：ロボット・機械システム部			
	中間評価	平成 29 年度 中間評価実施			
Ⅲ. 研究開発成果 について	（事業原簿 第 III 章及び別紙 1 を参照。）				
	投稿論文	（添付資料 3 を参照。）			
	特 許	（添付資料 3 を参照。）			
	その他の外部発表 （プレス発表等）	（添付資料 3 を参照。）			
Ⅳ. 成果の実用化 に向けた取組 及び見通しに ついて	（事業原簿 第 IV 章を参照。）				
Ⅴ. 基本計画に 関する事項	作成時期	平成 27 年 5 月 作成			
	変更履歴	平成 27 年 9 月 次世代人工知能技術分野の PL（Project Leader）決定に伴う改訂。 平成 28 年 3 月 事業名称の変更、研究開発動向等の変化による背景・目的等の加筆に伴う改訂。 平成 29 年 3 月 最新の政策・研究開発動向等を踏まえた背景・目的等の加筆及び研究開発項目⑦（次世代人工知能技術分野）の追加に伴う改訂。			

プロジェクト用語集

(実施した公募毎に、個別テーマについて、プロジェクトの専門用語とその説明を記載。)

(別紙2を参照。)

I. 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的及び位置付け

1.1. 政策的な重要性

少子高齢化による生産年齢人口の減少下における製造業の国際競争力の維持・向上やサービス分野の生産性向上、地域資源を活用した新産業の育成等による地域の活性化等、今後の我が国社会の重大な諸課題に対し、特に有効なアプローチとして、人間の代替となる、又は人間以上の能力を発揮する人工知能とロボットの活用が大きく期待される。

また、少子高齢化、労働力不足、インフラ老朽化対策、災害等課題対応先進国である日本において高度な人工知能を備えたロボットを用いた解決の切り札を創り出し、世界に先駆けた技術を示すことで、世界へ売り出す魅力ある製品・サービスの実現につなげることができる。

経済産業省が2014年から開催した「日本の「稼ぐ力」創出研究会」では、ビッグデータ・人工知能の活用の重要性が指摘され、国内研究拠点の設立が提言されている。総務省情報通信政策研究所では、インテリジェント化が加速しているICT（Information Communication Technology）が社会にどのような影響を与えるかを展望し、課題の整理と今後の取組に係る提言を行うため、「インテリジェント化が加速するICTの未来像に関する研究会」を開催している。経済産業省では、産業構造審議会（商務流通情報分科会 情報経済小委員会）において、「Cyber Physical System CPS」によるデータ駆動型社会の到来を見据え、我が国が持つ強みを戦略的に活用し、企業の先進的なチャレンジを促していくための環境整備等についての議論がなされており、2015年4月に中間とりまとめが発行された。

「日本再興戦略 改訂2015」（2015年6月30日閣議決定）では、IoT（Internet of Things）、ビッグデータ、人工知能による産業構造・就業構造変革の検討が主要施策の一つとして掲げられている。2015年8月には、IoT、ビッグデータ、人工知能等による変革に的確に対応するため、産業構造審議会に「新産業構造部会」が設置され、IoT、ビッグデータ、人工知能等の発展がどのような経済・社会的インパクトをもたらし、これに向けてどのような対応を取っていくべきか、官民が共有できるビジョンを策定すると共に、官民に求められる対応について検討を進めることとなった。この中で、次世代の人工知能技術の研究開発体制として、経済産業省、総務省、文部科学省の3省が連携し、研究開発成果を関係省庁にも提供し、政府全体として更なる新産業・イノベーション創出や国際競争力強化を牽引することの重要性が述べられている。

さらに、同戦略を踏まえ、IoT・ビッグデータ・人工知能時代に対応し、企業・業種の枠を超えて産官学で利活用を促進するべく、2015年10月に「IoT推進コンソーシアム」が設立された。今後、IoT等に関する技術開発・実証や新たなビジネスモデルの創出等の取組を通じて、内外のIoT関連の投資を呼び込み、グローバル経済下で我が国関連産業が存在感を発揮する活動が期待される。あらゆるモノがインターネットに接続され、情報を交換し、相互に活用しあう仕組みであるIoTが今後も一層社会に浸透すると考えられる中、例えばビッグデータの情報処理をデータセンタなどで行うクラウドコンピューティング等において、人工知能の活用が大いに考えられる。

また、2016年4月12日に開催された、第5回「未来投資に向けた官民対話」での総理発言を踏まえ、人工知能技術の研究開発に係る経済産業省、総務省、文部科学省の3省連携を深化させるための司令塔となる「人工知能技術戦略会議」が創設され、人工知能技術の研究開発と成果の社会実装を加速化する体制が整えられ、人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップの検討が進められることとなった。

このような動きの中、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）は、同年4月18日付けで、ロボット・AI部内に「AI社会実装推進室」を設置し、産業化のロードマップ等を検討する「産業連携会議」の各種タスクフォースの運営支援等を始めとし、人工知能技術の社会実装を研究開発と両輪で推進する体制をとっている。

「日本再興戦略 2016」（2016年6月2日閣議決定）では、今後の生産性革命を主導する最大の鍵として、IoT、ビッグデータ、人工知能、ロボット・センサの技術的ブレイクスルーを活用することの重要性が示されている。

日本政府は2014年に「ロボット革命実現会議」を設置し、2020年までに国内のロボット市場規模を、製造分野で2倍（6,000億円から1.2兆円）、サービス等の非製造分野で20倍（600億円から1.2兆円）に拡大するとしている。2010年に経済産業省とNEDOが行った国内のロボット産業の将来市場推計調査では、サービス、農林水産、ロボットテクノロジー製品、製造分野を合わせて、2035年に9.7兆円の市場規模になると予測している。

こうした中で、ロボット新戦略にもあるとおり、日本が将来的にも世界最先端の地位であり続けるためには、現在のロボット技術に比して非連続な次世代ロボット要素技術の研究開発を強力なリーダーシップのもとで行うことが極めて重要である。

1.2. 我が国の状況

人工知能・ロボット技術は、知的な情報処理を行う人工知能の他、ロボット技術として、センサ、アクチュエータ等の要素、筐体、制御ソフトウェア等を高度に統合することにより実現される。人工知能技術に関しては、1971年から通商産業省（当時）が「パターン情報処理システムの研究開発」を行い、文字認識や指紋認識等の技術が開発された。次いで同省は、1982年に「第五世代コンピュータプロジェクト」を開始し、強力な並列推論コンピュータの開発を行った。

さらに、1992年からは「リアルワールド・コンピューティング・プロジェクト」を実施し、確率・統計的アプローチによる実世界のマルチモーダルデータの統合処理等の先駆的成果を得た。

人工知能技術以外のセンサ、アクチュエータ、インテグレーション技術等、ロボット要素技術に関しては、日本では、経済産業省が中心となって、2005年の愛・地球博以降、サービスロボットの实用化のために継続的な施策を実施している。

また、NEDOは2014年に「NEDOロボット白書2014」を発表し、ロボットを取巻く様々な課題と、現実的な観点からの今後の見通しや目指すべき姿などを示した。ロボット用ミドルウェア（RTミドルウェア）は、「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」（2006～2010年度）、「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」（2007～2011年度）等を通して共通プラットフォーム化が進められ、社会への普及を目指した活動が継続している。近年のロボットに関する研究開発は実証に重点が置かれており、多くの新たなロボットの実証成果が得られてきたが、次世代技術の研究開発も重要であり、今後のロボット市場創出のための非連続で革新的なロボット要素技術開発が期待されている。総合科学技術会議で策定された第4期科学技術基本計画の中でも、ライフイノベーションとしてロボット手術や生活支援ロボットが挙げられている。さらに、「ロボット革命実現会議」がとりまとめたロボット新戦略において、「自律化」「情報端末化」「ネットワーク化」が進むことで劇的に変化するロボットを製造現場から日常生活まで様々な場面で活用し、社会における新たな付加価値を生み出す「ロボット革命」が求められている。

さらに、2016年1月に、2016～2020年度の「第5期科学技術基本計画」が閣議決定された。同計画において、今後強化する技術として人工知能やロボット、サイバーセキュリティ技術等が挙げられている。

2016年4月25日には、日本科学未来館において、人工知能技術の研究開発に係る経済産業省、総務省、文部科学省の3省及びその関係機関による連携のキックオフとして、今後の人工知能の研究開発と利活用や施策の連携をテーマに、第1回「次世代の人工知能技術に関する合同シンポジウム」を開催した。

また、2017年5月22日には、「人工知能技術戦略会議」における「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」の取りまとめ等の成果を発表し、関係機関等との連携を加速するため、第2回が開催された。

1.3. 世界の取組状況

人工知能技術に関しては、海外では米国のGoogle、Facebook、Microsoft、Apple等、大手ITベンダーやITベンチャーにより活発に研究開発が行われている。IBMは、1997年にチェス専用マシン「DeepBlue」を開発し、人間のチャンピオンに勝利した。さらに、2009年には人工知能アプリケーション「Watson」を開発し、米国のクイズ番組Jeopardy!で人間のチャンピオンに勝利した。その後、同システムは医師のがん治療のサポート、個人の資産運用のサポート、カスタマーサポート等へ適用されている。

また、2006年、カナダのトロント大学のGeoffrey Hinton教授により、従来のニューラルネットワークの認識力を上回るディープニューラルネットワーク（Deep Learning）が発表された。2012年には、人工知能分野の画像認識に関する国際大会（ILSVRC2012）において、トロント大学がディープラーニングを用いて従来手法に比べ飛躍的に高い認識精度を得た。現在、Google、Facebook、Baidu等の企業がディープラーニングの研究者を世界中から集めている。コンピュータハードウェアの分野では、人間の脳を模倣したチップ等、人工知能向けの革新的なハードウェアが研究開発されている。2014年、IBMは100万個のニューロン、2億5,600万個のシナプスを持つ大規模なニューロシナプティックチップ「TrueNorth」を発表した。これは、アメリカ国防高等研究計画局（DARPA）が主導する、ニューロン細胞の機能を再現するチップの開発プロジェクト「SyNAPSE（Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics）」（予算規模5,300万ドル）の成果である。同システムは、カエルの脳と同程度の規模であり、ニューロン数ではネズミの脳に匹敵する。カナダのD-Wave Systemsは、量子アニーリングマシンを開発している。

ロボット技術に関しては、米国では、2007年にDARPAが開催した「DARPA Grand Challenge」において、ロボットカーが標識や対向車等を認識し応答する画像認識機能を擁し、自律走行で市街地を想定した総延長96kmのコースをおよそ4時間で完走した。

DARPAは2012年には災害等に対応する技術を確立するためのコンペ「DARPA Robotics Challenge（DRC）」を新たに設定した。2013年12月には東京大学発ベンチャーのSCHAFT社がDRCの予選を1位で通過し技術力の高さを示した。これを受けGoogleが同社を買収している。欧州では、「FP7」（2007年～2013年）で「Cognitive Systems and Robotics」をICT分野のチャレンジ領域の1つに選定し、知能化技術に関する研究プロジェクトへ年約2億ユーロの投資をした。2014年から2020年までは後継の「Horizon 2020」が始まり、総額800億ユーロが投資される計画である。韓国ではユビキタスロボットコンパニオンプロジェクト（URC）が終了し、その成果の実用化が進められたが新規市場創出までには至らなかった。その後、同国の知識経済部が中心

となり、2013年から10年間のロボット未来戦略を発表した。中国は国家中長期科学技術発展規画綱要（2006年～2020年）において、先端技術8分野の中で知的ロボットの技術開発を挙げている。

1.4. 本事業の狙い

人工知能・ロボット関連技術の熟度に応じて、（1）既に技術的に確立し、社会への普及促進が図られる段階、（2）技術的に概ね確立し、実用化研究開発によりモデルを提示する段階、（3）人工知能・ロボットの利用分野を念頭におきつつ、人間の能力を超えることを狙う、又は人間に匹敵する大きな汎用性、ロバスト性等を有する革新的な要素技術を研究開発する段階の三つの領域に整理する。本事業では、現在の人工知能・ロボット関連技術の延長上に留まらない、人間の能力に匹敵する、更には人間の能力を超える革新的な要素技術を研究開発する。

具体的には、人工知能技術やセンサ、アクチュエータ等のロボット要素技術について、我が国と世界の状況に鑑み、速やかに実用化への道筋をつける革新的な要素技術を研究開発する。

また、人間を超越する又は人間に匹敵する人工知能、センサ、アクチュエータ等を新たな技術シーズとして研究開発し、これまで人工知能・ロボットの導入について考えもつかなかった分野での新たな需要の創出や我が国が強みを有する分野との融合による産業競争力の強化につなげていく。

特に、人工知能分野との関係においては、融合を進めるべき分野として次の3点が挙げられる。すなわち、

- 1) AI for Manufacturing : 我が国の高いものづくり力や世界シェア第1位の産業用ロボットと融合し、他の追従を許さない製造業や食品加工業等を実現する。例えば、ティーチングレスの産業用ロボットによる多品種少量生産の作業支援、組み立て作業時の異常予測等により、製造業や食品加工業等の生産性向上を図る。
- 2) AI for Human Life / Services : 我が国の高品質な農林水産業、サービス業、医療・介護、社会・交通インフラ等と融合し、農商工連携等を推進することで、豊かな生活を提供する。例えば、消費者行動を解析し、多様な業種を支援することで、サービスの高付加価値化により、生活満足度を向上させる。
また、人工知能の自律移動への応用として、自動車等に人工知能を搭載することで、認知・判断・操作に時間を要する高齢者にもやさしい移動手段を実現したり、ドローン（小型無人航空機）をはじめとする陸上・空中・水中等移動体、ビル、社会環境全体がロボットであるような場合を想定した人工知能技術とロボット技術の研究開発も実施したりすることなどが考えられる。
- 3) AI for Science / Engineering : 世界トップクラスの基礎科学と融合し、科学技術の発展を促進する。例えば、生命科学、臨床医学、材料工学等において、多様な実験データから仮説や新たな理論等を自動生成し、基礎研究を加速させる。

2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

以下の点より、NEDO が「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」を実施することは妥当である。

○次世代を見据えた人工知能・ロボット要素技術は、経済的合理性の観点から個別の企業では実施が困難であり、特に、人工知能技術については、研究開発拠点に産学官の英知を結集させることで実現可能な研究開発であることから、民間企業等に委ねることができない事業である。

○本事業は、様々な場面で利用可能な次世代の人工知能・ロボットを実現し、普及を進めるために、必要だが未達な技術のうち中核的な技術を開発することで、民間のロボット開発のコストを下げるものであり、必要かつ適切な事業である。

○個別の企業では実施困難である、特定の事業や場面に依存せず様々な事業分野に活用できる革新的で中核的な人工知能・ロボット技術の研究開発を実施することにより、我が国の産業が中長期的に世界をリードするための実用化につながるイノベーション創出を図ることができると見込んでいる。

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

1.1. アウトプット目標

本プロジェクトは、既存の技術やそのアプリケーションとは非連続な、いわゆる未踏領域の研究開発を実施する。このためのブレイクスルーを生み出す要素技術、あるいは、それらを統合するシステム化技術を研究開発し、実用化研究を開始できる水準にまで技術を完成させる橋渡し研究を本プロジェクトの目標とする。

なお、次世代人工知能技術とロボット要素技術の有機的な連携を図ることで、平成 32 年度には、次世代人工知能を実装した 6 種類のロボットの実現可能性を示す。

例えば、次世代人工知能技術においては、新しいサービスの実現へ向けた実用化研究を開始可能なレベルにまで人工知能フレームワークとモジュールを完成させ、それらを統合したロボットを含むアプリケーションを設定した上で、その実現可能性を示すことを目標とする。センサやアクチュエータ等のロボット要素技術においては、次世代人工知能技術の活用も考慮して、実用化研究を開始可能なロボット要素技術を組み込んだプロトタイプ機を試作することを目標とする。

1.2. アウトカム目標

本プロジェクトの取組により生まれた成果を用いた人工知能・ロボット等の活用を通じて、人間の代替により労働力不足を補うアプローチに留まるのではなく、従来に比べて非連続なロボット技術がどのように社会から評価されるか、どのようなアプローチであれば人々に受容されるかを、心理学、社会工学や社会受容性の観点から考察・考慮した上で、様々な場面において、直接的あるいは間接的な複合的ロボットサービスとして、人類の生活を豊かにする機能を社会に提供する。こうして開発した次世代人工知能技術及び革新的なロボット要素技術を応用して、「日本再興戦略 2016」において 2020 年には、IoT、ビッグデータ、人工知能、ロボットに係る 30 兆円の付加価値創出、2035 年には、ロボットについて、我が国の 9.7 兆円の市場創出に資する。

1.3. アウトカム目標達成に向けての取組

現在、産業用ロボットは基本的にティーチングされたとおりにしか動けず、エラーリカバリ等が十分でない。サービスロボットは開発途上であり、人間の幼児に及ばない。これらの原因は数多く存在するが、その主要なものとして、ロボットに人間ほど十分な知能が備わっていないこと、ロボットが人間ほど環境の情報を得て活用していないこと、ロボットのアクチュエータの出力重量比が人間に及ばないこと、ロボットのインテグレーション技術が非常に複雑であることなどが挙げられる。本プロジェクトはこれら課題の解決に向けたものであるが、ロボットが人間と協働する社会を実現するためには、これら課題の解決手段が単に研究開発されるだけでなく、認知され、試験的に活用され、人材が育成され、将来的に普及されていく必要があると考えられる。

そこで、NEDO は研究開発する技術間の連携を図るとともに、本プロジェクトの成果普及の素地を築くべく、機を捉えてワークショップを開催するなどの取組を通じて、本プロジェクトの情報発信を行う。

また、アワード方式（チャレンジプログラム）を開催するなどして本プロジェクトの成果物の試験的活用による動作確認や更なる研究開発の促進、一般への広報を図る。

さらに、我が国の人工知能分野の人材が少なく、小規模分散型である現状に鑑み、NEDO は先端分野や融合分野の技術を支える人材の育成と、人的交流の面から産学連携を促進する「場」を形成するため、NEDO 特別講座等を通じて、人工知能分野の人材育成、人的交流等の展開、周辺研究の実施等を行う。

本事業とは別に、NEDO では、ユーザニーズや市場化出口に応える「ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト」を併せて実施しているところであるが、このような市場化技術開発の成果も必要に応じて活用することで、本プロジェクトとの相乗効果が期待される（例えば、市場化技術で開発されたロボットへの人工知能技術の適用により、より効率のよい動作が可能となるような効果）。

2. 事業の計画内容

2.1. 研究開発の内容

変化の速いロボット分野で、計算機の指数関数的な性能向上の恩恵を十分に享受するためには、国内外のロボット関連技術の動向や水準を把握した上で、人とロボットの協働の実現等、データ駆動型社会を勝ち抜くための研究開発を推進することが必要であり、ブレイクスルーを生み出す革新的な要素技術及びそれらを統合する革新的なシステム化技術の研究開発を行う。具体的には、ロボットが日常的に人と協働する、あるいは、人を支援する社会を実現させるため、大量の実世界データに基づいて人の状況や行動を理解する技術、ロボットが柔軟に行動を計画する技術等、必要だが未達な技術について、中核的な次世代人工知能技術と革新的ロボット要素技術を、研究開発計画に基づき研究開発する。

なお、次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）は、研究開発成果を最大化するため、重要な研究開発テーマを選定し、課題設定型により実施する。平成 29 年度は、社会実装の実現可能性を評価するため、書面による審査に加えてデモンストレーションによる審査を経て、上位から委託費上限額を傾斜配分して実施する。次世代人工知能技術分野において平成 27 年度に拠点として委託した国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター（AIRC）と実施者が、共同研究開発等により連携することを考慮する。

また、次世代人工知能技術分野（研究開発項目⑦）は、平成 28 年度第 2 次補正予算として成立した経済産業省の「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」により、東京都臨海副都心地区及び千葉県柏地区に整備される国立研究開発法人産業技術総合研究所の産学官連携の施設において、国内外の叢智を集めて、平成 30 年度以降に実施される社会実装に向けた本格的な研究開発に繋げるべく、産学官連携による先導研究から実施する。具体的には、人工知能技術戦略会議において策定される「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」における当面の検討課題のうち、（1）生産性、（2）健康、医療・介護、（3）空間の移動の 3 領域を踏まえ、AIRC の研究開発成果の実装や融合等を目指す人工知能技術の先導研究を課題設定型テーマ公募により実施する。

革新的ロボット要素技術分野（研究開発項目④、⑤及び⑥）は、革新的な新たなセンサやアクチュエータ技術の発掘を積極的に進めるため、テーマ公募型により実施する。特に、平成 28 年度は、解決が求められる社会課題に対応可能な、革新的なロボット要素技術を俯瞰したうえで、重点的な研究開発が必要と考えられるテーマを選定し、課題設定型テーマ公募により実施する。

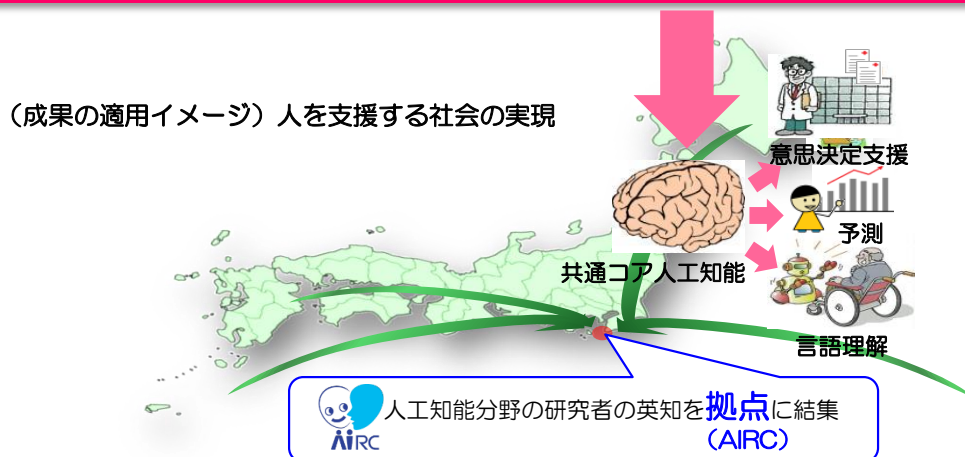
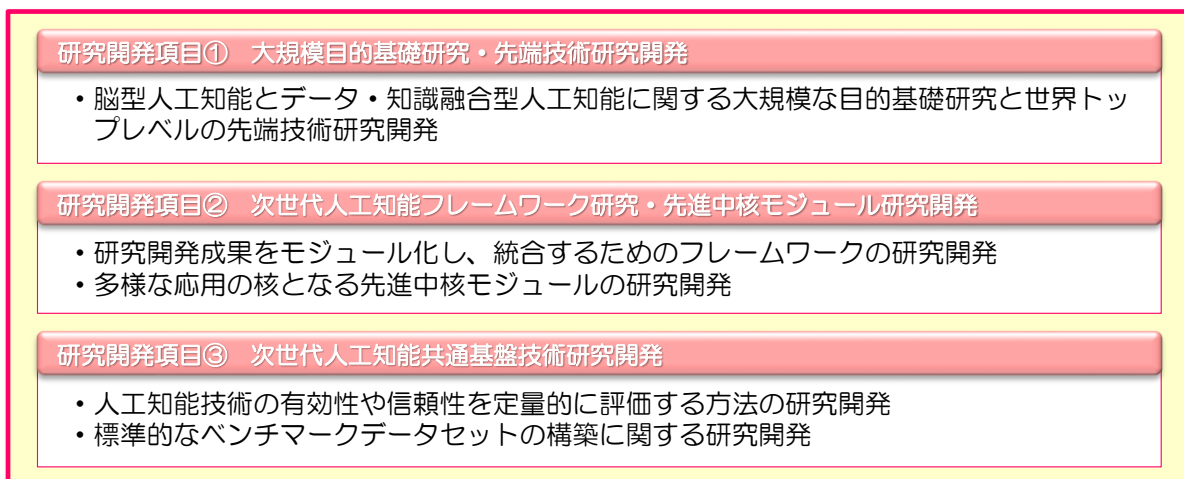
次世代人工知能技術分野と革新的ロボット要素技術分野の研究開発内容で、有機的に連携させられるものは、機動的に連携を図っていき、次世代人工知能を実装したロボットを目指した研究開発を行う。

また、リスク・性能評価技術等、各種の手法・技術等を調査・研究する。

本プロジェクトは、実用化まで長期間を要するハイリスクで非連続な研究開発に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施するものであり、委託プロジェクトとして実施する。

A. 次世代人工知能技術分野

「次世代人工知能技術分野」の研究開発項目の構成と概要は、以下のとおり。



研究開発項目⑦ 次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発

次世代人工知能技術の社会実装が求められる領域として、「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」における当面の検討課題のうち、(1)生産性、(2)健康、医療・介護、(3)空間の移動の3領域において、関連する課題の解決に資するため、次世代人工知能技術の社会実装に関する研究開発を先導研究から実施する。

なお、人工知能技術とものづくり技術との融合等を国内外の叡智を結集して、グローバルに行うことを考慮する。

「次世代人工知能技術分野」の各研究開発項目の内容及び達成目標は、以下のとおり。

研究開発項目①「大規模目的基礎研究・先端技術研究開発」

1. 次世代脳型人工知能の研究開発

(1) プロジェクトの必要性

計算機の処理能力の指数関数的な向上と電子化されたデータ量のあらゆる分野での飛躍的な増大を背景として、人間では活用が不可能な大規模データを解釈して価値に変える人工知能技術のニーズが増大している。しかしながら、現在の人工知能技術はパターン認識、自然言語処理、運動制御等の課題において一定程度の性能を実現しているものの、多様な状況への対応力、汎用性、データの「深い理解」の度合い等の点で、いまだ人間の脳には遠く及んでいない。

人間の脳は、大脳新皮質の感覚野、運動野、言語野等の部位、古皮質の海馬、大脳基底核等の部位、小脳等の様々な部位を総合的に用いて様々な課題を解決していると考えられている。そして、それらの情報処理の原理やそれぞれの関係は、近年の脳科学研究、特に計算論的神経科学の急速な進展によって解き明かされつつある。

こうした背景の下、Deep Learning 等の人間の脳を模倣した情報処理原理による人工知能技術が注目を集め、画像認識等の分野で人間に近い性能を実現している。しかし、現状の Deep Learning 技術は神経科学の一部の知見を利用している段階にあり、今後より多くの知見を取入れていくことでさらに高い性能が得られる可能性がある。

また、現状の技術は、個別の課題に適用されている段階にあり、人間の脳のように多種多様な情報を同時に扱い、多様な課題を総合的に解決できる状況にはない。

そこで、人間の脳の情報処理原理に基づいた次世代人工知能を実現するために、計算論的神経科学の最新の知見を取入れた脳型人工知能技術の大規模目的基礎研究を実施する。

また、その成果も取込みつつ Deep Learning 等の先端技術を高度化し、大規模なデータを用いて、従来手法ではうまく解決できなかった実世界の課題で高い性能を示すことを目指す先端技術研究開発を実施する。それらにより、少子高齢化による生産年齢人口の減少下における製造業の国際競争力の維持・向上、サービス分野の生産性向上、地域資源を活用した新産業の育成等による地域の活性化等の多様な社会的課題の解決に貢献する。

(2) プロジェクトの具体的内容

大規模目的基礎研究として、最新の計算論的神経科学の知見をより深く取入れた、人間により近いレベルの人工知能技術を実現するための脳型人工知能技術の研究開発を実施する。具体的には、脳の各部位、例えば、

- ① 大脳皮質の領野間の結合の双方向性を模倣することで、周囲の文字の並びから曖昧な文字をロバストに認識し、周囲の色合いから照明条件を推測し色や形を認識するなど、文脈を利用した視覚情報のロバストな認識を可能とする人工視覚野
- ② 大脳皮質運動野の階層構造や大脳皮質と大脳基底核・小脳との双方向接続の構造を模倣することで、人間のように少ない経験から滑らかな運動を学習する人工運動野
- ③ 大脳皮質言語野と他の領野との間の解剖学的接続関係を模倣することで、外界との相互作用によって単語や文の意味を自律的に学習する概念獲得システム及び、文法制約と意味制約の両方を同時に満たす人工言語野

等の研究開発を実施し、実世界の課題に関する大規模データに適用して有効性を検証する。

先端技術研究開発として、Deep Learning 等の先端的技術の性能の向上、新たな機能の追加、新たな課題への応用に関する研究開発を実施し、実世界の課題に関する大規模データに適用して性能を評価する。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

大規模目的基礎研究については、脳型人工知能のプロトタイプを試験的に構築し、下記の証拠を全て示すことによって、その技術の有望さと、最終目標を十分に達成する見込みを示す。

- ① 小規模な人工データを用いて、従来技術では不得意だが脳が得意とする機能を有することを定性的に示す。例えば、画像認識システムにおいて、文脈の情報を利用して、遮蔽物で隠された物体をロバストに認識・学習する機能を有することなどを示す。
- ② システムがスケーラビリティを持っていて、原理的に大規模化可能であることを示す。例えば、ニューラルネットワークの場合、ニューロン数に比例する程度の計算時間で動作することを示す。
- ③ 機械学習理論的な証拠や神経科学的な証拠等を複数示すことにより、将来的に脳に匹敵する性能を発揮しうる有望さを備えていることを示す。例えば、脳の視覚野を模倣したシステムの場合、視覚野の情報表現に関して知られている自明でない神経科学的知見が再現可能であることなどを示す。

先端技術研究開発については、研究開発項目③で構築する標準的ベンチマークデータに対する識別精度等何らかの計測可能な指標を設定するとともに、アルゴリズムの試験的な実装あるいはそれに相当する動作確認により、最終目標を十分に達成できる見込みを示す。

【最終目標】

大規模目的基礎研究については、研究開発項目②とも連携して、開発した手法を脳型人工知能システム概念検証システムを構築し、実世界規模のデータ・課題で定量的な評価を行い、実用可能性を確かめる。実世界規模のデータ・課題とは、例えば、画像処理であればカメラから得られる動画、運動制御であればロボットの実機若しくは物理エンジンを備えたシミュレータ、自然言語処理であれば WWW 等から得られる大規模なテキストデータを指す。さらに、概念検証システムの大規模並列実行環境を構築し、一度に入力するデータのサイズや処理の複雑さが増大しても、処理に必要な時間がほぼ変わらないことを確かめる。

先端技術研究開発については、研究開発項目②とも連携して、開発した手法を先進中核モジュールとして実装し、先導研究で設定した評価指標に関して、世界トップレベルの性能を達成可能なことを確認する。

2. データ・知識融合型人工知能の研究開発

(1) プロジェクトの必要性

近年、大量のテキスト、画像、音声、消費者行動履歴等のデータから確率分布や識別関数を学習し、新規なデータの分類・識別や観測できないデータの予測を行うデータ駆動型人工知能技術が発展し、様々な分野で成功を収めている。しかし、多くの場合、大量に収集されて静的に蓄積された単一種類のデータを扱っており、時々刻々と変化する時間的・空間的な状況や個人ごとに変化する状況依存的で動的な多種類のデータを十分に活用するものにはなっていない。

また、そこで学習や予測された結果は人間にとって理解が困難であり、そのことが人工知能技術に対して不気味さや不安を感じさせ、人工知能技術の普及を妨げる要因になっている。

一方、人間に理解しやすい明示的な知識を記述することで知的なシステムを実現するという知識駆動型の人工知能研究の流れは、オントロジー、セマンティック Web、Linked-Open-Data (LOD) 知識ネットワーク等の形で発展し、検索システムや質問応答システム等の分野で成功を収めている。しかし、そうした知識の多くは人手で構築されたものであり、センサ等から時々刻々得られる大量のデータと密に連携するものにはなっていない。

こうした人工知能技術の二つの流れを融合することは、人工知能の基本問題である記号接地問題やフレーム問題、特徴表現学習、自然言語理解等とも密接に関係しており、もし融合できれば、時間的・空間的に局在する実世界大規模データの深い理解ときめ細かい活用を可能にするとともに、人工知能に人間との共通言語、共通表現を持たせて従来のブラックボックス的な人工知能の気持ち悪さを解消し、人間にとって理解・制御・協働しやすい人間協調型の人工知能が実現可能になると期待されるが、未だに十分な形では実現されていない。

そこで、後述するような、データ・知識融合型人工知能の大規模目的基礎研究と、先端技術研究開発を実施する。それによって、ロボットや社会環境等の複雑なサイバーフィジカルシステムを知的に制御して、システムの効率性、安全性、頑健性を向上させるとともに、人々の意思決定を支援して生活の質を向上させるサービスを実現して、様々な社会的課題の解決に貢献する。

(2) プロジェクトの具体的内容

多様で非構造的な実世界の大規模データと、Web やテキストアーカイブ内の大量のテキストや人間により構造化された知識ネットワーク等の大規模知識を有機的に融合することで、人間知能との親和性が高い学習、推論、問題解決の能力を実現するための、データ・知識融合型人工知能技術の大規模目的基礎研究及び先端研究開発を実施する。

具体的には、大規模目的基礎研究として、ユーザの行動データのような、時間的・空間的に局在する大規模データを、状況依存性や個人性を考慮してきめ細かくモデル化する技術、自然言語テキストや知識グラフ等で記述された大規模な明示的知識を各種のセンサから得られる大規模な実世界データと融合して学習・理解・推論・行動計画を行う技術、推論結果や行動計画を、人間にわかりやすい形で提示・説明することで、人間と協働しながら意思決定を行うための技術等の研究開発を実施する。

また、先端技術研究開発として、データ・知識融合に適すると考えられる先端的な機械学習手法やベイズ的な確率モデリング手法等の性能の向上、新たな機能の追加、新たな課題への応用に関する研究開発を実施し、実世界の課題に関する大規模データに適用して性能を評価する。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

大規模目的基礎研究については、データと知識を融合するための基礎技術を試験的に実装し、例えば、データと知識を融合することによる予測・識別性能の向上や人間にとっての理解可能性の向上を評価することにより、最終目標を十分に達成する見込みを示す。

先端技術研究開発については、研究開発項目③で構築する標準的ベンチマークデータに対する識別精度等何らかの計測可能な指標を設定するとともに、アルゴリズムの試験的な実装あるいはそれに相当する中間検証により、最終目標を十分に達成できる見込みを示す。

【最終目標】

大規模目的基礎研究については、研究開発項目②とも連携して、データ・知識融合型人工知能技術の概念検証システムを構築し、ロボット等の複雑なサイバーフィジカルシステムを深く理解し、制御するような実世界規模の複数の応用課題に適用して有効性を確かめる。例えば、実世界の非構造的なマルチモーダル時系列データを基に人間の行動をモデル化して予測、制御する課題、大規模なイベントや施設、都市において交通や人の行動をナビゲーションする課題、それらの課題に関して自然言語で質問応答する課題等による動作確認が考えられる。

先端技術研究開発については、研究開発項目②の成果とも連携して、先進中核モジュールとして実装し、先導研究で設定した評価指標に関して、世界トップレベルの性能を達成可能なことを確認する。

研究開発項目②「次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発」

(1) プロジェクトの必要性

これまでの人工知能技術の応用はインターネット上のデータや静的なデータ、知識を対象にするものが多いが、ビッグデータの活用により、今後は、未知の環境であっても過去の経験と蓄積を利用してロボットに行動できる自律型ロボットのみにならず、生活空間中の製品の利用状況、消費者行動等のデータに応じた製造・流通制御、需要に即応したエネルギーの生産・流通制御、パーソナルな移動やヘルスケア等の生活支援、ビルや都市環境の管理や制御等、様々な応用分野（新たな物質・材料及びプロセス等の開発や高度化、ドローンや自動運転車等の広義のロボット）へ発展することが期待されている。

実世界規模のデータと新しい課題に先端的な人工知能技術を迅速に適用していくためには、従来の普遍的で静的なデータや知識だけでなく、時間や空間、状況等への依存性が強く、特定の時間・空間にだけ存在し、時々刻々と変化する多種多様な大規模データや知識を、多様な端末、センサ、ロボット等を通して収集し、プライバシー等の観点から安全・安心に蓄積・管理し、学習や推論に利用し、適切な場所やタイミングでユーザや環境への働きかけを実現するための情報処理基盤と、それを有機的に使いこなす高度なプログラミングが必要となる。

また、実世界規模の複雑な課題に対処するためには、複数の要素機能のモジュールを統合する必要があるが、統合の方法が悪いと、誤差の伝播による性能の低下や組み合わせ爆発による著しい効率の低下を招くことになる。こうしたことが、人工知能の大規模目的基礎研究開発を困難にするとともに、幅広い応用課題に対して先端的な人工知能技術を迅速に適用することの妨げとなっている。

そこで、大規模なデータの収集・蓄積・管理・利用を容易にするとともに、各種の要素技術を容易に組み込み・統合することを可能にする情報処理基盤としての次世代人工知能フレームワークと、脳型人工知能やデータ・知識融合型人工知能の複数の要素技術を統合した先進中核モジュールの研究開発を実施する。

これにより、研究開発項目①の大規模目的基礎研究や先端技術研究開発の成果を組み込んだ各種の先進中核モジュールを研究開発し、それらを統合した実用的なシステムを容易に、かつ効率よく実装することを可能にし、利便性の高いサービスを迅速に提供しつつ、高度な次世代人工知能技術の研究開発のために必須となるデータの収集と基盤技術の改良を継続的に行うポ

ジティブスパイラルを可能にする。こうして得られた研究成果を加速的に集積し、基礎研究から実応用開発に至る好循環の形成と、そこに携わる多くの研究者の協働の場としての次世代人工知能技術研究のプラットフォームを発展させることを通じて、我が国の次世代人工知能研究と実用化を促進し、人工知能技術の幅広い産業応用の創出にも貢献する。

(2) プロジェクトの具体的内容

次世代人工知能研究プラットフォームの形成に資する、次世代人工知能フレームワークの研究と、その中で動作する先進中核モジュールの研究開発を実施する。具体的には、蓄積されたデータ並びに時々刻々と得られるデータに対するスケーラブルなデータ蓄積機能、プライバシーやセキュリティに配慮した柔軟なデータアクセス機能、先進中核モジュールを統合する機能を備えた次世代人工知能フレームワークの研究を行う。

また、脳型人工知能、データ・知識統合型人工知能の要素技術を組み込んだ先進中核モジュールの研究開発を行う。さらに、複数の先進中核モジュールによる要素機能を次世代人工知能フレームワークの中で統合し、複数の大規模なサービスに適用して有効性を確認する。具体的には、例えば、生活中に局在するビッグデータからの学習推論によりユーザーモデルを構築して生活者の状況や意図の認識、行動理解を行うモジュールを統合した意思決定支援サービス、大規模な自然言語テキストの分析と理解に資するモジュールを統合した言語理解と意味を抽出するシステム、新たな物質・材料及びプロセス等を開発するためにデータや知識から物性や製造プロセス等を学習・解析・発見するシステム、データから環境モデルや行動モデルを学習し、未知の環境で行動することや新規な作業を容易に学習・実行することに資するモジュールを統合した高度なロボット制御システム等の動作確認が挙げられる。これにより、新たな大規模目的基礎研究の成果を早期に実用化に結びつけることを可能にし、さらに様々な機能を統合した実用システムのアジャイルな開発も容易にすることで、人工知能研究の発展と人工知能技術の実用化の促進を加速する。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

実世界に局在するビッグデータをプライバシーの観点から安全・安心に活用し、高度な次世代人工知能技術を実現するための情報処理基盤としての次世代人工知能フレームワークと、複数の先進的中核モジュールを試験的に実装し、個別モジュールの性能の先進性を検証するとともに、それらを用いてユーザの意思決定支援や生活行動支援を行うサービスのプロトタイプを複数構築して、最終目標を十分に達成する見込みを示す。

【最終目標】

研究開発項目①と連携しつつ、ビッグデータの活用が期待されている実社会課題の領域を対象にして、時々刻々得られる大規模なデータをリアルタイムに活用する実社会サービスの研究開発を効率的に実施し、実際の生活空間の中で、時間・空間や状況に依存した高度な判断や生活行動を支援する複数のサービスが実現可能になることを示す。

こうした成果を通じて、複数の大学や企業が、開発した次世代人工知能フレームワークや先進的中核モジュールを用いて新規な次世代人工知能技術の研究開発や評価を効率的に行うことができる体制、エコシステムを実現する。

研究開発項目③「次世代人工知能共通基盤技術研究開発」

(1) プロジェクトの必要性

人工知能技術の社会適用を進めるためには、技術の有効性や信頼性を定量的に評価し、性能を保証することが重要である。しかしながら、人工知能技術は、多くの場合、多様な状況の下で柔軟に機能することを求められるため、その性能や信頼性の評価・保証は容易ではない。さらに、人工知能が学習能力を持つ場合には、システムが時々刻々と変化していく可能性があるために、その性能の評価・保証はより一層困難な課題となる。このことは、最先端の人工知能技術の継続的な進歩と実社会課題解決への採用を妨げることにもつながっている。

そこで、次世代人工知能共通基盤技術研究開発として、人工知能技術の有効性や信頼性を定量的に評価し、性能を標準的に保証するための方法、そのために必要となる標準的な問題設定、ベンチマークデータセットが満たすべき性質と構築の方法に関する研究開発を実施する。

また、関係学会等との連携等を通じて、標準化に向けて活動を行うと共に、企業との連携等を通じて、橋渡しに向けて活動を行う。これにより、次世代人工知能技術研究のプラットフォームの形成に資することを通じて、人工知能技術の幅広い産業応用の創出に貢献する。

(2) プロジェクトの具体的内容

次世代人工知能技術の評価手法、評価のための標準的な問題設定やベンチマークデータセットの構築方法に関する研究開発を実施する。具体的には、統計的な機械学習手法やデータマイニング手法の性能や信頼性を評価するための、理論的・実験的な枠組みに関する研究開発を行う。

また、実世界での標準的な大規模課題を選定し、そこにおける性能や信頼性の評価・保証のための現実的な方法に関する研究開発を行う。さらに、評価に用いる標準的なベンチマークデータセットを構築するとともに、それらを用いて実際に研究開発項目①、②の評価を行いつつ、データセットの収集・構築・改良の方法について研究開発を行う。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

評価用の課題の選定や設定方法、ベンチマークデータセットの収集・構築方法を定める。その方法に基づいて複数の標準的課題（タスクセット）を設定するとともに、標準的ベンチマークデータセットを構築して、研究開発項目①、②の研究開発の中で次世代人工知能技術の性能や信頼性の評価を試みる。

【最終目標】

先導研究の結果から改良点を洗い出し、複数の標準的課題（タスクセット）を設定するとともに、標準的ベンチマークデータセットを構築して、研究開発項目①、②の研究開発の中で次世代人工知能技術の性能や信頼性の評価方法を確立する。

研究開発項目⑦「次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発」

(平成 29 年度より実施)

(1) プロジェクトの必要性

今後、我が国産業が欧米等とのグローバル競争に伍していくためには、人工知能技術そのものの研究開発に加えて、国内外の叡智を結集し、人工知能技術とものづくり技術との融合等をグローバルに行うことが重要である。これを踏まえ、平成28年度第2次補正予算として成立した経済産業省の「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」では、人工知能技術に関する最先端の研究開発・社会実装を産学官が連携して強力に推進するために、国立研究開発法人産業技術総合研究所が、東京都臨海副都心地区及び千葉県柏地区に産学官連携の施設を整備し、次世代人工知能技術の社会実装の加速を図ることとされている。

そこで、我が国が国際優位性を有するものづくり（ロボティクス及び材料・デバイス）等とその良質な現場データを活かした人工知能の実現による生産性、健康、医療・介護、空間の移動の3領域等における知能化を目指した研究開発を先導研究から実施する。

(2) プロジェクトの具体的内容

次世代人工知能技術の社会実装が求められる領域として、「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」における当面の検討課題のうち、①生産性、②健康、医療・介護、③空間の移動の3領域において、関連する課題の解決に資する次世代人工知能技術の社会実装に関する研究開発を先導研究から実施する。

具体的には、人工知能と融合させる領域として、ロボティクス（システム、シミュレータ、プラットフォーム）及び材料・デバイス（センサ、アクチュエータ等の人工知能／IoT デバイスと半導体、スマートマテリアル、ナノ材料等の製造に関する計測、加工、合成技術を含む）を中心に設定し、質の高い独自の現場データを取得した上で、次世代人工知能技術の生産性、健康、医療・介護、空間の移動の3領域等における社会実装に取り組むための研究開発を先導研究から実施する。

(3) 達成目標

【先導研究の最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する人工知能等の要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術課題に関する課題の明確化、その課題解決の方法を示し、想定した環境において成果物の動作を確認することで、設定した最終目標を十分に達成することを示す。

さらに、「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」で東京都臨海副都心地区及び千葉県柏地区に整備される国立研究開発法人産業技術総合研究所の産学官連携の施設において、平成 30 年度以降に実施される社会実装に向けた本格的な研究開発に繋げることを想定して、課題解決に応じた対応シナリオからなる実用化計画を策定する。

「革新的ロボット要素技術分野」の研究開発項目の構成と概要は、以下のとおり。

B. 革新的ロボット要素技術分野

研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）

- 画期的な視覚・聴覚・力触覚・嗅覚・加速度センシングシステム等の研究開発
- センサと行動の連携による行動センシング技術等の研究開発

研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）

- 人共存型ロボットに活用可能なソフトアクチュエータ（人工筋肉）の研究開発
- 高度な位置制御やトルク制御を組合わせて関節の柔軟性を実現する新制御技術や機構等の研究開発

研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術

- 実環境の変化を瞬時に認知判断し、即座に対応して適応的に行動する技術の研究開発
- 個別に開発された要素技術を効果的に連携・統合動作させるシステム統合化技術の研究開発

（成果の適用イメージ）人とロボットの協働社会の実現



災害対応



人共存



QoL向上

「革新的ロボット要素技術分野」の各研究開発項目の内容及び達成目標は、以下のとおり。

研究開発項目④「革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）」

(1) プロジェクトの必要性

噴火、地震等の災害に見舞われることの多い我が国においては、災害時にいち早く生存者の位置を確認し、救出することがより一層重要となる。このため、遠隔操作でロボットを災害現場に派遣し、がれきや土砂等に埋もれてしまって見えない生存者・心肺停止者の早期の発見を可能にするなど、自由に操れる遠隔操作が可能なロボットが必要である。さらに、センシング技術の活用により、生存者・心肺停止者を認識できるロボットの開発が期待される。

例えば、人間（生存者・心肺停止者）の発見には、従来以上の画期的な視覚、電磁波、化学的知覚センサ等のセンサや複数のセンサを統合することで実現の可能性がある。

また、センサそのものに加え、次世代人工知能技術と連携することにより、人間と同等、又はそれ以上の認識能力を実現できる可能性もある。

(2) プロジェクトの具体的内容

ロボットの能力を飛躍的に高めることのできる革新的なセンシング技術を研究開発する。以下に例①～例②として研究開発の例を列挙するが、本プロジェクトは、テーマ公募型で行うものでありこれらの内容に縛られるものではない。

例① 「革新的なセンシング技術」

変動する環境に柔軟に対応することでノイズに埋もれた弱い信号を的確に抽出することができる、従来にはない革新的な視覚・聴覚・嗅覚・力触覚等のセンシング技術を研究開発する。例えば、外乱の多い屋外災害現場において人体位置を検出できるセンサシステムや超高感度な化学的知覚情報（嗅覚・味覚）センサシステム等を研究開発する。特に、視覚に関して3Dセンサシステムは重要な技術と考えられる。ロボットの基本行動を実現する自律移動技術、物体把持技術、環境認識技術、個人認証や人認識等の個々が要求する3Dセンサシステムに対する環境変動要求、計測距離要求、精度要求等を全て同時に満足し、対象物の物性や表面形状に依存しないセンサシステムを研究開発する。

また、高分解能で小型のジャイロセンサシステム、従来技術を超越した触覚センサシステム等を研究開発する。

例② 「革新的な能動的センシング技術」

センサが持つ性能をロボットが環境に対して能動的に働きかけることで、性能以上のセンシング能力を実現できる可能性がある。例えば、触ることで机上の髪の毛が分かるなどのセンシング技術と、移動する、持ち上げる、表面を擦るなどのロボットの行動との結合により、センサ単体の性能以上の解像度や分解能を発揮させることが可能となる。ロボットの能動的行動と連動させることで物体の状態や環境の状況を高性能に理解する能動的センシング技術を研究開発する。

また、触った時の動き方やへこみ方等から物体の状態を理解するために、ロボットの行動と密接に連携してセンシングする技術が必要であり、ロボットの能動的行動から実空間の物体や環境を理解する技術を研究開発する。

これらのセンシング技術を活かし、伝統技術を蓄積・伝承するための、職人技を習得する技術としてまとめてもよい。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術要素に関する課題の明確化、課題解決の方法を示し、プロトタイプ機あるいはそれに相当する動作確認により最終目標に十分に達成する見込みを示す。さらに、課題解決に応じた複数の対応シナリオからなる後期計画を策定する。

【最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素のアイデアについて、先導研究完了時に策定する後期計画の実行を通して、当該技術の応用例を提案して機能・性能を動作確認し、その実用化研究開発のシナリオを策定する。

(4) 特記事項

研究開発するセンサはロボットに接続して活用可能なセンサであること。さらに、ロボットと同期して利用可能なセンサであること。

(例えば、DNA チップのように試薬の発色の変化を人間が観察することにより、識別するような非接続的なセンサは本プロジェクトの対象とはしない。)

研究開発項目⑤「革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）」

(1) プロジェクトの必要性

人と協働し補完し合うロボットにおいては、外部に働きかけを行うための装置に関する技術が必要となる。例えば、今後の高齢化社会を見渡す中で、高齢者・障がい者のサポートの負担を軽減するのみならず、本人がロボットの補助を受けつつも自らの力で生活することが、生活の質を高める大きな力となる。これを実現するものとして、身体に貼り付けたり、衣類を着用したりする感覚で使用できる新しいウェアラブルアクチュエータが期待される。これにより、ロボットを身に着けること自体が負担となることを避け、ごく自然な生活を手に入れることが可能となる。

また、人工筋肉を中心とした「軽量でソフトな」アクチュエータの開発が必要となる。従来技術では、例えば細かな位置決め作業に不向きであるなどの課題があり、非線形性の高いシステムをスムーズに制御する制御理論等が必要となる。

このような従来にない静電力、電磁力、流体力、化学力等の新原理による高出力軽量のアクチュエータ、それらを駆動するための制御技術の研究開発等を行う。

(2) プロジェクトの具体的内容

次世代のロボットを実現しうる革新的なアクチュエータ技術を研究開発する。以下に例①～例③として研究開発の例を列挙するが、本プロジェクトはテーマ公募型で行うものでありこれらの内容に縛られるものではない。

例①「革新的なアクチュエータ」

例えば、生体の筋肉のように柔らかいソフトアクチュエータ（人工筋肉）を研究開発する。人工筋肉は、現在研究段階で、モータを用いたアクチュエータと比べ効率性・耐久性の面で劣るために実用化されているものは少ないものの、今後、人共存型産業用ロボット、パワーアシスト等の普及のためには、人工筋肉を中心としたソフトなアクチュエータの開発が必要である。そのために、高分子や金属、繊維等の材料開発等の研究開発を行い、人工筋肉を実現する。

また、従来にない高いエネルギー効率を持つアクチュエータや軽量な革新的アクチュエータ、小型で可変減速なアクチュエータの研究開発提案も歓迎する。

例②「革新的なアクチュエータ制御」

ロボットの位置決め精度を向上させるには高剛性であることが求められるため、剛性の高い金属素材を用いることが常道であったが、この方法では柔軟なロボットの実現は困難であった。従来法の課題を画期的な方法で克服し、弾性のある素材で覆うことで衝突時の衝撃

を和らげると同時に、高度な位置制御やトルク制御を組み合わせるソフトウェア的に関節の柔軟性を実現する革新的な制御方式を研究開発する。

また、重量物の持ち上げと精密な動作の両方を実現し、かつ、軽量の革新的アクチュエータと制御技術を研究開発する。人間と同等サイズ・重量で、力強さ（出力）と器用さ（動作の精密さ）を両立させるアクチュエータが必要とされている。現在の剛性の高い機構や自由度の少ないアクチュエータと異なる原理により、柔軟な動きが可能で、かつ、細かい位置決め作業が実現できる革新的なアクチュエータ制御技術を研究開発する。

例③「革新的なアクチュエーションシステム」

単体では従来型のアクチュエータ（例えば油圧）であっても、組合せや制御法、革新的な機構との連携、分布構造等の革新的な工夫により、従来にないロボット用の革新的なアクチュエーションシステムを研究開発する。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術課題に関する課題の明確化、課題解決の方法を示し、プロトタイプ機あるいはそれに相当する動作確認により最終目標に十分に達成する見込みを示す。さらに、課題解決に応じた複数の対応シナリオからなる後期計画を策定する。

【最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素のアイデアについて、先導研究完了時に策定する後期計画の実行を通して、当該技術の応用例を提案して機能・性能を動作確認し、その実用化研究開発のシナリオを策定する。

(4) 特記事項

研究開発するアクチュエータやアクチュエータ制御技術は、ロボットに活用可能なものであること。

研究開発項目⑥「革新的なロボットインテグレーション技術」

(1) プロジェクトの必要性

ロボットと人が同居したり、自然が支配するなどの複雑な実空間で真に効果的に稼働したりするためには、従来にない革新的なロボット技術が必要である。

例えば、瞬時に様々に変化する環境やロボットが行動した結果に準じて生じる様々な状況変化、対応する人の動作の変化に応じて、即座に適応し行動するシステム技術が必要となる。即座に対応する性能を実現するためには、従来の情報処理型の人工知能とは別の、機械構造に密接に関係した高速な処理が必要となる。人の作業を代替したり、支援したりするロボットを実現するためには、実際の現場において、瞬時に状況に対応した行動を発揮できる技術が必要である。

(2) プロジェクトの具体的内容

ロボットの機能・性能を非連続的に向上させる、革新的なロボット技術を研究開発する。以下に例①～例④として研究開発の例を列挙するが、本プロジェクトは、テーマ公募型で行うものでありこれらの内容に縛られるものではない。ただし、研究開発するロボットシステムで最終的に目指すタスクを明確にすること。

例①「革新的な自律ロボットシステム技術」

ロボットが人の作業をその場で代替するには、人の作業内容や意図を瞬時に理解し、ロボット自身の行動に置き換え作業し、人による作業と同等かどうかを常に判断・修正しながら行動することが必要となる。さらに、何度か行動を繰り返すことで、作業の質向上や作業時間の短縮等を自律的に行うロボットシステム技術や要素技術を研究開発する。

例②「革新的な遠隔操縦ロボットシステム技術」

人が直接行くことができない環境下では、ロボットを遠隔操縦する技術が必要となる。特に、多自由度を有するロボットにおいては、簡易に意図した行動をロボットに行わせるための操縦制御方法が必要となる。

また、ロボットとの通信切断が起きた場合に、ロボット自身が安定な状態を維持するために自律的に一時待避行動を取ることができるなどのロボットシステム技術や要素技術を研究開発する。

例③ 「ドローンに係る要素技術開発」

強風等の環境変動に対して安定飛行する機体構造・制御技術、並びに逐次変化する複数のドローンの空路を考慮した自律移動技術など、実用化のために必要不可欠な基盤技術の更なる向上を目指した要素技術を研究開発する。

例④「人間の知覚情報処理を参考にした革新的なロボットシステム」

人間とロボットを比較した場合、人間は、高度にかつ巧みに、知能・センサ・アクチュエーションを統合している。例えば、大脳皮質と大脳基底核及び小脳の機能の情報伝達システムと手・足の筋肉と関節等のアクチュエータは、シームレスな情報伝達・モーションの統合形態として相当程度洗練されていると考えられる。一方で、現在のロボットシステムは、人工知能と各種センサやアクチュエータが連携はしているが、個々の要素技術のつなぎ合わせ的な側面が存在すると考えられる。よって、人工知能、センサ、アクチュエータを、人間の脳・神経・筋肉の統合方法等を参考にしながら、高度に連関させる革新的なロボットシステムを研究開発する。

例⑤「革新的なウェアラブルロボットシステム技術」

人の作業を支援するロボットの形態としてウェアラブルロボットによる身体能力を拡張する技術がある。人の意図を瞬時に判断し、ロボットを装着している違和感を与えることなく身体能力を拡張することができるウェアラブルロボットシステム技術や要素技術を研究開発する。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術要素に関する課題の明確化、課題解決の方法を示し、プロトタイプ機あるいはそれに相当する動作確認により最終目標に十分に達成する見込みを示す。さらに、課題解決に応じた複数の対応シナリオからなる後期計画を策定する。

【最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素のアイデアについて、先導研究完了時に策定する後期計画の実行を通して、当該技術の応用例を実空間の行動として実現・評価し、その技術の実用化研究開発のシナリオを策定する。

(4) 特記事項

研究開発項目⑥のテーマにおいては、次世代人工知能技術分野の研究開発と連携することで情報領域の知能と実世界知能を掛け合わせ、実空間のタスクでさらに向上した機能・性能により効果的にロボットが活動可能であることを動作確認することを強く推奨する。

2.2. 研究開発の実施体制

次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）の研究開発は、これらの研究開発項目が互いに密接に関連しており、総合的かつ集中的に行うことが必要かつ適切であると考えられることから、拠点を設定し、産学官の英知を結集することにより実施する。

また、拠点の形成により、我が国の人工知能研究者の多くが個別に、実世界との接点が限られた中で研究している状況を変え、先進的な次世代人工知能の開発・実用化と基礎研究の進展という好循環の形成を図る（平成27年度より、AIRCを拠点として委託）。

次世代人工知能技術分野（研究開発項目⑦）は、グローバル研究拠点と連携しながら、次世代人工知能技術の社会実装を図る。

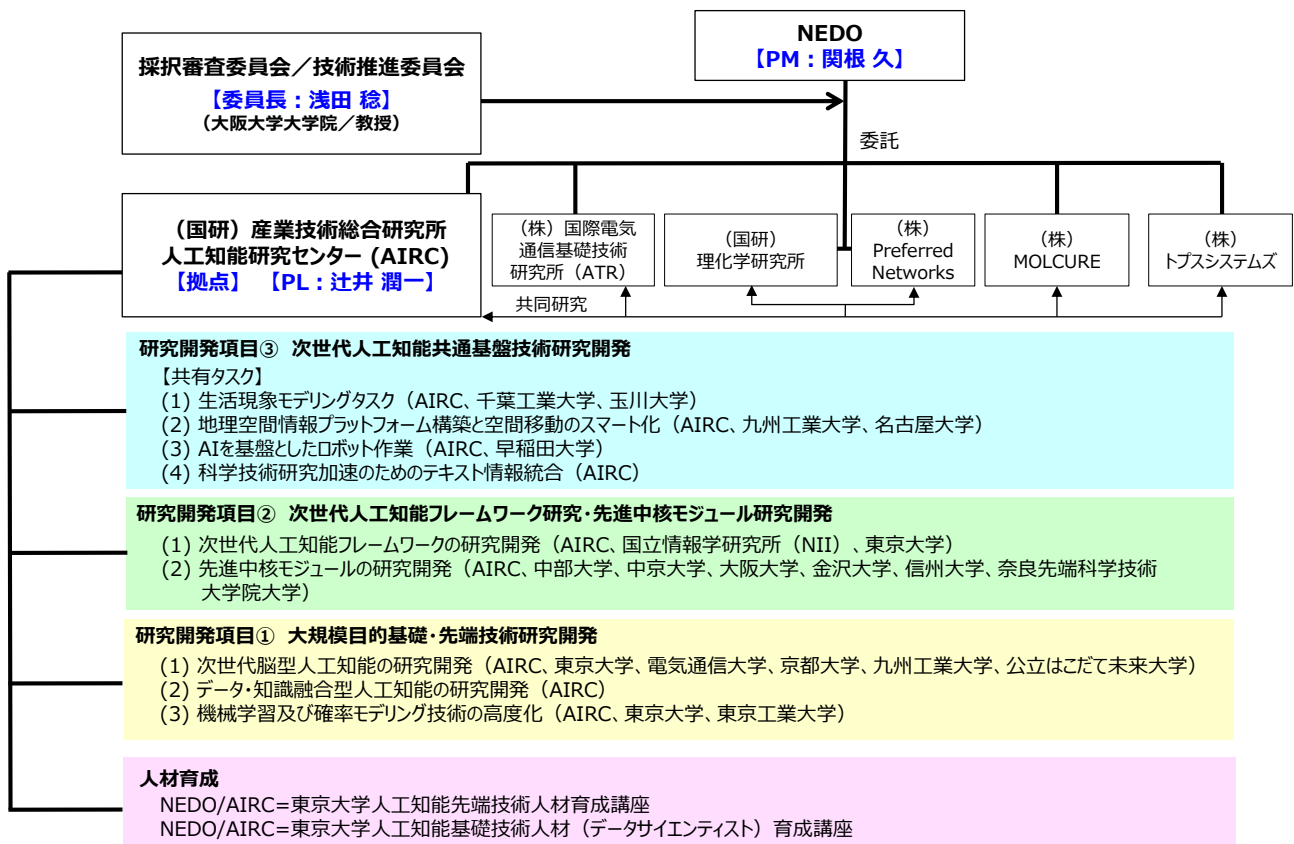
本プロジェクトは、研究者の創意工夫を最大限発揮することを目指し、PM（Project Manager）を設置し、NEDO ロボット・AI部 統括研究員の関根 久を任命する。PMは、実施体制の構築、予算配分、プロジェクトの実施等、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化することを念頭に任務を遂行する。PMは、その任務の遂行に当たって必要となる資金配分や技術開発内容の見直し、実施体制の変更の権限と裁量を有するものとする。具体的なPMの役割は、以下のとおりである。

(1) 実施体制の構築

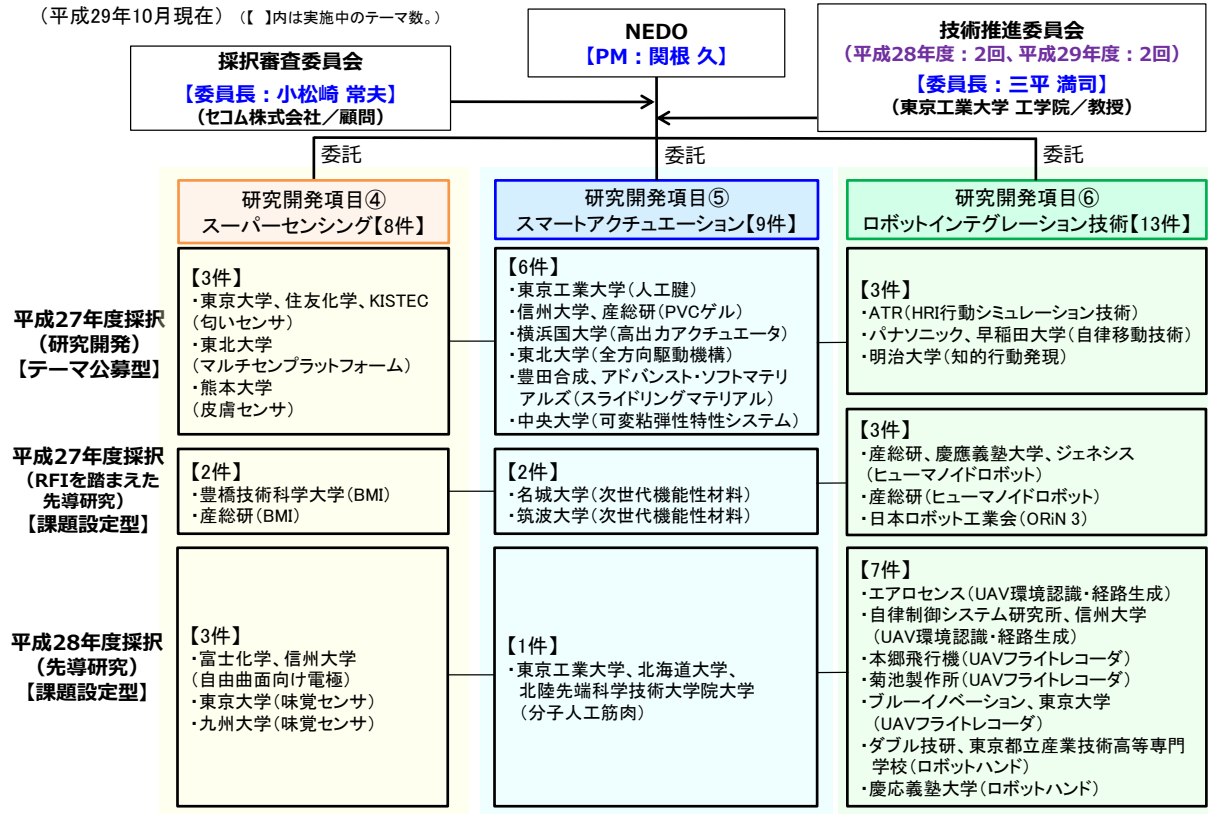
- ・PMは、策定した基本計画を公表し、本邦の企業、大学等の研究機関（本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から、国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる）から、公募によって研究開発テーマ事業実施者を選定し、委託により実施する。

- PM は、採択時には各研究開発項目の開発技術に対し、あらかじめ技術を活用できる想定タスク（ユースケース）とその典型的応用シーンにおける貢献方法を確認する。このことで、開発技術の用途を明確化し、実用性、有用性において将来のロボットを飛躍的に高めるための革新的要素技術であることを確認する。
また、想定タスクを実現するための段階的な目標として、ステージゲート及び最終評価時の到達目標、動作確認方法、評価基準をあらかじめ明確に設定する。
- PM は、公募に対する応募内容を踏まえながら、実施体制（案）を策定する。
- PM は、策定した実施体制（案）について、機構外部の専門家・有識者等からなる検討委員会の意見を踏まえ、実施体制を決定する。その際、PM の判断により、数多くの提案の一次スクリーニング等に部分的にピア・レビュー方式（産業界、学术界等の外部の専門家・有識者を活用した提案書の審査方式）を活用する。
- PM は、特定の実施者の採択による利益相反を未然に防止するため、必要に応じ上記の検討委員会等による確認体制を設ける。

「次世代人工知能技術分野」の研究開発体制は、以下のとおり（平成 29 年 10 月時点）。



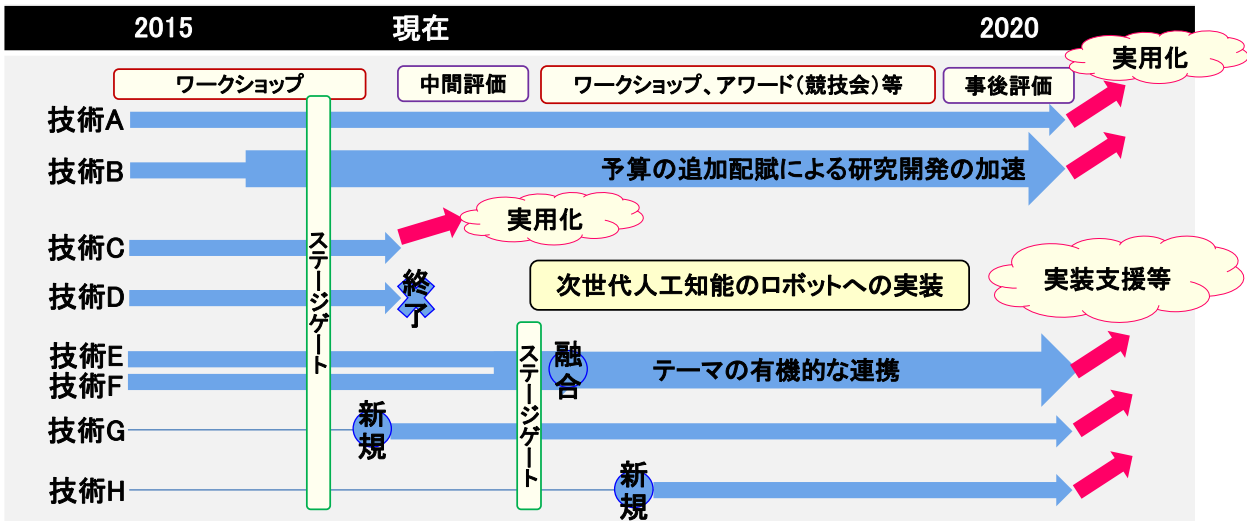
「革新的ロボット要素技術分野」の研究開発体制は、以下のとおり（平成29年10月時点）。



(2) プロジェクトの実施

本プロジェクトは、政府の「ロボット新戦略」における次世代に向けた技術開発のアクションプラン（下図参照）を踏まえ、PM 主導で実施している。

- データ駆動社会を勝ち抜くための研究開発を推進することが必要であり、そのための重要な要素技術等について、**革新的な次世代技術の研究開発**を推進することが必要。
- 開発すべき次世代技術としては、**産業や社会に実装され、大きなインパクトを与える重要な要素技術 (人工知能、センサ及び認識のシステム、機構・駆動(アクチュエータ)及びその制御システム等のコアテクノロジーや基盤技術等)**。
- 多くの要素技術の研究開発を並行して実施すると共に、**ワークショップ**の開催等を通じて、技術間の連携や情報共有を図りながら、**アワード(競技会)方式**も活用して技術間の競争を促進。オープンイノベーションを導入して研究開発を実施。



「ロボット新戦略のポイント」(2015/1/23, ロボット革命実現会議)を基に作成。

- ・ PM は、プロジェクトの実施期間中、NEDO 技術戦略研究センターの知見を活用しつつ、国内外の関連技術動向を把握するとともに、本プロジェクト全体の進捗を把握・管理し、その進捗状況を踏まえて、資金配分や技術開発内容の見直し、実施体制の変更、加速、方向転換、中断、新規実施者の組み込みなどを柔軟かつ機動的に行う。
- ・ PM は、プロジェクトの成果の円滑な権利化及びその実用化・事業化を図るため、実施者間の知的財産の調整や標準化に関わる事項を主導する。

本プロジェクトにおいては、次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）は、主に拠点で研究開発が進められることから、拠点の長が PL（Project Leader）の役割を担うこととする。

NEDO は、平成 27 年度に実施した公募の結果、拠点として採択した AIRC 研究センター長の辻井潤一氏を次世代人工知能技術分野の PL とする。PL は、プロジェクトをより効率的かつ効果的に遂行するために、プロジェクトの技術目標等の達成に向けた取組、研究開発の進捗状況の把握、プロジェクトの実施体制の構築・改変、事業者間等の予算配分、当該プロジェクトに参画する研究者の人選及びプロジェクトの成果の評価等に係る業務の全部又は一部について、NEDO と協議して実施する。

研究開発項目⑦については、PL は、「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」において整備される国立研究開発法人産業技術総合研究所の産学官連携の施設において、国内外の叡智を集めて、平成 30 年度以降に実施される社会実装に向けた本格的な研究開発に繋げるべく、産学官連携による先導研究と AIRC の研究開発成果の実装・融合等を図る。

NEDO は、本プロジェクトの実施に当たり、当該分野の研究開発のより一層の効果的な推進のため、適切に行われるような措置を講じた上で、PM の役割のうち必要かつ適切な裁量を PL に担わせることができる（ただし、基本計画の策定と公表、公募、対象事業者の選定と委託及びステージゲート等の評価を除く）。

また、NEDO は、総務省や文部科学省をはじめとした関係府省及びその関係機関と連携し、人工知能に関する実効性のある研究開発を推進する。

2.3. 研究開発の運営管理

(1) PM 主導の研究開発マネジメント

プロジェクトの管理・執行に責任を有する NEDO は、PM を置き、経済産業省と密接に連携させつつ、本プロジェクトの目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。

また、PM は、必要に応じて、NEDO に設置される検討委員会における外部有識者の意見を運営管理に反映させるなどを行う。具体的には以下の事項について運営管理を実施する。

① 研究開発テーマの公募・採択

- ・ NEDO 又は PM は、ホームページ等のメディアを最大限に活用することにより公募を実施する。公募に際しては、機構のホームページ上に公募に係る事前の周知を行う。

また、地方の提案者の利便にも配慮し、地方での公募説明会を積極的に開催する。

- ・ NEDO 又は PM は、機構外部からの幅広い分野の優れた専門家・有識者の意見を参考にしつつ、客観的な審査基準に基づく公正な選定を行う。特に、我が国の経済活性化により直接的で、かつ、大きな効果を有する案件を選定する。

- ・ NEDO 又は PM は、選定結果の公開と不採択案件に対する明確な理由の通知を行う。
- ・ 公募は原則として第1年度に実施するが、予算や社会動向、政策動向等に応じて適宜追加実施を検討することとする。
- ・ 次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）については、研究開発項目①、②及び③全てを一体で遂行することを拠点の条件とする。次世代人工知能技術分野の一部の項目（研究開発項目①、②又は③）のみへの提案も可能とするが、実施に当たっては、拠点への参加を原則とする。

② 評価結果等に基づく研究開発テーマの予算配分の見直し等

非連続な研究開発を対象とする本プロジェクトにおいては、多様な可能性に対し幅広くチャンスを与え、進捗に応じて成果実現の可能性や期待がより明確となったテーマについて手当を継続する方式を採用する。大学・公的研究機関・企業等の優れたシーズ技術を対象として、技術的にブレイクスルーを達成できる目途を得るために、2年以内の先導研究期間において、開発提案テーマの実現可能性を調査・検討し、本プロジェクトの技術推進委員会の助言のもと、NEDO 又は PM がテーマの絞り込みを行うステージゲート評価等を実施する。

また、このような機会を捉え、関連する研究開発を行っている文部科学省、総務省等の参画を得たワークショップ等を開催し、情報発信・収集を行う。その後、先導研究で技術の確立に見通しがついた研究開発等を3年目以降本格的な研究開発として実施する。テーマ終了翌年度に事後評価を行う。

なお、先導研究終了時点での評価結果が一定水準に満たない案件については、抜本的な改善策等が無いものは原則として中止する。

(2) 研究開発スケジュール

本プロジェクトの研究開発スケジュールは、以下のとおり。

	平成27年度 (2015年度)	平成28年度 (2016年度)	平成29年度 (2017年度)	平成30年度 (2018年度)	平成31年度 (2019年度)	平成32年度 (2020年度)
		ワークショップ	ワークショップ 中間評価			事後評価
	<p><研究開発項目></p> <p>【次世代人工知能技術分野】</p> <p>①大規模目的基礎研究・先端技術研究開発 ②次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発 ③次世代人工知能共通基盤技術研究開発 ⑦次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発</p>					
	<p><研究開発項目></p> <p>【革新的ロボット要素技術分野】</p> <p>④革新的なセンシング技術（スーパーセンシング） ⑤革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション） ⑥革新的なロボットインテグレーション技術</p>					
【1】 H27FY 開始①	1. H27FY開始：人工知能分野【研究開発項目①～③】（課題設定型）、ロボット分野【研究開発項目④～⑥】（テーマ公募型）					
	公募	先導研究 【AI:2件、ロボット:18件】 ★★★☆☆	ステージゲート	研究開発 【AI:2件、ロボット:12件】 ★★		
【2】 H27FY 開始②	2. H27FY開始：人工知能分野【研究開発項目①】、ロボット分野【研究開発項目④～⑥】（RFIを踏まえた課題設定型）					
	RFI 公募	調査研究 【AI:3件、ロボット:13件】	ステージゲート	先導研究 【AI:1件、ロボット:7件】 ★★★	研究開発	
【3】 H28FY 開始	3. H28FY開始：人工知能分野【研究開発項目①】、ロボット分野【研究開発項目④～⑥】（課題設定型テーマ公募）					
	公募	先導研究 【AI:2件、ロボット:11件】 ★★★	ステージゲート	研究開発		
【4】 H29FY 開始①	4. H29FY開始：人工知能分野【研究開発項目⑦】（課題設定型テーマ公募）					
			公募	先導研究 （研究開発項目⑦） 【AI:15件】		
【5】 H29FY 開始②	5. H29FY開始：人工知能分野【研究開発項目①～③】（課題設定型テーマ公募）					
	★★ 技術推進委員会（人工知能分野） ★ 技術推進委員会（ロボット分野） ★ ワークショップ内にて開催	公募	調査研究 （研究開発項目①～③） 【AI:6件】			

(3) 公募とステージゲート評価

平成 27 年度～平成 29 年度に実施した公募（【1】～【5】）の狙いとステージゲート評価の主旨（中間評価時点）は以下のとおり。

公募	次世代人工知能技術分野	革新的ロボット要素技術分野
【1】平成27年度 開始①	「ロボット新戦略」におけるアクションプランを達成するために実施した第1弾の研究開発テーマの公募。	
	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発拠点の選択。 基本計画に基づき、以下の研究開発項目において、課題設定型にて採択。 研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発 研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発 研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> 基本計画に基づき、以下の研究開発項目において、革新的要素技術をテーマ公募にて採択。 研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング） 研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション） 研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術
平成28年度末のステージゲートにおいて、実用化への道筋等を評価し、通過テーマの選定。		
【2】平成27年度 開始②	Request For Information (RFI) により、将来有望又は必要とされる可能性がある技術的な課題を設定し、調査・先導研究として公募。	
	平成28年度期中のステップゲートにおいて、より革新的な研究開発に明確な道筋を付けたテーマについて、先導研究フェーズへ移行。	
【3】平成28年度 開始	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発拠点の強化。 研究開発項目①「大規模目的基礎研究・先端技術研究開発」において、若手研究者・ベンチャー企業の育成の観点から公募。 	これ以前に公募した内容でカバーできなかった、社会課題の解決のために実施すべき課題である「ロボットハンド」、「味覚等の革新的センサ」、「UAVの小型フライトレコーダ等」、「分子人工筋肉」等を課題設定型として公募。
【4】平成29年度 開始①	研究開発項目⑦「次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発」として、グローバル研究拠点における本格的な研究開発に繋げるべく、産学官連携によるAI社会実装の先導研究を公募。	
【5】平成29年度 開始②	AI社会実装の実現可能性を評価するため、簡易な申請書面による審査に加えて、デモンストレーションによる審査を経て、コンテスト方式により、上位から委託費上限額を傾斜配分した調査研究を公募。	

平成 27 年度～平成 29 年度に実施した公募（【1】～【5】）の具体的な内容は、以下のとおり。

【1】平成 27 年度公募①（先導研究→研究開発）

「次世代人工知能技術分野」（研究開発項目①、②及び③）は、研究開発成果を最大化するため、重要な研究開発テーマを選定し、課題設定型により実施した。

「革新的ロボット要素技術分野」（研究開発項目④、⑤及び⑥）は、革新的な新たなセンサやアクチュエーション、ロボットインテグレーション技術の発掘を積極的に進めるため、テーマ公募型により実施した。

A. 次世代人工知能技術分野

研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発

最新の計算論的神経科学の知見を取入れた脳型人工知能及びデータ駆動型的人工知能と知識駆動型的人工知能の融合を目指すデータ・知識融合型人工知能に関して、大規模なデータを用いた実世界の課題への適用とその結果の評価を前提とした目的基礎研究（大規模目的基礎研究）と、世界トップレベルの性能の達成を目指す先端技術の研究開発を実施する。

研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発

広範な人工知能技術の応用に係る研究開発や社会実装に資するため、研究開発項目①の成果である脳型人工知能技術、データ・知識融合型人工知能技術、その他大学や企業が有する様々な人工知能技術をモジュール化し、統合するための次世代人工知能フレームワークと、次世代人工知能技術を統合し、多様な応用に迅速につなげるための核となる先進中核モジュールの研究開発を実施する。

研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発

次世代人工知能の共通基盤技術として、人工知能技術の有効性や信頼性を定量的に評価し、性能を保証するための方法、そのために必要となる標準的問題設定や標準的ベンチマークデータセット等が満たすべき性質と構築の方法に関する研究開発を実施する。

また、それらを用いて、研究開発項目①、②の成果の評価を行う。

B. 革新的ロボット要素技術分野

研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）

屋外等の外乱の多い空間でも、的確に信号抽出ができる画期的な視覚・聴覚・力触覚・嗅覚・加速度センシングシステムやセンサと行動を連携させて、検知能力を向上させる行動センシング技術等の研究開発を実施する。

研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）

人共存型ロボットに活用可能なソフトアクチュエータ（人工筋肉）、高度な位置制御やトルク制御を組み合わせるソフトウェア的に関節の柔軟性を実現する新方式の制御技術、機構等の研究開発を実施する。

研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術

実環境の変化を瞬時に認知判断し、即座に対応して適応的に行動する技術や個別に開発された要素技術を効果的に連携させ、統合動作させるシステム統合化技術等の研究開発を実施する。

【2】平成27年度公募②（RFIを踏まえた調査研究→先導研究→研究開発）

NEDOは、平成27年5月20日から6月30日に、「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」に関連し、将来有望又は必要とされる可能性がある技術ですが、現時点で研究手法が十分に体系化されておらず、その実現手段の検討段階から研究開発が必要と考えられる技術的な課題に対して、情報提供依頼：RFI（Request For Information）を実施した。

その結果、調査研究から着手する必要があるが、先導研究に結びつけるシーズ技術を示した有益な情報を多数提供いただいたことから、それらの情報を参考に、調査研究から先導研究までを見据えた研究開発課題を設定しました。本件は、その研究開発課題について、調査研究、先導研究及び研究開発まで一貫して実施するものである。

A. 次世代人工知能技術分野

研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発

<次世代人工知能プログラミング言語の研究開発>

機械学習機能、セマンティックデータ上の推論機能、インテリジェントな対話機能など、近年の人工知能技術の成果をフルに活用した次世代人工知能技術は、将来、飛躍的に実装が進むと期待される。本課題では、これまでの汎用型言語+ライブラリ・フレームワークという開発環境に対して、開発効率・保守性・拡張性を高め人工知能に特化した革新的なプログラミング言語の研究開発を実施する。

<マルチモーダルコミュニケーションに関する研究開発>

ロボットと人間の意思疎通を図る研究開発は、さまざまなアプローチの提案がなされており、未だ発展途上ではあるが、特定の用途に適合することで成果を上げている。本課題では、次世代人工知能技術により、人間と意思疎通し、共感を得ることができるような機械の実現を目指すことを目的として、人間のさまざまな状態をセンシングし、適切に受け答えし、意思疎通が図れ、共感を得ることができるようなマルチモーダルコミュニケーションを実現するための研究開発を実施する。

<道具の操りと身体性の効果的な相互作用に関する研究開発>

道具を使ったタスクを効率良く行うために、人間は、道具の特性を把握した上で、その特性を最大限に利用するための最適でダイナミックな行動を、過去の試行錯誤に基づいて自然と生み出しているものと考えられる。本課題では、前述のように、人間が道具を扱う時の学習メカニズムを次世代人工知能技術によりロボットで再現することで、その学習メカニズムの解明につなげるための研究開発を実施する。

B. 革新的ロボット要素技術分野

研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）

<ブレイン・マシン・インターフェース（BMI）技術の研究開発>

ヒトの脳波信号を非侵襲に取り出し、迅速かつ正確にヒトの各種動作や行動意図、言語等を推定することにより、ロボット等の外部機器を操作したり、ソフトウェアを操作したりするなど、革新的な BMI システムの構築が実現可能となる。しかしながら、現時点では、非侵襲に抽出可能な脳波信号は、ノイズが大きく、動作や意図の推定が困難なことから、BMI の応用範囲は限定的かつ試行錯誤的な利用に留まっている。本課題では、脳波信号から動作や意図、言語等の推定に適した手法を明らかにして、ロボット等にも実装して検証することを目的とした研究開発を実施する。

研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）

＜次世代機能性材料を用いた革新的ロボット構成要素およびその効果的な活用方法の研究開発＞

近年、高分子材料や機能性流体、生体試料など、新たな材料をロボットに応用する研究開発が盛んである。その一例として、MR 流体や Spider Silk などがある。これらの新たなロボット構成要素は、従来技術では不可能であった特性を実現したり、従来技術に対して圧倒的に低コストで機能を発揮したりするなどの可能性を持つ。また、これらの新たなロボット構成要素を効果的に活用することで、従来ロボットが適用されてこなかった分野に適用可能なロボットを構成できる可能性がある。本課題では、次世代機能性材料を用いた革新的ロボット構成要素及びその効果的な活用方法の研究開発を実施する。

研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術

＜次世代マニピュレーション技術創成のための研究開発＞

これまで多くのロボットハンド、ロボットアームが開発されてきたが、ヒトの手の機能に比肩する高度なマニピュレーションが可能なロボットハンド、ロボットアームは、未だ実現されたとはいえない。今後、ロボットを本格的に社会実装し、応用範囲を拡大していくためには、高度なマニピュレーション技術の研究開発が不可欠である。本課題では、手の器用さの本質を理解した上で、ヒトの手の機能に比肩する次世代マニピュレーション技術の創成を目的とした研究開発を実施する。

＜Industry4.0等を踏まえた Universal 1.0（仮称）に向けた研究開発＞

近年、ドイツの Industry4.0、IoT（Internet of Things）、CPS（Cyber-Physical System）に注目が集まっており、機器ごと（例えば、エンコーダ、モータ、各種センサ等）に異なるインターフェースやデータプロトコルの標準化が進みつつある。本課題では、我が国が先んじてデファクトスタンダードの地位を得るために、ロボットを構成する機器を自由に組み替え可能で、システム構築を容易に行うこと（Easy to Use）が可能な標準規格 Universal1.0（仮称）の策定に向けた調査を実施する。また、国内外のロボットへの導入に向けた実用化・事業化への見通しを得るための研究開発を実施する。

＜自律型ヒューマノイドロボットの研究開発＞

自律型ヒューマノイドロボットの応用先として、災害現場等における人代替等のための適用を位置づけた研究開発が行われているが、1次産業、2次産業を俯瞰すると、今後は、自律型ヒューマノイドロボットのような汎用ロボットではなく、機能に特化したロボット技術の導入が加速する可能性がある。このような状況の中で、自律型ヒューマノイドロボットの産業応用への可能性を調査し、必要性を明確にした上で、開発優先度の高い要素技術に関する研究開発を実施する。

【3】平成28年度公募（先導研究→研究開発）

「次世代人工知能技術分野」は、若手研究者及び中小企業（ベンチャー企業を含む）の人材育成を図るため、研究開発責任者を若手研究者（原則45歳未満）とする大学・研究機関等及び中小企業（ベンチャー企業を含む）を対象として、研究開発項目①に関する課題設定型の公募を実施しました。

A. 次世代人工知能技術分野

「次世代人工知能技術分野」は、若手研究者及び中小企業（ベンチャー企業を含む）の人材育成を図るため、研究開発責任者を若手研究者（原則45歳未満）とする大学・研究機関等及び中小企業（ベンチャー企業を含む）を対象として、研究開発項目①に関する課題設定型の公募を実施した。

研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発

最新の計算論的神経科学の知見を取入れた脳型人工知能及びデータ駆動型的人工知能と知識駆動型的人工知能の融合を目指すデータ・知識融合型人工知能に関して、大規模なデータを用いた実世界の課題への適用とその結果の評価を前提とした目的基礎研究（大規模目的基礎研究）と、世界トップレベルの性能の達成を目指す先端技術の研究開発を実施する。

B. 革新的ロボット要素技術分野

「革新的ロボット要素技術分野」は、解決が求められる社会課題に対応可能な、革新的なロボット要素技術を俯瞰した上で、研究開発項目④～⑥に関して重点的な研究開発が必要と考えられるテーマを選定し、課題設定型の公募を実施した。

研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）

<高密度で自由曲面に貼れる電極の研究開発>

現状の各種センサの中で、フレキシブル基板上に実装されているものは、円筒等の平面から構成される曲面にのみ対応することができるが、自由曲面には対応できていない。パワーアシストのように、生体表面から得られる生体情報に基づき、人間の行動を予測して動作をアシストする場合、生体表面は複雑な自由曲面であり、更に、動作に伴って変形が起こる。そのため、生体表面の自由曲面に貼り付けることができ、動作に伴って変形する生体表面と同じように変形できる電極に係る技術は、侵襲型脳波計測やヒューマンマシンインターフェースなど、多岐にわたる分野への応用が可能であり、ロボットの中核技術としての波及効果は大きい。本課題では、生体表面のどの箇所に貼り付けたのかをキャリブレーションする技術や電極の変形に伴う信号の変化をキャンセルする技術などの研究開発を実施する。

＜味覚センサの研究開発＞

味覚センサそのものや味覚センサを搭載したロボットは、世界的に見ても数少ないが、人間の能力と同等もしくは、それ以上の能力を有するロボットを実現するために、人間の五感の一つである味覚を持つことは、人間が行動する場面に対応するためにも重要である。現在の味覚センサは、味細胞をモデル化した人工脂質膜で実現されており、ビジネスで活用されるようになってきている。本課題では、ロボットと組み合わせて、従来にない革新的な味覚センサを実現するために、センサの高寿命化や人工脂質膜に付着した味に寄与する分子の除去に要する時間の見直しによる計測時間の短縮などの課題を解決する研究開発を実施する。

研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）

＜生体分子を用いたロボットの研究開発＞

人共存ロボットなどのサービスロボットに活用可能なソフトアクチュエータ（人工筋肉）の実現が期待されている。本課題では、生体筋肉を一例として、生体の巧みな制御システムを模倣した生体分子を用いたロボット、当該ロボットの設計に有用な設計支援システム及びシミュレーションシステムの研究開発を実施する。

研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術

＜UAV 向け環境認識技術と飛行経路生成技術の研究開発＞

交通インフラが未整備・未熟な環境での物品輸送や災害現場の状況把握に対して、UAV（無人航空機：Unmanned Aerial Vehicle）の応用が期待されている。UAV の飛行制御技術は、GPS（全地球測位システム：Global Positioning System）による測位により、飛行経路を追従する手法がとられているが、GPS の電波が届かない屋内環境や高度が低い場所を飛行する際に、建物や森林等が障害物となり、事前に予測することが困難な未知環境下への対応が実現できていない。本課題では、UAV が、GPS の電波が届かない場所や未知環境下でも適切に飛行するための周囲環境の認識技術と飛行経路生成の研究開発を実施する。特に、UAV 固有の課題として、飛行体は任意の 3 次元空間を移動し、かつ、時速 100 km/h 以上の速度で飛行するため、高速に 3 次元環境を認識し、適切な飛行経路生成が可能な技術の研究開発に注力する。

＜小型 UAV 向けフライトレコーダの研究開発＞

近年、活発に研究開発が進んでいる小型 UAV は、発展途上にある技術であり、予期せぬ墜落が起こりうるのが現状である。そのため、旅客機等で広く活用されているフライトレコーダを小型 UAV に対しても応用し、万が一墜落した場合においても、何が原因だったのかを解析できるような仕組みが重要であると考えられる。本課題では、小型 UAV に搭載可能なサイズの超小型フライトレコーダの研究開発を実施する。また、本技術は、UAV の機体に依存しない方法で実装を進め、さまざまな UAV の機体形態への展開を考慮するものとする。

＜ロボットハンドを含む前腕の研究開発＞

多種多様なものを把持するために、複雑な機構を手のサイズで納めることは非常に難しく、一定形状を成さない難把持物や複雑なタスクを簡潔に実現可能とする操作性など、さまざまな課題が立ちはだかっている。一方、人間は、手及び前腕部の空間を効率良く利用し、手や手首を適切

に動作させることでタスクを実現している。本課題では、人間と同様に、前腕を含めたロボットハンドの研究開発を実施する。

【4】平成 29 年度公募①（先導研究）

A. 次世代人工知能技術分野

平成 28 年度第 2 次補正予算として成立した経済産業省の「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」により、東京都臨海副都心地区及び千葉県柏地区に整備される国立研究開発法人産業技術総合研究所の産学官連携の施設において、国内外の叡智を集めて、平成 30 年度以降に実施される社会実装に向けた本格的な研究開発に繋げるべく、産学官連携による先導研究から実施する。具体的には、人工知能技術戦略会議において策定された「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」における当面の検討課題のうち、（1）生産性、（2）健康、医療・介護、（3）空間の移動の 3 領域を踏まえ、AIRC の研究開発成果の実装や融合等を目指す人工知能技術の先導研究を実施する。良質な現場データの取得を目的としてグローバル研究拠点内に用意される物理的なロボットや模擬環境を活用した上で、本プロジェクトにおいて、研究開発及び有効性の確認が行われる中核モジュールを利用する人工知能技術や人工知能と融合させるロボティクス技術、材料・デバイス技術等の研究開発を推奨する。

【5】平成 29 年度公募②（調査研究）

A. 次世代人工知能技術分野

次世代人工知能技術分野の研究開発項目①～③のいずれかに該当し、かつ、以下の内容に該当する調査研究を実施する。

- （1）デモンストレーション審査における実技で中小企業者等（ベンチャー起業予定者を含む。以下、同じ。）が提示した自社技術の改良のための研究開発
- （2）デモンストレーション審査におけるプレゼンテーションで中小企業者等が提示した将来新たな利活用分野を展開するための研究開発

人工知能技術の社会実装の実現可能性を評価するため、簡易な申請書面による審査に加えてコンテンツ方式によるデモンストレーション審査を経て、上位から委託費上限額を傾斜配分して、新たなテーマを調査研究として採択します。採択されたテーマについては、NEDO が、契約までの申請事務の支援を行う。

なお、本件では、中小企業者等による活発な研究開発を促進するために、新たな人工知能利活用分野の開拓や人工知能利活用方法で新規性のある調査研究を行う中小企業者等を対象とする。また、次世代人工知能技術分野において平成 27 年度に拠点として委託した国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター（AIRC）と実施者が、共同研究開発等により連携することを考慮する。

(4) 各種委員会の構成

PMが研究開発マネジメントを行うに当たっては、技術的観点からプロジェクトの推進に助言いただく「アドバイザー」、個別テーマの知財戦略立案のため、独立行政法人工業所有権情報・研修館（INPIT）より常駐派遣いただく「知的財産プロデューサー」をチーム内に配置している。

加えて、プロジェクト運営に当たり設置する各種委員会（採択審査、技術推進、ステージゲート評価）においては、外部有識者の知見を大いに活用しています。「次世代人工知能技術分野」、「革新的ロボット要素技術分野」（Request for Informationを含む）において組織している採択審査委員会、技術推進委員会、ステージゲート評価委員会の構成は以下のとおり。

<次世代人工知能技術分野>

・採択審査委員、技術推進委員、ステージゲート評価委員を**基本的に同一委員で構成**し、助言・指導。

⇒国内最高峰の人工知能技術の研究開発拠点を
目指し、親身になって**拠点の育成**に貢献。

■ 採択審査委員

浅田 稔 氏(大阪大学)【委員長】
浅川 和雄 氏((株)富士通研究所)
上田 修功 氏(日本電信電話(株))
川上 登福 氏((株)経営共創基盤)
北野 宏明 氏((株)ソニー CSL)
杉浦 孔明 氏((国研)情報通信研究機構)
中島 秀之 氏(東京大学)
堀 浩一 氏(東京大学)

■ 技術推進委員/ステージゲート評価委員

浅田 稔 氏(大阪大学)【委員長】
北野 宏明 氏((株)ソニー CSL)
中島 秀之 氏(東京大学)
武田 晴夫 氏((株)日立製作所)

* 平成29年度 先導研究

「次世代人工知能技術の社会実装に関する
グローバル研究開発」[採択審査]

・人工知能の研究開発/利活用に取り組む
企業関係者を中心に採択審査委員を構成。

■ 採択審査委員

武田 晴夫 氏((株)日立製作所)【委員長】
浦川 伸一 氏(SOMPOホールディングス(株))
神林 飛志 氏((株)ノーテラス・テクノロジーズ)
小寺 秀俊 氏(京都大学)
小松崎 常夫 氏(セコム(株))
中島 秀之 氏(東京大学)
細田 祐司 氏(日本ロボット学会)

* 平成29年度 調査研究

AIコンテスト方式による中小・ベンチャー
企業支援 [採択審査]

・人工知能の利活用や経営に取り組む有識者を
中心に採択審査委員を構成。

■ 採択審査委員

川上 登福 氏((株)経営共創基盤)【委員長】
大沢 英一 氏(公立はこだて未来大学)
進藤 智則 氏((株)日経BP)
本村 陽一 氏((国研)産業技術総合研究所)
山本 晶 氏(学校法人慶応義塾)

<革新的ロボット要素技術分野>

・採択審査委員、技術推進委員を基本的に同一委員にて構成。**採択審査に関わった委員
が責任感を持って助言・指導。**

・ステージゲート評価は、事業終了後の**実用化への見通しを重視**するため、**産業界を中心
に異なる委員構成。**

⇒テーマの継続・終了・予算配賦等を厳しく評価。

■ 採択審査委員

小松崎 常夫 氏(セコム(株))【委員長】
内山 勝 氏((公財)みやぎ産業振興機構)
金岡 克弥 氏((株)人機一体、立命館大学)
三平 満司 氏(東京工業大学)
菅 佑樹 氏((株)SUGAR SWEET ROBOTICS)
坪内 孝司 氏(筑波大学)
林 英雄 氏((株)日刊工業新聞社)

■ 技術推進委員

三平 満司 氏(東京工業大学)【委員長】
金岡 克弥 氏((株)人機一体、立命館大学)
金出 武雄 氏(カーネギーメロン大学)
坪内 孝司 氏(筑波大学)

■ ステージゲート評価委員

渡辺 裕司 氏((株)小松製作所)【委員長】
金岡 克弥 氏((株)人機一体、立命館大学)
久保 智彰 氏(ロボット革命イニシアティブ協議会)
富田 浩治 氏((株)安川電機)
本田 幸夫 氏(大阪工業大学)

<Request for Information (RFI)を踏まえた調査研究・先導研究>

■ 採択審査委員

浅田 稔 氏(大阪大学)【委員長】
金岡 克弥 氏((株)人機一体、立命館大学)
川上 登福 氏((株)経営共創基盤)
三平 満司 氏(東京工業大学)
坪内 孝司 氏(筑波大学)
中島 秀之 氏(東京大学)
林 英雄 氏((株)日刊工業新聞社)

■ ステップゲート評価委員

浅田 稔 氏(大阪大学)【委員長】
金岡 克弥 氏((株)人機一体、立命館大学)
小松崎 常夫 氏(セコム(株))
三平 満司 氏(東京工業大学)
坪内 孝司 氏(筑波大学)
林 英雄 氏((株)日刊工業新聞社)

2.4. 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

本プロジェクトでは、研究開発成果の実用化に向けて、以下に留意したマネジメントを実施している。

<「実用化」の考え方>

本プロジェクトにおいて、「**実用化**」とは、**当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されること**を言う。

<実用化に向けた戦略的な取組>

- ステージゲート評価における「**実用化の道筋**」の評価
評価資料の一つとして、委託先より「**実用化計画書**」の提出を受けて評価を実施。
- 成果の社会実装を見据えた**ワークショップ**の開催
個別テーマにおける成果の**想定されるアプリケーション**の設定。
- **事業紹介ハンドブック**の作成・更新
要素技術のユーザー企業に対する広報活動、想定されるアプリケーションの明示、ワークショップ等での配布。毎年度、更新。
- **ベンチャー企業の設立促進**
実用化、そして、事業化を見据えたマネジメントを先導研究段階から実施。
- AI社会実装に向けた各種の取組(平成29年度より)
 - ・**データ利活用とAI研究開発を並行して行う先導研究**の実施。
 - ・**AIコンテスト方式によるベンチャー企業支援(調査研究)**の実施。



事業紹介ハンドブック

本プロジェクトでは、独立行政法人工業所有権情報・研修館（INPIT）より常駐派遣いただいている知的財産プロデューサーの支援を受け、プロジェクト内で実施する個別テーマ毎の知財調査並びに知財戦略立案を行っている。その概要は、以下のとおり。

- 実用化に向けた道筋を示すため、知的財産プロデューサーと共に、個別の研究開発テーマ毎に**(1)知財調査、(2)知財戦略立案**を実施した上で、それらの結果を委託先にフィードバックする活動を実施している。

(1) 知財調査

個別の研究開発テーマ毎に、NEDO事業費にて以下の知財調査を実施している。

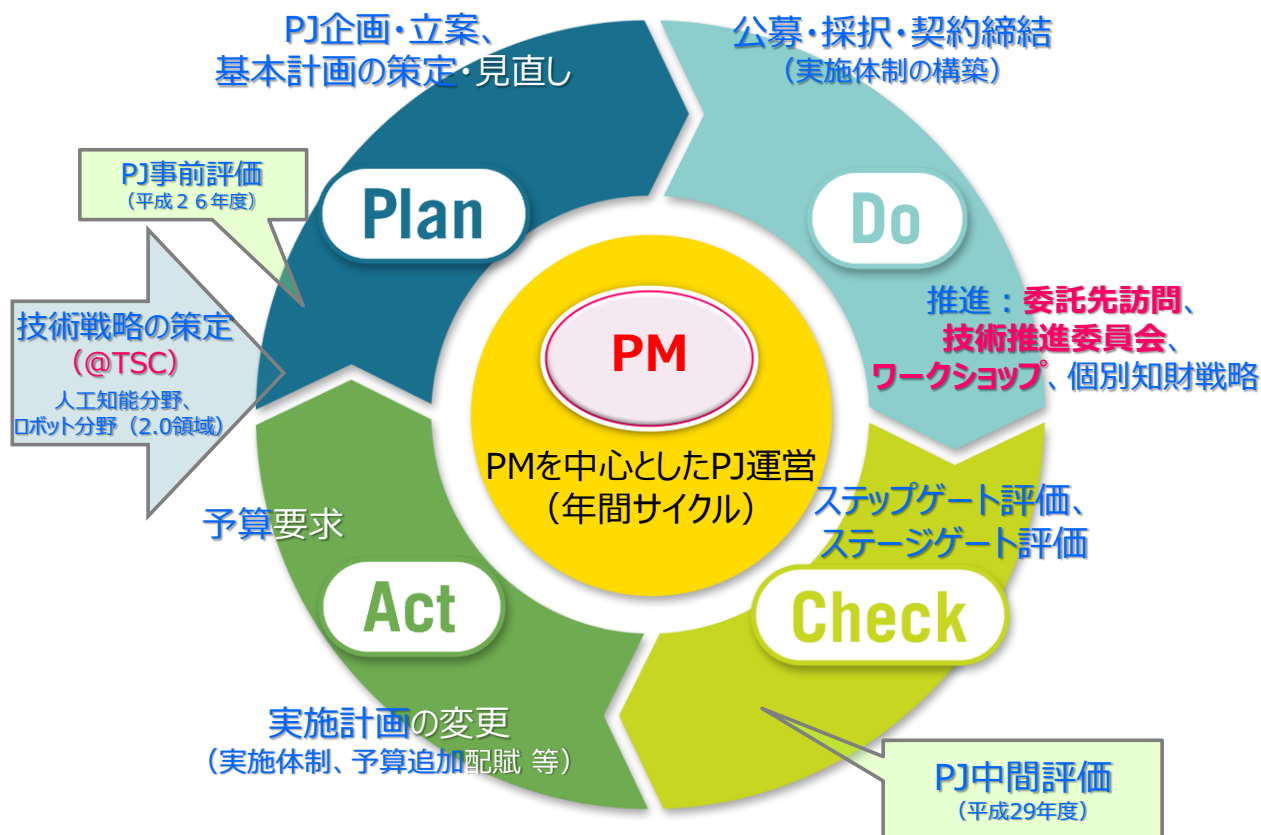
調査内容	
① 広域調査マップ	研究開発テーマの内容より 広い概念 で調査し、研究開発テーマの位置づけを俯瞰してみるもの
② 広域調査まとめ	研究開発テーマの構成要素に係る特許・文献を 模式的 に表したもの
③ 出願支援資料	課題とそれを解決するためのアイデアを一覧表等にまとめ、 新たな発明につなげるもの

(2) 知財戦略立案

独立行政法人工業所有権情報・研修館（INPIT）から常駐派遣いただいた知的財産プロデューサーを中心に、(1)の知財調査結果を基に知財戦略を立案／委託先にフィードバックし、研究開発内容に反映している。

3. 情勢変化への対応

本プロジェクトでは、PM が、以下の PDCA サイクルに留意したマネジメントを実施し、動向・情勢の把握に努め、必要な対応を実施している。



PDCA	項目	プロジェクトマネジメントのポイント
Plan	PJ企画・立案 (基本計画の策定等)	<ul style="list-style-type: none"> 【共通】技術戦略研究センター(TSC)策定の技術戦略(人工知能分野/ロボット分野 [2.0領域])を基に、PMとして基本計画を策定。外部有識者に加えて、アドバイザー他、チームメンバーの意見も反映。
Do	公募	<ul style="list-style-type: none"> 【共通】PMが、チームメンバーと共に公募要領を作り上げ、説明会にて自ら説明。学会との連携も重視(人工知能学会、ロボメカ学会等)。 【人工知能】拠点参画を原則。研究者や知財の拠点集約。 【ロボット】ロボット新戦略を踏まえ、テーマ公募により多数の提案から優れたテーマを採択(平成27年度公募①:58件の提案から18件を採択)。
	採択・契約	<ul style="list-style-type: none"> 【共通】予算執行を迅速に行うべく、PM制度の利点(意思決定の迅速化等)を最大限生かし、最短日程での公募～採択～契約を実施。 【人工知能】“採択した責任”:委員が、採択・推進・SGを一貫して担当。 【ロボット】審査において、外部有識者の技術面の知見を大いに活用。
	推進	<ul style="list-style-type: none"> 【共通】委託先訪問によるコミュニケーションの深化。技術推進委員会を活用して、PM・外部有識者から委託先へ助言。実施体制の変更、予算追加配賦。 【人工知能】PMとPLの密なコミュニケーションによるマネジメント。 【ロボット】ワークショップを活用したビジネスマッチング、個別・全テーマの知財戦略を知的財産プロデューサーと共に検討。
Check	ステージゲート(SG) 評価	<ul style="list-style-type: none"> 【人工知能】拠点を育てる観点からの評価。 【ロボット】実用化の道筋、知財戦略を重視した評価(平成27年度公募①採択テーマ:18件から12件が研究開発フェーズに移行)。
Act	次年度予算要求	<ul style="list-style-type: none"> 【共通】毎年度の政策と連動した予算要求を経済産業省担当課と協力して実施。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の研究開発成果

A. 次世代人工知能技術分野

平成 27 年 7 月、国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター（AIRC）を研究開発拠点として採択し、先導研究を開始した。先導研究期間においては、「研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発」、「研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発」、「研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発」の各項目をブレークダウンした研究開発テーマ毎に、先導研究の目標を設定して研究開発を実施している。

また、プロジェクトマネージャー（PM）とプロジェクトリーダー（PL）が密接に連携したマネジメントの下、研究開発テーマ全体のさらなる集約と連携を深めるために、人工知能技術戦略会議が策定した「産業化ロードマップ」を踏まえた 4 つの共有タスク（[A]生活現象モデリング、[B]地理空間情報プラットフォーム構築と空間移動のスマート化、[C]AI を基盤としたロボット作業、[D]科学技術研究加速のためのテキスト情報統合）に研究開発テーマを大括り化し、平成 29 年 1 月に実施したステージゲート（SG）において、先導研究の目標を達成し、かつ実用化の期待が見込める研究開発テーマへの絞り込みと再構成を実施した。平成 27 年度には、RFI（Request For Information）により調査研究 3 件を開始し、平成 28 年 9 月に実施したステップゲートを経てより革新的な研究開発に明確な道筋を付けた 1 件に絞り込み、先導研究を実施しているほか、平成 28 年度には、ベンチャー企業支援の観点も含めた先導研究の公募にて 2 件を採択し、先導研究を実施している。これら先導研究を実施中の 3 件の研究開発テーマについては、研究開発拠点と共同研究契約及び知財合意書を締結することで、拠点参画いただき、本分野における英知の結集を推進している。

さらに、平成 29 年度には、「研究開発項目⑦ 次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発」を新たに設定して 15 件の先導研究を採択し、先導研究を開始していると共に、ベンチャー企業支援を狙いの一つとして、簡易な申請書面及びデモンストレーションによる審査による、AI コンテスト方式を採用した公募により 6 件の調査研究を採択し、調査研究を開始しており、より社会実装を見据えた研究開発を強化している。

B. 革新的ロボット要素技術分野

平成 27 年 7 月、「研究開発項目④：革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）」3 件、「研究開発項目⑤：革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）」9 件、「研究開発項目⑥：革新的なロボットインテグレーション技術」6 件を採択し、先導研究を開始した。これらの研究開発テーマについては、個別に知財合意書を締結し、次世代人工知能技術分野も含めた「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」全体での研究開発用途の知財共有を念頭に入れ、効率的な研究開発を推進している。

平成 28 年度には、これらの研究開発テーマに関する知財調査を NEDO にて実施し、ステージゲートに向けて知財調査結果を各委託先にフィードバックした（平成 29 年度も実施中）。平成 28 年 10 月には、「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」全体の研究開発成果を展示するワークショップを開催し、研究協力や実用化のパートナー候補とのマッチングの場を提供した（平成 29 年度も開催）。これらを踏まえて、平成 29 年 1 月にステージゲート（SG）を実施し、先導研究の目標を達成し、かつ実用化の道筋が付いた 12 件（研究開発項目④：3 件、研究開発項目⑤：6 件、研究開発項目⑥：3 件）がステージゲートを通過し、研究開発を継続している。

平成 27 年度には、RFI（Request For Information）により調査研究 13 件を開始し、平成 28 年 9 月に実施したステップゲートを経て革新的な研究開発に明確な道筋を付けた 7 件に絞り込み先導研究を実施しているほか、平成 28 年度には、社会課題解決のために必要な要素技術を課題設定型公募にて 11 件採択し、先導研究を実施している。

2. 個別テーマの研究開発成果

A. 次世代人工知能技術分野

研究開発目標		成果	達成度
【A-1】平成27年度採択①（先導研究→研究開発）			
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発			
研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール			
研究開発研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発			
【A-1-1】「人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター（AIRC） <拠点>）			
【A-1-1-1】「視覚野を中心とした適応的知能を支える神経機構の解明」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
状況に応じて異なる行動を選択することが可能な適応的な脳内情報処理に着目する。大脳皮質の神経ネットワークを非線形システムとみなし、そのシステム同定を行うのに適した機械学習手法を検討し、形態視、具体的には顔や物体などの認識に関わる階層的な視覚情報処理の諸様相を明らかにする。	状況に応じて異なる行動を選択することが可能な適応的な脳内情報処理を明らかにするため、眼球運動制御における大脳皮質の役割について調べる。	眼球運動制御において、文脈依存の運動制御は大脳皮質、運動学習は大脳皮質より下流（小脳）で担われることが明らかになった（投稿論文（2））。	達成
	大脳皮質における非線形システム同定に適した機械学習手法を検討する。形態視、具体的には顔や物体などの認識に関わる階層的な視覚情報処理の諸様相を明らかにする。	高次視覚野の形態の視覚認知に關与する神経細胞集団が、視覚的ノイズによる攪乱という状況下においては、より時間をかけて情報を処理することを明らかにした（投稿論文（1））。	達成
最終目標		研究開発成果	達成度
計算機を用いた情報表現のシミュレーションと実際の脳における情報表現を比較することで、顔や物体などの意味表現のアーキテクチャから、感覚運動変換を含めた運動制御まで、動的な状況下に適応した情報処理を実現するメカニズムについて、また、脳損傷後の適応をモータラス神経活動変化や構造変化について、知見を提供する。	計算機を用いた情報表現のシミュレーションと実際の脳における情報表現を比較することで、顔や物体などの意味表現のアーキテクチャから、感覚運動変換を含めた運動制御まで、適応的知能を実現するメカニズムについて、知見を提供する。	大脳皮質における非線形なシステム同定について、システムの非線形パラメータを従来手法である一般化線形モデルに匹敵する精度で、高速に計算する新規な機械学習法を開発した（投稿論文（3））。運動・行動をモニターするため、視線検出を行うシステムについてより簡便な校正法を開発した（特許出願）。	H29/8 現在、15%を達成。
	限られた情報から適切な情報処理を行うメカニズムを明らかにするため、脳損傷後の適応をもたらす、あるいは、電気刺激による、神経活動変化や構造変化について、知見を提供する。	脳損傷後の神経の不適切な適応反応である疼痛の背景にある神経の変化、あるいは、電気刺激に伴う神経の変化を捉えるための実験系を確立した（投稿論文（6）あるいは（4、5））。	H29/8 現在、30%を達成。

研究開発の成果

状況に依存して処理をする柔軟性を備えた人工知能の実現に向けた基盤的知見を提供するため、視覚を中心とした感覚入力の知覚・認知から運動制御・行動実行まで、それぞれの段階における情報処理を、その生物学的なメカニズムの検討および人工知能技術との比較を通じて明らかにすることが本研究の目的である。

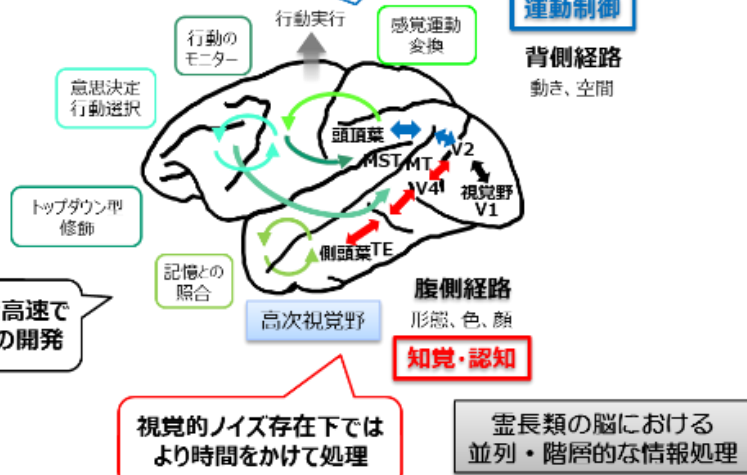
これまで、眼球運動制御において、状況に依存して適応的に異なる神経回路を使う戦略を明らかにした。視覚認知において、ノイズによって攪乱される状況下では神経細胞集団が時間をかけて情報処理することを明らかにした。さらに、脳における情報処理メカニズムを解明するために、非線形なシステム同定を高速で行うことができる新規な機械学習法を開発し、システムの非線形パラメータを従来手法である一般化線形モデルに匹敵する精度で、高速に計算することを可能にした。

【研究開発の概要】

視覚入力の知覚・認知から運動制御まで、各階層における処理および階層間の相互作用を調べ、状況・文脈に依存した情報処理を明らかにする

非線形なシステム同定を高速で行うための機械学習法の開発

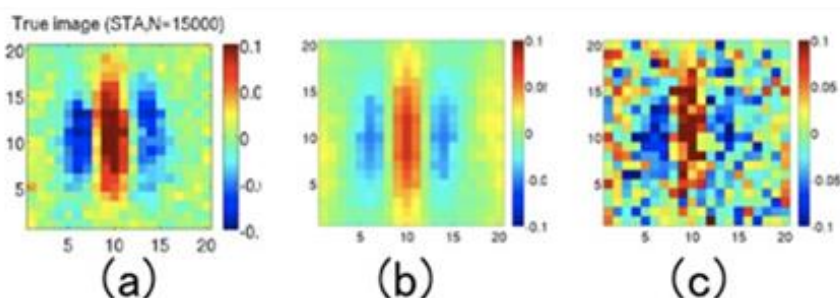
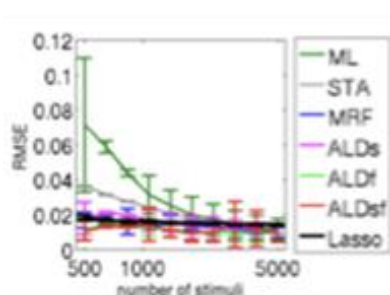
状況に依存して適応的に異なる神経回路を使う



【A-1-1-2】「大脳皮質の領野間結合の双方向性を模倣した、ロバストな認識を可能とする人工視覚野」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、共同実施先：国立大学法人東京大学)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
視覚野の階層的エンコードモデル構築のため、スパクトリガードアペレージ(STA)に基づく受容野構造の抽出法を開発する	フーリエ基底による LASSO 手法の開発	スパースモデリング (SpM) の手法の一つに LASSO と呼ばれる手法がある。この手法は通常、実空間において、二次誤差項に L1 正則化項をもつ最適化問題として定義されている。提案法では、実空間に替えて、フーリエ空間において、二次誤差項に L1 正則化項をもつ最適化問題(フーリエ LASSO)を定式化した。V1 単純型細胞を始めとする受容野はフーリエ基底によってよく表現できると考えられる。これにより、周波数空間に構造をもつ受容野の STA 画像に対して、よりスパースに記述できると期待される。	達成度 100%
	テストデータによる実験	単純型細胞の空間的神経応答特性を模擬したモデルとして、ガボールフィルタを真の受容野と仮定してランダムな刺激をフィルタに作用させた。その後発火応答と反応刺激を人工データとして得た。この人工データから STA を計算し、STA を入力してフーリエ LASSO を適用した結果、真の受容野を STA より精確に復元できることを確認した。	達成度 100%
	サルの神経生理学データへの適用	サルの神経生理学データに適用した結果、データ量を 30 分の 1 にした状況においても、STA を大幅に上回る性能があることが分かった。	達成度 100%
最終目標	研究開発成果	達成度	
低次視覚の神経応答特性の再現に基づく、次世代の脳型人工知能の設計原理の探索	時空間特性をもつ単純型細胞に対して、3次元(空間二次元+時間一次元)へ拡張した提案手法を適用し、検証する	実データ解析に向けて、人工データの作成を行い、提案手法の拡張を適用することで、予備的結果を得つつある。	H29/8 現在、30%を達成。
	複雑型細胞の実データに、提案手法を適用し、検証する	複雑型細胞における時空間分離性や両眼視差特性についての調査研究を進めている。	H29/8 現在、5%を達成。
	視覚二次野や高次の視覚野を対象とした解析手法に展開する。	ターゲットとする実データについて、実験グループとの議論を進めている。	H29/8 現在、5%を達成。

研究開発の成果

STAについて、世界トップクラスの性能を誇る先行研究(Park and Pillow, 2011)を凌駕する新規アルゴリズムを提案し、先行研究に対して、アルゴリズムの安定性にすぐれ、さらに計算時間は5倍程度高速であることを明らかにし、サルの神経生理学データに適用した結果データ量を30分の1にした状況においても、標準的に用いられている従来法を大幅に上回る性能があることが分かった。



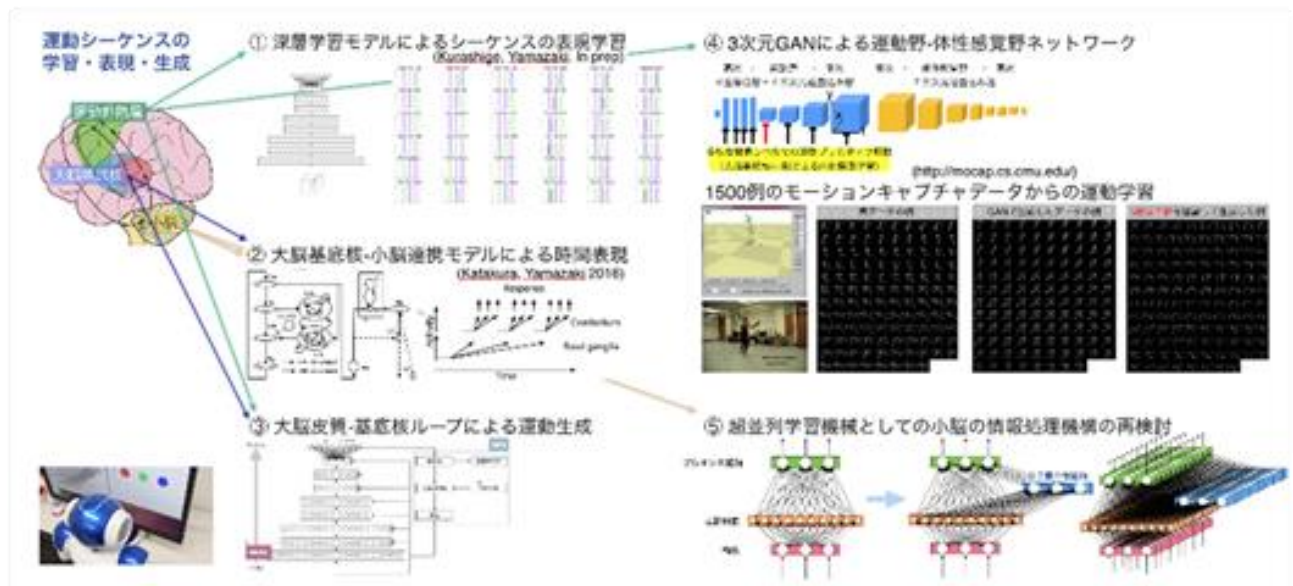
提案手法は、約5倍高速でありながら、同等以上の性能を実現

- (a) データ数N=15000の場合の従来法の結果
- (b) N=500とした場合の提案法による結果
- (c) N=500とした場合の従来法による結果

【A-1-1-3】「複雑な運動を少ない経験から学習・獲得し、滑らかに動作する脳型人工知能の開発」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人電気通信大学)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
<p>大脳基底核・補足運動野・前運動野からなるシーケンス生成の数理モデルを構築する。小型ヒューマノイドロボットに10~20種類程度の様々な運動のシーケンスを教示する。その過程でそれらのシーケンスに共通するプリミティブが抽出され、かつプリミティブのシーケンスとして運動が獲得されることを検証する。最後に教示したシーケンスが正しく再生されることを確認する。</p>	<p>大脳皮質モデルによる運動プリミティブの抽出</p>	<p>大脳皮質運動野階層に見たてた深層畳込ネットワークに対して、Tanji & Shima (1994)の実験で用いられた運動シーケンスと同等の腕軌道を入力とし、シーケンスの抽象表現が深層学習器によって獲得されるかどうかを検討した。Tanji & Shima (1994)と同様の内部表現(運動プリミティブ)が階層的に獲得されることを確認した。</p>	<p>達成</p>
	<p>大脳皮質基底核ループによる運動シーケンスの生成</p>	<p>大脳基底核モデルを組み合わせて大脳皮質基底核ループを構成することで、深層学習器で獲得したプリミティブを時空間的に出力し、実際に運動シーケンスを生成することに成功した。</p>	<p>達成</p>
	<p>実機のロボットを用いた検証</p>	<p>小型ヒューマノイドロボットNAOを用いて、シーケンス生成のデモンストレーションを行った。正しく動作し、指示したシーケンスを生成することに成功した。</p>	<p>達成</p>
最終目標		研究開発成果	達成度
<p>構築した全脳学習アーキテクチャを改良し続けるとともに、与えるデータを大規模化し、より複雑な運動データからのプリミティブ抽出と運動生成を行う。特に、内部シミュレーションによる新動作の獲得ならびに状態空間のコンパクトな表現による新動作獲得の高速化を目指す。</p>	<p>計算機を用いた情報表現のシミュレーションと実際の脳における情報表現を比較することで、顔や物体などの意味表現のアーキテクチャから、感覚運動変換を含めた運動制御まで、適応的知能を実現するメカニズムについて、知見を提供する。</p>	<p>大脳皮質における非線形なシステム同定について、システムの非線形パラメータを従来手法である一般化線形モデルに匹敵する精度で、高速に計算する新規な機械学習法を開発した(投稿論文(3))。運動・行動をモニターするため、視線検出を行うシステムについてより簡便な校正法を開発した(特許出願)。</p>	<p>H29/8 現在、15%を達成。</p>
	<p>限られた情報から適切な情報処理を行うメカニズムを明らかにするため、脳損傷後の適応をもたらす、あるいは、電気刺激による、神経活動変化や構造変化について、知見を提供する。</p>	<p>脳損傷後の神経の不適切な適応反応である疼痛の背景にある神経の変化、あるいは、電気刺激に伴う神経の変化を捉えるための実験系を確立した(投稿論文(6)あるいは(4,5))。</p>	<p>H29/8 現在、30%を達成。</p>

研究開発の成果

運動制御に関わる大脳皮質運動野階層・大脳基底核・小脳からなる、全脳レベルの神経回路モデルを構築している。複雑な運動を、より単純な運動(運動プリミティブ)の時系列的組み合わせとして学習・表現することで、効率良く運動を学習・生成・修正することが可能である。脳の階層型・超並列アーキテクチャに倣った学習メカニズムを探求し、脳の情報処理機構の解明ならびにその社会実装を最終的には目指している。



【A-1-1-4】「能動型学習技術の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人京都大学)

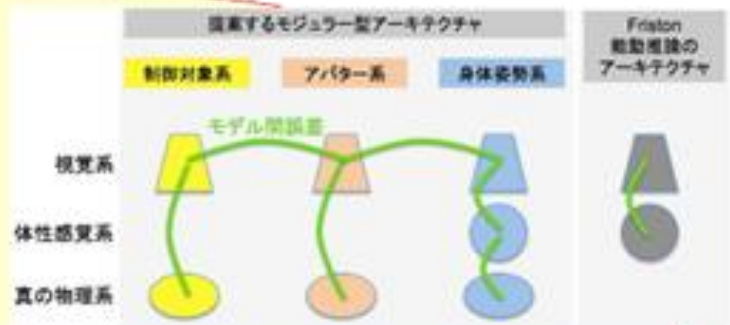
先導研究目標		研究成果	達成度
引き続き能動特徴抽出系の実世界応用を進め、高精度パフォーマンスおよびこれに至る学習効率の高さを示す。特徴抽出系の成果を参考に能動的逆強化学習系の目的の定式化を行う。実世界を模した問題でのデモンストレーションで能動性による学習効率向上を示す。	能動的特徴抽出系の開発と実世界応用	能動学習モジュールを用いたリアルタイム動画オブジェクト追跡系を開発した。追跡対象や背景などが激しく変化する困難な設定を集めたベンチマークデータ (OTB-100) において State of the art を達成した。	達成
	能動的逆強化学習系の定式化とデモ	モジュール型能動推論のアーキテクチャを提案し、多関節ロボット制御系シミュレーションにおいて動作確認を行った。	達成
最終目標		研究成果	達成度
モジュール型能動推論のアーキテクチャをカリキュラム学習の問題に適用できることを示し、これを視覚入力に基づく多関節ロボット制御の学習に応用する。モジュール分割とサブ課題分割の自動化を行う。人による機械操作インターフェイスにおける人と機械の相互学習系においてこれら技術を適用し実時間学習を可能にする。	モジュール型能動推論アーキテクチャによるカリキュラム学習	一般ユーザーに使える形での実装を進めている。	H29/8 現在、10%を達成。
	モジュール分割とサブ課題分割の自動化	モジュール分割時の挙動を比較している。自動化の実装を進めている。	H29/8 現在、0%を達成。
	人と機械の実時間相互学習による多関節ロボット制御。	実ロボットによる到達運動タスク・書字運動タスクの実装と、ヒト脳波デコーディング系の実装を平行して進めている。	H29/8 現在、0%を達成。

研究開発の成果

能動型学習技術(学習すべき課題を学習段階に応じて能動的に選択する技術)の研究開発を行っている。これまでに、能動学習モジュールを用いたリアルタイム動画オブジェクト追跡系を開発し、追跡対象や背景などが激しく変化する困難な設定を集めたベンチマークデータにおいて State of the art を達成した。また、モジュール型能動推論のアーキテクチャを提案し、視覚入力に基づく多関節ロボット制御系のシミュレーションにおいて動作確認を行った。



【黄色:正解、赤色:提案法、灰色:比較対照】
能動的に画像特徴を抽出しながら動画中で見え方が激しく変化する対象物体を追跡



学習対象のダイナミクスを多数のモジュールと相互作用によってモデル化し、モジュール間でお互いを予測する誤差(緑色の線に対応)を減らすように学習。このさい、学習段階に応じて誤差減少すべき対象を能動的に切り替える戦略を提案した。

【A-1-1-5】「自然言語理解を核としたデータ・知識融合技術の研究開発」「自然言語テキスト理解モジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
先導研究目標	研究成果	達成度
<p>画像・映像データに対する説明文付与および質問応答のベースラインシステムの構築、映像データに対して説明文を付与したデータセットの構築、経済データに対する説明文付与および質問応答のベースラインシステムの構築、経済データに対する説明文付与および質問応答のデータセットの構築、自然言語テキストをデータベースクエリやプログラミング言語へ変換する手法の構築、自然言語テキストからプログラミング言語への変換の評価データの構築、を目標とする。</p> <p>形態素解析や構文解析等の自然言語基盤解析フレームワーク、および、自然言語テキスト生成ツールを構築する。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 画像データに対する説明文付与および質問応答のベースラインシステムの構築 2. 映像データに対して説明文を付与したデータセットの構築 3. 画像に対して2言語の説明文を付与したデータセットの構築 4. 映像データに対する説明文付与において、Attention-based Neural Network を拡張したモデルの提案 5. 経済データに対する説明文付与のベースラインシステムの構築 6. 経済データに対する説明文付与のデータセットの構築 7. 自然言語テキストを形式言語へ変換する手法の構築 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 達成 2. 達成 3. 達成 4. 達成 5. 達成 6. 達成 7. 達成
最終目標	研究成果	達成度
<p>画像・映像データの理解、時系列数値データの理解、セマンティックパーズングの各項目において、新たな説明文生成・質問応答タスクの設計、データセット構築、意味理解システムの構築を行う。</p> <p>述語項構造解析、形式論理解析モジュールを開発し、基盤ソフトウェアとして整備・公開する。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 画像・映像データに対する新たなタスクの設計、データセット構築 2. 時系列数値データに対する新たなタスクの設計、データセット構築 3. セマンティックパーズングに対する新たなタスクの設計、データセット構築 4. 画像・映像データに対する意味解析手法の開発時系列数値データに対する意味解析手法の開発 5. セマンティックパーズングに対する新たな解析手法の開発 6. 自然言語解析基盤ソフトウェアの開発 	<p>H29/8 現在、10%を達成。</p>

研究開発の成果

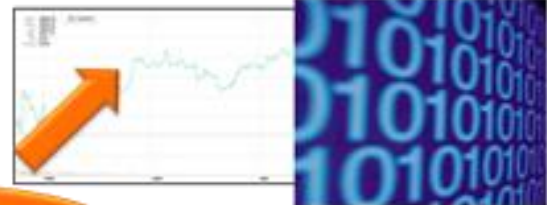
画像については、映像・画像に説明文を付与したデータセットの構築、画像データに対する説明文付与および質問応答のベースラインシステムの構築、映像データに対する説明文付与において、Attention-based Neural Network を拡張したモデルの提案を行った。

経済データについて、経済データに対する説明文付与のベースラインシステムおよびデータセットの構築を行った。データベース・オントロジーについては、自然言語テキストを形式言語へ変換する手法の提案を行った。

データベース・オントロジー



時系列・数値データ



意味表現



テキストデータ



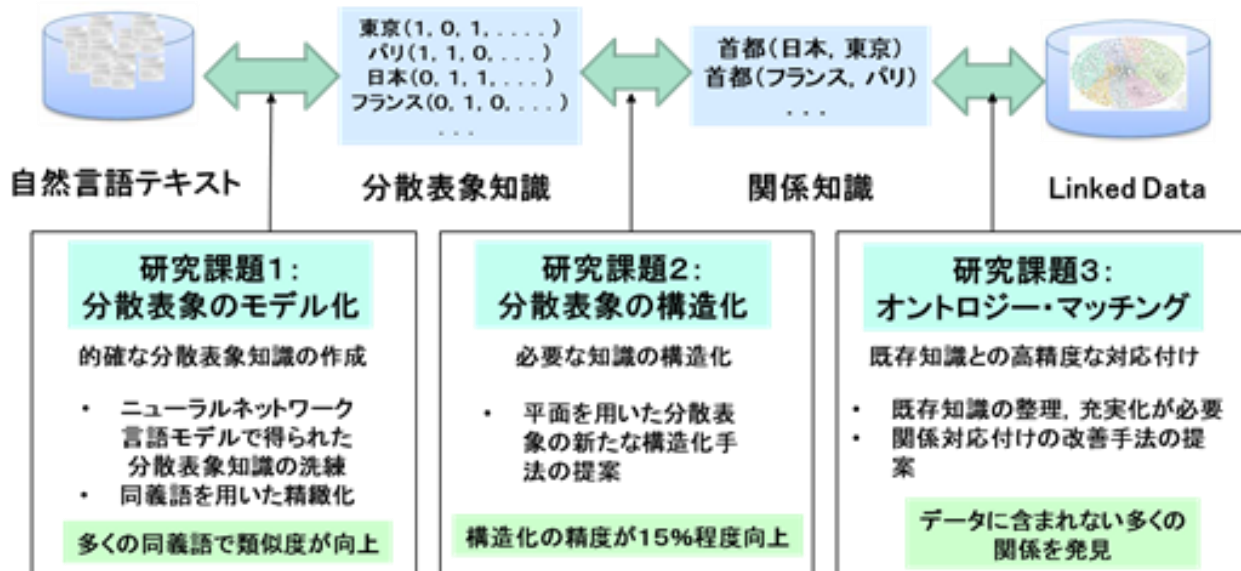
画像・映像

【A-1-1-6】「分散表象知識と記号的知識の相互変換技術の研究開発」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標		研究成果	達成度
小規模のデータに対して、分散表象から人間が使う構造的知識に精度高く変換できることを示す。数百個規模の概念に対して、分散表象を構造的知識に変換できることを示す。また、人間が使う概念構造と精度高く類似していることを示すため、人間の知識を整理した既存のオントロジーを利用し、目標の達成度を評価する。	小規模のデータに対して、分散表象から人間が使う構造的知識に精度高く変換できることを示す。	3つの研究課題を通して、自然言語テキストから生成された分散表象知識を構造的知識に変換できることが示された。	達成
	数百個規模の概念に対して、分散表象を構造的知識に変換できることを示す。また、人間が使う概念構造と精度高く類似していることを示すため、人間の知識を整理した既存のオントロジーを利用し、目標の達成度を評価する。	「分散表象の構造化」の研究課題により、自然言語テキストから生成された分散表象知識を構造的知識に変換することが可能になった。実際に、数百個規模の概念を変換できることを示した。	達成
	人間が使う概念構造と精度高く類似していることを示すため、人間の知識を整理した既存のオントロジーを利用し、目標の達成度を評価する。	「オントロジー・マッチング」の研究課題により、人間の知識を整理した既存のオントロジーの多くを達成度評価に利用することを可能とし、既存のオントロジーを評価に利用した。	達成
最終目標		研究成果	達成度
人間の持つ多くの知識と分散表象の知識の間の対応付けを行い、人間が理解、利用可能な知識を生成できるような技術を開発する。生命科学分野への応用を視野に入れ、開発した技術を生命科学分野で検証を行う。さらに、知識を生成するための要素技術を統合した統合知識基盤の構築を行う。	人間の持つ多くの知識と分散表象の知識の間の対応付けを行い、人間が理解、利用可能な知識を生成できるような技術を開発する。	先導研究により基礎技術を確立。高精度化に向けた研究に着手。	H29/8 現在、50%を達成
	生命科学分野への応用を視野に入れ、開発した技術を生命科学分野で検証を行う。さらに、知識を生成するための要素技術を統合した統合知識基盤の構築を行う。	生命科学分野の研究者の協力を得て、データの構築に着手。	H29/8 現在、10%を達成
	知識を生成するための要素技術を統合した統合知識基盤の構築を行う。	先導研究により要素技術の開発を実施。統合方法の検討に着手。	H29/8 現在、10%を達成

研究開発の成果

本研究では、人間の持つ多くの知識と分散表象の知識の間の対応付けを行い、人間の持つ様々な知識を利用できるようにする技術を開発する。そのために、概念とその関係に関する知識に着目し、「分散表象のモデル化」、「分散表象の構造化」、「オントロジー・マッチング」の三つの課題を設定し、その解決に取り組んだ。3つの課題を通して、自然言語テキストから生成された分散表象知識を構造的知識に変換することが可能になった。

概念とその関係に関する知識に着目

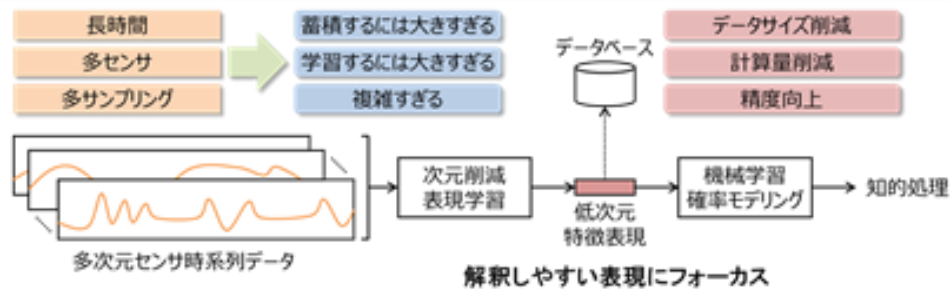


【A-1-1-7】「スケーラブルな機械学習・確率モデリングの研究開発」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標		研究成果	達成度
選定した 2 種類以上のアルゴリズムに対する性能検証を完了する。	候補アルゴリズムの調査	多次元時系列データの次元削減、圧縮手法の先行研究調査を実施した	達成
	アルゴリズム開発	ニューラルネットワークを用いた非線形な傾向スコアマッチングアルゴリズムを開発した辞書学習手法に基づく多次元時系列データの解釈性の高い次元削減・圧縮アルゴリズムを開発したベイズ学習の高速化のためのレプリカ交換マルコフ連鎖モンテカルロ法の並列化アルゴリズムを開発した	達成
	アルゴリズム評価	上記のアルゴリズムを人間行動計測データ、脳波データ、スペクトルデータ等のデータに適用して有効性を確認した	達成
最終目標		研究成果	達成度
提案手法を②先進中核モジュールとして組み込み、2 種類以上の実サービスデータに適用して有効性を検証する	アルゴリズム改良／性能向上	Matrix Profile 法に基づく多次元時系列データの次元削減・圧縮アルゴリズムを開発中合成的スパース基底分解に基づく多次元時系列データの次元削減・圧縮アルゴリズムを開発中	H29/8 現在、60%達成
	大規模実サービスデータへの適用	1 人称ビデオデータ等への適用評価中	H29/8 現在、50%達成
	アルゴリズムモジュール化	機械学習ソフトウェアの利用環境を構築中	H29/8 現在、50%達成

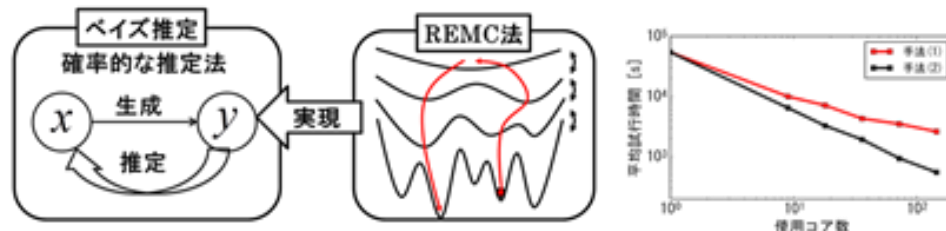
研究開発の成果

機械学習技術・確率モデリング技術を、大規模高次元データに対して適用可能にするための技術について研究開発を実施し、以下の成果を得た。

- 1) 欠損のある観測データを活用するための、非線形な傾向スコアマッチング手法を開発
- 2) 解釈可能性が高く、識別に有効な時系列データの次元削減・圧縮手法を開発
- 3) スケーラブルなベイズ学習のための、レプリカ交換モンテカルロ法の並列化手法を開発



解釈しやすさにフォーカスした時系列データの次元削減・圧縮手法



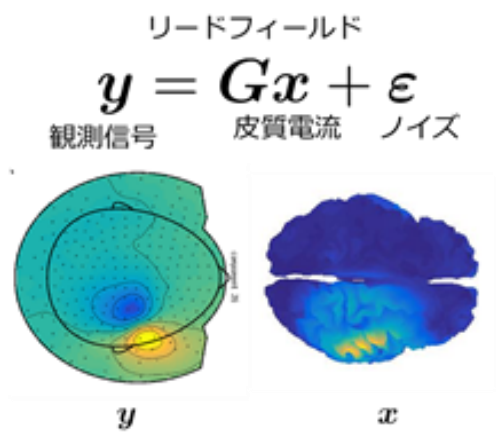
スケーラブルなベイズ学習のためのレプリカ交換モンテカルロ法の並列化

【A-1-1-8】「超複雑な機械学習・確率モデリングの研究開発」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標		研究成果	達成度
データ拡張技術を1種類以上提案し、性能評価を完了する。ノンパラメトリックなKL情報量推定のアルゴリズムを1種類以上開発し、性能評価を完了する。確率論理プログラミング言語を公開して1種類以上の応用に適用して有効性を示す。確率モデリングにおける時空間の表現方法を1種類以上提案し、性能評価を完了する。	データ拡大技術の提案と評価	非線形傾向スコアマッチング手法、潜在変数空間でのデータ拡大手法を提案し、脳波計測データ等に適用して評価した	達成
	情報量推定アルゴリズムの提案と評価	ノンパラメトリックなKL情報量推定アルゴリズムを提案し、5種類の確率分布のデータについて有効性を評価した	達成
	確率論理プログラミング言語の開発と評価	宣言型論理プログラミング言語 Prolog をベースとした確率プログラミング言語 PRISM を開発して日本語コーパスを使った確率文法のパラメータ学習に適用して有効性を評価した	達成
	時空間表現方法の提案と評価	時空間データ内の特徴的なイベントを基盤として時空間を分節化し、確率モデルにする方法を提案しビデオデータやSNSデータに適用して有効性を評価した	達成
最終目標		研究成果	達成度
提案手法を②先進中核モジュールとして組み込み、2種類以上の実サービスデータに適用して有効性を検証する	アルゴリズム改良/性能向上	ノンパラメトリックな情報量推定アルゴリズムの改良を検討中潜在変数空間でのデータ拡大手法の改良を実施中	H29/8 現在、50%達成
	大規模データへの適用	確率プログラミング言語の大規模データへ適用に向けた高速化を実施中	H29/8 現在、50%達成
	アルゴリズムモジュール化	確率モデル構築・利用環境（確率プログラミング言語）を構築中	H29/8 現在、50%達成

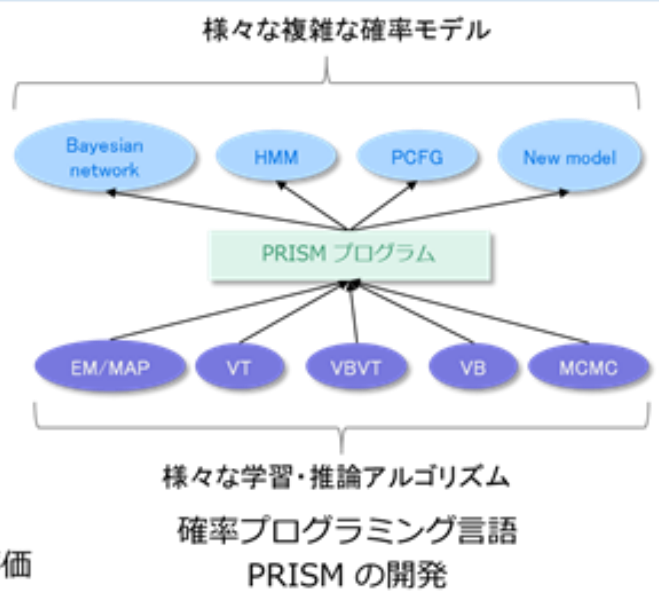
研究開発の成果

深層ニューラルネットワークや階層ベイズモデルに代表される複雑な機械学習モデル・確率モデルを、幅広い範囲の実世界データに対して適用可能にするための技術について研究開発を実施し、以下の成果を得た。

- 1) 少ない学習用データで複雑なモデルを学習するための、潜在空間でのデータ拡大法を開発
- 2) データに応じてモデルの複雑さを制御するための、ノンパラメトリックな情報量推定法を開発
- 3) 複雑な確率モデルの定義、学習、推論を容易にするための、確率プログラミング言語を開発



データの生成過程を考慮した
データ拡大法の提案と脳波データでの評価



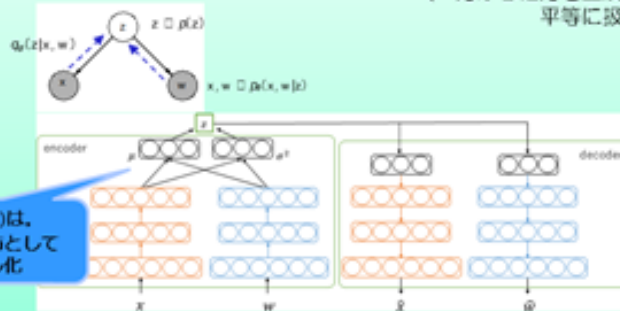
【A-1-1-9】「深層表現学習技術の研究開発」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究、共同実施先：国立大学法人東京大学)			
先導研究目標	研究成果	達成度	
最新の生成モデルによる auto-encoder の実装が終わっていること、強化学習との組み合わせに関するアルゴリズムの全体像が固まっていることを目標にする。また、簡単なロボットの試作を行い、さまざまな産業分野（例えば農業、建設、食品加工等）に活用することを旨としたプロトタイプを1種類以上構築する。	深層生成モデルの研究	マルチモーダルな深層生成モデルについて、新たな手法を提案し、その性能を検証した。複数のマルチモーダルなデータセットにおいて、従来手法よりも尤度が高いこと、さらにひとつのモーダル（例えばタグ）から他のモーダル（例えば画像）が生成できることを検証した。論文投稿を行い、ICLR2017のワークショップにおいて発表した。他にも、密度比推定を行うGANの手法、翻訳への応用等の発展的な研究も行っている。	達成
	SDAの高速化に関する研究	深層学習を適用する際にその高速化は重要な課題である。高速化に関してさまざまな手法が提案されているが、ここでは、積層自己符号化器に対して、それを高速に実行する手法を提案した。論文投稿を行い、論文誌に掲載された。	達成
	深層強化学習の実世界への適用（プロトタイプ構築）	実ロボット、産業機械を対象に、深層強化学習の適用を進めた。まず、深層強化学習を簡単なシミュレータ環境および簡単なロボット上での実装を行った。その後、複数の産業分野（農業や建設等）を対象に、応用の検討を行い、実際のプロトタイプの構築が進められている。実用化に向けての検討も始まっている。	達成
最終目標	研究成果	達成度	
深層強化学習に関して、実用化を踏まえて新しい手法を提案する。1種類以上の産業分野での実フィールドでの実証評価を行う。	マルチモーダルVAEと強化学習の組み合わせ方の検討	現在の深層強化学習はまだ未成熟な技術分野であり、状態空間の定義、アクション空間の定義を含め、世界のモデル化に関する方法論が不足している。ここでは、時系列情報やアクションを含むマルチモーダル学習をきっかけに研究を進め、記号的処理の深層強化学習における意義も含めた全体像となるアルゴリズムを構築する。現在のところ、複数のアイデアに基づくアルゴリズム構築を進めている。	H29/8 現在、20%を達成。
	深層強化学習の実世界への適用（実証実験）	深層強化学習を、実ロボット、産業機械を対象に適用する。実用化を踏まえたさまざまな課題を解決する。現在、実用化を踏まえたさまざまな技術的な問題解決を行っている。	H29/8 現在、20%を達成。

研究開発の成果

最新の生成モデルによるauto-encoderの実装を行い、マルチモーダルな変分auto-encoderの新手法の提案を行った。また、積層auto-encoderの高速化のアルゴリズム構築を行った。簡単なロボットを使った深層強化学習を実装し、さまざまな産業分野（例えば農業、建設、食品加工等）への活用を検討した。プロトタイプの実装を行い、実証実験に向けての作業を行っている。

<研究開発の概要>

2つのモーダル x, w に対して同時確率 $p(x, w)$ をモデル化。
 (一方から他方を生成するモデルはあるが、
 平等に扱うものはなかった。)



$q_\phi(z|x, w)$ は、
ガウス分布として
モデル化

マルチモーダル変分オートエンコーダ

強化学習ロボットシミュレーション



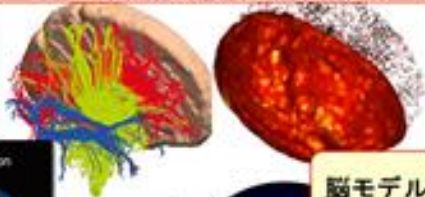
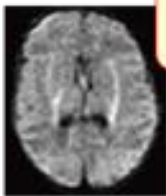
- 強化学習とプランニングの融合
 - マルチモーダルVAEと強化学習の組み合わせ方の検討
 - 状態空間、アクション空間等を含む世界のモデル化の高度化
- 農業や建設のための機械へ応用し、今まで機械化できなかった作業の自動化へ
 - 深層強化学習を、実ロボット、産業機械を対象に適用する。実用化を踏まえたさまざまな課題を解決する。

【A-1-1-10】「スパイクニューロン全脳モデルと身体性情報構造化に基づく動的実世界知能の研究開発」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人東京大学)			
先導研究目標	研究成果	達成度	
<p>生体型のスパイクニューロンとヒト脳3次元構造を有する、100億シナプス規模の全脳モデルを完成させる。並行して、ニューロンドYNAMICS、スパイク発火、ネットワーク構造等が要素認知機能に与える影響について検討し、脳モデル改良に資する知見を得る。また、身体との統合に向けて、実ロボットを含む基礎実験を含む検討を行う。</p>	<p>(1) 生体型全脳モデルの構築</p> <p>(2) 脳モデル・ロボット統合実験環境の構築</p> <p>(3) 身体性情報構造の抽出</p> <p>(4) 身体性情報構造変化に関する検討</p>	<p>(1) 90%達成</p> <p>(2) 90%達成</p> <p>(3) 80%達成</p> <p>(4) 80%達成</p>	
最終目標	研究成果	達成度	
<p>従来の人工ニューラルネットやモジュール統合型アーキテクチャが不得手とした、複雑で動的に変化する実世界状況への臨機応変な対応能力を有する動的実世界知能の中核技術の獲得</p>	<p>3次元脳構造を有する大規模スパイクニューラルネットの実現と身体性情報構造の統合によるマルチモーダル実世界情報の時空間ダイナミクスの学習・認識・統合・予測・判断・生成のための脳型知能モデル</p>	<p>大規模スパイクニューラルネットとロボットとのインターフェースの構築を中心として、身体構造ならびに身体運動によって創発される情報構造を厳密に抽出・解析・利用するために必要なロボットセンサの導入、データ取得のための実験環境の構築を行い、情報理論的ならびに構成論的アプローチによる解析を行っている。これらを基に、臨機応変な脳型知能モデル実現のために必要となるスパイクニューラルネットのための学習則ならびに機能モデルなどの検討を行っている。</p>	<p>H28/6 未開始、H29/8 現在 50%を達成、H31 年度末 100%達成予定</p>

研究開発の成果

ヒト脳のMRI/DTIデータから得られる大脳3次元構造に基づいた100億シナプス超の大規模スパイキング全脳ニューラルネットを構築し、ロボットや身体シミュレーションとの統合実験環境を構築した。また、ロボットや身体シミュレーションにおいて創発される身体性情報構造の解析を行った。これらを統合する事により、マルチモーダル実世界情報の時空間ダイナミクスを素早く柔軟に学習・認識・統合・予測・判断・生成可能な新たな脳型知能モデルを構築している。

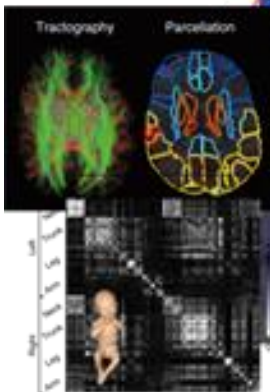
100億シナプス超全脳スパイキング
ニューラルネットワークの構築・
微小回路構造・学習則等の検討



道具使用時の
身体性情報構造変化の抽出・利用実験



脳モデル・ロボット統合実験環境の構築



感覚運動予測学習と
身体性情報構造の解析



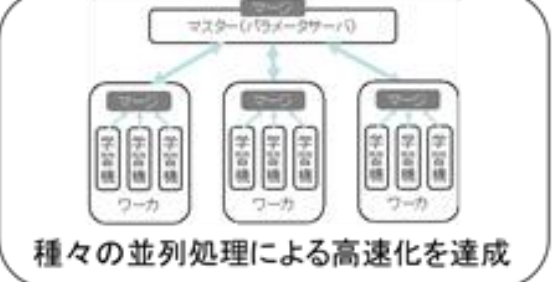
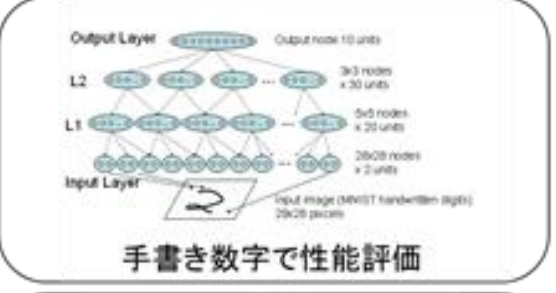
【A-1-1-11】「人工大脳皮質の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>

先導研究目標	研究成果	達成度
<p>noisy-OR モデルにより、パラメータの数 n に対し1ステップが $O(n)$ で動くオンライン学習アルゴリズムを設計・実装する。そのアルゴリズムに、従来から開発を進めている勝率ペナルティと側抑制ペナルティと呼ぶ正則化の機構を組み合わせて、教師なしの特徴抽出器として動作させる。さらに MNIST 手書き数字データベースを用いて認識率などの性能評価を行う。並列処理については、Chainer、TensorFlow、Spark などの並列機械学習フレームワークの上への BESOM の移植を検討する。</p>	<p>具体的には以下の研究開発を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 産総研がこれまでに開発した、制限付きベイジアンネットワーク BESOM の表現力の向上のために条件付確率表のモデルを改良する。 ・ 大脳皮質に関する複数の神経科学的知見を指導原理に取り入れて BESOM を改良することで推論・学習の精度を向上させる。 ・ BESOM を大規模分散環境で動作させるための並列処理方式を開発する。 <p>BESOM の推論・学習アルゴリズムの導出過程を整理し、機械学習理論的な妥当性を確認、見つかった改善点を改良した。</p> <p>条件付確率表に 3 種類のノードの導入を検討、「疑似ベイジアンネットワーク」を使った視覚野・言語野の認知モデルのプロトタイピングで、現在のところ表現力に問題ないことを確認した。</p> <p>ベイジアンネットワークの過適合・局所解の問題を緩和する正則化機構として、勝率ペナルティ・側抑制ペナルティの機構を設計・実装。これまでアドホックに行ってきた正則化手法を KL 情報量、相互情報量を使って再定式化。その上で、「複雑なパラメータの事前分布のもとでは EM アルゴリズムでの学習を効率的に実行できない」という問題を、事前分布を持たない等価なネットワークに変換することで解決。指数時間から多項式時間に高速化した。</p> <p>2 種類の並列処理方式を実装・評価した。パラメータサーバによるデータ並列計算で 16x4 スレッドで約 40 倍の高速化、GPGPU によるモデル並列計算で CPU のみに比べて約 45 倍の高速化を行った。</p> <p>「疑似ベイジアンネットワーク」と呼ぶ確率値の 0 と非 0 のみを区別する簡略化されたベイジアンネットワークを用いた認知モデルのプロトタイピング手法を開発した。</p>	<p>一部達成</p>

研究開発の成果

noisy-OR モデルを用いたベイジアンネットワークに対し、パラメータの数 n に対し1ステップが $O(n)$ で動く確率伝搬アルゴリズムを設計・実装・評価した。制限付きベイジアンネットワーク BESOM を並列実装により高速化した。また、疑似ベイジアンネットワークと呼ぶ、ベイジアンネットワークを簡略化し軽量化したものを使った認知モデルのプロトタイピング手法を開発し、それにより大規模機械学習が持つ局所解・過適合などの困難を回避した認知モデル設計を可能にした。



【A-1-1-12】「BESOMに基づく人工視覚野の研究開発」

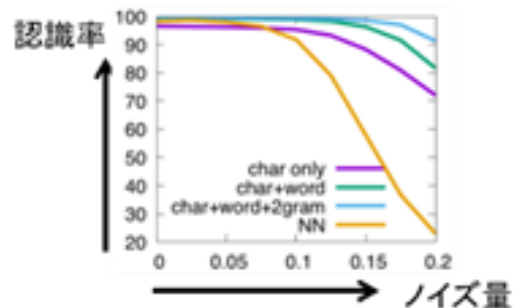
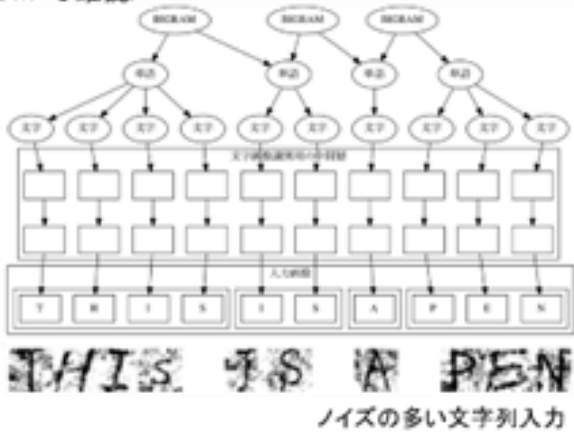
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>

先導研究目標	研究成果	達成度
<p>まずモデルが脳の初期視覚野を模倣できることを確認するため、自然画像のスパース符号化を行う。具体的には、2層 noisy-OR モデルを用いたベイジアンネットを用いて自然画像を学習し、ガボールフィルタ状の受容野が獲得されることを確認する。また、AND ゲートを用いたベイジアンネットによる脳の腹側経路・背側経路モデルの動作原理確認を行う。具体的には、視覚刺激が形と位置という2つの独立成分に分解できることを示す。</p>	<p>現状のたたみ込みニューラルネットワークは視覚野の構造の一部のみを模倣しているに過ぎない。(腹側経路のボトムアップの情報の流れのみ、形の認識しかできない。) 本研究では視覚野の他の重要な構造・機能も模倣した視覚情報処理を構築。具体的には以下の研究開発を行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 腹側経路(物体の形)および背側経路(物体の位置)の両方の機能とフィードバック機構を持った BESOM ネットワークを構築 2. 側方結合の機構からヒントを得た正則化の機構を設計・実装 3. 個々の領野の個性を踏まえたネットワークを構築 	<p>ボトムアップとトップダウンの情報の統合の利点として、文脈の情報を利用することで文字認識のノイズ耐性が増すことを現状版 BESOM で確認した。</p> <p>我々の正則化手法を適用し、2層 noisy-OR ネットワークで画像をスパース符号化、非負値行列因子分解(NMF)と同様に解釈しやすい基底画像(文字の部品)を獲得できることを確認した。</p> <p>疑似ベイジアンネットを用いて背側経路(位置)と腹側経路(形)の相互作用のモデルを構築した。</p> <p>ベイジアンネットモデルの確率伝搬法と初期視覚野の複雑型細胞に関する知見の間の機能的・構造的対応について分析した。</p> <p>一部達成</p>

研究開発の成果

制限付きベイジアンネット BESOM を用いて、前後の文字、前後の単語といったトップダウンの文脈情報を利用することで、ノイズの多い状況でもロバストに文字認識できるネットワークを設計・実装し、英字手書き文字データベースから機械生成した半人工データで有効性を示した。

トップダウンの文脈の情報を利用することで文字認識のノイズ耐性が増すことを制限付きベイジアンネット BESOM で確認



文字ごとの認識よりも、前後の単語、前後の文字の文脈情報を利用した方がノイズに強い文字認識が可能

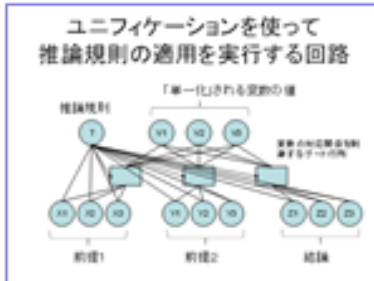
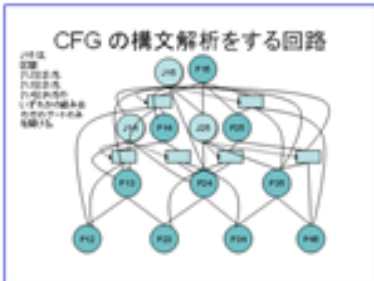
【A-1-1-13】「人工言語野の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>

先導研究目標	研究成果	達成度
<p>まずリカレントな結合を持つように拡張されたベイジアンネットによる汎用情報処理装置の動作原理を確認する。具体的には、条件付確率表の形で表現されたプログラムを使ってベイジアンネットのノードの形で表現されたゲートを開閉し、それによりメモリの読み書きやレジスタに対する演算を制御可能であることを示す。また、簡略版ベイジアンネットを用いたCYKパーザを実装し、ブローカー野およびウェルニッケ野の機能を模倣する。句構造文法パーザだけでなく、依存文法パーザのモデルもベイジアンネットを用いて構築し、この2つの統合への道筋をつける</p>	<p>組み合わせ範疇文法 (CCG: Combinatory Categorical Grammar) のパーザのベイジアンネットによる実現を目指す。具体的には、以下の課題の解決に取り組む。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・メモリ爆発・計算量爆発の回避 ・ヒープやスタックのない固定した回路での構文解析・意味解析 ・素性の単一化 ・ラムダ計算のベータ簡約 ・ベイジアンネット上での意味表現の方法 	<p>疑似ベイジアンネットを使って、組み合わせ範疇文法 (CCG) パーザの実現に必要な以下の3つの要素技術の動作原理を確認した。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 動的計画法により高速動作するチャートパーザ、パラメータ数を先行研究の指数オーダーから多項式オーダーに削減。 2. ゲートノードと呼ぶ新たに導入した条件付確率表モデルにより、変数束縛の機構を実現。 3. 神経科学と言語学の知見を参考に、動作主・被動作主などの深層格ごとにノードを固定した情報表現との相互変換を実現。これらにより、ベイジアンネットを使ったCCGパーザの実現に向けた重要課題に対して解決のめどをつけた。 <p>一部達成</p>

研究開発の成果

疑似ベイジアンネットを用いてゲート開閉の機構を実装し、その機構を使って組み合わせ範疇文法 (CCG) パーザの実現に必要な3つの要素技術の動作原理を確認した。具体的には、1. 動的計画法により高速動作するチャートパーザ、2. ゲートノードと呼ぶ新たに導入した条件付確率表モデルによる変数束縛の機構、3. 神経科学と言語学の知見を参考にして、動作主・被動作主などの深層格ごとにノードを固定した情報表現との相互変換を実現した。これらにより、ベイジアンネットを使ったCCGパーザの実現に向けた重要課題に対して解決のめどをつけた。



動的計画法により高速動作するチャートパーザ、パラメータ数を先行研究の指数オーダーから多項式オーダーに削減

ゲートノードと呼ぶ新たに導入した条件付確率表モデルにより、変数束縛の機構を実現

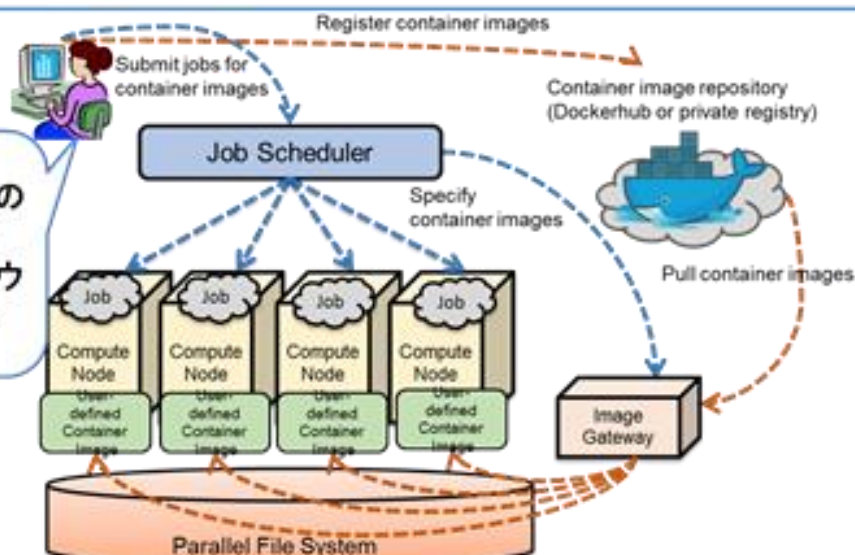
神経科学と言語学の知見を参考に、動作主・被動作主などの深層格ごとにノードを固定した情報表現を考案

【A-1-1-14】「次世代人工知能フレームワークの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標		研究成果	達成度
フレームワークのプロトタイプ実装を完了する。5件以上の人工知能応用に用いられる実データをサービスする。2件以上の応用（ユーザの意思決定支援や生活行動支援）で実証を行い、フレームワークの有効性を確認する。	AI ワークロードを支援するモジュールベースのアプリ配備・実行機構の開発	AI クラウド上で汎用ビッグデータ処理、深層学習等、多様な AI フレームワークに対応したリソース割り当て・配備・実行を可能にするとともに、人工知能モジュール、それらを組み合わせたアプリの作成等を支援する次世代人工知能フレームワークのプロトタイプ実装を完了した。	達成
	データフローに着目したビッグデータ処理ミドルウェアの開発	SQL ライクな問い合わせによる、簡便かつ高速な汎用ビッグデータ解析処理技術を開発した。強スケーラビリティを備えたグラフ処理エンジンや深層学習エンジンのベースとなる、分散処理系の性能調査、アウトオブコア実行方式の開発を進めた。	達成
	人工知能データのためのデータプラットフォームの開発	大量の時空間データの収集・蓄積・管理・利用を可能にするデータカタログシステムをプロトタイプ実装し、オープンに利用できる時空間データを対象に有効性を確認した。また、時空間データ形式、API 等の OGC での国際標準化を進めた。深層学習モデルの生成・蓄積・管理・利用に必要な共通形式とその管理方式の調査を行った。	達成
最終目標		研究開発成果	達成度
ロボット・人流の実応用、実データを対象にフレームワークの実証を行う。	AI ワークロードを支援するモジュールベースのアプリ配備・実行機構の開発成果を AAIC/ABCI に統合し、利用を通じて機能・性能の改善を図る。また、衛星画像変化検知、三次元データ利用 API 等での実証を行う。	AI ワークロードを支援するモジュールベースのアプリ配備・実行機構の開発成果を AAIC に導入を行い、パイロットユーザによる利用を開始した。また、モジュールリポジトリの試験公開を開始し、基盤モジュールの開発、他の研究開発テーマで開発されたモジュールの取り込みを開始した。	H29/8 現在、50%を達成。
	データフローに着目したビッグデータ処理ミドルウェアをポイントクラウドデータの加工や解析に適用し、性能・機能の改善を図る。	実世界から取得される時空間データの加工を例に、ビッグデータ処理ミドルウェアの配備・実行の実験を進めている。また、分散処理系の性能調査、アウトオブコア実行方式の開発を進めている。	H29/8 現在、50%を達成。
	人工知能データのためのデータプラットフォームを実データを対象に構築し、応用実証に利用する。	時空間データ向けの API のベストプラクティスを出版した他、ポイントクラウドデータのハンドリングに係る標準化動向の調査を行った。	H29/8 現在、50%を達成。

研究開発の成果

深層学習を始めとする膨大な計算需要に応える100PFLOPS超クラスの計算能力を持つAIクラウドが現実のものとなってきた。本開発では、こうした計算インフラを用いて、ビッグデータを活用したAIを誰でも簡単に利用可能にし、AI応用の開発効率と生産性を向上するためのフレームワーク技術を先導研究した。具体的にはAIワークロードを支援するモジュールベースのアプリ配備・実行機構、データフローに着目したビッグデータ処理ミドルウェア、人工知能データのためのデータプラットフォームをプロトタイプ開発し、一部成果は産総研AIクラウドに統合した。

ユーザは、計算リソースの詳細を意識することなく、大規模・最先端のAIクラウドをAI応用に利用できる

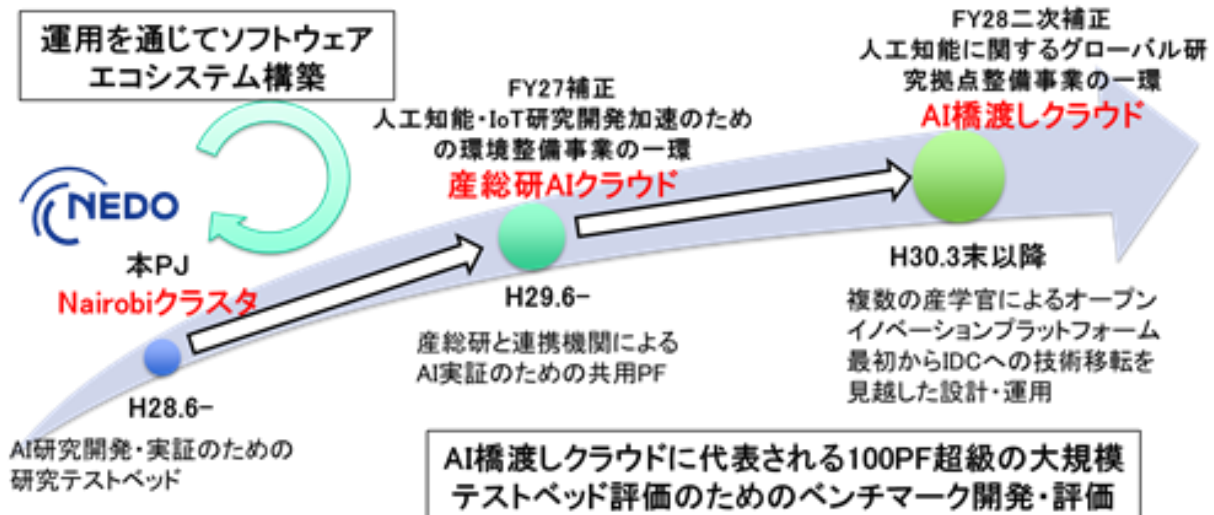


AIワークロードを支援するモジュールベースのアプリ配備・実行機構

【A-1-1-15】「次世代人工知能研究テストベッドの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標	研究成果	達成度	
テストベッドのサービスを拡充し、拠点において50名以上の研究者・開発者が利用する。また、2件以上のプロトタイプ応用（ユーザーの意思決定支援や生活行動支援等）に利用し、2件以上のアウトリーチ活動に活用する。	大規模テストベッドでのソフトウェアエコシステムの構築	研究テストベッドの構築、特に拠点におけるプロジェクトで収集・開発されるデータ及びソフトウェアの統合に必要なシステムソフトウェアの開発を行い、テストベッドの運用に活かされている。ステージゲート時点で、アウトリーチ活動への活用は1件に留まったが、60名以上のユーザーが各種研究開発、プロトタイプ応用に利用している。	達成
	大規模テストベッド評価のためのベンチマーク開発・評価	人工知能向けの計算インフラの適正かつ公平な評価を可能とするベンチマークセットの開発を行った。特にこうした計算インフラの絶対性能を規定するAI-FLOPSというメトリックと、その計測を可能にするベンチマークを開発した。この他、ビッグデータ処理、CNN、RNNの性能評価のためのベンチマークセットをプロトタイプ開発した。	達成
最終目標	研究開発成果	達成度	
ABCIを含む研究テストベッドの安定運用と、AI500ベンチマークとしての最初のリスト公表	大規模テストベッドでのソフトウェアエコシステムの構築	大規模テストベッド（AAIC）の構築、特に拠点におけるプロジェクトで収集・開発されるデータ及びソフトウェアの統合に必要なシステムソフトウェアの開発を進め、H29/6の早期運用開始を可能にした。また、運用開始から機能追加に必要な開発と、利用促進活動を継続して行い、結果としてH29/8時点で120名の利用者の獲得に貢献した。	H29/8 現在、50%を達成。
	大規模テストベッド評価のためのベンチマーク開発・評価	前年度開発したベンチマークセットのリバイスを行い、AI 橋渡しクラウド調達のための性能評価試験と、実勢に合わせて基準を定めた。H29/8時点で複数のベンダによる複数の構成でのベンチマークが行われているところである。	H29/8 現在、50%を達成。

研究開発の成果

産総研及び人工知能研究センターでは、AI・IoT技術の研究加速・研究競争力の維持・強化、本PJを通じて収集・開発されるデータ及びソフトウェアの利用促進、企業との共同研究の迅速な立ち上げによる産業界との連携強化を目的として、産総研AIクラウド(AAIC)及びAI橋渡しクラウド(ABCI)の整備を進めている。本開発では、こうした大規模テストベッドでのソフトウェアエコシステムの構築、大規模テストベッド評価のためのベンチマーク開発・評価を行った。



【A-1-1-16】「社会的身体性知能の共有・活用のためのクラウドプラットフォーム」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：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)			
先導研究目標		研究成果	達成度
1. クラウドプラットフォームのプロトタイプ実装 2. RoboCup@Home 競技会における実証評価実験の実施 3. 社会的身体的経験のクラウド共有システムの実装	1. クラウドプラットフォームの機能実装として、100 のオーダーのユーザーおよびロボットが同じ世界に同時にログインし、複数人数のユーザーと複数ロボットとの間でリアルタイムでの対話が可能なシステムを構築する。 2. 本システムの有効性を検証するために、RoboCup@Home と呼ばれるロボット競技会において、人間とロボットの対話経験を活用する必要がある競技タスクを設定し、一般参加者に対してシステムをオープンすることで、実証実験を行う。具体的には、「あれ／これ／さっきの／いつもの物を取って」というような曖昧な表現が含まれる指示をロボットに与えた時の、適切な物体の選定方法の学習を対象とする。競技会の参加者には、社会的身体的経験を参照する API を公開し、知能ロボットのプログラムを実装してもらう。 3. 社会的身体的経験データベースは本プロジェクトで提供し、一般参加者からフィードバックを得ながらシステム機能の向上を行う。	MySQL サーバによる 1 万時間オーダーの対話行動の記録を可能とした Unity と ROS を連動させるプロトタイプシステムをリリースした。これにより、リアルな三次元映像の実時間生成が容易となり、かつ、従来までのロボットのソフトウェアが再利用可能なシステムを実現した 実際に RoboCup 競技会において本システムを活用し、人間とロボットの対話機能を評価する競技を設計・実施し、有効性を確認した。	達成
最終目標		研究開発成果	達成度
1. 対話型知能ロボット研究における対話経験データの活用 2. 対人インタラクションスキルのトレーニングシステムへの応用 3. 対人インタラクションフィールドの生成モデル構築	1-1. 社会的身体的行動の理解に向けた国際的コンペティション開催 (RoboCup@Home) 1-2. 対物行動から対人行動へ/一発勝負から統計的評価 2-1. 介護施設や保育施設でのエキスパートの行動・インタラクションスキルの収集と分析 2-2. 初心者へのスキルの可視化 2-3. コンペティション化の検討 3-1. 対象となる人 (ロボットのユーザー/老人/子供) のモデル構築とアバター化による再現 3-2. 様々な状況や予想外の行動を生成する事によるトレーニング拡張	RoboCup@Home でのシステム実装はテスト段階を終了し、実用段階に入り、システム活用が進んでいる。 対人インタラクションスキルのトレーニングシステム応用については、介護施設や保育施設への視察を重ね、チーム間連携ミーティングを定期的に開催しシステムの仕様のとりまとめを進めている	H29/8 現在、約 70% を達成。(先導研究フェーズの累積を含む)

研究開発の成果

ロボットやヒトとのインタラクションの記録・再現のための統合プラットフォーム基盤への発展として、VRアプリケーション開発の世界的標準プラットフォームであるUnityと、知能ロボットの自律行動開発ミドルウェアであるROSを高速に連動させるプロトタイプシステムを開発した。VRを介した対話経験はクラウド上のデータベースに記録され再利用可能が容易なシステム構成とした。実際にRoboCup競技会にて対人行動を評価可能であることを確認した



VRを介したロボット・対人対話実験 → モデル化
→ シミュレーションを統合可能な世界初のシミュレータ

【A-1-1-17】「ネットワーク分析と言語処理の融合による大規模文献データからの技術の未来予測プラットフォームの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人東京大学)		
先導研究目標	研究成果	達成度
<p>大規模学術文献情報のテキストデータとネットワークデータの分析基盤の構築のため、以下の実タスクをベンチマークとして検証を行う</p> <p>[大規模論文データの分類と可視化] (技術ロードマッピングへの応用を想定) 数百万の論文引用ネットワークとテキスト情報に基づくクラスタリングと可視化を実時間で行う</p> <p>[大規模論文データの萌芽論文予測] (技術フォーサイトへの応用を想定) 萌芽論文予測において、現状保有技術と比較した精度向上</p>	<p>[大規模論文データの分類と可視化] (技術ロードマッピングへの応用を想定) sustainability 分野の大規模論文のデータを web of science より取得し、約 230 万件の 2000 万リンクの論文を最新手法である Largevis を適用することにより 2 次元空間上へ可視化し、分類とラベリングを実施し、分野の研究者と結果について討論し有用性を確認した。</p> <p>[大規模論文データの萌芽論文予測] (技術フォーサイトへの応用を想定) 潜在空間へのネットワーク構造のマッピング技術を用いることで論文のトレンドを検出し、そのトレンドに乗っていると高引用であるという仮説の有用性検証した。そのことにより従来以上の萌芽予測精度を達成できることが確認された。</p>	達成
最終目標	研究開発成果	達成度
<ol style="list-style-type: none"> 1. モジュールの汎用化 2. 他のデータセット (企業ネットワーク、ソーシャルネットワーク) への適用できるように汎用化 3. 知識獲得精度の向上 4. ネットワークとテキストデータから同時に表現学習を獲得する手法の開発 5. 既存タスクにおける、ネットワーク・テキストを個別に利用した場合と比較した精度向上・新たな情報抽出の検証 6. 専門家の意思決定支援ツールとしての実装 7. 研究開発・政策形成・戦略立案の意思決定に有効なフレームワークの作成 	<ol style="list-style-type: none"> 1. モジュールの再設計を行い、汎用性の高いモジュール開発を行っている。デモレベルの試作を行い、細部の機能設計、バグ修正を行っている。一部モジュール部分を他研究室で開発中のシステムとの連携することで、汎用性の検証となるように検討している。 2. Web of Science (以下、WoS) のデータ形式以外の論文データ形式への対応を進めている。特に強い要請をいただいた PubMed 形式のデータへの対応をするためのプログラム変更を進めている。 3. 知識獲得精度の向上に向けた基本設計、理論的な枠組みについて開発中 4. テキストデータの語の共起情報をネットワーク的に捉え、複数ネットワークを低次元ベクトル空間上にエンベディングする手法の開発を行った。本手法は特にドメイン依存性の強いネットワークに有用な手法となっている。 5. ネットワーク・テキストを複合的に利用した精度向上は 3、4 の基礎技術を組み合わせることで可能になる。そこで、本年度はこれらの基礎技術を組み合わせるための設計について検討を行った。 6. システムの再設計を行い、汎用性の高いシステム開発を行っている。デモレベルの試作を行い、細部の機能設計、バグ修正を行っている。 7. 民間企業、官公庁の担当者に開発システム、モジュールを利用してもらい実用上の課題を明らかにする取り組みを行っている。 	H29/8 現在、1-5 に関しては概ね技術的な可能性の検証を終えていて、実装段階にある。6、7 に関しては準備中である

研究開発の成果

(研究開発成果の概要を、数行程度で記載。)

技術の未来予測(フォーサイト)は国の政策や企業の投資先の意思決定に重要である。最新の技術傾向の理解に必要な学術論文は出版数は膨大であり、学術論文から自動的に技術トレンドの抽出や未来予測を行う技術が開発が必要とされている。本研究では、表現学習を用いて本文・引用ネットワーク双方から同時に情報を抽出することによる精度向上を図る。また、引用ネットワークの表現学習を用いることで技術トレンドの検出や学術領域の融合・分岐などの現象を検出する手法を開発する。

ネットワークの表現学習手法を用いて、学術領域の発展方向の検出(左図)、学術領域の発展の可視化(右図)手法を開発した。これらの情報に論文のテキスト情報を組み合わせる手法は開発中。

引用ネットワーク



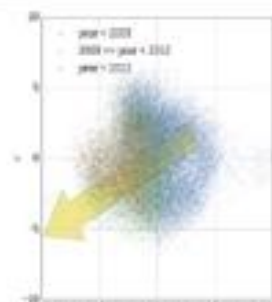
ネットワーク表現学習

ネットワークの

分散表現

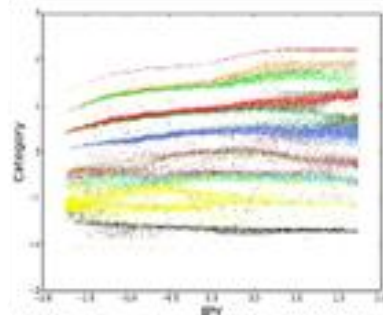


学術領域の発展方向の検出



学術分野が空間内で特定方向に成長しており、この方向をトレンドとして検知。そして、成長方向のベクトルの先端にある論文は多く引用される傾向があることを発見した。

学術領域の発展を可視化



横軸が引用ネットワークの成長方向、縦軸が論文のカテゴリを表し、各点が論文である。学術領域が融合、分岐、誘発、誕生を繰り返しながら成長していく様子を可視化した。この図はグラフエッジ領域を可視化したもの。

【A-1-1-18】「観測・データ収集モジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標		研究成果	達成度
センサルーム（産総研内リビングラボ）を構築し、計測機能を実装する。産総研外のリビングラボを1か所以上構築する。リビングラボを用いたデータ収集を開始し、計測データとアノテーション付き地図システムとを統合することで有効性を検証する。	生活現象データベースを作成可能にするリビングラボの開発と、アノテーション付き3D地図の開発	実際の現場を想定した仮想実験を容易にすることを目的に、実環境を模擬した実験環境（リビングラボ）を研究所内で構築した。さらに、現場での実証フェーズを支援するために、介護施設、リハビリテーション病院、子ども病院などの現場と連携して、実環境において検証や効果評価を行えるようにするサテライトリビングラボ環境（東京都昭島市、神戸市、長崎県大村市の3か所）を構築した。これにより、基礎開発から実証研究までのシームレスにつなぐ国際的にも類のないリビングラボ環境を整備し、現場での生活データ取得を開始した。また、物理情報のみならず、タスクに関連する意味情報が付加された3D地図を作成するためのアノテーション付き地図データベースの開発を行った。	達成
最終目標		研究開発成果	達成度
観測モジュールを生活現象（コト）モデリングが求められる具体的課題へ適用し、生活現象フレームの検証と、ユースケース蓄積を図る。	生活機能変化に伴う生活現象データとして、1PB規模の行動データ（子ども(1～6歳)・高齢者(75歳～))。年齢軸から生活機能軸へのパラダイムシフトを起こすオープンデータを蓄積	子どもの発達に伴うよじ登り行動のデータベース（年齢と生活機能に紐づけられた行動データベース）と、高齢者の介護施設における廊下・カフェテリア・ベッド周辺における行動データベース（年齢と生活機能に紐づけられた行動データベース）を蓄積した。	H29/8 現在、80%を達成。
	リビングラボを用いた生活機能データベースの作成を進めるための新たな技術として、画像処理技術とRGBDカメラを用いた行動観察技術を統合したノンウェアラブルセンシング技術、個別性があるが、類似性が高い環境での情報共有技術を開発	RGBDカメラと個人識別機能を用いることで、複数の高齢者が生活する空間において、個々の高齢者の歩行状態をモニタリングする機能（ノンウェアラブル個人識別型歩行状態モニター機能）の開発を進めた。	H29/8 現在、40%を達成。
	企業・介護施設・製品安全分野の他の事業などのへの技術提供、現場導入のバリア分析や導入マニュアルの作成	経産省の「高齢者等製品安全基盤情報収集事業」（平成28年度）へ大規模RGBD行動データ取得技術の技術提供を行った。平成29年度「ピンテッジソサエティの実現に向けた高齢者等の行動データ取得事業」に対しても技術提供を継続する計画である。また、介護施設に、上述したノンウェアラブル個人識別型歩行状態モニター機能の提供と検証を開始した。	H29/8 現在、30%を達成。

研究開発の成果

「生活機能レジリエント社会」を実現する製品やサービスの開発に不可欠な生活現象データベースの作成のための観察・データ収集モジュールとして、実際の現場を想定した仮想実験を容易にする研究所内リビングラボと、現場での実証フェーズを支援するために、実環境において検証や効果評価を行えるようにするサテライトリビングラボ環境を構築した(産総研内リビングラボと現場リビングラボ(10か所)へ展開)。これを用いて、年齢軸だけではなく、生活機能軸での生活現象を整理するための生活現象データベース(生活機能に紐づいたRGBD行動ライブラリ)を作成し、企業・介護施設への提供を開始。また、AI技術のターゲット、課題抽出・企画、評価、普及を助けてくれるコデザインコミュニティづくりも進めた。

実世界・実問題と繋がったスマートリビングラボ



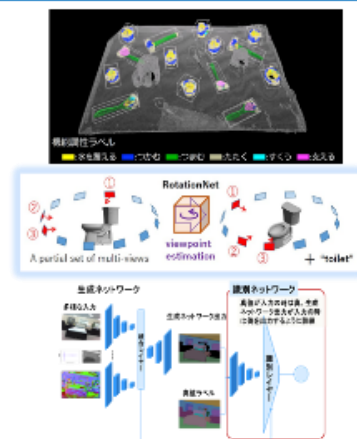
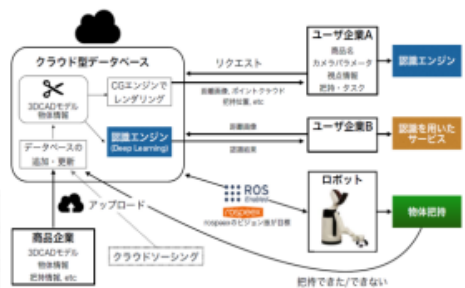
【A-1-1-19】「一般物体認識クラウドエンジンの構築」「3次元センシングモジュールの研究開発」「センサフュージョンによる実世界環境理解モジュールの研究開発」		
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所 再委託先：学校法人中部大学 中部大学、学校法人梅村学園 中京大学、国立大学法人大阪大学)		
先導研究目標	研究開発成果	達成度
<p>・3D-CAD モデルデータについては、100種類の日用品のデータベースを構築し、日用品の物体認識アルゴリズムによる認識率90%以上を達成する。3Dポイントクラウドデータについては、50種類の日用品のデータベースを構築し、物体認識アルゴリズムによる認識率70%以上を達成する。自律移動ロボットシステム・行動モジュール・アルゴリズムによって、1000サンプル以上の物体の3次元データを取得する。</p> <p>・難識別物体を把握するためのハイダイナミックレンジカメラやマルチスペクトルカメラ等による物体検出技術を開発する。クラウド上でロボットの部品の位置・姿勢認識を行うことにより有効性を検証する。</p> <p>・センサフュージョンによる高精度3次元形状推定デバイスと機械学習に基づく認識エンジンの設計・試作を行う。センサとロボットを統合し、物体認識とセグメンテーション機能を実装する。オフィス環境において50種類以上の物体に対して認識精度90%以上で自動識別する。</p>	<p>・データベース仕様を検討し、仮設計するとともに、データ構造を検討。</p> <p>・形状データに機能属性を加えた日用品データ100個の登録。21,120枚からなる日用品画像データセットを構築。</p> <p>・クラウド環境のプロトタイプを試作。</p> <p>・3D-CAD等のモデルを利用したDeep Learning物体認識を開発(認識率90%)。</p> <p>・ポイントクラウドモデルを利用した複数物体同時認識、および一般物体認識手法を開発(それぞれ、認識率95%、92%)</p> <p>・クラウド認識エンジンの実装のためのDCNN自動分割技術を開発。</p>	達成
<p>・難識別物体を把握するためのハイダイナミックレンジカメラやマルチスペクトルカメラ等による物体検出技術を開発する。クラウド上でロボットの部品の位置・姿勢認識を行うことにより有効性を検証する。</p>	<p>・ハイパースペクトルカメラによる環境光と知覚色の同時認識手法を開発</p> <p>・超高速3Dセンシングによる落下動作からの重心推定手法を開発</p> <p>・HDRカメラを用いた難識別物体の3Dセンシングソフトを開発</p> <p>・3次元センシング技術をミドルウェア化</p>	達成
<p>・センサフュージョンによる高精度3次元形状推定デバイスと機械学習に基づく認識エンジンの設計・試作を行う。センサとロボットを統合し、物体認識とセグメンテーション機能を実装する。オフィス環境において50種類以上の物体に対して認識精度90%以上で自動識別する。</p>	<p>・提案する強化学習的アプローチに基づく物体認識モジュールの試作ソフトウェアが完成。</p> <p>・最適化アルゴリズム・ネットワーク構造の選定を試行錯誤により検討。</p> <p>・RGB画像の34クラスのラベル認識+セグメンテーションの問題設定において、既存手法Segnet以上の性能を実現。(提案手法 MIOU 38.7%)</p>	達成
最終目標	研究開発成果	達成度
<p>認識手法の高度化および一般物体認識における適用可能品種の拡大</p>	<p>・複数視点画像から物体カテゴリと視点位置を推定するRotaionNetを開発(国際コンペSHREC2017にて2部門で世界一位)</p>	H29/8 現在、50%を達成。
<p>認識手法の高度化および一般物体認識における適用可能品種の拡大をおこなうとともに、クラウドデータ数400を実現する。また、認識モジュールと共通タスクとの連携を進め、産業用・家庭用ロボットの認識モジュールの実証実験を通じ有効性を確認する。</p>	<p>クラウドデータ数400</p>	H29/8 現在、50%を達成。
<p>認識手法の高度化および一般物体認識における適用可能品種の拡大をおこなうとともに、クラウドデータ数400を実現する。また、認識モジュールと共通タスクとの連携を進め、産業用・家庭用ロボットの認識モジュールの実証実験を通じ有効性を確認する。</p>	<p>認識モジュールと共通タスクとの連携を進め、産業用・家庭用ロボットの認識モジュールの実証実験を通じ有効性を確認する。</p>	H29/8 現在、25%を達成。

研究開発の成果

あらゆる対象物を認識可能な視覚認識システムを構築するため、特に物品製造や生活支援を目的としたロボットを対象として、商品や日用品などの物品や、屋内における実世界環境を効率よく認識するためのクラウドエンジンを構築する。現在までにデータベースの仕様を検討の上、日用品等の物体認識、ハイパースペクトル等の超視覚、センサーフュージョンの各データベースを収集し、Deep Learning、3次元特徴、ハイパースペクトル等による物体認識手法を開発。複数視点画像から物体カテゴリと視点位置を推定するRotationNetを開発し、国際コンペSHREC2017にて2部門で世界一位を獲得。



認識用データベースの構築



認識モジュールの開発

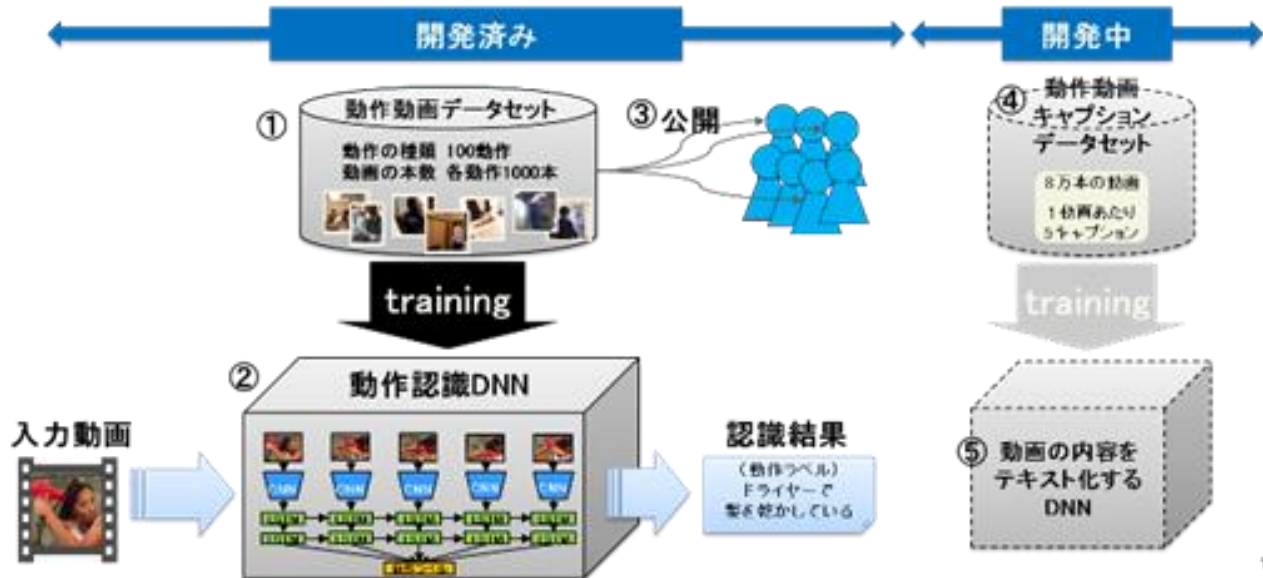
【物体認識クラウドエンジンの構成】

【A-1-1-20】「きめの細かい動作認識の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人千葉工業大学)														
先導研究目標	研究開発成果	達成度												
<p>人の動作 100 種類、各種類につき 1,000 本の動画からなるデータセットを構築する。具体的には、動画は著作権フリーの動画素材を用い、その該当区間に動作名でラベル付けを行う。動作の種類については、家庭、オフィス、保育園・学校などで観察されるような日常的な基本動作を中心とする。動作ラベルは日本語と英語の二ヶ国語を用意する。データセット構築の進捗に合わせて 100 種類の動作認識をする深層学習プロトタイプを開発する。</p>	<p>動作データセット STAIR Actions ・ 日常動作 100 種類・ 各動作 1000 本の動画</p> <p>動作認識モデルの目標性能 (mAP)</p> <table border="1"> <tr> <td>UCF101</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>HMDB51</td> <td>60%</td> </tr> <tr> <td>STAIR Actions</td> <td>40%</td> </tr> </table> <p>動作データセット STAIR Actions 完成 ただし、動画は YouTube 動画 (URL と区間情報のみ) と CGO で制作された動画 テスト用の 1 万本を除いた 9 万本を公開の方針 NEDO プロジェクトメンバーにはオンデマンドで提供 (2 件配布済み) 一般公開については NEDO・産総研で審議中</p> <p>動作認識モデルは RNN ベースのモデルを構築して、目標性能 (mAP) を達成</p> <table border="1"> <tr> <td>UCF101</td> <td>90.88%</td> </tr> <tr> <td>HMDB51</td> <td>63.00%</td> </tr> <tr> <td>STAIR Actions</td> <td>41.03%</td> </tr> </table> <p>論文発表 2017 年度人工知能学会全国大会で発表 吉川友也, 竹内彰一. 家庭やオフィス内の動作認識用大規模動画データセットの構築. データセット公開 STAIR Actions の一般公開許可待ち</p>	UCF101	90%	HMDB51	60%	STAIR Actions	40%	UCF101	90.88%	HMDB51	63.00%	STAIR Actions	41.03%	達成
UCF101	90%													
HMDB51	60%													
STAIR Actions	40%													
UCF101	90.88%													
HMDB51	63.00%													
STAIR Actions	41.03%													
最終目標	研究開発成果	達成度												
<p>家庭やオフィスなど高々 10 名程度の固定した人間が登場する状況において、数日分の映像記録をもとに実用的な質問応答ができるようなシステムを目指す</p>	<p>①-1 動画キャプションの自動生成エンジン開発用の大規模データセット構築中 動画本数 = 8 万本、キャプション数 = 5 万キャプション/動画、 合計 40 万キャプション</p> <p>①-2 上記データセットを利用して動画キャプションの自動生成エンジンの検討中</p> <p>②、③については次年度以降実施予定</p>	H29/8 現在、15%を達成。												

研究開発の成果

家庭やオフィスなど高々10名程度の固定した人間が登場する状況において、数日分の映像記録をもとに実用的な質問応答ができるようなシステムを目指している。

- ① 日常的な動作100種類の動画データセット DS1 を構築した(各動作1000本、合計10万本)
- ② DS1を用いて動画中の動作を認識するDNNを開発した
- ③ DS1は研究者向けに一般公開している
- ④ DS1のうちの8万本それぞれに5つのキャプションをつけたデータセット DS2 を構築中
- ⑤ DS2を用いて動画内容をテキスト化するDNNの設計中



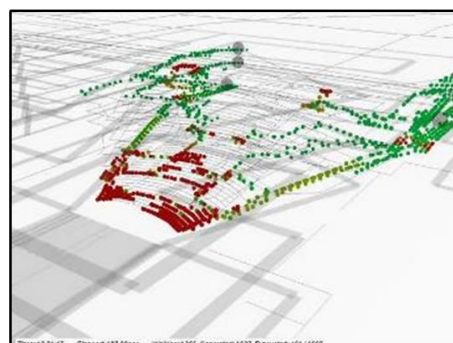
【A-1-1-21】「社会レベル行動モデリング・シミュレーションモジュールの研究開発」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
<p>2種類以上の現場・応用について、人流の計測・モデリング・シミュレーションを実施し、社会的サービスの改善・設計支援に対する有効性を評価する。</p>		<p>① 関門海峡花火大会における人の流れの計測とシミュレーションを融合しデータ同化することによって会場全体の数万人規模の群集の流れを7割以上の精度で推定することができた。本データ同化によって混雑する時間帯や場所に対する知見を得ることができた。</p> <p>② 新国立劇場における大規模な人の流れのシミュレーションによって災害時にはどのように誘導すればよいかに対する知見を抽出することができた。特に扉の開閉状況と避難時間の関係や後ろに人を流すことによる避難時間の短縮効果などを明らかにした。</p> <p>③ 人の流れの計測技術に関して要素技術をモジュール化することで高精度でかつ広範囲で人の流れを抽出することのできるモジュールを作成した。またディープラーニングを用いた画像認識のためのハイパラメータ調整手法をモジュール化することで短い時間で高い認識率を得ることができるようになった。</p> <p>④ 関門海峡花火大会や新国立劇場以外の現場においても展開できるように準備を進めている。</p>	<p>① 達成 ② 達成 ③ 達成 ④ 達成</p>
最終目標		研究開発成果	達成度
<p>オリンピックなどの大規模イベントを想定した十万人規模の人の流れを10台以上のセンサで統合的に計測し、予め行った数千万規模のシミュレーション結果とリアルタイムで照合することで現状の全体像を把握し、社会的サービスの創出を目指す。</p>		<p>① 数千万通りの大規模な人の流れのシミュレーションを行い、その分析方法を確立する。</p> <p>② 大規模な計測結果とシミュレーションのリアルタイム照合手法を確立する。</p> <p>③ 社会的なサービス創出のための全体可視化手法を確立する。</p> <p>①②③ 左記最終目標に向けてこれから研究開発を進めていく。</p>	<p>① H29/8 現在、50%を達成。 ② H29/8 現在、オフラインではできているが、リアルタイムについては全く手が付いておらず30%を達成。 ③ H29/8 現在、40%を達成。</p>

研究開発の成果

関門海峡花火大会において混雑する群集の流れの計測を行い、数万人規模の人の流れのデータに対して計測結果とシミュレーション結果を融合することで、計測できていない領域を含めた花火大会会場付近全体の人流れを推定することができた。この推定によって混雑がどの時間帯にどこで発生しているかを知ることができ、花火大会終了後の混雑を緩和するための有用な知見を得ることができる。また、過去に行った新国立劇場での避難訓練の計測結果をもとにシミュレーションを行うことで混雑が発生する理由を推定し、安全に避難するための誘導方法に対する有用な知見を得ることができた。中間評価の目標通り2種類の現場において群集に対する混雑緩和や避難誘導支援という社会サービスに対する有用性を評価することができ、今後の水平展開への道筋が見えつつある。



超混雑環境での高精度な人の計測
複数地点での計測結果の統合

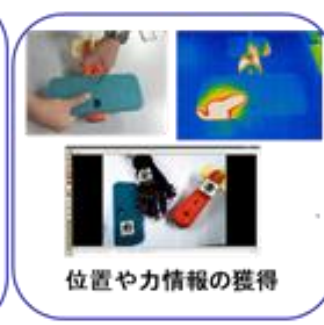
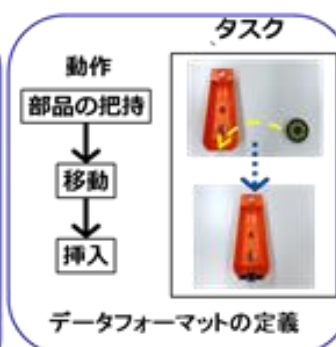
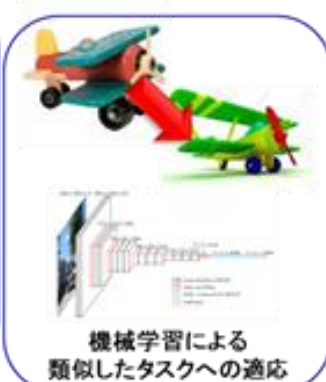
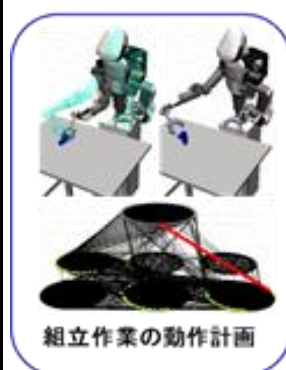


群集流動シミュレーションの
大規模化・高速化・網羅的解析

【A-1-1-22】「作業動作自動生成システムの研究開発」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人金沢大学、国立大学法人大阪大学)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
<p>ロボットによる組み立て作業を行うための物体操作計画や作業計画を行うと同時に、その計画問題で必要とするデータベースの構築を行う。</p> <p>8種類以上の動作を認識率90%以上で自動識別する。また、識別された作業のロボットの動作に変換し、90%以上実行可能なことをシミュレーションで確認する。</p>	<p>人の作業における物体操作情報を学習するシステムを開発し、8種類以上の動作を90%以上の識別率で自動識別する。</p> <p>ヒトの作業動作を変換し、ロボットの作業動作を自動的に生成するシステムを開発する。90%以上実行可能であることをシミュレーションで確認する</p> <p>3種類の部品から構成される製品の組み立て作業をロボットにより検証する。</p>	<p>熱痕跡画像を熱情報を取得可能なカメラを用いて人の作業情報を解析し、9種類以上の把持動作を取得した。また、90%以上の識別率で自動的に識別を実現した。</p> <p>道具などの物品の持つ機能を分析・リストアップし、機能と形状との対応付けを行った。</p> <p>道具の機能や作業の構造を階層的に定義し、蓄積すべきデータの記述方法を定めた。</p> <p>ARマーカを利用した人間の組立作業軌跡データ収集、熱痕跡画像を利用した把持形態の識別手法を用いて、8種類の動作について上記の記述方式でデータを取得した。</p> <p>動作教示・生成ツールに上記データを読み込む機能を追加してデータ収集と動作計画を統合し、ヒト動作を変換して実行可能であることを3種類の部品から構成される製品の組み立てについて、シミュレーションで検証した。</p>	90%達成
最終目標		研究開発成果	達成度
<p>新たな作業に対して、ロボットが経験や知識を利用して自動的に動作を生成することのできるティーチングレスシステムの構築する。</p>	<p>作業情報を再利用できる形で蓄積したデータベースや把持データベースの構築を行う。</p> <p>データベース情報を利用して動作生成を行う動作計画モジュール、実環境、実ロボットで適切に動作を実行できる機械学習モジュールの開発を行う。</p> <p>人の動作を計測し、クラスタリング等のデータ解析により、物が持つ機能と形状の関係に動作を紐づけ一段抽象化して作業・動作のモデル化を行う。</p> <p>類似度の設定によるモデル間の関連付けや、動作モデルの実作業・実環境・実ロボットへの適用技術の開発により、ロボット動作の自動生成を実現する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 作業動作に関するデータベース情報に基づいて3種類の動作を生成した。 3次元計測センサと熱痕跡画像を用いて、指のリンクごとの接触領域分布を求めた。 	H29/8 現在、20%を達成。

研究開発の成果

ロボットによる組み立て作業を行うための物体操作計画や作業計画を行うと同時に、その計画問題で必要とするデータベースの構築を行う。作業情報や把持のデータベースを構築し、これに基づいた動作計画モジュールや機械学習モジュールの開発する。



【A-1-1-23】「不定形物操作システムの研究開発」		
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人信州大学、国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学)		
先導研究目標	研究開発成果	達成度
<p>不定形物操作に必要な知能システムのプロトタイプを実装する。片付け・整理整頓・梱包などの作業への応用可能性を示す。</p>	<p>5種類程度の不定形物操作タスクを設定し、不定形物操作において重要と考えられる下記技術を組み込んだ知能システムの実現例を示す。</p> <p>(1) 不定形物の操作に必要な情報をセンサデータから抽出する手法。 (2) 初期形状と目標形状から操作手順を出力する計画器。 (3) 不定形物の形状予測モデルの学習手法。 (4) 不定形物操作において、環境変化にロバストな動作プリミティブの抽出手法。</p> <p>5種類の不定形物操作タスクを設定し、解決手法の提案と検証をおこなった。 (A) 無造作に置かれた矩形布製品から、展開操作に必要な複数の把持点を選出可能にした。 (B) 布の柔軟性を伸縮性の両方を考慮した状態認識手法を提案し、Tシャツをハンガーにかける作業によって実現例を示した。 (C) 矩形布生地折り畳み作業において、複数回の操作を自動で計画できる新しい手法を提案し、シミュレーションによって効果を検証した。 (D) 紐の柔軟性を伸縮性の両方を考慮した状態認識手法を提案し、輪ゴムを対象物に嵌め入れる作業によって実現例を示した。 (E) シート状の大きな不定形物を、人間と協調して操作する手法を提案し、大型物体をカバーする行為をタスクとして、実現例を示した。</p> <p>なお、左欄に示した(1)～(4)と上記5項目との対応は以下のようなものである。(A)は(1)の要素を含み、(B)は(1)と(3)、(C)は(2)、(D)は(3)と(4)、(E)は(4)の要素を含む。これらの成果から、不定形物操作における知能システムの構築例を示すことができ、当初の研究目標を概ね達成することができた。</p>	95%程度達成
最終目標	研究開発成果	達成度
<p>不定形物操作の自動獲得能力、不定形物の操作性の向上</p>	<p>・不定形物の①状態認識、②作業計画、③操作方法獲得の手法確立。 ・②を軸として、①と③を有機的に連携 ・洗濯物を畳むなどの複雑な操作を実現</p> <p>先導研究で設定した5種類のタスクの高度化・自動化を進めつつ、Tシャツの折り畳みタスクを実現した。強化学習を用いた折り動作の自動獲得や、上記(C)の出力を実機で実現するための手法改良をおこなった。</p>	H29/8 現在、60%を達成。

研究開発の成果

紐、紙、布などの不定形物は、そのふるまいを計算機上で生成・予測することが難しい。このことは、不定形物操作の自動化が進んでいない要因になっている。本研究開発では、人からの効率的な作業教示や、ロボット自身による探索的操作行動を通して、不定形物の操作を実現可能にした。研究成果のポイントは、不定形物操作に適したセンサ情報処理、運動学習、作業計画を提案し、それらを適切に連携させるところにある。

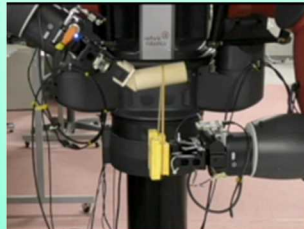
＜研究開発の概要＞ 4つの研究課題

- (1) **知識表現**: 認識特徴, 計算機上での不定形物の記述法
- (2) **運動状態予測**: 操作に伴う不定形物の変形予測
- (3) **動作系列生成**: 所望の操作を実現するためのロボットの動作
- (4) **作業計画**: 複数回にわたる変形操作を自動で計画

不定形物操作の実現例



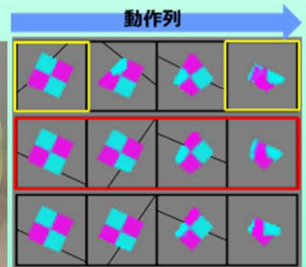
挿入操作(重畳関係記述)



輪ゴム操作(状態予測)



展開操作(動作選択)



折り畳み作業計画

【A-1-1-24】「人間行動モデリングタスク」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
<p>サービス現場における観測・データ収集については、2箇所以上の実際のサービス現場において動作を検証する。また屋外・公共空間、屋内環境においては合計で2箇所以上の実環境における動作を検証する。ID-POSデータや共通ポイントカードなどのビッグデータと一部の生活者から得られているアンケートやテキストデータなどを統合することにより、消費者心理・行動を予測する標準タスクを設定し、プライバシーにも配慮して多機関で共通に使用することが可能な標準データセットやサンプルモジュールを提供する。また、屋内の生活行動に関してプライバシーにも配慮した安全・安心なデータ収集方法、サンプルデータ、可視化やクラスタリング、スコアリングなどに関するサンプルプログラムを提供する。これによりAI技術の応用として既に実サービスにおける期待の大きい情報推薦やナビゲーションアプリへの応用を想定した人工知能研究開発の加速や、多くの企業が今後注目が高まる屋内のプライベート空間における行動ログ(ライフログ)の活用分野の研究開発を効果的に支援することが可能になる。これらを提供し、提供先機関からのフィードバックを受けることで最終目標が十分に達成可能であることを示す。</p>	<p>介護施設やショッピングエリア、集会場などの日常生活が観測できるサービス現場において、人間行動の観測とデータ収集を可能にする行動観測モジュールを開発し、サービス現場においては2箇所以上、屋内・公共空間においては2箇所以上の実際のサービス現場で長期間運用することで、開発した技術が現場で有効に機能することと、動作検証、ユーザビリティ評価を行う。また人間行動モデリングモジュールについては、消費者行動予測などのタスクを設定し、多機関での連携、プライバシーの保護、AI技術応用システムの社会実装の加速や水平展開を容易にする。</p>	<p>サービス現場における行動観測、データ収集を行う技術モジュールを開発し、千葉で定期的に行われている地域の健康イベントや、お台場で毎年行われている大規模科学イベントでデータ収集を行い、データ分析モジュールによって行動予測が可能であることを確認した。また、石川、昭島などの2箇所以上の介護施設において日常的な生活行動観測と、介護サービス支援への応用を検証した。ID-POSデータや共通ポイントカードなどのビッグデータとアンケートを統合した消費者行動を予測する技術を開発、複数企業への技術移転を行うことで、実サービスでの運用、社会実装を行った。行政が収集した大規模高齢者アンケート調査データ(JAGES)を用いて、プライバシーを保護するためのマイクロアグリゲーションを行っても、十分な行動予測が可能であることを明らかにした(人工知能学会での受賞2件)。</p> <p>マイクロアグリゲーションを行い、プライバシーを保護したデータはJAGES研究会において多機関で共有可能となった。分析モジュールは産総研人工知能技術コンソーシアム内におけるサンプルモジュールとして東京本部、関西支部、九州支部において提供可能となった。産総研人工知能技術コンソーシアムを通じて開発したモジュールの応用(ユースケース)の拡張を進め、技術移転先企業での生活における食品の情報推薦やサービスのナビゲーションアプリなどの社会実装を加速した。これにより、技術移転先企業によるビッグデータ収集が進みつつあり、さらにそれらを統合、共有したデータプラットフォームの基盤整備、AI技術応用の生産性向上に取り組んだ。以上の成果によって、最終目標が十分達成可能であることを確認した。</p>	<p>達成</p>
最終目標	研究開発成果	達成度	
<p>生活現象のモデル化により生活現象をシミュレーション可能にし、サービス・地域活動支援、介護、健康増進などでの効果評価・改良を行う。また、生活現象フレームの一般化とコンテストの企画・実施によりユースケースの拡大、成果の水平展開を行う。</p>	<p>生活・サービス分野における次世代人工知能技術開発を進めるフレームを構築し、人工知能応用システム開発の生産性向上をはかる。</p>	<p>人間行動をモデル化するモジュールをパッケージ化し、多数の企業への技術移転と社会実装を進めた。行動観測モジュール、知識構造化モジュールについては複数の介護施設などでの運用と動作検証を進め、今後行動モデリングモジュールとも連携して、生活現象フレームとして構築することを目指す。</p>	<p>H29/8 現在、50%を達成。</p>
	<p>生活現象フレームの一般化とコンテストの企画・実施、ユースケース拡大</p>	<p>人工知能学会研究会において技術シーズコンテストの企画と準備を進め、産総研人工知能技術コンソーシアムにおいて、ユースケースコンテストを企画、準備中。</p>	<p>H29.12に1回目のコンテストを予定</p>

研究開発の成果

AI技術による生産性や安全・安心を向上のため人間行動モデリングモジュールを開発し、実応用場面でのユースケースを探るために、xx件の技術移転を行い、効果評価を行った(受賞2件)。介護現場での知識収集・共有モジュールを3箇所の介護現場および1箇所の教育現場で実運用し介護・運動動作計測モジュールを開発し、体幹力や股関節の動きを可視化するアプリを公開、介護現場で効果評価を行った(受賞2件)。従業員主体で知識構造化モジュールを介護、教育、健康増進現場において構築し、既存のマニュアルの高度化、教育内容の明確化の効果を確認した。また最終年度に向けて、次世代AI技術の効果評価、改良を可能にするフレームとして共有タスクの整理・検討を進めた。

- 人間行動モデリング: PLASMA-N1、MultiCrossDataBinder-N1
- 応用アプリ(自動販売機、デジタルサイネージに適用)



未来館、幕張メッセ、産総研、千葉大など4箇所以上でイベント実施

AI技術埋込み可能な行動計測および行動振り返り支援システムと介護施設、健康増進現場でのデータ収集



現場行動計測支援システム
DANCE(介護施設での2年収集)



健康増進用動き計測システム
AxisVisualizer(受賞2件)

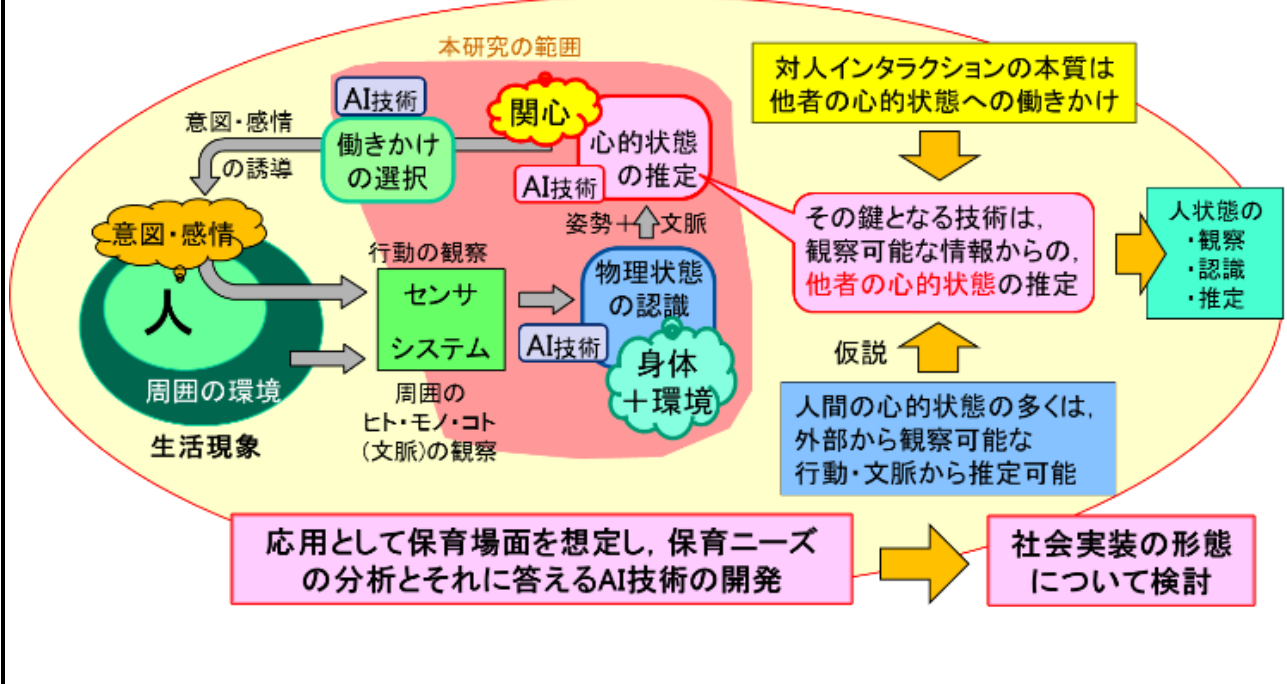


行動振り返り支援システム
DRAW(介護施設で試用)

【A-1-1-25】「対人インタラクションタスク」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人玉川学園 玉川大学)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
<p>個々の完成度は低くても、上記の過程を合わせて1サイクル実施し、「幼稚園で人工知能技術により保育や運営の高度化が図られている」と言える実績を作る。また、幼稚園でのアクティビティ場面で、保育士が必要とする子どもの心的状態の推定を想定タスクとした、アノテーション付のデータ群を構築する。</p>	<p>子どもの行動観察・記録システムの構築</p>	<p>複数の KinectV2 センサから同期したカラー画像と距離画像を取得・記録するシステムを構築した。センサ群の同期は精度の高い計測に不可欠である。</p>	<p>達成</p> <p>進行中</p>
	<p>センサデータからの子どもの物理的行動量の抽出</p>	<p>センサで取得したカラー画像に対して OpenPose を用いて個々人の姿勢のスケルトン情報を得て、そこから三次元再構成を行う。複数の子どもによる相互のオクルージョンが発生するため、センサの組み合わせなどの対応が必要である。</p>	<p>検討中</p>
	<p>子どもの行動特徴から、その心的状態の推定方式の開発</p>	<p>子どもの姿勢の時系列から、その子どもの関心状態を推定する技術であり、その予備的検討として子どものどのような情報を取ることが必要か、検討中。</p>	<p>進行中</p> <p>達成</p>
	<p>子ども観察データの公開に向けての匿名化手法の開発</p>	<p>人工知能の技術により、顔の検出、姿勢スケルトンの検出を行なうことで、個々の子どもの詳細情報を削除しつつ、関心の推定に重要な情報のみをデータ化する。</p>	<p>進行中</p>
	<p>子どもの関心推定の効果の評価のための人手による関心のアノテーション</p>	<p>機械学習にかける子どもの関心のグラントールズとして、観察データに保育士がアノテーションを行った。</p>	<p>達成</p>
	<p>アノテーションで得られた、子どもの関心からの保育情報サービスにむけた情報抽出</p>	<p>人工知能技術により子どもの関心が推定できたと仮定して、その関心から保育の高度化に必要な情報を取り出す方式について検討する。これが社会実装の鍵となるノウハウである。</p>	<p>達成</p>
最終目標	研究開発成果	達成度	
<p>・相手の心的状態の自動推定にもとづく「ロボット子ども」インタラクションの実現</p> <p>・心的状態推定技術の保育所サービスへの社会実装の試行</p>	<p>集団の場、個人の場の時間的変化までも含めたアノテーションを行った行動データを蓄積し、今後開発されるであろう新規の機械学習アルゴリズムでの評価を可能とする。</p> <p>観察・動作分析・推定をリアルタイムで行うことで、対人インタラクションの現場での適切な行動生成が可能となる。</p> <p>ロボットに、リアルタイムでの心的状態推定の機能を付加することで、相手の状態に合わせたインタラクションが可能になる。</p> <p>本研究の一つのポイントは、多くの保育所で半自動アノテーションツールを運用していただくことで、正解ラベルの付いたデータが集まるようになることである。これにより、より多様な場面で有効な心的状態の推定が可能となろう。</p> <p>本研究で目指す人の心的状態の推定は、保育所だけでなく、小学校の低学年にも有用であろう。その場合、ユーザーは各学年で焼く 100 万人であり、本技術の応用範囲は極めて広い。</p>	<p>H29/8 現在、40%を達成。</p> <p>H29/8 現在、観察・分析のアルゴリズムの開発段階で、全体の 30%を達成。</p> <p>H29/8 現在、ロボット子どもインタラクション場面のデータ収集で、15%達成。</p> <p>H29/8 現在、アノテーションツールのプロトタイプ構築と評価で、40%を達成。</p> <p>H29/8 現在、未着手。</p>	

研究開発の成果

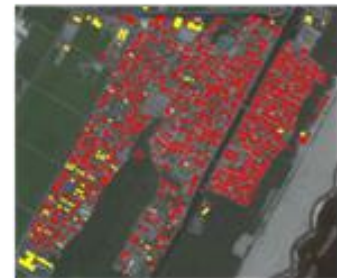
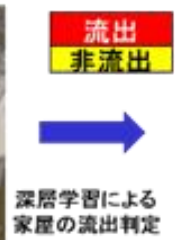
対人インタラクションのキーテクノロジーは、他者の心的状態に応じた働きかけによる、他者の関心の誘導である。その技術的な鍵は、他者の心的状態の行動からの推定である。本研究ではその対象として保育所での子どもの行動からの関心の推定を目指す。そのため本研究は、(1)子ども活動の観察システムの構築、(2)子どもの集団及び個人の関心のアノテーション、(3)画像から子どもの行動特徴抽出技術の開発、を行った。また、推定された子どもの関心から、社会実装場面での保育の質向上につながる情報サービス方式を検討した。



【A-1-1-26】「地理空間情報画像解析」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
<p>データベース化する画像の整備範囲を拡充し、解析対象とする地域、時間範囲を拡大する。自動検知された変化領域を含む画像、および変化の内容を記述する教師データのうち、データポリシー上問題ないものを、標準ベンチマークデータとして整備・公開する。先進中核モジュールの「認識・モデル化・予測モジュール」を利用することで、自動変化判別システムを人工知能フレームワーク上で実装する。深層学習を用いたモジュールと、HLAC などの人手で設計した特徴量を用いるモジュールを比較し、判別精度・計算速度・教師情報の必要量といった、実利用において必須となる特性を明らかにする。</p>	<p>データベース化する画像の整備範囲を拡充し、解析対象とする地域、時間範囲を拡大する。</p> <p>変化の内容を記述する教師データのうち、データポリシー上問題ないものを、標準ベンチマークデータとして整備・公開する。</p> <p>先進中核モジュールの「認識・モデル化・予測モジュール」を利用することで、自動変化判別システムを人工知能フレームワーク上で実装する。</p> <p>深層学習を用いたモジュールと、HLAC などの人手で設計した特徴量を用いるモジュールを比較し、判別精度・計算速度・教師情報の必要量といった、実利用において必須となる特性を明らかにする。</p>	<p>米国の中分解能衛星 Landsat に加えて、日本の ASTER についても自由にデータを検索・取得できるシステム (http://landbrowser.geogrid.org/landbrowser/index.html) を構築・公開した</p> <p>東日本大震災の津波で流出した建造物の、地震前後の画像データを ABCD (AIST Building Change Database : https://github.com/faiton713/ABCDdataset) として公開した。</p> <p>先進中核モジュールに組み込まれる予定の三次元物体認識ツール RotationNet (https://github.com/kanezaki/rotationnet) を用いた屋内の物体認識・変化検知システムを構築中。</p> <p>初年度に深層学習で利用した地物教師データセットに対して、HLAC を用いた衛星画像上の地物認識を行った結果を国際誌に投稿した (https://arxiv.org/abs/1707.09099)。</p>	<p>達成</p> <p>達成</p> <p>50%を達成し、現在進行中</p> <p>80%を達成し、現在進行中</p>
最終目標	研究開発成果	達成度	
<p>様々な時間・空間スケールで収集したお台場の画像・点群データを統一的な座標系・フォーマットで公開する。こうしたシームレスな地理空間情報に意味付けを行う人工知能フレームワークを構築する</p>	<p>お台場周辺の三次元データを時系列として収集・整備した上で公開する</p> <p>点群・画像データおよびその変化を自動抽出・解釈する人工知能フレームワークの構築</p>	<p>お台場付近の航空機データ・MMS データ・産総研臨海センターの室内データを整備し、マルチスケールデータの統合にあたっての問題点を調査した</p> <p>屋外の衛星画像や航空写真を利用した自動変化抽出・地物認識のコアモジュールを作成した。</p>	<p>H29/8 現在、30%を達成。</p> <p>H29/8 現在、40%を達成。</p>

研究開発の成果

比較的少数の教師データを入力するだけで、膨大な衛星画像／航空写真アーカイブから自動的にユーザーが関心を持つ地物・変化を抽出する機械学習システムを構築した。具体事例として、熱源の火災・火山・人工物への自動分類システムを2017年9月に公開予定。この構築過程で、100TB以上の中分解能衛星画像および津波流出家屋検出を目的とした画像データセット (AIST Building Change Dataset=ABCD) を整備し、論文とともに一般向けに公開した。



【A-1-1-27】「セマンティック情報に基づく自動運転システムにおける人工知能技術の性能評価・保証に関する研究」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
<p>セマンティック情報獲得の環境や歩行者認識手法への適用については、車載センサを対象とした人工知能技術評価用の基本データセットを作成する。ここでは、LIDARやカメラをはじめとする外界センサとIMUやCAN情報といった内界センサに位置・時刻を加えたデータとして、延べ30時間以上の時刻同期のとれた走行車両のセンサデータセットの作成を目標とする。人工知能技術評価のベースラインとして、走行中の車両から歩行者・自動車等の移動体を検出・識別・追跡する機能モジュールのプロトタイプを開発し、上記データセットで評価する。歩行者の飛び出し等の潜在リスクを抽出するための情報として、収集した動的データを3次元地図上の移動体分布や流れ情報に変換する機能を開発し、上記データセットで評価する。</p> <p>セマンティック情報利用による自動運転の制御方法への適用については、機械学習による個人適合型自動運転システムのプロトタイプを構築するとともに、個人適合型自動運転システムの性能評価、性能保証を行うための方法として、官能評価およびオーバーライドの時間や回数を用いることの妥当性を明らかにする。環境などを変化させた複数パターンにおける想定シナリオ条件下において評価用データを収集し、データセットを構築するとともに、上記の自動運転システムを利用し、個人適合の学習を一定時間行った後に、性能評価を行い、以下を達成する。(1)官能評価であるアンケート調査による違和感の減少の回答が2/3以上</p> <p>個人適合型自動運転システムの性能評価、性能保証を行うための方法として、官能評価およびオーバーライドの時間や回数を用いることの妥当性を明らかにする。環境などを変化させた複数パターンにおける想定シナリオ条件下において評価用データを収集し、データセットを構築するとともに、上記の自動運転システムを利用し、個人適合の学習を一定時間行った後に、性能評価を行い、以下を達成する。(1)官能評価であるアンケート調査による違和感の減少の回答が2/3以上、(2)行動指標評価である加減速・操舵のオーバーライドの時間・回数が半分以下。</p>	時刻同期の取れた走行車両のセンサデータセットの作成	ミニバンに、LIDAR、IMU、GNSSセンサを搭載し、またCANデータから得られるステアリング、アクセル、ブレーキなどの操作情報をセンサデータとともに記録する実験用車両を構築し、二都市で述べ100km以上の走行データを収集した。	達成
	走行車両から歩行者・自動車等の移動体を検出・識別・追跡する機能モジュールのプロトタイプを開発	事前に生成した3次元形状地図に対し、搭載したLIDARセンサによる、走行中のリアルタイム自己位置姿勢推定機能、および移動体検出機能の各モジュールを実装して3次元地図上で移動体情報を収集する機能を実現した(受賞1件)	達成
	機械学習による個人適合型自動運転システムのプロトタイプを構築	一般の車両を改造し、個人適合型の自動運転システムのプロトタイプシステムを構築、被験者実験の実施が可能となった。	達成
	環境などを変化させた複数パターンにおける想定シナリオ条件下において評価用データを収集し、データセットを構築するとともに、上記の自動運転システムを利用し、個人適合の学習を一定時間行った後に、性能評価を行い、以下を達成する。(1)官能評価であるアンケート調査による違和感の減少の回答が2/3以上	実際の個人適合実験後のアンケート結果により、約70%の被験者が、自身の運転に適合した自動運転操作を好む傾向がある	達成
個人適合型自動運転システムの性能評価、性能保証を行うための方法として、官能評価およびオーバーライドの時間や回数を用いることの妥当性を明らかにする。環境などを変化させた複数パターンにおける想定シナリオ条件下において評価用データを収集し、データセットを構築するとともに、上記の自動運転システムを利用し、個人適合の学習を一定時間行った後に、性能評価を行い、以下を達成する。(1)官能評価であるアンケート調査による違和感の減少の回答が2/3以上、(2)行動指標評価である加減速・操舵のオーバーライドの時間・回数が半分以下。	30名の実験により、実際のオーバーライド量により、個人適合制御が最も有効であることが得られた。	達成	
最終目標	研究開発成果	達成度	
<p>電動車いすや自動車など屋内外を自律走行する車輪型ロボットを対象として、動作計画に必要な移動体の振る舞いをモデル化する。移動体の中でも特に歩行者に着目し、走行中の車両による周囲の歩行者検出・追跡機能の先鋭化、観測データに基づく歩行者振る舞いモデルの3次元地図上への</p>	移動しながら周囲の歩行者等を観測する移動体検出・追跡技術の先鋭化	H29/8 現在、30%を達成。	
	移動体観測データを収集し、移動体の行動モデルを3次元地図上の知識表現		

知識表現、知識表現付き3次元地図の利用にそれぞれ取り組む。

知識表現付き3次元地図を利用したロボットの動作計画や環境の変化検出

研究開発の成果

個人適合制御

個人適合制御に向けた自動運転プロトタイプシステムの構築

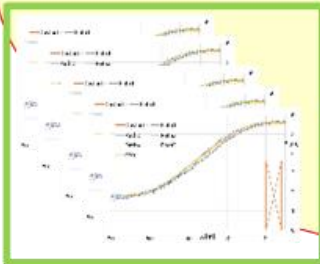
30名の被験者実験により、個人適合制御が最も違和感ない自動運転システムとしての制御であることを確認

自動運転プロトタイプシステムの構築



被験者実験による活用

走行データの取得



学習によるパターン化

ドライバーA = C80
ドライバーB = A50
ドライバーC = C55
ドライバーD = E75
.....
.....

個人適合制御による被験者実験

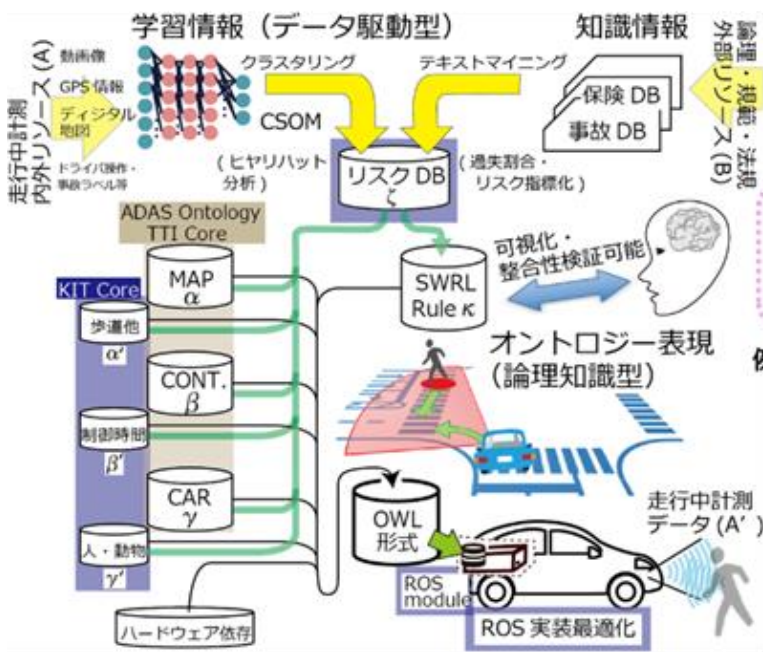
アンケートでは約70%が適合制御が好ましいと回答
オーバーライド量は、適合制御と他の制御において大きく異なり、適合制御のオーバーライド量が少ないことを確認

【A-1-1-28】「データ駆動型人工知能と論理知識型人工知能の融合による解釈可能な自動運転システムに関する研究」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人九州工業大学)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
	(データ駆動型人工知能) ・ヒヤリ・ハットデータベースから、得られたアノテーション（道路状況等の環境条件、歩行者等の移動対象条件）、シーン分析を行う識別器を構成。	自己組織化マップ(SOM)を拡張したGSOM(Conditional SOM)で、セマンティック情報との融合解析が可能なドット表現を提案。画像と離散情報（制限速度、レーン数交通標記等）を混在させたクラスタリングが可能になることを示した。	アノテーション50%、シーン分析100%
(データ駆動型人工知能) ・ヒヤリ・ハットデータベースから、得られたアノテーション（道路状況等の環境条件、歩行者等の移動対象条件）、シーン分析を行う識別器を構成。	・論理知識型人工知能への接合のために、センサ・フュージョンにより、現時点の状況を離散化表現に照合するシステムを構築。	ROS ベースでシミュレーション/実機の両方で統合的に多種センサの組合せを検証できるシステムを構築した。	達成（100%）
・理論知識型人工知能への接合のために、センサフュージョンにより、現時点の状況を離散化表現に照合するシステムを構築。 ・シーンを分析するドライバ視点カメラ（ステレオカメラ等）、対向車・並走車・歩行者等の移動速度を計測可能な測域センサの多種センシング情報を、高速処理可能なハードウェア実装方法を検証（<100ms オーダー）。	・シーンを分析するドライバ視点カメラ（ステレオカメラ等）、対向車・並走車・歩行者等の移動速度を計測可能な測域センサの多種センシング情報を、高速処理可能なハードウェア実装方法を検証する（<100ms オーダー）。	ROS ベースで高速処理可能なハードウェア実装方法を検証し、GPU 処理で高速化を図れる部分と、FPGA 化等ハードウェア化が必要なソフトウェアモジュールの選定分離を達成。オンロジックシステム実装と実機における処理速度の分析を行った。	達成（100%）
・北九州市で公道検証を予定する道路区間におけるオンロジック記述を完成させ、運転中の判断を与える拘束条件をレイヤーとする論理知識型人工知能におけるルール群を、オンロジック情報表現と連携させる。	・北九州市で公道検証を予定する道路区間におけるオンロジック記述を完成させ、運転中の判断を与える拘束条件をレイヤあるルール群を、オンロジック情報表現と連携。	北九州市学研都市内の左回り閉軌道における道路区間におけるオンロジック記述を行い、左折の場合における運転中の判断を与える論理知識型判断を実現した。	達成（100%）
・論理知識型人工知能におけるルール群の動作性能は、1) 交通シミュレーションによる質の検証と、2) 実車での運用によるシステム実現性の評価。	・論理知識型人工知能におけるルール群の動作性能は、1) 交通シミュレーションによる質の検証と、2) 実車での運用によるシステム実現性の評価。	交通シミュレーションはPTV VISSIMを導入し、公道実証フィールドである北九州市学研都市内の交通網を再現し、シミュレーション基盤を整備した。	ルール検証のためのシミュレーションは十分に行えてない(10%)
・公道実証は、数 km 程度の小周回コース（ i）他車と干渉のない左回りステージ、ii）信号現示でタイミング制御を行うステージの2つ）と周回コースを拡大し、他車との関係を危険予測する精度と処理速度（少なくとも自動操舵ではなく、人が運転補助し感知のみを検証する Passive ステージを実施）を検証。	・公道実証は、小周回コース（ i）他車と干渉のない左回りステージ、ii）信号現示でタイミング制御を行うステージの2つ）と周回コースを拡大し、他車との関係を危険予測する精度と処理速度（少なくとも自動操舵ではなく、人が運転補助し感知のみを検証する Passive ステージを実施）を検証。	公道実証は、小周回コースにおいて i）他車と干渉のない左回りステージでかつ ii）信号現示でタイミング制御を行うステージを融合し、交差点における歩行者と関係から危険予測する判断を実証した。	Passive ステージとして達成（80%）
・構築された危険予測システムの情報表現と、判断行為が熟練ドライバのリスク判断と整合性があるかどうか検証。運転シーンの深刻度（リスク程度）やドライバ技能によって異なる状況認知の指標の基礎設計し、ドライバの生体情報分析の結果で妥当性を分析。	・危険予測システムの情報表現と、判断が熟練ドライバのリスク判断と整合性があるか検証。運転シーンの深刻度（リスク程度）やドライバ技能によって異なる状況認知の指標の設計し、ドライバの生体情報分析の結果で妥当性を分析。	生体情報分析（脳波）を用いたドライバ状態、集中度を指標化することが可能となった。運転シーンの深刻度（リスク程度）や、ドライバ技能によって異なる状況認知の指標かについては、今後の課題。	生体情報からドライバ状態を可視化する基礎計測系は構築（50%）

最終目標	研究開発成果	達成度	
シーン分析器から画像情報+意味情報のフュージョン分析器の設計/センサ・フュージョンによる現況の離散化表現/システム共通基盤化 (ROS 化)・処理高速化/データ駆動型との連動による、判断ルールの自動生成、ドライバ判断との整合性分析基盤構築。国内外の事故・保険情報から RDF (OWL) 化のワークフローを構築/公道実証におけるシステム検証 (北九州市内 5km 圏内→10-20km 範囲→50-100km 範囲で使用に耐え得る仕様設計)/共有タスク-モジュール: 3D+意味情報+時間軸変化のデータベース構築への貢献	①データ駆動型 AI 1-1:アノテーション・ヒヤリ・ハット分析識別器画像情報+意味情報のフュージョン分析器の自動運転実車応用を進める。(交差点形状識別+標識等環境情報+セマンティック情報を組み込み)	CSOM(Conditional SOM)を発展させ、セマンティック情報との融合解析を検討。 H29/8 現在、20%を達成。	
	1-2:センサ・フュージョンによる現況の離散化表現ミリ波-カメラ融合技術 vs 全方位レーザレンジファインダーの定量的比較を実現 (オントロジー化から得られたセマンティック情報を用いることも検討)	深層学習を用いてミリ波レーダーでセンシングしたデータから、移動物体 (歩行者・自転車等) と固定物・反射ノイズの分離法を検証中。	H29/8 現在、10%を達成。
	1-3: システム共通基盤化 (ROS 化)・高速化ハードウェア共通基盤化・一般化促進 (ROS 機能 Unit 開発)において、GPU/FPGA 回路最適配分によって処理速度向上 (データ駆動型・論理知識型各機能 ROS ユニートを 100ms 以下の処理に抑えることを目指す)	ROS 上で計算処理負荷がかかっているモジュールを特定し、計算処理の効率化を検討。自動運転に限らずより一般性が得られる設計論において、処理速度向上可能な最適化法を解析中。	H29/8 現在、20%を達成。

研究開発の成果

自動運転から今後の「安全・安心」分野における次世代AIの基盤となる融合AI技術(データ駆動型AI×論理知識型AI(オントロジー等))の開発を進め、状況分析を「場所α」、「行為β」、「対他γ」情報に分離し、それらの関係性から「判断κ」を推論するシステムを構築し、推論の妥当性については、リスク(と)算出を、データと論理から導出する方法論を設計した。それらは、実車に実装し検証可能なソフトウェア基盤で実証。



の妥当性については、リスク(と)算出を、データと論理から導出する方法論を設計した。それらは、実車に実装し検証可能なソフトウェア基盤で実証。

(判断 κ, リスク と)

$$= F(\text{場所 } \alpha, \text{ 行為 } \beta, \text{ 対他 } \gamma, \text{ 過去のデータ(データA, 知識B)})$$

例: 交差点で左折の際人がいたら、一時停止

状況	歩行者	車
	赤で横断開始	青で進入
過失割合	50%	50%
夜間	5%	-5%
幹線道路	5%	-5%
直前直後横断・佇立・後退	5%	-5%
住宅街・商店街等	-10%	10%
児童・高齢者	-10%	10%
幼児・身体障害者等	-20%	20%
集団横断	-10%	10%
車の無い過失	-10%	10%
車の盲点	-20%	20%
歩車道区別なし	-10%	10%

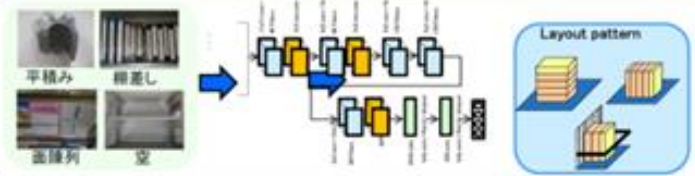
【A-1-1-29】「産業用ロボットタスク」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
<p>複数センサを搭載した実ロボットシステムにおいて5種類以上の産業用ワークに対する物体操作性能の向上を実現する。ピッキングの成功率90%を実現する。</p> <p>複数センサを搭載した実ロボットシステムにおいて5種類以上の産業用ワークに対する物体操作性能の向上を実現する。ピッキングの成功率90%を実現する。</p>	<p>物体操作に関するオフラインシミュレータ環境を構築する。また、複数センサを搭載した実ロボットシステムを構築する。</p> <p>5種類以上の産業用ワークに対するバラ積み状態の再現を実現する。</p> <p>オフラインシミュレータ環境に機械学習処理を統合する。また、ピンピッキングにおいてピッキングの成功や失敗のデータを蓄積することで、ピッキングの成功率が徐々に向上していくようなシステムを構築する。</p> <p>複数センサを搭載した実ロボットシステムにおいて5種類以上の産業用ワークに対する物体操作性能の向上を実現する。ピッキングの成功率90%を実現する。</p>	<p>機械学習を用いたバラ積みピッキングシステムのプロトタイプを構築することを目標として、PhysX をベースとする物理シミュレータモジュールおよびCNN(Convolutional Neural Network)に基づく機械学習モジュールを構築した。</p> <p>構築した物理シミュレータモジュールにより7種類の産業用ワークに対してバラ積み状態を実現した。</p> <p>深層学習を用いた機械学習モジュールにより、ピッキングのためのハンドの開き幅とアプローチ位置の計画を行った。</p> <p>アプローチ位置の学習においては、ピッキングの成功率を出力することにし、この出力に基づいて90%の成功率を実現した。また、アプローチ位置の学習については、深度センサ情報に基づいた実際のロボットによる実験を行った。</p> <p>深層学習を用いた機械学習モジュールにより、対象物の置かれている配置パターン（平積みと棚差し）の識別が可能になることを確認した。</p> <p>5種類のワーク（産業用3種類、日曜生活品2種類）に対して手法の有効性の検証を行った。</p>	90%
最終目標	研究開発成果	達成度	
<p>多品種物体の操作を容易に教示できるロボットシステム実現に向けた物体操作技術を開発する。</p> <p>物理シミュレータにより学習しても、実機による学習と同等なピッキングの成功率が実現できることを確認する。また、配置パターンの識別率80%を実現する。探り動作を用いることで、用いない場合と比較してピッキングの成功率が5%上がることを示す。また、3種類の配置パターンからのピッキングを実験により確認する。</p> <p>5種類の対象物に対してピッキングの成功率90%を実現する。</p>	<p>探り動作を用いることで、用いない場合と比較してピッキングの成功率が5%上がることを確認した。</p>	H29/8 現在、30%を達成。	

研究開発の成果

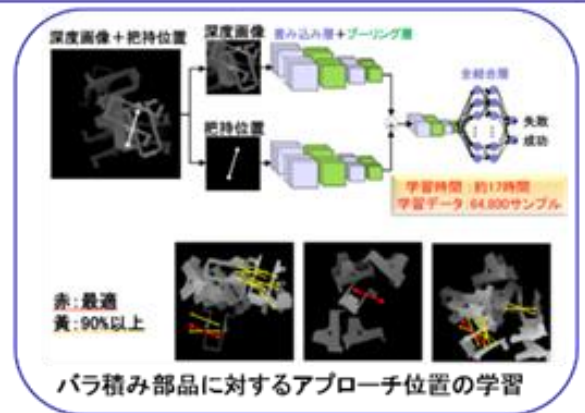
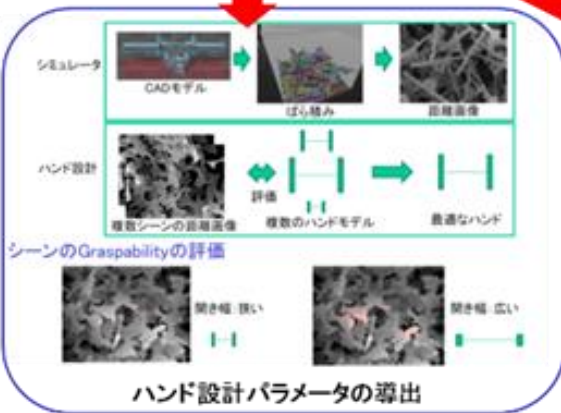
多品種物体の操作を容易に教示できるロボットシステム実現に向けた物体操作技術を開発することを目的とし、物体の配置状態を再現するための高度オフラインシミュレータと複数センサのマルチモーダルな情報を活用する機械学習フレームワークを構築する。これにより、システム構築時・実運用時の両方において、センス・プラン・アクションの自律的な性能向上を実現する。



物体の配置状態を再現する物理シミュレータ



配置パターンの学習



バラ積み部品に対するアプローチ位置の学習

【A-1-1-30】「動作の模倣学習手法の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
	(1) ロボットハンドのデザイン：特に接触を伴う繰り返しの動作データ収集に耐えるハンドについて、既存のハンド機構も含めて検討する。具体的には、卓上のタオルなどの柔軟物体の折りたたみや、重なった食器のハンドリングなど、従来の制御法では困難なタスクを対象とする。	繰り返し実験を可能とするハンドについて、複数のモデルを3Dプリンタを利用して開発した。具体的には、手首部にバネ機構を導入することで、対象物体や机との接触を吸収、また学習時においても、該当部分のみが破損する仕組みとし、部品の交換を容易にすることに成功した。タスクとして、卓上物体のピックアップと片付け、タオルと服の折りたたみを設定し、いずれも学習が可能であることを示した。	目標に対してはほぼ達成している。しかし信頼性などを考慮すれば、市販品のハンドを拡張することが望ましいと考えられる。
ロボットのセットアップを完成させたのち、まずはWoz法（人間による遠隔操作）による10種類程度の物体操作・組立作業の動作のデータ収集を行う。Woz法を行うにあたっての遠隔操作システム、また多様な物体操作を実現するハンドの設計、実装を行う。その後の動作実験により性能評価を行う。同時に模倣モデルの基礎実験をシミュレーション環境で構築し、ロボットシステムへの実装を行う。	(2) Wozシステムの構築：3DマウスやHMDなどの各種デバイスをRTMにより統合し、人間が遠隔操作で、ロボットを操作可能なシステムを構築する。この際、作業速度や軌道の滑らかさなどは、後の学習プロセスで修正可能である。よってロボットが獲得できるセンサから確実に設定したタスクが実行できるようハードウェアの調整を行う。	3DマウスとHMDを、RTM及びROSという標準OSにより統合し、ロボットのための教示データを作成するシステムを構築した。本システムを具体的に利用することで、上記の複数動作の学習データを取得している。さらに、極めて小型、安価で汎用的なモーションキャプチャシステムである、“Perception Neuron”を導入することで、人間の上半身の動作からの直接教示を可能とするシステムの構築も行った。皿拭きなどのタスクで学習データを取得可能であることを確認している。	システム開発という点ではほぼ完成している。今後はさらに利用を繰り返すことで、使用感の改良を行う。また接触センサやトルクセンサに対応させ、より高度な作業を可能とすることを目指す。
	(3) 深層学習モデルの拡張：これまでに提案している未加工映像からの動作生成システムを、RNNモデルと統合することで、4種類程度の動作および、5箇所程度の異方向視野からの動作模倣を行うことが可能なモデルを構築する。	提案しているEnd to Endによる画像からの動作生成モデルに、MTRNN (Multiple Time Scale Recurrent Neural Network)を統合することによって、よりスムーズかつ、高速な折りたたみ動作の生成を実現、Cebit2017において展示した。またこのシステムにより、複数の動作プリミティブの単一RNNによる学習が可能となった。この機能を利用することで、複数手順からなる物体の片付けや服の折りたたみを実現した。他者視点学習については、Seq2Seq学習による視点変換モデルを提案している。	RNNとの統合という意味では、最初のプロトタイプとしては十分な成果を上げている。今後は対象とする動作をさらに増やす。またRNNの利用については、さらに新しいアイデアを試す予定。
最終目標	研究開発成果	達成度	
平成30年度までの成果を受けて、単純な料理動作をプリミティブとして、これらの一連の作業組み合わせを要求する料理タスクに取り組む。また人間との協調による料理タスクにも取り組む。またRecurrent Neural Netによる動作手順生成と高次の作業計画モデルとの統合を実現する。	(1) 料理タスクの選定 タスクの難易度に合わせて、複数の料理タスクを選定、学習を行う。	現在のところは、調理器具の把持、混ぜる、切る、などの動作を選定し、学習に取り組んでいる。特にこれらの動作を可能とするための「汎用型ロボット」及び「多指ハンド」の選定を中心に行っている。	H29/8 現在、10%を達成。
	(2) 高次動作計画 与えられたタスクを、抽象度の高い複数の動作プリミティブ表現として自動的に表現し、その遷移、組合せを制御する、高次ネットワークを学習させる。	昨年度までに、RNNによる複数プリミティブの学習による自動組み合わせのフレームワークの提案を行いその可能性は評価している。今後プリミティブを自己組織化する方法、またその遷移プロセスの学習などに取り組む。	H29/8 現在、20%を達成。
	(3) 人間との協調 人間動作の観察による動作学習、及び人間状態の推測を利用した協調を実現する。	昨年度までに小型ロボットを利用した他者の模倣モデルのプロトタイプを開発している。また動作プリミティブの組み合わせにより、作業中の人間の介入への適応能力も確認している。今後は大型ロボットへの導入を検討する。	H29/8 現在、20%を達成。

研究開発の成果

人間と協働するロボットの動作教示には以下の問題がある。(1)動作軌道の教示のみでは環境変化へ対応が困難, (2)動作教示に多くの時間が必要. 本課題では, (1)深層学習モデルにより, 動作と映像などをEnd-to-End学習し, 環境適応能力の高い動作モデルを構築する. (2)遠隔操作システムおよび転移学習を用い, 人間の操作情報から学習を行うシステムを構築した. 結果として, 未学習物体のピックアップ、柔軟物の折り畳みなど、従来教示困難であった動作を実現することに成功した.

【キーワード】深層学習、模倣学習、日常タスク支援ロボット

＜研究開発の概要＞

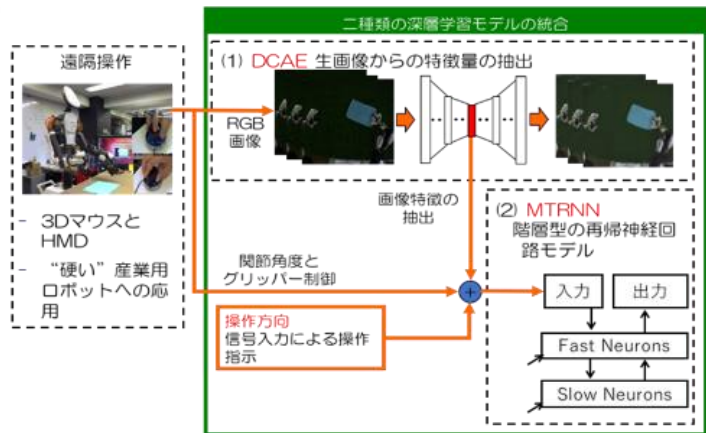
深層学習の複合モデルとEnd to End学習による柔軟物のハンドリング



人間による教示システム



Cebit 2017での
デモンストレーション



【A-1-1-31】「酵素反応データベースに向けた文献キュレーション支援技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
先導研究目標	研究開発成果	達成度
Argo を基盤として、主に 1 次キーワードと触媒反応ネットワーク構成成分（活性部位、化合物、官能基）のキーワードを用意し、求核置換反応を担う加水分解酵素、転移酵素などの文献キュレーションを補助できるテキストマイニングシステムを構築する。構築したシステムの試験をキュレーターにより実施し、システム試験の結果をフィードバックさせて、更にシステムのチューニングを行い、精度の高いシステムの構築を目指す。	酵素反応の中でも特に加水分解反応、転移反応に関わるキーワード、蛋白質の活性部位となるアミノ酸残基や関連する化合物などの官能基などをエンティティ等として分類して、キーワードのリストなどを作成した。加水分解反応、転移反応に頻繁に観られる反応現象をイベントとして、文章中でどのような形式で現れるかを解析し、キュレーションの際にどのように関係付け（リレーション）を行うか検討した。反応現象を反応種類レベルで 8 種類（加水分解、転移反応、脱離反応、異性化反応等）、更に細かい反応ステップレベルで 13 種類（求核置換反応、プロトン供与、活性化、安定化等）、を定義した。更に上記のキーワードの定義に基づき、マンチェスター大学、東大、国立情報学研究所で共同開発された文章のキュレーションシステム Brat を用いて、292 件の文献要旨のキュレーションを実施した。構築したキュレーション・データを用いて、Argo システムにより、エンティティ予測、イベント予測、不確実性予測などの予備実験を行った。エンティティ予測に関しては、まだ学習データが不足しているため、50%程度の予測結果であるが、イベントのトリガー（主語、動詞、目的語の関係において、動詞となる用語）予測は、ほぼ予測出来ていた。但し、イベントのトリガーが複数の単語で構成されている場合に、熟語として認識されない等の問題点も見出した。	65% (構築したキュレーション・データで、予備的なテキストマイニングの試験を行うところまで行った。)
最終目標	研究開発成果	達成度
課題 1：テキストマイニングシステムを利用して、収集可能な文献（数千報）全てからパスウェイ情報を抽出する。収集したデータの厳密なキュレーションを行いながらパスウェイ DB を完成する。また、シグナルパスウェイ推定プログラムを完成する。 課題 2：加水分解反応、転移反応以外に、異性化反応、リアーゼ反応、多様な酸化還元反応の文献テキスト・キュレーションを行い、酵素反応全体を網羅できるテキストマイニング用の学習データを構築し、課題 3 で開発されるシステムの教師データとする。また、テキストマイニングシステムによる予測結果について、酵素反応に関する専門知識を踏まえた評価を行う。 課題 3：重複したエンティティ・多項関係の発見により文からのイベント抽出システムを発見し、それを複数文献の情報により拡張する。さらに外部ワークフローシステムや専門家による評価を基に実用化を進める。	①brat システムを設計するためのデータスキーム、キュレーション・ガイドラインの作成中。 ②課題 3 のテキストマイニングシステムの開発に並行して、データを収集する。 ③約 2500 本のパスウェイデータを収集、格納済み 平成 28 年度は、①の加水分解反応、転移反応に関する文献要旨のキュレーションを行った。更に、キュレーションのためのスキーマの再検討を行い、エンティティの関係性の定義や新たなイベントの定義もを行い、①の再キュレーションを行い、より高精度のキュレーション・データを作成した。完成したデータは、課題 3 との連携のために提供した。 ①重複したエンティティの抽出手法の開発 ② 項間関係から多項関係の発見手法の開発 ③文外情報利用手法の開発 ④複数文献からのイベント抽出の実現 ⑤外部ワークフローシステムとの連携 ⑥専門家による評価	H29/8 現在、15%を達成。 H29/8 現在、15%を達成。 H29/8 現在、15%を達成。

研究開発の成果

生命科学分野の中に観られる現象の中で、特に酵素反応を「反応イベント」として捉え、テキストマイニングに必要な定義(エンティティ、イベント、リレーション等)を行った。特に、加水分解反応、転移反応に関する文献要旨を収集し、キュレーション・システムBratを用いて、292件の文献要旨のキュレーションを実施した。構築したキュレーション・データを用いて、マンチェスター大学のテキストマイニング・システムArgoシステムにより、エンティティ予測、イベント予測、不確実性予測などの予備実験を行った。

① 酵素反応キュレーション用基本設定

酵素反応キーワード等の分類

- Entity types
 - Functional groups
 - Amino acids (AAcid)
 - Cofactors (Cofac)
 - compounds other than cofactors
 - Enzymes
- Reaction events
 - Reaction step
 - Reaction type
 - Mechanism type of reaction
 - Others
- Attributes of entities
 - Catalytic roles
 - Reactive parts in molecules
 - Reaction states
 - Characteristics of entities
- Others

反応事象の定義、設定 Relations: Event type, Agent, Themeの定義

Nucleophilic attack (求核攻撃) (Event type)の例



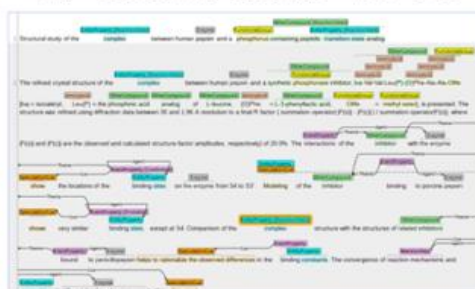
Active-site-Nu acts as a nucleophile to attack on A.
 * Active-site-Nu makes a nucleophilic attack on A.
 # (Nucleophilic) active-site-Nu attacks A.
 #A is attacked by active-site Nu

② EzCatDB中文献の要旨文章のキーワード解析

加水分解酵素、転移酵素のpubmed要旨中に、
 主要なキーワードを3種類以上含む要旨等、292件選抜



③ Pubmed文献要旨文章のキュレーション開始 キュレーションシステム・Bratの設定→キュレーション



反応イベントは紫色で表示

【A-1-1-32】「事故情報テキスト解析・事故予防技術の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>

先導研究目標	研究開発成果	達成度
<p>化学産業分野などの特定の産業分野の事故情報テキストに対して、事故の物体・出来事・出来事間の関係を網羅するオントロジーの第1版を作成する。さらに、異なるデータセットへの文書アノテーション実験を行い、差異の大きい部分について第1版を改良し、改良版のオントロジーを作成する。</p>	<p>オントロジーの生成法には、ルールベースのもの統計ベースのものがあるが、業種に特化した語彙については実態を反映しやすい統計的手法が適切である。よって本研究では統計ベースのアプローチを取る。産業現場でのヒヤリハット報告文を分散表現に変換する等の処理によって統計的にオントロジー案を生成し、アノテータが整形し、不安定な部分を検出して改良を加える方法を実施する。</p>	<p>航空産業のヒヤリハット報告 10,431 件に対して、オントロジー生成を実施した。報告文はそれぞれ、事故の過程のあるシーンを表現している。類似するシーンに登場しがちである単語群を抽出し、シーンの分類を作るとともに、品詞の抽象度と包含関係をリスト化しオントロジーを生成した。汎用的な動詞は分類が不安定であったが、航空事故に特有のシーンについては生成結果が安定した。</p>

研究開発の成果

産業事故のヒヤリ・ハットにテキストデータに対して、出来事の進展の代表的パターンを統計的に抽出する方法を開発した。隣接している2つの文に注目して、その範囲内にて共起する単語の組み合わせを数え上げることにより、事故進展の典型的パターンを抽出できた。



米国航空安全報告制度のヒヤリハット報告テキストデータの分析結果

抽出された典型的起承転結

- (1) 左の赤ルート
エンジンに異常が起こり、非常事態を宣言し、着陸。
- (2) 中の青ルート
出発準備をおえ、離陸準備にささかった時に、航空管制との連絡で問題発生。
- (3) 右の緑ルート
巡航飛行中、他機と進路が交錯し、そうなので、管制官と連絡するが、思い込みにより、異常接近した。

研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発		
【A-1-2】「計算神経科学に基づく脳データ駆動型人工知能」 (委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所)		
先導研究目標	研究開発成果	達成度
<p><人工視覚野> 人工知能としての検証：小規模な人工画像データを用い、遮蔽物で隠された物体のロバストな認識など、これまでのコンピュータビジョンでは十分でなかった機能に対して人工知能としての有用性を示す。また、脳機能イメージングからのデコーダは、大規模な画像セットを用いて、画像特徴量空間と脳活動特徴量空間の類似性、およびデコーディング汎化性能を定量評価する。スケーラビリティ：双方向深層ネットワークにおいて、ネットワーク素子数に比例する計算時間で学習および計算可能であることを示す。 神経科学的な検証：データ駆動的に求めた非線形双方向深層ネットワークにより、初期視覚野のみならず、第二次視覚野などの中期視覚系の神経応答特性の再現を目指す。</p>	<p>人工知能として検証：双方向深層ネットワークに対して、混合スパース符号化理論に基づく非線形化を進め、学習アルゴリズムの基本設計と小規模な人工画像および自然画像データを用いた評価を行った。その結果、画像クラスに依存した部分表現が獲得され、全体から部分を推定する計算能力があることを確認した。 脳機能イメージングからのデコーダは、大規模画像データセット（1万種以上のカテゴリ）を用いることで、学習に使用していないカテゴリを含む物体情報の解読を行うことに成功、また、想像している物体、夢で見た物体の解読が可能であることも見出した。これらによりデコーディング汎化性能を定量評価した。また、深層学習器が獲得する画像特徴量空間と脳活動の特徴空間との間で階層的な類似性があることを、定量的に検証した。スケーラビリティ：双方向深層ネットワークにおいて、独立成分分析アルゴリズムを用いた高速な学習を実現した。これにより、ネットワーク素子数に比例する計算時間で学習および計算が可能であることを確認した。 神経科学的な検証：双方向深層ネットワークにより、初期視覚野から第二次視覚野における神経応答特性の再現に成功した。加えて、非線形双方向深層ネットワークにより、高次視覚野の一部である下側側頭野の顔選択的な神経細胞の応答特性を再現することができた。脳機能イメージングからのデコーダにおいては、深層学習器の獲得する画像特徴量の階層性が、ヒト視覚野からのイメージング特徴量の階層性に対して、一定の整合性があることを見出した。</p>	<p>達成度 110% 当初計画していなかった双方向深層ネットワークの非線形化を開発項目に加え、また、一般物体デコーディングでは計画よりも質・量的に大幅な汎化性能を達成したことで、達成度 110%と見積もった。</p>
<p><人工運動野> 人工知能としての検証：順強化学習の実験プラットフォームとして Google DeepMind でも利用されているコンピュータビデオゲーム ATARI 2600 を利用し、従来研究よりも短時間で同程度の学習ができることを示す。ヒトなどの動物の行動データから報酬関数を推定し、行動目的との整合性について評価する。また、強化学習・逆強化学習の相互作用により、限られた経験から単一運動課題に対応した学習が可能であることを検証する。この検証では、必要に応じて運動模倣学習のテストベッドを使用する。 スケーラビリティ：これまでに開発した手法は、識別問題においては通常の畳み込みネットワークを用いた深層学習よりも少ない計算時間で識別を実現できることを確認している。このスケーラビリティが強化学習、逆強化学習と組み合わせても実現できることを示す。 神経科学的な検証：逆強化学習によって推定された報酬と、動物実験のデータとを照合することで、神経科学的な妥当性を検証する。</p>	<p>人工知能としての検証：非単調増加型活性化関数を用いた深層順強化学習法を開発した。コンピュータゲーム ATARI2600 を用いて、従来研究である Deep Q Network (Google DeepMind) と比較した結果、多種のゲームで従来法よりも高い性能を達成した。提案法ではオンライン学習が可能であるため、GPU 実装によらずに効率良い学習が可能である。また、学習前後の状態遷移を区別する分類を目的関数とする深層逆強化学習法を開発した。この逆強化学習法を順強化学習法と組み合わせ、リバーシ（オセロ）を用いた模倣学習として評価したところ、従来法だけでなく模倣対象として用いたエージェント全てに勝利することができた。 さらに、複数の運動課題に対応した学習が限られた経験から可能であることを検証するため、逐次強化学習アルゴリズムの、ロボット実験プラットフォームへの実装を進めた。新規開発のリアルタイム計算システムにより、階層型の逐次強化学習計算を仮想空間内で行い、実ロボットに逐次出力、その実時間制御を可能とする。 スケーラビリティ：新規開発の深層順強化学習法は、12種類のゲームにおいて、同じ試行回数で DQN などの標準的な深層強化学習と比較し、平均 3.3 倍の性能改善を達成した。ロボットプラットフォームへの実装は、階層型の逐次強化学習手法の開発により、これまでに達成できなかった多自由度ロボットの長時間での学習制御を可能とする点で、高スケーラビリティである。</p>	<p>達成度 110% 当初計画していなかった逆強化学習の深層化を新たに開発項目に加え、また、当初計画よりも実機（ロボット実験プラットフォーム）実装の進捗が良いことに鑑み、達成度 110%と見積もった。</p>

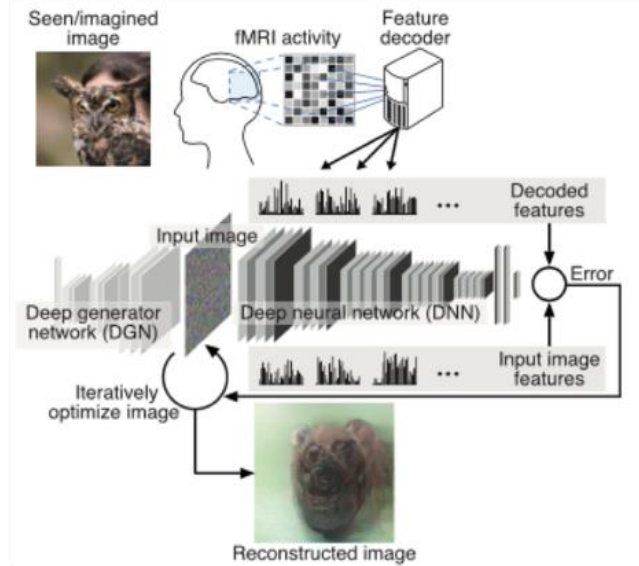
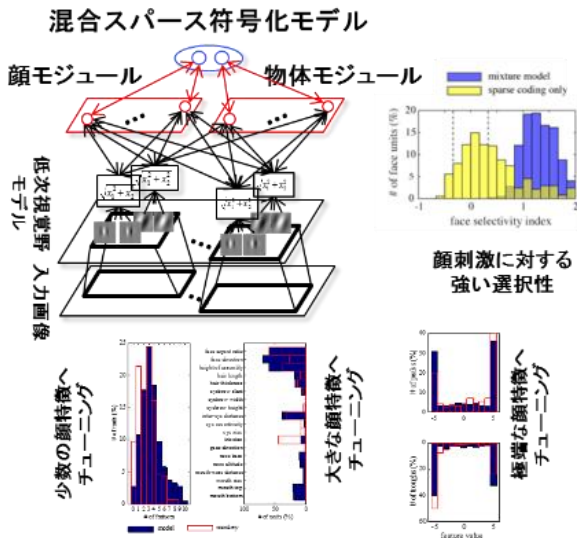
		神経科学的な検証： 線虫の温度走性行動時のデータに対して逆強化学習により報酬を推定、線虫には二つの行動様式（探索と搾取）があることを見出した。	
最終目標		研究開発成果	達成度
人工視覚野の開発において、大規模自然画像データにより双方向深層ネットワークを訓練する技術を確認する。部分遮蔽された物体の輪郭線の同定などに利用可能な画像処理基礎技術を実現する。また、多様なコンテキストにおける、ヒト脳活動から物体情報の解読により、脳-機械ハイブリッドに基づく新規人工知能インターフェースの試作を行う。	<p><人工視覚野></p> <p>(1) 双方向深層ネットワークの深化大規模自然画像データセットからの学習により、高次視覚野の様々な性質を有する双方向・多階層視覚系モデルの構築を行う。モデルが双方向性を持つことを利用して、部分的に遮蔽された物体の輪郭線の同定などが実現できることを示す。</p> <p>(2) 一般物体デコーディングの人工知能応用ヒトの脳データを深層ネットワークの内部状態に変換する方法をベースに、「脳-機械融合知能」の実現に向けた取り組みを展開する。</p>	<p><人工視覚野></p> <p>(1) これまでに開発した混合スパース符号化モデルと初期視覚野の既存モデルを階層結合し、顔と物体の2つの大規模自然画像データベースで訓練した。その結果、高次視覚野の顔細胞の反応選択性と同時に、顔パーツの配置に関するチューニング特性が再現可能であること、また顔画像だけで学習した場合は再現不可能であることを示した。</p> <p>(2) これまでの一般物体デコーディングの成果を踏まえて、新たに、脳データから変換した深層ニューラルネットワークの特徴表現を用いて、その人が見ている画像を再構成するアルゴリズムの開発を進めた。</p>	H29/8 現在、当初計画に対して 55% を達成。
人工運動野の開発において、強化学習・逆強化学習を組とする複数モジュールの学習により、限られた量の経験から複数課題に対応した学習が可能であることを示す。多自由度ロボットが自律的に学習する仕組みを実装し、家事などの日常生活の支援に利用可能なコア技術として試作する。	<p><人工運動野></p> <p>(1) 深層順・逆強化学習の統合およびロボット実験深層順強化学習と深層逆強化学習を統合した深層順・逆強化学習法を開発し、視覚情報を用いた移動ロボットのナビゲーション課題に適用し、実験者が与える正解行動の数などの観点から従来法と比較検討する。</p> <p>(2) 逐次強化学習の並列モジュール化複数の動作を状況に応じてリアルタイムに生成する逐次強化学習法の開発を進め、ロボットに多様な運動生成させるテストベッドを用いて評価する。</p>	<p><人工運動野></p> <p>(1) Robot Operating System+Gazebo を用いて深層順・逆強化学習のための汎用実験プラットフォームを構築、RGB-D カメラを搭載した移動ロボット上に実装した。深層順強化学習のシミュレーションを継続するとともに、実ロボットについても同一のプログラムで動作することを確認した。</p> <p>(2) 逐次強化学習における並列化およびリアルタイム化に向け、あらかじめ導出した動作軌道を援用した、効率的な方策パラメータの初期化手法を開発した。その、結果として計算時間の縮減に成功した。</p>	

研究開発の成果

① 人工視覚野

混合スパース符号化モデルと初期視覚野モデルを階層結合し、顔と物体の2つの大規模自然画像データベースで訓練した結果、高次視覚野の顔細胞の反応選択性と、顔パーツに関するチューニング特性が再現可能であることを見出した。

これまでの一般物体デコーディングの成果を踏まえて、脳データから変換した深層ニューラルネットワークの特徴表現を用いて、人が見ている画像を再構成する手法の開発を進めた。



研究開発の成果

② 人工運動野

ROS+Gazeboを用いて深層順・逆強化学習のための汎用実験プラットフォームを構築、RGB-Dカメラを搭載した移動ロボット上に実装、アルゴリズムがシミュレーションに加えて実ロボットで動作することを確認した。多自由度ロボットの実時間の階層強化学習制御に向け、事前に導出した動作軌道を援用した効率的な方策パラメータの初期化手法を開発した。結果として計算時間の縮減に成功した。

Gazebo上のシミュレータ

実環境

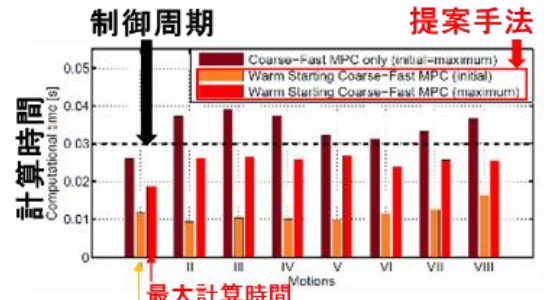


ROS

同一のコードでシミュレータと実ロボットを制御

OpenAI Gym BETA

深層強化学習アルゴリズムの切り替えを容易に実現 (Baselines, Chainer-RL, Keras-RL, etc.)



最大計算時間
最適化初回計算時間
提案手法を用いて8動作でリアルタイムにロボットモデルの動作生成が可能に。



動作生成事例 (立ち上がり動作)

【A-2】平成27年度採択②（RFIを踏まえた調査研究→先導研究→研究開発）		
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発		
【A-2-1】「メニーコアを活用するデータフロー型プログラミング言語の開発」 (委託先：株式会社トプシステムズ、再委託先：株式会社 Cool Soft)		
先導研究目標	研究開発成果	達成度
①世界的な技術調査	<p>次世代人工知能アプリケーション、ソフトウェア開発環境、プログラミング・モデル（計算モデル）、プログラミング言語、及び計算プラットフォーム（CPU、GPU、マルチコア、メニーコア）について、世界的な視点での調査により最新技術を俯瞰し、調査中間報告書を纏めた。本技術調査の結果、次世代人工知能に関するプログラミング言語や計算プラットフォームについて、幾つかの課題が浮き彫りになってきた。</p> <p>(1) 学習に膨大なデータと、計算資源、電力、時間が必要 (2) ニューロンの結合の強さ等の情報が外部メモリに格納されているため、処理時間が掛かる (3) ニューラルネットワークの層間の通信が双方向になると、極端に遅くなる (4) GPUは、CPUの8~9倍の高速化が可能（GPUのコア数は、CPUの100倍程度） (5) GPUは、専用ライブラリを活用すると、CPUの16~17倍の高速化が可能 (6) 脳型チップは、ニューロンの結合の強さ等の情報をコア内に局所化する、シナプスの可塑性を受動素子で実現する、という方向で性能向上、集積度の向上を追及する方向 (7) 脳型チップは脳の再現に近づく最短経路になる可能性があるが、多数のトランジスタを必要とするため実装面積が大きく、現時点では他の技術に対する大きなメリットがない。</p>	達成
②GPGPU評価環境の構築	<p>脳型人工知能において、GPGPUと定量的な比較評価を行うことを目的として、ディープニューラルネットワーク（DNN）の研究で最も良く使用される Nvidia社の最新のMaxwellアーキテクチャを採用したGPU（TITAN X）を搭載した評価機ハードウェア、及びディープラーニング向けGPUトレーニングシステム（DIGITS:Deep GPU Training System）、CUDAツールキット、Caffe(UC Berkley)、GPU用ディープラーニングライブラリ（cuDNN）等を搭載した評価環境を構築した。</p> <p>尚、当該評価環境上で、ディープラーニングの代表例として、LeNet、AlexNet、GoogLeNetが動作し、GPUとCPUの処理性能の比較評価が可能なることを確認した。</p>	達成
③プログラミングモデル策定	<p>Massive Dataflowに代表される次世代人工知能処理の並列性を効率よくモデル化可能であり、かつ各種計算プラットフォーム（CPU、GPU、マルチコア、メニーコア）上でのストリーム処理やデータ並列・タスク並列・パイプライン並列処理にマッピングが容易なプログラミング・モデルを策定した。</p> <p>具体的には、データフロー型のストリーム処理が可能で、ニューラルネットワークのモデル化に適しており、動作が決定的（計算遅延や通信遅延の影響を受けず、結果が必ず保証される）ため複雑な並列処理も扱いやすいKPN(Kahn Process Network)を拡張して、KPNでありながらも動作の切替えが可能なプログラミング・モデル「DeepPN(Deep Process Network)」を策定した。</p>	達成

次世代のロボット制御には、高度な人工知能を実現するソフトウェアの搭載が必須である。そこで要求される性能の高い人工知能ソフトウェアを効率よく開発し、また保守、拡張が容易に行えるようにするための次世代人工知能プログラミング言語について調査研究及び先導研究を実施し、次世代ロボット中核技術の開発に貢献する。

<p>④ 言語仕様設計</p>	<p>次世代人工知能プログラミングの開発効率・保守性・拡張性を向上可能なプログラミング言語の仕様を作成に着手した。特に開発効率の向上には、豊富なプログラミング経験を必要としないVisual なプログラミングも可能で、かつプログラミングのエキスパートやプログラムの自動生成が可能なTextual なプログラミングも可能なよう、Visual & Textual なプログラミング言語仕様とする。</p> <p>具体的には、Massive Dataflow に代表される次世代人工知能処理の並列性を効率よくモデル化可能なよう、(1)③で策定したプログラミング・モデル (DeepPN) に従って、(2)処理の内容と、処理に対する入力、及び出力が明示的に示され、ソフトウェア開発ツールによる並列化と最適化が容易であり、(3)オブジェクト指向の長所である開発効率・保守性・拡張性の良さを備え、(4)論理型言語のようにセンテンスの書換えでシステムの動作を改良できるようなプログラミング言語のプロトタイプ仕様を策定した。</p>	<p>達成</p>
<p>⑤ ベンチマーク設定</p>	<p>作成したプログラミング言語仕様の定量的評価のために、評価に使用する人工知能アプリケーションの候補を選出した。</p> <p>尚、選出した人工知能アプリケーションは、次の4つである。</p> <p>(1)LeNet : LeCun らによる 1998 年のディープラーニングの古典というべき方式であり、各種のフレームワークなどでサンプルとして取り上げている。</p> <p>(2)AlexNet : トロント大学の Alex Krizhevsky らよって開発された CNN を用いた方式。2012 年の ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) で優勝</p> <p>(3)GoogLeNet : 2014 年の ILSVRC で優勝</p> <p>(4)制約 Boltzmann Machine : 統計的な変動を用いたホップフィールド・ネットワークの一種</p> <p>(1)~(3)は、CPU 対 GPU の性能比較で用いられている、また(4)は双方向の通信があり GPU が苦手とする処理であることからベンチマーク候補として選出した。</p> <p>また、人工知能、機械学習などの処理系を入手し、比較評価環境を整えた。</p> <p>(1)WEKA : Waikato 大による機械学習、データマイニング系の処理系。</p> <p>(2)R 言語 : 統計処理向けの処理系であり、クラウド上でのマイニング等に利用されている。</p> <p>(3)Python 処理系 : スクリプト言語の範疇。</p> <p>(4)Scheme 処理系 : MIT の人工知能研究所で開発された言語。</p> <p>(5)Windows 上の GPU 開発環境 : CoolSoft 社担当の GPGPU 評価環境とは別に構築</p> <p>(6)データフロー型 DeepPN 仕様の実験用言語処理系 VPPL</p>	<p>達成</p>

⑥ 実装実験 1 による評価	<p>机上検討により設計したプログラミング言語仕様の基本部分を実装し、シミュレータ上での機能・性能検証、及び実機環境での機能・性能検証を実施した。</p> <p>具体的には、実装実験用のプログラミング言語を実装し、開発効率、保守性、拡張性、並列性の観点から評価した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 開発効率：C 言語より優れており、R 言語や MatLab と同等以上の効率を達成している <ul style="list-style-type: none"> －ライブラリモジュール等の充実により、更なる開発効率の向上が期待できる ・ 保守性：マルチターゲットをサポートすることにより高い保守性を達成している <ul style="list-style-type: none"> －ドキュメンテーションや自動テストのサポートにより、更なる保守性の向上が期待できる ・ 拡張性：多言語との協調により高い保守性を達成している <ul style="list-style-type: none"> －後方互換性を保持し、アノテーション機能を強化することで、更なる拡張性の向上が期待できる ・ 並列性：データフロー型のプログラミングモデルを採用したことで多様な並列処理を表現できる <ul style="list-style-type: none"> －データフローグラフ・レベルでの詳細化と並列性の抽出により、更なる並列性の向上が期待できる 	達成
⑦ 技術戦略の策定	<p>本研究開発で開発するプログラミング言語の効果的な普及促進のための技術戦略として、「デファクト・スタンダード化」を基本方針として、具体策を策定した。</p> <p>本研究開発で開発したプログラミング言語の標準仕様化を世界的な業界団体（米 Multicore Association）で進め、人工知能ベンチマーク・プログラムを世界的なベンチマークの業界団体（例えば、米 EEMBC 等）を通じて広める。</p> <p>人工知能向けの計算機システムとしての究極の目標は、スケーラブルなプログラミング言語と省電力高性能小型メニーコアで構成するスケーラブルな計算機システムによるシンギュラリティの実現である。</p> <p>そのために、スケーラブルな計算機システムを段階的に実現し、それをスケールしていく戦略を採る。</p> <p>第 1 段階 GPU を遥かに超える高速化・省電力化・小型化を可能にするプラットフォームの確立</p> <p>第 2 段階 アプリケーション・ファースト：AI カメラの実用化（新たな応用を創る）</p> <p>第 3 段階 スケーリング：小規模な Sensor（エッジ）から大規模なアクセラレータまで、その実現に向けて、早期実用化を含む技術政略に基づき、ロードマップを作成した。</p>	達成
⑧ ロードマップの策定	<p>本研究開発で開発したプログラミング言語の普及促進に向けて、中長期的なロードマップを策定した。特に、プログラミング言語仕様、応用言語拡張仕様、ソフトウェア開発環境（SDK）、ソフトウェア実行環境（ランタイム）、仮想マシン等の開発とリリース時期に関する具体的なロードマップを策定した。</p>	達成
⑨ ドメイン言語実装	<p>調査研究フェーズでプログラミングモデルと言語仕様を策定した</p> <p>『DeepPN』について、「セマンティック Web」、「機械学習」、「音声言語処理」の 3 つのドメインへの言語仕様拡張により、モデル作成の容易</p>	2017 年 8 月現在：50%

	<p>化、実行・デバッグの容易化、ソフトウェア実装の並列化と最適化による高速化等、各ドメイン特有の課題解決に向けて、ドメイン言語実装の検討を進めた。</p> <p>(i) セマンティック Web</p> <p>ビッグデータから多くの理論と直感が入っている『オントロジー』（語木と語網）を機械的に作るのは容易ではなく、人でないと当分は作成困難と考えられている。</p> <p>そこで、人による『オントロジー』のプログラミングに必要な①平易な言葉を使ったモデル化、②モデルの実行内容の確認/デバッグの容易化、③モデルからプログラムコードへの変換、④並列化・最適化による計算機上での高速実行、という視点からの検討を行った。</p> <p>(ii) 機械学習</p> <p>機械学習では、センサやデータベースなどからのサンプルデータ集合が生成した潜在的な特徴を捉え、複雑な関係を定量化して識別する「学習」と、新たなデータについて予測する「推論」を行う。機械学習に用いられる技法は、生物の神経ネットワークの構造と機能を模倣するニューラルネットワーク、確率的グラフィカルモデルであるベイジアンネットワーク、エージェントが環境の中でどのような行動をとるべきかを長期的な報酬を最大化するように決定する強化学習などを初め、多種多様なアルゴリズムがある。これらは巨大で、日進月歩で進化し、複雑さが増大するのに伴い設計・実装・実行の時間が増大しており、アルゴリズム開発の生産性向上を支える①モデル作成の容易化、②実行/デバッグの容易化、③モデルからプログラムへのコード変換、そして学習や推論の時間の大幅短縮のための④並列化や最適化による高速化が強く求められている。</p> <p>機械学習のソフトウェア開発環境としては、『DeepPN』に近いプログラミングモデルに基づく Google 社の TensorFlow 等のフレームワーク、データ分析・結果予測・入力データ分類を行う Prediction API、Microsoft 社の機械学習 API Azure ML、そして高速化を支援する Nvidia 社のディープラーニング用ライブラリ cuDNN や数学ライブラリ cuBLAS などがあるため、これらの特徴と課題を把握した上で、機械学習アルゴリズム開発の大幅な生産性向上と高速化に向けて『DeepPN』拡張仕様を検討した。</p> <p>(iii) 音声言語処理</p> <p>マンマシンインターフェイスの重要な要素技術である音声言語の認識と理解、及び自然言語の解析と応用には、情報理論や形式言語理論に加えて深層学習等のアルゴリズムが活用されている。今後、HMM (Hidden Markov Model) を遥かに凌ぐ DNN とビッグデータ（大量の音声データ）を活用した学習により、意味・文脈・意図を理解した上での応答システムの実現、音声言語処理を利用したドキュメント処理、画像処理と自然言語処理との融合による映像メディアの価値向上などが期待されるが、数千時間規模のデータでモデルを構築するのは時間が掛かるため、①モデル作成の容易化、②実行/デバッグの容易化、③モデルからプログラムへのコード変換、そして学習や推論の時間の大幅短縮のための④並列化や最適化による高速化が強く求められており、これらの視点から言語仕様を検討した。</p>	
--	---	--

	⑩ 人工知能プログラミング言語の設計	人工知能アプリケーションのプログラミングの効率は、設計としてのモデル化、コーディング、テストに要する時間に加えて、実行時間がその指標となる。人工知能プログラミング言語の設計では、調査研究フェーズでプログラミングモデルと言語仕様を策定した『DeepPN』について、オブジェクト指向・関数型・論理型言語の長所を取り入れることで記述性の向上を目指す。但し、巨大化し複雑化することで、実行時間の長くなる人工知能アプリケーションを最適化・並列化して高速に実行することと記述性を向上することとは、相反するためトレードオフの関係になる場合には、シンギュラリティを目指す人工知能の進化を支える視点から高速化を優先する方向で検討を進めた。	2017年8月現在：50%
	⑪ 実装実験2による評価	調査研究フェーズでプログラミングモデルと言語仕様を策定した『DeepPN』について、「セマンティック Web」、「機械学習」、「音声言語処理」の3つのドメインへの言語仕様拡張に基づく実装実験により、モデル作成の容易化、実行・デバッグの容易化、ソフトウェア実装の並列化と最適化による高速化等の評価のために、必要な評価環境の構築を進めた。	2017年8月現在：40%
先導研究目標		研究開発成果	達成度
AI に適したスケーラブルな計算機システムを開発すること ・GPUを遥かに超える高速化・省電力化・小型化を可能にする ・AIカメラを創り、実用化を加速する ・エッジからサーバまでスケール可能なことを示す	人工知能フレームワーク開発	未着手（2017年4月より開始予定）	2017年8月現在：0%
	画像認識・AIライブラリ開発	未着手（2017年4月より開始予定）	2017年8月現在：0%
	メニーコア・チップ開発	未着手（2017年4月より開始予定）	2017年8月現在：0%
	Software Defined Sensor 開発（AIカメラ開発）	未着手（2017年4月より開始予定）	2017年8月現在：0%
	「メニーコアを活用するデータフロー型プログラミング言語の開発」	未着手（2017年4月より開始予定）	2017年8月現在：0%

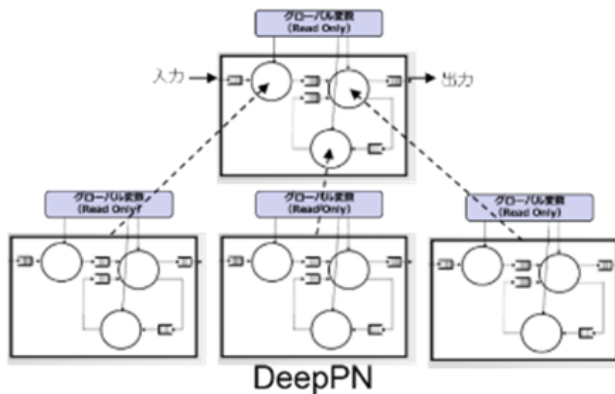
研究開発の成果

データフロー型の『DeepPN』プログラミング・モデルの策定

- ・システムの動作を明確にモデル化し、かつ階層的に表現できるプログラミング・モデル

データフロー型のプログラミング言語『DeepPN』の仕様設計

- ・ターゲットプロセッサ非依存の抽象度の高いプログラミングが可能
- ・ツールによるターゲットプロセッサへの最適化が容易
- ・並列性を表現しやすく、メニーコア(SMYLEdeep)の性能をフルに活用可能



ローカルメモリ処理
(分散処理)
ストリーム処理
コンカレンシを表現
Point-to-Point通信

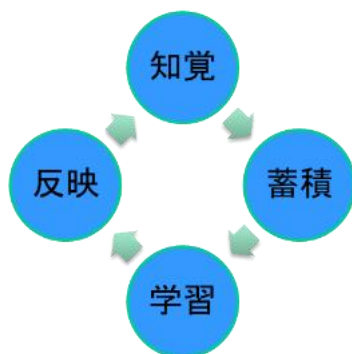
ツールによる最適化 (高速化・低消費電力化) が容易

- スケジューリング : Dataflow Graphの分割&マッピングによる、高速化や低消費電力化
- メモリ管理 ; 中間データ領域の再利用による、メモリ使用量の削減
- グルーピング ; Sub-Graphのマージによる、メモリ局所性の向上、使用量の削減
- データ粒度最適化 : Kernelの処理するデータ粒度の変更による、メモリ局所性の向上

【A-2-2】「マルチモーダルコミュニケーション／多様な時系列情報に対する深層学習基盤の開発」 (委託先：株式会社 Preferred Networks) <調査研究にて終了>			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
機械と人間との自然言語を中心としたコミュニケーションを実現するための要素技術の調査を行い、産業への応用を視野に入れた実現可能性を検討する。	①知覚機能の調査研究	<p>コミュニケーション技術を開発するために、マルチモーダルインターフェースを備えたデバイスの検討・試作を行った。試作機は、感覚器官相当のデバイスから、多様なデータの入力が可能であることを要件とした。また、エッジへピーコンピューティングと呼ばれるアーキテクチャをベースに検討を行い、データを全てサーバ側に送信するのではなく、端末側で情報処理を行うことが可能なスペックを有するものを試作した。</p>	達成
	②蓄積機能の調査研究	<p>クラウド技術の進歩に従い、IoTに特化した形で、デバイスとサーバアプリケーションを結びつけるフルマネージド型のクラウドサービスの開発が進んでいる。IoTを普及させる上で、センサなどを搭載したエッジデバイスの管理から、セキュリティを考慮した通信手段の提供などが課題とされている。現在、サービス提供されているクラウド技術を整理し、今後の設計、試作、実証実験などに向けて、技術選定をするための調査を行った。</p> <p>また、クラウド関連技術の、実際に映像や音声データを管理するためのアプリケーションを試作した。試作を目的としているため、一般的に考え得るセキュリティ要件を満たした上で、簡略で拡張可能なシステムを試作し、マルチモーダルコミュニケーションを実現する際に、認識に必要と考えられる典型的なデータを仮定した。映像や音声を格納するためのコンテナ技術やコーデックを調査を行い、まずは実際にクラウド側でデータを管理するためのアプリケーションを試作し、実現可能性を検証した。</p>	達成
	③学習機能の調査研究	<p>マルチモーダル学習に関する既存技術の調査を行った。特に深層学習手法を応用して、複数の情報源を結びつけることに関連のある手法に関して調査した。情報源として、映像情報、音響情報、言語情報に関して、またそれぞれを複数結びつける技術の調査を行った。結果として、情報源毎に典型的な深層学習の手法が存在し、殆どの研究論文では類似の手法を利用していること、また旧来の手法で支配的であったデータ毎の特別な前処理は、例えば単語分割のような初期の深層学習の頃は利用されていたような極めて基本的なものも含めて、なくても機能するという主張が増加していることが判明した。</p> <p>また、音響情報、映像情報、それぞれを利用した学習について、言語情報、知識や推論を利用した。</p>	達成
	④反映（フィードバック）機能の調査研究	<p>学習結果を分散して共有し、反映させる手法として、深層学習向けの分散学習基盤の調査を行った。その結果、パラメータサーバ型の分散学習がトレンドの一つとなっていることがわかった。</p>	達成

研究開発の成果

本調査研究では、機械と人間との自然言語を中心としたコミュニケーションを実現するための要素技術の調査を行い、産業への応用を視野に入れた実現可能性を検討した。具体的には、言語情報に代表されるような系列データを効率的に扱い、さらには音声、音響、映像のような多様な系列データをマルチモーダルに学習し、応用が可能な深層学習基盤を実現するための要素技術の抽出を行った。また、コミュニケーションの実現に向けて必要なフェーズを「知覚」「蓄積」「学習」「反映」の4つと定義し、各フェーズで調査・研究を行い、その結果を踏まえて要素技術検証とプロトタイプ開発を行った。



コミュニケーションを実現するための要素



多様な時系列情報を処理する深層学習基盤



コミュニケーション端末試作機
(プロトタイプ)

【A-2-3】「柔軟ロボットによる身体環境相互作用に基づく道具使用」
 (委託先：国立大学法人東京大学) <調査研究にて終了>

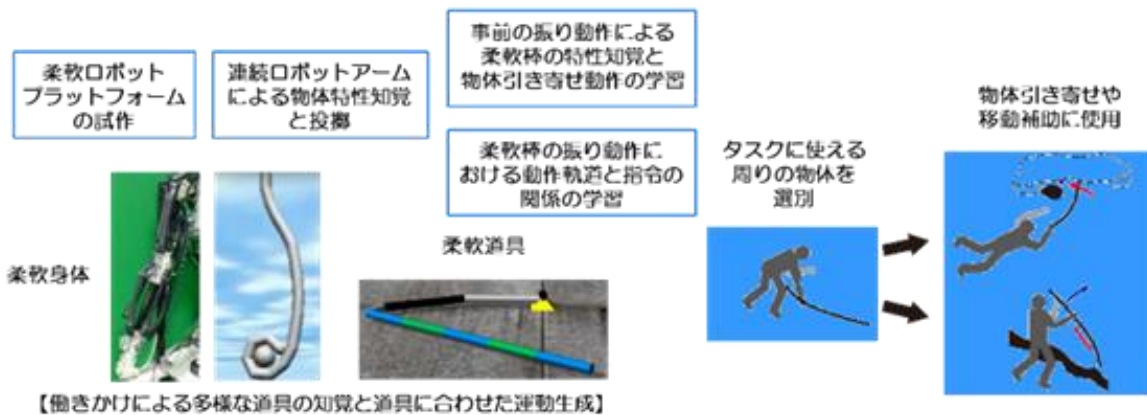
先導研究目標		研究開発成果	達成度
物体—身体相互作用により生じるダイナミクスを分析することで、ダイナミクスを活かした物体知覚を目指す。	①身体—道具間ダイナミクスの解析	剛体棒に関して特定の物理パラメータのみに応じて軌道特徴が変化する振り動作パターンがあることがわかった。また、動作と指令の関係性を明らかにするために、柔軟棒の振り動作軌道からのトルク指令の関係の学習を試みた。	100%達成
	②ダイナミクスを活かした道具特性知覚法の検討	柔軟棒の振り動作と棒特性、道具引き寄せ動作指令の関係を多層ニューラルネットにより学習した結果、棒特性の識別に成功し、棒特性の識別と引き寄せ動作生成のネットワークに共通の特性が見られた。また、連続ロボットアームのシミュレーションで振り動作による物体の知覚から投擲動作の一連の知覚からの運動生成を行った。	100%達成
	③柔軟要素を備えたロボットのプロトタイプ開発	グリッパを備えた McKibben 型空気圧人工筋駆動の3関節ロボットに加え、道具を用いた移動を可能とするための高い運動性能を目指しエアシリンダをベースとしたロボットを開発した。さらに、柔軟ロボットによる多様な動作生成のために操縦装置を試作した。	100%達成

研究開発の成果

災害現場など不確定要素が多い環境では、周りの物体を道具として活用できればさらに多様な状況に対応できるようになる。
 本研究では柔軟ロボットによる道具使用に取り組む。柔軟な身体では道具が身体に与える影響が大きく、道具—身体相互作用から生じる運動に着目することが有効と考えられる。
 調査研究では、道具使いこなしにつなげるために、道具—身体相互作用を通した柔軟ロボットによる物体知覚、運動生成に取り組んだ。

<調査研究の概要>

<想定される出口イメージ>



【A-3】平成28年度採択（先導研究→研究開発）			
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発			
【A-3-1】「超低消費電力深層学習プロセッサおよびソフトウェア層の研究開発」 （委託先：国立研究開発法人理化学研究所、株式会社 Preferred Networks）			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
	2020年時点で確実に利用可能と思われる10nmの半導体製造プロセスを使った場合に、3-7Tops/Wの電力あたり性能	40nmでの試作チップの現状での電力推定を10nmにスケールした場合、目標を達成できる見込みである。	
プロセッサの論理設計および利用可能なプロセスでの物理設計、試作、小規模なシステムのFPGAによる実現と実用アプリケーションによる性能評価	最大100Tops程度までのシステムを低消費電力で実現できるスケラブルなプロセッサアーキテクチャ	設計したプロセッサアーキテクチャで、1Pops以上にスケールできる見込みが得られた。	100%
	推論だけでなく学習にも対応できる柔軟性	FP16以外の演算フォーマットもサポートすることで、高精度演算を必要とする学習にも適用可能なアーキテクチャとした。	100%
先導研究目標		研究開発成果	達成度
先導研究の目標を実現するプロセッサとそれに基づいた高性能DNN処理系を構築	先導研究期間におこなったプロセッサ物理設計に基づいたプロセッサLSIを試作	16nmでの物理設計を評価している。	40%
	上記を搭載し50-100Topsの処理能力を実現するDNNアクセラレータプロセッサカードを開発	カードの予備的な設計を進めている	10%
	上記のカードで深層学習アプリケーションの高速・低消費電力実行を実現	カードのドライバソフトウェアの要件定義を進めている	40%

研究開発の成果

(主な成果)

- 深層学習向きプロセッサアーキテクチャとして世界トップレベルの電力性能を実現する目処をたてた
- 40nm プロセスをターゲットにして小規模な試作プロセッサを設計
- 実際の DNN、CNN により性能・精度検証を進めている

本研究開発

人工知能応用のなかでも重要な深層学習のハードウェア・電力コストを劇的に低下

極めて大きな経済効果

例：自動運転

現状：
電力 500W以上
半導体コスト 10万円以上

電力 10W以下
半導体コスト 1万円以下

自動運転の普及に必須な技術

【A-3-2】「人工知能と実験自動化ロボットを統合した次世代創薬プラットフォームの開発」
 (委託先：株式会社 MOLCURE、再委託先：国立大学法人東京工業大学、国立大学法人東京大学、学校法人慶應義塾、
 国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所)

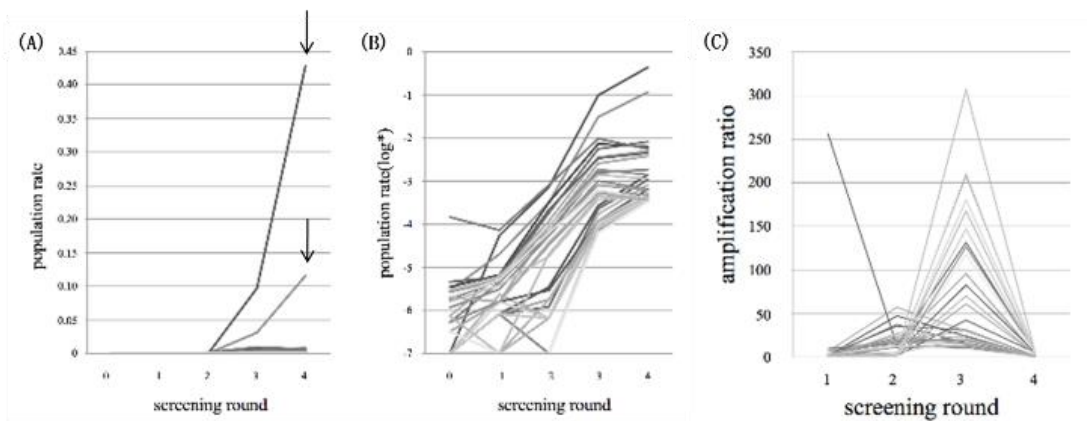
先導研究目標	研究開発成果	達成度
	①臨床試験の事例調査：本研究開発の初期の段階では、医薬品候補の臨床試験に関する調査のフィードバックを反映し、人工知能が予測する抗体特性を10個決定する。	各種抗体の専門家とのディスカッションを通じ、予測する抗体特性10種の決定を行った。 H29/8 現在、100% を達成。
(1) 生物材料を用いた実験データの大量取得	②次世代シーケンサを用いた DNA 回収・解読プロトコルの作成(1) (担当：慶應義塾大学)：Antibody Search Engine が先導研究にて予測を行う3種類の抗体特性が測定可能なスクリーニング実験について、本プロトコルを適用し運用・評価を行う。 1) バクテリオファージより効率的に DNA 配列を取得し、NGS のライブラリ作成に利用可能なプロトコルの開発・検証を行った。作成されたプロトコルで抽出された DNA は抗体配列を破損することなく、配列を破砕して抽出する bead beating 法と遜色ない濃度を示し、本手法の有用性が証明された。 2) scFV・Fab などに代表される、VHH 抗体以上の長さを持つ抗体配列を現行の NGS で安価・高速に解読するためのプロトコル検討を行った。本手法は今年度・来年度中に検証が行われる予定である。	H29/8 現在、95% を達成。
	③多様なバリエーションを持つ library の作成(1) (担当：東京工業大学)：短期間で大規模な library を作成可能なプロトコルの構築を行う。作成されたプロトコルに基づいて library を作成し、プロトコルの評価を行う。 1) 42 アミノ酸残基長のランダムライブラリを mRNA ディスプレイ法を用いて作成するプロトコルの開発・ライブラリの動作検証を行った。作成されたライブラリは ATP に対してスクリーニングされ、スクリーニングの各段階の mRNA を NGS を用いて配列決定する事に成功した。現在、一般的な VHH 抗体の長さと同じ 200 アミノ酸長のランダムライブラリの作成プロトコルの開発が完了しており、検証実験を行っている最中である。	H29/8 現在、90% を達成。
	④次世代シーケンサを用いた大規模スクリーニング実験(1)：次世代シーケンサを用いた予備実験を追加でこない、条件の検討を行い、その結果を反映した、異なる条件で機械学習のデータを取得するための次世代シーケンサを用いた実験を合計16サンプル以上に対して遂行する。再委託先である東京大学は各スクリーニングの初期検討及びアドバイザーを努め、実験の遂行が円滑に行われる手助けを行う。 1) 現在、熱耐性ライブラリのスクリーニング、シグナル伝達を行う受容体たんぱく質、アルツハイマー病の抗原たんぱく質2条件、のスクリーニング実験が各5ラウンド分実験が完了している。人工知能の学習に用いるデータとしては25サンプル以上が取得済みであり、今後はさらに条件を増やしサンプルの取得を行う予定。 2) 現在、scFB 抗体・VHH 抗体といった抗体の種類別のスクリーニングの検討を進めている。同一抗原に対して異なる種類の抗体ライブラリを用いたスクリーニングを今年度後半に行う予定。	H29/8 現在、80% を達成。

<p>(2) 人工知能による抗体の特性予測と特徴量抽出</p>	<p>⑤特徴量抽出を行うアルゴリズム (Eigen Kernel) の開発: Eigen Kernel の完成。医薬品候補の臨床試験に関する調査のフィードバックを反映し、人工知能が予測する抗体特性を 10 個決定する。それらの特性をより効率的に予測するため、抗体の DNA 配列から特徴量を抽出するアルゴリズム開発・性能の評価を行い、29 年度末までに 10000 個程度の特徴量の抽出を想定している。</p> <p>⑥抗体医薬品候補・特性予測システム (Antibody Search Engine) プロトタイプ開発: Antibody Search Engine のプロトタイプ完成。上述した Eigen Kernel を用いて、Antibody Search Engine の開発を行う。次世代シーケンサを用いたスクリーニング実験結果を人工知能に学習させる。29 年度末までに 10 回生物材料を用いた実験をおこなった結果を学習させることで、抗体特性を 3 項目予測可能な人工知能を開発する。</p>	<p>Eigen Kernel のフレームワークを実装、その内部に抗体配列からの特徴量抽出法を 10000 個実装した。実装された特徴量の一部を用いて抗体特性の予測を行った結果、スクリーニング過程で残留しやすい抗体配列の予測に成功した。</p> <p>Antibody Search Engine プロトタイプのフレームワークが完成した。Eigen Kernel を用いて抽出された特徴量を用いて各種学習が可能な状態である。今年度末には (1) 生物材料を用いた実験データの大量取得にて取得された全サンプルを用いて人工知能の学習を行う事を予定している。</p>	<p>H29/8 現在、100% を達成。</p> <p>H29/8 現在、75% を達成。</p>
<p>(3) 生物材料を用いた実験の自動化</p>	<p>⑦実験ロボット HAIVE を用いた自動実験システムの構築 1: 実験操作自動化装置の要素試作モデルの完成。スクリーニング実験における、実験遂行者によるバイアスが最も大きい部分に関して調査し、実装項目の決定を行う。本システムに必要な各項目の実装に必要な機械装置の要素試作モデルを作成し、正常に動作していることを検証する。</p>	<p>HAIVE システムにおいて、サンプルの輸送を担うコンテナユニット三種類の要素試作モデルの開発・並びに各種コンテナユニットの充電機構の開発を行った。作成されたコンテナは輸送コンテナ、PCR コンテナ、マグネットビーズコンテナであり、要素試作モデルを元に現在各種実験に用いる詳細なパラメータの同定を行っている。現在 HAIVE システムの試作 1 号モデルがアセンブルされ、東京大学津本研究室にて試験導入されデータの取得を行っている。</p>	<p>H29/8 現在、95% を達成。</p>
<p>最終目標</p>		<p>研究開発成果</p>	<p>達成度</p>
<p>(1) 生物材料を用いた実験データの大量取得</p>	<p>⑧次世代シーケンサを用いた DNA 回収・解読プロトコルの作成 (2) (担当: 慶應義塾大学): Antibody Search Engine が先導研究にて予測を行う 10 種類の抗体特性が測定可能なスクリーニング実験について、本プロトコルを拡張し運用・評価を行う。</p> <p>⑨多様なバリエーションを持つ library の作成 (2) (担当: 東京工業大学): 先導研究にて評価が完了したプロトコルに基づいて library を作成し、スクリーニング実験の遂行及び作成された library</p> <p>⑩次世代シーケンサを用いた大規模スクリーニング実験 (2): 異なる条件下で次世代シーケンサを用いた実験を 18 回遂行する。再委託先である東京大学は各スクリーニングの初期検討及びアドバイスを努め、実験の遂行が円滑に行われる手助けを行う。本実験データは Eigen Kernel による特徴量抽出、Antibody Search Engine のプロトタイプの学習に利用される。</p>	<p>上記との重複</p> <p>上記との重複</p> <p>上記との重複</p>	<p>H29/8 現在、55% を達成。</p> <p>H29/8 現在、45% を達成。</p> <p>H29/8 現在、50% を達成。</p>

<p>(2) 人工知能による抗体の特性予測と特徴量抽出</p>	<p>⑪抗体医薬品候補・特性予測システム (Antibody Search Engine) 開発： Antibody Search Engine による抗体特性の予測システムの完成。 リゾチームなどのスタンダードな抗原を対象とし、pH や温度、イオン濃度といったスクリーニング条件を変化させた実験を人工知能が十分に学習するまで行い、Antibody Search Engine の学習モデルを完成する。Antibody Search Engine は 10 種類の抗体特性の中から任意の項目に対して予測が可能な人工知能の搭載を目標とする。最終的にこれらの人工知能の出力結果から、抗体医薬品のターゲットに対して最適な抗体配列を提示するソフトウェアの開発を行う。</p>	<p>上記との重複</p>	<p>H29/8 現在、40%を達成。</p>
<p>(3) 生物材料を用いた実験の自動化</p>	<p>⑫実験結果をフィードバックし、新規実験条件を提案するシステム：本システムは特定の抗体医薬品のターゲットが提示された際に、人工知能の学習に必要なデータを予測し、実験のプロトコルを提示する。示されたプロトコルに従って遂行された実験結果を人工知能に学習させることで、逐次実験計画の提案・実験操作が行われる。</p>	<p>Eigen Kernel 並びに Antibody Search Engine の完成を受け、そこから取得されたデータより本システムの基礎設計を行っている。</p>	<p>H29/8 現在、10%を達成。</p>
	<p>⑬実験ロボット HAIVE を用いた自動実験システムの構築 2：本プロジェクトでは新規機能を持つ HAIVE モジュールの追加実装を行い、本提案における生物材料を用いた実験プロセスの自動化を上記、生物材料を用いた実験データの大量取得と並列して行う。</p>	<p>上記との重複</p>	<p>H29/8 現在、45%を達成。</p>

研究開発の成果

大規模データの獲得:シーケンシングデータ量(達成済み)

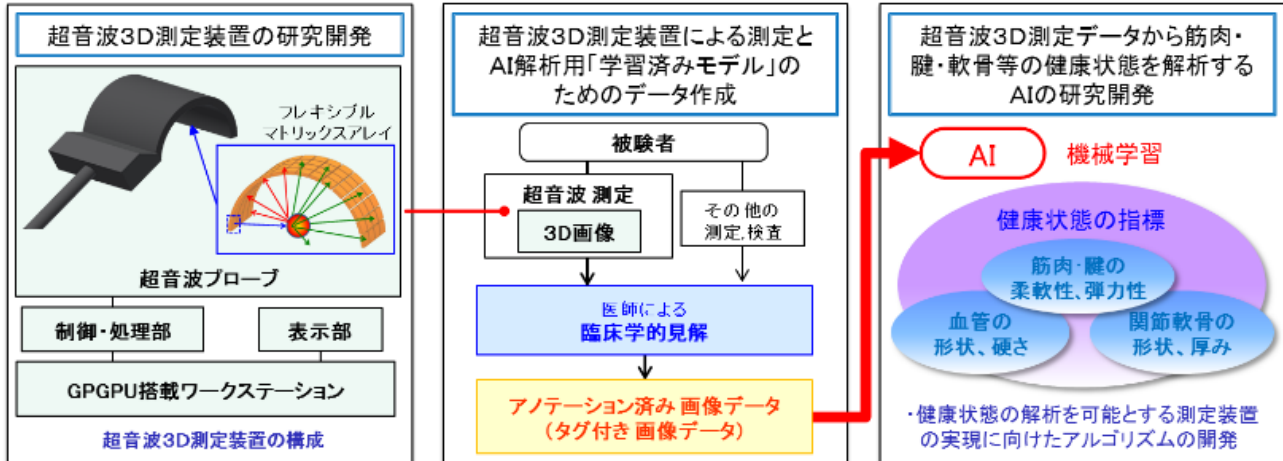


- Hen Egg Lysozyme を標的とし、VHH抗体ライブラリを用いた4 rounds のスクリーニングを遂行した。
- すべてのサンプルより、100万本以上(シーケンシングエラーやDNA変異の入ったデータをフィルタした後の値)の抗体配列の獲得を達成した。
- スクリーニング過程における、ライブラリからの抗体候補の選択過程のトレースに成功した(図 A, B)。
- 通常の実験では2種類の抗体(図 A矢印)以外は獲得が困難であったが、30以上の候補が獲得できた(図 B)。
- スクリーニング工程では、3 round 目での選択圧が他の round より高いことが確認され、実験パラメータへのフィードバックが可能であることが示された。

【A-4】平成 29 年度採択（先導研究）		
研究開発項目⑦ 次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発		
【A-4-1】「人工知能と超音波 3D 画像による筋肉・腱・軟骨等の健康状態測定装置の研究開発」 （委託先：株式会社 U. N. デカルト、再委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）		
先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
AI を実装した超音波 3D 健康状態測定装置の実用すること。	<ul style="list-style-type: none"> ・フレキシブルマトリックスアレイプローブの試作開発 ・3D 用信号処理システムの開発 ・3D 画像作成ソフトの開発 ・以上を統合した超音波 3D 測定装置の試作開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・フレキシブルマトリックスアレイプローブの設計着手 ・信号処理システムの要件検討中 ・3D 画像作成ソフトの要件検討中・装置の全体仕様を検討中 10% 達成
	<ul style="list-style-type: none"> ・フレキシブルマトリックスアレイプローブ超音波 3D 測定装置による測定 ・健康状態に関する情報（臨床学的見解）のアノテーション ・AI 解析用「学習済みモデル」のためのデータ作成 	未着手（29 年度での測定方法・データ作成方法について検討中。30 年度では、29 年度の方法をベースに再調整する。）
	<ul style="list-style-type: none"> ・超音波 3D 測定データから筋肉・腱・軟骨等の健康推定を可能とする測定装置の実現にむけてアルゴリズムの開発に着手し、プロトタイプシステムを試作し基本機能を確認する。 	未着手（29 年度での AI 学習用データの形式等を検討中。30 年度では、29 年度の内容をベースに再調整する。）

研究開発の内容

筋肉・腱・軟骨等の運動器官の健康状態を観察する超音波3D測定装置を研究開発し、この装置から取得される超音波画像データ及びそれらの臨床学的見解をタグ付け(アノテーション)したものを、人工知能(AI)で解析することにより、「学習済みモデル」を完成させる。そして、AIを実装した超音波3D健康状態測定装置を開発することで、高齢者等の健康状態の指標の構築と新たな健康関連産業の創出を目指す。



AIを実装した超音波3D健康状態測定装置の実用化

【A-4-2】「熟練スキルを搭載した知能ロボットの研究開発」 (委託先：国立大学法人東京大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社アールテック)		
先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
AI 搭載ロボット・システム	センサ付ツールを搭載した双腕マスタ・スレーブロボット・システムの開発を完了し、その動作を確認すること。センサ付ツールは、切り出し用のナイフとピンセットとし、カセンサを搭載する。医師がマスタを操作し、双腕で病理サンプルのモデルを切り出すことができること。	システムのプロトタイプ設計を開始した。達成度 5%。
	マスタの操作などを学習することによる知的ロボット制御のための AI を開発すること。医師がマスタを操作する動作を学習してロボットで再現するためのアルゴリズムを開発し、術具の自動誘導などの操作支援を実装すること。	未着手
熟練スキル AI	病理検体処理に関する熟練スキル AI が東京大学における大腸がんの病理検体の切り出しにおける熟練者と初心者の差異をスコア化できること。また、この熟練スキル AI を用いて、切り出しパラメータを決定できること。	教示に利用するデータの概要、形式を確認した。達成率 5%
	手技記録集積・処理クラウドシステムが 5 拠点以上接続して動作可能であるスケーラビリティを有していること。	セキュリティ対策につき概念設計を開始した。達成度 3%。
映像記録するパソコンシステム	1 回あたり最長 1 時間の試行を 2 カメラ以上で録画・再生できること、検体 ID、被験者 ID を記録すること。	最初の試作装置を試作した。達成度 20%

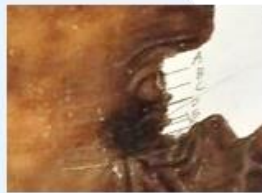
研究開発の内容

- ・「熟練スキルを搭載した知能ロボット」技術を「病理診断医が行う病理検体の切り出し作業の支援」に応用する知能ロボットを開発する。
- ・「形状や硬さなど特性のばらつきが大きく、柔らかい対象物のロボットによるハンドリング」に、「その作業を行う人間の熟練者に特徴的な動作や判断(=熟練スキル)を学んだAI」を応用する。
- ・他の熟練スキルの継承や自動化といった課題への展開が可能な汎用性、柔軟性を有する。

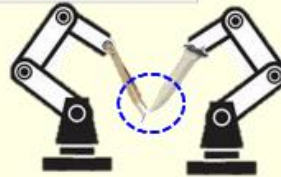
切り出し作業の記録
映像と音声を記録



アノテーションの記録
作業のポイント・
医学知を教示



AIによるリアルタイム画像処理
様々なサンプルで学習



マスタによる熟練スキル学習
様々な被験者で学習

スキルAI
作業映像を採点し、切
る位置を呈示するAI



ネットワーク対応
複数の病院のデータ収集、
クラウドで管理・処理

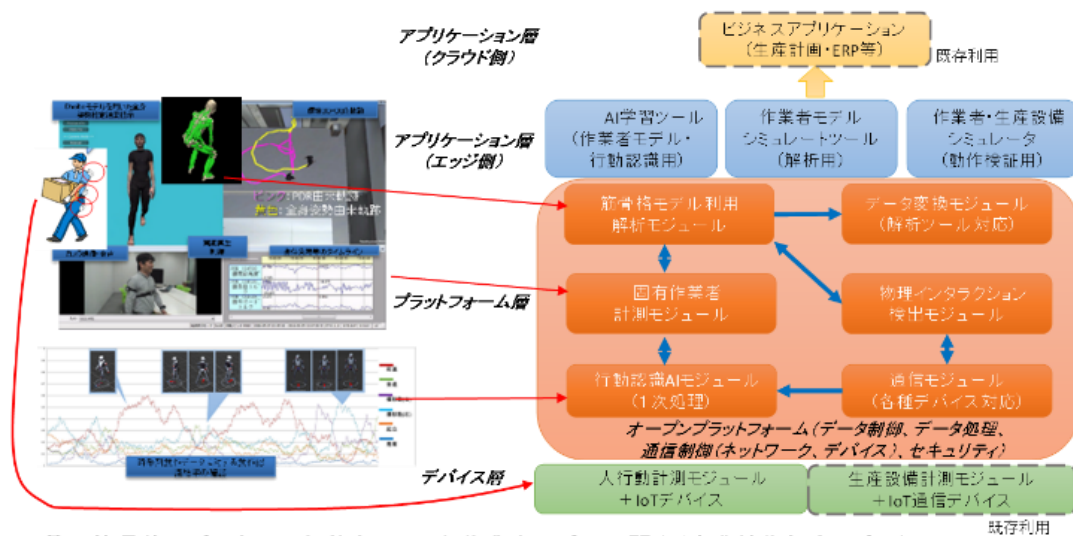
切り出しツール
切り出しツールの
ロボット化

汎用ロボ+専用ツール
他応用への展開

【A-4-3】「人・機械協働性生産のための人工知能を活用した作業モデル構築に関する研究開発」 (委託先：三菱電機株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
人・機械協働生産ラインデザインの構成要素・概念設計に関する調査検討	人・機械協働生産ラインをデザインするための構成要素や概念設計に関する調査検討結果及び研究開発仕様へ反映する。	構成要素・必要要件についての事前情報収集を実施中。
人間行動計測用 IoT デバイスを活用した固有作業計測システム開発	100g 以下の小型行動計測デバイスを開発し、作業計測システムのリアルタイム計測化を行う。	未着手
	移動軌跡の推定は、2m 以下の誤差（映像監視カメラの視野以内）で行う手法を構築する。	未着手
	最大の関節可動域に対して 15% 以下の誤差で全身の関節角度を推定する手法を開発する。	未着手
移動軌跡、全身姿勢、筋骨格モデルを用いた身体力学負担の推定手法の開発	ストリーミングされた測定データを用いて、必要精度を保ちつつ、リアルタイムで身体負荷、椎間板圧を推定し可視化ソフトウェアを実装する。	未着手
人工知能技術を用いた行動認識手法の開発	組立や搬送、計器の操作や機械装置の準備作業など、さらに詳細に分類した作業に対する 90% 以上の認識率の実現を目標とする。	未着手
機械モデルと作業モデルをデジタル空間で共存させる方法論の開発	生産設備と作業モデルが同一のシミュレータ上で動作するシステムを構築し、設定条件での検証実験により、カイゼン活動に要する時間（データ収集・工程検討等）について、30% 以上の削減効果を目指す。	未着手
作業活動データの収集・見える化技術の開発	対象とする生産設備・作業員に対して、状態モニタリングを行うセンサ類を用いた情報収集、並びに各種データ変換が正常に機能することを確認する。	未着手
人体的疲労度変化や効率への影響をシミュレートする技術の開発	人体疲労度の変化や生産効率への影響が考慮されない場合と本研究開発成果を適用した場合とを比較し、生産効率が向上することを、実証評価を通じて確認する。	未着手
人・機械協働生産を想定した統合実証システムの開発	グローバル研究拠点内に設置される生産設備・作業員も想定した検証内容を設定し、各研究開発項目を統合した検証を行う。検証では、人・機械の役割分担、疲れの少ない設備設定等によって本研究開発成果の適用前後で生産効率が向上することを確認する。	未着手
サービス業に拡大するための検討	サービス業拡大を想定した際の展開方法に関する検討内容を最終報告書に記載する。	未着手

研究開発の内容

「人」が主役となるものづくりにおける共通かつ基盤的な技術として、高精度な作業モデルの構築とそれを用いたシミュレート技術、さらに実世界のデータも同時に収集、見える化するためのオープンプラットフォーム技術の開発を行う。本研究開発では、個人差も考慮した詳細な作業モデルの実現するとともに、人工知能（AI）技術を用いることで、センサーの省リソース化を図った適応技術によるエコシステム化を狙う。さらに、システムをオープンプラットフォーム上に構築することで、日本のものづくりとしての強みを活かした生産システムとなることが期待できる。

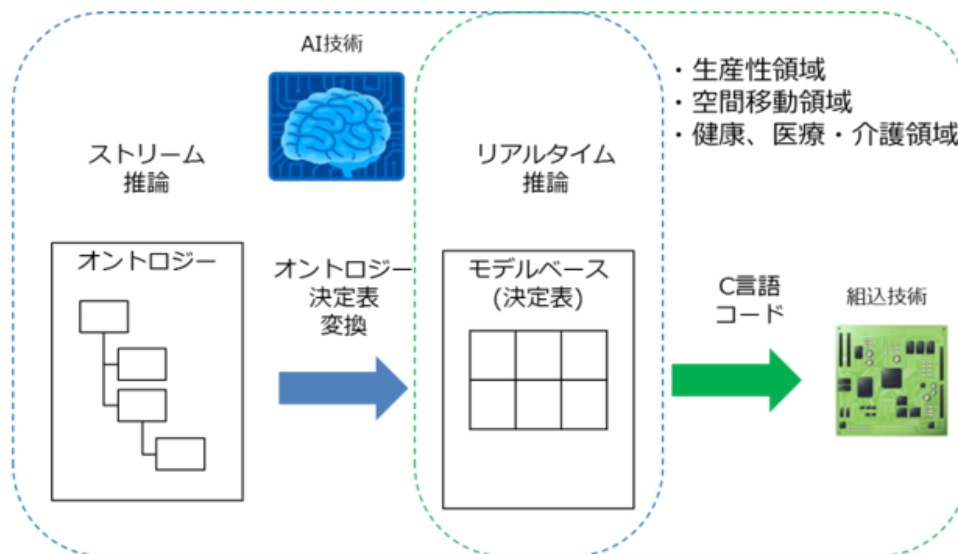


- ①人筋骨格モデルと人工知能を利用した作業モデルの開発(産業技術総合研究所)
- ②作業モデルをデジタル空間でシミュレートできる技術の開発(三菱電機)
- ③作業活動データの収集・見える化技術の開発(三菱電機)

【A-4-4】「オントロジー推論のリアルタイム処理を実現する組み込み技術の実現と安全・安心分野への応用」 (委託先：一般社団法人組み込みシステム技術協会、再委託先：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、国立大学法人九州工業大学、株式会社アトリエ、キャッツ株式会社)		
先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
オントロジー推論のリアルタイム処理実現	グローバル研究拠点での 3 種類の社会実装（先進運転支援システム、トマト収穫ロボット、高齢者移乗動作サポートロボット）に対応できる変換技術を確立	未着手
	ストリーム推論に対して 10 倍以上の処理速度向上	未着手

研究開発の内容

データ知識融合型AIであるオントロジーを用いたストリーム推論は説明責任を果たせるAIである（AIRC成果）。しかしながら本方式は推論機構の核であるオントロジー変換の負荷が高く処理時間がかかるという欠点をもっていた。本研究ではオントロジー変換機構を事前に決定表に置き換えることにより、ストリーム型の高速推論を実現することを目標とする。また、推論の性能は決定表を構成するオントロジータイプに依存すると考えられ、多様なオントロジーを評価し実用性を高める

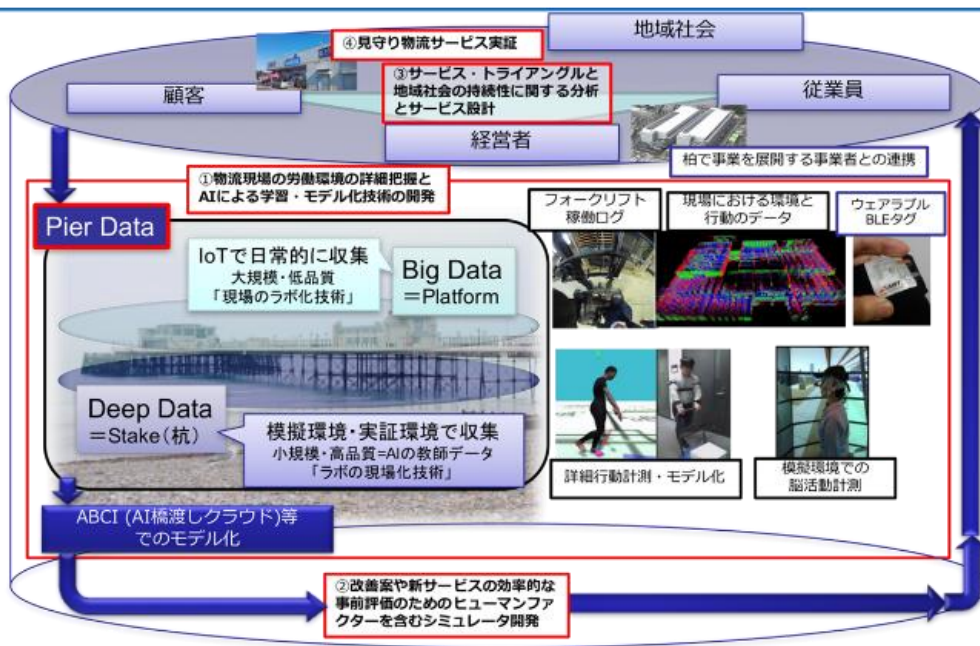


【A-4-5】「物流サービスの労働環境改善と付加価値向上のためのサービス工学×AIに関する研究開発」 (委託先：国立大学法人筑波大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学 人工工学研究センター)		
先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
①物流現場の労働環境の詳細把握とAIによる学習・モデル化技術の開発	スマートフォンもしくは計測専用センサーモジュールを用いる行動計測技術においては、計測対象となる現場の作業員のセンシングデータの欠損率3%以内で安定して計測する技術を構築する。	Android スマートフォン・計測センサーモジュールのRAW データの欠損問題をほぼ解決。今後、バッテリー対策やヒューマンエラー対策に取り組む。
	計測されたディープデータを用いて 90%以上の精度で作業状況を推定する技術を確認し、データラベリング作業を効率化する。	過去のプロジェクトで計測したデータを用い、既存手法での作業状況推定テストに着手。
	14000 人時以上のデータを収集し、ピアデータ基盤を試験的に構築する。	未着手
②改善案や新サービスの効率的な事前評価のためのヒューマンファクターを含むシミュレータ開発	現場改善と生産性に関する2種類以上の指標に関して、実環境における指標を誤差 5%以内で推定するシミュレータを構築する。	既存シミュレータの確認
③サービス・トライアングルと地域社会の持続性に関する分析とサービス設計	構築する物流サービスに係る顧客参加およびエコシステムのモデルを、物流サービスの見直しや設計に携わる関係者に提示し、バリューチェーンの変革に向けた3種類の指針を得る。	マルチステークホルダーアンケートの設計に着手
	既存の物流サービスを分析、あるいは新たな物流サービスを検討する際、それらに関わる顧客参加に内在するリスクを複数の水準で列挙できる手法を構築する。	同上
	前項で挙げたリスクを平成 29 年度に構築するエコシステム上のモデル上にマッピングし、それらの一部への対策を具体化する際、対策によって全体の構造がどのように変わるかを事前評価可能にする。	未着手
	②で開発したシミュレータを用い、シミュレーション上で現場改善・生産性・バリューチェーン変革に関するいずれかの指標を10%以上改善するプランを設計する。	未着手
④ 新バリューチェーン具体案実証(見守り物流実証)	実際の物流車両に計測システムを搭載し、継続的な(3ヶ月以上を予定)実証テストを終え、Technology Readiness Level を7(実環境における試作システムのデモンストレーション)以上にする。	未着手
	実環境における計測データから橋梁劣化損傷の評価を行い、軽度損傷以上と判定された全ての橋梁について橋梁管理者の協力のもと当該橋梁の詳細点検を行う。	未着手

<p>軽度損傷以上と判定された橋梁がない場合は、相対的に評価が悪い 10 橋について橋梁管理者の協力のもと当該橋梁の詳細点検を行う。そして、詳細点検の結果から、本技術の損傷見落とし率を 10%以下にする。</p>	<p>未着手</p>
<p>試作をするウェアラブルシステムを用いて実際の作業員に試用していただき、その実用性を検証するとともに健康や業務効率に関連する指標分析を実施し、そのフィードバックによる意識の変化についてインタビューを実施する。</p>	<p>ウェアラブルシステム試作のための調達手続き開始</p>
<p>屋外実験を実施し、実際に走行する車両からのウェアラブル BLE タグの検出率を 90%以上にする。</p>	<p>タグの屋外実験に向け、技適認証手続きを進めている。</p>

研究開発の内容

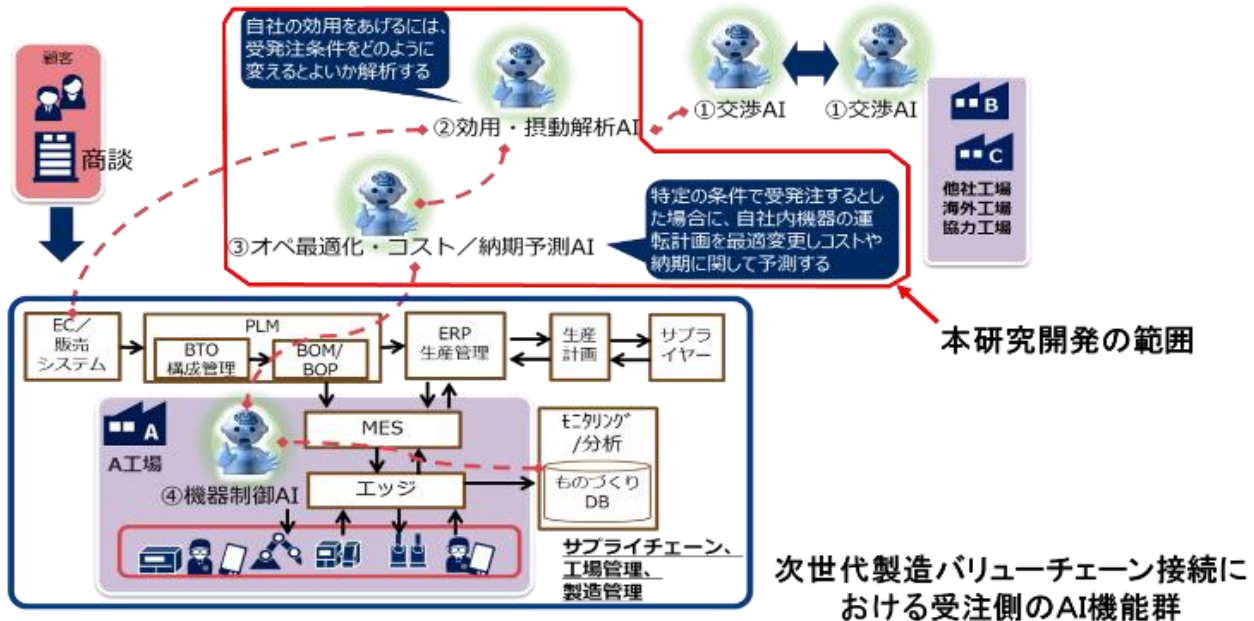
本先導研究では人工知能の研究開発に向けて、VR技術を用いた模擬環境と共同実施先の物流現場からの良質な現場データの取得を目的として、人工知能と融合させるサービス工学技術についての研究開発を実施する。これにより人工知能適用分野を情報サービスから物理的なサービスに拡張し、就労人口減少が懸念されていることが重要な社会課題となっている物流サービスの現場において、労働環境改善を通じた生産性の向上といった課題解決への貢献、およびわが国の産業が欧米等とのグローバル競争に伍していくことのできる技術の育成を目指す。



【A-4-6】「次世代製造バリューチェーン構築へ向けた人工知能の研究開発」 (委託先：日本電気株式会社)		
先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
(A) 工場想定 of 効用・振動解析 AI の開発	1) 交渉中に言及すべき/される可能性の高そうな受注条件の推測アルゴリズムの開発	未着手
	2) 当該受注条件の近傍における効用関数のモデル化手法の開発	未着手
	3) 効用関数の値、性質に関する推測アルゴリズムの開発	未着手
(B) オペレーション最適化・コスト/納期予測 AI 技術の開発	1) スケジューリング最適化と振動解析のためのアルゴリズム改善	未着手
	2) コスト最適化と振動解析のためのアルゴリズム改善を実施	未着手
(C) 全体アーキテクチャの設計	1) 対象とする「次世代製造バリューチェーン構築」のユースケース定義	2017年9月開催の IIC に参加し、検討を開始。
	2) シミュレータ上での仮想工場の構築	未着手
	3) 製造物仕様の定義	未着手
	4) 全体アーキテクチャの詳細設計	未着手
	5) 次世代製造バリューチェーン構築のシミュレーション検証	未着手
	6) 実験工場を利活用した実証実験計画の策定	未着手
	7) 現実に存在する問題への複数論点交渉技術の適用検討	未着手

研究開発の内容

- ・製造バリューチェーン構築の自動化・効率化社会を実現するため、複数会社間での受発注条件の自動交渉・合意・契約を可能とする新AI技術(受注側の工場等に必要)の研究開発。
- ・仮想的な複数の工場を想定した②効用・損動解析AIと③オペ最適化・コスト／納期予測AIの研究開発と、自動交渉によるバリューチェーン構築のシミュレーションベースでの検証。
- ・全体アーキテクチャ(対象とするユースケースの詳細定義、スマート工場の各種システムに散在する必要データの整理・マッピング・体系的収集システム的设计、上記AI群との統合)的设计。

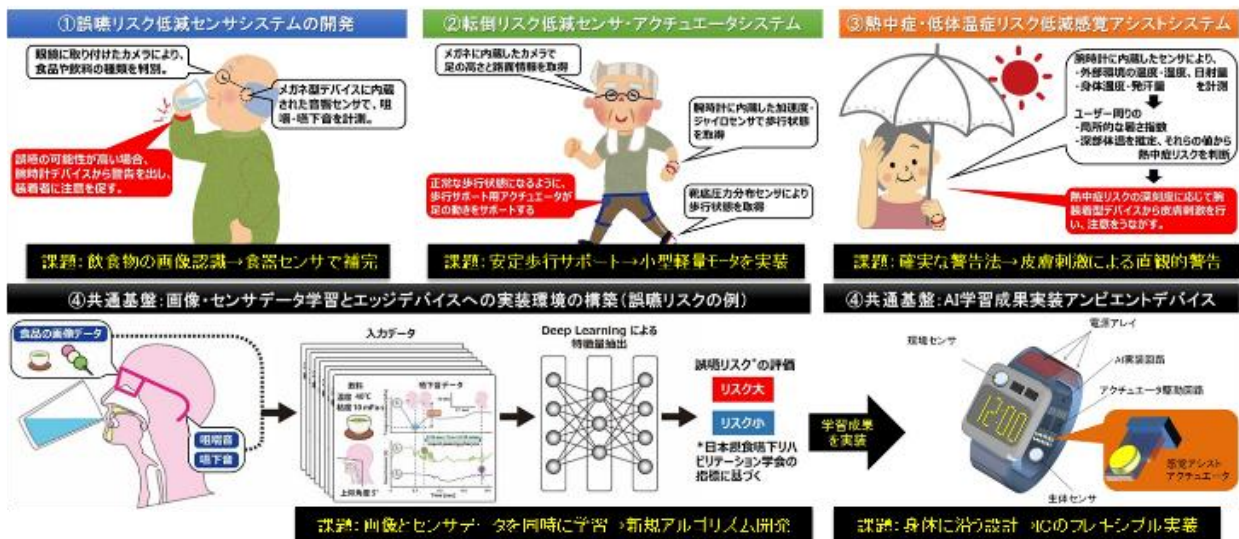


【A-4-7】「高齢者の日常的リスクを低減するAI駆動アビエントセンサ・アクチュエータシステムの研究開発」
 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学、セイコーインスツル株式会社)

先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
誤嚥、転倒、熱中症リスク低減システムのプロトタイプを試作	<ul style="list-style-type: none"> ・センサ時系列データの深層学習による誤嚥リスクの判別 ・飲食品画像から誤嚥リスクを提示するシステムの構築 ・メガネ型デバイスを用いた実証実験 	センサ及び画像データを学習するアルゴリズムの検討を開始した (2%)
	<ul style="list-style-type: none"> ・200種類の歩行データの取得と歩行推定するシステムの構築 ・転倒リスク軽減歩行サポートシステムのプロトの試作と評価 	歩行サポートシステム用アクチュエータ仕様を検討を開始した (2%)
	<ul style="list-style-type: none"> ・複数センサデータから暑さ指数と深部体温の推定を検証 ・複数段階のリスクを提示するアクチュエータのプロトを試作 	熱中症を推定するためのセンサデータの選定を開始した (2%)

研究開発の内容

視覚能力を補助するカメラ付き眼鏡、身体情報・周囲環境センシング能力を補助するセンサ、運動能力・皮膚感覚を補助するアクチュエータを、AIを実装したアンビエントなエッジデバイスにより統合・制御するシステムを開発し、誤嚥、転倒、熱中症のリスクを低減する
技術的革新性：①画像・センサデータ双方の深層学習、②眼鏡型、腕時計型デバイスに集約されたセンサとAI学習成果、③アクチュエータによるサポート



画像、センサデータの深層学習結果を腕時計に実装→警告、運動・感覚アシストによってリスク回避

【A-4-8】「ロボットをプローブとした高齢者の生活機能の計測・分析・介入技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、パナソニック株式会社、キング通信工業株式会社、再委託先：国立大学法人筑波大学)		
先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
IoT化されたロボット介護機器によるデータ収集システムを構築する。	①-1 利用するデータの選定およびアウトカム指標の検討	どのようなデータを取得すれば、利用者の健康維持、生活支援、あるいは、介護スタッフの介護負担軽減に貢献する有効な分析ができるかの検討を開始した。 (10%達成)
	①-2 IoT ロボット介護機器（屋外歩行支援）の開発	現行の歩行アシストロボットに搭載でき、サーバにデータ送信できるようなハードウェア構成の検討を開始した。(10%達成)
	①-3 IoT ロボット介護機器（移乗支援型）の開発	現行のリシヨーネPlusに搭載でき、施設内サーバにデータ送信できるようなハードウェア構成の検討を開始した。(5%達成)
	①-4 IoT ロボット介護機器（見守り支援型）の研究開発	現行のシルエット見守りセンサのファームウェアを改造して施設内サーバにデータ送信をする仕様の検討と、施設内サーバのシステム構成の検討を開始した。 (10%達成)
	①-5 IoT ロボット介護機器向けクラウドサーバの研究開発	AWS を利用しセキユアにデータを受信できるようなシステム構成の検討を開始した。 (5%達成)
データを収集し、分析・モデル化した上で、よりよい介入サービスの実現に利用する。	②-1 ロボット利用履歴データおよび高齢者の生活データの収集	未着手
	②-2 介護保険レセプトデータの収集	未着手
	③-1 生活データの分析とモデル化	未着手

②-2 介護レセプトデータの分析とモデル化

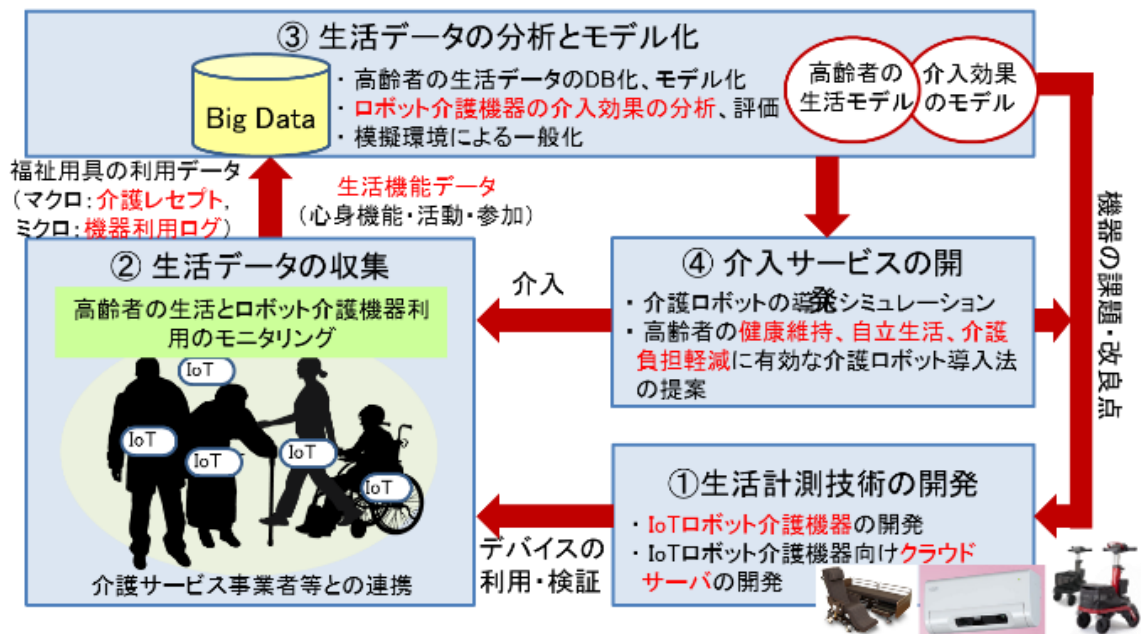
未着手

④ 介入サービスの開発

未着手

研究開発の内容

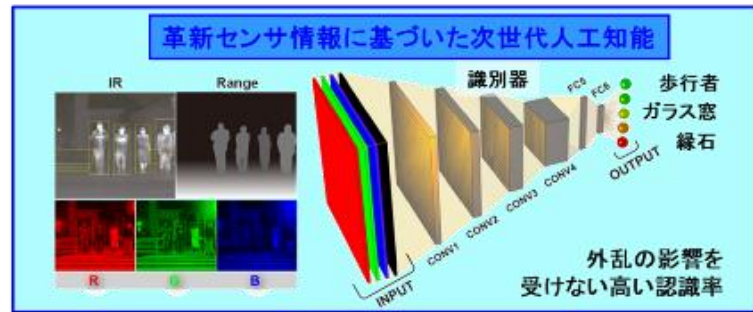
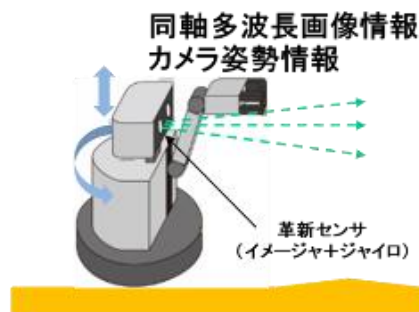
IoT化されたロボット介護機器を開発する。それを活用して生活を支援しながら、同時に高齢者の生活センシングのプローブ(探針)として利用し、生活データを計測・蓄積する。データに基づき、AI技術によりロボットを用いた適切な支援サービスを設計し、生活に介入し支援サービスを提供するという、PDCAサイクルの枠組みを構築する。



【A-4-9】「空間移動時のAI融合高精度物体認識システムの研究開発」		
(委託先：国立大学法人東京大学、オリンパス株式会社、国立大学法人電気通信大学、株式会社デンソー、国立研究開発法人産業技術総合研究所、一般財団法人マイクロマシンセンター)		
先導研究目標	先導研究目標に対する現状の達成度	
AI融合高精度物体認識システム：グローバル研究拠点における自律移動ロボットへの物体認識人工知能の実証実験の準備ができています	<p>①革新センサ情報に基づいた次世代人工知能</p> <ul style="list-style-type: none"> 歩行者の認識：日中検出精度 80%以上、夜間検出精度 70%以上を達成 可視光+中赤外光同軸カメラにより目標認識タスクに必要な十分な画像データセットの作成 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細研究計画の立案とメンバー間調整を完了 画像データセット収集準備に着手
	<p>②ブラズモニックワイドバンドイメージャ</p> <ul style="list-style-type: none"> Si 中赤外検出素子・ディスクリット画素選択回路・信号読出し回路で画素の S/N 特性や光検出感度などの基礎性能検証を完了 積層化によるイメージャチップ化のための必要項目洗い出しの完了 加工方法・計測方法を検討し Si 中赤外検出素子の暗電流を 1/10 以下 距離計測の要求機能の洗い出しを完了 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細研究計画の立案とメンバー間調整を完了 信号読出し回路開発のための、基礎検討に着手。 50Hz ノイズに埋もれずに光電流を高く S/N で計測可能な回路の試作完了 積層化についての技術検討に着手
	<p>③高精度分子慣性ジャイロ</p> <ul style="list-style-type: none"> カンチレバー素子と回路を組合せ、従来比較 10 倍以上の S/N 比向上 1 軸の円環の大きさ $\phi 20\text{mm} \times 3\text{mm}$ を目指した 3 軸小型ジャイロ素子の検討・試作を完了。3 軸方向の加速度感度を $0.001^\circ / \text{s/G}$ 以下 10 倍程度高感度で低ノイズのカンチレバー加工工程を確立し、さらなる高感度化技術を明確化する 	<ul style="list-style-type: none"> 詳細研究計画の立案とメンバー間調整を完了 カンチレバー高感度化に関する設計検討着手 1 軸ジャイロ用検出回路の仕様、構想検討に着手

研究開発の内容

1. 可視・赤外多波長画像/カメラ姿勢情報を入力とするAI融合認識システムを研究開発し、グローバル研究拠点での自律移動ロボットの物体認識人工知能の実証実験の準備を完了
 2. ロボット搭載可能な革新センサの実現可能性の検証。
 - 1) プラズモニックワイドバンドイメージャ(可視～赤外多波長画像を同一光軸で認識)
 - 2) 高精度分子慣性ジャイロ(カンチレバー型力センサにより回転力を高感度に検出)
- ⇒革新センサ情報をAI融合、高精度で正確・堅牢・高速な認識システムの実現可能性を検証



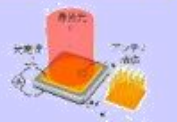
人工知能による物体認識

五感を超えた革新センサからの入力情報を活用する人工知能により、正確・堅牢・高速な物体認識システムを実現

- ① 可視から中赤外までの多波長画像により人などの発熱物、ガラスなどの透明物を認識
- ② 高精度分子慣性ジャイロで視線方向・画素の絶対座標をリアルタイムにズレなく計測認識。
- ③ 視線を変える能動的な認識(覗き込み)により認識能力がさらに向上

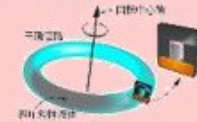
革新センサ

プラズモニックワイドバンドイメージャ



- ・Si基板上で、可視光から中赤外まで同一光軸の画像
- 多波長画像間ズレなし

高精度分子慣性ジャイロ

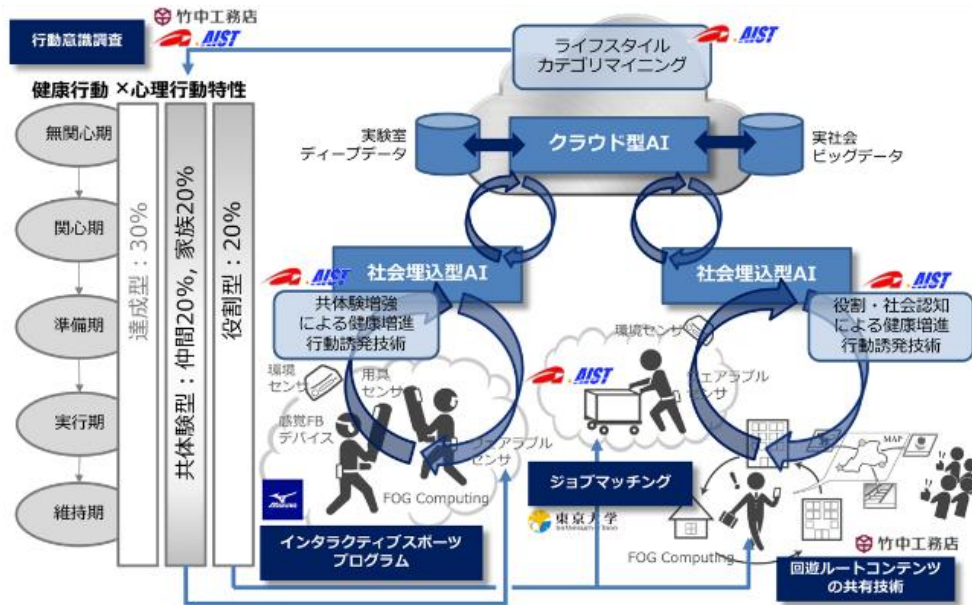


- ・3軸広帯域
- ・高感度かつ加速度の影響なし

【A-4-10】「健康増進行動を誘発させる実社会理込型 AI による行動インタラクション技術の研究開発」	
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、美津濃株式会社、国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター、国立大学法人東京大学人工物工学研究センター、株式会社竹中工務店)	
先導研究目標	先導研究目標に対する現状の達成度
<p>①インタラクティブスポーツプログラム</p> <ul style="list-style-type: none"> ・参加者の共体験の増強について、ゲーム中の参加者の心理状態をモニタリングする技術を開発 ・参加者のスポーツ障害リスク低減について、運動生成・シミュレーション技術を開発。 	<ul style="list-style-type: none"> ・健康モニタリング、共体験の心理状態計測のための計測技術を調査し、計測項目を整理した。 ・既存の筋骨格系シミュレーションモデルを用いて、運動強度を変化させるシミュレーション技術を開発した。今後、筋骨格系への負担分析から、運動強度変化がもたらす障害リスク評価を行う。
<p>②ジョブマッチングと健康モニタリング</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ジョブマッチングシステムと健康モニタリングデータの連動によるジョブデザイン 	<ul style="list-style-type: none"> ・ウェアラブルセンサなどで計測可能な健康モニタリングの指標と、ジョブに求められる健康状態指標を既存文献等で調査、整理した。
<p>参加者の 10%に持続的な健康増進行動を起こさせること</p> <p>③回遊ルートコンテンツ共有技術</p> <ul style="list-style-type: none"> ・センサデータから、健康度、歩き方の美しさや転倒リスクを指標化する。 ・回遊ルートコンテンツとともに、上下移動（階段、坂道）の負荷、健康指標を Web 共有できるシステムの開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・産総研ですでに蓄積してきた歩行のディープデータから、部分的なセンサデータに基づいて転倒リスクを評価する数理モデルを開発した。今後、歩速などから健康度（フレイル）を評価するモデルの開発に進む。 ・上下移動を計測し負荷を評価するため、3種類の上移動用階段を作成した。今後、運動計測実験を進めていく。
<p>④健康増進に関する行動意識調査・心理行動特性の意識調査を実施</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・先行文献、産総研で独自に実施した定性調査などから、定量調査を進めるための心理行動セグメント仮説を検討した。これに基づいて、今後、定量調査設計を行い、調査を委託する。

研究開発の内容

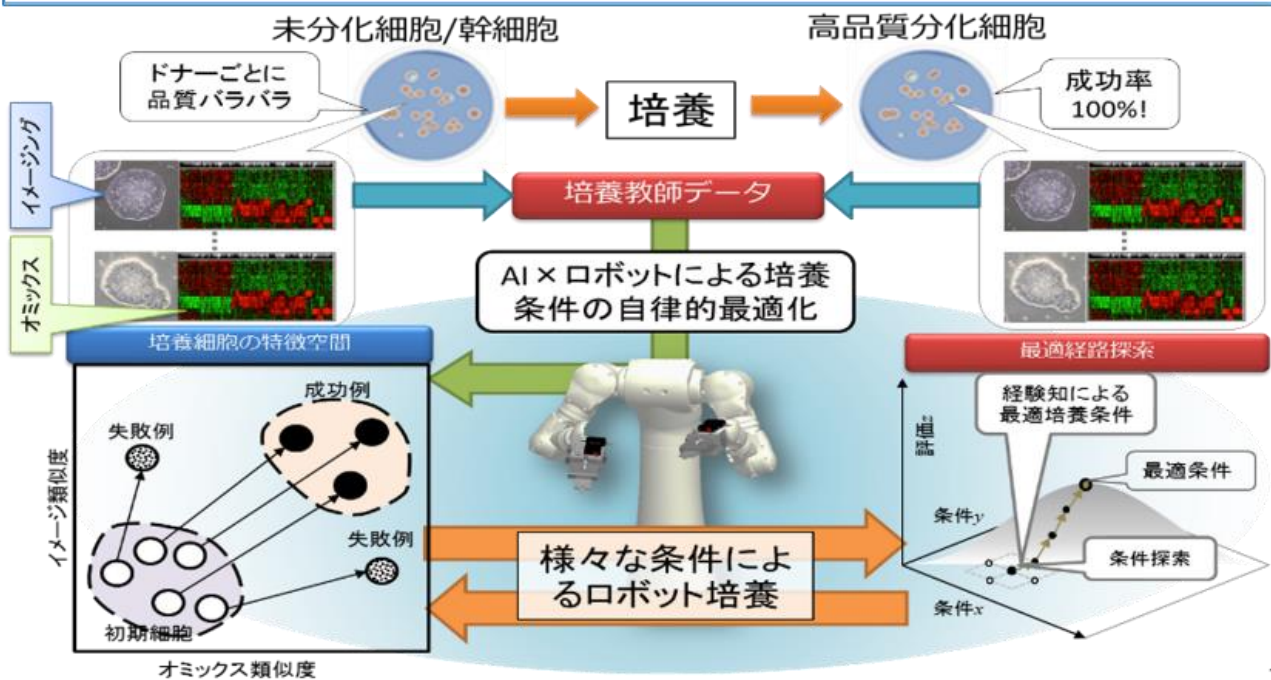
仲間と楽しい共体験を得たい、社会で役割を得て認知したい、家族との楽しい共体験がたい、という3つの心理行動セグメントに属する生活者の健康増進行動を変容させるための行動インタラクション技術を開発し、健康モニタリング技術と連携させ「健康以外の動機づけによる個人の身体活動の持続と健康増進」を両立させるシステムを実現する。そのシステムを、柏市などの地域で実証し、参加者に健康増進行動が誘発されるか、持続的に定着するかを検証を行う。最終的に参加者の10%に持続的な健康増進行動を起こさせることを本研究の数値目標と設定する。



【A-4-11】「AI×ロボットによる高品質細胞培養の自動化とオミックスデータの大規模取得」		
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、Axcelead Drug Discovery Partners 株式会社、 再委託先：国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人東京大学)		
先導研究目標	先導研究目標に対する現状の達成度	
イメージングデータからの特徴抽出技術の研究開発	培養前後のイメージングデータを取得する。	未着手
	経験的な最適培養条件の近傍条件における培養前後のイメージングデータを取得する。	未着手
	培養前後の細胞を区別できるイメージング特徴を抽出できる。	未着手
オミックス大規模データからの特徴抽出技術の研究開発	培養前後のオミックスデータ（トランスクリプトームおよびプロテオーム）を取得する。	未着手
	経験的な最適培養条件の近傍条件における培養前後のオミックスデータを取得する。	未着手
	培養前後の細胞を区別できるオミックス特徴を抽出できる。	未着手
最適条件探索を自律的に行うロボット基盤技術開発	機械学習による最適培養条件探索アルゴリズムを自律的に実行できるロボットシステムを構築する。	未着手
	ロボットによる培養実験を行い、どの細胞が「山登り法」で扱うことが容易であるか評価する。	未着手
	ヒト株化細胞1種を選択し、ロボットによる自律最適化が実現可能であるかを検証する。	未着手

研究開発の内容

人工知能によって細胞培養の最適条件を自律的に探索可能にするAI自律型細胞培養プラットフォームを構築する。
AIによる認知とロボットによる自動化によって、人間が極力介在しない自律的なバイオ実験プラットフォームを構築しようというところに新規性がある。



【A-4-12】「AI 活用による安全性向上を目指したスマートモビリティ技術の開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
静的危険環境認識技術、動的障害物回避技術、高精度マーカによるシームレス測位システムにより、パーソナルモビリティの安全性向上を実現すること。	画像による平坦路面識別、歩車道識別に関して、学習に用いていない画像で識別率 95% 以上を実現。	未着手
	設定環境 (50 m ² 内で 10 人が歩行速度で行動) での回避成功率に関して、実環境における 90%以上の成功率を実現。	未着手
	高精度マーカを 10m 離れた位置から観測した際の、カメラの絶対位置・姿勢 (地球上) 推定精度に関して、屋内外のあらゆる照明条件下において、誤差 10 cm・1deg 未満の精度を実現。	未着手

研究開発の内容

大量の外界センサデータ(画像、レンジデータなど)、実環境における多数の歩行者に対する大量の回避行動をAIが学習することで、現在のセンサ情報処理技術では認識困難な危険事象を、安価なカメラのみで認識・回避する技術を開発。さらに、これらのデータセットに必要な高精度位置認識を支える技術として、安価なマーカによる高精度測位技術を開発し、これらの開発した技術については実際の都市空間において公道走行実証実験を行うことで実用可能性を検証。



【A-4-13】「人工知能技術を用いた植物フェノミクスとその応用に関する先導研究」

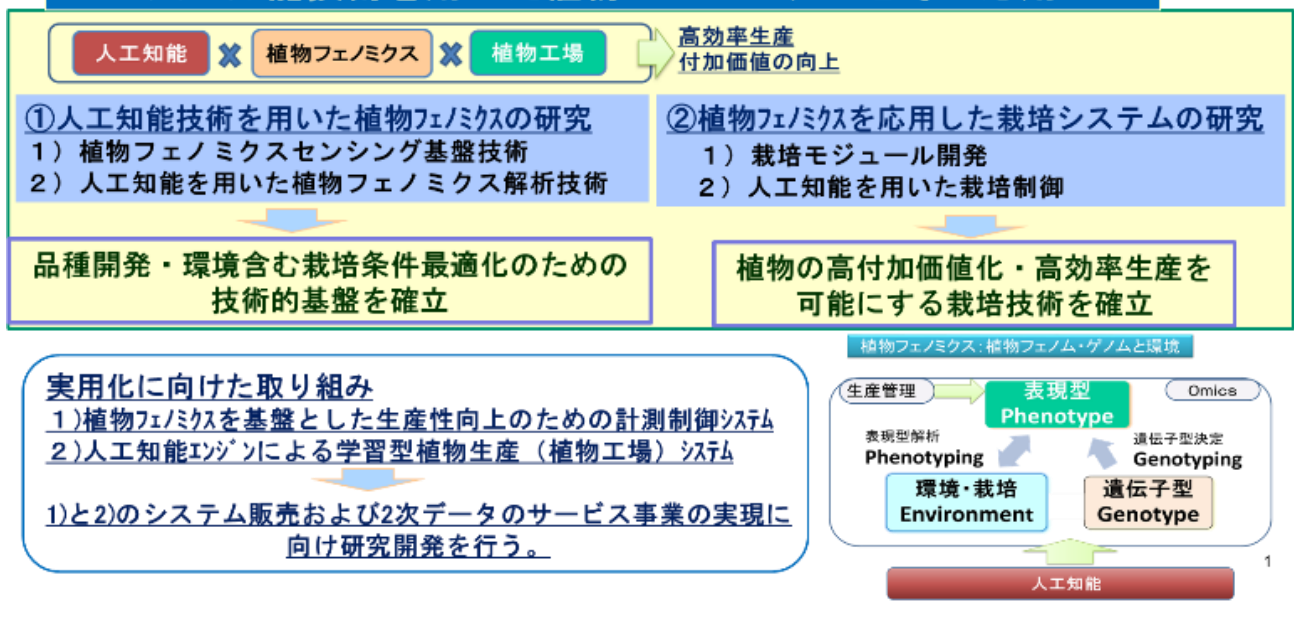
(委託先：特定非営利活動法人植物工場研究会、国立研究開発法人産業技術総合研究所、鹿島建設株式会社、国立大学法人千葉大学)

先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
人工知能を用いた植物フェノミクス研究基盤を確立すること	植物フェノミクスセンシングユニットを用いた実験、センシング基盤の開発	未着手
	植物フェノミクスセンシングユニットを用いたデータ収集	未着手
	植物フェノミクスを応用した栽培システムの開発	未着手

研究開発の内容

人工知能技術を用い、高度な環境制御が可能である植物工場をベースに植物フェノミクス研究基盤を確立することを目標とする。①人工知能技術を用いた植物フェノミクスの研究、②植物フェノミクスを応用した栽培システムの研究を行う。人工知能を用いた植物フェノミクス研究を通じ生育状態を精密に把握し栽培環境を最適制御することで、高付加価値植物の高効率生産に資する技術を確立する。また、将来的には、本格研究にて品種開発の高速化、付加価値と生産効率が高い開発品種の競争力強化、人工知能による高効率生産技術の確立、人工知能を活用した生産～消費チェーンの最適制御による効率化などを目指す。

人工知能技術を用いた植物フェノミクスとその応用



【A-4-14】「コンビニ等の店舗内作業を対象としたAI×ロボティクスによる高度マテリアルハンドリング・システムの研究開発」 (委託先：株式会社豊田自動織機、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学)		
先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
①高度マテハン・システムに関する市場ニーズと有望アプリケーション、およびシステム要件の明確化	コンビニエンスストア店舗内作業に留まらず、各種作業分野における高度マテハン・システムに対するニーズと、求められるシステム要件を広く調査検討し、開発内容と目標を明確にする。	未着手
②-1 セマンティック SLAM を用いた地図生成技術の開発	(1) 商品棚の配置がわかる地図	未着手
	(2) 各商品棚の棚板の高さと奥行きがわかる地図	未着手
	(3) 各棚上の物品の種類がわかる地図	未着手
②-2 深層学習を用いた移動認識技術、移動経路計画技術の研究開発	人などの動的な障害物や地図上にない障害物にぶつかることなく、店舗内の目的の場所に、位置、姿勢共に、操作するマニピュレータの動作範囲内の10%の誤差に位置決めすることを目標とする。	移動プラットフォームの検討を開始した。5%達成
③-1 把持対象物の選択技術、姿勢推定技術を活用した高度操作スキルの研究開発	把持対象物に対し、エンドエフェクタとなるハンドの開閉範囲10%以内に位置決めを可能とすることを目標とする	未着手
	本格研究での実証に向け、コンビニ内で特に入れ替えが多い商品を抽出し、それぞれの形状データベースおよび把持戦略を共有化できる仕組みとしてのフレームワークを構築する。	未着手
③-2 機械学習を利用する双腕マニピュレーション技術の研究開発	(1) 片手、両手操作の必要性学習機能の構築	未着手
	(2) 商品種ごとの操作条件に基づくマニピュレーション	未着手
	(3) 力操作情報の学習機能を利用する双腕マニピュレーション	未着手
④ 機械学習を利用する双腕マニピュレーション技術の研究開発	(1) 全体運用システム構想	未着手
	(2) コンビニ実証環境での運用管理システムの構築、検証評価	未着手

研究開発の内容

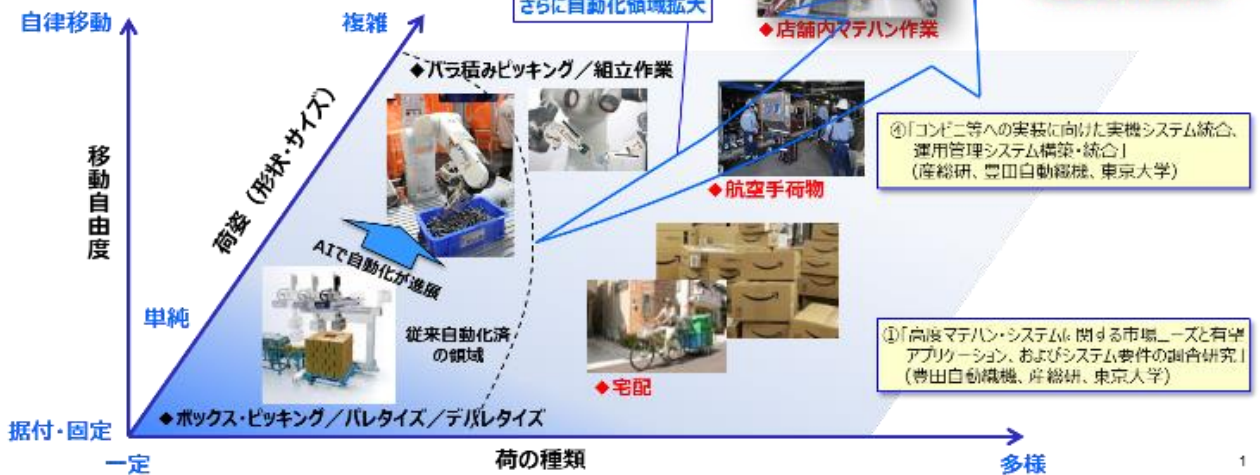
人工知能を自律移動とマニピュレーションの両者に適用・統合し、それらを実装したロボットにより、多種多様な物品を扱うことのできる高度なマテハン・システムの研究開発を行う。コンビニエンスストアという自動化難易度の高い環境を想定することで、店舗内作業以外の物流分野や介護・福祉など物流以外の作業分野にも展開可能な開発成果を得ることが期待できる。さらに市場ニーズ調査と有望アプリケーションの検討を行って実用化エリアの優先順位を見極める。

- ①-1 「セマンティックSLAMを用いた地図生成技術の開発」(東京大学)
- ①-2 「深層学習を用いた移動認識技術、移動経路計画技術の研究開発」(産総研、豊田自動織機)
- ②-1 「把持対象物の選択技術、姿勢推定技術を活用した高度操作スキルの研究開発」(産総研、豊田自動織機)
- ②-2 「機械学習を利用する双腕マニピュレーション技術の研究開発」(東京大学)



◆総合EC倉庫 (Walk & Pick)

◆店舗内マテハン作業



【A-4-15】「イノベーション・リビングラボの先導研究」 (委託先：学校法人東京電機大学)		
先導研究目標		先導研究目標に対する現状の達成度
学習活動から得られるセンサ情報をもとにして、その活動状況の評価を行い、指導者へ提示する。	個人・グループの行動・相互作用モデルの構築	未着手
	環境計測データ、個人行動データの取得	未着手
	パフォーマンス評価指標	未着手
	機械学習システムの完成バージョン構築	未着手
	グループ活動状況の評価・予測	未着手

研究開発の内容

教育方法としてのアクティブラーニング(能動的学習)が注目される中で、その一環として学習者がグループを作り、その中でグループディスカッションや共同作業を行うことが必要とされている。その一方、情報技術による学習支援としては、多くの場合一斉授業や逆に個人学習の形にフォーカスしたものが大半であり、グループによる活動を積極的に支援するものが少ない。本研究プロジェクトにおいては、学習者それぞれにセンサーをとりつけ、学習中の身体の動きや生体情報、学習者間の相互作用などを取り込み、それに合わせた学習支援を可能とするイノベーション・リビングラボを創造する。これにはセンサ技術のほか、センサから得られる大量のデータをもとに学習状況を把握し指導者に伝える人工知能システムの構築が必要である。これらのセンサシステム、人工知能技術ならびに学習者の相互作用モデルやパフォーマンス評価指標の構築を、本研究における達成目標とする。

研究内容の概要

下記3種類の学習形態における環境、生体、行動のセンサ情報、及び学習者のプロフィールデータを取得。学習に影響する因子について機械学習し、将来を予測する。学習活動へリアルタイムなフィードバックループ確立する。

【学習形態】

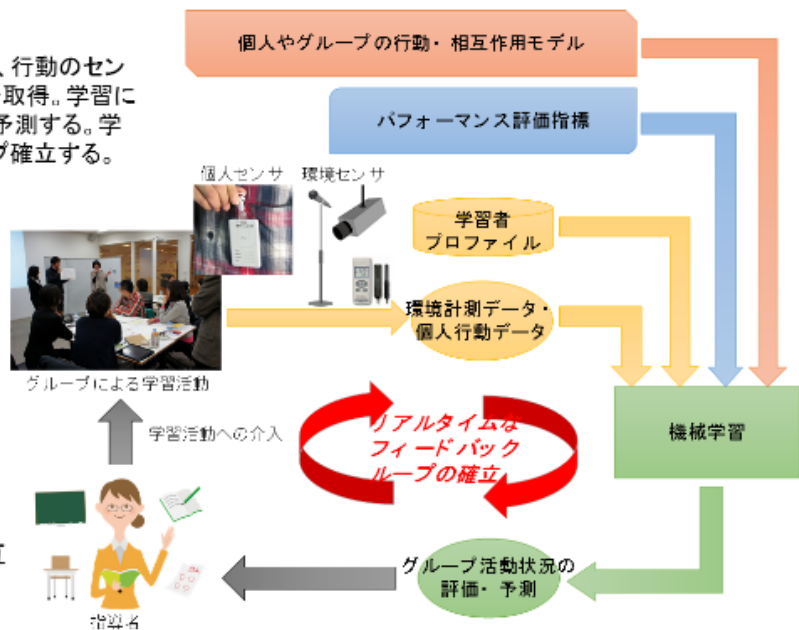
- グループディスカッション
- ポスターセッション
- 一斉学習

【センサ情報(予定)】

- 環境系：室温、湿度、CO₂濃度 等
- 生体系：呼吸、体温、発汗、眼電位 等
- 行動系：人の位置、向いている方向、会話、動き 等

【AIシステム】

- 入力：センサ情報と学習者プロフィール等
- データ識別：個人やグループの行動・相互作用モデルの構築
- 出力：グループ活動の状況

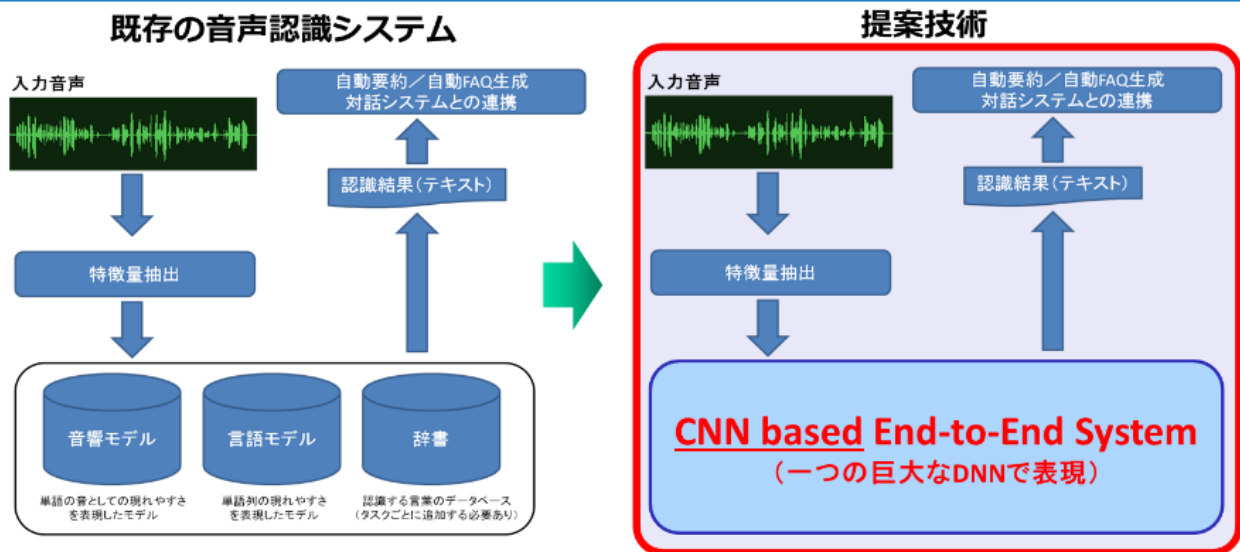


【A-5】平成29年度採択（調査研究）＜AI コンテスト方式＞		
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発		
研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発		
研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発		
【A-5-1】「多様話者・多言語に対応可能な“End-to-End 音声認識 AI”の実用化」 (委託先: Hmcomm 株式会社) <最優秀賞>		
調査研究目標		調査研究目標に対する現状の達成度
多様話者・多言語に対応可能な“End-to-End 音声認識 AI”の実用化	音声から直接認識結果を出力する End-to-End システムの実用化	未着手
	耐ノイズ性能と認識精度向上のための CNN の音声認識への適用	未着手

研究開発の内容

近年、Deep Neural Network(DNN)の利用により音声認識システムの精度が飛躍的に向上している。しかしながら、既存システムの多くは「音響モデル」、「言語モデル」、「発音辞書」からなる複雑なモジュールで構成されるとともに、言語的資源・知識が不可欠なため、開発・導入コストの増大が課題となっている。

本研究では、Convolutional Neural Network(CNN)を用いたEnd-to-Endシステムの導入によってこのような課題を克服し、認識精度を犠牲にすることなく、多様話者・多言語に対応可能な低コストな音声認識システムを実現する。



言語モデル、辞書作成・追加が不要に！

【A-5-2】「人工知能による診療科推論等の調査研究」 (委託先：AR アドバンステクノロジー株式会社、株式会社島津製作所) <優秀賞・審査員特別賞>		
	調査研究目標	調査研究目標に対する現状の達成度
人工知能による診療科推論等の調査研究	人工知能アルゴリズムの開発	未着手
	初診受付機（筐体） ユーザーインターフェースの開発	未着手

研究開発の内容

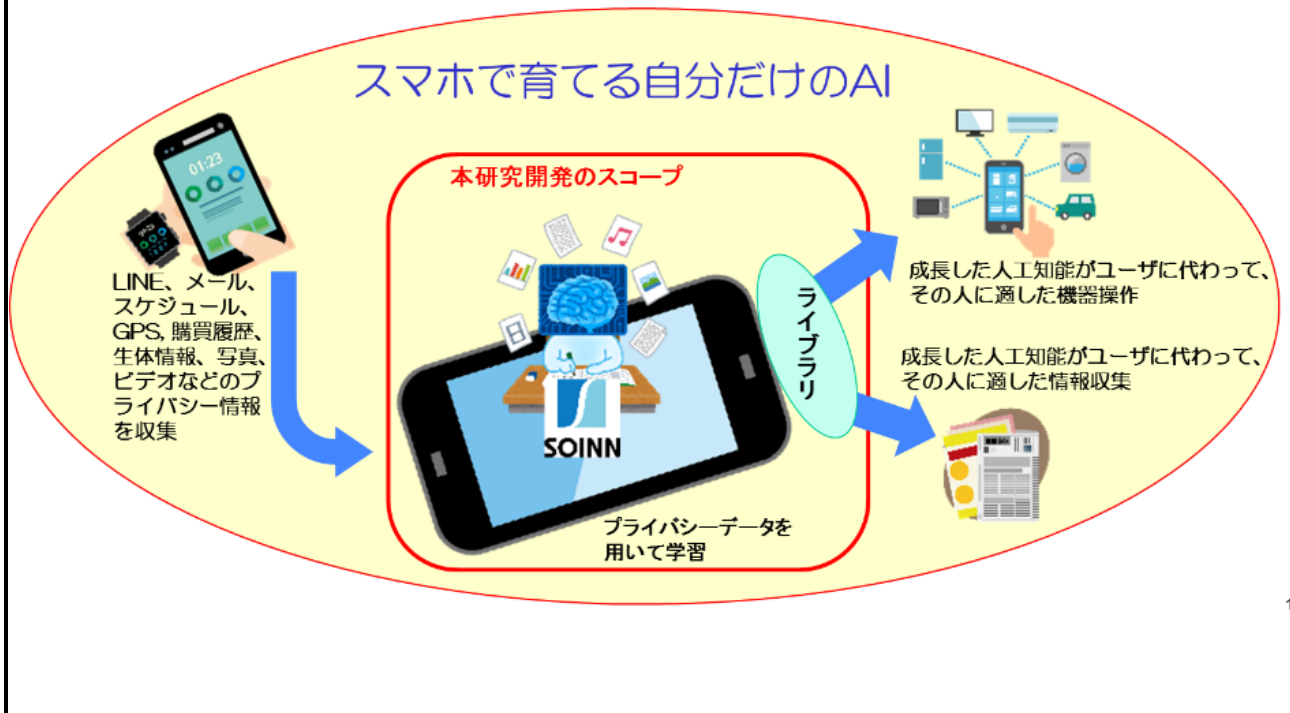
AIが外来患者の問診情報を対話的に取得し、そこから推測される適切な診療科への誘導を行うことで、待ち時間の短縮による患者負担軽減、外来回転数の向上及び医療事務の効率化による病院の黒字化達成を実現させるクラウドAIシステム。今後、筐体での入力だけではなく、タブレット等にも対応し、地域連携システムの一部としても活用を検討



【A-5-3】「スマホで育てる日本発個人向け人工知能」 (委託先：SOINN 株式会社) <優秀賞・審査員特別賞>		
調査研究目標		調査研究目標に対する現状の達成度
スマホで育てる日本発個人向け人工知能	スマホ上でプライバシーを守りつつ自分専用にて育てられる人工知能の開発	未着手
	人工知能ライブラリの開発	未着手

研究開発の内容

現代社会において最も個人の情報を集約するデバイスであるスマホ上で、特許技術「人工脳 SOINN(ソイン)」を育て活用することにより、プライバシーを守りながら個人に最適化されたサービスを提供することを目標とする。この取組により、現状高コストな技術である人工知能を誰もが安心安全に享受できる社会を目指す。
上記に向けて、本研究開発ではスマホ上で動く機械学習ライブラリの作成、並びに、同ライブラリを用いた実証実験を行う。



【A-5-4】「深層学習を利用した対話型インターフェースによる非構造化データ検索の調査研究」

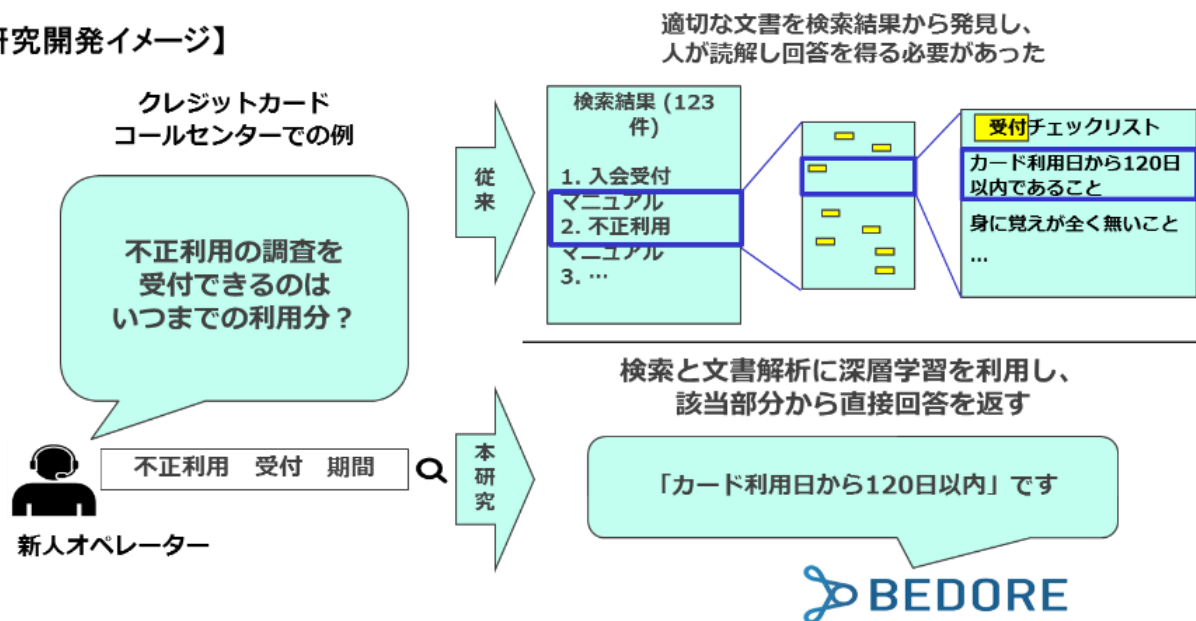
(委託先：株式会社 BEDORE) <優秀賞・審査員特別賞>

調査研究目標		調査研究目標に対する現状の達成度
深層学習を利用した対話型インターフェースによる非構造化データ検索の調査研究	深層学習によるセマンティックな検索ができる全文検索エンジンを搭載した情報検索システムの開発	未着手
	コールセンターのオペレーター向け社内検索システムの研究開発	未着手

研究開発の内容

現代の知的労働者は労働時間の多くを情報の検索に費やしている。原因の1つに多くの社内検索システムのアルゴリズムがウェブ検索などと比べ最適化されていない点が挙げられる。本調査研究では、深層学習を応用した対話的な検索システムを構築し知的労働者の生産性の向上を目標とする。また、質問応答アルゴリズムを導入することで、事前に人手で知識を整備しなくても、簡単な質問にはシステムが直接ドキュメントを解析して回答を返すことを予定している。

【研究開発イメージ】



【A-5-5】「五感 AI カメラの開発」

(委託先：アースアイズ株式会社) <審査員特別賞>

調査研究目標		調査研究目標に対する現状の達成度
五感 AI カメラの開発	人の動作標本の集積	未着手
	AI 予知システムの構築	未着手
	上記「AI 予知システムの構築」の手法として、動作解析から異常行動を推測して突発事故を予知する知能構築	未着手

研究開発の内容

画像解析、音素解析、音源探知、嗅覚センサー等、ヒトの五感に代わるセンサーと人工知能による解析を組み合わせ、事故・事件の予防抑止に役立つシステムを構築します。まずは、小売業の万引き対策を含めた店舗のAI化を目指します。本事業では、3次元で集積される膨大なデータから不審行動のみを抽出し、効率のよくデータ処理が可能となるよう研究開発を進めてまいります。



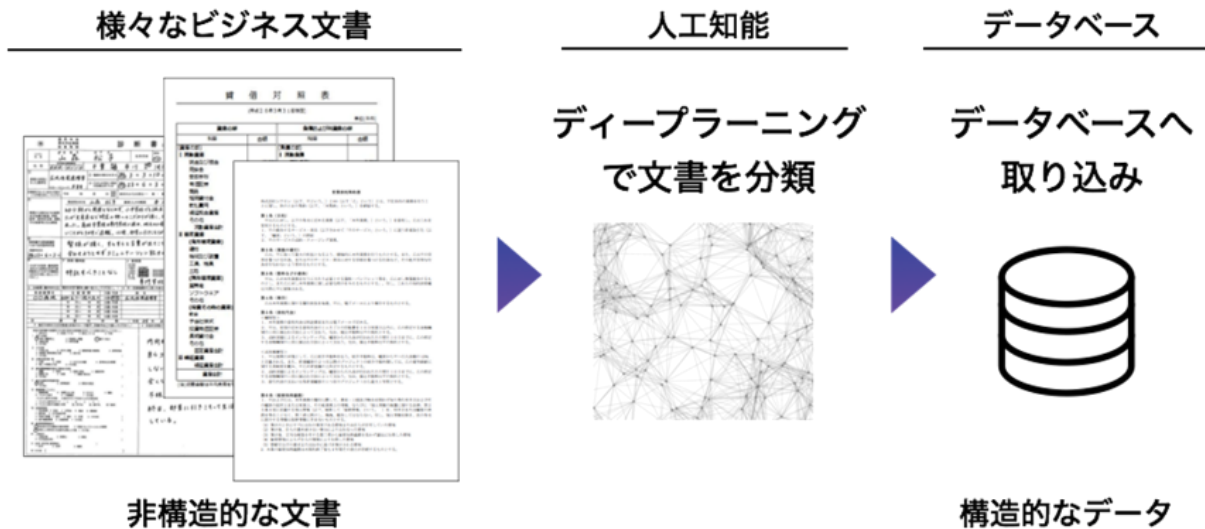
【A-5-6】「契約書関連業務における抜本的バックオフィス改革人工知能の調査研究」

(委託先：株式会社シナモン) <審査員特別賞>

調査研究目標		調査研究目標に対する現状の達成度
契約書関連業務における抜本的バックオフィス改革人工知能の調査研究	契約書を人工知能エンジンにアップロードするだけで重要論点の整理と抽出を行う機能の研究開発	未着手
	上記の手法として、ディープラーニングを活用した文章分類技術と論点把握技術の組合せに係る研究開発案	未着手

研究開発の内容

契約書関連業務における抜本的バックオフィス改革人工知能の調査研究。
 契約書は否定形かつ非構造的な文書であり、適切な論点と正確に抽出するという技術は実用化まで至っていない。この技術課題を以下の方法で解決する。
 ディープラーニングを活用した、1) 文章分類技術、2) 論点把握技術、を組み合わせ、契約書を人工知能エンジンにアップロードするだけで重要論点の整理と抽出を行う機能を実現する。



B. 革新的ロボット要素技術分野

研究開発目標		成果	達成度
【B-1】平成27年度採択①（先導研究→研究開発）			
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）			
【B-1-1】「人検知ロボットのための嗅覚受容体を用いた匂いセンサの開発」 （委託先：国立大学法人東京大学、住友化学株式会社、地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所）			
先導研究目標		研究成果	達成度
飽和蒸気圧下の汗の匂い分子（1-octen-3-ol）の安定的な検出を実現する。	安定で再現の良い匂いセンサシステム	脂質二重膜へのプロテオリポソーム融合を用いて、嗅覚受容体を脂質二重膜に組み込み、再現良く1-octen-3-olに反応する系のチップ化に成功した。	達成
	汗の匂いセンサとして最適な受容体	汗の匂いを検出する蚊の嗅覚受容体を選抜し、さらに遺伝子改変により、嗅覚受容体の高感度化を行った。細胞で発現・精製した嗅覚受容体を脂質二重膜に再構成し、1-octen-3-olに対して特異的な応答を示すことを実証した。	達成
	匂い分子を空気中から直接検出する機構	脂質二重膜を形成する液相にハイドロゲルを用いることで、鼻中の粘膜を模倣し、空気中の匂い分子が直接、嗅覚受容体に届く系を立ち上げた。	達成
最終目標		研究開発成果	達成度
1-octen-3-olを空気中から連続的に検知し、多段階の濃度に反応するセンサを実現する。	受容体の最適化・匂い分子輸送機構改良による高感度化	さらに高感度な嗅覚受容体を構築するため遺伝子改変を継続中。ハイドロゲルによる匂い分子の取り込み機構を引き続き改良する。	60%
	動的な匂い分子モニタリング	再現性の高い定量検知に向けて各種条件の最適化を進めている。匂いの定量検出に向け、嗅覚受容体の安定化体作製および生産法の確立を実施中。	50%
	ロボットへの出力機構	1-octen-3-olの有無を1段階で検知し、ロボット動作への変換に成功。多段階の1-octen-3-olの濃度変化を識別する機構の開発を進めている。	50%

研究開発の成果

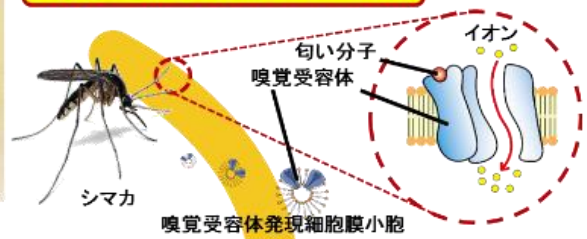
嗅覚受容体を人工細胞膜に再構成し、飽和蒸気圧下のオクテノール(ヒトの汗に由来する匂い)を安定して特異的に検出する系を構築した。嗅覚受容体の遺伝子改変による高感度化、気中から直接匂い分子を取り込む機構の開発を行い、センサのチップ化・無線化を実現した。移動ロボットへのセンサ搭載を試験し、当初の目標以上に開発が進展した。

匂いへの応答と移動ロボットの連動

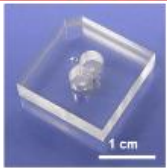
増幅器一体型の無線システム



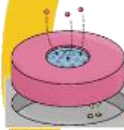
蚊の匂いセンサの精製・高感度化



センサのチップ化



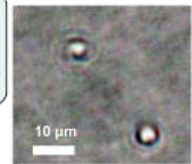
匂い分子



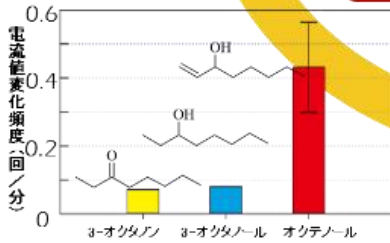
人工細胞膜へのセンサ組み込み技術を開発



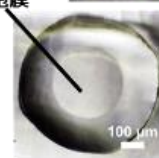
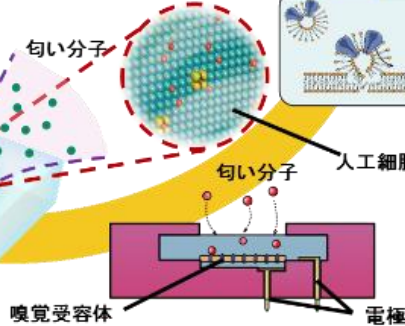
細胞膜小胞



特異性を検証



気中の匂い分子の直接検知を達成



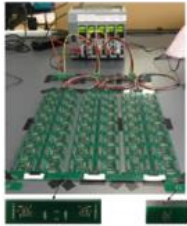
【B-1-2】「次世代ロボットのためのマルチセンサ実装プラットフォーム」 (委託先：国立大学法人東北大学、共同実施先：学校法人名城大学)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
マルチセンサに対応可能な実装プラットフォームのコンセプト実証と課題抽出	<p>触覚センサ用の既存インターフェースLSIを用いたネットワークプラットフォームにおいてその有効性を実証実験</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・「多様なセンサへの対応」、「多数個接続」、「イベントドリフンによる高速応答」を、触覚センサ用インターフェースLSIを用いたシステムを構築して実証した。 ・金属材料を用いる気密封止接合技術を最適化して、プラットフォームLSIと触覚センサ素子の一体集積化と信頼性の高い配線取り出し技術を確立した。 	達成
	<p>アクティブ・センシングシステムの研究開発</p>	<p>3軸力センサと温度センサを搭載した2.7mm四方の超小型指先センサの開発を行い、対象物に対し一定の力を印加し温度の変化を取ることに成功。その結果、対象物の材料識別ができる可能性があることを示した。</p>	達成
最終目標	研究開発成果	達成度	
次世代ロボットの標準的なセンサネットワークプラットフォームのためのシステム構築とオープン化の検討	<p>複数種／多数個のセンサに対応可能なマルチセンサ実装プラットフォーム技術の開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・バス上に100個以上設置可能な信号調整の方法はシミュレーションにより見出した。より安定的な方法として差動通信に移行しその多数個・高速接続の方法を検討中である。いくつか基礎データは取得済みである。 ・オープン化のために共同実施先の名城大学へ環境は提供済である。 	H29/8 現在、70%を達成。
	<p>センサ・プラットフォームLSIの開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・事業化活動として想定ユーザーとヒアリングを実施してきた。その結果、盛り込むべき仕様が明らかになり、LSIのASSP化を進めており、来年度の市販化を狙っている。 ・その過程で解決すべき課題点も明らかになっており本事業の課題とした。 	H29/8 現在、60%を達成。
	<p>マルチセンサ実装プラットフォームのアプリケーション開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・配線取り出しの容易性と壊れやすいセンサ部の保護に優位性を持つ、フレキシブル配線基板の下側に集積化センサを実装してフレキシブル基板を介して力を検知する実装方法を提案し、数値計算により有効性を実証した。 ・超小型指先センサを作製し、ロボットに搭載しフィードバックシステムを構築した。 	H29/8 現在、50%を達成。

研究開発の成果

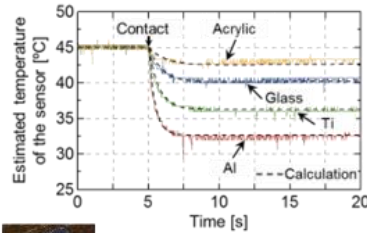
※ASSP(特定用途向け標準品)

(研究開発成果の概要を、数行程度で記載。)

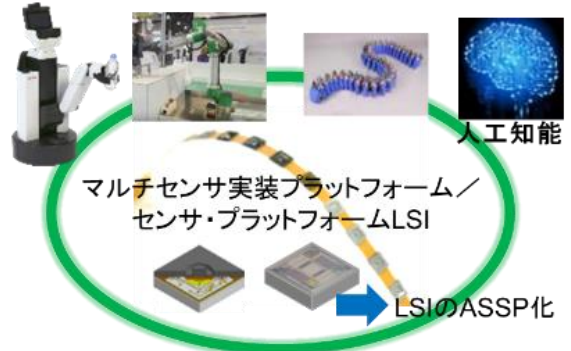
- ① 48個バス接続, 複数種のセンサに対応可能なバス型センサ実装プラットフォームを実証した
- ② 3軸力センサと温度センサを組み合わせた超小型指先チップからなるアクティブ・センシングシステムを実現し, 材料識別の可能性を示した。
- ③ インタフェースLSI(LSIは来年度を目途にセンサ・プラットフォームLSIをASSPとして市販化を進めており, 見つかった課題は本事業で対応予定)によるシステムの開発を行った。
- ④ プラットフォームのオープン化に向けたアプリケーション開発を行い, ロボットアームへの設置や実装技術の開発を行った。市場開拓も行い有望な応用先をいくつか検討中である。



①48個バスネットワーク接続, イベントドリブン動作の実証



②集積化指先センサによるアクティブ・センシング実証



③, ④LSIとマルチセンサ・実装プラットフォームの市場化検討



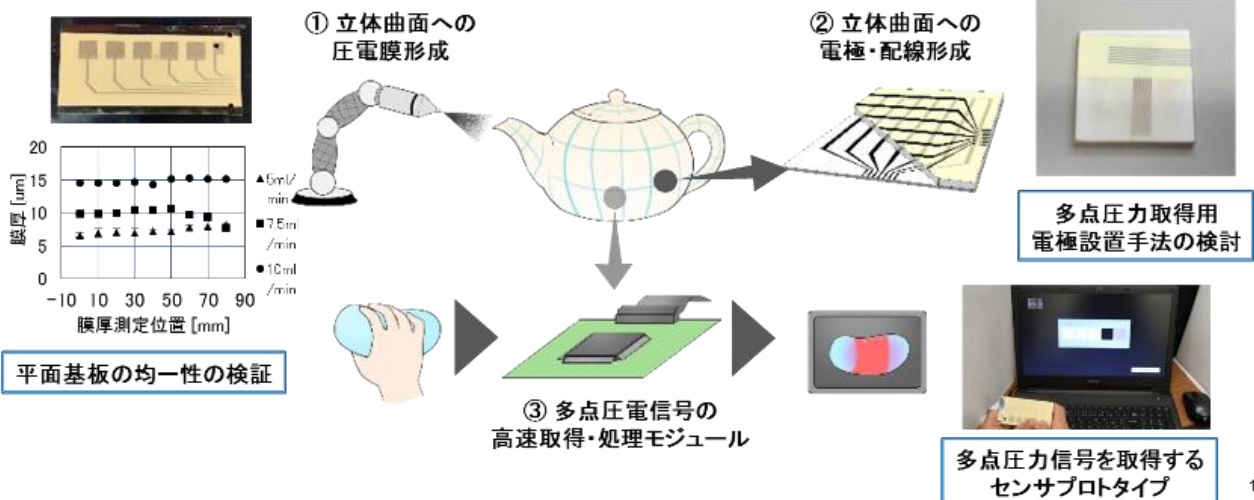
④ロボットアームへの集積化指先センサの実装と硬さ/温度判別フィードバック動作の実現

【B-1-3】「ロボットの全身を被覆する皮膚センサの確立と応用開発」 (委託先：国立大学法人熊本大学)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
スプレー塗布による圧電膜形成技術を用いた皮膚センサの研究開発	面への圧電材料塗布技術の確立と評価：ロボット表面程度の大面积に均一な圧電膜を作製	1. 塗液循環系を構築し、大面积への連続的な吹き付けを実現する吹き付けシステムを確立 2. スプレーガンおよび塗布対象を2次元走査することで平面への均一かつ再現性の高い面的塗布を実現 3. 円筒表面への塗布システムを確立し、外径50mm程度の曲率の曲面へ圧電膜が形成可能であることを確認	達成
	皮膚センサに適した圧電材料の開発及び評価：目標仕様を実現する材料を特定し性能評価を行う	1. ゼルゲルスプレー法の塗液のゾルゲル溶液・セラミック粉末比と圧電特性の関係を評価 2. 焼成温度と圧電特性の関係を評価し、PZT/PZTゾルゲル複合体を基本として200℃から700℃の範囲で指先押下などの力入力に感度を持つ圧電特性を有する膜形成が可能であることを確認	材料の特定について達成
	電極の配置と配線および信号読み出し手法の検討と評価：圧電膜表面に安定かつ効率的に導電パターンを付与する技術の確立	1. 電極間電位差が印加力の時間変化に対応することを確認 2. 隣接する電極間に電氣的干渉が生じないことを確認 3. チャージアンプにより印加力に対応した出力を得られることを確認	安定した電極作成技術については未達成
	皮膚センサの表面被覆材料および被覆手法の検討：センサの動作を損なわず表面を保護する材料・手法	1. シリコンやバリレンによる表面被覆により、膜性能を損なわず圧電膜・電極を保護することを確認	達成
圧電膜を持つ細線を用いたひも型触覚センサの研究開発	細線への圧電材料形成技術の検討と評価：ワイヤ等への圧電膜塗布の実現	1. 円筒面上への膜形成を実現したがより外径の小さな細線については取り組みに至らなかった	未達成
	圧電膜を持つ細線を用いたひも型センサ製法法の検討と評価：圧電膜塗布した細線からの信号取得と巻き付け時の動作検証	1. 細線への塗布に至らなかったため本項目についても検証に至らなかった。	未達成
音響信号処理技術を応用したひも型触覚センサの研究開発	管内を伝播する音波からの断面積分布関数取得の定式化・シミュレーションの実施：PARCOR分析を応用した断面積分布推定手法を定式化とシミュレーションによる実証	1. シミュレーションにより音響間断面積分布を提案手法で推定可能であることを確認	達成
	装置試作と評価：上記理論を実現する装置の試作と動作検証	1. スピーカー・マイクロフォンからなる装置を試作し、アクリル管の断面積推定を実施、誤差の発生程度を確認	装置構成の検討と試作を達成
	センサに加わる力と断面積変化の関係の定式化および逆問題解法の検討：音響的に取得した断面積分布から触覚センサとして必要な押下力情報の推定	1. 当初より先導期間内の取り組み予定がない	—
国内外の最先端ロボトスキン技術および本事業の関連技術の動向調査と情報発信	ロボトスキン技術および関連技術や本テーマの応用分野の調査および本テーマの成果の発信	先導研究期間に本テーマに関連して原著論文6件、国際会議発表9件、国内会議発表2件のほか、展示会・技術説明会等での情報発信を行った。後者の展示会等で交流した企業等から本技術の用途についても幅広い意見が得られた。	達成

最終目標	研究開発成果		達成度
<p>圧電材料のスプレー塗布による全身型皮膚センサの研究開発</p>	<p>曲面基板への圧電材料のスプレー塗布システムの開発：曲面スプレー塗布システムの確立と、下の曲面電極・配線設置手法と合わせたセンサ性能の評価</p>	<p>H27年度までに得た知見をもとに曲面塗布システムの仕様・設計を確定。10月納品予定で製造中。</p>	<p>H29/8 現在、40%を達成。</p>
	<p>曲面への電極・配線の取り付け手法の確立：曲面への電極・配線の高精度・高効率設置手法と上の曲面圧電膜塗布と合わせたセンサ性能の評価</p>	<p>従来実施していた導電性溶液スプレー塗布よりもパターニング精度とコスト面で優れる新規手法について、圧電膜への塗着性を確認した。高精度パターニング条件の探索を実施中。</p>	<p>H29/8 現在、20%を達成。</p>
	<p>信号取得・信号処理を行う測定モジュールの開発： 高速(1kHz)に圧力分布を取得しロボット制御に利用可能な形式で出力するモジュールの設計・試作</p>	<p>複数点の圧力信号を高速取得するためのスイッチング回路の設計を実施中。</p>	<p>H29/8 現在、20%を達成。</p>
	<p>プラスチック・樹脂等の基材への圧電膜取り付けのための焼成手法の検討： 耐熱性の低い基材への圧電膜塗布に向けた局所/低温焼成手法の確立</p>	<p>基材に熱ダメージを与えないことが期待される表面局所加熱手法をテストし圧電性を有する膜の焼成が可能であることを確認</p>	<p>H29/8 現在、10%を達成。</p>
	<p>開発した手法の特許出願などの知財化および学術論文・学会議等での発表：</p>	<p>本手法の中核をなす連続的な噴霧に関する技術をすでに特許出願している。研究開発期間に入り、さらに産業上有用と考えられる材料の非鉛化に資する材料構成についての特許を出願済みである。</p>	<p>H29/8 現在、30%を達成。</p>

研究開発の成果

本事業ではスプレー塗布により圧電膜を成型するゾルゲルスプレー法の曲面への適用、印刷技術を活用した任意パターン電極・配線形成、多点圧電信号の高速な取得と処理を行う測定モジュールを確立しロボットの全身を被覆可能な力分布センサ(ロボットスキン)の実現を目指す。現在までに均一かつ大面積の圧電膜形成に必要な塗布システムを確立し平面基板上でその有効性を確認している。またプロトタイプとして複数点での指先押下に反応し押下力に対応した出力を示すセンサを作製し、これまで実現が困難とされていた自由曲面を覆う力分布センサの実現に目途が付いた。



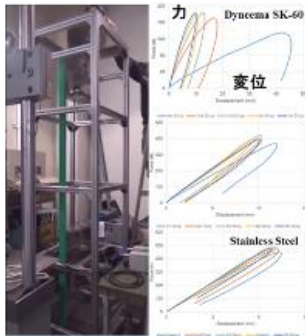
研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）			
【B-1-4】「高強度化学繊維を用いた『超』腱駆動機構と制御法の研究開発」			
（委託先：国立大学法人東京工業大学、再委託先：株式会社横浜ケイエイチ技研、株式会社アトックス）			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
高強度化学繊維のロボット駆動要素としての衝撃荷重に対する特性・クリープ特性の解明	衝撃荷重に対する特性、クリープ特性について計測を行い、設計指針を確立する。	衝撃荷重試験機・クリープ試験機を設計開発し、計測を行った。衝撃荷重に対する特性は初張力を与えることで大きく変化することを明らかにした。5.1kgの重りが1mの高さから落下し衝突する衝撃力を与えた場合の変位と張力を測定しロボット駆動系の設計指針を確立した。クリープ試験では10000minでの伸び率を明らかにし、ロボット駆動系を設計するための指針を確立した。	達成
超軽量／超小型／超長尺／超冗長を可能とする『超』腱駆動機構要素群（端部固定法・振じり摺動許容型 Bundled Wire Drive）の開発	端部固定法：固定力 90%以上、特殊な端部加工を必要とせず、ローブ直径の30倍立方以内の専有体積を実現する。	・端部固定法固定力 98%以上、特殊な端部加工を必要とせず、 $8.25 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ の占有体積を実現した。	達成
『超』腱駆動機構要素を用いた超長尺多関節ロボットアーム（回転関節型・直動関節型原理検証モデル）の試作開発	回転関節型は直径 0.3m 以下、全長 10m のアームを開発する。	回転関節型は直径 0.3m 以下、全長 10m のアームを開発した。	H29/8 現在、80%を達成
	直動関節型は原理確認の試作を行う	直動関節型の原理試作を行った。	達成
化学繊維の弾性を考慮した可変剛性制御法の試験法確立と基礎動作試験	アクチュエータ・動作関節の距離が 15m 以上の実験装置を試作して制御特性を把握し、最大角速度 0.5[rps]での関節制御を実現する	アクチュエータ・動作関節の距離が 15m 以上の実験装置の原理試作し上記実験装置の制御特性を把握し、最大角速度 0.5[rps]での関節制御を実現した。	達成
テザーによる不整地移動運動制御法の開発	屋外歩道環境の凹凸（最大段差 8cm、最大勾配 15%）で連続 10 時間以上動作可能とする実験装置を作成する。この装置を用いて屋外歩道環境での追従を行い、移動ロボットが転倒せずに追従できる運動制御系を構築する。	屋外歩道環境の追従を行った。	H29/8 現在、70%を達成
最終目標		研究開発成果	達成度
高強度化学繊維のロボット駆動要素としての耐候性・耐放射線性・耐摩耗性・振じりに対する耐久性・適切なプリロード加工の解明	左記の各特性について、設計指針を確立する。	振じりに対する耐久性試験機を開発し、計測を開始した。プリロード加工について把握するため、プリロード済みの材料を購入し特性試験に着手した。また吊荷用ベルト（スリング）のプリロード加工、熱処理加工（セット処理）について現行技術を調査した。	H29/8 現在、10%を達成。
超軽量／超小型／超長尺／超冗長を可能とする『超』腱駆動機構要素群（駆動プーリ形状最適化・軽量高耐衝撃減速機構・直動型 Bundled Wire Drive）の開発	繰返し駆動が可能な溝付き駆動プーリを実現し、駆動条件を明らかにする。	溝付きプーリの摩擦特性について、従来は $\phi 2$ を対象としていたが、 $\phi 1 \sim \phi 6$ の範囲で同様の結果が得られるか検討するための試験装置を試作した。また最適な溝形状を解析的に明らかにするため有限要素解析およびそれに必要となるポアソン比などの物性値の計測に着手した。	H29/8 現在、10%を達成。
	軽量高耐衝撃減速機構を実現する。	四脚歩行ロボット実験装置を準備した。	H29/8 現在、50%を達成。
	Bundled Wire Drive による 6 自由度以上の駆動を実現する。	複数自由度を構成可能か、ワイヤ間摩擦力による張力低下を定量的に把握するための試験装置を試作した。	H29/8 現在、50%を達成。

『超』 腱駆動機構要素を用いた超長尺多関節ロボットアーム（回転関節型改良・直動関節型）の試作開発	回転関節型または直動関節型によるさらに長尺の試作機を実現する。	直動関節型試作機のための屈曲機構を提案し、原理設計・検証を行った。	H29/8 現在、30%を達成。
超長尺多関節ロボットアームのプロペラ型自重補償機構の開発	超長尺多関節アーム先端に取り付け、アームと自重補償装置の協調による運動制御を行い、可搬質量の向上を実現する	アーム姿勢に応じて所望のプロペラ推力を得る1自由度原理試作機を開発し、その制御特性を把握した。	H29/8 現在、60%を達成。
超長尺多関節ロボットアーム（実用機）のニーズ仕様調査	燃料デブリ取り出し方法等の更新された情報をもとに超長尺多関節ロボットアーム（実用機）のニーズ・仕様を調査し、報告書としてまとめる。	ニーズ・仕様の調査を開始した。	H29/8 現在、10%を達成。
『超』 腱駆動機構要素を用いた不整地移動ロボットの開発	直動アームを搭載可能な不整地移動ロボットを開発する。当該ロボットを用いて、アームと移動ロボットの協調動作、テザー・ウィンチ機構を用いた移動を実現する	原理試作を元に、試作機設計に着手した。	H29/8 現在、10%を達成。
化学繊維の粘弾塑性を考慮した可変剛性制御法の開発	ワイヤの粘弾性モデル及びこれを考慮した可変剛性制御則を構築する。当該制御則を超長尺多関節アーム（回転関節型）に実装し、その有効性を検証する。	ワイヤの粘弾塑性モデルのパラメータを同定する手法を確立した。	H29/8 現在、20%を達成。

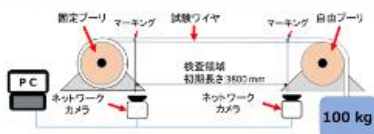
研究開発の成果

- ・化学繊維ワイヤをロボット駆動系として用いるための衝撃荷重に対する特性／クリープ特性について計測を行い設計指針を確立した。
- ・摩擦係数の低い化学繊維ワイヤに適用可能な、小型の端部固定法を開発した。
- ・回転関節型超長尺多関節ロボットアームの設計試作を行った。
- ・軸間距離が長い経路での化学繊維ワイヤによるサーボ駆動特性を明らかにした。

衝撃荷重特性の計測



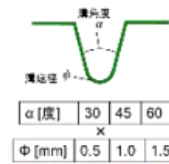
クリープ特性の計測



『超』腱駆動機構要素群の開発

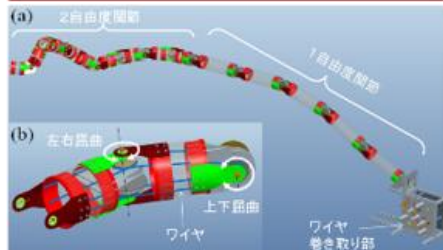


◆パラメータ

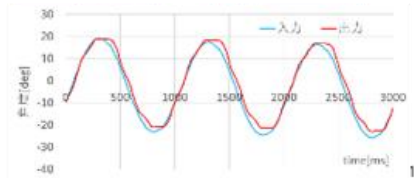
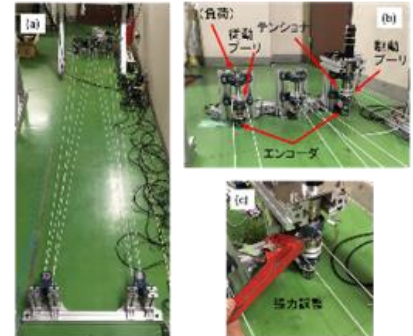


固定力98%以上の小型な固定法を開発

超長尺多関節ロボットアーム



長軸間距離でのサーボ駆動特性計測



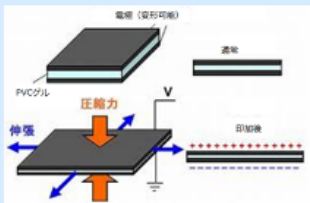
【B-1-5】「可塑性 PVC ゲルを用いたウェアラブルロボット用ソフトアクチュエータの研究開発」 (委託先：国立大学法人信州大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：セーレン株式会社)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
フレキシブル電極を用いた可塑性 PVC ゲルシートソフトアクチュエータの試験	ソフトアクチュエータの伸縮率 15%、最大発生応力 100kPa、印加電圧 200V、応答性 5Hz	アクチュエータの試作と駆動状態確認と各基本性能評価実施 ・フレームタイプ、吊り下げタイプの 2 種の駆動状態確認 ・ゲル厚、組成調整により、性能目標値達成	達成度：100% (各性能目標値以上の性能確認)
可塑性 PVC ゲルファイバーを用いた織構造シート状ソフトアクチュエータの試験	ソフトアクチュエータの伸縮率 15%、最大発生応力 100kPa、印加電圧 200V、応答性 5Hz	アクチュエータの試作と駆動状態確認と各基本性能評価実施 ・織構造アクチュエータの駆動実証完了 ・ゲル厚、陽極間距離調整により、高性能化達成	達成度：82% (応答性以外の項目は性能目標値を達成 (応答性達成度：3%))
可塑性 PVC ゲルファイバーを用いた燃糸構造伸縮ストリングの試験	燃糸構造シート状アクチュエータの伸縮率 15%、最大発生応力 100kPa、印加電圧 200V、応答性 5Hz	アクチュエータの試作と駆動状態確認と各基本性能評価 ・燃糸構造アクチュエータの駆動実証完了 ・燃り数増加により伸縮率向上の傾向確認	達成度：63% (伸縮率、応答性以外の項目は性能目標値を達成 (達成度：伸縮率 3%、応答性 14%))
可塑性 PVC ゲルの電場応答メカニズムの解明	PVC ゲル電場応答メカニズムの解明	PVC ゲルの変形応答および電気インピーダンス測定から、変形に寄与する下記 2 つのプロセスを明らかにした 1. イオンドラッグ流によるアノード側溶媒膨潤薄膜層の形成過程 2. 膨潤薄膜層 (空間電荷層) 形成後の電気界面応力による電極面クリープ	達成度：100% (電気インピーダンス測定に基づく電場応答プロセスモデルの解明)
最終目標		研究開発成果	達成度
フレキシブル電極を用いた可塑性 PVC ゲルシートソフトアクチュエータ開発	ソフトアクチュエータの伸縮率 30%、発生応力(歪み 50%) 300kPa、印加電圧 60V、応答性 10Hz、耐久性 500 万回以上	性能向上のための構造改良 ・電極材料の探索着手 ・応用を視野に入れた構造変更と性能の関係性把握	H29/8 現在、29% 達成 【各項目達成度】 伸縮率：40% 発生応力(歪み 50%)：19% 印加電圧：30% 応答性：50%、 耐久性：5%
可塑性 PVC ゲルファイバーを用いた織構造シート状ソフトアクチュエータ開発	ソフトアクチュエータの伸縮率 30%、発生応力(歪み 50%) 300kPa、印加電圧 60V、応答性 10Hz、耐久性 500 万回以上	性能向上のための構造改良 ・電極材料改良着手 ・陰極電極の構造変更と性能評価着手	H29/8 現在、26% 達成 【各項目達成度】 伸縮率：90% 発生応力(歪み 50%)：1% 印加電圧：30% 応答性：4% 耐久性：4%
可塑性 PVC ゲルファイバーを用いた燃糸構造伸縮ストリング開発	ソフトアクチュエータの伸縮率 30%、発生応力(歪み 50%) 300kPa、印加電圧 60V、応答性 10Hz、耐久性 500 万回以上	性能向上のための構造改良 ・芯鞘構造繊維製造手法検討	H29/8 現在、18% 達成 【各項目達成度】 伸縮率：1% 発生応力(歪み 50%)：50% 印加電圧：30% 応答性：7% 耐久性：4%

可塑化 PVC ゲルの電場応答メカニズムの解明	低電圧化のための駆動原理に基づく材料探索、特性改善	可塑化 PVC ゲルへの各種イオン液体 (IL) 添加による低電圧化の試み ・可塑化PVCゲル電場応答のイオン液体分子種依存性の検討 ・イオン液体添加による低電圧化効果の電気インピーダンスモデルによる検討	H29/8 現在、30% 達成 IL 添加による低電圧化の確認と電気インピーダンスモデルによる検討
可塑化 PVC ゲルソフトアクチュエータの精密な位置決め制御方法	シート状 PVC ゲルソフトアクチュエータの数式モデルを構築する。構築した数式モデルに基づいた制御を構築して、精密な制御を実現する。	レーザ変位計を用いた、吊るしたシート状 PVC ゲルソフトアクチュエータの変位と電圧の相関性を確認 ・装置起因による測定バラつきがあることが課題 ・測定精度を向上させたシステムと数式モデルを用いた位置制御の作製検討	H29/8 現在、10% を達成従来測定法の課題出し完了
可塑化 PVC ゲルソフトアクチュエータの量産化とアシストウェアの試作	PVC ゲルアクチュエータの量産化技術を確認 (電極材料および PVC ゲル)	PVC ゲルシートの量産化着手 ・連続塗布システムを用いたゲルシートの大量 (高速) 製造達成 量産化を目指した電極材料模索	H29/8 現在、20% 達成
	応用製品の例としてアシストウェア試作品開発と評価。	アシストウェア開発のための必要アクチュエータ性能の検討実施 ・必要性条件を洗い出す実証実験の評価システムの準備完了	H29/8 現在、15% 達成

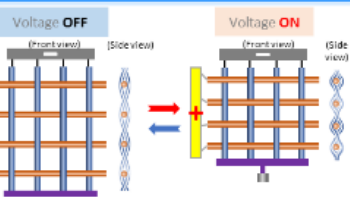
研究開発の成果

試作・性能評価

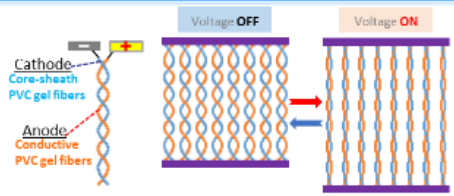
①フレキシブル電極を用いた可塑化PVCゲルシートソフトアクチュエータ



②可塑化PVCゲルファイバーを用いた織構造シートソフトアクチュエータ

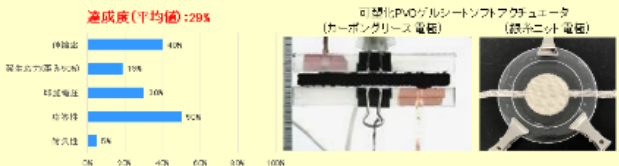


③可塑化PVCゲルファイバーを用いた撚糸構造伸縮ストリング

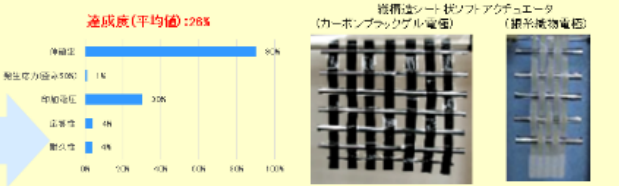


シート状、織構造、撚糸構造の各アクチュエータの最適化実施 (構造、電極材料変更)

フレームタイプ、吊り下げタイプの2種の駆動状態確認 ゲル厚、組成調整により、性能目標値達成



織構造アクチュエータの駆動実証完了 ゲル厚、極間距離調整により高性能化達成



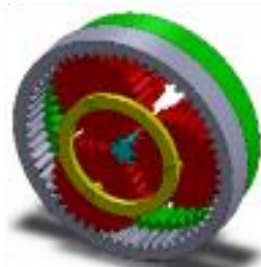
撚糸構造アクチュエータの駆動実証完了 撚り数増加により伸縮率向上の傾向確認



【B-1-6】「高効率・高減速ギヤを備えた高出力アクチュエータの研究開発」 (委託先：国立大学法人横浜国立大学、再委託先：日本電産シンボ株式会社)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
高効率 2 段型複合遊星歯車機構の開発	最大動力伝達効率 90%	平均動力伝達効率 92.6%、最大動力伝達効率 94.0% を実現	達成
高速入力複合遊星歯車機構の開発	最大許容入力回転速度 15000rpm	最大許容入力回転数 16,500rpm を実現	達成
高速高出力密度モータの開発	15000rpm での駆動を実現する。	定格回転速度 15,000rpm (設計値) を実現、負荷試験は未達。	設計は達成、負荷試験は未達
高速高出力モータドライバの開発	15000rpm での駆動を実現する。	サイズ 81x81x120mm、定格電流 43Arms、定格出力 2.1kW の 3 レベル 3 相インバータを開発。無負荷試験を実施し動作を確認。モータ負荷試験は未達。	設計は達成、負荷試験は未達
最終目標		研究開発成果	達成度
高効率 2 段型複合遊星歯車機構の新機構の開発		理論動力伝達効率 98% (設計値) の新機構を考案、設計。 試作した実機は所望の動作せず。	設計理論は達成、実機動作は未達。
高効率 2 段型複合遊星歯車機構の設計開発	減速機：動力伝達効率 97%、実現する減速比 1/10-1/1000、最高入力回転速度 20000rpm、逆駆動効率 97%、逆駆動起動トルク 0.03Nm、バックラッシュ 6arcmin	平均動力伝達効率 92.6%、最大動力伝達効率 94.0% を実現、1/48.7~1/378.5 の逆駆動可能な減速機を試作、逆駆動トルク 0.034N.m、バックラッシュ 23 分を実現	H29/8 現在、平均で 60%を達成。
高速入力複合遊星歯車機構の開発	減速機+モータ+モータドライバ：定格出力密度 2000W/kg、定格トルク密度 200Nm/kg、総合効率 80%	最大許容入力回転数 16,500rpm を実現	H29/8 現在、80%を達成。
高速高出力密度モータの開発		定格回転速度 15,000rpm (設計値) を実現、駆動試験は未達。	H29/8 現在、50%を達成。
高速高出力モータドライバの開発		定格出力密度 620W/kg、定格トルク密度 40N.m/kg、総合効率 85% (設計値)	H29/8 現在、平均で 50%を達成。
高密度機電一体アクチュエータシステムの開発		機電一体アクチュエータの設計を進めている。	H29/8 現在、30%を達成。
高効率 2 段型複合遊星歯車機構の最適設計法の開発	歯数、転位係数、軸間距離を最適化する設計アルゴリズムの開発。2K-H 複合遊星歯車機構および 3K 複合遊星歯車機構の順駆動効率最適化アルゴリズムの開発。開発したアルゴリズムの高速化。	3K および 2K-H 複合遊星歯車機構の順駆動動力伝達効率の最適化設計アルゴリズムを開発。	H29/8 現在、50%を達成。

研究開発の成果

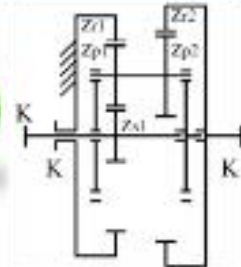
ロボットに適した小型・高効率・高出力・低コスト・高密度、かつ、高バックドライバビリティを有するアクチュエータの実現を目指し、許容入力回転数15,000rpm、逆駆動起動トルク0.034N.m、順駆動効率92%を超える高効率な複合遊星減速機の開発に成功した。また、熱流体解析に基づき大きさφ88x71mm、質量1.4kg、定格出力2kW、定格速度15,000rpm、定格トルク1.3N.mの高密度モータの設計・試作に成功した。高いバックドライバビリティにより、センサレスでのトルク検出や制御が可能になり、アクチュエータの知能化に資することが期待できる。



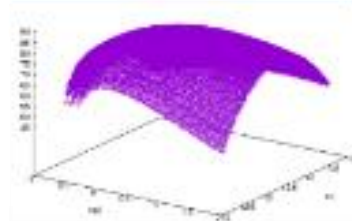
提案ギヤの構成



提案ギヤの分解図



提案ギヤのスケルトン図



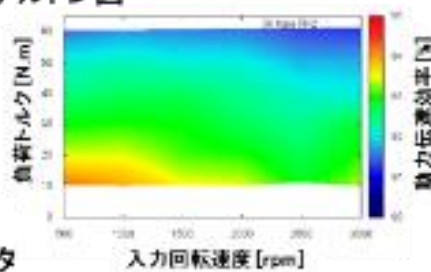
動力伝達効率の最適化例



試作した提案ギヤ



試作した高密度モータ



測定した動力伝達効率

【B-1-7】「全方向駆動機構を核とした革新的アクチュエーション技術の研究開発」			
(委託先：国立大学法人東北大学)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
オフセット外側保持方式の球状全方向車輪の応用構造の検討	量産可能な作成方法の設計	オフセット外側支持方式の球状全方向車輪について量産可能な金属切削モデルの具体的な設計について検討した。そして、実機を具現化し、4輪全方向移動車両を構築することで、全方向移動車両の足回りとしての有効性を確認。	達成
提案応用構造の耐荷重性能の試験	耐荷重性能試験の実施	まず、静解析シミュレーションにより、オフセット外側保持方式は従来型と比較して11.3倍の耐過重性を有することを確認。また、実機実験により最大で500Nの荷重に耐え得ることを検証。	達成
全方向駆動プラットフォーム・ハンドリング機構の設計	設計の完了	全方向駆動プラットフォームは考案した構造に基づいて放射状に車輪配置した機械モデルを構築。ハンドリング機構は原理確認機の具体的な構造・部品形状に関して設計中。	プラットフォーム：達成、 ハンドリング機構：達成度 30%
全方向駆動プラットフォーム・ハンドリング機構の試作機の製作	試作の完了	全方向駆動プラットフォームは考案した構造に基づいて放射状に車輪配置した機械モデルを製作。ハンドリング機構は原理確認機の具体的な構造・部品形状に関しての設計が済み次第だが、試作簡易性に関しては検討中。	プラットフォーム：達成、 ハンドリング機構：達成度 15%
最終目標		研究開発成果	達成度
能動双リング車輪の研究開発	実用レベル機（金属版）の設計・試作。 金属板の段差・溝踏破試験の実施。	1つのはずば外歯車と、それにかみ合う2つのはずば内歯車を用いた能動双リング車輪の駆動原理を考案。さらに、原理検証機を具現化し、実機実験により考案原理の有効性を検証。	H29/8 現在、70%を達成。
能動双リング車輪2ユニットにスクータ型台車の研究開発	実用レベル機の設計・試作（耐荷重性100kg）。重心移動を入力とした操縦系の実装。	能動双リング車輪の原理確認を行っている。	H29/8 現在、35%を達成。
全方向サスペンション機構の研究開発と車両搭載化の検討	実用レベル機の設計・試作。	原理確認モデルの実機考案・具現化検討を行っている。	H29/8 現在、30%を達成。
ロボットハンド機構としての応用（移動プラットフォーム以外の萌芽的応用例創出）	全方向駆動車輪を搭載した多指ロボットハンド版の設計・試作	原理確認モデルの実機考案・具現化検討を行っている。	H29/8 現在、30%を達成。

研究開発の成果

従来は極めて実現困難であった、耐荷重性と走行の滑らかさを両立させるべく、新たに考案した全方向移動車輪機構の実機設計・試作・実機実験を通しての原理確認および構築を行った。また、その構造から派生する新たなリング状車輪・新型の全方向駆動車輪用の伝達原理について考案・具現化を続けている。以上の車輪機構に関してのアイデアを基に、特許出願も複数行っている。



外部支持方式の球状全方向車輪

- ・ 耐荷重性
 - ・ 走行滑らかさ
- } の両立



球状双リング車輪機構

- ・ 受動輪の踏破性向上
- ・ 走行滑らかさ



スクリー式回転差動機構による全方向駆動車輪

- ・ 設地点における任意方向駆動
- ・ 車輪数の最小構成可能化

【B-1-8】「スライドリングマテリアルを用いた柔軟センサーおよびアクチュエータの研究開発」			
(委託先：豊田合成株式会社、アドバンスト・ソフトマテリアルズ株式会社、再委託先：国立大学法人東京大学)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
柔軟アクチュエータの開発	アクチュエータ性能	当初の3倍強の変位を達成	H29/8 現在、90%を達成。
	材料開発開発	高変位ための材料物性を達成	H29/8 現在、90%を達成。
	アクチュエータ構造	積層構造での駆動を実現	H29/8 現在、90%を達成。
	セルフセンシング	高速に挙動を計測し、セルフ制御可能であることが見出すことができた。	H29/8 現在、90%を達成。
柔軟センサの開発	表面硬度 1MPa 以下の対象物の動きを捉える	鼓動の動きを検知可能となった	H29/8 現在、90%を達成。
最終目標		研究開発成果	達成度
柔軟アクチュエータの開発	積層アクチュエータの完成	100層の駆動達成 → 理論値通りの出力×	H29/8 現在、40%を達成。
	駆動ドライバーの完成	積層アクチュエータの物性測定のための回路作製	H29/8 現在、20%を達成。
	最終製品への組込み駆動の実現	組込み後の構想図の作製	H29/8 現在、20%を達成。
	高電圧に対する安全性確認と規格化	高圧に関する危険性の調査 済	H29/8 現在、5%を達成。
柔軟アクチュエータの開発	触覚センサの検討：硬さの判別ができる。	圧力センサーとしての評価を実施。ヒステリシスは達成。クリープ性の改良を進める。 ・測定幅が不十分であり、材料改良が必要	H29/8 現在、20%を達成。
	ストレッチセンサの検討：空気圧アクチュエータに取り付け可能なストレッチセンサの開発	・空気圧アクチュエータの駆動速度に対応可能。 ・測定幅に対応できるよう改良を進める。	H29/8 現在、20%を達成。

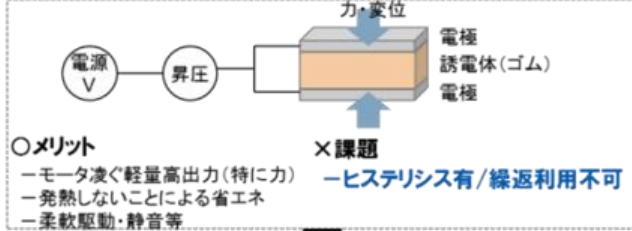
研究開発の成果

ロボット普及に貢献するため、「軽量高出力・省エネ性・柔軟による安全支援」となる柔軟なアクチュエータおよびセンサの開発を実施する。

先導期間の成果でアクチュエータ出力(変位)が3倍強となった。この成果により、具体的な引き合いをうけた。今後は、具体的案件への適用検討を実施する。

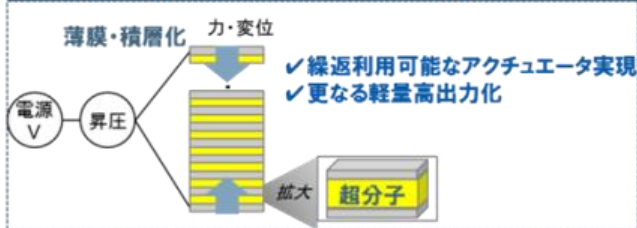
また、屈曲変形による新たな把持の可能性を示すことができた。

【従来】誘電アクチュエータ(兼センサ)



独自技術による革新

【今回】次世代誘電アクチュエータeR(兼センサ)



技術①超分子の応用

滑車効果

- ・分子結合が破断しない
- ⇒ 繰返利用可能^①

アクチュエータに適した物性

- ・高誘電率と低弾性率を両立し、発生する力・変位を更に増大

技術②エラストマの薄膜・積層化

薄膜化

- ・駆動電圧の低減
- ・厚みの2乗に反比例して発生力を増大

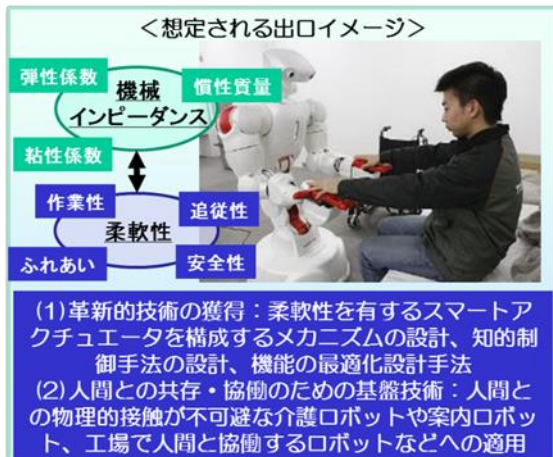
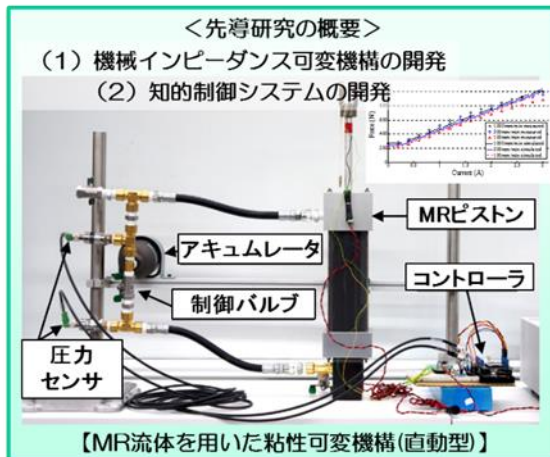
積層化

- ・プレストレッチ機構の不要化
- ・薄膜化とトータル変位量の両立

【B-1-9】「慣性質量を含むインピーダンス可変機構を有するスマートアクチュエータ」 (委託先：学校法人早稲田大学) <先導研究にて終了>			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
機械インピーダンス可変機構の開発	粘性可変機構の開発	粘性可変機構は、アクチュエータ内部の連通管路内に設けられた MR バルブ内の磁気粘性流体への磁界制御によって実現する。粘性係数は、1.0 Nms/deg 以上を任意に可変できるようにする。粘性可変機構を内蔵する MR アクチュエータとして、任意のロボットに導入できるように直動と回転型を開発した。直動型 MR アクチュエータの開発では、MR ピストンヘッド内にトロイダル型の形をした MR バルブを配置した直動型 MR ピストンを開発し、ピストンの力や速度は、MR バルブにおける磁場の大きさを制御することによって調節できる。回転型アクチュエータの開発では、ベーンモータの構造をベースに、ベーンホールタイプとシャフトホールタイプを開発した。異なる力のレンジに対応できる、2つの機械的構造を提案し、有用性を検証した。	達成
	慣性可変機構の開発	機機能性流体、特に磁気粘性流体(MR 流体)の特性を応用した慣性質量可変機構の試作を完成した。	達成
	弾性可変機構の開発	柔らかい状態と硬い状態の極端な二値を電流制御によって調整する可変弾性機構を実装した。弾性係数は、0.1 Nm/deg を最も柔らかい状態とし、剛性なしまでを可変できるようにした。	達成
知的制御システムの開発	各特性可変機構のために必要な制御システムを開発・実装し、上記の各特性可変機構の単体検証と合わせて評価を行った。PID 制御ロジックをベースとした力および速度の Closed-Loop Controller を構築し、バックドライバリティテストおよび力制御テストを行い、有効性を検証した。	達成	

研究開発の成果

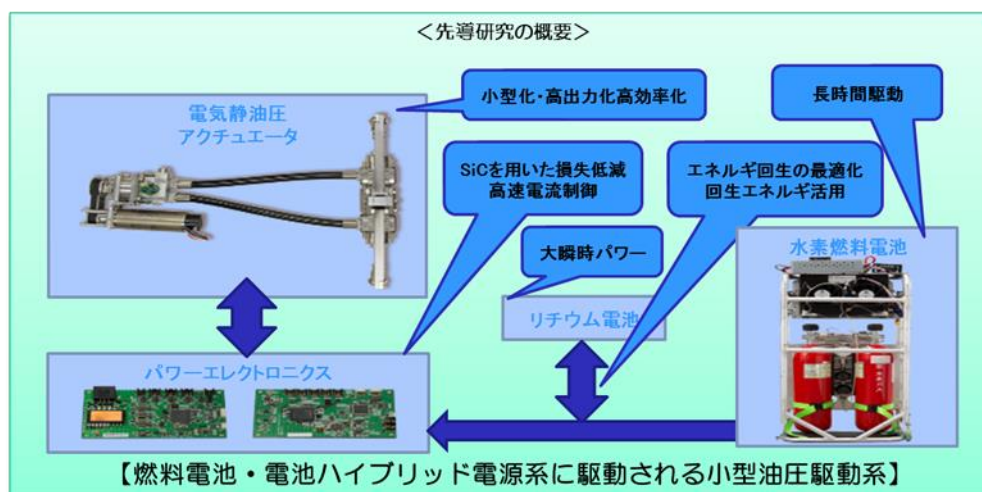
- (1) 機械インピーダンス可変機構の開発: 機能性流体の特性を応用した慣性質量可変機構を試作し、これまでに開発実績のある粘弾性調整関節を元に、小型・軽量で調整幅の大きな粘弾性可変機構を試作した。各可変機構を単体試験し有用性を評価するとともに、アクチュエータユニットの統合のための仕様を明確化した。
- (2) 知的制御システムの開発: 各特性可変機構の開発に合わせて、個別の機械特性を調整するために必要な複数のパラメータをチューニング・制御するための知的制御システムを開発した。



先導研究目標		研究開発成果	達成度
静油圧伝達機構を用いた小型油圧駆動系の開発	体積比 30%減の小型油圧駆動系の設計	・HYDRA 用の油圧駆動系（油圧ポンプ、油圧シリンダ/ペーンモータ）を同じ仕様そのまま体積を30%削減することによって小型化、軽量化をはかった新しい基本設計を完成させた	達成
	200W型直動シリンダ型駆動系の開発	・もっとも使用頻度の高い200W型の油圧シリンダの開発を行い、いくつかの候補設計案の試作と評価をすすめプロトタイプを完成させた	達成
燃料電池とバッテリーのハイブリッド電源系の開発	燃料電池とリチウムイオン電池のハイブリッド電源系開発と変動負荷特性の設計	・1000W級の燃料電池セルで発電される電力の基礎的な負荷変動特性、LiFe系のリチウムイオン電池の負荷変動特性を実験により解析評価した ・1000W級の燃料電池とLiFe系バッテリーを組合せ、長時間電力使用と瞬間的大電力供給が可能なハイブリッド電源の電力制御システムを開発した	達成
	エネルギーの回生を行うモータドライバの開発	・燃料電池とLiFe系バッテリーのハイブリッド電源のエネルギー需要に基づく切り替えや、動特性の制御を行う回路を設計し、電源回路の試作を行った ・電力回生回路を含むモータドライバーボードを設計、試作し、ボード上のFPGAにモータドライブ（ブラシレスDCモータ）用ソフトウェアと電力回生用ソフトウェアを開発、実装した	達成

研究開発の成果

人間との親和性、接触安全性、屋外での作業、これらにおいて必須の要素技術が力に敏感なアクチュエータである。本研究では、サーボ弁を用いる必要のない静油圧伝達機構を採用することで、油圧機器の頑健性と、弁による摩擦がない高力制御性を備えたアクチュエータ技術を実用化のレベルまで向上し、さまざまなロボットシステムに活用可能な数種類のモデルを開発した。さらに長時間のフィールド作業に適した燃料電池と、大電流を供給チウム電池をハイブリッド化した電源系を開発し、フィールドアクチュエーション技術を確立する。



【B-1-11】「人間との親和性が高いウェアラブルアシスト機器のための可変粘弾性特性を有する革新的ソフトアクチュエータシステムの開発」 (委託先：学校法人中央大学、再委託先：株式会社ブリヂストン)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
人工筋肉のゴム材料・付属部の高寿命化の検討	実験条件：負荷 200N 程度、収縮率 20% 程度、収縮インターバル 30 秒以上 人工筋肉の形状：長さ 180mm、内径 10mm、外形 14mm 目標とする繰り返し収縮回数：6 万回程度	・人工筋肉の寿命と形状の関係を明らかにした	条件付き達成 6 万回の繰り返し収縮は達成したが、人工筋肉形状を内径 20mm に変更。
	経年劣化：1~2 年程度は収縮特性に大きな変化が現れないエラストマー材料を製造する	・1 年以上性質の大きく変化しないゴム材料を開発した	達成
人間にとって操作性の高い可変粘弾性アクチュエーション技術の確立	アシストによる表面筋電位を、非アシスト時と比較して 30~40%に低減する。非アシスト時の負担を、非装着時に比べて 0~5%の増加に抑える。	・提案手法が高いバックドライバビリティを有することを確かめた ・提案手法が十分なアシスト力があることを確かめた	達成
	アンケート結果において、アシスト感覚や疲労感についての評価が 30~50%向上する。	・人間を規範とした構造と制御手法によるアシストが、身体親和性を高めることを実験により検証した。	達成
システムのモバイル化を目指した、空気圧源の小型・軽量化の検討	重量：軽量化を実現、圧力・流量：0.2MPa 出力時において 5L/min の流量を供給可能、供給時間：2~3 時間程度	・既存の圧縮空気生成手法の携帯性を評価し、まとめた。 ・化学反応を利用した新たな空気圧源を提案、開発した。	達成
最終目標		研究開発成果	達成度
高出力型人工筋肉の長寿命化	繰り返し回数 20 万回（負荷：200N 程度、収縮率 20%程度、インターバル 30 秒以上）まで可能な人工筋肉の創出	・現在繰り返し耐久 12 万回達成 ・寿命延伸のための解析環境の構築に着手、応力解析を実施	H29/8 現在、40%を達成。
	人工筋肉の重量 100g 以下	・未着手	H29/8 現在、0%を達成。
可変粘弾性アクチュエーション	アンケート評価に置いて、アシストに違和感が生じないスムーズなアシスト感覚（操作性）や精神的負担についての評価が 30~50%向上すること	・スムーズな粘弾性制御手法の開発に着手。官能評価により先導研究の制御手法よりもスムーズなことを確認。	H29/8 現在、20%を達成。
	15kg の荷物を 10 回もち下げたときの脊柱起立筋・大腿二頭筋の最大表面筋電位を 30~40%低下すること	・可変粘弾性下肢アシスト装置 Airsist I を開発し、実験環境を構築中。	H29/8 現在、50%を達成。
	開発する下肢から腰部にかけたアシストシステムにおいて、人間の意図を 3 パターン以上認識でき、認識精度が 90%以上のセンサを用いた駆動モード・インタフェースが創出できること	・未着手	H29/8 現在、0%を達成。
	空気圧源、バッテリーを除いた重量 6kg 程度	・未着手	H29/8 現在、0%を達成。

本システムのモバイル化を目指した、空気圧源の小型・軽量化の検討	圧源重量：4kg 程度、圧力・流量：0.7MPa 出力において 10NL/min の流量を供給可能、供給時間：2～3 時間程度（空気圧換算で 1200ML～1800ML）	・新規な空気圧源であるハイブリッド空気圧源を提案。試作機による実験で従来手法と比べて軽量の構成を実現可能なことを確認。	H29/8 現在、20%を達成。
装着性が高く、確実に力の伝達が可能なウェアラブルデバイスを実現する、空気圧加圧による新しい身体固定デバイスの開発	リブにトルクが印加された時の装具の変位（角度）：装具による固定方式と同等以上、	・ジャミング転移を用いた装具を製作し、提案手法の実現性を確認した。	H29/8 現在、20%を達成。
	アシスト時の表面筋電位：装具による固定方式と同等以上	・未着手	H29/8 現在、0%を達成。
	アシスト感覚：装具による固定方式と同等以上	・官能評価により、アシスト感覚の向上を確認した。	H29/8 現在、80%を達成。
	長時間装着の影響：ベルト・サポータ方式等と同等以上	・未着手	H29/8 現在、0%を達成。
	サポータ部分の重量：200g 以下	・未着手	H29/8 現在、0%を達成。

研究開発の成果

革新的アクチュエータシステムの実現に向け、下図の4テーマに対して研究開発を行っている。先導研究にて提案手法の有用性を確認し、研究開発期間では実用化を目指す。

テーマ①

高出力型人工筋肉の長寿命化

従来型の1.5倍の収縮量、4倍の牽引力を持つ人工筋肉の長寿命化に取り組む。現在12万回の繰り返し耐久を実現



空気圧人工筋肉の動作（左：無加圧、右：加圧）

テーマ②

可変粘弾性アクチュエーション

試作機Airsist IIによる評価を実施
→軽量(片足1.9kg)なため走行が可能
可変粘弾性アシストによるアシスト
→アンケートと定量評価で有効性確認



Airsist I装着の様子

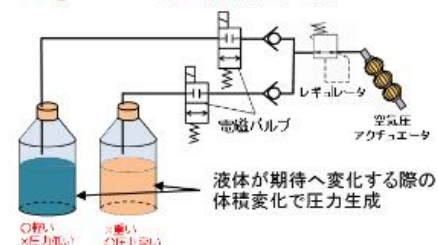


開発したAirsist I

テーマ③

携帯可能な空気圧源

2種類の気液相変化を利用したハイブリッド空気圧源を提案。
4kgでAirsist Iを1時間駆動可能



テーマ④

力を確実に伝達する新装着法

ジャミング転移を利用した新固定方を提案。



大気圧下では柔軟

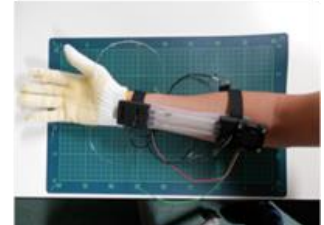
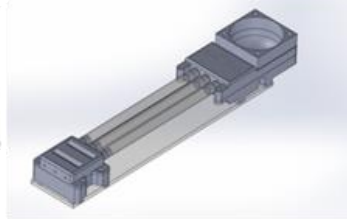
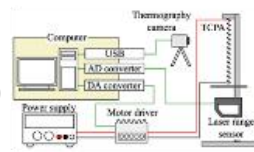
負荷化により硬化 (ジャミング転移)

【B-1-12】「高分子人工筋肉アクチュエータによる柔らかな運動支援装具の究開発」 (委託先：国立大学法人九州大学、国立大学法人名古屋大学) <先導研究にて終了>			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
最大発生力 1[N]での可変インピーダンスの実現 (国立大学法人九州大学)	ナイロンコイルアクチュエータでは、現状、簡単な位置制御程度のみ実現されているが、手指の繊細な運動補助を行うためには、可変インピーダンスを実現することが必要である。また、筋骨格構造による駆動方法では、冗長駆動系となり構造によりインピーダンスを変化させることができるため、アクチュエータ単体および構造の両方を巧く利用した最適化設計手法の確立を目指す。	D) 2自由度アームの開発 (九州大学) 小型2自由度多関節アームを用いた、片側2本で合計8本のTCPAを用いた可変剛性機構を試作し、その特性について評価を行った。 複数の人工筋の駆動本数を変化させることで、on/offのみによって可変剛性を実現している。	90%
4自由度示指運動補助装具の試作と性能評価 (国立大学法人九州大学)	示指を対象とした4自由度示指運動補助装具を試作し、力・変位・応答時間についての性能評価を行う。アクチュエータ自身の構造(捻回数や材質の変更)および、筋配置方法(拮抗配置・冗長駆動配置)による可変インピーダンス実現を目指す。	B) 指先運動補助装具試作機の開発 (九州大学) 人差し指の運動を補助する目的として、3本のTCPAを搭載する前腕部装着型指先運動補助装具のプロトタイプを製作した。 F) 空冷ファンの制御による性能向上手法の開発 (名古屋大学) TCPAの加熱・冷却による制御時において、特に冷却側においてはこれまで自然放熱による冷却を行っていたが、自然放熱では冷却に時間がかかり、伸展時の応答特性が十分ではなかった。そこで、冷却時のみにファンをアクティブに制御する事により、これまでの自然放熱と比較して冷却時の応答を改善した。	90%
最大ひずみ 10%、最大発生力 1[N]のナイロンコイルアクチュエータ素子の試作・特性評価 (国立大学法人名古屋大学)	最大ひずみ 10%/最大発生力 1N を発生するナイロンコイルアクチュエータ素子を試作し、その特性評価を行い、モデルと簡易な制御法を確立する。	C) TCPA クラスターモジュールの開発 (九州大学) 複数の TCPA を一束にまとめ、出力を増大させた TCPA アクチュエータモジュール (TCPA クラスターモジュール) を試作し、その特性評価を行った。 E) 2自由度制御手法の開発 (名古屋大学) 筋長フィードバックと2次遅れモデルを用いたフィードフォワードとの組合せによる2自由度制御手法を TCPA に適用し、単純な PID フィードバック制御と比較して、その制御性能を改善した。	100%
	研究協力者である住友理工株式会社より提供される誘電エラストマーアクチュエータの特性評価を行い、ロボット用人工筋として用いるための特性評価と駆動回路、簡易な制御法を確立する。ベンチマークとして、同程度のワット数をもつ市販電磁モータと、コスト・質量性能比・発生力について比較を行う。	A) TCPA の入出力関係を表す新しい動的モデルの構築 (九州大学) これまで、TCPA の入出力関係を表すモデルが提案されていたが、それは熱熱輻射によるエネルギーや、自身の伸縮に伴う運動エネルギーは考慮されておらず、非線形特性は無視されていた。しかし、実際に応答を計測した結果、これらの非線形特性が無視できないレベルで現れることがわかり、それらを含めたモデル化を行い、その有効性について示した。 追加) 誘電エラストマーアクチュエータを用いたグリッパの開発 (九州大学) 誘電エラストマーアクチュエータをロボット用人工筋として用いるための予備的調査を行った。機構を検討した結果、180度開閉可能なグリッパを開発し、ロボット用アクチュエータとして利用可能であることを示した。	100%

研究開発の成果

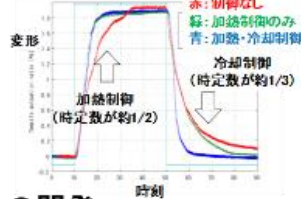
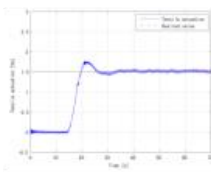
- A) TCPAの入出力関係を表す新しい動的モデルの構築(九州大学)
- B) 指先運動補助装置試作機の開発(九州大学)
- C) TCPAクラスターモジュールの開発(九州大学)
- D) 2自由度アームの開発(九州大学)
- E) 2自由度制御手法の開発(名古屋大学)
- F) 空冷ファンの制御による性能向上手法の開発(名古屋大学)

$$C_v \frac{dT}{dt} = \frac{V_{in}^2}{\rho_0 L (1 + \beta(T - T_0))} - \alpha S_{conv} (T - T_{amb}) - S_{rad} \epsilon \sigma (T^4 - T_{amb}^4) - k_x l l$$



A) TCPAの入出力関係を表す新しい動的モデルの構築

B) 指先運動補助装置試作機の開発



E) 2自由度制御手法の開発

F) 空冷ファンの制御による性能向上手法の開発

C) TCPAクラスターモジュールの開発

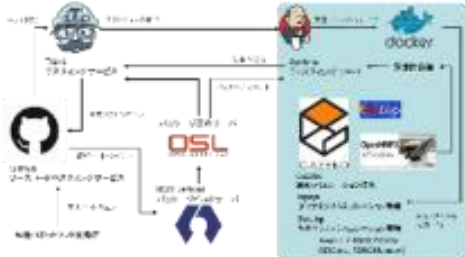
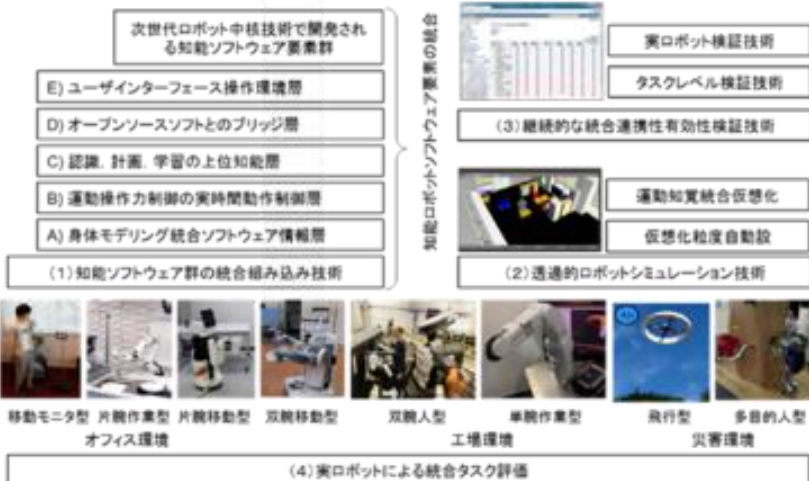
D) 2自由度アームの開発

研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術			
【B-1-13】「ロボット知能ソフトの透過継続システムインテグレーション技術の研究開発」			
(委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了>			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
超広域認識行動計画学習ロボット 知能ソフトウェア要素群の統合組 込み技術	各ソフトウェア要素を他の要素と統合 可能なような体系化整理	プロトタイプの実験タスクを体系化整理された 各知能ソフトウェア要素をインテグレーション して整理開発し、これまでに、160 個以上のパッ ケージを公開、メンテナンスを行い一般に利用 できるようにしてきた。	達成
	各知能ソフトウェア要素をインテグレ ーションによるプロトタイプ支援タス クの実現	インテグレーションの統合性・有効性を評価す るプロトタイプ支援タスクの開発とプロトタイ ピングを行った。具体的には移動マニピュレ ーションロボットを用いてオフィス環境で冷蔵庫 の物品を取り出し目的の位置に持っていくタス クと、双腕マニピュレーションロボットを用い て工場環境で物品棚の中に置かれた物品を取り 出すタスクの2つのプロトタイピングを行っ た。ここで利用しているソフトウェアは全てオ ープンソースで構成され一般に公開し積極的に 普及を図っている	達成
知能ソフトウェア群機統合検証の ための透過的ロボットシミュレ ーション技術	上記で開発したプロトタイプ支援タス クのシミュレーション内実行を実現	知能ソフトウェア要素モジュールが実機側、シ ミュレーション側で透過的に実現できるよう双 方で統合的に開発を進めていくための検証用シ ミュレーション環境を構築し、タスクレベルの ソフトウェアインテグレーション検証で重要に なる、失敗の検出と復帰動作の計画実行のレ ベルのソフトウェアシミュレーションが可能なこ を示した	達成
	物理法則だけでなく距離センサー・視 覚センサーのシミュレーションを実現	開発した知能ソフトウェア要素モジュールが実 機側、シミュレーション側で透過的に実現で きるよう双方で統合的に開発を進め、特に、物 理法則だけでなく距離センサ・視覚センサにつ いて、実ロボットで利用したプログラムと同じ認 識パラメータでシミュレーションでき透過性を 確保していることを実証的に示した	達成
超広域ロボット知能ソフトウェア 群機能統合のための継続的連携性 有効性検証技術	上記で開発したプロトタイプタスクを 用いて統合連携性検証可能なシステム を実現	開発したプロトタイプタスクを対象に、ソフト ウェア改変に応じて連続的に全知能ソフトウ ェア要素の統合性と有効性の検証が可能なシ ステムを構築し、約 190 のテストケースを用いた統 合性の検証を常時稼働させた。	達成
オフィス・工場・災害現場での実 ロボット統合システムを用いた支 援タスク評価	上記で開発したプロトタイプ支援タス クの等身大ロボットでの実現	開発を進めた知能ソフト要素を活用し、これら のソフトウェアのシステムインテグレーション の統合性・有効性を評価するプロトタイプ支 援タスクとして、当初の予定を超えてオフィス環 境を想定した物品運搬タスク、工場環境を想定 した物品取り出しタスクの2つを開発し、実機 とシミュレーションの双方において認識パイ プラインを含めて同じプログラムが実行可能な ことを達成した	達成

研究開発の成果

人工知能研究領域とロボット研究領域の接近により、従来にない超広範囲の知能ソフトウェア要素が利用可能になりつつあるが、これらソフトウェア要素が有機的に連携し、その機能が有効に発揮できるようなシステムインテグレーション管理機構技術は確立されていない。そこで本研究開発では超広域に渡る知能ソフトウェア要素群の統合の検証を連携性の有効性の観点から常時自動で、かつ、継続的に実行する技術の研究開発を行い、超広域にわたる知能ロボットソフトウェア要素群の統合技術の確立を目指した。

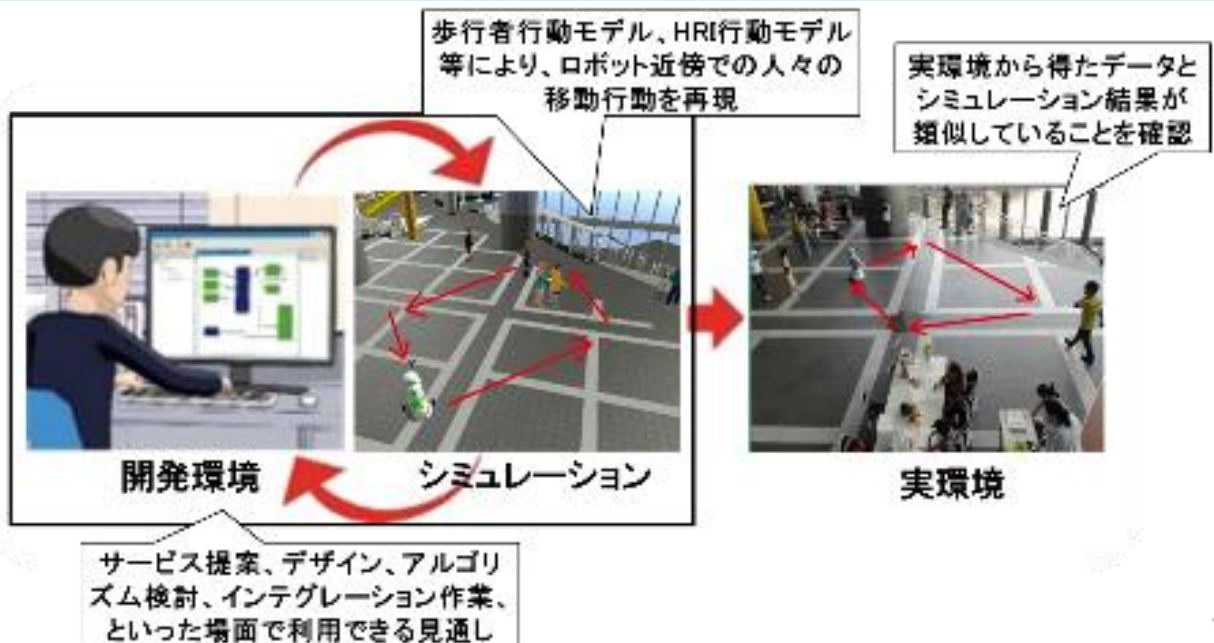
知能ソフトウェア要素の連携性・有効性の自動的・継続的インテグレーション検証



【B-1-14】「人共存環境で活動するロボットのための HRI 行動シミュレーション技術」			
(委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
シミュレータの基礎的な実現と、 インテグレーション効率化への寄与の確認	シミュレーションと実環境が十分に類似。ただし、シミュレーションのレポートリーは最小限	環境内を巡回し、前に立ち止まった歩行者に挨拶をするシンプルなインタラクションを行うロボットに関して比較評価し、実環境から得たデータとシミュレーション結果が6個の評価指標ですべて類似していることを確認	達成
	ロボットの移動アルゴリズムの開発というシンプルなタスクを例に、シミュレーションがインテグレーションの効率化に寄与できることを確認	サービス提案、デザイン、アルゴリズム検討、インテグレーション作業、といった場面で利用し、効率化に寄与できることを確認済みである	達成
最終目標		研究開発成果	達成度
インテグレーション効率化の実証 → 実環境での開発作業時間を 1/10 以下に	多様なレポートリー（ロボットの行動、環境、人々の行動）に対して、シミュレーションと実環境が十分に類似	レポートリーの多様化のために、滞在型の施設での行動を計測するシステムを開発中	H29/8 現在、15%を達成。
	インテグレーションにおいて実環境で開発・テスト作業にロボットを動作させる時間を 1/10 以下に削減できることを実証	実環境で遭遇しがちな想定外の状況を事前にテストできるようにするため「バーチャル実験室」環境を開発中	H29/8 現在、15%を達成。

研究開発の成果

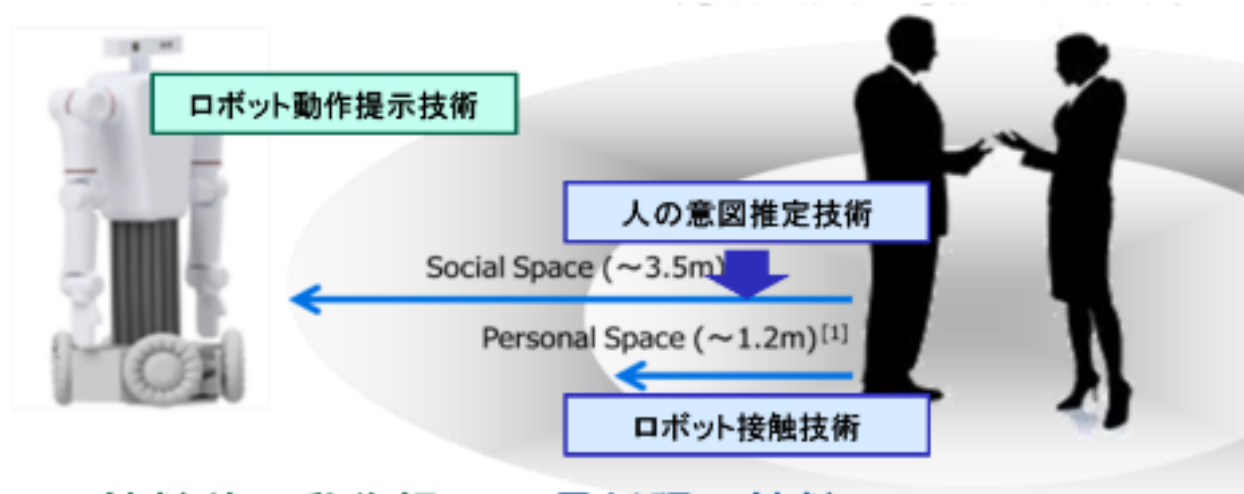
移動場面における人々とロボットとの関わり合い(HRI: ヒューマンロボットインタラクション)を再現するHRI行動シミュレーション技術を実現する。この新たなシミュレータにより、従来は、実環境でロボットをトライアンドエラーで動かし、人々の反応を見ながらロボットの行動を修正していたインテグレーションのプロセスを大幅に効率化する。すでに、プロトタイプを構築し、ロボットが移動のみを行う場面に関して開発の効率化に寄与できる見通しを確認した。



【B-1-15】「接触を許容しながら安全かつ不快感を与えずに移動する自律移動技術の研究開発」			
(委託先：パナソニック株式会社、学校法人早稲田大学)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
安全接触技術の開発	ロボットの周囲に動物の大群による密集状態が存在しても、立ち往生することなく、大群中を分け入り、自律的移動が可能	バンパを用いた弱い接触技術の確立およびレーザセンサとの組合せによる障害物回避や自律移動の基本技術開発を完了し、計二ヶ月の長期実証を行い、動物の大群の中で、連続的な自律移動が可能であることを確認	達成
	動物は傷を負わない。ロボットはハード的修理を必要とする損傷を負わない	上記の二ヶ月の長期実証において、鶏側、ロボット側とも損傷がなく、安全に走行できていることが確認	達成
人の意図推定が可能な人工知能と不快感を与えない人共存要素技術の開発	ロボットの意図伝達手法を比較分析し、有効性を検討。人への心理的影響の改善を考慮した一連の動作制御を構築	比較分析によりプロジェクション投影による進路示唆が有効。心理的に配慮する動作を加えた移動制御を構築し、被験者実験により移動効率向上と印象向上を確認。	達成
	人とロボットの行動の流れから人の次の行動の予測、人がロボットに対してもつ予測を可能にする。	ロボットと人の行動の流れから両者の意図の強さを判断する方法を加え、ロボットの一連のすれ違い移動制御を構築	達成
最終目標		研究開発成果	達成度
人ごみ中を移動する自律移動ロボットシステムの開発	先導研究での開発技術を統合し、周りの人々に不快感を与えず、人をかき分けながら自律移動するプロトタイプ開発	先導研究の成果を盛り込んだ多軸ロボットのプロトタイプを試作。さらに、動作エッセンスを実現するコストダウンモデルである単軸ロボットの試作を実施。自律移動アルゴリズムも組み込み、平成 29 年度下期より評価開始予定。	H29/8 現在、40%を達成。
	実際の人ごみで受付案内やコミュニケーションなどの実タスクをロボットに行わせ、タスク遂行率が 90%以上となること	模擬的な人ごみ環境でアルゴリズムの妥当性を評価開始。平成 30 年度より実タスクで評価を実施予定。	H29/8 現在、10%を達成。

研究開発の成果

人との接触・衝突の許容を前提として、人ごみのような多くの人が存在する中でも、人に不快感を与えることなく、人・ロボットが安全に共存することができる革新的な自律移動技術を開発することを目的とする。人ごみの中で自律移動が継続可能な機構・制御手法の開発に加え、人の動作意図などを推定することで、より不快感を低減できる研究開発も実施し、これらの技術を動物を用いた事前実験で評価、さらには人で模擬的に作った人ごみ環境で動作することを確認した。



接触前の動作提示と最低限の接触で人ごみを走破

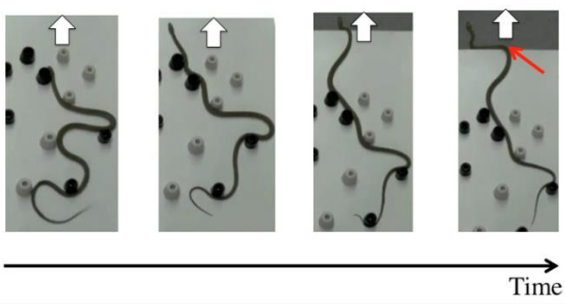
【B-1-16】「生物ロコモーションの本質理解から切り拓く大自由度ロボットの革新的自律分散制御技術」

(委託先：国立大学法人東北大学) <先導研究にて終了>

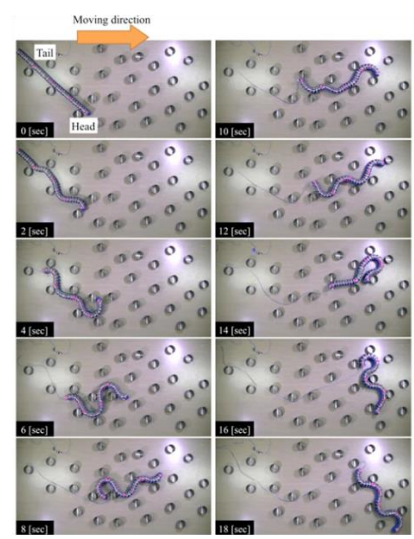
先導研究目標	研究開発成果	達成度
数十体節程度の2次元ヘビ型ロボットをプラットフォームとして、テスト環境に内在する不均一性をロボットが「喜んで」推進のために活用する自律分散制御則を構築する	環境内に散在するペグに身体を押し付けて得られる反力を活用して効果的に推進させることに成功した。一方で、狭窄空間からペグが散在する空間への遷移の際、ごく稀に身体の前で「ケンカ」が発生する現象が観察された。	若干の問題があるものの、ほぼ達成されたと考えて良い
構築した自律分散制御則が、優れた耐故障性や拡張性を併せ持つのかについても実機実験を通して定量的に検証する	操作性も含めて、これらの特性の定量的検証は進んでいない。	達成に至っていないのが現状である。

研究開発の成果

本研究の目的は、環境適応性・耐故障性・拡張性・操作性を同時に実現可能な大自由度・自律分散型ヘビロボットの基盤技術の創成である。この目的のために、制御系の意図に基づく動作の結果として得られた感覚情報との整合性を表す「手応え」という新規な概念を導入することで、シンプルな制御則から実時間適応性が生み出されることを、実機実験を通して確認した。



実際のヘビが非構造環境下で示す行動
(足場を活用したロコモーション)



手応え制御に基づく自律分散制御により、ロボットに同等の振る舞いを発現させることに成功！

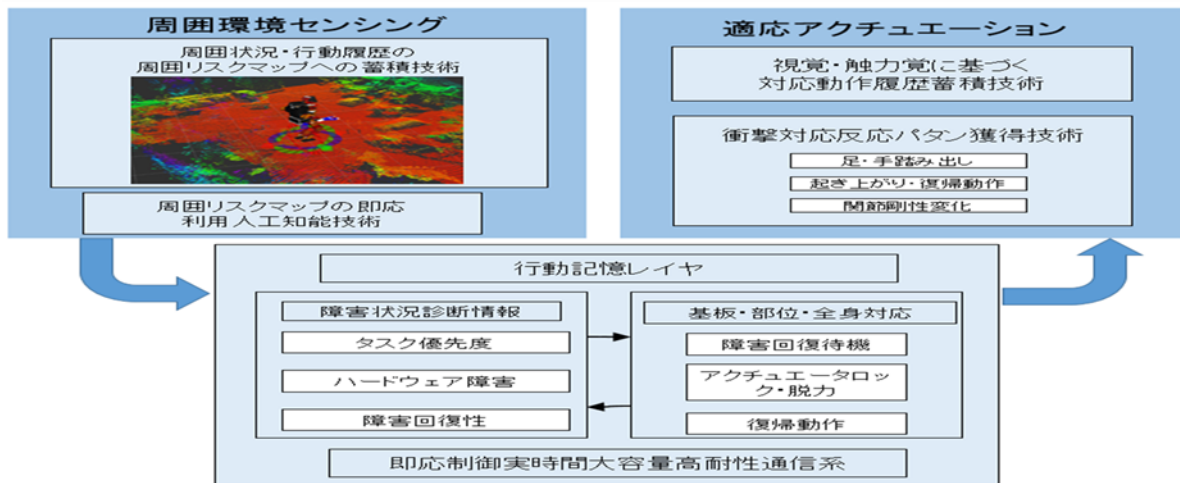
【B-1-17】「行動記憶レイヤ統合に基づく衝撃対応実時間行動システム中核総合化研究開発」

(委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了>

先導研究目標	研究開発成果	達成度
立位時バランス維持、足踏み出しといったヒューマノイドロボットの脚機能を活かした衝撃対応行動実現	床反力制御に基づく立位バランス制御器の拡張、着地位置補正器開発、巻き戻し動作緊急停止機能の適用を行った。これにより、JAXON 実機において、立位時歩行時対人接触による突発外乱、立位時作業失敗からの転倒抑止、路面凹凸により足裏で想定外衝撃を受ける不整地歩行、屋外環境を想定した水中歩行のような複雑外乱下行動を実現し、立位状態・足踏み出し実時間制御器の理論構築・実装を行うことができた。	100%達成できた
行動履歴や視覚・触力覚の周囲認識情報の情報取得・蓄積技術の開発	ロボット搭載の視覚センサを用いた周囲環境の地図情報作成技術を整備し、力覚センサ・姿勢センサ・内界センサを用いた路面壁面凹凸情報取得技術を開発した。さらに、地図情報などを行動記憶レイヤに蓄積・利用に関しても実機による路面認識・歩行実験を通して確認を行った。	100%達成できた

研究開発の成果

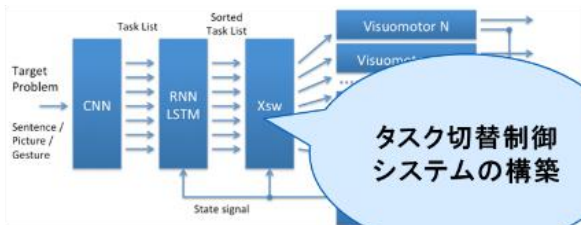
環境や経験などの行動記憶を利用することで障害へ適切に対応できるように行動記憶を統合した実時間行動システムを構成した。作業している最中には見えていない周囲状況の記憶やそこにある物や環境へ行動を行った際の反応から対象物の操作性や環境の不安定さなどの動作記憶などを、身体の多くのセンサとアクチュエータデバイスと高速通信可能な行動制御系へ統合して衝撃対応実時間行動システムを構成した。



【B-1-18】「知識の構造化によるロボットの知的行動研究開発」			
(委託先：学校法人明治大学、共同実施先：TIS 株式会社)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
動く歩道への乗降ができること (複数のタスクの連続実行)	タスク連続実行、加速度インパルス予測制御等、多くの重要課題を内包＝後に続く多くの知見を得る	動く歩道乗降のための運動制御はシミュレーションにより検証した。まだ成功確率が低いため、実機実証は行っていない。	50%
複合課題のタスク分解と並替え、および実行	シミュレーションだけではなく、実際に移動ロボットによって実証できること	多数の実行モジュールと、状況認識とルートプランニング技術を組み合わせることによって、エレベータ搭乗を含む移動制御のような複合タスクを実行できた。	達成
複数タスクの実行制御	正確なタイミング (0.1s 以下程度) でタスクの切り替えができること	複数タスクの切り替え速度自体は OS のプロセス管理と通信速度に依存している。現状での実行制御は必要十分な速度で行えている。	達成
最終目標		研究開発成果	達成度
任意の目標地点に到達できる	複数の階層を持つ、大規模な複合商業施設の中、または異なる建物にまたがる場所において、その場で提示された任意の目標地点に到達できること	エレベータを利用した階層間移動は既に出来ている。屋内および大規模な屋外移動も行えている。残る課題は、場所の名称や意味 (種類) の情報を含むマップを適切に作る機能等をすべて組み合わせて機能するシステムに組み上げることである。	H29/8 現在、30%を達成。
代替手段を用いた新たな経路設計	経路上には、エレベータとエスカレータが存在し、それらを利用した複数の経路の計画ができ、途中、遂行中の経路が不通であるなどの障害にあった場合も代替手段を用いた新たな経路を辿って到達できること	上記のマップが適切に作れば、ルートのリプランニングは可能だと思われるが、マップが不適切、不十分な場合への対処が課題である。	H29/8 現在、10%を達成。

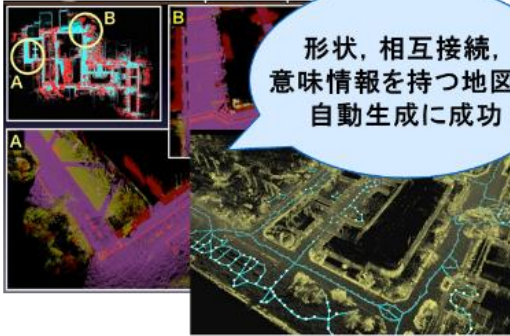
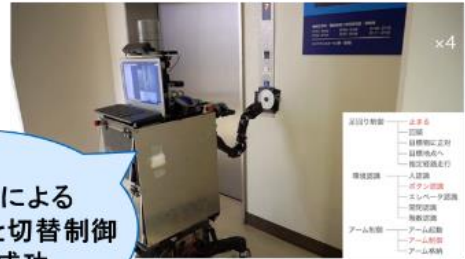
研究開発の成果

現在までの研究開発の結果、基本的な環境認識システムや、タスク制御システム、タスク切り替えを実現するルール決定システムを統合した制御システムの構築に成功し、明示的にルールを記述することなくエレベータ搭乗が行えることを確認した。同時に意味情報を付加するマッピング技術も構築した。同時に、本研究開発の成果を実用化へと導くスタートアップベンチャーを2016年10月に創業し、先端研究と合わせて研究開発を互恵的に推進する体制を構築した。



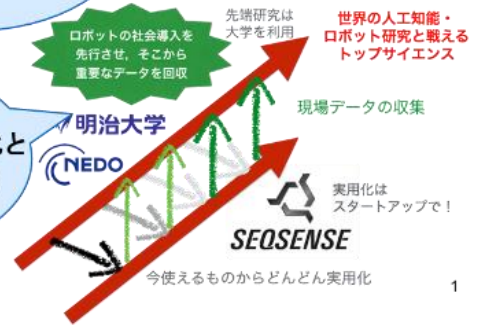
タスク切替制御システムの構築

機械学習による
ルール構築と切替制御
実験に成功



形状、相互接続、
意味情報を持つ地図の
自動生成に成功

スタートアップベン
チャーを創業し、実用化と
先端研究の互恵体制
を構築



[B-2] 平成 27 年度採択② (RFI を踏まえた調査研究→先導研究→研究開発)

研究開発項目④ 革新的なセンシング技術 (スーパーセンシング)

[B-2-1] 「安全・小型・軽量なマン・マシン・インタフェースの開発」

(委託先: 株式会社栗本鐵工所、再委託先: 国立大学法人山形大学、国立大学法人大分大学、国立大学法人大阪大学) <調査研究にて終了>

先導研究目標	研究開発成果	達成度	
ナノ MR 流体の製造と評価	基底粘度 100Pas 以下	実験室レベルの流体性能を量産で再現した。	達成
ナノ MR デバイスの力触覚評価とデバイスの制御技術の確立	力触覚の高速応答 (>200Hz) を可能にする電源及び制御機構の開発	さらに、400Hz までの触覚提示が確認された。	達成
ナノ MR デバイスの力触覚評価技術の開発	力触覚の物理パラメータの解析 (3 件/年)	力触覚の調査を実施した (4 件)。	達成
微小トルク評価のためのデバイス制御装置開発	ナノ MR デバイスの微小トルクを評価する (トルク分解能 $\leq 0.1\text{mN}\cdot\text{m}$)	この結果をナノ MR 流体の力触覚提示に利用した。	達成
ナノ MR 流体の耐久性評価手法の開発	MR 流体耐久評価装置の開発とナノ MR 流体の寿命の把握、安全性を確認	使用に伴う MR 流体の劣化について新たな知見を得た。	達成
簡易的なナノ MR 流体力触覚提示装置の試作	ナノ MR 流体の力触覚提示装置による力触覚の提示 (3 件以上)	硬い、柔らかい、粘着性、厚紙を切断したときの 4 つの力触感をナノ MR 流体で再現した。	達成

研究開発の成果

手術支援ロボット da Vinci や原発復旧工事現場で使用されている建設機械では、マスター・スレーブシステムによる遠隔制御が行われている。しかしながら、現在のシステムでは視覚情報に基づいて操作されており、操作者への力触覚提示が求められている。本研究では新規的な MR 流体 (ナノ MR 流体) を応用し、安全性を確保しながら小さな力も安定に、且つ、高速に伝えることができる。小型で軽量なマン・マシン・インタフェースの開発を試みた。ナノ MR 流体の特性や安全性の評価を行いながら、鉗子をモデルとして把持の力触覚を評価し、ナノ MR 流体を応用した力触覚提示装置によって様々な把持の力触覚を仮想的に再現した。

ナノ MR 流体の安定生産

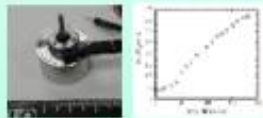


円筒する磁場制御によって、流体の滑らかさから、固体のような硬さまで、連続的に変化!

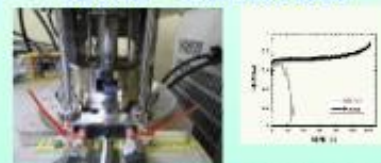
鉄ナノ粒子 MR 流体
⇒ 長期安定性に優れ、
発現するトルクも安定

<調査研究成果の概要>

ナノ MR デバイスの開発
パッシブだから、
安全・小型で軽量

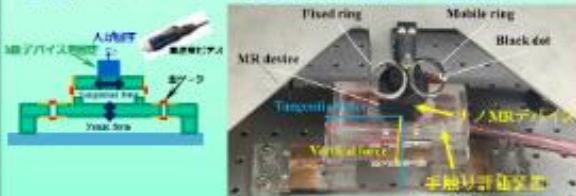


耐久性・安全性の確認



流体使用に伴う変化を定量評価

感触パラメータの抽出と力触覚の再現



把持の物理的パラメータと力触覚との相関を求める

医療ロボットを視野に入れた 感触デバイスの検討



【B-2-2】「機能性ポリマーを用いた移動ロボットの吸着機構の研究開発」			
(委託先：学校法人名城大学)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
濡れ吸着パッドの研究開発	ポラス状吸着パッドの吸着力：表面性状が悪い面で約5.5kg、複雑な形状の食品等でも同程度の吸着力	吸着パッドを柔軟にして作成することで、市販の吸着パッドよりも吸着力を向上させた。目標値を吸着力で設定しているが、パッドサイズによって吸着力の基準が変わるため、この点は修正を行う。	70%
	PDMS 対ワイヤーワックスの体積比 50%	柔軟化させるために毛細管部もポラス化したため、目標設定を変更する。	
	SWA モジュールの吸着力：表面性状が悪い面で7kg程度	評価を明確にするため、凹凸面を3Dプリンターで製作した。その面にて、従来の市販のパッドよりも吸着力を向上させることを実現した。	70%
吸着パッドの吸着面パターンおよび材料の選定・実装	0.1mm精度のフラクタル形状を有する吸着パッドを設計・開発し、形状最適化を図る	フラクタルパッドを試作したが、吸着力が弱く、それを改良した新しいパッドを設計して、形状の最適化を行っている。	40%
	ロボットハンドグリッパおよび壁面吸着ロボット専用のビンガム流体を製作・評価し、ビンガム特性のピーク値を明らかにする	ビンガム流体を用いて吸着テストを行ったが、吸着力に大きな違いが見られなかった。フラクタルパッドの形状最適化を行い、ビンガム流体の利用方法についても再度検討する。	60%
吸着機構を用いた応用デバイス開発	2mm程度の凹凸を踏破可能な壁面移動ロボットの実現	作成した吸着テスト面では、2mmの凹凸で吸着が可能であった。今後ロボットテスト用に吸着面を作製する。	70%
	ゴミやホコリ等が付着した多様な表面性状の中での移動性能の実現	コンクリート面では吸着を実現した。今後、前述の凹凸面を作成して評価を行う。	40%
	ゴミやホコリ等が付着した多様な表面性状の物体の安定把持の実現	コンクリート面では吸着を実現した。今後、前述の凹凸面を作成して評価を行う。	40%
SWA モジュールの実用化研究開発	吸着力10N以上、耐久性1000回以上の繰り返し吸着	吸着力については、パッドサイズを代えることで吸着力が変わるため、市販のものと比較を行う。また、耐久性については今後テストを実施する。	40%
製品化のための再設計	フラクタルパッドの量産を目指した形状の再設計・製作	吸着パッドを一体で作成することで、耐久性の高いパッドを実現した。	75%
	SWA 搭載吸着グリッパにおいて、既存の吸着グリッパと同程度の繰り返し性能、耐久性を実現	繰り返し吸着の耐久性試験については今後実施する。	20%
	SWA 搭載吸着グリッパにおいて、既存の吸着グリッパと同程度の価格設定を可能にする最適化	価格設定については今後検討する。	10%

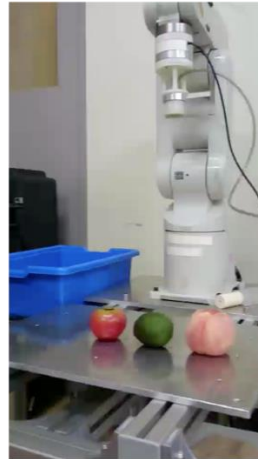
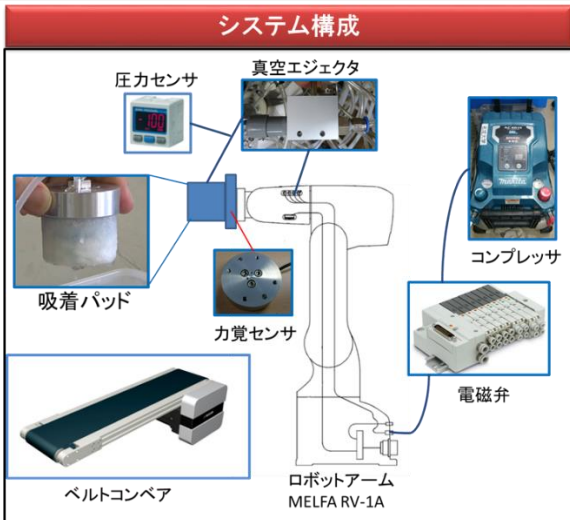
濡れ性パッドの利点が出るアプリケーションの創出

研究背景

産業ロボットは様々な物体をツールで把持・運搬を行っているが、多様な作業工程に対して、ツールの交換が必要であり、生産工程の効率化、高速化の弊害となっている。



多様な物体把持が可能な濡れ性吸着パッドを産業ロボットの物体搬送に応用



ランダムに並べられた果物のハンドリング

【B-2-3】「コンデンサ化マテリアル基材によるソフトアクチュエータ開発」

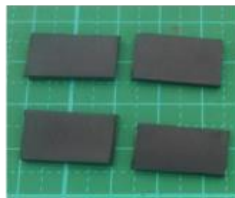
(委託先：国立大学法人岐阜大学、株式会社パイ・アール・テクノセンター) <調査研究にて終了>

先導研究目標		研究開発成果	達成度
高発生力薄膜化 DEA の実現とその集積によるアクチュエータの実用化	内骨格を導入した DEA 素子の開発とその集積化	<ol style="list-style-type: none"> 100mm 以下の厚さの駆動部を持つ DEA を作製し、駆動に成功した。 DEA 用柔軟薄膜電極の作製を行い、従来型より高い導電性を得た。 一定入力電圧下における DEA の自発的振動変形誘起に成功した。 	内骨格を持たせる DEA 作製には至らなかったが、その実現に必要な要素技術は 60%達成。
DEA 性能評価手法の確立と実証評価	DEA 素子及びその集積体の性能のセルフセンシング制御を目指した性能評価法の確立と制御の実現	<ol style="list-style-type: none"> DEA 駆動部の微小ピラー化による大歪誘起を計算科学的に予測し、これを実験的に確認した。 単一素材における曲げ応力の性能を評価する計測治具を開発した。 素材集合を想定しアプリケーションとして利用するためのロボットハンド、アームのモデルの実装評価を行うモデルを開発した。 	70%達成。DEA 素材のモデルや電気配線まわりが不明確。

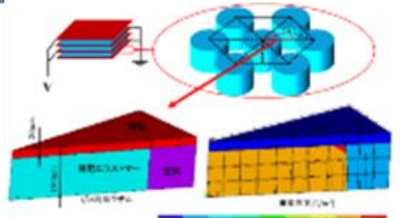
研究開発の成果

金属やセラミックスから構成される従来型アクチュエータでは実現困難な、柔軟駆動を示す Dielectric Elastomer Actuator (DEA) ベースのソフトアクチュエータを開発する。対象物に力学的な負担をかけないロボットハンドやアームへの利用が見込まれる。高精度変形制御可能な DEA ベースソフトアクチュエータの開発。

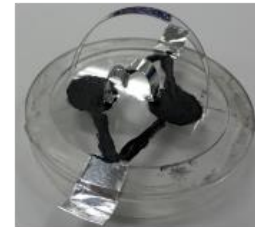
<DEA 研究開発成果>



DEA 用柔軟電極素材
 ・従来型を一桁上回る電気伝導性達成



微細構造化 DEA シミュレーション
 ・微小ピラー化 DEA 大歪誘起の計算科学的予測
 ・実験的確認成功



振動変形 DEA の作製
 ・一定入力電圧下自発的振動変形誘起成功
 【J. Advanced Dielectrics (2017)掲載】

<ロボットハンドイメージ>



ソフトハンドモデリング

<想定される出口イメージ>

ビジネスホテルや病院、介護施設の食事バックヤードへの応用を想定。



研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）			
【B-2-4】「剛性と柔軟性を融合させるスマートメカニクス」 (委託先：国立大学法人筑波大学)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
ヒト関節の柔剛融合特性計測技術の確立とスマートメカニクス理論の非連続的推進	ヒト関節の柔剛融合特性計測デバイスを開発して、その計測技術を確立、および特許取得。	インパクト型を発案し特許出願済（特願2016239865）。JSTの国際特許出願支援制度に申請済。	達成度 90%。まだ特許出願済みの段階であるが、達成見通しは立っている。
	スマートメカニクスの観点から合理的な柔剛融合例を1つ以上見出す	ヒト関節従業融合特性計測デバイスのプロトタイプはほぼ完成し、歩行時の特性計測準備中。	達成度 70%。計測デバイスはほぼ準備が整っている。
装着型下肢運動支援システムの評価試験による検証	5名以上に適用。装着時の歩行距離、速度、関節角度の動作範囲、筋活動パターンが、一般者の歩行に近くなることを、既存の支援機器との比較のもとで検証する	関節デバイス(MR-Link)の高出力化を達成し、プロトタイプ準備がほぼ完了。病院での検証実験登録済み(UMIN000021367、2016.04.01承認)	達成度 85%。最大の懸案であった直動関節デバイスの高出力化の問題をクリアしている。
高度組み立てロボットシステム用ロボット関節の開発	MR流体を利用した多自由度の静止摩擦型柔剛融合ロボット関節のプロトタイプを開発する。産業用ロボットメーカーなどから3名以上の評価をうける。	MR-Linkによる3自由度パラレルメカニズムのプロトタイプを設計中。多関節ロボットマニピュレータの手先に取り付け、柔剛融合特性を確認予定。ロボットメーカー2社と調整中。	達成度 50%。デバイスの構想はほぼ固まっている。
最終目標	研究開発成果	達成度	
ヒト関節の柔剛融合特性データベースに基づくスマートメカニクス計算論の構築	ヒト関節柔剛融合特性データベースを構築する	計測デバイスの準備がほぼ完了した段階であり、今後計測実験を行い、データベースを構築していく。	達成度 60%。
	1) 機能性材料を活用した柔剛融合ロボット関節の設計・解析計算 2) 柔剛融合ロボット関節モデルの同定・検証・シミュレーション計算 3) ヒト関節柔剛融合特性の計測・データ活用計算 4) 柔剛融合ロボット関節の制御則計算 5) システムのパワーフロー評価計算を行うソフトウェア群とそれらのマニュアル群を作成する	1) 柔剛融合ロボット関節の設計ノウハウは蓄積しており、磁場解析の状況も整えている。 2) 柔剛融合ロボット関節の同定実験を実施済み。シミュレーション環境の構築を行っている。 3) ヒト関節柔剛融合特性の計測実験を準備中である。 4) 制御則計算のアルゴリズムを検討中である。 5) パワーフロー評価の方法を検討中である。	達成度 60%。
食事動作支援ロボットへの適用	スマートメカニクスに基づく食事動作支援システムを開発し、評価試験を行い、支援システムを必要とする者5名以上に適用することで食事動作改善の効果を検証する	食事動作支援システムのメカニズムを検討中である。高度組み立てロボットシステムで設計中の3自由度パラレルメカニズムをベースにして、検討できる見込みである。	達成度 25%。
高度組み立てロボットシステムの生産現場における検証	多自由度静止摩擦型柔剛融合ロボット関節を基礎としつつ、学習制御、センシング技術等あらゆる技術を総動員して、スマートメカニクスに基づく高度組み立てロボットシステムの生産現場(ロボットメーカー等の組み立てライン)での試験を行い、その有効性を検証する。	MR-Linkによる3自由度パラレルメカニズムのプロトタイプを設計中。ロボットメーカー2社と調整中。	達成度 15%

研究開発の成果

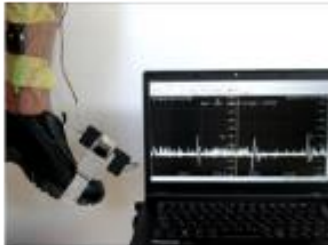
ヒト関節に匹敵する、高い柔軟性と剛性を併せ持つロボット関節に基づくロボットソリューションの創出、具体的には、1)ヒト関節の柔剛融合特性推定システムを開発し、ヒト関節インピーダンスのデータベースに基づくスマートメカニクス計算論を構築、2)装着型下肢運動支援システム・食事動作支援ロボットなどのヒト支援システムへの応用展開。3)高度組み立てロボットシステムをターゲットとしたものづくり分野への応用展開、を目指す。

要素技術

0) 磁気粘性流体とバネを利用した直動関節(MR-Link)の高出力化達成。



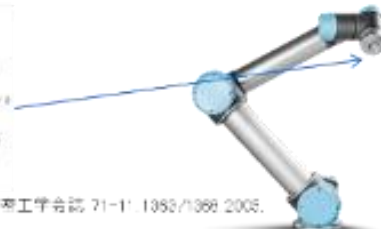
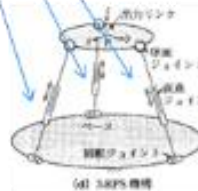
1) ヒト関節の柔剛融合特性推定システムのプロトタイプ完成(特許出願済)。



2) MR-Linkに基づく装着型下肢運動支援システムにより実験検証を推進。



3) MR-Linkに基づく高度組み立てロボットのための3自由度平行メカニズム設計中。



応用展開

表王行生 パラレルメカニズム, 精密工学会誌 71-11: 1393/1399 2005.

【B-2-5】「次世代ロボット素材など要素技術の調査研究と次世代ロボットの試作開発」			
(委託先：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所) <調査研究にて終了>			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
材料・要素技術調査研究プロジェクトチームの設置	<ul style="list-style-type: none"> ・ [システム分野] [エレメント分野] [マテリアル分野] の有力企業に参加いただく体制を築く。 ・ テクニカル MTG には、現役の技術者に参加いただく体制を築く。 	<p>ロボットの [システム分野 (ロボットメーカー)] [エレメント分野 (構成部品メーカー等)] [マテリアル分野 (材料メーカー)] の有識者を企業の枠を超えて集め会議体を構成し検討を行う形を実現した。本調査研究期間中に計 4 回のステアリングミーティングを開催した。</p>	達成
技術課題の明確化と峻別	<ul style="list-style-type: none"> ・ IoT 社会の進展を見据えた、次世代ロボットの要素技術に関する有効な課題を設定する。IoT 社会において、センシング技術などは重要な技術であり、それらの技術を次世代ロボットに使用するため、IoT に関する検討を行う必要がある。少なくとも 10 以上の課題に関し検討を行い、3 以上の課題に関し技術開発・ロードマップ立案へと至ることを目標とする。 	<p>ステアリングミーティングにおいて、ロボット側のニーズの具体化と関連技術とのマッチングという形で要素技術を整理し、協調解決目標・課題を設定した。また、要素技術の整理にあたっては海外調査も行いハノーバーメッセにてヒアリングを行い 180 製品の技術情報を収集した。検討の結果、ロボットの軽量化、ケーブルレス化、インテリジェント化を同業種横断・異業種縦断協調研究の実現目標とすることとし、それぞれに対しテクニカルミーティングの設置 (ただしインテリジェント化に関してはケーブルレス化ミーティングで同時検討) を行った。また、その議論のための方針を策定した。</p>	達成
具体的可能性調査と技術開発・ロードマップ立案	<ul style="list-style-type: none"> ・ 必要に応じ、参加企業において、議論のための材料となる初期試作品を製作する。 ・ データ的な裏づけを以って当該課題の達成難易度と産業インパクトを明示し、明確な技術開発・ロードマップを立案する。要求特性、実現可能性、目標達成へのロードマップを作成・提示するものとする。 	<p>ロボットの軽量化、ケーブルレス化・インテリジェント化の各テクニカルミーティングにおいて各実現目標に対する具体的な課題検討を開始した。それぞれ課題整理表を作成し、技術ロードマップを策定した。調査期間内に現行機体の部分的樹脂化試作と強度試験、と非接触給電に関する技術検討を実施し、今後の解決すべき課題を明確にした。</p>	達成

研究開発の成果

ロボットの[システム分野(ロボットメーカー)][エレメント分野(構成部品メーカー等)][マテリアル分野(材料メーカー)]の有識者を集め、会議体を構成し異業種間で検討を行うモデルを実現し、材料・構造などの「軽量化」、無線技術などを用いた「ケーブルレス化」、安全性・信頼性などを向上させる「インテリジェント化」について技術ロードマップを立案。

調査期間内に現行機体の部分的樹脂化試作と強度試験と非接触給電に関する技術検討を実施し、今後の解決すべき課題を明確にした。

日本ロボット工業会
・技術部会内に
プロジェクトチーム
を発足

ステアリングMTG
を実施し、更に各
テクニカルMTGに
て、技術課題につ
いての協議を実施

軽量化ロードマップ

下記3分類について2019年までのロードマップを作成

- 1) 現行構成からの軽量化
- 2) 基本構成の見直し
- 3) 材料面からのアプローチ

ワイヤレス化ロードマップ

下記3分類について2019年までのロードマップを作成

- 1) 想定給電実施形態4パターン
- 2) 情報通信形態
- 3) インテリジェント化に関わるケーブルレス源題

歯車の試作試験結果

歯車が解けたような状態で、ムシレがあり、歯車側面に大きなバリが発生している。背面当たりも有り、バックラッシが小さかった可能性もある。

歯面が解けた様な状態で、バリが側面に発生している。背面当たりもある。バックラッシを大きく想定したが背面当たりを起こしているのは、歯が負荷により倒れていると考えられる。

電力伝送の試験後課題整理

電力伝送方法	今後の課題
共通	多重化システムの開発、回転体への応用技術、実用化設計開発、小型化設計、無線制御システムの開発
電磁誘導	アンテナ設計開発、構成部品の小型化、異物検出技術・保護機能開発
電界共鳴	電極版の構造設計、使用部品の小型化、高分解能化、実用化設計開発、伝送効果向
磁界共鳴	大電力化設計、実用化設計開発、使用部品の小型化、高分解能化、伝送効果向、システム検討 等

【B-2-6】「把持機能と認識機能の統合による高度なマニピュレーションの実現」 (委託先：国立大学法人神戸大学、共同実施先：国立大学法人金沢大学、国立大学法人信州大学) <調査研究にて終了>		
先導研究目標	研究開発成果	達成度
次世代マニピュレーション技術創成のための要素技術とシステムインテグレーションに関する調査	リストアップした文献126件、注目すべきロボットハンド27種とマニピュレーション研究拠点28拠点を、APC (Amazon Picking Challenge) などの視察に基づき、次世代のロボットハンドに対する要件をまとめた	100%
次世代マニピュレーション技術創成のための標準的マニピュレーションタスク(チャレンジ課題)に関する調査	標準的マニピュレーションタスクの一つとして認識とマニピュレーション機能の統合が求められる「レジチャレンジ」を提案した。対象アイテムは、スーパーマーケットでの販売品から、20品目を選んだ	95%
人工知能技術によるマニピュレーション技術の高度化に関する調査研究	操作対象物を認識・把持するために必要なセンサとセンサ情報処理に関する調査研究を、70近い文献をもとに行った。	100%

研究開発の成果

本事業は、次世代マニピュレーション技術創成のための要素技術とシステムインテグレーションに関する調査、次世代マニピュレーション技術創成のための標準的マニピュレーションタスク(チャレンジ課題)に関する調査、人工知能技術によるマニピュレーション技術の高度化に関する調査研究を行った。文献調査、研究拠点調査では当初の目標を上回る数の調査を行い、現状技術の問題点と今後注力すべき研究項目が明らかとなった。標準的マニピュレーションタスクの一つとして認識とマニピュレーション機能の統合が求められる「レジチャレンジ」を提案した。

目標①: 要素技術とシステムインテグレーションに関する調査

国内外研究拠点調査, 文献調査, 既存ロボットハンド(研究試作品, 市販品)調査

⇒28研究拠点, 135件の文献, 27種のロボットハンド 達成度100%



目標②: 標準的マニピュレーションタスク(チャレンジ課題)に関する調査

⇒20種のアイテム選定, 「レジチャレンジ」の提案 達成度95%



目標③: 人工知能技術によるマニピュレーション技術の高度化に関する調査研究

認識, 把持に必要なセンサ情報処理に関する調査研究, 人工知能分野における知能構築手法の文献調査

⇒70件の文献 達成度100%

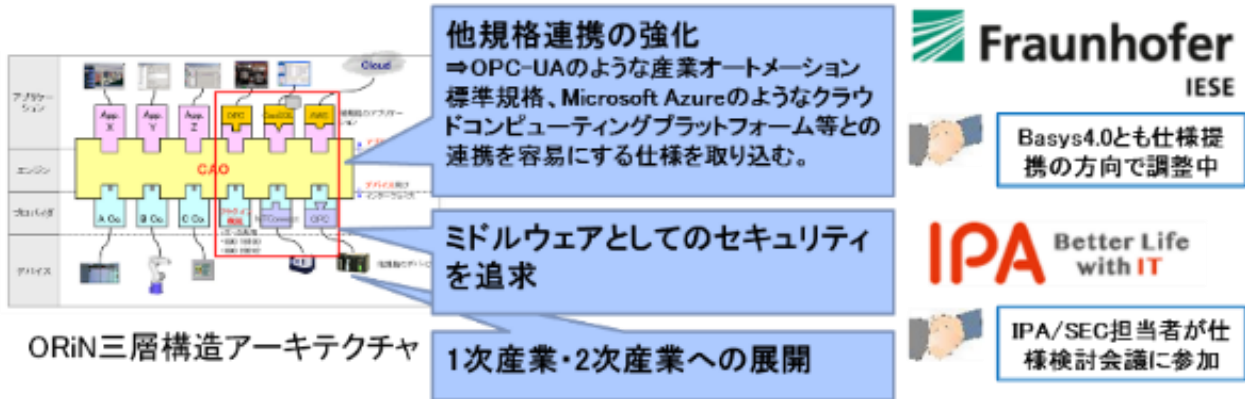


調査研究の成果が英文雑誌のサーベイ論文として掲載

【B-2-7】「Industry 4.0等を踏まえたUniversal 1.0（仮称）／IoT時代に対応したORiN3の戦略及び仕様作成」 （委託先：一般社団法人日本ロボット工業会）			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
ORiN3 詳細仕様の作成	ORiN3 詳細仕様書の完成（インターフェース仕様、クラス設計、メソッド・プロパティ設計、各関数仕様、通信仕様等）	月1回程度の仕様検討ワーキングで仕様検討を実施中。Part1-Part5部分のうち、ORiNのエンジン部分の仕様であるPart2部分は完成。	50%
認証・品質管理制度の策定	オープンソフトウェアにおける認証システムの調査（代表的な方式を5件ほど）	NTT データ経営研究所に調査を委託し、報告書作成。OSSにおける認証システムを整理。	達成
	ORiNの認証・品質管理制度の策定	仕様作成と並行して検討中。	10%
広報活動の強化及び海外調査の実施	2017 国際ロボット展をはじめとする主要展示会への出展	出展準備中。フランフォーファー IESE の Basys4.0 との連携についても追加で紹介予定。	20%
	展示会、講習会等内容向上のためのアンケートの実施	各展示会、講習会でアンケート収集を行っている。	60%
	WEBサイトの充実	英語版ページの充実実施中。	50%
	アメリカにおける標準化動向・IoT ミドルウェア動向の調査	ドイツにおいてミドルウェアアプローチが発表されたため、軸足をヨーロッパに移行。フランフォーファーの動向を協業という形で把握中。	50%
最終目標		研究開発成果	達成度
ORiN3 プロトタイプの実装	ORiN3 プロトタイプの実装	未着手。	0%
	展示会における実機デモンストレーションの実現	2017 国際ロボット展におけるコンセプト展示を実施。2018 年ハノーバーメッセのフランフォーファーブースでの実機デモンストレーションを目指す。	10%
ORiN3 最終仕様の確定と公開	ORiN3 の仕様を製品化に耐えうるレベルまでブラッシュアップする	未着手。	0%
海外普及の強化及び標準化活動の実施	AUTOMATICA をはじめとする海外展示会への出展	フランフォーファーとの連携により、ハノーバーメッセ、AUTOMATICA での展示を前向きに検討中。	5%
	ヨーロッパへの海外支部の設置	デンソーヨーロッパ内に ORiN 協議会の窓口の設置を検討中。	5%
	ORiN3 の ISO20242 への取り込みに向けた活動の実施	ORiN 協議会メンバーが関連会議に出席中。	5%

研究開発の成果

調査研究で基礎調査と要求定義の確定を行い、先導研究段階で仕様を作成中。
 月1回程度の仕様検討会議で仕様を検討。すでにエンジン部分の仕様は作成済み。
 ミドルウェアセキュリティに関しては、IPA/SEC担当者が仕様検討会議に参加、ミドルウェアとしてのセキュリティ仕様を策定中。
 また、当初計画外の成果として、ドイツフランフォーファーIESEのミドルウェアプロジェクト「Basys4.0」との仕様提携を検討中(既に協業開始、IESE仕様のうちORiN3との差分を検証中)。



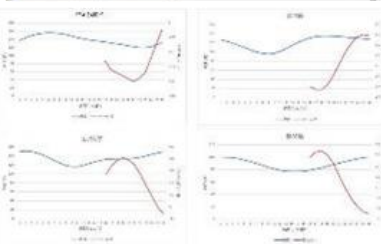
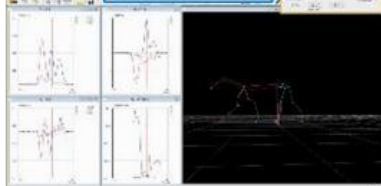
【B-2-8】「動物の骨格・動作分析による、走破性が高い省エネ型脚機構の開発」			
(委託先：学校法人日本医科大学日本獣医生命科学大学、株式会社テムザック) <調査研究にて終了>			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
多目的なヒューマノイドロボットの駆動に応用可能な、動物の骨格構造および動作の分析 (日本獣医生命科学大学)	生体定数の定義	ビーグル犬の重心位置の測定を完了した。動作解析は、高速度カメラから撮影した骨格の位置情報と、フォースプレートから得られた床反力の情報を時間軸で同期し、各関節の力学環境や重心位置の情報を算出する解析手法である。特に、関節モーメントの算出には、骨格上の重心位置を定義する必要がある。今回、我々は犬に対して、質量計を用いた重心位置の測定を行い、各体節の重心位置を定義した。	達成
	犬用動作解析システムの構築	犬の歩行動作の解析に関する技術的検討を完了した。測定した生体定数の情報をもとに、犬用動作解析の測定法を確立した。	達成
	動作解析システムを使用した重心位置の移動および関節モーメントの測定	実際にビーグル犬を歩行させて動作解析を実施し、歩行中の各パラメータを測定した。2016年6月にフォースプレートを導入して以降、3Dスティックピクチャーと床反力データを同期させた解析を行い、ソフトウェア上の不具合修正を繰り返しながらシステムを確立し、関節モーメントの測定に至った。これを受け、その測定値の正確性・信頼性の確認に移行した。	80%達成
動物の歩行構造研究に基づく、省エネ型（モータ数削減）で走破性・耐久性の優れたロボット駆動方法の開発および駆動器具の部分的開発（株式会社テムザック）	筋リンク方式により、既存駆動方式注2と比較して少ないモータによる歩行駆動方法の開発	試作機は調査研究の目的通り、脚の付け根部分の1か所のモータにより、犬の平面歩行と同様の各関節の動きを再現することができた。	達成
	脚の下部が水没しても駆動が継続できる歩行構造の開発	股関節以下の各関節軸には電動機器が配置されていないため、脚の下部が水没しても駆動には影響しない構成となった。	達成
	既存駆動方式と比較して、筋リンク方式による少ないモータによる歩行駆動装置テスト版の開発	日本獣医生命科学大学における犬の歩行動作分析と同じ歩行動作を可能とする、歩行駆動装置テスト版の開発を行うことができた。	達成

研究開発の成果

【日本獣医生命科学大学】
 犬用(四足歩行動物用動作解析システムを構築。
 犬の平常歩行時の四肢関節の角度および関節モーメントの推移に関するデータを測定。
 【株式会社テムザック】
 筋リンク式により既存駆動方式より少ないモーターによる歩行駆動方式を開発。
 脚の下部が水没しても駆動が継続できる歩行構造を開発。



犬の歩行動作解析

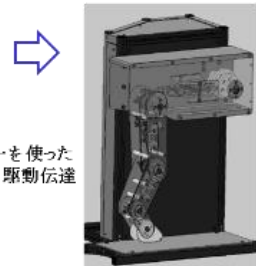


関節モーメントの測定

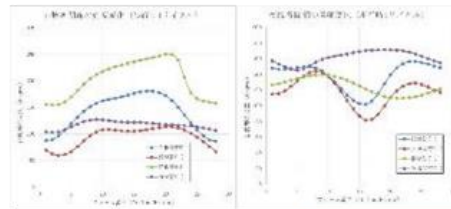
各関節の動きをカムの形状データに

カムの番号	股関節		肩関節		肘関節		腕関節	
	最大(Angle)	モーメント(Nm)	最大(Angle)	モーメント(Nm)	最大(Angle)	モーメント(Nm)	最大(Angle)	モーメント(Nm)
1	155.91	0.00	159.27	-0.28	151.17	0.27	267.54	0.00
2	142.34	0.00	147.2	-0.42	141.82	0.24	27.04	1.14
3	150.25	0.11	154.25	-0.12	150.82	0.04	89.55	1.25
4	151.80	0.04	151.71	-0.02	151.78	0.24	100.49	2.32
5	150.25	0.09	150.04	0.04	149.78	0.21	104.44	2.74
6	150.25	0.11	157.71	0.13	148.04	0.06	104.37	0.04
7	155.94	0.19	159.27	0.21	149.84	-0.07	106.44	2.07
8	155.73	0.11	149.84	0.22	148.10	0.17	106.44	0.80
9	152.03	0.08	149.84	0.31	148.08	0.28	110.77	2.03
10	150.25	0.05	149.84	0.31	148.08	-0.20	116.72	2.04
11	152.81	0.01	150.4	0.24	148.41	-0.08	114.34	1.84
12	150.04	-0.01	151.31	0.24	148.42	-0.09	115.52	1.14

1台のモーターと各関節に駆動力を伝えるカムにより犬の歩行を再現



ベルト・プーリーを使った各関節の駆動伝達



関節角度の測定



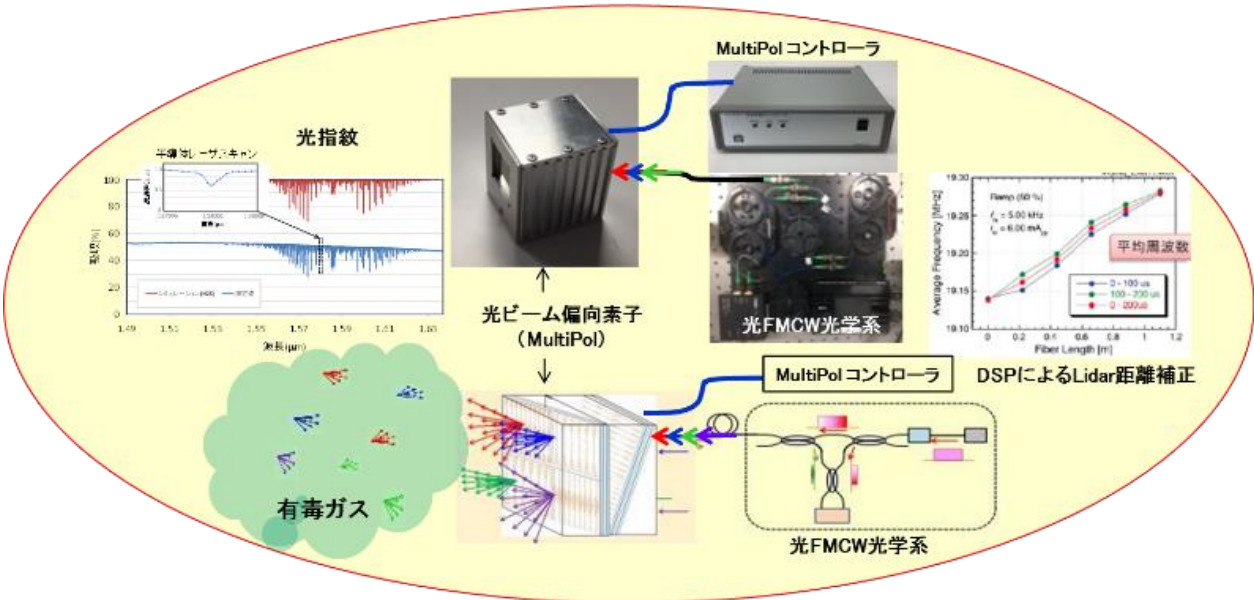
脚下部には電気、モーターはないので水没しても駆動

研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術			
【B-2-9】「広角・多波長レーザーレーダーによる超高感度コグニティブ視覚システム」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人慶應義塾、株式会社ジェネシス)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
①高速・広角で光ビームをステアリングさせる光ビーム偏向素子モジュールの試作（担当：産業技術総合研究所）	速度<8μs、偏向角 >30°（水平）>20°（垂直）、ステアリング数 32、損失<3dB	高速化（速度<8μs）実現のため、ブルー相液晶によりスイッチングの検討 約 20μs を実現。また、光ビームをステアリングさせる光ビーム偏向素子モジュールの設計完。量産化に向けた検討も開始。	H29/8 現在、70%を達成。
②光ホモダイン変調方式を用いた小型・軽量のレーザーレーダーの試作（担当：産業技術総合研究所、慶應義塾）	煙中、濃霧・雨天時における視界 10m 以上	TOF 方式より 200 倍以上高感度を持つ光ホモダイン変調方式において、小型・低価格化が可能な半導体レーザの直接周波数変調を用いた場合、変調信号による補正、または受信信号のソフトウェア処理による非線形チャープの補償することで、分解能 1cm を実現することができた。上記方式を基いた光学系と信号処理に必要な高速 ADC を使用したレーザーレーダーを実装し、小型・軽量化の検討を行っている。	H29/8 現在、70%を達成。
③光デバイスをコア製品としたベンチャー企業（SteraVision）設立（担当：産業技術総合研究所）	ベンチャー企業設立	光デバイスをコア製品としたベンチャー企業（SteraVision）を設立。現在、ベンチャーキャピタルからの出資に向け活動中。	達成（100%）。
④種々のレーザ波長による有害物質の特定と濃度測定の実現（担当：慶應義塾）	種々のレーザ波長による有害物質の特定と濃度測定の実現	CH4、H2S、NH3、CO、CO2、HCN、C2H2 の各ガスについて、1490 nm～1640 nm の波長範囲における詳細な吸収スペクトルを測定し、これらの有害物質を特定するのに必要な吸収線をリストアップした。また、吸収と気圧の関係から濃度推定が可能である。	H29/8 現在、80%を達成。
⑤ロボットの目を制御する高信頼性電子回路とソフトの試作（担当：ジェネシス）	速度 0.5μs 以下、寸法 A4 サイズ以下	光ビームステアリング素子の高信頼性電子回路とソフトを試作完。現在、光ビームステアリング素子と組合せて機能確認中。	H29/8 現在、80%を達成。
⑥外界 3 次元イメージの高速作成および 3 次元イメージからの人・物体・物質などを抽出し、認知・認識するソフトウェア試作（担当：産業技術総合研究所）	3 次元イメージの高速作成（120fps 以上）、視程 2.7m での煙中環境における検出成功率 40%以上（Off line で実施）	3 次元イメージの高速作成のため、上記 Lidar と組合せたソフト試作済。実際の測定シーンで評価中。	H29/8 現在、70%を達成。
⑦実行委員会の開催（担当：産業技術総合研究所）と論文投稿、特許出願（担当：産業技術総合研究所、慶應義塾大学、ジェネシス）	進捗状況報告と今後の進め方の議論・方針決定論文投稿（3 件以上）、特許出願（2 件以上）	論文投稿（1 件）、特許出願（5 件）。ベンチャー企業設立のため特許出願を優先して執筆中。	H29/8 現在、70%を達成。
最終目標	研究開発成果	達成度	
⑧高速・広角光ビーム偏向素子モジュールの製品化（担当：SteraVision）	寿命：10 万時間以上、フィット数：0.1fit 以下		
⑨高温動作多波長レーザとバランス型受光素子アレイの一体化（担当：産業技術総合研究所、SteraVision）	高温 100℃以上でレーザ発信動作の実現、超小型モジュール寸法：160cc 以下		
⑩光ホモダイン多波長レーザーレーダーの製品化（担当：産業技術総合研究所、SteraVision）	JASO D902（耐久試験準拠）		

⑪レーザーレーダーによる有害ガス検出システムの構築 (担当: 慶應義塾, SteraVision)	レーザーレーダーに実装可能な、小型で高精度に有害ガスの濃度を検出するシステムを構築する。		
⑫ロボットの目を制御する電子回路とソフトの視覚システムへの実装 (担当: ジェネシス, SteraVision)	信頼性として JASO D902 (車載の耐久試験準拠)		
⑬3次元イメージから人・物体・物質などを抽出し、認知・認識する人工知能ソフトウェアの視覚システムへの実装 (担当: 産業技術総合研究所, SteraVision)	3次元イメージの高速作成 (120fps以上)、視程 2.7mでの煙中環境における検出成功率 40% (On lineで実施)		
⑭開発した視覚システムをロボットに組み込み火災を模擬した実証実験の実施	火災時における基本動作の確認		

研究開発の成果

光ビーム偏向素子モジュール(MultiPol)については、高速・広角化の見通しを得、制御系を含めたモジュール実現に向け試作を推進中。小型・軽量のレーザーレーダーの試作については、基本設計、検討は終了し、小型・軽量化の検討を実施中。安価な半導体レーザを用いても光FMCWとDSP(デジタル信号処理)により極めて高精度な位置検出を実現。また、有害物質の特定は光指紋測定から可能であることを確認。本Lidarシステムは従来のラスタースキャンと異なり、重要なシーンを任意に重みづけできる、より人間らしいスキャンを実現可能ことが判明した。



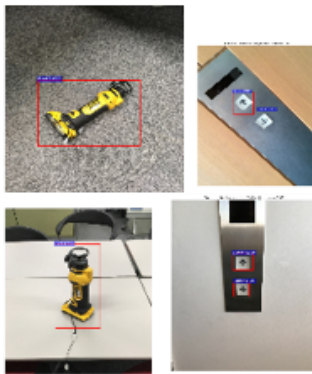
【B-2-10】「非整備環境対応型高信頼ヒューマノイドロボットシステムの開発」			
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
① (a) 環境計測データからの作業対象物検出・追跡技術	アルゴリズムを実装し動作させ、要素技術の有効性確認を行う。また、試作データベースを作成し、学習用データベースの構築法に関し機械学習性能を評価する。さらに、実際の作業環境を想定した環境において、様々なカメラの位置・姿勢からの対象物体を的確に検出可能であることを示す。	試作データベース (DB) の作成が完成し、実装したモデルに対する追加学習を行ったところ同 DB のテストセットにおいて 90%以上の精度で物体検出できることを確認した。現在、物体のバリエーションを増やすと同時に、実環境で想定される物体の見え方の変化、遮蔽、照明変動などの外乱を含むより困難な条件を想定した DB の作成を行っており、今後実環境における実用的なロバスト性を得るための検討を行っていく。	H29/8 現在、60%を達成。
(b) 環境計測データに基づいたロボスト多点接触運動技術	接触部位を問わない多点接触制御について、足裏や手先以外の身体の一部が環境と接触する場合を含む、4 か所以上の身体が環境と接触した場合にも 5[ms] 以下で計算可能なアルゴリズムを開発する。また、制御ループが破たんしないようにロバストな計算アルゴリズムを開発する。要素技術の有効性は、動力学シミュレーションおよび実機により実証する。	数百[us]程度の短周期で力学的に整合性のとれた動作を再計画可能な多点接触動作修正アルゴリズムを開発した。本アルゴリズムは、過去および未来の接触状態遷移情報を用いて重心の上下動を考慮した重心軌道を 100[us] 以下で、他の処理と合わせても数百[us]程度で動作を計画することが可能である。これにより環境計測誤差の影響などで計画したタイミングで環境と接触しない場合においても、力学的に整合性のとれた運動を逐次的に生成・修正することが可能となる。また多点接触運動制御アルゴリズムについて、モデル化誤差にロバストな計算アルゴリズムを検討中である。	H29/8 現在、60%を達成。
(c) ロボットシステム高信頼化技術	テスト環境構築については、テストシナリオを 15 種類程度同定し、テストが開発コード提出に同期して、完全に自動化されることを目標とする。また、差分デバッグ技術の C++言語への拡張を行い、ファイル単位で閉じた回帰バグを事づつ同定できるようにする。実行時検知については、産総研のロボットで発生している原因不明のクラッシュのすべてを分析し、これを検出するための具体的手法を明らかにする。また、テストシナリオと同等の動作を、実機での実行ログからシミュレータで可視化可能にする。	テスト環境については、ソースコード管理システムと統合して、すでに運用を行っている。差分デバッグ技術については、Java 言語について回帰エラーの原因同定に加えて、修正パッチの自動生成も可能になった。C++言語対応については、言語固有の変更の依存関係の定義を行った。木差分パッチ適用システムの開発と合わせて進めていく。クラッシュ原因分析については、メモリ破壊と浮動小数点例外が主要因と判断し、実行時監視ツールの適用を行った結果、信頼性が大きく向上した。シミュレータ上での実行可視化については、ログからの実行モデル抽出に取り組んでいる。	H29/8 現在、55%を達成。
② 統合システムの試作	要素技術を一体のロボット上に統合したシステムを試作し、調査結果から抽出された有望と考えられる大型構造物組立分野のうち、航空機の組立現場、住宅の組立現場を想定した移動・作業シーンの合計 4 種における統合評価を行い、課題を抽出・整理する。	予定通り 9 月より、上記 3 つの要素技術を産総研が保有するヒューマノイドロボットに搭載し、現場における移動・作業シーン 4 種に適用して評価を行い、課題を抽出・整理する予定。移動・作業シーンとしては、(1) 支柱を把持して足場内へ移動、(2) 足場内の悪照明条件下での物体検出、(3) 一部隠れのある工具箱内のトルクレンチの検出、(4) 片膝をついた姿勢でのボルト締め動作を検討している。	H29/8 現在、10%を達成。
最終目標	研究開発成果	達成度	
① (a) 環境計測データからの作業対象物検出・追跡技術	既に基本システムの構築および試作 DB の構築を完了し、実環境の様々な外乱下におけるロバスト性の検証に着手している。処理コストの軽減については今後の課題であるが、画像中の着目すべき領域を処理の初期段階で絞り込むアルゴリズムを軸としてヒューマノイドロボットに搭載される限定的な能力を持つ処理系においても、少なくとも 0.3~1fps 程度での作業対象物の検出が可能なるアルゴリズムの開発を行う。	既に基本システムの構築および試作 DB の構築を完了し、実環境の様々な外乱下におけるロバスト性の検証に着手している。処理コストの軽減については今後の課題であるが、画像中の着目すべき領域を処理の初期段階で絞り込むアルゴリズムを軸としてヒューマノイドロボットに搭載される限定的な能力を持つ処理系においても、少なくとも 0.3~1fps 程度での作業対象物の検出が可能なるアルゴリズムの開発を行う予定である。	H29/8 現在、35%を達成。

<p>(b) 環境計測データに基づいたロボ スト多点接触運動技術</p>	<p>環境計測、動作計画、運動制御をパイ プラインで実行するとともに、タスク 遂行のロバスト化を図り、2cm 以上の計 測誤差が存在する環境情報に基づき、 移動及び作業を含む複数のタスクをシ ームレスに実行する。環境計測データ に基づいて、脚のみでは登ることが困 難な腰高さ以上の高い段差を、脚腕又 は身体の一部と環境との接触を利用し て昇降する。</p>	<p>移動および作業をシームレスに扱うことが でき、環境計測、動作計画、運動制御をパイプ ラインで実行することが可能な多点接触運動生 成・制御のためのフレームワークを開発した。 これにより、タスク遂行のロバスト性向上に不 可欠なロボットと環境との接触力の遷移を考慮 して、環境計測・認識や運動計画などのより上 位の機能と連携することが可能となる。今後、 操作端末を通じて、各機能との具体的な連携や 評価を行っていく予定である。</p>	<p>H29/8 現在、35%を 達成。</p>
<p>(c) ロボットシステム高信頼化技術</p>	<p>不具合を引き起こすコードパターンを 定義して、開発ソースコードに対して 検索できるようにする。実行ログか ら、ミドルウェアコンポーネント内のプ ログラム動作を、シミュレータ上で再 現できるようにする。C++向け差分デバ グgingを完全に自動運用できるよう にする。</p>	<p>コードパターン定義は、すでに対処した不具合 が再び混入することを防ぐ上で重要であり、す でに C++を対象にしたコードパターン定義・検索を可 能にしている。既知のものも含めて、定期的に 発見された不具合パターンを定義・登録する作 業が今後必要となる。C++向けの差分デバグging については、木差分パッチツールの開発に大 きな技術的な課題があるが、実用性を考慮し て、通常の diff/patch ツールとの併用も考慮し て開発していく。実行ログからの可視化には、 現行ロボットシステムの内部動作モデルの抽出 が不可欠であり、機械学習の手法なども取り入 れながら進める。</p>	<p>H29/8 現在、30%を 達成。</p>
<p>②模擬環境における実証</p>	<p>航空機組立および住宅建築の各現場に おいて、それぞれ2種の作業、合計4 種の作業シナリオを設定し、それらの シナリオを信頼度高く達成できること を示す。</p>	<p>航空機組み立てを想定したボルト締結動作で は、工具のピックアップ、移動、工具位置調 整、ボルト締結の一連の動作を 80%以上の成功率 で実現した。</p>	<p>H29/8 現在、15%を 達成。</p>

研究開発の成果

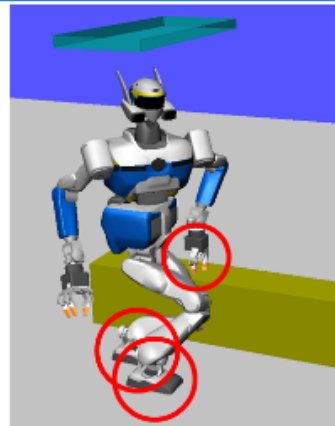
自律型ヒューマノイドロボットを大型構造物組立現場において実用化することを目指し、その実現のために特に重要な3つの要素技術について研究開発を実施している。これまでに (a) 90%以上の精度で物体検出できる物体検出技術、(b) 数百[us]程度の短周期で動作を再計画可能な多点接触動作修正アルゴリズム、(c) 回帰エラー原因の自動特定と修正が可能な差分デバッグ技術を開発した。全体として概ね計画通りに進捗している。

(a) 環境データからの作業対象物検出・追跡技術



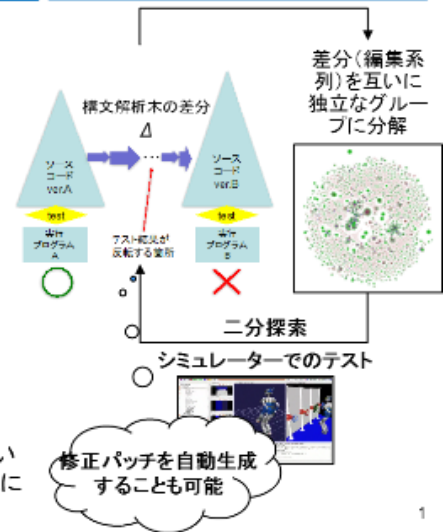
画像DBの作成、追加学習を行い、90%以上の精度で物体を検出できることを確認

(b) 環境計測データに基づいたロボスト多点接触運動技術



過去および未来の接触状態遷移を用いた逐次オンライン3次元重心軌道生成により、計測誤差へのロボスト性を実現

(c) ロボットシステム高信頼化技術



【B-2-11】「超低侵襲、超低負担な神経電極デバイス技術のBMI応用」			
(委託先：国立大学法人豊橋技術科学大学、共同実施先：国立大学法人新潟大学、国立大学法人旭川医科大学)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
電極の埋め込み評価 (申請書当時の計画項目)	(1) 神経細胞体の死滅率と組織の損傷に起因したグリア細胞の発生率(10%増) (2) 各種電極埋め込みにて提案電極の優位性を統計的有意差で示す 2-1 動物の衰弱(例えば体重の10%減) 2-2 計測される信号振幅の50%劣化日	シリコンマイクロプローブ電極の計測安定性を評価する目的で、マウスの大脳皮質一次視覚野に埋め込み、計測を行い、その結果、4ヶ月以上に渡り神経信号の計測に成功した。グリア発生率評価のため、合計21の脳サンプルを取得した。	60%達成
	サル脳への埋め込み(数カ月以上)	これまでのげっ歯類(マウス)の実績を踏まえて、サル大脳皮質からの急性ニューロン活動記録を実証してきた。加えて、電極においては埋め込み型の構造検討を行い、8月には、新潟大学の協力の下、サル脳へ電極埋め込みを実施した。	50%達成 (長期計測も検討している)
BMIのデモ (申請書当時の計画項目)	刺激条件の推定するシステムを構築する。正答率は90%以上とし、加えて数カ月以上の埋め込み経過時間における正答率変化を評価する。	調査研究に引き続きマウスBMIのを検討した。先導研究では、信号解析アルゴリズムを検討し、Template matching法を用いた運動野ニューロン活動の検出によって、マウス体幹の運動を0.2秒前に予測するBMIシステムの構築に成功した。その際、4ヶ月の電極長期埋め込みマウスにおいても運動予測の正答率は現在47%を達成している。サル脳への長期埋め込みの検討を開始した。視覚刺激に対する正答率評価が可能な実験の検討を開始した。また、提案するハンドサインBMIをマウスを用いたデモンストレーションとして展示会等で紹介した(6月BIO tech2017)。	30%達成
電極の高性能化 (新規の目標項目)	8チャンネルの電極アレイ化デバイスを作製する。電極間隔は100μm以下、電極間クロストークは5%以下とする。	電極数8チャンネル、電極間隔60μmのアレイデバイスを設計・製作し、現在マウス脳を用いた計測を開始した。またサル脳多チャンネル計測を目的として、これまでの単一のプローブ電極を2X2配列の電極アレイとしたパッケージング用Flexible Printed Circuit(FPC)およびPrinted Circuit Board(PCB)の設計・製作を行った。また製作したデバイスはサルの脳計測で検証した(8月)。	70%達成
	電極デバイスの更なる低侵襲性、低負担を実現するため基板柔軟化する。今年度以内に柔軟基板デバイスの製作とマウス脳を用いたニューロン活動計測を実証する。	提案電極デバイスの究極な低侵襲、低負担を実現する方法として、これまでのシリコン基板を完全に柔軟化する電極デバイスを提案、設計、試作した。また、マウス脳を用いた評価において、その柔軟基板の特徴を示しつつニューロン活動記録を実証した。	100%(達成)
電極デバイスの事業化 (新規の目標項目)	今年度中に提案電極に関する1件以上のワークショップの開催し、使用法・実験手技のレクチャーならびに研究受託の説明を実施する。ワークショップ後に個別相談会を実施し1件以上の受託研究・共同研究契約を締結する。	昨年度に引き続き、今年はシリコンマイクロプローブ電極の利用方法についてのレクチャー、研究受託について講習会、相談会を第40回神経科学大会期間中に開催した。ワークショップ後に参加者に対し個別相談会を設け、3件の相談を受けた。	70%

	今年度中に 2 件以上の関連特許を出願	シリコンプローブに関する 2 件の特許申請を準備中である。 1. 電極応用に関する特許（9 月中旬に出願予定） 2. 電極の構造および製法に関する特許（1 月出願予定）	40%
	今年度中に事業化に向けた 1 件以上のパートナー企業を見つけ共同研究を開始する。	提案する電極デバイスの開発および事業化に向け、複数の企業との打合せを重ねてきている。テクノプロ・R&D 社とは「豊橋プローブ」の活用に向け共同で課題の解決、研究手法の確立する目的で共同研究契約を締結した（6 月）。その他として、半導体メーカー K 社とはシリコンプローブの結晶成長に関する打合せを複数実施しており、F 社とは私たちの NEDO 事業におけるパートナー企業としての参画を打診している。医療機器メーカーの N 社とは動物埋め込み評価におけるパートナー企業としての協力が得られる方向である（共同研究契約の締結予定）。	100% （引き続き共同研究の可能性を検討する）
最終目標		研究開発成果	達成度
仮想ロボットの操作と実機の操作 （申請書当時の計画項目）	正答率 90%以上	これまでに（2017 年 8 月現在）信号解析アルゴリズムを検討し、Template matching 法を用いた BMI システムの構築に成功している（マウスにおいて正答率 40%）。動物においては、これまでにマウスまで実績を積んでおり、サルにおいては電極埋め込みを実施した。 今後は表示器（マウスカーソル等）での実証をおし、実機（ロボット）を用いた BMI デモおよび正答率の評価を実施する。	H29/8 現在、5%を達成。
電極デバイスの事業化 （新規の目標項目）	開発した電極デバイスに関する受託ビジネスを平成 31 年度以降に開始	事前検討として今年度（2017 年 7 月）の日本神経科学大会にて受託ビジネスに関する紹介を実施し、その後個別相談を実施し 3 件の相談を受けた。 今後は、戦略的に電極機能・性能向上、および電極応用を各種実証し、受託ビジネスに結びつける。	H29/8 現在、10%を達成。

研究開発の成果

本研究では、我々が開発した「侵襲型にも関わらず、超低侵襲、超低負担」な直径5 μm の剣山型電極の新技术を端に発し、革新的な脳計測技術の実現と普及を目指す。この目標に向け、先導研究では、これまでにマウス脳での長期埋め込み計測、サル脳での記録、またマウスBMIの評価・実証をとおして既存技術との優位性を評価するとともに、事業化に向けた取り組みを進めてきた。また、4月の技術推進委員会でのコメントに基づいて、申請時からの目標を変更し、事業化として開発する電極を使った受託ビジネスを目的とした。

Toyohashi Probe

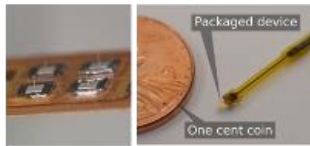
— Type "S" —



電極直径5マイクロメートル
低い侵襲性による神経計測



電極デバイスの長期埋め込み評価
✓ マウス長期埋め込みによる評価
✓ サル脳への埋め込み実施の検討
✓ 埋め込み電極によるBMIデモ



電極デバイスの高性能化(新規設定目標)

- ✓ 単一電極アレイ化(2X2アレイ)
- ✓ 電極基板のフレキシブル化



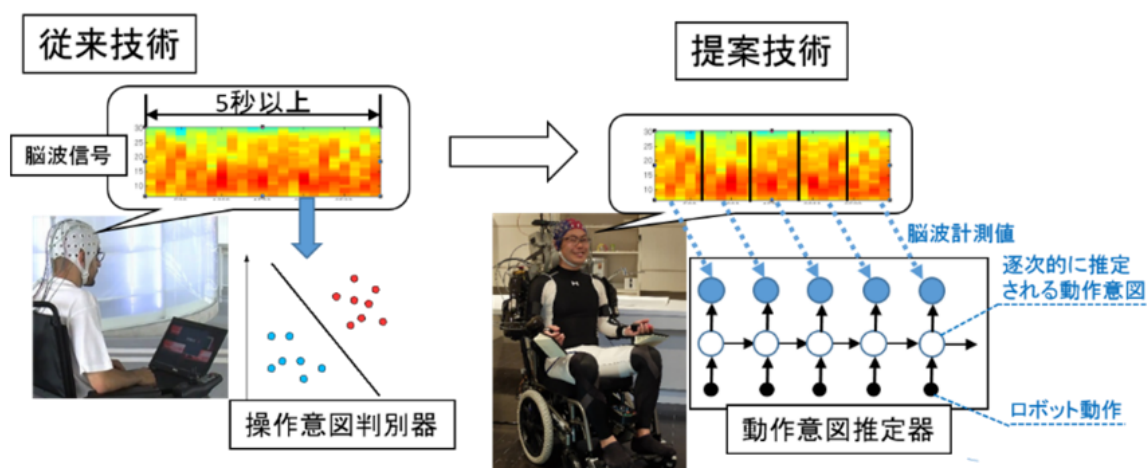
電極デバイスの実用化・事業化に向けた取り組み(新規設定目標)

- ✓ テクノプロ R&D社との共同研究締結
- ✓ 同企業とのBIO tech.での共同出展
- ✓ 神経科学大会でのワークショップ共同開催

【B-2-12】「脳活動モデル同定と内部状態推定に基づくBMI技術」			
(委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所) <調査研究にて終了>			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
適応 BMI 技術の調査	100 件程度の脳活動からの情報抽出に関する文献に基づいて調査を行う。	100 件程度の文献に基づいて調査を行い、レビュー文献としてまとめた。	達成
適応 BMI 技術の実装	脳活動の動的モデルを同定するための BMI 技術を見出し、BMI 外骨格ロボットシステムにおいてループシステムを構築する。	脳活動の動的モデルを同定するための BMI 技術を見出し、BMI 外骨格ロボットシステムにおいてループシステムを構築、ロボット動作に対する脳活動データの解析を行った。	達成

研究開発の成果

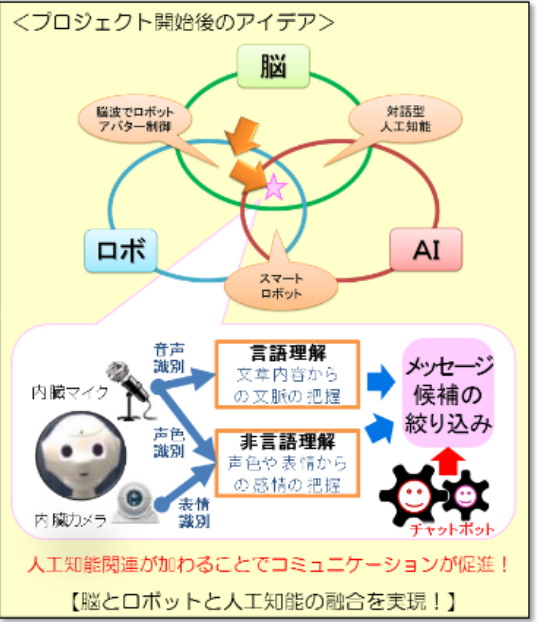
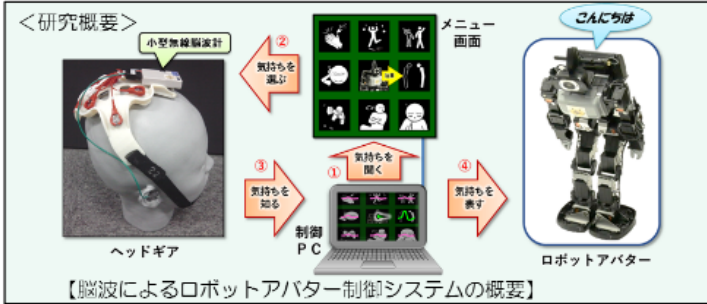
人の操作意図推定の世界的な技術動向、および脳波からの適応的な推定手法についてどのような提案がなされてきているか調査を行った。さらに、適応的BMI技術による脳-ロボットの閉じたループシステムにおいて、どのような構成が提案されているか調査を進めた。また、実ロボットと乾式脳波計測装置を使用した脳-ロボットループシステムを構築し実験を行った。加えて、動的モデル構築および脳活動からの動作意図推定を行うアルゴリズムを開発した。



【B-2-13】「脳波によるヒト型ロボット高速制御技術の実現可能性に関する検討」		
(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
先導研究目標	研究開発成果	達成度
脳波解読の高速化を目指した仮想意思決定関数による打ち切り手法の実装	提案手法の高度化によって数値目標（8 択 3 秒）にせまるスペックでの脳波解読が可能であることを示し、プログラムに実装した（第 1 報は国際査読論文誌に掲載済み）。	ほぼ達成
重度患者によるロボット制御の有用性を調べる調査研究	国内外において重度運動機能障がい者の「生活の質」向上に向けたロボットの活用が進んでいることに関して文献調査を行うとともに、我々の訪問実験にもロボットを携帯して、意思伝達実験に活用することでジェスチャー表現に役立つことを実感してもらっている（被験者追加中）。	進行中（70%）
人工知能とリアル脳を融合したハイブリッド型 B M I 技術に関する調査研究	音声や画像データの識別などに関する人工知能技術も活用し、多様なメッセージを効率的に生成するシステムの試作に成功した。	進行中（70%）
最終目標	研究開発成果	達成度
ハイブリッド型 B M I 技術によるスマートロボット制御システムの開発	本件専用の小型コミュニケーションロボット（新型）の試作を行った。	H29/8 現在、30%を達成。
簡便性の高い脳波計測用新型ヘッドギアの開発	追加予算によってヘッドギアの工業デザインを計画中。	H29/8 現在、30%を達成。
重度患者による遠隔ロボット制御システムの開発	本件のリハーサル用に所内に専用の実験室を確保した。	H29/8 現在、20%を達成。

研究開発の成果

本研究では、重度運動機能障がい者のコミュニケーションを代替するロボットアバターの制御を脳波によって行うシステムの実現可能性を検討することである。このシステムの実現において最も重要な要件である「事象関連電位に着目した脳波解読の高速化」についての試作や実証実験を行い、8択の脳内メッセージ選択を3～4秒で解読するという研究成果を得た(ロボット制御システムへも実装済み)。現在、音声や画像データの識別などに関する人工知能技術も活用し、多様なメッセージを効率的に生成するという新アイデアを盛り込んで開発を加速している。



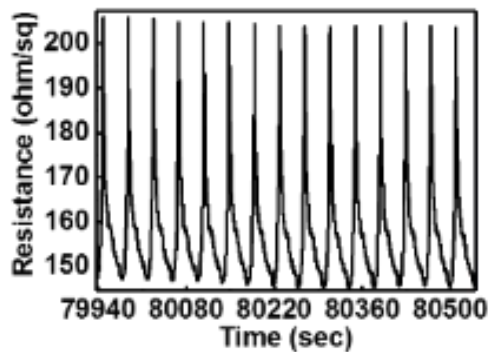
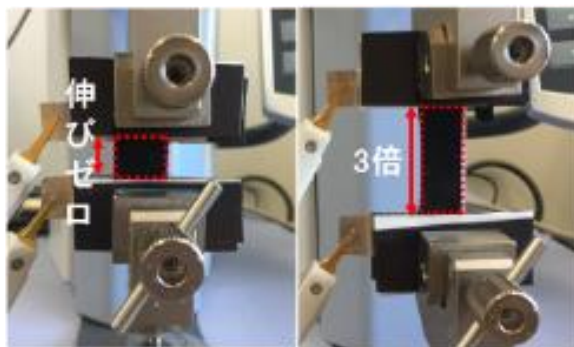
【B-3】平成28年度採択（先導研究→研究開発）			
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）			
【B-3-1】「自由曲面に貼れるナノチューブ面状電極の研究開発」 （委託先：富士化学株式会社、国立大学法人信州大学）			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
単層CNTとエラストマーとの複合構造	①x, y 方向二層構造 ②二次元内多層均一構造化 自由曲面変化計測に最適 多層化構造の作成	各種エラストマー基材を検討	CNTのクロス構造、均一分散構造などで良好な結果を得ている
単層CNT密度	<2 mg/cm ²	厚膜形成により高密度なCNTのネットワークを形成している	高密度化は達成。しかし伸縮時の不安定性が課題
単層CNT濃度	1 wt. %	1wt. %の単層CNTを分散可能	達成
単層CNT安定分散濃度 (分散剤の改良)	1 wt. %	1wt. %の単層CNTを分散可能	達成
面抵抗	> 2Ω/cm ²	<1Ωの低抵抗の電極を実現	伸縮性のもので300Ωまで
面抵抗等方性	< 5 %	抵抗値のばらつきが5%以下	達成
検出可能な最小の伸び	< 10μm	2μmの伸びを検出	達成
検出可能な曲率半径	< 0.5 cm	曲率5mmにおける曲げに対して抵抗値は安定	可能であるが定量評価遅れ
伸縮率	300%	人の関節の曲がりに相当した伸びに対応	達成
応力緩和率	98%	95%の復元率を実現	未達成 90%
繰り返し	自動化による伸縮実験による送致製作、 1万回以上	2000サイクルの負荷により抵抗値変化を評価	2000回までのサイクル性確認耐久試験については検討中
電極面積	400 cm ²	実用を考慮した構造を検討	現技術で可能。現在10cm x 10cm
最終目標		研究開発成果	達成度
単層CNTとエラストマーとの複合構造	人の関節及び筋肉の3次元的な動きを捉えるセンサ機能持つ多層均一・等方構造の作成		H29/8現在、CNTのクロス構造、均一分散構造などで良好な結果。しかし、改良の余地あり。
単層CNT密度	<5 mg/cm ²		5mg/cm ² の膜化は実現。安定性に課題
単層CNT濃度	3 wt. %	3 wt. %は必要がない可能性あり	1.5wt. %まで達成
単層CNT安定分散濃度 (分散剤の改良)	3 wt. %	3 wt. %は必要がない可能性あり。印刷に適する流動性を付与。	流動性を付与する条件確立
面抵抗	> 0.05Ω/cm ²		達成

面抵抗等方性	< 2 %		70%達成
検出可能な最小の伸び	< 1 μ m		2 μ
検出可能な曲率半径	< 0.1 cm		未着手
伸縮率	350%以上	400%は可能。十分な検討は未着手	80%程度の達成度
応力緩和率	99%以上		90%であり改善検討中
繰り返し	100 万回以上	2000 回まで安定な膜は作成可能	最良の系にて実施予定
電極面積	40cm 幅のロール印刷実現		未着手

研究開発の成果

単層カーボンナノチューブ (SWCNT) を導電材に用いた自由曲面に貼れる伸縮性電極を開発している。また、ロボットアシストスーツ用のセンサーとしての動作の実証試験を実施している。

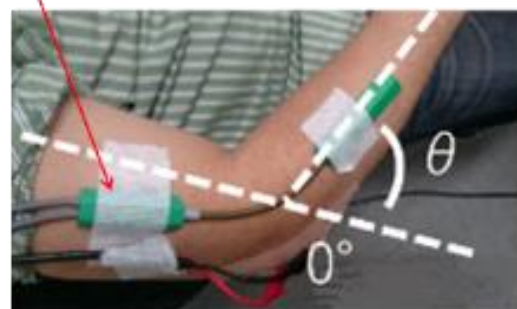
電極の伸縮試験の様子



2 μ mの
伸び検出
捻りに鋭敏

3倍までの引っ張りと収縮時の再現性良い抵抗変化

ゴニオメータ



単層CNTセンサー



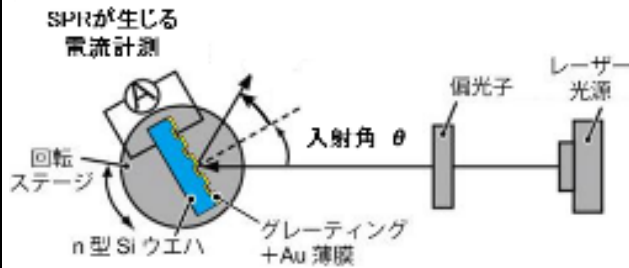
CNTセンサーを用いた関節角の測定

【B-3-2】「ロボットに実装可能な MEMS 味覚センサ」			
(委託先：国立大学法人東京大学)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
表面化学量変化の計測	100mm 角程度のセンサを試作し、分解能 100nm 程度、応答時間 1 分程度を実現	10 mm 角、厚み 0.3 mm シリコンダイオード上に幅・ピッチ 5um の金ナノグレーティングを形成した SPR センサチップを実現した。	H29/8 現在、達成度 70%
味物質の認識素子の評価および成膜方法の確立	100 mM 濃度の溶液中の対象分子を識別する方法を確立する	sub-um 厚みのイオン交換膜を SPR センサに組み合わせることで、イオン状の成分である塩を 10 nM、10 sec 程度の応答速度で検出できることを確認した。	H29/8 現在、達成度 70%
ロボット実装のためのセンサ機構の検討	100 mm 角のウェハ内に味覚センサを構成する要素デバイスを集積する技術を確立	最大の課題である 10 mm 角のサイズの SPR 検出センサの実現は完了した。現在、SPR 励起のための光源部を小型・集積化作業を進めている。	H29/8 現在、達成度 80%
実用化のための戦略立案	味覚センサの活用シーンを具体化し、それに合った実用化戦略を立案	味覚センサの実用化戦略として、企業を対象として味覚センサを実用化するためのニーズ調査を行った。本研究が実現を目指す MEMS SPR センサは認識部の面積が小型であり、従来よりも短時間で対象物質の濃度が検出可能であり、味覚物質だけでなく、化学物質や生体資料などの計測・検査の短縮が見込まれ、実用化先として大きなニーズの一つとなることを確認した。	H29/8 現在、達成済み
最終目標	研究開発成果	達成度	
認識素子のアレイ化・成膜方法の確立	10 mm 角のサイズで人と同様に 5 種類の味要素に対応した 3 mM 濃度の味物質を 1sec で検出し、1 sec でフラッシングすることが可能な味覚センサを実現	10 mm 角、厚み 0.3 mm シリコンダイオード上に幅・ピッチ 5um の金ナノグレーティングを形成した SPR センサチップを実現した。またイオン交換膜によって対象物中の 10nM 濃度のイオンを検出できることを確認しており、提案する手法がロボットに搭載するための小型構造、高速応答を実現できるという知見を得た。	H29/8 現在 30 % を達成。
ロボットへの実装方法の確立	実用シーンに合わせたロボットシステムへの味覚センサの実装方法を確立、及びロボット上で安定して計測可能な味覚センサを確立	センサをロボットに搭載する際の最大の課題であるセンサの小型化に関しては、すでに 10 mm 角までの小型化を達成している。現在、SPR 励起のための光源部を小型・集積化作業を進めており、ロボットシステムへの実装方法の実現を進めている。	H29/8 現在 30 % を達成。
味成分の分析方法の実現	味成分の分析・学習方法を提案し、センサと電子回路とソフトウェアを持つ味覚センサシステムの形にする	味成分に関する分析・学習方法として、主成分分析法などをアナログセンサ出力への適用・学習する方法に関する研究を進めている。	H29/8 現在 10 % を達成。

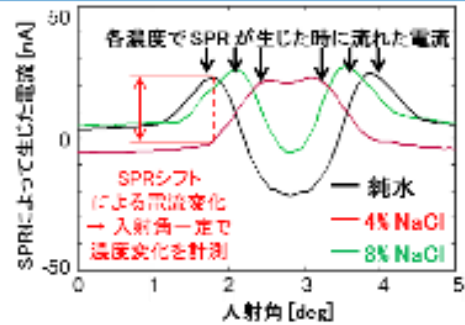
研究開発の成果

○グレーティング上のSPRの電氣的検出

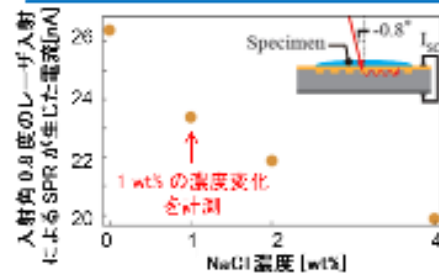
- シリコンダイオード上に形成した5 μmピッチの金グレーティングに1.5 μmの近赤外光を照射したときに生じるSPRをシリコンダイオードに流れる電流に基づいて検出した。



○液体試料を滴下したセンサに対して入射角 θ を0~5度まで走査しながら近赤外レーザーを照射
 ○SPRによって生じた電流をダイオードで計測



○SPRが生じる電流をフォトダイオードで計測。
 ○試料の濃度によって電流が生じる角度が変化。



○レーザーの入射角度を0.8度に固定し、SPR角のシフトによる電流変化と濃度の関係を計測。

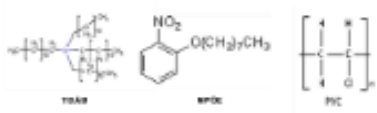
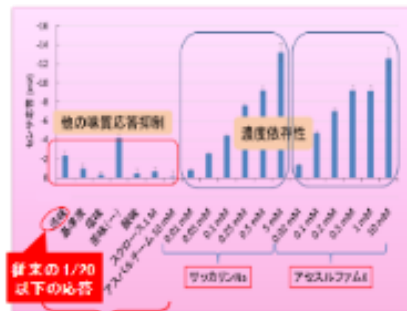
【B-3-3】「味覚センサの高機能化による食品生産ロボットの自動化」			
(委託先：国立大学法人九州大学、 共同実施先：株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー、UCC 上島珈琲株式会社、富士食品工業株式会社)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
人工甘味料用センサの開発	苦味・渋味物質に対する妨害物質の影響調査	苦味・渋味物質の人工甘味料用センサ応答へ及ぼす影響を調べた。その結果、旧来の人工甘味料用センサは、人工甘味料であるサッカリンナトリウム（サッカリン Na）やアセスルファムカリウム（アセスルファム K）に反応するものの、渋味物質であるタンニン酸に2倍以上もの反応を示した。つまり、渋味物質はセンサ反応に多大な影響を及ぼすことが判明し、結果、このままでは紅茶やコーヒー等の実サンプルへの適用はできないことが定量的に示された。そこで、使用している脂質と可塑剤を大幅に見直すことから検討を始めた。何回もの試行錯誤を行うことで、可塑剤を変更することで、サッカリン Na ならびにアセスルファム K への満足いく反応（濃度依存性）を得ると同時に、渋味反応をこれら人工甘味料の 20%以下に抑えた膜の開発に成功した。	100%達成 なお、人工甘味料用センサはコーヒー（特に缶コーヒー）の味の評価に必須であり、現在、UCC 上島珈琲株式会社を共同実施先とすべく事務手続き中。
	脂質高分子膜表面の in situ 分析	味覚センサ（この場合、人工甘味料用センサ）の受容膜である脂質高分子膜は「機能性界面を有するソフトマテリアル」の典型と言える。この材料の特性を把握することは、ソフトマテリアル研究分野の発展に広く貢献するのみならず、もちろん味覚センサ受容膜の理論的かつ系統的開発、ならびに味覚センサのさらなる深化にもつながる。そのためには、光を用いた膜表面分析装置が必須である。装置を作製するための個々の部品の調達をほぼ終え、装置の組み立てを行った。	30%達成
塩味センサの開発 (塩味のエンハンス効果の評価できる塩味センサ)	イオンセンサ併用塩味センサの開発	ナトリウムイオン選択性電極と従来の味覚センサの塩味センサを併用することで、酸による塩味エンハンス効果の検出と再現に成功した。	50%達成 酸による塩味エンハンス効果の定量化には成功したものの、塩味エンハンス効果には他にも組み合わせ例があり、それらの検討も今後必要。
	脂質高分子膜表面の in situ 分析	上記「人工甘味料用センサの開発」の項で説明したとおり。光を用いた膜表面分析装置の個々の部品の調達をほぼ終え、装置の組み立てを行った。	30%達成
	センサ開発時の評価系を構築	塩味エンハンス効果を評価するための文献調査ならびに会社や有識者インタビューを行った。その結果、塩味エンハンス効果には、1) 脳で生じる、2) 舌の受容体レベルで生じる、3) 渋味物質の味細胞表面の局所的増加に起因することが分かった。そのメカニズムに応じ、塩味エンハンス効果を評価するシステムの構築が必要であることが判明した。	80%達成 得られた知見に基づき評価系を構築するために、富士食品工業株式会社を共同実施先に新たに追加（事務手続き中）。
	脂質高分子膜表面の in situ 分析	上記「人工甘味料用センサの開発」「塩味センサの開発」の項で説明したとおり。光を用いた膜表面分析装置の個々の部品の調達をほぼ終え、装置の組み立てを行った。	30%達成

苦味センサの開発	加速劣化試験を行い脂質膜成分の化学変化を解明	加速劣化試験を行った。結果、湿度と温度の双方の組み合わせで、自然劣化1年間と同等の効果を4週間で再現することに成功した。またGCMSによる分析、ならびに膜表面の接触角測定を行うことで、脂質が分解していることが判明した。この脂質はエステルであることから、膜中の環境でエステルの酸加水分解が生じたものと推定される。	90%達成 現在、LCMSによる依頼分析を実行中。
測定時間の短縮	目標5分以内の実現検討試験	測定時間の主を占めているのは洗浄時間である。つまり、膜に吸着している化学物質を全て洗い流しリフレッシュして初めて次のサンプル測定へ移行できる。従って、洗浄効果を検証した。主たる吸着性物質は苦味と渋味物質であるため、この2種の味質へのセンサ応答について検討を行った。結果、現状の洗浄液でも、現行の90秒洗浄から3秒洗浄へと大幅に時間短縮しても洗浄結果が十分に得られる膜も存在することも判明した。それは医薬品の苦味用の膜と渋味用の膜であった。ただし、食品の苦味用の膜では十分な洗浄効果が得られなかったため、今後、洗浄液の改良を行う。	50%達成
	洗浄効果の最適化	3秒間の短縮洗浄時間では十分な洗浄が得られない膜について種々の洗浄液を試験中。	50%達成
自動化した生産ロボットの実用化に向けた研究開発	技術的課題とニーズのマッチングの分析	コーヒー市場についてヒアリング調査を行った。結果、次の工程で味覚センサの必要性が確認された。1) 豆の納入時、2) 製造工場におけるコストダウンのための最適制御、3) 生産機械のチューニング調整、4) ロット毎の品質調査と品質保証。	70%達成
	海外市場の拡大に対応した特許戦略の策定	コーヒーについてスーパー等のPB品、グローバル企業のNB品、飲食チェーン店の味の違いを味覚センサで定量化した。PB品とNB品の市場の違いを明確にした。	70%達成 特許戦略については、UCC上島珈琲株式会社とも策定中。
最終目標		研究開発成果	達成度
人工甘味料用センサの開発	妨害感度（カチオン性、アニオン性人工甘味料）20%以下のセンサの実用化	先導研究期間にて妨害物質の調査を終え、20%以下の応答を示すセンサの開発に成功した。なお、実施計画書に記載の通り、「実用化」とは「事業化・販売」の意味であるが、その時期を本研究開発課題終了後の1年先を想定している。	H29/8 現在、100%を達成。
	センサの感度を人間の官能に一致	人工甘味料には、濃度が高い場合、微妙な苦味を呈したり、後味を持つことがある。これらを評価することを試みる。なお、上記のとおり、既にセンサ開発に成功したので、研究開発期間（平成30～31年度）を半年前倒しで実行することとした。	H29/8 現在、未着。前倒しで29年度第3期から遂行。
塩味センサの開発 （塩味のエンハンス効果を評価できる塩味センサ）	イオンセンサ併用塩味センサの開発	先導研究期間にて酸による塩味エンハンス効果の検出には成功。目下、他の塩味エンハンス効果へ研究展開中。	H29/8 現在、50%を達成。

	塩味のエンハンス効果を評価できる塩味センサの実用化	塩味エンハンス効果に多くの知見を有し、実際に塩味エンハンス効果を示す食品を開発・販売している富士食品工業を共同実施先とすることで、研究の加速と知財化を試みる。上記の通り、酸による塩味エンハンス効果の検出に成功したので、実用化へ一歩近づいた段階である。	H29/8 現在、30%を達成。
苦味センサの開発	脂質高分子膜内の化学変化とセンサ感度の関係に関する理論的説明	味覚センサの受容膜である脂質高分子膜内で、酸によるエステル加水分解が生じ、脂質や可塑剤が分解されていることを、主として GCMS を用いることで解明した。苦味物質の膜への吸着量は劣化前と後で差がないにも関わらず、膜表面が親水化していることを見出しており、結局、先の研究結果 (Toko et al: Sensors, 14, 16274 (2014)) から、膜の表面荷電が増加したため感度が落ちているものと推察される。今後、定量的解析を行う。本研究は平成 29 年度第 3 期に前倒して実行。	H29/8 現在、50%を達成。
	6 ヶ月以上の保証を可能とする苦味センサの実用化	既に先導研究期間にて加速試験で劣化していない膜の開発に成功している。従って、実用化の確率は極めて高い。本研究は平成 29 年度第 3 期に前倒して実行。	H29/8 現在、80%を達成。
測定時間の短縮	洗浄効果のメカニズム説明	苦味や渋味の味物質は親水性 (イオン性) と疎水性のバランスで受容膜に吸着する。従って、洗浄液は、その pH を変えたり、親水性/疎水性バランスの調整を行うことで、味物質の受容膜からの脱着を促進するものである。味物質と受容膜の性質を解析し、洗浄液の選定を行い、実験を遂行している段階である。まだ全ての味物質と受容膜についてデータが出そろっていないが、進捗に応じ、理論的説明を進める。	H29/8 現在、30%を達成。
	5 分以内での測定技術の実用化	既に 2 種類の味物質と受容膜 (医薬品苦味、渋味) で成功しており、この方針で実用化を目指す。	H29/8 現在、40%を達成。
自動化した生産ロボットの実用化に向けた研究開発	実サンプルでの各種センサの実証試験	実サンプルでの検証には具体的にサンプルを選定する必要があるが、現在、世界市場を形成している嗜好品であるコーヒーに的を絞りつつある。	H29/8 現在、未着。UCC 上島珈琲株式会社と共同で研究を行う。
	安定性、耐久性、歩留まりの調査	苦味センサについては既に安定性と耐久性を確保した。人工甘味料用センサと塩味センサについては、今後、検討すべき課題である。また、実用化にあたり歩留まりについては、検証の必要性あり。	H29/8 現在、20%を達成。
	システムの試作とフィールド試験	既に UCC 上島珈琲株式会社と富士食品工業株式会社を共同実施先として認定すべく動いているので、円滑に進めることができるものとする。なお、将来のユーザー候補として食品メーカー、特にコーヒーや茶類の嗜好品分野と調味料分野と組むことも必要。さらに工場への導入にあたり、装置メーカーと組む必要があるため食品生産の装置メーカーを探す必要がある。	H29/8 現在、10%を達成。

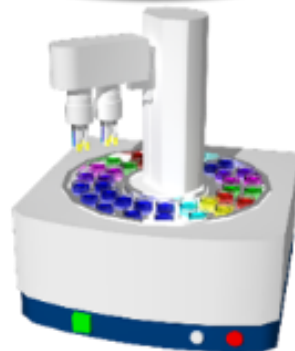
研究開発の成果

- ①人工甘味料センサに関して妨害物質の応答抑制に成功した。
- ②塩味センサに関して酸性物質によるエンハンス効果を再現した。
- ③苦味センサに関して応答劣化のメカニズムを解明すると同時に、劣化しない膜の開発に成功した。
- ④測定時間の短縮に関して洗浄工程の時間短縮を検討した。
- ⑤自動化した生産ロボットに関してコーヒー市場についてヒアリング調査を行った。

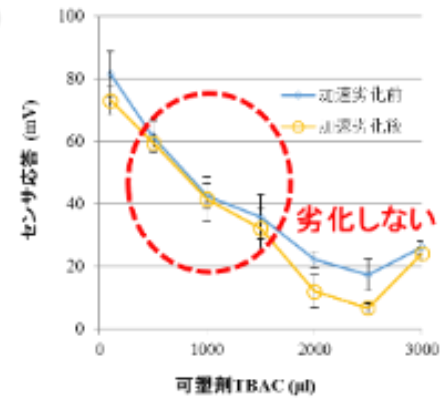


人工甘味料用センサ

味覚センサ



- ①人工甘味料用センサの開発
- ②塩味センサの開発
- ③苦味センサの開発
- ④測定時間の短縮
- ⑤自動化した生産ロボットの実用化に向けた研究開発



劣化しない苦味膜の開発に成功

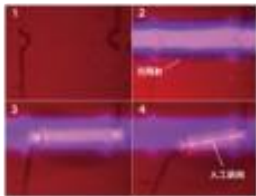
苦味センサ

研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）			
【B-3-4】「分子人工筋肉の研究開発」			
（委託先：国立大学法人東京工業大学、国立大学法人北海道大学、国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学、 共同実施先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人関西大学、国立大学法人大阪大学）			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
人工サルコメアユニット用 DNA オリガミ構造体の創製（学校法人関西大学[共同実施先]）	・ ロッド状のオリガミ構造体の設計と原子間力顕微鏡（AFM）による構造確認を行う。	DNA 二重らせん 6 本を束ねた長さまるまる nm のロッド状オリガミ構造体を設計、構築し、AFM による構造確認を行った。	達成
	・ キネシンロッドと微小管の複合体形成を分子レベルで確認する。	上記のロッド状オリガミ構造体に対して、3 系列、計 36 本の 1 本鎖 DNA を導入し、DNA 修飾したキネシン分子を複合化、この構造を AFM で確認した。	達成
	・ アダプターオリガミ構造体の設計と AFM による構造確認を行う。	通常の DNA オリガミよりも柔軟な新規の構造体 DNA Sudare を設計、構築し、その構造、およびチューブ化した構造体の構築を、AFM で確認した。	達成
人工サルコメアユニット弛緩機構の開発（国立大学法人北海道大学）	・ キネシンの DNA 修飾（SNAP タグ+BG 修飾 DNA）の調製と機能確認を行う。	キネシンの C 末端に SNAP タグ配列を結合した融合タンパク質をコードしたプラスミドの合成および大腸菌を用いて NAP タグ融合キネシンの合成に成功した。	達成
	・ キネシンロッドの調製と機能確認を行う。	DNA 修飾キネシンと、関西大学にて調製したロッド状 DNA オリガミ構造体を組み合わせ、キネシンロッドを構築した。	達成
	・ DNA 修飾微小管の構築を行う。	DNA 修飾オリゴ微小管とチューブリンを共重合することで、末端に DNA が修飾された微小管の合成に成功した。滑り運動により、微小管の活性も確認済み。	達成
	・ アダプターオリガミ修飾微小管の構築を行う。	調製した末端 DNA 修飾微小管と、関西大学にて調製したアダプターオリガミ構造体を組み合わせ、複合体を構築した。	達成
人工筋肉を用いた機械システムの基本設計と弛緩機構の研究開発（国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学）	・ 光信号等により可逆的に会合状態をスイッチ可能な改良型キネシンの分子設計と遺伝子組換えタンパク質を生産する。	可逆的に制御可能な人工筋肉用の改良型キネシンの分子設計をおこなった。遺伝子工学的に遺伝子を作成し、組換えタンパク質の生産、品質の評価を行った。	達成
	・ 光信号等による改良型キネシンの会合状態の可逆的制御と人工筋肉の形成・分解の可逆制御を実現する。	光照射の ON・OFF により改良型キネシンの会合状態を可逆的に変化できることを確認した。さらに人工筋肉の形成を光信号により可逆的に制御することに成功した。	達成
	・ 改良型キネシンによる人工筋肉の収縮力を評価する。	改良型キネシンによる人工筋肉の収縮力をシリコーンゴム製の微小カチレバーの変形度により評価した。	達成
人工筋肉造形及び評価システムの構築（国立大学法人大阪大学[共同実施先]）	・ 人工筋肉部位を造形および評価するシステムの設計と構築を行う。	任意の形状の人工筋肉部位を高速スキャン光照射により光造形できる人工筋肉 3D プリンタと評価システムの設計とプロトタイプ機の試作に成功した。	達成
	・ 人工筋肉で駆動する機械システムとなるマイクロロボットの骨格部位を造形するシステムの設計と構築を行う。	人工筋肉で駆動する機械システムとなるマイクロロボットの任意の形状の骨格部位をマイクロ流路内で高速スキャン光照射により光造形できるシステムの設計とプロトタイプ機の試作に成功した。	達成

可視化シミュレーションおよび動画解析システムの研究開発（国立大学法人東京工業大学）	・ 実時間可視化粒子シミュレーションシステムを構築し、微小管運動のダイナミクスを計算機上で再現する。	2000 万粒子からなる実時間粒子シミュレーションシステムを実現し、微小管と分子モータの相互作用から生じるダイナミクスを VR 上で可視化することに成功した。	達成
	・ 実時間可視化粒子シミュレーションシステムの入力となる分子モデルを設計するためのユーザーインターフェースを構築する。	より汎用的な分子間相互作用を記述するために、オブジェクトの定義とその相互作用をスクリプトとして記述できるようにし、粗視化シミュレーションシステム上で動作を確認した。	達成
	・ 高速 AFM を用いて、DNA オリガミ、分子モータおよび微小管の相互作用を観測する。	関西大での成果と重複するため削除します。	
	・ 高速 AFM による動画を解析するソフトウェアを開発する。	高速 AFM が出力する動画を画像処理技術を用いてコントラストを改善するフィルタを開発した。	達成
超分子構造設計支援インターフェースの研究開発（国立研究開発法人産業技術総合研究所 [共同実施先]）	・ 計算機上で構築した分子モデルの衝突判定を可能としたモデル編集機能を実装する。	分子モデルとして基本的プリミティブを配列したモデルの表示プログラムを試作した。	達成
	・ 複数原子をまとめた粗視化モデルを部品化し、複数部品の相互作用を計算可能にする。	DNA 分子、キネシン分子、微小管分子のモデル部品を作成した。	達成
	・ 人工サルコメアのモデル構築とそれを集積した人工筋肉をインタラクティブに編集し、大規模な系の動力学シミュレーションは別プログラムで実施させる。	開発した分子モデルの表示プログラムにおいてインタラクティブな角度変更を可能とした。	達成
最終目標		研究開発成果	達成度
人工サルコメアユニットのクラスター化（国立大学法人北海道大学、学校法人関西大学 [共同実施先]）	・ アダプターオリガミ間の結合による微小管の配列化を行い、人工サルコメアユニットを構築する。	DNA Sudare 構造体への 1 本鎖 DNA の導入により、DNA Sudare 構造体間の複合化の検討に着手した。	達成度 30%
	・ 人工サルコメアユニットに光解離機構を導入する。	光解離性 DNA の合成に着手した。	達成度 30%
人工サルコメアユニットを用いた機械システムのプロトタイプの開発（国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学、国立大学法人大阪大学 [共同実施先]）	・ 昆虫型マイクロドローンのプロトタイプを構築する。	昆虫型マイクロドローン、カテーテルのプロトタイプ構築のための基本設計と人工筋肉の最適化を検討中	達成度 20%
	・ 人工サルコメアによるカテーテルのプロトタイプを構築する。		達成度 30%
超分子構造設計支援システムプロトタイプの開発（国立大学法人東京工業大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所 [共同実施先]）	・ 3次元コンピュータグラフィックス (CG) ソフトウェアを利用して構築し、全体像を明確にする。それら多層モデルを編集して、多様な分子間相互作用の可能性を可視化させる。	DNA タグ付チューブリンおよび DNA オリガミを用いたキネシンロッドの分子モデルの構築に着手した。	達成度 30%
	・ 3次元 CG スクリプトでグラフィックス表示のスクリプトを実装し、既存ソフトへの拡張アドオンとする実装による実用性向上を進める。	新規グラフィックスライブラリおよび GUI ライブラリの評価実施中。既存ソフトの拡張アドオンの調査中。	達成度 20%

研究開発の成果

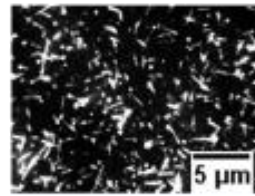
- 分子モーターの改変により人工筋肉収縮速度を5倍高速化
- 人工筋肉光造形システムプロトタイプを構築中
- 人工サルコメア(微小管/分子モータ/DNAオリガミ)を試作中
- 人工サルコメアモデルおよび設計支援環境を構築中



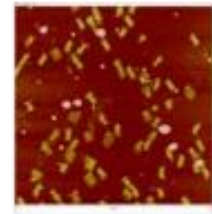
高速化された分子筋肉



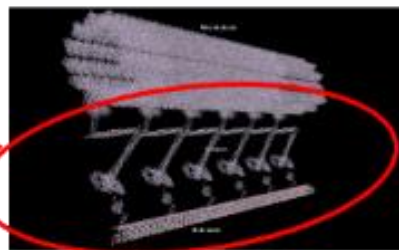
光造形装置



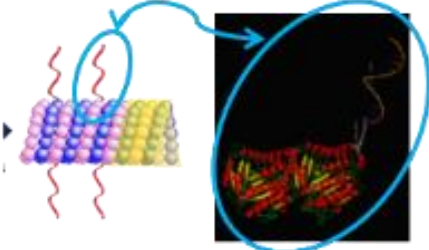
DNAタグ付微小管および結合用DNAオリガミ構造



キネシンロッドAFM画像



人工サルコメア(約400万原子)



DNAタグ付チューブリン(約8千原子)

6th DNA origami

研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術			
【B-3-5】「イメージセンサーを用いた環境認識処理の高速飛行体への適用」 (委託先：エアロセンス株式会社、再委託先：国立大学法人東京大学)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
①システム開発	<p>マルチコプターにステレオカメラを搭載し、屋内外でUAVとしてのビジョンによる環境認識・及び自動経路飛行生成を可能にするハードウェアとしてのシステムを構築する。また、最新のセンサなどの調査・検討を行い本研究で使用するセンサー決定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高感度グローバルシャッターでの60FPSステレオカメラのシステム構築 ・ 500g以下の小型軽量UAV搭載計算システムの構築 ・ 本研究で使用するセンサーの決定 	<p>成果：SLAM 処理専用 SoC を用いた小型ステレオカメラモジュールの開発</p> <p>達成状況・ステレオカメラ処理モジュールの試作機が完成し、SLAM データ出力の精度評価および改善を行った。</p> <p>実際のユースケースを元に、実際の現場でテストできる場所をテストパターンとして整理し、各種のデータ採りを行い、それぞれのテストパターンでの問題点の抽出を可能にできるようになった。</p> <p>実際に懸念していたパターンでは破綻がなく、予期していないところでの問題が出てくるなどの、実現場に即したチューニングが進められるようになった。</p>	H29/8 現在、70%を達成。
②3次元環境認識技術の開発	<p>既存のアルゴリズムだけではなく広角のセンサーを用いた環境認識を実現し、屋内外においてマルチコプターで環境認識を可能にする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ マルチコプターを用いたGPSなし環境での定点維持（高度10mにて半径50cm以内） ・ マルチコプターを用いたGPSなし環境での18km/hでの安定飛行 ・ 建物や塀、大型重機を想定し幅1m、高さ2m以上の大型物体の認識 	<p>成果：小型ステレオカメラモジュールを用いて認識精度の検証・改善を行えるようになった。</p> <p>移動しないところでは、10m 50cm以内の精度は確保できるようになった。移動時の精度検証で問題になるところを抽出し、一つずつ対応できるような機体を用いたテスト環境と、ユースケースリストを元にしたテストパターンリストを構築した。テストパターンを用いて、実際の現場での精度測定を行なっている。</p> <p>成果：全天球ステレオカメラを用いた全周囲リアルタイム3次元環境認識と障害物検出を可能にした。</p> <p>全天球ステレオカメラと組み込みプロセッサを用いて、6fpsでの全天球Depth、ポイントクラウドの生成を可能にした。</p>	H29/8 現在、70%を達成。
③自動飛行経路生成技術の開発	<p>機体を飛ばさずに検討を可能にするシミュレータの開発を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 最終目標とする飛行環境を調査し、環境認識技術と飛行経路生成技術の定量目標値の明確化 ・ プロトタイプ実装・評価から実用化に向けた課題の明確化と対策案を立案 ・ 知財戦略の立案と知財戦略に基づいた知財の権利化 	<p>成果：シミュレータの構築を行った。</p> <p>シミュレータ上の機体に載せたカメラから、仮想3次元空間でのリアルタイムな映像の取得環境が完成。実際のフライトコントローラと連携して動作させられる環境が整った。</p> <p>これにより実際のフライトコントローラ側で動作するリアルタイム処理をシミュレーション飛行環境でテストできるようになった。並行して、フライトコントローラのセンサーフュージョンと飛行経路の設定の改良を進めている。</p>	H29/8 現在、65%を達成。
④探知アルゴリズムの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検出した鳥類の位置誤差：探知距離の10%以下（距離10m以内において） ・ 探知率：80%以上（距離10m以内において） ・ 探知周期：10FPS以上 	<p>成果：動画中の鳥画像の認識を機械学習で認識できた。</p> <p>成果：Solid式LiDARを用いて10m以内範囲で鳥相当の物体を25FPSで検出可能にした。</p> <p>鳥ごとに反射率が違い認識が違うことなどの確認ができ、LiDARとステレオカメラの並列使用で検討を進めている。</p>	H29/8 現在、75%を達成。

最終目標		研究開発成果	達成度
①システム開発	<p>先導研究でのセンサー評価とシステムを統合し時速100km以上で飛行するUAVに、3次元環境認識及び自動飛行生成を可能とするハードウェアとしてのシステムを開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エアロセンス製VTOLへの環境認識システムの搭載 	<p>成果：高速飛行に必要な画角、周期、フレームレートを確認し、次期システムのヒス用スペックを確認できた。</p>	<p>H29/8 現在、10%を達成。</p>
②3次元環境認識技術の開発	<p>アルゴリズムの軽量化を行い、60FPSをリアルタイムで実行可能なように対応する。</p> <p>高速移動するイメージセンサーを用いた環境認識を可能にするアルゴリズムを開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・60FPSでのリアルタイム3次元環境認識可能な軽量アルゴリズム及びシステムの開発 ・100km/hでの中小型物体認識（人、柱、鳥、電線など） ・100km/hでの3次元環境認識と飛行経路生成のための検証環境の構築 ・100km/hでの3次元環境認識を行い、GPSなしの環境下で自立飛行 	<p>成果：60fpsでの認識ができるようになった。</p> <p>今後は精度向上、高速移動や細かな物体の認識についての改良と実際のシステムとして組み込んで行った際に発生する、様々な課題に対応する予定。</p>	<p>H29/8 現在、10%を達成。</p>
③自動飛行経路生成技術の開発	<p>人、柱、クレーンなどの細い重機、及び電線などの小型の障害物の検出および、その障害物回避を行うためのリアルタイム自動経路生成アルゴリズムの開発を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実証実験にて100km/hで障害物を回避しつつ、目的地に到達 ・環境認識技術と飛行経路生成技術の目標達成 ・実用化・市場化に向けた課題の整理と対策案の立案 		
④動的障害物の検出および回避技術の研究開発（東京大学）	<ul style="list-style-type: none"> ・検出した鳥類の位置誤差：探知距離の5%以下（距離10m以内において） ・探知率：90%以上（距離10m以内において） ・探知周期：30FPS以上 ・回避経路生成に要する時間：0.1秒以下 		

研究開発の成果

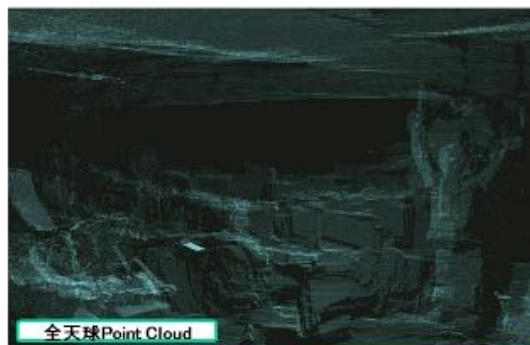
1. SLAM処理専用SoCを用いた小型ステレオカメラモジュールの開発
 1. ステレオカメラ処理モジュールの試作機の完成
 2. SLAMデータ出力の精度評価および改善
2. 全天球ステレオカメラを用いた全周囲リアルタイム3次元環境認識と障害物検出
 1. 全天球ステレオカメラと組み込みプロセッサを用いた全天球Depth、ポイントクラウドの生成



ステレオカメラモジュール試験機



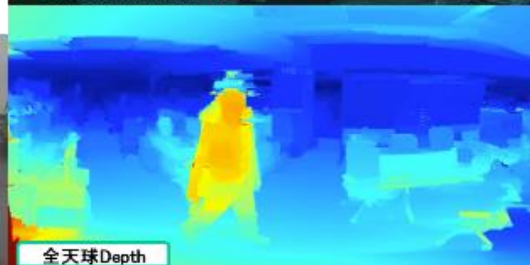
全天球ステレオカメラ



全天球Point Cloud



ステレオカメラでの砂埃などの環境試験



全天球Depth

【B-3-6】「高速環境認識・飛行経路生成制御技術の研究開発」			
(委託先：株式会社自律制御システム研究所、国立大学法人信州大学、再委託先：SOINN 株式会社、国立大学法人千葉大学)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
①高速視覚・画像処理システムの基礎的検討 (担当：千葉大学)	<p>高速カメラと、GPU による高速演算機能を有する小型軽量高速ビジョンのプロトタイプシステムを開発する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・フレームレート 200~500Hz ・質量 (カメラ、画像処理演算装置含む) 400g 以内 ・視野角 180° ・解像度 30~200 万画素 ・対象物距離 1m~30m ・飛行速度 10m/s における視覚フィードバック制御 	<p>高速カメラ MQ003CG-CM と小型並列計算モジュール Jetson TX2 を統合した高速ビジョンモジュールを開発した。現状で、フレームレート：500Hz、解像度：約 31.6 万画素 (648 × 488)、質量：カメラ・レンズ約 80g・計算モジュール約 200g、視野角：水平：110°・垂直：94° のスペックを実現している。視野角については魚眼レンズによる広視野化を検討中である。</p> <p>また、開発したビジョンにオプティカルフローアルゴリズムを実装し、飛行実験で得られた画像データにより検証を行った。現状はフレームレート 50Hz であるが、高速化を進めている。</p>	H29/8 現在、80%を達成。
②高速環境認識とその活用の基礎的検討 (担当：SOINN 株式会社)	<p>環境認識に関しては、上記認識対象 (人、車、空き地等) の検出・認識において連続画像レベルで 90%以上の認識率達成を目指す。飛行経路生成、戦略的意思決定アルゴリズムについては、飛行の安全確保を最優先とし、通常の飛行環境において 90%以上の適正生成率の実現を目標とする。</p>	<p>認識率については、ACSL 社より提供を受けたドローンからの空撮映像を用い、90%以上の認識精度を達成した。飛行経路生成については、実験環境下でアルゴリズムの有効性を確認した。</p>	H29/8 現在、95%を達成。
③自己位置推定アルゴリズムの初期設計 (担当：信州大学)	<p>各環境中で取得したセンサデータを基に MATLAB を用いたシミュレーションを行い、精度 0.2m 以内の自己位置推定システムを実現する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・自己位置推定アルゴリズムの要素となる GPS、レーザーベース SLAM、Visual SLAM の個々の精度を検証した。 ・全てのセンサを UAV に搭載し、GPS/非 GPS 環境において飛行データを収集した。 ・収集したデータを基礎として MATLAB を用いたシミュレーション環境を構築している。 	H29/8 現在、65%を達成。
④飛行経路生成・制御の基礎的検討 (担当：信州大学/自律制御システム研究所)	<p>飛行経路生成については様々な環境下での画像処理結果をベンチマーク問題として用意し、90%以上の正答率を目指す。</p>	<p>飛行経路に障害物を発見すると、進路を変更できるシステムを開発した。このシステムはさまざまな環境でテストされている。まばらにある障害物には、100%目標に正しく到達する。</p>	H29/8 現在、95%を達成。
最終目標		研究開発成果	達成度
⑤高速視覚・画像処理システムの実装 (担当：千葉大学)	<p>先導研究の結果を踏まえ、必要に応じて他センサとの融合手法を含め、対象物距離の範囲を 100m 程度までに拡大することを目標として開発を行う。また、FPGA 化等による高速化・低消費化を実現する。また、UAV に搭載して、高速視覚サーボ制御による高速飛行制御を実現する。</p>	<p>オプティカルフローによる飛行体の速度推定アルゴリズムとその飛行制御への適用の開発を進めるとともに、高速ビジョンの高解像度化のために、低速高解像度ビジョンとの統合による超解像度化手法の開発を進めている。また、開発している画像処理アルゴリズムの TX2 から FPGA の置き換えについての検討を進めている。</p>	H29/8 現在、20%を達成。
⑥高速環境認識および関連技術の実装 (担当：SOINN 株式会社)	<p>本実装に関しては、対象の検出・認識から飛行経路生成、戦略的意思決定までを数ミリ秒での処理実現を目指す。</p>	<p>対象の認識速度、飛行経路生成の双方において、約 20 ミリ秒での処理を実現している。今後は双方の並列処理によるさらなる高速化と、実機を用いた実験が課題である。</p>	H29/8 現在、50%を達成。
⑦自己位置推定アルゴリズムの実装・評価 (担当：信州大学/自律制御システム研究所)	<p>100 km/h 程度での飛行速度において、自己位置推定の精度が 0.5m 以内となることを目指す。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・システムのハードウェアプロトタイプを UAV に搭載し、飛行試験を実施した。 ・高速の演算を実現するために、レーザーベース SLAM アルゴリズムの軽量化、高速化を検討している。 ・高速飛行でのデータ収集は未実施 	H29/8 現在、20%を達成。
⑧飛行経路生成・制御の実装 (担当：自律制御システム研究所/信州大学)	<p>一般的な UAV の位置・速度制御のサンプリングタイムは 0.1 秒以内であるが、ここでは 100km/h 程度での飛行による移動において、十分余裕を持った経路選択を実現するために、0.05 秒以内での意思決定を実現することを目指す。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・高速の演算を実現するために、UAV の位置・速度制御アルゴリズムの高速化を検討している。 ・意思決定を実現することを進めるとともに、新しい技術を検討している。 	H29/8 現在、20%を達成。

研究開発の成果

研究開発目標は、高速画像処理、高速環境認識、自己位置推定アルゴリズム、飛行経路生成・制御をUAV向け環境認識に統合することである。

これまでに最大フレームレート500 Hzの広視野高速ビジョンモジュールを開発した。なお、オプティカルフローは50 Hzまでが可能である。

また、空撮影において90%以上の認識精度をもつ環境認識システムを開発している。

自己位置推定システムを可能にするため、GPS、レーザーベースSLAM、Visual SLAMを単一のドローンに兼備させている。そして飛行経路に障害物を発見した際に進路を修正するシステムも開発にいたっている。



【B-3-7】「フライトレコーダを用いた安全性向上に向けた枠組みの研究開発」			
(委託先：本郷飛行機株式会社)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
①他社製品性能確認・弊社既存システムのチェック	弊社機体及び他社機体において、撮影による実験を行い、挙動についてのデータを取得し、試作するモジュールのスペックを策定する。	撮影を含むが主にはセンサ類を多用して挙動確認を行った。機体規模に対してゲイン余力が大きく設計しやすいことがわかり、基本の設計点としてサイズによって制御性に傾向が見られることが分かった。他項において不明な点が新たに発生したり、新商品が出ると追加で調査を行う。	H29/8 現在、90%を達成。(売れ筋の新商品が年度末までに発売されなければ、そのまま100%とする)
②モジュール試作検証	40g 程度の実施計画書記載のブロック図のようなモジュールとすることをめざす。弊社の機体や他社機体に装着しデータが取得できることを目指す。通信を介して外部端末にセンサの値を転送できるようにする。	何度か試作を行い、8月現在で先導研究範囲での最終の試作中である。現行のもので、弊社内にある小型機・大型機・他社機で共通して後処理可能なデータを取得できる見通しである。外部通信に関しては現在設計中である。また、電源の問題は外部電源を検討していたが、販売等の都合もあり最初は電池に依存度を上げようと考え、40g程度を目指しているが、機体の大型化や飛行時間の延長などの可能性を感じるため、電池容量を増やすか検討中である。	H29/8 現在、75%を達成。
③機体・飛行管理システム開発	モジュールで取得したデータを閲覧でき、事故などの場合、分類などができるような仕組みを構築する。	弊社システム上に構築途中である。データ閲覧は可能となり、可視化やモジュールとの連携の部分はモジュールの次の試作が完成後に行う。また、解析の部分で課題を残している。	H29/8 現在、50%を達成。
最終目標		研究開発成果	達成度
④運用向けモジュール開発	通信可能な端末を作成し、対応無人航空機側へのセンサ類の冗長提供をする。電源途絶状況でも多少時間の作動を行い、事故時のデータ取得を行う。	場長部分については設計計画の都合上、今期の設計で開発を行ったが、テストを行っておらず、主業務としては今後のものとなっている。	H29/8 現在、5%を達成。
⑤分析・運用システム開発	フライトレコーダで取得したデータの自動分類を行う。試用版をリリースし、利用の試験を行う。	③の解析にて一部行っているが、主にはまだ始まっていない。	H29/8 現在、5%を達成。

研究開発の成果

無人航空機が自動化するにあたり安全性についての知見を得るべく、フライトレコーダを研究開発する。先導研究として、小型でデータ取得が可能な物を作成することとし、最終的に事故等についての分類等を行い、安全性を検討可能な枠組みを開発する。成果として小型で飛行記録が取得できる小型の試作モジュールが完成した。クラウドとの連携も開発は後半にさしかかっており、概略予定通りである。また、最終目標に含まれる異常検知などの機能の準備もわずかながら進めている。

飛行中はデータ収集

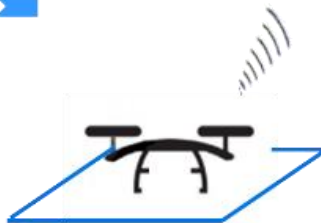


モジュールの試作を行う。現在は最終の試作の準備中。着陸後はクラウドと接続するがこの部分は現在開発中。

モジュールからのデータはクラウドで管理。現在はストレージの試験中。

最終目標としてその解析を含めている。仕様にも影響するため、わずかだが、解析の準備をしている。

機体性能の検証
性能に関する傾向などを把握。これをもとに仕様などを検討を行った。



【B-3-8】「UAV 向けフライトレコーダと不時着技術の研究開発」			
(委託先：株式会社菊池製作所、国立大学法人徳島大学、公立大学法人会津大学、学校法人早稲田大学)			
先導研究目標	研究開発成果	達成度	
(A) UAV 用フライトレコーダの研究開発			
FDR 記録データの選定、データ取得のための機体搭載センサ選定・実装、レコーダシステム試作 (株式会社菊池製作所、国立大学法人徳島大学[再委託先])	・事故解析、機体故障箇所を特定するためのフライトレコーダに記録するデータの選定(姿勢、GPS、FC 出力、高度、方位等、各デバイス供給電圧・電流、バッテリー残量等)を行い、データ取得のための各種センサを選定する。選定したセンサを用いてシステム試作を行う。	姿勢、FC 出力、高度、方位、供給電圧・消費電流については内蔵センサを、精密姿勢、GPS、風速・風向については外部センサを選定した。これらセンサの出力を記録できるシステムを試作した。	90%達成
	・試作したシステムを用いて 100Hz 程度でのデータサンプリングを行い、墜落時の原因究明解析データとして各データでどの程度のサンプリング周波数が必要となるか再検討する。また、機体異常時の取得データの記録時間についても検討し、フライトレコーダのデータ記録仕様を固める。	試作システムでは、内蔵姿勢センサについては 100Hz でのサンプリングが可能。外付けセンサについては、各センサのサンプリングレートに依存したサンプリングが可能。記録時間の仕様策定が未完	80%の達成
非接触通信技術の調査、選定、通信モジュールの試作 (株式会社菊池製作所、国立大学法人徳島大学[再委託先])	・非接触通信を行うための既存通信技術(Bluetooth、WiFi 等)の調査及びモジュールの選定、試作を行い、安全かつ簡便な機能確立を目指す。通信距離 50cm 以下、通信時間 30 秒以下(画像、指定データ時)。	Xbee や BlueTooth 等、UART 接続可能な微弱電圧使用通信機でのデータ送受信を使用した。	50%達成
モジュール動作試験・UAV への組み込み及びフライト試験 (株式会社菊池製作所、国立大学法人徳島大学[再委託先])	・試作したフライトレコーダシステムをペイロード 3kg、モータ軸間距離 1,200mm 程度のドローンに搭載し、ドローンに搭載された周辺機器との電波干渉や磁場影響によるデータの破損が起こらないか動作試験を行い、CISPR 規格に準じた開発システムの仕様を固める。	ペイロード 1kg、モータ軸間距離 390mm の小型機にてフライトレコーダシステムの動作確認を行った。 軸間距離 1200mm 程度的大型機による動作確認は未完。	70%達成
3D マッピング技術を用いて得られる 3D 地形データのサンプル収集とデータ処理 (株式会社菊池製作所、公立大学法人会津大学[再委託先])	・テスト用ユニットを試作し、株式会社菊池製作所の飛行場にて実際の地上環境を撮影し、地形データのサンプルを収集する。得られたデータから 3D マッピングを行い、機体墜落地点を推定に必要な ±1m 程度の誤差にてマッピングが可能なることを確認し、実用性及び有用性を検討する。	3D マッピングデータの収集のための、Lidar 及び魚眼カメラ、ステレオカメラによる複合的な 3D マッピング技術を開発中。この中で、Lidar とカメラの Calibration 技術で革新的な方法を提案。 現在、本件について、特許の取得を検討中。 それを用いた、Lidar による疎で高精細な点群と、ステレオカメラによる密だが少し精細ではないポリゴン群を統合して、当初目標である ±1cm 程度の誤差によるリアルタイムマッピング技術を研究中等である。なお、3D マッピングに関する国際会議論文を現在 1 編査読中である。	80%の達成率 (Lidar によるカラーマッピング及び Lidar を用いた SLAM による位置把握は OK。±1cm 程度の高密度なマッピングは現在研究中等であり、本年度中に達成予定)
SLAM 技術を用いた地形データのサンプル収集とデータ処理 (株式会社菊池製作所、学校法人早稲田大学[再委託先])	・株式会社菊池製作所の飛行場にて実際の地上環境を撮影し、地形データのサンプルを収集する。得られたデータから 3D マッピングを行い、機体墜落地点を推定に必要な ±1m 程度の誤差にてマッピングが可能なることを確認し、実用性及び有用性を検討する。	3D マッピングデータの収集のための、Lidar 及び魚眼カメラ、ステレオカメラによる複合的な 3D マッピング技術を開発中。実証試験機体の準備中のため未実施。	20%

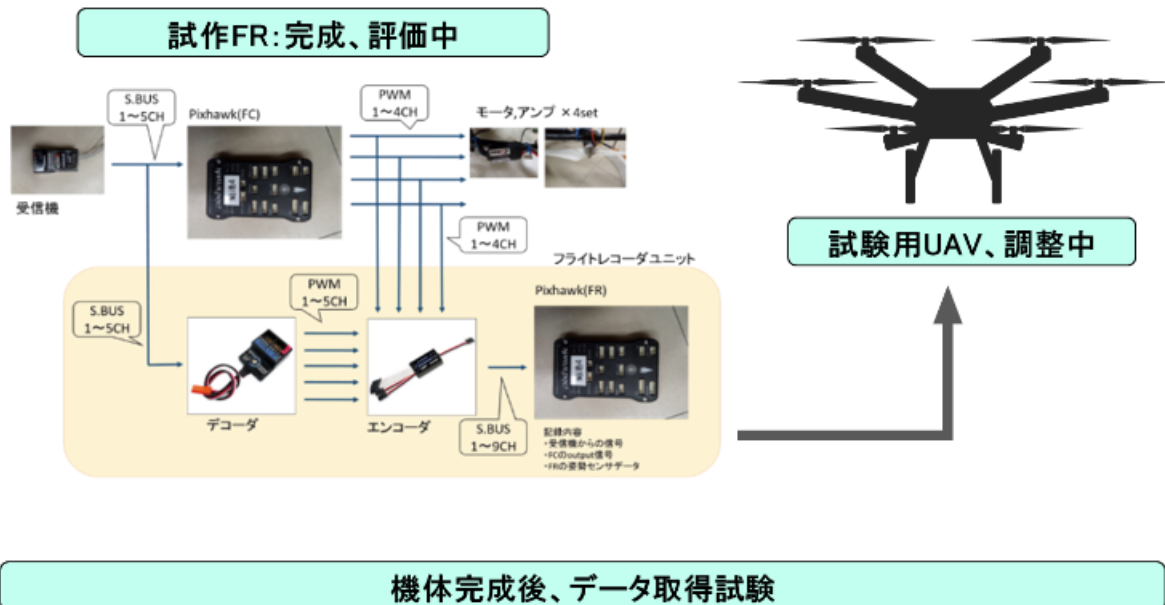
<p>墜落シミュレータ開発のための調査 (公立大学法人会津大学[再委託先])</p>	<p>・墜落を再現するシミュレータに必要な情報の調査を行う。</p>	<p>ROS/Rvis システム中に、PCL 等で復元された点群を表示し、その上でDroneで計測された経路情報を動的に表示するソフトウェアを現在作成中であり、このソフトウェアは現在進捗率 70%程度(各要素は全て可能であり、それらを統合する作業に移っている)である。また、Drone の位置補正のためのアルゴリズム(LSD SLAM, ORB SLAM, LOAM SLAM 等)との組み合わせも検討中である。</p>	<p>70%の達成率</p>
<p>(B) 墜落検知モジュールとエアバッグの研究開発</p>			
<p>墜落検知モジュール試作・試験 (株式会社菊池製作所、学校法人早稲田大学[再委託先])</p>	<p>・墜落を検知するためのアルゴリズムを構築し、カメラ・センサを選定、モジュールを試作する。試作したモジュールにて、単独動作試験、実験を行い、検知確率 9 割程度を目標とし、システムの改善を行う。</p>	<p>UAV 搭載のカメラからの動画およびレーザ距離計測器や IMU 等のセンサから得られる情報を処理し、墜落地点と時点を推定する方法を提案し、基礎的な検討を行った。レーザ計測が不可能な高度を安定飛行中の UAV のカメラ画像から三角測量により地面までの距離を推定し、墜落開始後の IMU による距離計測のための基準とする。レーザ計測が可能な高度まで低下した後は、レーザ照射により得られる地面の 1 点の距離計測結果を利用して、動画像に対する SLAM 処理により得られる点群データに 3 次元情報を付加する。動画像からのオプティカルフロー検出を利用したアルゴリズムにより画像中の墜落地点を予測する。これに基づき地面への墜落地点と時点を推定する。前述のカメラ等を搭載した簡易落下モジュールを作成し、高さ約 15m からの落下実験を実施し、前述の処理のいくつかについて有効性の検証と問題点の抽出を行った。</p>	<p>H29 年度 8/31 現在 60%を達成。 今年度中に提案手法を実装した実験系を構築し、墜落実験を行う。</p>
<p>エアバッグ試作 (株式会社菊池製作所、学校法人早稲田大学[再委託先])</p>	<p>・UAV フライトレコーダ用のエアバッグを設計、部品・材料の選定、そして、単独試作を行う。質量 500g のフライトレコーダが高度 100m 程度から自由落下した場合を想定し、模擬試験を行う。試験後、取得データが正常に取得できることを目標とする。併せて、機体全体保護のためのエアバックシステムも検討する。</p>	<p>エアバッグのハードウェア面の試作に関しては 28 年度は本格的な取り組みはない。自動車に使用されているエアバッグの仕様を意識し、エアバッグの有効な動作の実現に資する技術として、上記の手法で推定される墜落時点までの時間の推定の高精度化に注力している。</p>	<p>H29 年度 8/31 現在 10%を達成。</p>
<p>最終目標</p>		<p>研究開発成果</p>	<p>達成度</p>
<p>(A) UAV 用フライトレコーダの研究開発</p>			
<p>小型・軽量化に向けたモジュールの試作 (株式会社菊池製作所)</p>	<p>・試作したモジュールの小型・軽量化が可能か調査を行い、必要であれば部品再選定を行い試作する。最終目標として外形 100 mm × 100 mm × 50 mm 程度で重量 500g 以下を目指す。</p>	<p>試作フライトレコーダモジュールの動作確認は完了し、仕様の再確認中仕様確定後、小型化検討予定</p>	<p>H29/8 現在、50%を達成。</p>
<p>各種耐久試験(防水・防塵・EMC・落下・衝撃試験等) (株式会社菊池製作所、国立大学法人徳島大学[再委託先])</p>	<p>・試作したモジュールに対し、UAV での高度 100m からの自由落下を想定した衝撃・落下衝撃試験、雨天・屋外での運用を想定した耐水・IP・温度サイクルなどの各種環境試験と周辺機器に静電気放電や放射無線周波電磁界などの EMS イミュニティ試験を行い、想定仕様に問題がないか評価検証する。</p>	<p>試作フライトレコーダモジュールの動作確認は完了し、仕様の再確認中仕様確定後、再試作、試験予定</p>	<p>H29/8 現在、40%を達成。</p>
<p>UAV への組み込み・フライト試験 (株式会社菊池製作所、国立大学法人徳島大学[再委託先]、公立大学法人会津大学[再委託先])</p>	<p>・開発したモジュールをペイロード 3kg、モータ軸間距離 1,200 mm 程度のテスト用 UAV に搭載し、ドローンに搭載された周辺機器との電波干渉や磁場影響によるデータの破損が起らないことを確認する。</p>	<p>試験機体の準備中、開発モジュールは機体に未搭載</p>	<p>H29/8 現在、30%を達成。</p>

墜落シミュレータの開発 (公立大学法人会津大学[再委託先])	・フライトレコーダで得られた記録データから墜落時の状況を再現するシミュレータを研究開発する。	経路情報を動画的に表示するソフトウェアを現在作成中	H29/8 現在、40%を達成。
(B) 墜落検知モジュールとエアバッグの研究開発			
墜落検知モジュールによるエアバッグの動作確認 (株式会社菊池製作所、学校法人早稲田大学[再委託先])	・墜落検知モジュールとエアバッグを組み合わせ、動作試験を行い、改善改良を行う。	墜落・衝突検知モジュールの簡易版を作成するとともに、計算機シミュレーションによる検討を行った。落下試験を実施した。	H29/8 現在、20%を達成。
UAV への組み込み・動作試験 (株式会社菊池製作所、学校法人早稲田大学[再委託先])	・開発した墜落検知モジュール及びエアバッグをペイロード3kg モータ軸間距離 1,200 mm程度のテスト用 UAV に搭載し、飛行高度10m程度からの墜落動作試験を行い、実証データを取得する。	衝突地点と時点の推定の高精度化の検討を開始した。	H29/8 現在、5%を達成。

研究開発の成果

(小型フライトレコーダ開発)

試作フライトレコーダシステムが完成し、性能評価を実施中、小型化検討中。
試験用機体を調整中。今後機体に搭載しデータ取得の実証試験を行う。



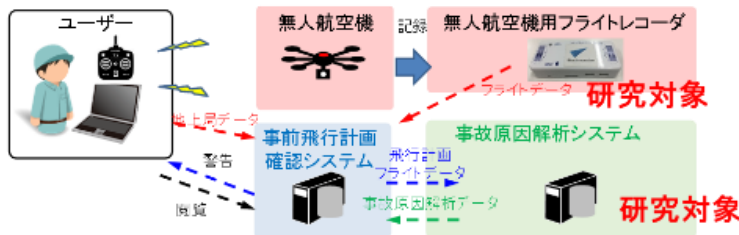
【B-3-9】「フライトレコーダの標準化及び小型無人航空機の事故原因解析の研究開発」			
(委託先：ブルーイノベーション株式会社、国立大学法人東京大学)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
①「フライトデータの共通仕様等、標準化の研究開発」	・ 共通仕様検討	有人機のフライトレコーダおよび無人航空機のセンサ・地上局から取得可能なデータの仕様調査	H29/8 現在、100%を達成。
	・ 国内 20 機体対応	20 機体に対応する共通仕様について、共通となるフライトデータ記録の項目を抽出した。	H29/8 現在、30%を達成。
②「無人航空機の事故原因解析システムの研究開発」(主担当：国立大学法人東京大学)	(1) 有人機や固定翼無人航空機の事故事例データを用いた分析：事故事例 30 と、有人機、固定翼機を組合せた分析	国内の無人航空機の 12 の事故事例(アンケート募集)を収集し、分析した。	H29/8 現在、40%を達成。
	(2) 無人航空機の事故原因・事故リスクの解析手法の検討：フライトデータから解析手法	事故原因をフライトログデータから視覚的に再現するプログラムを作成し、ログの解析を行った。	H29/8 現在、100%を達成。
	(3) 事故原因解析のアルゴリズム構築、プログラム化による分析までの自動化システムの検討：アルゴリズムの作成	事故原因解析のアルゴリズムを作成した。	H29/8 現在、75%を達成。
最終目標		研究開発成果	達成度
①「フライトデータの共通仕様等、標準化の研究開発」	・ 共通仕様決定	有人機のフライトレコーダおよび無人航空機のセンサ・地上局から取得可能なデータの仕様調査	H29/8 現在、30%を達成。
	・ 国内 50 機体+海外メーカー対応	20 機体に対応する共通仕様を検討中である。	H29/8 現在、30%を達成。
②「無人航空機の事故原因解析システムの研究開発」(主担当：国立大学法人東京大学)	(1) 有人機や固定翼無人航空機の事故事例データを用いた分析：事故事例 50 と、有人機、固定翼機を組合せた分析	国内の無人航空機の 12 の事故事例(アンケート募集)を収集し、分析した。	H29/8 現在、20%を達成。
	(2) 無人航空機の事故原因・自己リスクの解析手法の検討：フライトデータ+周辺環境からの解析手法	事故原因をフライトログデータから視覚的に再現するプログラムを作成し、ログの解析を行った。	H29/8 現在、50%を達成。
	(3) 事故原因解析のアルゴリズム構築、プログラム化による分析までの自動化システムの検討：事故原因解析を自動で行うプログラムの作成	事故原因解析のアルゴリズムを作成した。	H29/8 現在、30%を達成。

研究開発の成果

(研究開発成果の概要を、数行程度で記載。)

- フライトデータの共通仕様の検討として、有人機のフライトレコーダおよび無人航空機のセンサ・地上局から取得可能なデータの仕様調査をおこない、国際民間航空機関ICAOの定める標準なデータ仕様と無人航空機取得データとの比較対比を行い、対比表を作成した。
- 無人航空機の事故原因解析システムの研究として、事故原因解析のアルゴリズムのために、無人航空機のフライトログデータを視覚的に表示するプログラムを作成し、事故原因解析システムのアルゴリズムを構築している。

本研究で提案する「無人航空機の安全飛行管理システム」



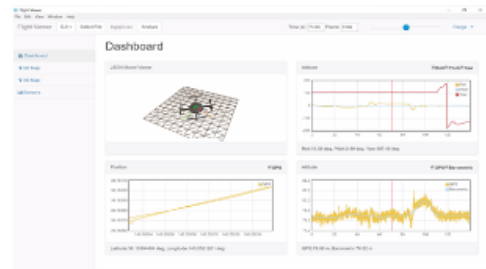
成果

項目	内容
規格	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Aviation System Operator (ASO) Standard for Unmanned Aircraft Operations (UAS) (地上局、機体、運用) (2020年7月) ▶ (地上局) 2020年7月のICAOの規格は、FAAのTechnical Standard Order (TSO) (航空機規格)
FDRの耐用性の基準	
文(地上局)	1100時間の飛行レコーダ記録(100%信頼性)を有する必要がある
文(機体)	500時間の飛行レコーダ記録
重量	8000g以下 (最大) 重量制限
機能	5分間の飛行レコーダ記録(5分間の飛行レコーダ記録)
運用での運用	5分間の飛行レコーダ記録(5分間の飛行レコーダ記録)
データ形式	8000g以下 (最大) 重量制限
運用	5分間の飛行レコーダ記録(5分間の飛行レコーダ記録)
運用	8000g以下 (最大) 重量制限

FDRの耐久性の基準

項目	DJI LOGD MARK1	Parrotの FDR
記録項目数	13	4
飛行モード	○	○
飛行経路	○	○
飛行時間	○	○
高度	○	○
気圧	○	○
速度	○	○
加速度	○	○
飛行距離	○	○
地上局までの距離	○	○
操作スティックの動作	○	○

フライトデータの共通仕様比較検討表



フライトログデータ表示プログラム

【B-3-10】「人の手に近い高性能で堅牢性を併せ持つロボットハンドの開発」			
(委託先：ダブル技研株式会社、公立大学法人首都大学東京 東京都立産業技術高等専門学校)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
F/S 調査	「ロボットハンドを含む前腕」について主に市場ニーズ及び事業化実現性を把握し、最終目標としての仕様に反映する	弊社 S1er 事業における既存ロボットハンド製造販売事業にての市場からの要求仕様についての実状調査とともに、客観的な評価材料として外部第三者機関による調査結果を併せて試作仕様へ反映した。	達成
検証人間型ハンドの開発	形状：人と同程度の形状、5 指、手掌、手首関節、前腕部を有し、すべての関節が駆動自由度ないしは非駆動自由度を有する。 全自由度 : 28 自由度	形状：人と同程度の形状、5 指、手掌、手首関節、前腕部について構築済み。	達成
	握力：人間に近い握力を達成	全体握力：5kg、示指指先握力は 1kg。ただしこれは試験用モータでの値であり、ハンドの全体構造確定後高強度な材質を用いてハンド全体を構築すれば大型モータを搭載することで握力の増大は可能。	達成率 50%
	熱環境への対応：耐熱性の付与	人間用のグローブを装着可能な構造を実現、耐熱グローブの装着により耐熱構造の付加を実現。	達成
	極限環境：想定極限環境に対応可能なハンドの開発	極限環境：想定環境に適合したハンドの基本設計を実施	達成
	精密作業：複雑なフィードバック制御に依存せず、びん、缶、ペットボトルキャップの開け閉め等の作業を実現	精密作業：単純な制御により実施可能。	達成
	ロバスト性：ハンマーで殴打されても破損しない指、手首関節機構を構築。	ロバスト性：ハンマーでの殴打に耐えうるロバスト性を獲得。	達成
	発展機能：人の手にない機能の付与	発展機能：2 種類の機能付与について検証モデルを実施中。一部動作実施。	達成率 60%
部分試作・一次試作	ベース機の製作：東京都立産業技術専門学校にて製作したロボットハンドの原理試作機（提案書にて説明のハンド）について、今後の開発における試作機のベース機とするために堅牢性、精度、試験評価の利便性向上とともに、必要となる初期仕様を決定し、その仕様について設計・製作する。	ベース機の製作：基本構造の検証はほぼ終了、細部の設計仕様の検証を実施。3D プリンタを用いて試作機を製作、動作検証の後にチタン等高強度材に転換し、高出力モータに換装して動作試験モデルを製作。	達成
	一次試作機の製作：F/S 調査と上記ベース機の評価によって仕様決定したロボットハンドの一次試作機を完成させる。	上記の研究開発成果による人間型ハンドの機構をシーズとして堅牢性を向上させたハンドとともに、市場要求に即応できる仕様のハンドを試作中。完成後にモニター用評価機として市場に無償提供する。(ワークショップにて評価者を募りたい。)	達成率 70%

実装評価（一次）	実装評価により、研究開発期間における最終仕様（目標）達成に向けた課題及び開発方針を決定、開発計画を立案する。	（実施計画書、平成29年11月より開始）現在、実装試験用試作機の製作中。	達成率 70%
最終目標		研究開発成果	達成度
評価用人間型ハンドの開発 （暫定的な達成目標：先導研究にて最終的に必要となる仕様・目標値の詳細について定める）	形状：人と同程度の形状、5指、手掌、手首関節、前腕部を有し、すべての関節が駆動自由度ないしは非駆動自由度を有する。 全自由度：28自由度	形状：要求タスクを精査し、不足の機能を追加すると共に、高強度材で全体を構築予定。	H29/8 現在、達成率 60%
	握力：全体握力で 50kg を達成。示指指先握力 5kg を達成。	握力：高強度材で全体構築し、高出力モータの選定搭載により達成予定。	H29/8 現在、達成率 25%
	災害対応：油圧カッター等重量物を把持し操作可能な強度を実現。消火ホースのセットと放水、がれき除去の実現。	災害対応：器具操作のための把持機能は獲得済みであるため、上記握力機能が達成できれば、達成。	H29/8 現在、達成率 25%
	極限環境：想定極限環境での動作試験	極限環境下での動作試験を実施、性能検証。	H29/8 現在、達成率 0%
	精密作業：複雑なフィードバック制御に依存せず、複雑な動作を実現	各種精密作業に必要な構造の構築を実施予定。	H29/8 現在、達成率 15%
	ロバスト性：重量物の支持可能な構造の実現。	ロバスト性：全体構造を高強度材で構築した上で実施予定。	H29/8 現在、達成率 0%
	発展機能：人の手にない機能の付与について設定目標機能を獲得。また先行調査で得られたニーズ等を鑑みた新規機能の実装。	現時点までの先行調査では紙などの機構的に把持する際の切っ掛けを得ることが困難な把持対象についてのハンドリングのソリューションに対するニーズが高い結果を得ており、その手法についての目処を立てている。	H29/8 現在、達成率 20%
単体試作・評価	先導研究期間にて定めた全目標について達成する	実施計画書、平成29年11月より開始	実施計画書、平成29年11月より開始
二次試作	先導研究期間にて定めた全目標について達成する	実施計画書、平成30年6月より開始	実施計画書、平成30年6月より開始
実装評価（二次）	先導研究期間にて定めた全目標について達成する	実施計画書、平成31年5月より開始	実施計画書、平成31年5月より開始
事業化準備	各事業戦略を含めた事業化計画立案を行う。	上記F/S調査、試作評価を反映しての計画立案を進めるとともに、他社より協業による事業化に係るライセンス契約等について具体的な引き合いを受け、調整中。	H29/8 現在、達成率 30%。（前倒しにて行っている。）

研究開発の成果

事業化を想定した次世代ロボットハンドに要求される仕様についてのF/S調査と、その結果を反映した機能についての試作による実用化評価を行い、事業化を含む実用化の目処を立て、更に具体的な商品化についてのライセンス契約、事業提携の調整を前倒しにて行うまでに至っている。

出口(アプリ)調査

【事業化F/S調査】

- 有望な適用産業・分野
 - > 輸送機器(自動車)産業
 - > 物流(FA搬送全般含む)
 - > 食品業界

■用途・ニーズ

- > 多品種生産対応。
(ツールチェジャーや設備増設等に代わる**これまでにないデバイス**としての用途。)
- > 人の手に頼っている**既存のロボットハンド技術では自動化不可能な作業用途**。

反映

市場要求仕様を反映した研究開発

【現行産業用途ハンド】



"掴まむ"ことに特化

【現時点のシーズ反映のハンド】

市場要求の把持形態に対応



多様な把持形態・把持対象の拡張を実現。
更に把持性能を向上。

研究成果シーズの実用化(機構の応用)



人間の手をトレースした機構の研究開発

【B-3-11】「支援・被支援双方にやさしい汎用人工手の研究開発」			
(委託先：学校法人慶應義塾、再委託先：マイクロテック・ラボラトリー株式会社)			
先導研究目標		研究開発成果	達成度
広帯域力情報の取得とセンサ情報に基づく協調制御	力推定技術のブラシレス DC モータへの実装をおこなう。	力推定技術の実装を完了し、最終成果物である実機に搭載している。	達成
	誤差 1N 未満の反力推定精度を実現する。	指先において 1N 未満の反力推定精度を達成した。	達成
	Simple Test for Evaluating Hand Function (簡易上肢機能検査) を用いた検証を実施する。	9 月下旬に予定をされている実機の完成を待ち、最終的な検証を実施する。	実機完成後に着手
力触覚技術による高度環境適応性の実現	位置制御系と力制御系との非干渉化制御を構築し、これによって汎用人工手への力触覚技術の実装を達成する。	位置追従と反力伝送を実現する制御系を構築し、力触覚技術の実装を完了した。	達成
	可変コンプライアンス制御によって把持対象物への適応性を向上させる。	可変コンプライアンス制御を実装し、把持対象物の硬度、位置変動に適応することを確認した。	達成
	Simple Test for Evaluating Hand Function (簡易上肢機能検査) を用いた検証により、可変コンプライアンス制御によつての 3 種類の異なる対象物 (ボックス、ボール (中央)、ボール (端)) に対し、指先が做うことを確認する。	ハンド部分に可変コンプライアンス制御を実装し、把持対象物の凹凸に做うことを確認した。	達成
センサレス制御の検討と必要自由度の選定	センサレス制御の開発に取り組む。	電力損失補償に基づく、センサレス制御を開発した。	達成
	DC~100Hz の力触覚周波数帯域を有する 3 指 11 自由度汎用人工手プロトタイプ 2 号機 (重量: 600g、サイズ: 縦 100mm 縦横 200mm 縦高さ 60mm、指先出力 2N) を開発する。	9 月下旬に実機の開発を完了する。	9 月下旬に達成
	先進企業との協議によって各タスクに必要なとなる自由度を選定する。	寸法および自由度についての検討を実施し、実機的设计に反映をした。	達成
汎用人工手の試作	以下の 3 条件を満たす小型アクチュエータを開発する。 1. 高い逆可動性 (出力軸側からの回転に必要な最小トルクが 0.05Nm 以下) 2. 小型 (寸法 25mm×25mm×65mm 以下) 3. 高出力 (最大連続トルク 0.2Nm 以上)	試作機の開発に成功し、最終成果物となる実機に搭載した。	達成
	ブラシレス DC モータの電流制御が可能な小型駆動回路を開発する。	試作第 1 号機的设计と開発を完了した。	達成
	汎用人工手プロトタイプ 2 号機の製作	9 月下旬に実機の開発を完了する。	9 月下旬に達成
最終目標		研究開発成果	達成度
複雑タスク遂行のための協調的把持戦略の導出	Simple Test for Evaluating Hand Function を用いた実験を実施し、各種把持対象物 (BOX、ボール (大)、ボール (小)、キューブ) の物体位置の検知、手先位置の移動、把持方法の決定、把持の実行の一連の動作を 10 秒以内で実現する。	カメラ情報に基づく物体位置の検知、手先位置の移動といった基礎実験には成功しており、今後、実機への実装および動作の高速化に取り組む。	H29/8 現在、20%を達成。

力触覚による運動情報の保存と再現	Simple Test for Evaluating Hand Function を用いた実験を実施し、軌道生成を一切行うことなく、pick and place の動作を 20 秒以内に実現する。	人間の動作情報に基づくティーチング手法の基礎実験を完了している。実機完成後は具体的な動作を対象として開発を進める。	H29/8 現在、30%を達成。
汎用人工手の小型多自由度化	5 指 13 自由度汎用人工手の開発（重量：3kg、サイズ：縦 400mm×横 270mm×高さ 520mm）	3 指システムの開発は完了している。平成 30 年度以降、5 自由度システムの設計開発を開始する。	H29/8 現在、10%を達成。
義手用小型汎用人工手の製作	義手用汎用人工手の製作	試作機の開発を完了した。	H29/8 現在、60%を達成。

研究開発の成果

- 力推定技術のブラシレスDCモータへの実装
- 手先位置制御、把持制御、持ち上げ制御の滑らかな制御構造遷移を確認
- 位置制御系と力制御系との非干渉化制御を実装
- 可変コンプライアンス制御による把持対象物への適応性向上
- ブラシレスDCモータの電流制御が可能な小型駆動回路を開発



IV. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

成果の実用化に向けた取組及び見通しは、以下のとおり。

A. 次世代人工知能技術分野

成果の実用化に向けた取組及び見通し
【A-1】平成 27 年度採択①（先導研究→研究開発）
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発
研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発
研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発
【A-1-1】「人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター（AIRG） <拠点>)
【A-1-1-1】「視覚野を中心とした適応的知能を支える神経機構の解明」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) 大規模目的基礎研究・先端研究の中での連携を通して、脳の特に高次視覚野における情報処理のアルゴリズムおよび計算理論の確立が期待され、それらにより既存の人工知能の挙動の理解や脳型人工知能の設計原理の確立の加速につなげる。
【A-1-1-2】「大脳皮質の領野間結合の双方向性を模倣した、ロバストな認識を可能とする人工視覚野」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、共同実施先：国立大学法人東京大学) STA の高精度高速推定アルゴリズム：平成 28 年度に、STA である先行研究の性能を凌駕する新規アルゴリズムを提案できたことから、平成 31 年度までには、世界トップの STA の推定アルゴリズムが実現でき、視覚野の階層的エンコードモデル構築等に向けた、科学研究に供することができる。
【A-1-1-3】「複雑な運動を少ない経験から学習・獲得し、滑らかに動作する脳型人工知能の開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人電気通信大学) 階層構造と超並列による汎用全脳学習アーキテクチャを提供することで、運動学習時の全脳レベルでの学習過程を再現する、神経科学のための数理モデルとしての提供、ニューロモルフィックチップへの実装・パッケージ化による社会実装が見込まれる。
【A-1-1-4】「能動型学習技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人京都大学) 動画像を対象とした一般物体追跡アルゴリズムは、既に実環境・実時間実装が可能なレベルに達している。今後さらにロバスト性を高めるため、手法の改善を進める。モジュール型能動推論のアーキテクチャによれば、環境中の道具や障害物などの各種オブジェクトおよびそれらの様々な組み合わせに関する学習済みモジュールセットのデータベースを、新しい環境における新しいタスクの学習の効率化に向けて再利用することができる。そこで、これを実環境ロボットの運動学習における共通バックボーンと位置付ける方向で開発をすすめる。シミュレーションと検証の後に、既存のロボット系シミュレータやロボット OS に対するプラグインの形で提供する可能性を検討している。
【A-1-1-5】「自然言語理解を核としたデータ・知識融合技術の研究開発」 「自然言語テキスト理解モジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) 「意味表現」を中心として、多様・異質なデータをつなげることで、自然言語処理・画像処理を中心に可搬性の高い、人間に対する説明が可能な、自然言語インターフェースの構築等に役立てたい。

<p>【A-1-1-6】「分散表象知識と記号的知識の相互変換技術の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>本研究開発では、人間の持つ多くの知識と分散表象の知識の間の対応付けを行い、人間が理解、利用可能な知識を生成できるような技術を開発する。その実用化に向けて、開発した技術を生命科学分野で検証を行う。さらに、知識を生成するための要素技術を統合した統合知識基盤の構築を行うことで、領域に応じた様々な知識を迅速に作る事が可能になり、生命科学研究の促進や医療・創薬への応用などが考えられる。</p>
<p>【A-1-1-7】「スケーラブルな機械学習・確率モデリングの研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>今後は、開発した手法を汎用性の高いモジュールとして実装し、プロジェクトの共有タスクである、生活現象モデリング（人間行動計測データ）、地理空間情報プラットフォーム構築（移動体データ）、AIに基づくロボット作業（ロボット制御データ）で扱う大規模な時系列データ等に適用して有効性を示す。さらに、企業との共同研究などにも適用して実用化を目指す。</p>
<p>【A-1-1-8】「超複雑な機械学習・確率モデリングの研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>今後は、開発した手法を、プロジェクトの共有タスクである、生活現象モデリング（人間行動計測データ）、地理空間情報プラットフォーム構築（移動体データ）、AIに基づくロボット作業（ロボット制御データ）で扱う大規模なデータ等に適用して有効性を示すとともに、汎用性の高いモジュールとして実装する。さらに、企業との共同研究などにも適用して実用化を目指す。</p>
<p>【A-1-1-9】「深層表現学習技術の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、共同実施先：国立大学法人東京大学)</p> <p>深層強化学習の技術開発と製造業等への導入は、進みつつある。深層生成モデルを入れた、より高度な深層強化学習のモデルは、さらなる技術開発が必要であり、それが進んだ段階で順次導入していく。それにより、より高度なマニピュレーションを伴う作業（例えば、調理等）の実用化に近づくことができると考えている。</p>
<p>【A-1-1-10】「スパイクニューロン全脳モデルと身体性情報構造化に基づく動的実世界知能の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人東京大学)</p> <p>本研究開発は、知能技術の実用上極めて重要なロボット・IoT等の臨機応変で柔軟な実世界知能の実現に向けて、従来手法とは枠組みレベルで異なる革新的な構成法の確立を目指す。また、本研究開発と親和性が高いニューロモルフィック・コンピューティングの研究開発は近年急速に進んでおり、それを有効活用した実世界知能構成法としても重要性が増すと見込まれる。応用に向けた研究開発では、研究体制を拡充しつつ、目的基礎研究で行うロボット実験をもとに、新知能構成法の特性に合致する実用上重要な機能実現例を構築し評価することで、有用性を確立していく。</p>
<p>【A-1-1-11】「人工大脳皮質の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了></p> <p>現時点では基礎研究の段階だが、当技術の実応用への適用の仕方は現状の深層学習技術と似ており、当技術が実用レベルの性能を出すことが実証できれば、速やかに応用が進むと期待できる。具体的には、画像、音声、言語処理を中心とした応用が考えられる。</p>
<p>【A-1-1-12】「BESOMに基づく人工視覚野の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了></p> <p>現時点では基礎研究の段階だが、従来の深層学習では行えない特徴量の獲得等の機能が確認され次第、大規模並列化による実用化を目指す。</p>
<p>【A-1-1-13】「人工言語野の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了></p> <p>現時点では基礎研究の段階だが、ベイジアンネットを用いた組み合わせ範疇文法の動作原理を確認したあと、言語処理研究者と共同で、大規模な学習データを用いて実用化に結び付ける研究を開始する。</p>
<p>【A-1-1-14】「次世代人工知能フレームワークの研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>H29/8現在120名ユーザーがいる産総研AIクラウド(AAIC)への導入を行ってパイロットユーザによる利用を開始している。利用拡大を図るとともに、来年度前半に運用を開始するAI橋渡しクラウド(ABCI)への導入を進める。この他、コア部分のオープンソース化による利用促進、実応用事例の蓄積によりフレームワークの民間データセンタ事業者等への展開による実用化促進を図る。</p>

<p>【A-1-1-15】「次世代人工知能研究テストベッドの研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>H29/8 現在 120 名ユーザーがいる産総研 AI クラウド (AAIC) の利用のためのソフトウェアエコシステムの構築を進めている。さらに利用拡大を図るとともに、来年度前半に運用を開始する AI 橋渡しクラウド (ABCI) への拡大を図る。ベンチマーク開発の成果は、すでに ABCI の調達に活かされ、オープンにしておき、今後同種の計算リソースの調達・評価に幅広く利用されていく見込み。この他、研究開発環境の整備を通じて得られたノウハウの、民間データセンタ事業者等への展開による実用化促進が期待できる。</p>
<p>【A-1-1-16】「社会的身体性知能の共有・活用のためのクラウドプラットフォーム」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：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)</p> <p>介護施設や保育施設との協力体制の検討を開始した。また、ロボット/介護/保育にまたがる対人インタラクション記録システムを共通コンポーネント化し、アプリケーションの作成に一般企業が参画できる体制を構築した。3 年後には、初心者へのスキル可視化・トレーニングアプリケーションの商品化を狙う。</p>
<p>【A-1-1-17】「ネットワーク分析と言語処理の融合による大規模文献データからの技術の未来予測プラットフォームの研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人東京大学)</p> <p>大規模学術文献情報のテキストデータとネットワークデータを分析するモジュール群等を開発し、萌芽論文の予測等に活用していく。</p>
<p>【A-1-1-18】「観測・データ収集モジュールの研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>本研究開発では、平成 28 年度までに開発した大規模 RGBD データ取得技術、平成 29 年度から開発を進めているノンウェアラブル個人識別型行動モニター機能、類似状況を考慮した行動予測機能、これらが埋め込まれたリビングラボなどが提供可能な技術・施設である。リビングラボに関しては、企業にとって面倒な倫理委員会の承認の支援を行い、外部にエビデンスとして発表可能なデータとして、企業が利用できるように、企業との共同研究を推進することで、活用事例の蓄積を進める。大規模 RGBD データ取得技術に関しては、これによって蓄積されたデータを含め、製品安全に関する経産省の事業（高齢者等製品安全基盤情報収集事業）への技術提供を行うことで、製品安全に関心のある企業群が利用可能なものにしていく。ノンウェアラブル個人識別型行動モニター機能、類似状況を考慮した行動予測機能に関しては、介護施設等の生産性向上・安全性向上・個人に寄り添う高度なケアなどの目的で、介護施設への技術提供と検証を進める。その中で、導入に関するバリアを明らかにし、それに対応するための導入支援マニュアルの整備も進める。</p>
<p>【A-1-1-19】「一般物体認識クラウドエンジンの構築」 「3次元センシングモジュールの研究開発」 「センサフュージョンによる実世界環境理解モジュールの研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人中部大学 中部大学、学校法人梅村学園 中京大学、国立大学法人大阪大学)</p> <p>ロボットに関連する研究項目と密な連携と、民間企業との共同研究などを通じ、実問題へ向けた課題を共有し、技術・ノウハウを相互に高めつつ、プロジェクトを推進する。また、開発した物体認識モジュールは、他共通テーマとの連携において技術提供・協力を行う。物流倉庫やバックヤードでの物流ロボット、生活支援ロボットなどに技術モジュールとして導入、実用化されることが見込まれる。</p>
<p>【A-1-1-20】「きめの細かい動作認識の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人千葉工業大学)</p> <p>生活現象モデリング共通タスクグループで保育・育児及び介護等、老幼のサービス現場においてヒアリングを行なったところ、単なる IT 化では上がってきた情報を人間が処理する必要があるため、かえってスタッフの仕事が増えるだけという声があった。こうした現場においては AI による情報の仕分けやフィルタリングが大きな付加価値となる。今後、共通タスクグループ内で連携し、こうした現場で様々なユースケースを検討するフィールド実験を行い、実用化を目指す。</p>
<p>【A-1-1-21】「社会レベル行動モデリング・シミュレーションモジュールの研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>祭りやイベントなどの人の混雑が発生する場所において混雑の緩和や避難誘導支援などの現実空間における社会実装に取り組むことで本研究を実用化した場合の有効性の評価を積み重ねている段階である。また、人の計測技術やシミュレーション技術、画像認識のためのハイパラメータ調整手法などの要素技術をモジュール化することにより要素技術単体で切り離して使えるように研究開発を進めている。</p>

<p>【A-1-1-22】「作業動作自動生成システムの研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人金沢大学、国立大学法人大阪大学)</p> <p>三菱電機株式会社の協力の下で、産総研の臨海センターに構築予定の検証センターにおいて実用化に向けた検証を行う。</p>
<p>【A-1-1-23】「不定形物操作システムの研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人信州大学、国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学)</p> <p>不定形物操作を実現するためのプログラムを構成部品化し、それぞれを知能モジュールとして実装する。このモジュールは、目的とする不定形物操作ごとに選択して利用するものであり、組み合わせ方によっては別の不定形物にも対応可能なものとする。双腕のマニピュレータロボットでの利用を想定して実用化を進めていく。</p> <p>知能モジュールは、企業の製品ニーズに適したカスタマイズを随時おこない、実用に耐えるものとする。特許もしくはプログラミング著作権としてライセンス契約を締結して、ロイヤリティー収入を得る。この契約に関しては専有実施権ではなく、用途（生活支援、ピッキング、仕分け・検品など）に応じた通常実施権で行い、国内の多くの企業に活用してもらいたい。</p>
<p>【A-1-1-24】「人間行動モデリングタスク」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>実際のサービス分野・生活現場の中で運用を行いながら、先進中核モジュールの完成度を高め、さらに早期に技術移転を進めることで、ユースケースの拡大、適用するビッグデータとの適合性の確認も進めている。食品の購買履歴からの生活習慣の推定や、トイレの利用履歴データからの異常検出、保険や介護関連データからの健康状態推定など、技術移転先企業による社会実装も期待され、また技術移転先企業がビッグデータ活用の実サービス提供を開始したこともあり、実用化は具体的に進んでいる。さらに、開発した技術を利用するコミュニティとして、人工知能技術コンソーシアムを設立し、平成 29 年度は 116 社以上の参加企業が、10 以上のワーキンググループを通じて活動を行っており、さらに関西、九州、東海地域における支部の設立、地域におけるワークショップやコンテスト企画の運営により成果普及のためのネットワークづくりも展開している。依頼・招待講演は 76 件と注目も高く、今後は開発した技術を応用した成功事例などを CEATEC などの大規模展示会や情報処理学会セミナーなどにおいて発表することも予定している。</p>
<p>【A-1-1-25】「対人インタラクションタスク」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人玉川学園 玉川大学)</p> <p>観察の対象とする子どもの行動は社会実装の対象と想定する幼稚園で行っており、子どもの行動の分析結果は幼稚園の保育士と共有して保育サービスに向けての利用可能性を検討している。またこれまで発表した研究成果を見て、いくつかの保育所から協力の申し出があり、技術開発が完了した時点で比較的短時間に社会実装に向けての活動ができる環境は整っている。</p>
<p>【A-1-1-26】「地理空間情報画像解析」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>関連する複数の企業から特定集中専門研究員を招聘し、それぞれのニーズと NEDO プロジェクト全体の目標のすりあわせを行いながら、社会実装をはかっている。</p>
<p>【A-1-1-27】「セマンティック情報に基づく自動運転システムにおける人工知能技術の性能評価・保証に関する研究」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>関連技術について、民間企業との共同研究を開始し、実用化に向けた研究開発に着手した。</p>
<p>【A-1-1-28】「データ駆動型人工知能と論理知識型人工知能の融合による解釈可能な自動運転システムに関する研究」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人九州工業大学)</p> <p>自動車メーカーとの連携体制により、本成果が実用においては更にどのような問題解決要素があるのについて意見交換しながら、開発を進めており、研究開発ステージから実用化ステージへの円滑な移行が実現するよう取り組んでいる。また、ROS 実装は研究開発工数を削減し、実験検証とのサイクルを早めることで寄与しているが、開発されたシステムにおける個々のユニットにおける処理時間の累積によって、実用時に必要とされるミリ秒単位の処理系については、今後展開される NEDO 社会実装プロジェクトや実証フィールド構築のプロジェクトと連携していきたい。</p>

<p>【A-1-1-29】「産業用ロボットタスク」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>三菱電機株式会社の協力の下で、産総研の臨海センターに構築予定の検証センターにおいて実用化に向けた検証を行う。</p>
<p>【A-1-1-30】「動作の模倣学習手法の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>本研究開発では、AI 特に深層学習のロボット利用の早期実現を目指すために、単一目的のための特殊なハードウェアをスクラッチで開発するのではなく、既存の一般的な産業用ロボットの軽微な改良によって、多様なタスクを実現する取り組みを行っている。これまでに一定の成果を上げているとともに、複数企業との共同研究を実施することで実用化を目指している。</p>
<p>【A-1-1-31】「酵素反応データベースに向けた文献キュレーション支援技術の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>(1) これまでに約 700 本の論文から得た 2,500 本程度のパスウェイデータを学習セットにして、GPCR 下流のシグナル伝達パスウェイに出現する全てのエンティティ（タンパク質、生成物等）を詳細に調査し、オントロジーテーブル作成とデータ構造化を進めている。特に、テキストマイニングシステムを構築するために、キュレーションシステム・brat によるデータ入力作業のためのスキーマとガイドラインを作成している。これにより、テキストマイニングシステム構築が加速化し、最終年度には少なくとも数千本の論文からパスウェイ情報が得られるようになると期待できる。</p> <p>(2) 酵素反応のうち加水分解反応、転移反応に関する反応イベントや関連するエンティティ、リレーション等の定義を終え、課題 3 で開発中のテキストマイニングシステムにおける学習データセットとして、292 件の文献要旨のキュレーションを進めている。最終年度までに、異性化反応やリアーゼ反応、酸化還元反応に関する文献データのキュレーションも終え、課題 3 と連携して、テキストマイニングシステムを構築する予定である。</p> <p>(3) 実用化に向けてはシステムワークフローシステムである Argo への統合を、特に平成 31 年度を中心に進める計画となっている。平成 29 年度は、その事前準備として、Argo を深層学習に必要な計算環境である GPU や実行時の同時実行を容易にするために、クラウドサービス Microsoft Azure での Argo の動作に向けて取り組んでおり、現在は Argo のローカルな環境での動作を確認している。</p>
<p>【A-1-1-32】「事故情報テキスト解析・事故予防技術の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了></p> <p>本研究開発成果の現場での活用を目指し、制御システムベンダー及び石油化学メーカーと共同して研究開発を進めている。</p>
<p>研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発</p>
<p>【A-1-2】「計算神経科学に基づく脳データ駆動型人工知能の研究開発」</p> <p>(委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所)</p> <p><人工視覚野></p> <p>実環境において自律的に動作するロボットの視覚システムでは、遮蔽などがある複雑な状況において、不確実性評価も含めた物体予測が必要となる。双方向深層ネットワークの性能向上と実時間実装などにより実用化の可能性が広がる。一般的な概念を脳から解釈するインターフェースの社会実装には、脳計測装置の開発が必要となる。ハードウェア開発や臨床医学との連携により、実用化の可能性が広がる。</p> <p><人工運動野></p> <p>様々な行動を記録した動画データベースの構築や社会実装のためには人員が不足している。NEDO 内の他グループとの連携等を通じて、順・逆強化学習および逐次強化学習による状況に応じた柔軟なロボットの動作生成アルゴリズムの開発を進め、少子高齢化社会を支える日常生活支援ロボットの動作学習システムのコア技術としての実用化を検討する。</p>
<p>【A-2】平成 27 年度採択② (RFI を踏まえた調査研究→先導研究→研究開発)</p>
<p>研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発</p>
<p>【A-2-1】「メニューコアを活用するデータフロー型プログラミング言語の開発」</p> <p>(委託先：株式会社トプスシステムズ、再委託先：株式会社 Cool Soft)</p> <p>本研究開発成果の応用システムとして AI カメラ（頭脳を内蔵することで、人の代わりに観る、診る、見るカメラ）を提案し、オープンイノベーションによる製品化・実用化に取り組んでいる。</p> <p>オープンイノベーションの構成要素として、(1) ハードウェア要素技術 (SMYLEdeep)、(2) ソフトウェア要素技術 (AI・画像認識アルゴリズムと本研究開発成果の AI プログラミング・フレームワーク)、そして (3) 社会的なニーズ (自動運転用、ロボット用、監視カメラ用、FA 用、VR 用などの AI カメラ)、そしてこれらを (4) エコシステム (既存の大手サービス事業者、商社、メーカー) で繋ぐことで、イノベーションを起こすべく、パートナーとの連携に取り組んでいる。具体的には、コア技術 (1) (2) における研究所や大学との連携、社会ニーズ (3) に関して大手企業との連携、そして既にエコシステムを構築してビジネスを行っている大企業との連携を深めている。</p>

<p>既に、本研究成果の AI ソフトウェア開発フレームワーク及び SMYLEdeep メニーコアチップへのニーズと期待が極めて高く、研究開発の加速による 1 日も早い実用化が望まれている。</p>
<p>【A-2-2】「多様な時系列情報に対する深層学習基盤の開発」 (委託先：株式会社 Preferred Networks) <調査研究にて終了></p>
<p>試作と調査をすすめる上で、個別の技術課題以上に、データ作成の方法論の重要性に気づいた。多数の異なる情報を受け取り、同時に多数の異なるアクチュエータに対して作用する場合、これらを全て備えたデータの作り方は自明ではない。昨今の機械学習技術の発展の裏には ImageNet を始めとした、タスクに特化した大規模なデータセットがあり、かつこれらはクラウドソーシングなどの社会基盤があり、データ作成の方法論自体も変化してきていることは注目すべきであろう。今回ロボットの遠隔操作というかたちでのデータ作成の方法を検討したが、特に、操作デバイスに関しては十分に検討できていない。より効率的で実デバイスに近いデータを大規模に作る方法が確立すれば、実用化に向けての道筋がより近くなると思う。</p>
<p>【A-2-3】「柔軟ロボットによる身体環境相互作用に基づく道具使用」 (委託先：国立大学法人東京大学) <調査研究にて終了></p>
<p>エアシリンダロボット、空気圧人工筋の筋骨格ロボット、柔軟ロボットアームと、複数の柔軟ロボットプラットフォームを用いて研究を進めることで、特定のロボットに特化しない手法の構築を目指している。特定のロボットに特化しないことで適用範囲を広く取り、実用化の際の応用先の広さを確保する。複雑で変化に富む実環境での検討は今後の課題である。</p>
<p>【A-3】平成 28 年度採択（先導研究→研究開発）</p>
<p>研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発</p>
<p>【A-3-1】「超低消費電力深層学習プロセッサおよびソフトウェア層の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人理化学研究所、株式会社 Preferred Networks)</p>
<p>PFN 社内において、実際に最先端の半導体プロセスを使った深層学習向けプロセッサの開発を検討している。</p>
<p>【A-3-2】「人工知能と実験自動化ロボットを統合した次世代創薬プラットフォームの開発」 (委託先：株式会社 MOLCURE、再委託先：国立大学法人東京工業大学、国立大学法人東京大学、学校法人慶応義塾、国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所)</p>
<p>平成 29 年度の研究開発を受け、生化学的側面としてはバクテリオファージからの直接 DNA サンプルを NGS 機器で効率的に取得するプロトコルが完成した。 また、情報科学的側面としては NGS より得られたデータより特徴量を抽出・抗体特性の予測を行うフレームワークが完成した。 研究開発計画におけるマイルストーンが順調に消化できていることと、弊社の顧客である製薬会社のヒアリング結果も良好であることから事業化へ向けた見通しは順調であると考えられる。</p>
<p>【A-4】平成 29 年度採択（先導研究）</p>
<p>研究開発項目⑦ 次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発</p>
<p>【A-4-1】「人工知能と超音波 3D 画像による筋肉・腱・軟骨等の健康状態測定装置の研究開発」 (委託先：株式会社 U. N. デカルト、再委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>
<p>本研究開発で試作した「フレキシブルマトリックスアレイプローブ超音波測定装置」と「筋肉・腱・軟骨等の健康状態を解析する AI」を一体化した、『超音波 3D 健康状態測定装置』の実用化を行う。特に、普及させる上で、価格、機器の小型化・簡便化、操作性と解析精度を向上させることを重点に実施する。併せて、機器の安全性評価と実証試験による製品評価を十分に行い、最終的な市場投入への時期を決定する。</p>
<p>【A-4-2】「熟練スキルを搭載した知能ロボットの研究開発」 (委託先：国立大学法人東京大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社アールテック)</p>
<p>AI については、視覚画像から AI を構築できる各種作業に対応する汎用性を持たせる。データ収集での基本特許構築を目指す。ロボットシステムについては、外注先のベンチャーを中心とした事業化を検討する。ホルマリン排気設備を設けるなど、病院への設置を可能とするための機能も先導研究にて実装する。</p>

<p>【A-4-3】「人・機械協働性生産のための人工知能を活用した作業モデル構築に関する研究開発」 (委託先：三菱電機株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>社会実装に向けた事業拠点整備としては、「人工知能に関するグローバル研究拠点」にもものづくり革新拠点（研究・事業拠点）を構築するとともに、これとつながる地域拠点を整備していく。また、作業モデルライブラリ整備のために、本格研究を通して作業モデルのブラッシュアップを進めると共に、外部ソフトウェアから活用しやすいライブラリとして整備する。さらに、アプリケーション販売事業として平成 33 年度以降に人作業分析アプリケーションの一般展開を開始する。</p>
<p>【A-4-4】「オントロジー推論のリアルタイム処理を実現する組み込み技術の実現と安全・安心分野への応用」 (委託先：一般社団法人組込みシステム技術協会、再委託先：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、国立大学法人九州工業大学、株式会社アトリエ、キャッツ株式会社)</p> <p>オントロジー推論のリアルタイム処理の実用化に対して、有識者、JASA 会員、展示会等で組込み業界に訴求する。平成 31 年度以後に、オントロジーから決定表への変換に関する技術をコンソーシアム内で共有でき、オントロジーや決定表モデルがオープンに利用できる仕組みを確立できることを目標とする。</p>
<p>【A-4-5】「物流サービスの労働環境改善と付加価値向上のためのサービス工学×AI に関する研究開発」 (委託先：国立大学法人筑波大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学 人工物工学研究センター)</p> <p>共同研究先企業との連携については、常に実用化を視野に入れて協議を継続中である。</p>
<p>【A-4-6】「次世代製造バリューチェーン構築へ向けた人工知能の研究開発」 (委託先：日本電気株式会社)</p> <p>Industry Internet Consortium (IIC)において Fraunhofer (独)と KETI (韓)が共同で提案している、工場間の製造能力マッチングと Plug & Work 技術のテストベッドである Smart Factory Web と接続し、自動交渉によるグローバルなバリューチェーン構築の可能性についてもシミュレーションベースで検証することを視野に入れている。これらの成果をもって、平成 30 年度以降の研究開発においては、リアルな工場による実証検証と社会実装を進める。</p>
<p>【A-4-7】「高齢者の日常的リスクを低減する AI 駆動アビエントセンサ・アクチュエータシステムの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学、セイコーインスツル株式会社)</p> <p>セイコーインスツル株式会社は 80 年間にわたる腕時計事業、各種センサを取り付けた機能時計を製品化してきており、デザイン、低消費電力回路、耐久性などのノウハウで他の電子機器メーカーと差別化できるため、高齢者に有意義に機器を活用してもらえる腕時計型デバイスの製品化可能性が高いと考えられる。</p>
<p>【A-4-8】「ロボットをプローブとした高齢者の生活機能の計測・分析・介入技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、パナソニック株式会社、キング通信工業株式会社、再委託先：国立大学法人筑波大学)</p> <p>パナソニック株式会社は、リショーン Plus を平成 29 年に発売開始し、現在の主な導入先である介護施設向けの付加価値の追加や、新たな価値提供のためのノウハウ発掘、更には在宅での導入拡大を視野に入れた機能拡充等の開発を進めている。本事業での IoT 化等の成果は、開発・有効性検証後に速やかに商品・サービスに取り入れることを想定しており、これにより、普及拡大が一層進むことを期待している。具体的には上市当初においては現計画の 10~20%程度の販売増効果、将来的には大半が IoT 化したリショーン Plus に置き換わってくと想定している。また、本事業で開発した IoT 機能やデータ活用技術は、リショーン Plus だけでなく、従来の介護機器の IoT 化にも応用展開できると考えており、これが実現できれば、より一層の波及効果が期待できる。また、キング通信では、今回の先導研究でのデータ計測からの分析結果及び開発システムに関して、協力施設などの評価結果を基に再検討・改善を実施し、本研究開始の平成 31 年以降に事業化へ向けた活動を進める。その成果の事業化を含め、5 年後に年間介護ロボットの見守りセンサの分野で 50 億以上の市場規模で 10% (5 億円) 以上のシェア獲得を目指している。</p>
<p>【A-4-9】「空間移動時の AI 融合高精度物体認識システムの研究開発」 (委託先：国立大学法人東京大学、オリンパス株式会社、国立大学法人電気通信大学、株式会社デンソー、国立研究開発法人産業技術総合研究所、一般財団法人マイクロマシンセンター)</p> <p>本先導研究終了後、臨海拠点等での本格研究を経て、実用化フェーズに入る見込みである。特に、完成している多波長カメラ及びラージスケールモデルの高精度ジャイロをシステム化して高精度物体認識システムとしての完成度を上げ、ロボットインテグレートメーカーとの連携を想定して実用化を進める予定である。この中で、革新センサ（プラウズモニックワイドバンドドイメジャ及び高精度分子慣性ジャイロ）は先導研究メンバを中心にロボット搭載可能な小型化を進め、必要に応じカメラインテグレートメーカーと連携しつつ実用化を進める。</p>

<p>【A-4-10】「健康増進行動を誘発させる実社会理込型 AI による行動インタラクション技術の研究開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、美津濃株式会社、国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター、国立大学法人東京大学 人工工学研究センター、株式会社竹中工務店)</p> <p>本先導研究の成果として事業化に繋がるサービスは、健康モニタリングと連携した 3 つの事業--スポーツサービス事業、ジョブマッチングサービス事業、回遊ルートのコンテンツ共有サービス事業である。スポーツサービス事業は、参画者であるミズノ株式会社を中心になって販売、提供を行う。ジョブマッチングサービスは東京大学の GBER プロジェクトを中核として自治体や地域コミュニティへのライセンス導入を進めていく。第三については、株式会社竹中工務店を中核として、プロジェクトに参加する事業者を中心に試験導入を進め、ビジネス化の検討を行う。</p>
<p>【A-4-11】「AI×ロボットによる高品質細胞培養の自動化とオミックスデータの大規模取得」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、Axcelead Drug Discovery Partners 株式会社、再委託先：国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人東京大学)</p> <p>AI×ロボットの自立的パイオ実験プラットフォームを、細胞培養という応用分野において最大限のメリットを示すことが可能。細胞培養分野は創薬や医療分野で今後大きな需要が予想されている。本研究開発技術の有用性が実証されたのち、Axcelead Drug Discovery Partners 株式会社が、本プラットフォームを用いて、創薬・医療分野各社からの研究開発を受託し、高品質な培養細胞を提供するビジネスモデルを想定している。</p>
<p>【A-4-12】「AI 活用による安全性向上を目指したスマートモビリティ技術の開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p> <p>自らが実用化・事業化主体ではないため、開発した技術については電動車いすメーカー等のパーソナルモビリティの製造・販売を手掛ける企業への技術移転等により実用化を図る。技術移転先候補であるアイシン精機株式会社からは平成 30 年度に車体提供をいただく予定であり、本格研究では共同で取り組めるよう準備する予定である。同じく技術移転先候補であるスズキ株式会社との関係については、平成 29 年度別途実施した共同研究期間中に開発したハンドル型電動車いすを活用して技術実装を行う予定である。なお、この電動車いすは歩行者扱いでの各種公道走行実証実験に関する承認を受けている機体である。なお、本研究開発において開発する技術は、AI やエッジデバイスを活用したパーソナルモビリティの安全技術であり、現段階では類似製品は存在しない。カメラやエッジデバイスなど安価なデバイスを付加するだけで実現可能な技術であり、30~40 万円程度の電動車いすにオプションとして実装可能なコストである。さらに、都市空間内で活用される移動体には汎用的に展開可能な技術であるため、波及効果も充分に見込める。</p>
<p>【A-4-13】「人工知能技術を用いた植物フェノミクスとその応用に関する先導研究」</p> <p>(委託先：特定非営利活動法人植物工場研究会、国立研究開発法人産業技術総合研究所、鹿島建設株式会社、国立大学法人千葉大学)</p> <p>(1) 植物フェノミクスを基盤とした生産性向上のための計測制御システム及び (2) 人工知能エンジンによる進化した植物生産 (植物工場) システム、(1) と (2) のシステム販売および 2 次データのサービス事業の実現に向け研究開発を行う。実用化の早期実現も意識した実験を実施する。</p> <p>また、スムーズかつスピーディな事業立ち上げとすべく、特に当該産業促進機関としての役割も担う本委託機関の成果発信力やネットワークを活かしながら研究開発を実施する。</p>
<p>【A-4-14】「コンビニ等の店舗内作業を対象とした AI×ロボティクスによる高度マテリアルハンドリング・システムの研究開発」</p> <p>(委託先：株式会社豊田自動織機、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学)</p> <p>コンビニ等で求められるタスクについての分析を行い、そのタスクに必要な認識機能、行動機能、学習機能、現場利用者設定機能についての検討を行い、コンビニ環境でのタスクを実現する全体運用を構想する。さらに既存の移動作業ロボットによるタスク試行実験評価も行う。</p> <p>また、コンビニエンスストア店舗内作業に留まらず、各種作業分野における高度マテハン・システムに対するニーズと、求められるシステム要件を広く調査検討し、開発内容と目標を明確にするとともに、実用化エリアの優先順位を見極めて社会実装の加速につなげる。</p>
<p>【A-4-15】「イノベーション・リビングラボの先導研究」</p> <p>(委託先：学校法人東京電機大学)</p> <p>本研究開発によって、東京電機大学内で得られるあらゆる知見・工業所有権は NEDO の承諾を得、それぞれの事業化に最適なライセンス販売を行い、同様の研究コンサルティング事業を行う事により、収益を見込む。</p>

<p>【A-5】平成 29 年度採択（調査研究） <AI コンテスト方式></p> <p>研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発</p> <p>研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発</p> <p>研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発</p>
<p>【A-5-1】「多様話者・多言語に対応可能な“End-to-End 音声認識 AI”の実用化」</p> <p>（委託先：Hmcomm 株式会社） <最優秀賞></p> <p>当社はソニーネットワークコミュニケーションズ株式会社と平成 28 年 12 月に資本業務提携を行い、自社コールセンター（インターネットサービスプロバイダ So-net 光）の AI 化に向けて当社製品である「VContact」を導入いただいている。現在、ソニーグループへの展開を目指し共同開発中である。これらの実装実績をベースに、本研究を進めて平成 29 年 4 月以降にプロダクト化を予定している。また、本研究に当たっては国立研究開発法人産業技術総合研究所をはじめ、国立大学法人東京工業大学 篠崎隆宏准教授との共同研究態勢も整え、万全の体制を構築中である。</p>
<p>【A-5-2】「人工知能による診療科推論等の調査研究」</p> <p>（委託先：AR アドバンステクノロジー株式会社、株式会社島津製作所） <優秀賞・審査員特別賞></p> <p>AR アドバンステクノロジー株式会社は、横浜国立大学大学院工学研究院・濱上教授と共同で、人工知能アルゴリズムの開発を行っている。同時に株式会社島津製作所は人工知能に有用な情報を供給するに適したユーザーインターフェースを開発。その人工知能アルゴリズムが開発完了した際、帝京大学医学部附属病院内に拠点を構えている、帝京大学医療情報システム研究センター澤教授の指導の元、匿名化された電子カルテを持ち出すことなく、情報システム研究センター内でその精度の検証を行う予定である。開発した人工知能アルゴリズムを日本最大級の規模を誇るデータで検証することにより、そのシステムの有用性を示すことが出来る見通しである。</p>
<p>【A-5-3】「スマホで育てる日本発個人向け人工知能」</p> <p>（委託先：SOINN 株式会社） <優秀賞・審査員特別賞></p> <p>平成 30 年度取り組みにおいてスマホ単体で完結する機械学習ライブラリを用いた実証実験に着手することを目標に、平成 29 年度取り組みにおいては既存研究の拡張として機械学習アルゴリズム基盤の整備と、同アルゴリズムに対する社会実装観点からの評価調査を実施する。</p>
<p>【A-5-4】「深層学習を利用した対話型インターフェースによる非構造化データ検索の調査研究」</p> <p>（委託先：株式会社 BEDORE） <優秀賞・審査員特別賞></p> <p>株式会社 BEDORE は、既に深層学習を用いた対話型自然言語処理エンジンを販売しており、安定稼働を実現している。また、エンジンは高い精度を誇り、様々な企業に採択されている。本研究開発の成果はコールセンターの効率化プロジェクトを共同で行っている株式会社クレディセゾンでの実証実験を経て、このエンジンに組み込まれる予定であり、実用化へのステップは明確になっている。</p>
<p>【A-5-5】「五感 AI カメラの開発」</p> <p>（委託先：アースアイズ株式会社） <審査員特別賞></p> <p>店舗におけるヒトの行動パターンの検知を集積し、「一般客」「店員」「万引き犯」の 3 つに区分する。抽出した 3 次元データでは、異常行動のみの検知が可能となる。膨大な 3 次元データを効率よく処理する「AI 予知システム」を構築する。</p>
<p>【A-5-6】「契約書関連業務における抜本的バックオフィス改革人工知能の調査研究」</p> <p>（委託先：株式会社シナモン） <審査員特別賞></p> <p>テーマの実現にあたっては、農林中央金庫に協力者として、英文契約書と抽出論点の提供、業務改善を目指した実証研究にご協力いただく。平成 30 年度前半を目標に、農林中央金庫内での実証研究開始を目指す。</p>

B. 革新的ロボット要素技術分野

研究開発成果の概要
【B-1】平成 27 年度採択①（先導研究→研究開発）
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）
【B-1-1】「人検知ロボットのための嗅覚受容体を用いた匂いセンサの開発」 （委託先：国立大学法人東京大学、住友化学株式会社、地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所）
<p>先導研究によって得られた成果に基づき、実用化に掛かる課題を抽出・設定し、実用化へ向けた各種取り組みを進めている。具体的には、高感度かつ、定量性および動特性を有するセンサの実現を研究開発期間の目標としている。最終目標達成に向け、遺伝子改変技術による超高感度受容体の作製、応答シグナルの定量性識別機構の開発、動特性獲得のためのセンサチップの高機能化等を進めている。また各成果については、知財戦略にもとづいて適宜、特許出願を行い、権利強化に取り組んでいる。事業化については、電機メーカー等との協業を計画している。技術開発で並行して進めている試作センサの製作後、速やかに協業先候補企業へのヒアリングを行う予定である。また、想定ユーザーへのヒアリングを実施し、試作センサの提供と実証試験の実施を考えている。</p>
【B-1-2】「次世代ロボットのためのマルチセンサ実装プラットフォーム」 （委託先：国立大学法人東北大学、共同実施先：学校法人名城大学）
<p>LSI の ASSP 化は平成 30 年度の上市を目途に進めている。各種有望なアプリケーションがあり、打合せ等を進めている。対象としている企業は、大手自動車メーカー、大手産業機器メーカー、大手民生機器メーカー、海外ロボットメーカー、国内の人工知能系ベンチャーであり、関連プロジェクトとして研究開発を進めているもしくは予定している。</p>
【B-1-3】「ロボットの全身を被覆する皮膚センサの確立と応用開発」 （委託先：国立大学法人熊本大学）
<p>本研究開発の開始後に実施した展示会や技術説明会での紹介を通して、複数の事業者から本技術の活用について照会を受けている。実用化までの期間が比較的長期となるロボットよりも工業製品や工場内の部材に取り付け表面に加わる圧力分布を取得するためのセンサとしての利用に関心を示すものが多いが、必要となる技術は同じものであるため多様な出口イメージを持って開発を進める予定である。なお本テーマで取り組む技術の実用化に向けて主要な技術課題となるのが曲面上に導電パターンを形成し電極・配線とする技術の確立であり、従来のマスクパターン上からの導電性溶液噴霧ではなくプリントドエレクトロニクス技術を活用したパターン形成技術の導入を進めている。本技術はゾルゲル溶液の組成レシピや吹き付けノウハウなど事業者への技術移転が困難な要素も含むため、ゾルゲルスプレー法を中核とした事業立ち上げも計画している。</p>
研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）
【B-1-4】「高強度化学繊維を用いた『超』腱駆動機構と制御法の研究開発」 （委託先：国立大学法人東京工業大学、再委託先：株式会社横浜ケイエイチ技研、株式会社アトックス）
<p>廃止措置を担うメーカー3社と面談を行い、技術紹介を行った。また、講演会などで本技術の説明を積極的に行った。現在、先方からの反応を待っている。</p>
【B-1-5】「可塑化 PVC ゲルを用いたウェアラブルロボット用ソフトアクチュエータの研究開発」 （委託先：国立大学法人信州大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：セーレン株式会社）
<p>研究開発期間（本事業）終了後、大学発ベンチャーである AssistMotion 株式会社（平成 28 年 1 月設立済）とセーレン株式会社に技術移転する。最初はラボレベルでの試作品によるサンプル出荷を行い、ユーザーからの製品ニーズに応じて、仕様の策定を進める。</p> <p>ユーザー（市場）の反応に応じ、平成 33 年度に PVC ゲルシートソフトアクチュエータの量産設備投資の可否を判断し、平成 35 年度の初期に量産品のサンプル出荷および、中盤以降に『PVC ゲルシートソフトアクチュエータ』の生産を検討する。</p> <p>上記の実用化を進めるため、研究開発期間では、PVC ゲルアクチュエータの基本性能評価、最適材料選定、アシストウェアの制御および構造改良に取り組み、必要に応じ特許化する。</p>

<p>【B-1-6】「高効率・高減速ギヤを備えた高出力アクチュエータの研究開発」 (委託先：国立大学法人横浜国立大学、再委託先：日本電産シンポ株式会社)</p> <p>パワーアシストロボットへの応用に関して2社、協働ロボットへの応用に関して2社、オートメーション分野への応用に関して1社、情報家電への応用に関して1社、油圧サーボ系への応用に関して1社、電動アシスト自転車への応用に関して1社から引き合いがあり、パワーアシストロボット応用1社、油圧サーボ応用1社、電動アシスト応用1社について、それぞれ特定用途向けの共同研究を開始している。また、試作機のサンプル提供を行い、顧客からの評価を開発へフィードバックすることを予定している。</p>
<p>【B-1-7】「全方向駆動機構を核とした革新的アクチュエーション技術の研究開発」 (委託先：国立大学法人東北大学)</p> <p>現在、実用化に向けて、耐久試験に加えて、部品点数を抑えた設計を試みている。具体的には、部品の一体化構造によるネジ数の低減化や、組み立て工程の簡易化を考慮に入れた構造としている。また、耐久性試験についても検討を行っており、平成30年度からの試験開始を見据えて研究開発に取り組んでいる。なお、耐荷重性の高さに関しては目標達成している。さらに、4ユニットを用いたプラットフォームに関しては設計・試作による具現化は既に行っており、より踏破性が高い構成に関して、実機実験を通して検証中である。</p>
<p>【B-1-8】「スライドラリングマテリアルを用いた柔軟センサーおよびアクチュエータの研究開発」 (委託先：豊田合成株式会社、アドバンスト・ソフトマテリアルズ株式会社、再委託先：国立大学法人東京大学)</p> <p>ロボットメーカー等へのヒアリングおよび市場調査を実施した結果、5件の具体的な引き合い案件を得た。豊田合成内に事業化プロジェクト体制を整備し、現在総勢50名の規模となった。顧客評価サンプルの出荷は平成30年9月を予定している。</p>
<p>【B-1-9】「慣性質量を含むインピーダンス可変機構を有するスマートアクチュエータ」 (委託先：学校法人早稲田大学) <先導研究にて終了></p> <p>先導研究期間では、各特性可変機構の試作と評価を行い、最適手法やラインナップ化に関しても検討した。</p>
<p>【B-1-10】「小型油圧駆動系と燃料電池・電池ハイブリッド電源によるフィールドアクチュエーション技術」 (委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了></p> <p>油圧ポンプと油圧シリンダの高圧化による高性能化の目的が立つなど、計画以上の進展を見せている。高強度セラミックスを用いた油圧ポンプの高剛性化は有望であり、小型油圧アクチュエータのブレークスルーとなる可能性を秘めている。また、流量型ポンプとしてのトロコイドポンプの位置付けが明確になり、エネルギー伝達効率も評価実験で明らかになった。電装系のモータドライバとMCU基板の開発が大きく進展し、信頼性の高い高性能電装系の目的が立った。平成29年度中には量産化に近い設計を行う予定である。油圧系の力制御を目的としたフィードバック制御系として、ポンプ用モータの電流制御、ポンプ圧力制御、シリンダ推力制御を異なるセンサで各々外乱オブザーバを用いた3重のフィードバックループとする方法を採用し、力制御性能が大きく向上した。このノウハウは重要である。</p>
<p>【B-1-11】「人間との親和性が高いウェアラブルアシスト機器のための可変粘弾性特性を有する革新的ソフトアクチュエータシステムの開発」 (委託先：学校法人中央大学、再委託先：株式会社ブリヂストン)</p> <p>本技術に関し、10社程度の企業と共同研究を実施している。その中で、実用の際に問題となることの洗い出し及び対策を行っている。今後はNEDO研究開発期間内での人工筋肉の実用化・商品化を目指し、引き続き開発を行う予定である。</p>
<p>【B-1-12】「高分子人工筋肉アクチュエータによる柔らかな運動支援装具の研究開発」 (委託先：国立大学法人九州大学、国立大学法人名古屋大学) <先導研究にて終了></p> <p>自らが実用化・事業化主体ではないため、開発した技術については電動車いすメーカー等のパーソナルモビリティの製造・販売を手掛ける企業への技術移転等により実用化を図る。技術移転先候補であるアイシン精機株式会社からは平成30年度に車体提供をいただく予定であり、本格研究では共同で取り組めるよう準備する予定である。同じく技術移転先候補であるスズキ株式会社との関係については、平成29年度別途実施した共同研究期間中に開発したハンドル型電動車いすを活用して技術実装を行う予定である。なお、この電動車いすは歩行者扱いでの各種公道走行実証実験に関する承認を受けている機体である。なお、本研究開発において開発する技術は、AIやエッジデバイスを活用したパーソナルモビリティの安全技術であり、現段階では類似製品は存在しない。カメラやエッジデバイスなど安価なデバイスを付加するだけで実現可能な技術であり、30~40万円程度の電動車いすにオプションとして実装可能なコストである。さらに、都市空間内で活用される移動体には汎用的に展開可能な技術であるため、波及効果も充分に見込める。</p>

<p>研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術</p>
<p>【B-1-13】「ロボット知能ソフトの透過継続システムインテグレーション技術の研究開発」</p> <p>(委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了></p> <p>本研究開発の成果は、平成 29 年度から開始されて NEDO ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト、ロボットのプラットフォーム化技術開発（ソフトウェア）、オープンソースロボットソフトウェアのプラットフォーム化技術開発の中核技術として運用され始めている。特に本プロジェクトのロボットのプラットフォーム化技術開発（ハードウェア）について採択された 7 社のうち、5 社は明確に本研究開発の成果を求めており、当初の狙い通り、企業がオープンソースソフトウェアを用いてそのロボットを事業展開するには必要不可欠な技術となっている。本研究開発では、その技術をさらに先端化させ、自動化、常時化を図ることで、人海戦術ではなく省力でのシステムインテグレーションを図るものであった。しかしながら、初年度で終了しているため、その見通しについては、今後新たに技術の先端化を進め、システムインテグレーションの中核化技術として構築できるかに掛かっており、さらなる取り組みが必要な状況である。</p>
<p>【B-1-14】「人共存環境で活動するロボットのための HRI 行動シミュレーション技術」</p> <p>(委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所)</p> <p>実環境へのサービスロボット導入工程（提案時、開発時）の一環として、ロボットサービス提供事業者、システムインテグレーション事業者等に利用されるという形で、実用化への見通しを立てている。本 NEDO プロジェクト内で、パナソニック株式会社（混雑下のロボットのナビゲーションの問題に取り組み中）とも意見交換を進めている。</p>
<p>【B-1-15】「接触を許容しながら安全かつ不快感を与えずに移動する自律移動技術の研究開発」</p> <p>(委託先：パナソニック株式会社、学校法人早稲田大学)</p> <p>早稲田大学で研究開発した接触技術や動作アルゴリズムを、実用化に耐えうるコストで実現すべく単軸で同程度の振る舞いが可能なロボットを試作した。パナソニックグループ内で自律移動ロボットの事業を実施している部門とも連携し、マーケティング活動を実施中である。併せて、接触を伴う移動に関する安全性の検証も実施した。</p>
<p>【B-1-16】「生物ロコモーションの本質理解から切り拓く大自由度ロボットの革新的自律分散制御技術」</p> <p>(委託先：国立大学法人東北大学) <先導研究にて終了></p> <p>自律個（自律分散制御の単位）の振る舞いと全体の振る舞いをつなぐロジックは依然として不完全で、環境によっては個々の自律個は合理的な振る舞いをしているものの、ロボット全体としては非合理的な振る舞いを示すという、いわゆる「合成の誤謬」が除去しきれないことも明らかになった。この問題の完全な解決なくして非構造環境下において動物の動きに比肩する運動能力の工学的実現は不可能である。また、実用化に際しては、操作性についての検証も必要不可欠である。今後は、本研究開発を通して明らかになったこの問題の解決に全力を尽くしていきたい。</p>
<p>【B-1-17】「行動記憶レイヤ統合に基づく衝撃対応実時間行動システム中核総合化研究開発」</p> <p>(委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了></p> <p>先導研究期間・後期研究開発期間を通し、衝撃強度に応じて立位・足踏み出しバランス・手をつく・全身を使うといった反応行動、周囲環境に応じた反応行動、作業状況に応じた反応行動、転倒時の受け身・転倒後の寝返り起き上がりなど段階を経て実証研究を行うことを目指した。先導研究では、前半の実証実験レベルで衝撃強度に応じて立位・足踏み出しバランスを実現したことに相当する。実時間制御システムの枠組みを先導で整え立位の状態を実現した点が先導研究の成果であり、研究開発期間に向けた指針が得られた。</p>
<p>【B-1-18】「知識の構造化によるロボットの知的行動研究開発」</p> <p>(委託先：学校法人明治大学、共同実施先：TIS 株式会社)</p> <p>本研究開発の成果を応用して自律移動型ロボットを用いた実用警備システムを開発するスタートアップベンチャーを平成 28 年 10 月に起業した。サービスロボットの実用化が成功するかどうかは、先進技術よりもまずは信頼性がカギを握るため、初期ステップとして基礎となる技術から順に実用システムへと投入していく。同時に差別化した競争力となる先進技術を次々に投入できるよう、大学における研究と並行して進める体制を構築した。</p>

【B-2】平成 27 年度採択②（RFI を踏まえた調査研究→先導研究→研究開発）
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）
【B-2-1】「安全・小型・軽量なマン・マシン・インタフェースの開発」 （委託先：株式会社栗本鐵工所、再委託先：国立大学法人山形大学、国立大学法人大分大学、国立大学法人大阪大学） <調査研究にて終了>
調査研究で終了となったが、実用化へ向けて取り組んでいる。主に展示会などを利用して、様々な方にデモ機を用いてナノ MR 流体の感触を体感していただき、連携先や顧客ニーズを模索している。
【B-2-2】「機能性ポリマーを用いた移動ロボットの吸着機構の研究開発」 （委託先：学校法人名城大学）
現在 SMC 株式会社と協力し、吸着パッドのニーズ調査を行い、それに適した形状の吸着パッドを開発している。実用化については、この吸着パッドを基に実用化用の設計と評価を行う。
【B-2-3】「コンデンサ化マテリアル基材によるソフトアクチュエータ開発」 （委託先：国立大学法人岐阜大学、株式会社ブイ・アール・テクノセンター） <調査研究にて終了>
ソフトアクチュエータの製造手法を確立し、その製造を可能とする設備調査を行っており、複数の製造工法企業を調査した。現在対象企業に素材サンプルを提示し、成型可否を行おうとしている。事業先候補の食品加工企業より人材不足の声が高まっており、ロボットシステムインテグレータとして生産改善における省人化、省力化について提案している。ただし現段階ではロボット導入においてロボット環境を整えるしかなく（安全柵や滅菌処理、メンテナンスフリーなどの課題が残存し、中小企業における多品種小ロット向けロボット導入が進まない原因となっており、当研究成果の早期製品化が望まれる。
研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）
【B-2-4】「剛性と柔軟性を融合させるスマートメカニクス」 （委託先：国立大学法人筑波大学）
スマートメカニクスによる「人とともに動作するロボットソリューション」を提供するロボット研究開発・コンサルティング事業の展開を構想中。同時に、産業用ロボットメーカーとの連携推進を検討する（マニピュレータへの組み込み、食事動作支援ロボットへ展開する）。医療福祉機器展開については、本学医工融合拠点を利用して、実験検証を行う。
【B-2-5】「次世代ロボット素材など要素技術の調査研究と次世代ロボットの試作開発」 （委託先：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所） <調査研究にて終了>
調査研究で終了したため、実用化に向けての見通しはない。
【B-2-6】「把持機能と認識機能の統合による高度なマニピュレーションの実現」 （委託先：国立大学法人神戸大学、共同実施先：国立大学法人金沢大学、国立大学法人信州大学） <調査研究にて終了>
調査研究で終了したため、実用化に向けての見通しはない。
【B-2-7】「IoT 時代に対応した ORiN3 の戦略及び仕様作成」 （委託先：一般社団法人日本ロボット工業会）
ORiN2 において実装レベルでの連携として、FL-net 連携、OPC-UL 連携、ROS 連携を実現。ORiN3 ではこのような外部連携部分を仕様組み込み、よりスマートな実装が可能となるように検討を進めている。 最も重要なユーザーであるロボットシステムインテグレータ業界において普及させるため、ロボット工業会のネットワークを使用して普及活動を行っている。平成 29 年より、オフィスエフエイコム社やリンクウィズ社などロボットシステムインテグレータ業界における技術的リーディングカンパニーが使用を開始。特にオフィスエフエイコム社は ORiN 協議会の特別会員となり、ORiN3 仕様策定にも参画。ORiN3 仕様にユーザーの視点を強く反映させ ORiN3 完成後に確実にユーザーに使用していただけるように進めている。

<p>【B-2-8】「動物の骨格・動作分析による、走破性が高い省エネ型脚機構の開発」</p> <p>(委託先：学校法人日本医科大学 日本獣医生命科学大学、株式会社テムザック) <調査研究にて終了></p>
<p>日本を含め全世界的に地震や水害など自然災害は頻発しており、瓦礫や崩壊斜面、水没地域を駆動できる災害救助ロボットのニーズは確実に増している。先導研究には至らなかったが、日本獣医生命科学大学とテムザックは、今後もこの研究開発を継続し、実用化に進める予定である。</p>
<p>研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術</p>
<p>【B-2-9】「広角・多波長レーザーレーダーによる超高感度コグニティブ視覚システム」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人慶應義塾、株式会社ジェネシス)</p>
<p>光ビーム偏向素子モジュールについては、ロボットのみならず車載への適用を考え、-40℃~100℃までの過酷な環境に耐える試験を実施し、ほぼ問題の無いことを確認した。また、量産化に向けた検討も開始し、MEMS ミラーなどの他の技術を比較し、大幅な低価格化が可能である見通しを得た。実用化に向けかなり良いポジションにあるものと考えている。またレーザーレーダーについては、DSP(Digital Signal Processing)を駆使して、通常の安価な半導体レーザーを用いても高分解能のシステムを実現できることが判明し、実用化に向け大きな成果を得ることができた。以上の成果を実用化すべく、ベンチャー企業(株式会社 SteraVision)を平成 28 年 12 月に設立し、平成 30 年度には上市する予定である。</p>
<p>【B-2-10】「非整備環境対応型高信頼ヒューマノイドロボットシステムの開発」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>
<p>現場のニーズや作業内容・環境の仕様等の情報収集、現場を正確に模擬した模擬環境での実証、更には実際の現場での実証を行うため、将来ユーザー企業になることが期待される現場を有する企業との共同研究を模索している。平成 28 年 1 月から仏エアバス社との共同研究を開始し、航空機の組立現場を対象として、ロボットを導入するユースケースの抽出、ユースケースにおける作業を実現するための基盤技術の開発、模擬環境での試験を行っている。また平成 28 年度のプライベート展示会で引き合わせて頂いた竹中工務店とも共同研究に向けて協議を行っており、間もなく契約できる見込みである。ヒューマノイドロボットの実用化には未だ時間を要すると考えているが、本事業において模擬環境での実証(TRL6)までを実施し、その後 5 年以内に TRL を 8 まで引き上げ、実用化したいと考えている。</p>
<p>【B-2-11】「超低侵襲、超低負担な神経電極デバイス技術の BMI 応用」</p> <p>(委託先：国立大学法人豊橋技術科学大学、共同実施先：国立大学法人新潟大学、国立大学法人旭川医科大学)</p>
<p>電極デバイスの実用化および事業化に向けて 6 月に企業との共同研究を締結した。また、6 月、7 月にはそれぞれ電極デバイスに関する展示会(BIO tech 2017、第 40 回日本神経科学大会)への出展、神経科学大会期間中には平成 28 年度に引き続き電極デバイスに関するワークショップを開催した。並行して、電極の埋め込みを含む各種電極デバイスの評価を実施すると共に、電極アレイ化を含む電極の性能を向上させてきた。今後は更なる電極の性能向上、機能向上、BMI 以外の電極デバイス応用の拡大とそれらの実証、特許申請、併せて組織の拡充により開発する電極デバイスの実用化・事業化を達成する。</p>
<p>【B-2-12】「脳活動モデル同定と内部状態推定に基づく BMI 技術」</p> <p>(委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所) <調査研究にて終了></p>
<p>脳波信号は、乾式脳波計測装置を用いて計測し、データは Bluetooth でワイヤレス送信することで、実用応用に近いセットアップでの実験系で検証を行った。運動想像のデコーダの作成には、感覚運動活動に関わるチャンネルのみを用いることで簡単に脳活動解析ができるようにした。</p> <p>動的システムを用いた意図推定を行うことで、時間遅れの少ない脳活動からの意図推定を可能とし実用化に近づけることができた。</p>
<p>【B-2-13】「脳波によるヒト型ロボット高速制御技術の実現可能性に関する検討」</p> <p>(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>
<p>技術移転先企業との面談として、要素技術に関するものを含め、10 社以上から問い合わせがあり、順次面談を行っている。そのうち、ドライセンサ開発に関して大企業 1 社と大型契約が結ばれた(平成 29 年 3 月から 1 年間)。他にも有望な案件が幾つかある。次に、産総研ベンチャー関連として、起業希望者向けのビジネスコンテスト 2 件に応募中であり、そのうち 1 件は 1 次審査を突破した。また、スピアウト技術に関する外部資金等獲得に向けた準備として、ニューロコミュニケーターのコア技術を用いた瞬き関連筋電位によるインターフェースの製品化のための補助金獲得に向けて某中小企業が準備を進めている。最後に、仙台市(自治体)や京都市(民間)と臨床応用に関する連携関係を締結し、実証実験への協力を取り付けた。</p>

【B-3】平成 28 年度採択（先導研究→研究開発）
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）
<p>【B-3-1】「自由曲面に貼れるナノチューブ面状電極の研究開発」 （委託先：富士化学株式会社、国立大学法人信州大学）</p> <p>人の関節の動作に相当する伸縮率には対応できており、センサとして利用可能である結果が得られている。信州大学ベンチャーAssistMotion 株式会社で開発しているアシストスーツへの搭載を目指してセンサの特性の評価を進めている。センサ以外の用途でプリンタブルエレクトロニクスへの展開も期待できると考えており、展示会等でアピールしている。また、この分野の市場調査を進めている。</p>
<p>【B-3-2】「ロボットに実装可能な MEMS 味覚センサ」 （委託先：国立大学法人東京大学）</p> <p>10mm 角、厚み 0.6mm シリコンダイオード上に幅・ピッチ 5um の金グレーティングを形成した SPR センサチップを実現し、食塩水につけた際の SPR 応答を電気的に計測した。またイオン交換膜と SPR センサを組み合わせることで 2nM 濃度のイオンを 3sec の速度で検出し、10sec の速度でフラッシングできることを確認した。これらの成果により、MEMS によって SPR 型味覚センサの小型が実現可能であること、またマイクロサイズのセンサ・膜構造を利用することで味覚物質を高速に検出可能になることを確認した。</p> <p>センサの小型化、高速度化を実現したことで、我々の身近で食の安全や健康の維持を手助けするサービスロボット等への応用が期待できるとの見通しを得た。</p>
<p>【B-3-3】「味覚センサの高機能化による食品生産ロボットの自動化」 （委託先：国立大学法人九州大学、共同実施先：株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー、UCC 上島珈琲株式会社、富士食品工業株式会社）</p> <p>既に人工甘味料用センサと苦味センサについては先導研究の目標をほぼ達成している。従って、これらについては（既存の味覚センサ装置に装着する形で）早期に実用化・販売を行う予定である。ニーズのマッチング分析も順調であり、上記センサ部の実用化と合わせ、先導研究（平成 28～29 年度）と研究開発（平成 30～31 年度）の課題遂行により食品生産向け味覚センサ装置システム全体を構築し、実用化する。</p>
研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）
<p>【B-3-4】「分子人工筋肉の研究開発」 （委託先：国立大学法人東京工業大学、国立大学法人北海道大学、国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学、共同実施先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人関西大学、国立大学法人大阪大学）</p> <p>人工筋肉に関しては、実用化に必要な収縮力の強化と収縮速度の向上に注力している。光造形システムに関しては、基本設計ならびに組立を終了し、実稼働に向けてシステムのチューニングに注力している。人工サルコメアに関しては、基本構造となるキネシンロッドならびに DNA 修飾キネシンの創生の方法論を確立し、高次構造の創生に向けて注力している。設計支援環境に関しては、キネシンロッドおよび DNA 修飾キネシンの原子モデルの構築法を確立し、VR 上での分子モデリングならびに可視化シミュレーションに注力している。</p>
研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術
<p>【B-3-5】「イメージセンサーを用いた環境認識処理の高速飛行体への適用」 （委託先：エアロセンス株式会社、再委託先：国立大学法人東京大学）</p> <p>顧客からはシステム完成後、様々な環境にて、すぐに導入したいと言われている状況である。Level4 と言われる非無人地帯での完全自律飛行でのビジネスを達成すべく、技術開発および、本技術以外の運用の障壁となる部分を解決するため国内のドローン運用の基準作りのための官民協議会、並びに産業用無人航空機の工業会（JUAV）への参加の活動を行なっている。</p>
<p>【B-3-6】「高速環境認識・飛行経路生成制御技術の研究開発」 （委託先：株式会社自律制御システム研究所、国立大学法人信州大学、再委託先：SOINN 株式会社、国立大学法人千葉大学）</p> <p>非 GPS 環境下における自己位置推定、環境の高速計測ならびに認識、経路生成による自律飛行の保証を開発することを目指す。上記が実現されることにより、交通インフラが未整備あるいは飽和している環境における宅配に代表される物品輸送、災害現場の状況把握や警備への活用が見込まれる。</p>

<p>【B-3-7】「フライトレコーダを用いた安全性向上に向けた枠組みの研究開発」</p> <p>(委託先：本郷飛行機株式会社)</p> <p>実用化へ向けた業務は本格的には始まっていないが、現在開発中の試作品が完成し次第、弊社の実機へ搭載し実務試験を行う予定である。また、利用者となるだろう会社とは定期的にヒアリングなど情報交換を続けており、随時実用化に向けた検討をしながら開発を進めている。</p>
<p>【B-3-8】「UAV 向けフライトレコーダと不時着技術の研究開発」</p> <p>(委託先：株式会社菊池製作所、国立大学法人徳島大学、公立大学法人会津大学、学校法人早稲田大学)</p> <p>本研究開発で開発しているフライトレコーダやエアバックシステムはドローンを運用する上での安全技術として、多くのドローンの必須技術となりニーズは拡大すると想定しており、現在関係のあるドローン製造メーカーや研究開発機関、測量・測定機器メーカー、ドローンサービス・運用業者などを対象に、本システムについての有用性・需要などの市場調査を行っている。</p> <p>安全機能に対する需要は高いが、重量増加による飛行時間の減少が問題。実用化にはまずはシステム有効性実証が優先と考えており、本システムの開発を推進する。</p>
<p>【B-3-9】「フライトレコーダの標準化及び小型無人航空機の事故原因解析の研究開発」</p> <p>(委託先：ブルーイノベーション株式会社、国立大学法人東京大学)</p> <p>実証フェーズ「JUIDA 認定スクールへの安全飛行管理システムの導入」ブルーイノベーションが事務局を務める、日本の無人航空機の民間団体である JUIDA が運営する認定スクール(平成 29 年 9 月現在、スクール数 100 位上、認定証明証取得者は 2,500 名以上)に、試験的に一部で導入していくことを想定している。</p> <p>ビジネスフェーズ「無人航空機メーカー、システムインテグレーターへ API 提供」ブルーイノベーションに問い合わせのある、無人航空機メーカーやシステムインテグレーターへの API 提供を想定している。</p> <p>上記の他、JUIDA が関わる無人航空機の ISO 委員会において、本研究で検討した成果を国内の共通仕様に供されるように、ISO 委員会関係者に提案していく</p>
<p>【B-3-10】「人の手に近い高性能で堅牢性を併せ持つロボットハンドの開発」</p> <p>(委託先：ダブル技研株式会社、公立大学法人首都大学東京 東京都立産業技術高等専門学校)</p> <p>市場調査の結果、ロボットハンドの需要のある産業・分野、用途としては物流、自動車、食品業界における難把持物のピッキング、搬送用途が主であり、要求される主要な仕様条件としては先ず安価であること、多様な形状・難把持ワークの把持可能なこと、制御が容易であること、軽量・コンパクトであること(特にイナーシャ低減のため、実装先 TCP からの重心距離を抑えること)などが挙げられる。これらの市場要求には前腕を含む人間型ハンドに対して相反する事項もあるが、開発している人間型ハンドの機構のシーズを適用することが非常に有効であるとの結果も得ている。</p> <p>このため、実用化・事業化に向けて先ず現状での市場要求に応え、次世代ロボットハンドのデファクトスタンダードとして確立した後、これを機能拡張させた人間型ハンドを上市する方針として取り組んでいる。この取り組みにおける現状での市場要求を満たすロボットハンドの事業化については、協業の引合いを受けている国内 1 社と現在調整中。</p>
<p>【B-3-11】「支援・被支援双方にやさしい汎用人工手の研究開発」</p> <p>(委託先：学校法人慶應義塾、再委託先：マイクロテック・ラボラトリー株式会社)</p> <p>慶應義塾大学では、平成 26 年 12 月、先導的・戦略的研究拠点として、力触覚伝達技術の実用化・展開および持続的な成長を目的とするハプティクス研究センターを立ち上げた。</p> <p>また、本研究センターは成果の普及・標準化を支援する組織として、技術協議会を発足させた。力触覚伝達技術の利用に積極的で、狙いの市場・現場の真のニーズを理解し、開発成果の実証場所・利用場所を保有・提供できる先進的企業に参画を求め、現在までにすでに複数社との間で契約の締結が完了している。事業化に向けてはこれら技術協議会に参画する契約締結企業とともに実用化計画、市場戦略の策定に取り組んでいる。</p>

別紙 1 研究開発成果の概要

A. 次世代人工知能技術分野

研究開発成果の概要
【A-1】平成 27 年度採択①（先導研究→研究開発）
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発
研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発
研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発
【A-1-1】「人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター（AIRC） <拠点>)
【A-1-1-1】「視覚野を中心とした適応的知能を支える神経機構の解明」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)
状況に依存して処理をする柔軟性を備えた人工知能の実現に向けた基盤的知見を提供するため、視覚を中心とした感覚入力の知覚・認知から運動制御・行動実行まで、それぞれの段階における情報処理をその生物学的なメカニズムの検討および人工知能技術との比較を通じて明らかにすることが目的である。これまで、眼球運動制御において、状況に依存して適応的に異なる神経回路を使う戦略を明らかにした。視覚認知において、視覚的ノイズによって攪乱される状況下では、神経細胞集団がより時間をかけて情報処理することを明らかにした。さらに、脳における情報処理メカニズムを解明するために、非線形なシステム同定を高速で行うことができる新規な機械学習法を開発し、システムの非線形パラメータを従来手法である一般化線形モデルに匹敵する精度で、高速に計算することを可能にした。
【A-1-1-2】「大脳皮質の領野間結合の双方向性を模倣した、ロバストな認識を可能とする人工視覚野」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、共同実施先：国立大学法人東京大学)
視覚野の階層的エンコードモデル構築のため、スパイクトリガードアベレージ（STA）に基づく時空間的な受容野構造の抽出法に関する調査研究と実データへの適用を行う。 また、初期視覚野や第二次視覚野等の低次視覚の神経応答特性の再現を目指すことで、次世代の脳型人工知能の設計原理を探索する。 STAについて、世界トップクラスの性能を誇る先行研究（Park and Pillow、2011）を凌駕する新規アルゴリズムを提案し、先行研究に対して、アルゴリズムの安定性に優れ、さらに計算時間は5倍程度高速であることを明らかにし、サル神経生理学データに適用した結果データ量を30分の1にした状況においても、標準的に用いられている従来法を大幅に上回る性能があることが分かった。
【A-1-1-3】「複雑な運動を少ない経験から学習・獲得し、滑らかに動作する脳型人工知能の開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人電気通信大学)
運動制御に関わる大脳皮質運動野階層、大脳基底核、小脳を全てモデル化した、全脳レベルでの学習アーキテクチャを開発し、運動学習制御における全脳の情報処理機構の解明ならびにその工学応用を目標とする。深層畳込ネットワークによる運動の階層型分散表現の獲得、大脳基底核モデルとの連関による運動シーケンス生成ならびにロボット実機を用いたデモンストレーションを行った。達成状況としては、フレームワーク構築は完了しており、今後は、データを大規模化し、より複雑なタスクへと適用するという段階であり、概ね順調に進行している。加えて、小脳の情報処理機構の再検討による超並列強化学習器の開発やモデル全体のスパイクニューロン化も進めている。これにより、省電力ニューロモルフィックチップへの実装も視野に入れている。

【A-1-1-4】「能動型学習技術の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人京都大学)

限られた分量の経験から高精度のパフォーマンスに至る人間の学習効率の高さを備えた人工運動野の実現を目指して、能動型学習技術（学習すべき課題を学習段階に応じて能動的に選択する技術）の研究開発を行う。特に、操作対象が高次元入出力を持つ系である場合を考え、(a) 力学系を多数モジュールへ分割、(b) 課題を少数モジュールにおける予測誤差低減を目標とする多数の単純なサブ課題へ分割、(c) 学習段階に応じて適切なサブ課題を能動的に選択（カリキュラム学習）の3つを研究開発課題とする。

これまでに、能動学習モジュールを用いたリアルタイム動画オブジェクト追跡系を開発し、追跡対象や背景等が激しく変化する困難な設定を集めたベンチマークデータにおいて State of the art を達成した。

また、モジュラー型能動推論のアーキテクチャを提案し、視覚入力に基づく多関節ロボット制御系のシミュレーションにおいて動作確認を行った。(a) 力学系の分割 (b) サブ課題の分割 (c) サブ課題選択の全てについて簡単な事例の順方向シミュレーションを示し、自動化を目指している。

【A-1-1-5】「自然言語理解を核としたデータ・知識融合技術の研究開発」

「自然言語テキスト理解モジュールの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

多様なデータを「意味」によって統合する人工知能技術を開発する。具体的には、自然言語処理における「意味理解」をカギに「意味表現」を中心として、多様・異質なデータをつなげることで、自然言語処理・画像処理を中心に可搬性の高いソフトウェアを開発する。意味表現により、人間に対する説明が可能な、自然言語インターフェースの構築が可能となる。

これまでに、構文的意味を捉えた木構造の変換のための変換規則を自動的に抽出する技術（EMNLP2016）、映像をテキストによる説明に変換する技術（COLING2016）、文間の意味的整合性を認識する技術（EACL2017）、時系列データを、意味表現を通じて言語で説明する技術（ACL2017）を開発した。（ ）内は、いずれも自然言語処理分野でトップの査読付き国際会議である。

【A-1-1-6】「分散表象知識と記号的知識の相互変換技術の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

人間の持つ多くの知識と分散表象の知識の間の対応付けを行い、人間の持つ様々な知識を利用できるようにする技術を開発する。そのために、概念とその関係に関する知識に着目し、「分散表象のモデル化」、「分散表象の構造化」、「オントロジー・マッチング」、の3つの課題を設定し、その解決に取り組んだ。

「分散表象のモデル化」に関して、テキストから得られる分散表象知識を精緻化する手法を構築して、多くの同義語で類似度が向上することを確認した。

「分散表象の構造化」に関して、平面を利用して分散表象知識から関係を抽出する手法を提案し、従来手法に比べて、関係抽出精度が15%程度向上することを確認した。

「オントロジー・マッチング」に関して、機械に与える知識を充実させるため、既存知識の整理を行う手法を提案し、データに含まれない多くの関係知識を発見して機械に与えられることを確認した。

3つの課題を通して、自然言語テキストから生成された分散表象知識を構造的知識に変換することが可能になった。

【A-1-1-7】「スケーラブルな機械学習・確率モデリングの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

提案する機械学習・確率モデリングの手法を②先進中核モジュールとして組み込み、2種類以上の実サービスデータに適用して有効性を検証する。機械学習・確率モデリングをスケーラブルにするための重要課題を抽出し、欠測のある大規模観測データを介入実験データのように利用するための非線形傾向スコアマッチング手法、大規模時系列データの認識・補間をスケーラブルにするための解釈性にフォーカスした次元削減・圧縮手法、ベイズ学習・推論を高速化するためのレプリカ交換マルコフ連鎖モンテカルロ法の並列実行手法を開発した。

今後、モジュール化を進めるための基盤となる手法を確立することができた。現在は手法の改良と大規模データでの評価、アルゴリズムの利用環境構築を進めている。研究開発は予定どおりに進捗している。

【A-1-1-8】「超複雑な機械学習・確率モデリングの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

提案する機械学習・確率モデリングの手法を②先進中核モジュールとして組み込み、2種類以上の実サービスデータに適用して有効性を検証する。深層ニューラルネットワークや深層ベイズモデルに代表される複雑な機械学習モデル・確率モデルを幅広い範囲の実世界データに対して適用可能にするための重要課題を抽出し、少ない学習用データで複雑なモデルを学習するための潜在空間でのデータ拡大法、データに応じてモデルの複雑さを制御するためのノンパラメトリックな情報量推定法、複雑な確率モデルの定義、学習、推論を容易にするための確率プログラミング言語、確率モデリングのためのイベントに基づく時系列データ表現方法を開発した。

今後、モジュール化を進めるための基盤となる手法を確立することができた。現在は手法の改良と実世界データでの評価、アルゴリズムの利用環境構築を進めている。研究開発は予定どおりに進捗している。

【A-1-1-9】「深層表現学習技術の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、共同実施先：国立大学法人東京大学)

最新の生成モデルによる自己符号化器の実装と強化学習との組み合わせに関するアルゴリズムを構築する。簡単なロボットの試作を行い、さまざまな産業分野（例えば、農業、建設、食品加工等）に活用することを目指したプロトタイプを1種類以上構築する。最終的に、1種類以上の産業分野での実フィールドでの実証評価を目標としている。これまで、マルチモーダルな自己符号化器の提案・検証、深層強化学習の実世界への応用等を行ってきた。当初予定していた方向からさらに広がりを持って進んでおり、全体としての達成状況は計画どおりである。

【A-1-1-10】「スパイクニューロン全脳モデルと身体性情報構造化に基づく動的実世界知能の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人東京大学)

ヒト脳のMRI/DTIデータから得られた大脳3次元構造と領野間等結合構造に基づきLIF（漏れ積分・発火）型スパイクニューロンを配置した全脳モデルを構築し、シミュレーション身体及びロボット実機との統合実験環境を構築した。さらに、これらの身体シミュレーション及びロボット実機を用いて、環境中での動作に伴う感覚運動情報を取得し、情報構造の解析を行うと共に、道具使用による身体性情報構造変化の解析を行った。これらの成果と微小回路構造や学習則等の要素機能の検討を統合することにより、マルチモーダル実世界情報の時空間ダイナミクスを素早く柔軟に学習・認識・統合・予測・判断・生成可能な脳型知能モデルを構築している。

【A-1-1-11】「人工大脳皮質の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>

noisy-ORモデルを用いたベイジアンネットに対し、パラメーターの数 n に対し1ステップが $0(n)$ で動作する確率伝搬アルゴリズムを設計・実装した。そのアルゴリズムに、従来から開発を進めている勝率ペナルティと側抑制ペナルティと呼ぶ正則化の機構を組み合わせて、教師なし学習することで、特徴抽出器として動作することをMNIST手書き数字データベースの数字を学習させることで確認した。制限付きベイジアンネットBESOMを並列実装により高速化した。疑似ベイジアンネットと呼ぶ、ベイジアンネットを簡略化し軽量化したのものを使った認知モデルのプロトタイプング手法を開発し、それにより大規模機械学習が持つ局所解・過適合などの困難を回避した認知モデル設計を可能にした。

【A-1-1-12】「BESOMに基づく人工視覚野の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>

2層 noisy-OR モデルを用いたベイジアンネットを用いて自然画像を学習し、ガボールフィルタ状の受容野が獲得されることを確認した。制限付きベイジアンネット BESOM を用いて、前後の文字、前後の単語といったトップダウンの文脈情報を利用することで、ノイズの多い状況でもロバストに文字認識できるネットワークを設計・実装し、英字手書き文字データベースから機械生成した半人工データで有効性を示した。疑似ベイジアンネットを用いて、AND ゲートノードを用いることで、視覚刺激から形と位置の情報を分離できる脳の腹側経路・背側経路モデルの動作原理確認を行った。

【A-1-1-13】「人工言語野の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>

疑似ベイジアンネットを用いてゲート開閉の機構を実装し、その機構を使って組み合わせ範疇文法 (CGG) パーザの実現に必要な 3 つの要素技術の動作原理を確認した。具体的には、(1) 動的計画法により高速動作するチャートパーザ、(2) ゲートノードと呼ぶ新たに導入した条件付確率表モデルによる変数束縛の機構、(3) 神経科学と言語学の知見を参考にして、動作主・被動作主などの深層格ごとにノードを固定した情報表現との相互変換を実現した。これらにより、ベイジアンネットを使った CGG パーザの実現に向けた重要課題に対して解決のめどをつけた。

【A-1-1-14】「次世代人工知能フレームワークの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

次世代人工知能フレームワークについて、OSS を基盤とした試験環境、Github 及び DockerHub を用いたモジュールとアプリのリポジトリを構築した。その上で、Caffe を始めとする複数の深層学習フレームワーク及びビッグデータ処理系を対象として、モジュールインターフェース及び配備・実行機構を設計し、プロトタイプ開発した。プロトタイプは、拠点に導入したクラスタ及び Amazon EC2 上で動作試験を行った。Apache Spark 及び Spark. ml を基盤として、SQL ライクな問合せでビッグデータに対する機械学習処理を可能するミドルウェアを設計、プロトタイプ実装し、予備的な性能評価を実施した。人工知能応用に広く用いられる時空間データの国際標準に準拠した収集・蓄積・管理・利用を可能にするデータプラットフォームのユースケース調査、基本設計、詳細設計、プロトタイプ開発を行った。

Moving Feature Access、Point Cloud 等、データ形式や利用 API の Open Geospatial Consortium (OGC、地理空間情報に関するフォーラム標準化団体) での標準化に貢献した。

【A-1-1-15】「次世代人工知能研究テストベッドの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

拠点におけるプロジェクトの遂行に不可欠な計算インフラの整備を行うとともに、その利用のためのソフトウェアエコシステムの構築を進めた。具体的には、平成 28 年 6 月に GPGPU サーバを 8 台、大容量メモリサーバを 1 台からなるクラスタの利用サービスを開始し、平成 28 年 11 月には最新 GPU を搭載した NVIDIA DGX-1 を 2 台導入し、深層学習のベンチマーク評価等への利用を開始している。

また、平成 28 年 9 月より Amazon EC2、Microsoft Azure の利用サービスを継続的に各種研究開発に利用可能にした。拠点における安全な研究開発環境の支援、産総研 AI クラウド (AAIC) と来年度導入予定の AI 橋渡しクラウド (ABC1) との相互利用、オープンプラットフォーム化を見越して、SINET5 による独自のセキュアネットワーク、アクセスサービスの整備も行った。

この他、人工知能処理向けの大規模テストベッド評価のためのベンチマークの開発を進め、その成果は AI 橋渡しクラウド (ABC1) の調達に活かされた。

【A-1-1-16】「社会的身体性知能の共有・活用のためのクラウドプラットフォーム」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：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)

知能ロボットとの対話だけでなく、対人インタラクション行動の記録・再現のための統合プラットフォーム基盤への発展として、VR アプリケーション開発の世界的標準プラットフォームである Unity と知能ロボットの自律行動開発ミドルウェアである ROS を連動させるプロトタイプシステムを開発した。

対話経験は、クラウド上のデータベースに記録され再利用可能が容易なシステム構成とした。実際に RoboCup 競技会に活用し、人間とロボットの対話を競技会形式で評価することが可能であることを確認した。

【A-1-1-17】「ネットワーク分析と言語処理の融合による大規模文献データからの技術の未来予測プラットフォームの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人東京大学)

大規模論文データの分類と可視化については、sustainability 分野の大規模論文のデータを web of science より取得し、約 230 万件の 2000 万リンクの論文を最新手法である Largevis を適用することにより 2 次元空間上へ可視化し、分類とラベリングを実施し、分野の研究者と結果について討論し有用性を確認した。

大規模論文データの萌芽論文予測については、潜在空間へのネットワーク構造のマッピング技術を用いることで論文のトレンドを検出し、そのトレンドに乗っていると高引用であるという仮説の有用性検証した。そのことにより従来以上の萌芽予測精度を達成できることを確認した。

【A-1-1-18】「観測・データ収集モジュールの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

「生活機能レジリエント社会」を実現する製品やサービスの開発に不可欠な生活現象データベースの作成のための観測・データ収集モジュールを開発する。これまでに、大規模 RGBD データ取得技術を構築し、これらが設置された研究所内リビングラボ（基本検証・基本データ収集）とサテライトリビングラボ（現場検証・実データ取得）環境を構築した。これらを用いて、年齢軸だけではなく、生活機能軸での生活現象を整理するための生活現象データベース（生活機能に紐づいた RGBD 行動ライブラリ）を作成した。

また、AI 技術のターゲット、課題抽出・企画、評価、普及を助けてくれるコデザインコミュニティづくりも進めた。

【A-1-1-19】「一般物体認識クラウドエンジンの構築」

「3次元センシングモジュールの研究開発」

「センサフュージョンによる実世界環境理解モジュールの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人中部大学 中部大学、学校法人梅村学園 中京大学、国立大学法人大阪大学)

あらゆる対象物を認識可能な視覚認識システムを構築するため、特に、物品製造や生活支援を目的したロボットを対象として、商品や日用品などの物品や、屋内における実世界環境を効率よく認識するためのクラウドエンジンを構築する。

データベースの仕様を検討の上、日用品等の物体認識、ハイパースペクトル等の超視覚、センサフュージョンの各データベースを収集し、Deep Learning、3次元特徴、ハイパースペクトル等による物体認識手法を開発した。複数視点画像から物体カテゴリと視点位置を推定する RotAlonNet を開発し、国際コンペ SHREC2017 にて 2 部門で世界一位を獲得した。

3D モデル (279 種類) だけでなく、詳細な機能属性ラベルデータ (49 種類) を収集した。開発した認識手法は既存手法を上回る性能を達成している。

【A-1-1-20】「きめの細かい動作認識の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人千葉工業大学)

家庭やオフィス等、高々10名程度の固定した人間が登場する状況において、数日分の映像記録を基に実用的な質問応答ができるようなシステムを目指している。研究開発は、大量の教師データを使用したディープラーニングに基づいている。現状、動画の中の日常的な基本動作を粗く認識できるところまできており、研究開発で構築したデータセットは外部にも公開できるよう整備を行っている。

【A-1-1-21】「社会レベル行動モデリング・シミュレーションモジュールの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

毎年8月13日に開催される関門海峡花火大会において混雑する群集の流れの計測を行った。特に、2016年に計測した数万人規模の人の流れのデータに対してデータ同化を行い、計測結果とシミュレーション結果を融合することで、計測できていない領域を含めた花火大会会場付近全体の人の流れを推定することができた。この推定によって、混雑がどこで発生しているかを知ることができ、花火大会終了後の混雑を緩和するための有用な知見を得ることができた。

また、過去に行った新国立劇場での避難訓練の計測結果を基にシミュレーションを行うことで、混雑が発生する理由を推定し、安全に避難するための誘導方法に対する有用な知見を得ることができた。先導研究の目標どおり、2種類の現場において群集に対する混雑緩和や避難誘導支援という社会サービスに対する有用性を評価することができ、今後の水平展開への道筋が見えつつある。

【A-1-1-22】「作業動作自動生成システムの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人金沢大学、国立大学法人大阪大学)

ロボットによる組み立て作業を行うための物体操作計画や作業計画を行うと同時に、その計画問題で必要とするデータベースの構築を行う。

また、人の作業における物体操作情報を学習するシステムを開発し、ロボットの作業動作を自動的に生成するシステムを開発する。

組立作業に関する情報をデータベースに蓄積して利用する組み立て作業計画のプロトタイプシステムを構築し、システムの有効性を5種類の部品を持つ玩具の飛行機の組立を例として検証した。最終目標を達成するために必要なプロトタイプシステムの構築が完了した。

【A-1-1-23】「不定形物操作システムの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人信州大学、国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学)

不定形物操作に必要な「知能システム」の構成を策定し、作業目的に合わせた知能システム構築の負担を軽減化する。このために、不定形物の状態認識・作業計画・操作方法獲得のそれぞれについて手法を提案し、知能システムのプロトタイプを示すことを目標とする。

主に4項目の研究開発を進め、提案手法の有効性を実機実験によって検証した。

- (1) 不定形物の操作に必要な情報をセンサデータから抽出する手法
- (2) 初期形状と目標形状から操作手順を出力する計画器のプロトタイプの構築
- (3) 不定形物の形状予測モデルの学習手法
- (4) 不定形物操作において、環境変化にロバストな動作プリミティブの抽出手法

モジュール化可能な要素技術の洗い出しと実機実験による手法検証、さらには、開発の効率化のためのシミュレーション環境の整備まで達成できた。

【A-1-1-24】「人間行動モデリングタスク」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

AI 技術により、健康・介護・サービス分野の生産性や安全・安心を向上するために、人間行動を予測・推定できる確率モデリングモジュールを開発し、実応用場面でのユースケースを探るために、技術移転を行い、ビッグデータに適用し、効果評価を行った。介護現場での知識収集・共有モジュールについては、3 箇所の介護現場および 1 箇所の教育現場で実運用した。介護動作や運動動作の計測（行動計測）モジュールを開発し、体幹力や股関節の動きを加速度センサ等で可視化するアプリ AxisVisualizer を改良して公開し、介護現場で効果評価を行った。従業員主体で知識（行動モデル）を構造化することを支援する知識発現技術として、オントロジーベースの行動モデルを介護、教育、健康増進現場において構築し、既存のマニュアルの高度化、教育内容の明確化の効果を確認した。屋内公共空間における生活者行動理解モジュールについて、2 箇所以上の実環境におけるシステムの動作を検証した。最終年度に向けて、次世代 AI 技術の効果評価、改良を可能にするフレームとして共有タスクの整理・検討を進めた。

【A-1-1-25】「対人インタラクションタスク」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人玉川学園 玉川大学)

対人インタラクション場面で必須となる、人の心の状態（本研究では関心）を、観察を通じて推定する技術の開発と開発した技術を子どもの保育場面に適用し、保育への情報サービスの社会実装の検討を行う。

幼稚園において子ども活動の観察システムを構築し、子どもの集団及び個人の関心をアノテーションすると同時に、画像から子どもの行動特徴を抽出する技術開発を行った。

また、保育研究者と協議して、子どもの行動データを保育研究に活かす方式についての見通しを得た。子どもの行動の 3 次元計測の見通しを得た。

【A-1-1-26】「地理空間情報画像解析」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

比較的少数の教師データを入力するだけで、膨大な衛星画像／航空写真アーカイブから自動的にユーザーが関心を持つ地物・変化を抽出するシステムを構築した。具体事例として、熱源の火災・火山・人工物への自動分類システムを 2017 年 9 月に公開する予定である。この構築過程で、100TB 以上の中分解能衛星画像及び津波流出家屋検出を目的とした画像データセットを整備し、一般向けに公開した。ゴルフ場、メガソーラーについても同様のデータセットを整備完了し、現在公開準備中である。

また、従来人間が設計した画像特徴量と深層学習によるデータドリブンな特徴量の比較を行い、それぞれの利点・欠点を評価した。

【A-1-1-27】「セマンティック情報に基づく自動運転システムにおける人工知能技術の性能評価・保証に関する研究」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

LIDAR、IMU、GNSS センサを搭載した実験用の車両を整備し、搭載した LIDAR センサによる、走行中のリアルタイム自己位置姿勢推定機能及び移動体検出機能の各モジュールを実装して 3 次元地図上で移動体情報を収集する機能を実現した。

ドライバ個人適合では、機械学習 AI による個人適合型自動運転システムのプロトタイプ構築想定シナリオ条件下において、構築した自動運転システムを利用し、個人適合の学習を一定時間行った後に、操舵のオーバーライドの違和感が半分以下という目標に対し、実験車両の改造を行うと共に、30 名を被験者として、個人運転特性の学習により、個人それぞれに適合させた自動運転制御を体験してもらった評価実験を行い、その有効性を確認した。アンケート評価においては、一部想定と異なる結果が得られたこともあり、目標の 80% を達成した。

【A-1-1-28】「データ駆動型人工知能と論理知識型人工知能の融合による解釈可能な自動運転システムに関する研究」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人九州工業大学)

データ駆動型と論理知識型人工知能の融合により、自動運転における人工知能技術の有効性や信頼性を定量的に評価し、性能を保証するための方法、そのために必要となる標準的問題設定や標準的指標等の満たすべき性質と構築の方法を確立した。

データ駆動型では、ヒヤリ・ハット分析識別器の基盤となるCSOMの開発、論理知識型では、状況分析を「場所 α 」、「行為 β 」、「対他 γ 」情報に分離し、それらの関係性から「判断 κ 」を推論するオントロジー推論システムを構築し、シミュレーションで予備検証されたOWLファイルは、ROSモジュールにシームレスに読み込ませ、速やかな実車実験を可能する基盤を構築した。

概ね順調だが、推論の妥当性となるリスク(ξ)算出は、データと論理から導出する方法論を設計したが、テキストマイニング法、クラスタリング結果との接合が未完である。動画に基づく事故DBへのアノテーションや走行中計測センサの深層学習処理を進めている。

【A-1-1-29】「産業用ロボットタスク」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

多品種物体の操作を容易に教示できるロボットシステム実現に向けた物体操作技術を開発する。汎用物理シミュレータでは不可能な物体の配置状態を再現するための高度オフラインシミュレータと複数センサのマルチモーダルな情報を活用する機械学習フレームワークを構築し、システム構築時・実運用時の両方において、センス・プラン・アクションの自律的な性能向上を実現する。現在までに、高度オフラインシミュレータを構築し、これに基づいて機械学習フレームワークを構築した。構築した機械学習フレームワークを実機で検証した。

【A-1-1-30】「動作の模倣学習手法の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

料理等の日常生活で扱うことが不可欠な不定形物体のマニピュレーションを目的として、深層学習モデルによるProgramming by demonstration(模倣学習)、End-to-End学習の手法を軸とした新しいロボット制御法を構築する。タオルを作業対象として、その折りたたみの学習、さらに未学習タオル、未学習の本の折りたたみを、認識から実行まで10秒程度で行えることを実デモンストレーションによって示した。

全体の枠組みの提案はほぼ終了しており、具体的なハードウェアの選定と実験を進めて行く予定である。

【A-1-1-31】「酵素反応データベースに向けた文献キュレーション支援技術の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

(1) ヒトのGPCRを起点としたシグナル伝達パスウェイの全貌解明を目的とし、細胞下流の生命現象を検索予測して制御の指針を与えるDBを構築することを目標としている。具体的には、ヒトGPCR遺伝子毎にシグナル伝達パスウェイ情報を文献から抽出する。様々な文献でデータの名称等の表記の揺れを調査し、名寄せした辞書(オントロジーテーブル)を作成する。オントロジーテーブルを基にして、文献から自動的に必要な情報を抽出するテキストマイニングシステムプロトタイプの性能の評価、改良を繰り返しながらシステムを完成させる。このシステムを利用して、収集可能な文献(数万報程度)全てからパスウェイ情報を抽出し、データの厳密なキュレーションを通じてパスウェイDBを完成する。現時点では、約700本の論文から、2500本程度のパスウェイデータを収集し、オントロジーテーブル作成とデータスキーマ構築を行っておりこれらは概ね計画通りに進行している。

(2) 平成28年度に行った加水分解反応、転移反応等の文献要旨に対するキュレーションに、さらに、次の追加を行った。①エンティティ間の関係性の定義、②イベントの再定義：反応イベント以外に、相互作用イベント、構造変化イベントなども定義する、③完成したキュレーション・データを(3)の試験に適用、④ガイドラインの概要を一部作成した。

(3) 深層学習を用いた文献からのイベント構造抽出システムの開発に向けた要素技術を研究開発の目標とした。要素技術には、文献中に現れる重複したエンティティを抽出する技術と複数の2項間関係からの多項関係の発見の2つを大きな要素技術とした。前者の重複したエンティティの抽出については、まず、重複のないエンティティを抽出する従来の深層学習手法について、再現実験と評価を行い、再現ができていないことを示した。次に、重複したエンティティを抽出するための手法を2つ考案し、実装と試験的な評価を行い、深層学習を用いない従来手法よりも高い精度を達成

できるという初期結果を得た。後者の2項間関係からの多項関係の発見については、重複したエンティティ上での2項間関係の発見と多項関係の発見の2つに分割し、それぞれの手法について考案し、実装を進めている。研究開発全体としては、当初の計画どおり、2つの技術の要素技術開発を始め、精度も出始めており、予定どおりの進捗となっている。

【A-1-1-32】「事故情報テキスト解析・事故予防技術の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>

産業事故のヒヤリ・ハットのテキストデータに対して、出来事の進展の代表的パターンを統計的に抽出する方法を開発する。隣接している2つの文に注目して、その範囲内にて共起する単語の組み合わせを数え上げることにより、ある単語が出てきたシーンの後に、どの単語が出現しやすいかが推定できるようになり、この処理を積み上げることでストーリー全体の進展を把握できることを確認した。さらに、事故の進展分析によって抽出される、事故の進展過程の中の各段階(シーン)のクラスタを記述するために用いられている名詞と動詞を観察することによって、そのシーンを成り立たせる概念を抽出してオントロジーが近似的に構築できることを確認した。

研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発

【A-1-2】「計算神経科学に基づく脳データ駆動型人工知能の研究開発」

(委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所)

<人工視覚野>

双方向深層ネットワークのアーキテクチャと学習法の設計を行い、神経科学的な妥当性評価と共に、画像予測等を対象に応用性の評価を行う。一般物体デコーディングを実装し、汎化性能の定量評価を行うと共に、脳-人工知能ハイブリッド型の新しいインターフェースの試作へと展開する。

双方向深層ネットワークにおける双方向深層学習の基本設計を行い、自然画像データベースを用いた簡易学習を実施した。非線形性を導入することで表現力を高めた。一般物体デコーディングにおいて、大規模画像データベースを用いることで、学習に使用していないカテゴリを含む物体情報の解釈に成功した。

<人工運動野>

順および逆強化学習の高度化を進め、ゲームおよびロボット等のテストベッドを用いて定量評価する。ロボットの長時間制御を可能とする階層モジュール型制御法を開発し、実環境での動作性能を評価する。

非単調増加型活性化関数を用いた深層強化学習法は、既存の手法に対する優位性を示した。分類問題を目的関数とした深層逆強化学習法は、ゲームの模倣学習において従来法よりも優れた性能を示した。階層型の逐次強化学習アルゴリズムはシミュレーションの評価を終え、現在、ロボットの長時間制御のためのリアルタイム学習用ソフトウェアシステムを開発中である。多自由度ロボットのアジリティを見据えた研究は独創性が高い。

【A-2】平成27年度採択② (RFIを踏まえた調査研究→先導研究→研究開発)

研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発

【A-2-1】「メニューコアを活用するデータフロー型プログラミング言語の開発」

(委託先：株式会社トプシステムズ、再委託先：株式会社Cool Soft)

メニューコアを活用することで、スケーラブルで性能の高い人工知能ソフトウェアを効率よく開発し、保守、拡張が容易に行えるようにするための次世代人工知能プログラミング言語を開発する。

調査研究において、プログラミング・モデルと言語仕様を策定した『DeepPN』について、「セマンティック Web」、「機械学習」、「音声言語処理」の3つのドメインへの言語仕様拡張により、モデル作成の容易化、実行・デバッグの容易化、ソフトウェア実装の並列化と最適化による高速化等、各ドメイン特有の課題解決に向けて、ドメイン言語実装の検討を進めた。

データフロー型のプログラミング・モデル：システムの動作を明確かつ階層的に表現する『DeepPN』プログラミング・モデルを策定した。

また、データフロー型のプログラミング言語仕様として、(1) ターゲットプロセッサ非依存の抽象度の高いプログラミングと(2) ツールによるターゲットプロセッサへの最適化が容易で、(3) 並列性を表現しやすく、メニューコア(SMYLEdeep)の性能をフルに活用可能なプログラミング言語仕様『DeepPN』を策定した。

【A-2-2】「多様な時系列情報に対する深層学習基盤の開発」

(委託先：株式会社 Preferred Networks) <調査研究にて終了>

様々な感覚器相当の機能を備えたロボットの試作機の作製及びネットワークを介してそれらを蓄積する仕組み、そして、蓄積されたデータに対して深層学習技術を適用し、言語による対話を中心としたコミュニケーション機能を実現する。学習されたモデルは再度ロボットに配信することで、フィードバックをかける。「知覚」、「蓄積」、「学習」、「反映」のフェーズに分けて定義し、各フェーズでは、まず調査研究を行い、その結果を踏まえて要素技術検証とマルチモーダルコミュニケーションの実現に向けたプロトタイプ開発を実施した。

【A-2-3】「柔軟ロボットによる身体環境相互作用に基づく道具使用」

(委託先：国立大学法人東京大学) <調査研究にて終了>

身近な物体を道具として活用してタスクを遂行する柔軟ロボットの実現を目指し、物体への働きかけによる物体特性の抽出とそれに基づく運動生成に取り組む。そのために、調査研究として物体への働きかけからの物体特性抽出に着目し、身体—道具間のダイナミクスの解析、ダイナミクスを活かした道具特性知覚法、柔軟要素を備えたロボットのプロトタイプ開発を行った。各要素について複数側面からの検討を行い、調査研究の目標である物体への働きかけによる物体特性とさらにそれをを用いた運動生成についての基礎的な検討まで達成した。

【A-3】平成 28 年度採択（先導研究→研究開発）

研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発

【A-3-1】「超低消費電力深層学習プロセッサおよびソフトウェア層の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人理化学研究所、株式会社 Preferred Networks)

2020 年時点で確実に利用可能と思われる 10nm の半導体製造プロセスを使った場合に、3-7Tops/W の電力あたり性能最大 100Tops 程度までのシステムを低消費電力で実現できるスケーラブルなプロセッサアーキテクチャ推論だけでなく、学習にも対応できる柔軟性を持つプロセッサの論理設計及び利用可能なプロセスでの物理設計、試作、小規模なシステムの FPGA による実現と実用アプリケーションによる性能評価を行う。

実際の設計・試作を、40nm プロセスをターゲットに進めている。電力性能は 40nm にスケールダウンした時に目標値を実現できる見込み。

【A-3-2】「人工知能と実験自動化ロボットを統合した次世代創薬プラットフォームの開発」

(委託先：株式会社 MOLCURE、再委託先：国立大学法人東京工業大学、国立大学法人東京大学、学校法人慶応義塾、国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所)

(1) 生物材料を用いた実験データの大量取得においては、Phage Display に由来するサンプルの NGS ライブラリ作成・mRNAd ディスプレイライブラリ開発・大量の NGS データの取得を目的としている。現時点までの成果として、バクテリオファージからの直接 DNA サンプル取得、42aa 配列長をもった mRNA ライブラリの作成、20 サンプルの NGS の取得を達成している。

(2) 人工知能による抗体の特性予測と特徴量抽出では、Eigen Kernel、Antibody Search の 2 つのソフトウェアの完成を目的としている。現時点までの成果として両ソフトウェアのフレームワークが完成し、抗体配列を用いた人工知能による学習・予測の動作を達成している。

(3) 学習生物材料を用いた実験の自動化においては、生体材料を用いた実験プロセスの 60%程度を自動化することを目的としており、現時点で 30%程度の自動化を達成している。

【A-4】平成 29 年度採択（先導研究） ※研究開発内容の概要を示す。

研究開発項目⑦ 次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発

【A-4-1】「人工知能と超音波 3D 画像による筋肉・腱・軟骨等の健康状態測定装置の研究開発」

（委託先：株式会社 U. N. デカルト、再委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）

現在、そして、今後さらに拡大する高齢化社会では、高齢者の運動器官の一部が弱くなって体のバランスが崩れ、QOL (Quality of life) が著しく低下する等の問題が懸念される中、健康増進のために、運動への関心が高まっている。このような背景から、筋肉・腱・軟骨等の運動器官の健康状態を把握して計画的に運動を行える健康状態の指標を構築することは重要な課題である。本研究開発は、疾病予防、健康づくりに向けた行動変容を促し、健康状態の指標を構築するために、「人工知能と超音波 3D 画像による筋肉・腱・軟骨等の健康状態の測定装置の研究開発」を推進するものである。運動器官を観察するため、非侵襲、被爆のない安全かつ、繰り返し測定に使用できる超音波 3D 測定装置を研究開発し、この装置から取得される超音波画像データ及びそれらの臨床学的見解をタグ付け（アノテーション）し、人工知能（AI）で解析することにより、「学習済みモデル」を完成させ、AI を実装した超音波 3D 健康状態測定装置の実用化を目指す。

【A-4-2】「熟練スキルを搭載した知能ロボットの研究開発」

（委託先：国立大学法人東京大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社アールテック）

形状や硬さ等の特性のばらつきが大きく、柔らかい対象物のロボットによるハンドリングに、その作業を行う人間の熟練者に特徴的な動作や判断（＝熟練スキル）を学んだ AI を応用することで、「熟練スキルを搭載した知能ロボット」を実現するための基盤となる技術について先導的に研究開発する。

その技術の適用先として病理診断医が行う病理検体の切り出し作業に着目し、「病理検体の切り出し作業支援ロボット」を開発する。手術で摘出された病理検体を数ミリ大の切片に切り出す作業を行う双腕マスタースレーブロボットの最適な切り出し動作を生成制御するためのスキル動作 AI と熟練病理診断医のスキルを抽出してスコア化する熟練スキル AI を開発する。他の用途、例えば、産業ロボットにおけるスキルアシスト、スキルラーニング等、高齢化、人口減少、後継者不足による熟練スキルの継承や自動化といった課題への展開が可能な汎用性、柔軟性を有する技術であることが特徴の一つである。

【A-4-3】「人・機械協働性生産のための人工知能を活用した作業モデル構築に関する研究開発」

（委託先：三菱電機株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所）

「人」が主役となるものづくりにおける共通かつ基盤的な技術として、高精度な作業モデルの構築とそれを用いたシミュレート技術、さらに、実世界のデータも同時に収集、見える化するためのオープンプラットフォーム技術の開発を行う。従来、機械側の状態を監視、シミュレートする研究開発は行われているが、作業員については考慮されていないか、ごく簡略化して扱われている。このため、本研究開発では、個人差も考慮した詳細な作業モデルの実現とそれを利用した生産革新の仕組みづくりを目指す。その際、作業員に対しては、筋骨格モデルまで含んだ人モデルと作業員の三次元的な動きを簡易な IoT デバイス（センサ）で計測し、それに基づく人モデルをサイバー空間上に作業員モデルとして構築し、作業員の生産現場での作業性のシミュレーション評価につなげる。

また、この中で、人工知能（AI）技術を用いることで、センサの省リソース化を図った適応技術によるエコシステム化を狙う。さらに、この仕組みを生産管理におけるオープンプラットフォーム上に構築することで、分散生産システムへの展開が図られ、日本のものづくりとしての強みを活かした生産システムとなることが期待できる。

【A-4-4】「オントロジー推論のリアルタイム処理を実現する組み込み技術の実現と安全・安心分野への応用」

（委託先：一般社団法人組込みシステム技術協会、再委託先：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、国立大学法人九州工業大学、株式会社アトリエ、キャッツ株式会社）

データ知識融合型 AI であるオントロジーを用いたストリーム推論は説明責任を果たせる AI である（AIRC 成果）。しかしながら、本方式は推論機構の核であるオントロジー変換の負荷が高く、処理時間がかかるという欠点を持っていた。本研究開発では、オントロジー変換機構を事前に決定表に置き換えることにより、ストリーム型の高速推論を実現することを目標とする。推論の性能は決定表を構成するオントロジータイプに依存すると考えられ、多様なオントロジーを評価し実用性を高める。

【A-4-5】「物流サービスの労働環境改善と付加価値向上のためのサービス工学×AI に関する研究開発」

(委託先：国立大学法人筑波大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学 人工物工学研究センター)

人工知能の研究開発に向けて、VR 技術を用いた模擬環境と共同実施先の物流現場からの良質な現場データの取得を目的として、人工知能と融合させるサービス工学技術についての研究開発を実施する。これにより、人工知能適用分野を情報サービスから物理的なサービスに拡張し、就労人口減少が懸念されていることが重要な社会課題となっている物流サービスの現場において、労働環境改善を通じた生産性の向上といった課題解決への貢献及び我が国の産業が欧米等とのグローバル競争に伍していくことのできる技術の育成を目指す。特に、人工知能を活用する上で重要な教師データとなる「ディープデータ」の効率的な整備が技術課題となる。

また、既存センシング技術による物流現場プロセスの「ビッグデータ」、新たに整備する「ディープデータ」、AIRCの成果の一つである ABCI 等の「AI クラウド」の高度な統合による、物流サービス現場の改善案や新サービスの設計を支援する技術の実現も重要な技術課題となる。

【A-4-6】「次世代製造バリューチェーン構築へ向けた人工知能の研究開発」

(委託先：日本電気株式会社)

製造バリューチェーン構築の自動化・効率化社会を実現するため、複数会社間での受発注条件の自動交渉・合意・契約を可能とする新 AI 技術（受注側の工場等に必要）の研究開発を行う。

また、仮想的な複数の工場を想定した効用・摂動解析 AI とオペ最適化・コスト／納期予測 AI の研究開発、自動交渉によるバリューチェーン構築のシミュレーションベースでの検証を行う。

さらに、全体アーキテクチャ（対象とするユースケースの詳細定義、スマート工場の各種システムに散在する必要データの整理・マッピング・体系的収集系統の設計、上記 AI 群との統合）の設計を行う。

【A-4-7】「高齢者の日常的リスクを低減する AI 駆動アビエントセンサ・アクチュエータシステムの研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学、セイコーインスツル株式会社)

視覚能力を補助するカメラ付き眼鏡、身体情報・周囲環境センシング能力を補助するセンサ、運動能力・皮膚感覚を補助するアクチュエータを AI による学習成果を実装した腕時計型アンビエントなエッジデバイスにより統合・制御するシステムを開発し、誤嚥、転倒、熱中症のリスク低減を目指す。研究開発のポイントは以下のとおりである。

- ・画像、センサデータを同時に深層学習可能な新規アルゴリズムを開発することで、多角的に危険度を定義する。
- ・眼鏡、時計等、日常的に装着する道具にカメラ、センサ、AI 実装マイコンを集約することでアンビエント化を達成する。
- ・アクチュエータの高速化、高発生力、軽量化による歩行サポートの実現と皮膚刺激デバイスによる直感的警告の提示を行う。

【A-4-8】「ロボットをプローブとした高齢者の生活機能の計測・分析・介入技術の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、パナソニック株式会社、キング通信工業株式会社、再委託先：国立大学法人筑波大学)

これまでに開発されたロボット介護機器（移動支援、移乗支援、見守り支援等）をベースに、生活データのセンシング機能・通信機能を組み込んだ IoT ロボット介護機器を開発し、ロボットの利用と同時に生活データをオンラインで計測・蓄積するための技術を開発する (①)。次に、開発された IoT ロボット介護機器及びそれ以外にも利用可能な介護支援、生活支援に資するロボット、機器を利用しながら、高齢者の日常生活に関するデータの収集・蓄積を行う (②)。マクロな視点からロボット（福祉用具を含む）を活用した生活状況を分析するため、全国規模のビッグデータである介護保険レセプトデータを補完的に活用する。次に、これらにより得られた生活データをデータベース化し、AI（人工知能）技術を用いて、ロボット介護機器等の介入効果の分析、評価等を行い、高齢者の生活のモデル化や介入効果のモデル化を行う (③)。最後に、構築されたモデルに基づいて、高齢者の QoL 向上（健康の維持、自立した生活の維持、介護負担の軽減等）につながる適切なロボット導入方法を提案する手法を開発し、柏地域を中心とした介護施設や介護サービス事業者等と連携し、実証・評価を行う (④)。

【A-4-9】「空間移動時の AI 融合高精度物体認識システムの研究開発」

(委託先：国立大学法人東京大学、オリンパス株式会社、国立大学法人電気通信大学、株式会社デンソー、国立研究開発法人産業技術総合研究所、一般財団法人マイクロマシンセンター)

「空間の移動」時の様々な外乱のある実環境において、どこに何があるかの認識精度を高めるべく、多波長画像情報とカメラ姿勢情報を入力とする AI 融合高精度物体認識システムの研究開発を行い、グローバル研究拠点における自律移動ロボットへの物体認識人工知能の実証実験の準備を完了する。

可視光と同じ視点から撮影した赤外光（距離情報を含む）の画像情報とカメラの姿勢情報とを AI で融合することにより、物体認識性能の向上について検証することを目標とする。

また、ロボットに搭載可能で画像情報と姿勢情報の質を飛躍的に高める革新センサとして、プラズモニックワイドバンドイメージャ（可視から赤外までの多波長画像を同一光軸で認識可能）と高精度分子慣性ジャイロ（カンチレバ一型力センサを検出素子として利用し回転力を高感度に検出可能）の実現可能性の検証を目標に研究開発を実施する。革新センサの情報を AI で融合することで、高精度で正確・堅牢・高速な認識システムの実現可能性を検証する。

【A-4-10】「健康増進行動を誘発させる実社会理込型 AI による行動インタラクション技術の研究開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、美津濃株式会社、国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター、国立大学法人東京大学 人工物工学研究センター、株式会社竹中工務店)

健康な高齢者もしくは中高年を対象に、これまでの調査研究で得られた心理行動セグメントのうち、仲間と楽しい共体験が得られることならば活動する、社会で役割を得て認知されるような活動ならばする、家族との楽しい共体験が得られることならば活動する、という3つの心理行動セグメントにターゲットを絞り、それらの性向と心理属性を理解した上で、行動を容容させるための行動インタラクション技術と健康モニタリング技術を連携させることで、「健康以外の動機づけによる個人の身体活動の持続」と「結果としての個人の健康増進」を両立させるシステムを開発する。さらに、それらのシステムを、柏市等の地域で実証し、上記3つのセグメントに相当する参加者に健康増進行動が誘発されるか、持続的に定着するかを検証を行う。最終的に参加者の10%に持続的な健康増進行動を起こさせることを本研究開発の目標と設定する。

【A-4-11】「AI×ロボットによる高品質細胞培養の自動化とオミックスデータの大規模取得」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、Axcelead Drug Discovery Partners 株式会社、再委託先：国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人東京大学)

人工知能によって細胞培養の最適条件を自律的に探索可能にする AI 自律型細胞培養プラットフォームを構築する。AI による判断により、バイオ実験における観測・試行のプロセスを自律的に繰り返す。「観測」においては、培養細胞の光学顕微鏡によるイメージングデータとオミックスデータを集積する。ロボットによって試料調整されたイメージングデータとオミックスデータは、これまでにないほど高品質なものであることが期待でき、将来、本格的な研究開発において、培養段階の細胞内のダイナミクスを分子レベルで解明するための貴重な基盤データとなることが期待できる。「試行」については、先のイメージングデータとオミックスデータを利用した培養条件最適化技術を開発する。AI による認知とロボットによる自動化によって、人間が極力介在しない自律的なバイオ実験プラットフォームを構築しようというところに新規性がある。

【A-4-12】「AI 活用による安全性向上を目指したスマートモビリティ技術の開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

高齢者個人移動支援用のモビリティとして電動車いすがあるが、自動車と同様、操縦ミスによる事故が近年数多く報告されており、下り段差・溝等の走行環境の複雑さ、多数の歩行者共存環境での走行等、自動車とは異なる走行環境に対応した安全技術として、単なる外界センサ情報処理技術では認識が困難なハザードに対応可能な安全技術が求められる。本研究開発では、大量の外界センサデータ（画像、レンジデータ等）、実環境における多数の歩行者に対する大量の回避行動を AI が学習することで、現在のセンサ情報処理技術では認識困難な危険事象を安価なカメラのみで認識・回避する技術を開発する。さらに、これらのデータセットに必要な高精度位置認識を支える技術として、安価なマーカーによる高精度測位技術を開発し、これらの開発した技術については、実際の都市空間において公道走行実証実験を行うことで実用可能性を検証する。

【A-4-13】「人工知能技術を用いた植物フェノミクスとその応用に関する先導研究」

(委託先：特定非営利活動法人植物工場研究会、国立研究開発法人産業技術総合研究所、鹿島建設株式会社、国立大学法人千葉大学)

人工知能技術を用い、環境制御が可能な植物工場をベースに植物フェノミクス研究基盤を確立することを目標とする。(1)人工知能技術を用いた植物フェノミクスの研究開発：①植物フェノミクスセンシング基盤技術の研究開発、②人工知能を用いた植物フェノミクス解析技術の研究開発、(2)植物フェノミクスを応用した栽培システムの研究開発：①栽培モジュールに関する研究開発、②人工知能を用いた栽培制御に関する研究開発を行う。人工知能を用いた植物フェノミクス研究開発を通じて、生育状態を精密に把握し、栽培環境を制御することで、高付加価値植物の高効率生産に資する技術を確立する。

また、将来的には、本格的な研究開発において、品種開発の高速化、付加価値と生産効率が高い開発品種の競争力強化、人工知能による高効率生産技術の確立、人工知能を活用した生産～消費チェーンの最適制御による効率化等を目指す。

【A-4-14】「コンビニ等の店舗内作業を対象とした AI×ロボティクスによる高度マテリアルハンドリング・システムの研究開発」

(委託先：株式会社豊田自動織機、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学)

人工知能を自律移動とマニピュレーションの両者に適用・統合し、それらを実装したロボットにより、多種多様な物品を扱うことのできる高度なマテハン・システムの研究開発を行う。コンビニエンスストアという自動化難易度の高い環境を想定することで、店舗内作業以外の物流分野や介護・福祉等の物流以外の作業分野にも展開可能な開発成果を得ることが期待できる。さらに市場ニーズ調査と有望アプリケーションの検討を行って実用化エリアの優先順位を見極める。

【A-4-15】「イノベーション・リビングラボの先導研究」

(委託先：学校法人東京電機大学)

教育方法としてのアクティブラーニング（能動的学習）が注目される中で、その一環として学習者がグループを作り、その中でグループディスカッションや共同作業を行うことが必要とされている。その一方、情報技術による学習支援としては、多くの場合一斉授業やその逆に個人学習の形にフォーカスしたものが大半であり、グループによる活動を積極的に支援するものが少ない。本研究開発においては、学習者それぞれにセンサを取り付け、学習中の身体の動きや生体情報、学習者間の相互作用等を取り込み、それに合わせた学習支援を可能とするイノベーション・リビングラボを創造する。これにはセンサ技術の他、センサから得られる大量のデータを基に学習状況を把握し、指導者に伝える人工知能システムの構築が必要である。これらのセンサシステム、人工知能技術ならびに学習者の相互作用モデルやパフォーマンス評価指標の構築を達成目標とする。

【A-5】平成 29 年度採択（調査研究）＜AI コンテスト方式＞ ※研究開発内容の概要を示す。

研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発

研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発

研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発

【A-5-1】「多様話者・多言語に対応可能な“End-to-End 音声認識 AI”の実用化」

(委託先：Hmcomm 株式会社) <最優秀賞>

現在の音声認識システムが抱える多くの問題を解決すべく、End-to-End システムの手法を実用化することで、社会課題の解決への道筋をつけるテクノロジーを確立することを目指す。現在の音声認識技術における導入障壁は、複雑なモジュールから構成され、導入前後において開発者・運用担当者の多大な労力、経験が要求されることにある。本手法は、これまで複数のモジュールで構成されていた音声認識システムを一つの DNN で構築し、音声から直接認識結果を出力する技術である。本手法の強みとして、上記の弊害を一挙に解決することができる。

【A-5-2】「人工知能による診療科推論等の調査研究」

(委託先：AR アドバンステクノロジー株式会社、株式会社島津製作所) <優秀賞・審査員特別賞>

AI が外来患者の問診情報（タッチパネル方式の外来受付機で入力したもの）を対話的に取得し、そこから推測される適切な診療科への誘導を行うことで、待ち時間の短縮による患者負担軽減、外来回転数の向上及び医療事務の効率化による病院の黒字化達成を実現させるだけでなく、国民医療費の削減も実現可能なクラウド AI システムを研究開発する。今後、筐体での入力だけではなく、タブレット等にも対応し、地域連携システムの一部としても活用を検討する。従来、病名を人工知能に予測させる研究開発は行われているが、今回、研究開発を行う診療科を予測するシステムに関しては公的に行われている研究開発はなく、高い新規性が認められる。

【A-5-3】「スマホで育てる日本発個人向け人工知能」

(委託先：SOINN 株式会社) <優秀賞・審査員特別賞>

現代社会において最も個人の情報を集約しうるデバイスであるスマホ上で、特許技術「人工脳 SOINN（ソイン）」を育て、活用することにより、プライバシーを守りながら個人に最適化されたサービスを提供することを目標とする。この取組により、現状高コストな技術である人工知能を誰もが安心安全に享受できる社会を目指す。本調査研究では、スマホ単体で完結する機械学習ライブラリの作成ならびに同ライブラリを用いた実証実験を行う。

【A-5-4】「深層学習を利用した対話型インターフェースによる非構造化データ検索の調査研究」

(委託先：株式会社 BEDORE) <優秀賞・審査員特別賞>

現代の知的労働者は、労働時間の多くを情報の検索に費やしている。原因の1つに多くの社内検索システムのアルゴリズムがウェブ検索等と比べて最適化されていない点が挙げられる。本調査研究では、深層学習を応用した対話的な検索システムを構築し、知的労働者の生産性の向上を目標とする。

また、質問応答アルゴリズムを導入し、事前に人手で知識を整備しなくても簡単な質問にはシステムが直接ドキュメントを解析して回答を返すことで、既存の人工知能搭載製品等に比べて少ない知識整備のコストで効率よく検索を実現することを目指す。

【A-5-5】「五感 AI カメラの開発」

(委託先：アースアイズ株式会社) <審査員特別賞>

ヒトの五感に代わるセンサと人工知能による解析を組み合わせ、画像解析、音素解析、音源探知、嗅覚センサ等で事故・事件の予防抑止に役立つシステムを構築する。

まずは、小売業の万引き対策を含めた店舗の AI 化を目指す。本調査研究では、今まで実現できなかった 3 次元で集積される膨大なデータから不審行動のみを抽出し、効率の良くデータ処理が可能となるよう研究開発を進める。

【A-5-6】「契約書関連業務における抜本的バックオフィス改革人工知能の調査研究」

(委託先：株式会社シナモン) <審査員特別賞>

契約書は、否定形かつ非構造的な文書であり、適切な論点と正確に抽出するという技術は実用化まで至っていない。本調査研究では、ディープラーニングを活用した、(1) 文章分類技術、(2) 論点把握技術を組み合わせ、契約書を人工知能エンジンにアップロードするだけで重要論点の整理と抽出を行う機能を実現する。

B. 革新的ロボット要素技術分野

研究開発成果の概要
【B-1】平成27年度採択①（先導研究→研究開発）
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）
【B-1-1】「人検知ロボットのための嗅覚受容体を用いた匂いセンサの開発」 (委託先：国立大学法人東京大学、住友化学株式会社、地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所)
飽和蒸気圧下の人の汗の匂い分子（1-octen-3-ol）の安定的な検出を実現することを大目標とし、「デバイス内に形成した脂質二重膜に嗅覚受容体を再構成し、1-octen-3-ol に応答する系の構築」、「遺伝子改変による嗅覚受容体の高感度化と特異性の確認」、「空気中の匂い分子を直接検知する機構の立ち上げ」の3点の成果を挙げることができた。以上3点の小目標が十分に達成され、センサのチップ化・無線化に成功したことで、移動ロボットへのセンサ搭載試験に着手できた。これにより、先導研究期間の当初の目標以上に研究開発が進展している。
【B-1-2】「次世代ロボットのためのマルチセンサ実装プラットフォーム」 (委託先：国立大学法人東北大学、共同実施先：学校法人名城大学)
マルチセンサ実装プラットフォームの研究開発を行い、その成果を基に事業化を達成することを目的としており、以下の4項目を目標としている。 (1) 複数種のセンサに対応可能なバス型センサ実装プラットフォームの実証 (2) ヒーターと温度センサを組み合わせたアクティブ・センシングシステムの研究開発 (3) インターフェース LSI とネットワークシステムの開発 (4) プラットフォームのオープン化に向けたアプリケーション開発 上記(1)及び(2)は、先導期間において達成した。具体的には、以下の項目を達成することでその革新性、有用性を示した。 (1-1) 同じ機能かつ違う方式のセンサに対して、センサ感度とダイナミックレンジを変更し、異なるセンサデータを取得した。 (1-2) 機能の異なるセンサを同一バス上に既存のインターフェース LSI を介して配置し、リアルタイムに複数種類のセンサデータを取得した。 (1-3) 複数のセンサを同じインターフェース LSI に接続し、さらにそのセットを複数、同一のバスに接続し、リアルタイムにセンサデータを取得できるシステムを構築した。 (2) 3軸力センサと温度センサを内蔵した超小型指先センサチップを開発し、ヒーターと組合せて材料識別の可能性を示した。 (3) LSI は、ASSP による事業化を進めており（関連プロジェクト）、課題点を明らかにして今後の仕様にまとめているところである。
【B-1-3】「ロボットの全身を被覆する皮膚センサの確立と応用開発」 (委託先：国立大学法人熊本大学)
ロボットの表面に密着して被覆し表面に加わる力分布を取得する皮膚センサの確立を目標としている。先導研究期間には、ロボット表面全体に均一な圧電膜を塗布するための必須技術である長時間連続塗布を実現するスプレー噴霧手法を確立し、平面において均一な膜が形成されることを確認した。 また、プロトタイプとして複数点での指先押下に反応し押下力に対応した出力を示すセンサを作製し、これまで実現が困難とされていた自由曲面を覆う力分布センサの実現に目途が付いた。 研究開発期間には、この技術を曲面に展開するための技術開発を行っている。特に、電極・配線形成について先導研究期間からの課題が残るものの、有用な技術候補のテストも実施しており、期間内に圧電膜、電極・配線、信号取得モジュールそれぞれの技術を確立し、ロボットのスキン及び工業製品や工場内の部品等に設置する IoT センサとしての実用化を目指している。

研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）

【B-1-4】「高強度化学繊維を用いた『超』腱駆動機構と制御法の研究開発」

（委託先：国立大学法人東京工業大学、再委託先：株式会社横浜ケイエイチ技研、株式会社アトックス）

高強度の化学繊維を用いた『超』腱駆動機構とその制御法を研究開発する。従来の金属製ワイヤでは成し得なかった超軽量／超小型／超長尺／超冗長なロボット機構を、軽量で屈曲性に優れ高比強度の化学合成繊維を人工の腱として用いることで実現する。

【B-1-5】「可塑化 PVC ゲルを用いたウェアラブルロボット用ソフトアクチュエータの研究開発」

（委託先：国立大学法人信州大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：セーレン株式会社）

人間と同等サイズ・重量・力強さに加え、精密な動作をするシート状 PVC ゲルアクチュエータを用いたウェアラブルアシスト装置の研究開発を行う。シート状、織構造、撚り糸構造の各アクチュエータの最適化実施（構造、電極材料変更）、制御則確立のためのモデル化検討、低電圧化を目指した駆動原理解明と材料探索、アシストウェア適用時の構造検討のための実証実験を行った。各アクチュエータの基本構造と特性評価については材料探索についても着手し、最終的な性能目標に対して 18～29%程度の達成度を得た。制御のためのモデル化検討は、測定システムの構築に着手し、精密制御を可能にする実験系の構築を検討した。低電圧化を目指し、イオン液体添加系での駆動状態解明、有効性の評価を行った。アシストウェア開発における仕様決定の基礎となる必要性能条件を洗い出す実証実験の評価システムの準備を完了した。

【B-1-6】「高効率・高減速ギヤを備えた高出力アクチュエータの研究開発」

（委託先：国立大学法人横浜国立大学、再委託先：日本電産シンボ株式会社）

大きな減速比と高い動力伝達効率を実現する複合遊星歯車機構を開発し、出力密度およびトルク密度を大幅に向上させるモーター開発と併せて、ロボットに適した小型・高効率・高出力・低コスト・高密度のアクチュエータを実現する。さらに、減速機の逆駆動効率の大幅な向上により高いバックドライバビリティを実現し、アシストロボットや協働ロボットへの展開を想定した基盤開発を行うと共に、産業ロボットへの展開では繰り返し動作時における回生エネルギーの回収による大幅な省エネルギーを実現する。

これまでの成果として、許容入力回転数 15,000rpm、逆駆動起動トルク 0.034N・m、順駆動効率 92%を超える高効率な複合遊星減速機の開発に成功した。

また、熱流体解析に基づき大きさ $\phi 88 \times 71 \text{mm}$ 、質量 1.4kg、定格出力 2kW、定格速度 15,000rpm、定格トルク 1.3N・m の高密度モーターの設計・試作に成功した。

【B-1-7】「全方向駆動機構を核とした革新的アクチュエーション技術の研究開発」

（委託先：国立大学法人東北大学）

研究開発目標として、耐荷重性と走行の滑らかさを両立させる車輪機構を創出することを掲げている。当車輪機構の基礎実機的设计・試作・実機実験を通しての原理確認及び構築に成功したのみならず、その構造から派生する新たなリング状車輪・新型の全方向駆動車輪用の伝達原理について考案・具現化を続けている。達成状況として、当初の研究開発目標は、今後行う耐久性試験以外は十分に達成できており、新たに考案したアイデアに基づいて再度高く目標設定を行った上で（数値で言うならば、当初の 2.5 倍を設定。これを 100%に換算して最終目標値としている）、研究開発に取り組んでいる。

【B-1-8】「スライドリング材料を用いた柔軟センサーおよびアクチュエータの研究開発」

（委託先：豊田合成株式会社、アドバンスト・ソフトマテリアルズ株式会社、再委託先：国立大学法人東京大学）

ロボット普及に貢献するため、「軽量高出力・省エネ性・柔軟による安全支援」となる柔軟なアクチュエータ及びセンサーの開発を実施する。先導研究期間の成果で、アクチュエータ出力（変位）が 3 倍強となった。この成果により、具体的な引き合いを受けた。今後は、具体的案件への適用検討を実施する。

また、屈曲変形による新たな把持の可能性を示すことができた。

【B-1-9】「慣性質量を含むインピーダンス可変機構を有するスマートアクチュエータ」

(委託先：学校法人早稲田大学) <先導研究にて終了>

屋外での重作業アプリケーションや人間との協働を目指す産業用アプリケーション、介助支援等を行うロボットの実現に向けて、機械インピーダンス可変機構を有する革新的なスマートアクチュエータの開発を目的とする。慣性質量・弾性係数・粘性係数をパラメータにもつメカニカルな機械インピーダンス可変機能を有する革新的なスマートアクチュエータの研究開発を行う。そのために、(1) 機械インピーダンス可変機構の開発、(2) 知的制御システムの開発に取組み、3つの可変機構(慣性・粘性・弾性可変機構)の試作と性能評価を行うとともに、制御システムを構築し有効性を確認した。

【B-1-10】「小型油圧駆動系と燃料電池・電池ハイブリッド電源によるフィールドアクチュエーション技術」

(委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了>

革新的ロボット要素技術として、フィールドロボットに採用することができるアクチュエーション技術の研究開発を実施した。力制御性がよく、頑健な性質を持つ静油圧伝達機構を小型軽量化し、長時間の屋外活動を可能にする燃料電池とリチウムイオンバッテリーのハイブリッド電源とエネルギー効率の高い運動制御系を取入れた総合的フィールドロボットアクチュエーション技術の確立を進めた。(1) 高剛性セラミックポンプの設計、(2) 3次元造形による油圧シリンダの小型軽量化設計、(3) 各種ポンプの比較と外歯歯車ポンプの検討、(4) モーター駆動半導体の冷却素子の開発、(5) ドライバーボードのファームウェアの開発、(6) 電流・圧力・推力の3重フィードバック制御系の開発、(7) 電気静油圧駆動系の総合的エネルギー伝達効率の評価、(8) ハイブリッド電源系の切り替え特性の解析と制御、(9) SiC MOSFETを用いたモータードライバの開発の全9点を先導研究期間の実施内容とし、すべてを達成した。

【B-1-11】「人間との親和性が高いウェアラブルアシスト機器のための可変粘弾性特性を有する革新的ソフトアクチュエータシステムの開発」

(委託先：学校法人中央大学、再委託先：株式会社ブリヂストン)

(1) 人工筋肉のゴム材料・付属部品の高寿命化：人工筋肉の寿命を左右する要因である繰り返し動作による消耗と経年劣化の解決や、高圧印加に耐えられるターミナル部の再設計を検討することで人工筋肉の高寿命化を図り、試作により良好な性能を確認した。

(2) 操作性の高い可変粘弾性アクチュエーション技術の確立：人間の粘弾性制御手法を規範とした制御手法を提案、開発した。また筋電位測定実験により、本制御手法が既存手法と比較してより人間親和性の高いアシスト動作が可能なこと及び既存手法に対する優位性を確認した。

(3) 空気圧源の小型・軽量化の検討：たとえばジメチルエーテルの気液相変化を用いる場合、1.2kgのエーテルで0.4MPaの圧力、600NLの総流量を供給可能であることを確かめた。また、1.1MPaの高圧が発生可能であるクエン酸と重曹の化学反応については、外部エネルギーを用いずに化学反応を継続させ圧縮空気を発生するシステムを開発した。

(4) 空気圧加圧による新しい身体固定デバイスの開発：ジャミング転移と加圧による締め付けで確実な力の伝達と装着しやすさを両立する方法について試作を行い、実現性を検討した。

【B-1-12】「高分子人工筋肉アクチュエータによる柔らかな運動支援装具の研究開発」

(委託先：国立大学法人九州大学、国立大学法人名古屋大学) <先導研究にて終了>

(1) 最大発生力 1[N]での可変インピーダンスの実現：複数の TCPA を用いた拮抗構造アームを構築し、駆動する TCPA の数を変えることにより、手先剛性を容易に変更できる手法を開発した。本手法は、TCPA が軽量で体積が小さく、そして低コストであることを最大限に利用した可変剛性構造であり、体積が大きい一般的なアクチュエータでは困難な構造である。本数を増やすことによって、最大剛性を増加させることが可能であり、また、本数を増やすことにより ON-OFF による単純なスイッチング制御のみで可変剛性を実現することができる。連続値制御を必要としないため、制御装置のコスト削減が可能であり、実用化において非常に有効な方法であると考えられる。

(2) 4 自由度示指運動補助装具の試作と性能評価：人間の差し指の運動を補助するための装具の試作機を開発した。本試作機では、人差し指関節の内外転以外の屈曲 3 自由度分について、運動補助を行うことができる。

(3) 最大ひずみ 10%、最大発生力 1[N]のナイロンコイルアクチュエータ素子の試作・特性評価：当該研究開発目標において、TCPA 単体での目標達成は困難であったが、マンドレル型の TCPA を 8 本束にして用いたクラスタ型の TCPA モジュールを用いることにより、ひずみ率(収縮率) 20%、最大張力およそ 3[N]を達成した。

研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術

【B-1-13】「ロボット知能ソフトの透過継続システムインテグレーション技術の研究開発」

(委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了>

超広範囲の知能ソフトウェア要素群のインテグレーションによる知能ロボットの支援タスクの構築が可能かどうかを連携性、有用性の観点から、常時自動で、かつ継続的に実行する技術の研究開発を目的とした。当初の予定以上の 2 件の実用的なプロトタイプタスク開発を実施し、これを実機とシミュレーションの両方で実現し、その透過性を評価したことで、知能ロボットソフトウェア要素群の体系整理の妥当性と開発したシミュレーション環境ならびに継続的検証システムの汎用性を実証し、計画の指針の妥当性、有用性、波及効果を確認した。

【B-1-14】「人共存環境で活動するロボットのための HRI 行動シミュレーション技術」

(委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所)

移動場面における人々とロボットとの関わり合い(HRI: ヒューマンロボットインタラクション)を再現する HRI 行動シミュレーション技術の実現を目指している。リアルワールドのデータを基に、人々の移動行動や HRI 行動を再現できるようにする。この新たなシミュレータをロボットの開発環境に組み込むことにより、従来は、実環境でロボットをトライアンドエラーで動かし、人々の反応を見ながらロボットの行動を修正していたインテグレーションのプロセスを大幅に効率化することを目標とする。既に、シミュレータのプロトタイプを構築し、ロボットが移動のみを行う場面に関してシミュレーションと実環境が十分に類似すること、このシミュレータがシンプルなタスクにおいて開発の効率化に寄与できることまでは確認済みである。今後、多様なレパートリーに対応し、実環境でのインテグレーション効率化に寄与できるようにシミュレータを拡張していく。

【B-1-15】「接触を許容しながら安全かつ不快感を与えずに移動する自律移動技術の研究開発」

(委託先：パナソニック株式会社、学校法人早稲田大学)

人との接触・衝突の許容を前提として、人ごみのような多くの人が存在する中でも、人に不快感を与えることなく、人・ロボットが安全に共存することができる革新的な自律移動技術を開発することを目的とする。

人ごみの中で自律移動が継続可能な機構・制御手法の開発に加え、人の動作意図等を推定することで、より不快感を低減できる研究開発も実施している。また、これらの技術を、動物を用いた事前実験で評価し、さらには人で模倣的に作った人ごみ環境で動作することを確認した。

【B-1-16】「生物ロコモーションの本質理解から切り拓く大自由度ロボットの革新的自律分散制御技術」

(委託先：国立大学法人東北大学) <先導研究にて終了>

環境適応性・耐故障性・拡張性・操作性を同時に実現可能な大自由度・自律分散型ヘビロボットの基盤技術の創成を目的とする。先導研究期間では、非構造環境下での走破ならびに環境変化に呼応したロコモーション様式の自発的改変という二つの要請を同時に満足することを目指し、そのための基盤となる制御原理を考察した。具体的には、非構造環境における「足場を活用したロコモーション」と狭窄空間における「コンセルティナーロコモーション」に焦点を絞り、環境に呼応してこれら 2 つのロコモーション様式を発現可能な自律分散制御則の構築を目指した。その結果、制御系の意図に基づく動作の結果として得られた感覚情報との整合性を表す「手応え」という新規な概念を導入することで、シンプルな制御則から実時間適応性が生み出されることを、実機実験を通して確認した。

【B-1-17】「行動記憶レイヤ統合に基づく衝撃対応実時間行動システム中核総合化研究開発」

(委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了>

周囲環境、作業状況、運動状態、反応行動の獲得様式等を包含した行動記憶レイヤを介して、人工知能技術とロボットの実時間制御システムを接合する統合技術開発を目的とする。具体的には、作業移動ロボットが衝撃に対して即応的に多様な反応行動を取る自律反応系の構築技術を開発し、それを実現するため、周辺環境センシング技術、多様な衝撃緩和行動を即応的に実行するアクチュエーション技術、実時間通信制御技術を、行動記憶レイヤを中核とし衝撃対応行動可能なシステムへと統合する。これらの統合技術の基本構造は検証ロボットにおいて評価し実時間制御ソフトウェアとして公開することで、作業移動ロボットの研究開発を進めている企業への展開と事業化の支援を目指し、先導研究目標はいずれも達成した。

【B-1-18】「知識の構造化によるロボットの知的行動研究開発」

(委託先：学校法人明治大学、共同実施先：TIS 株式会社)

社会の中で活用できる移動ロボットシステム技術の構築を目標とする。その過程で、複雑な環境、多階層の駅・商業ビル内部や人混みの中で運用できること、人間社会に馴染み、人と同じ速度、リズムで動作できること、人が普段利用している移動インフラを人と共に利用できること、実環境に導入されている汎用的な設備（監視カメラやその他のセンサ）からのデータを活用し、街の構造や人の行動等の理解ができることを開発目標としている。

現在までの研究開発の結果、基本的な環境認識システムやタスク制御システム、タスク切り替えを実現するルール決定システムを統合した制御システムの構築に成功し、明示的にルールを記述することなくエレベータ搭乗が行えることを確認した。同時に、意味情報を付加するマッピング技術も構築した。本研究開発の成果を実用化へと導くスタートアップベンチャーを平成 28 年 10 月に創業した。

【B-2】平成 27 年度採択②（RFI を踏まえた調査研究→先導研究→研究開発）

研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）

【B-2-1】「安全・小型・軽量なマン・マシン・インターフェースの開発」

（委託先：株式会社栗本鐵工所、再委託先：国立大学法人山形大学、国立大学法人大分大学、国立大学法人大阪大学） <調査研究にて終了>

ナノ MR 流体を用いたマン・マシン・インターフェースの開発を目的として、(1) ナノ MR 流体の安定生産と品質管理、(2) ナノ MR 流体を用いた力触覚提示用小型 MR デバイスの開発とその評価、(3) 力触覚提示のための制御技術の開発、(4) ナノ MR 流体の力触覚評価技術の開発、(5) ナノ MR 流体の安全性の確認、(6) 力触覚フィードバック装置の試作と評価に取り組んだ。

ナノ MR 流体の特性評価、過酷な条件でナノ MR 流体を使用した場合の性状変化（耐久性）と安全性、長期使用におけるナノ MR 流体の寿命を定量的に評価した。さらに、手術で用いる鉗子をモデルとして把持の力触覚を評価するための評価装置を開発し、物を把持した時の物理的パラメーター及びその時の力触覚を評価した。その評価結果に基づいて、4 つの力触覚をナノ MR デバイスによって仮想的に再現し、その力学的評価、その時に操作者が得られる力触覚を評価した。実際の力触覚と比較してトルクは小さいものの、操作者に与える力触覚は同等であることが確認された。

【B-2-2】「機能性ポリマーを用いた移動ロボットの吸着機構の研究開発」

（委託先：学校法人名城大学）

SWA パッドの作成と評価、フラクタルパッドの最適形状の設計を行う。現在、SWA モジュールは試作を行い、市販の吸着パッドと比較して、凹凸面での吸着力は向上した。フラクタルパッドについても試作を行い、さらに最適な形状にするための改良を行っている。それぞれ一次試作は終了し改良を行っており、達成度は 60%程度である。

【B-2-3】「コンデンサ化材料基材によるソフトアクチュエータ開発」

（委託先：国立大学法人岐阜大学、株式会社ブイ・アール・テクノセンター） <調査研究にて終了>

金属やセラミックスから構成される従来型アクチュエータでは実現困難な、柔軟駆動を示す Dielectric Elastomer Actuator (DEA) ベースのソフトアクチュエータを開発する。対象物に力学的な負担をかけないロボットハンドやアームへの利用が見込まれる。高精度変形制御可能な DEA ベースソフトアクチュエータの開発を行う。

調査研究において、以下を達成した。

- (1) 100mm 以下の厚さの駆動部を持つ DEA を作製し、駆動に成功した。
- (2) DEA 用柔軟薄膜電極の作製を行い、従来型より高い導電性を得た。
- (3) 一定入力電圧下における DEA の自発的振動変形誘起に成功した。
- (4) DEA 駆動部の微小ピラー化による大歪誘起を計算科学的に予測し、これを実験的に確認した。
- (5) 単一素材における曲げ応力の性能を評価する計測治具を開発した。
- (6) 素材集合を想定しアプリケーションとして利用するためのロボットハンド、アームのモデルの実装評価を行うモデルを開発した。

研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）

【B-2-4】「剛性と柔軟性を融合させるスマートメカニクス」

（委託先：国立大学法人筑波大学）

ヒト関節に匹敵する、高い柔軟性と剛性を併せ持つロボット関節に基づくロボットソリューションの創出を目指す。具体的には、以下のとおり。

- (1) ヒト関節の柔剛融合特性推定システムを構築し、ヒト関節インピーダンスのデータベースに基づくスマートメカニクス計算論を構築する。
 - (2) 装着型下肢運動支援システム・食事動作支援ロボット等のヒト支援システムへの応用展開を行う。
 - (3) 高度組み立てロボットシステムをターゲットとしたものづくり分野への応用展開を行う。
- (1) に関しては、計測デバイスのプロトタイプがほぼ完成し、計測実験を行う準備が整った状況である。(2) に関しては、MR 流体を利用した直動関節デバイス (MR-Link) の高出力化に成功し、検証実験を行う準備が整った状況である。(3) に関しては、MR 流体を利用した 3 自由度パラレルメカニズムの構想がまとまり、設計を行っている。

【B-2-5】「次世代ロボット素材など要素技術の調査研究と次世代ロボットの試作開発」

（委託先：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所） <調査研究にて終了>

調査研究において、以下を実施した。

(1) 業種横断材料・要素技術調査研究プロジェクトチームの設置

日本ロボット工業会技術委員会の下に新たな当プロジェクト専用ワーキンググループを設ける形で、[システム分野]、[エレメント分野]、[マテリアル分野] の各分野より有識者を選抜しステアリングミーティングを設置すると共に、詳細な技術問題を具体的に検討するために現役技術者をメンバーとしたテクニカルミーティングをステアリングミーティングの下に設置する。ロボットメーカー、ロボット構成部品メーカー、材料メーカー等からなるステアリングミーティングを設置し、計 4 回の会議を実施した。本会議で設定された課題の詳細検討を行うために、2 つのテクニカルミーティングを設置し計 4 回の会議を実施した。

(2) 技術課題の明確化と峻別（基礎調査の実施）

ステアリングミーティングにおける課題設定の参考情報のため、海外情報の収集及び注目新素材技術のとりまとめを行った。ハノーバーメッセ、AUTOMATICA において海外の最新情報の収集を実施した。さらに、ステアリングミーティングの参考となるよう個別の技術に関して整理を行った。

(3) 技術課題の明確化と峻別（研究テーマの設定）

ステアリングミーティングにおいて、[システム分野]、[エレメント分野]、[マテリアル分野] の統合的な観点から、現在、基本的には研究段階のものも含め既存技術の評価と既存技術では不足している技術課題の明確化を行った。具体的には、ロボットに使用される代表的な構成要素から課題・着目技術の整理を行った。さらに、課題のうち共通のかつロボット産業にインパクトを持つものを実現目標（大課題）として括り出し、コスト構成要素、実現目標（大課題）、着目技術に大分してその関係性をまとめた。最終的に、軽量化、ケーブルレス化、インテリジェント化を目標として具体的な課題を検討する方針を決定した。

(4) 具体的可能性調査と技術開発・ロードマップ立案

抽出された課題に関して、テクニカルミーティングを召集し（メンバーは 10 名以下、現役の技術者を中心とし、課題ごとに選抜する）、達成難易度と産業インパクトに関し具体的な議論を行った。具体的には、軽量化、ケーブルレス化、インテリジェント化（ケーブルレス化と統合）に関し、テクニカルミーティングを設置して具体的な検討を行った。課題一覧とロードマップ立案を行い、これを裏付けるべく、実験・試作を行った。無線給電 PWM 入力対応に関するシミュレーション等を行うと共に、軽量化に関する試作と無線給電に関する技術検討を実施した。

【B-2-6】「把持機能と認識機能の統合による高度なマニピュレーションの実現」

（委託先：国立大学法人神戸大学、共同実施先：国立大学法人金沢大学、国立大学法人信州大学）
<調査研究にて終了>

次世代マニピュレーション技術創成のための要素技術とシステムインテグレーションに関する調査、次世代マニピュレーション技術創成のための標準的マニピュレーションタスク（チャレンジ課題）に関する調査、人工知能技術によるマニピュレーション技術の高度化に関する調査研究を行った。文献調査、研究拠点調査では当初の目標を上回る

数の調査を行い、現状技術の問題点と今後注力すべき研究項目が明らかとなった。標準的マニピュレーションタスクの一つとして認識とマニピュレーション機能の統合が求められる「レジチャレンジ」を提案した。

【B-2-7】「IoT 時代に対応した ORiN3 の戦略及び仕様作成」

(委託先：一般社団法人日本ロボット工業会)

ORiNは、平成11年度のNEDOプロジェクトにおいて「ロボットを中心とした工場内の各種装置に対して、メーカー、機種の違いを超え、統一的なアクセス手段と表現方法を提供するミドルウェア」として開発された。本件では、ORiNを現在の新技術及び国際的な動向に沿った仕様にブラッシュアップし、IoT時代の標準プラットフォームとすることを目標としている。具体的には、(1) IoT社会の要求する幅広い規格・プロトコルへの対応、(2) つながる世界におけるセキュリティの確保、(3) 製造業の枠を超えた第1次・第3次産業への展開、(4) 各国で展開されている標準化団体・アライアンスの動向の把握と対応を目標としている。

調査研究で基礎調査と要求定義の確定を行い、先導研究段階で仕様定義を行った。先導研究終了までにプロトタイプの実装が可能となるレベルでの仕様策定を行っている(月1回程度の仕様検討ワーキングを実施中。既に、1/4程度が完成)。セキュリティに関しては、IPAと共同で仕様定義中である。

【B-2-8】「動物の骨格・動作分析による、走破性が高い省エネ型脚機構の開発」

(委託先：学校法人日本医科大学 日本獣医生命科学大学、株式会社テムザック) <調査研究にて終了>

(1) 日本獣医生命科学大学において、動作解析システムの構築に関して、犬の歩行訓練やその他のカメラ位置、体表マーカーの設定に関する検証を行い、動作解析の手法および条件を確立した。次に、犬の身体重心の測定を行い、体全体の重心位置の測定および四肢の分節ごとにおける重心位置の測定も実施し、そのデータは関節モーメント測定用パラメーターとして動作解析機器メーカーへ提供した。さらに、ビーグル犬の歩行動作について、実際に動作解析システムを利用して測定し、各関節角度の変化や3Dスティックピクチャーの合成、関節モーメントの測定が可能となった。犬の歩行時における各関節の角度変化について測定したデータを株式会社テムザックに提供し、脚機構モデルの設計に活用した。

(2) 株式会社テムザックにおいて、日本獣医生命科学大学が実施した「多目的なヒューマノイドロボットの駆動に応用可能な、動物の骨格構造および動作の分析」を基に、調査研究として、下記を目的とした省エネ型(モーター数の削減)で走破性・耐久性の優れたロボット駆動方法の開発及び駆動器具の部分的試作を行った。

- ① 筋リンク方式による既存駆動方式と比較して少ないモーターによる歩行駆動方式の開発
- ② 脚の下部が水没しても駆動が継続できる歩行構造の開発

基本的機構は、股関節軸上に股関節、膝関節、足首関節の3つの軸駆動用のレバーを配置し、膝及び足首関節軸はプーリー、ベルトを使用した伝達機構を用いて駆動力の伝達を行うものとし、各軸のレバーは接続されたロッドの先端にあるカムにより、軸と平行に前後レバーを揺動する。股関節、膝関節、足首関節の各軸用のカムは、1台のモーター出力によって駆動することとした。前述の脚機構構成により犬の後肢の動きを再現するため、日本獣医生命科学大学の分析データに基づき、各関節の角度とタイミングをそれぞれのカムを成形した。試作機は調査研究の目的どおり、脚の付け根部分の1ヶ所のモーターにより犬の平面歩行と同様の各関節の動きを再現することができた。

また、股関節を含む地表までの各関節軸には電動機器が配置されていないため、脚の下部が水没しても駆動には影響しない構成となった。

研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術

【B-2-9】「広角・多波長レーザーレーダーによる超高感度コグニティブ視覚システム」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人慶應義塾、株式会社ジェネシス)

高速・広角で光ビームをステアリングさせ、その微弱な戻り光を検出する超小型軽量のレーザーレーダーをロボットの目に適用する。多波長レーザー光を用いることで、光指紋を計測し、悪環境空間に存在する種々の有害物質を特定できる機能を実現する。センシングした外界における情報を基に人工知能を用いて情報を統合的に処理することで人・物体・物質などを自律的に認識すると共に、遠隔位置にある監視系と情報を共有できる視覚システムを開発する。

光ビーム偏向素子モジュールについては、高速・広角化の見通しを得、制御系を含めたモジュール実現に向けた試作を推進中である。小型・軽量のレーザーレーダーの試作については、基本設計、検討を終了し、小型・軽量化の検討を実施中である。有害物質の特定についても濃度推定が可能であることを確認した。

【B-2-10】「非整備環境対応型高信頼ヒューマノイドロボットシステムの開発」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

自律型ヒューマノイドロボットを大型構造物組立現場において実用化することを目指し、その実現のために特に重要な3つの要素技術について研究開発を実施している。(1) 環境データからの作業対象物検出・追跡技術については、画像データベースを試作し、実装したモデルに対する追加学習を行った結果、90%以上の精度で物体検出できることを確認した。(2) 環境計測データに基づいたロバスト多点接触運動技術については、計測誤差に対するロバスト性を向上させるため、数百[us]程度の短周期で力学的に整合性の取れた動作を再計画可能な多点接触動作修正アルゴリズムを開発した。(3) ロボットシステム高信頼化技術については、①ソースコード管理システムと連動した定形タスクの自動テスト、②差分デバッグによる回帰エラー原因の自動特定と修正、③リアルタイム性を損なわずに実機上でのプログラム動作情報を取得・分析することに成功した。

【B-2-11】「超低侵襲、超低負担な神経電極デバイス技術のBMI 応用」

(委託先：国立大学法人豊橋技術科学大学、共同実施先：国立大学法人新潟大学、国立大学法人旭川医科大学)

提案者が開発した「侵襲型にも関わらず、超低侵襲、超低負担な計測技術」である、直径 5 μm の剣山型電極の新技術を端に発し、これまで応用・市場浸透の課題とされていた侵襲型電極の課題を一掃することで、これまでにない革新的な脳計測技術の普及を目指す。

この目標に向け、先導研究では、「長期埋め込み安定性」を含む各種評価に基づいた検証として、これまでに、マウス脳での長期埋め込み計測、サル脳での記録、また、マウス BMI の評価・実証を通して、既存技術との優位性を評価するとともに、事業化に向けた取り組みを進めた。

【B-2-12】「脳活動モデル同定と内部状態推定に基づく BMI 技術」

(委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所) <調査研究にて終了>

人の操作意図推定の世界的な技術動向及び脳波からの適応的な推定手法についてどのような提案がなされてきているか調査を行った。さらに、適応的 BMI 技術による脳-ロボットの閉じたループシステムにおいて、どのような構成が提案されているか調査を進めた。

また、実ロボットと乾式脳波計測装置を使用した脳-ロボットループシステムを、シミュレーション環境を援用して構築し、実験した。加えて、動的モデルの構築及び脳活動からの動作意図推定を行うアルゴリズムを開発した。

【B-2-13】「脳波によるヒト型ロボット高速制御技術の実現可能性に関する検討」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

重度運動機能障がい者のコミュニケーションを代替するロボットアバターの制御を脳波によって行うシステムの実現可能性を検討する。このシステムの実現において最も重要な要件である「事象関連電位に着目した脳波解読の高速化」についての試作や実証実験を行い、8 択の脳内メッセージ選択を 3~4 秒で解読するという研究開発成果を得た(ロボット制御システムへも実装済み)。現在、音声や画像データの識別などに関する人工知能技術も活用し、多様なメッセージを効率的に生成するという新たなアイデアを盛り込んで開発を加速している。

【B-3】平成 28 年度採択(先導研究→研究開発)

研究開発項目④ 革新的なセンシング技術(スーパーセンシング)

【B-3-1】「自由曲面に貼れるナノチューブ面状電極の研究開発」

(委託先：富士化学株式会社、国立大学法人信州大学)

柔軟性に優れた単層カーボンナノチューブ(SWCNT)を導電材として用いた自由曲面に貼れる CNT 電極を開発する。エラストマー基材に塗膜した CNT 膜において 3 倍の伸びに対しても導電性が維持されている。また、ロボットアシストスーツ用のセンサとしての動作の実証試験を行っており、関節角の検出が可能となっている。

【B-3-2】「ロボットに実装可能な MEMS 味覚センサ」

(委託先：国立大学法人東京大学)

ロボットに搭載可能な 10mm 角のサイズで 5 種類の味要素に対応した 3mM 濃度の味物質を 1sec で検出し、1sec でフラッシングすることが可能な味覚センサシステムを実現する。

10mm 角サイズで SPR 応答を電流出力として検出可能な味覚センサチップを実現し、イオン系統の味物質を検出するための膜素材を SPR 検出センサと組み合わせることで、2mM のイオン濃度を 3sec 以内の速度で検出し、10sec 以内にフラッシングを実現できることを確認した。

平成 29 年 10 月までに、SPR 信号を電氣的に取得するセンサは実現しており、最終目標と同様の 10mm 角サイズのセンサチップを実現している。またイオン交換膜を用いることで、最終目標以下の 2mM 濃度の塩分を計測できることを確認した。計測にかかる速度は 3sec、フラッシングにかかる速度は 10sec と、平成 29 年度の目標は達成している。また応答の時間経過の出力値から、3sec よりも前の段階で濃度を計測できることがわかっており、計測アルゴリズムを最適化することで、最終目標は十分達成できると考えている。

【B-3-3】「味覚センサの高機能化による食品生産ロボットの自動化」

(委託先：国立大学法人九州大学、共同実施先：株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー、UCC 上島珈琲株式会社、富士食品工業株式会社)

5 つの研究開発課題・目標から構成される。(1) 人工甘味料用センサについては、妨害物質の影響を排除した膜の開発に成功した。(2) 苦味センサについても、劣化を抑えた膜の開発に成功した。これら 2 つの項目については平成 30～31 年度の研究開発を前倒しで平成 29 年度後期から実施予定である。(3) 塩味センサについては、酸による塩味エンハンス効果を検出するセンサの開発に成功し、今後、その他の塩味エンハンス効果を検出するセンサの開発に着手する。(4) 測定時間の短縮については、医薬品苦味と渋味に関する受容膜にて成功し、その他の食品苦味に関する受容膜について検討中である。(5) 生産ロボットの実用化に向けた研究開発では、ニーズのマッチング分析をほぼ完了し特許戦略を策定中である。加速劣化試験には湿度の影響が最も大きいことを見出した。研究開発調査を行った結果、実用化を急ぐ意味でも、UCC 上島珈琲株式会社と富士食品工業株式会社の協力が必須であることが判明し、両社を共同実施先に追加した。

研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術 (スマートアクチュエーション)

【B-3-4】「分子人工筋肉の研究開発」

(委託先：国立大学法人東京工業大学、国立大学法人北海道大学、国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学、共同実施先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人関西大学、国立大学法人大阪大学)

人工サルコメアを用いた人工筋肉の創成を目指す。人工サルコメアを DNA オリガミ、分子モーター及び微小管等の生体分子で創成する。光刺激により収縮する人工筋肉を、光造形システムを用いて人工物に装着し、実時間可視化シミュレーションを用いた超分子構造設計支援システムで人工サルコメア設計を支援する。

分子モーターの改変により、人工筋肉収縮速度を 5 倍高速化した。人工筋肉光造形システムプロトタイプ及び人工サルコメアデバイス、人工サルコメア設計支援環境を構築中である。

研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術

【B-3-5】「イメージセンサーを用いた環境認識処理の高速飛行体への適用」

(委託先：エアロセンス株式会社、再委託先：国立大学法人東京大学)

システム開発と 3 次元環境認識技術の開発成果として、SLAM 処理専用 SoC を用いた小型ステレオカメラモジュールを開発し、試作機を完成させ、SLAM データ出力の精度評価および改善を行った。全天球ステレオカメラを用いた全周囲リアルタイム 3 次元環境認識と障害物検出を実現し、全天球ステレオカメラと組み込みプロセッサを用いて、6fps での全天球 Depth、ポイントクラウドの生成を可能にした。シミュレータの構築が完了し、シミュレータ上の機体に載せたカメラから、仮想 3 次元空間でのリアルタイムな映像の取得環境が完成した。実際のフライトコントローラーと連携して動作させられる環境が整った。

【B-3-6】「高速環境認識・飛行経路生成制御技術の研究開発」

(委託先：株式会社自律制御システム研究所、国立大学法人信州大学、再委託先：SOINN 株式会社、国立大学法人千葉大学)

高速画像処理、高速環境認識、自己位置推定アルゴリズム、飛行経路生成・制御を UAV 向け環境認識に統合することを目標とする。これまでに最大フレームレート 500Hz の広視野高速ビジョンモジュールを開発した。

なお、オプティカルフローは 50Hz までが可能である。

また、空撮影において 90%以上の認識精度を持つ環境認識システムを開発している。自己位置推定システムを可能にするため、GPS、レーザーベース SLAM、Visual SLAM を単一のドローンに兼備させている。そして、飛行経路に障害物を発見した際に進路を修正するシステムも開発に至っている。

【B-3-7】「フライトレコーダを用いた安全性向上に向けた枠組みの研究開発」

(委託先：本郷飛行機株式会社)

無人航空機が自動化するに当たり、安全性についての知見を得るべく、フライトレコーダを研究開発する。先導研究として、小型でデータ取得が可能なものを作成することとし、最終的に事故等についての分類等を行い、安全性を検討可能な枠組みを開発する。成果として、小型で飛行記録が取得できる試作モジュールが完成した。クラウドとの連携も開発は後半にさしかかっており、概略予定どおりである。

また、最終目標に含まれる異常検知などの機能の準備もわずかながら進めている。

【B-3-8】「UAV 向けフライトレコーダと不時着技術の研究開発」

(委託先：株式会社菊池製作所、国立大学法人徳島大学、公立大学法人会津大学、学校法人早稲田大学)

旅客機等で広く活用されているフライトレコーダを小型 UAV にも応用し、万が一、UAV が墜落した場合においても、事故後、原因究明のできる小型 UAV に搭載可能なフライトレコーダを開発する。併せて、墜落事故発生時の衝突・衝撃による被害を軽減するための不時着技術として、衝撃吸収技術によるフライトレコーダの保護機能を開発する。

小型フライトレコーダ開発試作フライトレコーダシステムが完成し、性能評価を実施、小型化を検討中である。試験用機体を調整中であり、今後、機体に搭載し実証試験を行う。墜落シミュレータ開発は、複合 3D マッピング技術を開発中である。経路情報を動的に表示するソフトウェアの作成を進めている。

また、墜落検知モジュールとエアバッグの研究開発複合センサによる落下検知システムの試作・評価、検知アルゴリズム評価中である。展開エアバックについては、形状を検討している。

【B-3-9】「フライトレコーダの標準化及び小型無人航空機の事故原因解析の研究開発」

(委託先：ブルーイノベーション株式会社、国立大学法人東京大学)

フライトレコーダの開発に供するための「フライトデータの共通仕様等、標準化の研究開発」に加えて、「無人航空機の事故原因解析システムの研究開発」を実施する。平成 28 年度までに、フライトデータの共通仕様の検討として、有人機のフライトレコーダおよび無人航空機のセンサ・地上局から取得可能なデータの仕様調査を行った。

また、無人航空機の事故原因解析システムの研究として、事故原因解析のアルゴリズム構築を行っている。

成果として、国際民間航空機関 ICAO の定める標準なデータ仕様と無人航空機取得データとの比較対比表や無人航空機のフライトログデータを視覚的に表示するプログラムを作成した。

【B-3-10】「人の手に近い高性能で堅牢性を併せ持つロボットハンドの開発」

(委託先：ダブル技研株式会社、公立大学法人首都大学東京 東京都立産業技術高等専門学校)

次世代ロボットハンドについての市場要求仕様の実状調査結果を反映した 5 指仕様の単体評価用試作機が完成した。現在、実装評価に向けて準備中(平成 29 年 10 月完成の計画)である。併せて、既に実用化可能な機能について、これらの市場における評価を目的としたモニタ評価機を製作中(平成 29 年 10 月完成の計画)である。

実用化・事業化に向けての成果としては、現在、国内電機総合メーカーの 1 社とロボットハンドについての事業化を計画する企業にとっての要求仕様の情報収集を行うと共に、具体的な内容について調整中。

【B-3-11】「支援・被支援双方にやさしい汎用人工手の研究開発」

(委託先：学校法人慶應義塾、再委託先：マイクロテック・ラボラトリー株式会社)

先導研究期間の目標として掲げた下記項目の研究開発を完了し、本期間の最終成果物となる実機（3指11自由度汎用人工手プロトタイプ2号機）の開発を進めている。実機は平成29年9月下旬に完成予定であり、当初の計画以上に進展をしている。

- (1) 力推定技術のブラシレス DC モーターへの実装
- (2) 手先位置制御、把持制御、持ち上げ制御の滑らかな制御構造遷移の確認
- (3) 位置制御系と力制御系との非干渉化制御の実装
- (4) 可変コンプライアンス制御による把持対象物への適応性向上
- (5) ブラシレス DC モーターの電流制御が可能な小型駆動回路の開発

A. 次世代人工知能技術分野

番号	用語名	説明
【A-1】平成27年度採択①（先導研究→研究開発）		
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発		
研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発		
研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発		
【A-1-1】「人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター（AIRC） <拠点>)		
【A-1-1-1】「視覚野を中心とした適応的知能を支える神経機構の解明」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	疼痛	ずきずきとうづくような痛み。
【A-1-1-2】「大脳皮質の領野間結合の双方向性を模倣した、ロバストな認識を可能とする人工視覚野」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、共同実施先：国立大学法人東京大学)		
1	フーリエ基底	二乗可積分関数を基底関数展開するためのものであり、正弦関数と余弦関数によって記述される正規直交基底。
2	LASSO	二次誤差項に L1 正則化項をもつ最適化問題。誤差項と正則項はともに凸関数であり、凸最適化の枠組みが適用でき、高速に最適化を実行できるアルゴリズムの存在が知られている。
3	単純型細胞	刺激の時空間加算が線形の細胞。方位を持った線分に反応する。
4	STA	スパイクトリガー平均。フィルタが反応した刺激画像の平均画像。
5	複雑型細胞	刺激の時空間加算が非線形の細胞。
6	両眼視差特性	奥行きや物体の立体構造を知るための手がかりを与える両眼視差に対応した発火特性。
【A-1-1-3】「複雑な運動を少ない経験から学習・獲得し、滑らかに動作する脳型人工知能の開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人電気通信大学)		
1	ニューロモルフィックシステム	脳神経系を模倣した低消費電力システム。
【A-1-1-4】「能動型学習技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人京都大学)		
1	能動学習	機械学習において、学習対象を適切に選択することによって学習量に対する学習効率を向上する技術を指す。
2	能動推論	予測コーディング（脳神経系が外部環境を内部状態の形で表現するさまを説明するモデル）において、予測誤差を小さくするような制御信号を推定する仕組みを能動推論と呼ぶ。
3	カリキュラム学習	機械学習において、学習対象タスクの学習順の工夫（やさしい順など）によって学習効率を向上する技術を指す。
【A-1-1-5】「自然言語理解を核としたデータ・知識融合技術の研究開発」 「自然言語テキスト理解モジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	Attention-based Neural Network	自然言語の生成・変換において、代表的に用いられる2015年に提案された既存手法。

【A-1-1-6】「分散表象知識と記号的知識の相互変換技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	オントロジー	元々、哲学の用語であり、世の中に存在するものを体系立てて説明するものとされている。人工知能の世界では、対象となる概念とその関係を整理したものを指す。
【A-1-1-7】「スケーラブルな機械学習・確率モデリングの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	機械学習	人間が自然に行っている学習能力と同様の機能をコンピュータで実現しようとする技術・手法のこと。
【A-1-1-8】「超複雑な機械学習・確率モデリングの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	パラメトリック／ノンパラメトリック	解析の対象データが何らかの分布に由来すると考える考え方をパラメトリック、一切の分布を仮定しない考え方をノンパラメトリックという。
【A-1-1-9】「深層表現学習技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、共同実施先：国立大学法人東京大学)		
1	ICLR	国際学術会議である International Conference on Learning Representations の略。
【A-1-1-10】「スパイクニューロン全脳モデルと身体性情報構造化に基づく動的実世界知能の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人東京大学)		
1	MRI/DTI	核磁気共鳴を利用して生体内の情報を画像化する手法が MRI である。このうちさらに水分子の拡散運動の異方向性を画像化したものが DTI であり、白質繊維の方向性などが得られる。
2	LIF 型スパイクニューロン	ニューロンの活動電位の振る舞いを再現する数理モデルであり、膜電位がある閾値に達するとスパイクを発生した後に静止電位へとリセットされるようになっている。
3	Reservoir computing	強いランダム性を有するニューラルネットなどのダイナミカルシステムにある入力に加わった際、システム内部には入力に関する多様な高次元情報が生成される。この高次元情報を利用するのが Reservoir computing である。システム内部の情報の線形和を取るだけで複雑な非線形時系列予測やダイナミクスの学習などが比較的簡単に実現できる。
4	Tensegrity	筋肉やゴム等の線状引張材と骨や柱等の線状圧縮材からなる構造。圧縮材同士は結合を持たずに引張材のみによって結合されており、張力のバランスによって全体の構造が保たれている。
5	ニューロモルフィックコンピューティング	ニューロンの電氣的スパイクに着目し、スパイクニューラルネットワークを超大規模集積回路として実装する事によって画像認識や注意などの認知機能を実現している。
【A-1-1-11】「人工大脳皮質の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>		
1	noisy-OR モデル	ベイジアンネットの条件付確率表モデルの1つ。
2	正則化機構	機械学習における局所解・過適合の問題を緩和するための機構。
3	認知モデル	人間の情報処理機構の一部を数理的にモデル化したもの。
【A-1-1-12】「BESOM に基づく人工視覚野の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>		
1	ガボールフィルタ	脳の一次視覚野の単純型細胞の応答特性を数理的に表現したもの。
2	腹側経路	脳の視覚野の一部で、物体の形を処理する経路。
3	背側経路	脳の視覚野の一部で、物体の位置や動きを処理する経路。

【A-1-1-13】「人工言語野の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>		
1	疑似ベイジアンネット	我々が開発した、認知モデルプロトタイプ用の簡略化したベイジアンネット。
2	組み合わせ範疇文法	形式言語学において成功した枠組みの1つであり、文法規則と意味規則を定式化する。
3	深層格	格文法の用語の1つで、動作主・場所・道具のような意味役割を表す。
【A-1-1-14】「次世代人工知能フレームワークの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	Open Geospatial Consortium (OGC)	地理空間情報に関するフォーラム標準化団体。
2	産総研 AI クラウド (AAIC)	FY27 補正予算で構築された人工知能処理向けの計算インフラ。H29/6 に運用開始。H29/6 の省エネスパコンランキング Green500 で世界第3位を獲得した。
3	AI 橋渡しクラウド (ABCI)	FY28 二次補正予算で構築中の人工知能処理向け大規模・省電力クラウド基盤。FY30 前半に運用開始予定。
【A-1-1-15】「次世代人工知能研究テストベッドの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	産総研 AI クラウド (AAIC)	FY27 補正予算で構築された人工知能処理向けの計算インフラ。H29/6 に運用開始。H29/6 の省エネスパコンランキング Green500 で世界第3位を獲得した。
2	AI 橋渡しクラウド (ABCI)	FY28 二次補正予算で構築中の人工知能処理向け大規模・省電力クラウド基盤。FY30 前半に運用開始予定。
【A-1-1-16】「社会的身体性知能の共有・活用のためのクラウドプラットフォーム」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：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)		
1	ROS	Robot Operating System(ROS)は、米国のロボットベンチャー企業である Willow Garage 社が開発を開始し、現在は Open Source Robotics Foundation という NPO が開発・無料公開しているロボット用フレームワークで、容易に分散型システムを構築することができる。ROS は基本的にそれぞれの機能を有したソフトウェアをノードとして複数同時に実行し、それらのノードがお互いにデータをやり取りするシステムであり、ノードの独立性とソフトウェアの再利用性が高い(複数のプログラミング言語に対応)という利点がある一方、リアルタイム OS として全体としての処理時間は保証しておらず、実用よりも研究開発に多く用いられる。
【A-1-1-17】「ネットワーク分析と言語処理の融合による大規模文献データからの技術の未来予測プラットフォームの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人東京大学)		
1	PubMed	アメリカ国立医学図書館が提供する MEDLINE や生化学関係の文献検索データベース。
【A-1-1-18】「観測・データ収集モジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	生活機能レジリエント社会	高齢者や乳幼児など身体の機能、認知の機能の変化に対して安全性や社会参加を維持可能にする社会。
2	生活現象フレーム	生活現象の観察、データベース化、モデル化・シミュレーション、効果検証などを支援するための技術パッケージ。
3	ピンテージソサイエティ	経産省が推進する高齢者が長く健康に働き、生活できる経済社会環境を備えた社会。生活機能レジリエンスと深く関連する概念。

<p>【A-1-1-19】「一般物体認識クラウドエンジンの構築」 「3次元センシングモジュールの研究開発」 「センサフュージョンによる実世界環境理解モジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人中部大学 中部大学、学校法人梅村学園 中京大学、国立大学法人大阪大学)</p>		
1	SHREC	3D Shape Retrieval Contest の略。三次元物体検索の国際的コンペティション。
<p>【A-1-1-20】「きめの細かい動作認識の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人千葉工業大学)</p>		
1	UCF-101	University of Central Florida が構築した動作認識のための動画データセット。101 種類の動作でラベル付けされた 13,320 本の動画からなる。スポーツに対応した動作が多く、画像処理的には背景に動作種類に関する情報がたくさん含まれるため、HMDB51 に比べると認識は容易である。
2	HMDB51	MIT や Brown 大の研究者らが構築した動作認識のための動画データセット。51 種類の動作でラベル付けされた 6,849 本の動画からなる。室内の動作が大半であり、背景情報が多くの場合意味を持たないので動作認識の難易度は高い。
3	CC0	Creative Commons が定義するコモンズ証。科学者や教育関係者、アーティスト、その他の著作権保護コンテンツの作者・所有者が、著作権による利益を放棄し、作品を完全にパブリック・ドメインに置くことを宣言するもの。
<p>【A-1-1-21】「社会レベル行動モデリング・シミュレーションモジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>		
1	ハイパラメータ	学習の際にあらかじめ決める必要のある数値のこと。ディープラーニングには多くのハイパラメータがあり、その値が認識精度に大きな影響を与える。
<p>【A-1-1-22】「作業動作自動生成システムの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人金沢大学、国立大学法人大阪大学)</p>		
1	AR	Augmented Reality の略。拡張現実と訳す。コンピュータを利用して、現実の風景に情報を重ね合わせて表示する技術。
<p>【A-1-1-23】「不定形物操作システムの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人信州大学、国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学)</p>		
1	不定形物	布・紙・紐など、操作を加えると形状が変化する物体。
<p>【A-1-1-24】「人間行動モデリングタスク」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>		
1	AR	Augmented Reality の略。拡張現実と訳す。コンピュータを利用して、現実の風景に情報を重ね合わせて表示する技術。
<p>【A-1-1-25】「対人インタラクションタスク」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人玉川学園 玉川大学)</p>		
1	アノテーション	あるデータに対して関連する情報を注釈として付与すること。
<p>【A-1-1-26】「地理空間情報画像解析」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>		
1	HLAC	Higher-order Local Autocorrelation の略称。産総研で考案され広く利用されている画像特徴量。

【A-1-1-27】「セマンティック情報に基づく自動運転システムにおける人工知能技術の性能評価・保証に関する研究」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	CAN	Controller Area Network の略。Bosch 社が 1985 年に車載ネットワーク用に開発したもの。
【A-1-1-28】「データ駆動型人工知能と論理知識型人工知能の融合による解釈可能な自動運転システムに関する研究」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人九州工業大学))		
1	OWL	Web Ontology Language (OWL) はインターネット上に存在するオントロジーを用いてデータ交換を行うためのデータ記述言語。OWL は RDF の語彙拡張で、セマンティック・ウェブのツール群として位置づけられる。OWL には、OWL Lite、OWL DL、OWL Full があり、OWL DL は記述論理として、計算完全性（すべての結論が計算可能であることが保証されている）、及び決定可能性（すべての計算が有限時間内に終了する）を保持しつつ、最大の表現力を要求する利用者をサポートする。
2	ROS	Robot Operating System (ROS) は、米国のロボットベンチャー企業である Willow Garage 社が開発を開始し、現在は Open Source Robotics Foundation という NPO が開発・無料公開しているロボット用フレームワークで、容易に分散型システムを構築することができる。ROS は基本的にそれぞれの機能を有したソフトウェアをノードとして複数同時に実行し、それらのノードがお互いにデータをやり取りするシステムであり、ノードの独立性とソフトウェアの再利用性が高い（複数のプログラミング言語に対応）という利点がある一方、リアルタイム OS として全体としての処理時間は保証しておらず、実用よりも研究開発に多く用いられる。
3	CSOM	自己組織化マップ (Self-Organizing Map: SOM) はフィンランドの研究者 T. Kohonen の発明したニューラルネットの一種で、SOM は教師なし学習を行う位相保存写像 (topology preserving mapping) の一種である。高次元の観測データセットに対し、SOM はデータ分布の位相的構造を保存しつつ低次元空間へ写像する。特に、2 次元空間へ写像する場合はデータ分布が地図 (topographic map) のように可視化されるため、この地図を データマイニングに用いるのが典型的な SOM の利用法である。SOM には条件付き確率を用いる CSOM や情報を階層化する階層型 SOM、テンソル SOM などがある。
【A-1-1-29】「産業用ロボットタスク」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	PhysX	NVIDIA 社が開発・提供している、リアルタイムの物理演算エンジン。
【A-1-1-30】「動作の模倣学習手法の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	HMD	Head mounted display の略。頭部に装着するディスプレイ装置のこと。
【A-1-1-31】「酵素反応データベースに向けた文献キュレーション支援技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	エンティティ	生命科学文献の記述において、名詞的な用語を示す。具体的には、蛋白質やそれを構成するアミノ酸を含む化合物、化合物を構成する官能基、その他の専門用語である。
2	イベント；トリガー	生命科学文献の記述において、反応、相互作用、構造変化等の生命現象が、イベントとして定義される。イベントを示す用語の中で、核となるのが、動詞的な部分となるトリガーである。トリガーに対して、主語や目的語のような関係性を持つエンティティもイベントの一部となる。
3	キュレーション	データに対して、コンピュータによる解析に必要な注釈付を行う作業のこと。
【A-1-1-32】「事故情報テキスト解析・事故予防技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>		
1	オントロジー	元々、哲学の用語であり、世の中に存在するものを体系立てて説明するものとされている。人工知能の世界では、対象となる概念とその関係を整理したものを指す。

【A-2】平成27年度採択②（RFIを踏まえた調査研究→先導研究→研究開発）		
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発		
【A-2-1】「メニーコアを活用するデータフロー型プログラミング言語の開発」 (委託先：株式会社トプシステムズ、再委託先：株式会社Cool Soft)		
1	データフロー	ノイマン型や制御フローアーキテクチャと対局に位置付けられるアーキテクチャである。プログラムは入力データが使用可能になった時点で実行するデータ駆動型の処理を複数組合せた分散処理。逐次処理やマルチスレッド処理と比べて、パイプライン並列・タスク並列・パイプライン並列など多様な並列性を扱いやすく、設計から実装までグローバルな最適化が可能のためメモリボトルネックを解消しやすい。TensorFlow等のAIフレームワークのアーキテクチャとして採用されている。
2	メニーコア	1チップ上に複数のプロセッサコアを集積するハードウェア・アーキテクチャ。マルチコアが複数の従来型の逐次処理プログラムを同時に動作させるのに対し、メニーコアはプログラムを並列化して高速に動作させることを目的としたアーキテクチャ。GPUもメニーコアの1種であるが、小さなコアをSIMD型で集積しマルチスレッドで駆動するのに対し、一般的なメニーコアはMIMD型のためコア間のプログラムの独立性が高い。
3	SMYLEdeep	トプシステムズ社がNEDOプロジェクトの研究成果に基づいて独自開発した新世代のAIプロセッサ・アーキテクチャ。メニーコアの1種であるが、コア間の密結合により通信・同期のオーバーヘッドを最小化する独自機構を有するため、データフロー型のソフトウェアを最も効率よく実行できるアーキテクチャである。そして、コア数の増大に伴うオーバーヘッドが殆どないため、コア数に対しほぼニアに性能が向上するスケーラブルなアーキテクチャ。また、プログラムの実行に必要な命令ステップ数とメモリアクセスマスを従来型GPUの1/100以下に削減する様々な独自機構を持つため、動作クロックが低くても高い演算処理能力を発揮する。そのため、GPUの数十倍のエネルギー効率（性能/電力）を実現している。AIプロセッサとして、シリコンバレーで注目されているアーキテクチャの1つであり、国内外の半導体メーカーやユーザー企業から早期のチップ化を期待されている。
【A-2-2】「多様な時系列情報に対する深層学習基盤の開発」 (委託先：株式会社Preferred Networks) <調査研究にて終了>		
1	マルチモーダル情報処理	人間は外界からの情報をより確かに知覚するために、五感や、体性感覚(平衡感覚, 空間感覚など)といった複数の感覚の情報を組み合わせて処理している。このような情報処理をマルチモーダル情報処理という。
【A-2-3】「柔軟ロボットによる身体環境相互作用に基づく道具使用」 (委託先：国立大学法人東京大学) <調査研究にて終了>		
1	McKibben (マッキベン) 型人工筋肉	ゴムチューブの周りをナイロン繊維で覆った形状で、圧縮空気を内部に加えることで収縮する。Joseph McKibbenによって開発された。
【A-3】平成28年度採択（先導研究→研究開発）		
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発		
【A-3-1】「超低消費電力深層学習プロセッサおよびソフトウェア層の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人理化学研究所、株式会社Preferred Networks)		
1	TOPS	Tera operations per secondの略。1TOPSは毎秒1兆回の演算のこと。
【A-3-2】「人工知能と実験自動化ロボットを統合した次世代創薬プラットフォームの開発」 (委託先：株式会社MOLCURE、再委託先：国立大学法人東京工業大学、国立大学法人東京大学、学校法人慶応義塾、国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所)		
1	NGS	Next Generation Sequencing。大量の塩基配列を同定可能な基盤技術。

【A-4】平成29年度採択（先導研究）		
研究開発項目⑦ 次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発		
【A-4-1】「人工知能と超音波3D画像による筋肉・腱・軟骨等の健康状態測定装置の研究開発」 (委託先：株式会社U. N. デカルト、再委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	臨床学的見解	医師による、健康状態の診断・評価に関する情報。測定データに付与されるもの。
2	アノテーション	あるデータに対して関連する情報（メタデータ）を注釈として付与すること。
3	学習済みモデル	機械学習より得られた、データと結果の相関を計算するアルゴリズム。
4	フレキシブルマトリックスアレイプローブ	曲面上に超音波素子をマトリックス（格子）状に並べ、それらが独立またはグループ化して信号の送受信を行う超音波プローブ（探触子）。
【A-4-2】「熟練スキルを搭載した知能ロボットの研究開発」 (委託先：国立大学法人東京大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社アールテック)		
1	マスタースレーブロボット	ロボットやマニピュレータが完全自律動作できる判断力をコンピュータに持たせるのは困難であるため、マニピュレータの遠隔操作では、人の手元にあるマスターアームを操作し、その動きを遠隔のスレーブアームがトレースする、マスタースレーブ式の遠隔操作が行われる。
【A-4-3】「人・機械協働性生産のための人工知能を活用した作業モデル構築に関する研究開発」 (委託先：三菱電機株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	IoT	Internet of Things の略。様々な現場の機器のデータが Internet を通じてつながる技術。
2	オープンプラットフォーム	様々なベンダーから提供される機器が同一のプラットフォーム基盤につながるように接続仕様、動作仕様等が公開されたプラットフォーム。
3	グローバル研究拠点	産業技術総合研究所を通じて設置される研究開発拠点。
【A-4-4】「オントロジー推論のリアルタイム処理を実現する組み込み技術の実現と安全・安心分野への応用」 (委託先：一般社団法人組込みシステム技術協会、再委託先：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、国立大学法人九州工業大学、株式会社アトリエ、キャッツ株式会社)		
1	オントロジー	元々、哲学の用語であり、世の中に存在するものを体系立てて説明するものとされている。人工知能の世界では、対象となる概念とその関係を整理したものを指す。例えば、「道路」という概念は、「車線」や「交差点」などの概念から構成されているなどと定義される。
【A-4-5】「物流サービスの労働環境改善と付加価値向上のためのサービス工学×AIに関する研究開発」 (委託先：国立大学法人筑波大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学 人工物工学研究センター)		
1	BLE	Bluetooth Low Energy の略。近距離無線通信技術 Bluetooth の拡張仕様の一つで、極低電力で通信が可能なもの。
【A-4-6】「次世代製造バリューチェーン構築へ向けた人工知能の研究開発」 (委託先：日本電気株式会社)		
1	効用関数	一般的に、物、エネルギー、情報、サービスなどの「効用」を数値におきかえる関数を意味する。本研究開発においては、特定の条件で合意・契約をした場合の、自己の利得を表す関数とする。
2	摂動解析	一般的には、外部からの擾乱を与えた時の系の応答の解析。本研究開発では、制約条件をどのように変えると効用が上がるか等を解析する。

3	複数論点交渉	複数会社間での受発注条件における論点（「価格」「納期」「品質」等）について、合意・契約を得るための交渉。
【A-4-7】「高齢者の日常的リスクを低減するAI 駆動アビエントセンサ・アクチュエータシステムの研究開発」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学、セイコーインスツル株式会社）		
1	エッジデバイス	IoT デバイス・システムにおいて、センサ端末からデータを受信し、所定の処理を施してクラウドに送信するデバイス。
【A-4-8】「ロボットをプローブとした高齢者の生活機能の計測・分析・介入技術の研究開発」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、パナソニック株式会社、キング通信工業株式会社、再委託先：国立大学法人筑波大学）		
1	AWS	Amazon Web Services の略。Amazon.com により提供されているクラウドコンピューティングサービスである。
【A-4-9】「空間移動時のAI 融合高精度物体認識システムの研究開発」 （委託先：国立大学法人東京大学、オリンパス株式会社、国立大学法人電気通信大学、株式会社デンソー、国立研究開発法人産業技術総合研究所、一般財団法人マイクロマシンセンター）		
1	画像データセット	画像中の認識したい被写体領域がラベル付けされた、認識アルゴリズム検討用のデータ。
2	プラズモニクワイドバンド	ナノ構造体により特定波長のプラズモン共鳴を誘起しその波長光を捉えることにより近赤から遠赤までさまざまな特定波長の光を検出する方法。
3	カンチレバー	薄膜片持ち支持体をカンチレバーといい、その曲げ変形を利用し、微細応力を計測できる。
【A-4-10】「健康増進行動を誘発させる実社会埋込型AI による行動インタラクション技術の研究開発」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、美津濃株式会社、国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター、国立大学法人東京大学 人工物工学研究センター、株式会社竹中工務店）		
1	心理行動セグメント	生活者全体を、その性向や行動の特徴が均質と捉えられるような群に分割していった場合の、その群のことを言う。
2	ディープデータ	生活場面でのウェアラブルセンサで収集される多人数のビッグデータに対して、少人数でも実験室等で高精度に多項目を計測したデータ。
【A-4-11】「AI×ロボットによる高品質細胞培養の自動化とオミックスデータの大規模取得」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、Axcellead Drug Discovery Partners 株式会社、再委託先：国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人東京大学）		
1	イメージングデータ	光学顕微鏡による画像データのことで、蛍光染色画像および位相差画像を想定している。
2	オミックスデータ	細胞内部の状態を表す分子データのことで、遺伝子の発現状態を示すトランスクリプトーム、蛋白質の発現状態を示すプロテオーム他がある。
3	株化細胞	実験室での培養実験を目的として頒布される細胞。無限に増殖できるなど自然な細胞と異なり、実験室で扱いやすいように改変されている。
【A-4-12】「AI 活用による安全性向上を目指したスマートモビリティ技術の開発」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）		
1	外界センサ／ 内界センサ	周囲の状態を検出するセンサ／内部状態を検出するセンサ。
【A-4-13】「人工知能技術を用いた植物フェノミクスとその応用に関する先導研究」 （委託先：特定非営利活動法人植物工場研究会、国立研究開発法人産業技術総合研究所、鹿島建設株式会社、国立大学法人千葉大学）		
1	植物フェノミクス	「植物の形質と成長量は遺伝的要因と環境要因の総合作用の結果である」との立場で、ゲノム（遺伝子の総体）と環境とフェノム（形質と成長量の総体）の関係を一体的に扱う新しい研究分野。

【A-4-14】「コンビニ等の店舗内作業を対象とした AI×ロボティクスによる高度マテリアルハンドリング・システムの研究開発」 (委託先：株式会社豊田自動織機、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学)		
1	セマンティック SLAM	従来の SLAM は、環境の三次元的形状特徴の対応付けに基づいて地図を作ることを行う。しかし、形状特徴だけではなく、既知の視覚特徴の存在を検出できればその特徴の対応付けをも利用する地図を作ることが可能となる。さらに、出来上がる地図は幾何学的形状の地図だけではなく、地図の中に既知ラベルが付随した地図を同時に作り上げてゆくことが可能となり、環境の中に存在する識別可能な既知物体の配置情報を備えた地図を得ることが可能となる。
【A-4-15】「イノベーション・リビングラボの先導研究」 (委託先：学校法人東京電機大学)		
1	工業所有権	特許権、実用新案権、意匠権、商標権などの総称。
【A-5】平成 29 年度採択（調査研究）＜AI コンテスト方式＞		
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発 研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発 研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発		
【A-5-1】「多様話者・多言語に対応可能な“End-to-End 音声認識 AI”の実用化」 (委託先：Hmcomm 株式会社) ＜最優秀賞＞		
1	End-to-End 音声認識	音声認識において識別モデルを使用し、音声もしくは音声特徴量から直接テキストを推定する手法。
2	DNN	多層（一般に 4 層以上）のニューラルネットワーク（Deep Neural Network）の略称。
3	CNN	主に画像認識等で使用される、畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network）の略称。
【A-5-2】「人工知能による診療科推論等の調査研究」 (委託先：AR アドバンステクノロジー株式会社、株式会社島津製作所) ＜優秀賞・審査員特別賞＞		
1	診療科	病院や診療所などにおける医療における診療の専門分野区分のこと。
【A-5-3】「スマホで育てる日本発個人向け人工知能」 (委託先：SOINN 株式会社) ＜優秀賞・審査員特別賞＞		
1	機械学習	人間が自然に行っている学習能力と同様の機能をコンピュータで実現しようとする技術・手法のこと。
【A-5-4】「深層学習を利用した対話型インターフェースによる非構造化データ検索の調査研究」 (委託先：株式会社 BEDORE) ＜優秀賞・審査員特別賞＞		
1	質問応答システム	本研究では特に、文章と文章に関連する質問が与えられたときに文章から質問の回答を自動的に生成する技術を指す。
【A-5-5】「五感 AI カメラの開発」 (委託先：アースアイズ株式会社) ＜審査員特別賞＞		
1	五感	五感（ごかん）とは、動物やヒトが外界を感知するための多種類の感覚機能のうち、古来からの分類による 5 種類、すなわち視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚をさす。
【A-5-6】「契約書関連業務における抜本的バックオフィス改革人工知能の調査研究」 (委託先：株式会社シナモン) ＜審査員特別賞＞		
1	バックオフィス	企業などの組織において、事務・管理業務等を担当し、顧客に直接対応するフロントオフィスを支援する部門。人事・経理・総務・情報システム管理部門等。

B. 革新的ロボット要素技術分野

番号	用語名	説明
【B-1】平成27年度採択①（先導研究→研究開発）		
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）		
【B-1-1】「人検知ロボットのための嗅覚受容体を用いた匂いセンサの開発」 (委託先：国立大学法人東京大学、住友化学株式会社、地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所)		
1	嗅覚受容体	生物の嗅細胞膜に局在する膜タンパク質。個々の嗅覚受容体が別々の匂い分子を受容・結合し、細胞内に様々な信号を伝える。
2	脂質二重膜	2層のリン脂質膜が疎水性部分を内側に、親水性部分を外側に配置することで形成する細胞膜の一般的な構造。
3	プロテオリポソーム	膜タンパク質が組み込まれた脂質二重膜が小胞を形成したもの。
4	ハイドロゲル	ゲル化した緩衝溶液。本研究では鼻の中の粘液を模倣するために用いた。
【B-1-2】「次世代ロボットのためのマルチセンサ実装プラットフォーム」 (委託先：国立大学法人東北大学、共同実施先：学校法人名城大学)		
1	ASSP	Application Specific Standard Produce：特定用途標準品。
【B-1-3】「ロボットの全身を被覆する皮膚センサの確立と応用開発」 (委託先：国立大学法人熊本大学)		
1	圧電膜	力・歪と電気信号を変換する圧電材料を膜状に成形したもの。膜表面の力分布取得や薄膜デバイス・センサに利用する。
2	ゾルゲルスプレー法	圧電膜の形成手法の一つで、圧電ゾルゲル溶液と圧電セラミック粉体の混合体をスプレーすることで柔軟性・高温耐性に優れた膜を得る。
研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）		
【B-1-4】「高強度化学繊維を用いた『超』腱駆動機構と制御法の研究開発」 (委託先：国立大学法人東京工業大学、再委託先：株式会社横浜ケイエイチ技研、株式会社アトックス)		
1	プリロード加工	素線を組み合わせロープとして編んだ後、初期伸びを取るため、予め張力を与え引っ張る（延伸させる）加工のこと。
2	ポアソン比	物体に弾性限界内で応力を加えたとき、応力に直角方向に発生するひずみと応力方向に沿って発生するひずみの比。
【B-1-5】「可塑化PVCゲルを用いたウェアラブルロボット用ソフトアクチュエータの研究開発」 (委託先：国立大学法人信州大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：セーレン株式会社)		
1	PVC	ポリ塩化ビニル。
【B-1-6】「高効率・高減速ギヤを備えた高出力アクチュエータの研究開発」 (委託先：国立大学法人横浜国立大学、再委託先：日本電産シンポ株式会社)		
1	バックドライバリティ	逆可動性。アクチュエータや動力伝達機構において、出力節に適当な力を加えたときに、その節が可動し、かつそれが入力節側に伝わる性質のこと。
【B-1-7】「全方向駆動機構を核とした革新的アクチュエーション技術の研究開発」 (委託先：国立大学法人東北大学)		
1	全方向移動・駆動	全ての方向、つまり任意方向への移動・駆動する動作。

【B-1-8】「スライドリング材料を用いた柔軟センサーおよびアクチュエータの研究開発」 (委託先：豊田合成株式会社、アドバンスト・ソフトマテリアルズ株式会社、再委託先：国立大学法人東京大学)		
1	アクチュエータ	入力されたエネルギーを物理的運動に変換するものであり、機械・電気回路を構成する機械要素である。能動的に作動または駆動するもの。
【B-1-9】「慣性質量を含むインピーダンス可変機構を有するスマートアクチュエータ」 (委託先：学校法人早稲田大学) <先導研究にて終了>		
1	バックドライバビリティ	逆可動性。アクチュエータや動力伝達機構において、出力節に適当な力を加えたときに、その節が可動し、かつそれが入力節側に伝わる性質のこと。
【B-1-10】「小型油圧駆動系と燃料電池・電池ハイブリッド電源によるフィールドアクチュエーション技術」 (委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了>		
1	MCU	Micro Controller Unit の略。一つの集積回路にコンピュータシステムをまとめた、組み込み用のマイクロプロセッサのことである。
【B-1-11】「人間との親和性が高いウェアラブルアシスト機器のための可変粘弾性特性を有する革新的ソフトアクチュエータシステムの開発」 (委託先：学校法人中央大学、再委託先：株式会社ブリヂストン)		
1	可変粘弾性	粘性（粘り気）と弾性（柔らかさ）が可変なこと。
2	ジャミング転移	粒子の集合体が密度により硬さを変化させる現象のこと。本現象は、粒子を封入した密封袋を減圧することで、人工的に起こすことができる。
【B-1-12】「高分子人工筋肉アクチュエータによる柔らかな運動支援装具の研究開発」 (委託先：国立大学法人九州大学、国立大学法人名古屋大学) <先導研究にて終了>		
1	TCPA	Twisted and Coiled Polymer Actuator の略。ナイロンコイルアクチュエータとも言われる。
研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術		
【B-1-13】「ロボット知能ソフトの透過継続システムインテグレーション技術の研究開発」 (委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了>		
1	オープンソースソフトウェア	ソースコードが利用可能で、著作権保持者がどんな目的のためでもソフトウェアを、学習、変更、そして配布するための権利を提供するというライセンスに基づいたソフトウェアである。
【B-1-14】「人共存環境で活動するロボットのための HRI 行動シミュレーション技術」 (委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所)		
1	HRI	ヒューマンロボットインタラクション。移動場面における人々とロボットとの関わり合いのことを指す。
【B-1-15】「接触を許容しながら安全かつ不快感を与えずに移動する自律移動技術の研究開発」 (委託先：パナソニック株式会社、学校法人早稲田大学)		
1	バンパ	衝撃や振動を和らげる緩衝装置のこと。素材自体の弾力性やバネなどを利用して衝撃を吸収・緩和する。

【B-1-16】「生物ロコモーションの本質理解から切り拓く大自由度ロボットの革新的自律分散制御技術」 (委託先：国立大学法人東北大学) <先導研究にて終了>		
1	コンセルティーナ ロコモーション	へビが、狭窄空間において自身の身体の一部を壁に接触させ、身体が壁から受ける力を利用して前方へ推進する移動様式のこと。
【B-1-17】「行動記憶レイヤ統合に基づく衝撃対応実時間行動システム中核総合化研究開発」 (委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了>		
1	アクチュエータ	入力されたエネルギーを物理的運動に変換するものであり、機械・電気回路を構成する機械要素である。能動的に作動または駆動するもの。
【B-1-18】「知識の構造化によるロボットの知的行動研究開発」 (委託先：学校法人明治大学、共同実施先：TIS 株式会社)		
1	プロセス管理	オペレーティングシステムの主にカーネルの重要な機能の一つで、プロセスの生成・実行・消滅を管理することである。プロセス間通信や排他制御もプロセス管理の役割である。また、プロセスへのリソースの割り当てを制御する機構でもある。
【B-2】平成27年度採択② (RFI) を踏まえた調査研究→先導研究→研究開発)		
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術 (スーパーセンシング)		
【B-2-1】「安全・小型・軽量なマン・マシン・インターフェースの開発」 (委託先：株式会社栗本鐵工所、再委託先：国立大学法人山形大学、国立大学法人大分大学、国立大学法人大阪大学) <調査研究にて終了>		
1	ナノ MR 流体	MR 流体は、磁場に伴って粘性が変化する機能性流体の一種。鉄粒子をオイルに分散させたものであるが、ナノ粒子を採用することによって粒子沈降やトルク不安定を改善したものの。
2	マン・マシン・インターフェース	マスタースレーブロボットのマスター部分をいう。スレーブは本研究を経て協業者を模索する予定であり、今回は仮想的に力触覚を再現した。
3	力触覚	皮膚表面で感じる触覚、筋肉から感じる力覚とを合わせた総称。
【B-2-2】「機能性ポリマーを用いた移動ロボットの吸着機構の研究開発」 (委託先：学校法人名城大学)		
1	SWA	Super Wet Adsorption の略。提案する、濡れ性を用いた吸着機構のこと。
【B-2-3】「コンデンサ化マテリアル基材によるソフトアクチュエータ開発」 (委託先：国立大学法人岐阜大学、株式会社ブイ・アール・テクノセンター) <調査研究にて終了>		
1	DEA	Dielectric Elastomer Actuator の略。誘電体合成ゴムアクチュエータ。柔軟性を持つ素材に電気を流すことによって塑性変形を発生させる伸縮駆動素材。
研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術 (スマートアクチュエーション)		
【B-2-4】「剛性と柔軟性を融合させるスマートメカニクス」 (委託先：国立大学法人筑波大学)		
1	インピーダンス	正確には、機械インピーダンスという。力に対して変位がどの程度応答するかを表す、動的な機械的やわらかさの指標。
2	MR 流体	磁気粘性流体 (Magnetorheological Fluid)。油の中に磁性体の微粒子を混合させた流体ありで、磁場をかけると見かけの粘性が大きく変化する。

【B-2-5】「次世代ロボット素材など要素技術の調査研究と次世代ロボットの試作開発」 (委託先：株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所) <調査研究にて終了>		
1	ケーブルレス化	ロボットへのパワー供給を非接触給電、無線通信とすること。
2	インテリジェント化	FA化を図り、安全性、信頼性を向上させること。
【B-2-6】「把持機能と認識機能の統合による高度なマニピュレーションの実現」 (委託先：国立大学法人神戸大学、共同実施先：国立大学法人金沢大学、国立大学法人信州大学) <調査研究にて終了>		
1	マニピュレータ	ロボットの腕や手に当たる部分を指し、実験室等における放射性物質の遠隔取り扱いなど、広義の産業用ロボットの分野で使われる。
【B-2-7】「IoT時代に対応したORiN3の戦略及び仕様作成」 (委託先：一般社団法人日本ロボット工業会)		
1	IPA	独立行政法人情報処理推進機構。
【B-2-8】「動物の骨格・動作分析による、走破性が高い省エネ型脚機構の開発」 (委託先：学校法人日本医科大学 日本獣医生命科学大学、株式会社テムザック) <調査研究にて終了>		
1	フォースプレート	動作解析に使用する測定機器の一つ。動物が床面に埋め込まれたフォースプレートを踏んだ際の床反力を測定する。
研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術		
【B-2-9】「広角・多波長レーザーレーダーによる超高感度コグニティブ視覚システム」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人慶應義塾、株式会社ジェネシス)		
1	DSP	Digital Signal Processingの略。高速に信号をデジタル処理することで、数学を駆使してノイズ除去、信号の補正などを実現する技術。
【B-2-10】「非整備環境対応型高信頼ヒューマノイドロボットシステムの開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	差分デバッグ	ソースコードへの変更を、独立に適用してテストを繰り返すことにより、回帰エラーの混入箇所を自動同定する手法。
【B-2-11】「超低侵襲、超低負担な神経電極デバイス技術のBMI応用」 (委託先：国立大学法人豊橋技術科学大学、共同実施先：国立大学法人新潟大学、国立大学法人旭川医科大学)		
1	BMI	Brain-Machine Interfaceの略。脳の神経ネットワークに流れる微弱な電流から出る脳波を計測機器によって感知し、これを解析する事によって人の思念を読み取り、電気信号に変換する事で機器との間で情報伝達を仲介する。
【B-2-12】「脳活動モデル同定と内部状態推定に基づくBMI技術」 (委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所) <調査研究にて終了>		
1	BMI	Brain-Machine Interfaceの略。脳の神経ネットワークに流れる微弱な電流から出る脳波を計測機器によって感知し、これを解析することによって人の思念を読み取り、電気信号に変換する事で機器との間で情報伝達を仲介する。
【B-2-13】「脳波によるヒト型ロボット高速制御技術の実現可能性に関する検討」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)		
1	事象関連電位	注意の高まりを反映した瞬間的な脳波の成分。
2	仮想意思決定関数	研究代表者が考案した、高速・高精度で脳活動から意思を解読するための関数。

【B-3】平成28年度採択（先導研究→研究開発）		
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）		
【B-3-1】「自由曲面に貼れるナノチューブ面状電極の研究開発」 (委託先：富士化学株式会社、国立大学法人信州大学)		
1	エラストマー	ゴム弾性を有する工業用材料の総称。
【B-3-2】「ロボットに実装可能な MEMS 味覚センサ」 (委託先：国立大学法人東京大学)		
1	SPR	Surface Plasmon Resonance（表面プラズモン共鳴）。金構造に特定の入射角度・波長で光を照射した際に、光が反射されず、金構造のプラズモンを励起するエネルギーに変換される現象。プラズモン励起が発生する光の入射角度・波長が、金構造の接している対象の誘電率によって変化するため、金構造表面の物質の特定に利用することができる。本研究ではこの現象を利用して味物質の有無を判別する。
【B-3-3】「味覚センサの高機能化による食品生産ロボットの自動化」 (委託先：国立大学法人九州大学、共同実施先：株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー、UCC 上島珈琲株式会社、富士食品工業株式会社)		
1	脂質高分子膜	味覚センサの受容膜であり、脂質と可塑剤、高分子（ポリ塩化ビニル）から構成される。測定対象である味質（酸味、苦味、甘味、塩味、うま味）毎に、用いる脂質や可塑剤の種類や濃度が異なる。膜をはさんで電圧が発生し（膜電位）、この膜電位が味物質の濃度増加で増加する。基本、脂質高分子膜は1つの味質に応答するように設計されており、実際に食品や医薬品メーカーにて使われているが、今回、開発課題の1つである人工甘味料用センサについては、旧来の膜では、渋味にも大きく応答するという欠点を有していた。
研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）		
【B-3-4】「分子人工筋肉の研究開発」 (委託先：国立大学法人東京工業大学、国立大学法人北海道大学、国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学、共同実施先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人関西大学、国立大学法人大阪大学)		
1	サルコメア	筋肉の基本構造。実際の生物ではアクチンフィラメントとミオシン鎖から構成される。人工サルコメアでは微小管とキネシンロッドで構成する。
2	DNA オリガミ	DNA 鎖から構成されるナノ構造体。DNA 一本鎖を 100 本以上の DNA 断片を用いて部分的に二重らせんを形成することで複雑な形状を実現する。
3	キネシン	分子モーターの一種。アデノシン三リン酸（ATP）を消費しながら微小管上を一方方向に移動する性質を持つ。
研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術		
【B-3-5】「イメージセンサーを用いた環境認識処理の高速飛行体への適用」 (委託先：エアロセンス株式会社、再委託先：国立大学法人東京大学)		
1	SLAM	自己位置推定と環境情報のマッピングを同時に行う技術。
2	LiDAR	測距センサ。
【B-3-6】「高速環境認識・飛行経路生成制御技術の研究開発」 (委託先：株式会社自律制御システム研究所、国立大学法人信州大学、再委託先：SOINN 株式会社、国立大学法人千葉大学)		
1	UAV	Unmanned aerial vehicle の略。人が搭乗しない航空機の総称。
【B-3-7】「フライトレコーダを用いた安全性向上に向けた枠組みの研究開発」 (委託先：本郷飛行機株式会社)		
1	フライトレコーダ	航空事故原因解析のため、高度、速度、荷重の大きさを示す G、エンジン回転数など飛行に関するデータを運航中常時記録保存しておく装置。

【B-3-8】「UAV 向けフライトレコーダと不時着技術の研究開発」 (委託先：株式会社菊池製作所、国立大学法人徳島大学、公立大学法人会津大学、学校法人早稲田大学)		
1	FDR	フライトデータレコーダ。
2	IMU	Inertial Measurement Unit 3 軸の角度（または角速度）と加速度を検出する装置。UAV に搭載し機体姿勢や速度の検出を行う。
【B-3-9】「フライトレコーダの標準化及び小型無人航空機の事故原因解析の研究開発」 (委託先：ブルーイノベーション株式会社、国立大学法人東京大学)		
1	JUIDA	2014 年 7 月に、国内初の無人航空機分野の発展と産業への利活用の普及を目的に、一般社団法人日本 UAS 産業振興協議会（JUIDA: Japan UAS Industrial Development Association）が設立された。理事長は、東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻の鈴木真二教授、事務局はブルーイノベーションである。JUIDA は、国内・国外の団体、企業、政府機関、研究機関など約 370（2016 年 5 月時点）の会員数を有し、国内の無人航空機の団体としては最大の規模であり、国内の無人航空機産業界の中で重要な役割を担っている。2015 年には、国内初の無人航空機試験飛行場（つくば、けいはんな）の設立、安全ガイドラインの策定、無人航空機操縦者の技能を高めるためのパイロットライセンス（操縦技能証明書、安全運航管理者証明書）の発行と、操縦技能を学ぶドローンスクール（JUIDA 認定校）をスタートした。また、JUIDA は、欧州で最大規模の産業用無人航空機の国際組織である UVS International と国際連携を行なうなど、世界の無人航空機業界との繋がりを有している。
2	フライトデータレコーダ	FDR : Flight Data Recorder。
3	ICAO	国際民間航空機関（ICAO : International Civil Aviation Organization）。
【B-3-10】「人の手に近い高性能で堅牢性を併せ持つロボットハンドの開発」 (委託先：ダブル技研株式会社、公立大学法人首都大学東京 東京都立産業技術高等専門学校)		
1	ロバスト性	ある系が応力や環境の変化といった外乱の影響によって変化することを阻止する内的な仕組み、または性質のこと。
【B-3-11】「支援・被支援双方にやさしい汎用人工手の研究開発」 (委託先：学校法人慶應義塾、再委託先：マイクロテック・ラボラトリー株式会社)		
1	簡易上肢機能検査	大きさ・重さ・形・素材が異なる物品をそれぞれ移動させ、移動に要する時間を測定することで、上肢動作を評価すること。

「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」基本計画

ロボット・AI部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

① 政策的な重要性

少子高齢化による生産年齢人口の減少下における製造業の国際競争力の維持・向上やサービス分野の生産性向上、地域資源を活用した新産業の育成等による地域の活性化等、今後の我が国社会の重大な諸課題に対し、特に有効なアプローチとして、人間の代替となる、又は人間以上の能力を発揮する人工知能とロボットの活用が大きく期待される。

また、少子高齢化、労働力不足、インフラ老朽化対策、災害等課題対応先進国である日本において高度な人工知能を備えたロボットを用いた解決の切り札を創り出し、世界に先駆けた技術を示すことで、世界へ売り出す魅力ある製品・サービスの実現につなげることができる。

経済産業省が2014年から開催した「日本の「稼ぐ力」創出研究会」では、ビッグデータ・人工知能の活用の重要性が指摘され、国内研究拠点の設立が提言されている。総務省情報通信政策研究所では、インテリジェント化が加速しているICT（Information Communication Technology）が社会にどのような影響を与えるかを展望し、課題の整理と今後の取組に係る提言を行うため、「インテリジェント化が加速するICTの未来像に関する研究会」を開催している。経済産業省では、産業構造審議会（商務流通情報分科会 情報経済小委員会）において、「Cyber Physical System（CPS）」によるデータ駆動型社会の到来を見据え、我が国が持つ強みを戦略的に活用し、企業の先進的なチャレンジを促していくための環境整備等についての議論がなされており、2015年4月に中間とりまとめが発行された。

「日本再興戦略 改訂2015」（2015年6月30日閣議決定）では、IoT（Internet of Things）、ビッグデータ、人工知能による産業構造・就業構造変革の検討が主要施策の一つとして掲げられている。2015年8月には、IoT、ビッグデータ、人工知能等による変革に的確に対応するため、産業構造審議会に「新産業構造部会」が設置され、IoT、ビッグデータ、人工知能等の発展がどのような経済・社会的インパクトをもたらし、これに向けてどのような対応を取っていくべきか、官民が共有できるビジョンを策定すると共に、官民に求められる対応について検討を進めることとなった。この中で、次世代の人工知能技術の研究開発体制として、経済産業省、総務省、文部科学省の3省が連携し、研究開発成果を関係省庁にも提供し、政府全体として更なる新産業・イノベーション創出や国際競争力強化を牽引することの重要性が述べられている。

さらに、同戦略を踏まえ、IoT・ビッグデータ・人工知能時代に対応し、企業・業種の枠を超えて産官学で利活用を促進するべく、2015年10月に「IoT推進コンソーシアム」が設立された。今後、IoT等に関する技術開発・実証や新たなビジネスモデルの創出等の取組を通じて、内外のIoT関連の投資を呼び込み、グローバル経済下で我が国関連産業が存在感を発揮する活動が期待される。あらゆるモノがインターネットに接続され、情報を交換し、相互に活用しあう仕組みであるIoTが今後も一層社会に浸透すると考えられる中、例えばビッグデータの情報処理をデータセンタなどで行うクラウドコンピューティング等において、人工知能の活用が大いに考えられる。

また、2016年4月12日に開催された、第5回「未来投資に向けた官民対話」での総理発言を踏まえ、人工知能技術の研究開発に係る経済産業省、総務省、文部科学省の3省連携を深化させるための司令塔となる「人工知能技術戦略会議」が創設され、人工知能技術の研究開発と成果の社会実装を加速化する体制が整えられ、人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップの検討が進められること

となった。

このような動きの中、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）は、同年4月18日付けで、ロボット・AI部内に「AI社会実装推進室」を設置し、産業化のロードマップ等を検討する「産業連携会議」の各種タスクフォースの運営支援等を始めとし、人工知能技術の社会実装を研究開発と両輪で推進する体制をとっている。

「日本再興戦略 2016」（2016年6月2日閣議決定）では、今後の生産性革命を主導する最大の鍵として、IoT、ビッグデータ、人工知能、ロボット・センサの技術的ブレイクスルーを活用することの重要性が示されている。

日本政府は2014年に「ロボット革命実現会議」を設置し、2020年までに国内のロボット市場規模を、製造分野で2倍（6,000億円から1.2兆円）、サービス等の非製造分野で20倍（600億円から1.2兆円）に拡大するとしている。2010年に経済産業省とNEDOが行った国内のロボット産業の将来市場推計調査では、サービス、農林水産、ロボットテクノロジー製品、製造分野を合わせて、2035年に9.7兆円の市場規模になると予測している。

こうした中で、ロボット新戦略にもあるとおり、日本が将来的にも世界最先端の地位であり続けるためには、現在のロボット技術に比して非連続な次世代ロボット要素技術の研究開発を、強力なリーダーシップのもとで行うことが極めて重要である。

② 我が国の状況

人工知能・ロボット技術は、知的な情報処理を行う（人工知能の他）、ロボット技術として、センサ、アクチュエータ等の要素、筐体、制御ソフトウェア等を高度に統合することにより実現される。人工知能技術に関しては、1971年から通商産業省（当時）が「パターン情報処理システムの研究開発」を行い、文字認識や指紋認識等の技術が開発された。次いで同省は、1982年に「第五世代コンピュータプロジェクト」を開始し、強力な並列推論コンピュータの開発を行った。

さらに、1992年からは「リアルワールド・コンピューティング・プロジェクト」を実施し、確率・統計的アプローチによる実世界のマルチモーダルデータの統合処理等の先駆的成果を得た。

人工知能技術以外の、センサ、アクチュエータ、インテグレーション技術等、ロボット要素技術に関しては、日本では、経済産業省が中心となって、2005年の愛・地球博以降、サービスロボットの実用化のために継続的な施策を実施している。

また、NEDOは2014年に「NEDOロボット白書2014」を発表し、ロボットを取巻く様々な課題と、現実的な観点からの今後の見通しや目指すべき姿などを示した。ロボット用ミドルウェア（RTミドルウェア）は、「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」（2006～2010年度）、「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」（2007～2011年度）等を通して共通プラットフォーム化が進められ、社会への普及を目指した活動が継続している。近年のロボットに関する研究開発は実証に重点が置かれており、多くの新たなロボットの実証成果が得られてきたが、次世代技術の研究開発も重要であり、今後のロボット市場創出のための、非連続で革新的なロボット要素技術開発が期待されている。総合科学技術会議で策定された第4期科学技術基本計画の中でも、ライフイノベーションとしてロボット手術や生活支援ロボットが挙げられている。さらに、「ロボット革命実現会議」がとりまとめたロボット新戦略において、「自律化」「情報端末化」「ネットワーク化」が進むことで劇的に変化するロボットを製造現場から日常生活まで様々な場面で活用し、社会における新たな付加価値を生み出す「ロボット革命」が求められている。

さらに、2016年1月に、2016～2020年度の「第5期科学技術基本計画」が閣議決定された。同計画において、今後強化する技術として人工知能やロボット、サイバーセキュリティ技術等が挙げられている。

2016年4月25日には、日本科学未来館において、人工知能技術の研究開発に係る経済産業省、総務省、文部科学省の3省及びその関係機関による連携のキックオフとして、今後の人工知能の研究開発と利活用や施策の連携をテーマに、第1回「次世代の人工知能技術に関する合同シンポジウム」を開催した。

③ 世界の取組状況

人工知能技術に関しては、海外では米国のGoogle、Facebook、Microsoft、Apple等、大手ITベンダーやITベンチャーにより活発に研究開発が行われている。IBMは、1997年にチェス専用マシン「DeepBlue」を開発し、人間のチャンピオンに勝利した。さらに、2009年には人工知能アプリケーション「Watson」を開発し、米国のクイズ番組Jeopardy!で人間のチャンピオンに勝利した。その後、同システムは医師のがん治療のサポート、個人の資産運用のサポート、カスタマーサポート等へ適用されている。

また、2006年、カナダのトロント大学のGeoffrey Hinton教授により、従来のニューラルネットワークの認識力を上回るディープニューラルネットワーク（Deep Learning）が発表された。2012年には、人工知能分野の画像認識に関する国際大会（ILSVRC2012）において、トロント大学がディープラーニングを用いて従来手法に比べ飛躍的に高い認識精度を得た。現在、Google、Facebook、Baidu等の企業がディープラーニングの研究者を世界中から集めている。コンピュータハードウェアの分野では、人間の脳を模倣したチップ等、人工知能向けの革新的なハードウェアが研究開発されている。2014年、IBMは100万個のニューロン、2億5,600万個のシナプスを持つ大規模なニューロシナプティックチップ「TrueNorth」を発表した。これは、アメリカ国防高等研究計画局（DARPA）が主導する、ニューロン細胞の機能を再現するチップの開発プロジェクト「SyNAPSE（Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics）」（予算規模5,300万ドル）の成果である。同システムは、カエルの脳と同程度の規模であり、ニューロン数ではネズミの脳に匹敵する。カナダのD-Wave Systemsは、量子アニーリングマシンを開発している。

ロボット技術に関しては、米国では、2007年にDARPAが開催した「DARPA Grand Challenge」において、ロボットカーが標識や対向車等を認識し応答する画像認識機能を擁し、自律走行で市街地を想定した総延長96kmのコースをおよそ4時間で完走した。

DARPAは2012年には災害等に対応する技術を確認するためのコンペ「DARPA Robotics Challenge（DRC）」を新たに設定した。2013年12月には東京大学発ベンチャーのSCHAFT社がDRCの予選を1位で通過し技術力の高さを示した。これを受けGoogleが同社を買収している。欧州では、「FP7」（2007年～2013年）で「Cognitive Systems and Robotics」をICT分野のチャレンジ領域の1つに選定し、知能化技術に関する研究プロジェクトへ年約2億ユーロの投資をした。2014年から2020年までは後継の「Horizon 2020」が始まり、総額800億ユーロが投資される計画である。韓国ではユビキタスロボットコンパニオンプロジェクト（URC）が終了し、その成果の実用化が進められたが新規市場創出までには至らなかった。その後、同国の知識経済部が中心となり、2013年から10年間のロボット未来戦略を発表した。中国は国家中長期科学技術発展計画綱要（2006年～2020年）において、先端技術8分野の中で知的ロボットの技術開発を挙げている。

④ 本プロジェクトのねらい

人工知能・ロボット関連技術の熟度に応じて、1)すでに技術的に確立し社会への普及促進が図られる段階、2)技術的に概ね確立し実用化研究開発によりモデルを提示する段階、3)人工知能・ロボットの利用分野を念頭におきつつ人間の能力を超えることを狙う、又は人間に匹敵する大きな汎用性、ロバスト性等を有する革新的な要素技術を研究開発する段階の三つの領域に整理する。本プロジェクトでは、単なる現在の人工知能・ロボット関連技術の延長上にとどまらない、人間の能力を超えるこ

とを狙う革新的な要素技術を研究開発する。

具体的には、人工知能技術やセンサ、アクチュエータ等のロボット要素技術について、我が国と世界の状況に鑑み、速やかに実用化への道筋をつける革新的な要素技術を研究開発する。

また、人間を超越する又は人間に匹敵する人工知能、センサ、アクチュエータ等を新たな技術シーズとして研究開発し、これまで人工知能・ロボットの導入について考えもつかなかった分野での新たな需要の創出や我が国が強みを有する分野との融合による産業競争力の強化につなげていく。

特に、人工知能分野との関係においては、融合を進めるべき分野として次の3点が挙げられる。すなわち、

- 1) **AI for Manufacturing** : 我が国の高いものづくり力や世界シェア第1位の産業用ロボットと融合し、他の追従を許さない製造業や食品加工業等を実現する。例えば、ティーチングレスの産業用ロボットによる多品種少量生産の作業支援、組み立て作業時の異常予測等により、製造業や食品加工業等の生産性向上を図る。
- 2) **AI for Human Life / Services** : 我が国の高品質な農林水産業、サービス業、医療・介護、社会・交通インフラ等と融合し、農商工連携等を推進することで、豊かな生活を提供する。例えば、消費者行動を解析し、多様な業種を支援することで、サービスの高付加価値化により、生活満足度を向上させる。
また、人工知能の自律移動への応用として、自動車等に人工知能を搭載することで、認知・判断・操作に時間を要する高齢者にもやさしい移動手段を実現したり、ドローン（小型無人航空機）をはじめとする陸上・空中・水中等移動体、ビル、社会環境全体がロボットであるような場合を想定した人工知能技術とロボット技術の研究開発も実施したりすることなどが考えられる。
- 3) **AI for Science / Engineering** : 世界トップクラスの基礎科学と融合し、科学技術の発展を促進する。例えば、生命科学、臨床医学、材料工学等において、多様な実験データから仮説や新たな理論等を自動生成し、基礎研究を加速させる。

(2) 研究開発の目標

① アウトプット目標

本プロジェクトは、既存の技術やそのアプリケーションとは非連続な、いわゆる未踏領域の研究開発を実施する。このためのブレイクスルーを生み出す要素技術、あるいは、それらを統合するシステム化技術を研究開発し、実用化研究を開始できる水準にまで技術を完成させる橋渡し研究を本プロジェクトの目標とする。

なお、次世代人工知能技術とロボット要素技術の有機的な連携を図ることで、平成32年度には、次世代人工知能を実装した6種類のロボットの実現可能性を示す。

例えば、次世代人工知能技術においては、新しいサービスの実現へ向けた実用化研究を開始可能なレベルにまで人工知能フレームワークとモジュールを完成させ、それらを統合したロボットを含むアプリケーションを設定した上で、その実現可能性を示すことを目標とする。センサやアクチュエータ等のロボット要素技術においては、次世代人工知能技術の活用も考慮して、実用化研究を開始可能なロボット要素技術を組み込んだプロトタイプ機を試作することを目標とする。

② アウトカム目標

本プロジェクトの取組により生まれた成果を用いた人工知能・ロボット等の活用を通じて、人間の代替により労働力不足を補うアプローチに留まるのではなく、従来に比べて非連続なロボット技術がどのように社会から評価されるか、どのようなアプローチであれば人々に受容されるかを、心理学、社会工学や社会受容性の観点から考察・考慮した上で、様々な場面において、直接的あるいは間接的な複合的ロボットサービスとして、人類の生活を豊かにする機能を社会に提供する。こう

して開発した次世代人工知能技術及び革新的なロボット要素技術を応用して、「日本再興戦略 2016」において 2020 年には、IoT、ビッグデータ、人工知能、ロボットに係る 30 兆円の付加価値創出、2035 年には、ロボットについて、我が国の 9.7 兆円の市場創出に資する。

③ アウトカム目標達成に向けての取組

現在、産業用ロボットは基本的にティーチングされたとおりにしか動けず、エラーリカバリ等が十分でない。サービスロボットは開発途上であり、人間の幼児に及ばない。これらの原因は数多く存在するが、その主要なものとして、ロボットに人間ほど十分な知能が備わっていないこと、ロボットが人間ほど環境の情報を得て活用していないこと、ロボットのアクチュエータの出力重量比が人間に及ばないこと、ロボットのインテグレーション技術が非常に複雑であることなどが挙げられる。本プロジェクトはこれら課題の解決に向けたものであるが、ロボットが人間と協働する社会を実現するためには、これら課題の解決手段が単に研究開発されるだけでなく、認知され、試験的に活用され、人材が育成され、将来的に普及されていく必要があると考えられる。

そこで、NEDO は研究開発する技術間の連携を図るとともに、本プロジェクトの成果普及の素地を築くべく、機を捉えてワークショップを開催するなどの取組を通じて、本プロジェクトの情報発信を行う。

また、アワード方式（チャレンジプログラム）を開催するなどして本プロジェクトの成果物の試験的活用による動作確認や更なる研究開発の促進、一般への広報を図る。

さらに、我が国の人工知能分野の人材が少なく、小規模分散型である現状に鑑み、NEDO は先端分野や融合分野の技術を支える人材の育成と、人的交流の面から産学連携を促進する「場」を形成するため、NEDO 特別講座等を通じて、人工知能分野の人材育成、人的交流等の展開、周辺研究の実施等を行う。

本プロジェクトとは別に、NEDO では、ユーザーニーズや市場化出口に応える「ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト」を併せて実施しているところであるが、このような市場化技術開発の成果も必要に応じて活用することで、本プロジェクトとの相乗効果が期待される（例えば、市場化技術で開発されたロボットへの人工知能技術の適用により、より効率のよい動作が可能となるような効果）。

(3) 研究開発の内容

① プロジェクトの概要

変化の速いロボット分野で、計算機の指数関数的な性能向上の恩恵を十分に享受するためには、国内外のロボット関連技術の動向や水準を把握した上で、人とロボットの協働の実現等、データ駆動型社会を勝ち抜くための研究開発を推進することが必要であり、ブレイクスルーを生み出す革新的な要素技術、及び、それらを統合する革新的なシステム化技術の研究開発を行う。具体的には、ロボットが日常的に人と協働する、あるいは、人を支援する社会を実現させるため、大量の実世界データに基づいて人の状況や行動を理解する技術、ロボットが柔軟に行動を計画する技術等、必要だが未達な技術について、中核的な次世代人工知能技術と革新的ロボット要素技術を、別紙 1 の研究開発計画に基づき研究開発する。

なお、次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）は、研究開発成果を最大化するため、重要な研究開発テーマを選定し、課題設定型により実施する。平成 29 年度は、社会実装の実現可能性を評価するため、書面による審査に加えてデモンストレーションによる審査を経て、上位から委託費上限額を傾斜配分して実施する。次世代人工知能技術分野において平成 27 年度に拠点として委託した国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター（AIRC）と実施者が、共同研究開発等により連携することを考慮する。

また、次世代人工知能技術分野（研究開発項目⑦）は、平成 28 年度第 2 次補正予算として成立した経済産業省の「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」により、東京都臨海副都心地区及び千葉県柏地区に整備される国立研究開発法人産業技術総合研究所の産学官連携の施設において、国内外の叢智を集めて、平成 30 年度以降に実施される社会実装に向けた本格的な研究開発に繋げるべく、産学官連携による先導研究から実施する。具体的には、人工知能技術戦略会議において策定される「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」における当面の検討課題のうち、(1) 生産性、(2) 健康、医療・介護、(3) 空間の移動の 3 領域を踏まえ、AIRC の研究開発成果の実装や融合等を目指す人工知能技術の先導研究を課題設定型テーマ公募により実施する。

革新的ロボット要素技術分野（研究開発項目④、⑤及び⑥）は、革新的な新たなセンサやアクチュエータ技術の発掘を積極的に進めるため、テーマ公募型により実施する。特に、平成 28 年度は、解決が求められる社会課題に対応可能な、革新的なロボット要素技術を俯瞰したうえで、重点的な研究開発が必要と考えられるテーマを選定し、課題設定型テーマ公募により実施する。

次世代人工知能技術分野と革新的ロボット要素技術分野の研究開発内容で、有機的に連携させられるものは、機動的に連携を図っていき、次世代人工知能を実装したロボットを目指した研究開発を行う。

また、リスク・性能評価技術等、各種の手法・技術等を調査・研究する。

本プロジェクトは、実用化まで長期間を要するハイリスクで非連続な研究開発に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施するものであり、委託プロジェクトとして実施する。

次世代人工知能技術分野

研究開発項目①「大規模目的基礎研究・先端技術研究開発」

最新の計算論的神経科学の知見を取入れた脳型人工知能及びデータ駆動型の人工知能と知識駆動型の人工知能の融合を目指すデータ・知識融合型人工知能に関して、大規模なデータを用いた実世界の課題への適用とその結果の評価を前提とした目的基礎研究（大規模目的基礎研究）と、世界トップレベルの性能の達成を目指す先端技術の研究開発を実施する。

研究開発項目②「次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発」

広範な人工知能応用の研究開発や社会的実用化に資するため、研究開発項目①の成果である脳型人工知能技術、データ・知識融合型人工知能技術、その他大学や企業が保有する様々な人工知能技術をモジュール化し統合するための次世代人工知能フレームワークと、次世代人工知能技術を統合し、多様な応用に迅速につなげるための核となる先進中核モジュールの研究開発を実施する。

研究開発項目③「次世代人工知能共通基盤技術研究開発」

次世代人工知能の共通基盤技術として、人工知能技術の有効性や信頼性を定量的に評価し、性能を保証するための方法、そのために必要となる標準的問題設定や標準的ベンチマークデータセット等が満たすべき性質と構築の方法に関する研究開発を実施する。

また、それらを用いて、研究開発項目①、②の成果の評価を行う。

研究開発項目⑦「次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発」（平成 29 年度より実施）

次世代人工知能技術の社会実装が求められる領域として、「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」における当面の検討課題のうち、(1) 生産性、(2) 健康、医療・介護、(3) 空間の移動の 3 領域において、関連する課題の解決に資するため、次世代人工知能技術の社会実装に関す

る研究開発を先導研究から実施する。

なお、人工知能技術とものづくり技術との融合等を国内外の叡智を結集して、グローバルに行うことを考慮する。

革新的ロボット要素技術分野

研究開発項目④「革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）」

屋外等の外乱の多い空間でも、的確に信号抽出ができる画期的な視覚・聴覚・力触覚・嗅覚・加速度センシングシステムやセンサと行動を連携させて、検知能力を向上させる行動センシング技術等の研究開発を実施する。

研究開発項目⑤「革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）」

人共存型ロボットに活用可能なソフトアクチュエータ（人工筋肉）、高度な位置制御やトルク制御を組み合わせるソフトウェア的に関節の柔軟性を実現する新方式の制御技術や機構等の研究開発を実施する。

研究開発項目⑥「革新的なロボットインテグレーション技術」

実環境の変化を瞬時に認知判断し、即座に対応して適応的に行動する技術や個別に開発された要素技術を効果的に連携させ統合動作させるシステム統合化技術等の研究開発を実施する。

さらに、必要に応じて、次世代人工知能分野及び革新的ロボット要素技術分野の研究開発項目に関連し、将来有望又は必要とされる可能性がある技術的な課題について、その周辺技術や実現可能性について、別紙2に示す情報提供依頼（Request For Information: RFI）を行う。RFIにより、必要と考えられる技術に関しては、調査研究につなげる。さらに、調査研究の結果特に有望と考えられる技術に関しては、先導研究につなげる。

② 対象事業者

日本に登記されていて、日本国内に本申請に係る主たる技術開発のための拠点を有する、本邦の企業、大学等の研究開発機関等の事業者

③ 研究開発テーマの実施期間

5年を限度とするものとし、実施者は全期間に係る実施計画を策定する。ただし、RFIを受けた調査研究は、2年以内とする。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）の研究開発は、これらの研究開発項目が互いに密接に関連しており、総合的かつ集中的に行うことが必要かつ適切であると考えられることから、拠点を設け、産学官の英知を結集することにより実施する。

また、拠点の形成により、我が国の人工知能研究者の多くが個別に、実世界との接点が限られた中で研究している状況を変え、先進的な次世代人工知能の開発・実用化と基礎研究の進展という好循環の形成を図る（平成27年度より、AIRCを拠点として委託）。

次世代人工知能技術分野（研究開発項目⑦）は、グローバル研究拠点と連携しながら、次世代人工知能技術の社会実装を図る。

本プロジェクトは、研究者の創意工夫を最大限発揮することを目指し、PM (Project Manager) を設置し、NEDO ロボット・AI部 統括研究員の関根 久を任命する。PM は、実施体制の構築、予算配分、プロジェクトの実施等、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化することを念頭に任務を遂行する。PM は、その任務の遂行に当たって必要となる資金配分や技術開発内容の見直し、実施体制の変更の権限と裁量を有するものとする。具体的なPM の役割は、以下のとおりである。

A) 実施体制の構築

- PM は、策定した基本計画を公表し、本邦の企業、大学等の研究機関（本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から、国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる）から、公募によって研究開発テーマ事業実施者を選定し、委託により実施する。
- PM は、採択時には各研究開発項目の開発技術に対し、あらかじめ技術を活用できる想定タスク（ユースケース）とその典型的応用シーンにおける貢献方法を確認する。このことで、開発技術の用途を明確化し、実用性、有用性において将来のロボットを飛躍的に高めるための革新的要素技術であることを確認する。
また、想定タスクを実現するための段階的な目標として、ステージゲート及び最終評価時の到達目標、動作確認方法、評価基準をあらかじめ明確に設定する。
- PM は、公募に対する応募内容を踏まえながら、実施体制（案）を策定する。
- PM は、策定した実施体制（案）について、機構外部の専門家・有識者等からなる検討委員会の意見を踏まえ、実施体制を決定する。その際、PM の判断により、数多くの提案の一次スクリーニング等に部分的にピア・レビュー方式（産業界、学术界等の外部の専門家・有識者を活用した提案書の審査方式）を活用する。
- PM は、特定の実施者の採択による利益相反を未然に防止するため、必要に応じ上記の検討委員会等による確認体制を設ける。

B) プロジェクトの実施

- PM は、プロジェクトの実施期間中、NEDO 技術戦略研究センターの知見を活用しつつ、国内外の関連技術動向を把握するとともに、本プロジェクト全体の進捗を把握・管理し、その進捗状況を踏まえて、資金配分や技術開発内容の見直し、実施体制の変更、加速、方向転換、中断、新規実施者の組み込みなどを柔軟かつ機動的に行う。
- PM は、プロジェクトの成果の円滑な権利化及びその実用化・事業化を図るため、実施者間の知的財産の調整や標準化に関わる事項を主導する。

本プロジェクトにおいては、次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）は、主に拠点で研究開発が進められることから、拠点の長がPL (Project Leader) の役割を担うこととする。

NEDO は、平成 27 年度に実施した公募の結果、拠点として採択したAIRC 研究センター長の辻井潤一 氏を次世代人工知能技術分野のPL とする。PL は、プロジェクトをより効率的かつ効果的に遂行するために、プロジェクトの技術目標等の達成に向けた取組、研究開発の進捗状況の把握、プロジェクトの実施体制の構築・改変、事業者間等の予算配分、当該プロジェクトに参画する研究者の人選及びプロジェクトの成果の評価等に係る業務の全部又は一部について、NEDO と協議して実施する。

研究開発項目⑦については、PL は、「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」において整備される国立研究開発法人産業技術総合研究所の産学官連携の施設において、国内外の叡智を集めて、

平成 30 年度以降に実施される社会実装に向けた本格的な研究開発に繋げるべく、産学官連携による先導研究と AIRC の研究開発成果の実装・融合等を図る。

NEDO は、本プロジェクトの実施に当たり、当該分野の研究開発のより一層の効果的な推進のため、適切に行われるような措置を講じた上で、PM の役割のうち必要かつ適切な裁量を PL に担わせることができる（ただし、基本計画の策定と公表、公募、対象事業者の選定と委託及びステージゲート等の評価を除く。）。

また、NEDO は、総務省や文部科学省をはじめとした関係府省及びその関係機関と連携し、人工知能に関する実効性のある研究開発を推進する。

(2) 研究開発の運営管理

プロジェクトの管理・執行に責任を有する NEDO は、PM を置き、経済産業省と密接に連携させつつ、本プロジェクトの目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。

また、PM は、必要に応じて、NEDO に設置される検討委員会における外部有識者の意見を運営管理に反映させるなどを行う。具体的には以下の事項について運営管理を実施する。

① 研究開発テーマの公募・採択

- a) NEDO 又は PM は、ホームページ等のメディアを最大限に活用することにより公募を実施する。公募に際しては、機構のホームページ上に公募に係る事前の周知を行う。
また、地方の提案者の利便にも配慮し、地方での公募説明会を積極的に開催する。
- b) NEDO 又は PM は、機構外部からの幅広い分野の優れた専門家・有識者の意見を参考にしつつ、客観的な審査基準に基づく公正な選定を行う。特に、我が国の経済活性化により直接的で、かつ、大きな効果を有する案件を選定する。
- c) NEDO 又は PM は、選定結果の公開と不採択案件に対する明確な理由の通知を行う。
- d) 公募は原則として第 1 年度に実施するが、予算や社会動向、政策動向等に応じて適宜追加実施を検討することとする。
- e) 次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）については、研究開発項目①、②及び③全てを一体で遂行することを拠点の条件とする。次世代人工知能技術分野の一部の項目（研究開発項目①、②又は③）のみへの提案も可能とするが、実施に当たっては、拠点への参加を原則とする。

② 評価結果等に基づく研究開発テーマの予算配分の見直し等

非連続な研究開発を対象とする本プロジェクトにおいては、多様な可能性に対し幅広くチャンスを与え、進捗に応じて成果実現の可能性や期待がより明確となったテーマについて手当を継続する方式を採用する。大学・公的研究機関・企業等の優れたシーズ技術を対象として、技術的にブレイクスルーを達成できる目途を得るために、2 年以内の先導研究期間において、開発提案テーマの実現可能性を調査・検討し、本プロジェクトの技術推進委員会の助言のもと、NEDO 又は PM がテーマの絞り込みを行うステージゲート評価等を実施する。

また、このような機会を捉え、関連する研究開発を行っている文部科学省、総務省等の参画を得たワークショップ等を開催し、情報発信・収集を行う。その後、先導研究で技術の確立に見通しがついた研究開発等を 3 年目以降本格的な研究開発として実施する。テーマ終了翌年度に事後評価を行う。

なお、先導研究終了時点での評価結果が一定水準に満たない案件については、抜本的な改善策等が無いものは原則として中止する。

(3) その他

本プロジェクトは、非連続ナショナルプロジェクトとして取扱う。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 27 年度から平成 31 年度までの 5 年間とする。

4. 評価に関する事項

技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、技術評価実施規程に基づき、評価を行う。評価の時期は、中間評価を平成 29 年度、事後評価を平成 32 年度とし、当該分野に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ、必要に応じて加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 標準化等

得られた研究開発の成果については、標準化等を図るため、データベースへのデータの提供、標準案の検討及び提案等を積極的に行う。

② 知的財産権の帰属、管理等取扱い

委託研究及び共同研究の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

また、【次世代人工知能・ロボット中核技術開発】における知財マネジメント基本方針】に従ってプロジェクトを実施する。

なお、PM は、本プロジェクトの当初から、事業化を見据えた知財戦略を検討・構築し、適切な知財管理を実施する。適切な知財管理については、PM は、必要に応じ、そのための基本事項について公募時に示すこととする。

(2) 基本計画の変更

PM は、当該研究開発の進捗状況及びその評価結果、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、施策の変更、評価結果、事業費の確保状況、当該プロジェクトの進捗等を総合的に勘案し、研究開発内容、実施方式等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本研究開発は、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法」第 15 条第 2 号及び第 9 号に基づき実施する。

(4) その他

産業界が実施する研究開発との間で共同研究を行うなど、密接な連携を図ることにより、円滑な技術移転・実用化を促進する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 2015年5月、制定。
- (2) 2015年9月、次世代人工知能技術分野のPL (Project Leader) 決定に伴う改訂。
- (3) 2016年3月、事業名称の変更、研究開発動向等の変化による背景・目的等の加筆に伴う改訂。
- (4) 2017年3月、最新の政策・研究開発動向等を踏まえた背景・目的等の加筆及び研究開発項目⑦ (次世代人工知能技術分野) の追加に伴う改訂。

次世代人工知能技術分野

研究開発項目①「大規模目的基礎研究・先端技術研究開発」

1. 次世代脳型人工知能の研究開発

(1) プロジェクトの必要性

計算機の処理能力の指数関数的な向上と電子化されたデータ量のあらゆる分野での飛躍的な増大を背景として、人間では活用が不可能な大規模データを解釈して価値に変える人工知能技術のニーズが増大している。しかしながら、現在の人工知能技術はパターン認識、自然言語処理、運動制御等の課題において一定程度の性能を実現しているものの、多様な状況への対応力、汎用性、データの「深い理解」の度合い等の点で、いまだ人間の脳には遠く及んでいない。

人間の脳は、大脳新皮質の感覚野、運動野、言語野等の部位、古皮質の海馬、大脳基底核等の部位、小脳等の様々な部位を総合的に用いて様々な課題を解決していると考えられている。そして、それらの情報処理の原理やそれぞれの関係は、近年の脳科学研究、特に計算論的神経科学の急速な進展によって解き明かされつつある。

こうした背景の下、Deep Learning 等の人間の脳を模倣した情報処理原理による人工知能技術が注目を集め、画像認識等の分野で人間に近い性能を実現している。しかし、現状の Deep Learning 技術は神経科学の一部の知見を利用している段階にあり、今後より多くの知見を取入れていくことでさらに高い性能が得られる可能性がある。

また、現状の技術は、個別の課題に適用されている段階にあり、人間の脳のように多種多様な情報を同時に扱い、多様な課題を総合的に解決できる状況にはない。

そこで、人間の脳の情報処理原理に基づいた次世代人工知能を実現するために、計算論的神経科学の最新の知見を取入れた脳型人工知能技術の大規模目的基礎研究を実施する。

また、その成果も取込みつつ Deep Learning 等の先端技術を高度化し、大規模なデータを用いて、従来手法ではうまく解決できなかった実世界の課題で高い性能を示すことを目指す先端技術研究開発を実施する。それらにより、少子高齢化による生産年齢人口の減少下における製造業の国際競争力の維持・向上、サービス分野の生産性向上、地域資源を活用した新産業の育成等による地域の活性化等の多様な社会的課題の解決に貢献する。

(2) プロジェクトの具体的内容

大規模目的基礎研究として、最新の計算論的神経科学の知見をより深く取入れた、人間により近いレベルの人工知能技術を実現するための脳型人工知能技術の研究開発を実施する。具体的には、脳の各部位、例えば、

- ① 大脳皮質の領野間の結合の双方向性を模倣することで、周囲の文字の並びから曖昧な文字をロバストに認識し、周囲の色合いから照明条件を推測し色や形を認識するなど、文脈を利用した視覚情報のロバストな認識を可能とする人工視覚野
- ② 大脳皮質運動野の階層構造や大脳皮質と大脳基底核・小脳との双方向接続の構造を模倣することで、人間のように少ない経験から滑らかな運動を学習する人工運動野
- ③ 大脳皮質言語野と他の領野との間の解剖学的接続関係を模倣することで、外界との相互作用によって単語や文の意味を自律的に学習する概念獲得システム及び、文法制約と意味制約の両方を同時に満たす人工言語野

等の研究開発を実施し、実世界の課題に関する大規模データに適用して有効性を検証する。

先端技術研究開発として、Deep Learning 等の先端的技術の性能の向上、新たな機能の追加、新たな課題への応用に関する研究開発を実施し、実世界の課題に関する大規模データに適用して性能を評価する。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

大規模目的基礎研究については、脳型人工知能のプロトタイプを試験的に構築し、下記の証拠を全て示すことによって、その技術の有望さと、最終目標を十分に達成する見込みを示す。

- ① 小規模な人工データを用いて、従来技術では不得意だが脳が得意とする機能を有することを定性的に示す。例えば、画像認識システムにおいて、文脈の情報を利用して、遮蔽物で隠された物体をロバストに認識・学習する機能を有することなどを示す。
- ② システムがスケラビリティを持っていて、原理的に大規模化可能であることを示す。例えば、ニューラルネットワークの場合、ニューロン数に比例する程度の計算時間で動作することを示す。
- ③ 機械学習理論的な証拠や神経科学的な証拠等を複数示すことにより、将来的に脳に匹敵する性能を発揮しうる有望さを備えていることを示す。例えば、脳の視覚野を模倣したシステムの場合、視覚野の情報表現に関して知られている自明でない神経科学的知見が再現可能であることなどを示す。

先端技術研究開発については、研究開発項目③で構築する標準的ベンチマークデータに対する識別精度等何らかの計測可能な指標を設定するとともに、アルゴリズムの試験的な実装あるいはそれに相当する動作確認により、最終目標を十分に達成できる見込みを示す。

【最終目標】

大規模目的基礎研究については、研究開発項目②とも連携して、開発した手法を脳型人工知能システムの概念検証システムを構築し、実世界規模のデータ・課題で定量的な評価を行い、実用可能性を確かめる。実世界規模のデータ・課題とは、例えば、画像処理であればカメラから得られる動画像、運動制御であればロボットの実機若しくは物理エンジンを備えたシミュレータ、自然言語処理であれば WWW 等から得られる大規模なテキストデータを指す。さらに、概念検証システムの大規模並列実行環境を構築し、一度に入力するデータのサイズや処理の複雑さが増大しても、処理に必要な時間がほぼ変わらないことを確かめる。

先端技術研究開発については、研究開発項目②とも連携して、開発した手法を先進中核モジュールとして実装し、先導研究で設定した評価指標に関して、世界トップレベルの性能を達成可能なことを確認する。

2. データ・知識融合型人工知能の研究開発

(1) プロジェクトの必要性

近年、大量のテキスト、画像、音声、消費者行動履歴等のデータから確率分布や識別関数を学習し、新規なデータの分類・識別や観測できないデータの予測を行うデータ駆動型の人工知能技術が発展し、様々な分野で成功を収めている。しかし、多くの場合、大量に収集されて静的に蓄積された単一種類のデータを扱っており、時々刻々と変化する時間的・空間的な状況や個人ごとに変化する状況依存的で動的な多種類のデータを十分に活用するものにはなっていない。

また、そこで学習や予測された結果は人間にとって理解が困難であり、そのことが人工知能技術に対して不気味さや不安を感じさせ、人工知能技術の普及を妨げる要因になっている。

一方、人間に理解しやすい明示的な知識を記述することで知的なシステムを実現するという知識駆動型の人工知能研究の流れは、オントロジー、セマンティック Web、Linked-Open-Data (LOD) 知識ネットワーク等の形で発展し、検索システムや質問応答システム等の分野で成功を収めている。しかし、そうした知識の多くは人手で構築されたものであり、センサ等から時々刻々得られる大量のデータと密に連携するものにはなっていない。

こうした人工知能技術の二つの流れを融合することは、人工知能の基本問題である記号接地問題やフレーム問題、特徴表現学習、自然言語理解等とも密接に関係しており、もし融合できれば、時間的・空間的に局在する実世界大規模データの深い理解ときめ細かい活用を可能にするとともに、人工知能に人間との共通言語、共通表現を持たせて従来のブラックボックス的な人工知能の気持ち悪さを解消し、人間にとって理解・制御・協働しやすい人間協調型の人工知能が実現可能になると期待されるが、未だに十分な形では実現されていない。

そこで、後述するような、データ・知識融合型人工知能の大規模目的基礎研究と、先端技術研究開発を実施する。それによって、ロボットや社会環境等の複雑なサイバーフィジカルシステムを知的に制御して、システムの効率性、安全性、頑健性を向上させるとともに、人々の意思決定を支援して生活の質を向上させるサービスを実現して、様々な社会的課題の解決に貢献する。

(2) プロジェクトの具体的内容

多様で非構造的な実世界の大規模データと、Web やテキストアーカイブ内の大量のテキストや人間により構造化された知識ネットワーク等の大規模知識を有機的に融合することで、人間知能との親和性が高い学習、推論、問題解決の能力を実現するための、データ・知識融合型人工知能技術の大規模目的基礎研究及び先端研究開発を実施する。

具体的には、大規模目的基礎研究として、ユーザの行動データのような、時間的・空間的に局在する大規模データを、状況依存性や個人性を考慮してきめ細かくモデル化する技術、自然言語テキストや知識グラフ等で記述された大規模な明示的知識を各種のセンサから得られる大規模な実世界データと融合して学習・理解・推論・行動計画を行う技術、推論結果や行動計画を、人間にわかりやすい形で提示・説明することで、人間と協働しながら意思決定を行うための技術等の研究開発を実施する。

また、先端技術研究開発として、データ・知識融合に適すると考えられる先端的な機械学習手法やベイズ的な確率モデリング手法等の性能の向上、新たな機能の追加、新たな課題への応用に関する研究開発を実施し、実世界の課題に関する大規模データに適用して性能を評価する。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

大規模目的基礎研究については、データと知識を融合するための基礎技術を試験的に実装し、例えば、データと知識を融合することによる予測・識別性能の向上や人間にとっての理解可能性の向上を評価することにより、最終目標を十分に達成する見込みを示す。

先端技術研究開発については、研究開発項目③で構築する標準的ベンチマークデータに対する識別精度等何らかの計測可能な指標を設定するとともに、アルゴリズムの試験的な実装あるいはそれに相当する中間検証により、最終目標を十分に達成できる見込みを示す。

【最終目標】

大規模目的基礎研究については、研究開発項目②とも連携して、データ・知識融合型人工知能技術の概念検証システムを構築し、ロボット等の複雑なサイバーフィジカルシステムを深く理解し、制御するような実世界規模の複数の応用課題に適用して有効性を確かめる。例えば、実世界の非構造的なマルチモーダル時系列データを基に人間の行動をモデル化して予測、制御する課題、大規模なイベントや施設、都市において交通や人の行動をナビゲーションする課題、それらの課題に関して自然言語で質問応答する課題等による動作確認が考えられる。

先端技術研究開発については、研究開発項目②の成果とも連携して、先進中核モジュールとして実装し、先導研究で設定した評価指標に関して、世界トップレベルの性能を達成可能なことを確認する。

研究開発項目②「次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発」

(1) プロジェクトの必要性

これまでの人工知能技術の応用はインターネット上のデータや静的なデータ、知識を対象にするものが多いが、ビッグデータの活用により、今後は、未知の環境であっても過去の経験と蓄積を利用してロボバストに行動できる自律型ロボットのみならず、生活空間中の製品の利用状況、消費者行動等のデータに応じた製造・流通制御、需要に即応したエネルギーの生産・流通制御、パーソナルな移動やヘルスケア等の生活支援、ビルや都市環境の管理や制御等、様々な応用分野（新たな物質・材料及びプロセス等の開発や高度化、ドローンや自動運転車等の広義のロボット）へ発展することが期待されている。

実世界規模のデータと新しい課題に先端的な人工知能技術を迅速に適用していくためには、従来の普遍的で静的なデータや知識だけでなく、時間や空間、状況等への依存性が強く、特定の時間・空間にだけ存在し、時々刻々と変化する多種多様な大規模データや知識を、多様な端末、センサ、ロボット等を通して収集し、プライバシー等の観点から安全・安心に蓄積・管理し、学習や推論に利用し、適切な場所やタイミングでユーザや環境への働きかけを実現するための情報処理基盤と、それを有機的に使いこなす高度なプログラミングが必要となる。

また、実世界規模の複雑な課題に対処するためには、複数の要素機能のモジュールを統合する必要があるが、統合の方法が悪いと、誤差の伝播による性能の低下や組み合わせ爆発による著しい効率の低下を招くことになる。こうしたことが、人工知能の大規模目的基礎研究開発を困難にするとともに、幅広い応用課題に対して先端的な人工知能技術を迅速に適用することの妨げとなっている。

そこで、大規模なデータの収集・蓄積・管理・利用を容易にするとともに、各種の要素技術を容易に組み込み・統合することを可能にする情報処理基盤としての次世代人工知能フレームワークと、脳型人工知能やデータ・知識融合型人工知能の複数の要素技術を統合した先進中核モジュールの研究開発を実施する。

これにより、研究開発項目①の大規模目的基礎研究や先端技術研究開発の成果を組み込んだ各種の先進中核モジュールを研究開発し、それらを統合した実用的なシステムを容易に、かつ効率よく実装することを可能にし、利便性の高いサービスを迅速に提供しつつ、高度な次世代人工知能技術の研究開発のために必須となるデータの収集と基盤技術の改良を継続的に行うポジティブスパイラルを可能にする。こうして得られた研究成果を加速的に集積し、基礎研究から実応用開発に至る好循環の形成と、そこに携わる多くの研究者の協働の場としての次世代人工知能技術研究のプラットフォームを発展させることを通じて、我が国の次世代人工知能研究と実用化を促進し、人工知能技術の幅広い産業応用の創出にも貢献する。

(2) プロジェクトの具体的内容

次世代人工知能研究プラットフォームの形成に資する、次世代人工知能フレームワークの研究と、その中で動作する先進中核モジュールの研究開発を実施する。具体的には、蓄積されたデータ並びに時々刻々と得られるデータに対するスケーラブルなデータ蓄積機能、プライバシーやセキュリティに配慮した柔軟なデータアクセス機能、先進中核モジュールを統合する機能を備えた次世代人工知能フレームワークの研究を行う。

また、脳型人工知能、データ・知識統合型人工知能の要素技術を組み込んだ先進中核モジュールの研究開発を行う。さらに、複数の先進中核モジュールによる要素機能を次世代人工知能フレームワークの中で統合し、複数の大規模なサービスに適用して有効性を確認する。具体的には、例えば、生活中に局在するビッグデータからの学習推論によりユーザーモデルを構築して生活者の状況や意図の認識、行動理解を行うモジュールを統合した意思決定支援サービス、大規模な自然言語テキストの分析と理解に資するモジュールを統合した言語理解と意味を抽出するシステム、新たな物質・材料及びプロセス等を開

発するためにデータや知識から物性や製造プロセス等を学習・解析・発見するシステム、データから環境モデルや行動モデルを学習し、未知の環境で行動することや新規な作業を容易に学習・実行することに資するモジュールを統合した高度なロボット制御システム等の動作確認が挙げられる。これにより、新たな大規模目的基礎研究の成果を早期に実用化に結びつけることを可能にし、さらに様々な機能を統合した実用システムのアジャイルな開発も容易にすることで、人工知能研究の発展と人工知能技術の実用化の促進を加速する。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

実世界に局在するビッグデータをプライバシーの観点から安全・安心に活用し、高度な次世代人工知能技術を実現するための情報処理基盤としての次世代人工知能フレームワークと、複数の先進的中核モジュールを試験的に実装し、個別モジュールの性能の先進性を検証するとともに、それらを用いてユーザの意思決定支援や生活行動支援を行うサービスのプロトタイプを複数構築して、最終目標を十分に達成する見込みを示す。

【最終目標】

研究開発項目①と連携しつつ、ビッグデータの活用が期待されている実社会課題の領域を対象にして、時々刻々得られる大規模なデータをリアルタイムに活用する実社会サービスの研究開発を効率的に実施し、実際の生活空間の中で、時間・空間や状況に依存した高度な判断や生活行動を支援する複数のサービスが実現可能になることを示す。

こうした成果を通じて、複数の大学や企業が、開発した次世代人工知能フレームワークや先進的中核モジュールを用いて新規な次世代人工知能技術の研究開発や評価を効率的に行うことができる体制、エコシステムを実現する。

研究開発項目③「次世代人工知能共通基盤技術研究開発」

(1) プロジェクトの必要性

人工知能技術の社会適用を進めるためには、技術の有効性や信頼性を定量的に評価し、性能を保証することが重要である。しかしながら、人工知能技術は、多くの場合、多様な状況の下で柔軟に機能することを求められるため、その性能や信頼性の評価・保証は容易ではない。さらに、人工知能が学習能力を持つ場合には、システムが時々刻々と変化していく可能性があるために、その性能の評価・保証はより一層困難な課題となる。このことは、最先端の人工知能技術の継続的な進歩と実社会課題解決への採用を妨げることにもつながっている。

そこで、次世代人工知能共通基盤技術研究開発として、人工知能技術の有効性や信頼性を定量的に評価し、性能を標準的に保証するための方法、そのために必要となる標準的な問題設定、ベンチマークデータセットが満たすべき性質と構築の方法に関する研究開発を実施する。

また、関係学会等との連携等を通じて、標準化に向けて活動を行うと共に、企業との連携等を通じて、橋渡しに向けて活動を行う。これにより、次世代人工知能技術研究のプラットフォームの形成に資することを通じて、人工知能技術の幅広い産業応用の創出に貢献する。

(2) プロジェクトの具体的内容

次世代人工知能技術の評価手法、評価のための標準的な問題設定やベンチマークデータセットの構築方法に関する研究開発を実施する。具体的には、統計的な機械学習手法やデータマイニング手法の性能や信頼性を評価するための、理論的・実験的な枠組みに関する研究開発を行う。

また、実世界での標準的な大規模課題を選定し、そこにおける性能や信頼性の評価・保証のための現実的な方法に関する研究開発を行う。さらに、評価に用いる標準的なベンチマークデータセットを構築するとともに、それらを用いて実際に研究開発項目①、②の評価を行いつつ、データセットの収集・構築・改良の方法について研究開発を行う。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

評価用の課題の選定や設定方法、ベンチマークデータセットの収集・構築方法を定める。その方法に基づいて複数の標準的課題（タスクセット）を設定するとともに、標準的ベンチマークデータセットを構築して、研究開発項目①、②の研究開発の中で次世代人工知能技術の性能や信頼性の評価を試みる。

【最終目標】

先導研究の結果から改良点を洗い出し、複数の標準的課題（タスクセット）を設定するとともに、標準的ベンチマークデータセットを構築して、研究開発項目①、②の研究開発の中で次世代人工知能技術の性能や信頼性の評価方法を確立する。

研究開発項目⑦「次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発」 (平成 29 年度より実施)

(1) プロジェクトの必要性

今後、我が国産業が欧米等とのグローバル競争に伍していくためには、人工知能技術そのものの研究開発に加えて、国内外の叡智を結集し、人工知能技術とものづくり技術との融合等をグローバルに行うことが重要である。これを踏まえ、平成28年度第2次補正予算として成立した経済産業省の「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」では、人工知能技術に関する最先端の研究開発・社会実装を産学官が連携して強力に推進するために、国立研究開発法人産業技術総合研究所が、東京都臨海副都心地区及び千葉県柏地区に産学官連携の施設を整備し、次世代人工知能技術の社会実装の加速を図ることとされている。

そこで、我が国が国際優位性を有するものづくり（ロボティクス及び材料・デバイス）等とその良質な現場データを活かした人工知能の実現による生産性、健康、医療・介護、空間の移動の3領域等における知能化を目指した研究開発を先導研究から実施する。

(2) プロジェクトの具体的内容

次世代人工知能技術の社会実装が求められる領域として、「人工知能の研究開発目標と産業化のロードマップ」における当面の検討課題のうち、(1) 生産性、(2) 健康、医療・介護、(3) 空間の移動の3領域において、関連する課題の解決に資する次世代人工知能技術の社会実装に関する研究開発を先導研究から実施する。

具体的には、人工知能と融合させる領域として、ロボティクス（システム、シミュレータ、プラットフォーム）及び材料・デバイス（センサ、アクチュエータ等の人工知能/IoT デバイスと半導体、スマートマテリアル、ナノ材料等の製造に関する計測、加工、合成技術を含む）を中心に設定し、質の高い独自の現場データを取得した上で、次世代人工知能技術の生産性、健康、医療・介護、空間の移動の3領域等における社会実装に取り組むための研究開発を先導研究から実施する。

(3) 達成目標

【先導研究の最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する人工知能等の要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術課題に関する課題の明確化、その課題解決の方法を示し、想定した環境において成果物の動作を確認することで、設定した最終目標を十分に達成することを示す。

さらに、「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業」で東京都臨海副都心地区及び千葉県柏地区に整備される国立研究開発法人産業技術総合研究所の産学官連携の施設において、平成 30 年度以降に実施される社会実装に向けた本格的な研究開発に繋げることを想定して、課題解決に応じた対応シナリオからなる実用化計画を策定する。

革新的ロボット要素技術分野

研究開発項目④「革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）」

(1) プロジェクトの必要性

噴火、地震等の災害に見舞われることの多い我が国においては、災害時にいち早く生存者の位置を確認し、救出することがより一層重要となる。このため、遠隔操作でロボットを災害現場に派遣し、がれきや土砂等に埋もれてしまって見えない生存者・心肺停止者の早期の発見を可能にするなど、自由に操れる遠隔操作が可能なロボットが必要である。さらに、センシング技術の活用により、生存者・心肺停止者を認識できるロボットの開発が期待される。

例えば、人間（生存者・心肺停止者）の発見には、従来以上の画期的な視覚、電磁波、化学的知覚センサ等のセンサや複数のセンサを統合することで実現の可能性がある。

また、センサそのものに加え、次世代人工知能技術と連携することにより、人間と同等、又はそれ以上の認識能力を実現できる可能性もある。

(2) プロジェクトの具体的内容

ロボットの能力を飛躍的に高めることのできる革新的なセンシング技術を研究開発する。以下に例①～例②として研究開発の例を列挙するが、本プロジェクトは、テーマ公募型で行うものでありこれらの内容に縛られるものではない。

例①「革新的なセンシング技術」

変動する環境に柔軟に対応することでノイズに埋もれた弱い信号を的確に抽出することができる、従来にない革新的な視覚・聴覚・嗅覚・力触覚等のセンシング技術を研究開発する。例えば、外乱の多い屋外災害現場において人体位置を検出できるセンサシステムや超高感度な化学的知覚情報（嗅覚・味覚）センサシステム等を研究開発する。特に、視覚に関して 3D センサシステムは重要な技術と考えられる。ロボットの基本行動を実現する自律移動技術、物体把持技術、環境認識技術、個人認証や人認識等の個々が要求する 3D センサシステムに対する環境変動要求、計測距離要求、精度要求等を全て同時に満足し、対象物の物性や表面形状に依存しないセンサシステムを研究開発する。

また、高分解能で小型のジャイロセンサシステム、従来技術を超越した触覚センサシステム等を研究開発する。

例②「革新的な能動的センシング技術」

センサが持つ性能をロボットが環境に対して能動的に働きかけることで、性能以上のセンシング能力を実現できる可能性がある。例えば、触ることで机上の髪の毛が分かるなどのセンシング技術と、移動する、持ち上げる、表面を擦るなどのロボットの行動との結合により、センサ単体の性能以上の解像度や分解能を発揮させることが可能となる。ロボットの能動的行動と連動させることで物体の状態や環境の状況を高性能に理解する能動的センシング技術を研究開発する。

また、触った時の動き方やへこみ方等から物体の状態を理解するために、ロボットの行動と密接に連携してセンシングする技術が必要であり、ロボットの能動的行動から実空間の物体や環境を理解する技術を研究開発する。

これらのセンシング技術を活かし、伝統技術を蓄積・伝承するための、職人技を習得する技術としてまとめてもよい。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術要素に関する課題の明確化、課題解決の方法を示し、プロトタイプ機あるいはそれに相当する動作確認により最終目標に十分に達成する見込みを示す。さらに、課題解決に応じた複数の対応シナリオからなる後期計画を策定する。

【最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素のアイデアについて、先導研究完了時に策定する後期計画の実行を通して、当該技術の応用例を提案して機能・性能を動作確認し、その実用化研究開発のシナリオを策定する。

(4) 特記事項

研究開発するセンサはロボットに接続して活用可能なセンサであること。さらに、ロボットと同期して利用可能なセンサであること。

(例えば、DNA チップのように試薬の発色の変化を人間が観察することにより、識別するような非接続的なセンサは本プロジェクトの対象とはしない。)

研究開発項目⑤「革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）」

（1）プロジェクトの必要性

人と協働し補完し合うロボットにおいては、外部に働きかけを行うための装置に関する技術が必要となる。例えば、今後の高齢化社会を見渡す中で、高齢者・障がい者のサポートの負担を軽減するのみならず、本人がロボットの補助を受けつつも自らの力で生活することが、生活の質を高める大きな力となる。これを実現するものとして、身体に貼り付けたり、衣類を着用したりする感覚で使用できる新しいウェアラブルアクチュエータが期待される。これにより、ロボットを身に着けること自体が負担となることを避け、ごく自然な生活を手に入れることが可能となる。

また、人工筋肉を中心とした「軽量でソフトな」アクチュエータの開発が必要となる。従来技術では、例えば細かな位置決め作業に不向きであるなどの課題があり、非線形性の高いシステムをスムーズに制御する制御理論等が必要となる。

このような従来にない静電力、電磁力、流体力、化学力等の新原理による高出力軽量のアクチュエータ、それらを駆動するための制御技術の研究開発等を行う。

（2）プロジェクトの具体的内容

次世代のロボットを実現しうる革新的なアクチュエータ技術を研究開発する。以下に例①～例③として研究開発の例を列挙するが、本プロジェクトはテーマ公募型で行うものでありこれらの内容に縛られるものではない。

例①「革新的なアクチュエータ」

例えば、生体の筋肉のように柔らかいソフトアクチュエータ（人工筋肉）を研究開発する。人工筋肉は、現在研究段階で、モータを用いたアクチュエータと比べ効率性・耐久性の面で劣るために実用化されているものは少ないものの、今後、人共存型産業用ロボット、パワーアシスト等の普及のためには、人工筋肉を中心としたソフトなアクチュエータの開発が必要である。そのために、高分子や金属、繊維等の材料開発等の研究開発を行い、人工筋肉を実現する。

また、従来にない高いエネルギー効率を持つアクチュエータや軽量な革新的アクチュエータ、小型で可変減速なアクチュエータの研究開発提案も歓迎する。

例②「革新的なアクチュエータ制御」

ロボットの位置決め精度を向上させるには高剛性であることが求められるため、剛性の高い金属素材を用いることが常道であったが、この方法では柔軟なロボットの実現は困難であった。従来法の課題を画期的な方法で克服し、弾性のある素材で覆うことで衝突時の衝撃を和らげると同時に、高度な位置制御やトルク制御を組み合わせるソフトウェア的に関節の柔軟性を実現する革新的な制御方式を研究開発する。

また、重量物の持ち上げと精密な動作の両方を実現し、かつ、軽量な革新的アクチュエータと制御技術を研究開発する。人間と同等サイズ・重量で、力強さ（出力）と器用さ（動作の精密さ）を両立させるアクチュエータが必要とされている。現在の剛性の高い機構や自由度の少ないアクチュエータと異なる原理により、柔軟な動きが可能で、かつ、細かい位置決め作業が実現できる革新的なアクチュエータ制御技術を研究開発する。

例③「革新的なアクチュエーションシステム」

単体では従来型のアクチュエータ（例えば油圧）であっても、組合せや制御法、革新的な機構との連携、分布構造等の革新的な工夫により、従来にないロボット用の革新的なアクチュエーションシステムを研究開発する。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術課題に関する課題の明確化、課題解決の方法を示し、プロトタイプ機あるいはそれに相当する動作確認により最終目標に十分に達成する見込みを示す。さらに、課題解決に応じた複数の対応シナリオからなる後期計画を策定する。

【最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素のアイデアについて、先導研究完了時に策定する後期計画の実行を通して、当該技術の応用例を提案して機能・性能を動作確認し、その実用化研究開発のシナリオを策定する。

(4) 特記事項

研究開発するアクチュエータやアクチュエータ制御技術は、ロボットに活用可能なものであること。

研究開発項目⑥「革新的なロボットインテグレーション技術」

(1) プロジェクトの必要性

ロボットと人が同居したり、自然が支配するなどの複雑な実空間で真に効果的に稼働したりするためには、従来にない革新的なロボット技術が必要である。

例えば、瞬時に様々に変化する環境やロボットが行動した結果に準じて生じる様々な状況変化、対応する人の動作の変化に応じて、即座に適応し行動するシステム技術が必要となる。即座に対応する性能を実現するためには、従来の情報処理型の人工知能とは別の、機械構造に密接に関係した高速な処理が必要となる。人の作業を代替したり、支援したりするロボットを実現するためには、実際の現場において、瞬時に状況に対応した行動を発揮できる技術が必要である。

(2) プロジェクトの具体的内容

ロボットの機能・性能を非連続的に向上させる、革新的なロボット技術を研究開発する。以下に例①～例④として研究開発の例を列挙するが、本プロジェクトは、テーマ公募型で行うものでありこれらの内容に縛られるものではない。ただし、研究開発するロボットシステムで最終的に目指すタスクを明確にすること。

例①「革新的な自律ロボットシステム技術」

ロボットが人の作業をその場で代替するには、人の作業内容や意図を瞬時に理解し、ロボット自身の行動に置き換え作業し、人による作業と同等かどうかを常に判断・修正しながら行動することが必要となる。さらに、何度か行動を繰り返すことで、作業の質向上や作業時間の短縮等を自律的に行うロボットシステム技術や要素技術を研究開発する。

例②「革新的な遠隔操縦ロボットシステム技術」

人が直接行くことができない環境下では、ロボットを遠隔操縦する技術が必要となる。特に、多自由度を有するロボットにおいては、簡易に意図した行動をロボットに行わせるための操縦制御方法が必要となる。

また、ロボットとの通信切断が起きた場合に、ロボット自身が安定な状態を維持するために自律的に一時待避行動を取ることができるなどのロボットシステム技術や要素技術を研究開発する。

例③「ドローンに係る要素技術開発」

強風等の環境変動に対して安定飛行する機体構造・制御技術、並びに逐次変化する複数のドローンの空路を考慮した自律移動技術など、実用化のために必要不可欠な基盤技術の更なる向上を目指した要素技術を研究開発する。

例④「人間の知覚情報処理を参考にした革新的なロボットシステム」

人間とロボットを比較した場合、人間は、高度にかつ巧みに、知能・センサ・アクチュエーションを統合している。例えば、大脳皮質と大脳基底核及び小脳の機能の情報伝達システムと手・足の筋肉と関節等のアクチュエータは、シームレスな情報伝達・モーションの統合形態として相当程度洗練されていると考えられる。一方で、現在のロボットシステムは、人工知能と各種センサやアクチュエータが連携はしているが、個々の要素技術のつなぎ合わせ的な側面が存在すると考えられる。よって、人工知能、センサ、アクチュエータを、人間の脳・神経・筋肉の統合方法を参考にしながら、高度に関連させる革新的なロボットシステムを研究開発する。

例⑤「革新的なウェアラブルロボットシステム技術」

人の作業を支援するロボットの形態としてウェアラブルロボットによる身体能力を拡張する技術がある。人の意図を瞬時に判断し、ロボットを装着している違和感を与えることなく身体能力を拡張することができるウェアラブルロボットシステム技術や要素技術を研究開発する。

(3) 達成目標

【先導研究の目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術要素に関する課題の明確化、課題解決の方法を示し、プロトタイプ機あるいはそれに相当する動作確認により最終目標に十分に達成する見込みを示す。さらに、課題解決に応じた複数の対応シナリオからなる後期計画を策定する。

【最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素のアイデアについて、先導研究完了時に策定する後期計画の実行を通して、当該技術の応用例を実空間の行動として実現・評価し、その技術の実用化研究開発のシナリオを策定する。

(4) 特記事項

研究開発項目⑥のテーマにおいては、次世代人工知能技術分野の開発項目と連携することで情報領域の知能と実世界知能を掛け合わせ、実空間のタスクでさらに向上した機能・性能により効果的にロボットが活動可能であることを動作確認することを強く推奨する。

(別紙2) 情報提供依頼 (RFI) 項目

情報提供依頼項目

状況に応じ、以下に例として示す必要な RFI を行う。

例①「次世代人工知能のための革新的な計算機ハードウェア技術」

量子コンピュータ等の人工知能の性能を飛躍的に向上させる革新的な計算機ハードウェアに関するもの。

例②「次世代人工知能のための革新的なプログラミング基盤技術」

人工知能システム開発を飛躍的に高度化する可能性のある革新的なプログラミング基盤技術に関するもの。

例③「次世代人工知能のためのロボット用共通ソフトウェア」

ロボット用の OS、ミドルウェア、シミュレータ等のうち、次世代人工知能の先進中核モジュールを組み込み、実用に耐える高度なロボットシステムを容易に構成可能な、革新的なソフトウェアに関するもの。

例④「次世代人工知能のための革新的インタラクション知能」

人とのインタラクションの中から人の知識を収集・蓄積し、人に働きかけることにより、さらに対面者についての認識を深めることができるような認知モデル（ユーザーモデル）を持つ知能や人の習慣や社会心理学、文化的常識等を踏まえ、曖昧な指示の解釈や自律的な状況判断ができる知能のうち、特に、革新的な知能に関するもの。

例⑤「次世代人工知能のための身体性に着目する革新的知能」

ロボットの身体性に着目し、人間の動作等の非言語的情報を模倣・再現し、さらに習熟が可能であったり、環境の情報（環境モデル）を推定可能であったりするロボット用人工知能のうち、特に、革新的な知能に関するもの。

例⑥「次世代人工知能のための革新的な神経科学研究方法論」

革新的な脳型人工知能の実現につながる期待のある、人工知能技術への応用を明確に意識した脳の神経科学研究や人工知能技術の成果をフィードバックして新たな神経科学研究の発展を目指す方法論のうち、特に革新的なもの。

例⑦「情報の安心安全な利用」

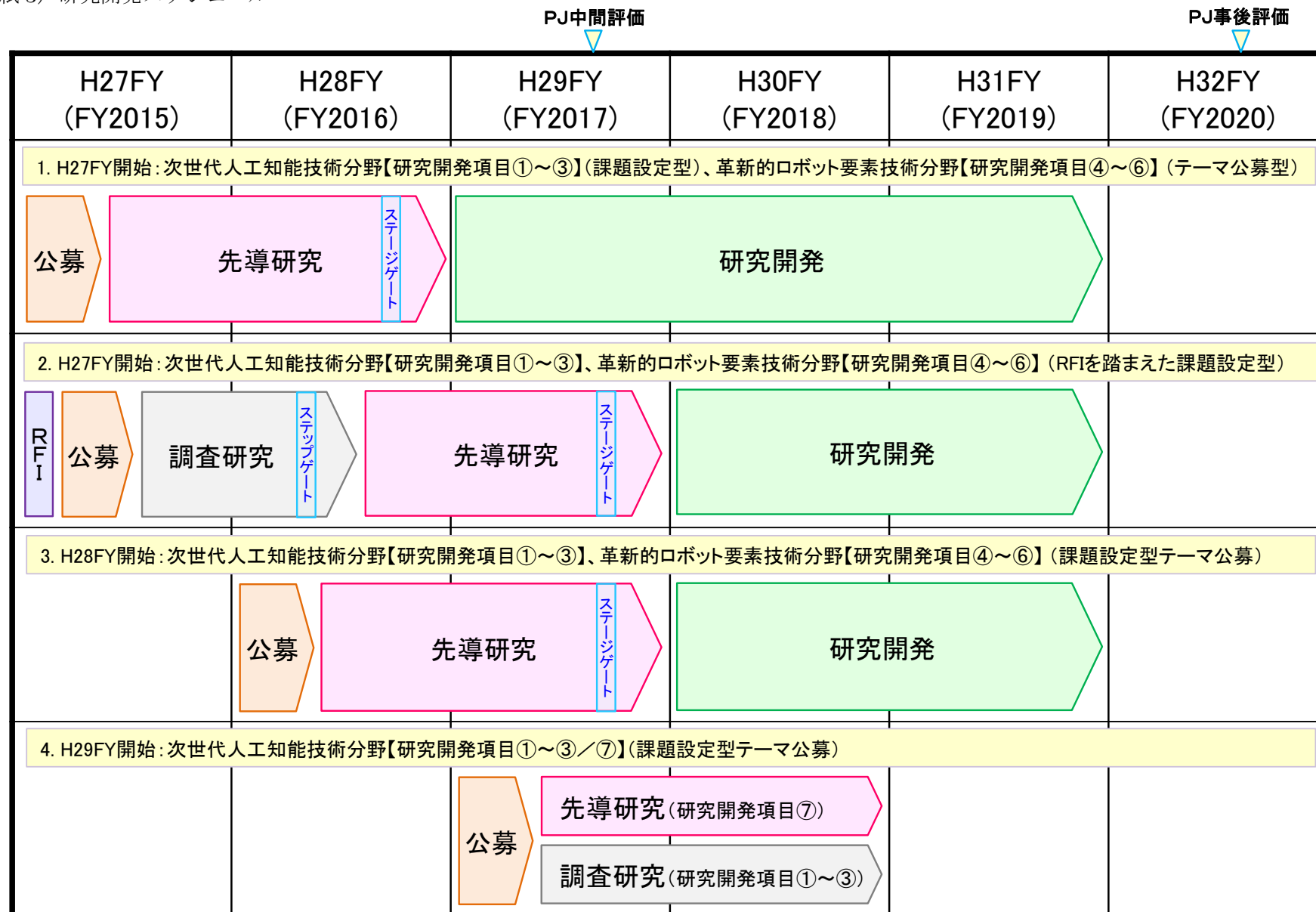
実世界に局在するビッグデータ（音声やテキスト、位置情報だけでなく、ロボット等の動きも含む）におけるプライバシーを保護し、利便性の高いサービスを提供しながら匿名性、安全性、安心さを確保する、ビッグデータの収集・保管・活用方法やロボットに関するライアビリティ、モーション安全性、ソフトウェアセキュリティに関するもの。

例⑧「ブレイン・マシン・インターフェース技術」

脳の生体信号を非侵襲に計測し、迅速かつ正確に必要な信号を取出し、高い応答性でロボット等の外部機器を操作したりソフトウェアを操作したりするなどの、革新的なブレイン・マシン・インターフェース技術に関するもの。

また、単に脳から機械への情報伝達だけでなく、機械から脳へもインタラクションする技術に関するもののうち、特に革新的なもの。

(別紙3) 研究開発スケジュール



事前評価書

	作成日	平成27年4月24日
1. プロジェクト名	次世代ロボット中核技術開発	
2. 推進部署名	ロボット・機械システム部	
3. プロジェクト概要（予定）		
(1) 概要		
1) 背景		
<p>日本政府は、2014年に「ロボット革命実現会議」を設置し、2020年までに国内のロボット市場規模を製造分野で2倍（6,000億円から1.2兆円）、サービス等の非製造分野で20倍（600億円から1.2兆円）に拡大するとしている。2010年に経済産業省と国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という）が行った国内のロボット産業の将来市場推計調査では、サービス、農林水産、ロボットテクノロジー製品、製造分野を合わせて、2035年に9.7兆円の市場規模になると予測している。</p> <p>こうした中で、ロボット革命実現会議が取りまとめた「ロボット新戦略」にもあるとおり、日本が将来的にも世界最先端の地位であり続けるためには、現在のロボット技術に比して非連続な次世代ロボット要素技術の研究開発を、強力なリーダーシップのもとで行うことが極めて重要である。</p>		
2) 目的		
<p>本プロジェクトでは、単なる現在のロボット関連技術の延長上に留まらない、人間の能力を超えることを狙う革新的な要素技術の研究開発する。</p> <p>具体的には、人工知能技術、センサ、アクチュエータ等のロボット要素技術について、我が国と世界の状況に鑑み、速やかに実用化への道筋をつける革新的な要素技術の研究開発する。</p> <p>また、人間を超越する人工知能、センサ、アクチュエータ等を新たな技術シーズとして研究開発し、これまでロボットの適用が考えられてこなかった分野での新たなロボット需要の創出につなげていく。</p> <p>また、特に、人工知能分野においては、従来のロボットの概念を超えて、「自律化」「情報端末化」「ネットワーク化」するロボット、例えば、ビルや社会環境全体がロボットであるような場合を想定した研究開発も実施する</p>		
3) 実施内容		
<p>ロボットが日常的に人と協働する、あるいは、人を支援する社会を実現させるため、大量の実世界データに基づいて人の状況や行動を理解する技術、ロボットが柔軟に行動を計画する技術等、必要だが未達な技術について、中核的な次世代人工知能技術と革新的ロボット要素技術の研究開発する。</p>		

なお、次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）は、研究開発成果を最大化するため、重要な研究開発テーマを選定し、課題設定型により実施する。革新的ロボット要素技術分野（研究開発項目④、⑤及び⑥）は、革新的な新たなセンサやアクチュエータ技術の発掘を積極的に進めるため、テーマ公募型により実施する。

「次世代人工知能技術分野」

- ・研究開発項目①「大規模目的基礎研究・先端技術研究開発」

【内容】

最新の計算論的神経科学の知見を取り入れた脳型人工知能及びデータ駆動型の人工知能と知識駆動型の人工知能の融合を目指すデータ・知識融合型人工知能に関して、大規模なデータを用いた実世界の課題への適用とその結果の評価を前提とした目的基礎研究（大規模目的基礎研究）と、世界トップレベルの性能の達成を目指す先端技術の研究開発を実施する。

【先導研究の目標 1. 脳型人工知能】

大規模目的基礎研究については、脳型人工知能のプロトタイプを試験的に構築し、下記の証拠を全て示すことによって、その技術の有望さと、最終目標を十分に達成する見込みを示す。

- (1) 小規模な人工データを用いて、従来技術では不得意だが脳が得意とする機能を有することを定性的に示す。例えば、画像認識システムにおいて、文脈の情報を利用して、遮蔽物で隠された物体をロバストに認識・学習する機能を有すること等を示す。
- (2) システムがスケーラビリティを持っていて、原理的に大規模化可能であることを示す。例えば、ニューラルネットワークの場合、ニューロン数に比例する程度の計算時間で動作することを示す。
- (3) 機械学習理論的な証拠や神経科学的な証拠等を複数示すことにより、将来的に脳に匹敵する性能を発揮しうる有望さを備えていることを示す。例えば、脳の視覚野を模倣したシステムの場合、視覚野の情報表現に関して知られている自明でない神経科学的知見が再現可能であること等を示す。

先端技術研究開発については、研究開発項目③で構築する標準的ベンチマークデータに対する識別精度等何らかの計測可能な指標を設定するとともに、アルゴリズムの試験的な実装あるいはそれに相当する動作確認により、最終目標を十分に達成できる見込みを示す。

【最終目標 1. 脳型人工知能】

大規模目的基礎研究については、研究開発項目②とも連携して、開発した手法を脳型人工知能システムの概念検証システムを構築し、実世界規模のデータ・課題で定量的な評価を行い、実用可能性を確かめる。実世界規模のデータ・課題とは、例えば、画像処理であればカメラから得られる動画像、運動制御であればロボットの実機若しくは物理エンジンを備えたシミュレータ、自然言語処理であれば WWW等から得られる大規模なテキストデータを指す。更に、概念検証システムの大規模並列実行環境を構築し、一度に入力するデータのサイズや処理の複雑さが増大しても、処理に必要な時間がほぼ変わらないことを確かめる。

先端技術研究開発については、研究開発項目②とも連携して、開発した手法を先進中核モジュールとして実装し、先導研究で設定した評価指標に関して、世界トップレベルの性能を達成可能なことを確認する。

【先導研究の目標 2. データ・知識融合型人工知能】

大規模目的基礎研究については、データと知識を融合するための基礎技術を試験的に実装し、例えば、データと知識を融合することによる予測・識別性能の向上や人間にとっての理解可能性の向上を評価することにより、最終目標を十分に達成する見込みを示す。

先端技術研究開発については、研究開発項目③で構築する標準的ベンチマークデータに対する識別精度等何らかの計測可能な指標を設定するとともに、アルゴリズムの試験的な実装あるいはそれに相当する中間検証により、最終目標を十分に達成できる見込みを示す。

【最終目標 2. データ・知識融合型人工知能】

大規模目的基礎研究については、研究開発項目②とも連携して、データ・知識融合型人工知能技術の概念検証システムを構築し、ロボット等の複雑なサイバーフィジカルシステムを深く理解し、制御するような実世界規模の複数の応用課題に適用して有効性を確かめる。例えば、実世界の非構造的なマルチモーダル時系列データを基に人間の行動をモデル化して予測、制御する課題、大規模なイベントや施設、都市において交通や人の行動をナビゲーションする課題、それらの課題に関して自然言語で質問応答する課題等による動作確認が考えられる。

先端技術研究開発については、研究開発項目②の成果とも連携して、先進中核モジュールとして実装し、先導研究で設定した評価指標に関して、世界トップレベルの性能を達成可能なことを確認する。

・研究開発項目②「次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発」

【内容】

広範な人工知能応用の研究開発や社会的実用化に資するため、研究開発項目①の成果である脳型人工知能技術、データ・知識融合型人工知能技術、その他大学や企業が保有する様々な人工知能技術をモジュール化し統合するための次世代人工知能フレームワークと次世代人工知能技術を統合し、多様な応用に迅速につなげるための核となる先進中核モジュールの研究開発を実施する。

【先導研究の目標】

実世界に局在するビッグデータをプライバシーの観点から安全・安心に活用し、高度な次世代人工知能技術を実現するための情報処理基盤としての次世代人工知能フレームワークと複数の先進的中核モジュールを試験的に実装し、個別モジュールの性能の先進性を検証するとともに、それらを用いてユーザの意思決定支援や生活行動支援を行うサービスのプロトタイプを複数構築して、最終目標を十分に達成する見込みを示す。

【最終目標】

研究開発項目①と連携しつつ、ビッグデータの活用が期待されている実社会課題の領域を対象にして、時々刻々得られる大規模なデータをリアルタイムに活用する複数の実社会サービスの研究開発を効率的に実施し、実際の生活空間の中で、時間・空間や状況に依存した高度な判断や生活行動を支援する複数のサービスが実現可能になることを示す。

こうした成果を通じて、複数の大学や企業が、開発した次世代人工知能フレームワークや先進的中核モジュールを用いて新規な次世代人工知能技術の研究開発や評価を効率的に行うことができる体制、エコシステムを実現する。

・研究開発項目③「次世代人工知能共通基盤技術研究開発」

【内容】

次世代人工知能の共通基盤技術として、人工知能技術の有効性や信頼性を定量的に評価し、性能を保証するための方法、そのために必要となる標準的問題設定や標準的ベンチマークデータセット等が満たすべき性質と構築の方法に関する研究開発を実施する。

また、それらを用いて、研究開発項目①、②の成果の評価を行う。

【先導研究の目標】

評価用の課題の選定や設定の方法、ベンチマークデータセットの収集・構築方法を定める。その方法に基づいて複数の標準的課題（タスクセット）を設定するとともに、標準的ベンチマークデータセットを構築して、研究開発項目①、②の研究開発の中で次世代人工知能技術の性能や信頼性の評価を試みる。

【最終目標】

評価用の課題の選定や設定の方法、ベンチマークデータセットの収集・構築方法を改良する。改良された方法に基づいて、複数の標準的課題（タスクセット）を設定するとともに、標準的ベンチマークデータセットを構築して、研究開発項目①、②の研究開発の中で次世代人工知能技術の性能や信頼性の評価を実施する。

「革新的ロボット要素技術分野」

- ・研究開発項目④「革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）」

【内容】

屋外等の外乱の多い空間でも、的確に信号抽出ができる画期的な視覚・聴覚・力触覚・嗅覚・加速度センシングシステムやセンサと行動を連携させて、検知能力を向上させる行動センシング技術等の研究開発を実施する。

【先導研究の目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術要素について、課題の明確化、課題解決の方法を示し、プロトタイプ機あるいはそれに相当する動作確認により最終目標に十分に達成する見込みを示す。

更に、課題解決に応じた複数の対応シナリオからなる後期計画を策定する。

【最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素のアイデアについて、先導研究完了時に策定する後期計画の実行を通して、当該技術の応用例を提案して機能・性能を動作確認し、その実用化研究開発のシナリオを策定する。

- ・研究開発項目⑤「革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）」

【内容】

人共存型ロボットに活用可能なソフトアクチュエータ（人工筋肉）、高度な位置制御やトルク制御を組み合わせるソフトウェア的に関節の柔軟性を実現する新方式の制御技術や機構等の研究開発を実施する。

【先導研究の目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術要素について、課題の明確化、課題解決の方法を示し、プロトタイプ機あるいはそれに相当する動作確認により最終目標に十分に達成する見込みを示す。

更に、課題解決に応じた複数の対応シナリオからなる後期計画を策定する。

【最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素のアイデアについて、先導研究完了時に策定する後期計画の実行を通して、当該技術の応用例を提案して機能・性能を動作確認し、その実用化研究開発のシナリオを策定する。

- ・研究開発項目⑥「革新的なロボットインテグレーション技術」

【内容】

実環境の変化を瞬時に認知判断し、即座に対応して適応的に行動する技術や個別に開発された要素技術を効果的に連携させ統合動作させるシステム統合化技術等の研究開発を実施する。

【先導研究の目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素技術のアイデアについて、提案者が最終目標として掲げる技術要素について、課題の明確化、課題解決の方法を示し、プロトタイプ機あるいはそれに相当する動作確認により最終目標に十分に達成する見込みを示す。

更に、課題解決に応じた複数の対応シナリオからなる後期計画を策定する。

【最終目標】

これまで実現されていなかった性能若しくは機能を提供する要素のアイデアについて、先導研究完了時に策定する後期計画の実行を通して、当該技術の

応用例を実空間の行動として実現、評価し、その技術の実用化研究開発のシナリオを策定する。

更に、次世代人工知能分野及び革新的ロボット要素技術分野の研究開発項目に関連し、将来有望又は必要とされる可能性がある技術的な課題について、その周辺技術や実現可能性について、情報提供依頼（Request For Information: RFI）を行う。RFIにより、必要と考えられる技術に関しては、調査研究につなげる。更に、調査研究の結果特に有望と考えられる技術に関しては、先導研究につなげる。

(2)規模 平成 27 年度総事業費（一般）10 億円（委託）

(3)期間 平成 27 年度～31 年度（5 年間）

4. 評価内容

(1) 研究開発の目的・目標・内容

1) 研究開発の目的

① 国内外の周辺動向（規制・政策動向、エネルギー需給動向、社会・経済動向、産業構造、市場動向等）を踏まえているか。また、政策課題や中期目標に掲げる NEDO のミッションに合致しているか。更に、民間活動のみでは改善できない又は公共性や緊急性が高いプロジェクトであるか。

経済産業省が中心となって、2005 年の愛・地球博以降、サービスロボットの実用化のために継続的な施策を実施している。

また、NEDO は、2014 年に「NEDO ロボット白書 2014」を発表し、ロボットを取り巻く様々な課題と現実的な観点からの今後の見通し、目指すべき姿等を示した。ロボット用ミドルウェア（R T ミドルウェア）は、「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」（2006～2010 年度）、「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」（2007～2011 年度）等を通して共通プラットフォーム化が進められ、社会への普及を目指した活動が継続している。近年のロボットに関する研究開発は実証に重点が置かれており、多くの新たなロボットの実証成果が得られてきたが、次世代技術の研究開発も重要であり、今後のロボット市場創出のための非連続で革新的なロボット要素技術開発が期待されている。総合科学技術会議で策定された第 4 期科学技術基本計画の中でも、ライフイノベーションとしてロボット手術や生活支援ロボットが挙げられている。

更に、ロボット革命実現会議がとりまとめた「ロボット新戦略」において、「自律化」「情報端末化」「ネットワーク化」が進むことで劇的に変化するロボットを製造現場から日常生活まで様々な場面で活用し、社会における新たな付加価値を生み出す「ロボット革命」が求められている。

また、海外の人工知能技術に関しては、米国の Google、Facebook、Microsoft、Apple 等、大手 IT ベンダーや IT ベンチャーにより活発に研究開発が行われている。IBM は、1997 年にチェス専用マシン「DeepBlue」を開発し、人間のチャンピオンに勝利した。更に、2009 年には人工知能アプリケーション「Watson」を開発し、米国のクイズ番組 Jeopardy! で人間のチャンピオンに勝利した。その後、同システムは医師のがん治療のサポート、個人の資産運用のサポート、カスタマーサポート等へ適用されている。

また、2006 年、カナダのトロント大学の Geoffrey Hinton 教授により、従来のニューラルネットワークの認識力を上回るディープニューラルネットワーク (Deep Learning) が発表された。2012 年には、人工知能分野の画像認識に関する国際大会 (ILSVRC2012) において、トロント大学がディープラーニングを用いて従来手法に比べ飛躍的に高い認識精度を得た。現在、Google、Facebook、Baidu 等の企業がディープラーニングの研究者を世界中から集めている。コンピュータハードウェアの分野では、人間の脳を模倣したチップ等、人工知能向けの革新的なハードウェアが研究開発されている。2014 年、IBM は、100 万個のニューロン、2 億 5,600 万個のシナプスを持つ大規模なニューロシナプティックチップ「TrueNorth」を発表した。これは、アメリカ国防高等研究計画局 (DARPA) が主導する、ニューロン細胞の機能を再現するチップの開発プロジェクト「SyNAPSE (Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics)」(予算規模 5,300 万ドル) の成果である。同システムは、カエルの脳と同程度の規模であり、ニューロン数ではネズミの脳に匹敵する。カナダの D-Wave Systems は、量子アニーリングマシンを開発している。

更に、ロボット技術に関しては、米国では、2007 年に DARPA が開催した「DARPA Grand Challenge」において、ロボットカーが標識や対向車等を認識し応答する画像認識機能を擁し、自律走行で市街地を想定した総延長 96 km のコースをおよそ 4 時間で完走した。

また、DARPA は 2012 年には災害等に対応する技術を確立するためのコンペ「DARPA Robotics Challenge (DRC)」を新たに設定した。2013 年 12 月には東京大学発ベンチャーの SCHAFT 社が DRC の予選を 1 位で通過し技術力の高さを示した。これを受け Google が同社を買収している。欧州では、「FP7」(2007 年～2013 年) で「Cognitive Systems and Robotics」を ICT 分野のチャレン

<p>ジ領域の1つに選定し、知能化技術に関する研究プロジェクトへ年約2億ユーロの投資をした。2014年から2020年までは後継の「Horizon 2020」が始まり、総額800億ユーロが投資される計画である。韓国ではユビキタスロボットコンパニオンプロジェクト（URC）が終了し、その成果の実用化が進められたが新規市場創出までには至らなかった。その後、同国の知識経済部が中心となり、2013年から10年間のロボット未来戦略を発表した。中国は、国家中長期科学技術発展規画綱要（2006年～2020年）において、先端技術8分野の中で知的ロボットの技術開発を挙げている。</p>
<p>② 本事業を実施しない場合、日本の政策上、産業競争力上又はエネルギー・環境上のリスクは何か。</p>
<p>本プロジェクトを実施しない場合、我が国が直面する社会的な重大課題の解決ができず、更に、世界に先駆けたロボット技術を用いた課題解決の切り札を創り出せず、魅力ある製品・サービスを提供できなくなると予想される。</p> <p>そのためには、少子高齢化による生産年齢人口の減少下における製造業の国際競争力の維持・向上やサービス分野の生産性向上、地域資源を活用した新産業の育成等による地域の活性化等、今後の我が国社会の重大な諸課題に対し、特に有効なアプローチとして、人間の代替となる、又は人間以上の能力を発揮しうるロボットの活用が大きく期待される。</p> <p>更に、少子高齢化、労働力不足、インフラ老朽化対策、災害等課題対応先進国である日本においてロボットを用いた解決の切り札を創り出し、世界に先駆けた技術を示すことで、世界へ売り出す魅力ある製品・サービスの実現につなげることができる。</p>
<p>2) 研究開発の目標</p>
<p>① アウトプット目標</p> <p>国内外の競合技術のポジショニング状況を踏まえ、戦略的かつ具体的（定量的）な成果目標の設定がなされているか。また、想定する成果（アウトプット）は、十分に意義があり、市場競争力（コスト、クオリティー、バリュー等）が見込めるものか。</p>
<p>本プロジェクトは、既存の技術やそのアプリケーションとは非連続な、いわゆる未踏領域の研究開発を実施する。このためのブレイクスルーを生み出す要素技術、あるいは、それらを統合するシステム化技術を研究開発し、実用化研究を開始できる水準にまで技術を完成させることを本プロジェクトの目標とする。例えば、人工知能技術においては、新しいサービスの実現へ向けた実用化研究を開始可能なレベルにまで人工知能フレームワークとモジュールを完成させ、それら統合したアプリケーションを試作することを目標とする。センサやアクチュエータ等の要素技術においては、それらをプロトタイプ</p>

ブ機に組み込み、実用化研究を開始可能なサンプルを試作することを目標とする。

②アウトカム目標

目的の達成による効果予測（アウトカム）は、投じる予算との比較において想定される市場規模または産業インフラ育成の観点から十分であるか。

本プロジェクトの取組により生まれた成果を用いたロボット等の活用を通じて、人間の代替により労働力不足を補うアプローチに留まるのではなく、従来に比べて非連続なロボット技術がどのように社会から評価されるか、どのようなアプローチであれば人々に受容されるかを心理学、社会工学や社会受容性の観点から考察・考慮した上で、様々な場面において、直接的あるいは間接的な複合的ロボットサービスとして、人類の生活を豊かにする機能を社会に提供する。こうして開発した革新的なロボットの要素技術を応用して、2035年に9.7兆円といわれる我が国のロボット市場の創出に資する。

3) 研究開発の内容と設定根拠

プロジェクトの全体目標からみて、研究開発項目と内容が論理的に設定されているか。

産業用ロボットは、基本的にティーチングされたとおりにしか動けず、エラーリカバリ等が十分でない。サービスロボットは開発途上であり、人間の幼児に及ばない。これらの原因は数多く存在するが、その主要なものとして、ロボットに人間ほど十分な知能が備わっていないこと、ロボットが人間ほど環境の情報を得て活用していないこと、ロボットのアクチュエータの出力重量比が人間に及ばないこと、ロボットのインテグレーション技術が非常に複雑であること等が挙げられる。本プロジェクトは、これら課題の解決に向けたものであるが、ロボットが人間と協働する社会を実現するためには、これら課題の解決手段が単に研究開発されるだけでなく、認知され、試験的に活用され、人材が育成され、将来的に普及されていく必要があると考えられる。

(1) 研究開発の目的・目標・内容についての総合的評価

変化の速いロボット分野で、計算機の指数関数的な性能向上の恩恵を十分に享受するためには、国内外のロボット関連技術の動向や水準を把握した上で、人とロボットの協働の実現等、データ駆動型社会を勝ち抜くための研究開発を推進することが必要であり、ブレイクスルーを生み出す革新的な要素技術、及び、それらを統合する革新的なシステム化技術の研究開発を行う。具体的には、ロボットが日常的に人と協働する、あるいは、人を支援する社会を実現させるため、大量の実世界データに基づいて人の状況や行動を理解する技術、ロボットが柔軟に行動を計画する技術等、必要だが未達な技術について、中核的な次

世代人工知能技術と革新的ロボット要素技術を研究開発する。

なお、次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）は、研究開発成果を最大化するため、重要な研究開発テーマを選定し、課題設定型により実施する。革新的ロボット要素技術分野（研究開発項目④、⑤及び⑥）は、革新的な新たなセンサやアクチュエータ技術の発掘を積極的に進めるため、テーマ公募型により実施する。

また、リスク・安全評価手法、セキュリティ技術等、各種の手法・技術等を調査する。

本プロジェクトは、実用化まで長期間を要するハイリスクで非連続な研究開発に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施するものであり、委託プロジェクトとして実施する。

(2) 研究開発の実施方式について

1) 研究開発の実施体制・運営方式

成果目標を効果的・効率的に達成するうえで、適切な実施体制の想定はあるか。また、外部有識者による委員会やステージゲート方式等を検討しているか。

次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）の研究開発は、これらの研究開発項目が互いに密接に関連しており、総合的かつ集中的に行うことが必要かつ適切であると考えられることから、拠点を設定し、産学官の英知を結集することにより実施する。

また、拠点の形成により、我が国の人工知能研究者の多くが個別に、実世界との接点が限られた中で研究している状況を変え、先進的な次世代人工知能の開発・実用化と基礎研究の進展という好循環の形成を図る。

本プロジェクトは、研究者の創意工夫を最大限発揮することを目指し、PM（Project Manager）を設置する。PMは、実施体制の構築、予算配分、プロジェクトの実施等、プロジェクトの進行全体を企画・管理し、プロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化することを念頭に任務を遂行する。PMは、その任務の遂行に当たって必要となる資金配分や研究開発内容の見直し、実施体制の変更の権限と裁量を有するものとする。

また、想定タスクを実現するための段階的な目標として、ステージゲート及び最終評価時の到達目標、動作確認方法、評価基準をあらかじめ明確に設定する。具体的なPMの役割は、以下のとおりである。

- ・PMは、策定した基本計画を公表し、本邦の企業、大学等の研究機関（本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等（大学、研究機関を含む）の特別の研究開発能力、研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から、国外企業等との連携が必要な部分を国外企業

等との連携により実施することができる) から、公募によって研究開発テーマ事業実施者を選定し、委託により実施する。

- PM は、採択時には各研究開発項目の開発技術に対し、あらかじめ技術を活用できる想定タスク（ユースケース）とその典型的応用シーンにおける貢献方法を確認する。このことで、開発技術の用途を明確化し、実用性、有用性において将来のロボットを飛躍的に高めるための革新的要素技術であることを確認する。
- PM は、公募に対する応募内容を踏まえながら、実施体制（案）を策定する。
- PM は、策定した実施体制（案）について、機構外部の専門家・有識者等からなる検討委員会の意見を踏まえ、実施体制を決定する。その際、PM の判断により、数多くの提案の一次スクリーニング等に部分的にピア・レビュー方式（産業界、学术界等の外部の専門家・有識者を活用した提案書の審査方式）を活用する。
- PM は、特定の実施者の採択による利益相反を未然に防止するため、必要に応じ上記の検討委員会等による確認体制を設ける。
- PM は、プロジェクトの実施期間中、NEDO 技術戦略研究センターの知見を活用しつつ、国内外の関連技術動向を把握するとともに、本プロジェクト全体の進捗を把握・管理し、その進捗状況を踏まえて、資金配分や研究開発内容の見直し、実施体制の変更、加速、方向転換、中断、新規実施者の組み込み等を柔軟かつ機動的に行う。
- PM は、プロジェクトの成果の円滑な権利化及びその実用化・事業化を図るため、実施者間の知的財産の調整や標準化に関わる事項を主導する。

また、本プロジェクトにおいては、次世代人工知能技術分野（研究開発項目①、②及び③）は、主に拠点で研究開発が進められることから、拠点の長が PL (Project Leader) の役割を担う予定とする。PL は、プロジェクトをより効率的かつ効果的に遂行するために、プロジェクトの技術目標等の達成に向けた取り組み、研究開発の進捗状況の把握、プロジェクトの実施体制の構築・改変、事業者間等の予算配分、当該プロジェクトに参画する研究者の人選及びプロジェクトの成果の評価等に係る業務の全部又は一部について、NEDO と協議して実施する。

更に、NEDO は、本プロジェクトの実施に当たり、当該分野の研究開発のより一層の効果的な推進のため、適切に行われるような措置を講じた上で、PM の役割のうち必要かつ適切な裁量を PL に担わせることができる（ただし、基本計画の策定と公表、公募、対象事業者の選定と委託及びステージゲート等の評価を除く）。

(2) 研究開発の実施方式についての総合的評価

非連続な研究開発を対象とする本プロジェクトにおいては、多様な可能性に対し幅広くチャンスを与え、進捗に応じて成果実現の可能性や期待がより明確となったテーマについて手当を継続する方式を採用する。大学・公的研究機関・企業等の優れたシーズ技術を対象として、技術的にブレイクスルーを達成できる目途を得るために、2年間を先導研究期間として、開発提案テーマの実現可能性を調査・検討し、本プロジェクトの技術推進委員会の助言のもと、NEDO 又はPM がテーマの絞り込みを行うステージゲート評価等を実施する。

また、このような機会を捉え、関連する研究開発を行っている文部科学省、総務省等の参画を得たワークショップ等を開催し、情報発信・収集を行う。その後、先導研究で技術の確立に見通しがついた研究開発等を3年目以降本格的な研究として実施する。テーマ終了翌年度に事後評価を行う。

なお、先導研究終了時点での評価結果が一定水準に満たない案件については、抜本的な改善策等が無いものは原則として中止する。

添付資料3 論文・特許・外部発表に係る成果

A. 次世代人工知能技術分野

論文・特許・外部発表に係る成果	
【A-1】平成27年度採択①（先導研究→研究開発）	
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発	
研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発	
研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発	
【A-1-1】「人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所 人工知能研究センター（AIRC） <拠点>）	
【A-1-1-1】「視覚野を中心とした適応的知能を支える神経機構の解明」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）	
投稿論文	「査読付き論文」6件 (1) Frontiers in Integrative Neuroscience, Vol. 10, doi: 10.3389/fnint.2016.00043 (2017) (2) Scientific Reports, Vol. 7, 40939; doi: 10.1038/srep40939 (2017) (3) Journal of Vision, Vol. 17, pp.1-20 (2017) (4) Brain Stimulation, Vol. 10, pp.977-980 (2017) (5) Current Neurobiology, Vol. 8, pp.34-39 (2017) (6) Scientific Reports, to appear 9/5/2017 (2017)
特許等	「特許出願」1件（うち国際出願0件、登録0件）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」41件
【A-1-1-2】「大脳皮質の領野間結合の双方向性を模倣した、ロバストな認識を可能とする人工視覚野」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、共同実施先：国立大学法人東京大学）	
投稿論文	「査読付き論文」1件 (1) 応用統計学, Vol. 45, No. 3, pp.75-86 (2016)
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」7件、「新聞・雑誌等への掲載」0件、「展示会への出展」0件 それぞれの件名も記載。 (1) 応用統計学フロンティアセミナー、2016年5月28日。（依頼講演） (2) ILC夏の合宿、2016年7月23日。（招待講演） (3) 信号処理シンポジウム、2016年11月9日。（招待講演） (4) 第2回TIA光・量子計測シンポジウム、2016年11月10日。（招待講演） (5) 第19回情報論的学習理論ワークショップ、2016年11月18日。（招待講演） (6) 豊田理化学研究所特定課題研究「マルチプローブ融合利用による新奇強誘電体材料の物性解明」第七回研究会 計測技術と情報数理の融合、2016年12月13日。（招待講演） (7) 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会、2017年1月16日。（学会発表）
【A-1-1-3】「複雑な運動を少ない経験から学習・獲得し、滑らかに動作する脳型人工知能の開発」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人電気通信大学）	
投稿論文	なし
特許等	なし

<p>その他外部発表（プレス発表等）</p>	<p>学会発表・講演 5 件 (1) Shoubu で実現するネコ一匹分の人工小脳、理研シンポジウム「スーパーコンピュータ HOKUSAI と Shoubu、研究開発の最前線」 (2016) (2) 知識：その神経科学, その意義, その進化、 シンギュラリティサロン #18 (2016) (3) ヒト全小脳リアルタイムシミュレーションを目指して、シンギュラリティサロン #19 (2016) (4) Computational model of the cerebellum and the basal ganglia for interval timing learning, 23th International Conference on Neural Information Processing (2016) (5) A unified model of the cerebellum and the basal ganglia for temporal information processing, Annual Meeting of Society for Neuroscience 2016 (2016)</p>
<p>【A-1-1-4】「能動型学習技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人京都大学)</p>	
<p>投稿論文</p>	<p>「査読付き論文」2 件 (1) 2016/5/24 Journal of Computer Vision and Image Understanding, Vol. 150, pp. 81-94, Occlusion aware particle filter tracker to handle complex and persistent occlusions using multiple feature fusion, Meshgi, K., Maeda, S.i., Oba, S., Skibbe, H., Li, Y., and Ishii, S. (2) 2017/1/3 Neural Networks, Vol 87, pp. 132-148, Constructing a Meta-Tracker using Dropout to Imitate the Behavior of an Arbitrary Black-box Tracker, K. Meshgi, S.i. Maeda, S. Oba, S. Ishii.</p>
<p>特許等</p>	<p>「特許出願」0 件（うち国際出願 0 件、登録 0 件）</p>
<p>その他外部発表（プレス発表等）</p>	<p>「学会発表・講演」5 件、「新聞・雑誌等への掲載」0 件、「展示会への出展」0 件 2016/6/1 13th Conference on Computer and Robot Vision, Victoria, Canada, Data-driven probabilistic occlusion mask to promote visual tracking. Meshgi, K., Maeda, S., Oba, S., Ishii, S. 2016/8/25 IEEE Advanced Video and Signal-Based Surveillance, Colorado Springs, USA, Robust discriminative tracking via query-by-committee. Meshgi, K., Oba, S., and Ishii, S. 2017/5/10 IEEE International Conference on Machine Vision and Application, Tokyo Japan, Active Discriminative Tracking using Collective Memory. Meshgi, K., Oba, S., Ishii, S. 2017/8/8 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2017) 広島. Adversarial Sampling to Robustify Active Discriminative Co-Tracking. Meshg, K., Oba, S., Ishii, S. 2017/8/25 (依頼講演) 神経回路学会時限研究会 2017 脳の理論から身体・世界へ：行動と認識への再挑戦「自由エネルギー原理による多用途人工知能アーキテクチャ」 大羽成征</p>
<p>【A-1-1-5】「自然言語理解を核としたデータ・知識融合技術の研究開発」 「自然言語テキスト理解モジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>	
<p>投稿論文</p>	<p>(1) Learning to Generate Market Comments from Stock Prices, Soichiro Murakami; Akihiko Watanabe; Akira Miyazawa; Keiichi Goshima; Toshihiko Yanase; Hiroya Takamura; Yusuke Miyao, ACL 2017 (2) On-demand Injection of Lexical Knowledge for Recognising Textual Entailment, MartinezGomez, Pascual and Mineshima, Koji and Miyao, Yusuke and Bekki, Daisuke, EACL 2017 (3) Generating Video Description using Sequence-to-sequence Model with Temporal Attention, Natsuda Laokulrat; Sang Phan; Noriki Nishida; Raphael Shu; Yo Ehara; Naoaki Okazaki; Yusuke Miyao; Hideki Nakayama (4) Phrase compositionality using image groundings, Dan Han, Pascual Martínez Gómez, YRSNLP 2016 (5) Rule Extraction for Tree-to-Tree Transducers by Cost Minimization, Pascual Martínez-Gómez; Yusuke Miyao, EMNLP 2016 (6) ccg2lambda: A Compositional Semantics System, Pascual Martínez-Gómez; Koji Mineshima; Yusuke Miyao; Daisuke Bekki, ACL 2016 system demonstrations</p>

	(7) Jigg: A Framework for an Easy Natural Language Processing Pipeline, Hiroshi Noji, Yusuke Miyao, ACL 2016 system demonstrations
特許等	(1) に関連して一件投稿中
その他外部発表（プレス発表等）	(6)、(7) については、system demonstration の発表であり、実際に動作するソフトウェアを論文中に記載した URL において、Web 上で一般公開している。
【A-1-1-6】「分散表象知識と記号的知識の相互変換技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)	
投稿論文	「査読付き論文」7件 (1) IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E99-D, No. 7, pp. 1786-1795, A Heuristic Expansion Framework for Mapping Instances to Linked Open Data, Natthawut Kertkeidkachorn, Ryutaro Ichise, (2016) (2) Proceedings of the 23rd International Conference on Neural Information Processing, Part I, pp. 300-307, Representation of Relations by Planes in Neural Network Language Model, Takuma Ebisu, Ryutaro Ichise, (2016) (3) Proceedings of the 11th International Conference on Semantic Computing, Enhancing coreference classifiers using a ranking-aware feature, pp. 53-56, Khai Nguyen, Ryutaro Ichise, (2017) (4) Proceedings of the 11th International Conference on Semantic Computing, Relation-wise automatic domain-range information management for knowledge entries, pp.105-108, Md-Mizanur Rahoman, Ryutaro Ichise, (2017) (5) Proceedings of the 2nd AAAI Workshop on Knowledge-based Techniques for Problem Solving and Reasoning, T2KG: An end-to-end system for creating knowledge graph from unstructured text, Natthawut Kertkeidkachorn, Ryutaro Ichise, (2017) (6) Proceedings of the 9th International Conference on Agents and Artificial Intelligence, Vol. 2, pp.398-406, Adjusting word embeddings by deep neural networks, Xiaoyang Gao, Ryutaro Ichise, (2017) (7) Journal of Intelligent Information Systems, Vol. 48, No. 3, pp. 519-551, ScLink: Supervised Instance Matching System for Heterogeneous Repositories, Khai Nguyen, Ryutaro Ichise, (2017)
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」3件 (1) 第30回人工知能学会全国大会論文集, 2E3-1, 単語の分散表現における関係抽出, 蛭子 琢磨, 市瀬 龍太郎, (2016) (2) 第39回セマンティックウェブとオントロジー研究会, 再考: 知識処理 - 深層学習時代の知識処理, 市瀬 龍太郎 (招待講演), (2016) (3) アーバンデータチャレンジ2016 中間シンポジウム, セマンティック Web と知識グラフ, 市瀬 龍太郎 (招待講演), (2016)
【A-1-1-7】「スケーラブルな機械学習・確率モデリングの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)	
投稿論文	「査読付き論文」6件（国際会議プロシーディングスを含む） (1) Proc. of the 23th International Conference on Neural Information Processing, Modeling the propensity score with statistical learning (2016) (2) Proc. of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Turning a twodimensional image sensor to an attitude sensor: image matching for determining satellite attitude (2017) (3) Proc. of IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Key frame extraction from first-person video with multi-sensor integration (2017) (4) Proc. of IEEE International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip, Key frame extraction from video based on determinant-type of sparse measure and DC programming (2017) (5) IEEE International Conference on Image Processing, Extracting key frames from first-person

	<p>videos in the common space of multiple sensors (2017)</p> <p>(6) Proc. of ACM-MM Thematic Workshop on Understanding, ACM Multimedia Conference. Reconstructable and interpretable representations for time series with time-skip sparse dictionary learning (2017)</p>
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「学会発表・講演」12件</p> <p>(1) 第30回人工知能学会全国大会, ヘテロなデータに対する統計的学習を用いた傾向スコア推定 (2016)</p> <p>(2) 情報処理学会連続セミナー第1回: 実世界に埋め込まれる人工知能, 機械学習技術の発展と展望 (2016) (招待講演)</p> <p>(3) 一般社団法人電子情報技術産業協会 (JEITA) 「非ノイマン型計算機へ向けたデバイス技術分科会」, 交換モンテカルロ法によるデータ知識融合アルゴリズム開発 (2016) (招待講演)</p> <p>(4) The 23th International Conference on Neural Information Processing, Modeling the propensity score with statistical learning (2016)</p> <p>(5) International Symposium on Perception, Action, and Cognitive Systems, Bayesian perspective on intelligence (2016) (招待講演)</p> <p>(6) 理化学研究所革新知能統合研究センター発足記念シンポジウム (2016) (依頼講演)</p> <p>(7) IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Turning a two-dimensional image sensor to an attitude sensor: image matching for determining satellite attitude (2017)</p> <p>(8) 第31回人工知能学会全国大会, マルチピークスペクトル分解の高速化 (2017)</p> <p>(9) IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Key frame extraction from first-person video with multi-sensor integration (2017)</p> <p>(10) IEEE International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip, Key frame extraction from video based on determinant-type of sparse measure and DC programming (2017)</p> <p>(11) IEEE International Conference on Image Processing, Extracting key frames from first-person videos in the common space of multiple sensors (2017)</p> <p>(12) ACM-MM Thematic Workshop on Understanding, ACM Multimedia Conference. Reconstructable and interpretable representations for time series with time-skip sparse dictionary learning (2017)</p>
<p>【A-1-1-8】「超複雑な機械学習・確率モデリングの研究開発」</p> <p>(委託先: 国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>	
投稿論文	<p>「査読付き論文」4件 (国際会議プロシーディングスを含む)</p> <p>(1) Advanced Robotics, vol. 30, issue 11-12, pp. 706-728, Symbol Emergence in Robotics (2017)</p> <p>(2) Proc. of ICML Workshop on Learning to Generate Natural Language (LGNL). Neural sequence model training via α-divergence minimization (2017)</p> <p>(3) Proc. of the 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), When does label propagation fail? a view from a network generative model (2017)</p> <p>(4) Proc. of the 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). Tensor decomposition with missing indices (2017)</p>
特許等	<p>「特許出願」なし</p> <p>「ソフトウェア登録・公開」2件</p> <p>(1) 確率論理プログラミング言語 PRISM Ver. 2.2</p> <p>(2) 確率論理プログラミング言語 PRISM Ver. 2.3</p>

<p>その他外部発表（プレス発表等）</p>	<p>「学会発表・講演」16件</p> <p>(1) 第18回情報論的学習理論ワークショップ. 多変量自己回帰モデルを利用した脳波時系列の欠測値推定 (2015)</p> <p>(2) 人工知能学会 第101回人工知能基本問題研究会, 論理計算の線形代数化について (2016)</p> <p>(3) 数学協働プログラムワークショップ「確率的グラフィカルモデルの産業界への応用」, 確率プログラミング言語へのいざない (2016) (依頼講演)</p> <p>(4) Pacific Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining 2016 (PAKDD), Deep learning implementations and frameworks (2016) (Tutorial)</p> <p>(5) 第19回情報論的学習理論ワークショップ, 繰り返し推定による脳波時系列の欠測補完 (2016)</p> <p>(6) 第19回情報論的学習理論ワークショップ, 脳波データへの深層学習の適用 (2016)</p> <p>(7) 第19回情報論的学習理論ワークショップ, 近赤外分光画像法で計測された脳活動の時空間解析 (2016)</p> <p>(8) 情報処理学会連続セミナー第1回: 実世界に埋め込まれる人工知能, 機械学習技術の発展と展望 (2016) (依頼講演)</p> <p>(9) 日本学会議情報学委員会・環境知能分科会公開シンポジウム. ニューラルネットワーク情報処理の発展と展望 (2016) (依頼講演)</p> <p>(10) 理化学研究所革新知能統合研究センター発足記念シンポジウム (2016) (招待講演)</p> <p>(11) The 31st AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI). Deep learning implementations and frameworks (2017) (Tutorial)</p> <p>(12) ICML Workshop on Learning to Generate Natural Language (LGNL). Neural sequence model training via α-divergence minimization (2017)</p> <p>(13) AI EXPO 2017 専門講演 ディープラーニングの発展と展望 (2017) (依頼講演)</p> <p>(14) The First International Workshop on Sharing and Reuse of AI Work Products. Infrastructures for Sharing and Reusing AI Work Products (2017)</p> <p>(15) The 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), When does labelpropagation fail? a view from a network generative model (2017)</p> <p>(16) The 26th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). Tensor decomposition with missing indices (2017)</p>
<p>【A-1-1-9】「深層表現学習技術の研究開発」</p> <p>(委託先: 国立研究開発法人産業技術総合研究、共同実施先: 国立大学法人東京大学)</p>	
<p>投稿論文</p>	<p>「査読付き論文」4件</p> <p>(1) Yusuke Iwasawa, Kotaro Nakayama, Ikuko Yairi, and Yutaka Matsuo: Privacy Issues Regarding the Application of DNNs to Activity-Recognition using Wearables and Its Countermeasures by Use of Adversarial Training, Proc. IJCAI 2017, 2017</p> <p>(2) Masahiro Suzuki, Kotaro Nakayama, Yutaka Matsuo, Joint Multimodal Learning with Deep Generative Models, ICLR workshop, 2017.</p> <p>(3) Masatoshi Uehara, Issei Sato, Masahiro Suzuki, Kotaro Nakayama and Yutaka Matsuo, b-GAN: New Framework of Generative Adversarial Networks, NIPS workshop, 2016.</p> <p>(4) 中山 浩太郎, 松尾 豊: GeSdA - GPU 上での Autoencoder 処理並列化による高速 Deep Learning の実装, 情報処理学会論文誌データベース (TOD), Vol.9, No.2, pp.46-54 (2016)</p>
<p>特許等</p>	<p>なし</p>
<p>その他外部発表（プレス発表等）</p>	<p>なし</p>

【A-1-1-10】「スパイキングニューロン全脳モデルと身体性情報構造化に基づく動的実世界知能の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究、再委託先：国立大学法人東京大学)	
投稿論文	「査読付き論文」5件 (1) Y. Yamada, H. Kanazawa, S. Iwasaki, Y. Tsukahara, O. Iwata, S. Yamada, and Y. Kuniyoshi, An embodied brain model of the human fetus, Scientific Reports, 6, 27893, 2016 (2) Y. Ohmura, H. Gima, H. Watanabe, G. Taga, and Y. Kuniyoshi, Developmental change in intralimb coordination during spontaneous movements of human infants from 2 to 3 months of age, Experimental Brain Research, 234:8, 2179-2188, 2016 (3) S. Nishikawa, K. Shida, and Y. Kuniyoshi, Musculoskeletal Quadruped Robot with Torque-Angle Relationship Control System, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 4044-4050, 2016 (4) R. Wakatabe, Y. Kuniyoshi and G. Cheng, O (log n) Algorithm for Forward Kinematics under Asynchronous Sensory Input, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2502-2507, 2017. (5) K. Fujita, S. Yonekura, S. Nishikawa, R. Niiyama, and Y. Kuniyoshi, Environmental and Structural Effects on Physical Reservoir Computing with Tensegrity, IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing, 2017 (in print)
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」10件 (1) R. Wakatabe, Y. Ohmura, T. Sagisaka, and Y. Kuniyoshi, Inverse dynamics of whole-hand manipulation using data glove, Eurohaptics workshop of advances in touch enabled robotics, 2016 (2) 北浦 広海, 大村 吉幸, 國吉 康夫, 小型ヒューマノイドロボットの全身に実装可能な高密度触覚センサ, 第34回日本ロボット学会学術講演会, 2016, (3) H. Kanazawa, Y. Yamada, and Y. Kuniyoshi, Information structure of proprioceptive feedback in infantile spontaneous movements, Society for Neuroscience 46th Annual Meeting, 2016 (4) K. Fujii, H. Kanazawa, and Y. Kuniyoshi, Developmental changes in cortical folding patterns affect scalp EEG profiles: A largescale cortex simulation study, SfN Neuroscience, 2016 (5) 金沢星慶, 山田康智, 田中一敏, 河合昌彦, 國吉康夫: 発達初期の自発運動に伴う全身運動感覚と神経学的構造の関連性, 第5回発達神経科学学会, 2016. (6) 陳 熙, 田中一敏, 西川 鋭, 新山 龍馬, 國吉 康夫, 筋骨格ロボットの運動学習のための Human-in-the-loop 教師あり学習システム, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2016 (7) 藤田健一, 米倉将吾, 西川鋭, 新山龍馬, 國吉康夫, 身体構造のダイナミクスを利用した Reservoir Computing に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2017 (8) 若田部亮, Gordon Cheng, 國吉康夫: 開リンク系の $O(\log^2 n)$ 非同期運動学計算法, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 (Robomech2017), pp.1P1-J11, 2017. (9) 堀内喜恵, 新山龍馬, 國吉康夫: ソフトロボットの粘弾性によるカオス結合系の運動創発変化, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 (Robomech2017), pp.1A1-J08, 2017. (10) K. Inoue, S. Yonekura, Y. Ohmura, Y. Kuniyoshi, The contribution of topology for inclusion of feedforward network and biased synaptic strength to the working memory in a cortical microcircuit, 26th Annual Computational Neuroscience Meeting: CNS-2017, 2017
【A-1-1-11】「人工大脳皮質の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>	
投稿論文	「査読付き論文」1件 (1) In Proceedings of ICONIP 2017, Regularization Methods for the Restricted Bayesian Network BESOM, Yuuji Ichisugi, Takashi Sano

特許等	ソフトウェア 2 件 (1) ソフトウェア, BESOM-lab 3.5, 一杉 裕志, 中田 秀基 (2) ソフトウェア, 疑似ベイジアンネット QBC Ver.1, 一杉 裕志
その他外部発表 (プレス発表等)	「学会発表・講演」 9 件 (1) 2015/11/27, 第 18 回情報論的学習理論ワークショップ, 大脳皮質モデル BESOM のクラスタ分散化と GPGPU 並列化, 中田秀基, 黎明曦, 井上辰彦, 一杉裕志 (2) 2016/01/19, 電子情報通信学会 CPSY 研究会, 大脳皮質モデル BESOM の GPGPU による並列化, 中田 秀基, 井上辰彦, 一杉 裕志 (3) 2016/5/16, LSI とシステムのワークショップ 2016, 大脳皮質ベイジアンネットモデルの実用化に向けた取り組み, 一杉 裕志 (招待講演) (4) 2016/5/18, 全脳アーキテクチャ・シンポジウム, 大脳皮質ベイジアンネットモデルの実用化に向けて, 一杉 裕志 (依頼講演) (5) 2016/7/14, 豊橋技術科学大学 平成 28 年度バトンゾーン特論, ヒト型 AI は人類にどのような影響を与えうるか, 一杉 裕志 (依頼講演) (6) 2016/11/16, 第 19 回情報論的学習理論ワークショップ, メッセージ伝播型アルゴリズムによる近似 MAP 推定の大規模化の検討, 佐野 崇, 一杉 裕志 (7) 2016/12/15, 汎用人工知能研究会, 疑似ベイジアンネットを用いた認知機能のプロトタイピング手法の提案, 一杉 裕志 (8) 2017/3/7, 5th Neuro Inspired Computational Elements Workshop, Deep restricted Bayesian network BESOM, Yuuji Ichisugi (招待講演) (9) 2017/3/8, 第 19 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL2017), ベイジアン認知モデル設計のための大脳皮質計算モデルの定式化の試み, 尾崎 竜史, 一杉 裕志
【A-1-1-12】「BESOM に基づく人工視覚野の研究開発」 (委託先: 国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	「学会発表・講演」 3 件 (1) 2016/6/7, 第 30 回人工知能学会全国大会, スパース符号化により画像の分散表現を獲得する 2 層ベイジアンネット, 一杉 裕志 (2) 2017/1/27, 電子情報通信学会ニューラルネットコンピューティング研究会, 大規模制限付きベイジアンネットワークを用いた文脈に依存したロバストな文字認識に向けて, 中田 秀基, 一杉 裕志 (3) 2017/3/6, 5th Neuro Inspired Computational Elements Workshop, A model for V1 complex cells using hierarchical Bayesian network, Takashi Sano, Yuuji Ichisugi
【A-1-1-13】「人工言語野の研究開発」 (委託先: 国立研究開発法人産業技術総合研究所) <先導研究にて終了>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	「学会発表・講演」 4 件 (1) 2016/6/7, 第 30 回人工知能学会全国大会, ベイジアンネットを用いた疑似日本語の係り受け解析, 高橋直人 (2) 2016/6/7, 第 30 回人工知能学会全国大会, ベイジアンネットを用いた言語野モデルの構築に向けて, 尾崎 竜史, 一杉 裕志 (3) 2016/9/30, 情報処理学会第 228 回自然言語処理研究会, 範疇文法の構文解析についての圏論的な視点, 尾崎 竜史, 一杉 裕志 (4) 2017/3/15, 言語処理学会第 23 回年次大会, 大脳皮質の計算論的モデルを用いた組み合わせ範疇文法パーザ実装の構想, 一杉 裕志

【A-1-1-14】「次世代人工知能フレームワークの研究開発」	
（委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）	
投稿論文	<p>「査読付き論文」9件</p> <p>(1) 第8回 Web とデータベースに関するフォーラム論文集, Vol. 2015, pp. 126-133 (2015)</p> <p>(2) Proceedings of the 6th ACM SIGSPATIAL International Workshop on GeoStreaming (IWGS) 2015, online (2015)</p> <p>(3) Proceedings of the 1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on the Use of GIS in EmergencyManagement, online (2015)</p> <p>(4) INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SCIENCE, Vol. 30, No. 9, pp. 1899-1922 (2016)</p> <p>(5) Proceedings of the 6th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics, online (2016)</p> <p>(6) Proceedings of the 2016 8th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology andScience, pp. 492-496 (2016)</p> <p>(7) Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Big Data, online (2016)</p> <p>(8) ACM International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, online (2017)</p> <p>(9) Proceedings of 31st AAAI Conference on Artificial Intelligence, online (2017)</p>
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「学会発表・講演」11件</p> <p>(1) FOSS4G, 2015/9/18</p> <p>(2) 第153回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 2016/3/2</p> <p>(3) 第136回 システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2016/3/1</p> <p>(4) 25th ACM International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing, 2016/6/2</p> <p>(5) 2016年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム, 2016/6/6</p> <p>(6) CPSY 研究会, 2016/8/8</p> <p>(7) CPSY 研究会, 2016/8/9</p> <p>(8) 第155回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 2016/8/8</p> <p>(9) データ工学研究会, 2016/12/1</p> <p>(10) 101st OGC Technical Committee Meeting, 2016/12/7</p> <p>(11) ACM International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, 2017/1</p> <p>「展示会への出展」2件</p> <p>(1) SC15 研究展示</p> <p>(2) SC16 研究展示</p>
【A-1-1-15】「次世代人工知能研究テストベッドの研究開発」	
（委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）	
投稿論文	<p>「査読付き論文」9件</p> <p>(1) 第8回 Web とデータベースに関するフォーラム論文集, Vol. 2015, pp. 126-133 (2015)</p> <p>(2) Proceedings of the 6th ACM SIGSPATIAL International Workshop on GeoStreaming (IWGS) 2015, online (2015)</p> <p>(3) Proceedings of the 1st ACM SIGSPATIAL International Workshop on the Use of GIS in EmergencyManagement, online (2015)</p> <p>(4) INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SCIENCE, Vol. 30, No. 9, pp. 1899-1922 (2016)</p> <p>(5) Proceedings of the 6th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics, online (2016)</p> <p>(6) Proceedings of the 2016 8th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology andScience, pp. 492-496 (2016)</p>

	<p>(7) Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Big Data, online (2016)</p> <p>(8) ACM International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, online (2017)</p> <p>(9) Proceedings of 31st AAAI Conference on Artificial Intelligence, online (2017)</p>
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「学会発表・講演」11件</p> <p>(1) FOSS4G, 2015/9/18</p> <p>(2) 第153回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 2016/3/2</p> <p>(3) 第136回 システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2016/3/1</p> <p>(4) 25th ACM International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing, 2016/6/2</p> <p>(5) 2016年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム, 2016/6/6</p> <p>(6) CPSY 研究会, 2016/8/8</p> <p>(7) CPSY 研究会, 2016/8/9</p> <p>(8) 第155回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 2016/8/8</p> <p>(9) データ工学研究会, 2016/12/1</p> <p>(10) 101st OGC Technical Committee Meeting, 2016/12/7</p> <p>(11) ACM International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, 2017/1</p> <p>「展示会への出展」2件</p> <p>(1) SC15 研究展示</p> <p>(2) SC16 研究展示</p>
<p>【A-1-1-16】「社会的身体性知能の共有・活用のためのクラウドプラットフォーム」</p> <p>（委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：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）</p>	
投稿論文	<p>「査読付き論文」1件</p> <p>(1) "Competition design to evaluate cognitive functions in human-robot interaction based on immersive VR", Tetsunari Inamura and Yoshiaki Mizuchi, RoboCup Symposium 2017</p> <p>「解説論文」1件</p> <p>(1) 計測と制御, Vol. 55, No. 10, 長時間の身体的社会的対話実験のためのクラウド型VRプラットフォーム, 稲邑 哲也, 2016</p>
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「学会発表・講演」11件</p> <p>(1) FOSS4G, 2015/9/18</p> <p>(2) 第153回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 2016/3/2</p> <p>(3) 第136回 システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2016/3/1</p> <p>(4) 25th ACM International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing, 2016/6/2</p> <p>(5) 2016年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム, 2016/6/6</p> <p>(6) CPSY 研究会, 2016/8/8</p> <p>(7) CPSY 研究会, 2016/8/9</p> <p>(8) 第155回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会, 2016/8/8</p> <p>(9) データ工学研究会, 2016/12/1</p> <p>(10) 101st OGC Technical Committee Meeting, 2016/12/7</p> <p>(11) ACM International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, 2017/1</p> <p>「展示会への出展」2件</p> <p>(1) SC15 研究展示</p> <p>(2) SC16 研究展示</p>

<p>【A-1-1-17】「ネットワーク分析と言語処理の融合による大規模文献データからの技術の未来予測プラットフォームの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人東京大学)</p>	
<p>投稿論文</p>	<p>「査読付き論文」6件 (1) 2016/9, Portland International Conference on Management Engineering and Technology 2016, Detecting structural changes in the nano carbon domain based on the time distribution of text information of academic papers, Y. Nakashio, T. Hara, J. Mori and I. Sakata (2) 2016/9, Portland International Conference on Management Engineering and Technology 2016, Prediction of emerging papers in nanocarbon materials-related research using a citation network, H. Sasaki, T. Hara and I. Sakata (3) 2016/9/16, the 5th International Workshop on Pervasive Urban Applications in conjunction with ACM UbiComp 2016, Representation learning for geospatial areas using large-scale mobility data from smart cards, Masanao Ochi, Yuko Nakashio, Yuta Yamashita, Ichiro Sakata (4) 2016/11/15, First International Workshop on Scientific Document Analysis associated with JSAI International Symposia on AI 2016, Detecting research trend of academic field in latent space, Kimitaka Asatani, Masanao Ochi, Junichiro Mori, Ichiro Sakata (5) 2016/4, Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 4 (4), pp.418-429, Identifying Emerging Research Related to Solar Cells Field Using a Machine Learning Approach, H. Sasaki, T. Hara, I. Sakata (6) 2016/11, International Journal of Communications, Network and System Sciences (IJCNS), Geospatial Area Embedding Based on the Movement Purpose Hypothesis using Large-scale Mobility Data from Smart Card, Masanao Ochi, Kimitaka Asatani, Yuko Nakashio, Matthew Ruttley, Junichiro Mori, Ichiro Sakata</p>
<p>特許等</p>	<p>なし</p>
<p>その他外部発表（プレス発表等）</p>	<p>「学会発表・講演」6件、 (1) 2016/6/7, 第30回人工知能学会全国大会, 大規模論文データからの異種ネットワーク組み合わせによる萌芽論文の推定, 森 純一郎 (2) 2016/6/8, 第30回人工知能学会全国大会, 空間的依存性を考慮したネットワークエンベディング手法の提案, 大知 正直 (3) 2016/10/5, 「新事業の創造に効く 学術 情報・ビッグデータの生かし方」、主催：日経テクノロジーオンライン、学術ビッグデータを用いたイノベーション経営、坂田 一郎（依頼講演） (4) 2016/10/12, 日仏シンポジウム 深層学習と人工知能, Science for machine learning, machine learning for science, 坂田 一郎（依頼講演） (5) 2016/10/18, 世界価値観データベースに基づく世界消費者の把握シンポジウム, 空間的依存性を考慮したネットワークエンベディング手法の提案, 大知 正直（依頼講演） (6) 2017/3/4, 社会システムと情報技術研究ウィーク 2017 (WSSIT), 引用ネットワーク成長の予測と可視化, 浅谷 公威, 大知 正直, 森 純一郎, 坂田 一郎 「新聞・雑誌等への掲載」1件 (1) 2016/7, 人工知能学会学会誌 7月号, 私のブックマーク「ネットワークの表現学習」, 浅谷 公威</p>
<p>【A-1-1-18】「観測・データ収集モジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>	
<p>投稿論文</p>	<p>「査読付き国際会議」4件</p>
<p>特許等</p>	<p>なし</p>
<p>その他外部発表（プレス発表等）</p>	<p>「学会発表・講演」7件、「新聞・雑誌等への掲載」2件、「学会・工業会などへの招待講演」8件、「学会の解説記事」1件</p>

<p>【A-1-1-19】「一般物体認識クラウドエンジンの構築」 「3次元センシングモジュールの研究開発」 「センサフュージョンによる実世界環境理解モジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人中部大学 中部大学、学校法人梅村学園 中京大学、国立大学法人大阪大学)</p>	
投稿論文	「査読付き論文」2件 (1) 形の科学会誌, Vol. 31, No. 2, pp65-76 (2016) (2) 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J100-D, No. 6, pp. 639-648 (2017)
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	「国際カンファレンス・ワークショップ発表」7件 ICPR, ICRA, ICCV Workshop, ECCV Workshop, ACCV Workshop 「国内学会発表・講演」19件 画像センシングシンポジウム、日本ロボット学会学術講演会、精密項学会ビジョン技術の実利用ワークショップ等 「展示会への出展」1件 NEDO シンポジウム
<p>【A-1-1-20】「きめの細かい動作認識の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人千葉工業大学)</p>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	「学会発表・講演」2件 (1) 竹内彰一. きめの細かい動作認識の研究開発. NEDO プロジェクト中間成果発表会 2017/03. (2) 吉川友也, 竹内彰一. 家庭やオフィス内の動作認識用大規模動画データセットの構築. 2017年度人工知能学会全国大会. 「新聞・雑誌等への掲載」1件 (1) 日刊工業新聞 「日常動作 AI が学習」 2017年4月12日 「展示会への出展」1件 (1) NEDO プライベート展示会 (GEATEC2016 併設)
<p>【A-1-1-21】「社会レベル行動モデリング・シミュレーションモジュールの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>	
投稿論文	投稿中1件
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	「学会発表・講演」3件 (1) データ同化を用いた大規模人流推定 (MIRU2017 学生奨励賞受賞) (2) シグモイド関数を用いた周期的な学習率スケジューリングによるアンサンブル学習 (MIRU2017 学生奨励賞受賞) (3) 人の流れの計測とシミュレーションによる避難誘導方法の伝承—新国立劇場における避難体験オペラコンサートを例に— (人工知能学会合同研究会 2016 優秀賞記念講演) 「解説記事」2件 (1) カメラによる人流計測とシミュレーションによる人流予測に基づく人流解析に関する研究動向について (日本知能情報ファジィ学会誌 2016) (2) 混雑環境における群衆計測—シミュレーションとの融合を目指して— (情報処理 2017) 「展示会への出展」3件 (1) G 空間エキスポ 2016 (2) CEATEC2016 (3) LBJ2017 (ロケーションビジネスジャパン)

【A-1-1-22】「作業動作自動生成システムの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人金沢大学、国立大学法人大阪大学)	
投稿論文	「査読付き論文」3件 (1) Proceedings of IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics, pp. 174179, Integrated Single-arm Assembly and Manipulation Planning using Dynamic Regrasp Graphs, Weiwei Wan, Kensuke Harada (2) Advanced Robotics, vol. 30, no. 17-18, pp. 1111-1125, Achieving High Success Rate in Dualarm Handover Using Large Number of Candidate Grasps, Handover Heuristics, and Hierarchical Search, Weiwei Wan, Kensuke Harada (3) Proceedings of 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, A Framework for Systematic Accumulation, Sharing and Reuse of Task Implementation Knowledge, Ryo Hanai, Kensuke Harada
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」5件 (1) 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, タスクモデルに基づく教示データの再利用と共有のためのフレームワーク, 花井 亮, 原田 研介 (2) 第34回日本ロボット学会学術講演会, 深層学習によるピッキングのための物体パターン識別, 永田 和之, 西 卓郎, 山野辺 夏樹, 原田 研介 (3) 第34回日本ロボット学会学術講演会, 作業動作生成のためのクラウドデータベースの構築, 山野辺 夏樹, 辻 徳生, 原田 研介, 永田 和之, 花井 亮, 万 偉偉, Ixchel Ramirez-Alpizar (4) 第34回日本ロボット学会学術講演会, ツールチェンジ機能を考慮した組立作業の自動計画, 原田 研介, 万 偉偉, 永田 和之, 山野辺 夏樹, 辻 徳生, Ixchel Ramirez-Aplizar (5) 第34回日本ロボット学会学術講演会, 複数の遠赤外線画像を用いた全周の接触領域検出と把持形態推定への応用, 稲田 大亮, 辻 徳生, 諸岡 健一, 田原 健二, 河村 晃弘, 倉爪 亮, 原田 研介
【A-1-1-23】「不定形物操作システムの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人信州大学、国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学)	
投稿論文	「査読付き論文」1件 (1) Hiroyuki Yuba, Solvi Arnold, Kimitoshi Yamazaki: “Unfolding of a rectangular cloth from unarranged starting shapes by a Dual-Armed robot with a mechanism for managing recognition error and uncertainty,” Advanced Robotics, http://dx.doi.org/10.1080/01691864.2017.1285722 , (2017)
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」14件、 (1) 2016/6/10, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, つまみ滑りの失敗検知回復を伴う双腕ロボットによる布製品の展開, 弓場 寛之, 守屋 佑亮, 小石原 洋介, (2) 2016/9/2, 第33回センシングフォーラム 計測部門大会, ロボットによる柔軟物操作に向けた予備的検討, 村瀬 真基, 松原 崇充, 田中 大介, 杉本 謙二 (3) 2016/9/2, 第33回センシングフォーラム 計測部門大会, 動的方策計画法に基づく強化学習と高次元ロボットシステムへの応用, 崔 允端, 松原 崇充 (4) 2016/9/9, 第34回日本ロボット学会学術講演会, ゴムの粘弾性に着目した双腕ロボットによる輪ゴムかけ動作計画, 村瀬 真基, 松原 崇充, 杉本 謙二, 田中 大介, 山崎 公俊 (5) 2016/9/9, 第34回日本ロボット学会学術講演会, Kernel reinforcement learning with smooth policy update in high-dimensional robot control, Yunduan Cui, Takamitsu Matsubara, Kenji Sugimoto (6) 2016/9/9, 第34回日本ロボット学会学術講演会, An approach to short plan construction for deformable linear object manipulation, Nahum Alvarez, Kimitoshi Yamazaki, Takamitsu Matsubara (7) 2016/12/15, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, レジ作業自動化に向けた多様な物品の置き置き操作の検討, 田中 大輔, Solvi Arnold, 山崎 公俊 (8) 2016/12/15, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 布の変形と伸縮性を考慮したTシャツのハンガーかけ作業の実現, 小石原 洋介, 山崎 公俊, 松原 崇充

	<p>(9) 2016/11, 2016 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2016) , Kernel Dynamic Policy Programming: Practical Reinforcement Learning for High-dimensional Robots, Yunduan Cui, Takamitsu Matsubara, Kenji Sugimoto</p> <p>(10) 2016/11, 2016 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2016) , Learning Coordinated Robot Motor Skills to Human Partner and Environment, Yunduan CUI, James Poon, Takamitsu Matsubara, Jaime Valls Miro, Kenji Sugimoto, Kimitoshi Yamazaki</p> <p>(11) 2016/12, in Proc. of IEEE International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots, An Approach to Realistic Physical Simulation of Digitally Captured Deformable Linear Objects, Nahum Alvarez, Kimitoshi Yamazaki, Takamitsu Matsubara</p> <p>(12) 2016/12, IEEE International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots, An Interactive Simulator for Deformable Linear Objects Manipulation Planning, Nahum Alvarez, Kimitoshi Yamazaki</p> <p>(13) 2016/12, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Implicit Policies for Deformable Object Manipulation with Arbitrary Start and End States: A Novel Evolutionary Approach, Solvi Arnold, Kimitoshi Yamazaki</p> <p>(14) 2016/3/15, 第22回ロボティクスシンポジウム予稿集, 形状分類に基づく机上に置かれた布製品の把持点検出, pp. 119 - 120, 山崎公俊</p>
<p>【A-1-1-24】「人間行動モデリングタスク」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>	
投稿論文	<p>「査読付き論文」3件</p> <p>(1) “現場主体の“知識発現”方法の提案”, 西村悟史, 大谷博, 畠山直人, 長谷部希恵子, 福田賢一郎, 來村徳信, 溝口理一郎, 西村拓一, 人工知能学会論文誌, Vol.32, No.4, pp. C-G95_1-15, (2017)</p> <p>(2) “Autonomous Vehicle System based on Law and Case Law using Qualitative Representation”, Satoshi Nishimura, Asaki Iwata, Miwa Kurokawa, Shun-Ya Maruta, Daisuke Kaji, Shinji Niwa, Takuichi Nishimura and Yo Ehara, 30th International Workshop on Qualitative Reasoning, pp. 1-6, Melbourne, Australia, 2017.08</p> <p>(3) “Knowledge Explication: Current situation and future prospects”, Nishimura, S., Fukuda, K., Nishimura, T., IJCAI 2017 WORKSHOP ON: COGNITION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR HUMAN-CENTRED DESIGN, pp.1-5, Melbourne, Australia, 2017.08</p> <p>「解説・総説」1件</p> <p>(1) 2016/4, 情報処理学会誌 vol. 57, no. 5, pp. 466-469, 次世代人工知能技術, 本村 陽一</p> <p>「査読なし」1件</p> <p>(1) 2016/7, 研究報告グループウェアとネットワークサービス (GN), 2016 (7), pp. 1-6, 能動的学習のための情報共有システムの導入と家政科教育における実践, 西村 悟史, 福田 賢一郎, 西村 拓一, 土肥 麻佐子</p>
特許等	プログラム：企業への技術移転 10 件

<p>その他外部発表（プレス発表等）</p>	<p>「学会発表・講演」25件、「展示会への出展」3件（2016年CEATEC, 2016年サイエンスアゴラ, 2016年Cloud days 2016 関西）</p> <p>(1) 2016/4/21-23, Global Welfare Summit 2016, An interoperable data platform for human-centered data among elderly care facilities, Satoshi Nishimura</p> <p>(2) 2016/6/6, 第30回人工知能学会全国大会, 次世代人工知能技術研究開発における社会課題解決アプローチ: AI for Society, 本村 陽一</p> <p>(3) 2016/6/6, 第30回人工知能学会全国大会, モノコトづくりの現場をつなぐデータ運用のためのオントロジーの提案, 西村 悟史, 福田 賢一郎, K. 渡辺 健太郎, 三輪 洋靖, 西村 拓一</p> <p>(4) 2016/6/8, 第30回人工知能学会全国大会, 行動変容提案システムによる実世界介入, 竹内 理人, 廣川 典昭, 川島 健佑, 村山 敬祐, 八尋 元英, 櫻井 瑛一, 本村 陽一</p> <p>(5) 2016/6/28, 情報処理学会連続セミナー第1回: 実世界に埋め込まれる人工知能, 次世代人工知能技術研究開発における確率モデリング~PLSAとベイジアンネットの応用を例に~, 本村 陽一 (依頼講演)</p> <p>(6) 2016/7/28, 第28回 知識・技術・技能の伝承支援研究会 (SIG-KST), 現場ごとの多様な介護業務プロセス知識の獲得方法の検討, 西村 悟史, 大谷 博, 畠山 直人, 長谷部 希恵子, 福田 賢一郎, 來村 徳信, 溝口 理一郎, 西村 拓一</p> <p>(7) 2016/9/1-2, European Conference on Knowledge Management 2016, Proposal of knowledge sharing framework for active learning and its application, Satoshi Nishimura, Ken Fukuda, Takuichi Nishimura, Masako Dohi</p> <p>(8) 2016/9/5, 第39回セマンティックウェブとオントロジー研究会, 現場主体で介護業務知識を作るための知識モデルの検討, 西村 悟史, 大谷 博, 畠山 直人, 長谷部 希恵子, 福田 賢一郎, 來村 徳信, 溝口 理一郎, 西村 拓一</p> <p>(9) 2016/9/6, The 4th International Conference on Serviceology, Interoperable data platform based on ontological consideration - a case study in elderly care service -, S. Nishimura, K. Fukuda, K. Watanabe, H. Miwa, T. Nishimura</p> <p>(10) 2016/9/16, 第33回日本認知科学会大会, 「保育の質」の定量化に向けた子どもとロボットの関わり - 子どもの心的状態推定へのアプローチ -, 山田 徹志, アツタミミ・ムハンマド, ジャン・ビン, 宮田 真宏, 中村 友昭, 大森 隆司, 長井 隆行, 岡 夏樹, 西村 拓一</p> <p>(11) 2016/11/10, 人工知能学会基本問題研究会, ビッグデータを活用した確率的潜在構造モデリングと次世代人工知能技術への応用, 本村 陽一 (招待講演)</p> <p>(12) 2016/11/11, 人工知能学会社会におけるAI研究会, 運転支援システムのための形式文法による運転行動のタスクラベリング, 山崎 啓介, 本村 陽一</p> <p>(13) 2016/11/11, 人工知能学会社会におけるAI研究会, IDカードとAI対話システムを用いたイベント空間における行動データの収集と行動支援技術, 近藤 那央, 竹内 理人, 本村 陽一</p> <p>(14) 2016/11/11, 人工知能学会社会におけるAI研究会, 高齢者の生活行動推論のための大規模アンケートデータを用いた確率的潜在意味構造モデル構築, 井手 絢絵, 本村 陽一</p> <p>(15) 2016/11/11, 人工知能学会社会におけるAI研究会, POS データを用いた購買行動の季節変化の分析と視覚化, 原田 奈弥, 山下 和也, 本村 陽一</p> <p>(16) 2016/11/14-15, HAT-MASH2016, Methodology for “knowledge explication” of various elderly care processes from each care facility, Satoshi Nishimura, Hiroshi Ohtani, Naoto Hatakeyama, Kieko Hasebe, Ken Fukuda, Yoshinobu Kitamura, Riichiro Mizoguchi, Takuichi Nishimura</p> <p>(17) 2016/11/19, グループウェアとネットワークサービスワークショップ 2016, 知識発現を指向した複数観点からの知識モデルの検討, 西村 悟史, 大谷 博, 畠山 直人, 長谷部 希恵子, 福田 賢一郎, 來村 徳信, 溝口 理一郎, 西村 拓一</p> <p>(18) “Autonomous Vehicle System based on Law and Case Law using Qualitative Representation”, Satoshi Nishimura, Asaki Iwata, Miwa Kurokawa, Shun-Ya Maruta, Daisuke Kaji, Shinji Niwa, Takuichi Nishimura and Yo Ehara, 30th International Workshop on Qualitative Reasoning, pp. 1-6, Melbourne, Australia, 2017.08</p> <p>(19) “Knowledge ExplicaSon: Current situaSon and future prospects”, Nishimura, S., Fukuda, K., Nishimura, T., IJCAI 2017 WORKSHOP ON: COGNITION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR HUMAN-CENTRED DESIGN, pp.1-5, Melbourne, Australia, 2017.08</p> <p>(20) “知識発現の現状と将来展望”, 西村悟史, 福田賢一郎, 西村拓一, 第31回知識・技術・技能の伝承支援研究会, pp.1-6, 東京, 2017.07</p>
------------------------	--

	<p>(21) “アクティブラーニングにおける知識発現を用いた振り返り結果の分析”, 西村悟史, 土肥麻佐子, 福田賢一郎, 西村拓一, 第 80 回先進的学習科学と工学研究会, 大阪, 2017.07</p> <p>(22) “法令・判例ベース自動運転システムの実現に向けて”, 西村悟史, 岩田麻希, 黒川美和, 丸田峻也, 梶大介, 丹羽伸二, 西村拓一, 江原遥, 第 31 回人工知能学会全国大会 (JSAI2017) 論文集, 2F4-NFC-03b-4in1, pp. 1-4, 愛知, 2017.05</p> <p>(23) “知識発現を利用したアクティブラーニング学修効果の可視化に向けて-授業内容の構造化とそれに基づく学生の意見の関連付け-”, 西村悟史, 土肥麻佐子, 福田賢一郎, 西村拓一, 教育システム情報学会 (JSiSE) 2016 年度 第 6 回研究会, 福岡, 2017.03・2017/7/26</p> <p>(24) 第 31 回知識・技術・技能の伝承支援研究会、体幹捻りバネモデルの提案 -運動指導現場での「軸」を考える-, 吉田 康行, 梁 滋路, 西村 悟史, 鴻巣 久枝, 長尾 知香, 西村 拓一</p> <p>(25) 第 115 回音楽情報科学研究会、音楽指導支援のための演奏法の目的指向知識の構築、飯野なみ, 福田賢一郎, 西村悟史, 西村拓一</p>
<p>【A-1-1-25】「対人インタラクショントスク」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：学校法人玉川学園 玉川大学)</p>	
<p>投稿論文</p>	<p>「査読付き論文」4 件</p> <p>(1) Muhammad Attamimi, Masahiro Miyata, Tetsuji Yamada, Takashi Omori, Ryoma Hida : Attention Estimation for Child-Robot Interaction, HAI2016, pp. 267-270, 2016</p> <p>(2) Bin Zhang, Tomoaki Nakamura, Rena Ushioji, Takayuki Nagai, Kasumi Abe, Takashi Omori, Natsuki Oka, Masahide Kaneko : Robust Children Behavior Tracking for Childcare Assisting Robot By Using Multiple Kinect Sensors, Int. Conf. SocialRobotics, 20161101-03, KANSAS CITY, USABest Student Paper Award</p> <p>(3) Tetsuji Yamada, Takashi Omori : Verification of a Quantitative Evaluation Method for Quality of Child Care Process : Aiming at an AI-Supported Child Behavior Analysis, 04TEC02, PEGERA2017, July, 2017 (Sebu)</p> <p>(4) Masahiro Miyata, Takashi Omori : Modeling emotion and inference as a value calculation system, BICA2017, 2017</p>
<p>特許等</p>	<p>なし</p>
<p>その他外部発表（プレス発表等）</p>	<p>「学会発表・講演」18 件</p> <p>(1) 大森隆司：汎用人工知能が感情を持つことは有用かー感情機能の計算モデル化にむけての検討ー, 人工知能全国大会, 2015</p> <p>(2) 坂戸 達陽, 大森 隆司, 長井 隆行, 尾関 基行, 岡 夏樹 : モジュールの学習とモジュール組換え計算による見立て遊びの成立過程のモデル化, 人工知能全国大会, 2015</p> <p>(3) 辻 勇一郎, 岡 夏樹, 尾関 基行, 荒木 雅弘, 深田 智, 長井 隆行, 中村 友昭, 大森 隆司 : 発話における応答部・主導部の推定とそれらを構成する単語の推定ーベイズ階層言語モデルを用いてー, 人工知能全国大会, 2015</p> <p>(4) 張 斌 (電通大), 中村 友昭 (電通大), 阿部 香澄 (電通大), アッタミミ ムハンマド (電通大), 潮木 玲奈 (玉川大学), 長井隆行 (電通大), 岡 夏樹 (京都工芸繊維大学), 大森 隆司 (玉川大学), 金子 正秀 (電通大) : 保育支援システムのための Kinect を用いた子どもの行動追跡, SSI2015</p> <p>(5) 大森隆司, アッタミミ ムハンマド, 山田徹志, 中村友昭, 肥田竜馬, 阿部香澄, 長井隆行, 岡 夏樹, 西村拓一 : 保育 AI : 心の発達を理解する AI の可能性, 人工知能全国大会, 0S-12 汎用人工知能とその社会への影響, 2016</p> <p>(6) 吉崎美紗, 早川博章, 岡 夏樹, 大森隆司, 長井隆行 : 多人数が映る動画からの表情解析ー子どもの興味の対象を見つけるシステムの作成に向けてー, 人工知能全国大会, 1B2-3, 2016</p> <p>(7) 張 斌, 中村友昭, 阿部香澄, アッタミミ ムハンマド, 長井隆行, 大森隆司, 岡 夏樹, 金子正秀 : 複数の Kinect を用いた子どもの行動追跡及び個人認証, 人工知能全国大会, 4K4-1, 2016</p> <p>(8) 山田, アッタミミ, ビン, 宮田, 中村, 大森, 長井, 岡, 西村 : 「保育の質」の定量化に向けた子どもとロボットの関わりー子どもの心的状態推定へのアプローチー, 第 33 回日本認知科学学会大会, 0S13-4, 2016</p> <p>(9) 肥田竜馬, 山田徹志, 宮田真宏, 大森隆司, 長井隆行, 岡 夏樹 : ロボットから紐解く保育士の対人インタラクション技能の定量化, HAI シンポジウム, 2016</p>

	<p>(10) 池田, 張 斌, 中村, 長井, 大森, 岡, 金子 : 保育園児および保育士の行動軌跡の教師なし分類に基づく活動識別, SSI2016, 2016. 12.</p> <p>(11) 張 斌, 中村友昭, 潮木玲奈, 長井隆行, 阿部香澄, 大森隆司, 岡 夏樹, 金子正秀 : 保育支援のための子どもの行動追跡システムの評価, SSI2016, 2016. 12.</p> <p>(12) 宮田, 肥田, 山田, 張, 中村, 大森 : 『保育の質』の定量的分析に向けた半自動アノテーションツールの開発, SI2016, 20161217, 札幌</p> <p>(13) 宮田, 大森 : 感情の価値計算システム仮説にもとづく強化学習による脳幹モデルの検証, ニューロコンピューティング研究会, 信学技報, vol. 116, no. 521, NC2016-64, pp. 1-6, 2017</p> <p>(14) 山田徹志, 宮田真宏, 肥田竜馬, 大森隆司 : 子どもの主体的な行動を通じた保育の質の客観化手法の検討 -AI を用いた子どもの行動計測と心的状態推定-, 発達心理学会, 20170327</p> <p>(15) 肥田竜馬, 山田徹志, 張 斌, 宮田真宏, 石川久悟, 根岸諒平, 大森隆司, 中村友昭, 長井隆行, 岡 夏樹 : 保育の質の定量化のための人間行動センシングと解析ツールの開発, 人工知能学会全国大会, 2017 2H3-0S-35a-5 0S-35 社会的信号処理とAI</p> <p>(16) 池田佳那, 張斌, 中村友昭, 長井隆行, 大森隆司, 岡 夏樹, 金子正秀 : HDP-HMM と LDA に基づく保育園児の行動軌跡からの教師なし活動場面分類, 人工知能学会全国大会, 2017 3D1-0S-37a-5 0S-37 記号創発ロボティクス</p> <p>(17) 宮田, 大森 : 感情の価値計算システム仮説にもとづく前頭葉推論モデルの検証, 人工知能学会全国大会, 2017 3K1-0S-06a-2 0S-6 汎用人工知能とその社会への影響(1)</p> <p>(18) 本村, 西村, 西田, 竹内, 大森, 稲邑 : 次世代人工知能技術研究開発における生活現象モデリング, 人工知能学会全国大会, 2017 2F4-NFC-03b-5 NFC-3 (サバイバル) コト・データベースによるモノ・コトづくり支援</p>
<p>【A-1-1-26】「地理空間情報画像解析」 (委託先 : 国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>	
投稿論文	<p>「投稿論文」4 件</p> <p>(1) Damage Detection from Aerial Images via Convolutional Neural Networks, IEEE Machine Vision Applications (2017)</p> <p>(2) Solar Power Plant Detection on Multi-Spectral Satellite Imagery using Weakly-Supervised CNN with Feedback Features and m-PCNN Fusion , BMVC (2017)</p> <p>(3) Planetary and Space Science, Development of an Application Scheme for the SELENE/SP Lunar Reflectance Model for Radiometric Calibration of Hyperspectral and Multispectral Sensors (2016)</p> <p>(4) Proceedings of ICPR 2015, Detection by Classification of Buildings in Multispectral</p> <p>「査読付き論文」8 件 Satellite Imagery (2016) など</p>
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	<p>「学会発表・講演」17 件</p> <p>(1) JpGU-AGU Joint Meeting 2017, ディープラーニングを用いた月面クレーター検出手法の検討 (2017)</p> <p>(2) 第 31 回人工知能学会全国大会, 地球観測衛星画像上で自動検知した熱源の深層学習による自動種別判定 (2017)</p> <p>(3) 第 31 回人工知能学会全国大会, 高次局所自己相関特徴の拡張によるマルチスペクトル衛星画像上の地物認識 (2017)</p> <p>(4) 第 20 回画像の認識・理解シンポジウム, CNN を用いた二段階識別による衛星画像上の地物検知アルゴリズムの提案 (2017)</p> <p>(5) 第 30 回人工知能学会全国大会, 地球観測衛星画像上の地物自動認識 (2016)</p> <p>(6) 第 19 回画像の認識・理解シンポジウム, Improved spatial pyramid pooling in deep convolutional network for remote sensing image (2016)</p> <p>(7) CVIM 2016, Super-pixel に基づくスパーススペクトル表現及びスペクトル画像の高解像度化 (2016)</p> <p>(8) National Central University, Taiwan, Machine learning framework for global earth observations (2016)</p> <p>(9) 電子情報通信学会 PRMU 研究会, Superpixel に基づくスパーススペクトル表現及びスペクトル画像の高解像度化 (2016)</p> <p>(10) 岡山大学 博士人材キャリア開発セッション主催講演会, AI (人工知能) が創り上げる未来 (2016)</p>

	<p>(11) GITA 2016, 地球を見守る人工知能の開発 (2016)</p> <p>(12) 日仏シンポジウム 深層学習と人工知能, Machine learning framework for global earth observations (2016)</p> <p>(13) 日本リモートセンシング学会年会 2016, 東日本大震災における被災後の高分解能衛星画像を用いた深層学習による建物流出認識 (2016)、他 「新聞・雑誌等への掲載」 3件</p> <p>(1) 2017年7月16日(日) 読売新聞朝刊記事「サイエンス View」</p> <p>(2) 2017年7月3日(月) 日本経済新聞</p> <p>(3) 2017年6月9日(金) 日刊工業新聞 「展示会への出展」 3件</p> <p>2015, 2016 年度 G 空間エクスポなど</p>
<p>【A-1-1-27】「セマンティック情報に基づく自動運転システムにおける人工知能技術の性能評価・保証に関する研究」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)</p>	
投稿論文	<p>「投稿論文」 3件</p> <p>(1) IEEE International Conference on System Man and Cybernetics, Collecting multi-view static object images from an autonomous mobile robot, Daichi Morimoto, Yoko Sasaki, Hiroshi Mizogushi</p> <p>(2) HCG シンポジウム 2016, 自律移動ロボットによる歩行者観測, 佐々木 洋子, 新田 次郎, 伊藤 健太郎, 志水 正敏</p> <p>(3) IEEE International Conference on System Man and Cybernetics (SMC2016), Collecting Multi-View Static Object Images from an Autonomous Mobile Robot, Daichi Morimoto, Yoko Sasaki, Hiroshi Mizoguchi</p>
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	<p>招待講演 3件</p> <p>(1) Automated Vehicle Symposium2016, Concerning Safety Assurance of Automated Vehicles -Results and Discussion based on Projects in Japan-, Naohisa Hashimoto, Simon Thompson, Shin Kato, Sadayuki Tsugawa, Manabu Omae (招待講演)</p> <p>(2) 自動車技術会アクティブセーフティ部門委員会, 3次元知識表現地図による自律走行技術, 佐々木 洋子 (依頼講演)</p> <p>(3) 電子セラミックス・プロセス研究会, 自動車関連技術の進展, 佐々木 洋子 (招待講演)</p>
<p>【A-1-1-28】「データ駆動型人工知能と論理知識型人工知能の融合による解釈可能な自動運転システムに関する研究」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：国立大学法人九州工業大学)</p>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	<p>「学会発表」 20件</p> <p>(1) Proceedings of the Twenty-Second International Symposium on Artificial Life and Robotics 2017 (AROB 22nd 2017), pp. 856-859, Experimental Verification by Using a Driving Simulator Experimental a Rollover Prevention Controller, Kuroda, K., Ohta, H., Oya, M.</p> <p>(2) Brainhack Global (2017) Japan, odML- NIX Standardization Workflow for EEG and Motion recordings, Wagatsuma, H., Togo, M., Ichiki, M., Hagio, M., Yoshida, H., Maniama, J., Asai, Y.</p> <p>(3) 電子情報通信学会技術研究報告 (NC 研究会), Vol. 116, No. 521, NC2016-69, pp. 31-36, 運転中の脳負荷指標化の脳波計測による検討, 一木麻由, バルビール・シン, アイコウイツ, 我妻広明</p> <p>(4) ロボティクス・メカトロニクス 講演会- 2017 in Fukushima (ROBOMECH2017), 2P2-F03, ガウス混合モデルによる軌道データセットを用いる初期軌道生成, バルビエティボ, 株丹亮, 田中良道, 西田健</p> <p>(5) ロボティクス・メカトロニクス 講演会- 2017 in Fukushima (ROBOMECH2017), 2P1-G03, LSTM ネットワークを用いたロボットの移動経路の学習と探索, 井上聖也, 山下貴大, 西田健</p> <p>(6) 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI'17), 324-1, 自動運転のための理論知識型 AI での危険予測における推論能力の基礎検討, 橋本康平, 石田裕太郎, 市瀬龍太郎, 我妻広明, 田向権</p>

- (7) 第 61 回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI'17), 324-2, FPGA のためのロボットミドルウェアインタフェースの基礎検討, 石田 裕太郎, 大川猛, 田向 権
- (8) Proceedings of ICRA2017 Workshop "AI in Automation," Parameter Optimization of Frequency Estimation by Distribution Using Helping Optimization Based Planners: Generating Trajectories Seeds using Motion Datasets, Barbie, T., Kabutan, R., Tanaka, R., Nishida, T.
- (9) Proceedings of the 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2017), ID FrDT1806.1, Removal of Drift and Blink Artifacts in EEG based on Sparse Morphological Decomposition, Singh, B., Ichiki, M., Wagatsuma, H.
- (10) Proceedings of the 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2017), ID FrDT1708.1, MCA-Based Denosing for In-Vehicle EEG Measurements to Estimate the Driver's Mental Workload Influenced by Distractions, Ichiki, M., Singh, B., Ai, G., Wagatsuma, H.
- (11) Proceedings of the 12th International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2017), An Ontology-Based Knowledge Representation Towards Solving Bongard Problems, Maniamma, J., Wagatsuma, H.
- (12) 第 33 回ファジィシステムシンポジウム / Fuzzy System Symposium 2017, FA2-1, 多層自己組織化マップによる状況分類と自動アノテーションの試み, 水谷龍希, 古川徹生, 堀尾恵一 (受理済み)
- (13) 第 33 回ファジィシステムシンポジウム / Fuzzy System Symposium 2017, P11 (FA2-3), オントロジーに基づく自動運転向け意思決定システムの推論度評価, 橋本康平, 石田裕太郎, 三好竜平, 市瀬龍太郎, 我妻広明, 田向権
- (14) 第 33 回ファジィシステムシンポジウム / Fuzzy System Symposium 2017, FA2-2, レーダー式センサにおける人物検出の精度向上のための学習機械の要件, 福島克, 元政現, Jisha Maniamma, 我妻広明
- (15) 第 33 回ファジィシステムシンポジウム / Fuzzy System Symposium 2017, FA1-1, 自動運転に向けた地図情報精緻化における最適化問題, 我妻広明, 福島克, 元政現, Ankur Dixit, Jisha Maniamma
- (16) The 27st Annual Conference of the Japanese Neural Networks Society (JNNS 2017), Semantic-Web Based Representations to Solve Bongard Problems with a Logical Reasoning Architecture, Maniamma, J., Wagatsuma, H.
- (17) The 27st Annual Conference of the Japanese Neural Networks Society (JNNS 2017), An Inference Model Based on the Tableau Method to Trace the Logic in Detective Novels, Fujieda, M., Wagatsuma, H.
- (18) The 27st Annual Conference of the Japanese Neural Networks Society (JNNS 2017), An ADAS Framework for Automated Driving System by Using the Simulation of Urban Mobility (SUMO) Focusing on Reconciliations on Urban Complex Cross Roads, Won, J., Maniamma, J., Wagatsuma, H.
- (19) The 27st Annual Conference of the Japanese Neural Networks Society (JNNS 2017), An Efficacy of the Deep Learning System Applying for Discrimination of Target Sensor Data when the ADAS Millimeter-Wave Radar is Unstable in Pursuit of Pedestrians Along City Roads, Fukushima, K., Won, J., Maniamma, J., Wagatsuma, H.
- (20) 自動制御連合講演会, 前輪操舵のみを用いた適応車線追従制御 / Adaptive Lane Keeping Scheme Using Only Front Wheel Steering, 今池真弘, 荒木拓真, 大屋勝敬

「講演」2 件

- (1) 精密工学会 超精密加工専門委員会 第 70 回研究会『脳型コンピューティングの最前線 -生物、ニューロモルフィックから人工知能まで-』, 脳型人工知能の組み込みシステム化とロボットおよび自動車への応用, 田向権 (招待講演)
- (2) 第 156 回 産学交流サロン「ひびきのサロン」, 理論知識型 AI とデータ駆動型 AI の統合による自動運転用危険予測装置の構築と公道実証, 我妻広明 (招待講演)

「新聞・雑誌等への掲載」1 件

- (1) データ・マックス NETIB-NEWS, 人工知能の判断を明確化して自動運転の安全・安心を, 我妻広明 (地域広報誌)

【A-1-1-29】「産業用ロボットタスク」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「学会発表・講演」12件</p> <p>(1) 第48回関西CAE懇話会，人工知能とものづくり，原田 研介（招待講演）</p> <p>(2) 松村遼，原田研介，堂前幸康，バラ積みされた対象物のピッキングに対する物理シミュレータを用いた学習，日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会，2P1-A02，2017.</p> <p>(3) 永田和之，西卓郎，山野辺夏樹，原田研介，“深層学習によるピッキングのための物体配置パターン識別，” 日本ロボット学会学術講演会，1B1-08，2016.9.7.</p> <p>(4) 永田和之，西卓郎，山野辺夏樹，原田研介，“深層学習によるピッキングのための環境認識，” 第17回システムインテグレーション部門講演会，pp. 3059-3061，2016.12.17.</p> <p>(5) Kensuke Harada，“Planning Industrial Bin-Picking Tasks，” Robotics: Science and Systems Workshop on Recent Advances in Planning and Manipulation for Industrial Robots，2016.</p> <p>(6) Kensuke Harada，“Manipulation Technology for Industry，” Workshop on Robotics in the 21th Century: Challenges and Promises，2016.</p> <p>(7) Kensuke Harada，“Planning Dexterous Dual-arm Manipulation，” Workshop on “Dexterity Acquisition in Object Manipulation” Held in Conjunction with IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems，2016.</p> <p>(8) Kensuke Harada，“Planning Industrial Bin-picking Tasks，” Workshop on “Closed-loop Grasping and Manipulation: Challenges and Progress” Held in Conjunction with IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2016.</p> <p>(9) 原田研介，“産業用マニピュレーション技術”，日本機械学会北陸信越支部特別講演会，2016/12/22.</p> <p>(10) 松村遼，原田研介，堂前幸康，バラ積みされた対象物のピッキングに対する物理シミュレータを用いた学習，日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会，2P1-A02，2017.</p> <p>(11) 永田和之，西卓郎，山野辺夏樹，原田研介，“深層学習によるピッキングのための物体配置パターン識別，” 日本ロボット学会学術講演会，1B1-08，2016.9.7.</p> <p>(12) 永田和之，西卓郎，山野辺夏樹，原田研介，“深層学習によるピッキングのための環境認識，” 第17回システムインテグレーション部門講演会，pp. 3059-3061，2016.12.17.</p>
【A-1-1-30】「動作の模倣学習手法の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)	
投稿論文	<p>「査読付きジャーナル論文」4件</p> <p>(1) Kuniyuki Takahashi, Tetsuya Ogata, Jun Nakanishi, Gordon Cheng, and Shigeki Sugano: Dynamic Motion Learning for MultiDOF Flexible-Joint Robots Using Active-Passive Motor Babbling through Deep Learning, Advanced Robotics, accepted, Aug. 2017.</p> <p>(2) Kuniyuki Takahashi, Kitae Kim, Tetsuya Ogata, and Shigeki Sugano: Tool-body Assimilation Model Considering Grasping Motion through Deep Learning, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 91, pp. 115-127, May 2017.</p> <p>Nelson Yalta, Kazuhiro Nakadai, and Tetsuya Ogata: Sound Source Localization Using Deep Learning Models, Journal of Robotics and Mechatronics, pp. 37-48, Vol. 29, No. 1, Feb. 2017.</p> <p>(3) Pin-Chu Yang, Kazuma Sasaki, Kanata Suzuki, Kei Kase, Shigeki Sugano, and Tetsuya Ogata: Repeatable Folding Task by Humanoid Robot Worker using Deep Learning, IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L), Vol. 2, No. 2, pp. 397-403, Nov. 2016. DOI: 10.1109/LRA.2016.2633383</p> <p>(4) Kazuma Sasaki, Kuniaki Noda, and Tetsuya Ogata: Visual Motor Integration of Robot's Drawing Behavior using Recurrent Neural Network, Robotics and Autonomous Systems, Vol. 86, pp. 184-195, Dec. 2016. DOI: 10.1016/j.robot.2016.08.022</p>

	<p>「査読付き国際会議論文」7件</p> <p>(1) Junpei Zhong, Angelo Gangelosi and Tetsuya Ogata: Understanding Natural Language Sentences with Word Embedding and Multi-modal Interaction, Proceeding of IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics (ICDL-Epirob 2017), accepted, Lisbon, Portugal, September 18-21, 2017.</p> <p>(2) Junpei Zhong, Angelo Gangelosi and Tetsuya Ogata: Toward Abstraction from Multi-modal Data: Empirical Studies on Multiple Time-scale Recurrent Models, Proceedings of The 2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2017), accepted, Anchorage, Alaska, USA, May 14-19, 2017.</p> <p>(3) PIN-CHU YANG, Kazuma Sasaki, Kanata Suzuki, Kei Kase, Shigeki Sugano, Tetsuya Ogata: Repeatable Folding Task by Humanoid Robot Worker using Deep Learning, Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Robots and Automation (ICRA 2017), accepted, (acceptance rate 41%), Singapore, May 29- June 3, 2017.</p> <p>(4) Yumi Nishimura, Yuki Suga, Tetsuya Ogata, "An Effective Visual Programming Tool for Learning and Using Robotics Middleware," Proc. of 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2016), accepted, Sapporo, Japan, December, 2016.</p> <p>(5) Tao Asato, Yuki Suga, Tetsuya Ogata, "A Reusability-based Hierarchical Fault-detection Architecture for Robot Middleware and its Implementation in an Autonomous Mobile Robot System," Proc. of 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2016), accepted, Sapporo, Japan, December, 2016.</p> <p>(6) Kuniyuki Takahashi, Hadi Tjandra, Tetsuya Ogata, and Shigeki Sugano, "Body Model Transition by Tool Grasping During Motor Babbling using Deep Learning and RNN," In Artificial Neural Networks and Machine Learning - ICANN 2016, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), (Proceedings of the 25th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2016), Barcelona, Spain, September 2016) 財団法人 原総合知的通信システム基金 国際会議論文発表者助成</p> <p>(7) Kazuma Sasaki, Madoka Yamakawa, Kana Sekiguchi, and Tetsuya Ogata, "Classification of Photo and Sketch Images using Convolutional Neural Networks," In Artificial Neural Networks and Machine Learning - ICANN 2016, Lecture Notes in Computer Science (LNCS), (Proceedings of the 25th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2016), Barcelona, Spain, September 2016)</p>
特許等	なし
	<p>「書籍」3件</p> <p>(1) ディープラーニングがロボットを変える, B&T ブックス日刊工業新聞社, 2017年7月25日.</p> <p>(2) AI 白書 2017~人工知能がもたらす技術の革新と社会の変貌~, 株式会社角川アスキー総合研究所, 2017年7月20日. (1.3.6節担当)</p> <p>(3) 深層学習技術のロボット応用, 人工知能・機械学習・ディープラーニング関連技術とその活用, 情報機構, 2016年6月27日</p> <p>「学会発表」18件</p> <p>(1) 鈴木彼方, 加瀬敬唯, 尾形哲也: 深層学習モデルによる動作指示に基づく衣服折り畳みタスク学習, 第31回人工知能学会全国大会, 3D2-0S-37b-3, 2017年5月25日.</p> <p>(2) 太田博己, 安里太緒, 菅佑樹, 尾形哲也: ロボットミドルウェアにおける物体認識・リーチングのためのフレームワークの提案, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 2A2-K11, 2017年5月12日.</p> <p>(3) 加瀬敬唯, 鈴木彼方, 陽品駒, 尾形哲也: 深層学習を用いた多自由度ロボットの動作の組合せと片付けタスク実行, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 1P2-N07, 2017年5月11日.</p> <p>(4) 呉雨恒, 高橋城志, 山田浩貴, 金紀泰, 尾形哲也, 菅野重樹: 画像を用いたディープラーニングを利用した柔軟関節ロボットのダイナミックな動作学習, 情報処理学会第79回全国大会, 2M-04, 2017年3月16日, 名古屋大学.</p>

その他外部発表（プレス発表等）

- (5) 大山知理, 鈴木彼方, 陽品駒, 尾形哲也: 深層学習によるロボット知能化のためのモーションキャプチャ教示システム, 情報処理学会第 79 回全国大会, 1M-09, 2017 年 3 月 16 日, 名古屋大学. 学生奨励賞
- (6) 菅佑樹, 尾形哲也: RT ミドルウェアを用いた開発の課題とサポートツールの開発, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2016, 3B2-1, 2016 年 12 月 17 日, 札幌コンベンションセンター. キーノート
- (7) 金紀泰, 高橋城志, 尾形哲也, 菅野重樹: Deep Learning による把持動作を考慮した道具身体化モデルの学習と動作生成, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2016, 2C1-1, 2016 年 12 月 16 日, 札幌コンベンションセンター. 優秀講演賞
- (8) 高橋城志, 尾形哲也, 中西淳, Gordon Cheng, 菅野重樹: 多自由度柔軟関節ロボットのためのモーターバブリングを用いた効率的な動的動作の学習, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2016, 1C4-1, 2016 年 12 月 15 日, 札幌コンベンションセンター.
- (9) 鈴木彼方, 陽品駒, 加瀬敬唯, 尾形哲也: WQZ 法を用いた動作教示を利用した RNN によるオンライン動作生成, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2016, 1C4-2, 2016 年 12 月 15 日, 札幌コンベンションセンター.
- (10) 金紀泰, 高橋城志, 尾形哲也, 菅野重樹: Deep Learning によるロボット道具使用のための把持を考慮した道具身体化モデル, 日本ロボット学会第 34 回学術講演会, 3Y3-02, 山形大学, Sep. 7-9, 2016.
- (11) 陽品駒, 佐々木一磨, 鈴木彼方, 加瀬敬唯, 高橋城志, 菅野重樹, 尾形哲也: Wizard of Oz と深層学習によるロボットの柔軟物折り畳み作業, 日本ロボット学会第 34 回学術講演会, 2G2-05, 山形大学, Sep. 7-9, 2016.
- (12) Junpei Zhong, Angelo Cangelosi, Tetsuya Ogata: Sentence Embeddings with Sensorimotor Embodiment, 日本ロボット学会第 34 回学術講演会, 2G2-04, 山形大学, Sep. 7-9, 2016.
- (13) 西村優美, 菅佑樹, 尾形哲也: ロボットミドルウェア学習のためのビジュアルプログラミングツールの開発, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 2P2-02b4, 2016 年 6 月 10 日. 若手優秀講演フェロー賞
- (14) 安里太緒, ビグスジェフ, 安藤慶昭, 原功, 菅佑樹, 尾形哲也: ロボットミドルウェアのダイナミックワイヤリングを利用したホットスタンバイアーキテクチャの提案, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 2P2-02b3, 2016 年 6 月 10 日.
- (15) 鈴木彼方, 新古真純, 陽品駒, 高橋城志, 菅野重樹, 尾形哲也: CNN による二次元物体画像から実ロボットでの把持動作生成, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 2P1-12b7, 2016 年 6 月 10 日.
- (16) 山田浩貴, 下栗逸爾, 高橋城志, Hadi Tjandra, 菅野重樹, 尾形哲也: 道具機能表現を分類するための道具身体化モデルの転移学習, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 2P1-12b4, 2016 年 6 月 10 日.
- (17) 金紀泰, 高橋城志, Hadi Tjandra, 尾形哲也, 菅野重樹: ディープニューラルネットワークとリカレントニューラルネットワークによる把持位置を考慮した道具使用モデル, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会, 2P1-12b1, 2016 年 6 月 10 日.
- (18) 山川まどか, 関口香菜, 佐々木一磨, 尾形哲也: Convolutional Neural Network による写真と手描きスケッチの認識, 第 30 回人工知能学会全国大会, 4L1-4, 2016 年 6 月 9 日.

「招待講演」23 件

- (1) Tutorial Talk: Deep Learning for Robotics toward Deep Cognitive Systems, RSJ Tutorial, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2017), Vancouver, 25th September, 2017.
- (2) Invited Talk: Mirror neuron-like deep learning model implemented in humanoid robots, Brain Challenge 2017-the 20th Annual Meeting of the Korean Society for Brain and Neural Science, Seoul, 30th Aug. 2017.
- (3) 招待講演: 深層学習によるロボットの動作模倣学習と今後の展望, 第 4 回脳型人工知能とその応用 Mini Workshop, 株式会社国際電気通信基礎技術研究所, 2017 年 6 月 22 日.

- (4) 特別講演：深層学習によるロボットマニピュレーション，新潟県工業技術総合研究所 研究成果発表会，2017年6月15日。
- (5) 講演：ディープラーニングを用いたロボットの行動計画，OS3：ロボット：ビジョンからアクションへ～理論・実用の最新事例～，画像センシングシンポジウム2017，パシフィコ横浜アネックスホール，2017年6月9日。
- (6) Invited talk: End to End Learning Models for Robot Object Manipulation, Workshop on “AI in Automation”, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2017), Singapore, 2nd June, 2017.
- (7) 招待講演：ディープラーニングのロボティクス応用の可能性，LSI とシステム のワークショップ2017，東京大学生産技術研究所，2017年5月15日。
- (8) 講演：動作の模倣学習手法の研究開発，NEDO 委託事業「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」(人工知能分野) 中間成果発表会—人間と相互理解できる人工知能に向けて—，イイノホール，2017年3月29日。(URL)
- (9) 講演：深層学習とロボットの融合，技術動向レビュー「コミュニケーションを支える技術—音バリアフリーと人工知能—」，日本音響学会2017年春季研究発表会，明治大学生田キャンパス，2017年3月15日。
- (10) Invited talk: Deep Neural Models for Object Manipulation and Communication of Robots, International Symposium on Cognitive Neuroscience Robotics ~ Featuring Rolf Pfeifer’s Farewell Lecture ~, Division of Cognitive Neuroscience Robotics, Institute for Academic Osaka Initiatives (IAI), Osaka University, and MEXT KAKENHI “Constructive Developmental Science”, Osaka University, 10th March 2017.
- (11) Invited talk: Deep Neural Models for Object Manipulation and Communication of Robots, International Symposium on Robotic and Human Cognition and Brain Development, MEXT KAKENHI “Constructive Developmental Science” No. 24119001, The University of Tokyo, 28th Feb. 2017.
- (12) 講演：深層学習とロボティクス，京都大学大学院情報学研究科第18回情報学シンポジウム—人工知能と未来，京都大学 百周年時計台記念館 百周年記念ホール，2017年2月23日。
- (13) 講演：ディープラーニング技術のロボットシステムへの応用とその展望，IEEE プレスセミナー，大手町スクエアカンファレンス，2016年11月14日。
- (14) 講演：深層学習によるロボットの物体操作と言語の学習，日本機械学会 情報・知能・精密機器部門 機械と社会を変える人工知能(AI)基礎講座，日本機械学会 会議室，2016年11月9日。
- 解説記事：神経回路モデルによるロボットの行動と言語の統合学習，計測と制御，Vol. 55, No. 10, pp. 872-877, 2016年10月。
- (15) 講演：深層学習モデルによるロボット行動・言語学習，CBI学会2016年大会，インテル株式会社スポンサードセッション，タワーホール船堀，2016年10月27日。
- (16) Invited talk: Robot system handling unknown objects by deep learning, Japan-France Symposium on Deep Learning and Artificial Intelligence, The University of Tokyo, 12th Oct. 2016.
- (17) 招待講演：ロボットにおけるディープラーニングによるマルチモーダル情報の統合，Prometech Simulation Conference 2016, JP タワーホール&カンファレンス，2016年9月9日。
- (18) 講演：深層学習によるロボットの物体ハンドリング動作の学習，Beckhoff Technology Day 2016, 日石横浜ビル24F 大会議室，2016年9月6日。
- (19) 招待講演：神経回路モデルによるロボットの身体モデル学習～ダイナミックな運動の学習と応用～，日本体育学会第67回大会，大阪体育大学，2016年8月25日。
- (20) 招待講演：神経回路モデルによるロボットの運動と言語の学習，「機械の日・機械週間」記念行事，東京大学，2016年8月7日。
- (21) 招待講演：ディープラーニングによる実ロボットの行動学習，情報処理学会連続セミナー第1回：実世界に埋め込まれる人工知能，化学会館，2016年6月28日。

	<p>(22) 招待講演：ディープラーニングのロボット応用と今後の展望，精密工学会第380会講習会，上智大学，2016年6月10日。</p> <p>(23) 講演：Deep Learning 技術のロボティクスへの応用と今後の展望，CAE 計算環境研究会第7回シンポジウム，東京大学，2016年5月27日。</p> <p>「解説記事」</p> <p>(1) 解説記事：神経回路モデルとコミュニケーションの創発，日本ロボット学会誌，Vol. 35, No. 3, pp.195-198, 2017年4月。</p> <p>(2) 解説記事：手書きスケッチを扱う深層学習モデル，日本画像学会誌，Vol. 56, No. 2, pp.177-186, 2017年4月。</p> <p>(3) 解説記事：深層学習とマニピュレーション，日本ロボット学会誌，Vol. 35, No. 1, pp.28-31, 2017年1月。</p> <p>「新聞・雑誌・TV等への掲載」10件</p> <p>(1) 人工知能とロボット技術の最前線第5回神経モデルとロボットの深淵なる関係，ロボコンマガジン，No. 112, pp.54-57, オーム社，2017年7月1日。</p> <p>(2) 河鐘基著，AI・ロボット開発，これが日本の勝利の法則，扶桑社，pp.221-235, 2017年3月1日。</p> <p>(3) 明日のAIを見にいこう，METI Journal，2・3月号，経済産業省，2017年2月1日。</p> <p>(4) 家事だけでなく災害援助もダンスもできるロボットを開発：AERA，'17.1.2-9, No.1, 朝日新聞出版，2016年12月26日。</p> <p>(5) IEEE プレスセミナー：ディープラーニングが「意図をくみ取る」ロボットを実現する，TechFactory，2016年11月25日</p> <p>(6) インタビュー早稲田大学理工学術院教授 尾形哲也 ロボットに意味のある動作を伝えるディープラーニング，The ROBOT イノベーションXビジネス，機械設計11月別冊，日刊工業新聞社，2016年11月1日。</p> <p>(7) 早大 尾形教授とベッコフ川野社長対談、IoTによるAIとロボットの融合は何をもたらすか，ビジネス+IT，2016年10月13日，14日。</p> <p>(8) SFリアル「アトムと暮らす日」，NHK Eテレ23，2016年8月23日。</p> <p>(9) 有識者インタビュー：平成28年版情報通信白書，第4章2節人工知能（AI）の現状と未来，総務省，2016年7月。</p> <p>(10) 人工知能の大革命！ディープラーニング，NHKサイエンスZERO，2016年6月26日。</p> <p>「展示会への出展」1件</p> <p>(1) Cebit2017, March 2017</p>
<p>【A-1-1-31】「酵素反応データベースに向けた文献キュレーション支援技術の研究開発」</p> <p>（委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）</p>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
<p>【A-1-1-32】「事故情報テキスト解析・事故予防技術の研究開発」</p> <p>（委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所） <先導研究にて終了></p>	
投稿論文	<p>「査読付き論文」1件</p> <p>(1) 2017/1, Proceedings of IEEE Reliability and Maintainability Symposium, Text-Mining on Incident Reports to Find Knowledge on Industrial Safety, Toru Nakata</p>
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「学会発表・講演」1件</p> <p>(1) 2016/9, ヒューマンインタフェースシンポジウム2016 論文集, pp.363-368, トラブル報告文の事態進展パターンの認識, 中田 亨</p>

【A-1-2】「計算神経科学に基づく脳データ駆動型人工知能の研究開発」 (委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所)	
投稿論文	「査読付き論文」8件 (1) Neural Computation, Vol.28, pp.1249-1264 (2016) (2) Neural Networks, Vol.84, pp.17-27 (2016) (3) Scientific Reports, Vol.6, Article No.37599 (2016) (4) Neural Networks, Vol.84, pp.1-16 (2016) (5) Frontiers in Neuroscience, Vol.11, Article No.4, pp.1-11 (2017) (6) IEEE Transactions on Robotics, Vol.33, No.4, pp.846-856 (2017) (7) Nature Communications, Vol.8, No.15037, doi:10.1038 (2017) (8) PloS Computational Biology, Vol.10, No.1371, pp.1-27 (2017)
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	「学会発表・講演」49件、「新聞・雑誌等への掲載」9件、「展示会への出展」1件
【A-2】平成27年度採択② (RFIを踏まえた調査研究→先導研究→研究開発)	
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発	
【A-2-1】「メニーコアを活用するデータフロー型プログラミング言語の開発」 (委託先：株式会社トプスシステムズ、再委託先：株式会社Cool Soft)	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	「学会発表・講演」2件 (1) MPSoC'16 @ Nara “Dataflow: Manycore Architecture and It's Programming for Computer Vision and AI”, 7月11日 (2) Machine Learning DevCon'17 @ Santa Clara: “Image front-end Real-time data analytics /AI process enabled by a non-traditional architecture for the best AI task” 「新聞・雑誌等への掲載」2件 (1) 茨城新聞 2016年11月29日「トプスシステムズ 並列処理で機能向上 高速化省電力プロセッサ開発」 (2) 日経 Automotive 2017年3月号、米大手ITに一矢報いる新技術「470フレーム/秒と超高速なCNN画像認識」 「展示会への出展」2件 (1) 国際ロボット展2015 (東京ビッグサイト)「つくば技術開発クラブ」ブースに移動物体検出デモ機を出展 (2) NEDO「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」プライベート展示会 (幕張メッセイベントホール) 「プレス発表」2件 (1) 「データフロー型のメニーコアを活用するコンパイラを製品化」 (2) 「新世代AIプロセッサで組み込みディープラーニングの超リアルタイム処理へ」(ディープラーニングを用いて100fpsと超高速かつ低消費電力)
【A-2-2】「多様な時系列情報に対する深層学習基盤の開発」 (委託先：株式会社Preferred Networks) <調査研究にて終了>	
投稿論文	なし
特許等	特許出願済み
その他外部発表 (プレス発表等)	なし
【A-2-3】「柔軟ロボットによる身体環境相互作用に基づく道具使用」 (委託先：国立大学法人東京大学) <調査研究にて終了>	
投稿論文	なし
特許等	なし

その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-3】平成28年度採択（先導研究→研究開発）	
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発	
【A-3-1】「超低消費電力深層学習プロセッサおよびソフトウェア層の研究開発」 （委託先：国立研究開発法人理化学研究所、株式会社 Preferred Networks）	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-3-2】「人工知能と実験自動化ロボットを統合した次世代創薬プラットフォームの開発」 （委託先：株式会社 MOLCURE、再委託先：国立大学法人東京工業大学、国立大学法人東京大学、学校法人慶応義塾、国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所）	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」5件 「新聞・雑誌等への掲載」3件
【A-4】平成29年度採択（先導研究）	
研究開発項目⑦ 次世代人工知能技術の社会実装に関するグローバル研究開発	
【A-4-1】「人工知能と超音波3D画像による筋肉・腱・軟骨等の健康状態測定装置の研究開発」 （委託先：株式会社 U. N. デカルト、再委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-2】「熟練スキルを搭載した知能ロボットの研究開発」 （委託先：国立大学法人東京大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社 アールテック）	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-3】「人・機械協働性生産のための人工知能を活用した作業者モデル構築に関する研究開発」 （委託先：三菱電機株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所）	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-4】「オントロジー推論のリアルタイム処理を実現する組み込み技術の実現と安全・安心分野への応用」 （委託先：一般社団法人組み込みシステム技術協会、再委託先：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、国立大学法人九州工業大学、株式会社アトリエ、キャッツ株式会社）	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし

【A-4-5】「物流サービスの労働環境改善と付加価値向上のためのサービス工学×AIに関する研究開発」 (委託先：国立大学法人筑波大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学 人工物工学研究センター)	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-6】「次世代製造バリューチェーン構築へ向けた人工知能の研究開発」 (委託先：日本電気株式会社)	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-7】「高齢者の日常的リスクを低減するAI駆動アビエントセンサ・アクチュエータシステムの研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学、セイコーインスツル株式会社)	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-8】「ロボットをプローブとした高齢者の生活機能の計測・分析・介入技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、パナソニック株式会社、キング通信工業株式会社、再委託先：国立大学法人筑波大学)	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-9】「空間移動時のAI融合高精度物体認識システムの研究開発」 (委託先：国立大学法人東京大学、オリンパス株式会社、国立大学法人電気通信大学、株式会社デンソー、国立研究開発法人産業技術総合研究所、一般財団法人マイクロマシンセンター)	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	10月4日～6日、MEMSセンシング&ネットワークシステム展（幕張メッセ）に出展 上記併催プログラム（10/5）：研究開発プロジェクト成果報告会で発表
【A-4-10】「健康増進行動を誘発させる実社会埋込型AIによる行動インタラクション技術の研究開発」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、美津濃株式会社、国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター、国立大学法人東京大学 人工物工学研究センター、株式会社竹中工務店)	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-11】「AI×ロボットによる高品質細胞培養の自動化とオミックスデータの大規模取得」 (委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、Axcelead Drug Discovery Partners 株式会社、再委託先：国立研究開発法人理化学研究所、国立大学法人東京大学)	
投稿論文	なし
特許等	なし

その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-12】「AI 活用による安全性向上を目指したスマートモビリティ技術の開発」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-13】「人工知能技術を用いた植物フェノミクスとその応用に関する先導研究」 （委託先：特定非営利活動法人植物工場研究会、国立研究開発法人産業技術総合研究所、鹿島建設株式会社、国立大学法人千葉大学）	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「展示会への出展」1件 (1) 10/4（水）～6（金）に東京ビッグサイトで開催される「アグロイノベーション2017」のNPO植物工場研究会展示ブースにおいて、本先導研究の概要を紹介
【A-4-14】「コンビニ等の店舗内作業を対象としたAI×ロボティクスによる高度マテリアルハンドリング・システムの研究開発」 （委託先：株式会社豊田自動織機、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人東京大学）	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-4-15】「イノベーション・リビングラボの先導研究」 （委託先：学校法人東京電機大学）	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-5】平成29年度採択（調査研究）＜AI コンテスト方式＞	
研究開発項目① 大規模目的基礎研究・先端技術研究開発	
研究開発項目② 次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発	
研究開発項目③ 次世代人工知能共通基盤技術研究開発	
【A-5-1】「多様話者・多言語に対応可能な“End-to-End 音声認識AI”の実用化」 （委託先：Hmcomm 株式会社）＜最優秀賞＞	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-5-2】「人工知能による診療科推論等の調査研究」 （委託先：AR アドバンステクノロジー株式会社、株式会社島津製作所）＜優秀賞・審査員特別賞＞	
投稿論文	「投稿論文」2件 (1) アソシエーション分析に基づく単語補完を用いた電子カルテデータの分類（計測自動制御学会第44回知能システムシンポジウム） (2) 傷病と症状の共起関係に基づく初診患者のための診療科判定システムの構築（情報処理学会第79回全国大会）

特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-5-3】「スマホで育てる日本発個人向け人工知能」 （委託先：SOINN 株式会社） <優秀賞・審査員特別賞>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-5-4】「深層学習を利用した対話型インターフェースによる非構造化データ検索の調査研究」 （委託先：株式会社 BEDORE） <優秀賞・審査員特別賞>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-5-5】「五感 AI カメラの開発」 （委託先：アースアイズ株式会社） <審査員特別賞>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【A-5-6】「契約書関連業務における抜本的バックオフィス改革人工知能の調査研究」 （委託先：株式会社シナモン） <審査員特別賞>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし

B. 革新的ロボット要素技術分野

論文・特許・外部発表に係る成果	
【B-1】平成27年度採択①（先導研究→研究開発）	
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）	
【B-1-1】「人検知ロボットのための嗅覚受容体を用いた匂いセンサの開発」 （委託先：国立大学法人東京大学、住友化学株式会社、地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所）	
投稿論文	「査読付き論文」2件 (1) Analytical Chemistry, Vol. 89, pp. 216-231 (2016) (2) Lab on a Chip, Vol. 7, pp. 2421-2425 (2017) 「その他（総説等）」3件 (1) 化学工業, 第68巻2号, pp. 55-62 (2017) (2) 応用物理, 第86巻3号, pp. 228-232 (2017) (3) アロマリサーチ, Vol. 18, No. 2, pp. 10-15 (2017)
特許等	「特許出願」5件（うち国際出願2件、登録0件）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」9件、「新聞・雑誌等への掲載」28件、「展示会への出展」2件
【B-1-2】「次世代ロボットのためのマルチセンサ実装プラットフォーム」 （委託先：国立大学法人東北大学、共同実施先：学校法人名城大学）	
投稿論文	「査読付き論文」1件 (1) Chenzhong Shao, Shuji Tanaka, Takahiro Nakayama, Yoshiyuki Hata, Travis Bartley, Yutanaka Nonomura, and Masanori Muroyama, “A Tactile Sensor Network System Using a Multiple Sensor Platform with a Dedicated CMOS-LSI for Robot Applications”, Sensors 2017, Volume 17, Issue 9, 1974, pp. 1-13, 2017.
特許等	「特許出願」14件（背景特許含む）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」24件、「新聞・雑誌等への掲載」9件、「展示会への出展」16件
【B-1-3】「ロボットの全身を被覆する皮膚センサの確立と応用開発」 （委託先：国立大学法人熊本大学）	
投稿論文	「査読付き論文」6件 (1) 小林 牧子, 浪平 隆男, 高山 輝, “PZT/PZT ゼルゲル複合体の耐熱特性”, 超音波 TECHNO, vol. 28, no. 6, pp. 84-88, Nov 2016. (2) 小林 牧子, 木本 圭介, 木部 大河, “高温中の計測のためのトランスデューサ技術”, 超音波 TECHNO, vol. 28, no. 5, pp. 19-23, Sep 2016. (3) M. Kobayashi and M. Matsumoto, “Microwave sintering of sol-gel composite films using a domestic microwave oven”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 55, 07KD05 (2 pages), June 2016. (4) K. Kimoto, M. Matsumoto, T. Kaneko, and M. Kobayashi, “Sol-gel composite material characteristics caused by different dielectric constant sol-gel phase”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 55, 07KB04 (7 pages), June 2016. (5) H. Kouyama, T. Kibe, S. Fujimoto, T. Namihira, and M. Kobayashi, “Room temperature poling of PbTiO ₃ /Pb (Zr,Ti) O ₃ sol-gel composite films by pulse discharge”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 55, 07KD12 (6 pages), June 2016. (6) T. Kaneko, T. Kibe, K. Kimoto, R. Nishimura, and M. Kobayashi, “Frequency control of sol-gel composite films fabricated by stencil printing for nondestructive testing applications”, Jpn. J. Appl. Phys., vol. 55, 07KE15 (8 pages), June 2016.

特許等	「特許出願」2件（うち国際出願0件、登録0件） (1) 特願 2016-237060（噴射システム） (2) 特願 2017-114694（膜基板生産方法）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」13件、「展示会への出展」7件（展示会2件、技術説明会等5件）
研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）	
【B-1-4】「高強度化学繊維を用いた『超』腱駆動機構と制御法の研究開発」 （委託先：国立大学法人東京工業大学、再委託先：株式会社横浜ケイエイチ技研、株式会社アトックス）	
投稿論文	「査読付き論文」2件 (1) Journal of Textile Science and Technology, Vol. 3, No.1, pp. 1-16 (2017) (2) 日本機械学会論文集, Vol. 83, No. 848, pp. 1-20 (2017)
特許等	「特許出願」4件（うち国際出願1件）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」10件、「展示会への出展」2件
【B-1-5】「可塑化PVCゲルを用いたウェアラブルロボット用ソフトアクチュエータの研究開発」 （委託先：国立大学法人信州大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、再委託先：セーレン株式会社）	
投稿論文	なし
特許等	「特許出願」1件（うち国際出願0件、登録0件）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表」8件（うち国際学会3件、国内学会5件） 「展示会への出展」1件
【B-1-6】「高効率・高減速ギヤを備えた高出力アクチュエータの研究開発」 （委託先：国立大学法人横浜国立大学、再委託先：日本電産シンポ株式会社）	
投稿論文	「査読付き論文」2件 (1) Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics, DOI: 10.1109/ISIE.2016.7745072 (2016) (2) Proceedings of IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization, IS2-1 (2017)
特許等	「特許出願」4件（うち国際出願0件、登録4件）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」2件、「展示会への出展」2件
【B-1-7】「全方向駆動機構を核とした革新的アクチュエーション技術の研究開発」 （委託先：国立大学法人東北大学）	
投稿論文	「査読付き論文」1件 投稿準備中。
特許等	「特許出願」4件（うち国際出願1件、登録0件）、2件出願準備中。
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」10件、「新聞・雑誌等への掲載」1件
【B-1-8】「スライドラング材料を用いた柔軟センサーおよびアクチュエータの研究開発」 （委託先：豊田合成株式会社、アドバンスト・ソフトマテリアルズ株式会社、再委託先：国立大学法人東京大学）	
投稿論文	なし
特許等	「特許出願」5件（うち国際出願1件、登録0件）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」3件、「新聞・雑誌等への掲載」1件、「展示会への出展」1件
【B-1-9】「慣性質量を含むインピーダンス可変機構を有するスマートアクチュエータ」 （委託先：学校法人早稲田大学） <先導研究にて終了>	
投稿論文	「ジャーナル」2件

特許等	「特許出願」2件
その他外部発表（プレス発表等）	「国際会議」7件、「国内学会発表」4件
【B-1-10】「小型油圧駆動系と燃料電池・電池ハイブリッド電源によるフィールドアクチュエーション技術」 （委託先：国立大学法人東京大学） <先導研究にて終了>	
投稿論文	「査読付き論文」1件、「修士論文」3件
特許等	「特許出願」1件
その他外部発表（プレス発表等）	講演会・学会発表等 10件
【B-1-11】「人間との親和性が高いウェアラブルアシスト機器のための可変粘弾性特性を有する革新的ソフトアクチュエータシステムの開発」 （委託先：学校法人中央大学、再委託先：株式会社ブリヂストン）	
投稿論文	「査読付き論文」2件、「査読付き国際会議」8件
特許等	「特許出願」6件
その他外部発表（プレス発表等）	「国内講演会」12件、「展示会への出展」1件
【B-1-12】「高分子人工筋肉アクチュエータによる柔らかな運動支援装具の研究開発」 （委託先：国立大学法人九州大学、国立大学法人名古屋大学） <先導研究にて終了>	
投稿論文	「投稿論文」1件 (1) K. Masuya, S. Ono, K. Takagi, K. Tahara, “Modeling framework for macroscopic dynamics of twisted and coiled polymer actuator driven by joule heating focusing on energy and convective heat transfer,” submitted to Sensors & Actuators: A. Physical, 2017.
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表」8件 (1) 荒川武士, 高木賢太郎, “ナイロン糸を用いた釣り糸人工筋肉 (Coiled Polymer Actuator) の位置制御”, SI2015, 名古屋市, 2015. (2) 舩屋賢, 小野秀, 高木賢太郎, 田原健二, “電圧駆動型 Twisted and Coiled Polymer Actuator における温度応答の非線形モデリング”, RSJ2016, 山形市, 2016. (3) 荒川武士, 武田惇, 高木賢太郎, 舩屋賢, 田原健二, 安積欣志, “冷却時に送風機を用いる釣り糸人工筋肉 (TCPA) の位置制御” SI2016, 札幌市, 2016. (4) 舩屋賢, 高木賢太郎, 田原健二, “マンドレル型釣り糸人工筋肉を用いた指先運動補助装具の開発”, SI2016, 札幌. (5) 舩屋賢, 小野秀, 高木賢太郎, 田原健二, “対流熱伝達の温度・速度依存性に基づく釣り糸人工筋肉の変位モデリング”, ROBOMECH2017, 郡山市, 2017. (to appear) (6) 舩屋賢, 小野秀, 高木賢太郎, 田原健二, “釣り糸人工筋肉の束を利用したアクチュエータユニットの開発”, ROBOMECH2017, 郡山市, 2017. (to appear) (7) 小野秀, 舩屋賢, 高木賢太郎, 田原健二, “複数の釣り糸アクチュエータを用いた2自由度マニピュレータの位置・剛性制御”, ROBOMECH2017, 郡山市, 2017. (to appear) (8) 久保田洋輝, 田原健二, “誘電エラストマーアクチュエータを用いた1自由度マニピュレータの位置・力制御”, ROBOMECH2017, 郡山市, 2017. (to appear) 「国際学会発表」 (1) T. Arakawa, K. Takagi, K. Tahara, K. Asaka, Position control of fishing line artificial muscles (coiled polymer actuators) from nylon thread, SPIE Smart Structures/NDE 2016, San Diego, USA, 2016 (2) K. Takagi, T. Arakawa, J. Takeda, K. Masuya, K. Tahara, K. Asaka, “Position control of twisted and coiled polymer actuator using a

	<p>controlled fan for cooling” , SPIE Smart Structures/NDE 2017, Portland, USA, 2017.</p> <p>(3) K. Masuya, S. Ono, K. Takagi and K. Tahara, “Nonlinear dynamics of twisted and coiled polymer actuator made of conductive nylon based on the energy balance,” IEEE Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics. Munich, 2017. (to appear)</p> <p>「研究会講演・展示会等」3件</p> <p>(1) 高木賢太郎, パワーアシストを目指した釣り糸人工筋肉(ナイロンTCPアクチュエータ)の制御, 平成28年度中部地区医療・バイオ系シーズ発表会, 名古屋, 2016年12月</p> <p>(2) 田原健二, 筋骨格システムから人工筋肉へ, SICE SI部門ソフトマテリアル応用部会研究会, 札幌, 2016年12月</p> <p>(3) 高木賢太郎, 釣り糸人工筋肉(ナイロンコイルアクチュエータ/Twisted and Coiled Polymer Actuator)の応用に向けて, 日本MRSソフトアクチュエータ産業化研究会, 横浜, 2016年12月</p> <p>「著書」2件</p> <p>(1) 高木賢太郎, 荒川武士, 釜道紀浩, 舩屋賢, 田原健二, 安積欣志, “釣り糸人工筋アクチュエータ”系人基礎研究編第6章, 実用化に向けたソフトアクチュエータの開発と応用・制御技術, シー・エム・シー出版, 2017年3月</p> <p>(2) 高木賢太郎, 荒川武士, 釜道紀浩, 舩屋賢, 田原健二, 安積欣志, “釣り糸人工筋アクチュエータの制御指向モデリングと制御”, 第9章第2節, アクチュエータの新材料, 駆動制御, 最新応用技術, 技術情報協会, 2017年3月</p>
研究開発項目⑥ 革新的なロボッ・インテグレーション技術	
【B-1-13】「ロボット知能ソフトの透過継続システムインテグレーション技術の研究開発」	
委託先：国立大学法人東京大学) <先導研究にて終了>	
投稿論文	<p>「査読付き論文」2件</p> <p>(1) Kentaro Wada, Makoto Sugiura, Iori Yanokura, Yuto Inagaki, Kei Okada, Masayuki Inaba:Pickand-verify: verification-based highly reliable picking system for various target objects in clutter, Advanced Robotics, Vol.31, No.6, pp.311-321, 2017</p> <p>(2) Yuki Furuta, Yuto Inagaki, Kei Okada, Masayuki Inaba:Self-improving Robot Action Management System with Probabilistic Graphical Model based on Task Related Memories, in Proceedings of the 14th International Conference on Intelligent Autonomous Systems, pp.811-823, 2016.</p> <p>「解説論文」2件</p> <p>(1) 岡田 慧：“国際ロボット競技から見る将来展望”, 日本ロボット学会誌, Vol. 35, No. 1, pp 9-12, 2017.</p> <p>(2) 岡田 慧：“ROS, 5年たって”, 日本ロボット学会誌, Vol. 35, No. 4 p. 270-273, 2017</p>
特許等	成果はオープンソースで著作権を保持しつつ、公開している。
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「学会発表・講演」2件</p> <p>(1) 室岡 雅樹, 二井谷 勇佑, 和田 健太郎, 野沢 峻一, 垣内 洋平, 岡田 慧, 稲葉 雅幸:ロボットマニピュレーションにおける画像内物体の深層学習による運動予測, in The 31st Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2017, 2B1-1, 2017</p> <p>(2) 二井谷 勇佑, 和田 健太郎, 長谷川 峻, 北川 晋吾, 板東 正祐, 岡田 慧, 稲葉 雅幸:物品棚のピッキング作業のための深層学習でのセマンティック画像分割と三次元物品輪郭抽出, in 第34回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 2G2-03, 2016.</p>
【B-1-14】「人共存環境で活動するロボットのためのHRI行動シミュレーション技術」	
(委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所)	
投稿論文	「査読付き論文」0件
特許等	「特許出願」3件（うち国際出願0件、登録0件）

その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」1件
【B-1-15】「接触を許容しながら安全かつ不快感を与えずに移動する自律移動技術の研究開発」 （委託先：パナソニック株式会社、学校法人早稲田大学）	
投稿論文	「査読付き国際学会」5件 (1) IEEE RO-MAN (2016) (2) IEEE/ASME AIM (2016) など
特許等	「特許出願」2件
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」8件 (RSJ2017, ROBOMECH2017, SI2016, RSJ2016 など)
【B-1-16】「生物ロコモーションの本質理解から切り拓く大自由度ロボットの革新的自律分散制御技術」 （委託先：国立大学法人東北大学） <先導研究にて終了>	
投稿論文	「査読付き論文」1件 (1) Bioinspiration & Biomimetics, Vol. 12, No. 4, DOI: 10.1088/1748-3190/aa7725 (2017)
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」6件
【B-1-17】「行動記憶レイヤ統合に基づく衝撃対応実時間行動システム中核総合化研究開発」 （委託先：国立大学法人東京大学） <先導研究にて終了>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」2件、「受賞」1件
【B-1-18】「知識の構造化によるロボットの知的行動研究開発」 （委託先：学校法人明治大学、共同実施先：TIS株式会社）	
投稿論文	「査読付き論文」3件 (1) Aotani Y, Ienaga T, Machinaka N, Sadakuni Y, Yamazaki R, Hosoda Y, et al. Development of Autonomous Navigation System Using 3D Map with Geometric and Semantic Information. Journal of Robotics and Mechatronics. Fuji Technology Press; 2017 Aug 20;29 (4) :639-48. (2) 青谷芳宏, 萩原隆司, 荒木竜太郎, 小沼智裕, 家永昂, 片倉大輔, 町中希彰, 黒田洋司, 周辺環境認識に基づく形状情報と意味情報を含んだ3次元地図を利用した自律ナビゲーションシステム, 第22回ロボティクス・シンポジア, pp. 341-346 (2017) (3) 片倉大輔, 黒田洋司, 3D LIDARによる形状情報を用いた複数人物検出とトラッキング, 第21回ロボティクス・シンポジア, pp. 338-343 (2016)
特許等	「特許出願」1件（うち国際出願1件、登録0件）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」7件、「新聞・雑誌等への掲載」1件、「展示会への出展」3件

【B-2】平成27年度採択②（RFIを踏まえた調査研究→先導研究→研究開発）	
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）	
【B-2-1】「安全・小型・軽量なマン・マシン・インタフェースの開発」 （委託先：株式会社栗本鐵工所、再委託先：国立大学法人山形大学、国立大学法人大分大学、国立大学法人大阪大学） <調査研究にて終了>	
投稿論文	「査読付き論文」2件 (1) Takehito Kikuchi, Isao Abe, Takaya Kumagae, Junichi Noma, Torque-Controllable Device Using a Magnetorheological Fluid with Nano-sized Iron Particles for a Haptic Device, IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2017), pp.1154-1159 (2017.7.3-7, Munich) (2) Isao Abe, Takehito Kikuchi, Junichi Noma, Durability Test Device for MR Fluids with Permanent Magnet & V-shaped Groove, Smart Materials and Structures, Vol.26, No.5, doi:10.1088/1361-665X/aa6065 (11 pages), (2017.4)
特許等	「特許出願」2件（国内特許） マン・マシン・インタフェース（ハードウェア）、マン・マシン・インタフェース（力触覚提示のための制御パラメータと制御装置）を出願。特願2016-173600, 特願2016-17609.
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」8件
【B-2-2】「機能性ポリマーを用いた移動ロボットの吸着機構の研究開発」 （委託先：学校法人名城大学）	
投稿論文	なし
特許等	「特許出願」1件 吸着パッド 特願2016-387955
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」2件 (1) ロボメカ2017・西尾濤、大原賢一、池本有助、市川明彦、福田敏男（名城大）、”進行波を用いた壁面移動ロボットの開発”、 (2) SI2017（2017年12月20日～22日）予定・竹山、梶野、市川、福田、”濡れ性を用いた吸着パッドの研究”
【B-2-3】「コンデンサ化マテリアル基材によるソフトアクチュエータ開発」 （委託先：国立大学法人岐阜大学、株式会社ブイ・アール・テクノセンター） <調査研究にて終了>	
投稿論文	「査読付き論文」2件 (1) JOURNAL OF ADVANCED DIELECTRICS, Vol. 7, No. 1, 175002 (2017), (2) JOURNAL OF APPLIED SCIENCES, ENGINEERING AND TECHNOLOGY FOR DEVELOPMENT (JASETD), Vol.2, No.2, (2017).
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」1件、「展示会への出展」1件
研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）	
【B-2-4】「剛性と柔軟性を融合させるスマートメカニクス」 （委託先：国立大学法人筑波大学）	
投稿論文	「査読付き論文」3件 (1) Ryo Takano, Hiromi Mochiyama and Naoyuki Takesue: Real-time Shape Estimation of Kirchhoff Elastic Rod Based on Force/Torque Sensor, Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2017), pp.2508-2515 (2017). (2) Modar Hassan, Keisuke Yagi, Kaiwen Hsiao, Hiromi Mochiyama, Kenji Suzuki: Tarsusmeter: Development of a Wearable Device for Ankle Joint Impedance Estimation, Proceedings of the 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'17) (2017)

	(3) Keisuke Yagi, Hiromi Mochiyama: On the Determination of Mapping Rule and Smapling Interval for Human Joint Impedance Estimation, Proceedings of the SICE Annual Conference 2017 (SICE2017) (2017)
特許等	「特許出願」1件 (うち国際出願0件、登録0件) (1) 望山洋, 鈴木健嗣, ハサンモダル, 矢木啓介: 関節インピーダンス推定システム, 特願2016-239865, 2016年12月9日出願。 なお、JSTの国際特許出願支援制度に申請済。
その他外部発表 (プレス発表等)	「国際会議ワークショップ企画」1件 (1) IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2017) Workshop, Smart Mechanics: Fusion of Fusion of Softness and Rigidity in Robot Mechanism, Organizer: Hiromi Mochiyama, Kenji Suzuki, Yasumichi Aiyama, 2017.9. https://www.iros2017.org/program/workshops-and-tutorials 「オーガナイズドセッション企画」1件 (1) 日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2017) オーガナイズドセッション、剛性と柔軟性を融合させるスマートメカニクス (オーガナイザ: 望山洋, 鈴木健嗣, 相山康道), 2017.9. http://rsj2017.rsj-web.org/os/ 「学会発表・講演」5件 (1) 矢木啓介, 蕭凱文, 望山洋, 鈴木健嗣: MR流体を利用した受動型アクチュエータに関する研究, 第34回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2016AC1G3-01 (1/4), 2016. (2) 水島洋哉, 矢木啓介, Hassan Modar, 鈴木健嗣, 望山洋: 弾性体の飛び移り座屈を利用した装着型ヒト関節インピーダンス計測装置, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2016), 1094/1097, 2016. (3) 矢木啓介, 蕭凱文, 鈴木健嗣, 望山洋: 弾性体とMR流体を用いた機構によるパワーフロー調節に関する研究, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2016), 1109/1112, 2016. (4) 江尻啓太, 望山洋: 摩擦的特性を利用したロボット関節のための磁気粘性流体デバイスの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演, 1A1-H07 (1/2), 2017. (5) 望山洋, 矢木啓介, ハサンモダル, 蕭凱文, 安藤潤人, 江尻啓太, 相山康道, 鈴木健嗣: 剛性と柔軟性を融合させるスマートメカニクス, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017講演, 2A2-L01 (1/2), 2017.
【B-2-5】「次世代ロボット素材など要素技術の調査研究と次世代ロボットの試作開発」 (委託先: 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所) <調査研究にて終了>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表 (プレス発表等)	なし
【B-2-6】「把持機能と認識機能の統合による高度なマニピュレーションの実現」 (委託先: 国立大学法人神戸大学、共同実施先: 国立大学法人金沢大学、国立大学法人信州大学) <調査研究にて終了>	
投稿論文	「査読付き論文」1件 (1) Tetsuyou Watanabe, Kimitoshi Yamazaki & Yasuyoshi Yokokohji (2017): Survey of robotic manipulation studies intending practical applications in real environments - object recognition, soft robot hand, and challenge program and benchmarking-, Advanced Robotics, DOI:10.1080/01691864.2017.1365010
特許等	「特許出願」1件 (うち国際出願0件、登録0件)
その他外部発表 (プレス発表等)	「学会発表・講演」1件
【B-2-7】「IoT時代に対応したORiN3の戦略及び仕様作成」 (委託先: 一般社団法人日本ロボット工業会)	
投稿論文	なし
特許等	なし

その他外部発表（プレス発表等）	2016年度 「学会発表・講演」10件、「新聞・雑誌等への掲載」2件、「展示会への出展」5件 2017年度 「学会発表・講演」8件（予定含む）、「新聞・雑誌等への掲載」2件、「展示会への出展」5件 （予定含む）
【B-2-8】「動物の骨格・動作分析による、走破性が高い省エネ型脚機構の開発」 （委託先：学校法人日本医科大学 日本獣医生命科学大学、株式会社テムザック） <調査研究にて終了>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表」1件 (1) 2017年6月・第94回日本獣医麻酔外科学会・「犬用三次元動作解析機の開発および 後肢関節角度の推移について・第一報」
研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術	
【B-2-9】「広角・多波長レーザーレーダーによる超高感度コグニティブ視覚システム」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人慶應義塾、株式会社ジェネシス）	
投稿論文	「査読付き論文」1件 (1) H. Tsuchida, "Waveform measurement technique for phase/frequency-modulated lights based on self-heterodyne interferometry", Opt. Express, vol. 25, no. 5, pp. 4793-4799 (2017).
特許等	「特許出願」5件（予定含む） (1) 特願 2016-200764 光角度変調測定装置及び測定方法 土田英実 (2) 特願 2017-118503 光学的距離測定装置及び測定方法 土田英実（2017年6月16日） (3) 特願 2017-165940 光学的距離測定装置及び測定方法 土田英実（2017年8月30日） (4) 特願 2017-125533 高速光スイッチングエンジン 上塚尚登（2017年6月20日） (5) 特願 2017-165884 光線走査装置 津田裕之 上塚尚登（2017年8月30日） (6) 特願 2017-xxxxxx 円偏光型偏波ダイバーシティ素子およびデジタル光ビームスキャンニング素子、これらを用いたLidarとそのスキャンニング方法 上塚尚登（2017年9月出願予定）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」1件 (1) 第35回レーザーセンシングシンポジウム デジタルコヒーレントライダー 土田英実 (2) 日経エレクトロニクスに掲載（予定） 上塚尚登
【B-2-10】「非整備環境対応型高信頼ヒューマノイドロボットシステムの開発」 （委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）	
投稿論文	「査読付き論文」2件 (1) Advanced Robotics, Vol. 30, No. 24, p.p. 1544-1558 (2016) (2) 精密工学会誌, accepted (2017)
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」5件 (1) IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp. 401-408 (2016) (2) IEEE International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots, 8 pages (2016) (3) CVPR 2017 Workshop on WiCV, (2017) (4) 2017 IEEE 11th International Workshop on Software Clones (2017) (5) The 17th International Conference on Runtime Verification (2017)

【B-2-11】「超低侵襲、超低負担な神経電極デバイス技術のBMI 応用」	
(委託先：国立大学法人豊橋技術科学大学、共同実施先：国立大学法人新潟大学、国立大学法人旭川医科大学)	
投稿論文	<p>「査読付き論文」6件</p> <p>(1) Satohiro Tajima, Kowa Koida, Chihiro I Tajima, Hideyuki Suzuki, Kazuyuki Aihara, Hidehiko Komatsu, eLIFE 2017:6:e26868, July 2017.</p> <p>(2) Hirohito Sawahata, Shota Yamagiwa, Airi Moriya, Dong Sheng Teo, Hideo Oi, Yoriko Ando, Rika Numano, Makoto Ishida, Kowa Koida and Takeshi Kawano, Scientific Reports, Vol. 6, 35806, September 2016.</p> <p>(3) Yoshihiro Kubota, Hideo Oi, Hirohito Sawahata, Akihiro Goryu, Yoriko Ando, Rika Numano, Makoto Ishida and Takeshi Kawano, Small, Vol. 12, pp. 2846-2853, June 2016.</p> <p>(4) Shota Yamagiwa, Hirohito Sawahata, Rika Numano, Makoto Ishida, Kowa Koida, Takeshi Kawano, 2017 19th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (TRANSDUCERS 2017), June 2017.</p> <p>(5) Y. Seki, S. Yamagiwa, Y. Morikawa, H. Sawahata, R. Numano, M. Ishida, T. Kawano, The 30th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2017), January 2017.</p> <p>(6) S. Yamagiwa, H. Sawahata, H. Oi, R. Numano, M. Ishida, K. Koida, T. Kawano, The 30th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2017), January 2017.</p>
特許等	なし (2件の申請を準備中)
その他外部発表 (プレス発表等)	<p>「学会発表・講演」12件、</p> <p>(1) 澤畑 博人、山際 翔太、沼野 利佳、石田 誠、鯉田 孝和、河野 剛士、第40回日本神経科学大会、2017年7月22日</p> <p>(2) 沼野利佳、第93回日本生理学会大会、2017年3月28日 (招待講演)</p> <p>(3) 鯉田 孝和、第78回 埼玉大学脳科学セミナー・ミニシンポジウム、2017年3月13日 (招待講演)</p> <p>(4) 井戸川 慎之介、久保田 吉博、石田 誠、河野 剛士、第78回応用物理学関係連合講演会、2017年9月7日 (口頭発表)</p> <p>(5) 関 勇介、山際 翔太、森川 雄介、澤畑 博人、沼野 利佳、鯉田 孝和、石田 誠、河野 剛士、第78回応用物理学関係連合講演会、2017年9月7日 (口頭発表)</p> <p>(6) 鯉田 孝和、豊橋技術科学大学 平成28年度EIRISプロジェクト研究成果報告会 2017年3月10日</p> <p>(7) 河野 剛士、第1回ロボデックス 産学連携 ロボットフォーラム、2017年1月18日 (口頭発表)</p> <p>(8) 澤畑 博人、山際 翔太、沼野 利佳、石田 誠、鯉田 孝和、河野 剛士、第33回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム、2016年10月24日 (口頭発表)</p> <p>(9) 山際 翔太、石田 誠、河野 剛士、第33回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム、2016年10月24日 (口頭発表)</p> <p>(10) 森川 雄介、山際翔太、澤畑 博人、石田 誠、河野 剛士、第33回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム、2016年10月24日 (口頭発表)</p> <p>(11) 山口 健太郎、田中 将徳、山際 翔太、澤畑 博人、沼野 利佳、石田 誠、河野 剛士、第33回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム、2016年10月24日 (口頭発表)</p> <p>(12) 久保 寛、牧野 浩樹、浅井 皓平、田中 将徳、Leong Xian Long Angela、久保田 吉博、山際 翔太、澤畑 博人、秋田 一平、石田 誠、河野 剛士、第33回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム、2016年10月24日 (口頭発表)</p> <p>「展示会への出展」5件</p> <p>(1) 第40回日本神経科学大会 (7月20日~23日) に出展 ブース展示：超低侵襲、超低負担な脳計測用豊橋プローブ電極デバイスの展示を行ったワークショップ開催：開発する豊橋プローブに関する第2回ワークショップを開催し、豊橋プローブの利用方法講習会ならびに、動物埋め込みや受託について紹介した</p> <p>(2) BIO tech 2017 (6月28日~30日) に出展 ブース展示：超低侵襲、超低負担な脳計測用豊橋プローブ電極デバイスの展示とスライド紹介を行った</p>

	(3) 豊橋技術科学大学 平成 28 年度 EIIRIS プロジェクト研究成果報告会 -バイオ情報技術の社会応用- (3月10日) ポスター展示：超低侵襲な脳計測用豊橋プローブの開発 (4) 開学 40 周年記念事業 文部科学省研究大学強化促進事業 豊橋技術科学大学 シンポジウム『東三河から世界へ』～産学官連携による新しい価値の創造～ (2月14日) に出展 (5) SEMICON JAPAN 2016 (12月14日～16日) に出展 ブース展示：超低侵襲、超低負担な脳計測用豊橋プローブ電極デバイスの展示を行った
--	---

【B-2-12】「脳活動モデル同定と内部状態推定に基づく BMI 技術」

(委託先：株式会社国際電気通信基礎技術研究所) <調査研究にて終了>

投稿論文	「査読付き論文」1件 (1) Mechanical engineering in assistive technologies, pp.187-213 (2016)
特許等	「特許出願」1件 (うち国際出願0件、登録0件)
その他外部発表 (プレス発表等)	「学会発表・講演」8件

【B-2-13】「脳波によるヒト型ロボット高速制御技術の実現可能性に関する検討」

(委託先：国立研究開発法人産業技術総合研究所)

	発表媒体	発表タイトル	発表者
投稿論文	脳神経外科ジャーナル	ニューロサイエンスからニューロテクノロジーへ -ニューロコミュニケーターを用いた脳情報の解読と活用-	長谷川 良平
	The 23rd International Conference on Neural Information Processing	An attempt of speed-up of Neurocommunicator, an EEG-based communication aid.	R. P. Hasegawa and Y. Nakamura
	日本感性工学会論文誌	事象関連電位による刺激類似度の評価	藤村友美・長谷川良平
	Journal of Biosciences and Medicines	Development of Functional Interlaminar Pathways in the Mouse Superior Colliculus Revealed by Optical Imaging with Axonal Labeling.	N. Morita, T. Ito, R. P. Hasegawa, K Murase
	SAT テクノロジーショーケース	ニューロコミュニケーターによる脳情報活用サービスの構築	長谷川 良平
	日本神経科学大会		R. P. Hasegawa and Y. Nakamura
	リハ工学カンファレンス		中村美子・長谷川良平
	作業療法学会		中村美子・長谷川良平
	Proceedings of the 8th International Workshop on Biosignal Interpretation (BSI2016)	An EEG-based Communication Aid that Uses the Robot Avatar.	R. P. Hasegawa and Y. Nakamura
	SAT テクノロジーショーケース	脳波による意思伝達装置の高度化開発-脳の関心度を高める刺激提示手法の導入-	中村美子・長谷川良平

リハ工学カンファレンス		中村美子・長谷川良平
ICBAKE2017		R. P. Hasegawa and Y. Nakamura
AIST 九州センター		藤村友美・長谷川良平
名古屋工業技術協会		長谷川 良平
日本テクノセンター		長谷川 良平
つくばシティロータリークラブ		長谷川 良平
日本テクノセンター		長谷川 良平
福井大学		長谷川 良平
電子情報技術産業協会		長谷川 良平
情報機構		長谷川 良平
産総研イノベーションセミナー		長谷川 良平
仙台市重度障害者コミュニケーション支援センター		長谷川 良平
トリケップス		長谷川 良平
Health 2.0 Asia		長谷川 良平
デロイトトーマツコンサルティング		長谷川 良平
次世代医療システム産業化フォーラム		長谷川 良平
通信行動工学会		長谷川 良平
集中治療医学会		長谷川 良平
経営ビジョン懇話会		長谷川 良平
京都工芸繊維大学		長谷川 良平
立命館大学		長谷川 良平
アドナース		長谷川 良平
トリケップス		長谷川 良平
先端医療振興財団		長谷川 良平
新化学技術推進協会		長谷川 良平
AIST 関西センター講演会		長谷川 良平
新分野開拓懇談会		長谷川 良平
日本テクノセンター		長谷川 良平
ALS 戦略会議		長谷川 良平

トリケップス		長谷川 良平
産総研一般公開 2016		長谷川 良平ほか
産総研人間情報研究部門 シンポ 2016		長谷川 良平ほか
JST 新技術説明会		長谷川 良平ほか
NEDO 幕張展示会		長谷川 良平ほか
産総研テクノブリッジ		長谷川 良平ほか
サイエンスフェアつくば @科学技術週間		長谷川 良平ほか
産総研一般公開 2017		長谷川 良平ほか
日本青年会議所イベント		長谷川 良平ほか
産総研臨海センター一般 公開 2017		長谷川 良平ほか
産総研人間情報研究部門 シンポ 2017		長谷川 良平ほか
NEDO 幕張展示会		長谷川 良平ほか
BioJapan 2017		長谷川 良平ほか
画像ラボ (近刊)		長谷川 良平
精密工学会会誌 (2017 年 11 月号)		長谷川 良平
研究開発リーダー (2017 年 11 月号)		長谷川 良平
今日の整形外科治療指針 第 7 版		長谷川 良平ほか
脳神経外科診療プラクテ ィス 6『脳神経外科医が 知っておくべきニューロ サイエンスの知識』		長谷川 良平ほか

特許等	<p>本プロジェクト関連の特許（出願済み）が2件、登録された</p> <p>(1) 出願番号：13/819901/出願国：米国/出願日：2011/08/30/発明の名称：意思伝達支援装置及び方法</p> <p>(2) 出願番号：14/380955/出願国：米国/出願日：2012/10/12/発明の名称：序列化装置、序列化方法及びプログラム</p> <p>---</p> <p>周辺特許として以下の6件の国内外出願を行った（出願国の記載の場合は国内）</p> <p>(3a) 出願番号：PCT/JP2015/082101/出願国：W I P O/出願日：2015/11/16/発明の名称：脳波による類似度の評価方法、評価装置、評価システム及びプログラム</p> <p>+ (3b) 出願番号：15/527144/出願国：米国/出願日：2015/11/16/発明の名称：脳波による類似度の評価方法、評価装置、評価システム及びプログラム</p> <p>+ (3c) 出願番号：特願 2016-560207/出願日：2015/11/16/発明の名称：脳波による類似度の評価方法、評価装置、評価システム及びプログラム</p> <p>(4a) 出願番号：PCT/JP2015/082178/出願国：W I P O/出願日：2015/11/17/発明の名称：脳波による認証装置、認証方法、認証システム及びプログラム</p> <p>+ (4b) 出願番号：15/527387/出願国：米国/出願日：2015/11/17/発明の名称：脳波による認証装置、認証方法、認証システム及びプログラム</p> <p>+ (4c) 出願番号：特願 2016-560223/出願日：2015/11/17/発明の名称：脳波による認証装置、認証方法、認証システム及びプログラム</p> <p>(5) 出願番号：特願 2016-081229/出願日：2016/04/14/発明の名称：意思解読装置、意思解読方法、意思伝達支援装置、意思伝達支援システム及びプログラム</p> <p>(6a) 出願番号：特願 2015-558756/出願日：2014/12/16/発明の名称：認知機能評価装置、方法、システム及びプログラム</p> <p>+ (6b) 出願番号：15/113258/出願国：米国/出願日：2014/12/16/発明の名称：認知機能評価装置、方法、システム及びプログラム</p> <p>(7) 出願番号：PCT/JP2017/014383/出願国：W I P O/出願日：2017/04/06/発明の名称：意思解読装置及び意思伝達支援装置</p>
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「新聞掲載」2件</p> <p>(1) 日本経済新聞, 2016/9/5 15面（科学技術）：脳波読み取り患者意思把握</p> <p>(2) 日本経済新聞, 2017/6/19 9面（科学技術）：脳波で認知力評価</p> <p>「テレビ報道」2件</p> <p>(1) 2017年1月30日：テレビ東京『ワールドビジネスサテライト』「特集生活を変える『脳科学』」</p> <p>(2) 2017年3月28日：毎日放送『予約殺到！スゴ腕の専門外来スペシャル』</p> <p>「WEB ニュース/コンテンツ」3件</p> <p>(1) 2016年10月13日より放映：Web TV Audi『革新のイズム』 2016.10.13より On Air 「Innovator 79 「脳で会話」を可能にした男」</p> <p>(2) 2017年3月掲載：理系マイナビ（理系学生のための就職サイト） Special Interview - 若き研究・開発者への伝言-</p> <p>(3) 2017年8月3日掲載：日経デジタルヘルス 『知症、早期発見時代への幕開け』</p>
【B-3】平成28年度採択（先導研究→研究開発）	
研究開発項目④ 革新的なセンシング技術（スーパーセンシング）	
【B-3-1】「自由曲面に貼れるナノチューブ面状電極の研究開発」 (委託先：富士化学株式会社、国立大学法人信州大学)	
投稿論文	なし
特許等	「特許出願」1件（うち国際出願1件（伸縮性導電膜の製造方法）
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「学会発表・講演」1件</p> <p>(1) 国際会議 Nano World Conference, 2017年4月3-5日、ボストンにて特別講演 featured speaker)</p>
【B-3-2】「ロボットに実装可能なMEMS味覚センサ」 (委託先：国立大学法人東京大学)	
投稿論文	<p>「査読付き論文」1件</p> <p>(1) Optics Express Vol. 24, Issue 22, pp.25797-25804, "NIR spectrometer using a Schottky photodetector enhanced by grating-based SPR," Wenjing Chen, Tetsuo Kan, Yoshiharu Ajiki, Kiyoshi Matsumoti, and Isao Shimoyama</p>

特許等	<p>「特許出願」1件（うち国際出願0件、登録0件）</p> <p>(1) 「計測用デバイス及び計測センサ」 菅 哲朗、石原 拓哉、下山 勲、野田 堅太郎、塚越 拓哉、出願 2017年5月8日</p> <p>「プロジェクト開始前の特許出願」3件</p> <p>(1) 特開 2014-229779 「光検出器」 安食 嘉晴、下山 勲、松本 潔、唐木 幸一、佐々木 靖夫、八尋 正幸、濱田 明子、安達 千波矢、公開 2014年12月8日</p> <p>(2) 特開 2012-233779 「SPR センサと SPR センサを搭載する検査システム」 下山 勲、松本 潔、菅 哲朗、安食 嘉晴、公開 2012年11月29日</p> <p>(3) 特開 2009-168469 「SPR センサチップ及びこれを用いた SPR センサ」 下山 勲、松本 潔、岩瀬 英治、菅 哲朗、公開 2009年7月30日</p>
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「その他」1件</p> <p>(1) 一般公開ホームページによる研究概要の解説：東京大学 IRT 研究機構 HP 「http://www.irt.i.utokyo.ac.jp/」</p>
<p>【B-3-3】「味覚センサの高機能化による食品生産ロボットの自動化」</p> <p>（委託先：国立大学法人九州大学、共同実施先：株式会社インテリジェントセンサーテクノロジー、UCC 上島珈琲株式会社、富士食品工業株式会社）</p>	
投稿論文	<p>「査読付き論文」1件</p> <p>(1) Y. Tahara, T. Hattori, X. Wu, R. Yatabe, H. Ikezaki, M. Habara, K. Toko: Development of sweetness sensor for high-potency sweeteners using lipid polymer membrane, Proceedings of 2017 ISOGS/IEEE International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN 2017), p. 265-266, 2017</p>
特許等	「特許出願予定2件」
その他外部発表（プレス発表等）	<p>「学会発表・講演」7件</p> <p>「新聞・雑誌等への掲載」2件</p>
<p>研究開発項目⑤ 革新的なアクチュエーション技術（スマートアクチュエーション）</p>	
<p>【B-3-4】「分子人工筋肉の研究開発」</p> <p>（委託先：国立大学法人東京工業大学、国立大学法人北海道大学、国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学、共同実施先：国立研究開発法人産業技術総合研究所、学校法人関西大学、国立大学法人大阪大学）</p>	
投稿論文	なし
特許等	企業との共同研究がはじまり製品化の目処がたった時点で出願する戦略を採用
その他外部発表（プレス発表等）	CBI 学会 2016 年次大会において、分子ロボティクスシンポジウム 2016 を共催
<p>研究開発項目⑥ 革新的なロボットインテグレーション技術</p>	
<p>【B-3-5】「イメージセンサーを用いた環境認識処理の高速飛行体への適用」</p> <p>（委託先：エアロセンス株式会社、再委託先：国立大学法人東京大学）</p>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
<p>【B-3-6】「高速環境認識・飛行経路生成制御技術の研究開発」</p> <p>（委託先：株式会社自律制御システム研究所、国立大学法人信州大学、再委託先：SOINN 株式会社、国立大学法人千葉大学）</p>	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし

【B-3-7】「フライトレコーダを用いた安全性向上に向けた枠組みの研究開発」 (委託先：本郷飛行機株式会社)	
投稿論文	なし
特許等	「特許出願」1件
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【B-3-8】「UAV 向けフライトレコーダと不時着技術の研究開発」 (委託先：株式会社菊池製作所、国立大学法人徳島大学、公立大学法人会津大学、学校法人早稲田大学)	
投稿論文	国際会議論文を現在1編査読中（会津大学）
特許等	1件検討中（会津大学）
その他外部発表（プレス発表等）	第45回画像電子学会年次大会「ドローンの墜落時点推定に有効なカメラ・センサデータ処理法の基礎的検討」（早稲田大学）
【B-3-9】「フライトレコーダの標準化及び小型無人航空機の事故原因解析の研究開発」 (委託先：ブルーイノベーション株式会社、国立大学法人東京大学)	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	なし
【B-3-10】「人の手に近い高性能で堅牢性を併せ持つロボットハンドの開発」 (委託先：ダブル技研株式会社、公立大学法人首都大学東京 東京都立産業技術高等専門学校)	
投稿論文	「査読付き論文」2件 (1) Naoki Fukaya, "Development of Assistive Technology using Linkage Mechanisms, Proceedings of 7th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT 2017)", Keynote Speech, April, 2017 (2) Naoki Fukaya, Yuki Ogasawara, Development of Humanoid Hand with Cover Integrated Link Mechanism for Daily Life Work, Proceedings of 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2017), Oct. 2017 (Accepted)
特許等	「特許出願」5件（うち国際出願0件、登録0件）
その他外部発表（プレス発表等）	「学会発表・講演」2件 (1) 「荒川区障がい者スポーツフェスティバル」招待展示（2017年2月5日） (2) 「高専ロボットフェア」において、自民党本部にて自民党議員、党員、関係者等を対象にロボットハンドを実演展示（2017年3月30日） 「テレビ番組への登場」2件 (1) NHK 広報番組「ここに、公共放送」：NHK 総合、NHKBS プレミアム、NHKBS で7月10日より数ヶ月間週数回程度不定期に放送 (2) NHK ドラマ「NHK 総合にて9月より放送、ドラマ内小道具として全12回放送のうち複数回登場予定」 「歌手ミュージックビデオへの登場」1件 (1) 南條愛乃「光のはじまり」シングル CD ミュージックビデオにおいて、理想のロボットハンドとして登場
【B-3-11】「支援・被支援双方にやさしい汎用人工手の研究開発」 (委託先：学校法人慶應義塾、再委託先：マイクロテック・ラボラトリー株式会社)	
投稿論文	なし
特許等	なし
その他外部発表（プレス発表等）	「展示会への出展」1件