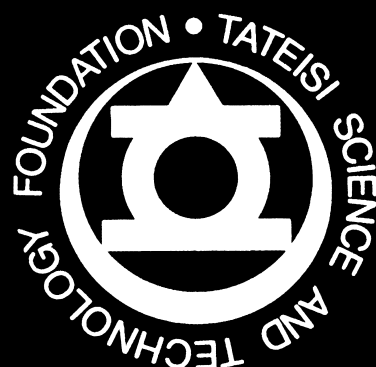


立石科学技術振興財団

助成研究成果集

【第33号】

2024年(令和6年)



人間と機械の調和を促進する助成研究成果集

第 33 号

2024 年 10 月 (令和 6 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]
https://www.tateisi-f.org/research_r/books/033.html



目 次

1. 理事長あいさつ	4
2. 財団関係者寄稿	5
西田豊明（理事）	福知山公立大学 理事・副学長
3. 立石賞受賞記念講演概要	6
立石賞 功績賞 太田 淳	奈良先端科学技術大学院大学 理事・副学長
立石賞 功績賞 菅野重樹	早稲田大学 理工学術院 教授
立石賞 特別賞 下條信輔	カリフォルニア工科大学 教授
立石賞 特別賞 土井美和子	情報通信研究機構 監事/東北大学 理事 奈良先端科学技術大学院大学 理事
4. 受領者投稿	28
小名木明宏	北海道大学大学院 法学研究科 教授
八木直美	兵庫県立大学 先端医療工学研究所 准教授
5. 研究室訪問	30
高橋谷子	順天堂大学 保健医療学部理学療法学科 准教授
6. 研究助成成果報告（50 件）	35
研究助成（S）本誌に全文を掲載	35
関谷 毅	大阪大学 産業科学研究所 教授
野田智之	株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 主幹研究員
研究助成（A）本誌に抄録を掲載	46
研究助成（B）本誌に抄録を掲載	53
研究助成（C）本誌に抄録を掲載	54
7. 国際交流成果報告（32 件）	56
国際交流 国際会議発表〈参加会議・発表論文〉	56
国際交流 短期在外研究〈研究課題〉	58
国際交流 国際会議開催〈開催会議〉	58
8. 2023 年度活動報告（業務日程・会計）	63
9. 2024 年度助成報告	65
10. 2024 年度助成金贈呈式	68
11. 2024 年度研究助成課題一覧	69
12. 2024 年度国際交流助成一覧	72
13. 2024 年度国際会議開催助成一覧	74
14. 財団の概要	77
15. 評議員・役員・選考委員	78
16. 編集後記	80

ごあいさつ

助成研究成果集第33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、累積の助成件数は立石賞を含めて1,686件、助成金額は33.9億円となりました。これも日頃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す。助成対象となった研究開発の成果を財団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し、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、今年5月に実施した助成金贈呈式ではオンライン形式の開催ながら、助成を受けられる方々に力強く研究の抱負を語ってもらいました。研究者の皆様にはこれから未来に向かって、夢と広い視野をもってさらに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を9月に開催しました。4名の受賞者とも、当財団の趣意である「人間と機械の調和」を促進する研究において世界の第一線でご活躍されており、当日の受賞記念講演ではその真摯な研究姿勢と素晴らしい研究成果に感銘を受けました。その講演概要も本成果集に掲載していますので、研究助成を受けられた皆様においても、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。11月には助成が終了した研究課題の研究成果を共有し、研究者同士がつながる場として「研究助成 成果発表会」を京都で開催します。この場が、研究者の育成、科学技術の発展や最適な社会環境の実現の一助となることを願っております。

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研究開発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。当財団が目指す「人間と機械の調和」を促進する研究開発が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。

2024年10月

理事長

立石 文雄

合 理 と 不 合 理

合理性は、陽光が支配する現代社会では祝福された存在であり、不合理性は逆に、日陰におかれた存在である。科学者にしても、事業家にしても、社会的に承認された立場にある人は、パブリックの場で口にしていいのは合理的なことだけである。不合理なことを前面に押し出すことはあってはならない。たとえば、夢を語ることは、私的でプライベートなことを語ることが許された場にとどめておかないと、社会での信頼と地位を失うことにつながりかねない。夢は大方の場合、不合理性の側に入るからだ。



合理性・不合理性とは何だろうか？ 合理性とは、社会で広く受け入れられている論理や理論に合致することを、逆に、不合理性とは、既存の論理や理論から外れたものを意味する。

歴史を振り返れば、合理性・不合理性の境界は常に変容してきた。かつては不合理とされた発想が、後の時代には合理的な考えとして受け入れられることもある。科学の世界では、ニュートン力学から量子力学、相対性理論へと進んだ。そして、その変容にともない、人類の知識と理解が深化してきた。

科学技術者だけでなく、事業、芸術、文化にいたるあらゆる創造的な仕事に携わる人たちの生業の根源にある独創は、合理性と不合理性のはざまを埋めることである。

学術や事業における王道は、不合理を合理に変えていくプロセスであり、綿密な研究や実験、論理的な思考を通じて、新しい理論や技術を確立していくことがその根幹にある。

活動の出発点は、現在合理的とされているものの中から不合理を見出し、そこにコミットすることにある。既存の枠組みの中に潜む矛盾や限界を感じ取り、そこに挑戦する勇気と、失敗しても失敗しても挑戦を続けていく精神力が重要であるだけでなく、理不尽さを他の人の共感が得られるように表現し、共有することで、広めていくコミュニケーション力が不可欠だ。

福知山公立大学 理事・副学長 西 田 豊 明 (理事)

立石賞功績賞の受賞記念講演概要

CMOS デバイスのバイオ医療応用に関する先駆的研究

奈良先端科学技術大学院大学 理事・副学長 太田 淳

1. はじめに

私は、1998年3月に15年勤めた三菱電機株式会社を退職し、同年4月に現職の奈良先端科学技術大学院大学に助教として赴任しました。その年の10月に「非同期動作ビジョンチップに関する研究」の研究課題名で1999年度立石科学技術振興財団研究助成に応募し採択をして頂きました。この研究が私の研究のメインテーマの一つである人工視覚の礎となりました。立石科学技術振興財団の審査委員先生方、関係者の方々に厚くお礼申し上げます。

以下では、まず人工視覚の研究をご紹介します、次に私の研究のもう一つの柱である脳内埋植デバイスについてご紹介いたします。またこれらの研究を支える高機能 CMOS イメージセンサの研究についてもご紹介いたします。最後に現在科研費基盤(S) で取り組んでおります Photoceuticals (光電気薬学治療) に関する研究を述べるとともに今後の展望に触れまわりたいと思います。これらの研究の一連の流れを図 1 に示します。

2. 人工視覺

前述の「非同期動作ビジョンチップに関する研究」をベースに、非同期方式の一種であるパルス周波数変調方式を応用した高性能CMOS イメージセンサの研究を進め、2002年にいち早くパルス周波数変調方式を用いた人工視覚デバイスを発表しました^[1]。この研究が(株)ニデックの方の目に留まり、大阪大学医学部と(株)ニデックのコンソーシアムによる人工視覚プロジェクトに参画させて頂くことになりました。プロジェクトリーダーである大阪大学医学部教授田野保雄先生（故人）のご指導の下、NEDO プロジェクト、厚生労働省科研費、文部科学省脳科学研究戦略推進プログラムにより分散型人工視覚デバイスなどの開発を進めてきました。このプロジェクトを通じて、医学部との共同研究の面白さと難しさを学ぶことができたとともに、生体と機械の融合についての多くの知見を得ることができました。九州大学医学研究院田代洋行講師、寺澤靖雄博士をはじめとした(株)ニデック人工視覚研究所の方々とは、工学側メンバーとしてデバイス・システム実現において多大な協力を頂きました。

この分散型人工視覚デバイスは、実用的な視覚に必要とされる 1000 個以上の刺激点数を実現でき、生体内埋植に適用できることを実証した半導体集積回路技術の先駆的な試みでした^[2]。人工視覚研究の世界的な発表の場である Eye and Chips や半導体集積回路のオリンピックと

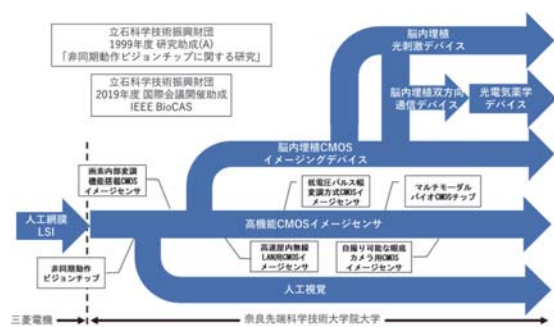


図1 研究の流れ

称される ISSCC での招待講演や LSI IP デザイン・アワード IP 賞「人工視覚を目指した分散型神経刺激デバイス」を始めとして多くの賞を頂き、国内外で高く評価して頂きました。

現在分散型人工視覚デバイスは AMED-CREST のプロジェクト（研究代表者大阪大学医学部森本壮准教授）でヒト臨床研究への適用を目指しています。医療デバイスは実用化まで長い道のりであることを痛感しています。図2に人工視覚プロジェクトの流れを示します。



図2 日本における人工視覚プロジェクトの歴史

なお、人工視覚については、デバイスだけでなく、電極形成技術についても多くの知見を有することができ、これらをもとに台湾の国立交通大学（現在の国立陽明交通大学）Peter Wu（呉 重雨）先生のグループと JST 国際科学技術協力基盤整備事業により共同研究を実施しました^[3]。Wu 先生らは人工視覚の実用化を目指しており精力的に開発を進めています。

3. 脳内埋植デバイス

人工視覚研究をもとに、超小型イメージセンサを脳内に埋植し脳内神経活動を蛍光を通じて計測する手法を新たに考案しました。本学バイオサイエンス研究科塩坂貞夫教授（当時、現在大阪精神医療センターこころの科学リサーチセンタ長）にはセンサのマウス脳内埋植に関して様々なアドバイスを頂きました。

これらの成果をもとに JST-CREST に研究代表者として申請を行い採択され、研究を一層推進することができました。特にバイオサイエ

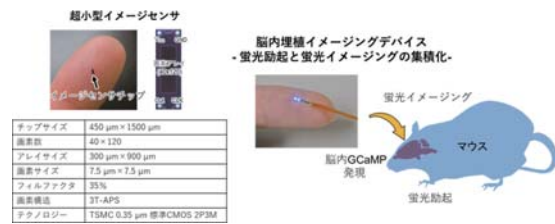


図3 マウス脳内埋植イメージングデバイス

ンスのバックグラウンドを持つ研究者を迎え入れることで融合研究を研究室内で進めることができました。バイオサイエンス研究者である家内太田安美も PD としてチームに参加し、日常的な密接な議論を通じて脳内埋植デバイス研究が加速されました。

図3はマウス脳内埋植 CMOS イメージングデバイスの概要です^[4]。これらの研究を含め高機能イメージングデバイスの先駆的な研究が評価され 2009 年に応用物理学会より光・電子集積技術業績賞（林厳雄賞）を受賞しました。

更に、2010 年頃から光による生体機能の制御を目指した光遺伝学のための高機能光刺激デバイスの研究を国内でいち早く開始し、JST-CREST（研究代表者 京都大学医学部伊佐正教授）でサル脳用の光刺激デバイスの開発を進めてきました^[5]。この研究では LED アレイの広範囲光刺激特性を活かして、図4に示す ECoG アレイとの集積化デバイスを作製することで、サル脳における精密な光刺激を実現することに成功し、Science 誌掲載に実を結びました^[6]。サルを用いた研究は、げっ歯類と異なりデバイスへのフィードバックが難しいものでしたが、伊佐先生はじめ研究室の先生のご協力のお陰で無事長期間の実験に耐えるデバイスを実現することができました。



図4 サル脳内埋植用光刺激・ECoG 電極集積化アレイデバイス

4. 高性能 CMOS イメージセンサ

前職三菱電機時代から行っていた高性能 CMOS イメージセンサの研究を大学赴任後も継続し、画素内部変調機能搭載 CMOS イメージセンサ^[7]、高速屋内無線 LAN 用 CMOS イメージセンサ^[8]、低電圧パルス幅変調方式 CMOS イメージセンサ^[9]、マルチモーダルバイオ CMOS センサ^[10]、自撮り可能な眼底カメラ用 CMOS イメージセンサ^[11]などを開発してきました。特に自撮り可能な眼底カメラ用 CMOS イメージセンサは東京大学石川正俊教授が研究代表者の JST-ACCEL によるプロジェクトであり、人工視覚とは異なるヒトへのデバイス応用研究として様々な成果を出すことができました。本システムの実用化を目指していたベンチャー企業ナノルクス社長祖父江基史博士に多大なご協力を頂き、現在では上述のマウス脳内イメージングデバイスの実用化をご支援頂いています。

これら高性能 CMOS イメージセンサ研究成果の集大成として、2007 年単著“Smart CMOS Image Sensors and Applications”を CRC より出版しました。この書籍は世界的に好評で（引用 435 回 Google Scholar）、中国精華大学出版より中国語版も出版されました。最新の成果をもとに 2020 年に第 2 版を上梓することができました。

5. 今後の展望

これらの光を用いた生体機能の計測と制御を実現するデバイスをもとに、光による生体との

双方向コミュニケーションにも取り組んできました。現在は、科研費基盤(S)「早期診断と治療を一元化する埋植型光電子デバイス～光電気薬学創成に向けて～」の研究代表として埋植型光電子デバイスの医用応用を目指しています。図 5 にその概念を示します。

薬剤による治療は Pharmaceuticals と呼ばれ、治療は有効ではありますが、その影響は全身に及び、またその効果も副作用があらわれる場合があるなど特異性は必ずしも高くはありません。一方最近研究が進んでいる超小型電子デバイスを生体内に埋植し、診断と治療を行う Electroceuticals は、作用が局所的であるため治療効果が高いと期待されています。しかし導電性がある生体内で電気による計測、刺激は非特異的であるため、場合によっては副作用を招く可能性があります。私は、電気ではなく光を用いた Photoceuticals を提唱しました。遺伝工学を導入することで、非特異的かつ局所的な診断と治療が可能になると期待されます。現在、帝京大学薬学部大澤匡弘教授らと共同でその実現に向けた研究を進めています。

なお、人工視覚を含む生体内埋植デバイスの業績に対して、この立石賞業績賞受賞に引き続き、2024 年春に紫綬褒章を受章することができました。半導体デバイス技術と生体との境界領域分野は国内では殆ど研究者がいない状況でしたが、その業績を認めた頂いたことは大変大きな励みになりました。

今後は、引き続き人工視覚や光を用いた生体機能の計測と制御に関する研究を進め、疼痛、てんかん、パーキンソン病などの疾患診断・治療用光デバイスにつながる人間と機械の調和を目指した生体埋植半導体デバイス実現を目指します。

謝辞

本研究はここにお名前を挙げた方々のご協力のお陰であり厚くお礼申し上げます。また、奈良先端科学技術大学院大学光機能素子科学研究

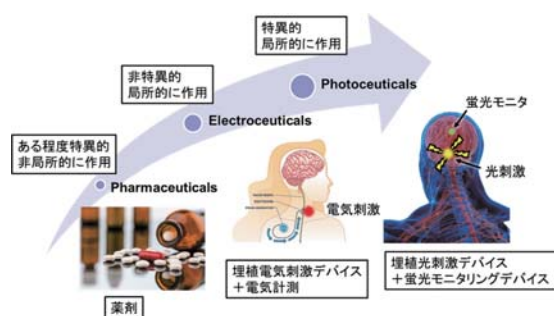


図 5 早期診断と治療を一元化する埋植型光電子デバイスの概念

室における研究は以下の先生方との共同の成果です。ここに厚くお礼を申し上げます。布下正宏名誉教授、徳田崇教授（現在 東京工業大学）、香川景一郎教授（現在 静岡大学）、笹川清隆教授、野田俊彦准教授（現在 豊橋技術科学大学）春田牧人准教授（現在 千歳科学技術大学）、竹原宏明講師（現在 東京大学）、竹原浩成博士（現在 奈良・先端画像技術株式会社代表取締役）、須永圭紀特任助教。光機能素子科学研究室修了生は多くの素晴らしい研究成果を出してくれました。ここに感謝いたします。

[参考文献]

- [1] J. Ohta, N. Yoshida, K. Kagawa, and M. Nunoshita, "Proposal of Application of Pulsed Vision Chip for Retinal Prosthesis," Jpn. J. Appl. Phys. 41 (4B) 2322-2325, 2002.
- [2] J. Ohta, T. Tokuda, K. Kagawa, S. Sugitani, M. Taniyama, A. Uehara, Y. Terasawa, K. Nakauchi, T. Fujikado, Y. Tano, "Laboratory Investigation of Microelectronics-Based Stimulators for Large-Scale Suprachroidal Transretinal Stimulation (STS)," J. Neural Eng. 4(1), S85-S91, 2007.
- [3] P.-H. Kuo, O.-Y. Wong, C.-K. Tzeng, P.-W. Wu, C.-C. Chiao, P.-H. Chen, P.-C. Chen, Y.-C. Tsai, F.-L. Chu, J. Ohta, T. Tokuda, T. Noda, C.-Y. Wu, "Improved Charge Pump Design and Ex Vivo Experimental Validation of CMOS 256-Pixel Photovoltaic-Powered Subretinal Prosthetic Chip," IEEE Trans. Biomed. Eng., 67(5), 1490-1504, 2020.
- [4] J. Ohta, Y. Ohta, H. Takehara, T. Noda, K. Sasagawa, T. Tokuda, M. Haruta, T. Kobayashi, Y. M. Akay, M. Akay, "Implantable Microimaging Device for Observing Brain Activities of Rodents," Proc. IEEE, 105(1), 159-166, 2017.
- [5] Y. Ohta, M. C. Guinto, T. Tokuda, M. Kawahara, M. Haruta, H. Takehara, H. Tashiro, K. Sasagawa, H. Onoe, R. Yamaguchi, Y. Koshimizu, K. Isa, T. Isa, K. Kobayashi, Y. M. Akay, M. Akay, J. Ohta, "Micro-LED Array-Based Photo-Stimulation Devices for Optogenetics in Rat and Macaque Monkey Brains," IEEE Access, 9, 127937-127949, 2021.
- [6] R. Sasaki, Y. Ohta, H. Onoe, R. Yamaguchi, T. Miyamoto, T. Tokuda, Y. Tamaki, K. Isa, J. Takahashi, K. Kobayashi, J. Ohta, T. Isa, "Balancing Risk-Return Decisions by Manipulating the Mesofrontal Circuits in Primate" Science, vol. 383, no. 6678, pp. 55-61, 2024.
- [7] J. Ohta, K. Yamamoto, T. Hirai, K. Kagawa, M. Nunoshita, M. Yamada, Y. Yamasaki, S. Sughishita, K. Watanabe, "An image sensor with an in-pixel demodulation function for detecting the intensity of a modulated light signal," IEEE Trans. Electron Dev. 50(1) 166- 172, 2003.
- [8] K. Kagawa, T. Nishimura, T. Hirai, Y. Yamasaki, J. Ohta, M. Nunoshita, K. Watanabe, "Proposal and Preliminary Experiments of Indoor optical wireless LAN based on a CMOS image sensor with a high-speed readout function enabling a low-power compact module with large downlink capacity," IEICE E86-B(5) 1498-1507, 2003.
- [9] K. Kagawa, S. Shishido, I. Nagahata, T. Sasaki, S. Yamamoto, M. Nunoshita, J. Ohta, "Low-voltage PWM CMOS imager with small pixel size using in-pixel gate-common comparators," IEICE Electronics Express (ELEX), 4(8), 271-276, 2007.
- [10] T. Tokuda, A. Yamamoto, K. Kagawa, M. Nunoshita, J. Ohta, "A CMOS image sensor with optical and potential dual imaging function for on-chip bioscientific applications," Sens. Act.: A 125 (2) 273-280, 2006.
- [11] H. Takehara, Z. Wang, H. Tang, N. Kishida, Y. Horiki, M. Sobue, M. Haruta, H. Tashiro, K. Sasagawa, J. Ohta, "Near-infrared Colorized Imaging Technologies and Their Fundus Camera Applications (invited)," ITE Trans. Media Tech. Appl. (MTA), 10(2), 59-68, 2022.

立石賞功績賞の受賞記念講演概要

ロボットと人間との実世界での調和に関する研究と社会実装

早稲田大学 理工学術院 教授 菅 野 重 樹

私とロボットとの最初の出会いは、私が中学生だった1973年に早稲田大学の生物工学研究グループが世界初のヒューマノイドロボット(WABOT-1, 図1)を開発したと報じる新聞記事である。このグループの代表が当時の早稲田大学機械工学科の故加藤一郎教授であった。幼少のころから鉄腕アトムや鉄人28号のアニメを通してロボットに興味を持っていた私は、早稲田大学の加藤一研究室に入ることを目標にした。

大学3年次のゼミナール配属で、運よく加藤研究室に入れた私は、学部では義足の研究、大学院で鍵盤楽器演奏ロボット(WABOT-2, 図2)の研究に取り組んだ。当時はロボットの研究開発が盛んになり始めたときであり、日本にはロボット研究開発の現状を調査しに海外から多くの訪問客があった。加藤研で訪問客を案内すると必ず質問されるのが、「なぜ人に近い形で作るのか?」であった。今でこそヒューマノイドロボットは世界中で研究開発されており、その設計コンセプトは当たり前になっているが、当時は、ロボットは所詮道具であり、必要な機能を備えれば十分であり、形態には拘らないという認識が多かったのだ。それでも、一通りの見学が終わりディスカッションすると、人に近い形をしたロボット(当時はhumanoid robotではなく、anthropomorphic robotと呼んでいた)の意義が分かったと言って帰っていった。

加藤研では、義手・義足の研究も展開していたが、人のために作業する機械、すなわちロボットは、必然的に人に近い形になるという考え方で研究を進めていた。その考え方は現在で

も多くの加藤研出身の研究者に受け継がれている。

私は、独立して研究室を構えてからは、人と触れ合えるロボット、人を理解して人に合わせることができるロボットの実現を目指して、特に私が“最高のロボット”であると信じている人間を参考にするので、ロボットの研究開発を進めている。

本稿では、トピックスとなる研究課題ごとに、全体の流れも含めて、技術課題を紹介する。



図1 WABOT-1



図2 WABOT-2

WABOT-2

1973年に完成したWABOT-1から約10年が経過した1980年代、コンピューター技術はミニコンからマイコンへと発展し、また1980年はロボット元年と呼ばれ、産業用ロボットが急速に普及したときでもある。このマイコンをフルに活用し、産業用ロボットの力作業に対し

て繊細な作業の実現を目指し 1984 年に完成したのが鍵盤楽器演奏ロボット WABOT-2 である。WABOT-2 は完成後に 1985 年につくばで開催された科学万博の日本政府テーマ館「人間のコーナー」に、住友電工の協力を得て WASUBOT として展示実演された。

WABOT-2 の基盤技術は、人と等身大の大きさのヒューマノイドロボットが、10 本の指で人と同等に鍵盤楽器（当初は電子オルガン、その後の研究でピアノ）を演奏するスキルの実現、さらに人が使う楽譜を CCD カメラで読み取り、指・手・腕の動きを自動的に決定する制御系の構築であった。WABOT-2 は腕に 7 自由度、5 指に計 14 自由度を有し、胴体内に配置したモーターの動力をワイヤケーブルで伝達する構造とすることで、手の小型化と高速の指運動を実現した。ワイヤケーブルを用いた高速指駆動では先駆的な研究成果であった。また、動作の自動生成は、今でこそ AI で簡単に処理できるが、当時は予測機能を組み込んだ新しいロボット動作プランニングであった。WABOT-2 の成果は 1991 年に日本ロボット学会の技術賞を受賞した。

機械的柔軟性

WABOT-2 で確立したロボットハンドの制御の次の展開は、力制御を取り入れることであった。特に、様々な繊細な作業は運動だけでなく力の制御が必須であり、さらに能動的な力制御だけでなく受動的な力制御すなわちコンプライアンス制御が、人との協調を実現するためには重要な技術要素であった。しかし、ひずみゲージ等を用いたフィードバック制御による柔軟性の実現は、応答性に限界があり、理想的なコンプライアンスを得ることは難しかった。

そもそも硬い機械系を制御で柔らかくすることには無理があることから、機械屋の発想で、機械要素の一つである「ばね」を関節に組み込めば理想的な柔らかさが得られると考え、当初は板バネを用い、その有効長が変えられる機構を

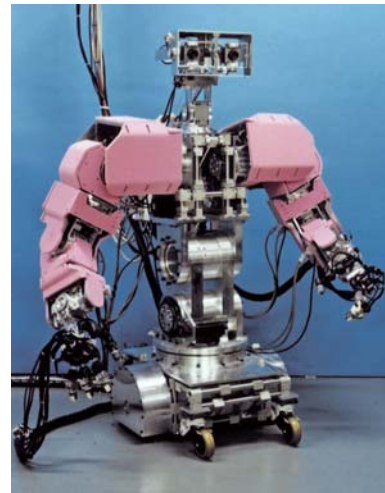


図3 WENDY (1999)

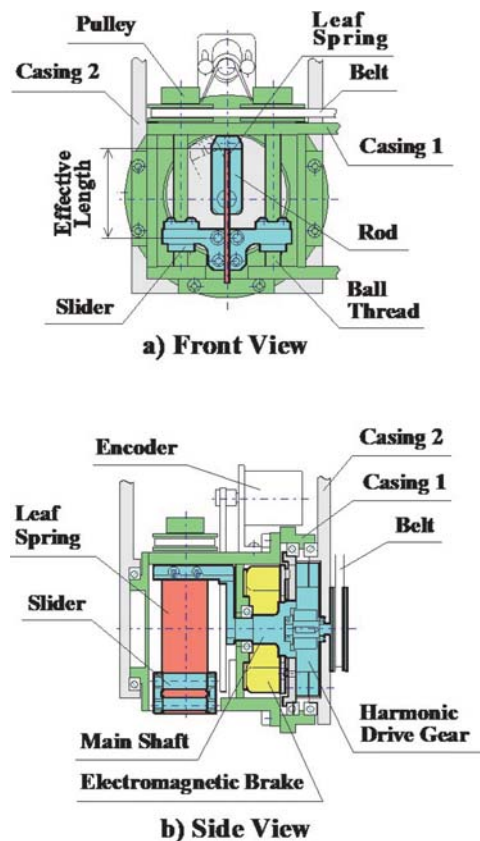


図4 機械的受動柔軟機構

備えた受動関節を試作した。しかしかなり大型となることから、アームに適用することとし、指にはコイルばねを導入した。

図3は板ばねによるコンプライアンス制御機構を取り入れた人共存ロボット WENDY, 図4はそのメカニズムである。

ばねによるコンプライアンスだけでなく、電

磁ブレーキを組み込むことでダンピングファクターも調整可能とし、総合的にインピーダンス制御を実現している。

この機械的柔軟性のメカニズムは、その後の柔軟ロボットの代表的設計例と評価されている。

この研究の成果を発展させて2007年に発表した TWENDY-ONE (図5) は、ばね定数を固定としたトーションバー (ゴムメタル: 超弾性・超塑性チタン合金) と機械式ロータリーディスクダンパを組み合わせた受動的な柔軟機構を搭載した (図6)。制動力は回転部と固定部の間に注入されたシリコンオイルの粘性抵抗を利用している。



図5 TWENDY-ONE (2007)

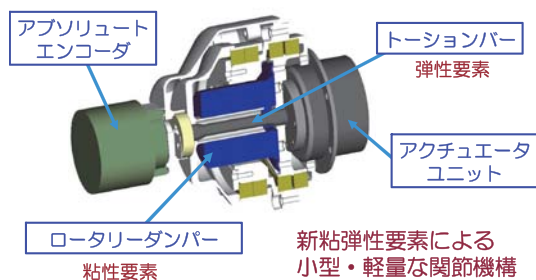


図6 TWENDY-ONE の柔軟関節構造

TWENDY-ONE は、人との共存を目指し、人との協調作業が可能な設計となっており、ベッドからの起き上がり支援、車椅子への移乗、キッチン作業補助 (図7) など、様々な日常作業支援の実行能力があることをデモンストラレーションで示し、世界的な注目を集めた。



図7 TWENDY-ONE のキッチン作業補助

TWENDY-ONE の成果は、現在進めている JST ムーンショット型研究開発制度の目標3における人共存ロボット AIERC 開発のベースとなっている。

人間志向機械

WABOT-2 の研究開発後、人共存ロボットの研究に本格的に取り組む前に、ロボットも含め、人と関わる機械を対象として、人が機械に適應するのではなく、機械が人を理解して人に合わせる方法論の研究を進めた。このシステムを人間志向機械システム (HOMES: Human oriented Mechanical System) と呼んでいる。これは、私が専任教員として、工作や生産・製造に関わる科目を担当したことも切掛けであり、最初は工作機械を対象に、工作機械を使用する人のスキルや体調などに合わせて、工作機械がその設定を変更するというシステムであった (図8)。

このシステムでは、ハンドルの操作速度・トルク、呼吸波、脈波を計測し、操作者の状態や

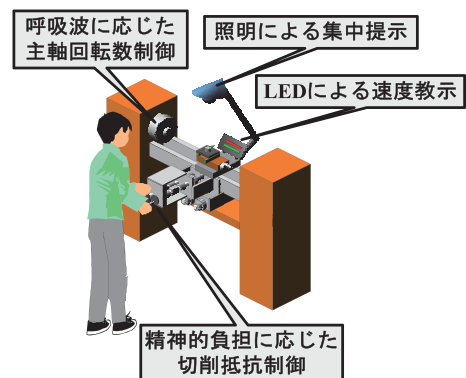


図8 工作機械に適用した HOMES (1995)

スキルを判断する。それに基づき、操作者の特性に合わせて、情報提供や機械特性を調整することで、操作者の心地よさとスキル発揮を実現した。

人間指向ではなく人間志向としたのは、機械が究極的には、人間に近づきたい、人間と同等になるという方向性を有する、すなわち機械の自律性・自立性を企図したためである。

HOMES の考え方は、その後、産業用ロボットを使った組立作業支援にも応用し、人の意図を理解してラック組立を自動的に支援するシステムを実現している（図9）。



図9 組立作業支援システム

立石財団の研究助成(S)（2019～2021年）で実施した「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」は、この HOMES のコンセプトと人共存ロボット開発のコンセプトとを組み合わせ、特にスキルの獲得に関するロボットのハードウェアと AI とを融合することをテーマにした研究である（図10）。

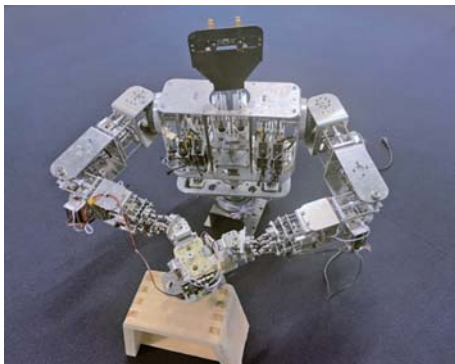


図10 ロボットワーカー

WABOT-HOUSE

1990年代は、様々なロボット開発が試みられるも、その難しさが浮き彫りになったときでもある。センサ、アクチュエータ、制御などの最高水準の技術をインテグレーションしても、人との作業能力の差は縮まらない。その頃に流行が始まった技術が「ユービキタス」である。集中というよりも分散の形態をとり、多数のセンサ、コンピューターで構成された環境を意味する。ロボットの分野では「環境構造化」とも呼ばれた。床や家具に RFID タグを取り付けることで、ロボットが自己位置を簡単に取得でき、対象物の規格も取得できる。すなわち、センサ等を駆使して認識するのではなく、情報が環境に埋め込まれることで、ロボットに高度な知能を付与する必要がなくなる方法である。

この実証実験を、2000～2010年に岐阜県の支援を得て、ロボット系研究者と建築系研究者が協力して各務ヶ原市に構築したロボットの家が WABOT-HOUSE である（図11）。室内 GPS などの先端技術の実証実験、ロボット設計のコンセプトと同じ方法で、間取りや家具の形態を目的によって変えられる人・ロボット共



図11 WABOT-HOUSE の構造

存ハウスの構築，床の高さが変えられるロボットのための家の設計など，先駆的な実験を展開した。この実験で得られたことは，生活支援における，人それぞれの生活スタイルや活動に対するロボットやロボットハウスの適応機能の重要性である。ロボットだけでなく，環境も含めてシステムを構築することが有効であることを実証したプロジェクトであった。

WAMOEBA

WABOT-2 が電子オルガン演奏成功の後，制御系などの改良によりピアノ演奏を実現した頃，新しいロボットの研究を始めようと加藤一郎先生とディスカッションの結果，1990 年に始めたのが「ロボットの心」に関する研究である。人とロボットの違いは何か，ロボットはどこまで人に近づくか，ロボットが心をもつことは有り得るか，といった哲学的なテーマに対して技術的にアプローチする研究である。当時は，ニューラルネットワークが広がり始めた頃であり，ロボットと AI に関する議論はほとんど無かった。

出発点は，人間や動物における知能や感情の源としての内分泌系，自律神経系のモデル化であった。当時，博士課程に進学したばかりの尾形哲也君（現，早稲田大学理工学術院教授）が学会発表したときには，多くの質問があり，質問者に理解させるのがなかなか難しかった。

その後，作成したモデルを基に体内温度，電流，バッテリー状態などを制御系に組み込み，内界受容器と外界受容器のデータを入力し，結果を色で表示する自己組織化マップを組込んだロボット（WAMOEBA：早稲田のアメーバ）を開発し，様々な評価実験を行った（図 12）。

研究を続けて分かったことは，ロボットの心に関する研究は，生命，人間の本質に迫る深遠なテーマであるだけでなく，人共存ロボットの機能，ロボットのハードウェアとソフトウェアのコンセプトなど，人と関わるロボットを研究する際に，不可欠な要素が多数含まれているこ



図 12 WAMOEBA-2

とである。

さらに，AI 研究が進み，AI とロボットとの組み合わせが当然の姿になり始めると，実はハードウェア設計と AI 研究の延長線上に原始的感情の芽生え，そして知能の創出が見え始めた。

後述するムーンショットプロジェクトでは，新しいハードウェアに様々な AI を融合させる研究を展開している。この新しいロボット AIREC が，WAMOEBA の第 2 世代となる日が近づきつつある。

ムーンショットプロジェクト

2020 年に JST ムーンショット型研究開発制度の目標 3 の PM として採択され，「一人に一台一生寄り添うスマートロボット」の研究を開始した。

このプロジェクトでは，ムーンショット目標 3 が目指す人・ロボット共生社会を実現するために，AI・ロボット・社会実装のチームにより，接客や家事はもとより，人材不足が迫る福祉・医療などの実世界の現場で，人の多様な高難易度の物理作業をサポートし，さらに自らの身体から生まれる情動を持って人と豊かな情緒コミュニケーションを行う，一人一台の汎用型スマートロボット AIREC（AI-driven Robot for Embrace and Care）の実現を 2050 年の目

標として設定している。

具体的には、(1) AI との統合を考慮した「体液（バックドライバブル油圧型人工筋、自己修復材、冷却剤など）」の循環機構、すなわちこれまでの Dy だけではなく Wet を取り入れたロボット身体の実現、(2) 深層予測学習による多様な物理作業の実現、また wet 機構による身体調整から創発される「情動」によるコミュニケーション知能の革新、(3) ELSI や国際的視点から総合的に受容可能な論理・社会性の導出とそれに基づく AIREC の設計・動作の生成・制御方法の確立を行うことを目指している。

Dry-AIREC

本研究のハードウェア開発のゴールは、Dry・Wet ハイブリッドロボットの実現である。現在の金属やプラスチック等を素材としたロボットは Dry タイプである。しかし、流体アクチュエータ、燃料電池、自己修復など、様々な技術に、いわゆる Wet であるケミカル素材などが入りつつある。必然的に機械システムは Wet を含むようになると予測できる。耐久性などは Dry で、柔軟性などは Wet にすることで、双方の利点を活かすことができるからだ。しかし、Wet のロボット実現には課題が多く、未だ研究途上であり、すぐにシステムを構築することは難しい。一方で、AI のロボット導入は急速に進んでおり、ロボット研究の優位性を維持発展するためには、Wet ロボットを待つことはできない。そこで、ハードウェア構築としては、Wet ロボットのための油圧アクチュエータ、循環系構築の基礎実験を進めつつも、同時に現状の最先端ロボット技術のインテグレーションにより、AI を導入した作業実験を評価するための Dry-AIREC を開発して基礎実験を進めている（図 13）。

これまでに、移乗介助、起き上がり支援、テーブル・バス・トイレなどの拭き掃除、スクランブルエッグなどの調理、衣類のハンガー掛

け、超音波診断などの作業が実現可能であることを確認した。これらの作業では、模倣学習と深層学習を組み合わせた深層予測学習のモデルに注意機構を組み込むことにより、重要度の高い感覚運動情報に注目させ、リアルタイムでその特徴の認識を行いながらタスクを実行することで、変化する対象を扱うことが可能になる。これまでに、加熱すると液体から固体に変化する卵を対象とし、AIREC のマニピュレーションによりスクランブルエッグの調理を実現した。提案する深層予測学習モデルには、CAE と注意機構つき MTRNN を用い、学習では、予めアームの目標姿勢を複数設定し、実際に調理中に目標姿勢を随時指示することでロボットを操作し教示を行った。教示では、数種の調味料・具剤、異なる火加減で訓練し、提案モデルに学習させた。30 回ほどの学習の結果、未学習の明太子が入った溶き卵でも適切にかき混ぜ、焦がすことなくスクランブルエッグの調理を実現できた（図 14）。トイレの掃除、ハンガー掛けなども、同様に人が数十回教えることで作業を



図 13 AIREC による車椅子移乗介助



図 14 AIREC によるスクランブルエッグ調理

実現できている。

現在は、人に触れる介護支援を学習させることを試みており、多くの作業のスキルを獲得させ、それらを連続的に実行することで、日常生活支援、福祉・医療現場において、人との協働作業、AIREC 単独での自律作業の実現を目指している。

おわりに

私のロボット研究は、支援、スキル獲得、協働など、常に人を意識し、人に適応するロボットの実現を目指している。「人間と機械の調和・融和の促進」を掲げる立石財団のコンセプトに強く賛同するとともに、立石財団の助成を受けられたことをたいへん感謝している。

立石賞特別賞の受賞記念講演概要

潜在脳機能

カリフォルニア工科大学 生物・生物工学部／計算神経系 教授 下 條 信 輔

潜在脳機能とは？

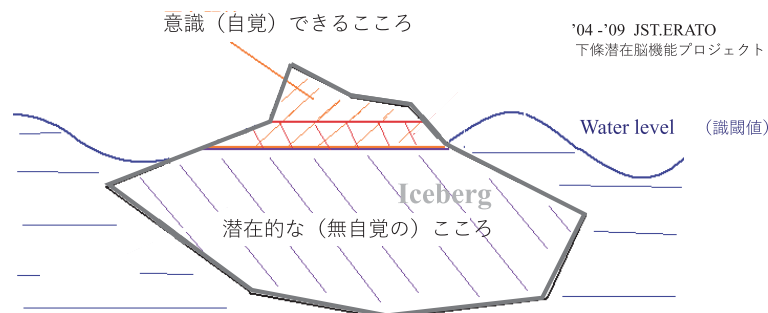
ヒト脳の情報処理の「圧倒的大部分」は、本人も言語的に報告できない無意識・無自覚な処理であると考えられる。潜在脳機能というのは、まさしくこうした無意識・無自覚の処理過程を指す（JST.ERATO 下條潜在脳機能プロジェクト, 2004-2009）。

この「圧倒的大部分」とはどれほどなのか、逆に自覚・意識できる「氷山の一角」は何 % ぐらいなのか、それを数値化するのは難しい。が、個々のニューロン（神経細胞）の単位時間毎の情報処理容量、平均シナプス（神経接合）数、脳全体でのニューロンの総数などから、推定することはできる（図1）。

もともと心理学は、こころの科学と呼ばれる。現代社会に固有の精神疾患への対応や、「意識を持つ AI」などが真剣に議論される現在、モノと異なるこころの働きの深い理解は、時代の喫緊の要請となった。ところがいくつかの理由で、心理学や（その現代版である）認知神経科学は、その要請に応えそびれている。特に 19

世紀物理学をモデルとする客観科学を志した実験心理学は、こころの主観的な側面をことさらに切り捨ててしまった。一方でこころの主観的経験を依然として探求の焦点としつつ、他方で最新の科学的な方法論を適用するなどという芸当が、可能だろうか。

この困難なふたつの要請を同時に満たす方策として、「潜在脳機能」に的を絞った研究戦略を考えることができる。一方で、知覚や行動など多くの自覚的な経験は、それに先立つ「潜在的な」過程によってもたらされる。したがってこうした潜在過程を解明することで、主観的な経験の部分への理解が深まるとともに、調節（たとえば治療など）の方途も見えてくる。他方で、潜在過程は客観的な行動指標や神経機構からアプローチする以外にないので、既存の（客観的で可視的な）方法論との相性がいい。



* ひとりの人間の脳には、約1-2千億個のニューロン。それぞれが1-10千のシナプス結合を持つ ($10^{11} \times 10^{3-4} = 10^{14-15}$) → 合計で百~千兆個のシナプス。

* 自覚できる（意識的な）心の機能は、無自覚的な情報処理に支えられている。

図1 潜在脳機能は「氷山の一角」

本稿では以下、筆者自身の研究経歴から事例を拾いつつ、潜在脳機能への学際的なアプローチの方法論と成果を垣間見ていくこととする。

三つのアプローチ

1) 視覚・多感覚の心理物理学

見る、聞くなどヒトの主観的な知覚経験は、それに先立つ潜在的な神経過程によってもたらされる。そこで、この潜在過程に外から操作を加え結果である知覚経験を見ることが、心理物理学 (Psychophysics) の主流の方法とされてきた。ただし終始明確な主観経験を伴わない感覚過程の存在が名指されることも、稀にある。たとえば動物界では 200 種以上で磁気感覚の存在が示されているが、ヒトについては過去に報告があるものの結果が再現できず、疑わしいとされてきた。これに対し筆者を含むカルテックのチームは、課題なしの受動的な状況で、ヒト脳に（実際に日常生活でも起き得る）磁場の回転を与え、EEG（脳波）を計測し、 α ERD（アルファ波の事象関連非同期）を見出した (Wang, *et al.*, 2019, 図 2)。この α ERD というのは、視覚・聴覚・触覚などで「感覚的検出とそれに向けての注意シフト」の神経学的指標とされる。

またこれまでヒトの感覚知覚研究はひとつの

感覚モダリティに集中し、少数の多感覚（マルチモダル）統合の研究も、「ヒトは視覚優位の動物」という前提に立ってそれを再確認するものがほとんどだった。筆者らは「二重フラッシュ (double flash, or illusory flash) 効果」と名付けたイリュージョンを報告し、この前提に反論した (Shams, *et al.*, 2000, 図 3)。またこの効果を網膜疾患による視覚障害者への検査ツールとして適用し、網膜部位毎に選択的な多感覚可塑性を示した (Chan, *et al.*, 2024)。この他最近では、視野の「超周辺視 (X'periphery)」の研究でも、成果を挙げつつある (Shimojo, 2024)。

2) ヒト脳の非侵襲調節

神経科学の動物実験分野とヒト認知神経科学の間には、大きな越えがたい溝があり、これが進歩を妨げている。その原因は主に方法論的なもので、動物実験では侵襲的方法が認められているのに対し、ヒト実験では（てんかん患者の脳深部刺激などごく一部の例外を除き）認められていない。そこで、健常覚醒状態のヒト脳で、神経機能を刺激、または調節できるかが、有力な方法論的チャレンジとなる。

その一例として筆者らは、視覚情報をカメラから聴覚情報に変換する感覚代行 (Sensory Substitution) 装置を用いて (図 4)、健常者や

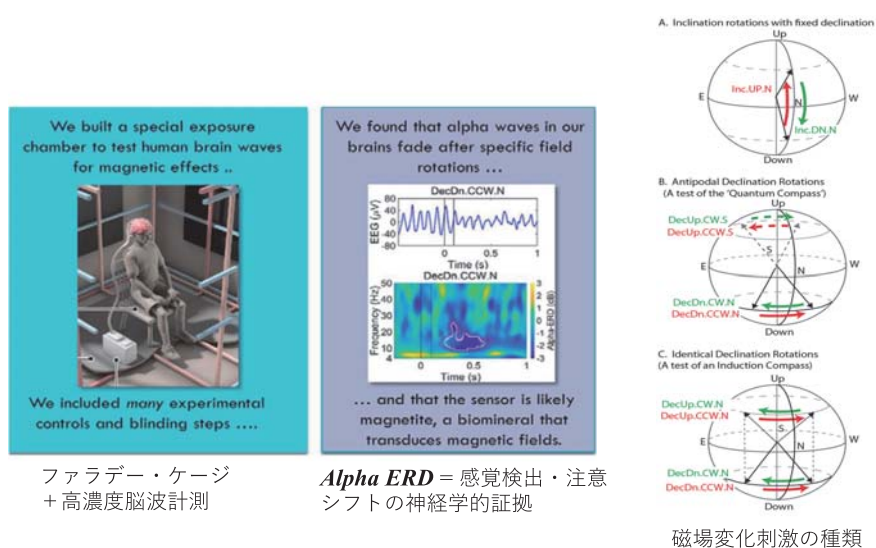
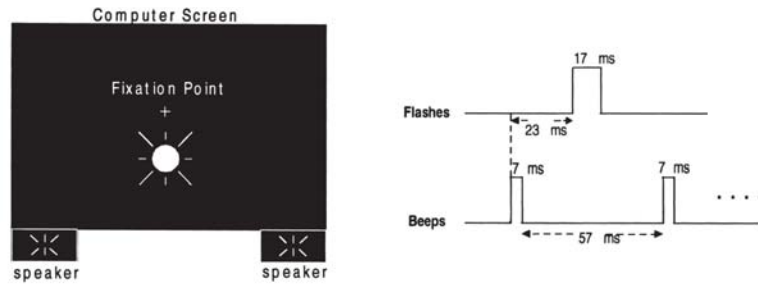


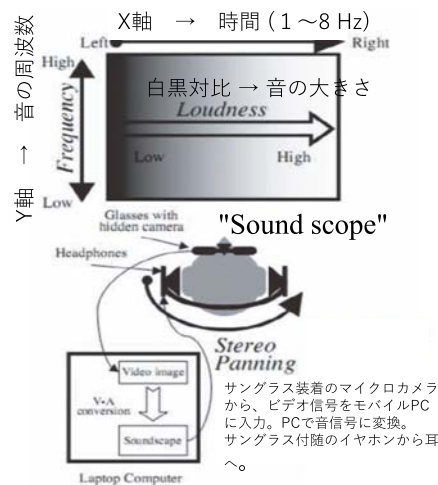
図 2 ヒト潜在磁気感覚(脳の磁気変化応答)



視聴覚刺激（左）と、時間パラメータ（右）の例。単発の視覚刺激（フラッシュ）に二つの音を伴わせると、ダブルフラッシュの知覚が生じる。

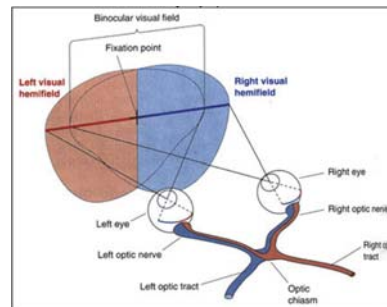
図3 多重フラッシュ・イリュージョン

vOICE (Peter Meijer, 1990s)



視覚皮質への視野投射

(トポグラフィカル・マッピング)



→感覚代行訓練により、聴覚入力でもこの視覚投射に従う機能マップが得られるか？（覚神経可塑性の証拠）

図4 感覚代行

後天盲人を訓練し、(1) 形の恒常性の成立 (Stiles & Shimojo, 2015a), (2) テクスチャ (きめ) 模様の知覚がメタ (超) モデルに容易で、訓練を要しないこと (Stiles & Shimojo, 2015b), (3) 感覚神経可塑性の (患者間) 多様性などを示した。これらの結果は訓練後の知覚が聴覚でも視覚でもない、いわば「第三のクオリア (= 感覚経験の絶対的な質)」であることを示唆する。この例のように、ヒト本来の豊かな神経可塑性をテクノロジーで補完する方向が、非侵襲的調節の観点からも有効である。

また脳磁気直接刺激 (Transcranial Magnetic Stimulation) を用いた研究では、後頭視覚皮質への単発刺激で「人工盲点 (スコトーマ)」を (Kamitani & Shimojo, 1999, 図5右下), 双発刺激で直前に瞬間提示した視覚像の「再現

(リプレイ)」などを (Liao, *et al.*, 2013, 同左下) 示した。これらは、「脳-こころ関係」そのものの客観的で計量的な現象学の可能性を示す。

この他、脳直流電気刺激 (Transcranial Direct Current Stimulation) で、前頭部から皮質下深部の報酬系 (腹側中脳) を活性化したり (Chib, *et al.*, 2013), fMRI 信号に基づくニューロフィードバックで運動皮質の活動と刺激反応時間を調節することにも、成功している (Bray, *et al.*, 2007)。

3) 意思決定・報酬系・社会脳

高次認知機能の神経科学では、一方で「意思決定」の神経機構を理解することが大きな潮流となっている。他方では「社会脳」すなわち社会行動の神経学的理解がトレンドとなっている。これらの結節する地点で筆者らは、顔を自由観

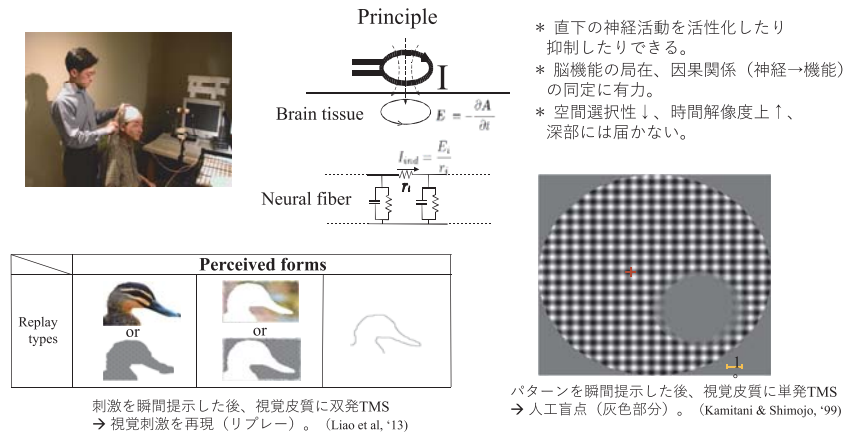


図5 脳磁気刺激（TMS）

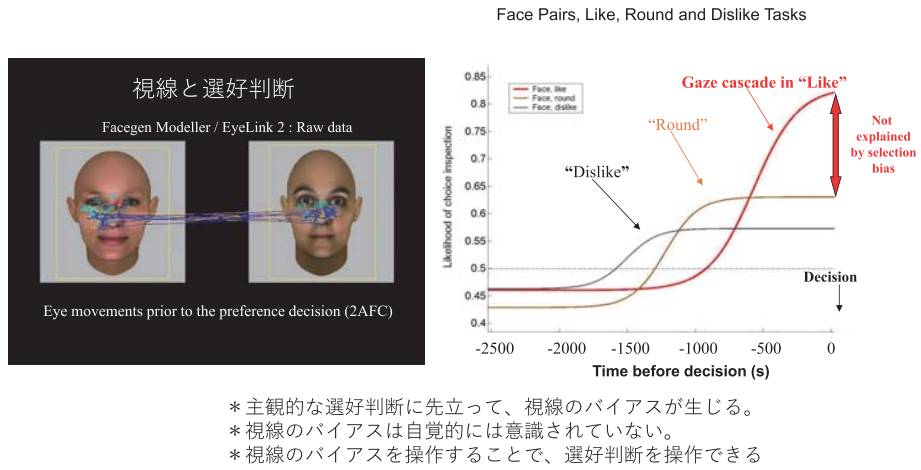


図6 視線のカスケード効果

A. 身体運動の「潜在的な」同期と、 B. ゲームにおけるチームフロー C. 脳間の同期

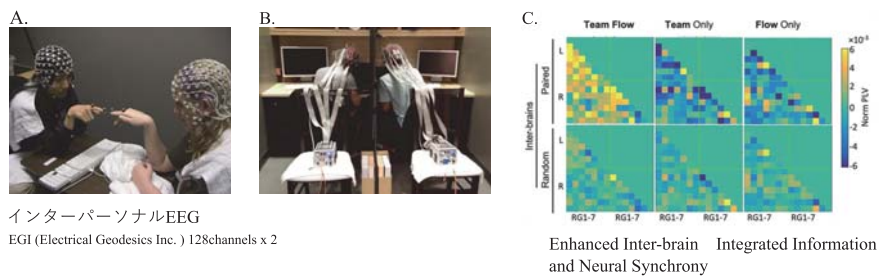


図7 身体、脳の同期と、チームフロー

察し選好判断する課題で、「視線のカスケード効果」を示した (Shimojo, *et al.*, 2003, 図6)。視線のカスケード効果とは、判断者が「こちらの顔がより魅力的」と自覚的に判断する以前に、視線が選ぶ方に偏る現象を指す。また逆に視線を操作することで、選好判断にある程度バイアスをかけることができる。さらに同じパラダイ

ムを視線ではなく瞳孔反応にも適用し、同様の「瞳孔のカスケード効果」を示した (Liao & Shimojo, 2020)。「人は好きだから見るのか、見るから好きになるのか?」という問いに対して、「その双方」とまとめることができる。

また筆者らは早くから身体と脳活動の同期、またそれのもたらす心理効果に着目してきた

(Yun, *et al.*, 2012; 図 7A)。その延長で、スポーツやゲーム、マーケティングなど実社会でも注目を集めている「フロー（ゾーン）」に、意識の変性状態という観点から関心を持った。特にソロフローと峻別されるチームフローについて、その信頼できる客観的（＝行動的・神経学的）指標を開発するとともに、神経機構を同定した（Shehata, *et al.*, 2018, 図 7B, C）。とりわけチームフローにおいても、ふたりのプレーヤーの脳活動の間に、部分的な同期が生じていることを見出した。この事例も、1) 主観をいかにして客観的に研究するか、2) 意識の顕在的な過程に、潜在的な過程からいかにアプローチできるか、という筆者ら元来のモチベーションを、一応満足させたと考えている。

今後への期待～「逆応用科学」の視点から

私たちは今や、同時代的にパンデミックを目撃し、戦争を目の当たりにし、AIによる大きな変化に巻き込まれようとしている。今こそ逆に人間の、とりわけ人間のこころの深く多角的な理解が求められているが、心理学、認知神経科学をはじめとする人間諸科学はとかく象牙の塔にこもりがちに見える。急速に変化する社会からの要請に応えきれていない。そうした中で、筆者は基礎科学とも応用科学とも異なる「逆応用科学（Inverse Translational Sciences）」を提唱してきた（下條, 2019）。

これまで科学と世の中の関係は、基礎科学→応用科学という形で理解されてきた。たとえば癌の生物学の「基礎」知見が、やがて患者の治療に「応用」されるというのは、その好例といえる。これに対して「逆応用科学」では、問題意識を（先行論文ではなく）実社会の人間のニーズから採る。が、研究はあくまで研究室で基礎科学の方法で行われる。そしてそのアウトプットは（すでにわかりやすい入口を逆に辿って）応用され実社会に返される。すなわち、実社会のニーズ→基礎科学→（応用科学→）実社会、といった流れとなる。

科学の専門性を支える社会制度、高等教育をはじめとする教育システム、医療や工学応用などを実社会へと還元する機構などが、すべてこの逆応用科学を念頭に組み替えられなくてはならない。今回の授賞がささやかでも、その力となれば喜ばしい。

〔引用文献〕

- Bray, S., Shimojo, S. and O'Doherty, J. Direct instrumental conditioning of neural activity using fMRI derived reward feedback, *Journal of Neuroscience*, 27 (28): 7498-7507, 2007.
- Chan, A, et al, Vision Without Photoreceptors: Cross-modal Perception Within the Blind Spots. Vision Sciences Society Annual Meeting, St. Pete Beach, Florida, May 2004.
- Chib, V. S., Yun, K., Takahashi, H., Shimojo, S. Noninvasive Remote Activation of the Ventral Mid-brain by Transcranial Direct Current Stimulation of Prefrontal Cortex. *Translational Psychiatry*, 3, e268, 1-9.
doi: 10.1038/tp.2013.44, 2013.
- JSTERATO 下條潜在脳機能プロジェクト
https://www.jst.go.jp/erato/research_area/completed/sib_PJ.html
- Kamitani, Y. and Shimojo, S. Manifestation of scotomas created by transcranial magnetic stimulation of human visual cortex. *Nature Neuroscience*, 2, 767-771, 1999.
doi: 10.1038/11245
- Liao, H-I, Wu, D-A, Halelamien, N. & Shimojo, S. Cortical stimulation consolidates and reactivates visual experience: Neural plasticity from magnetic entrainment of visual activity. *Sci. Reports*, 3, 2228.
doi: 10.1038/srep02228, 2013.
- Liao, Hsin-I, Kashino, M., and Shimojo, S. Transient pupil constriction reflects and affects facial attractiveness, *under review. Journal of Cognitive Neuroscience*.
doi: 10.1101/2020.04.02.021436, 2020.
- Shams, L., Kamitani, Y. and Shimojo, S. What you see is what you hear. *Nature*, 408, 788, 2000.
- Shehata, M., Cheng, M., Leung, A., Tsuchiya, N., Wu, D-A, Tseng, C., Nakauchi, S. and Shimojo, S. Team flow is a unique brain state associated with enhanced information integration and neural synchrony. *eNeuro*, v8 (5).
doi: 10.1523/ENEURO.0133-21.2021. PMID: 3460780

4. 2021.
- Shimojo, S., Simion, C., Shimojo, E., et al. Gaze bias both reflects and influences preference. *Nature Neuroscience*, 6, 1317–1322, 2003.
- Shimojo, S. *X' (extreme) Periphery* - Where the brain needs help. The 16th Asian Pacific Conference on Vision, Keynote, Nat. Univ. Singapore, Singapore, July 10–12, 2024.
- 下條信輔. 潜在認知の次元. 有斐閣, 2019.
- Stiles, N.R.B., Zheng, Y. and Shimojo, S. Length and orientation constancy learning in 2-dimensions with auditory sensory substitution: the importance of self-initiated movement. *Front. Psychol.* 6: 842. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00842, 2015a.
- Stiles, N.R.B. and Shimojo, S. Auditory sensory substitution is intuitive and automatic with texture stimuli. *Scientific Reports*, 5: 15628. DOI: 10.1038/srep15628. 2015b.
- Stiles, N. R. B. and Shimojo, S. Sensory Substitution and a Third Kind of “Qualia.” In Johan Wagemans (ed.), *The Oxford Handbook of Perceptual Organization*, Chap. 43, Oxford University Press, 2014. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199686858.01.0001>
- Wang, C., Hilburn, I., Wu, D-A., Mizuhara, Y., Cousté, C., Abrahams, J., Bernstein, S., Matani, A., Shimojo, S. and Kirschvink, J. Transduction of the geomagnetic field as evidenced from Alpha- band activity in the human brain. *eNEURO*, 2019 (#eN-NWR-0483-18), 2019. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0483-18.2019>
- Yun, K., Watanabe, K., & Shimojo, S. Interpersonal body and neural synchronization as a marker of implicit social interaction. *Sci. Reports*, 2, 959, 1–8. doi: 10.1038/srep009592012, 2012.

立石賞特別賞の受賞記念講演概要

人間中心ヒューマンインタフェース技術開発の先駆的貢献

—— ゴールはユーザの微笑み ——

情報通信研究機構 監事／東北大学 理事
奈良先端科学技術大学院大学 理事

土 井 美和子

プログラムせずに使えるコンピュータに微笑んだ

1979年入社で出会ったコンピュータの中に日本語ワードプロセッサがありました。「プログラムせずに使えるコンピュータがある。これからのコンピュータは日常使いになる。ユーザが微笑みながら使うコンピュータの研究をするんだ」と決めました。その時、生涯の目的を見つけたと直感した筆者の口元は微笑んでいました。それがユーザの微笑みをゴールとする人間中心のヒューマンインタフェース（HI: Human Interface）技術を開始した日です。

本稿では筆者がどのようなユーザの微笑みを目指したかを明らかにしつつ、(株)東芝での HI 技術を紹介します。

そして最後に、今後の研究方向として、サブ PD（プログラム・ディレクター）として携わっ

ているムーンショット

目標 1 を紹介します。

オフィスの微笑み

図 1 は筆者が携わった HI 技術はおおよそ

①オフィスの微笑み、

②現場の微笑み、③街角の微笑みの 3 つに分けられます。最初に求めた微笑みは文書処理を中心に行っているオフィスワーカーのものです。

今では若い世代はメールも SNS も写真も動画もスマホ 1 台でこなしているので、想像もつかないでしょうが、筆者の入社当時は手紙も学会発表原稿もすべて手書きでした。写真もフィルムカメラなので、フィルム 1 本撮影して写真店に現像してもらいそれを貼り付けていました。

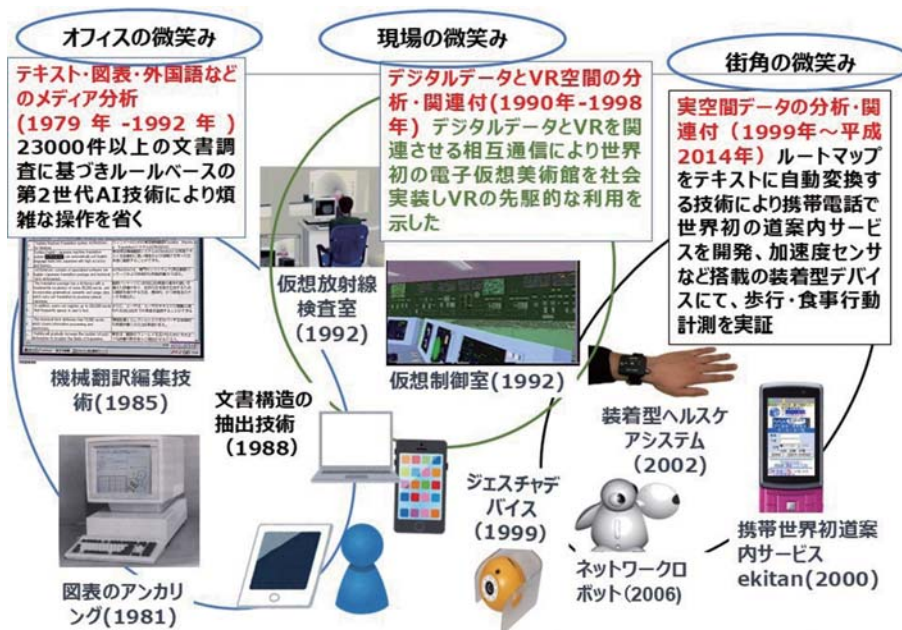


図 1 人間中心のヒューマンインタフェース技術の開発

日本語ワープロはありましたが、1台560万円もするので、和文タイプライタと同様に専用のオペレータが訓練を経たうえで、手書き原稿の清書をしていました。高価な日本語ワードプロセッサも扱えるのは文字のみで、図表を貼るための余白を残して印刷し、そこに手書き図表や、専門家に清書してもらった図表を貼りこんでいました。この煩雑な作業をディスプレイ上で全部できたら楽なはず、自分を含めオフィスのユーザは喜んでくれるはずと研究を始めました。会社の図書館にあったいろいろな学会の手書き原稿23,000件以上を調査し、文字と図表とのレイアウトのもととなる文書構造のモデル化¹⁾を行いました。

ディスプレイ上で文字を編集するのに伴い図表が移動する図表のアンカリング技術(1981年)は、文字図形ワークステーションに編集ソフトウェアとして実装され、さらにソフトウェア技術として初めて発明表彰²⁾を受賞しました。オフィスで微笑んでほしいのはもちろんオフィスワーカーですが、設計時にはワークステーションのハードウェア屋と編集ソフトウェア屋がいます。複数の構造化案が出るたびに、この3種のマルチステークホルダーそれぞれのメリットとデメリットの〇×表を作って、オフィスワーカーに最もメリットがあるものを選択するようにしました。オフィスワーカーの微笑みのために、ハードウェア屋とソフトウェア屋が協力して頑張ったのです。ユーザの微笑みにはかかわる関係者(マルチステークホルダー)の微笑みも大事なことに気づきました。

英日機械翻訳編集技術(1985年)³⁾は、ディスプレイの左側に原文の英語、右側に訳文の日本語を表示し、それぞれ別の編集ソフトウェアを稼働させるものでした。これも当時の翻訳者の編集方法をディスプレイ上に再現するものでした。が、当時のディスプレイは現在のような描画単位で描画できるビットマップディスプレイではなく、1行単位での描画しかできないCRTディスプレイであったので、ソフトウェ

ア屋には負担を強いました。が、このインタフェースで10年以上東芝製品で採用されました。これは、ハードウェアに依存せず、人間中心で考えた成果です。

現場の微笑み

現在はキャノンメディカルになりましたが、当時東芝メディカルではCTやMRIを製作して、病院の放射線検査室に設置します。仮想試作システムにより、仮定の放射線検査室を作るために、当時の東芝病院にインタビューに行きました。すると検査技師さんたちから「機器操作をしない放射線部長の意見ばかり聞いて、私たちの意見は聞いてくれないのはどうしてか」「私たちの意見が反映されないからこんなに使い勝手が悪いのだ」といろいろお小言をいただきました。

この放射線検査室の様に、現場には、施設や設備などの購買を決定するスポンサーユーザと、実際に操作を行うエンドユーザがいます。メーカーの技術者としては、スポンサーユーザとエンドユーザの双方に満足してもらう必要があります。が、メーカーの営業員が対話するのはスポンサーユーザであるので、エンドユーザの声を、メーカーの技術者が聞くことはなかなかできません(図2)。

これを解決するために、1990年ごろからCG(Computer Graphics)やVR(Virtual Reality)を使って、実際に現場に納入する前に、スポンサーユーザとのデザインレビューなどで、エン



図2 マルチステークホルダーの存在

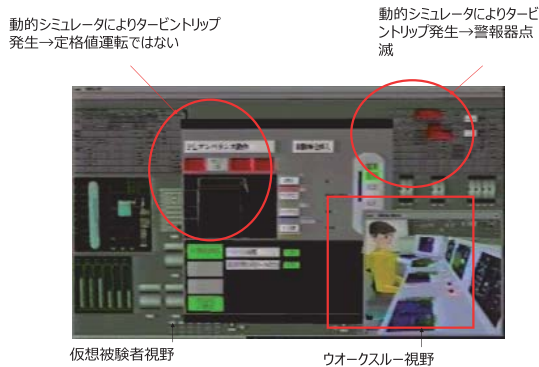


図3 タービントリップ時の仮想被験者視野とウォークスルー視野

ドユーザの操作行動や視野を確認できる仮想試作システムの研究開発を行いました。いわゆるデジタルツインの走りです。

種々の現場の仮想試作を行えるプラットフォームを作り、それぞれの現場に応じて、仮想の環境を作りました⁴⁾。例えば、原子力発電所や火力発電所の中央制御室であれば、制御盤などを現場に合わせて仮想環境内に設置します。仮想環境内の操作パネルを、仮想の操作員が操作すると、その入力を、原子力発電所や火力発電所のシミュレーションに入力し、その結果を、仮想環境内のデジタルパネルに表示するようにします。仮想操作員が操作する様子と、その視野の両方を視覚化し、警報パネルの点滅が仮想操作員の視野内にあることが確認できます(図3)。

このデジタルツインは原子力発電所制御室のリニューアル提案に活用されました。発電所毎にシミュレータが異なり、数百点の操作パネルとシミュレータの変数の対応を書き換えないと行かないのが大変でした。また、動画でみばえがするという事で顧客向けあるいは一般の展示会など多数対応しました。

このデジタルツインのプラットフォームを使い、発電所だけでなく、放射線検査室やエレベータの籠などの仮想環境を実現しました。

街角の微笑み

現場の次に向かったのが街角です。街角で

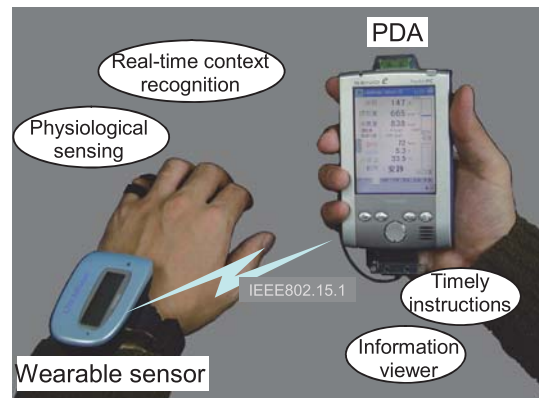


図4 ウェアラブル健康管理システム 2002

ユーザを微笑ませるものは何かと考え、街角を歩くために必要な道案内と、その結果得られるダイエットをサービスとして選定しました。技術の多くが、技術に基づくフォアキャストिंगであるのに対し、ユーザの微笑みを得るサービスから振返って必要な技術を考えるのがバックキャストिंगです。道案内とダイエットのためには、歩行や走行などの行動認識をする必要があります。そこで、加速度センサ、温度センサ、脈波センサなどを搭載した腕時計型のウェアラブルヘルスケアデバイスを製作し、歩行や走行、電車利用などの行動認識技術を開発しました(図4)。ウェアラブルデバイスが取得したセンサ情報を Bluetooth で PDA に送り、PDA で行動認識を行い、それに基づく消費カロリーなどを PDA に表示し、健康管理ができるようにしました⁵⁾。

今ではスマートフォンやスマートウォッチにより実現されている歩行・健康アプリの先駆けです。

しかし、当時は携帯電話を小さく軽くすることがすべてであったので、現在のようにスマートフォンやスマートウォッチを付けてジョギングするなどとてもないと事業部からの猛反対に会い、製品化は実現できなかったのは残念です。しかし、ユーザの微笑みのバックキャストिंगとしては正しかったので、今ではスマートフォンやスマートウォッチの歩行・健康アプリは多くの方を使っています。

道案内のためには、現在地を知るためのGPSもウェアラブルデバイスに搭載したかったのですが、当時はマンナビに使える精度ではなかったのと、高消費電力であったのであきらめました。当時、東芝でサービスをしていたPC上で利用されていた駅探(ekitan.com)のルートマップを、当時のテキスト表示しかできない携帯電話でも使えるようにテキスト変換しました。幸いなことに、チームに加わった図面認識技術者ら彼らの技術により、ルートマップのテキスト化に成功しました⁶⁾。また、複雑な交差点のわかりやすい説明については、Webアンケートによる比較調査を行いました。この結果、わずか、6か月間でiモードの公式サイトに乗り換え案内と合わせて公開されました。これが世界最初のモバイルデバイスでの道案内システムです。現在ではGPSに基づいて目的地を入力するだけで乗り換え案内と融合した道案内が可能となり、スマートフォンの必須アプリとなっており、技術者冥利に尽きます。

2050年からのバックキャスティング

筆者の研究開発手法は、ユーザの笑顔というゴールからのバックキャスティングです。現在

進行しているムーンショットもそうです。ムーンショットには10個の目標があり、筆者がサブプログラムディレクターを務める目標1のゴールは「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」⁷⁾です。ムーンショット目標1では、この目標を達成するために、仮想空間にある自分の分身(アバター)を動かすことで、現実の世界に価値を創り出す技術(CA:サイバネティックアバター)を用います。今後の人間中心のヒューマンインタフェース技術の方向として、ムーンショット目標1について紹介します。

ムーンショット目標1は2020年に始まり、現在は図5にあるように7つのプロジェクトが走っています。図5の横軸はムーンショット目標1の3つの目標(時間・空間の制約からの解放、身体からの解放、脳の制約からの解放)と社会受容性、縦軸は3つの社会課題(生産性向上、強靱な生産性維持、安全安心とゆとり)に沿って、7つのプロジェクトが配置されています。7つのうち、3つ(石黒PM、南澤PM、金井PM)が個人や集団に向けてサービス提供するソシオCAを、2つ(新井PM、山西PM)が生体や細胞を見守るCAを研究開発



*1 ソシオCA: 個人や集団に対してサービスを提供するCA

*2 体内CA: 生体や細胞内を遠隔から見守るCA



図5 ムーンショット目標1 7つのプロジェクト (Oct., 2022~)

します。そして、新保 PM は安心安全基盤を、松村 PM は信頼性基盤を研究開発します。ここでは 2020 年から開始しているソシオ CA の成果について紹介します。

ホスピタリティ豊かでモラルある対話行動のできるソシオ CA を用いて誰もが自在に活躍できるアバター共生社会の実現を目指すのが大阪大学石黒教授のプロジェクト⁸⁾です。コロナ禍でもソシオ CA を用いて遠隔からシニアなどが保育園児や小学生とコミュニケーションしたり、デジタル大臣や石黒教授そっくりのアンドロイドが本人より鮮やかなジェスチャで、本人に代わってプレゼンテーションを行うなどの種々の実証実験を行ってきました。現在では、ドバイのモール店舗のソシオ CA を用いて、日本から遠隔操作者が、ドバイモール店舗の訪問者に説明を行ったりしています。

慶応大学南澤教授のプロジェクトは「身体的共創を生み出すサイバネティック・アバター技術と社会基盤の開発」するために「もう 1 つの身体」としてのサイバネティック・アバターをデザイン⁹⁾します。分身ロボットカフェ DAWN にて重い障害を抱える人が 5 体のソシオ CA を操作して注文とりから配膳までこなし、あるいは 2 人で 1 体のソシオ CA を操作し注文に応じたパンケーキ作りができることを実証で証明しています。

(株)アラヤの金井 CEO は「身体的能力と知覚能力の拡張による身体の制約からの解放」をめざし、頭に思い浮かべた言葉や行動のイメージだけで多数の CA を連携させて、創造的な社会活動に参加できる世界を実現させます。開頭手術不要で脳のあらゆる部位の脳活動計測を可能にする極低侵襲 BMI 技術を世界に先駆けて着手しています。また、UNESCO など BMI 技術

のルール作りを開始しています。

体内 CA など他のプロジェクトからの成果も含めて、今後の進展に注目していただければ幸いです。

[参考文献]

- 1) 土井美和子, 福井美佳, 山口浩司, 竹林洋一, 岩井勇, 文書構造抽出技法の開発, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J76-D-II, No. 9, pp. 2042-2052 (1993).
- 2) 土井美和子他, 平成 10 年度 全国発明表彰 発明賞「図表のアンカリングに関する発明」(2008).
- 3) Doi, M., Design Issues of Bilingual Editor, Human-computer Interaction Software and Hardware Interfaces, Elsevier, pp. 921-926 (1993).
- 4) Doi, M., Kato, N., Umeki, N., Harashima, T., and Matsuda, K., Visual Engineering System — VIGOR: Virtual environment for visual engineering and operation, Symbiosis of Human and Artifact, Elsevier, pp. 435-440 (1995).
- 5) Ouchi, K., Suzuki, T., and Doi, M., *LifeMinder*. A Wearable Healthcare Support System with Timely Instruction Based on the User's context, IEICE Trans. of Information and Systems, Vol. E87-D, No. 6, pp. 1361-1369 (2004. 6).
- 6) 杉山博史, 土井美和子, 交差点形状が歩行者に与える心理的影響を考慮した道案内システム, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J87-A, No. 1, pp. 59-67 (2004. 1).
- 7) 内閣府ムーンショット目標
<https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/target.html>
- 8) 石黒 PM 「誰もが自在に活躍できるアバター共生社会の実現」
<https://avatar-ss.org/>
- 9) 南澤 PM 「身体的共創を生み出すサイバネティック・アバター技術と社会基盤の開発」
<https://cybernetic-being.org/>
- 10) 金井 PM 「身体的能力と知覚能力の拡張による身体の制約からの解放」
<https://brains.link/>

受領者投稿

人体と機械の融合 —— 科学技術と社会の調和 ——

北海道大学大学院 法学研究科 教授 小名木 明 宏
(2018 年度受領者)

2018 年度に「人体と機械の融合に伴う法律問題についての研究」というテーマに研究助成をしていただいた。これは、近未来に人体がサイボーグ化された際に、どのような法的問題が生ずるのかということを研究課題としたものである。

すでに 2013 年に研究論文「科学技術時代と刑法のあり方——サイボーグ刑法の提唱」(北大法学論集 63 巻 6 号)を發表し、翌 2014 年にはドイツでのシンポジウムで研究報告、翌 2015 年にはドイツ語論文の公表と着々と研究は進行したが、その間、当初の状況とは異なり、さまざまな先端技術に関する新しい用語がメディアを賑わせてきており、法律分野においても、AI、ビッグデータ、Internet of things、ロボットという用語が従来とは異なり、普通に使われるようになってきていた。そこで、本研究では、エンハンスメントの適法性に重点を置いて検討し、2019 年に同名の研究論文「人体と機械の融合に伴う法律問題についての研究——科学技術と刑法の調和」(北大法学論集 70 巻 5 号)を公表することができた。

本稿を執筆している最中、パリ・オリパラ大会が開催されており、より早く、より高く、より長く、を目指して選手たちが競い合っている。しかし、もし、脚や腕を強化したら、どうなるのだろうか。それは明らかに物理的ドーピングであり、競技規程により失格となるであろう。

それでは、一般に日常生活でそのような手術を行うことは許されるのであろうか？単に、早く走りたいため、高く跳びたいために、神から与えられた以上の超

人能力を獲得していいのだろうか？そんなバカなことはあり得ないと思うかもしれないが、コンタクトレンズの強度を強くしたり、美容整形が普及している現状を見れば、人間の欲望が限らないことも相俟って、近未来には十分に起こりうることであるように思われる。ホモ・デウスとして人体改造してよいかが、法的にも倫理的にも問われるのである。生命・身体は本人の意思で自由に処分できるというリベリズムと生命・身体は一度限りのものであり、生来的な状況を保持すべきであるという保守的なパターンリズムとが対立する領域である。この問題は、その後も研究報告を行う機会に恵まれ、異分野融合を目指した北大・部局横断シンポジウム(2021 年)やトルコで主催された国際医事法会議(2023 年)でも報告を行なうことができ、分野を越えた研究交流も推進しており、今後もこれを継続していきたい。このような研究課題にご支援いただいた立石科学技術振興財団にはあらためて感謝申し上げる。



受領者投稿

超高齢社会で高まる嚥下評価とリハビリテーションへのニーズ

兵庫県立大学 先端医療工学研究所 准教授 八 木 直 美
(2015 年度受領者)

超高齢社会が進む中、いつまでも元気に美味しく食べれるかという食の健康、安全に注目が集まりつつあります。加齢に伴うフレイルやサルコペニアは、食べる時に動かす口やのど周辺の筋肉が衰える等の口腔機能にも影響します。それゆえに、最近では嚥下に悩みをかかえる方が受診できるような嚥下外来が、歯科や耳鼻咽喉科の診療科を中心に、病院やクリニックで開設され始めているところです。そこで我々は、人間の生存に関わる基本活動である「モノを飲み込み胃に送り込む」という日常動作である嚥下に着目し、非侵襲かつ身体的・心理的ストレスフリーな方法でセンシングして、生体情報信号を人工知能で解析することで、嚥下の健康状態を簡易評価できるシステムを研究開発しています。現状の嚥下機能検査は、X 線造影検査が一般的ですが、計測精度を従来と同程度に維持した上で場所、時間、体位・動作等の制限や拘束が少なく、さらに X 線取り扱い技術が不要な、安価で簡便な検査を実現することが目的です。日常的な繰り返し計測が可能になれば、健康維持のため、健康管理にも役立てることができると考えています。

嚥下障害のリハビリテーションとして、嚥下体操、呼吸訓練、嚥下関連器官のマッサージ、口腔ケア等が挙げられます。そのなかで歌唱や笑いが嚥下機能維持、向上に効果的であると注目されていますが、現在ではエビデンスとしては確立されていません。我々のプロジェクトで

は、これまでにないヘルスケアプログラムの開発を目的とし、嚥下の生理学的機能、脳機能等からのアプローチも進めています。高齢者にもやさしく、生活のリズムを乱さない評価とリハビリテーションを実現し、「人間と機械の調和の促進」に貢献することを目指しています。

私自身は 2014 年の博士号取得後から嚥下関連の研究をスタートさせていますが、これまでに研究助成、海外派遣助成でサポートしていただきました。育児中であり、時間に追われているわたしにとって、一日数時間でも時間のやりくりができたり、研究や実験補助をお願いしたりできれば、自分が思い描く研究のペースを崩さずに研究と生活を両立できるのと思うことが度々ありました。その中で、研究助成を実験補助等に活用させていただき、データ計測から参画していた京都大学医学部での臨床研究は、データベース構築も含めて数年間で約 1000 症例の実績に繋げることができました。

これまでのサポートしていただいた経験を糧に、これからも飛躍できるような研究を推進していきます。改めまして、このような寄稿執筆の機会を頂きましたこと、感謝申し上げます。



研究室訪問

順天堂大学 保健医療学部理学療法学科 准教授 高橋 容子 (2020 年度受領者)
受領時研究課題：「転倒予防に向けた脊髄神経基盤の解明と
ロボットリハビリテーションの開発」

2024 年 7 月、2020 年度研究助成(A)の受領者である順天堂大学保健医療学部理学療法学科の高橋容子先生の研究室を、選考委員の樫木委員、諏訪委員と共に訪問しました。新型コロナ蔓延に伴う中断を経て 2023 年度から再開した研究室訪問ですが、脳卒中患者のリハビリテーションを革新するという社会的意義に感銘を受けると共に、患者・理学療法士・機械の三位一体の関係の中での人間と機械の調和を目指す点の斬新さ、さらに機械が人間の機能をサポートするにとどまらず人間の機能の回復につなげるコンセプトは、当財団の方向性を考える上で大きな示唆をいただく 1 日となりました。

リポーター 事務局 橋本光博

——まず、高橋先生が脳卒中後の歩行再獲得のためのロボットリハビリテーションや、ニューロリハビリテーションの研究に取り組まれるようになった経緯などを教えてください。



私は医学的リハビリテーションの専門職である理学療法士として病院勤務をした後、順天堂大学保健医療学部理学療法学科に着任しました。慶應義塾大学大学院医学研究科リハビリテーション医学教室で博士号を取得し、株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)脳情報通信総合研究所 脳情報研究所ブレインロボットインタフェース研究室で連携研究員、東京湾岸リハビリテーション病院で非常勤研究員としても研究に参加しています。

これまで、脳卒中や脊髄損傷後に歩行を再獲得するためのリハビリテーション開発に取り組んできました。中枢神経が損傷を受けることによって脳から筋肉に運動指令を伝達することが難しくなると麻痺などの運動障害が起こり、歩行が難しくなることが多くあります。加齢によって歩行の問題が起きることもあるので、高齢化社会において歩行は無視できない課題でもあります。そういった方々のリハビリテーションを行うのが、理学療法士の職務です。痛みや麻痺の重症度、歩行の特徴や感覚の程度等が患者さんそれぞれに違いますし、回復過程もさまざま個人差が大きく、最適なりハビリテーションは一概にはないはずです。しかし、従来の歩行リハビリテーションはやや画一的であり、症状の個別性に十分対応できていない現状があります。臨床現場で働きながら、重症度の高い方が歩行を再獲得するには現代医学の限界があり、それを突破できないかと考えるようになりました。

また、麻痺の程度が軽い人は従来のやり方でも病前と遜色ないほどの歩行や、補助具なし、あるいは杖や装具を使えば支えなしで歩けるようになる方もおられます。しかし、再獲得が困難な方の割合はかなり高く、車いすや寝たきりの生活になってしまう方もおられる。いまだ解明されていない下肢や歩行の神経回復メカニズムを明らかにすれば、それに合わせたさまざまな治療が提案できるでしょうし、近年発達が目覚ましい再生医療を組み合わせるといった可能性も考えられます。し

かし、どんな運動をどれくらいの量で行えば麻痺が回復していくのかは、未だ確立されていません。そこで、神経科学的知見やロボットなど最先端技術を用いて新しい評価や治療技術を開発し、「歩くことを諦めないリハビリテーション」の実現を目指す研究を行っています。具体的には、電気生理学的評価技術を用いた歩行の神経制御メカニズムや、脳卒中後の歩行回復メカニズムの解明、ニューロモデュレーションによる神経治療の開発、電気刺激や下肢外骨格ロボットを用いた歩行ニューロリハビリテーションの開発を医学・工学連携研究を通して進めています。

上肢のリハビリテーションでは、脳梗塞させたサルの実験から、運動をさせると脳の腕や肩寄りの支配領域が指を動かすための領域に置き換わったり、断絶した神経を繋ぐ側副路ができたりして指の動きが良くなることがわかっています。つまり、脳が神経細胞を柔軟に変えることによって、運動の改善・制御をしていくわけです。そこからニューロリハビリテーションは一気に発展しました。患者さんたちが指を伸ばそうとイメージする脳波を計測し、いい脳波がとれたら装具で指を伸ばす運動を繰り返すと、重度の上肢麻痺が改善されたという報告もあります。このように上肢に関してはかなり研究が進んでいるのですが、残念ながら下肢にはまだ活かされていませんでした。そこで、慶應義塾大学のリハビリテーション医学教室が下肢に対するニューロリハビリテーションの研究をしていたことから、こちらの大学院で神経生理学の研究を始めました。

脊髄相反性抑制という神経経路は、背屈と底屈という足の動きの切り替えを制御しています。脳卒中患者さんでは、脊髄神経経路自体は損傷していないにもかかわらず、下行性経路が阻害されることで脊髄相反性抑制が乱れて足首をうまく動かせなくなる、つま先が突っ張る痙縮という病態に関連していることを明らかにした先行研究があるので、大学院では脊髄相反性抑制に着目して足首の動きを改善する研究に取り組みました。先行研究を参考に生体内に起こっている神経活動を模擬するパラメータを活用し、その電気刺激（Patterned Electrical Stimulation:



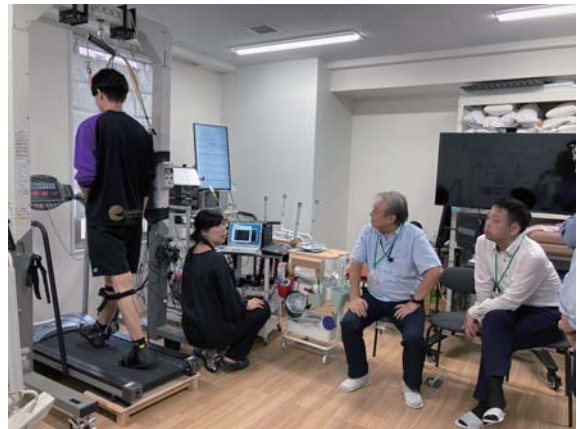
PES) をすると脊髄の神経経路がうまく調節される（ニューロモデュレーション）を用いて、脳卒中により片麻痺のある患者さんの足の動きが良くなるかを検討しました。さらに自分でつま先を上げる随意運動に、この電気刺激を加えると相反性抑制に対してニューロモデュレーション効果が高まるかを検討したところ、電気刺激だけでも脊髄の神経経路修飾に効果があり、運動を組み合わせるとより高まるという結果が得られました。脳卒中の発症から半年以上経つと麻痺はあまり改善しないというのが定説ですが、PESというニューロモデュレーションの電気刺激と運動を組み合わせると、足首の動きが良くなる傾向が見られました。これにより、ニューロモデュレーションと運動の組み合わせで、発症からかなり時間が経った脳卒中患者さんでも足の背屈運動が改善される可能性を示すことができました。

——助成対象となった研究課題と成果は、どのようなものだったのでしょうか。

課題は「転倒予防に向けた脊髄神経基盤の解明とロボトリハビリテーションの開発」で、まず歩行中の脊髄神経経路の評価に取り組みました。前段階として、人間の歩行は足首だけでなく、膝や股関節も関係しますから、大腿下腿の協調と関節をまたいだ神経経路が重要ではないかと考えました。脳卒中患者さんでは大腿四頭筋と下腿三頭筋の協調運動障害によって、なめらかな膝の動きが阻害されていることを明らかにした先行研究があります。そこで、複数の神経経路をさまざまな

病期で、どの経路が阻害されるとどのような運動障害が起こりやすいのかを調べることにしました。回復期と生活期の2群で4種類の脊髄神経経路の状態を評価し、麻痺側下肢の運動機能や歩行評価との関係を検討した結果、回復期の患者さんはHeteronymous facilitationの神経経路が障害されている場合に大腿四頭筋や下腿三頭筋の痙縮が強く出ており、相反性抑制が障害されている場合はハムストリングスの痙縮が強く出ることが明らかになりました。また、生活期（維持期）の患者さんでは、神経経路と痙縮の状態は関係しないことがわかりました。これは、将来的にニューロリハビリテーションを行う際の新たな神経学的バイオマーカーとなる可能性があると考えています。一方で、歩行との関係の検討については、安静時の脊髄神経経路の評価だけでは限界があり、歩行などの運動中の神経動態を捉える課題に取り組むことにしました。

歩行中の脊髄神経経路評価には、ATRの野田先生と関西医科大学の長谷先生が開発された歩行アシストロボットのシステムを応用した電気生理学的評価を行いました。脳卒中片麻痺患者さんの歩行は変動性が大きく、再現性の高い電気刺激を打つタイミング調整が非常に難しいのですが、使用したロボット制御システムは4つのセンサーをもとにしたアルゴリズムを使い、フィードフォワード形式で制御するという歩行周期同定技術が非常に高いものです。電気生理学的評価にはヒラメ筋H反射を用いて、前脛骨筋からヒラメ筋に対する相反性抑制を評価します。踵が接地する立脚期の開始点、次の踵接地の直前を遊脚期の終了点とし、この1歩行周期を分割した8時点でH反射の計測を行います。H反射やM波の振幅をリアルタイムに計測・表示するシステムにより、電気刺激の刺激強度を歩行周期に合わせて微細に調節することができます。健常者の測定で、立脚期には相反性抑制が脱抑制状態になり、足を前に出す遊脚期では相反性抑制が強まるという先行研究と矛盾しない結果を得ることができました。



しかし、実施期間中に新型コロナウイルス感染拡大の影響を受けてしまい、広く被験者を募集しての実験が困難になりました。テレビ会議システムを活用して機器開発や実験を進めましたが、今後はこのような状況下でも遠隔で信頼性の高い電気生理学的評価が行えるようなシステムづくりが必要になると考えています。現在では、脳卒中の方での測定を再開できています。

——その後、この研究はどのように発展したでしょうか。

ロボットアシストでつまずきにくい歩行を学習できるかをゼミ生の皆さんと研究中で、これは中枢神経疾患患者や高齢者など転倒リスクが高い方へのリハビリテーションに役立つと考えています。ロボットアシストの種類によってつまずきやすさの指標 minimum toe clearance (MTC) の変化を検討し、健常者は底背屈アシストと背屈のみのアシストでMTCが有意に高くなることが明らかになりました。次の段階では健常者にアシスト歩行練習を実施してもらい、ロボットを外して平地でのMTCが変化するかどうかを検討し、効果的なリハビリテーションに繋がるかどうかを検証しています。さらに歩き方の個人差は非常に大きいですし、神経疾患患者や高齢者、たとえば腰痛などの要素が歩行の癖に絡んでいる場合にはどのような変化が得られるのか等、さらなる検討が必要です。

全世界の25歳以上の4人に1人が一生に一度は脳卒中を発症するといわれ、さらにその4割は歩行の再獲得が困難になることがわかっています。さらにパーキンソン病や高齢者も、脊髄の神経

経路が障害されて足の動きが悪くなる可能性が指摘されており、これらに対する歩行の再獲得や改善に向けたニューロリハビリテーションも必要はなはずですが、今はまだアプローチされていません。歩行の困難に直面している全ての人に、ニューロモデュレーションとロボティクスを融合させたりリハビリテーションは波及効果があると考えております。

——当団体の研究助成のテーマである「人間と機械の調和を促進する」については、どのようにお考えでしょうか。

ロボットやニューロモデュレーション技術といった「機械」は、歩行の再獲得を目指す方たちへのリハビリテーションに非常にマッチすると考えています。そこには理学療法士が患者さんの状態やリクエストに応じてプログラムを調整するなど「人間」による介入が不可欠となることが「人間と機械の調和」にあたるのかなと思います。また、私たちは科学的に正しい治療を提供しようと思いますが、患者さんの困りごとや、歩行についての考えとは乖離していることが多いです。たとえば、膝がロックングしていれば私たちは「正常歩行から逸脱している」と考えるわけですが、その方にとっては歩きやすいやり方がロックングの状態だったからなのですね。ですから、患者さん一人ひとりへのきめ細やかな聴取や目配り、気配りは不可欠であり、その上で、その方自身の歩きにくさに対し「ロボットがアシストするリハビリテーションをやってみませんか」と提案することが、「調和」のスタート地点といえるのかもしれません。

ATRと慶應義塾大学の共同研究「空気圧人工筋制御の下肢外骨格ロボットを用いた脳卒中患者の歩行リハビリ開発プロジェクト」において、患者さんに10日間のロボットアシスト歩行練習を行ってもらいました。リアルタイムで膝角度を見てもらいながらアシスト歩行することで、膝関節の動きと認識を再教育する試みです。患者さんは膝が伸びているのかどうかは、フィードバックで初めて気がついたと言われていました。さらに最初の4日ぐらいまでは歩きにくさがあったけれども、5日目ぐらいに「ロボットの動きに私の足を合わせて動かしてみよう」と思ったときから、歩きやすくなっていったそうです。つまり、患者さん側の感じ方が変わったのです。そこから一気に足の動きがなめらかになりました。歩行練習後は、歩き方の見目が改善しただけでなく、長い距離を歩いても疲れにくくなり、最終的に6分間における歩行距離も伸びて、歩行効率が向上したことが伺えました。大きな力を使わなくても足が前に出て楽に加速できることにご自身が気づいた結果、とても楽に歩けるようになったのです。それを「麻痺になる前の歩きを思い出した気がする」と表現されました。患者さんの感じ方やその変化をきちんと聴取し、私たちもなぜ、何が、どう変わったのかを考えるという両者の情報共有によってうまくいった症例でした。このようなコミュニケーションをきちんと入れ込んだリハビリプログラムにしていくことが重要で、そこに「人間と機械の調和」があるような気がします。



——今後の展望を教えてください。

歩行ニューロモデュレーションの確立に向けて、歩行中の脳と脊髄の制御関係を明らかにしていくことが次の目標です。治療としては、その方の評価結果次第で脳からの制御と末梢からの感覚入力の両方を組み合わせ、脳には経頭蓋磁気刺激や経頭蓋電気刺激、脊髄に経皮的脊髄電気刺激、大腿神経や総腓骨神経に対するPESなどの末梢神経電気刺激、外骨格ロボットといったデバイスを

患者さんの病態に合わせて適切に組み合わせた、テーラーメイドな歩行ニューロモデュレーションが可能になればと考えています。

また、理学療法士の教育も大きな課題になっていくだろうと感じています。ロボットなど機械操作が難しいという声もあり、「現状ではできないことが可能になる」と納得できなければ使おうとしないような印象があります。ですから、現在のリハビリテーションをどのように補い、革新性をもたらしてくれるのかを打ち出し、臨床現場に啓蒙していくことも重要でしょう。また、神経経路など難解な領域にも及ぶものなので、こちらがわかりやすく解説することと、理学療法士のリテラシーを向上させる教育も必要になると思います。

——当財団に望まれることはありますか。

「デバイスを用いたリハビリテーション開発」という私のテーマを支援してくださる研究費はほとんど見当たらないような状態の中、立石科学技術振興財団の【研究助成 A】をいただけたことは非常にありがたく、深く感謝しております。次は【研究助成 S】をいただけるように、さらに研鑽を積んでいきたいと考えております。どうもありがとうございました。



[研究助成 (S)]

脳のパーソナルヘルスレコードを実現する 透明シート型脳波センサシステムの研究開発

Research and development of a transparent sheet EEG sensor system for personal health records of the brain

2218001



研究代表者 (助成金受領者)	大阪大学 産業科学研究所	教 授	関 谷 毅
共同研究者	大阪大学 産業科学研究所	准 教 授	荒 木 徹 平
	大阪大学 産業科学研究所	特任研究員	根 津 俊 一
	神戸大学 大学院 システム情報学研究科	准 教 授	和 泉 慎太郎
	PGV 株式会社	技 術 部 長	吉 本 秀 輔

[研究の目的]

脳波を、いつでも、だれでも、ご家庭で手軽に計測することができれば、認知症や脳関連疾患などの初期症状に気づくことができるかもしれない。そのようなヘルスケア機器が求められている。

一方で、脳波はヒトの生体活動電位の中で最も小さい数マイクロボルト (μV) 以下の信号を正確に計測できなければならないため、心電や筋電などミリボルト (mV) レベルの計測と比べても遥かに難易度が高い。

このような背景の中、本研究では、視認性がない透明薄型の生体計測電極を開発し、「見た目にも、装着時にも“存在を感じさせない”小型薄型の脳波計測システム」を開発してきた。さらに、これを用いて、世界初となる長期間の脳活動計測を通して、「脳のパーソナルヘルスレコード」を実現する基盤技術を開発するとともに、脳関連疾患バイオマーカーの早期抽出(未病バイオマーカー抽出)に挑戦する取り組みを行った。

この研究開発は、①透明柔軟電極、②小型



図1 ブレイン PHR により実現される未来像

脳波計測ワイヤレスモジュール、③低ノイズ集積化技術、④医学部との連携によるデータ取得、⑤信号可視化アルゴリズム、の五つの研究開発項目に分けて取り組んだ。また年度ごとにロードマップを定めた。

【目標達成に向けての具体的方策と各年度の目標】

- 1年目：24時間ブレイン PHR を可能にする透明電極を搭載した新型パッチ脳波計の実現
- 2年目：20機を作製し、更年期障害、精神疾患領域のブレイン PHR を行い、特徴量抽出する
- 3年目：50機まで増やし、小児を含む脳関連疾患領域のブレイン PHR へ取り組みを拡張する

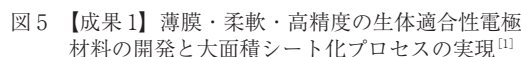


図5 【成果1】 薄膜・柔軟・高精度の生体適合性電極材料の開発と大面積シート化プロセスの実現^[1]

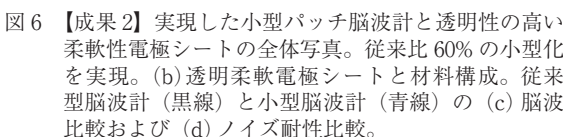


図6 【成果2】実現した小型パッチ脳波計と透明性の高い柔軟性電極シートの全体写真。従来比60%の小型化を実現。(b)透明柔軟電極シートと材料構成。従来型脳波計(黒線)と小型脳波計(青線)の(c)脳波比較および(d)ノイズ耐性比較。



本研究開発では、視覚的にも見えにくい透明性の高い導電性材料を開発することで、生体適合性柔軟電極を実現してきた^[1]。そのいくつかは、生体適合性試験 (ISO10993) においても優れた結果を得ることができた。さらに、装着感を低減するための、計測器の小型化に取り組み、以下の図 2 に示す小型脳波デバイスを実現することができている。特に従来比で 80% のノイズ除去を実現することができ、高精度な脳活動計測を可能とした。

図7 【成果3】透明電極を活用した“光ドップラーによる高感度血流計測システム”の実現^[2]

このような計測技術を医師と連携して使う取り組みの中で見出された新たな課題と医療ニーズを基に、連携機関である神戸大学和泉慎太郎准教授、PGV(株)吉本秀輔技術部長とともに、生体電極や小型脳波計においても更なる改良と

最適化を行い、計測精度と有用性を同時に向上させることができた。特に、高精度な生体信号増幅・検出・無線通信技術^[3]、光学医療機器との連動計測技術^[4,5]、伸縮性をさらに向上させる技術^[6,7]は、最高峰の欧文学術論文誌に掲載された。

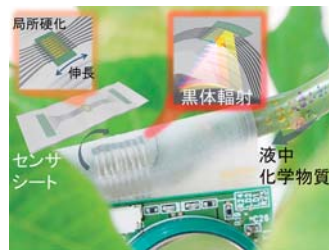


図8 【成果4】透明性を活用した“テラヘルツ分光感度センサシステム”の開発^[4]

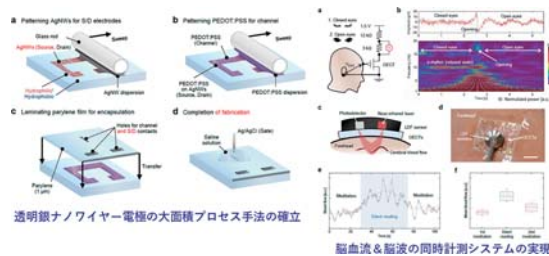


図9 【成果5】透明性を活用した“脳血流と脳波の同時計測システム”の開発^[5]

【医療機関との連携成果】

小型脳波計を用いて、複数の医療機関との連携において長時間の脳活動に伴う特徴量（ブレイン PHR）抽出を行うことを目標として、取り組んだ。具体的には大阪大学、京都大学、大阪公立大学の医学部や、太田睡眠病院などの医療機関と緊密に連携することができた。その手軽さから、脳波 PHR の取り組みは多岐にわたり、以下の専門領域で実績を積み上げてきた。

- ・ 認知症の脳波
- ・ てんかん患者の睡眠時脳波
- ・ 小児てんかん患者の睡眠時脳波
- ・ 新生児の脳波
- ・ うつ等の睡眠時脳波
- ・ 糖尿病の睡眠時脳波
- ・ 更年期障害の睡眠時脳波
- ・ せん妄患者の脳波

- ・ 軽度不調の睡眠時脳波
- ・ 高齢者難聴の脳波

紙面の関係で、代表的な成果のみ記載する。

【認知症】

認知症（アルツハイマー型、レビー小体型の鑑別、健常者と認知症感謝の鑑別）や小児発達（自閉症スペクトラム ASD、多動症候群 ADHD）領域に対して、従来の鑑別手法と、本小型脳波計を同時に用いて、患者の計測を実施した。その結果、認知症の鑑別において脳波データが極めて有用であることを示すことができた^[8,9]。

【睡眠障害】

脳波は睡眠状態を反映することから、医学分野では広く使われてきたが、計測装置が睡眠を妨げることから、その利用は限定的であった。パッチ脳波計とその小型化により、睡眠中の違和感を低減することができることから、本プロジェクトでも多くの睡眠計測を実施することができた。さらに、得られた睡眠時脳波を機械学習することで、従来ではわからなかった詳細な睡眠データを取得できることが分かった（図10）。

項目名	内容	相関係数
睡眠開始 (SPT)	入眠から翌朝の最後の覚醒までの時間	0.710
睡眠効率	TST/TIB × 100(%)	0.936
入眠潜時	就寝から入眠までの時間	0.959
REM潜時	入眠状態から最初の睡眠段階REMまでの時間	0.869
中途覚醒時間 (WASO)	SPT中の覚醒時間の総和	0.980
睡眠段階出現時間 (REM)	全記録時間において、睡眠段階REMの占める時間	0.748
睡眠段階出現時間 (N1)	全記録時間において、睡眠段階N1の占める時間	0.533
睡眠段階出現時間 (N2)	全記録時間において、睡眠段階N2の占める時間	0.777
睡眠段階出現時間 (N3)	全記録時間において、睡眠段階N3の占める時間	0.664
REM睡眠段階数	睡眠段階REMの出現回数の総和	0.828

●1夜分毎に睡眠変数化し教師 (PSG) と比較、睡眠効率 / 入眠潜時 / 中途覚醒時間等は相関係数 0.9 以上
●外れ値を含まない場合に相関係数が 0.5~0.7 程度に低下

図10 従来から医療で使われている睡眠ポリグラム (PSG) を教師として、脳波と AI から睡眠変数抽出した。その相関係数を示す。相関係数 0.9 以上の高い数値（赤字で記載）を見出しており、睡眠状態を正確に把握できる可能性が示されている。

【更年期障害】

睡眠時脳波に着目した更年期障害の判定に資する計測と AI 解析に関する技術開発を、大阪大学医学部婦人科の研究者とともに実施した。その結果、睡眠状態と更年期障害に強い相関性が見出され、更年期症状の有無を 85.4% の精

度で検出できることが示された。特に感度/陰性的中率が高く、更年期障害と鬱の鑑別の可能性が見出されていることから、臨床上の重要性が確認されている。本成果は、第36回日本女性医学学会学術集会で発表された。

[小児発達]

自閉症スペクトラム (ASD) や多動症候群 (ADHD) 小など小児発達における特異な脳活動について多くの計測を実施し、論文化を進めている。さらにこの取り組みの中で、脳波と集中度において高い相関性が見出された。実際に前頭中線シータリズム (Fm θ) やガンマ帯域活動が変化することという先行研究あることから、当該分野の専門家である大阪市立大学石井教授らとの連携において集中状態 (attentional focus state) に関する研究を推進した。本研究では特に、パッチ式脳波計で、人の集中度を測定できるかの検証を行った。より具体的には、安静閉眼時と単純な計算タスクを実行している状態で、それぞれ2分間測定し比較した結果、20名中12名の被験者がタスク状態でFm θ を示した。タスク中はシータ帯域とガンマ帯域の活動が著しく高く、アルファ帯域の活動が著しく低下してる様子が見られた。また、前頭前皮質の活動を示唆する左右の前頭額部領域のガンマ帯域活動が、Fm θ と同時に測定された。これまでの取り組みから、被験者の60%においてFm θ を計測することができた。これは全頭型のEEGで計測した場合と同水準であり、パッチ式脳波系の性能を確認。被験者の行為を制約せずに脳波計測できるパッチ式脳波計は、ADL (日常生活動作) 中の脳活動の計測に適していると考えらる。脳卒中、認知症、ADHDの患者のADLの評価にも役立つ可能性が示され、医学系学術論文誌に掲載された^[10]。

[せん妄]

米国では、65歳以上の成人約260万人以上が毎年せん妄を発症し、1,640億ドル以上の医療費が生じていると推測されている。本研究で

は、心血管手術を受ける128人の患者が参加し、術前のEEGデータを用いた機械学習でせん妄発症リスクの予測を実施した。その結果、パッチ式脳波計による予測精度は正確度86%・AUC0.93に達することを確認した。高度な機器を必要としない一般病院で適用可能であり、予防医療になるとの好評を得ており、論文化されている^[11]。

(※医療機関での人を対象とした実験データの掲載は、倫理規定に基づき一部割愛する。)

[今後の研究の方向、課題]

これまでに見出してきた医学部連携をさらに加速させることで、長期間の脳活動計測から得られるバイタルサインと疾患の関連性を明らかにしていき、脳PHRを実現していく。特に、認知症、発達障害分野のブレインPHRデータベースをより大きなものとして、鑑別に必要が学習精度を高めていくことで、Software as a Medical Device (SaMD) を実現し、国内はもとより、世界に向けて本技術の社会実装を進めていく。

【立石財団 研究助成 (S)】のご支援に心から感謝を申し上げます。

[成果の発表、論文など]

- [1] Gold nanowire electrodes for flexible organic thin-film transistors, S. Takane, Y. i Noda, N. Toyoshima, T. Uemura, Y. Bando, T. Sekitani (助成者), Applied Physics Express 15, 096501 (2022).
- [2] Skin-Like Transparent Sensor Sheet for Remote Healthcare Using Electroencephalography and Photoplethysmography, T. Araki; S. Yoshimoto, T. Uemura, A. Miyazaki, N. Kurihira, Y. Kasai, Y. Harada, T. Nezu, H. Iida, J. Sandbrook, S. Izumi, T. Sekitani (助成者), Advanced Materials Technologies 7, 2200362 (2022).

本論文は、2022年度のBest Paper賞にも選出されている。<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/2365709x/homepage/best-of-advanced-ma>

- terials-technologies-2022.html
- [3] Increasing the Sensitivity of Piezoelectric Pulse Wave Sensors for Pulse Wave Propagation Measurement, M. Ishibash, S. Izumi, R. Takamatsu, S. Yoshimoto, Y. Noda, T. Araki, T. Uemura, T. Sekitani (助成者), H. Kawaguchi, *IEEE Sensors* 7, 2503104 (2023).
 - [4] Stretchable broadband photo-sensor sheets for nonsampling, source-free, and label-free chemical monitoring by simple deformable wrapping, K. Li, T. Araki, R. Utaki, Y. Tokumoto, M. Sun, S. Yasui, N. Kurihira, Y. Kasai, D. Suzuki, R. Marteijs, J. M. J. den Toonder, T. Sekitani (助成者), Y. Kawano, *Science Advances* 8, eabm4349 (2022).
 - [5] Fully Transparent, Ultrathin Flexible Organic Electrochemical Transistors with Additive Integration for Bioelectronic Applications, A. Takemoto, T. Araki, K. Nishimura, M. Akiyama, T. Uemura, K. Kiriyama, J. M. Koot, Y. Kasai, N. Kurihira, S. Osaki, S. Wakida, J. M. J. den Toonder, T. Sekitani (助成者), *Advanced Science* 10, 2204746 (2023).
 - [6] Stretchable printed circuit board integrated with Ag-nanowire-based electrodes and organic transistors toward imperceptible electrophysiological sensing, R. Kawabata, T. Araki, M. Akiyama, T. Uemura, T. Wu, H. Koga, Y. Okabe, Y. Noda, S. Tsuruta, S. Izumi, M. Nogi, K. Suganuma, T. Sekitani (助成者), *Flexible and Printed Electronics*, 7, 044002 (2022).
 - [7] Fine-Tuning the Performance of Ultraflexible Organic Complementary Circuits on a Single Substrate via a Nanoscale Interfacial Photochemical Reaction, K. Taguchi, T. Uemura, A. Petritz, N. Namba, M. Akiyama, M. Sugiyama, T. Araki, B. Stadlober, T. Sekitani (助成者), *ACS Applied Electronic Materials* 4, 6308 (2022).
 - [8] Predictive Diagnostic Approach to Dementia and Dementia Subtypes Using Wireless and Mobile Electroencephalography: A Pilot Study, F. Li, S. Matsumori, N. Egawa, S. Yoshimoto, K. Yamashiro, H. Mizutani, N. Uchida, A. Kokuryu, A. Kuzuya, R. Kojima, Y. Hayashi, R. Takahashi, *Bioelectricity* 4, 3 (2022).
 - [9] Precise Discrimination for Multiple Etiologies of Dementia Cases Based on Deep Learning with Electroencephalography, M. Hata, Y. Watanabe, T. Tanaka, K. Awata, Y. Miyazaki, R. Fukuma, D. Taomoto, Y. Satake, T. Suehiro, H. Kanemoto, K. Yoshiyama, M. Iwase, S. Ikeda, K. Nishida, Y. Takekita, M. Yoshimura, R. Ishii, H. Kazui, T. Harada, H. Kishima, M. Ikeda, T. Yanagisawa, *Neuropsychobiology* 82, 81 (2023).
 - [10] Frontal midline theta rhythm and gamma activity measured by sheet-type wearable EEG device, K. Ueno, R. Ishii, M. Ueda, T. Yuri, C. Shiroma, M. Hata, Y. Naito, *Frontiers in Psychiatry* 13 March 2023.
 - [11] Predicting postoperative delirium after cardiovascular surgeries from preoperative portable electroencephalography oscillations, M. Hata, Y. Miyazaki, C. Nagata, H. Masuda, T. Wada, S. Takahashi, R. Ishii, S. Miyagawa, M. Ikeda, T. Ueno, *Frontiers in Psychiatry* 14 November 2023.

[研究助成 (S)]

解放運動連鎖歩行に外骨格機構と連動して介入する 左右分離免荷システムの研究開発

Research and development of a left-right separated unloading system that intervenes
in conjunction with the exoskeletal mechanism in open kinetic chain gait

2218002



研究代表者
(助成金受領者)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所 主幹研究員

野田 智之

共同研究者

森之宮病院

院長代理

宮井 一郎

[研究の目的]

本研究プロジェクトは、超高齢社会におけるリハビリテーションの需要増加に対応し、特に脳卒中後の片麻痺患者に向けた革新的な歩行リハビリテーション技術の開発を目指したプロジェクトである。従来の歩行支援ロボットは、主に下肢の特定の部位に対するアシストに依存しており、全身の協調動作を包括的に支援するシステムは限られていた。このため、体幹、股関節、足関節を含む多関節の協調を促し、歩行の左右対称性を改善することで、神経経路の再学習を通じて患者の歩行機能を回復させることが重要である。

従来の免荷システム (Body Weight Support: BWS) システムでは、自然な歩行を再現することが難しく、歩行周期に連動した体幹の荷重免荷機能が十分に考慮されていない。従来システムは、体幹の動的な荷重免荷を行うことは想定されておらず、一方で、Lokomatのようなシステムでは、重度の麻痺患者にも対応可能だが、リンク系が環境に固定されているため、足先の軌道や体幹の荷重移動がロボットによって拘束されてしまう。このようなシステムでは、あらかじめ定められた軌道に沿った歩行しか再現できず、使用者の個別性に対応する柔軟な歩

行支援が難しい。

この課題を解決するために、本研究プロジェクトでは、リンク系が環境に固定されていない「解放リンク系」の外骨格ロボットと左右独立免荷システムを統合した放運動連鎖歩行に外骨格機構と連動して介入する左右分離免荷システム (Split-force BWS Exoskeleton) を開発し、臨床での実証を通じてコンセプトを検証することとした。体幹の動的な免荷と荷重移動を支援し、従来の適応よりも、より重度の脳卒中後片麻痺患者に適した歩行支援を提供することを目指している。開発された Split-force BWS Ankle Exoskeleton は、体幹の免荷機能と足関節のアシスト機能を兼ね備え、患者のアシスト中の自然な歩行を実現するシステムであり、歩行時の麻痺側の推進力を向上させ、ニューロリハビリテーションの効率化を図ることを目指している。

この研究は、「人と機械の融和」という理念において、人間と機械が協働するだけでなく、患者の歩行と装着した外骨格ロボット、さらには理学療法士のアシストとも融和し合うことで、三位一体となって患者のリハビリテーションを支援する。「人と機械の融和」の視点から、本研究では、患者の身体的特性に適応し、最適なリハビリテーション効果を引き出すための技術

を追求している。

〔研究の内容、成果〕

本研究で開発された「Split-force BWS Exo-skeleton」を図1に示す。左右独立免荷システムと足関節アシストを組み合わせた歩行支援ロボットであり、特に脳卒中後片麻痺患者を対象に設計されている。このシステムは、従来の歩行支援ロボットと異なり、リンク系が環境に固定されていない「解放リンク系」の外骨格ロボットとして、体幹の動的な荷重免荷と自然な歩行を実現することを目指している。

従来の免荷システム（BWS）は、体幹の荷重免荷を行うものの、装具や軽度の介助に限定されたものであり、重度の麻痺患者に適用することが難しかった。また、従来のロボットアシストシステムでは、ロボットのリンク系が環境に固定されているため、歩行の軌道や体幹の動きがロボットによって拘束されてしまうことが問題であった。本システムでは、この問題を克服し、体幹と下肢の動的な協調を可能にすることで、自然な歩行を促進する。

システムの主な構成要素の特徴や革新性は以下の通りである。

左右独立免荷システム：左右それぞれの足に対して独立して免荷を行うシステムであり、使用者の左右の荷重バランスをリアルタイムで調整

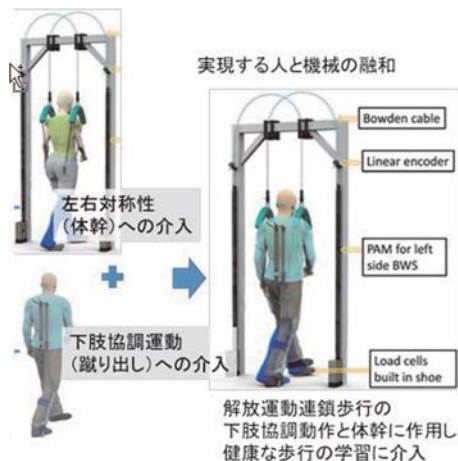


図1 プロジェクトの開発コンセプト

する^[2]。この技術により、脳卒中後の麻痺側の歩行能力を回復させ、左右対称の歩行を実現する。特に、麻痺側の立脚期において、麻痺側足関節への適切な荷重の配分をサポートし、歩行時の推進力を生み出す運動学習を促す。

足関節アシスト：足関節の底背屈動作をサポートする機能を搭載しており、空気圧人工筋ユニットを使用して制御される。この技術により、患者が歩行中に足関節を動かす際の力を補助し、歩行動作を自然にサポートする。また、足底センサを用いて歩行の推進力を計測し、アシストの効果をリアルタイムで評価するシステムも含まれている。

空気圧人工筋の特徴：足関節の底背屈動作を支援するために、図2に示す独自の末端構造を採用した空気圧人工筋が使用されており、この技術の主な特徴は次の通りである。なお、本人工筋技術の基本構成は過去の立石財団研究助成（A）のプロジェクトにて開発されたものである。

モジュラー構造：システムはモジュール化されており、各部品の交換やメンテナンスが容易である。この構造により、さまざまな患者のニーズに応じて柔軟に対応できる。

大きな収縮力・トルク出力：免荷アシストでは片側最大 1500 N の、足関節アシストでは最大 48 Nm のピークトルクを発揮することが可能であり、強力なアシスト力を提供する一方で、図2に示すように、空気ばねのコンプライアンスとバックドライブ性（患者が自発的に関節を動かす際の抵抗の低さ）も維持している。これにより、アシストされながらも自然な動作が可

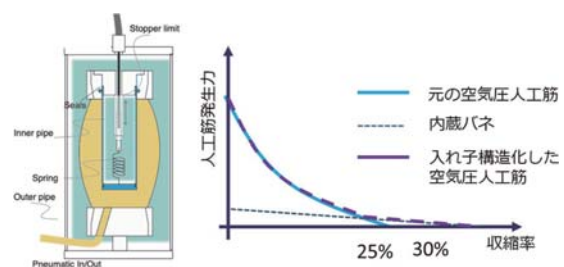


図2 空気圧入れ子構造の空気圧人工筋

能となり、空気圧人工筋の正確な力制御も可能^[3]である。

テンショナー内蔵：空気圧人工筋は、テンショナー機構を内蔵しており、これにより関節がフリーに動作することができる。この機能により、患者が自発的に動作を行う際にはアシストを感じず、自然な運動を行うことが可能となる。

エネルギー効率の向上：圧縮エアの消費量を最大 50% 削減する設計が施されており、エネルギー効率の向上を実現している。これにより、システム全体のエネルギーコストを抑え、小型のコンプレッサで運用可能で、内蔵テンショナーによりテンションを維持することで人工筋やワイヤの不具合を防止できる。

解放リンク系：リンク系が環境に固定されていないため、使用者の自然な体幹の動きや荷重移動を可能にする。このシステムは、足関節と体幹の協調を促進し、麻痺患者の歩行能力を再建することを目指している。左右独立免荷システムは力制御されており、使用者の動きに柔軟に対応することが可能である。

システム全体の目的は、人間と機械が融和した歩行支援を実現し、ニューロリハビリテーションの効率化を図ることである。左右独立免荷システムと足関節アシストの連動により、歩行の左右対称性を改善し、従来よりも、重度の麻痺患者から軽度にも適応可能であることが期待できる。これにより、患者が自然な歩行を取

り戻し、リハビリテーションの効果を最大化することが期待される。

本研究で開発された「Split-force BWS Exoskeleton」は、実際の臨床現場において脳卒中後片麻痺患者を対象に適用され、麻痺側の推進力が増加する症例が有効性が確認されている。森之宮病院との協力により、臨床実証が進められ、特に重度の片麻痺患者に対しても効果的な歩行支援が実現されている。臨床現場における主な評価内容と成果は以下の通りである。

1. 臨床導入と安全性と適用性の評価

臨床現場での適用に際して、安全性の確保は最優先事項であった。開発されたシステムは、患者の状態に応じてアシストの強度や免荷の調整が可能である。生得的なコンプライアンスを有しておりバックドライバビリティ（アシスト中に出力軸側から押し返すことが可能）であり安全に運用できるよう設計されている。

プロジェクトの前半は、Covid-19 の影響で、森之宮病院へ ATR の研究者や業者を含め、病院関係者以外が立ち入ることが難しく、臨床への導入は機器を郵送でやり取りし、導入は森之宮病院とオンライン会議システムを活用し、森之宮病院の研究スタッフらの協力の下でシステムを設置し遠隔で導入した。VPN を活用し遠隔ソフトウェアの改良・Update を行った。臨床導入の初期段階では、健常者を対象にシステムの試験運用が行われ、森之宮病院臨床チームの理学療法士へのインストラクションなどが行われたその結果、システムの安定性と適用性が検討・確認された。

また、足関節装具部は片側支柱下肢カフのサイズ展開は幅広く対応可能であり、さまざまな体格の患者に対して柔軟に適応できる。普段使いの装具をロボット化するデザインとなっており、これまでの装具を片側支柱として軽量化を図った。



図3 臨床導入後の脳卒中後片麻痺患者での実証

2. 歩行の介入による麻痺側推進力

臨床実証^[4,5]の成果を示す。歩行の左右対称性については、これまでの実験で歩行中に対称性に介入できることが示されている。また、足関節ロボットは歩行耐久性や歩行速度などが増加するという成果も得ている。いずれのアシスト技術も駆動源は空気圧人工筋であり、生得的なしなやかさ（低インピーダンス）な状態で力制御が可能なシステムとなっており従来の免荷システムでは難しかった、自然な体重移動を促すことが可能である。中程度の片麻痺患者で適応を確認^[4]し、歩行時の推進力の改善に着目した実験系^[5]を構築した。

図4に臨床実証の結果を示す。ケーススタディで足底に取り付けられたセンサを使用して、歩行中の推進方向の力を評価した結果、免荷力があっても歩行時の推進力を向上させることが可能であった。介入中だけでなく介入後にも改善している。介入（足関節ロボットのアシスト、足関節アシストと左右独立免荷システム（BWS））の組み合わせにより、麻痺側の推進力が増加していることがわかる。その後、アシストが無くなった状態でも麻痺側の推進力の増加が維持されており、歩行能力の改善が持続する可能性を示唆している。なお、センサは足底に配置した小型3軸触覚センサを用いており、足底にかかる荷重の一部を計測していることから小さな値となっている。現状の臨床実証は単日のみの介入であるため、患者の神経経路の再学習が効果的に促進され、リハビリテーションの効果が持続するかについては議論できないが、

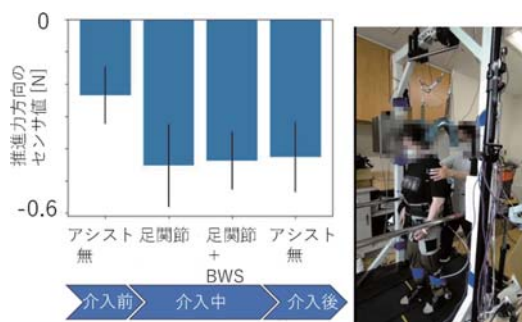


図4 臨床実証による歩行推進力評価

今後、長期の臨床実証によって介入効果が定着するのかなどについては検証していく必要がある。

3. モーション解析による定量評価

モーション解析システムを活用し、歩行時の推進力や体幹の動きに関するデータを定量的に評価することが可能となった。このシステムでは、患者のズボンに内蔵されたIMU式センサや足底センサを用いて歩行データを収集し、歩行時の動作を詳細に分析している。このような分析に基づき、患者一人ひとりのリハビリテーション効果を定量的に評価し、最適なアシスト方法をリアルタイムで調整するためのAI開発^[7]が期待できる。

4. リスク管理と実用化に向けた課題

システムの安全性を向上させるため、リスクマネジメントの観点から、運用時のリスク要因を特定し、合理的にリスクを低減させる取り組みが行われた。特に、臨床現場でのトラブルシューティングに関して、理学療法士との協力体制が確立され、問題発生時の迅速な対応が遠隔操作を含めて可能となっている。

今後の課題としては、医療機器としての実用化に向けた薬事対応が挙げられる。これについては、製造販売企業と連携し、薬事法関連の対応を進めていく予定である。また、臨床現場でのさらなるフィードバックを基に、システムの改良を行い、より効果的なリハビリテーションを提供できるよう取り組んでいる。

〔今後の研究の方向、課題〕

「Split-force BWS Exoskeleton」の開発により、脳卒中後片麻痺患者の歩行能力改善に向けたリハビリテーション技術が大きく進展したが、今後さらなる改善と実用化に向けた課題も残されている。これらの課題に取り組み、システムの最適化を進めることで、より多くの患者に効

果的なリハビリテーションを提供することが期待される。

4.1 システムのさらなる改良

本システムは、足関節アシストと左右独立免荷システムを組み合わせた技術であるが、歩行アシストのパラメータ設定が複雑である点が課題となっている。理学療法士がパラメータを手動で調整する必要があるため、習熟が求められるため、標準パラメータセットを導入することで調整の負担を軽減し、広範な臨床現場での使用が容易になることが期待される。

また、歩行の個別性に応じたアシストタイミングや強度の自動化、操作の省力化も今後の重要な課題である。現在、AIによる移動推定器が、脳卒中片麻痺患者の多様な歩容タイミングをリアルタイムで位相情報に変換することにより、足関節ロボットのアシストタイミングを位相空間で調整する技術が実現されている。この技術により、歩行速度や歩幅が変化しても一度最適化されたパラメータで対応可能となるが、個別の歩行に対する微調整をさらにAIによる自動化で実現することがシステム普及の鍵となる。

加えて、物理的・力学的な調整だけでなく、患者が感じる「歩きやすさ」などの内観をどのようにパラメータに反映させるかも重要な課題である。患者が「歩きやすい」と感じる必要が必ずしもリハビリテーションの効果に直結しない場合があり、この内観を最適に活用しつつ、歩行機能の向上に結びつける方法の検討が求められる。

4.2 薬事対応と実用化に向けた取り組み

「Split-force BWS Exoskeleton」の実用化には、医療機器としての認証取得が不可欠である。ISO13485に基づいた品質管理を実施し、リスクマネジメントの手順に従って安全性を確保する必要がある。現在、薬事申請に向けた準備が進められており、製品の医療機器の安全性を評価するための評価バッテリーの開発も進行中である。PMDAや第三者認証機関との協議を通じ、

まず認証品としての実用化を目指している。

さらに、市販化に向けた製造プロセスの確立が求められており、コスト削減や生産性向上を目指した改良が進められている。製造販売企業との連携を強化し、製造体制の構築も必要となるが、AI要素や空気圧人工筋の技術に対応できる企業が少ないため、スタートアップ創出を含めた新たな医療機器の製造製販体制が必要である。

また、普及促進のためには、次世代のリハビリテーションを担う臨床人材の育成も重要である。大学や病院と連携し、療法士に向けた教育体制を整備する予定である。さらに、介護支援や生活支援技術^[6]としての展開も視野に入れている。

今後は、これらの課題に取り組み、より多くの患者に安全・安心で効果的な歩行リハビリテーションを提供できるよう実用化と普及を進めていく。「人と機械の融和」を実現し、患者の歩行機能の回復と生活の質向上に貢献することを目指す。

[成果の発表、論文など]

- [1] Yasuhisa Hirata, Tomoyuki Noda, Ichiro Miyai. "Background on country healthcare system, rehabilitation standard of care, stroke rehabilitation and rehabilitation and assistive robotics in Japan." Book chapter 10 in "Rehabilitation Robots for Neuro-rehabilitation in High-, Low-, and Middle-Income Countries: Current Practice, Barriers, and Future Directions", edited by Michelle Jillian Johnson and Rochelle J. Mendonca, Elsevier ISBN: 9780323919319
- [2] Takai A, Teramae T, Noda T, Ishihara K, Furukawa JI, Fujimoto H, Hatakenaka M, Fujita N, Jino A, Hiramatsu Y, Miyai I, Morimoto J. Development of split-force-controlled body weight support (SF-BWS) robot for gait rehabilitation. Front Hum Neurosci. 2023 Jul 11; 17: 1197380. doi: 10.3389/fnhum.2023.1197380.
- [3] H. Asai, T. Noda, T. Teramae and J. Morimoto, "Modeling Inverse Airflow Dynamics Toward Fast Movement Generation Using Pneumatic Artificial Muscle With Long Air Tubes," in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 29, no. 4, pp.

3038-3046, Aug. 2024, doi: 10.1109/TMECH.2024.3400622

- [4] 藤本宏明, 藤田暢一, 平松佑一, 寺前達也, 野田智之, 宮井一郎, “左右独立免荷装置および足関節ロボットの片麻痺歩行に対する併用効果”, 第61回日本リハビリテーション医学会学術集会, 2024年6月
- [5] 野田智之, 寺前達也, 藤本宏明, 藤田暢一, 平松佑一, 高井飛鳥, 宮井一郎” 足関節アシストと左右独立免荷アシストを連動させた歩行支援ロボットの開発と脳卒中後片麻痺患者1例での歩行推進力の評価” 第42回日本ロボット学会学術講演会, 大阪工業大学 (大阪), 2024年9月
- [6] 野田智之, 寺前達也 “空間移動型免荷システムのための空気圧人工筋による体重免荷技術の開発.” 第41回日本ロボット学会学術講演会, 仙台国際センター (宮城県), 2023年9月 (優秀講演賞受賞)
- [7] 野田智之, 寺前達也. “歩行ニューロリハビリテーションにおける暗黙知をデジタル化するインタフェースの研究開発.” 第41回日本ロボット学会学術講演会, 仙台国際センター (宮城県), 2023年9月
- [8] 新明俊英, 新明俊英, 瀧口述弘, 瀧口述弘, 瀧口述弘, 坂本純美, 大前麻希, 寺前達也, 野田智之. “脳卒中一症例に対して足関節ロボットによる底屈アシストが両脚支持期、単脚支持期に与える影響.” 第48回日本運動療学会学術集会, 千里ライフサイエンスセンター (大阪府), 2023年6月
- [9] 新明俊英, 瀧口述弘, 藤島弘樹, 平野佑典, 寺前達也, 野田智之. “ロボットアシストを加えたトレッドミル歩行練習が平地歩行速度を向上させた一例.” 第60回日本リハビリテーション医学会学術集会, 福岡国際センター (福岡県), 2023年6月

[学会展示・アウトリーチ]

寺前達也, 野田智之. 学会併設機器展示: 第48回日本運動療学会学術集会, 千里ライフサイエンスセンター (大阪府), 2023年6月

寺前達也, 浅井飛鷹, 野田智之. 学会併設機器展示: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2022, 京都国際会議場 (京都府), 2022年10月

[招待講演]

野田智之. “技術講演: 身体をしなやかにアシストするアクチュエータ技術.” 第1回アクチュエーション委員会, オンライン, 2023年6月

野田智之. “ロボットの身体拡張で運動感覚を思い出すニューロリハビリテーション.” 第21回日本神経理学療法学会学術大会, パシフィコ横浜 (神奈川県), 2023年9月

野田智之. “病気になる前の歩行を思い出すニューロリハビリテーションのためのロボット.” 中学生・高校生のためのヒューマンサイエンス・エンジニアリングカフェ, 奈良学園大学 (奈良), 2024年3月

野田智之. “技術講演: 身体をしなやかにアシストするアクチュエータ技術.” 第1回アクチュエーション委員会, オンライン, 2023年6月

野田智之. “個別性に適応するアシストを実現するためのAI・ロボットの研究開発.” 東京バイオメーカー・イノベーション技術研究組合第12回研究交流フォーラム, 東京都, 2024年7月

野田智之. “アシスト中の動的透明性を向上した上肢肩リハビリテーションロボットの研究開発”, 日本リハビリテーション医療デジタルトランスフォーメーション学会 第2回学術集会, 幕張メッセ (千葉), 2024年7月

野田智之. “人の身体と融和するリハビリテーションロボットの研究開発.” 九州工業大学 2023年度「生命体工学セミナー」, オンライン, 2024年1月

野田智之. “ニューロリハビリテーションを高度化するインタフェース・アシスト技術の研究開発.” 九州工業大学大学院生命体工学研究科 2023年度「AARセミナー」(福岡) 2024年1月

野田智之. “VR・ロボット統合型リハビリテーション・生活訓練システム.” 活力ある社会を創る適応自在AIロボット群シンポジウム, 東北大学 (宮城県), 2023年7月

野田智之. “ニューロリハビリテーションを高度化するためのロボット・AIの開発.” 第48回日本運動療学会学術集会, 千里ライフサイエンスセンター (大阪府), 2023年6月 (学会併設展示における講演)



研究助成成果報告(抄録)

[成果報告の抄録は https://www.tateisi-f.org/research_r/books/033.html からご覧いただけます]

(年度順五十音順)

[研究助成(A)]

1. 人とモノを繋げるウェアラブル光学検査グローブの開発と触診型分析への応用展開 (2211007)

Development of Wearable Optical Inspection Gloves Connecting People and Objects and their Applications to Tactile Analysis

河野 行雄 中央大学 理工学部 教授

本研究では、形態を自在に変えられる光センサシートを作製し、その光検出信号の熱的・機械的安定性を検証した。さらに、本センサシートによる検査応用の一例として、サンプル非採取の水質検査を実証した。今後、任意の形状の測定対象を、所望の場所で簡便に検査することに貢献できると期待される。

2. 人体・ロボットに纏う大面積伸縮性エレクトロクロミックディスプレイ (2211025)

A Large Area Stretchable Electrochromic Display for the Skin of Human and Robot

松久直司 東京大学 先端科学技術センター 准教授

本研究の目的は、伸縮性のディスプレイ素子の柔軟性を極限まで高め、皮膚の細かい皺やロボットなどの自由曲面に密着するディスプレイの実現である。その要素として高導電性・高伸長性の伸縮性導体材料、極薄電解質層を開発した。それを用いて皮膚に非常に高い密着性を示すディスプレイ素子の開発と、義手用脈波デバイスの開発に成功した。

3. 生体電磁応答に基づく指識別の実現と拡張入力インターフェースの創出 (2211027)

Bioelectromagnetic-response-based Input Interface for Mobile Devices

— Finger Identification Using Bioimpedance Characteristics —

村松大陸 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 准教授

本研究ではモバイル機器の操作性向上を目的として、バイオイम्ピーダンスによりタッチパネルを操作する指の種類を識別して情報入力機能を向上する次世代の拡張情報入力インターフェースを創出する。スマートフォンの使用を模擬した実験により、親指と他の指のバイオイम्ピーダンス特性を明確に分離し、高精度な識別が可能であることを確認し、提案手法の有効性を示した。

4. 折紙工学技術を用いた細胞の3D立体構造の構築 (2221016)

Construction of 3D structure of cells using origami engineering technology

繁富(栗林)香織 北海道大学 大学院教育推進機構 准教授

計算アルゴリズム、微細加工と日本の伝統の折り紙の技術を調和し、2D平面状に培養した細胞を折り畳み、立体構造を構築する方法の確立を目指す。細胞の形状と分化・機能とは深い関わりがあることが知られており、細胞の形状を自在に制御できるようになれば、狙った臓器を組織させることが可能となり、再生医療に大きなインパクトを与えることが期待できる。

5. PDMS バias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 (2221018)

Development of tactile display using PDMS bias spring and shape memory alloy thick film

徐 嘉 楽 和歌山工業高等専門学校 知能機械工学科 准教授

人間の指先に触覚情報を提示する触覚ディスプレイの実現を目指し、形状記憶合金 (SMA) アクチュエータと組み合わせるバイアスバネの作製プロセスの簡略化および SMA アクチュエータとの接合時の高精度でのアラメント手法の確立を行った。また、作製プロセスの簡略化を図るため、Cu キャップおよびフレーム層の段付き構造の形成を可能にした。

6. 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 (2221025)

Development of Technology for Suppressing Driver Frustration Using False-Heart Rate Feedback

藤 原 幸 一 名古屋大学 大学院工学研究科 准教授

本研究は、運転中のドライバに実際の心拍数より遅い心音を聞かせることで、フラストレーションを軽減する運転支援技術を開発した。ドライビングシミュレータを用いた 50 名の被験者による実験で、実際の心拍数より 20 bpm 遅い疑似心拍フィードバックが、運転操作を妨げずにフラストレーションを軽減することが示された。本研究成果は、あおり運転抑止に貢献できる。

7. 太陽光型植物工場のための生育状況適応可能な水蒸気飽差制御システムの開発 (2231001)

Development of Vapor Pressure Deficit Control System Adapting to Growing for Sunlight-type Plant Factory

浅 野 洋 介 木更津工業高等専門学校 電気電子工学科 准教授

植物工場において生育状況に適応可能な水蒸気飽差制御手法の確立を目的として、Intelligent PID 制御を用いて水蒸気飽差制御を実施するとともに、トマト葉の気孔を顕微鏡カメラにより観測し、気孔開度を推定することを目指した。提案制御手法および画像処理アルゴリズムによりモデルフリー制御が実現されるとともに、観測画像から気孔開度推定が可能となった。

8. 日常生活行動の中での日用品を介した回想支援インタラクションシステムの開発 (2231002)

Development of an Interactive System for Memory Recall Support Through Everyday Items in Daily Life

泉 朋 子 立命館大学 情報理工学部 教授

自然な日常生活行動の中で思い出を想起する機会を効果的に提供するために、日用品であるモノとのインタラクションを介して想起のきっかけとなる情報を提示する環境の実現可能性について検討した。モノから語り掛けられていると感じる発話表現と、衣服、ペン、本、テレビなどの画像出力装置を対象とした思い出想起を促す情報提示の提案とその効果検証を行った。

9. 片側義足による走動作の再獲得過程を解明する計算機シミュレーション (2231003)

Computer simulation study to reveal the process of reacquisition of running with unilateral prosthesis

市 村 大 輔 産業技術総合研究所 人工知能研究センター 研究員

本研究は、二次元神経筋骨格モデルを用いた計算機シミュレーションより、下肢切断者がどのようにして走動作を獲得するのかを検討した。健常モデルと片側義足モデルに、最適化計算を行い、それぞれ走動作を獲得させた。片足義足モデルでは左右非対称な走動作が確認できた。今後は本シミュレーションの妥当性を検証していく。

10. 血圧の無拘束・連続推定に向けた In-bed ポリカーディオグラフの構築と融合解析 (2231004)

Construction of in-bed polycardiograph and fusion analysis for unobtrusive continuous blood pressure estimation

植 野 彰 規 東京電機大学 大学院工学研究科 教 授

4つの心臓・拍動信号（ECG, BCG, ICG, PPG）を、着衣を介して背部から同時計測するための要素技術研究を進めた。ECG と BCG の非接触同時計測信号からは、平均血圧を推定する方法を検討した。ICG については着衣を介しての生体インピーダンススペクトルの算出に先鞭をつけた。ECG と PPG の非接触同時計測に成功するとともに、非接触 ECG による心房細動検知の可能性を確認した。

11. 生体組織に埋め込み可能な生体親和性光ファイバーの設計と応用 (2231005)

Design and Application of Biocompatible Optical Fibers Implantable in Living Tissues

内 田 紀 之 東京農工大学 大学院応用化学研究科 特任講師

本研究のシーズ技術である生体親和性光ファイバーの構成要素である酸化チタンナノシートの表面コーティングを行なった。これにより、レーザー伝送能に関連する屈折率などの物性向上を実現した。また、材料のバイオマテリアル応用に向け、モデルケースとしてペプチドゲルを利用してマウスの脳機能の制御に成功した。

12. Motion Hacking を用いた運動への介入から紐解く昆虫の適応能力 (2231006)

Motion Hacking Intervention Reveals Adaptation Mechanism in Insects

大 脇 大 東北大学 大学院工学研究科 准教授

本研究では、Motion Hacking 法を用いることで、個体間の一連のトルカー刺激入力時間測定を行い、ナナフシの関節における電気刺激入力とトルク発生の関係特徴づける新たな結果を提示した。この結果に基づき、位相応答曲線を用いることで、ナナフシの歩行生成を司る適応メカニズムに迫る。さらに、ミズクラゲの浮遊運動制御への応用可能性も示しつつある。

13. 構造多様な分子の精密分離と情報工学の融合によるバイオマーカー探索法の確立 (2231007)

Development of a biomarker finding method by combining separation and information engineering for the molecules in structural diverse group

岡 本 行 広 大阪大学 大学院基礎工学研究科 准教授

現状法とは異なる原理に基づいたリポドミクス解析手法に関して研究を実施した。その結果、細胞からの脂質抽出を高効率に実現できる可能性を見出すとともに、脂質分子の同定を非標識で実現することに成功した。今後、さらに条件の最適化を図り、人力と機械の融合によるリポドミクス解析法の実現を目指す。

14. 過剰訓練に伴う運動障害の機能正常化トレーニングシステムの創出 (2231008)

Development of Diagnostic and Training Methods for Movement Disorders Associated with Overtraining

奥 貴 紀 芝浦工業大学 デザイン工学部 助 教

局所性ジストニア（TSFD）は、音楽家などの反復的な巧緻動作の熟練者に発症する、運動の巧緻性低下を伴う脳神経疾患である。本研究では、ピアニストを対象として、TSFD の症状に影響を与えない非接触の手指運動計測システムを開発し、機械学習と多変量解析を用いて、TSFD の診断補助アルゴリズムの開発と、TSFD 患者の関節運動協調パターンの非対称性についての検討を行った。

15. 鋼管柱目視検査の省力化に向けた水中ロボットの制御および自己位置推定手法の構築 (2231009)

Control and Self-localization methods of an Underwater Vehicle for Support of Visual Inspections of Steel Pipes

織田 泰 彰 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 情報科学領域 助 教

水中構造物の目視検査を支援する遠隔操縦型水中ビークル（ROV）操縦時の負担を、自動化を主軸として軽減するために、逆最適制御を応用した。さらに、自動化が難しい状況にも対応するための協調制御手法を構築した。また、水中構造物周りでの局所的な自己位置推定手法とテザーケーブルの絡まりを考慮した経路生成手法を構築した。実験水槽と実践的環境において実際の ROV を用いて提案手法の有効性を評価した。

16. マルチモーダルナノ分光計測による材料認識ペプチドの機能解明 (2231010)

Multi-modal nanospectroscopy reveals biological functions of solid-binding peptides

加 藤 遼 徳島大学 ポスト LED フォトニクス研究所 特任助教

ナノ材料や生体分子と光の相互作用を直接ナノ計測することで、材料の物理構造や物理化学的な特性、生体分子構造と機能の関係を解明できる。本研究課題では、生体分子の構造情報と無機材料の電子特性を1分子レベルでマルチモーダル観察する技術を開発した。具体的には、蛍光や発光、またはラマン散乱を局所的に計測するナノ分光技術の開発を行なった。

17. 精神疾患の診断・早期発見に向けた歩行観察・イメージ・遂行時の脳ネットワークの解明 (2231011)

Cortical networks during gait observation, imagery and execution for diagnosis and early detection of mental disorders

金子 直 嗣 東京大学 大学院総合文化研究科 助 教

本研究は、精神疾患の診断と早期発見を目指し、安静時、運動・認知課題遂行時の脳機能ネットワークの解明を目的とした。健常者と精神疾患患者から計測した安静時と課題遂行時の脳波を用いて脳機能ネットワークを評価した。本研究成果は、精神疾患の分類モデルの構築につながる。

18. 転移性リンパ節の術中検知に向けた執刀医協働型ロボティック PET ディテクターの開発 (2231012)

Surgeon-assisted Robotic PET detector for intraoperative detecting Metastatic Lymph Nodes

川 村 和 也 千葉大学 フロンティア医工学センター 准教授

本研究では、術中の転移性リンパ節の位置特定を支援するための機器の提案を行い、自動探索に向けた rPET の試作、執刀医協働に向けた動きを妨げない構造の検討、インタフェースの形状検討を行った。模擬環境下における計測にて、計測性能の目標を達成した。今後は、機能統合とともに、制約した条件を緩和し、実環境での検証に向けたシステム開発を進める。

19. ハイドロゲルソフトロボットによる細胞組織の高速形成システムの開発 (2231013)

Rapid cellular tissue formation system using a hydrogel soft robot

倉 科 佑 太 東京農工大学 工学研究院 准教授

細胞塊であるスフェロイドは、様々な形成方法がある。しかし、従来方法では高速にスフェロイドを形成する方法は確立されていない。本研究では、シリコーンゴムとアガロースゲルで成形した空気圧式ソフトアクチュエータを組み合わせ、圧力を加えることで、スフェロイドを形成する方法を提案した。軟骨細胞に空気圧を加えると、短時間でスフェロイドの形成が確認された。

[成果報告の全文は https://www.tateisi-f.org/research_r/books/033.html からご覧いただけます]

20. セレン薄膜を用いた軽く柔軟い piezophotronic 型ひずみセンサの研究 (2231014)

Selenium thin film based flexible piezophotronic device and its application to strain sensor

小 林 大 造 立命館大学 理工学部 教 授

圧電分極を利用することで、ひずみ応答性を持つフィルム型セレン光電変換デバイスを開発した。光起電力のひずみ応答性を利用すれば電源フリーなひずみ検出が期待できる。脆い ITO 透明電極に替えて、曲げ耐久性に優れたグラフェン系透明導電膜上へのデバイス形成と動作確認ができた。

21. 環境との高い親和性を実現する拮抗弾性腱駆動型ロボットの設計と運動制御 (2231015)

Design and motion control for a robot with an antagonistic elastic mechanism for better physical interaction with surroundings

佐 藤 隆 紀 電気通信大学 大学院情報理工学研究科 助 教

ロボットが環境との接触を優位に実行し、積極的に相互作用を行って環境反力を運動に活用することができれば、ロボットの運動性能の更なる向上が期待できる。本研究では、環境反力の活用を可能にするための、動物の筋骨格構造から着想した弾性を有するロボットの関節駆動機構の設計および運動制御を提案した。

22. 遊具で遊ぶ子どもの動作から運動制御能力を評価するシステムの開発 (2231017)

進 矢 正 宏 広島大学 大学院人間社会科学研究科 准教授

1 歳児から 6 歳児までの幼児を対象として、こどもが自由に歩く動作を、マーカーレスモーションキャプチャーを用いて計測した。非直線歩行時の歩行変数や重心の動的安定性を解析することで、こどもの歩行発達を解析することが可能となった。得られた結果は、典型発達児の初期の歩行において、内外側方向が不安定であり、動作が大きくばらついているということが示された。

23. 音楽の身体知 —— 音楽の感動を増幅する感覚共有システムの開発 —— (2231018)

Embodied Knowledge of Music —— Feedbacksystem of Bodily Sensation in Music ——

大 黒 達 也 東京大学 大学院情報理工学系学研究科・次世代知能科学研究センター 准教授

脳は身体を通して音楽を知覚し感動する。本研究では、音楽体験時の身体感覚が音楽感性とどう関わっているかを明らかにし、その結果を元に身体感覚（心拍）をフィードバックすると音楽感性がどう変容するかを計算論・神経生理的に理解した。その理解をもとに、音楽の「感動」に関わる内受容感覚を脳に伝え、感動を増幅するフィードバックシステムを開発した。

24. ロバストな集積化酸化物分子センサの熱制御による生体分子群の識別 (2231019)

Temperature-modulated integrated oxide molecular sensors for robust chemical discrimination

高 橋 綱 己 東京大学 大学院工学系研究科 准教授

本研究は、酸化物ナノ薄膜センサアレイのジュール自己加熱動作により、バナナの熟成度推定と香料の識別を同一素子によって実現した。各センサの温度を個別に制御することで、複雑な匂いの識別を可能にし、高精度かつエネルギー効率の高いセンサシステムの開発に成功した。今後、生体分子群等のより複雑な化学識別に展開する。

25. 車椅子介助者のインピーダンス推定と付与を両立した小型可変剛性ハンドルの開発 (2231020)

A Variable Stiffness Handle with Impedance Estimation and Assistance to Wheelchair Caregivers

中 島 康 貴 九州大学 大学院工学研究院 准教授

本研究では、車椅子介助初心者の身体負担低減のために車椅子を矢状面方向に押す力（押付力）を減少させる手法として、介助者の上肢の機械インピーダンスのうち、剛性を小さくするような可変剛性バネハンドルを開発した。加速と定常速度の区間に応じてバネ定数を切り替える提案手法により、押付力の積分値が小さくなり、提案手法の有効性が示唆された。

26. 複数の錯覚現象生起による知覚力覚に関する研究 (2231021)

中 村 拓 人 東京大学 大学院情報理工学系研究科 特任助教

現在の VR 体験では、体験によって発生するべき反力や力覚の提示が普及していない。これは、力覚提示が一般的に大型で接地した駆動装置を必要とするためである。本研究ではこうした背景に対して、複数の力覚を生起させる錯覚現象を同時に提示することで、より強い力覚提示を体験を阻害しないサイズのデバイスで実現させる。本研究では特に現象の特性を調査する実験を実施した。

27. 体動で発電する生体適合性エネルギーハーベスト素子の開発 (2231022)

Development of biocompatible body-movement energy harvesters

野 田 祐 樹 大阪大学 産業科学研究所 先進電子デバイス研究分野 特任助教

機械的伸縮性と生理的安全性に優れた金ナノワイヤからなるネットワーク電極と有機高分子絶縁体を用いて摩擦帯電素子を構築しその発電特性を評価した。レーザーを用いたナノワイヤ間を溶接するプロセス、ワイヤ表面に高分子をコーティングするプロセスを新規開発することで、最終的に発電素子として機能することが証明された。

28. バーチャルリアリティにおける知覚の正確さと視点自由度の関連の検討 (2231023)

Dynamic Head Movement Redefines Perceived Size

日 根 恭 子 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 助 教

本研究の目的は、知覚の正確さに、バーチャルリアリティ（VR）の特徴である視点自由度が、どのような影響を及ぼすかを科学的に解明することである。目標を達成するため、VR の視点自由度を変更することのできるプログラムの作成し、心理物理実験を実施した。その結果、視点自由度が大きくなるほど刺激サイズの効果が小さくなり、違いが分かりづらくなることが示唆された。

29. 点字ブロック及び全方位環境の認識に基づく自動走行車椅子と利用者間の調和 (2231025)

Harmony Between an Autonomous Wheelchair and Its User Based on the Recognition of Braille Blocks and Omnidirectional Environment

ブレイマチャンドラ チンタカ 芝浦工業大学 大学院理工学研究科 教 授

点字ブロック及び全方位環境を認識しながら自動走行できる車椅子と利用者間の調和について検討した。特に車椅子に搭載の全天球カメラから得た画像を基に、AI を活用して全方位の点字ブロックを認識する方法を開発した。さらに点字ブロックと車椅子間の距離関係を推定する新規の手法を提案し、点字ブロックと一定の距離を保ちつつ車椅子を自動走行させることに成功した。

30. VR と非侵襲センサを用いた在宅リハビリテーションのための人体ウェルビーイング (2231026)

Human body well-being using Virtual Reality and non-invasive sensors for motor rehabilitation at home

Hernandez Vincent 東京農工大学 大学院工学研究科 客員准教授

私たちの研究では、低コストのセンサ技術とデータ分析手法を統合し、在宅リハビリテーション分野の発展に重点を置いた。敵対的オートエンコーダでデータを次元削減することで、運動能力の変化の理解とパーソナライズ化された治療の支援を可能とした。この技術は、動的なリハビリテーション環境の実現と患者の回復評価の簡素化に貢献できるだろう。

31. 超音波エレクトロニクスと新規音響増感システムを融合させた革新的音響力学療法の構築 (2231027)

Innovative Acoustodynamic Therapy by Integrating Ultrasonic Electronics and Novel Acoustic Sensitization System

本 田 雄 士 東京工業大学 科学技術創成研究院 助 教

本研究は、相転移材料を基盤とした音響増感システムと超音波エレクトロニクスを組み合わせ音響力学療法の構築を目指した。この音響増感材料は、腫瘍細胞に取り込まれた後に、凝集状態に相転移し、超音波照射時のキャビテーションを増強し、抗腫瘍効果を示した。さらに、この材料は生体内でも腫瘍内に取り込まれることから、音響力学療法ツールとしての可能性を示した。

32. インフラ点検のための壁面移動可能な自動操舵付きプロペラ推進移動ロボットの実現 (2231030)

Development of a Propeller-Propelled, Wall-Climbing Robot for Infrastructure Inspection

山 内 悠 秋田県立大学 システム科学技術学部 助 教

日本のインフラは老朽化が進行し、深刻な社会問題となっている。本研究では、移動点検ロボットを駆動するプロペラ推進移動機構の開発およびその制御方法を提案する。提案した機構は、2つのロータの方向を個別に制御することで、機構の姿勢を合力方向へ安定に追従させることができる。この推進機構を搭載した車輪移動ロボットを開発し、自動操舵が行われることを示した。

33. 有機電気化学トランジスタを用いた生体信号計測・処理システムの開発 (2231031)

Development of functional organic electrochemical transistors for biosensing and signal processing

山 本 俊 介 京都大学 大学院工学研究科 准教授

本研究では OECT 素子を生体信号取得と信号処理の両方に利用すべく、高分子ブレンドの利用および高分子ハイブリッドナノ薄膜の積層による特性制御を検討した。具体的には ① 応答速度制御のためにイオン伝導性高分子の添加, ② 温度補償を可能とするために温度応答ポリマーを混合したブレンド膜の利用, ③ 金属有機構造体薄膜からなるイオン制御層の作製検討を行った。

34. 立体三次元配置多電極による微生物の高速電気イメージングフローサイトメトリーの実現 (2231032)

Realization of High-Speed Electrical Imaging Flow Cytometry of Microorganisms Using Three-Dimensional Arrangement Multi-Electrodes

ヤリクン ヤシャイラ 奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学領域 准教授

本研究では、ナノインターバル電極と流路寸法可変型マイクロ流体デバイスを用いて、既存のインピーダンス計測システムの検出能力を大幅に向上させ、直径 200 nm 以下の微粒子の形態を高感度に計測できた。光学顕微鏡を使用せずに A4 サイズのインピーダンス計測システムで試料のナノスケール形態特徴の測定ができることは生命科学、疾病解析、再生医療のなど分野に大きな変革を与えると信じる。

35. テキスト付き画像と感情ラベルを付与した画像向けの画像キャプションと質問応答 (2231033)

Generating Captions/ Answers with Multi-level Multimodal Encoder on Text-based Images with Reading Comprehension Tasks

楊 巍 慶応義塾大学 大学院理工学研究科 特任助教

一般的な画像説明文生成に比べ、テキスト付き画像向けの画像キャプションと質問応答タスクは、画像全体・画像中の物体・テキストを統合する点において挑戦的課題である。既存手法と異なり、画像全体と複数粒度のマルチモーダル OCR 特徴を導入し、画像全体と複数のモダリティの間の相互注意機構も導入した。提案手法がベースライン手法を全ての評価尺度で上回った。

36. 育児ストレス軽減を促す情報基盤構築に向けた父母の心身疲労度センシング (2231034)

Sensing of Parents' Mental and Physical Fatigue Levels for Building an Information Infrastructure to Promote Reduction of Childcare Stress

吉 田 さちね 東邦大学 医学部医学科 講師

育児中の父母のストレスコーピングに有用な情報基盤構築に向けて、ウェアラブル心拍センサを付けた肌着と心理尺度を用いて、心身疲労度センシングを行った。検討の結果、父母ともに休日の夜の主観的心身疲労感は、同日夜の睡眠時平均心拍数に影響することが示唆され、簡便な視覚評価スケールを使った疲労感調査が適した休息タイプの提案に役立つ可能性が見出された。

37. 脳波計測とアプリを利用した加齢による転倒リスク判定と改善システムへの応用 (2231035)

Electroencephalography and an app to assess the risk of age-related falls and its application to risk reduction

吉 村 奈津江 東京工業大学 情報理工学院 教授

本研究では、感覚統合機能のより簡易的な評価を可能とするシステムの構築を目的として、仮想現実を用いた運動パラダイムを構築し、その成績と、脳波計測から解析した安静時の脳領域間の連携、および身体運動機能検査の成績に相関が認められるか検証した。結果から、本研究の運動パラダイムの有用性および、転倒リスクの検知に貢献できる可能性が示唆された。

[研究助成(B)]

1. 反射と思考の融合による即時即応の次世代四脚ロボット制御法 (2211903)

Next-Generation Quadruped Robot Control Method for Immediate Response through the Fusion of Reflex and Thinking

増 田 容 一 大阪大学 大学院工学研究科 助教

本研究では、反射型制御により質の異なる運動間のシームレスな切り替えを実現するための基礎実験を行い重要な知見を得た。上記の実験は、複数の運動間であっても反射則の大部分が共通する可能性を示している。

2. 人間とロボットの持つ世界モデルの共有を通じた調和的行動生成の実現 (2211904)

Cooperative action generation by sharing world models between humans and robots

森 本 淳 京都大学 大学院情報学研究科 教授

ロボットが人間との調和的行動を生成するためには、周囲の人間の動作戦略や環境をいかに認識するか、つまり周りの世界の状況をロボットが理解する仕組みが必要となる。本研究では、動作課題の達成度合いからロボットが周りの世界を認識することで、状況に応じてロボットの制御システムを適応させる手法の開発を目指した。

[成果報告の全文は https://www.tateisi-f.org/research_r/books/033.html からご覧いただけます]

3. 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 (2221901)

Smart-home directly connected to the user's brain using digital-twin

小 谷 潔 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教 授

本研究では、デジタルツインと BCI を融合することで、利用者の脳からの指令一つで部屋の片づけや望みの場所への車椅子移動などを行えるシステムの構築を目指した。脳機械インタフェースの基礎的な検討の下、物体位置情報およびその履歴を用いて拡張現実技術によって利用者に提示し、脳波のリアルタイム解析から意図の遂行を可能とするシステムを構築することができた。

4. 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 (2221902)

Prediction of hemodynamic instability and prevention of sudden cardiac arrest in the PICU using computational fluid dynamics and machine learning

杉 本 晃 一 千葉大学 大学院工学研究院 特任教授

ICU で心臓手術後の血行動態データを収集し、患者個別血行動態モデルで血行動態を再現、解析、血行動態の安定性に影響する血行動態パラメーターを予測した。特に先天性心疾患とフォンタン循環に着目し、呼吸や側副血行路の影響を、AI を用いて解析した。また、心不全患者の患者個別血行動態モデルを作成し、大動脈弁狭窄による心機能影響も解析した。

5. 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 —— (2221903)

Wagashi IT Archiving and Utilization

—— Technology for Recording and Reconstructing Texture and Appearance and Supporting the Creation of New Japanese Sweets ——

中 村 裕 美 東京都市大学 メディア情報学部 情報システム学科 准教授

本研究は、和菓子文化の記録と新たな構築を支援する情報技術の構築を目的とし、ロボットアームによる自動撮影および再撮影システムの構築による長期保存の難しい和菓子の 3 次元形状および外観をアーカイブする手法を構築した。また、深層学習を用いた新規和菓子の生成および分類を試行し、新規和菓子創成のための支援技術を検討した。

[研究助成(C)]

1. 視線深度を用いた MR・VR における三次元視線入力提案 (2217007)

Proposal for 3D Gaze Input Using Gaze Depth in Mixed Reality and Virtual Reality

崔 明 根 筑波大学 理工情報生命学術院 システム情報系 特別研究員

MR や VR 環境における主な入力手法として、視線入力は最も有力な入力手法の一つである。一方で、視線を用いた入力手法は遮蔽されたターゲットの選択が難しいという課題を抱えている。これは他のオブジェクトによる遮蔽により対象物の視認可能領域が狭まるためである。ゆえに本研究助成では視線のみで遮蔽されたオブジェクトを選択する手法の開発を目指した。

2. 皮膚貼付型ウェアラブル超音波撮像装置の開発 (2217008)

Skin-attachable wearable ultrasound imaging device

野 田 拓 実 東京大学 大学院 工学系研究科 博士後期課程

フレキシブル超音波プローブを用いた生体内部の日常的なモニタリングを実現するために、深層学習を用いてプローブ内部の超音波素子の配置をリアルタイムに推定する手法を開発した。評価実験の結果、提案手法による推定時間は 0.045 秒であり、実際の生体計測データに対しても正解に近い素子配置が推定され、高画質な超音波画像が得られることが示された。

3. 他者とのインタラクションを考慮したハイブリッド型モデル予測制御による運転知能の創出 (2217009)

Autonomous Driving using Hybrid Model Predictive Control Considering Interactions with Other Traffic Agents

本 田 康 平 名古屋大学 大学院工学研究科 博士後期課程

自動運転の課題として、周囲の交通参加者とのインタラクション考慮を含めた膨大な運転タスクの対処が挙げられる。本研究では多様なタスクに対して拡張性を備えた運転行動計画システムを創発した。提案法ではMPCの最適制御問題を状況に応じて生成し、滑らかに切り替えながら走行する。またその最適解分布は多峰性となりうるため、その扱いに長けた最適化法を提案した。

4. 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 (2227001)

Revealing the Predictive Control Mechanism of the Medial Olivocochlear Reflex toward the Enhancement of Inner Ear Protection

石 坂 勇 毅 千葉大学 大学院融合理工学府 基幹工学専攻医工学コース 博士後期課程

オリーブ蝸牛束反射は、強大音から内耳を保護する役割を果たしている。本研究では、オリーブ蝸牛束反射が音列の規則性に基づく予期によって増強すること、その増強に聴覚的注意が必要であることを示した。これは、オリーブ蝸牛束反射強度の個人差だけでなく、予測的制御の良し悪しも騒音性難聴のリスク要因となりうることを示唆している。

5. 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 (2227004)

Realization of neural interface using electric synapse-like electrodes based on carbon nanotubes

菅 野 翔一朗 東京工業大学・日本学術振興会特別研究員 (PD)

本研究は高性能な神経マシンインタフェースの実現に向けた神経の長時間細胞内刺激手法の確立が目的である。細胞膜に挿入したナノチューブを介する細胞・電極間のシグナル伝達構築によって、細胞内刺激手法の課題であった刺激可能時間の短さの解決を目指すため、必要な要素技術開発を行った。

6. 人間からの補助情報を利用した学習なしセマンティックセグメンテーション手法の開発 (2237002)

Development of a learning-free semantic segmentation method using auxiliary information from humans

加 藤 聡 太 株式会社センスタイムジャパン リサーチャー

本研究では、学習済み深層学習モデルに対し、適用させたい新たなデータの情報を人間側が補助的に与え、モデルをチューニングすることにより、少量のデータで未知のデータに適応することができる新たなセグメンテーション手法の考案を目的とする。これにより、大量の画像や教師ラベル、膨大な計算資源がなくとも、高精度なセグメンテーションを行うことが可能となる。



国 際 交 流 助 成 成 果

[成果報告の抄録は https://www.tateisi-f.org/research_r/books/033.html からご覧いただけます]

[国際交流 国際会議発表]

(参加会議・発表論文)

1. 鈴 木 志 歩 東京電機大学 理工学部 理工学科 研究員 (2232002)
国際会議名 : 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2023)
発表論文名 : A study of the relationship of hypertension to LDL concentration in retinal arteriosclerosis
開催地 (市・国) : シドニー/オーストラリア
2. 岩 谷 孟 学 大阪大学 工学研究科 博士後期課程 (2232101)
国際会議名 : 2023 Materials Research Society Fall Meeting & Exhibit
発表論文名 : Eu, O-codoped GaN-based High-Q two-dimensional photonic crystal cavities in the red region
開催地 (市・国) : ボストン/アメリカ合衆国
3. 衛 藤 易 九州大学 大学院システム情報科学府 博士後期課程 (2232102)
国際会議名 : IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2023)
発表論文名 : Scalability of PV Systems with Seamless Operation Transition between I-V Droop Control and MPPT Control for DC Bus Signaling
開催地 (市・国) : ナッシュビル/アメリカ合衆国
4. 大日方 太 一 筑波大学 大学院理工情報生命学術院 博士後期課程 (2232103)
国際会議名 : 2023 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)
発表論文名 : Estimating Finger Joint Angles with Wearable System based on Machine Learning Model Utilizing 3D Computer Graphics
開催地 (市・国) : オアフ島/アメリカ合衆国
5. 窪 田 智 徳 名古屋大学 大学院工学研究科 助 教 (2232105)
国際会議名 : The Eleventh International Conference on Human-Agent Interaction (HAI 2023)
発表論文名 : Effects of the behavior of a para-operated robot on the impression of the operator: a preliminary online study considering the robot-operator distance
開催地 (市・国) : ヨーテボリ/スウェーデン王国
6. STA. MARIAMA. THERESE 新潟大学 大学院医歯学総合研究科 博士課程 (2232106)
国際会議名 : 18th International Conference on Alzheimer's and Parkinson's Diseases Advances in Science & Therapy AD/PD™ 2024: THEME: Striving for a better future for all those affected by neurodegenerative diseases
発表論文名 : Development of a Wearable Device Aimed at Changing Cognitive Functions of Older Adults by Masticatory Behavior Change
開催地 (市・国) : リスボン/ポルトガル共和国
7. 戸 部 陽 太 京都大学 大学院医学研究科 博士後期課程 (2232107)
国際会議名 : Association for Research in Otolaryngology MidWinter Meeting 2024
発表論文名 : Different Cortical Activities Associated with Susceptibilities in Audiovisual Integration in Normal Hearing Subjects
開催地 (市・国) : アナハイム/アメリカ合衆国

8. 中 谷 千 洋 豊田工業大学 大学院 博士後期課程 (2232109)
国際会議名: International Conference on Computer Vision (ICCV2023)
発表論文名: Interaction-aware Joint Attention Estimation Using People Attributes
開催地(市・国): パリ/フランス共和国
9. 野 尻 晴 太 金沢大学 自然科学研究科 後期博士課程 (2232110)
国際会議名: International Conference on Intelligent Robot and System (IROS)
発表論文名: Flexible and slim device switching air blowing and suction by asingle airflow control
開催地(市・国): デトロイト/アメリカ合衆国
10. 山 口 眞 和 東京農工大学 大学院工学府 後期博士課程 (2232111)
国際会議名: The 37th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (IEEE MEMS 2024)
発表論文名: Improvement of transmittance and diffraction efficiency of metasurface holograms using silicon nitride
開催地(市・国): オースティン/アメリカ合衆国
11. 小 田 和 哉 摂南大学 大学院理工学研究科 博士後期課程 (2242001)
国際会議名: International Symposium on Flexible Automation (ISFA)
発表論文名: Anomaly Detection in Square Butt Joint by Friction Stir Welding Using Variational Autoencoder
開催地(市・国): シアトル/アメリカ合衆国
12. 北 田 敦 也 京都大学 大学院工学研究科 博士後期課程 (2242002)
国際会議名: 3rd Microphysiological Systems World Summit (MPS World Summit 2024)
発表論文名: Parallel cultivation and evaluation of multiple vascularized tumor spheroids using a microfluidic device
開催地(市・国): シアトル/アメリカ合衆国
13. 木 下 史 也 富山県立大学 工学部情報システム工学科 准教授 (2242003)
国際会議名: 26th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI INTERNATIONAL 2024)
発表論文名: A Study on the Effect of Free Viewing Eye Movements on Microsaccades
開催地(市・国): ワシントン D.C. /アメリカ合衆国
14. 徐 雨 曾 千葉大学 大学院融合理工学府 博士後期課程 (2242004)
国際会議名: 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society
発表論文名: Exploring the Use of Spatial Information in Emotion Classification Using Functional Connectivity and Channel Distribution
開催地(市・国): オーランド/アメリカ合衆国
15. 住 拓 磨 東北大学 材料科学高等研究所 助 教 (2242006)
国際会議名: FENS Forum 2024
発表論文名: Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing
開催地(市・国): ウィーン/オーストリア共和国
16. 竹 内 雅 樹 東京大学 工学系研究科 後期博士課程 (2242007)
国際会議名: 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE EMBS)
発表論文名: Design of vibration spectrum for electrolarynx using machine learning
開催地(市・国): オーランド/アメリカ合衆国

[成果報告の抄録は https://www.tateisi-f.org/research_r/books/033.html からご覧いただけます]

17. 西 舘 嗣 海 千葉大学 大学院融合理工学府 博士後期課程 (2242008)
国際会議名: BioEM 2024
発表論文名: Microwave surgical energy device with controllable heating region
開催地 (市・国): ハニア クレタ島/ギリシャ共和国
18. 松 田 汐 利 神戸大学 大学院システム情報学研究科 博士後期課程 (2242010)
国際会議名: Optica Imaging Congress 2024
発表論文名: Photon-Counting Fluorescence Imaging of Tobacco Cultured Cells Using Transport of Intensity Equation
開催地 (市・国): トゥールーズ/フランス共和国
19. 宮 愛 香 北海道大学 北海道大学病院 糖尿病・内分泌内科 特任助教 (2242011)
国際会議名: ENDO 2024
発表論文名: Tracking Emotional Well-being and Hormonal Interactions in Adrenal Insufficiency through Ecological Momentary Assessment
開催地 (市・国): ボストン/アメリカ合衆国

[国際交流 短期在外研究]

〈研究課題〉

1. 赤 池 麻 実 熊本大学 大学院自然科学教育部 博士後期課程 (2236101)
研究課題名: 生体内で生じる微小な力学場 (機械的な力) を解明するデバイス開発
滞 在 地: シンガポール/シンガポール共和国
2. 草 深 あやね 早稲田大学 日本学術振興会 特別研究員 (2236102)
研究課題名: チョーキング克服に向けた心理学的アプローチの開発
滞 在 地: カリフォルニア/アメリカ合衆国

[国際会議開催]

〈開催会議〉

1. 柏 祐太郎 General co-chairs (奈良先端科学技術大学院大学 助 教) (2225004)
MSR Summit 2023
会場: 北海道自治労会館/定山溪ビューホテル 開催期間: 2023 年 7 月 23 日~7 月 26 日
2. 堺 健 司 会計幹事 (岡山大学 准教授) (2225006)
東アジア超伝導エレクトロニクスシンポジウム (EASSE) 2023
会場: 岡山コンベンションセンター 開催期間: 2023 年 3 月 27 日~3 月 29 日
3. 澤 田 和 明 組織委員会副委員長 (豊橋科学技術大学 教 授) (2225007)
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
会場: 国立京都国際会館 開催期間: 2023 年 6 月 25 日~6 月 29 日
4. 鈴 木 麗 璽 現地開催委員 (名古屋大学 准教授) (2225008)
2023 年人工生命に関する国際会議
会場: 北海道大学 クラーク会館・百年記念館 開催期間: 2023 年 7 月 24 日~7 月 28 日

[成果報告の抄録は https://www.tateisi-f.org/research_r/books/033.html からご覧いただけます]

5. 岩 附 信 行 組織委員長（東京工業大学 教授・国際広報担当副学長）（2235001）
The 16th World Congress on Mechanism and Machine Science (IFTOMM WC2023)
会場：京王プラザホテル 開催期間：2023 年 11 月 5 日～11 月 10 日
6. 大 越 匡 共同組織委員長（慶應義塾大学 准教授）（2235002）
ACM MobiSys 2024 (The 22nd ACM International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services)
会場：虎の門ヒルズフォーラム 開催期間：2024 年 6 月 3 日～6 月 7 日
7. 垂 水 竜 一 国際会議座長（大阪大学 教 授）（2235004）
IUTAM Symposium on Mechanics of Soft Materials and Soft Robots
会場：東京大学 弥生講堂 一条ホール 開催期間：2024 年 5 月 17 日～5 月 18 日
8. 名 取 賢 二 実行委員長（千葉大学 准教授）（2235007）
10th IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON2024)
会場：京都リサーチパーク 開催期間：2024 年 3 月 2 日～3 月 4 日
9. 宮 崎 敏 昌 共同実行委員長（長岡技術科学大学 教 授）（2235008）
IEEE The 18th International Conference on Advanced Motion Control (AMC2024)
会場：京都リサーチパーク 開催期間：2024 年 2 月 28 日～3 月 1 日
10. 山 名 早 人 組織委員長（早稲田大学 教 授）（2235009）
IEEE International Conference on Smart Computing 2024 (IEEE SmartComp 2024)
会場：大阪国際会議場（グランキューブ大阪） 開催期間：2024 年 6 月 29 日～7 月 2 日
11. 義 久 智 樹 Local Arrangement Committee Chair（滋賀大学 教 授）（2235010）
2024 IEEE 48th Annual Computers, Software, and Applications Conference
会場：大阪大学中之島センター 開催期間：2024 年 7 月 1 日～7 月 4 日

-
- 2023 年度活動報告（業務日程・会計）
 - 2024 年度助成報告
 - 2024 年度助成金贈呈式
 - 2024 年度研究助成課題一覧
 - 2024 年度国際交流助成一覧
 - 2024 年度国際会議開催助成一覧

2023 年度活動報告

1. 主要業務日程

2023 年 4 月	2023 年度後期国際交流助成の募集開始 2023 年度国際会議開催助成の募集開始 第 8 回立石賞の募集開始
5 月	2023 年度助成金贈呈対象者決定のニュースリリース 2023 年度助成金贈呈式の開催 第 67 回理事会の開催 ・ 2022 年度事業報告および決算承認
6 月	第 68 回理事会の開催 ・ 株主権行使の承認など 第 28 回評議員会の開催 ・ 株主権行使の承認 ・ 2022 年度決算承認
8 月	2024 年度研究助成 (S) の募集開始 2023 年夏季選考委員会の開催 ・ 2023 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	2024 年度研究助成 (A) (B) (C) の募集開始 第 69 回理事会の開催 ・ 2023 年度後期国際交流助成採択候補の承認 ・ 2023 年度国際会議開催助成採択候補の承認
10 月	2023 年度後期助成金贈呈対象者決定のお知らせ 2024 年度前期国際交流助成の募集開始 助成研究成果集【第 32 号】(2023 年) 発行 2023 年度研究助成成果発表会の開催
2024 年 1 月	2024 年冬季選考委員会の開催 ・ 第 8 回立石賞選考 ・ 2024 年度研究助成 (S) 最終選考 ・ 2024 年度研究助成 (A) (B) (C), 前期国際交流助成の選考 ・ 2024 年度の助成募集案内の審議
2 月	第 70 回理事会の開催 ・ 第 8 回立石賞候補の承認 ・ 2024 年度研究助成 (S) 採択候補の承認 ・ 2024 年度研究助成 (A) (B) (C), 前期国際交流助成採択候補の承認 ・ 2024 年度の助成公募案内の承認
3 月	第 71 回理事会の開催 ・ 2024 年度事業計画および予算の承認 ・ 助成研究成果集【第 33 号】(2024 年) 発行の承認 ・ 選考委員の選任 第 29 回評議員会の開催 ・ 2024 年度事業計画および予算の承認 第 8 回 (2024 年度) 立石賞受賞者決定のニュースリリース

2. 会 計

正味財産増減計算書
2023年4月1日から2024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	253,125
②特定資産運用益	12,921
③受取寄附金	500
④雑収入	29
(2) 経常費用	
①事業費	253,728
②管理費	10,492
当期経常増減額	2,355
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	2,355
一般正味財産期首残高	5,505
一般正味財産期末残高	7,860
II 指定正味財産増減の部	
当期指定正味財産増減額	△ 6,015,000
指定正味財産期首残高	21,541,875
指定正味財産期末残高	15,526,875
III 正味財産期末残高	15,534,735

貸 借 対 照 表
2024年3月31日現在
(単位：千円)

I 資産の部	
1. 流動資産	
現金	114
普通預金	3,434
定期預金	0
2. 固定資産	
(1) 基本財産	
投資有価証券	14,203,875
(2) 特定資産	
事業運営資産合計	1,100,000
事業積立資産合計	223,000
(3) その他の固定資産	4,312
資産合計	15,534,735
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）	14,203,875
事業積立資産	223,000
2. 一般正味財産	
流動資産、その他固定資産	7,860
正味財産合計	15,534,735

2024 年度助成報告

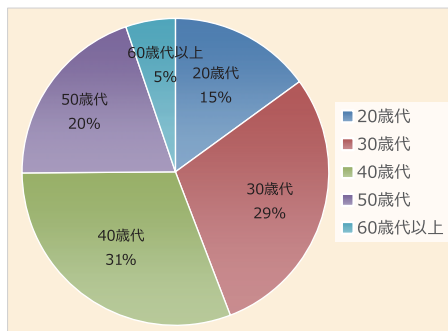
本年度の助成および顕彰は計画どおり、公募、選考委員会による選考、理事会の承認を経て下表のとおり行うことができました。2024 年 5 月 17 日に研究助成受領者を対象にした助成金贈呈式を行い、研究課題の共有をはかりました。

研究助成（S）	1 件	30,000 千円
研究助成（A）	35 件	102,978 千円
研究助成（B）	2 件	11,544 千円
研究助成（C）	16 件	18,672 千円
国際交流助成（前期）	13 件	8,022 千円
国際交流助成（後期）	13 件	7,173 千円
国際会議開催助成	10 件	9,700 千円
合計		188,089 千円

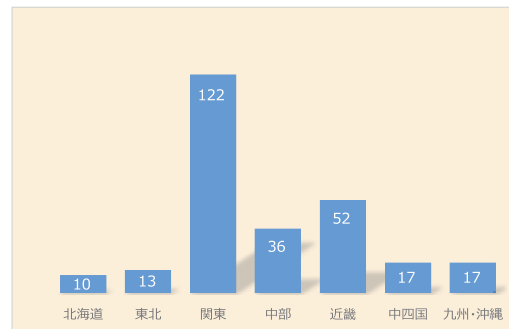
● 2024 年度助成の応募状況

(1) 研究助成（S）（A）（B）（C）

応募者年齢別割合

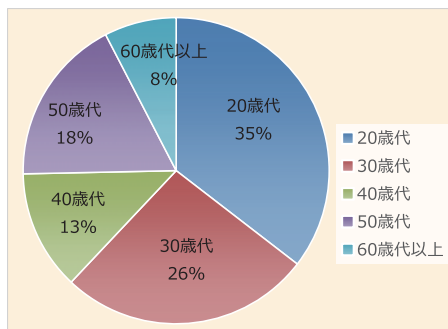


地域別応募件数

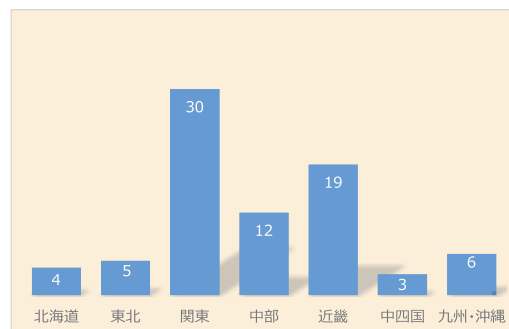


(2) 国際会議開催助成・国際交流助成

応募者年齢別割合

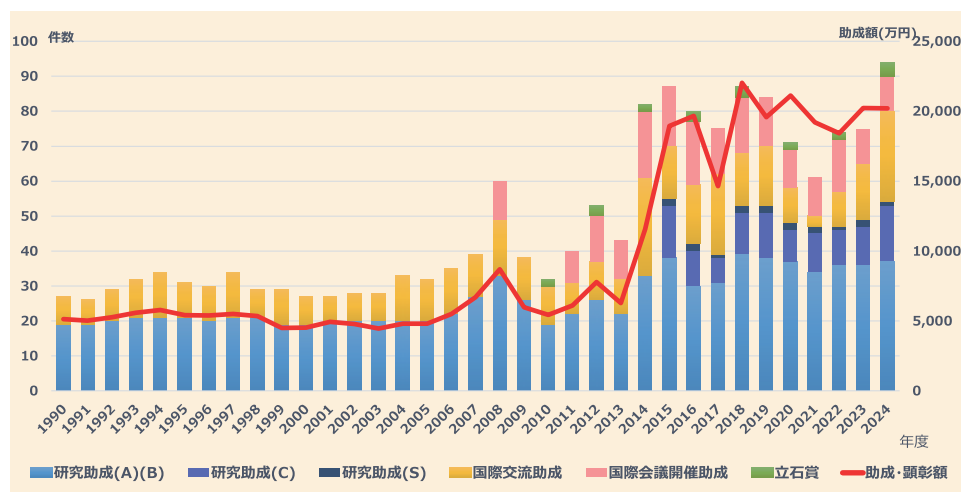


地域別応募件数

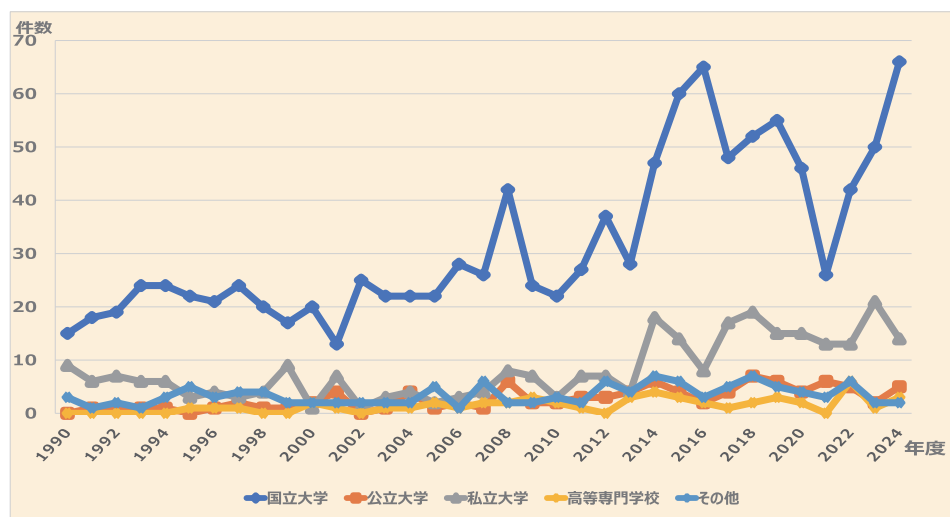


今年度の助成の結果、財団設立以来の助成・顕彰件数は研究助成 1,038 件、国際交流助成 429 件、国際会議開催助成 198 件、立石賞 21 件、合計 1,686 件、助成・顕彰金総額は 33 億 9,855 万円となりました。

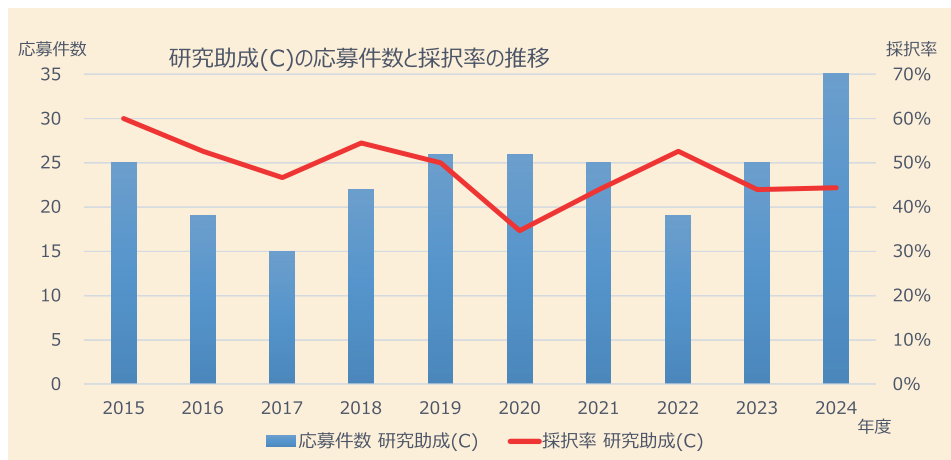
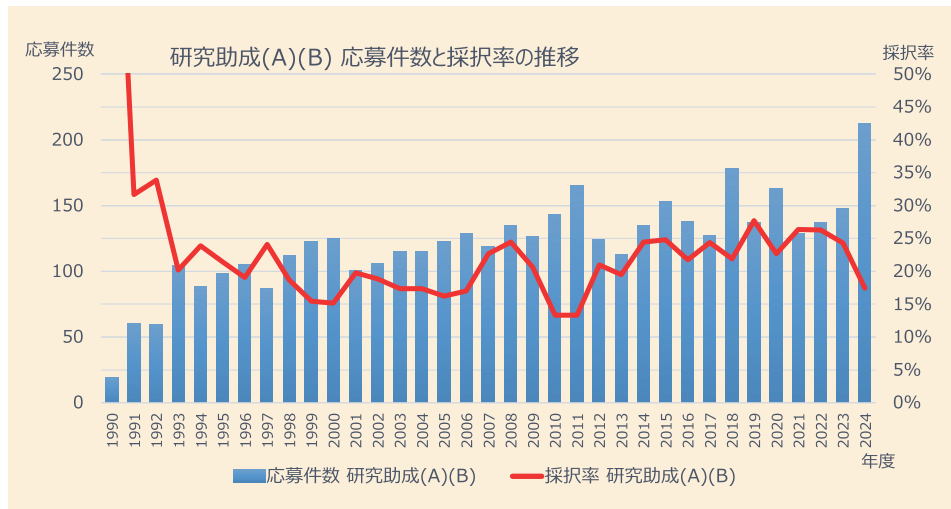
助成・顕彰件数と助成額推移



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



2024 年度助成金贈呈式

2024 年 5 月 17 日（金）15:00 から、オムロン株式会社 みやこホールの会場とウェビナー形式にて、2024 年度 助成金贈呈式を開催しました。会場には今年度の助成金受領者 54 名を代表した 4 名を招き、立石文雄理事長から今後の研究に対する期待を、樫木哲夫選考委員会代表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。それぞれの助成金受領者はウェビナーから意気込みを発表し、研究課題の共有を図ることができました。



ウェビナー参加者、代表者を交えた記念写真

これからの研究で得られた成果は、毎年秋に開催予定の研究助成成果発表会にて共有を図り、人間と機械の調和を目指す研究者同士の連携を深めていきたいと思います。



立石理事長あいさつ



樫木選考委員会代表 選考経緯説明



研究助成 (S)
横浜国立大学 教授
馬場 俊彦 様



研究助成 (A)
産業技術総合研究所 研究員
藤井 綺香 様



研究助成 (B)
北陸先端科学技術大学院大学
教授 鵜木 祐史 様



研究助成 (C)
東京大学 大学院総合文化研究科
石川 慶一 様

2024 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: 2024 年 4 月~2027 年 3 月

(五十音順)

No.	代表者氏名	所属・職名	研究課題
1	馬 場 俊 彦	横浜国立大学 工学研究院／先端科学高等研究院 教授	人とロボットの共生を可能にする光集積型 4D LiDAR センサ

申請件数: 18 件, 採択件数: 1 件

【研究助成 (A)】

最大 250 万円(直接経費)を助成 研究期間: 2024 年 4 月~2025 年 3 月

(五十音順)

No.	氏 名	所属・職名	研究課題
1	李 信 英	山梨大学 大学院総合研究部工学域 助教	触診技術伝承を目指した耳小骨可動性計測訓練シミュレータの開発
2	石 井 佑 弥	京都工芸繊維大学 繊維学系 准教授	無給電状態で静的および動的な圧力センシングが可能な編み手袋の開発
3	石 原 尚	大阪大学 大学院工学研究科 講師	高度な表現力を備えるアンドロイドの感性評価に基づく対人印象制御法の開発
4	市 川 健 太	東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 助教	咬合力エナジーハーベスティングによるバッテリーレスマウスガード型デバイスの開発
5	猪 俣 武 範	順天堂大学 医学部眼科学講座 准教授	VR を用いた小児弱視訓練用プログラム医療機器の社会実装に向けた橋渡し研究
6	大 西 鮎 美	神戸大学 大学院工学研究科 助教	柔軟触覚センサによって浮腫の状態を計測するウェアラブルデバイスの開発
7	大 道 英 二	神戸大学 大学院理学研究科 准教授	オンチップテラヘルツ分光システムを用いたラベルフリーバイオセンシング
8	奥 田 裕 之	名古屋大学 大学院工学研究科 准教授	人間と機械の相互影響度の計量にもとづく他者への配慮の実現
9	尾 崎 公 美	浜松医科大学 放射線診断学講座 准教授	未病検知を目指した画像診断機器による臓器の生理機能評価及び加齢性機能低下の検証
10	加 藤 貴 英	豊田工業高等専門学校 一般学科 准教授	実現場での階段昇降動作データに基づいた転倒を検知するための機械学習的アプローチ
11	川 上 玲	東京工業大学 工学院システム制御系 准教授	基盤モデルに基づく手話対話システムの構築
12	北 村 知 也	東京理科大学 創域理工学部電気電子情報工学科 助教	EMS を用いた位置制御・力制御の統合アプローチと制御性能の評価
13	桐 本 光	広島大学 大学院医系科学研究科 教授	AI ロボットと迷走神経刺激によるデュアル・クローズドループ型手指機能訓練法の開発
14	金 太 一	東京大学 大学院医学系研究科医用情報工学 特任准教授	人間機械協調型複合現実融合技術を用いた手術支援基盤技術の開発
15	小 西 克 巳	法政大学 情報科学部 教授	災害現場での救援活動を支援する超小型 3 次元再構成センサの開発
16	斎 藤 寛 樹	東京工科大学 医療保健学部リハビリテーション 学科 助教	経皮的脊髄刺激による下肢筋協調パターンの変調: 動作向上のニューロモジュレーション
17	助 川 信太郎	香川大学 医学部歯科口腔外科学講座 准教授	病理医が信頼を寄せる人協調型 AI 診断システムの開発

2024 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
18	中 後 大 輔	関西学院大学 工学部知能・機械工学課程 教授	筋シナジーを用いた随意運動誘引手法による自発的動作に寄り添う正常歩行訓練装置
19	林 部 充 宏	東北大学 工学研究科 教授	Mixed Reality と慣性センサを用いた空間認知と運動機能の定量化システム
20	平 理一郎	東京医科歯科大学 大学院医歯学総合研究科 准教授	全身体 BMI
21	平 井 宏 明	大阪大学 大学院基礎工学研究科 准教授	動的プリミティブの運動制御仮説に基づく歩行・走行への介入と訓練効果
22	福 田 篤 久	九州大学病院 小児外科 助教	AI 自動評価技術を用いた内視鏡手術技術の定量化と次世代教育システムの開発
23	藤 井 綺 香	産業技術総合研究所 人工知能研究センター 研究員	複合現実空間における漫符を活用したロボットによる自己表現生成 AI に関する研究
24	部 矢 明	名古屋大学 工学研究科 准教授	MRI・CT 画像下治療のための多自由度空圧ステッピングモータの開発
25	堀 井 辰 衛	東京工業大学 生命理工学院 研究員	高分子ゲル超薄膜を用いた指先に貼付可能な全貼付型触覚センサの開発
26	増 田 寛 之	富山県立大学 情報工学部知能ロボット工学科 教授	学習者の主体的な行動を促すグループワーク支援ロボットの研究
27	松 井 勇 佑	東京大学 情報理工学系研究科 講師	Advanced Vector DB：データ構造ドリブンな LLM 知識注入
28	宮 田 紘 平	東京大学 大学院総合文化研究科 助教	サイバー空間におけるラポール形成へ向けたシステム開発
29	森 健太郎	舞鶴工業高等専門学校 電気情報工学科 講師	身体的特徴のデータ解析による定量的技術評価・向上システムの開発
30	山 田 泰 之	法政大学 デザイン工学部システムデザイン 学科 准教授	光弾性を利用した力覚変色表示ソフトアクチュエータの研究開発
31	山 本 真 人	関西大学 システム理工学部物理・応用物理 学科 准教授	超低消費電力リアルタイム学習を可能にする二次元半導体光電子メモリの開発
32	横 山 光	東京農工大学 大学院工学研究院 准教授	微小針電極による超高密度脳波計測：脊髄損傷者の手指動作を脳波から高精度に解読する
33	葭 田 貴 子	東京工業大学 工学院機械系 准教授	ロボットアーム錯覚は可能か
34	吉 村 優 子	金沢大学 人間社会研究域 教授	RLHF を用いた自閉症児の個性に合わせた LLM の最適化と寄り添う対話ロボットへの実装
35	若 山 清 香	山梨大学 発生工学研究センター 助教	AI を用いた顕微授精アシストシステムの開発

申請件数：191 件，採択件数：35 件

2024 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：2024 年 4 月～2026 年 3 月

(五十音順)

No.	氏 名	所属・職名	研究課題
1	鷗 木 祐 史	北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 教授	骨導デバイスを利用した聴覚拡張現実の実現
2	楊 期 蘭	東京大学 大学院情報学環 助教	Investigating the Effect of AI on Meaningful Interpersonal Communication

申請件数：21 件，採択件数：2 件

【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：2024 年 4 月～(最大 3 年間)

(五十音順)

No.	氏 名	所 属	研究課題
1	秋 山 久 遠	芝浦工業大学 大学院理工学研究科	事故が起きる未来を変えるマイクロモビリティのための多重未来マップ予測システム
2	秋 吉 拓 斗	奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科	高齢者向けの身体接触を伴うカウンセリングロボットの実現
3	阿 部 優 樹	北海道大学 大学院情報科学院	視覚障がい者のためのオンライン音楽ライブ向け動画視聴インタフェースの研究
4	安 藤 ゆうき	東京工科大学 医療保健学部	末梢血管の伝達関数である時定数の同定とその臨床応用
5	五十嵐 俊 治	東京大学 大学院新領域創成科学研究科	高齢者の自然発話における特徴量を用いた認知機能推定手法の開発
6	石 川 慶 一	東京大学 大学院総合文化研究科	身体拡張技術発展に向けた義足歩行獲得を早める非侵襲脳神経刺激法の確立
7	伊 藤 実 央	埼玉県立大学 大学院保健医療福祉学研究科	エレクトロニクス技術を駆使した脳卒中者へのリハビリテーション介入基盤の確立
8	桶 川 大 志	東京大学 大学院総合文化研究科	努力知覚の変調による全力運動パフォーマンス向上法の開発
9	國 吉 佑 輔	電気通信大学 大学院情報理工学研究科	脳の神経回路構造に則した予測マップの構築とその機械学習への応用
10	黒 田 慧 莉	お茶の水女子大学 大学院人間文化創成科学研究科	実世界における直観に反した運動の予測と言語生成
11	XUE XIAOZHONG	京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科	深層学習を用いた OCT における網膜下液のセグメンテーションと黄斑浮腫早期診断
12	田 中 健 太	大阪大学 大学院工学研究科	人間機械系の能力向上に向けた情報変換器の普遍的設計論の構築
13	田 渕 史	京都大学 大学院工学研究科	iPS 細胞を用いた糸球体 MPS による高血糖，脂質異常症，高血圧の相乗効果の評価
14	中 田 匠 哉	神戸大学 大学院工学研究科	サービス動的個人適応に向けた対話型ユーザニーズ外化システムの研究開発
15	原 田 裕 生	同志社大学 大学院理工学研究科	高 MHz 帯域の強力超音波を用いた小型光流体レンズの開発とマシビジョンへの応用
16	吉 本 昂 希	京都大学 医生物学研究所 大学院生命科学研究科	荷重制御した周期的圧縮刺激を印加可能な骨一癌共培養装置の開発

申請件数：36 件，採択件数：16 件

2024 年度 国際交流助成一覧**〔前期国際交流〕****【国際会議発表】**

最大 60 万円(直接経費)を助成 実施時期：2024 年 4 月～2024 年 9 月

(五十音順)

No.	氏 名	所属・職名	参加する国際会議	開催地
1	小 田 和 哉	摂南大学 大学院理工学研究科 博士後期課程	International Symposium on Flexible Automation (ISFA)	シアトル アメリカ
2	北 田 敦 也	京都大学 大学院工学研究科 博士後期課程	3rd Microphysiological Systems World Summit (MPS World Summit 2024)	シアトル アメリカ
3	木 下 史 也	富山県立大学 工学部情報システム工学科 准教授	HCI INTERNATIONAL 2024	ワシントン D. C. アメリカ
4	徐 雨 曾	千葉大学 大学院融合理工学府 博士後期課程	46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society	フロリダ アメリカ
5	神 野 莉衣奈	東京大学 大学院総合文化研究科 助教	International Workshop on Gallium Oxide and Related Materials (IWGO) 2024	ベルリン ドイツ
6	住 拓 磨	東北大学 材料科学高等研究所 助教	FENS Forum 2024	ウィーン オーストリア
7	竹 内 雅 樹	東京大学 工学系研究科 博士後期課程	46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society	フロリダ アメリカ
8	西 舘 嗣 海	千葉大学 大学院融合理工学府 博士後期課程	BioEM 2024 (医用生体電磁気学学会 年次大会)	クレタ島 ギリシャ
9	藤 崎 貴 也	島根大学 材料エネルギー学部 助教	2nd CEMDI Symposium	モントリオール カナダ
10	松 田 汐 利	神戸大学 大学院システム情報学 研究科 博士後期課程	Optica Imaging Congress	トゥルーズ フランス
11	宮 愛 香	北海道大学 北海道大学病院 糖尿病・内分泌内科 特任助教	米国内分泌学会 (ENDO 2024)	ボストン アメリカ

申請件数：20 件，採択件数：11 件

【短期在外研究】

最大 100 万円(直接経費)を助成 実施時期：2024 年 4 月～2024 年 9 月

(五十音順)

No.	氏 名	所属・職名	研究課題	在留地域
1	末 満 堅 人	長岡技術科学大学 技術科学イノベーション 専攻 5 年一貫博士課程	運動学習補助に向けたロボット－人間の相互作用 神経メカニズムの解明	イギリス
2	Surantha Nico	東京都市大学 理工学部電気電子通信工 学科 講師	IoT ベースのヘルスケアシステムにおけるサイ バーセキュリティの課題の緩和に関する研究	シドニー オーストラリア

申請件数：5 件，採択件数：2 件

2024 年度 国際交流助成一覧

〔後期国際交流〕

【国際会議発表】

最大 60 万円(直接経費)を助成 実施時期：2024 年 10 月～2025 年 3 月

(五十音順)

No.	氏 名	所属・職名	参加する国際会議	開催地
1	市 川 修 平	大阪大学 大学院工学研究科 准教授	12th International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2024)	ハワイ アメリカ
2	岡 田 瞬	長岡技術科学大学 先端工学専攻 後期博士課程	The 28th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences - Micro-Total Analysis Systems (μ TAS 2024)	モントリオール アメリカ
3	倉 元 昭 季	東京工業大学 工学院 助教	2025 IEEE/SICE Internaitonal Symposium on System Intergration (SII 2025)	ミュンヘン ドイツ
4	小 林 勇 斗	秋田工業高等専門学校 創造システム工学科 助教	The 2024 Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)	シカゴ アメリカ
5	鄭 仁 赫	東京大学 大学院総合文化研究科 博士後期課程	Esports Research Network Conference 2024 (ERNC 2024)	ロンドン イギリス
6	鈴 木 玲和那	東京大学 大学院工学系研究科 博士後期課程	PRiME 2024	アメリカ
7	田 野 直 輝	東京工業大学 科学技術創生研究院 博士後期課程	International Tissue Elasticity Conference (ITEC)	リヨン フランス
8	田 原 弘 宣	長崎大学 総合生産科学域 助教	Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid State Science 2024 (PRiME 2024)	ハワイ アメリカ
9	PROMKING ARPHORN	奈良先端科学技術大学院 大学 先端科学技術研究科 博士後期課程	Biomedical Circuits and Systems Conference 2024 (BIOCAS 2024)	Wyndham Grand Xian South China
10	村 松 淳 平	慶應義塾大学 大学院理工学研究科 後期博士課程	The 28th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences (μ TAS 2024)	カナダ
11	兪 ハ ニ	東京大学 工学系研究科 助教	IEEE Sustainable Smart Lighting Conference (LS: 2024)	アイントホーフエン オランダ
12	Wang Xinfeng	山梨大学 大学院 後期博士課程	The 2024 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)	アメリカ

申請件数：17 件，採択件数：12 件

【短期在外研究】

最大 100 万円(直接経費)を助成 実施時期：2024 年 10 月～2025 年 3 月

(五十音順)

No.	氏 名	所属・職名	研究課題	在留地域
1	加 藤 萌 結	北海道大学 理学院 博士後期課程	新しい量子カゴメ反強磁性体の開発と単結晶育成	シュトゥットガルト ドイツ

申請件数：1 件，採択件数：1 件

2024 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：2024 年 10 月～2025 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	実施地
1	甲 藤 二 郎	早稲田大学 理工学術院 教授	IEEE Visual Communications and Image Processing (IEEE VCIP 2024)/組織委員長	早稲田大学 国際会議場
2	小 橋 昌 司	兵庫県立大学 工学研究科 教授	Joint 13rd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 25th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2024)/現地実行委員長	アクリエひめじ
3	清 水 毅	山梨大学 工学部 教授	17th International Conference on Quality Control by Artificial Vision 2025 (QCAV2025)/実行委員長	山梨県立図書館
4	志 村 努	東京大学 生産技術研究所 教授	International Symposium on Imaging, Sensing, and Optical Memory 2024/組織委員長	アクリエひめじ (姫路市文化コンベン ションセンター)
5	本 谷 秀 堅	名古屋工業大学 情報工学科 教授	International Forum on Medical Imaging in Asia 2025 (IFMIA2025)/General chair	かがわ国際会議場
6	室 屋 晃 子	国立情報学研究所 アーキテクチャ科学研究系 特任研究員	The 22nd Asian Symposium on Programming Languages and Systems (APLAS 2024)/SRC・ポスター共同委員長	京都大学医学部・ 芝蘭会館
7	森 永 英 二	大阪公立大学大学院 情報学研究科 准教授	International Conference on Advances in Production Management Systems 2025 (APMS 2025)/プログラム委員長	鎌倉プリンスホテル
8	柳 井 啓 司	電気通信大学 大学院情報理工学研究科 教授	International Conference on Multimedia Modeling (MMM)/実行委員長	奈良春日野国際 フォーラム覚 ～I・RA・KA～
9	山 田 繁	岐阜大学 工学部電気電子・ 情報工学科 助教	35th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-35)/幹事	ブラサヴェルデ
10	山 本 裕 招	宇都宮大学 工学部基盤工学科 教授	第 31 回ディスプレイ国際ワークショップ (IDW'24)/プログラム委員長	札幌コンベンション センター

申請件数：33 件，採択件数：10 件

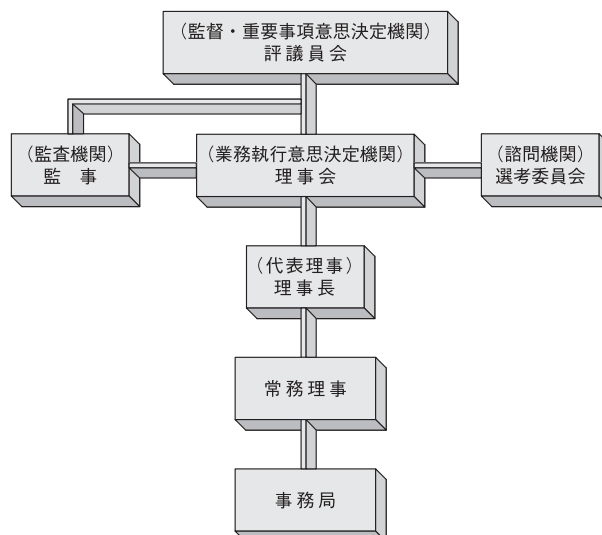
■ 財団の概要

■ 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, 2 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 60 万円以下/件
 - 短期在外研究 100 万円以下/件
 - 国際会議開催 100 万円以下/件, 10 件程度/年

} 合わせて 20 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



~~~~~ 評議員・役 員・選考委員 ~~~~~

(2024 年 7 月現在)

評 議 員

|       |         |                                                                                                                            |
|-------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 評 議 員 | 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<br>名古屋大学 名誉教授                                                                                     |
| 評 議 員 | 荒 木 光 彦 | 京都大学 名誉教授<br>松江工業高等専門学校 名誉教授                                                                                               |
| 評 議 員 | 宇 治 則 孝 | 一般社団法人 技術同友会 代表理事<br>元日本電信電話株式会社 代表取締役副社長                                                                                  |
| 評 議 員 | 立 石 真太郎 | 元オムロン株式会社 経営基幹職                                                                                                            |
| 評 議 員 | 中 鉢 良 治 | 東京情報デザイン専門職大学 学長<br>国立研究開発法人 産業技術総合研究所 最高顧問<br>日本電信電話株式会社 社外取締役                                                            |
| 評 議 員 | 土 屋 定 之 | 広島大学 学長参与<br>北里大学 参与<br>元文部科学事務次官                                                                                          |
| 評 議 員 | 宮 田 喜一郎 | オムロン株式会社 代表取締役 執行役員副社長 CTO                                                                                                 |
| 評 議 員 | 柳 田 敏 雄 | 大阪大学大学院情報科学研究科<br>NEC ブレインインスパイアードコンピューティング<br>協働研究所 所長<br>大阪大学大学院情報科学研究科/生命機能研究科 特任教授<br>国立研究開発法人 情報通信研究機構 フェロー<br>(五十音順) |

理 事

|       |         |                                                                                        |     |
|-------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 理 事 長 | 立 石 文 雄 | オムロン 株式会社 名誉顧問                                                                         | 非常勤 |
| 常務理事  | 來 海 雅 俊 | オムロン 株式会社 経営基幹職                                                                        | 常 勤 |
| 理 事   | 沖 村 憲 樹 | 国立研究開発法人 科学技術振興機構 名誉理事長<br>公益財団法人 全日本科学技術協会 理事長<br>元科学技術庁 科学審議官                        | 非常勤 |
| 理 事   | 片 瀬 裕 文 | I-Pulse Inc. Executive Vice Chairman & Director<br>日本 I-Pulse 株式会社 代表取締役社長<br>元経済産業審議官 | 非常勤 |
| 理 事   | 里 中 忍   | 熊本大学 名誉教授・特任教授<br>熊本ソフトウェア株式会社 監査役                                                     | 非常勤 |
| 理 事   | 中 間 真 一 | 株式会社 ヒューマンルネッサンス研究所<br>エグゼクティブ・フェロー                                                    | 非常勤 |
| 理 事   | 難 波 啓 一 | 大阪大学大学院生命機能研究科 特任教授<br>大阪大学 名誉教授                                                       | 非常勤 |
| 理 事   | 西 田 豊 明 | 福知山公立大学 理事・副学長<br>東京大学 名誉教授<br>京都大学 名誉教授                                               | 非常勤 |
| 理 事   | 松 田 晃 一 | 元 NTT 先端技術総合研究所 所長                                                                     | 非常勤 |
| 理 事   | 山 田 啓 二 | 京都産業大学 理事長・法学部教授<br>公益財団法人 京都文化財団 理事長<br>前京都府知事                                        | 非常勤 |

(五十音順)

## 監 事

|     |                      |               |               |
|-----|----------------------|---------------|---------------|
| 監 事 | 愛 知 菜穂子<br>(山 本 菜穂子) | 弁護士（イリス法律事務所） | 非常勤           |
| 監 事 | 尾 尻 哲 洋              | 税理士           | 非常勤<br>(五十音順) |

## 選考委員

|         |         |                                                                                     |        |
|---------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 選考委員長   | 榎 木 哲 夫 | 京都大学 理事・副学長<br>京都大学 名誉教授                                                            |        |
| 選 考 委 員 | 北 澤 茂   | 大阪大学 大学院生命機能研究科 教授<br>国立研究開発法人 情報通信研究機構<br>未来 ICT 研究所 脳情報通信融合研究センター<br>研究センター センター長 |        |
| 選 考 委 員 | 小 西 聡   | 立命館大学 理工学部 教授<br>バイオメディカルエンジニアリング研究センター<br>センター長<br>先進研究アカデミー（RARA） フェロー            |        |
| 選 考 委 員 | 杉 山 将   | 国立研究開発法人 理化学研究所<br>革新知能統合研究センター長<br>東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授                           |        |
| 選 考 委 員 | 諏 訪 正 樹 | オムロン株式会社 執行役員 技術・知財本部 本部長<br>オムロンサイニックエックス株式会社 代表取締役社長                              |        |
| 選 考 委 員 | 長 井 志 江 | 東京大学 ニューロインテリジェンス国際研究機構<br>特任教授                                                     |        |
| 選 考 委 員 | 畑 豊     | 兵庫県立大学 理事兼副学長<br>大学院情報科学研究科 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) |

## 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 1400 か所余に拝送させていただいており、今号で第 33 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西田豊明理事、投稿文をお寄せいただきました北海道大学大学院 法学研究科 教授 小名木明宏様（2018 年度受領者）、兵庫県立大学 先端医療工学研究所 准教授 八木直美様（2015 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。

また、今年も昨年に引き続き、研究室訪問を実施しました。順天堂大学 保健医療学部 准教授 高橋容子様（2020 年度受領者）の研究室を訪問し、高橋様のその後の研究についてご紹介いただくなど、有意義なディスカッションが出来ました。高橋様ならびに研究室のみなさまには、ご多用の中大変お世話になりました。

本助成研究成果集では、立石賞功績賞を受賞されました奈良先端科学技術大学院大学 理事・副学長 太田淳様、早稲田大学 理工学術院 教授 菅野重樹様、立石賞特別賞を受賞されましたカリフォルニア工科大学 教授 下條信輔様、情報通信研究機構 監事 土井美和子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 50 件の研究成果報告と、国際交流助成・国際会議開催助成 32 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、出口の見えないウクライナ戦争など、不安定な国際情勢と相まって研究環境は依然として厳しい状況にあると思います。原油高に加え円安基調が物価を押し上げ、研究費を圧迫し、直接的に影響を受ける国際交流助成では助成金を引き上げたものの様々な工夫をしながら研究活動をしていただいております。その努力に改めて敬意を表します。

このような環境の中、昨年に引き続き「研究助成 成果発表会」を開催します。人間と機械の調和を促進する研究成果を共有し、研究者同士の交流を通じた相互研鑽、人脈作りの一助となるよう企画、運営してまいります。

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 33 号  
2024 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  
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。）