

立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第31号】

2022年(令和4年)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 31 号

2022年10月(令和4年)

公益財団法人 立石科学技術振興財団

Tateisi Science and Technology Foundation

設 立 趣 意 書

今日、日本の科学技術の進歩・発展は著しいものがありますが、エレクトロニクス及び情報工学の分野における技術革新も、いまでは社会的・経済的にきわめて大きな影響を及ぼしています。たとえば、工場では各種工程のオートメーション化が進むとともに、オートメーション機器をコンピュータや通信機器とつなぎ、工場全体を統合的に動かすシステムの実現へと向かっています。

一方、オフィスでは、ワークステーションやパソコンなどの OA 機器の普及が目覚ましく、また通信技術を利用することにより、データベースへのアクセスや情報交換も盛んになりつつあります。さらに、家庭においても、いわゆるホームオートメーション機器が浸透しはじめています。

このように、人間が働き生活する環境に、エレクトロニクス技術に支えられた各種機器がどんどん入ってきており、しかもその技術は年々高度化・システム化してきています。しかしながら、その技術革新のスピードが速いだけに、技術革新がそれら機器やシステムを使う主体である人間に及ぼす影響が十分考慮されない傾向があります。このため、本当に使いやすい機器・システムの開発が大きな課題になっています。

一方、今後の技術の飛躍的な発展のためには、人間の素晴らしい知識能力を規範にしたファジィなどの人工知能技術を確立し、使いやすい機器・システムの提供はもちろん、人間がより楽しく創造的な活動をするのに広く役立たせることが期待されます。

このような情勢に鑑み、オムロン株式会社、立石一真及び立石孝雄の醸出資金により「立石科学技術振興財団」を設立し、エレクトロニクス及び情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究及び国際交流に対し助成をおこない、技術革新を人間にとって真に最適なものとするに寄与せんとするものであります。

1990年3月

助成研究成果集

[本研究成果集は当財団ホームページより PDF で閲覧可能です]



目次

1. 理事長あいさつ	4
2. 財団関係者寄稿	5
柳田敏雄 (評議員) 国立研究開発法人情報通信研究機構 フェロー	
3. 立石賞受賞記念講演概要	6
立石賞 功績賞 東京大学 上席研究員・名誉教授 中村仁彦	
立石賞 特別賞 東京大学 特別教授 名誉教授 合原一幸	
4. 受領者投稿	17
三浦哲都 早稲田大学 人間科学学術院 准教授	
Ho Anh Van 北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 准教授	
5. 研究助成成果報告	20
【研究助成(S)】	
2018年度助成金受領者 (研究期間 2018年4月～2022年3月)	
小林博樹 東京大学 情報基盤センター 教授	20
2019年度助成金受領者 (研究期間 2019年4月～2022年3月)	
石井カルロス寿憲 株式会社国際電気通信基礎技術研究所 グループリーダー	27
菅野重樹 早稲田大学 創造理工学部 教授	34
研究助成成果報告 (抄録)	40
[https://www.tateisi-f.org/reports/2022/ からご覧いただけます]	
【研究助成(A)】	
2019年度助成金受領者	
田原淳一郎 東京海洋大学 学術研究院海洋電子機械工学部門 教授	40
双見京介 立命館大学 情報理工学部情報理工学科 助教	
2020年度助成金受領者	
秋山佳丈 信州大学 学術研究院繊維学系 教授	
牛山潤一 慶應義塾大学 環境情報学部 准教授	
木下史也 富山県立大学 工学部情報システム工学科 講師	41
木村 新 国立スポーツ科学センター 研究員	
茂里 康 和歌山県立医科大学 医学部 教授	
任田崇吾 石川工業高等専門学校 電子情報工学科 講師	
長濱峻介 京都先端科学大学 ナガモリアクチュエータ研究所 助教	
原 正之 埼玉大学 大学院理工学研究科 准教授	42
福井隆雄 東京都立大学 システムデザイン学部 准教授	
福里 司 東京大学 大学院情報理工学系研究科 助教	
松本理器 神戸大学 大学院医学研究科 教授	
宮城 桂 沖縄工業高等専門学校 情報通信システム工学科 講師	
森 信介 京都大学 学術情報メディアセンター 教授	43
渡辺哲陽 金沢大学 理工研究域フロンティア工学系 教授	
2021年度助成金受領者	
秋山靖博 名古屋大学 大学院工学研究科 助教	

池田佳奈美	大阪公立大学 大学院工学研究科 助教	
市野順子	東京都市大学 メディア情報学部 教授	
大塚和弘	横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授	44
大山克己	大阪公立大学 大学院現代システム科学研究科 教授	
木伏紅緒	神戸大学 大学院人間発達環境学研究科 助教	
桑波田晃弘	東北大学 大学院工学研究科 准教授	
小島 翔	新潟医療福祉大学 リハビリテーション学部 理学療法学科 講師	
齋藤 輝	九州産業大学 健康・スポーツ科学センター 助教	45
齊藤裕一	筑波大学 システム情報系 助教	
櫻田 武	成蹊大学 理工学部理工学科 准教授	
張 斌	神奈川大学 工学部機械工学科 助教	
瀬島吉裕	関西大学 総合情報学部 准教授	
高島弘幸	札幌医科大学附属病院 放射線部 副部長	46
田中 陽	理化学研究所生命機能科学研究センター 集積バイオデバイス研究チーム チームリーダー	
土屋智由	京都大学 大学院工学研究科 教授	
常盤達司	広島市立大学 大学院情報科学研究科 准教授	
中野英樹	京都橘大学 健康科学部理学療法学科 准教授	
松居和寛	大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教	47
村木里志	九州大学 大学院芸術工学研究院 教授	
元井直樹	神戸大学 大学院海事科学研究科 准教授	
柳田 剛	東京大学 大学院工学系研究科 教授	
山川雄司	東京大学 大学院情報学環 准教授	

【研究助成(B)】

南 征吾	群馬パース大学 大学院保健科学研究科 教授	48
------	-----------------------	----

【研究助成(C)】

2019年度助成金受領者

坂本優莉	東京農工大学 大学院生物システム応用科学府	
------	-----------------------	--

2020年度助成金受領者

王 子洋	北陸先端科学技術大学院大学 知識科学系 助教	
------	------------------------	--

6. 国際交流助成成果	49
[国際交流助成成果報告(抄録)は https://www.tateisi-f.org/reports/2022/ からご覧いただけます]	
7. 2021年度活動報告(業務日程・会計)	53
8. 2022年度助成報告	55
9. 第7回立石賞表彰式・記念講演および2022年度助成金贈呈式	58
10. 2022年度研究助成課題一覧	60
11. 2022年度国際交流助成一覧	63
12. 2022年度国際会議開催助成一覧	64
13. 財団の概要	67
14. 評議員・役員・選考委員	68
15. 編集後記	70

ごあいさつ

助成研究成果集第31号の発行に際し、一言ご挨拶申し上げます。

当財団は、オムロン株式会社の創業者であります立石一真が卒寿を迎えましたのを機に、科学技術の分野で「人間と機械の調和」を促進することを趣意として1990年（平成2年）に設立しました。そして設立趣意に沿った研究課題に対して毎年助成を行ってきた結果、設立以来の累積は、立石賞も含めて助成件数1,492件、助成金29.7億円となりました。これも日頃からの皆様のご支援の賜物と感謝いたすところでございます。



本成果集の発行は成果普及活動のひとつとして行うもので、助成対象となった研究課題の成果を、財団設立の趣意に沿って方向を同じくする研究者や研究機関と共有することを目的とするとともに、研究者の相互交流の一助となることを願って、毎年実施しております。今回ご寄稿いただきました研究者の皆様をはじめ、ご協力いただいた方々に厚く御礼申し上げます。

さて、毎年実施しています助成金贈呈式は、ニューノーマル時代を見据え、今年度はウェビナー形式での開催としました。助成を受けられた方々には、未来に向かって、夢と広い視野をもって今後とも邁進していただきたいと思います。また、隔年で実施しています立石賞の表彰式および記念講演は、会場での実開催と同時にライブ映像配信を行うハイブリッド開催としました。受賞者のお二方とも、当財団の趣意である「人間と機械の調和」を促進する研究に真正面から取り組まれて、世界の第一線でご活躍されている研究者で、その真摯な研究姿勢は受賞記念講演を通してひしひしと伝わってきました。研究助成を受けられた皆様には、近い将来の立石賞を目指して、引き続き研究を発展されることを期待します。

ところで、財団の設立から30年以上を経た今日、日本は、AI、IoT、ロボティクスおよび自動運転技術など将来に向けた科学技術が産官学連携のパートナーシップのもと進められています。最近では、当財団が目指す「人間と機械の調和」や協業を促進する科学技術分野への各研究開発が、世の中において積極的に推進される一方で、気候変動・地球温暖化をはじめ国際的な共通課題であるSDGsの実現に向けた取り組みが広がりつつあります。

先進国の中でも特に日本で深刻化しつつある少子高齢化問題を含め、社会的課題は山積しています。これらを克服し、日本が活力を再び取り戻し国際社会に貢献するためには、卓越した科学技術の力をさらに高めることが求められております。当財団は、民間の立場から、微力ながらも日本の科学技術の発展に対して寄与していく所存であり、今後も研究者の皆様にも夢を託して参ります。

今後の活動に対し、皆様方のより一層のご支援、ご指導を賜りますようお願い申し上げます。

2022年10月

理事長

立石文雄

脳に学ぶ、情報の量から質へ

COVID-19で世界は大混乱に陥っている。今後もこのような災害が訪れる可能性が十分にある。そこで、物理的制約のないサイバー世界での社会構築が期待されている。近年、AI、5G、B5G、VRなどVX、そしてロボット、アバターなどICTは飛躍的に進展しており、サイバー世界が身近なものとなりつつある。しかし、これらICTには課題もある。それは、情報の氾濫である。現在、情報量は年、約30%の割合で増加しており、今後も情報量は増加し続けると考えられる。この情報量の増加（氾濫）は深刻な問題を引き起こすことになる。まず、エネルギー問題である。ICTの消費電力は、省エネ化が進まなければ、情報量の増加と同じ、年30%の割合で増加することになる。すなわち、10年後の2030年には、ICTが使う電力は1.3の10乗=15倍になり、現在の総発電力量の1.5倍になる（現在のICT消費電力は総発電力量の10%。JST 2020年資料より）。非常に深刻である。もう一つの問題は、人間の脳への負担である。最大20ワット、おそらく数ワットで働く脳のキャパシティーはそれほど大きなものではない。それに、これでもかと情報を大量に高速に送り込んでも、脳は疲れるばかりである。



今のICTは量や通信速度ばかりに重点が置かれて、その質について議論されることがほとんどない。せいぜい、市場調査や製品が売れるか売れないかで判断する程度である。もっと、本質を突く研究開発が必要である。人間の脳が何を知らせたいのか、何を知らたいのかを見極める研究開発が必要である。私が所属する脳情報通信融合研究センター（CiNet）では、人間の脳活動から、脳に入力された様々な情報がどのように脳活動にエンコードされ、そして外界にどのように働きかけるのかを読み解く研究を進めている。現在、何を観ているか（画像、意味内容知覚）、どのように感じているか（情動知覚）に関してかなり読み解けるようになった。そしてさらに、常識や記憶、予測、意思決定などに関する高次の認知内容についても読み解く研究を進めている。これらを応用して、男女、年齢、性格、文化、国など異なる個人に対して、様々な入力情報に対する知覚や認知内容を脳活動から取得してビッグデータベースを構築すれば、人が何を知らせたいのか、何を知らたいのかを知ることができるようになると期待している。そうすれば、桁違いの少ない情報量で心地よくコミュニケーションができるサイバー世界が実現すると夢見ている。また、情報の質が上がれば、情報量が激減し、エネルギー問題も解決するだろう。

“わびさび”の引き算の文化をもつ日本がGAF Aや中国企業に勝てるチャンスはこれしかないのでは？

国立研究開発法人情報通信研究機構 フェロー 柳田敏雄（評議員）

立石賞功績賞の受賞記念講演概要

人間と機械の自然な相互作用の情報理論構築とその応用

東京大学 上席研究員・名誉教授 中村 仁彦

1. はじめに

私は現在、「パーソナル・デジタルツインの獲得・記述・認証」(科研費基盤研究(A) 2020-2022年度)という研究に取り組んでいます。個人のデジタルツインとはライフステージと共に成長し、計測によって絶えずアップデートされる個人の(特に運動の)デジタルモデルです。シミュレーションやAIなどの技術によって、健康生活、職業安全、技能継承、トレーニング、リハビリ、特定の病気やケガのリスクの早期発見、回復や老化に伴う生活支援などに生かすことができます。

一つのきっかけは2000年に構造可変リンク系の動力学シミュレーションの論文[1]を、2002年にはその効率的な並列計算のアルゴリズムの博士論文[2]を山根克君¹⁾が発表したことです。もう一つのきっかけは1998年から2002年まで科学技術振興機構のCRESTというプログラムの「脳を創る」(領域代表:甘利俊一)に採択されて、「自律行動単位の力学的結合による脳型情報処理機械の開発」という研究を行ったことです。

2. 筋骨格モデル

人の骨格モデルの開発も行いました。骨格に筋を付着させた筋骨格モデルは、2000年度のIPA未踏ソフトウェア創造事業に採択されて修士課程の鈴木一郎君が6ヶ月で、解剖学の教科書を見ながら筋366本と腱、靭帯、軟骨を含む合計547本の要素からなるモデルを作りました。

1) 以下、研究室の元学生の方々は親しみを込めて君付で呼ばせてください。

た[4]。これらは質量の無いワイヤで、身体の質量は全て骨に割り付けました。筋張力を与えて動きをシミュレーションしたところ体幹の姿勢が保てないことがわかりました。背骨の周辺には脊椎を包み込むように脊柱起立筋と呼ばれる大小の筋があり、体幹の姿勢を作ります。これらを追加して筋は最終的に989本になりました。



2003年度の修士論文で藤田悠介君は運動計測から逆動力学計算で筋張力を推定する問題を扱いました[5]。159自由度の骨格の運動から989本の筋張力と床反力を決定する問題で冗長性の高い問題ですが、不等式条件付き二次計画問題に帰着させて解きました。

鮎澤光君の博士論文[6]では身体各部位の質量分布の同定問題を扱いました。これはGentiane Venture特任助教(現東京大学教授)との成果でした。池上洋介君(博士論文[7])と吉松昭洋君(2012年度修士論文)は、骨格の相似性に着目し人の筋骨格モデルを写像して他の哺乳類(マウス)の筋骨格モデルを作りました。

3. 神経筋骨格モデル

2010-2016年にHPCI戦略プログラム「分野1予測する生命科学・医療および創薬基盤」はスパコン「京」を応用するプロジェクトでした。筋を質量が分布した超弾性体とし、筋と筋、筋と剛体である骨との接触を計算して、筋骨格の

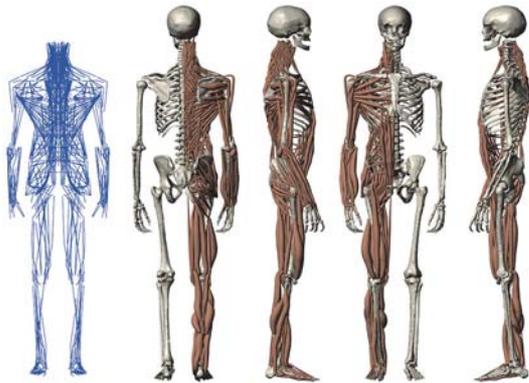


図1 超弾性体筋群と剛体骨格のFEMモデル

有限要素モデルを作りその計算を行いました。平澤謙章君の2013年度修士論文 [8] の成果で、鮎澤光君との共同研究です。

脊髄に分布する 128,250 個の運動ニューロンと筋に分布する 53,590 個の感覚ニューロン（筋紡錘）をスパイクニューロン・モデルで記述し、3次元的に配置して全身神経筋骨格統合シミュレーションを行いました。同プロジェクトでは銅谷賢治教授（沖縄科学技術大学院大学）たちが大脳皮質の $20 \times 20 = 400$ 個のコラムのモデルでパーキンソン患者特有の神経信号の発火リズムを再現されていたので、これを四肢の骨格筋 374 個の運動ニューロンに伝えて四肢の運動の力学シミュレーションを行いました。武市一成君の2014年度修士論文 [9] となった特任助教の村井君との研究成果です。

4. ビデオモーションキャプチャ

2017年度の修士論文で大橋拓也君はディープラーニングによる人間の2次元画像のポーズ推定技術を用いた3次元のモーションキャプチャに取り組みました [10]。4台のカメラの60FPSの画像からOpenPoseと呼ばれるディープ・ニューラルネットワークが推定器が出力する2次元ポーズを全カメラ分集め、骨格の3次元構造と運動の時間的連続性を考慮して3次元再構成しました。

カメラ画像をクラウドに送り、ポーズ推定から3次元再構成とバイオメカニクス解析まで

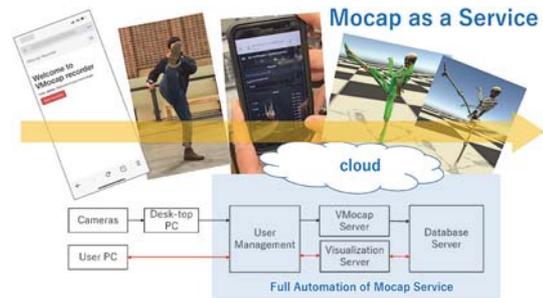


図2 クラウド型ビデオモーションキャプチャ

を行うシステムを池上君と特任助教の Milutin Nikolic 君（現セルビア，University of Novi Sad 准教授）が取り組みました。2022年3月にはバイオメカニクス解析の結果を一気通貫で計算し、データベースに投入して直ちにグラフ化するシステムとして完成しました。一気通貫の計算は特任助教の池上君の成果です。データベースとグラフ化は特任研究員の Cesar Hernandez 君の成果です [11]。櫻井彬光君は計算結果の筋骨格の運動の3次元データを可視化するViewerをUnityを用いて開発しました [12]。4台のカメラの設置された空間で携帯端末用いてサインインして5秒の運動を行ないます。10分後にメールが届いてリンクを開けばグラフをブラウザで、筋骨格の3次元運動をViewerで見ることができます。

このシステムを多くの人たちに使ってもらうことを目指しています。体育館やグラウンドや街角やジムなどにカメラを接地すれば、だれでも運動解析とバイオメカニクス解析を携帯端末から利用できます。青少年のスポーツの安全と競技力の向上に役立てたい。一般の運動愛好家や健康のためにジムへ通ったりジョギングを行ったりする中高年や、リハビリテーションを受ける方々が客観的に自分の運動を知ることができるようにしたいと考えています。

5. 運動と記号

テレンス・W・ディーコンの「言語と脳の共進化 ヒトはいかにして人になったか」 [13] を読んで記号と言語の関係に関心を持つきっかけ

Mathematical Model of Mirror Neuron

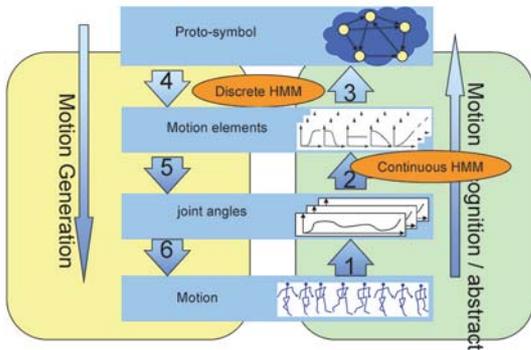


図3 HMMを用いたミラーニューロンのモデル

けになりました。Merlin Donald の「Origins of the Modern Mind」 [14] では、「人はまねることで獲得する」ということを示すミメシスという言葉に出会いました。1996年に Giacomo Rizzolatti らが発見したというミラーニューロン [15] についても興味を持ちました。ロボットの研究者としての関心は、人の行動（運動）を見て理解することと、自分で行動（運動）をすること、脳にとっては2つの方向の異なる（双方向の）活動が一つの神経回路でなされることの意味に向かいました。

学習が行動に直結するとしたらこれほど効率的なことはありません。ミメシスで記号を作り、記号を呼び出して再利用することを繰り返すことで複雑な動作を作ることができる。記号を使うことが言語につながり人の知能の基盤を構成している。ならば、ミメシスで記号を獲得して利用するヒューマノイドロボットを作ろう、そこから言語につないでみたいと思いました。

6. 人間とロボットのコミュニケーション

2006年の高野渉君（現 大阪大学特任教授）の博士論文 [16] はミメシスの問題を深化させるものでした。運動や行動は連続しており分節は見えません。連続する運動の切れ目を自動的に発見して分節化する方法を隠れマルコフモデルで実現しました。得られた分節の各々の隠れマルコフモデルを作り、それらの間の統計的パラメータの類似度から距離空間を作ってクラス

タリングすることで記号を作り出しました。

記号を用いて人の行動を理解して、それに適した記号を連想しヒューマノイドロボットの行動を生成する記号の双方向利用の理論を作りました [17]。2005年に開催された愛知万博では、杉原知道君が中心になって、ミメシスの実証実験として小型ヒューマノイドと人のリアルタイム格闘技を見せるデモを行いました。山本江君（現 東京大学准教授）が設計した小型ヒューマノイドロボット UT- μ 2: magnam [18] を使い、人間の行動はモーションキャプチャで計測し、ミメシスは高野君が担当しました。

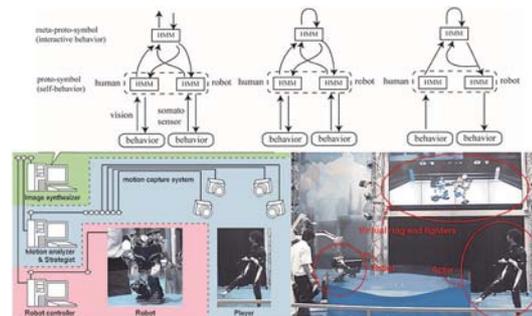


図4 ミメシスによるコミュニケーション理論と愛知万博でのデモンストレーション

7. ロボットの知能の構成論

人の行動や人と人とのコミュニケーションの基礎には記号があり、言語があり、それらが複雑に高度に発達して人の脳を共進化させ、人の生活と社会を発展させてきたというのが現代の科学的パラダイムである。これをなぞるように、人の骨格や運動の特徴を数学的問題に帰着させて答えを求め、ロボットの知能を構築する方法論にたどり着いた。技術は未熟であり実用化までには一層の研究開発が必要である。しかし方向性としてロボットの知能の構成論は人間の知能の進化をなぞることになるだろう。

物理的あるいは数学的な真理というよりは、これはロボットの運命である。ロボットは人が作り出したものである。人の形態に近いかどうかに関わらず、機械の動作は人の設計者のイメージの影響を受けて、人の動作の鋳型にはめ

られたものになる。わたしたちは動物、とくに哺乳類の動作は擬人化して解釈する。身体や脳の進化の歴史から、人の知能は哺乳類の知能の特殊化であり共有する部分がある。擬人化による解釈は人の思い込みに過ぎないとは言い切れない。

人の知能が、人の知能をなぞってできたロボットの知能からあまりかけ離れたものでないとして、人の知能の限界を考えるのも何かの参考になるかもしれない。

8. 知能の構成論からみる人間の社会

言語を記号としてみることを、それを普遍して人間社会を作り上げているものは記号であることとみることは構造主義と呼ばれる。言語学の記号論を適用して社会活動を記述した1949年のクロード・レヴィ=ストロースの「親族の基本構造」[19]に由来している。運動記号に基づくロボットの知能の構成法は構造主義的である。構造主義批判の歴史は押さえておく必要がある。

1960年代後半からポスト構造主義が、1980年代にはポストモダン [20] という思想が生まれた。構造主義は、構造を既に存在する静的なものと考えそれを発見する立場であり、現代的な多様性や創造性や偶然性が生まれるメカニズムをその中に含んでいないと批判された。ポストモダンでは、つねに古い構造が壊れて新しい構造が生まれる営みを重視し脱構築 (deconstruction) という言葉が生まれた。

記号には大小がある。大きな記号とは大きなコミュニティに共有される長期にわたって安定した記号である。小さな記号とは小さなコミュニティに共有される比較的短い時間で生成から消失に至る記号である。大きな記号は上位のスーパーコミュニティを作り、小さな記号は部分集合のサブコミュニティを作る。

一つの国家では、大きなゆっくりと変化するスーパーコミュニティをもちその中に動的に変化するサブコミュニティをもつ構造が持続可能な社会の構造である。大きな記号とは社会が普

遍的と方向づける価値である。倫理 (真理や正義) や自由, 平等, 平和, 民主主義, 人権などが含まれる。政治の目的は共通の価値を議論して大きな記号でスーパーコミュニティを保つことである。これが分断のない社会である。保守とは、大きな記号をコミュニティが共有して安定な社会を持続可能にする立場である。われわれは記号の大小を理解して、社会については大きな記号で語ることに留意すべきである。政治は小さな記号で分断を誘ってはならない。

9. 歴史への希望 (むすびにかえて)

ロシアのウクライナ侵攻が2022年2月に始まり歴史の針を100年前に戻すかのような、歴史観と世界観がゆがんで錯覚の中のようにめまいを感じる状況が続いている。

E. H. カーは「歴史とは何か」[21]の中で歴史について次のことを書いている。

- ・現代と過去との対話である。
- ・現在の記号によって過去を記述する。
- ・過去の記述から現代を照らしだす。

歴史はつねに脱構築され、現在の記号で過去を書き変えてゆく。歴史の針が戻るのではなく現在の状況が生んだ新しい記号で第一次世界大戦や第二次世界大戦やその後の世界の見方が、いま書き換えられているのである。

国連の役割の重要性が高まっています。カント [22] が「戦争を避ける永遠の平和」のために構想した国家連合が求心力を保つためには、倫理や自由, 平等, 平和, 民主主義, 人権などの記号の他に、人類の繁栄を記号として持つ必要があります。このために資本主義はグローバルゼーション, エネルギー, 温暖化, 環境, 食糧などの諸問題の解決に向かわなければなりません。科学とデータで脱構築し新しい資本主義を構築することが必須です。つまり、諸問題が課す条件を満たす資本主義が繁栄に導き、多くの国がそれを目指すようになる必要があります。これを成し遂げて共通の歴史を持続させることが人類の希望です。

人類の繁栄のシナリオは他にもあると思います。未来の万能の人工知能にこれをゆだねる選択もあります。しかし人類は自らの手で歴史を記述する道を選択することでしょう。大きな記号を共有して共通の歴史が生まれることを目指すこと、これがロボットの知能から出発して私が考え始めていることです。

[参考文献]

- [1] Y. Nakamura and K. Yamane. "Dynamics Computation of Structure-Varying Kinematic Chains and Its Application to Human Figures," IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 16, No. 2, pp. 124-134, 2000.
- [2] K. Yamane. "Realtime Interactive Dynamics Computation of Structure-varying Kinematic Chains and Its Application to Motion Generation of Human Figures," Ph.D Dissertation, Dept of Mechano-Informatics, University of Tokyo, March 2002.
- [3] K. Yamane and Y. Nakamura. "Parallel O (logN) Algorithm for Dynamics Simulation of Humanoid Robots," Proc. of IEEE-RAS Intern. Conf. on Humanoid Robotics, 2006.
- [4] 中村仁彦, 山根克, 栗原一貴, 鈴木一郎. 情報処理振興事業協会 未踏ソフトウェア創造事業「人間の運動・認知情報処理研究のための高度計算基盤ソフトウェア」報告書, 2002. 03.
- [5] Y. Nakamura, K. Yamane, Y. Fujita, and I. Suzuki. "Somatosensory Computation for Man-Machine Interface from Motion Capture Data and Musculoskeletal Human Model," IEEE Trans. on Robotics, vol. 21, no. 1, pp. 58-66, 2005.
- [6] Ko Ayusawa. "Computational Study on Dynamics of Large DOF Multibody Systems with Underactuated Base and its Application to Mass-Property Identification of Humans and Humanoids," Ph. D. Dissertation, Dept. Mechano-Informatics, University of Tokyo, 2011.
- [7] Yosuke Ikegami. "Subject Specic Modeling of Bodies for Muscle Activity Estimation Based on Geometric Morphing," Ph.D. Dissertation, Dept. Mechano-Informatics, University of Tokyo, 2017.
- [8] 平澤謙章, "スパイク脊髄神経モデルと全身筋有限要素モデルの統合とその並列計算," 東京大学情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士論文, 2014. 03.
- [9] 武市一成, "解剖学および生理学に基づくスパイク脊髄神経モデルによる神経筋骨格統合シミュレータ," 東京大学情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士論文, 2015. 03.
- [10] T. Ohashi, Y. Ikegami, K. Yamamoto, W. Takano and Y. Nakamura, "Video Motion Capture from the Part Confidence Maps of Multi-Camera Images by Spatiotemporal Filtering Using the Human Skeletal Model," Proc. of IEEE/RSJ IROS, pp. 4226-4231, Oct., 2018.
- [11] C. Hernandez-Reyes, Y. Ikegami, Y. Nakamura. "Open Architecture between Database and Visualization for Democratized Scientific Sports Training," 第40回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2022AC2J2-7, 2022.
- [12] A. Sakurai, Y. Ikegami, K. Yamamoto, M. Nikolic and Y. Nakamura. "Visualization of Human Motion via Virtual Reality Interface and Interaction Based on it," Proc. of 9th Intern. Conf. on Sport Sciences Research and Tech. Support, pp. 130-137, 2021.
- [13] テレンス・W・ディーコン. "言語と脳の共進化 ヒトはいかにして人になったか," 金子隆芳訳, 新曜社, 1999. (原著: 1997)
- [14] Merlin Donald. "Origins of the Modern Mind," Harverd University Press, 1991.
- [15] G. Rizzolatti, L. Fadiga, V. Gallese, L. Fogassi. "Premotor cortex and the recognition of motor actions". Cognitive Brain Research. 3 (2) pp. 131-141, 1996.
- [16] Wataru Takano. "Stochastic Segmentation, Proto-Symbol Coding and Clustering of Motion Patterns and Their Application to Signifiant Communication between Man and Humanoid Robot," Ph. D Dissertation, Dept of Mechano-Informatics, University of Tokyo, March 2007.
- [17] 高野渉, 山根克, 杉原知道, 山本江, 中村仁彦. "身体的記号化モデルに基づく人間とヒューマノイドロボットのコミュニケーション理論," 日本ロボット学会誌, Vol. 28, No. 6, pp. 735-745, 2010.
- [18] 山本江. "厳しい時間拘束条件の下で多様な設置状態変化をするヒューマノイドロボットの動作計画," 東京大学情報理工学系研究科知能機械情報学専攻修士論文, 2006. 03.
- [19] クロード・レヴィ=ストロース. "親族の基本構造," 福井和美訳, 青弓社, 2000. (原著: 1949)
- [20] 浅田彰. "構造と力——記号論を超えて," 勁草書房, 1983.
- [21] E. H. カー. "歴史とは何か," 清水幾太郎訳 岩波新書, 1962. (原著: 1961)
- [22] カント. "永遠平和のために," 宇都宮芳明訳 岩波文庫, 1985. (原著: 1795)

立石賞特別賞の受賞記念講演概要

数理情報工学に基づく複雑系数理モデル学の構築と その応用に関する研究

東京大学 特別教授/名誉教授 合原 一 幸

数学というと、以前は実際の役には立たない学問の典型例のように言われていた。しかしながら、そもそも人類による数字の発明依頼、数学は様々な実用のために積極的に活用され、人類の生活を根底で支えてきている。

そのような実用を意識した現代の数学分野の典型例に、数理工学（Mathematical Engineering）がある。この数理工学は、第2次世界大戦後に東京大学工学部で生まれた、世界的にもとてもユニークな学問分野である。数理工学は、現実の諸問題や諸現象を対象にして、先端的数学を用いて研究する学問である（図1）。そのためには、まず現実の諸問題や諸現象を数学を言語として表現する。これを数理モデリングと呼ぶ。この数理モデリングによって、現実の問題や現象が数理の世界に数理モデルとして写像されるので、それらを数学的に研究することが可能になる。



図1 数理工学の方法論

当初は、工学の諸問題や諸現象が数理工学的研究の主な対象であったが、その後の数理工学の進展に伴って、脳、生命、経済等々、工学以外の様々な実在システムと関係する諸学問分野もその応用範囲に取り込み、大きく発展してきている。

数理工学、さらには数理科学と、情報工学、情報科学は一見近そうに見られることが多いが、実はかなり距離がある。ということは、この2つの分野を結び



付けることによって、あらたに魅力的な学問分野を創成出来る可能性があることになる。このような発想で、東京大学大学院に情報理工学系研究科が新設された機会に、数理工学は、数理情報工学へと飛躍した。筆者は、この東京大学大学院情報理工学系研究科創設のためのリエゾン推進室にも在籍していたので、とても懐かしく思い出される。

本稿では、数理情報工学に基づく筆者の研究のいくつかをご紹介します。

数理情報工学が活躍する時代背景

昨今、人工知能（AI）、ビッグデータ、デジタルトランスフォーメーション、メタバース、ブロックチェーンやweb3をはじめとして、科学技術、工学や産業構造が世界レベルで大きく変革しつつある。このような世界的な動きの中で我が国は、日本の企業や大学が有する高度な「技術力」や「研究開発力」を活かして経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会である「Society 5.0」の実現を目指している。この「Society 5.0」実現のためには、先端数理情報工学に基づいてAI技術やビッグデータ解析技術などの諸科学技術を高レベルかつ的確に使いこなすことで、21世紀の様々な複雑課題

を解決して、人間と機械が調和したこれからの社会の発展に資する卓越した研究開発力を実現することが強く求められている。たとえば、2019年3月には、経済産業省、文部科学省によって、数学の産業応用による課題の解決や今後の方向性に関する『数理資本主義の時代～数学パワーが世界を変える～』報告書が取りまとめられている。

複雑系数理モデル学の構築

21世紀に残された重要性の高い研究課題は、脳、生命、免疫などの生体機能、がん、新型コロナウイルス感染症を典型例とする新興・再興感染症などの医学・疫学、エネルギー、電力、通信、交通などの社会経済システム、環境、地震などの安全・安心の確保など多岐にわたるが、これらはいずれも多面的アプローチを必要とする広義の複雑系の問題として捉えることができる(図2)。

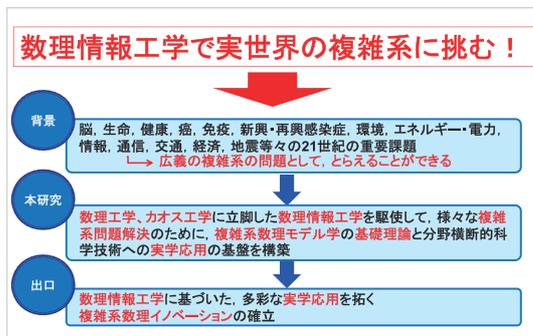


図2 実世界の複雑系に挑む

筆者は、大学院生時代から現在に至るまで一貫して、現実の様々な複雑系を数理的に解析して最適化・制御・予測するために、「数理工学」と「数理情報工学」、および筆者が世界に先駆けて提唱した、カオス、フラクタル、複雑ネットワークなどを工学的立場で研究する「カオス工学(Chaos Engineering)」の観点から、「複雑系数理モデル学」の構築とその具体的な分野横断的科学技術への応用研究に取り組んできた。特に、科学技術振興機構のERATO合原複雑数理モデルプロジェクト(図3)や内閣府/日

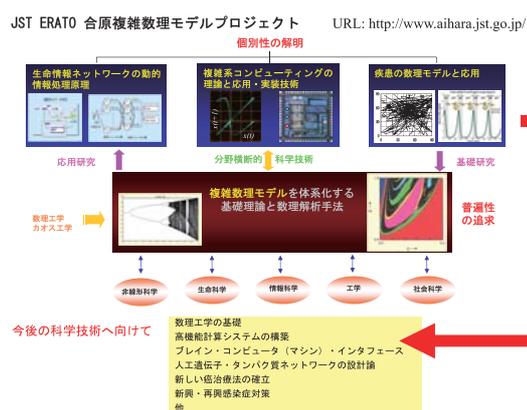


図3 ERATO合原複雑数理モデルプロジェクトの概要

本学術振興会のFIRST合原最先端数理モデルプロジェクト(図4)など様々な大型プロジェクトを通じて、多くの数理研究者のみならず実験研究者とも協働して、複雑系の階層的ダイナミクスを制御に結び付ける「複雑系制御理論」、複雑系のネットワーク構造を最適化に結び付ける「複雑ネットワーク理論」、複雑系から観測されるビッグデータを予測や数理モデリングに結び付ける「非線形データ解析理論」や「データ駆動型モデリング理論」などを軸に「複雑系数理モデル学」の理論的プラットフォームとしての数理的基礎理論を体系化した(図5)。そして、この複雑系数理モデル学の基礎理論を駆使して多様な応用技術を広く展開し、それまで実学とは無縁であった複雑系科学を、人間と機械が調和する社会実現のために応用する技術基盤を開拓してきた(1)-(7)。

未病の数理情報工学研究

筆者が現在プロジェクトマネージャーを務める内閣府/科学技術振興機構・ムーンショット型研究開発事業目標2の「複雑臓器制御系の数理的包括理解と超早期精密医療への挑戦」プロジェクトでは、様々な疾患の超早期の診断と治療に基づく超早期精密医療を目指して大規模な研究開発を行っている。

本研究開発プロジェクトは、筆者らによるDNB(Dynamical Network Biomarkers: 動的ネットワークバイオマーカー)理論が出発点に

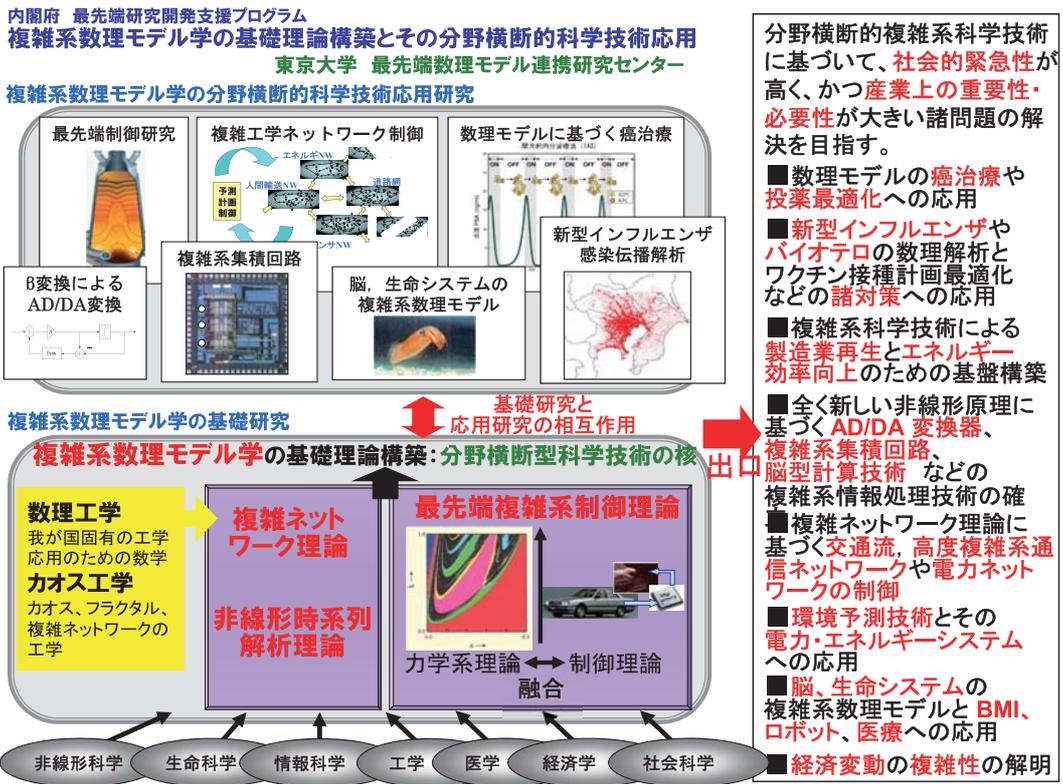


図4 内閣府/日本学術振興会のFIRST 合原最先端数理モデルプロジェクトの概要



図5 複雑系数理モデル学の理論的プラットフォームとしての数理的基礎理論

なっている。この DNB 理論は、ムーンショット目標 2 の「2050 年までに、超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現」するための基盤となり得る、疾病の発病前に発病の予兆を検出するまったく新しいバイオマーカーの概念である。筆者らは、数学の分岐理論解析に基づいて、発病の予兆が検出される発病前の状態、すなわち発病を回避して健康状態へまだ後戻りできる状態を「疾病前状態」と呼んだが、この疾病前状態は超早期に疾病を予測出

来る状態であり、我々の「未病」の定義でもある。

昨今、未病の概念が早期医療による健康社会の実現につながるものとして、世の中の興味を広く集めている。しかしながら、多くの場合、健康と病気の状態といったようなあいまいな定義で未病をとらえているため、未病状態の検出が実際にはほとんど不可能であり、このことが未病の科学的研究のためのネックとなっている (図 6)。したがって、現状のままでは残念ながら未病の科学的研究の十分な進展は期待できない。

未病の定義



図6 未病の定義と DNB 理論

これに対して筆者らは、上述のようにこの未病状態を、発病直前ではあるがまだ発病していない、健康状態に後戻り出来る「疾病前状態」として余次元1局所分岐理論を用いて数学的に定義し、その検出のための数理的手法であるDNB理論を構築することによって、未病を定量的に検出し超早期かつテーラーメイドに治療する可能性を拓いた(図6, 7)。このDNB理論によって、生体ネットワークのいくつかの

ノード変数から成るサブネットワークが発病前に強相関で大きくゆらぐ動的ネットワークバイオマーカー(DNB)を、数理モデルやネットワーク構造に関する先見的情報なしで、計測された超多変数ビッグデータのみから完全にデータ駆動的に検出する数理データ解析手法が利用可能となった。このDNB理論に関するこれまでの研究により、メタボリックシンドロームやH3N2型インフルエンザなど、いくつかの疾病の発病前の未病状態をマウスやヒトの実データを用いてすでに見出し、超早期の先制精密医療を実現する道筋の糸口が得られており、今後本研究開発を強力に推進する予定である。

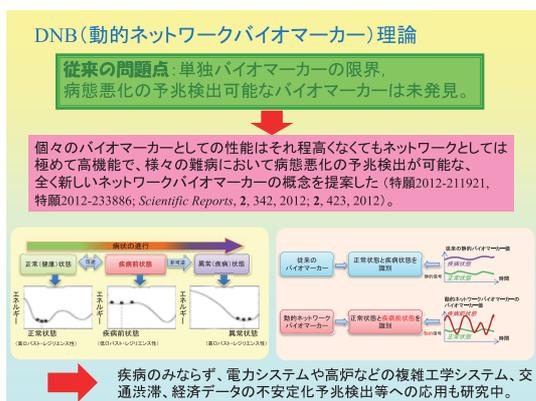


図7 DNB理論の概念図

ニューロインテリジェンスの展望

筆者が現在副機構長を務めている東京大学国際高等研究所ニューロインテリジェンス国際研究機構(International Research Center for Neurointelligence: IRCN)では、実験的・臨床的脳科学と数理情報工学などの理論研究との連

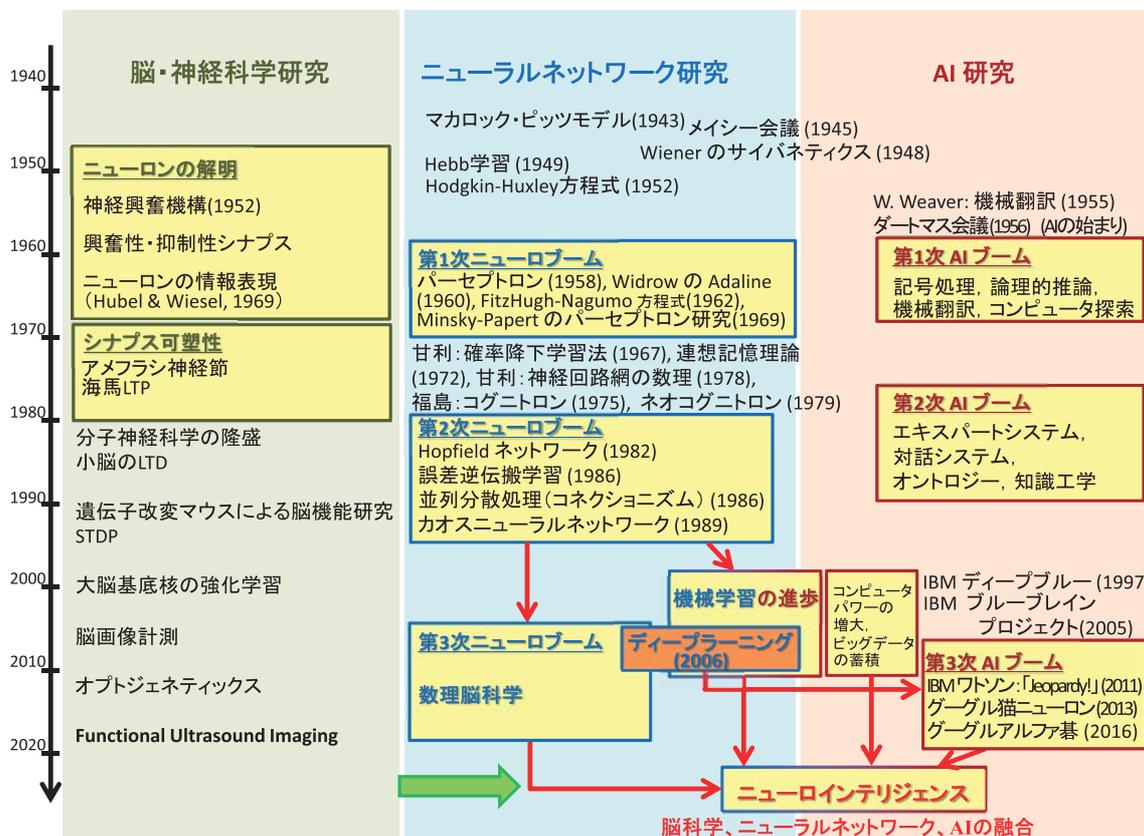


図8 脳科学、ニューラルネットワーク、および人工知能の発展の歴史

携によって、ヒト脳の知性の発生のメカニズムの解明、精神疾患などの治療への応用、さらには脳に学ぶニューロインスパイアードな次世代人工知能技術の基礎理論とハードウェア実装技術の開発を目指している。

最近の人工知能技術の進展は著しいが、そこでの主役は脳の神経回路網を極端に単純化した多層フィードフォワード型ニューラルネットワークを用いたいわゆる深層学習である。甘利俊一東京大学名誉教授による1960年代の研究を源流とする深層学習は、今日の強力な計算機パワーと膨大な学習用デジタルデータに支えられて、現在様々な分野で大きな成果を上げて実用化されている。他方で、多層フィードフォワード型ニューラルネットワークと深層学習は、脳の数理モデルとしても学習則としても、実際の脳とは大きく異なっているため、実際の脳に学んだあらたな人工知能へ向けた進展への期待が高まっている。

そこで、東京大学ニューロインテリジェンス国際研究機構では、特に脳の臨界期に着目した発達機構の研究をはじめとした実験・臨床脳科学の最先端の研究成果とニューラルネットワーク理論、人工知能理論とを統合して、まったく新しい、より脳に近い次世代人工知能開発のための基礎研究を行っている(図8)。特に、脳の臨界期の神経回路構造と非線形ダイナミクスの変化、実際の神経細胞における新規の可塑性機構などの新しい実験事実は、数理情報工学から見てもとても魅力的な研究分野になっており、それらの数理モデリングが重要な研究課題となってきた。

この世の中の非線形ダイナミクスへの挑戦

上記の未病やニューロインテリジェンスの研究もそうであるが、筆者の研究は、この世の中に実在する非線形ダイナミクスに着目するものである。筆者の研究においては、これらの動的現象を、人間と機械が真に調和する最適な社会環境の実現へ向けて役立てるために、数理情報

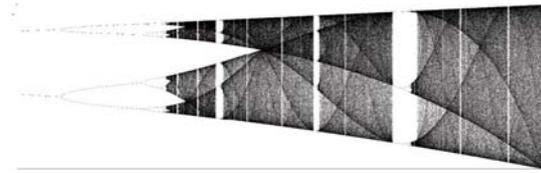


図9 2次関数で表される写像の安定解の分岐図



図10 エマ理永さんらによる、図9の分岐図のドレスへの応用

工学がそれらの間を橋渡しをする役割を担っている。

非線形ダイナミクスの世界は、実に多彩である。最も単純な非線形ダイナミクスとも言える1変数の2次関数写像でも、その安定解の変化を表す分岐図は実に複雑で美しい(図9)。この分岐図は、ファッションデザイナーのエマ理永さんとコンピュータグラフィクスデザイナーの本木圭子さんらによって、素晴らしいドレスに応用された(図10)。

このような実用性と美を合わせ持つ非線形ダイナミクスに立脚しながら、これからも人間と機械の調和に貢献出来るような、数理情報工学研究による挑戦を続けていきたいと覚悟をあらたにしている。

[文 献]

- 1) 合原一幸(編著):「社会を変える驚きの数学」, ウェッジ(2008).
- 2) 合原一幸, 神崎亮平(編著):「理工学系からの脳科学入門」, 東京大学出版会(2008).
- 3) K. Aihara, J. Imura, and T. Ueta (Eds.): "Analysis and Control of Complex Dynamical Systems: Robust Bifurcation, Dynamic Attractors, and Network Complexity," Springer (2015).

- 4) 合原一幸（編著）：「暮らしを変える驚きの数理工学」, ウエッジ (2015).
- 5) 合原一幸（編著）：「人工知能はこうして創られる」, ウエッジ (2017).
- 6) 酒井邦嘉（編著）, 合原一幸, 辻子美保子, 鶴岡慶雅, 羽生善治, 福井直樹：「脳と AI —— 言語と思考へのアプローチ」, 中央公論新社 (2022).
- 7) 西浦 博（編著）, 小林鉄郎, 安齋麻美, 合原一幸, ナタリー・リントン：「感染症流行を読み解く数理」, 日本評論社 (2022).

受領者投稿

人を感じて、動くこと

早稲田大学 人間科学学術院 准教授 三浦 哲 都
(2015 年度受領者)

私たちは身体を動かすとき、環境の情報を利用して自覚的に動いていることに自覚的です。たとえば、道路を歩くときは、向こうからやってくる人を見て、ぶつからないように避けて歩きます。信号が赤であれば、止まって待ちます。サッカーをするときは、味方や相手がどこにいるのか、ボールがどこにあるのかを見て確認し、それに応じて動きます。私たちの運動には意図があり、それを達成するために、環境の情報を利用して動くと考えます。

一方で、環境の情報が私たちの運動を規定してしまうことには無自覚です。たとえば、誰かと並んで歩くときに、意図せずにその人と足並みがそろってしまうことがあります。また、音楽に合わせてリズムカルに身体を上下に動かすときは、ビート音が鳴った時に膝を伸ばして身体を上げることは難しく、ビート音が鳴った時に膝を曲げて身体を下げる協調パターンへと意図せずに切り替わってしまうこともわかっています。このような現象は、人の知覚と運動の協調に関する興味深い研究テーマです。

同様の現象は、2人が向かいあってお互いを見ながら、ただ黙って立っている課題においても生じることが報告されています。この課題では、2人は気づかぬうちに姿勢動揺が同期します。2016年度に採択していただいた研究では、どのような情報がこの2者間の同期にかかわるのかを調べるために、人と同じくらいの大

きさのディスプレイを購入しました。そして、立っている人の全身の映像をディスプレイに映しだし、その前に人を立たせて、どのように姿勢が揺れるのかを調べ

ました。その結果、ディスプレイの前に立ったときの姿勢動揺は、実際の人の前に立っているときの姿勢動揺とは異なることがわかりました。特に興味深いのは、ディスプレイの前に立っているときの姿勢動揺の同期が左右方向に限定されることです。この研究結果から着想を得て、人と人の同期に関する研究を進め、2019年には日本顔学会で原島賞を受賞しました。

2019年4月から、早稲田大学人間科学学術院に移り研究室を持ちました。現在は、当時の研究をさらに拡張し、踊る人と観る人の身体について研究を進めています。この研究でも当時のディスプレイを用いて、踊る人と観る人の相互作用を検証しています。人の「人を感じて、動いてしまう」という性質の解明は、人と人の相互作用、さらには人と機械の相互作用においても重要な意味を持つ研究テーマであると考えています。

ご支援により、これまで自由に研究を進めることができました。改めて感謝申し上げます。



受領者投稿

接触を前提とした、人と調和するロボットの
実現を支える Soft Haptics

北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 准教授 Ho Anh Van

(2017年度受領者)

これまでの産業用ロボットでは、人間とロボットは作業領域が明確に分離されており、ロボットの安全半径内に人間が立ち入ることは許されなかった。これは、第一義的には人間を危険から守るためであったが、一方で産業用ロボットの安全性に関する要素技術の発展を阻害していた側面を有する。安全性の確保は最低限のセンシングと単純なフェイルセーフ機構で十分とされ、研究開発のリソースはより製品の競争力を高めるためのロボットの高速度・高精度化に注ぎ込まれてきた。しかしながら、近年の我が国における労働力不足とコロナ禍の新しい生活様式の中で、これまで人の手で行ってきた作業をロボットで代替しようとする動きが急速に高まってきている。さらに、全ての人が健康的な生活を送ることが出来る社会を目指すSDGs（持続可能な開発目標）の大きな流れが加わり、現在ロボット技術に人との調和——ロボットが人と共存し、さらに人とコラボレーションすること——が強く求められている。

そこで、「Soft Haptics」の技術を、上記目標の実現に活かすことが出来ないかと考えてきた。「Soft Haptics」は、簡単に言うと、柔軟な材料を積極的に利用したソフトロボット技術や触覚・近接覚などを実現するセンシング技術の融合に関する研究分野である。「Soft Haptics」に基づいて、ロボットが柔軟性を獲得することで人と接した際の衝突のリスクを低減する、さらにはより積極的に近接覚・触覚を持ったロボットが能動的に人に優しく触れてくるような世界を目指している。このように、これからのロ

ボットは衝突の可能性を回避するだけでなく、避けられない物理的接触と意図的な物理的接触の両方を安全かつ信頼できる方法で処理することが期待される。こ

れを達成するための技術の一つに、深度カメラと力・トルクセンサーの組み合わせが提案されているが、外部カメラを使用するためカメラの死角の問題が未解決となっている。我々はこの課題を、開発中のマルチモーダル知覚（触覚、近接など）を備えた大規模かつソフトなセンサースキンと、このセンサーネットワークのタイムリーなデータ取得と処理により解決し、万全なロボット安全対策を実現しようとしている。

私は長年「Soft Haptics」を研究しており、立石財団から2017年度にご支援頂いたテーマ「近接や触覚を可能とするロボティクススキンの開発と、人と協調できるロボットへの応用」の成果に基づいて、現在JST・さきがけ「IoT」領域で「タッチIoT：触れるインターネット実現のための肌感覚送受信機の開発」を実施している。ここでは、視覚による柔軟な触覚検知装置^[1]を人間とのインターフェースとして、触覚のビッグデータのリアルタイムの取得方法・伝送方法^[2]と、それによる人工知能を活かした人間とCyber-Physical System環境との新たな価値を創出する研究開発を行っており、先の研究から得た「Soft Haptics」の知見をさ



研究助成成果報告 研究助成 (S)

野生動物装着センサを利用した IoT 情報機構

IoT information mechanism using wildlife wearing sensors

2188002



研究代表者	東京大学 情報基盤センター	教授	小林 博 樹
共同研究者	東京大学 情報基盤センター	助教	川瀬 純 也

[研究の目的]

本研究は「福島第一原子力発電所周辺の帰還困難区域内の被曝した動物自身が線量計を持ち歩き、単独行動時に取得した記録を、集団行動時に省電力で共有し、シンクノードまで誘き出して非接触通信して回収する機構」の実現を目的とする。

[研究の背景]

国際原子力機関 (IAEA) のチェルノブイリ原発事故報告書では、被曝した野生動物群の数世代に亘る被曝状況とその影響の調査は、学術的・社会的に非常に重要であると報告されている。東京大学の石田は、福島第一原子力発電所周辺の、特に高濃度の放射性物質が検出されている阿武隈山地北部地域において、震災直後から定期的に野生動物の被曝モニタリングを行っている。本モニタリングでは、当該野生動物の鳴き声の自動録音装置を 500 地点以上を目標として設置・運用しているが、長期数十年に亘る 24 時間 365 日の生態情報取得 (サイエンス目的の空間情報のビッグデータ) のためには、研

究者の労力だけではその取得・処理・分析は困難と報告している。

[関連研究]

近年、コンピューターの小型・軽量化によって、人間社会による環境負荷の調査や希少種生物の生態を解明する“Bio-Logging Science”が急速に展開されている。この研究領域では、固定型センサや参加型センサによって観測個体の生態情報 (位置情報, 餌動物情報, 気象情報) などが収集される。例えば、ドイツのアルフレッド・ワグナー研究所による南極の海のリアルタイムなライブ音 (Kindermann, 2010. Science.) 配信システムや、石田による福島原発周辺の動物の鳴き声を記録・分析する (石田, 2012. 生物と科学.) 生態音響調査である。これらの結果から野生動物の個体数の推定 (Carlet al., 2010. Proc. CHI2010.) や、都市・除染計画の見直しなどが実施される (IAEA, 2006)。都市部に近い環境 (人間社会に近い環境) での調査においては、携帯電話等の情報システムの利用による参加型センサ群により効率よい観察が実現できると考えられる。人々が携

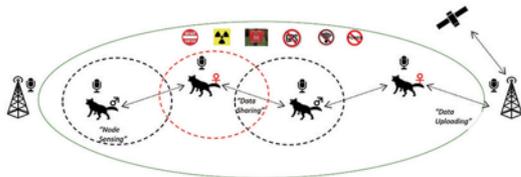


図1 どうぶつ間ネットワークのイメージ

帯デバイスを持ち歩きながら所要のセンシングデータを収集する「参加型センシング」が2005年頃から急速に注目されるようになり、ACM Sensys等センサネットワーク分野の国際会議でも研究事例が散見されてきた。特に、多数の人が携帯電話を用いて頻繁に行動する都市環境をセンシングする場合には、給電の制約なく固定のセンサを必要とせずに広域で安価にセンシングが可能である参加型センシングは有望な手法である。

しかしながら、野生動物の生息環境では極めて限られた電源・情報インフラ網しか利用できない。具体的には、利用者が極めて少ない地域、つまりこのような野生動物の生息環境（森林の地表付近）においては、インフラサービスの採算性（国土総面積の約6割は携帯電話圏外、注：人口カバー率ではない）が問題になる。実環境要因の問題（衛星電波不感地帯）も発生する。また、固定型センサ設置のためには生息地の所有者や国立公園の行政等ステークホルダーとの調整に多大な労力が必要であり、また屋外設置のセンサであり設置・運用コストも莫大になる。その一方で長く低迷する経済活動の中、我が国で新たな生態調査用の基盤を構築し、数十年間の運用を行う余地はほぼないのが現状である。つまり、電源・情報インフラが存在しない森林環境の空間情報センシングを最小限のコストで最大限の効率を実現するシステム（図1）が求められる。

そこで本研究では今現在も実際に生息する野生動物自身の行動・習性を利用したセンシング機構により、情報空間と生態系が分かちがたく一体化し、全体として高度な情報処理を実現するシステム（IoT情報機構）を目指した。本研

究では効率的に研究活動を推進するため野生動物の生息地に設置した関連研究（サイバーフォレストプロジェクト、被曝の森のライブ音プロジェクト）のためのシンクノード基盤を活用して実施した。

〔研究の内容、成果〕

移動する人間や動物にセンサを装着し、行動や周辺環境をモニタリングする構想はセンサネットワーク研究の初期から見られる。しかし、動物対象の場合はデバイスの重量や取得する位置情報の精度が課題となる。そこで本研究の目的を達成するために以下の3点を研究内容として定め取り組んだ。

- A) どうぶつ間ネットワーク：身体特徴と相互作用に最適化した省電力な動物装着センサ網
- B) どうぶつタッチ & ゴー：NFCタグ装着の野生動物を誘き出してピッと記録回収する機構
- C) ジェット機音 de 位置情報：上空を通過するジェット機音を用いてGPSと同等の位置情報取得

A) どうぶつ間ネットワーク：

野生動物を対象とした場合、装着可能なデバイスの重さは体重2%に限られ、そして自動車や人間のように定期的に充電する機会はない。本研究では、複数個体間の行動生態学的に意味のある相互作用（挨拶・威嚇行動等）を検知した場合のみノード間通信をアクティブにし、それ以外の時は常にスリープ状態にすることにより、動物装着型センサの長期稼働・省電力化を目指した。具体的には、動物同士が遭遇した際の相互作用（挨拶・威嚇行動等）による行動の特徴量を3軸加速度センサで検知し、通信機器をスリープからWakeする引き金として使用する。こうして動物装着センサ間の省電力な間

欠通信を実現させる。これをきっかけとして動物装着センサ間でデータの共有を行い、繰り返すことで数珠つなぎにデータを回収する。最終的にインフラ圏外のすぐ外に設置したシンクノードからデータ回収を行う。



図2 加速度センサを装着した犬

A1) 加速度センサによる相互作用の検出機構の構成

省電力な複数個体間の相互作用を検出する機構の実現を目指し、動物の行動に沿って加速度データを収集し、オフラインによる解析を行うこととした。実験は麻布大学伴侶動物研究室（菊水健史教授）の犬（図2）を対象として、獣医師の管理のもと、ハンドラーにより「歩く」・「止まる」・「ボールによって気をひかれる」状況を繰り返し行い、これをビデオカメラおよび犬の背部に取り付けた加速度センサで記録した。加速度センサのサンプリング周波数を50 Hzに設定し、SVM（Support Vector Machine）を用いて犬の行動認識を行う。特徴量として加速度データのタイムウィンドウごとの平均、分散、振動数を用いた。認識する行動のラベルは「止まる」・「歩く」・「興味を示す」の

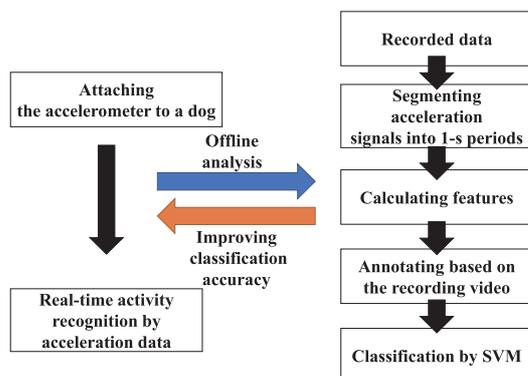


図3 解析フロー

3種類とし、ラベル付けは、ビデオカメラによる映像記録をもとに行った（図3）。その結果、「歩く」・「止まる」についてそれぞれ90%以上の精度で検出することができた。しかし「興味を示す」の検出精度が低かった。この解析では各タイムウィンドウが独立して扱われているため、続いて時系列を考慮した解析手法の検討を行った。そして個体の身体的特徴を考慮した解析を進めた。

A2) 自律移動型ロボットによる通信プロトコルの検討

自然環境下では当然野生動物同士が、いつ、どの組み合わせで遭遇するかがわからないため、あらかじめ通信相手やスケジュールを設定できない。そこで、これらを考慮して効率的かつ省電力な通信プロトコルが必要となる。この検討のために自律移動型ロボットを用いたテストベッド実験（図4左）を導入した。動物による実験では短期間に同様の実験を繰り返すことが困難であるため、再現性と時間的コストパフォーマンスに優れたテストベッドが必要であったためである。導入コストを削減するため市販STEMロボットであるiRobot Create 2（図4右）を活用した。ロボット同士の衝突を動物の遭遇に見立て、通信プロトコル改善と稼働実験を行った。この結果、通信プロトコルの改善で通信成功率が70%から90%に向上した[2]。

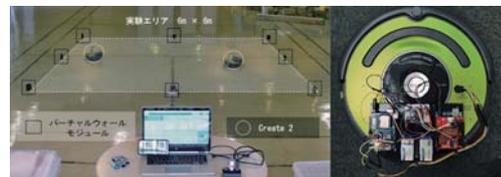


図4 自律移動型ロボットによるテストベッドと、iRobot Create 2を利用した実験ロボット

A3) 牛用デバイスの開発と実験

続いて、福島県浪江町の野生化牛での評価実験に向け、飼育牛による小型化した装着デバイス（図5）のテストと相互作用の検出実験を、連携研究室である麻布大学伴侶動物研究室の紹

介により同大学の牛舎で2020年1月から開始した。ベルト素材やデバイスカースの装着位置、カウンターウェイト等の調整を実際に牛に装着して評価した。そして実際にデバイスを牛に装着し、一定時間の行動データと加速度センサーデータを記録する実験を行った。他の動物や飼育者に対する反応とその加速度データを収集し、これを分析し特徴量の抽出を進めることとした。

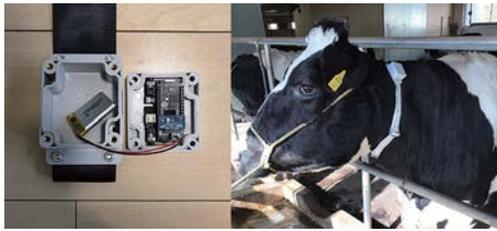


図5 牛用デバイスと装着例

B) どうぶつタッチ & ゴー：

野生動物を対象とした場合、物理的に捕獲可能な頻度は2年に一度程度と限られ、そして自動車や人間のように定期的に回収する機会は無い。本研究では、行動生態学的な刺激により動物をシンクノードまで誘き出せた場合にのみ非接触通信をアクティブにし、それ以外の時は常にスリープ状態にして動物装着センサの長期稼働・省電力化を目指した。



図6 どうぶつタッチ & ゴー機構の構成

BI) 誘き出してピッと記録回収するシステムの構成

本システムは NFC タグ装着の動物を誘き出して情報を取得するユビキタス基盤、物理的な形状を用いて動物を「誘き出す機構」と、誘き出された動物に装着している NFC タグと「非接触通信する機構」からなる (図6)。そして野生動物装着型センサノードをインターネット

接続されたシンクノードまでより効率的かつ安定的に誘き出し、長時間の非接触型通信により記録回収を実現する物理形状機構を明らかにする。評価方法としては、特徴ある物理形状により誘き出される動物の思考・行動過程の特徴量を取得する。

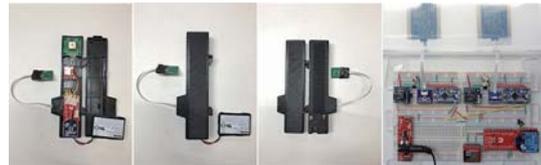


図7 どうぶつタッチ & ゴー用プロトデバイス

B2) 誘き出してピッと記録回収するシステムの評価

映像記録とのデータ比較によりタッチ & ゴーシステム反応の因果関係を解析し、最適な物理形状を明らかにする。本研究は行動生態学的な刺激により動物をシンクノードまで誘き寄せ、通信機器が通信可能範囲に入った時のみ通信機器を Wake させるものである。NFC タグを実装した動物装着デバイスと基地局側デバイスの両プロトデバイス (図7) を作成し、どうぶつ間ネットワークと同様に麻布大学伴侶動物研究室の犬と犬小屋を用いて通信評価実験を行い、実際に動作を確認することができた。また、より誘導性を高くする施策として音刺激の併用を検討した。物理形状の評価は内部形状を変化させた犬小屋と犬小屋内部を撮影するためのドライブレコーダーを使用して行う。内部形状の変更は、スチレンブロックを使用して犬小屋内の横幅や高さ方向のスペースを制限していく方法をとっている。観察時間は1日約8時間で2-3日間。2頭の犬がそれぞれ適当な時間にこの小屋内で休息を行っているため、ドライブレコーダーの映像を利用して、滞在時間や滞在時の姿勢等を評価している。また、本評価の実施にあたり、獣医である連携研究者による動物倫理的な確認を事前に行った。詳細な資料や事前説明により問題が無いことを確認した。麻布大学の連携研究者が飼育するペットの犬を対象と

し、犬小屋を参考とした物理形状（図6）を構築して、非接触通信に必要な行動制限や行動停止が起こりやすい状況（壁幅）を明らかにすることができた。

B3) 誘き出してピッと記録回収するシステムの議論

動物の体サイズに依存する最適な壁の枚数と入場回数の関係を議論する。具体的にはストレッチブロックを使用して、幅方向の枚数を変更した際の犬の入場回数や姿勢評価を通じて、小屋への入場を阻害せず、かつある程度の姿勢制御が可能な条件を見つけることが出来た。壁枚数を5列まで増やしてしまうと入場回数に落ち込みが見られ始めるが、4列では他の条件同等の入りやすさと非接触通信が容易となる行動制限が可能となる。以上の知見から、本研究の目的である NFC タグ装着の動物を誘き出して情報を取得するユビキタス基盤のうち、物理的な形状を用いて動物を「誘き出す機構」の「必要となる幅条件」を明らかにすることができた。

C) ジェット機音 de 位置情報：

野生動物を対象とした場合、GPS 信号の測位成功率が 20% に限られ、そして自動車や人間のように地上インフラを用いて測位する機会はない。本研究では、地表到達時のエネルギー量が高いジェット機音を野生動物装着マイクとシンクノードにより同期録音し、上空通過時の到達時差と三角測量により、動物装着型センサの位置を測位する機構を目指した。

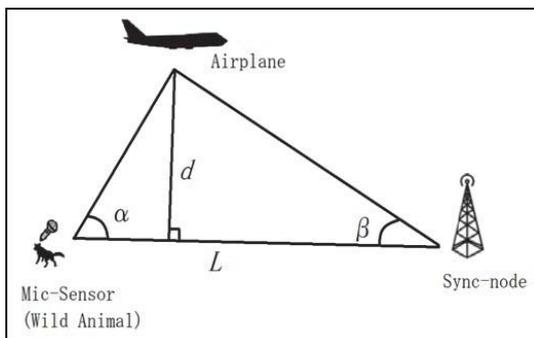


図8 環境音を用いて動物装着型センサでシンクノード上と同等の時刻・位置情報取得を行う補正手法

C1) ジェット機音による位置情報取得機構の概要

本研究は、地表到達時のエネルギー量が高いジェット機音を野生動物装着マイクとシンクノードにより同期録音し、上空通過時の到達時差と三角測量により、動物装着型センサの位置情報の測位を図るものである（図8）。この手法については、実際に手動計算によって野生動物の位置を誤差 900 m 程度で位置同定を実現できることを確認している。これを最終的には自動で位置同定を行えるようにする必要がある。具体的には、位置同定を行う際に環境音に含まれる航空機音を用いているが、その判定は調査員が手動でラベル付することにより行っている。この位置同定を行うまでに必要となる周辺環境音と航空機音を自動で分類することが本計画となる。

C2) ジェット機音による位置情報取得機構の評価

この課題に対しまず SVM および音声認識で MFCC を用いることにより環境音に含まれる航空機音の自動分類を試みる実験および評価を行った。具体的には機械学習と音声認識を用いた分類器の生成である。機械学習では教師あり学習のサポートベクトルマシンを分類器として用いた。また、音声認識には高速フーリエ変換により得られた特徴量として用いた手法を単純処理、および人の聴覚特性を反映させ環境音分類に有効とされるメル周波数ケプストラム係数を特徴量として用いた MFCC 処理を定義した。そして、双方の音声処理と分類器においては三種類のカーネル（Linear, Polynomial, RBF）を用いた分類を行った。また、分類の際に用いた音源は、関連研究で述べたサイバーフォレスト研究を実施中の次の3箇所の音源を実際に人間が聴き取り教師データを作成した。

舟田池 (35.59984486314238, 140.13742067272347), 栃本 (35.94093570647529, 138.8553265910508), 矢竹 (35.94468063930462, 138.816490309236)

C3) ジェット機音による位置情報取得機構の議論

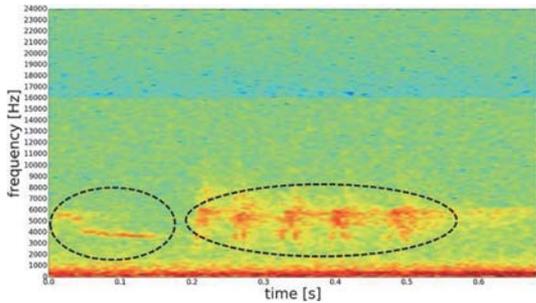


図9 環境音に含まれる航空機音のスペクトラム

しかし、航空機音の教師データを作成するにあたり、矢竹の音源は記録時間が少なく、かつ、航空機音自体の入力が少なく航空機の音が鳴り響いている間に、野鳥音がノイズとなる状況が数多く見受けられた(図9)。これより、我々は野鳥音を分離することにより精度を向上させられる可能性があるかと図り、航空機音における特徴的なスペクトラムが見受けられる帯域以外をカットするフィルタを設計した。また、サンプル数が少ないことから分類精度が高く出ているのではないかという懸念から、3箇所の音源を混合することにより分類器の精度を再評価して更なる分類精度の向上が判明した。カーネルごとの分類結果からは、フィルタを通さない手法では Linear と RBF、フィルタを通した手法では Linear と Polynomial カーネルの分類精度が高かった。なお、フィルタを通さない分類において Polynomial カーネルの分類精度は低いものであったが、フィルタを通した後は向上したことより、Polynomial カーネルは音源次第で分類結果に大きな変化が起こる可能性があると思われる。これらを踏まえると、この程度のサンプル数においては Linear カーネルを用いることが妥当であると考えられる。しかし、サンプル数が増えた場合において同じ結果が得られるのかどうかという問題があり、その場合においては Linear カーネルよりも非線形である RBF カーネルを用いたほうがより良い結果を得る可能性があることを明らかにした。

[研究全体の議論]

A)B)C)で構築したシステム(図10)を用いて野生動物調査を継続した。具体的には、研究の背景で述べた石田が「高線量地帯周辺における野生動物の生態・被曝モニタリング(石田, 2012, 生物と科学.)」で提案している“鳴き声情報による遠隔生態調査方法”を再現する形で行った。実際に遠隔から行えるシステムを構築し国際会議[1]で成果(図11)を発表した。



図10 (左図) 福島県浪江町の本研究の実証フィールド拠点の場所と(右図) 構築したユビキタス基盤



図11 ACM SIGGRAPH Asia 2018 [1] での成果展示

[今後の研究の方向, 課題]

A) どうぶつ間ネットワークと B) どうぶつタッチ & ゴーに関しては、屋内の飼育対象の知見を得ることができた。次の段階として、以前に構築した実証実験フィールドを用いて評価実験を行う。

C) ジェット機音 de 位置情報に関しては、実際のフィールドで取得したアーカイブデータ

を用いた実験を行った。次の段階として、これまでに構築した実証実験フィールドを用いて評価実験を行う。

野生動物の生態・健康情報を収集可能とする情報基盤技術には、安心・安全な社会をもたらすような価値がある。2004年1月27日にWHO・FAO・OIEの3機関はアジアでの鳥インフルエンザによって引き起こされる世界的な伝染病の可能性を警告する共同声明を発表した。現実に2019年末からは新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が世界中に蔓延し混乱をもたらし、2022年現在完全な終息を見ることはない。こうした感染症の多くは電源・情報・道路インフラが存在しない自然環境で発生することが知られている。

本研究で扱う技術の本来の目的は動物の生態・健康情報を調べる機構であるが、これらを応用して環境情報の取得を行うことを目指していく。このシステムの有効性を福島県の帰還困難区域で実証できれば、感染症が発生しやすい電源・情報・道路インフラが存在しない発展途上国でも導入できることになる。これにより、リアルタイム通知やより精度の高い情報を提供し、感染症の発生・拡大を防ぐことにつなげていきたいと考える。

[成果の発表, 論文, 受賞など]

- [1] Hiroki Kobayashi, Hiromi Kudo, Yuta Sasaki. Radioactive Live Soundscape, ACM SIGGRAPH ASIA 2018 Art Gallery, SIGGRAPH ASIA '2018.
- [2] 川瀬純也, 小林博樹. 野生動物 WSN 開発のための移動型ロボットによる動物実験の代替. CSIS DAYS. A12. 2019.
- [3] Hill Hiroki Kobayashi and Daisuké Shimotoku. Tele Echo Tube for Historic House Tojo-Tei in Matsudo International Science Art Festival 2018. International Conference on Human-Computer Interaction. pp. 520-532, Springer, Cham, 2020.
- [4] Keijiro Nakagawa and Hill Hiroki Kobayashi, Optimal Arrangement of Wearable Devices Based on Lifespan of Animals as Device Transporter Materials for Long-term Monitoring of Wildlife Animal Sensor Network, Sensors and Materials, 32(1), pp. 13-25, 2020. (doi: 10.18494/SAM.2020.2560)
- [5] Keijiro Nakagawa, Daisuké Shimotoku, Junya Kawase and Hill Hiroki Kobayashi. Sustainable Wildlife DTN: Wearable Animal Resource Optimization through Intergenerational Multi-hop Network Simulation. 2021 17th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). pp. 193-199, IEEE, 2021. (10.1109/WiMob52687.2021.9606287)
- [6] 小林博樹. 野生動物自身の行動や習性を逆利用した動物装着型センサネットワークの研究. 電子情報通信学会技術研究報告. 信学技報. 2021年7月.
- [7] 小林博樹, 工藤宏美. 科学技術分野の文部科学大臣表彰. 2020年4月.
- [8] 小林博樹. ドコモ・モバイル・サイエンス賞 (社会科学部門 優秀賞) 2021年9月.

研究助成成果報告 研究助成 (S)

環境センサと融和した注意指向・取捨選択型
聴覚支援システムの研究開発

Attention-based sound-selective hearing support system in harmony with environment sensors

2198001



研究代表者	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	グループリーダー	石井カルロス寿憲
共同研究者	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究員	港 隆 史
	株式会社国際電気通信 基礎技術研究所	研究員	劉 超 然
	京都大学 情報学研究所	特定講師	Jani Even
	近畿大学 医学部 医学科	教授	土 井 勝 美
	聖マリアンナ医科大学 耳鼻咽喉科教室	研究員	加 藤 弓 子

[研究の目的]

世界各国で人口の1~2割が難聴・聴覚障害を持っていると言われており、さらに高齢化社会になって高齢性難聴者が増えれば、その割合は今後さらに高まると考えられる。従来の補聴器では不要な雑音まで増幅するなどの問題があり、健聴者並みに社会活動に参加するには不十分である。

本研究では、環境に設置されたセンサと連動して、周りの人が持っているスマートホン（以降、スマホ）も二次利用し、聴覚障害者が補聴器単体の知覚に比べて、健聴者並みの聴力が得られる方法の実現を目指す。人々と機械が融和・協調することによって当事者の聴力が向上され、社会参加の促進や、新たな生産的活動や創造的活動が可能になる。例えば、聴力が衰えたために他者と会話することに消極的になっている者が、聴覚能力拡張によって他者と関わる意欲を持つことができ、人間関係が疎遠になっ

てきたと言われている現代の社会問題やそれが引き起こす認知症の問題解決にも繋がる。更に、本研究の技術は健聴者も利用可能である。例えば、工事現場の騒音がうるさい環境下でも利用者が必要とする音や音声のみを聴くことが可能になり、聴覚を通じた異常・危険の察知やコミュニケーションを妨げない騒音性難聴の予防・改善を実現できる。

[研究の内容、成果]

最近の補聴器は空気中の振動から入ってくる音声信号だけでなく、Bluetooth 接続により自分のスマホを介して外部の音や音声信号を受け取る機能が備わっている。本研究では、これまで研究開発を進めてきた音環境知能技術を発展させ、利便性と実用性を重視しつつ、環境センサに加えて周りの人が持つスマホのマイク情報も二次利用とし、補聴器とも連動させて、周囲のさまざまな音の中から、利用者が聞きたい音

を聞こえやすくし、聞きたくない音を抑圧する技術（注意指向・取捨選択型聴覚支援）の実現に取り組んだ。図1にシステムの概要を示す。基本的な仕組みとして、マイクロホンアレイ（以降マイクアレイ）処理により、音の方向を検出したり、音を分離して強調したりして、LRF（レーザ距離センサ）により周囲の人の位置を推定し、誰がどこでいつ発話したのかを推定することができる。取捨選択された音源に対し、利用者が装着する姿勢センサにより、個々の音源の空間情報を再構築してイヤホンまたは補聴器に、バイノーラルで聞かせる仕組みとなっている。

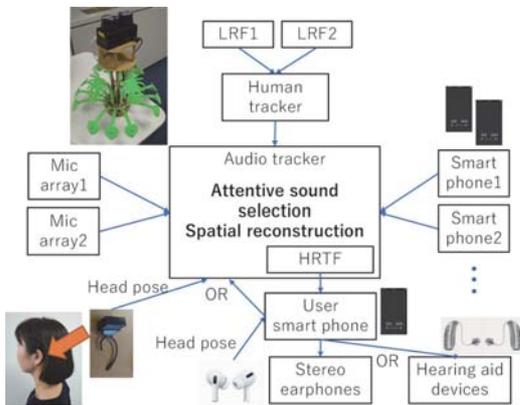


図1 開発した聴覚支援システムの概要図

以降、研究開発項目ごとの成果を記載し、開発した聴覚支援システムを聴力レベルの異なる難聴者によって検証した結果について報告する。**環境センサおよび姿勢センサのデバイスの開発**

環境に馴染むマイクアレイのデザインとして、植物型のアレイフレームを3Dプリンタで作製した。マイクには小型MEMSマイクを採用し、それを固定するフレームも新たに設計した。また人位置推定に用いるLRF（レーザ距離センサ）とアレイを一体型にしたフレームも作製した（図2）。利便性も考慮し、持ち運び可能な傘型のアレイフレームも試作した。

IMU（方位/慣性計測センサ）および小型マイコンを内蔵した姿勢計測デバイスを作製した。基板が平行となるように耳掛け型のケースを3Dプリンタでデザインし、樹脂の素材も何種

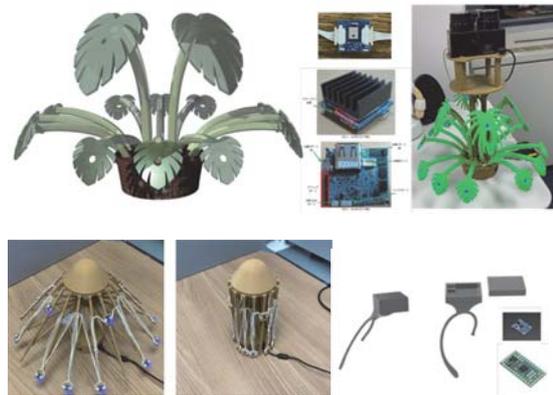


図2 開発した環境センサおよび姿勢センサのデバイス

類を試して、耳周りが痛くない柔らかい素材の装着デバイスを試作した。

スマホおよびイヤホン・補聴器との連携の開発

スマホのマイク音を聴覚支援システムに送信し、システムが提供する音をスマホで受信する機能について、Apple製およびAndroid OSのスマホに対応したアプリを開発した。スマホで受信したシステムからの音は、Bluetoothでスマホに接続されたイヤホンまたは補聴器でストリーミングされる。Bluetoothイヤホンにおいては、Apple製のAirPodsProに姿勢センサも搭載されており、スマホでその情報を読み取ってシステムに送る機能も実装した。

スマホのマイク音をターゲット（強調すべき音）にするか、アンチターゲット（抑圧すべき音）にするかの設定もアプリ上の画面操作で可能とした。ターゲットとして設定した場合、マイクアレイが提供できる音質を補う働きとなり、アンチターゲットとして設定した場合は、そのスマホの周辺音は、聴覚支援システム上で抑圧される働きとなる。これにより、不要な雑音源をアンチターゲットとして設定することも可能になり、プライバシー保護として、明示的に特定エリアの音をシステムに提供しないことが可能になる。

スマホのマイク音の処理として、図3に示すようにアレイ処理の出力と同期し、チャンネル間の抑圧処理（Wienerフィルタ）にマイク音を導入した。

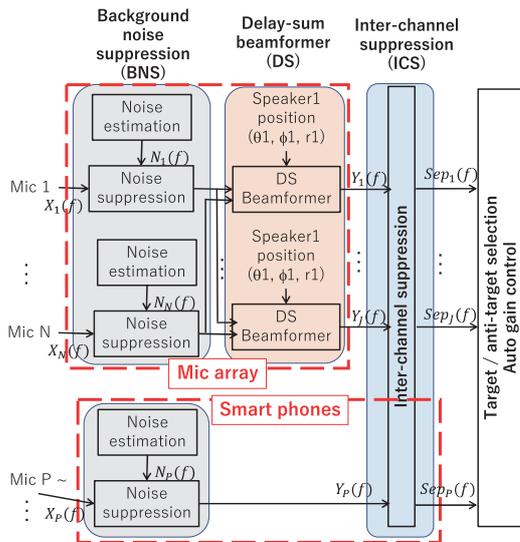


図3 アレイ処理とスマホマイクの処理の統合

遅延短縮のための対策

音を取得し、処理して利用者の装着デバイスで再生するまでの遅延を十分に短くするという、本技術の社会実装に向けての重要な課題に取り組んだ。オーディオキャプチャおよびオーディオプレイヤーの ASIO デバイスへの対応化 (PortAudio ライブラリーの導入) とオーディオデバイスの仮想 ASIO デバイス化によりキャプチャの遅延を 90 ms から 4 ms 程度に短縮した。また、音源分離処理において、図3の赤い枠に示すように、アレイ処理の背景雑音抑圧とビームフォーミングの並列化と、スマホのマイク処理の背景雑音抑圧とチャンネル間抑圧の処理の並列化により、20 ms 程度の短縮ができた。以前はプレーヤにも 90 ms の遅延が生じていたが、スマホを通して Bluetooth でイヤホンに音を送るため、この遅延は無線 LAN と Bluetooth 通信の遅延に置き換えられ、40 ms 程度に短縮される。総合的には、これまで 300 ms 以上かかっていた遅延を 100 ms 程度に短縮することができた。

注意対象の音量制御機能

対話中は、通常話し手の顔を見ながら聞くことを踏まえ、利用者が向いた方向の対象音源を強調する機能を実装した。姿勢センサから得られる利用者の顔の向きを用いて、利用者の前方

-90 度から 90 度の音源に対し、コサイン波に応じて真正面で最大 3 dB のゲインを加える注意対象機能を実装した。当初は最大ゲインを 6 dB で設定していたが、前方以外の対象音との音量差が大きすぎたため、3 dB に設定した。3 dB でも注意対象の音源は顕著に強調される感覚が与えられることは確認した。また、対象音の音量を上げると、分離音に残っている背景雑音の音調も増幅されてしまうため、対象音を分離する際には、増幅する分、雑音除去の度合いも強くするようにした。これにより、頭部を動かしても背景雑音の音量も同時に増幅されることを回避できた。

音源の自動選択機能

対象音を毎回選択する煩わしさと、人位置検出の追跡失敗により同じ音源に新しい ID が割り当てられてしまう問題も踏まえ、システムの利便性を向上させるため、利用者の周囲の指定範囲 (例えば 2 m) に新しく検出された人物は自動的に対象音として選択される機能を実装した。ただし、自動で選択された音源は、GUI インタフェースにより画面上でクリック (タッチパネルの場合はタッチ) することにより、利用者が手動で選択を解除したり、アンチターゲットとして再選択したりすることができる。

センサの自動キャリブレーション

現状では手動でセンサの位置や向きのキャリブレーションを行う必要があるが、利用者にとってのシステムの利便性を考慮すると、センサの自動キャリブレーションは必要な技術となる。本課題には、図4に示すような深層学習技

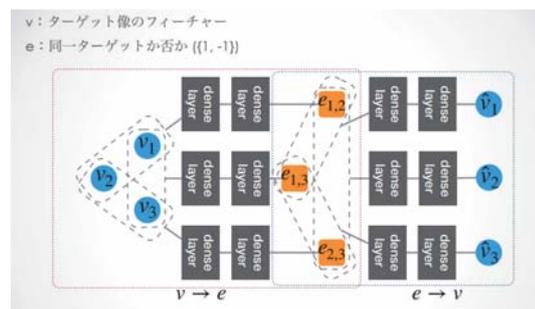


図4 深層学習によるセンサキャリブレーション法

術 (graph neural network に基づく手法) を取り入れて、異なる種類のセンサ (アレイや距離画像センサ) を自動的にキャリブレーションする手法を提案した [1]。

スマホに適した音源方向推定手法の開発

スマホなどのモバイルデバイスの問題点として、電源供給と計算パワーが限られていることが挙げられる。その制約を考慮し、方向スキャンを要しない音源方向推定手法を提案した。従来法として、同じく方向スキャンを必要としない rootMUSIC が存在するが、計算した伝達関数しか用いることができないという制約がある。提案手法は、事前に計測した伝達関数を使用することが可能であるため、識別精度がより高い。具体的には、計測した各方向から伝達関数の位相情報のみを用いて Hash テーブルを構築し、観測した音声のマイク間位相差と照らし合わせることで音の到来方向を推定する手法である。検出された音の到来方向は、音源分離やスマホの位置推定にも利用される。

移動型センサによる 3次元音環境地図生成の開発

移動ロボットを使って地図生成を行う研究はこれまで多く行われてきたが、本研究開発では、人が移動型センサを持って環境を歩きながらスキャンする課題に取り組んだ。センサを持ってゆっくり歩きながら周辺環境をスキャンした場合、地図生成に関するパラメータ調整により、十分な精度 (10~20 cm の誤差) で 3次元地図が生成可能であることを確認した。また、3次元地図上に音情報を付加するソフトウェアを実装し、音情報は、画像深度とマイクアレイを備えた手持ち型センサ (Kinect Azure) を用いて、3次元地図生成と同時に取得でき、20~30 cm の精度で 3次元音環境地図が生成できた。上述はオンラインで音地図を生成した場合であり、オフライン処理で雑音成分の除去も考慮した処理を施すと音地図も 10~20 cm の精度で推定可能になった。図 5 に得られた地図の例を示す。これは利用者が新しい環境でシステムを利用した際に、雑音源を特定し、簡単に選択できるイ

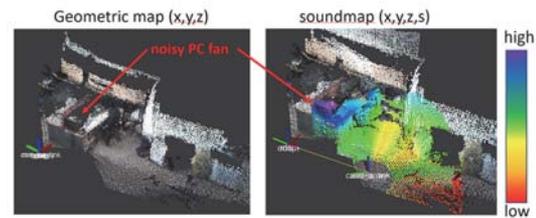


図5 3次元地図 (左) と 3次元音環境地図 (右) の例

ンタフェースを実現するために利用される。

聴覚特性への適応

難聴者に対して、聴力に応じた周波数特性の補償が必要であるが、Bluetooth 機能で補聴器に直接システムから音をストリーミングすれば、ストリーミングされた音も補聴器でフィッティングされた特性が反映されるものが既に開発されている。(Oticon More 3, Starkey Livio, Resound, Signia, などが挙げられる。)

また、聴覚支援において空間情報を伝達する際の重要な課題として、視聴覚刺激による空間知覚の解明に取り組んだ。そのため、既存の回転刺激、視覚刺激に、聴覚刺激を追加制御するためのソフトウェアの拡張を実装した。この実験装置を用いて、前庭眼反射 (Vestibulo-ocular reflex: VOR) の量的変化による空間知覚精度の評価指標を確立するための実験を行った。その結果、VOR の視覚刺激の影響から、視覚刺激の強度が強ければ、視角 20 度程度の「あいまいさ」があっても、おおよその方向としてとらえられる可能性が示唆され、聴覚支援システムが音像を合成する際に視角 20 度程度の範囲内で音像を提示できれば、大きな違和感がないことが期待される。なお、聴覚支援システムで使用している頭部伝達関数の分解能が 5 度であることから、音源の方向感覚は視覚情報とともに伝わることを示唆される。

開発した聴覚支援システムの検証

聴覚支援システムの効果を評価するための被験者実験を実施した。雑音環境を模擬するために、図 6 に示すように、複数のスピーカから複数の雑音 (バブルノイズ 65 dBA, 妨害音声 65 dBA) を流し、そのうちの一つのスピーカか

ら対象となる言葉（対象音声 65 dBA）の聞き取りテストと、雑音環境下での3者対話実験を実施した。バブルノイズとは、多数人の声が混合した雑音で、特定の人の声を聞き取る際に最も妨害となる雑音である。また、バブルノイズを拡散性の（指向性のない）雑音として再現するため、2つの上向きのスピーカを被験者の両側の床に置いた。被験者には、この雑音が聞こえてくる方向が特定できないことを確認した。また、このスピーカは床上から20 cm程度の高さに位置するため、システムでは指向性のある音源として検出されないことも確認した。その他の音源（単語用のスピーカ、音楽用のスピーカ）は、LRF センサに見える1.1 m程度の高さに設置した。聞き取りテストの対象となるスピーカからは、FW03のデータセットより、親密度が55~70%の4拍単語リストから選定して流した。雑音の有無、システム利用の有無の条件ごとに同じ親密度で、異なる単語セットを使用した。三者対話実験では、話者は椅子に座って対話をする。雑音環境としては、騒がしい居酒屋で少し離れた席の人と会話をするような場面に相当する。

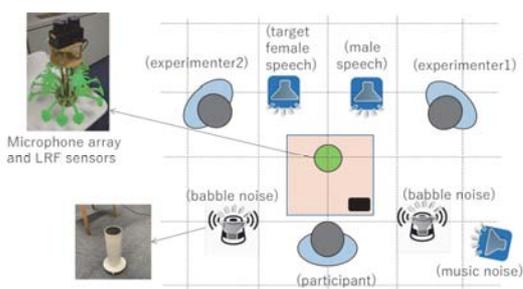


図6 実験に用いたスピーカや話者の位置関係（1 m grid）

スマホは、Apple iPhone SEを使用し、無線LAN (wifi6) でシステムと接続し、bluetooth通信により、イヤホン (AirPods Pro) もしくは補聴器 (Oticon More 3, Starkey Livio) にシステムからの音をストリーミングした。AirPodsProには姿勢センサも搭載されているため、スマホを通してシステムに姿勢情報を送信した。補聴器装用者の場合、システムと連携

した状態では、音が二重に聞こえないように補聴器のマイクの音はミュートに設定した。

実験は「雑音なし」(clean), 「バブル雑音」(babble noise), 「バブル + 音楽」(babble + music)の条件を「システム無し」と「システム利用」の条件で実施した。

実験参加者は2つの方法で募集した。一つはシルバー人材センターを通して老人性難聴の可能性が高い65歳以上の高齢者を募集し、28名の応募があった。2つ目は、共同研究機関の近畿大学病院より、補聴器を装着している中等度の難聴患者を募集し、3名の応募があった。難聴患者の場合は、近大病院にて聴力に合わせた補聴器のフィッティングを事前に行ってから実験に参加してもらった。シルバー人材センターの被験者には、実験開始前に、オーディオメータ (リオン社 AA-MIC) を用いて、自動モードで聴力測定を行った。

聴力測定の結果を基に、被験者を4つのグループに分類した。

- ・「正常」：平均聴力レベルが25 dB以下 (16 ± 4 dB) が5名。
- ・「軽度難聴」：平均聴力レベルが25~40 dB (30 ± 10 dB) が9名。
- ・「中等度難聴」：平均聴力レベルが40~70 dB (48 ± 9 dB) が13名。
- ・「中等度難聴の補聴器装用者」：Bluetooth対応の補聴器を装着する中等度難聴者 (48 ± 9 dB) が4名。

単語明瞭度

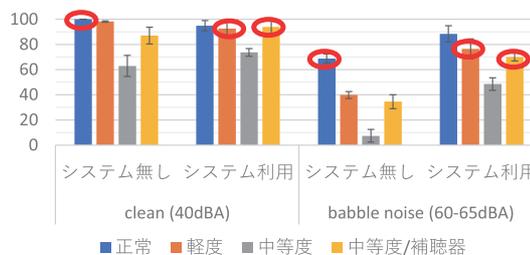


図7 システム無しとシステム利用の条件における明瞭度

聴力グループごとの単語明瞭度の結果を図7に表示する。静かな環境 (clean) では、シス

テム無しでは、「正常」「軽度」の被験者はほぼ100%の正解率を示すのに対し、「中等度」では平均60%程度で、補聴器装用者「中等度/補聴器」は90%前後である。雑音下 (babble noise) の条件では、システム無しでは、すべてのグループで正解率が下がり、「中等度」では10%前後で、ほとんど聞き取れていない状態である。

それに対し、雑音環境 (babble noise) で、「システム無し」から「システム利用」の条件の変化に着目すると、単語明瞭度が「正常」: 70% → 90%, 「軽度」: 40% → 80%, 「中等度」: 10% → 50%, 「中等度/補聴器装用者」: 35% → 70%, のように、すべてのグループで上昇し、システムの効果が示された。

音節単位で明瞭度を測定した結果 (グラフは省略) も、「正常」: 80% → 95%, 「軽度」: 55% → 85%, 「中等度」: 15% → 65%, 「中等度/補聴器装用者」: 55% → 85% のように、システム利用により正解率が上昇し、単語の一部のみ正しく聞き取れなかったことが分かる。

最後に、静かな環境 (clean) でも、システム利用により、「中等度」のグループによる音節明瞭度は70%から85%まで上昇した。

三者対話実験における主観的評価においても、システム無しとシステム利用で、音楽の雑音を付加しても、印象が「聞き取りにくい」から「聞き取りやすい」に著しく変化した結果が得られた (図8)。会話中も、システム無しの条件では、前のめりになったり、聞き返しが多かったり、会話が全く噛み合わない場面も見ら

れたが、システム利用により、会話を円滑に楽しんでいる様子が見られた。

システム利用の聞き取りやすさ以外の印象評価においても、聴力に依らず、顔を向けた方向の声が際立って聞こえる機能は「良い」、声が聞こえる方向は「だいたい分かる」の評定が得られた。興味深い結果としては、被験者のうち、3名が片耳難聴であったが、うち2名は声が聞こえる方向はだいたい分かる」と答えた。これは、音の空間的情報を再構築しているからではなく、顔を向けた方向の対象音が際立って聞こえるから音の方向が特定できたものと考えられる。

実験を終えての感想として、中等度難聴の補聴器装用者のうち、現役の弁護士が1名いたが、「本システムを是非法廷で使いたいので早く実用化してほしい」、その他、「食事会でうるさいから補聴器を外してしまうがシステムがあれば友達と会話ができそう」、「自治会の会議で使いたい」等の感想もいただいた。

本実験の結果を踏まえて、システム利用により、軽度難聴者も、補聴器を装用した中等度難聴者も、健聴者の聴力に近づけることができたと言える (図7の赤丸)。補聴器を普段装用している中等度難聴者は、日常では補聴器単体として使用し、必要な場面 (騒がしい環境や聞き逃しができないような場面) において、聴覚支援システムと連携して聴力を上げることが出来る。一方、軽度難聴者は普段補聴器を装用しない人が殆どであるが、聴覚支援システムと連動して市販の AirPodsPro のようなイヤホンを装用する場合でも十分に効果が得られることが分かった。(本研究の成果は論文にまとめて、投稿中である。)

[今後の研究の方向, 課題]

聴覚支援システムをより快適に利用者に提供するためには、装着デバイスを可能な限り簡略化する必要がある。軽度難聴者の場合は装着デバイスとして、AirPodsPro のイヤホンのみで

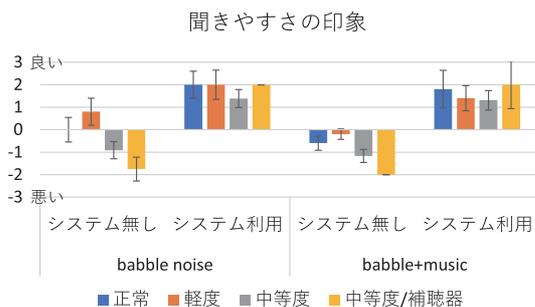


図8 システム無しとシステム利用の条件における印象

利用可能であるが、補聴器の機能を必要とする利用者は、姿勢センサも別途装着する必要がある。姿勢センサを搭載した補聴器が開発されれば、この問題は解決するが、メーカーとの共同研究開発が必要であり、課題として残される。

難聴者への支援に関しては、補聴器装用者を対象者としたが、高度難聴者で人工内耳を必要とする利用者においては、本システムを人工内耳と連携した研究開発が新たに必要となる。

なお、本プロジェクトで研究開発を進めた技術の一部は、聴覚支援への応用に限らず、人口ロボットインタラクションの分野にも活用している。騒音環境でも特定の人の発話区間の検出し、その人の声を音声認識部に提供する幅広い応用が可能である。実際、開発したシステムの一部は、対話ロボットの対話相手の声を抽出する前処理として活用している。車内対話エージェントの実現に向けて、車内のさまざまな騒音環境で運転者の発話区間のみを高い精度で検出するのに有効であることも検証した [2]。現在、遠隔操作型ロボットシステムにおいても、ロボッ

ト側の音環境を操作者側で再現して臨場感を高めるなど、AR (augmented reality) 技術としても応用・発展を進めている。

[成果の発表, 論文など]

1. 劉超然, 石井カルロス (2019). “マイクロフォンアレイおよびデプスセンサーのオンラインキャリブレーションに関する考察” 人工知能学会研究会 AI チャレンジ研究会, pp.18-23, 2019.
2. C. T. Ishi, A. Utsumi, S. Nagasawa (2020). “Analysis of sound activities and voice activity detection using in-car microphone arrays,” Proc. of the 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2020), pp.640-645, 2020.
3. C. T. Ishi, C. Liu, T. Minato (2023). An attention-based sound selective hearing support system: evaluation by subjects with age-related hearing loss, Proc. of the 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2023), accepted.
4. C. Liu, C. T. Ishi (2023). A Smartphone Pose Auto-calibration Method using Hash-based DOA Estimation, Proc. of the 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2023), accepted.

らに発展させている。

最後に、立石科学技術振興財団によるご支援に対して、改めて感謝申し上げます。2017年度は私がJAISTに着任し、初めて研究室を独立に立ち上げた年度であり、このご支援には大変助けられた。これからも、基盤研究と社会実装を両立するように、この取り組みを継続していきたいと考えている。

- [1] L. V. Duong, Van Anh Ho, *Large-Scale Vision-Based Tactile Sensing for Robot Links: Design, Modeling, and Evaluation*, IEEE Transaction on Robotics, Vol. 37, pp. 390–403, April 2021.
- [2] V. C. Pham, Van Anh Ho *et al.* (2022), *Web of Tactile Things: Towards an Open and Standardized Platform for Tactile Things via the W3C Web of Things*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07481-3_11

 研究助成成果報告 研究助成 (S)

繊細な力の感覚と制御による熟練技能の自動化を 実現するロボットワーカーの開発

The research on a worker robot with force sensing and control for skill automatization

2198002



研究代表者	早稲田大学 創造理工学部	教授	菅野重樹
共同研究者	早稲田大学 次世代ロボット研究機構	研究院講師	汪偉
	早稲田大学 基幹理工学部	教授	尾形哲也
	早稲田大学 創造理工学部	准教授	アレクサンダー シュミッツ

[研究の目的]

現在、少子高齢化による労働力不足、人件費の高騰などの状況を受け、様々な分野でロボット技術による自動化が進んでいる。しかし、精密な仕上げ、外観検査、研磨加工など、熟練の職人による作業をロボットで再現することは難しく、自動化はほとんど進んでいない。初心者がこれらの技術を習得するには長期の時間と多大なコストが必要であり、人材の確保が難しい。加えて、単純な繰り返し作業であるという点からも自動化が強く求められている。

本研究では、工場の現場で基礎工程として広く存在している「研磨加工」に注目する。研磨加工は、製品の表面仕上げによく用いられる加工方法である。砥石を高速回転させ製品に押し当てる、もしくは高速回転させた製品に砥石を押し当てるといった方法で製品の表面の凹凸や異物を除去することが可能である。技能の伝承という面からは研磨加工には武道や芸道のような段級制や免許制がなく、技術の達成度が曖昧である。また技術を習得したとき、それが数世

代に渡って引き継がれたものなのか、自身の努力で新たに得たものか判断がつかない。このような問題を解決するには技能のシステム化が必須である。

本研究では、この「研磨加工」の、熟練技能のシステム化を目的とした。

まず、熟練技能に不可欠な「繊細な力の感覚と制御」機能をロボットに与えるため、「押し付け力を調整可能な研磨装置」及び「人間の機序を模倣した両腕ロボットワーカー」を開発し、システム化のためのハードウェア・プラットフォームとした。加えて人間が作業中の「マルチモーダルな技能データ」を解析した。この人間のマルチモーダルデータから、機械学習によってロボットの動作学習を行うことで、スペックが異なるロボットでも動作生成可能な汎用性を持つ、動作学習・生成システムを構築し、熟練技能のシステム化を図った。

これらのプロセスを通して、熟練技能の伝承が可能な「人間と機械の融和」場面が実現できると期待される。

[研究の内容, 成果]

1) 人間の機序を模倣した両腕ロボットワーカー

熟練の職人は「磨く、削る」など、スキルが求められる作業を行う。この際、手首の動きに伴い、腕部、腰部、頭部などの多様な動作を加えて、複雑な身体動作をおこなっている。一方、工場の現場で多く導入されている産業用ロボットは、5自由度や6自由度など人間に比べ自由度が少なく、技能者の身体動きの再現が困難である。

そこで、本研究では、熟練技能の自動化のハードウェア・プラットフォームとなる「ロボットワーカー」を開発した。この際、身体構造など人間の機序を模倣した設計を行うこととした。本研究で開発された「ロボットワーカー」を図1に示す。

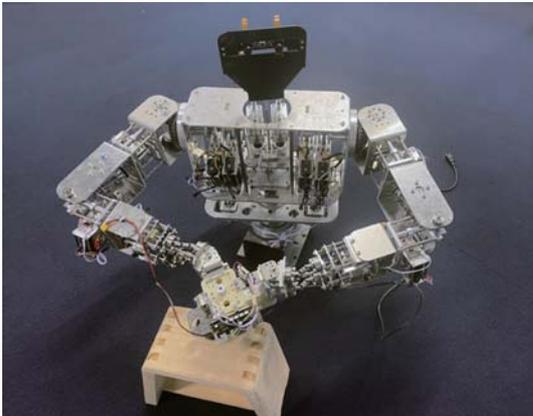


図1 開発した「ロボットワーカー」

「ロボットワーカー」は、技能者の様々な巧みな作業を行う際の身体動作を再現させるため、多くの自由度から構成する設計とした。具体的には、両腕部14自由度、腰部3自由度、頭部3自由度を含め、全20自由度を有する。さらに、ロボットの各部分のサイズも人間の身体の各部位の比率に従って設計した。

「ロボットワーカー」の各関節の駆動方式には、既存の産業用ロボットで用いられる回転関節駆動方式と異なり、人間の筋肉系と骨格系の仕組みを参考とした。具体的には、リニアアク

チュエータとボールジョイントの組み合わせで20自由度の電動駆動システムを実装することとした。

2) 押し付け力を調整可能な研磨装置

研磨加工では職人は繊細な力の感覚を頼りに作業を行う。先行研究では、熟練者、経験者、素人で研磨時に材料に付加する圧力を計測し比較した。その結果、素人は研磨する力のバラツキがあり、熟練者は力を一定に保持し、なおかつ力を抜く技術があるということが明らかとなった。また、熟練者は未経験者に比べ、素早い操作で表面に2倍の研磨力を加えることができ、その結果、表面粗さを1/2に抑えることができていた。

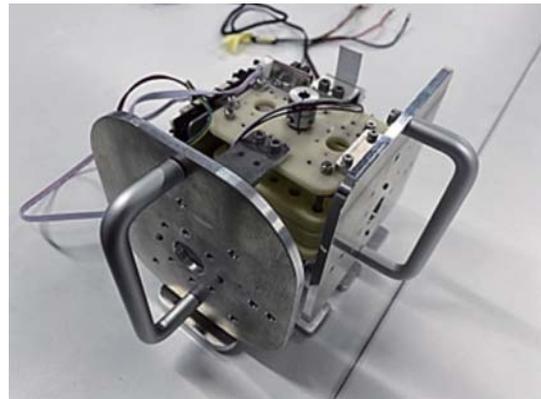


図2 開発した両手持ち「研磨装置」

このように、作業中の押し付け力の調整の技術が研磨加工の品質を左右し、作業者のスキルのレベルも決める重要な要素となる。そこで、既存の手持ちの研磨装置に、押し付け力を感知・調整する機能を付加することとし、人間が違和感なく使うことができ、ロボットにも適用可能な「押し付け力を調整可能な研磨装置」を開発した。この両手持ちの研磨装置を図2に示す。人間が研磨作業を行う際、市販の研磨装置の代わりに、この装置を用いて研磨作業を行うことで、押し付け力のデータを取得、解析が可能となる。そしてロボットワーカーが研磨作業を行う際にも、この装置を利用し、状況によって必要な押し付け力を調整することが可能とな

る。

開発した装置は、市販型研磨装置の上部にセンサー、可変柔軟性機構を搭載した構造を持つ。センサーはリニアエンコーダーとフォトセンサーで構成され、力の変化を柔軟部の変位として取得する。可変柔軟性機構とは、柔軟部の特性（コンプライアンス）を変えることができる機構である。装置に負荷をかけて、エンコーダの値を変位として記録して実験を行い、装置の「力-変位」特性を調べた。装置の柔軟部の柔軟性を5段階で設定して実験を行った。実験結果を図3に示す。この特性に基づき、研磨する際のエンコーダ値から押し付け力の推定ができるようになる。

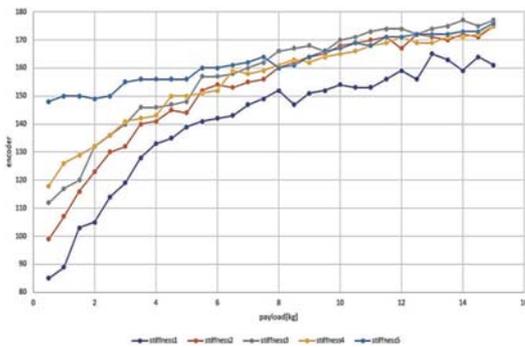


図3 「研磨装置」の「力-変位特性」

開発した装置は、可変柔軟性機構により柔軟性を連続的に変化させることができ、この機構だけでも押し付け力の調整が可能になる。この装置をロボットに搭載、研磨し、コンプライアンスを変動させた際のエンコーダの値を押し付け力として記録して実験を行った。「コンプラ

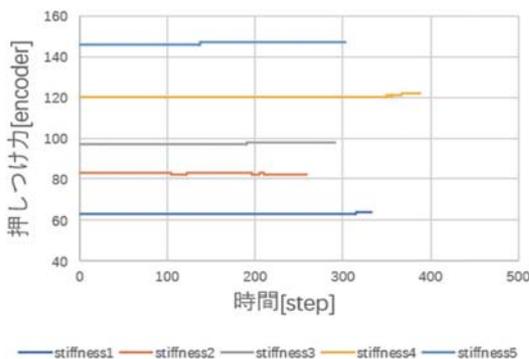


図4 「研磨装置」の「コンプライアンス-力」特性

イアンス-力」特性の結果を図4に示す。実験では、5段階のコンプライアンスで変化させたデータを取得した。ロボットが研磨する際、この特性を参照し、押し付け力を実時間で調整することが可能になる。

3) マルチモーダル技能データ取得システムの開発及びデータ解析

生産現場では、産業用ロボットに対象物の運搬、溶接、塗装などの目的動作をさせるため、事前にエンジニアがロボットの目標動作を記憶（教示）させ、作業中に制御プログラムでそのとおりに繰り返し動作を行うのが一般的な方式である。これはティーチングプレイバック方式と呼ばれる。

しかし人間が「研磨、仕上げ」など、技能が求められる作業を行う際は、上記の産業用ロボットの「ティーチングプレイバック」方式と異なり、目視、力の感覚・触覚、身体の動作などを協調的に行うことによって、様々な巧みな目標作業が実現できる。このような、人間の作業に対する技能を理解するためには、作業中の「人間の身体の動き、視界、対象物への接触力」などマルチモーダルなデータを取得し、解析する必要がある。

そこで、本研究では「マルチモーダル技能データ取得システム」を開発した、図5にシス

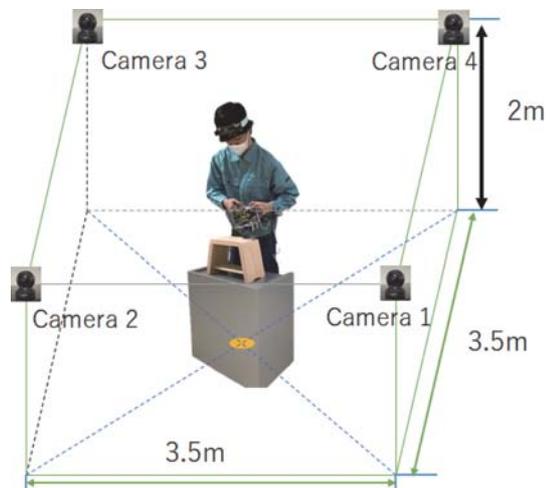


図5 マルチモーダル技能データ取得システム

テム全体の構成を示す。このシステムは環境カメラ、ヘッドマウントカメラ、押し付け力制御可能な研磨装置から構成される。これらにより体の動きのデータ、視界の移動データ、研磨時の押し付け力のデータが取得される。具体的なデータ事例を以下に示す。

環境カメラと体の動きの情報：環境には作業着、研磨対象を中心に、4方にカメラが設置されている。環境カメラ同士の間隔は3.5m、高さ2mの位置に設置した。環境カメラは研磨作業の様子を録画する。保存された動画から姿勢推定を行い、スケルトンモデルを構成、各関節の座標データに変換する。図6に環境カメラとそのスケルトンモデルの一例を示す。



図6 環境カメラと作業者のスケルトン

ヘッドマウントカメラと視界移動情報：作業者の頭部にヘッドマウントカメラを装着してもらい、研磨作業時の視界映像を録画した。ヘッドマウントカメラは左右の2つのカメラで構成されている。得られた動画からカメラ位置推定を行い、視界の移動情報として数値化した。各実験条件で数値化された視界の移動の事例を図7に示す。

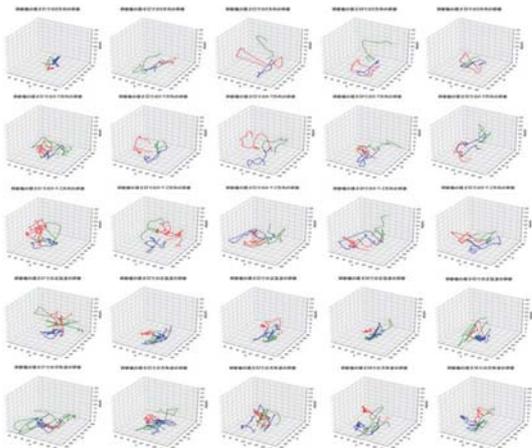


図7 数値化した視界移動情報

7に示す。

研磨装置及び押し付け力：実験で使用した研磨装置（図2）は、市販の手持ち研磨装置上部に可変柔軟性機構を搭載したものである。作業中に両手で持ち、対象物への研磨作業を行う。可変柔軟性機構の柔軟部の変位を測り押し付け力を推定する。今回の実験では5段階の柔軟性で変化させデータを取得する。押し付け力のデータを図8に示す。

実験では、複数の実験者により、研磨方法、研磨装置のコンプライアンスを変化させた実験を行った。その結果、観察深度は個人差が大きく、特定の方が他の人に比べ、観察深度が大きくなることが確認された。また4つの環境カメラのデータでは、体が斜めから覗き込む似た姿勢となること、また特定の方がより顔を近くにして作業を行うことが確認された。これは上記の観察深度の結果と一致する。また研磨装置のコンプライアンスが変わっても、実験者や研磨方法が同じ条件であれば、研磨時の観察深度の推移はおおむね類似することがわかった。研磨押し付け力については、特定の人（観察深度が大きい人）は他の人に比べ、押し付け力の変動が不安定になることが確認された。上手く力を加えられていない状況を定量的に見ることができていると考えられる。研磨方法の違いについては、細かい力の振動が観察されるものの、どの研磨方法でも研磨時の力はおおむね同じであった。

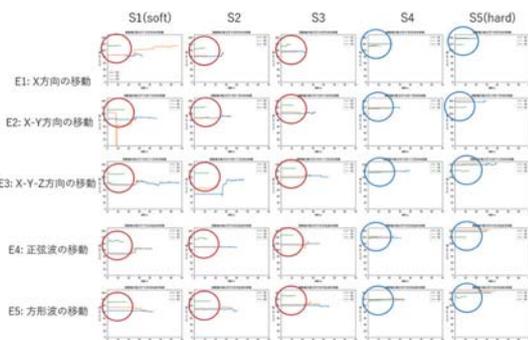


図8 各実験条件での研磨押し付け力

4) ミッドポイントの軌道学習に基づいた汎用性があるロボット動作学習・生成システム

機械学習を用いてロボットに技能の学習をさせることで、人間から技能伝承やロボット自動化を目指す研究が盛んとなっている。例えば、作業者が産業用ロボットアームを遠隔で操作して作業し、ロボットが人間の感覚の微妙なさじ加減を学習し、人間の動きを再現するシステムがある。なお、これらの手法は学習結果がロボット本体に依存し、構造が異なるロボットには直接応用できない。加えて学習のデータ収集に作業が必要ためコストがかかるという問題点がある。

本研究では、機械学習で「技能を人間から継承させる」、「技能を他のロボットに伝える」という技術伝承を目的とし、(a) 人間同士の学習と同様に、人間の動作の観察による学習、(b) 学習の結果をスペックが異なるロボットにも応用可能、という特徴を持つ汎用性を持ったロボット動作学習・生成システムを目指した。具体的には、人間の作業中の、デカルト座標系で、ロボットの先端や肘などの「ミッドポイント」の時系列軌道を学習対象とした。ミッドポイントの時系列軌道は、身体の情報を含むと同時に、汎用性が高い目標情報も含む。リカレントニューラルネットワークを用いてミッドポイントの時系列軌道を学習し、7自由度逆運動学によりロボット動作をリアルタイムで生成する。システムの全体図を図9に示す。

ミッドポイント時系列軌道による動作学習：ロボットの動作学習については、ロボットを操作して学習させる方法（模倣学習）やロボット

が自ら試行錯誤しながら学習する方法（強化学習）がある。いずれも学習データの取得コストの問題、また学習した結果を他のロボットに転用することが難しいといった問題がある。一方、人間が熟練者から学ぶ際は、これらの方法と異なり、直接、その動作を観察して、技能者の動作の大枠を把握した上で、試行錯誤を繰り返しながら技能を獲得する。

この人間の学習方法を参考とし、異なる技能者における動作の大枠の情報を把握するため、ロボットの関節角度ではなくミッドポイントの時系列軌道を学習対象とした。ミッドポイントの時系列軌道情報から、目標手先位置や、各関節角度などが計算でき、異なる技能者でも類似した情報が得られると期待される。この学習データは技能者が作業する際、環境カメラから推定可能である。本研究ではこの学習について、リカレントニューラルネットワークを用いた。例として、一人の技能者が円の軌道を沿って研磨する際の、ミッドポイント時系列軌道の学習データおよび学習後の時系列軌道生成データを図10に示す。

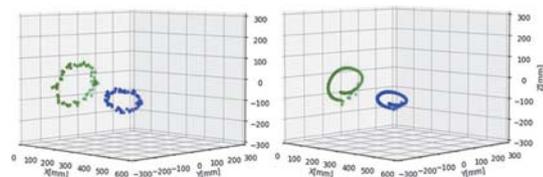


図10 ミッドポイント時系列軌道の学習

逆運動学解析及び動作生成：人間や人間の機序を模倣したロボットワーカーは、2つの7自由度冗長マニピュレータを持つ。学習後のミッド

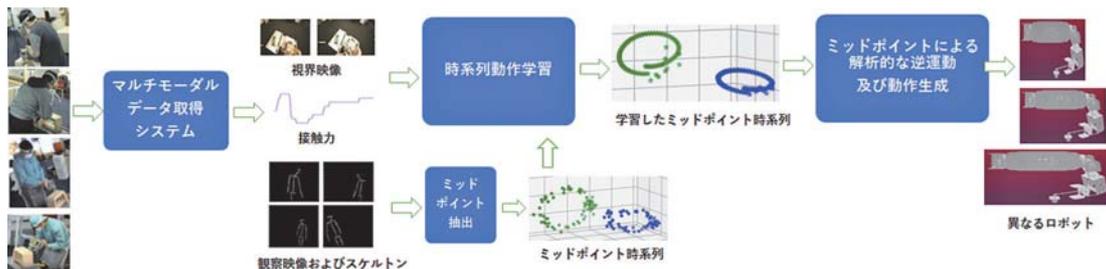


図9 ミッドポイントの軌道学習によるロボット動作学習・生成システム

ドポイント時系列をリアルタイムで動作生成するため、逆運動学モデルの適用、及び動作生成機能を開発した。冗長マニピュレータでもミッドポイントの解析的な逆運動計算から各関節の目標位置と角度が計算できる。結果として身体構造などが異なるロボットでも、リアルタイム動作生成が実現可能となる。図 11 に、上腕と前腕の長さの比率を変更した異なるロボットを用いた際の動作生成結果を示す。

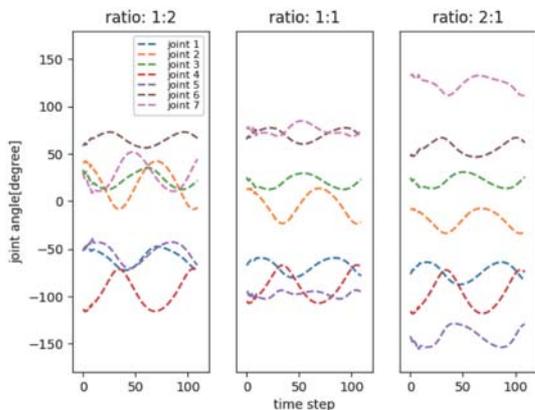


図 11 身体構造が異なるロボットの動作生成結果

[今後の研究の方向, 課題]

本研究では研磨作業中のバリ取りや表面仕上げの技術のシステム化を目的とした、ロボットワーカーの開発、基礎評価実験を行った。実際の生産現場では、研磨作業だけでも、様々な研磨対象物や研磨方法が存在している。例えば、曲面を対象とした研磨をする際には、多自由度な押し付け力の調整が必要なため、研磨装置も 3次元で押し付け力の取得・調整できるよう、押し付け力機構の多自由度化が必要になる。

機械学習については、「深層学習」の手法が急速に発展していることに伴い、問題に特化したデータセットの構築も重要になってきた。研磨作業については、様々な対象物、工程、作業

環境、作業方法、作業結果が存在している。今後は、現場から実際の作業データを大量に取得・整理し、研磨作業に特化したデータベースの構築が必要である。このようなデータベースができれば、研磨技能の技術化や機械学習システムの実用化に重要な貢献ができると期待される。

[成果の発表, 論文など]

- [1] Satoshi Funabashi, Tomoki Isobe, Fei Hongyi, Atsumu Hiramoto, Alexander Schmitz, Shigeki Sugano, and Tetsuya Ogata: Multi-Fingered In-Hand Manipulation with Various Object Properties Using Graph Convolutional Networks and Distributed Tactile Sensors, *IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L)* (IF: 3.741), Volume: 7, Issue: 2, pp. 2102-2109, Jan. 2022. DOI: 10.1109/LRA.2022.3142417
- [2] Namiko Saito, Takumi Shimizu, Tetsuya Ogata, and Shigeki Sugano: Utilization of Image/Force/Tactile Sensor Data for Object-shape-oriented Manipulation: Wiping Objects with Turning Back Motions and Occlusion, *IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L)* (IF: 3.741), Volume: 7, Issue: 2, pp. 968-975, December 2021. DOI: 10.1109/LRA.2021.3136657
- [3] Ryoichi Nakajo, and Tetsuya Ogata: Comparison of Consolidation Methods for Predictive Learning of Time Series, He Jiang et al. (Eds.): *IEA/AIE-2021, Advances and Trends in Artificial Intelligence, Lecture Notes in Computer Science (LNCS)*, vol. 12798, pp.113-120, Springer, Online, July 26-29, 2021.
- [4] Kulkarni, S., Schmitz, A., Funabashi, S., Sugano, S. (2020) Development and Evaluation of a Linear Series Clutch Actuator. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2020)*, pp. 6353-6360, doi: 10.1109/IROS45743.2020.9341293.
- [5] Funabashi, S., Schmitz, A., Ogasa, S., Sugano, S. (2020) Morphology-Specific Stepwise Learning of In-Hand Manipulation with a Four-Fingered Hand. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(1), pp. 433-441, doi: 10.1109/TII.2019.2893713.



研究助成成果報告(抄録)

<https://www.tateisi-f.org/reports/2022/>

[成果報告の全文は <https://www.tateisi-f.org/reports/2022/> からご覧いただけます]

(年度順五十音順)

[研究助成(A)]

1. 非線形同期を使った群ロッド移動システムの研究 —— ウニの移動方法に学ぶ —— (2191020)

Study of group rod migration system using nonlinear synchronization
—— Learning from the migration method of sea urchins ——

田原 淳一郎 東京海洋大学 学術研究院 海洋電子機械工学部門 教授

非線形同期を用いて、ウニを模したロボットを制御する手法の研究を実施した。非線形振動子の van der Pol 方程式を拡張し、多角形におけるロッド運動の制御を実施した。Python と MATLAB を活用した非線形同期システムを構築した。本アルゴリズムをマイクロコンピュータに実装し、デルタ型に接続したエアシリンダを用いて任意の同期モードに制御出来る事を確認できた。

2. 限界突破と行動変容のためのマインドセットをコントロールする情報提示技術の確立 (2191029)

Development of Information Presentation Technology to Control Mindsets for Breaking Through the Limitation and Behavior Change

双見 京介 立命館大学 情報理工学部情報理工学科 助教

本研究では、人のマインドセットのサポートとなるコンピュータ技術の実現を目指し、マインドセットの向上や変容を簡便に行う情報提示技術の開発を目指した。情報提示システムの利用が起す無意識の現象を制御することで、行動変容のための競争情報提示手法と、疲労制御のための自己情報フィードバック手法を開発し、本研究構想の実現可能性を確認した。

3. インクジェット超瞬間凍結による凍結困難バイオリソースの凍結保存への挑戦 (2201001)

Experimental attempt of cryopreservation for uncryopreservable bioresources by inkjet printing based superflash freezing

秋山 佳丈 信州大学 学術研究院繊維学系 教授

これまでに、超瞬間的に凍結することで凍結保護剤を用いない細胞の凍結保存が可能であることが確認できていたが、本研究では解凍工程に着目し、その生存率と再現性の向上を目指した。特に、自動解凍装置や衝撃離脱法を開発することで、従来法と同等の生存率を得ることができた。現在、各種バイオリソースへの本手法の適用に向けて研究を進めている。

4. 義足歩行の習熟を支える神経基盤の理解とその定量評価システムの開発 (2201005)

Physiological Evaluation of Neural Basis behind Proficiency of Prosthetic Walk

牛山 潤一 慶應義塾大学 環境情報学部 准教授

本研究では健常者ならびに利用歴の異なる股義足ユーザーを対象に、健常側・義足側の双方から表面筋電図を取得し、筋シナジー解析を用いて習熟度による義足歩行制御戦略の差異を検討した。結果、義足歩行の習熟の背景には、既存の筋シナジーの活動タイミングの変調や筋シナジー自体の再編といった、構造面・機能面双方の可視的变化が寄与している可能性が明らかとなった。

5. 高齢者の視機能領域の拡大を目的とした視覚トレーニングシステムの開発 (2201006)

Development of a visual training system to expand the visual function domain of the elderly

木下史也 富山県立大学 工学部情報システム工学科 講師

本研究課題では、MCIの早期発見を目的として利用者の奥行き知覚能力を定量的に評価することができるVRコンテンツの開発を行った。コンテンツはUnityを用いて開発し、視線計測機能の付いたHMDから提示することによって視線情報を取得する。その結果、利用者の瞳孔間距離を特徴量とすることで、奥行き知覚能力を定量評価することが可能であった。

6. 技能継承システム開発に向けた関節間の協調関係に関する技能の形式化 (2201007)

Identifying joint coordination related to skill for the development of skill transfer systems

木村新 国立スポーツ科学センター 研究員

本研究では、投動作を対象に関節間の協調関係を分析するための方法論を構築し、実験的検証を行った。既存の研究は関節間が協調していたという結論に留まっていたものの、本研究で提案した方法論により特定の関節間の協調関係について検討することが可能となった。このような具体性の高い情報は、運動技能の継承を考える上で有益である。

7. 先天性色覚障がい者の色識別能力を改善する演色性の良い照明光源の試作 (2201010)

Combination of LED lights to improve the color discrimination for people with color blindness

茂里康 和歌山県立医科大学 医学部 教授

男性の6~8%が該当する先天性色覚障がい者の間違いやすい色の識別能力を高めるための光源の基礎を確立した。すなわち、必須となる光の波長を見出し、演色性が異なる光スペクトルを2種類定義し、その有効性を色覚障がい者による被験実験、あるいは、シミュレーションによって調べた。II型色覚者用の光源に比べ、I型色覚者用の光源は演色性が悪かった。

8. 高精度カフレス血圧計測のための脈波測定条件の探求 (2201015)

Search for optimal photoplethysmographic measurement conditions for high-precision cuffless blood pressure estimation

任田崇吾 石川工業高等専門学校 電子情報工学科 講師

高血圧は心血管疾患の危険因子として、世界的な問題となっており、日常的な血圧計測が大切となる。本研究では、光電脈波単独でのカフレス血圧推定法の開発を目指し、センサ間距離が光電脈波に与える影響および、光源波長が血圧推定法に与える影響を検討した。その結果、血圧の種類により、精度の高い光源波長が異なることを明らかにした。

9. 分布型触覚センサ Soft-MPS Array の開発 (2201017)

Development of Distributed Tactile Sensor Soft-MPS Array

長濱峻介 京都先端科学大学 ナガモリアクチュエータ研究所 助教

本研究では、磁気拘束した金属粉体をソフトマテリアルで固定化することで得られる柔軟な抵抗式触覚センサ Soft-Magnetic Powdery Sensor (Soft-MPS) をアレイ化することで、多点センシングが可能なデバイスの開発を目指した。センサアレイとその信号処理用の回路の製作、および安定的なデータを取得するために基板にSoft-MPSを接合する手法の評価を行った。

10. 協調的動作により“存在の感覚”の実験的誘起を可能にする基盤技術の創成 (2201020)

Development of Robotic Technology to Experimentally Induce “Feeling of a Presence” by Cooperative Actions

原 正之 埼玉大学 大学院理工学研究科 准教授

本研究では、多自由度パラレルリンクロボットの設計・開発を行い、協調的動作を用いた FoP 研究への適用可能性について検討した。また、開発したロボットを基礎として健常者を対象とした FoP 実験も実施し、手を刺激対象としても FoP を実験的に誘起できることと、刺激される手の位置によって FoP の出現位置を変化させることができる可能性を示唆した。

11. バーチャルリアリティ環境下での擬似触覚生成に関わる行動・生理指標の抽出 (2201022)

Perception of pseudo-haptics in virtual reality

福井 隆雄 東京都立大学 システムデザイン学部学 准教授

バーチャルリアリティ環境下において、手腕モデルと接近物体の衝突時に生じる擬似触覚の生起強度について検討し、接近物体の衝突時の減速率が大きいほど、そして、手と物体の接触イベントを視覚的に提示することにより、主観的評価値が大きくなることが示された。さらに、物理的な触覚刺激をとまわらない擬似触覚経験による掌表面温度の上昇も認められた。

12. ラフスケッチ画から高品質な 3D キャラクタを制作するための深層学習フレームワーク (2201023)

Deep Learning-based Framework for 3D Character Design from Rough Sketch

福里 司 東京大学 大学院情報理工学系研究科 助教

ラフなスケッチ画を用いて高品質な 3DCG キャラクタアニメーション制作を実現するために、ユーザが描くスケッチ画自体の品質を向上させる技術とスケッチによるキャラクタモーションの制御技術を考案する。

13. 超高齢社会での医療応用をめざしたウェアラブル脳波デバイスの開発 (2201026)

Invention of a wearable EEG system for clinical use in super-aged society

松本 理器 神戸大学 大学院医学研究科 教授

本研究では、神戸大学医学部附属病院のてんかん外来および認知症センターを受診し、病歴聴取上でてんかんが疑われた患者のうち、入院して長時間ビデオ脳波検査 (VEEG) を実施された患者を対象として、ウェアラブル脳波デバイスを用いた終夜脳波記録を行い、てんかん性放電の検出に有用な電極部位の同定と装着方法の至適化を図っている。

14. 人と AI が調和する技能伝承支援基盤の構築 —— 琉球古典音楽・歌三線の普及に向けて —— (2201027)

Development of Skill Transfer Support System for Uta-sanshin based on Harmony between Human and AI

宮城 桂 沖縄工業高等専門学校 情報通信システム工学科 講師

重要無形文化財「組踊歌三線」において、琉球音階の独特な音響的特徴に関する記載は無く、熟練者の技能は目下口伝のみによって伝承される。一方、昨今では様々な学術分野における科学技術の統合化が進められており、これによる新たな価値の創出が求められている。本研究課題では、歌三線と工学の融合による技能伝承支援基盤の確立を目指す。

15. 生命科学実験の実施映像からのプロトコル文生成 (2201030)

Protocol Generation from Life Science Experiment Videos

森 信 介 京都大学 学術情報メディアセンター 教授

生命科学実験を対象に、その実施映像から手順文（プロトコル）を自動的に生成すること及び言語による動画検索システムの実現を目指して研究を行い、32回の生命科学実験動画を収録、データセットとして公開した。ついで実験動画とプロトコルの自動対応を実現し、プロトコル中の各手順の言語クエリに対してその実施区間を検索表示することを可能とした。

16. ロボットの協同操作による自閉症者の言語・非言語コミュニケーション訓練 (2201033)

Communication training for individuals with autism spectrum disorder through robot cooperative tasks

渡 辺 哲 陽 金沢大学 理工研究域フロンティア工学系 教授

本研究では、自閉スペクトラム症（Autism Spectrum Disorder: ASD）者の協調性を向上させる手法を検討した。ロボットを二人一組で操作するような訓練を、難易度を上げながら合計8回実施することで、ASD者の協調性が向上するかを調査した。その結果、訓練の相手に対する協調性の向上が認められた。ただし、訓練相手以外の方に対する協調性は必ずしも向上するとは言えなかった。

17. 慣性計測ユニットによる歩行安定性指標およびベルト装着型歩容評価デバイスの開発 (2211001)

Development of the gait assessment devise and gait stability index using inertial measurement unit

秋 山 靖 博 名古屋大学 大学院工学研究科 助教

小型慣性計測ユニットを装着して歩行中の加速度波形を計測した。波形を既存の歩容評価指標と関連付ける統計処理を行い、慣性ユニットを用いた歩容評価の妥当性を検証した。急な加減速を含む多様な歩容において、加速度波形から安定性指標を推定する数値モデルを構築した。

18. 光波空間変調を用いた光無線通信システムに関する研究 (2211002)

Development of free-space optical communication system using two-dimensional patterns

池 田 佳奈美 大阪公立大学 大学院工学研究科 助教

光無線通信システムは自由空間中を伝搬する光によって情報伝達を行う通信システムである。ソフトウェアによる暗号化と併用可能な、ハードウェア内の光学系構成による光無線通信の安全性向上を目指し、2次元空間変調による暗号化を導入した光無線通信システムを構築した。

19. バーチャルアバターの非言語情報の表現方法および視点の違いが自己開示に及ぼす影響 (2211003)

Effects of Nonverbal Information and Perspectives of Virtual Avatars on Self-Disclosure

市 野 順 子 東京都市大学 メディア情報学部 教授

人間関係や絆を築く上での自己開示の重要性と、遠隔コミュニケーションツールへ拡充への期待を踏まえ、本研究（テーマ1）では、①ビデオ会議、②バーチャルアバターと自己の外見的類似性のあるアバター。③類似性のないアバターを比較する実験を行った。その結果、類似性のないアバター、類似性があるアバター、ビデオ会議の順で参加者の自己開示が促された。

20. 対話中の非言語行動の意味・機能を推定する機械学習モデルの構築 (2211004)

Developing machine-learning models for estimating the meanings and functions of nonverbal behaviors in conversations

大塚和弘 横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授

人の対話における非言語行動の機能を認識・理解するため『非言語機能スペクトラム』という新概念を提唱し、その計算基盤の構築を行った。特に対話者の頭部運動が担う複数の機能に着目し、それらを頭部姿勢角の時系列データなどから認識する深層学習モデルを構築し、また、認識された頭部運動の機能から対話者の主観的印象を予測するモデルなどを提案した。

21. 大規模水田における人間-機械協調のための作業情報取得システムの開発 (2211005)

Developing a system for acquiring work information for human-machine cooperation in a large-scale rice field

大山克己 大阪公立大学 大学院現代システム科学研究科 教授

大規模水田における労働生産性を向上させるためには、人間と様々な機械（トラクタ、コンバインなど）とが協調して、作業を計画通りに完了する必要がある。そこで本研究では、大規模水田における人間-機械協調を促進することを目的として、作業情報（位置や進捗状況）を遠隔でリアルタイムに取得するための安価なシステムを開発した。

22. 筋協調の感覚代替システム構築の試みと歩行学習への応用 (2211009)

Biofeedback system for sensory substitution of muscle coordination and application to gait learning

木伏紅緒 神戸大学 大学院人間発達環境学研究科 助教

筋活動バイオフィードバックによって、歩行中の身体重心加速度が安定するかを検証した。実験条件は、ヒラメ筋、前脛骨筋、半腱様筋のフィードバック条件とフィードバックなし条件の4条件を設定し、身体重心加速度の二乗平均平方根を比較した。筋活動バイオフィードバックによって、前後方向と鉛直方向の身体重心加速度が安定することが明らかとなった。

23. 光ファイバアレイとダイヤモンドセンサを用いた癌2Dイメージングプローブの開発 (2211010)

Development of two dimensional imaging system with diamond NV and fiber array

桑波田晃弘 東北大学 大学院工学研究科 准教授

高精度ながん診断のために、ダイヤモンド窒素空孔センサと光ファイバアレイを用いた2次元イメージング技術を開発した。微細な磁場構造の観測において、2次元での磁場ベクトルイメージングに成功した。今後は、生体応用に向けての高感度化やシステムの最適化を実施し、医療現場で使用可能な機器を開発し、がん患者の生活の質の向上に貢献することを目指す。

24. 個人の脳構造特性から非侵襲的脳刺激法による運動機能向上効果を予測する (2211011)

Predicting the effects of noninvasive brain stimulation methods on improving motor function based on individual brain structure

小島翔 新潟医療福祉大学 リハビリテーション学部 理学療法学科 講師

経頭蓋直流電流刺激は非侵襲的に脳を刺激する手法のひとつであり、一定時間の刺激によって脳卒中患者の運動機能等を向上させることができる。一方で、その刺激効果はバラつくことが報告されている。そこで、我々は、脳情報解析技術を用いて個人の脳構造特性から介入効果のバラつきを是正することを目的に研究を実施した。

25. 中枢神経回路の疲労回復を促進する技術 (2211012)

Facilitation technique of central fatigue recovery

齋藤 輝 九州産業大学 健康・スポーツ科学センター 助教

本研究の目的は、経頭蓋直流刺激による中枢神経回路の変調が疲労回復に与える影響を明らかにすることであった。10分間の経頭蓋直流刺激を与えた後に、第一背側骨間筋を疲労困憊まで随意収縮させた。そして、中枢神経回路の興奮レベルを計測し、中枢神経回路の疲労回復に至るまでを観察した。経頭蓋直流刺激によって中枢神経回路の疲労回復が促進することはなかった。

26. データ駆動型運転知能と触覚的シェアードコントロールの融合に基づく人と機械の協調 (2211013)

Human-machine collaboration based on the integration of data-driven driving intelligence and haptic shared control

齋藤 裕一 筑波大学 システム情報系 助教

本研究課題は、危険予測知識のデータに基づく危険度推定を運転支援スキームに組み込むことに着目し、経験知識/データベース/機械学習(AI)という情報学と、触覚的シェアードコントロールという知能機械工学の融合的アプローチに基づき「運転知能の高度化」ならびに「人と機械の協調」の進展を図るものである。

27. ヒトの神経多様性を考慮したニューロフィードバック型注意訓練システムの開発 (2211014)

Development of neurofeedback-based attention training system considering individual differences in the human brain

櫻田 武 成蹊大学 理工学部理工学科 准教授

ニューロフィードバックと呼ばれる、計測した脳活動を本人にリアルタイムで提示する手法を用い、ヒトの注意機能向上を目的とした訓練システムを開発した。構築したシステムを用いた数日間の訓練の結果、個々の低次感覚野における応答増幅に成功した。さらに、その脳活動変化に伴って、注意機能向上を示す行動変容も確認された。

28. 視覚環境を音声で表現可能な盲導犬ロボットに関する研究 (2211017)

Research on a Guide Dog Robot of Expressing Visual Environment by Voice

張 斌 神奈川大学 工学部機械工学科 助教

本研究で開発した盲導犬ロボットは道誘導機能を実現する際、ユーザーの社会性のニーズを考慮し、ロボットに搭載したセンサを用いて、ユーザー周囲の視覚環境をセンシングし、途中の風景や街中のシーンを理解し、音声で表現する。視覚障害者が街中を散策し、周囲の環境や街中のシーンを楽しめることを目指す。盲導犬ロボットの社会受容性を向上することが期待できる。

29. 高齢者のプライバシーに配慮して傾聴するお節介護ロボット (2211018)

A nursing care robot that listens in consideration of the privacy of the elderly

瀬島 吉裕 関西大学 総合情報学部 准教授

本研究では、お節介を行うための「①高齢者の状態推定技術」と、プライバシーに配慮した「②お節介な発話支援技術」を主要技術として位置付け、居住空間内の温度センサから人の状態を推定するアルゴリズムと、利用者の音声から傾聴感の高い瞳孔のミラーリング表現技術によって、お節介による発話支援の有効性を示した。

30. X線検査における深層学習を用いた撮影技術に関する最適化ツールの開発 (2211019)

Development of improvement for scan technique of X-ray with deep learning

高 島 弘 幸 札幌医科大学附属病院 放射線部 副部長

CT画像を用いて膝関節の単純X線像を模擬した画像を作成し、deep learningを用いて適切なポジショニング画像となる画像の角度を求めるプログラム開発を目的とした。今回の検討では、学習時のaccuracyは0.94と高い値が得られていたのに対してテスト画像の分類ではaccuracyは0.81と低い値になった。

31. ガラスナノフィルターを用いた人体動作融和型発電機の開発 (2211020)

Development of glass nanofilter based power generator using energy from human behavior

田 中 陽 理化学研究所 生命機能科学研究センター 集積バイオデバイス研究チーム チームリーダー

本研究では、水とガラス微細流路の電気相互作用を利用し、圧力により水が流れる限り発電が持続する、人の動きに適した新環境発電機を創成した。これにより、人は自然な動作で機械を使えて機械は電源を安定確保できメンテナンス不要、という人と機械が完全融和した社会を実現できる。

32. 円環型振動子を用いたセンサー体型MEMSリザーバーコンピューティング (2211021)

Sensor-integrated MEMS Reservoir Computing using Ring Resonator

土 屋 智 由 京都大学 大学院工学研究科 教授

機械学習機能を一体化した知能化センサ実現のため、非線形振動子群で構成する物理リザーバーとセンサとなる機械構造をSi基板上に一体製作するMEMSリザーバーコンピューティングを提案し、円環型振動ジャイロスコープに適用するための検討を行った。サーバへの通信量、消費電力を低減した高性能高信頼IoTインフラを提供、より安全で安心な社会の構築に寄与する。

33. 校正された種々のホワイトノイズが立位姿勢制御の向上に及ぼす効果に関する研究 (2211022)

Effects of calibrated and various white noises on improving postural fluctuations

常 盤 達 司 広島市立大学 大学院情報科学研究科 准教授

立位姿勢に対する制御機能の低下は、例えば「めまい」や「ふらつき」などの平行機能障害を引き起こし、特に高齢者に顕著である。本研究では、音刺激が立位姿勢制御向上に及ぼす効果を調査するために、ダミーヘッドを用いて音圧や周波数を事前に校正した種々のホワイトノイズが立位姿勢制御に及ぼす効果を評価した。

34. 高齢者のバランス能力を改善させるハイブリッド型リハビリ支援システムの開発 (2211023)

Development of a hybrid rehabilitation support system to improve the balance ability of elderly people

中 野 英 樹 京都橘大学 健康科学部理学療法学科 准教授

本研究では、脳活動を効果的に修飾させるニューロフィードバック装置と脳内運動イメージトレーニングを併用したハイブリッド型リハビリ支援システムを開発した。当該システムを用いたトレーニングは、健常者の立位姿勢制御能力を向上させることを明らかにした。本研究は、高齢者のバランス能力の改善と転倒リスクの軽減に貢献する可能性を示唆した。

35. 筋電図, 機能的電気刺激, 触覚提示が仮想/拡張現実内でインタラクティブに調和したバイオフィードバックシステムの開発 (2211024)

Development of a biofeedback system in which EMG, FES, and tactile presentation are interactively harmonized in virtual / augmented reality

松 居 和 寛 大阪大学 大学院基礎工学学術研究科 助 教

本研究は、電気刺激を用いて取得できる神経筋骨格系モデルを用いて、筋電図、機能的電気刺激触覚を用いたバイオフィードバックを、仮想/拡張現実をプラットフォームとしてインタラクティブに結合したシステムを開発するものである。

36. ポタリングサイクリングのための下腿義足の開発 (2211026)

Development of a Transtibial Prosthesis for Puttering Cycling

村 木 里 志 九州大学 大学院芸術工学研究院 教 授

下腿切断者がサイクリング（自転車のペダリング）を楽しむための義足、自転車のペダル、それらをつなぐアタッチメントを開発することを目指し、ペダリングにおいて足関節の運動（底屈および背屈）が働かないことによる問題点およびペダルと接続する足底部の位置（つま先側、中央）を検討した。

37. 人間動作再現の高度化を目指したロボット運動制御技術の研究 (2211028)

Motion Control for Advanced Human Motion Reproduction

元 井 直 樹 神戸大学 大学院海事科学研究科 准教授

モーションコピーシステムは人間動作における位置・力情報を抽出・保存する動作再現フェーズと、保存データに基づき動作再現を行う動作再現フェーズから構成される。本研究では、動作再現フェーズにおいて反復学習制御を用いることで、再生速度を高速化し、再現動作の高度化を目指した。また、実機実験により提案手法の有効性を検証した。

38. 集積化人工嗅覚センサエレクトロニクス (2211029)

Integrated Artificial Odor Sensor Electronics

柳 田 剛 東京大学 大学院工学系研究科 教 授

本研究では、物理センサと比較してその科学技術が大きく立ち遅れている“嗅覚センサ”に着目し、申請者が独自に展開してきた①堅牢な分子識別機能を有する金属酸化物ナノワイヤ界面と②分子捕集部とセンサ部が集積化された分子センサ構造により“堅牢な集積化人工嗅覚センサ”を実現する。

39. 人との協働作業を可能にするソフトロボットハンド・アームシステムの開発 (2211030)

Development of a soft robot hand-arm system towards human-robot collaboration

山 川 雄 司 東京大学 大学院情報学環 准教授

本研究は、人との協調作業を可能とするソフトロボットハンドシステムの開発を目指している。その実現のため、伸長可能かつ剛性可変な構造を有し、運動制御や物体把持が可能なプロトタイプシステムを構築するとともに、高速画像処理を駆使し、ロボットの先端位置の高速視覚制御を達成した。実際に構築システムを用いて、運動制御および物体把持を実現した。

[研究助成(B)]

1. 慢性重度片麻痺上肢の回復に有効なサイバネティック機能的電気刺激装置の開発 (2201903)

CYBERNETIC ELECTRICAL STIMULATOR DEVELOPMENT FOR CHRONIC UPPER-EXTREMITY HEMIPARESIS TREATMENT

南 征 吾 群馬パース大学 大学院保健科学研究科 教授

本研究の環境にしたがって生活適応力を引き出す装置は、対象物（環境）と身体反応の関係性を捉え人の予測制御を促し、生活適応力を高められるものがある。この装置の開発は、神経系機能の情報と機械の自動制御を統合し、人と機械の相互関係を促進する。本研究では、身体反応と外部環境を取り込み、人の動きを促進する研究機器の開発に取り組んだ。

[研究助成(C)]

1. 簡便且つ迅速な細菌検査の実現を目指した高感度グラフェンデバイスの開発 (2197005)

Graphene devices for detection of decay-derived molecules

坂 本 優 莉 東京農工大学 大学院生物システム応用科学府 一貫制博士課程

生命の安全確保のみならずフードロス削減を通じた食料問題及び環境問題の解決を実現することを長期的なビジョンとし、細菌やそれによる腐敗に由来するガスをターゲットとしたセンシング技術の開発を目指した。そこで、グラフェン電界効果トランジスタを用いた化学反応の電気的検出による分子検出を試みた。

2. 深層学習による身体動作予測に基づく遠隔会議システムの開発と評価 (2207009)

Development of Remote Conference System with Body Motion Prediction Function Based on Deep Learning Method

王 子 洋 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学系 助教

遠隔会議では、遠隔参加者は現地側参加者の参照的動作を見落とし、円滑に会議に参加できない場合が多い。本研究は、参照的動作を自動的に検出・予期し遠隔参加者に提示する機能を提案した。課題1では、参照的動作の提示方法の調査し、PIP法かつ参照された対象物を提示するのが適切な提示方法が分かった。課題2では、深層学習を用い参照的動作の検出・予測のモデルを開発した。



国際交流助成成果

<https://www.tateisi-f.org/reports/2022/>

[成果報告の抄録は <https://www.tateisi-f.org/reports/2022/> からご覧いただけます]

[国際交流 国際会議発表] 〈参加会議〉

1. 滝本大裕 琉球大学 理学部海洋自然科学科 化学系 助教 (2202103)
PACIFIC RIM MEETING ON ELECTROCHEMICAL AND SOLID-STATE SCIENCE
(PRIME 2020)

[国際交流 短期在外研究] 〈研究課題〉

1. 前 匡 鴻 東京大学 大学院工学系研究科 博士課程 (2216001)
Control Approach with Modeling and Multirate Control Applied to High-Precision
Mechatronic Systems
超精密製造装置のためのモデリングとマルチレート制御を融合した制御器設計
2. 羽 金 昌 平 東京農工大学 工学府 博士後期課程 (2216101)
Linearizing Robotic Manipulator's Dynamics Using Koopman Operator and Applying Generalized
Predictive Control
クープマン作用素を用いたロボットアームの力学同定および適応型一般化予測制御の開発

[国際会議開催] 〈開催会議〉

1. 尾上孝雄 組織委員長 (大阪大学 大学院情報科学研究科 教授) (2205002)
IEEE TENCON2020 (アジア太平洋地域 IEEE 会議)
2. 武田一哉 ジェネラルチェア (名古屋大学 未来社会創造機構 教授) (2205004)
The 32nd IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV21)
3. 藤原敏道 組織委員会委員長 (大阪大学 蛋白質研究所 教授) (2205007)
ISMAR-APNMR-NMRSJ-SEST 2021 合同会議
4. 柳井啓司 共同実行委員長 (電気通信大学 教授) (2205010)
マルチメディア情報処理および検索に関する国際会議
IEEE International Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval

[成果報告の抄録は <https://www.tateisi-f.org/reports/2022/> からご覧いただけます]

5. 石原 進 スポンサー委員長 (静岡大学 学術院工学領域 教授) (2215001)
第 18 回モバイル・ユビキタスに関する国際会議
6. 酒田 信親 Sponsorship Chairs (龍谷大学 准教授) (2215002)
27th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2021)
7. 櫻井 幸一 実行委員長 (九州大学 システム情報科学府 教授) (2215004)
The 17th ACM Asia Conference on Computer and Communications Security
8. 田中 秀治 組織委員長 (東北大学 工学部 教授) (2215005)
第 35 回国際微小電気機械システムコンファレンス (IEEE MEMS2022)
9. 田中 聡久 共同実行委員長 (東京農工大学 教授) (2215006)
Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference
10. 平田 圭二 General Chair (公立はこだて未来大学 システム情報科学部 教授) (2215008)
Computer Music Multidisciplinary Research 2021 (CMMR2021)
11. 松村 隆 Executive Committee Chair (東京電機大学 教授) (2215010)
International Symposium on Flexible Automation 2022 (ISFA2022)

-
- **2021 年度活動報告（業務日程・会計）**
 - **2022 年度助成報告**
 - **第7回立石賞表彰式・記念講演および
2022 年度助成金贈呈式**
 - **2022 年度研究助成課題一覧**
 - **2022 年度国際交流助成一覧**
 - **2022 年度国際会議開催助成一覧**

2021 年度活動報告

1. 主要業務日程

2021 年 4 月 1 日	2021 年度後期国際交流助成の募集開始 2021 年度国際会議開催助成の募集開始 第 7 回立石賞の募集開始
5 月 15 日	第 55 回理事会の開催 ・2020 年度事業報告および決算承認
5 月 24 日～31 日	第 6 回立石賞表彰式 ・記念講演 [バーチャル形式で開催]
5 月 24 日～7 月 31 日	2021 年度助成金贈呈式 [バーチャル形式で開催]
6 月 4 日	第 56 回理事会の開催 ・株主権行使の承認 ・2020 年度事業報告に係る内閣府への提出書類の承認 ・理事長・常務理事の職務執行状況の報告
6 月 14 日	第 23 回評議員会の開催 ・株主権行使の承認 ・2020 年度決算承認
6 月 30 日	2021 年度後期国際交流助成の募集締切 (応募 2 件) 2021 年度国際会議開催助成の募集締切 (応募 24 件)
8 月 1 日	2022 年度研究助成 (S) の募集開始
8 月 20 日	2021 年夏季選考委員会の開催 ・2021 年度後期国際交流助成および国際会議開催助成の選考
9 月 1 日	2022 年度研究助成 (A) (B) (C) の募集開始
9 月 6 日	第 57 回理事会の開催 ・2021 年度後期国際交流助成採択候補の承認 ・2021 年度国際会議開催助成採択候補の承認
9 月 30 日	2022 年度研究助成 (S) の募集締切 (応募 9 件)
10 月 1 日	2022 年度前期国際交流助成の募集開始
10 月 15 日	第 58 回理事会の開催 ・2020 年度決算報告書修正の承認
10 月 21 日	第 24 回評議員会の開催 ・2020 年度決算報告書修正の承認
10 月 21 日	助成研究成果集第 30 号発行
10 月 31 日	2022 年度研究助成 (A) (B) (C) の募集締切 (応募 156 件)
12 月 20 日	2022 年度前期国際交流助成の募集締切 (応募 1 件)
2022 年 1 月 21 日	2022 年冬季選考委員会の開催 ・第 7 回立石賞選考 ・2022 年度研究助成 (S) 最終選考 ・2022 年度研究助成 (A) (B) (C), 前期国際交流助成の選考 ・2023 年度各助成募集案内の審議
2 月 8 日	第 59 回理事会の開催 ・第 7 回立石賞候補の承認 ・2022 年度研究助成 (S) 採択候補の承認 ・2022 年度研究助成 (A) (B) (C), 前期国際交流助成採択候補の承認 ・2023 年度助成公募案内の承認
3 月 16 日	第 60 回理事会の開催 ・利益相反取引の概要承認 ・2022 年度事業計画および予算の承認 ・助成研究成果集【第 31 号】(2022 年) 発行の承認 ・選考委員の選任 ・選考委員の報酬・費用規程の改定 ・重要な職員の選解任
3 月 25 日	第 25 回評議員会の開催 ・2021 年度事業および決算見込みの報告 ・2022 年度事業計画および予算の承認

2. 会 計

正味財産増減計算書
2021年4月1日から2022年3月31日まで
(単位：千円)

I 一般正味財産の部	
1. 経常増減の部	
(1) 経常収益	
①基本財産運用益	211,000
②特定資産運用益	10,998
③受取寄附金	500
④雑収入	2,613
(2) 経常費用	
①事業費	214,334
②管理費	11,478
当期経常増減額	△ 702
2. 経常外増減の部	
(1) 経常外収益	0
(2) 経常外費用	0
当期経常外増減額	0
当期一般正味財産増減額	△ 702
一般正味財産期首残高	11,498
一般正味財産期末残高	10,796
II 指定正味財産増減の部	
当期指定正味財産増減額	△ 1,098,250
指定正味財産期首残高	23,940,000
指定正味財産期末残高	22,841,750
III 正味財産期末残高	22,852,546

貸借対照表
2022年3月31日現在
(単位：千円)

I 資産の部	
1. 流動資産	
現金	166
普通預金	10,630
定期預金	0
2. 固定資産	
(1) 基本財産	
投資有価証券	21,561,750
(2) 特定資産	
事業運営資産合計	1,100,000
事業積立資産合計	180,000
(3) その他の固定資産	0
資産合計	22,852,546
II 負債の部	
1. 流動負債	0
2. 固定負債	0
負債合計	0
III 正味財産の部	
1. 指定正味財産	
寄附金	1,100,000
寄附株式 (オムロン株)	21,561,750
事業積立資産	180,000
2. 一般正味財産	
流動資産, その他固定資産	10,796
正味財産合計	22,852,546

2022 年度助成報告

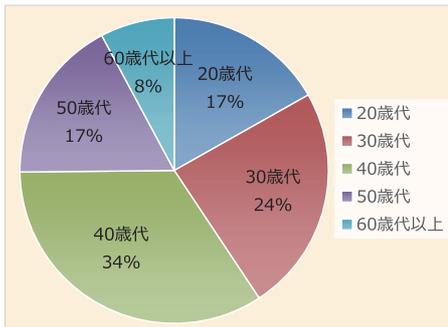
本年度の助成および顕彰は計画どおり、公募、選考委員会による選考、理事会の承認を経て下表のとおり行うことができました。国際交流助成および国際会議開催助成は引き続きコロナ禍による開催形態の変更、開始時期の調整を考慮し助成を行っています。

立石賞	2 件	10,000 千円
研究助成 (S)	1 件	30,000 千円
研究助成 (A)	31 件	81,096 千円
研究助成 (B)	5 件	30,155 千円
研究助成 (C)	10 件	14,436 千円
国際交流助成 (前期)	1 件	380 千円
国際交流助成 (後期)	10 件	4,381 千円
国際会議開催助成	15 件	14,100 千円
合計		184,548 千円

● 2022 年度助成の応募状況

(1) 研究助成 (S) (A) (B) (C)

応募者年齢別割合

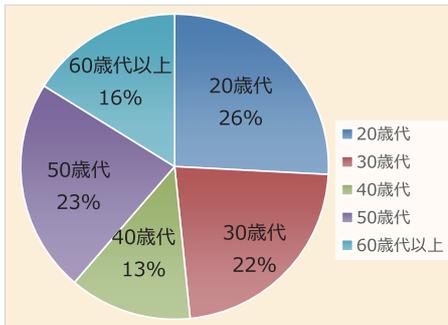


地域別応募件数



(2) 国際会議開催助成・国際交流助成

応募者年齢別割合

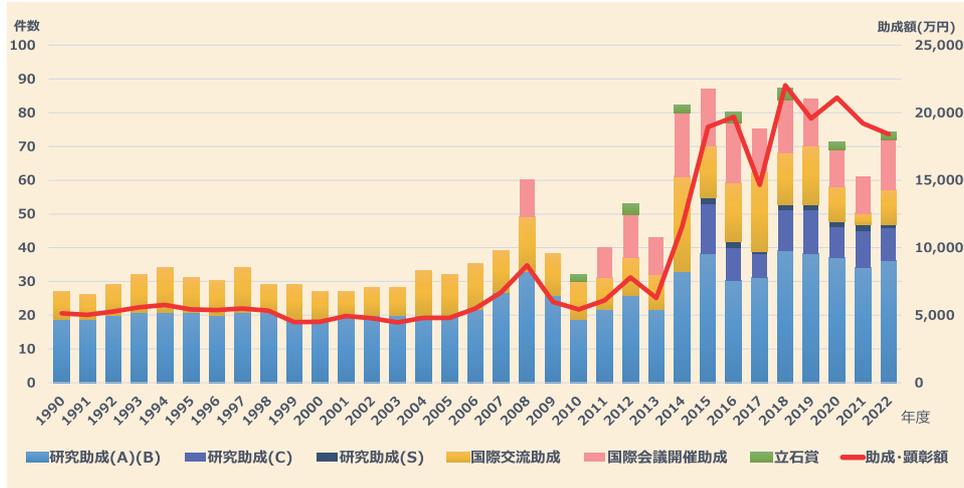


地域別応募件数



今年度の助成の結果、財団設立以来の助成・顕彰件数は研究助成 935 件、国際交流助成 387 件、国際会議開催助成 178 件、立石賞 17 件、合計 1,517 件、助成・顕彰金総額は 29 億 8,880 万円となりました。

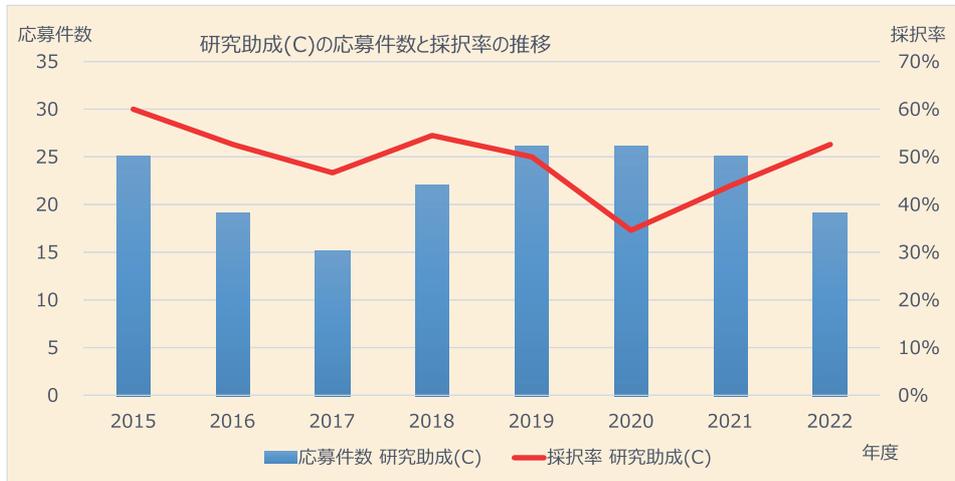
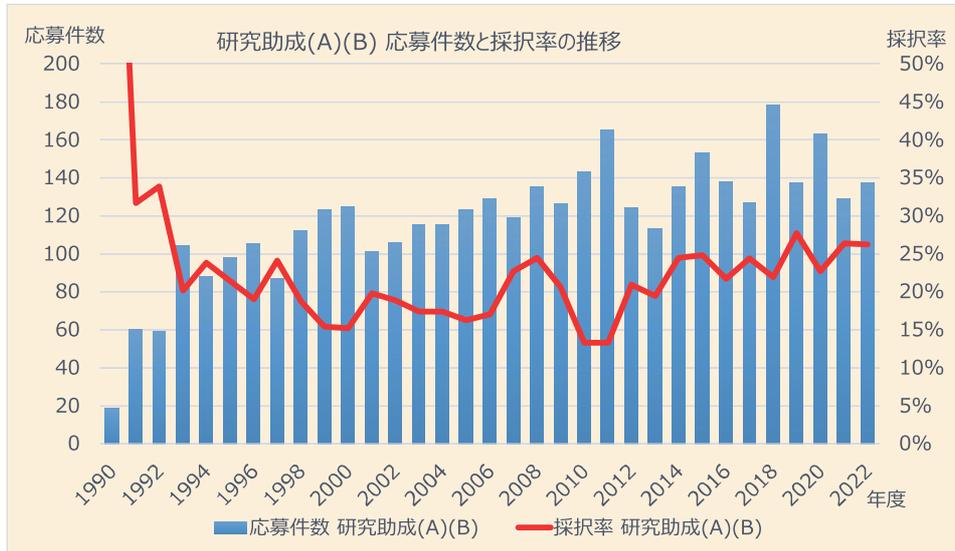
助成・顕彰件数と助成額推移



研究機関別の助成件数の推移



研究助成 応募件数と採択率推移



第7回立石賞表彰式・記念講演および2022年度助成金贈呈式

【第7回立石賞表彰式・記念講演】

2022年5月25日 15:00より「第7回立石賞表彰式・記念講演」を開催しました。表彰式・記念講演は「ザ・プリンス 京都宝ヶ池」にて、新型コロナウイルス感染防止対策を行いながら開催し、同時に動画配信を行うハイブリッド形式としました。立石財団として初めての試みでしたが、学術関係者、財団関連の皆様方をはじめとする200名を超える参加・視聴をいただき盛会のうちに終了しました。



【立石理事長あいさつ】



【阿草選考委員長あいさつ】

第7回立石賞は、功績賞として東京大学大学院工学系研究科 上席研究員・名誉教授の中村仁彦氏、特別賞として東京大学 特別教授・名誉教授の合原一幸氏の業績に対して授与し表彰を行いました。表彰式では、財団代表挨拶、選考委員会代表の挨拶と選考経緯の説明ののち、ご来賓として文部科学省 大臣官房審議官 坂本修一様、京都府知事 西脇隆俊様、オムロン株式会社 代表取締役 執行役員専務 CTO 宮田喜一郎様より祝辞を頂戴しました。記念講演では、功績賞受賞の中村氏からは「人間と運動のデジタルツイン」のテーマで、特別賞受賞の合原氏からは「数理情報工学に基づく複雑系数理モデル学の構築とその応用に関する研究」のテーマで研究内容の一端を講演いただきました。



功績賞 中村仁彦氏 講演

「人間と運動のデジタルツイン」



特別賞 合原一幸氏 講演

「数理情報工学に基づく複雑系数理モデル学の構築とその応用に関する研究」

【2022年度助成金贈呈式】

2022年度の助成金贈呈式は、第7回立石賞表彰式・記念講演の開催に合わせて、財団関係者と各助成プログラムの代表者に参加いただき開催いたしました。立石文雄理事長から今後の研究に対する期待を、阿草清滋選考委員長から選考経緯を報告いただき、代表者に目録を授与しました。2022年度の助成金受領者はZoomのウェビナー形式で参加し、研究テーマを紹介しながら、研究課題の共有と研究期間の成果に対する決意を表しました。



【立石理事長あいさつ】



【ウェビナー参加の受領者のみなさん】



【研究助成(S) 受領の慶応義塾大学 教授 桂誠一郎様】



【左から立石理事長、
研究助成(A) 姜 銀来様、研究助成(S) 桂 誠一郎様、
研究助成(B) 八木直美様、研究助成(C) 菅野翔一郎様】

2022年度 研究助成課題一覧

【研究助成 (S)】

最大 3,000 万円(間接経費含む) / 3 年を助成 研究期間：2022 年 4 月～2025 年 3 月

(五十音順)

No	代表者氏名	所属・職名	研究課題
1	桂 誠一郎	慶應義塾大学 理工学部システムデザイン工学科 教授	運動と知覚の時空間拡張に基づく手づたえ教示システムの開発

申請件数 9 件 採択件数 1 件 助成金額 30,000 千円

【研究助成 (A)】

最大 250 万円(直接経費)を助成 研究期間：2022 年 4 月～2023 年 3 月

(五十音順)

No	氏名	所属・職名	研究課題
1	秋 口 俊 輔	富山高等専門学校 電子情報工学科 准教授	血流イメージングを用いたディープラーニングによる皮膚癌最 初期診断支援
2	飯 島 涼	早稲田大学 大学院基幹理工学研究科 助手	生体電位を用いたウェアラブルデバイス向け動作認証方式の開発
3	石 田 和 也	一般社団法人テレメディーズ 医師	IoT データと尿中 Na/K 比に基づいた心不全再発予防サービス による PPK の実現
4	石 田 祥 一	横浜国立大学 大学院生命医科学研究科 特任教授	複合現実を用いた化学反応ネットワーク向けユーザーインター フェースの開発
5	石 綿 整	量子科学技術研究開発機構 主任研究員	ダイヤモンドスピン偏極増幅器による人体分子 MRI の実現
6	今 城 哉 裕	東京女子医科大学 先端生命医科学研究所 ポスト・ドクター	ケロイドの予防に資する複数方向の機械振動による細胞遊走の 抑制
7	内 海 ゆづ子	大阪公立大学 大学院情報学研究科 講師	ブドウ栽培作業者育成のための支援システムの開発
8	大 西 章 也	香川高等専門学校 電子システム工学科 講師	高齢者の興味を引くコミュニケーションロボットの開発
9	金 山 範 明	産業技術総合研究所 情報・人間工学領域 研究員	バーチャルリアリティ空間における脅威刺激認知の脳波による 定量評価
10	川 口 一 画	筑波大学 システム情報系 助教	物理的実体と CG 表現を融合させた MR ロボットの開発
11	木 村 剛 英	つくば国際大学 医療保健学部理学療法学科 助教	深層学習を用い、二重課題干渉を指標とした転倒リスクを予測 するシステムの開発
12	小 島 拓 也	東京大学 大学院情報理工学系研究科 助教	視覚特性を考慮した新計算原理に基づく高効率コンピュータの 創生
13	齋 藤 佑 樹	東京大学 大学院情報理工学系研究科 特任助教	連合学習に基づく多話者音声変換のユーザ参加型学習
14	佐 渡 夏 紀	筑波大学 体育系 助教	体医工融合による動作学習支援システム確立を見据えた跳動作 の個別最適値の間接的評価
15	佐 藤 貴 紀	秋田工業高等専門学校 電気・電子・情報系 助教	ワイヤメッシュ回路と深層学習の融合によるシート型触覚イン ターフェースの開発
16	繁 富 香 織 (旧姓：栗林)	北海道大学 高等教育推進機構 特任准教授	折紙工学技術を用いた細胞の 3D 立体構造の構築

2022年度 研究助成課題一覧

【研究助成 (A)】

(五十音順)

No	氏名	所属・職名	研究課題
17	姜 銀 来	電気通信大学 脳・医工学研究センター 准教授	最適刺激位置を追従する Robotic FES の開発
18	徐 嘉 楽	和歌山工業高等専門学校 知能機械工学科 助教	PDMS バイアスバネおよび形状記憶合金厚膜を用いた触覚ディスプレイの開発
19	竹 内 雄 一	北海道大学 大学院薬学研究院 准教授	経頭蓋集束超音波刺激によるてんかん発作のオンデマンド制御
20	田 辺 健	産業技術総合研究所 人間情報インタラクション研究 部門 研究員	視覚障害者の白杖操作のためのセルフ訓練デバイスの開発
21	力 丸 彩 奈	長野工業高等専門学校 工学科 助教	エッジ AI デバイスを用いた監視システム実現のための行動分類
22	原 田 祐 希	熊本大学 大学院先端機構 特任助教	匂い情報空間の構築, 分子科学と機械学習の融合による挑戦
23	平 井 健 士	大阪大学 大学院情報科学研究科 助教	車車間・歩車間無線通信における非直交多元接続を可能にする自己組織型制御の研究開発
24	平 井 義 和	京都大学 大学院工学研究科 講師	生体外ヒト疾患モデルの高い再現性を実現する細胞バリア機能計測技術の開発
25	藤 原 幸 一	名古屋大学 大学院工学研究科 准教授	擬似心拍フィードバックを用いた運転者の焦燥感低減技術の開発
26	船 水 章 大	東京大学 定量生命科学研究所 講師	意図を読み取る基盤技術開発
27	星 裕 介	東京都市大学 理工学部電気電子通信工学科 准教授	原子層ヘテロ構造共振器を利用した超高感度嗅覚センサーの開発
28	本 間 康 弘	順天堂大学 大学院医学研究科整形外科 講師	音響工学を応用した人工股関節挿入手技支援デバイスの開発
29	松 原 輝 彦	慶應義塾大学 理工学部生命情報学科 准教授	非接触・非侵襲で病原体を回収するシステムの開発
30	村 松 久 圭	広島大学 大学院先進理工系科学研究科 助教	シームレスに精密動作と安全動作が切り替わる協働ロボットの運動制御研究
31	元垣内 敦 司	三重大学 大学院工学研究科 准教授	プラズモニクメタ表面による偏光制御素子の作製と眼底検査用偏光 OCT への応用

申請件数 109 件 採択件数 31 件 助成金額 81,096 千円

2022年度 研究助成課題一覧**【研究助成 (B)】**

最大 500 万円(直接経費)を助成 研究期間：2022 年 4 月～2024 年 3 月

(五十音順)

No	氏名	所属・職名	研究課題
1	小谷 潔	東京大学 先端科学技術研究センター 准教授	デジタルツインを活用し脳と直接繋がるスマートホーム
2	杉本 晃一	千葉大学 大学院工学研究院 特任教授	流体力学・機械学習を応用した PICU での血行動態不安定化予測と突然の心停止の予防
3	中村 裕美	東京大学 大学院情報学環 特任准教授	和菓子 IT アーカイブと利活用： 質感・外観の記録復元技術の構築と新規和菓子創成支援
4	藤田 克彦	九州大学 先端物質化学研究所 准教授	生体内デバイスのための超フレキシブル電力伝送装置開発
5	八木 直美	兵庫県立大学 先端医療工学研究所 准教授	歌唱による嚥下機能保持・向上のための人工知能と脳科学の融合システム基盤の開発

申請件数 28 件 採択件数 5 件 助成金額 30,155 千円

【研究助成 (C)】

博士後期課程の学生に年間 50 万円(直接経費)を助成 研究期間：2022 年 4 月～(最大 3 年)

(五十音順)

No	氏名	所属・職名	研究課題
1	石坂 勇毅	千葉大学 大学院融合理工学府	内耳保護機能の強化に向けたオリーブ蝸牛束反射の予測的制御メカニズムの解明
2	Wang Yiwei	電気通信大学 大学院情報理工学研究科	身体動作と感情の再現を目指すヒューマノイドロボットの開発
3	荻尾 優吾	大阪大学 大学院工学研究科	不確定複雑システムの制御設計の見通しを向上させる設計モデルの構築
4	菅野 翔一朗	東京工業大学 大学院工学院機械系	カーボンナノチューブを利用した電気シナプス型電極による神経インタフェースの実現
5	桑原 嵩幸	関西医科大学 大学院医学研究科	片麻痺歩行に対する足関節ロボット治療における適応者および非適応者の特徴分析
6	須崎 太久弥	北海道大学 大学院情報科学院	ポストコロナ時代における商業・公共施設のための空間管理システムの基盤構築
7	高橋 優太	埼玉医科大学 大学院医学研究科	脳下垂体腺腫の摘出手術のための三次元誘導技術の開発
8	田中 太一	長岡技術科学大学 大学院工学研究科	筋電波形を用いた腕の動きに同調するパワーアシスト
9	中村 統	東京大学 大学院総合文化研究科	熟練者の注視方略から読み解く「経験」の定量化
10	古川 大晃	東京大学 大学院総合文化研究科	対人間同期が走パフォーマンスに及ぼす影響の解明

申請件数 19 件 採択件数 10 件 助成金額 14,436 千円

2022年度 国際交流助成一覧

【前期国際交流】

【国際会議発表】

最大 40 万円(直接経費)を助成 実施時期：2022 年 4 月～2022 年 9 月

助成決定後辞退されました

【短期在外研究】

最大 70 万円(直接経費)を助成 実施時期：2022 年 4 月～2022 年 9 月

申請はありませんでした

【後期国際交流】

【国際会議発表】

最大 40 万円(直接経費)を助成 実施時期：2022 年 10 月～2023 年 3 月

No	氏名	所属・職名	国際会議	開催地
1	石井良太	京都大学 大学院工学研究科 助教	SPIE Photonics West 2023	アメリカ サンフランシスコ
2	伊藤一陽	東京農工大学 工学研究院 助教	2022 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)	イタリア ヴェネツィア
3	大村眞朗	富山大学 学術研究部工学系 助教	2022 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)	イタリア ヴェネツィア
4	XU Le	立命館大学 大学院理工学研究科 博士後期課程	13th International Conference on Multiaxial Fatigue and Fracture (ICMFF13)	アメリカ ニューオーリンズ
5	辻流輝	兵庫県立大学 大学院工学研究科 博士後期課程	2022 Materials Research Society MRS Fall Meeting	アメリカ ボストン
6	平岡紘次	工学院大学 大学院工学研究科 博士後期課程	17th International Symposium on Polymer Electrolytes (ISPE-17)	カナダ オンタリオ州ナイア ガラ-オン-ザ-レイク
7	水越彰仁	木更津工業高等専門学校 電気電子工学科 助教	IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE2022)	アメリカ デトロイト
8	元井直樹	神戸大学 大学院海事科学研究科 准教授	48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2022)	ベルギー ブリュッセル
9	Rathnayake Namal	高知工科大学 大学院 博士後期課程	2022 The 15th International Conference on Machine Vision (ICMV 2022)	イタリア ローマ

【短期在外研究】

最大 70 万円(直接経費)を助成 実施時期：2022 年 10 月～2023 年 3 月

No	氏名	所属・職名	研究課題／共同研究者	実施地
1	林浩章	北海道大学 総合化学院 博士課程	磁気スキルミオンの機構解明に向けた、新規金属磁性体合成と電気磁気物性の探索 磯部正彦／Max Planck Institute for Solid State Research, Head of Scientific	ドイツ シュトゥットガルト

申請件数 12 件 採択件数 10 件 助成金額 4,381 千円

※新型コロナウイルス感染拡大防止のため、内容が見直される場合があります。

記載の内容は選考時の資料を基にしたものです。

2022年度 国際会議開催助成一覧

【国際会議開催助成】

最大100万円(間接経費を含む)を助成 実施時期:2022年10月~2023年9月

(五十音順)

No	氏名	所属・職名	開催する国際会議/申請者の役割	開催地
1	井村 順一	東京工業大学 工学院システム制御系 教授	第22回国際自動制御連盟世界大会 (IFAC WC 2023)/実行委員長	パシフィコ横浜
2	浦岡 行治	奈良先端科学技術大学院 大学 物質創成科学領域 教授	第30回 アクティブマトリックスフラットパネルディスプレイ国際会議/実行委員長	龍谷大学響都ホール 校友会館
3	大友 明	情報通信研究機構 未来 ICT 研究所 室長	13th International Conference on Organic Non-linear Optics (ICONOF13) & ICOPE2022 / 会議委員長	奈良春日野国際 フォーラム 薨
4	柏 祐太郎	奈良先端科学技術大学院 大学 先端科学技術研究科 助教	MSR Summit 2023 / Co-general chairs	未定(札幌予定)
5	金 範ジュン	東京大学 生産技術研究所 教授	11th IEEE CPMT Symposium Japan (ICSJ2022) / General Chair	京都大学百周年時計 台記念館
6	堺 健司	岡山大学 学術研究院ヘルスシステ ム統合科学学域 准教授	東アジア超伝導エレクトロニクスシンポジウム (EASSE) 2023 / 会計幹事	岡山コンベンション センター
7	澤田 和明	豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 教授	第22回固体センサ・アクチュエータ・マイクロシステム国際会議/組織委員長	国立京都国際会館
8	鈴木 麗 聖	名古屋大学 大学院情報学研究科 准教授	2023年人工生命に関する国際会議/現地開催委員	北海道大学学術交流 館等(新型コロナウイルス感染症の影響 で調整中)
9	瀬戸 謙 修	東京都市大学 理工学部 電気電子通信工 学科 講師	アジア南太平洋設計自動化会議2023/財務委員長	日本科学未来館
10	中川 道久	カワサキモーターズ株式 会社 企画本部 原価企画部 部長	The 26th Small Powertrains and Energy Systems Technology Conference / SETC2022 実行委員会委員長	アクリエひめじ (姫路市文化コンベン ションセンター)
11	永瀬 隆	大阪公立大学 大学院工学研究科 准教授	ナノ分子エレクトロニクスに関する国際会議 (ICNME2022)/プログラム委員長	東京工業大学大岡山 キャンパスくらまえ ホール
12	林 雅子	東北大学 高度教養教育・学生支援 機構 准教授	未来社会デザインプログラム「XR技術の未来—メタバースと国際協創—」/メインオーガナイザー	東北大学知の館
13	松本 翼	金沢大学 ナノマテリアル研究所 准教授	第9回有機・無機電子材料とナノテクノロジーに関する国際シンポジウム/幹事補佐	石川県地場産業振興 センター
14	柳井 啓司	電気通信大学 大学院情報理工学研究科 教授	ACM Multimedia Asia 2022 / 共同実行委員長	東京大学 弥生講堂
15	渡辺 隆行	九州大学 大学院工学研究院 教授	第25回プラズマ化学国際シンポジウム (ISPC25)/実行委員長	京都市勧業館みやこ めっせ

申請件数 18件 採択件数 15件 助成金額 14,100千円

※新型コロナウイルス感染拡大防止のため、内容が見直される場合があります。

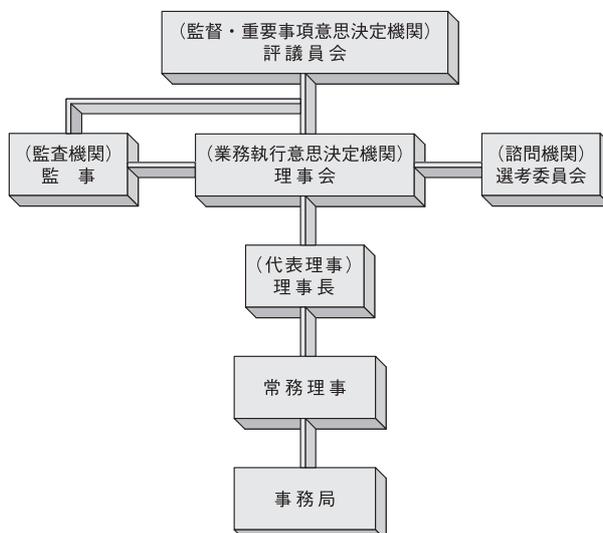
記載の内容は選考時の資料を基にしたものです。

■ 財団の概要

■ 評議員・役員・選考委員

財 団 の 概 要

- 名 称 公益財団法人 立石科学技術振興財団
Tateisi Science and Technology Foundation
- 所 在 地 〒 600-8234 京都市下京区油小路通塩小路下る南不動堂町 11 番地
TEL. 075 - 365 - 4771 FAX. 075 - 365 - 3697
URL : <https://www.tateisi-f.org/>
E-mail : info@tateisi-f.org
- 理 事 長 立石 文雄
- 設立年月日 1990 年 3 月 6 日
- 目 的 エレクトロニクスおよび情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進する研究に関する活動を支援し、もって技術革新と人間重視の両面から真に最適な社会環境の実現に寄与することを目的とする。
- 事業内容 エレクトロニクスおよび情報工学の分野で、人間と機械の調和を促進するための研究に関する活動を支援する
 1. 研究への助成
 - 研究助成 (S) 3,000 万円/3 年, 3 件程度
 - 研究助成 (A) 250 万円以下/件, 30 件程度/年
 - 研究助成 (B) 500 万円以下/件, 2 件程度/年
 - 研究助成 (C) 50 万円/年, 10 件程度 (博士後期課程 最大 3 年間)
 2. 国際交流への助成
 - 国際会議発表 40 万円以下/件
 - 短期在外研究 70 万円以下/件 } 合わせて 20 件程度/年
 - 国際会議開催 100 万円以下/件, 10 件程度/年
 3. 研究成果に対する顕彰
 - 立石賞 功績賞 副賞 500 万円/件 2 件程度/隔年
 - 立石賞 特別賞 副賞 500 万円/件 2 件程度/隔年
 4. 研究成果の普及
 - 成果集の発行 1 回/年
 5. その他、本財団の目的を達成するために必要な事業
- 基本財産 オムロン株式会社株式 2,625,000 株
- 特定資産 現金 11 億円
- 財団の組織



監 事

監 事 愛 知 菜穂子 弁護士（イリス法律事務所）
（山 本 菜穂子）
監 事 尾 尻 哲 洋 税理士

（五十音順）

選考委員

選考委員長 阿 草 清 滋 公益財団法人 京都高度技術研究所 副理事長 所長
名古屋大学 名誉教授
選考委員 榎 木 哲 夫 京都大学 副理事
大学院工学研究科 研究科長 教授
選考委員 杉 山 将 東京大学 大学院 新領域創成科学研究科 教授
国立研究開発法人 理化学研究所
革新知能統合研究センター長
選考委員 諏 訪 正 樹 オムロン株式会社 技術・知財本部 本部長
オムロンサイニックス株式会社 代表取締役社長
選考委員 難 波 啓 一 国立研究開発法人 理化学研究所
放射光科学研究センター 副センター長
大阪大学 大学院 生命機能研究科 特任教授
選考委員 萩 田 紀 博 大阪芸術大学 芸術学部 アートサイエンス学科
学科長 教授
株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 フェロワー
深層インタラクション総合研究所
萩田紀博特別研究所 客員所長
選考委員 畑 豊 兵庫県立大学 理事兼副学長
大学院 情報科学研究科 教授
選考委員 藤 田 博 之 東京都市大学 総合研究所 教授
技術研究組合 NMEMS 技術研究機構 理事長
東京大学 名誉教授
選考委員 松 永 信 智 熊本大学 大学院 先端科学研究部 教授

（五十音順，職名は現在）

編集後記

本助成研究成果集は、当財団の助成研究成果普及事業の一環として毎年秋に継続発行しています。助成金受領者の皆様のほか、国立国会図書館、全国主要大学・研究機関ならびに同図書館等の約 1300 か所余に拝送させていただいており、今号で第 31 号を数えるに至りました。これもひとえに皆様のご支援の賜と感謝いたしております。

発刊にあたり、今回ご寄稿いただきました柳田敏雄評議員、投稿文をお寄せいただきました早稲田大学 人間科学学術院 准教授 三浦哲都様（2015 年度受領者）、北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 准教授 Ho Anh Van 様（2017 年度受領者）をはじめ、編集にご協力いただきました研究者の皆様や関係各位に紙面をお借りして厚く御礼申し上げます。

本助成研究成果集では、今年度立石賞功績賞を受賞されました東京大学 上席研究員・名誉教授 中村仁彦様、立石賞特別賞を受賞されました東京大学 特別教授 名誉教授 合原一幸様の受賞記念講演概要をはじめ、この 1 年に研究を終了した 45 件の研究成果報告と、国際交流助成・国際会議開催助成 14 件の成果報告抄録を収録しております。研究成果および国際交流・会議開催の成果報告の詳細については当財団ホームページから閲覧可能ですので合わせてご参照いただければ幸いです。

取り巻く環境は、新型コロナウイルス感染症も収まりを見せず、不安定な国際情勢と相まって研究環境に大きな変化をもたらしていると思います。直接的に影響を受ける国際交流・国際会議では、様々な工夫をしながらの開催をいただいております。その努力に改めて敬意を表します。当財団としても研究室訪問を中止し Web 会議システムによる中間フォローの実施、立石賞表彰式・記念講演、助成金贈呈式のハイブリッド形式、ウェビナー形式での開催など、新しい様式に対応させながら活動を続けています。来年こそは皆様と直接お会いしての活動ができるよう一刻も早いコロナ感染の収束とみなさまのご健勝を祈っています。

最後に、当財団の活動ならびに本誌に関する皆様のご意見などいただければ幸いです。

公益財団法人 立石科学技術振興財団 事務局

公益財団法人 立石科学技術振興財団
Tateisi Science and Technology Foundation
助成研究成果集 第 31 号
2022 年 10 月

発行 公益財団法人 立石科学技術振興財団
〒600-8234 京都市下京区油小路通塩小路下る南不動堂町 11 番地
TEL 075-365-4771 FAX 075-365-3697
E-mail: info@tateisi-f.org
https://www.tateisi-f.org/
印刷 明文舎印刷株式会社
〒601-8316 京都市南区吉祥院池ノ内町 10
TEL 075-681-2741



<https://www.tateisi-f.org/>

(本紙の一部又は全文の掲載を希望される時は、当財団と研究代表者の許可を得てください。)