



# HYPER-ADAPTABILITY

2019年度～2023年度

文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）

## 身体-脳の機能不全を克服する 潜在的適応力のシステム論的理解

Hyper-adaptability for overcoming body-brain dysfunction:  
Integrated empirical and system theoretical approaches

公募1期

領域略称名：超適応

<https://www.hyper-adapt.org>





Jun Ota

文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型) 複合領域

## 身体-脳の機能不全を克服する潜在的適応力のシステム論的理解

領域略称名：超適応(領域番号8102)

設定期間：令和元(2019)年度～令和5(2023)年度

領域代表者：太田 順(東京大学 大学院工学系研究科 人工物工学研究センター 教授)

Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas (Research in a Proposed Research Area)

### Hyper-adaptability for overcoming body-brain dysfunction: Integrated empirical and system theoretical approaches

Abbreviation: Hyper-adaptability (Project Number: 8102),

Research Term of Project: FY2019–2023

Head Investigator: Jun Ota (Professor at RACE, School of Engineering, The University of Tokyo)

## 本領域の目的

未だかつてない速度で超高齢化が進む日本では、加齢に伴う運動機能障害や高次脳機能の低下、さらには認知症、意欲の低下、気分の障害、ひいては、極度の身体・脳機能の低下(フレイルティ)などが喫緊の問題となっている。健康な生活を脅かすこれらの多くの深刻な問題の背後には、加齢や障害によって変容する脳-身体システムに、我々自身が上手く「適応」できないという共通の問題が存在している。

人の身体、脳は例えば、「脊髄の損傷で片手が麻痺しても、脳が発達の過程で喪失した同側運動野からの制御を再度活性化して、麻痺した手を通常とは異なる神経経路で制御する[Isa, 2019]」等の高い冗長性を有している。

このような事実を踏まえて、我々は「超適応」の解明が上述の「共通の問題」を解決に導くと考えている。これは、従来の身体運動科学が扱ってきた「通常の適応」とは明らかに異なる。

脳機能への障害に対する神経系の超適応原理を脳神経科学とシステム工学の密な連携によってアプローチし、急性/慢性の障害及び疾患やフレイルティの原理を包括的に理解することが本領域の目的である。

## Purpose of the Research Project

With coming of a super-aging society in Japan, we are facing the urgent problems of sensory-motor impairments, declining higher-order brain functions, cognitive impairment, loss of motivation, and mood disorders caused by aging, and in turn extreme decline of bodily and neurological functions. All of these problems have a common source: inability to adapt appropriately to a brain-body system changed with aging and impairments.

The human body has a high degree of redundancy. For example, “when a hand is paralyzed by a spinal cord injury, the ipsilateral motor cortex immediately joins its control by reactivating its pre-existing neural pathway, which is normally suppressed and preserved in the course of development” (Isa, 2019).

In light of such facts, we believe that clarifying the brain’s “hyper-adaptability” may resolve the abovementioned issues.

The goal of our research project is to elucidate the neural and computational principles of hyper-adaptability in which the brain manages impairment of brain functions by linking neuroscience with systems engineering in order to comprehensively understand acute/chronic impairments and disorders, and the principle of frailty.

HYPER-ADAPTABILITY





## 本領域の内容

人は急性／慢性障害及び疾患や高齢化に伴うフレイルティの場合に、普段抑制されている神経ネットワークの脱抑制や、進化や発達の過程で喪失していた潜在ネットワークの探索・動員等により、新たな神経ネットワークを作り直す。我々は、この機能代償の過程を「生体構造の再構成」と呼び、超適応を可能にする具体的な神経実体と考える。この再構成された神経ネットワークをうまく活用して運動機能を実現するためには、これを利用して、現状の脳・身体を正しく認知し、適正な運動制御のための新しい制御系を獲得する必要がある。このためには、積極的に意欲をもって、高コストな新規ネットワークを駆動し、認知－予測－予測誤差処理の計算を反復しながら、このネットワークの利用を強化する必要がある。このような新たな制御空間で再び行動を適正化するための学習サイクルを、「行動遂行則の再編成」と呼び、超適応を可能にする神経計算原理と考える。

上記の一連の仮説を検証するためには脳神経科学の知見が必須である。しかしながら実験解析的なボトムアップアプローチのみでは、神経ネットワークのシステムの挙動により発現する超適応の解明が困難である。そこで本領域では、システム工学の構成論的数理モデル化技術と脳神経科学を融合した学際的アプローチを展開する(次頁図参照)。その融合技術基盤として、「ウイルスベクターや光・化学遺伝学的方法論、脳刺激法等の介入脳神経科学手法に、ロボット工学・Virtual Reality 技術によって感覚・運動情報を時間・空間的に統制できる実験系を融合することにより、脳活動と機能との因果性の検証を実現する」ロボティック介入脳神経科学法と、「これまでの精緻な脳神経科学研究により得られた各分野の機能に関する知見を組み入れたモデルを構成し、その内部パラメータや領野間の関係をニューラルネットワーク等の柔軟な関数近似器で記述したり、統計的手法によりモデルの構造を推定したりするグレイボックスモデリングを行う」機能推定可能な脳情報デコーディング法という2つの新たな解析法を採用する。

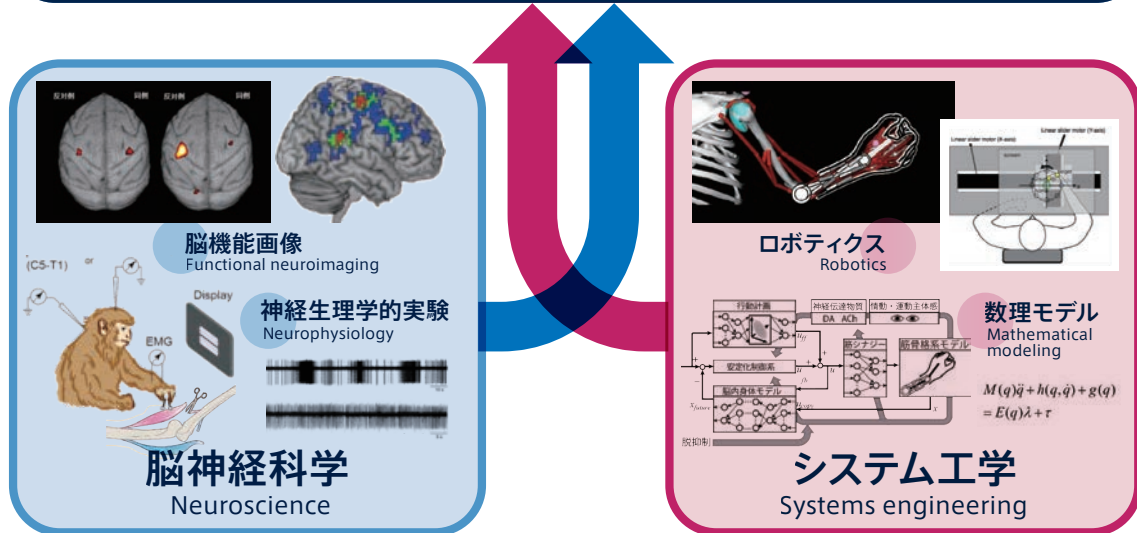
## Content of the Research Project

When a person experiences acute/chronic impairment or disorder due to aging, the brain reorganizes neural networks by disinhibiting pre-existing neural network that is normally suppressed and searching for latent but available network that has long been unutilized through course of evolution and development. We call this process of functional compensation as “reconstruction of neural structure”, i.e. a neural entity that achieves hyper-adaptability. In order to implement practical functions to this reconstituted neural network, the network should acquire a new control policy of motor effectors based on precise recognition of the present states of the brain and the body. Here, the brain has to activate the new network by repeatedly performing neural computations and updates the network based on prediction error. We call this learning cycle in a new control space as “reconstitution of sensorimotor control rules”, i.e. neural computation principle that enables hyper-adaptability.

In order to verify the hypotheses described above, knowledge of neuroscience is essential. However, with only the “bottom-up” approach relying on experiments and analyses, it would be difficult to clarify hyper-adaptability that is manifested by systematic behavior of a neural network. Therefore, we apply an interdisciplinary approach that integrates the mathematical modeling technology of systems engineering with neuroscience (see figure on page 4). We adopt two new analytical approaches: (a) Robotic-interventional neuroscience, i.e. combinatory use of well-controlled robotic technologies and biological approaches of viral vector, optogenetics, chemogenetics and brain stimulation. This allows verification of cause-effect relationship of neural activity and its generated functions and behaviors. (b) Function-oriented neural encoding, which constitutes a model that may incorporate any knowledge of brain functions into gray-box modeling or hypothesizes the structure of a model based on statistical methods.

# 超適応の科学

Science of hyper-adaptability



領域の全体構成図  
Whole constitution of the project

**Keyword** **超適応**：現在用いている既存の神経系では対応しきれない脳や身体への障害に対して、脳が、進化や発達の過程で使われなくなった潜在的機能等を再構成しながら、新たな行動遂行則を獲得する過程を表すもの。

**Hyper-adaptability**: Capability of central nervous system (brain and spinal cord) to manage impairment of sensory, motor and cognitive functions including ageing-related ones, by reactivating and recruiting pre-existing, latent but available network with being implemented by new computational principles and practical functions.



## 期待される成果と意義

本領域では以下の成果と意義が期待できる。

- 1) 超適応の単なる現象論の記述を超えて、これを発動する神経メカニズムの解明と数理モデル化による「超適応の科学」という学問分野の体系化
- 2) 電気生理・脳イメージング・行動データなどのマルチモーダルな情報を統合して機能を記述できる数理モデル化手法（グレイボックスモデル）の構築
- 3) 構造変化や行動遂行則変化を統合した生存適応原理を説明可能とする理論構築

また、領域終了後に想定できる波及効果として「高次脳機能障害（認知症に代表される脳変性疾患や脳卒中）への新しい対処法の提案」や「高齢化に伴うフレイルティの0次予防法の提案」等が考えられる。

## Expected Research Achievements and Scientific Significance

- 1) Systematization of “science of hyper-adaptability” by elucidating its underlying neural mechanisms and through its computational modelings
- 2) Construction of mathematical modeling (gray-box model), which can describe brain functions by integrating multi-modal experimental data such as electrophysiology, brain imaging, and behavior.
- 3) Construction of a comprehensive theory that can explain adaptation principle from its neural entity to its neural computation principle.

### キックオフシンポジウム & 公募研究説明会

「身体－脳の機能不全を克服する  
潜在的適応力のシステム論的理解」  
領域概要説明

東京大学  
大学院工学系研究科 人工物工学研究センター  
教授 太田 順

# 01 項目群

損傷や加齢に伴う大規模脳領域での脱抑制機構に関して、モノアミン修飾系に着目し、光遺伝学による因果性解析などを通して、「生体構造の再構成過程」を解明する。

**01 group** focuses on the monoamine system for brain disinhibition during neural damage and aging. Our group studies the "reconstruction of neural structure" through causality analysis such as using optogenetics.

## A01

### 生体構造の再構成による超適応機構の解明と潜在適応力低下防止への挑戦

研究代表者 **伊佐 正** 京都大学 大学院医学研究科 教授  
 研究分担者 **内藤 栄一** 情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究マネージャー  
 研究分担者 **相澤 秀紀** 広島大学 大学院医系科学研究科 教授  
 研究分担者 **浅田 稔** 大阪大学 先導的学際研究機構 特任教授



伊佐 正 Tadashi ISA  
 内藤 栄一 Eiichi NAITO  
 相澤 秀紀 Hideki AIZAWA  
 浅田 稔 Minoru ASADA

*Elucidation of the hyper-adaptation mechanism by reconstruction of bio-structure and challenges for prevention of decline in latent adaptive capacity*

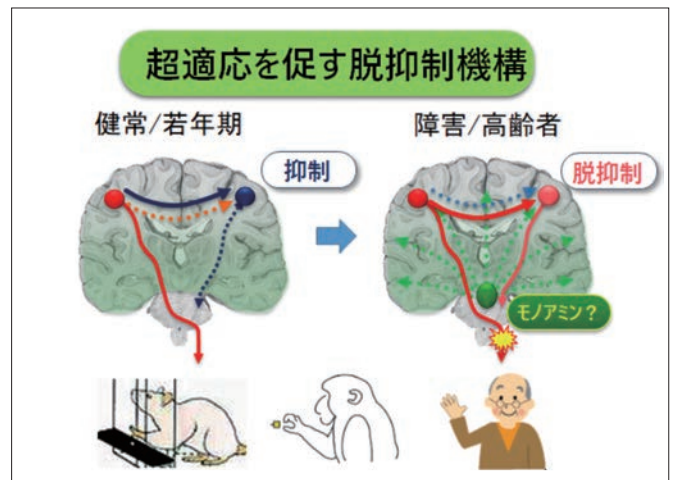
**Principal investigator:**  
 Tadashi ISA  
 Professor, Kyoto University

**Funded co-investigators:**  
 Eiichi NAITO  
 Research Manager, CiNet

Hideki AIZAWA  
 Professor, Hiroshima University

Minoru ASADA  
 Specially Appointed Professor, Osaka University

中枢神経損傷や加齢による機能低下の際を代償するための超適応の基盤として広汎な神経回路の脱抑制があり、その背後にモノアミン汎性修飾系が関与するという我々の仮説  
 To compensate for the damage to the central nervous system or dysfunction with aging, the subjects may actively exert the disinhibitory mechanism in the large-scaled neural network. We hypothesizing that the diffusely projecting monoaminergic system underlies such disinhibition.



## B01

### 生体構造の再構成に関わる潜在回路に基づく超適応メカニズムのモデル化

研究代表者 **近藤 敏之** 東京農工大学 大学院工学研究院 教授  
 研究分担者 **千葉 龍介** 旭川医科大学 医学部 准教授



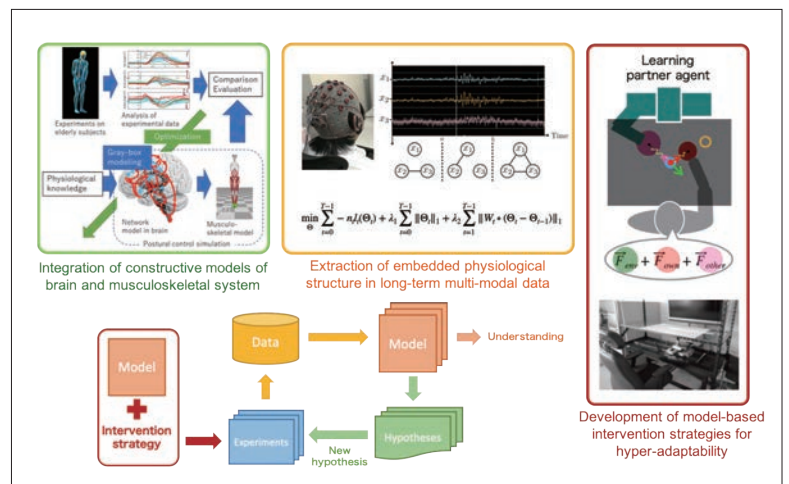
近藤 敏之 Toshiyuki KONDO  
 千葉 龍介 Ryusuke CHIBA

*Systems modelling of hyper-adaptation mechanism for reconstruction of neural structure*

**Principal investigator:**  
 Toshiyuki KONDO  
 Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

**Funded co-investigator:**  
 Ryusuke CHIBA  
 Associate Professor, Asahikawa Medical University

構造変化を伴う超適応のモデル化に向けたシステム工学的アプローチ  
 Systems engineering approach toward modeling of hyper-adaptability with structural change



## 02 項目群

脳の「生体構造の再構成過程」を、身体変容である急性・慢性の筋再配置による筋や筋シナジー変化を基に解析し、数理モデル化する。

**02 group** analyzes the changes in muscle synergy by acute and chronic tendon transfer, and constructs a mathematical model for the "reconstruction of neural structure".

### A02

#### 身体変容への超適応の神経機構の解明

研究代表者 関 和彦 国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 部長

*Hyper-adaptability to altered musculoskeletal system: cortical and subcortical mechanism*

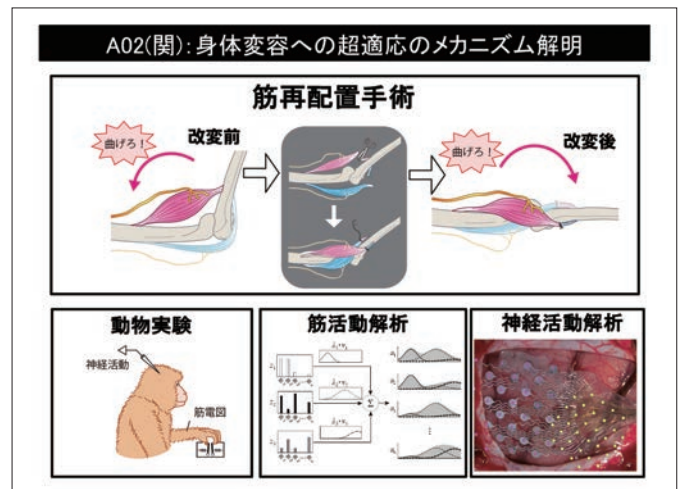
**Principal investigator:**

Kazuhiko SEKI  
Director, NCNP



関 和彦  
Kazuhiko SEKI

上：筋再配置手術の概念図。筋再配置のような経験したことのない運動中の感覚予測誤差に対する脳の超適応過程を、神経細胞活動記録や筋電図記録（下左）、筋電図解析（シナジー解析）（下中央）、皮質活動記録（下右）などを通じて解明する。Top: Conceptual diagram of muscle relocation surgery. We will evaluate the process of hyper adaptation by recording muscle activities (lower left), muscle synergy analysis (lower middle), and the cortical activity (lower right).



### B02

#### 身体変容への超適応のモデル化

研究代表者 小池 康晴 東京工業大学 科学技術創成研究院 教授

研究分担者 船戸 徹郎 電気通信大学 大学院情報理工学研究所 准教授

*Modeling of hyper-adaptability to altered musculoskeletal system*

**Principal investigator:**

Yasuharu KOIKE  
Professor, Tokyo Institute of Technology

**Funded co-investigator:**

Tetsuro FUNATO  
Associate Professor, The University of Electro-Communications

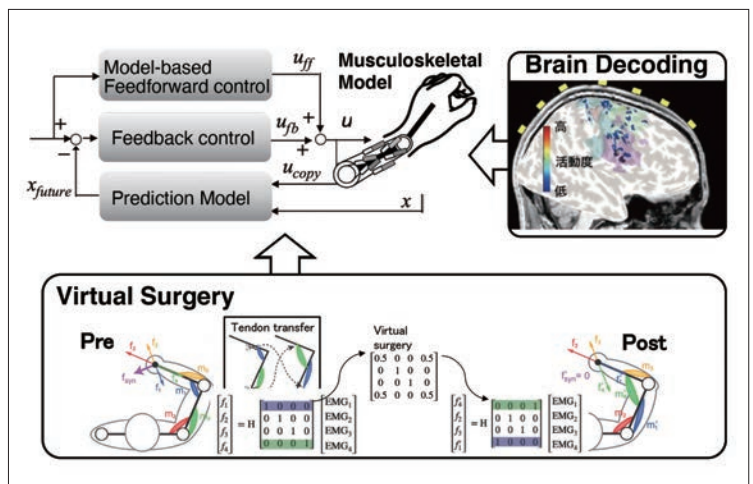


小池 康晴  
Yasuharu  
KOIKE



船戸 徹郎  
Tetsuro  
FUNATO

シナジーの再構成・学習過程のモデル化  
Model of the reconstruction/learning process of synergies



# 03 項目群

身体認知・意欲が運動学習に与える影響を調べることで「行動遂行則の再編性」のメカニズムに迫る。身体認知に介入して再編成を促進する技術を開発し、ロボティック介入リハビリテーションに応用する。

**03 group** approaches the mechanism of the “reconstitution of behavioral principle” by examining the effects of cognition and motivation on motor learning. Our group develops a technology to intervene in body cognition to promote reorganization, and applies it for robotic-interventional rehabilitation.

## A03

### 超適応を促す身体認知・情動機構の解明

研究代表者 **今水 寛** 東京大学 大学院人文社会系研究科 教授  
 研究分担者 **筒井 健一郎** 東北大学 大学院生命科学研究所 教授

*Mechanisms of body cognition and emotion inducing hyper-adaptability*

**Principal investigator:**  
 Hiroshi IMAMIZU  
 Professor, The University of Tokyo

**Funded co-investigator:**  
 Ken-Ichiro TSUTSUI  
 Professor, Tohoku University

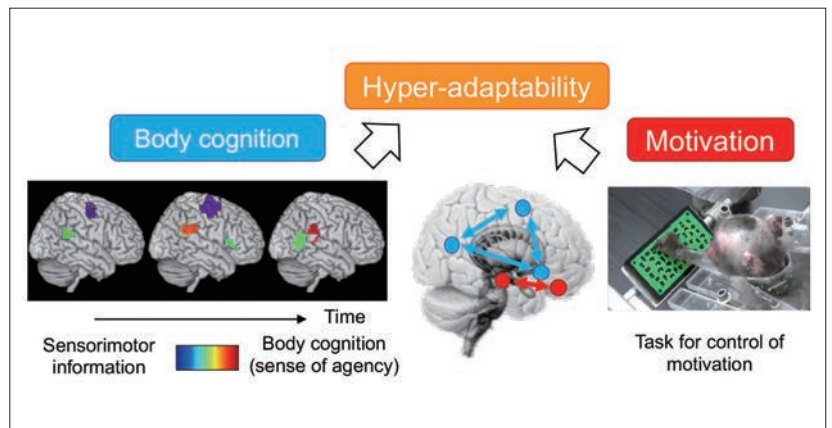


今水 寛  
 Hiroshi  
 IMAMIZU



筒井健一郎  
 Ken-Ichiro  
 TSUTSUI

身体認知と意欲が、超適応を促進するメカニズムの神経科学的理解  
 Understanding neural mechanisms in which body cognition and motivation facilitate “hyper-adaptability”



## B03

### 認知・情動に着目した超適応現象のシステム論的理解と実現

研究代表者 **浅間 一** 東京大学 大学院工学系研究科 教授  
 研究分担者 **井澤 淳** 筑波大学 システム情報系 准教授  
 研究分担者 **温 文** 東京大学 大学院工学系研究科 特任准教授  
 研究分担者 **安 琪** 九州大学 大学院システム情報科学研究所 准教授



浅間 一  
 Hajime ASAMA



井澤 淳  
 Jun IZAWA



温 文  
 Wen WEN



安 琪  
 Qi AN

*Systematic understanding and realization of hyper-adaptive phenomena focusing on cognition and emotion*

**Principal investigator:**  
 Hajime ASAMA  
 Professor, The University of Tokyo

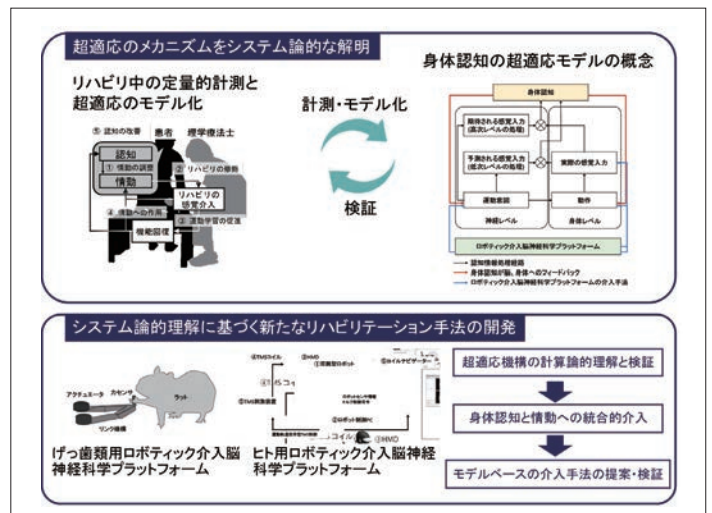
**Funded co-investigators:**  
 Jun IZAWA  
 Associate Professor, University of Tsukuba

Wen WEN  
 Project Associate Professor, The University of Tokyo

Qi AN  
 Associate Professor, Kyushu University

認知・情動に着目した超適応現象のシステム論的解明と理解、およびそれに基づく新たなリハビリテーション手法の開発

Systematic understanding and realization of hyper-adaptive phenomena focusing on cognition and emotion, and proposal of novel rehabilitation based on hyper-adaptive phenomena





## 04 項目群

パーキンソン病等の神経変性疾患等による神経伝達物質の異常に着目し、「行動遂行則の再編成」メカニズムを解明する。

*04 group* focuses on the neurotransmitter abnormality caused by neurodegenerative diseases such as Parkinson's disease, and approaches the mechanism of "reconstitution of behavioral principle".

### A04

#### 神経伝達物質の異常に伴う超適応を誘発する脳活動ダイナミクスの変容

研究代表者 高草木 薫 旭川医科大学 医学部 教授

研究分担者 花川 隆 京都大学 大学院医学研究科 教授

*Alteration of brain dynamics as underlying mechanisms of hyper-adaptability in neurotransmitter disorders*

**Principal investigator:**

Kaoru TAKAKUSAKI  
Professor, Asahikawa Medical University

**Funded co-investigator:**

Takashi HANAKAWA  
Professor, Kyoto University

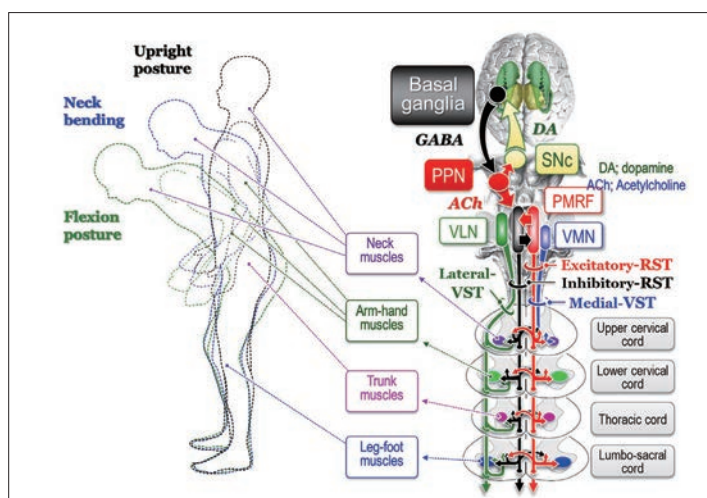


高草木 薫  
Kaoru  
TAKAKUSAKI



花川 隆  
Takashi  
HANAKAWA

ドーパミン作動性コリン作動系および脳幹下行路の機能から見たパーキンソン病の姿勢変化の仮説メカニズム  
Hypothetical mechanism of postural change in Parkinson's disease based on functions of dopaminergic and cholinergic systems, and brainstem descending tracts.



### B04

#### 姿勢制御における神経伝達物質の作用を考慮した超適応モデリング

研究代表者 太田 順 東京大学 大学院工学系研究科 教授

研究分担者 四津 有人 東京大学 大学院工学系研究科 准教授

*Modelling of hyper adaptability in human postural control considering the role of neurotransmitters*

**Principal investigator:**

Jun OTA  
Professor, The University of Tokyo

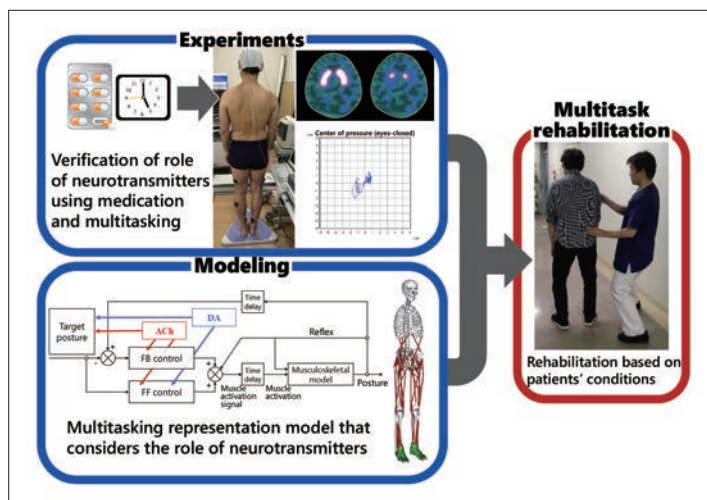
**Funded co-investigator:**

Arito YOZU  
Associate Professor, The University of Tokyo



太田 順  
Jun OTA

投薬・マルチタスクを利用した神経伝達物質の役割の検証  
およびマルチタスク表現モデルの開発  
Verification of the role of neurotransmitters using medication and multitasking and the development of a multitasking representation model



## A05-01

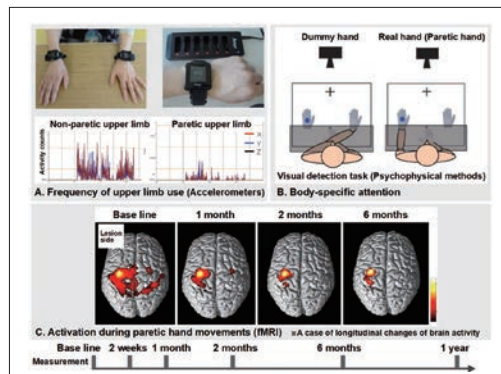
### 脳卒中患者の上肢麻痺回復過程における超適応機構の解明

*Elucidation of the hyper-adaptation mechanism of upper limb recovery in stroke patients*



研究代表者  
出江 紳一  
東北大学 医工学研究科 教授  
Shin-ichi IZUMI  
Professor, Tohoku University

脳卒中患者の上肢麻痺回復過程における超適応機構の解明  
Elucidation of the hyper-adaptation mechanism of upper limb recovery in stroke patients



## A05-02

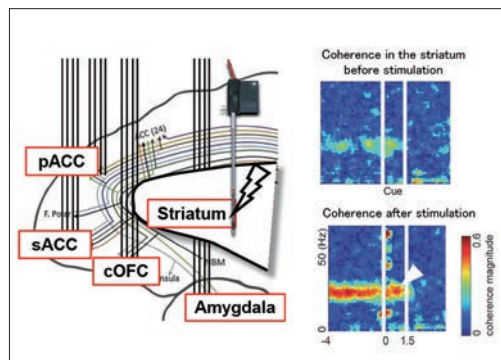
### 不安障害と回復期にみられる霊長類辺縁皮質—線条体の神経振動の同期現象

*Synchronization of neural oscillation among primate limbic structures and the striatum during recovery from anxiety like state.*



研究代表者  
雨森 賢一  
京都大学 白眉センター 准教授  
Kenichi AMEMORI  
Associate Professor, Kyoto University

帯状束でつながる不安に関わると考えられる脳領域のネットワークと領域間のコヒーレンス解析  
Anxiety network consists of brain regions that are connected through cingulate bundle and coherence analysis among the brain regions.



## A05-03

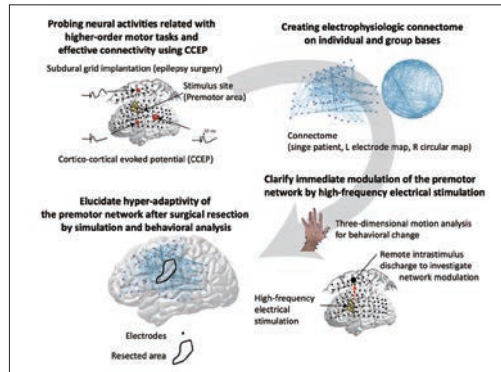
### ヒト運動前野の超適応メカニズムの解明:皮質脳波からの電気的コネクティクス研究

*Mechanism of Hyper-Adaptivity of the human premotor area: electrophysiological connectome analysis with electrocorticogram*



研究代表者  
松本 理器  
神戸大学 大学院医学研究科 教授  
Riki MATSUMOTO  
Professor, Kobe University

ヒト運動前野の超適応メカニズムの解明:皮質脳波からの電気的コネクティクス研究  
Mechanism of Hyper-Adaptivity of the human premotor area: electrophysiological connectome analysis with electrocorticogram



## A05-04

### パーキンソン病モデルにおける学習障害回復の基盤となる神経回路再編成メカニズム

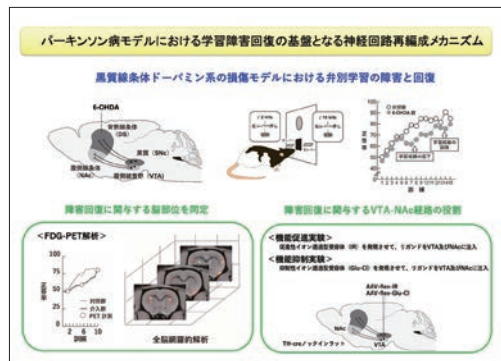
*Neural circuit rearrangement mechanisms underlying the recovery from learning deficits in Parkinson's disease model animals*



研究代表者  
小林 和人  
福島県立医科大学  
医学部 教授  
Kazuto KOBAYASHI  
Professor, Fukushima Medical University

黒質線条体系の損傷に基づくパーキンソン病モデルラットは、弁別学習の障害を示すが、試行の継続によりその障害は徐々に回復する。この学習障害回復の神経回路メカニズムを解明するために、回復過程における脳内神経活動の動態変化を小動物用 PET (positron emission tomography) 技術を用いて全脳レベルで解析することに加え、経路選択的な神経回路操作技術により、中脳 (腹側被蓋野: ventral tegmental area/VTA) から側坐核 (nucleus accumbens/NAc) へ投射するドーパミン神経系の役割の解明に迫る。

Model rats for Parkinson's disease generated by degeneration of nigrostriatal dopamine neurons impairs the acquisition of sensory discrimination learning, but the impairment is recovered gradually through the continuous trials. To understand this recovery mechanism, we will analyze a dynamic shift of neural activity at the whole brain level by using the positron emission tomography for small animals and aim to elucidate the role of dopamine pathway originating from the ventral tegmental area (VTA) and projecting to the nucleus accumbens (NAc) in the learning recovery.



## A05-05

### ヒト脳・脊髄 間接運動経路の活性化を最大化する脳刺激法の決定

*Development of non-invasive brain stimulation techniques that can increase recruitment of the corticospinal motor indirect pathway during acquisition of hand motor skills.*



研究代表者

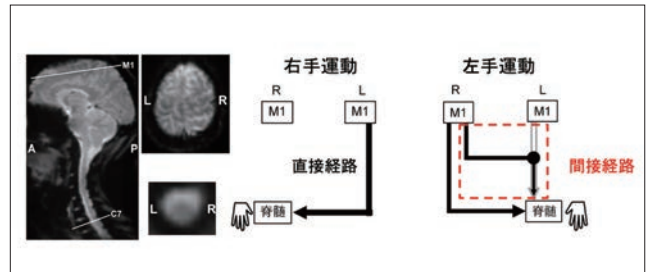
阿部 十也

国立精神・神経医療研究センター  
脳病態統合イメージングセンター

Mitsunari ABE  
Section Chief, NCNP

脳・脊髄機能画像法を開発した。この手法を用いることにより、右利きヒトにおいて利き手（右手）と左手（非利き手）の運動経路が異なることを示した。

Cortico-Spinal functional magnetic resonance imaging (cs-fMRI) techniques (left panel). We found preferential involvement of the corticospinal motor direct and indirect pathway for the preferred and nonpreferred hand movement (right panel, in submission).



## A05-06

### 脳内出血後のリハビリテーションによる運動回復に伴う運動調節系変化の解析

*Analysis of motor control system in the recovery of forelimb function by rehabilitation after intracerebral hemorrhage*



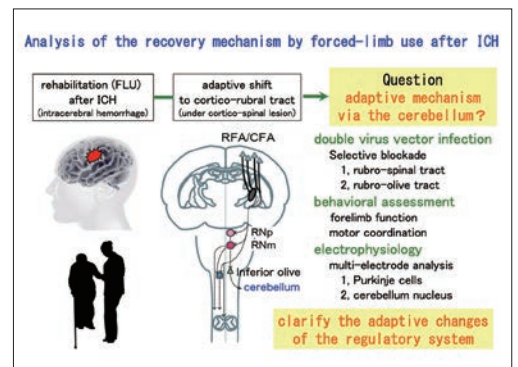
研究代表者

飛田 秀樹

名古屋市立大学  
大学院医学研究科 教授

Hideki HIDA  
Professor, Nagoya City University

脳出血後のリハビリテーションによる運動機能回復メカニズムの解析：内包近傍の脳内出血（ICH）後の麻痺側集中使用（FLU）により上肢巧緻機能が改善するが、小脳を介した運動調節系の適応メカニズムは明らかになっていない。ウイルスベクター二重感染法を用い、行動学的および電気生理学的な解析から、運動調節系の超適応変化を解析する。Analysis of the recovery mechanism by forced-limb use after ICH: Although forelimb motor function is improved by forced-limb use (FLU) after intracerebral hemorrhage (ICH) involving the switch to cortico-rubral pathway under damage of cortico-spinal pathway, the adaptive mechanism of motor control system is unknown. Using double-virus vector infection method, adaptive mechanism in motor control system via cerebellum will be investigated from behavioral and electrophysiological analysis.



## A05-07

### 恐怖記憶による不適応状態からの超適応を支える脳領域間ネットワーク変化の制御機構

*Regulatory mechanisms of inter-regional network changes underlying hyper-adaptation from mal-adaptation state caused by fear memory.*



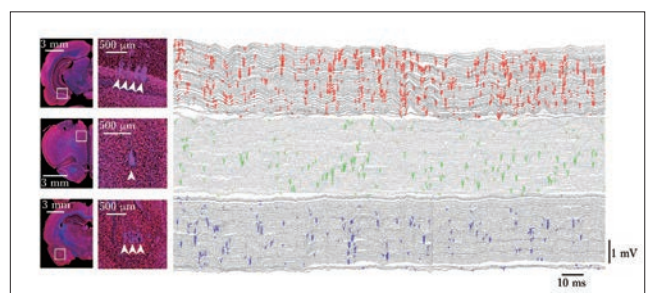
研究代表者

宮脇 寛行

大阪市立大学  
大学院医学研究科 助教

Hiroyuki MIYAWAKI  
Assistant Professor,  
Osaka City University

腹側海馬、扁桃体、前頭前野からの多領域同時・大規模電気生理学記録  
Simultaneous multi-regional large-scale electrophysiology in the ventral hippocampus, amygdala, and prefrontal cortex.



## A05-08

### 主体感 (Sense of Agency) の精度向上による神経疾患・精神疾患における超適応の促進

*Facilitating hyper-adaptation in neurological and psychiatric diseases thorough improving precision on the sense of agency.*



研究代表者

前田 貴記

慶應義塾大学 医学部 講師  
Takaki MAEDA  
Senior Assistant Professor,  
Keio University

主体感 (Sense of Agency) の精度向上による神経疾患・精神疾患における超適応の促進  
Facilitating hyper-adaptation in neurological and psychiatric diseases thorough improving precision on the sense of agency

ここから(体験)から、脳へ介入し、脳の機能再構築をしようとする治療法(ビッグデータアプローチ)。  
※ボトムアップな神経科学研究と相補的に進めることで、「超適応」を、より高い水準で実現させる。

- “Agency Tuning”による“主体感の精度”の向上のみならず、神経疾患・精神疾患における症状全般の改善に、数化(generalization)されるか？  
般化されたときの全脳および“agency network”におけるfunctional connectivityの変化の検証(resting state fMRI)。
- VRを利用した“Agency Tuning 3D version”により、没入感を強めることで介入効果を高める。

## A05-09

### 抑制性ニューロンの観察・操作による巧緻性再獲得のメカニズム解明

*The role of inhibitory neurons related to skilled hand movements after spinal cord injury.*



研究代表者  
**近藤 崇弘**  
慶應義塾大学 医学部 助教  
Takahiro KONDO  
Assistant Professor, Keio University

抑制性ニューロンの観察・操作による巧緻性再獲得メカニズムの解明  
The role of inhibitory neurons related to skilled hand movements after spinal cord injury.

#### 抑制性ニューロンの観察・操作による巧緻性再獲得のメカニズム解明

背景：抑制性ニューロンの活動低下は可塑性誘導に必要  
運動学習初期や、脳卒中からの回復初期において  
一次運動野でGABAの低下を認める

問題点：どの抑制性ニューロンがいつ・どのように  
可塑性誘導に寄与しているか不明



ソマトスタチン(+)ニューロンイメージング、  
およびパルバレミン(+)ニューロンイメージング  
により、マウモセット脊髄損傷モデルが運動機能を  
回復するときの神経活動をモニタリング

## A05-10

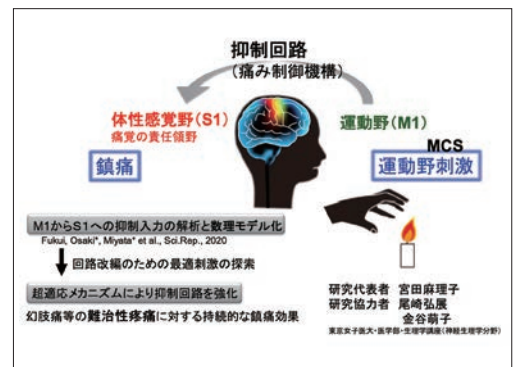
### 超適応メカニズムを利用した運動野刺激の除痛効果

*Mechanism of analgesic effect in MSC: Hyper-Adaptivity to nociceptive primary somatosensory area*



研究代表者  
**宮田 麻理子**  
東京女子医科大学 医学部 教授  
Mariko MIYATA  
Professor,  
Tokyo Women's Medical University

超適応メカニズムを利用した運動野刺激の  
除痛効果  
Mechanism of analgesic effect by MCS in-  
duced hyper-adaptability



## A05-11

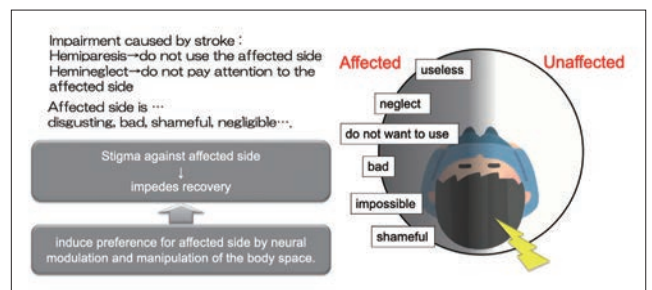
### 脳刺激やモチベーション操作による障害側身体空間を志向する神経回路の活性化

*Activating preference network for affected side by neural and behavioral modulation.*



研究代表者  
**大須 理英子**  
早稲田大学 人間科学学術院 教授  
Rieko OSU  
Professor, Waseda University

脳刺激やモチベーション操作による障害側  
身体空間を志向する神経回路の活性化  
Activating preference network for af-  
fected side by neural and behavioral  
modulation.



## A05-12

### 細胞外環境とシナプスコネクトによる超適応機能

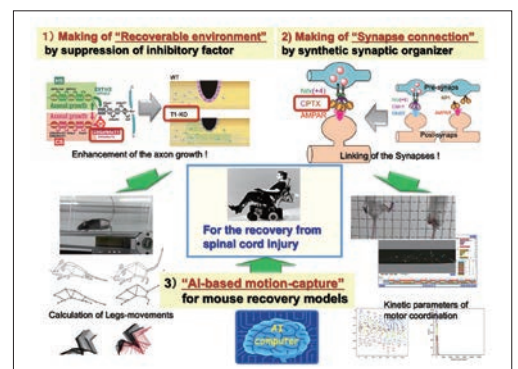
— 脊髄損傷後の超回復とAIトレース —

*Hyper-adaptability from inducing synapse connection and regulation of extracellular matrix. —Spinal cord injury and AI-based motion capture—*



研究代表者  
**武内 恒成**  
愛知医科大学 医学部 教授  
Kosei TAKEUCHI  
Professor, Aichi Medical University

脊髄損傷後の超回復を目指して、細胞外再生  
環境を制御と人為的シナプスコネクトによる  
回復 AI モーションキャプチャで解析する。  
AI-based motion capture for Hyper-  
adaptability from inducing synapse con-  
nection and regulation of extracellular  
matrix, in order to amelioration to spinal  
cord injury.



## A05-13

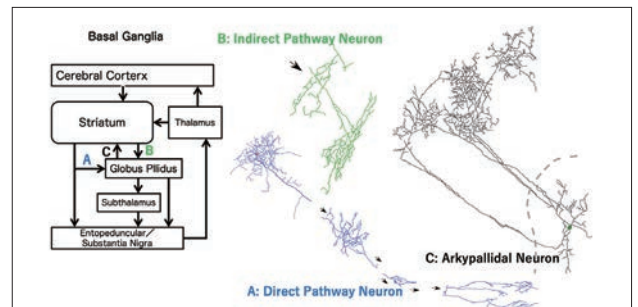
### 加齢と疾患による大脳基底核神経路の変遷と再構成を検証する

*Reconstruction of Basal Ganglia by Aging and Neurodegenerative Disease*



研究代表者  
**藤山 文乃**  
 北海道大学  
 大学院医学研究院 教授  
 Fumino FUJIYAMA  
 Professor, Hokkaido University

膜移行性シグナルを付けたウイルスベクターを用いて明らかになった新しい大脳基底核ニューロン  
 Basal Ganglia neurons revealed by membrane targeting Sindbis virus



## A05-14

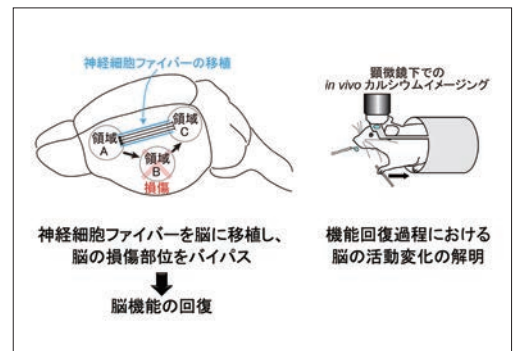
### 超適応によって脳機能を回復させるための先進的基盤技術開発

*Development of techniques to improve brain functions by using hyper-adaptability*



研究代表者  
**正水 芳人**  
 理化学研究所  
 脳神経科学研究センター  
 副チームリーダー  
 Yoshito MASAMIZU  
 Deputy Team Leader,  
 Center for Brain Science, RIKEN

超適応によって脳機能を回復させるための先進的基盤技術開発  
 Development of techniques to improve brain functions by using hyper-adaptability



## A05-15

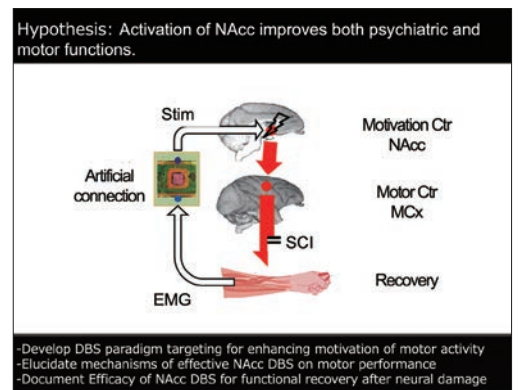
### 超適応を促進する脳刺激法の開発とその作動メカニズムの解明

*Facilitation of Hyper-Adaptability through Deep Brain Stimulation.*



研究代表者  
**西村 幸男**  
 東京都医学総合研究所  
 脳機能再建プロジェクト  
 プロジェクトリーダー  
 Yukio NISHIMURA  
 Project Leader, Tokyo Metropolitan  
 Institute of Medical Science

超適応を促進する脳深部刺激法の開発とその作動メカニズムの解明  
 Facilitation of Hyper-Adaptability through Deep Brain Stimulation



## A05-16

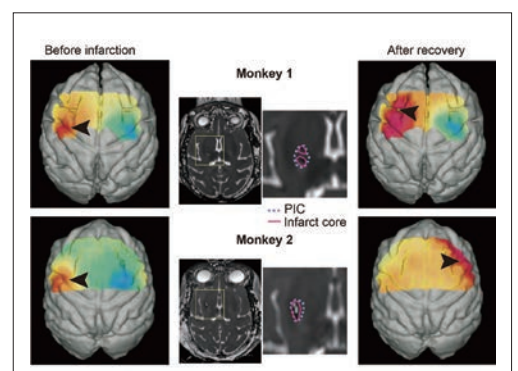
### 脳損傷後に大脳両半球で生じる適応機構

*Adaptive mechanism occurring in both hemispheres after unilateral brain damage*



研究代表者  
**肥後 範行**  
 産業技術総合研究所  
 人間情報インタラクション研究部門  
 研究グループ長  
 Noriyuki HIGO  
 Group Leader, AIST

fNIRS (Functional Near-Infrared-Spectroscopy) 計測により示された内包 (PIC) 梗塞後の巧緻動作回復過程で生じる大脳皮質の活動変化  
 Functional near-infrared-spectroscopy-based measurement of changes in cortical activity in macaques during recovery of manual dexterity after infarction in the posterior internal capsule (PIC).



# B05 公募班

B05 | Subscribed Research Group

## B05-01

### 深層強化学習における運動シナジー発現のメカニズムの解明

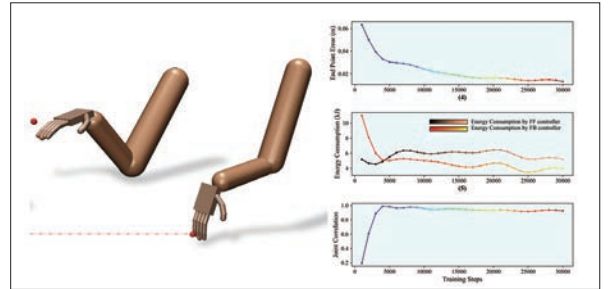
*Elucidation of the mechanism of motor synergy emergence in deep reinforcement learning*



研究代表者  
**林部 充宏**  
東北大学  
大学院工学研究科 教授  
Mitsuhiko HAYASHIBE  
Professor, Tohoku University

リーチング運動において深層強化学習によりフィードバック制御からフィードフォワード制御に切り替わり協調的な運動に変異している様子

Deep reinforcement learning switches from feedback control to feedforward control and transforms into synergetic movement during reaching task



## B05-02

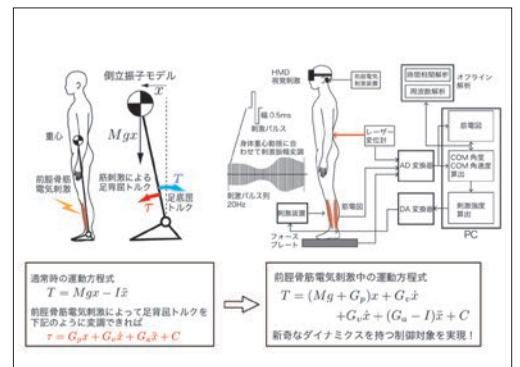
### 閉ループ筋電気刺激外乱システムを用いた立位姿勢制御系適応能力の解明

*Adaptation ability of human postural control system revealed by a closed-loop electrical muscle stimulation system*



研究代表者  
**野崎 大地**  
東京大学  
大学院教育学研究科 教授  
Daichi NOZAKI  
Professor, The University of Tokyo

ヒト直立姿勢時の身体ダイナミクスを変容させる閉ループ型電気刺激システム  
Closed-loop electrical stimulation system to alter the body dynamics of human standing posture.



## B05-03

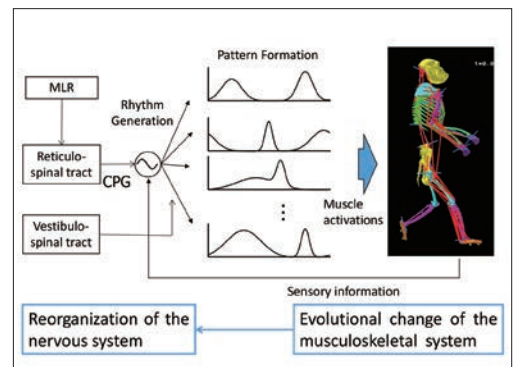
### 足部の進化的身体変容に対する二足歩行運動の超適応メカニズム

*Mechanism underlying the hyper-adaptation of bipedal locomotion to the evolutionary change of the foot.*



研究代表者  
**荻原 直道**  
東京大学  
大学院理学系研究科 教授  
Naomichi OGIHARA  
Professor, The University of Tokyo

神経筋骨格モデルに基づく二足歩行シミュレーションによる超適応メカニズムの解明  
Elucidating the mechanism underlying the hyper-adaptation of bipedal locomotion through forward dynamic simulation based on a neuro-musculoskeletal model.



## B05-04

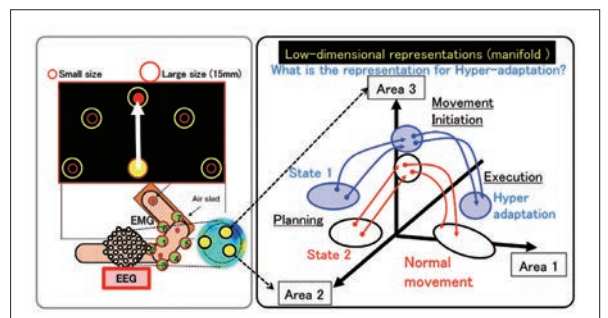
### 超適応の解明に向けた脳状態空間表現の同定と非侵襲脳刺激による操作

*Understanding neural manifold of the movements using human neuroimaging and non-invasive brain stimulation*



研究代表者  
**南部 功夫**  
長岡技術科学大学  
大学院電気電子情報工学専攻 准教授  
Isao NAMBU  
Associate Professor,  
Nagaoka University of Technology

到達運動実験時の脳波計測と運動の低次元空間表現の解明  
Understanding low-dimensional neural representation using electroencephalogram data during reaching movements



## B05-05

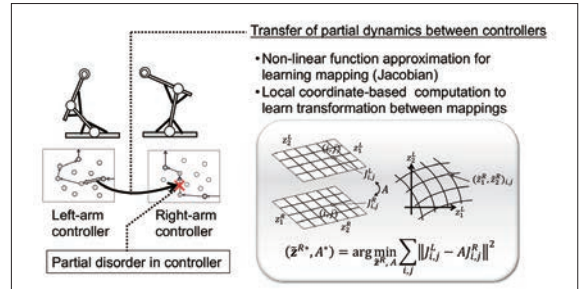
### 写像間の変換推定にもとづく部分ダイナミクスの再利用を行う運動学習モデルの開発

*Development of motor learning model that can reuse partial dynamics based on estimation of transformation between mappings*



研究代表者  
**小林 祐一**  
 静岡大学  
 大学院総合科学技術研究科  
 准教授  
 Yuichi KOBAYASHI  
 Associate Professor,  
 Shizuoka University

左右両腕の運動学習における部分ダイナミクスの学習と写像間の変換の学習  
 Learning of partial dynamics and transformation between mappings in motor learning of left and right arm.



## B05-06

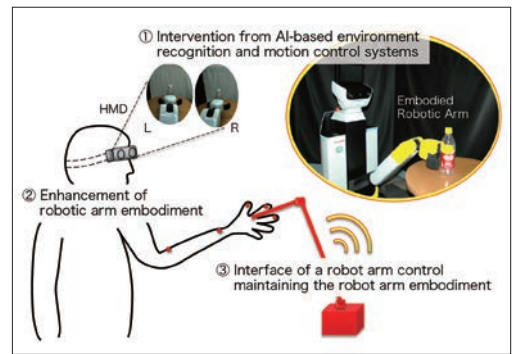
### 身体化されたロボットアームへのAIによる運動介入時の操作者適応支援技術

*Shared-control of teleoperated robot maintaining operator's embodiment under intervention of AI*



研究代表者  
**長谷川 泰久**  
 名古屋大学  
 大学院工学研究科 教授  
 Yasuhisa HASEGAWA  
 Professor, Nagoya University

身体性を保持しながら、ロボットアームを協調操作するインタフェース  
 Interface for shared-control of a robotic arm maintaining operator's embodiment



## B05-07

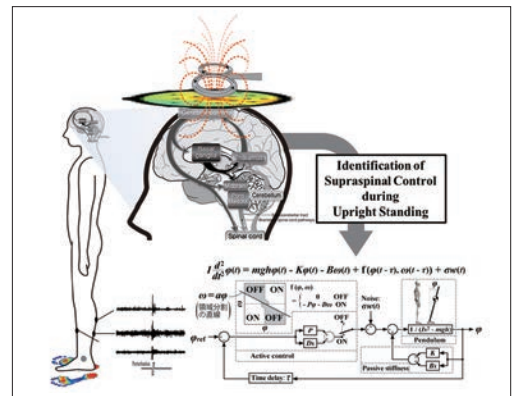
### ヒト立位姿勢の間欠制御の脳内メカニズムに関するシステム工学的研究

*Systems engineering approach for understanding supraspinal mechanisms of the intermittent feedback control during human upright stance*



研究代表者  
**野村 泰伸**  
 大阪大学  
 大学院基礎工学研究科  
 教授  
 Taishin NOMURA  
 Professor, Osaka University

姿勢計測、運動関連脳波・筋電図計測、経頭蓋磁気刺激による皮質脊髄路興奮性の評価、経頭蓋反復磁気刺激による脳活動と身体運動の変調（ニューロモジュレーション）によるアプローチを統合することで、立位姿勢の間欠制御の脳内メカニズムの解明を目指す研究  
 Systems engineering approach for unveiling supraspinal mechanisms of the intermittent postural control during upright standing by integrating postural responses, EEG/EMG responses, TMS responses for evaluating corticospinal excitability, and rTMS-based neuromodulations of those responses to mechanical perturbations.



## B05-08

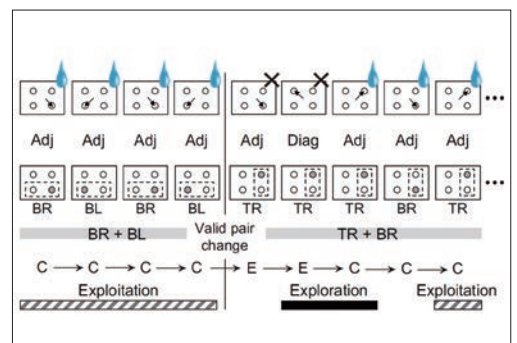
### 無限定環境への適応を可能にする動的状態空間強化学習モデル

*A reinforcement learning model with dynamic state space that enables adaptation to indefinite environments*



研究代表者  
**坂本 一寛**  
 東北医科薬科大学  
 医学部 准教授  
 Kazuhiro SAKAMOTO  
 Associate Professor,  
 Tohoku Medical and  
 Pharmaceutical University

2ターゲット探索課題での正解ペアの変更前後の動作の例。被験者は2つの正解ターゲットを交互に見る（知識利用フェーズ）。正解ペアが変わると被験者はエラーの後、新しい正解ターゲットを探索する（探索フェーズ）。  
 Examples of behaviors before and after a valid-pair change in two-target search task. The subject made alternate saccades to 2 valid targets (exploitation phase). When the valid pair changed, the subject made an error and began to search for new valid targets (exploration phase).



## B05-09

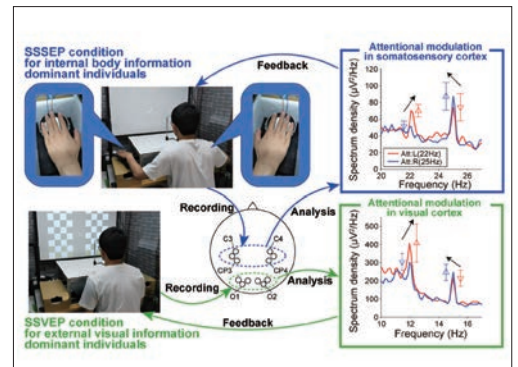
### テイラーメイド神経活動修飾法による注意機能改善がもたらす高齢者の運動学習促進

*Attention control training based on tailor-made neurofeedback system for facilitating motor learning in elderly*



研究代表者  
**櫻田 武**  
 立命館大学 理工学部 助教  
 Takeshi SAKURADA  
 Assistant Professor,  
 Ritsumeikan University

高齢者の注意能力個人差に基づくテイラーメイドニューロフィードバック訓練での関心領域設定  
 Tailor-made neurofeedback training system based on individual elderly attentional ability



## B05-10

### VRリハビリテーションにおける運動回復プロセスのモデル化とリハビリ戦略の最適化

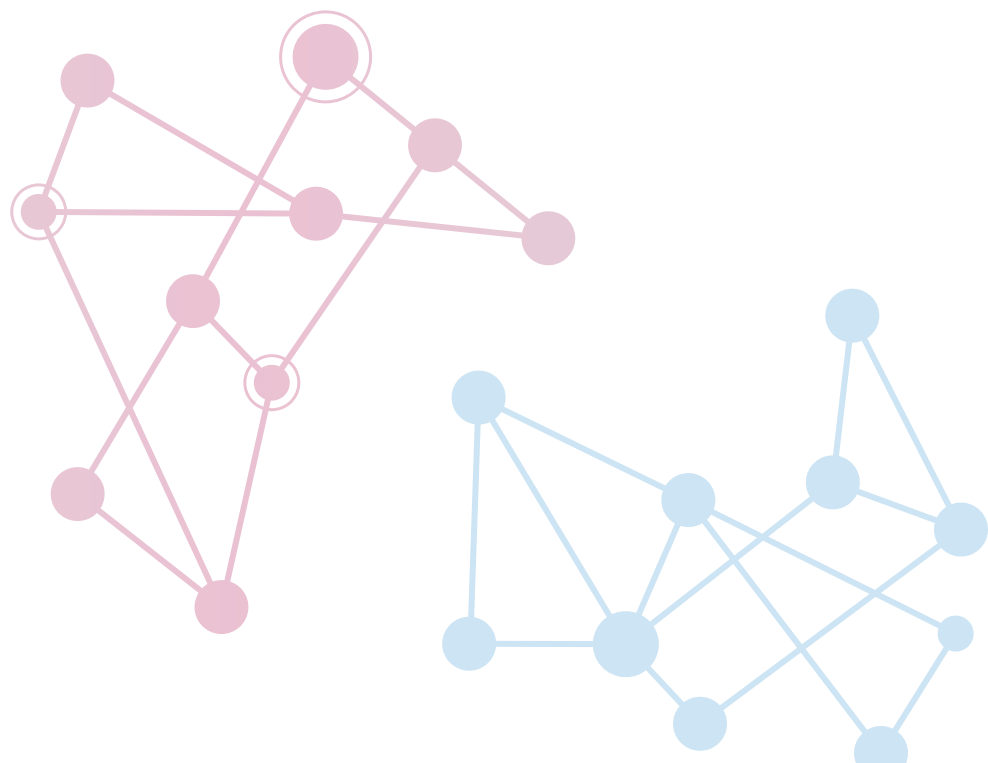
*Modeling of the motor recovery process and optimization of rehabilitation strategy using VR*



研究代表者  
**稲邑 哲也**  
 国立情報学研究所  
 情報学プリンシプル研究系 准教授  
 Tetsunari INAMURA  
 Associate Professor, NII

1) 片麻痺などのリハビリに用いる運動の拡張提示における拡張係数の決定モデル、および 2) 身体保有感の確度と姿勢の関係のモデル化、を対象として、刺激呈示とそのリアクションをVRで長期的に観察し、効果的なリハビリ戦略を決定する方法論を確立する。

The purpose of this study is to establish a methodology for determining effective rehabilitation strategies by observing stimulus presentation and its reaction in VR, based on the following two topics: 1) a model for determining the extension coefficient in the motion exaggeration display for hemiplegia, and 2) modeling the relationship between the accuracy of a sense of body ownership and body posture.





# 総括班

Management Group

## X00

身体-脳の機能不全を克服する潜在的適応力のシステム論的理解の総括研究

*Administrative research on hyper-adaptability for overcoming body-brain dysfunction*

### 研究代表者

太田 順 東京大学 大学院工学系研究科 教授

### 研究分担者

船戸 徹郎 電気通信大学 大学院情報理工学系研究科 准教授

伊佐 正 京都大学 大学院医学研究科 教授

近藤 敏之 東京農工大学 大学院工学系研究科 教授

### 研究協力者

内藤 栄一 情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター 研究マネージャー

相澤 秀紀 広島大学 大学院医系科学研究科 教授

関 和彦 国立精神・神経医療研究センター 神経研究所 部長

今水 寛 東京大学 大学院人文社会系研究科 教授

筒井 健一郎 東北大学 大学院生命科学系研究科 教授

高草木 薫 旭川医科大学 医学部 教授

花川 隆 京都大学 大学院医学研究科 教授

千葉 龍介 旭川医科大学 医学部 准教授

小池 康晴 東京工業大学 科学技術創成研究院 教授

浅間 一 東京大学 大学院工学系研究科 教授

井澤 淳 筑波大学 システム情報系 准教授

温 文 東京大学 大学院工学系研究科 特任准教授

安 琪 九州大学 大学院情報システム科学研究科 准教授

四津 有人 東京大学 大学院工学系研究科 准教授

### Principal investigator:

Jun OTA  
Professor, The University of Tokyo

### Funded co-investigators:

Tetsuro FUNATO  
Associate Professor, The University of Electro-Communications

Tadashi ISA  
Professor, Kyoto University

Toshiyuki KONDO  
Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology

### Co-investigators:

Eiichi NAITO  
Research Manager, CiNet

Hideki AIZAWA  
Professor, Hiroshima University

Kazuhiko SEKI  
Director, NCNP

Hiroshi IMAMIZU  
Professor, The University of Tokyo

Ken-Ichiro TSUTSUI  
Professor, Tohoku University

Kaoru TAKAKUSAKI  
Professor, Asahikawa Medical University

Takashi HANAKAWA  
Professor, Kyoto University

Ryusuke CHIBA  
Associate Professor, Asahikawa Medical University

Yasuharu KOIKE  
Professor, Tokyo Institute of Technology

Hajime ASAMA  
Professor, The University of Tokyo

Jun IZAWA  
Associate Professor, University of Tsukuba

Wen WEN  
Project Associate Professor, The University of Tokyo

Qi AN  
Associate Professor, Kyushu University

Arito YOZU  
Associate Professor, The University of Tokyo



本領域では、脳神経科学的アプローチによる実験解析とシステム工学的アプローチによるモデル構成の連携研究により、神経の超適応原理に迫り、急性/慢性疾患やフレイルティの原理を包括的に理解することを目指している。「超適応」という新しい学術領域を創設し、学問として体系化するためには、異分野融合の理念に精通して実践的に研究を推進できる若手研究者の育成が不可欠である。このため本領域では「若手の会」を組織し、若手研究者を中心としたチュートリアル講演会・ワークショップ等の定期開催、海外関連研究機関との連携による若手研究者の相互派遣による国際化促進など、領域全体でその活動を支援することで当該領域の将来を担う若手研究者の育成に当たる。

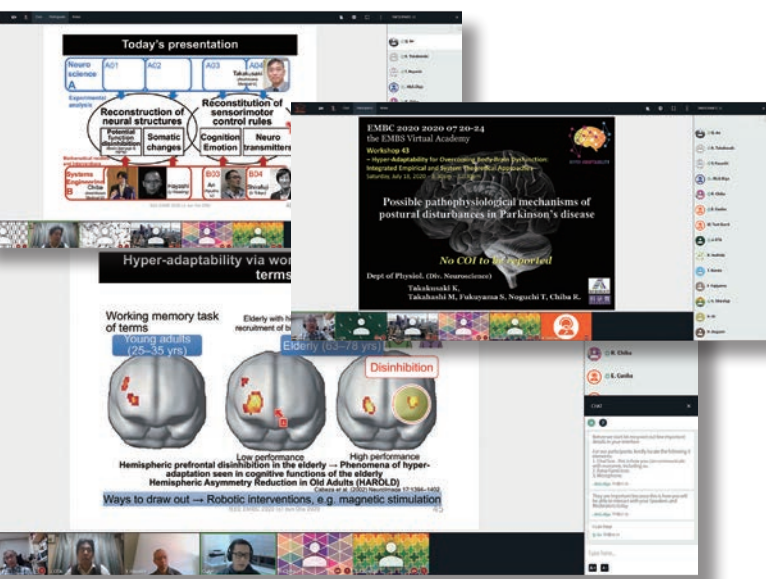
### 若手の会の活動実績

- 令和元年 11 月 21 日 若手の会キックオフミーティング
- 令和 2 年 01 月 26 日 超適応勉強会（東京都港区芝浦）
- 令和 2 年 03 月 26 ~ 27 日 超適応勉強会（東京大学本郷キャンパス）
- 令和 2 年 07 月 18 日 EMBC2020 Workshop 企画（オンライン開催）
- 令和 2 年 Advanced Robotics 特集号企画



## Young Researchers Group

This research area aims to understand the principles of neural “hyper-adaptability” and the principles of acute/chronic diseases and frailty through collaborative research between experimental analysis of neuroscience and model-based analysis of systems engineering. To create and systematize the new academic field of “hyper-adaptability”, it is essential to foster young researchers who are familiar with the interdisciplinary research of our area and who can promote practical researches. For this purpose, we organize the “Young Researchers Group” to support the activities of young researchers. Young Researchers Group holds tutorial lectures and workshops regularly and promotes internationalization by exchanging young researchers with overseas research institutes. With these supports, we foster young researchers who will be the future leaders of this area.



## Contents

本領域の目的	2
Purpose of the Research Project	
本領域の内容	3
Content of the Research Project	
期待される成果と意義	5
Expected Research Achievements and Scientific Significance	
01 項目群 (A01 × B01)	6
A01-B01   01 Group	
02 項目群 (A02 × B02)	7
A02-B02   02 Group	
03 項目群 (A03 × B03)	8
A03-B03   03 Group	
04 項目群 (A04 × B04)	9
A04-B04   04 Group	
A05 公募班	10
A05   Subscribed Research Group	
B05 公募班	14
B05   Subscribed Research Group	
X00 総括班	17
X00   Management Group	
若手の会	18
Young Researchers Group	

## お問い合わせ先 Contact



### 科研費新学術領域「超適応」

領域代表：太田 順（東京大学 大学院工学系研究科 教授）

領域幹事：船戸 徹郎（電気通信大学 大学院情報理工学研究科 准教授）

領域事務局 E-mail : [office@hyper-adapt.org](mailto:office@hyper-adapt.org)

### HYPER-ADAPTABILITY

**Director:** Jun Ota (Professor, The University of Tokyo)

**Secretariat:** Tetsuro Funato

(Associate Professor, The University of Electro-Communications)

**Email:** [office@hyper-adapt.org](mailto:office@hyper-adapt.org)



<https://www.hyper-adapt.org>