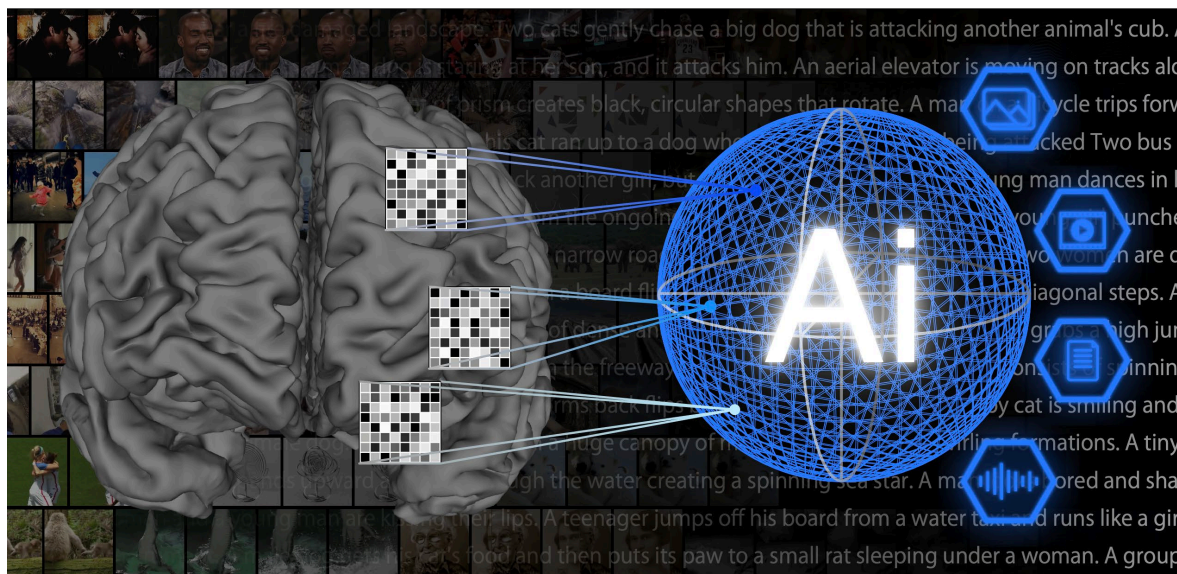


千里ライフサイエンスセミナーY2

脳の可能性を開拓する Brain-Machine Interaction



コーディネーター：

西村 幸男 公益財団法人 東京都医学総合研究所
臨床医科学研究分野 脳機能再建プロジェクト プロジェクトリーダー
堀川 友慈 NTT コミュニケーション科学基礎研究所
人間情報研究部 感覚表現研究グループ 特別研究員

日時：2026年7月1日（水）10：30 ～ 16：20

会場：千里ライフサイエンスセンタービル5F

山村雄一記念ライフホール（WEB配信併用）

主催：公益財団法人 千里ライフサイエンス振興財団

後援：バイオコミュニティ関西

表紙の図：脳-AI 統合型デコーディング。機械学習の方法を用いて脳から AI への信号変換を行い、脳活動パターンを AI の特徴空間上に対応づけることで、AI 技術を活用した脳情報解析を可能にするアプローチ。

提供：NTT 株式会社 コミュニケーション科学基礎研究所 堀川友慈

プログラム

10：30～10：35

開会の挨拶 公益財団法人 千里ライフサイエンス振興財団 理事長 審良 静男

10：35～10：50

「はじめに」 公財団法人 東京都医学総合研究所 臨床医科学研究分野
脳機能再建プロジェクト プロジェクトリーダー 西村 幸男 2

10：50～11：30 座長：西村 幸男

演題1 「視覚想起型 BMI と脳内表象」4
大阪大学大学院医学系研究科 神経情報学 教授 柳澤 琢史

11：30～12：10 座長：西村 幸男

演題2 「機械の脳で読み解くヒトの脳と心」8
NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部
感覚表現研究グループ 特別研究員 堀川 友慈

12：10～13：20

昼食休憩

13：20～14：00 座長：西村 幸男

演題3 「『第6の指』の身体化と脳機能拡張の可能性」12
電気通信大学 大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻、
同大学 脳・医工学研究センター 教授 宮脇 陽一

14：00～14：40 座長：堀川 友慈

演題4 「神経可塑性誘導技術としてのブレイン・マシン・インターフェース」18
慶應義塾大学 理工学部 生命情報学科 教授 牛場 潤一

14：40～14：50

休憩

14：50～15：30 座長：堀川 友慈

演題5 「神経疾患治療に資するオシロモジュレーション」24
名古屋市立大学 大学院 医学系研究科 リハビリテーション医学教室 主任教授
植木 美乃

15：30～16：10 座長：堀川 友慈

演題6 「人工神経接続による脳機能再建」28
公財団法人 東京都医学総合研究所 臨床医科学研究分野
脳機能再建プロジェクト プロジェクトリーダー 西村 幸男

16：10～16：20

「おわりに」 NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部
感覚表現研究グループ 特別研究員 堀川 友慈

* 会終了後、交流会（名刺交換会）を開催します。是非、会場にお越し下さい。

※講演の時間は質疑応答を含みます。ご注意ください。

「はじめに」

公益財団法人 東京都医学総合研究所

臨床医科学研究分野 脳機能再建プロジェクト プロジェクトリーダー

西村 幸男

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 感覚表現研究グループ

特別研究員

堀川 友慈

機械がこの世になかった時代では、ヒトは他者や自然との相互作用を通じて脳機能を発達させ、文明を築いてきました。これに対し現代では、コンピューターや機械との相互作用が日常の中心となり、脳を取り巻く環境は大きく変化しています。この変化は、神経活動と行動・認知との関係を従来とは異なる視点から捉え直す契機となっています。さらに、脳活動の高精度な計測・解読技術やAIによる情報処理、神経機能に対する介入技術の進展により、医学や治療への応用も現実味を帯びてきています。本シンポジウムでは、神経科学・コンピュータサイエンス・機械工学の融合を基盤として、脳と機械の相互作用（Brain-Machine Interaction）に着目し、脳機能の新たな理解とその応用可能性について議論します。従来の Brain-Machine Interface (BMI) が主眼としてきた脳から機械への一方向的な情報伝達にとどまらず、機械との相互作用を通じて脳機能や身体表象が変容する側面も含め、臨床応用や社会実装を見据えた今後の研究と技術展開の方向性を提示します。

..... MEMO

演題 1. 「視覚想起型 BMI と脳内表象」

大阪大学大学院医学系研究科 神経情報学 教授

柳澤 琢史

学歴・職歴

- 2000年 早稲田大学大学院理工学専攻修士課程 修了
- 2004年 大阪大学医学部医学科(編入学) 卒業
- 2009年 大阪大学大学院医学系研究科 医学博士
- 2012年 大阪大学大学院医学系研究科 助教
- 2016年 大阪大学国際医工情報センター臨床神経医工学寄附研究部門 講師
- 2018年 大阪大学高等共創研究院 教授
- 2024年 大阪大学大学院医学系研究科神経情報学 教授

学 位 博士(医学) 大阪大学 2009年

受賞歴

- 2017年 バイオインダストリー奨励賞
- 2017年 BCI award
- 2017年 中谷医工計測技術振興財団 中谷賞奨励賞
- 2013年 平成25年度科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞
- 2012年 日本医師会医学研究奨励賞

所属学会 日本脳神経外科学会、日本神経科学学会、日本てんかん学会、日本疼痛学会、
日本脳卒中学会、日本臨床神経生理学会、日本生理学会、
ヒト脳マッピング学会、北米国神経科学学会

専門分野 脳神経外科学、てんかん学、臨床神経生理学

公職・その他

- 2017年 日本疼痛学会 評議員

要 旨

近年、深層学習技術の進展により、脳活動から知覚・運動・言語などの情報を高精度に解読する研究が急速に発展している。特に、画像や言語など多様な外部情報を統一的に表現する AI の潜在空間 (latent space) を介することで、未知の刺激に対しても解読を可能とする zero-shot 型の脳情報解読が実現されつつある。さらに、closed-loop 型の Brain-Machine Interface (BMI) により、ヒトが想起した視覚イメージを脳活動から推定された潜在表現へと写像し、それに基づいて大規模データベースから対応する画像を生成・提示することも可能となってきた。

このような視覚想起型 BMI は、従来の運動出力に依存した BMI とは異なり、脳内の表象そのものを直接読み出す新たな意思伝達手段として注目されている。特に、筋萎縮性側索硬化症 (ALS) などの重度運動障害患者においては、運動野の活動が低下する進行期においても視覚野の活動は比較的保持されることから、視覚想起を用いた BMI は有効なアプローチとなる可能性がある。我々は、皮質脳波 (ECoG) を用いて視覚想起内容を解読し、AI の潜在空間上のベクトルとして再構成することで、被験者が意図した意味内容を画像として提示できることを示した (1)。

一方で、上記 BMI の性能は、単にデコーディングアルゴリズムの性能だけでなく、脳内の表現空間と AI の潜在空間の関係に大きく依存することが明らかになりつつある。我々は、知覚刺激に対して学習したデコーダが視覚想起にも汎化するためには、AI 側の表現構造が重要であることを示してきた。このことは、脳内表象を理解する上でも、AI の潜在空間が有用な解析枠組みとなり得ることを示唆している。

さらに、これらの技術を臨床応用へと展開するためには、計測デバイスの低侵襲化が不可欠である。我々は、脳表の細静脈へ留置できる血管内電極を開発し、極低侵襲に頭蓋内脳波を計測する血管内脳波 BMI を開発している。開頭手術を伴わずに高精度な頭蓋内脳波を脳の広範囲から取得することで、ALS 患者の意思伝達機能を再建する。既に豚を用いて血管内から高精度な頭蓋内脳波を計測できることを示した (2)。

本講演では、視覚想起型 BMI を中心に、脳内表象と AI 潜在空間の関係に着目した脳情報解読の最新動向を紹介するとともに、AI の表現空間が視覚想起型 BMI の性能に与える影響について議論する。さらに、これらの知見を基盤とした低侵襲 BMI の開発と、意思伝達機能再建への臨床応用の可能性について概説する。

参考文献

1. Ryohei Fukuma, Takufumi Yanagisawa*, Shinji Nishimoto, Hidenori Sugano, Kentaro Tamura, Shota Yamamoto, Yasushi Iimura, Yuya Fujita, Satoru Oshino, Naoki Tani, Naoko Koide–Majima, Yukiyasu Kamitani, Haruhiko Kishima, Voluntary control of semantic neural representations by imagery with conflicting visual stimulation, *Communications biology*, 5:214, 2022
2. Takamitsu Iwata[#], Hajime Nakamura[#], Takafumi Uemura[#], Teppei Araki, Takaki Matsumura, Takaaki Abe, Toshikazu Nezu, Masatoshi Takagaki, Tomohiko Ozaki, Shinpei Miura, Ryohei Fukuma, Sam E. John, David B. Grayden, Haruhiko Kishima, Tsuyoshi Sekitani, Takufumi Yanagisawa, A microendovascular system can record precise neural signals from cortical and deep vessels with minimal invasiveness, *Advanced Intelligent Systems*, 2025

..... MEMO

演題 2. 「機械の脳で読み解くヒトの脳と心」

NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部 感覚表現研究グループ

特別研究員

堀川 友慈

学歴・職歴

- 2008年 早稲田大学 第一文学部 卒業
- 2010年 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 修士課程 修了
- 2013年 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士課程 修了
- 2013年 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
研修研究員
- 2014年 同 研究員
- 2016年 同 主任研究員
- 2018年 国立研究開発法人 科学技術振興機構 (JST) さきがけ研究者 (兼任)
- 2021年 日本電信電話株式会社 (NTT) コミュニケーション科学基礎研究所 研究主任
- 2021年 同 主任研究員
- 2022年 同 特別研究員 (現職)

学 位 博士 (理学) 奈良先端科学技術大学院大学 2013年

受賞歴

- 2014年 日本神経回路学会 論文賞
- 2018年 電気通信普及財団 テレコムシステム技術賞

所属学会 米国神経科学会

専門分野 計算論的神経科学

要 旨

私たちは、実際に何かを見ていないときでも、想像や夢を通して多様なイメージを体験する。こうした心的イメージは、ヒトの主観的体験を構成する重要な要素であり、日常のさまざまな活動を支えている。しかし、心的イメージの情報が脳内でどのように生成・表現されるのかについては、いまだ多くの点が明らかになっていない。

近年、脳活動から知覚内容や心的内容を読み解く「脳情報デコーディング」技術が大きく発展し、心的イメージの神経基盤を探るための有力な手段となっている。特に、深層ニューラルネットワーク (deep neural network, DNN) などの AI 技術との融合により、より詳細かつ複雑な脳情報の解読が可能となり、心的イメージを支える階層的な視覚特徴表現の理解が進みつつある。

脳情報デコーディングはこれまで、脳の状態を既知の離散的ラベルに分類して対応づける classification, 任意の有限候補の中から対応する内容を同定する identification, そして脳情報を直接再構成する reconstruction へと発展してきた。さらに、近年は生成 AI の導入により再構成の表現力が大きく向上し、従来以上に詳細な脳情報の解読 (外在化) が可能になりつつある。その一方で、生成 AI による情報の補完・修飾が強くなることにより、脳からの解読結果のうち、どこまでが脳活動に由来し、どこからが AI モデルにより付加されたものが曖昧になるという問題が生じている。これは、脳情報デコーディングを脳理解の手段として用いるうえで、本質的な制約となりつつある。

本講演では、発表者のこれまでの研究をもとに、AI を活用したデコーディング技術によって、ヒト脳活動から心的内容をどこまで正確に推定できるようになってきたのか、また心的イメージの情報がどのように脳に表現されていると考えられているかを概説するとともに、知覚・想像した視覚的情報を言語 (テキスト) として解読する最新の手法を紹介する。この手法は、映像の情報を映像として、あるいは言語の情報を言語として再構成する枠組みとは異なり、脳内に表現された視覚的な情報を言語へと変換することで、脳情報を異なる表現形式から捉えることを可能にする。この枠組みに基づき、classification, identification, reconstruction に続く新たなデコーディングの方向性として interpretation (解釈) を位置付け、その意義と課題を整理する。これらの話題を通して、デコーディングを用いた脳研究の現状と限界を明確化し、心的イメージのデコーディング研究に関する今後の方向性を議論する。

参考文献

1. Horikawa, T. Mind captioning: Evolving descriptive text of mental content from human brain activity. *Science Advances* 11, eadw1464 (2025).
2. Horikawa, T. & Kamitani, Y. Attention modulates neural representation to render reconstructions according to subjective appearance. *Commun. Biol.* 5, 34 (2022).
3. Shen, G., Horikawa, T., Majima, K., & Kamitani, Y. Deep image reconstruction from human brain activity. *PLoS Comput. Biol.* 15, e1006633 (2019).
4. Horikawa, T. & Kamitani, Y. Hierarchical Neural Representation of Dreamed Objects Revealed by Brain Decoding with Deep Neural Network Features. *Front. Comput. Neurosci.* 11, 4 (2017).
5. Horikawa, T. & Kamitani, Y. Generic decoding of seen and imagined objects using hierarchical visual features. *Nat. Commun.* 8, 15037 (2017).
6. Horikawa, T., Tamaki, M., Miyawaki, Y., & Kamitani, Y. Neural decoding of visual imagery during sleep. *Science* 340, 639–642 (2013).

..... MEMO

演題 3. 「第 6 の指」の身体化と脳機能拡張の可能性

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻、
同大学 脳・医工学研究センター 教授

宮脇 陽一

学歴・職歴

- 1996 年 大阪大学工学部応用物理学科 卒業
1998 年 東京大学工学系研究科計数工学専攻 修士課程 修了
2001 年 東京大学工学系研究科先端学際工学専攻 博士課程 修了
2001–2004 年 理化学研究所脳科学総合研究センター脳信号処理研究チーム
基礎科学特別研究員
2004–2005 年 科学技術振興機構 さきがけ グループメンバー (研究員)
2005–2006 年 理化学研究所脳科学総合研究センター脳数理研究チーム研究員
2006–2012 年 情報通信研究機構/株式会社国際電気通信基礎技術研究所脳情報研究所
研究員
2012–2017 年 電気通信大学先端領域教育研究センター准教授
2017–現在 電気通信大学大学院情報理工学研究科 機械知能システム学専攻教授

その間

- 2017–2021 年 科学技術振興機構 さきがけ 研究者
2017–2023 年 科学技術振興機構 ERATO 稲見自在化身体プロジェクト研究員
2018–2025 年 National Institute of Mental Health/National Institutes of Health, Special Volunteer
2023–2025 年 電気通信大学脳・医工学研究センターセンター長
2025–現在 情報通信研究機構未来 ICT 研究所脳情報通信融合研究センター
協力研究員 (特別研究員)

学 位 博士 (工学) 東京大学 2001 年

受賞歴

- 2000 年 計測自動制御学会学術奨励賞 (研究奨励賞) 受賞
2003 年 計測自動制御学会生体生理工学部会研究奨励賞受賞
2004 年 理化学研究所感謝状受賞
2004 年 日本神経回路学会奨励賞受賞

2005年 理化学研究所感謝状受賞
2009年 (株)国際電気通信基礎技術研究所優秀研究賞受賞
2009年 日本神経回路学会論文賞受賞
2014年 日本神経回路学会論文賞受賞
2015年 日本神経回路学会優秀研究賞受賞
2020年 第43回日本神経科学大会「いいね」獲得数第9位

所属学会 日本神経科学会、日本神経回路学会、日本視覚学会、
日本ヒト脳マッピング学会、日本バーチャルリアリティ学会、
米国神経科学会、Organization for Human Brain Mapping,
Vision Sciences Society

専門分野 脳イメージング、計算論的神経科学、視覚科学

公職・その他

2025年 日本神経回路学会 理事
2024年 日本視覚学会 世話人

要 旨

ヒトが生物学的自己とその自己を取り巻く物理的現実世界をどの様に知覚し、行動へとつなげるのか、そのメカニズムを解明することは神経科学における主要な問いのひとつである。一方、バーチャル空間あるいは実環境においても自己の改変を可能にしたり、あるいは現実世界と全く異なるバーチャル空間を生成したりする技術が進化してきており、「自己」および「現実世界」として扱うべき対象が容易に変化し、拡張しうるという現状がある。脳機能の進化や発達、自己の身体とそれを取り巻く環境という制約に適応したものであると考えるならば、その制約をこうした技術により取り払ったとき、脳ははたしてその新しい「自己」や「現実世界」を受け入れることができるのだろうか、もし受け入れるとしたら、それはどのように脳に表現されるのだろうか、そしてどのくらい多様な「自己」や「現実世界」を受容できるのだろうか、その限界はどこにあるのだろうか。こうした興味深い問いに挑むべく、私たちの研究グループでは特に、新しい身体認識と新しい視覚環境の認識の神経基盤の基礎解明に取り組んでいる。本講演ではこうした研究成果の一例として、ヒトが生得的に持たない人工身体部位を追加可能な技術を用いた際の身体認識と脳活動の変容について紹介する。

自己の身体でない物体が自己の身体のように感じられる最も有名な例にラバーハンド錯覚がある (Botvnick and Cohen, 1998)。この錯覚は、視覚と触覚の時間的同期によって人工の手に身体所有感が生じる現象であり、脳内の身体表現が感覚情報の統合により柔軟に変化しうることを示している。ただしこれらの実験例の多くは、人工的な身体要素（ラバーハンド錯覚の場合はゴムの手）に生じた身体感覚を問うのみであるため、自己の身体感覚が人工身体部位に「転移」しただけである可能性が否定できない。加えて、ラバーハンド自体は自己で動かすことができないため、身体感覚を構成する重要な要素である行為主体感を問うことも通常は困難である。

後者の問題については、ロボティクス技術によって乗り越えようとする試みが近年の研究で複数実施されている。代表的な例としては、生得的な腕に加えて2本のロボットアームを背負いそれを操作可能にする「Metalimb」(Sasaki et al., 2017)、親指に対抗するように装着可能な「Third Thumb」(Kieliba et al., 2021)などが挙げられる。しかしながらこれらのシステムでは、装着者の既存身体部位（例えば足）の運動が人工身体部位の運動の制御信号として用いられているため、単に他の身体の部位の動きを「リマッピング」しているにすぎない、という解釈も成り立ちうる。

こうした制約を乗り越え、真に付加的な人工身体部位を実現するため、本研究では身体部位の動きを顕在的に生じることのない筋活動を人工身体部位（ここでは指）の制御に用いること

が可能なシステム—これを私たちは「第6の指」と呼ぶ—を開発した(図1)。この第6の指を用いたこれまでの実験により、約1時間の順応で新しい身体部位に対する身体所有感の獲得を示す行動変容と知覚の変容が生じることが分かっている(Umazawa et al., 2023)。またこの行動・知覚変容は人工指の装着部位に依存して変化することも、最近の実験で観察されている(Ito et al., 2026)。さらにこの順応前後での脳活動を fMRI で計測し比較すると、人工指を装着した手の対側中心溝付近での脳活動変化が起きることを捉えつつある。これらの結果は、新たに装着した人工指が自己の身体の一部として身体化し、脳活動を変容する可能性があることを示唆するものであると私たちは考えている。

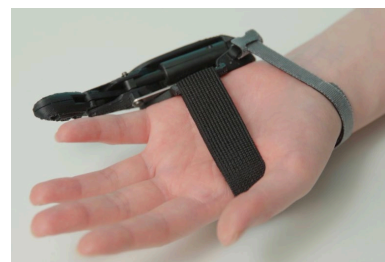


図1.「第6の指」の外観。前腕の共収縮筋電信号を用いることで随意的かつ他の身体部位とは独立した制御が

こうした技術は社会からの広く、強い興味を集めているが、一方で、システムの都合上多くの方に体験いただけないという制約がある。こうした制約をとりはらい、なるべく多くの方に基礎的な「身体拡張感」を体験してもらうための一つの試みとして、レゴブロックを用いた簡易実験キットを用いた社会実験を実施中である。こうした試みを通して、心理・脳・社会において新しい身体がどこまで受容されるのか、その基盤にはどのような神経メカニズムがあるのか、その限界へと迫る新しい神経科学の可能性について議論したい。

参考文献

1. Botvinick, M. and Cohen, J., Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature* 391, 756 (1998).
2. Sasaki, T., Saraiji, MHD. Y. Fernando, C. L., Minamizawa, K., Inami, M., MetaLimbs: multiple arms interaction metamorphism, SIGGRAPH’17: ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies, Article No.:16, pp. 1–2 (2017).
3. Kieliba, P., Clode, D., Maimon-Mor, R. O. and Makin, T. R. Robotic hand augmentation drives changes in neural body representation. *Sci. Robot.* 6, eabd7935 (2021).
4. Umazawa, K., Suzuki, Y., Ganesh, G., and Miyawaki, Y. Bodily ownership of an independent supernumerary limb: an exploratory study. *Sci. Rep.* 12, 2339 (2022).
5. Ito, K., Yasuda, R., Ueda, D., Arai, K., Ganesh, G., and Miyawaki, Y. Localized Body Image Changes from an Independent Artificial Finger, *Augmented Humans 2026*, Okinawa, Japan (2026)

..... MEMO

演題 4. 「神経可塑性誘導技術としての

ブレイン・マシン・インターフェース」

慶應義塾大学 理工学部 生命情報学科 教授

牛場 潤一

学歴・職歴

- 2001年3月 慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科 卒業
- 2002年8月 慶應義塾大学 大学院 理工学研究科 基礎理工学専攻
前期博士課程修了（修士（工学）取得）
- 2004年3月 慶應義塾大学 大学院 理工学研究科 基礎理工学専攻
後期博士課程修了（博士（工学）取得）
- 2002年11月-2004年3月 文部省 中核的研究拠点形成プログラム（COE） 生命科学分野
「システム生物学による生命機能の理解と制御」 リサーチアシスタント
- 2003年3月-2003年8月 デンマーク, オルボー大学 感覚運動統合センター 客員研究員
- 2004年4月-2007年3月 慶應義塾大学 助手（理工学部生命情報学科）
- 2007年4月-2012年3月 慶應義塾大学 専任講師（理工学部生命情報学科）
- 2012年4月-2022年3月 慶應義塾大学 准教授（理工学部生命情報学科）
- 2014年4月-2019年3月 慶應義塾大学 基礎科学・基盤工学インスティテュート主任研究員
（兼担）
- 2018年 研究成果活用企業 株式会社 LIFESCAPES（旧 Connect 株式会社）創業
- 2019年 研究成果活用企業 株式会社 LIFESCAPES 代表取締役社長（兼務）
- 2022年4月- 慶應義塾大学 教授（理工学部生命情報学科）、現在に至る

学 位 博士（工学） 慶應義塾大学 2004年

受賞歴

The Annual BCI Research Award 2024 Top 12 Nominees: Taiga Seri, Seitaro Iwama, Kurumi Adachi, Junichi Ushiba, “Intuitive avatar control through a non-invasive multimodal Brain-Computer Interface”, 2024.

The Annual BCI Research Award 2021 Top 12 Nominees: Ryotaro Hirose, Mori Fukuda, Daisuke Ito, Kohei Okuyama, Masumi Morishige, Masaaki Hayashi, Michiyuki Kawakami,

Junichi Ushiba, “Clinical evidence in functional recovery of proximal arm muscles in post stroke patients using bihemispheric EEG sensorimotor rhythm neurofeedback”, **2021**.

The Annual BCI Research Award 2019 Top 12 Nominees: Masaaki Hayashi, Nobuaki Mizuguchi, Shohei Tsuchimoto, Shoko Kasuga, Junichi Ushiba, “Neurofeedback of scalp EEG sensorimotor rhythm guides hemispheric activation of sensorimotor cortex”, **2019**.

The Annual BCI Research Award 2017 Top 12 Nominees: Kenichi Takasaki, Fumio Liu, Miho Hiramoto, Kohei Okuyama, Michiyuki Kawakami, Katsuhiko Mizuno, Shoko Kasuga, Tomoyuki Noda, Jun Morimoto, Toshiyuki Fujiwara, Junichi Ushiba, Meigen Liu, “Targeted up-conditioning of contralesional corticospinal pathways promotes motor recovery in poststroke patients with severe chronic hemiplegia”, **2017**.

第6回フロンティアサロン永瀬賞 特別賞, 受賞: 牛場潤一, “ブレイン・マシン・インターフェースによる神経医療研究”, **2016**.

平成27年度公益財団法人中谷医工計測技術振興財団 中谷賞奨励賞, 受賞: 牛場潤一, “脳運動機能の回復を支援するBMIの開発”, **2015**.

平成27年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞, 受賞: 牛場潤一, “ブレインマシンインターフェースによる神経医療研究”, **2015**.

The Annual BCI Research Award 2013 Top 10 Nominees: Yasunari Hashimoto, Tetsuo Ota, Masahiko Mukaino, Junichi Ushiba, “Motor recovery of chronic writer’s cramp by brain-computer interface rehabilitation”, **2013**.

The Annual BCI Research Award 2012 Top 10 Nominees: Mitsuaki Takemi, Yoshihisa Masakado, Meigen Liu, Junichi Ushiba, “Online Estimate of Event-related Desynchronization by Hand Motor Imagery is Associated with Corticospinal Excitability-physiological Evidence for Brain-Computer Interface Based Neurorehabilitation”, **2012**.

The Annual BCI Research Award 2010 Top 10 Nominees: Kimiko Kawashima, Shinichiro Shindo, Junichi Ushiba, Meigen Liu, “Neurorehabilitation for Chronic-Phase Stroke using Brain-Machine Interface”, **2010**.

APCMBE・IFBME Young Investigator Award: Yuji Takahashi, Junichi Ushiba, Yutaka Tomita, “The analytical method of neural codes using Frequencygram”, 6th Asian-Pacific Conference on Medical and Biological Engineering, Tsukuba International Congress Center, Apr, **2005**.

平成15年度日本リハビリテーション医学会論文賞 奨励賞次点: Junichi Ushiba, Yoshihisa Masakado, Yoko Komune, Yutaka Tomita, “Compound projections from extensor carpi radialis longus to biceps brachii motoneurons in humans”, Jpn J Rehabil Med Vol. 40, pp. 600-609, **2003**.

第6回日本臨床神経生理学会 奨励論文賞受賞. 鏡原康裕, 正門由久, 牛場潤一, “PSTHの方法論: delay time と刺激効果の関係”, 日本臨床神経生理学会誌, Vol. 31, No. 3, pp. 300-308, 2003.

所属学会 日本神経科学学会、日本ニューロリハビリテーション学会、
日本臨床神経生理学会、日本リハビリテーション医学会

専門分野 リハビリテーション神経科学

公職・その他

2025年 日本ニューロリハビリテーション学会 理事

要 旨

脳卒中後の後遺障害のうち、上肢の運動機能障害は日常生活動作（ADL）や生活の質（QOL）を著しく制限する。従来のリハビリテーション手法、例えばCI療法などは、ある程度の随意運動が残存している患者を対象としており、随意性が完全に失われた重度麻痺患者に対する効果的な治療選択肢は極めて限定的であった。このような背景から、筋活動を介さず脳活動を直接利用する Brain-Computer Interface（BCI）技術の応用が、リハビリテーション医学の新たなフロンティアの1つとして注目されている（1）。

BCI を用いたリハビリテーションの核心は、患者の運動意図と外部機器を同期させた「中枢-末梢-中枢」の閉ループ形成にある。具体的には、頭皮脳波（EEG）から感覚運動リズム

（SMR）の事象関連脱同期（ERD）をリアルタイムに抽出し、それをトリガーとしてロボット装具や機能的電気刺激を駆動させる。このシステムは、患者の自発的かつ適正な運動指令と、外部機器による固有受容覚フィードバックを時間的に神経活動レベルで一致させる。これにより、ヘブ的可塑性原理に基づくシナプス伝達効率の強化や強化学習が促され、脳卒中による組織損傷を免れた大脳皮質ネットワークや皮質脊髄路の機能再構築が誘導されると考えられている。

近年のメタ解析により、BCI 介入は従来の治療法と比較して、運動機能の評価尺度である Fugl-Meyer Assessment スコアを有意に改善させることが示されている（2）。特筆すべきは、BCI が重度麻痺患者においても臨床的最小有意差を上回る改善をもたらす点である。また、病期に関しても、亜急性期から慢性期に至るまで有効性が確認されており、リハビリテーションにおける新たな希望となっている。一方で、痙縮への影響については現時点で統計的な有意差が確立されていないが、運動企図（アクティベーション）だけでなく弛緩（リラクゼーション）を組み合わせた訓練様式の工夫により、今後の改善が期待される領域である。

効果を最大化するためのメンタルタスクとして、単なる「運動イメージ」よりも、実際に動かそうと試みる「運動企図」が推奨される。MA は皮質脊髄路の興奮性をより強力に高め、神経可塑性を促進するためである。また、最新の基礎研究では、BCI による脳活動の自己制御訓練が実際の運動実行課題における反応時間の短縮や運動の柔軟性向上へと汎化することが明らかになっており、BCI 操作スキルの習得が身体運動の制御機能そのものを再構築していることが示唆されている（3）。実用的なプロトコルとしては、精神疲労を考慮した1回30分程度の集中的なセッションを、週4～5回の高頻度で実施することが、最も確実な臨床的利得をもたらすとされている。

日本における BCI 技術の医療実装は着実に進んでいる。『脳卒中治療ガイドライン 2021（改訂 2025）』では、BCI を用いた訓練が推奨度 B として記載された（4）。さらに、2026年に策定された『脳卒中と循環器病克服 第3次5ヵ年計画』においても、BMI は重要なリハビリテーション技術として位置づけられている（5）。

産業面では、筆者が創業し兼業している研究成果活用企業（株）LIFESCAPESが開発した「医療用BMI」が2024年に薬事認証され、さらに2025年12月には次世代機が「先駆的医療機器」として指定を受けた。今後はAI技術によるノイズ除去の精度向上や、適応疾患・障害の拡大、遺伝子治療・再生医療との統合など、事業と学術の両面での進展が期待される。

参考文献

1. Lo YT, et al. Neural Interface-Based Motor Neuroprosthesis in Poststroke Upper Limb Neurorehabilitation: An Individual Patient Data Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2024; 105: 2336-2349.
2. Mortezaei A, et al. Brain-computer interfaces in poststroke rehabilitation: a meta-analysis of randomized clinical trials. *Neurosurg Focus* 2026; 60: E7.
3. Iwama S, Matsuoka A, Ushiba J. Brain-computer interface-based neurofeedback training enables transferable control of cortical state switching in humans. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2026; 123: e2525769123.
4. 日本脳卒中学会 脳卒中ガイドライン委員会（編）. 脳卒中治療ガイドライン2021〔改訂2025〕. 協和企画, 2025.
5. 日本脳卒中学会, 日本循環器学会, ほか. 脳卒中と循環器病克服 第三次5ヵ年計画 (2026-2030年度). 2026.

..... MEMO

演題5. 「神経疾患治療に資するオシロモジュレーション」

名古屋市立大学 大学院 医学系研究科 リハビリテーション医学教室 主任教授

植木 美乃

学歴・職歴

1997年3月31日 名古屋市立大学医学部卒業
1997年5月1日 京都大学医学部附属病院 勤務
1998年6月1日 医仁会武田総合病院 勤務
2000年4月1日 東京都立神経病院 勤務
2002年4月1日 京都大学大学院医学研究科博士課程 入学（脳統御医科学系専攻）
2006年3月23日 同上 修了
2005年4月1日 米国国立衛生研究所 勤務
2007年4月1日 京都大学医学部附属高次脳機能総合研究センター 勤務
2008年4月1日 名古屋市立大学病院（神経内科臨床研究医）勤務
2010年4月1日 名古屋市立大学大学院神経内科 助教
2014年7月1日 名古屋市立大学リハビリテーション医学分野 助教
2014年10月1日 同 講師
2019年4月1日 同 准教授
2020年1月1日 同 主任教授

学 位 博士（医学） 京都大学 2006年

受賞歴

2017年 平成29年度名古屋市立大学瑞友会学術部門賞
2017年 World Sleep 2017 Young Investigator Award
2018年 第12回パーキンソン病・運動障害疾患コンgres優秀演題発表（臨床部門）
2022年 第59回日本リハビリテーション医学会学術大会 ベストポスター賞
2022年 愛知県医師会難病研究者表彰

所属学会 日本リハビリテーション医学会、日本神経学会、
日本急性期リハビリテーション医学会、日本内科学会、日本臨床神経生理学会、
米国神経科学会

専門分野 リハビリテーション、神経難病、神経生理学

公職・その他

2022年 日本リハビリテーション医学会 特任理事

2023年 Journal of Rehabilitation Medicine Editor

2024年 日本神経学会 代議員 リハビリセクション・コアメンバー

2026年 日本リハビリテーション医学会 理事

2026年 日本脳ドック学会 評議員

要 旨

パーキンソン病 (PD) をはじめとする神経変性疾患における歩行障害は、従来、筋力低下やドパミン欠乏による運動機能障害として理解されてきた。しかし近年では、これらの症状の本質が脳基底核—皮質—小脳ネットワークにおける「神経活動のリズム異常」および「タイミング制御障害」に起因することが明らかとなっている。このような運動リズム障害は、すくみ足や歩行の変動性増大として臨床的に顕在化し、既存の薬物療法や脳深部刺激療法 (DBS) でも十分な改善が得られないことが多い。その結果、歩行障害は長期にわたり日常生活動作 (ADL) および社会参加を制限し、生活の質 (QOL) 低下の主要因となっている。

このような背景から、神経変性疾患に伴う歩行障害を単なる運動症状としてではなく、「神経ネットワークの時間構造の破綻」として再定義し、それに対する新たな治療戦略の開発が求められている。近年注目されているのが、外部から神経活動リズムに介入する「オシロモジュレーション (oscillomodulation)」である。これは、脳内の異常な振動活動に対して適切な周波数・位相の外的刺激を与えることで、神経回路の動的状態を再構築することを目的としたアプローチである。我々はこれまでに、歩行周期に同期させた経頭蓋交流電気刺激 (tACS) を用いた closed-loop stimulation (閉ループ刺激) を開発し、神経変性疾患における歩行障害の改善効果を報告してきた。この手法では、足底圧センサーを用いて歩行のヒールコンタクトをリアルタイムに検出し、そのタイミングに合わせて脳刺激を同期させることで、歩行周期と神経活動リズムの位相整合を図る。さらに、歩行リズムの変動に応じて刺激位相を逐次補正することで、神経活動の同期状態を維持する適応的 closed-loop 制御を実現している。このような位相同期刺激は、神経回路における位相引き込み (neural entrainment) を誘導し、破綻した運動リズム生成機構を再編成する可能性がある。実際に、我々の臨床研究では、歩行周期同期刺激により歩行速度、歩幅、歩行の安定性が改善することが示されており (Nojima et al., JNNP, 2023)、従来の治療では改善困難であった歩行障害に対する新たな治療オプションとして期待される。さらに重要な点は、この closed-loop stimulation が単なる症状改善にとどまらず、神経可塑性を介した長期的な機能回復を促進する可能性を有することである。リハビリテーションと組み合わせることで、運動学習効率の向上および神経ネットワーク再構築を同時に達成できる可能性が示唆されている。

今後は、薬物療法による神経状態の安定化を基盤とし、closed-loop stimulation やロボットリハビリテーションを統合した個別化治療戦略の確立が重要となる。すなわち、神経変性疾患に対する治療は、分子レベルの治療から神経回路レベルの制御へと拡張しつつあり、「時間構造としての脳機能」を標的とした新たな治療パラダイムへの転換が進んでいる。本アプローチは、歩行障害のみならず、振戦や運動緩慢など他の運動症状への応用も期待され、神経リハビリテーション領域における次世代治療として発展する可能性を有する。

参考文献

1. Nojima I, Horiba M, Sahashi K, Koganemaru S, Murakami S, Aoyama K, Matsukawa N, Ono Y, Mima T, Ueki Y. Gait-combined closed-loop brain stimulation can improve walking dynamics in Parkinsonian gait disturbances: a randomised-control trial. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2023.Nov; 94(11):938-944
2. Brittain JS and Brown P. Oscillations and the basal ganglia: motor control and beyond. *Neuroimage*. 2014. Jan 15;85:637-47

..... MEMO

演題 6. 「人工神経接続による脳機能再建」

公益財団法人 東京都医学総合研究所

臨床医科学研究分野 脳機能再建プロジェクト プロジェクトリーダー

西村 幸男

学歴・職歴

- 1995年 日本大学文理学部 卒業
- 1998年 横浜国立大学大学院 教育学研究科修士課程 修了
- 2003年 千葉大学大学院 医学研究科博士課程 修了
- 2003年 自然科学研究機構 生理学研究所 博士研究員
- 2004年 科学技術振興機構 CREST 研究員
- 2007年 University of Washington Visiting Scientist
- 2009年 科学技術振興機構 さきがけ専任研究員 (University of Washington)
- 2011年 自然科学研究機構 生理学研究所 准教授
- 2016年 京都大学大学院 医学研究科 准教授
- 2017年 現在に至る

学 位 博士 (医学) 千葉大学 2003年

受賞歴

- 2010年 日本神経科学学会 奨励賞
- 2011年 日本生理学会 奨励賞
- 2012年 文部科学大臣表彰若手科学者賞
- 2013年 経済産業省 Innovative Technologies 2013 特別賞
- 2015年 The BCI Research Award 2015, Guger Technologies OG, Austria
- 2015年 日本学術振興会賞
- 2023年 令和4年度福祉保健局長賞「職務発明部門」
- 2023年 The 2023 Neuroscience Research, Best Paper Award
- 2024年 塚原仲晃記念賞

所属学会 日本神経科学学会、日本生理学会、北米神経科学学会

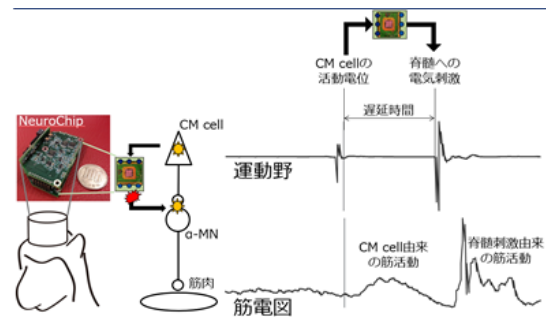
専門分野 神経生理学

要 旨

随意運動は、大脳皮質の運動関連領野から発せられる下行性運動指令が脊髄を介して筋へ伝達されることによって成立する。しかし、脳卒中や脊髄損傷などの中枢神経損傷では、この脳-脊髄間の神経経路が途絶し、運動指令が筋へ届かなくなることで運動麻痺が生じる。一方で、損傷部位の上位にある大脳皮質や、下位に位置する脊髄・末梢神経・筋の機能そのものが完全に失われているわけではない。すなわち、脳と筋をつなぐ「経路」を再構築できれば、随意運動の再建が可能となる余地が残されている。

この課題に対し、我々は損傷により分断された神経経路を、コンピューターを介して、人工的に再接続する「人工神経接続

(Artificial Neural Connection: ANC)」というパラダイムを提案してきた。ANCは、脳活動や筋活動といった随意制御可能な生体信号を記録し、それをコンピューターを介してリアルタイムに処理・変換して電気刺激として出力することで、物理的に離れた神経構造間を機能的に接続する神経活動依存的電気刺激である。



まず、ANCの基本的な有効性として、損傷によって失われた神経経路の代替が可能かを検証した。脊髄損傷サルにおいて、損傷上位の大脳運動野活動をトリガーとして損傷下位の脊髄を刺激するANCを構築したところ、麻痺した手の随意運動機能の再建に成功した。さらにこの概念をヒトへ展開し、脊髄損傷患者において筋活動と脊髄歩行中枢を結ぶANCを用いることで、歩行開始、歩行周期の維持、歩行停止といった一連の随意歩行制御を実現した。これらの結果は、失われた神経経路を人工的にバイパスすることで機能再建が可能であることを示している。

次に、ANCは単なる代替経路にとどまらず、既存の神経回路を強化する手段としても機能する。我々は健常サルにおいて、皮質脊髄路ニューロンの活動に依存して脊髄前角を刺激するANCを構築し、内因性の皮質脊髄路と並列に人工的経路を形成した。その結果、対応する筋出力は増大した。さらに、この操作を自由行動下で長時間反復すると、ANCを除去した後も筋出力の増強が数日間持続した。これは、皮質脊髄路ニューロンと脊髄運動ニューロン間のシナプス結合が強化されたことを示唆しており、ANCが神経可塑性を誘導し得ることを示す。

さらに、ANCは生体に本来存在しない神経結合を新たに形成することも可能である。大脳皮質の「顔」領域や体性感覚野といった非運動領域と手の筋を人工的に接続した場合でも、サルは短時間でその新規回路に適応し、随意的な手の運動制御を再獲得した。この過程では、初期に広範な皮質活動の増加がみられた後、運動出力に関与する領

域へと活動が収束する動的な再編成が観察された。すなわち、大脳皮質は人工的に導入された神経結合に対して柔軟に適応し、新たな運動制御回路を機能的に獲得できる。以上より、人工神経接続は、損傷後の機能再建、既存回路の強化、さらには新規神経機能の創出を可能とする技術である。接続する神経構造の組み合わせや信号変換アルゴリズム、刺激様式を最適化することで、その応用範囲はさらに拡大すると考えられる。ANCは臨床応用にとどまらず、脳神経系の可塑性や適応機構を解明するための実験的アプローチとしても重要な役割を担うと期待される。

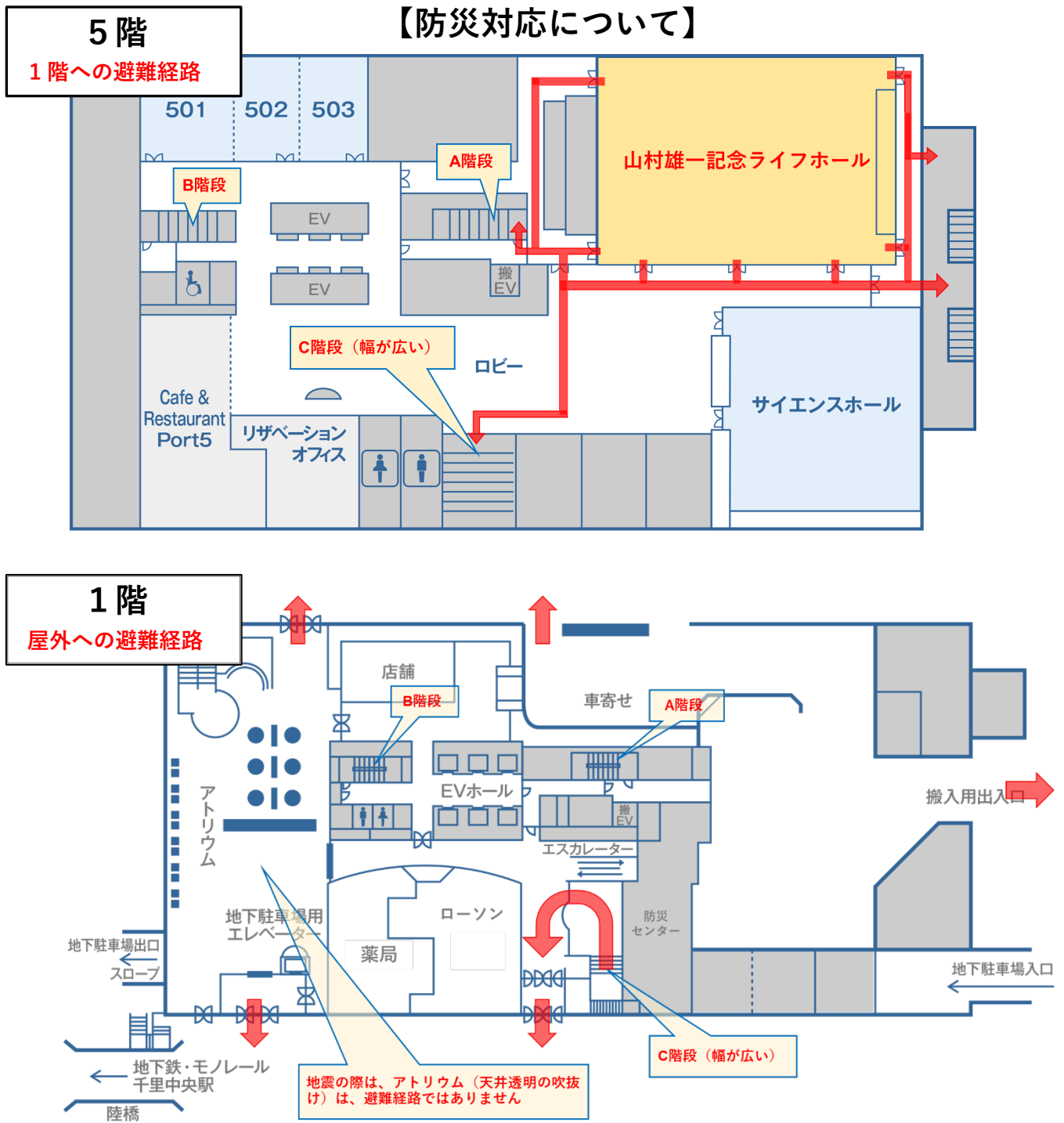
参考文献

1. Tazoe T, Sasada S, Nishimura Y et al., Noninvasive closed-loop spinal stimulation restores leg stepping control in humans with paraplegia. *Brain* 149(1):274-289 (2026)
2. Umeda T, Yokoyama O, Nishimura Y et al., Future spinal reflex is embedded in primary motor cortex output. *Science Advances* 10(51):eadq4194 (2024).
3. Umeda T, Isa T, Nishimura Y. Temporal dynamics of the sensorimotor convergence underlying voluntary limb movement. *PNAS*. 2022 119(48):e2208353119. (2022)
4. Kato K, Sawada M, Nishimura Y. Bypassing stroke-damaged neural pathways via a neural interface induces targeted cortical adaptation. *Nature Communications*. 2019 10:4699 (2019)
5. Sawada M, Kato K, Nishimura Y et al., Function of nucleus accumbens in motor control during recovery after spinal cord injury. *Science*, 350(6256) 98-101 (2015)
6. Nishimura Y, Perlmutter SI, Fetzi EE et al., Spike-timing dependent plasticity in primate corticospinal connections induced during free behavior. *Neuron*. 80(5):1301-9.
7. Nishimura Y, Morichika Y, Isa T. A subcortical oscillatory network contributes to recovery of hand dexterity after spinal cord injury. *Brain*. 132(Pt 3):709-21. (2009)
8. Nishimura Y, Onoe H, Isa T et al., Time-dependent central compensatory mechanisms of finger dexterity after spinal cord injury. *Science*. 318(5853):1150-5 (2007)


.....MEMO.....

.....MEMO.....

【防災対応について】



- 地震・火災等の非常時には、当ビルの“防災センター(1階)”と協力し、状況を確認の上、万一、避難が必要な場合はご案内いたします。お席を離れず、落ち着いて係員の指示をお待ちください。
- 避難の際には、エレベーター/エスカレーターは使用せず、階段をご使用ください。
- 当ビルは、建築基準法の新耐震基準に対応しています。



公益財団法人 千里ライフサイエンス振興財団
〒560-0082 大阪府豊中市新千里東町1-4-2
千里ライフサイエンスセンタービル20階
TEL:06-6873-2006 FAX:06-6873-2002
E-mail:otk-2023@senri-life.or.jp