

様式1【公表】

「頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム」
平成30年度事後評価資料（実施報告書）

整理番号	S2703		関連研究分野 (分科細目コード)	整形外科学 (8306)
補助事業名 (採択年度)	修復不能上肢障害に対する人工知能を活用するサイボーグ医療開発の国際拠点形成 (平成27年度)			
代表研究機関名	名古屋大学			
代表研究機関以外の協力機関	理化学研究所、東北大学(H29.4.1追加)、愛知医科大学			
主担当研究者氏名	平田 仁			
補助金支出額	(平成27年度) 23,290,681円	(平成28年度) 34,230,000円	(平成29年度) 36,380,000円	(合計) 93,900,681円
(公募応募当初の「事業計画調書」に記載の)若手研究者の派遣計画	(平成27年度) 3 人	(平成28年度) 3 人 (1 人)	(平成29年度) 3 人 (2 人)	(合計) 6 人
若手研究者の派遣実績	(平成27年度) 2 人	(平成28年度) 3 人 (2 人)	(平成29年度) 4 人 (3 人)	(合計) 4 人
(公募応募当初の「事業計画調書」に記載の)研究者招へい計画	(平成27年度) 1 人	(平成28年度) 2 人 (1 人)	(平成29年度) 2 人 (2 人)	(合計) 2 人
研究者の招へい実績	(平成27年度) 1 人	(平成28年度) 1 人 (1 人)	(平成29年度) 3 人 (0 人)	(合計) 4 人

(参考)

派遣期間が300日未満となり、最終的に若手派遣研究者派遣実績のカウントから除外された者(外数)	(平成27年度) 0 人	(平成28年度) 0 人 (0 人)	(平成29年度) 0 人 (0 人)	(合計) 0 人
---	-----------------	---------------------------	---------------------------	-------------

様式1【公表】

1. 派遣・招へいによる人的交流を通じて得られた成果の達成状況

(1) 事業計画調書に記載した到達目標

(事業計画調書(3-(2))に記載した「研究課題を海外の研究グループと共同して行うことにより、国際研究ネットワークの強化・拡大に関して客観的な指標に基づく到達目標」)

我々は現状の治療技術では対処不能な上肢障害に対してロボット技術を応用するサイボーグ医療の開発を目指した。名古屋大学と理化学研究所は豊田中央研究所と暗示的運動制御を司る人工知能tacit learningの共同開発を進めており、human-machine interfaceの開発と明示的運動制御技術で世界をリードするミシガン大学と連携し、基盤技術開発で世界をリードし、また、多様な臨床・疫学研究を展開して患者や社会のニーズも反映した先進的・合理的なサイボーグ医療技術開発を実施し、また、国際的研究ネットワークを構築することを目指した。事業期間を通じて以下の6つの事業を展開した。

1. 患者・社会のニーズを分析する国際研究ネットワークの構築と、国内外での多施設共同疫学研究
2. 国内外における患者レジストリの構築
3. 医療ニーズに応じた人工知能tacit learning制御型能動義手の開発
4. 海外研究機関との相互技術移転
5. 外骨格型上肢機能支援機器に関する相互技術移転
6. 動物実験による新規治療技術開発
7. feasibility studyの実施
8. 次世代サイボーグ医療技術開発と人材育成

(2) 上述の到達目標に対する達成状況の自己評価とその理由

【自己評価】

- 期待を上回る成果を得た
- 十分に達成された
- おおむね達成された
- ある程度達成された
- ほとんど達成されなかった

【理由】

次世代サイボーグ医療技術に対する患者及び社会のニーズの解析を目的として実施した事業1,2に関しては国内、国際双方のレベルで研究ネットワークを構築し、研究を実施した。国内では名古屋大学とミシガン大学に加えて国立リハビリテーションセンター、兵庫リハビリテーションセンター、中部労災病院という能動義手とニューロリハビリテーションの開発拠点となっている3施設が参画して上肢切断者に関する多施設共同研究を実施し、398患者が登録されQOLやQUALY解析を実施し、平成30年1月には義手の使用状況とQOLに関する日米共同多施設研究報告会を開催した。国際レベルでもミシガン大学、ワシントン大学、ジョンズホプキンス大学、名古屋大学、奈良県立医科大学、日本大学、吉林大学(中国)、Ganga病院(インド)などの上肢外科治療施設が参加して切断者治療の実態調査を実施するFRANCHISE studyを実施し、期間中に複数の国際共著論文を出版した。次世代型能動義手開発を目標とする事業3,4,5においても単に国際共同研究を推進して技術開発を進めるだけでなく、欧米アジアに広く呼び掛けて次世代型能動義手開発を研究対象とする国際学会Intelligent Functional Reconstruction of the Hand(IFRH)を立ち上げた。平成29年4月には欧米アジアより70名近い研究者が集まって名古屋市で第1回IFRHを2日間に亘り開催した。ニューロリハビリテーションはhuman machine interfaceを介した人間と機械の円滑な連携を実現する上で最も重要な医療技術であり、ロボティクスの医療

様式1【公表】

応用の鍵を握る。International Conference of Neurorehabilitation(ICNR)は医学と工学の研究者が連携してロボティクスから再生医療研究まで幅広くニューロリハビリテーションを討議する国際学会であるが、スペインのCajal研究所が立ち上げ、事務局を務めて世界各地で隔年開催されている。そこでCajal研究所を海外連携機関に加え、若手研究者も派遣し、第7回国際会議では下田と平田がplenary lectureを担当した。国内ではTRI医療イノベーション推進センター、筑波大学、慶應大学、理化学研究所、産業技術総合研究所などと連携してニューロリハビリテーションの作用メカニズムの解明を目指し平成30年3月に名古屋市で第1回ニューロリハビリテーションコンセンサス会議を開催した。平成30年10月に開催予定の第8回ICNRではコンセンサス会議の成果を踏まえて我々が企画した国際workshopが予定され、募集演題の査読も完了し、開催準備が着々と進められている。相互技術移転は日米欧間のみならず、新興国に対しても積極的に実施した。名古屋大学の長谷川は筑波大学の山海とともに外骨格支援機器の開発を行い現在は外骨格型上肢支援機器の開発に注力しているが、スタッフである竹内をミシガン大学に派遣して共同開発を推進した。下田と共に人工知能tacit learningの開発と応用を研究する柴田はアラビア語が堪能であり、その特性を活かしてアラブ首長国連邦大学とAlAin病院で技術移転を実施し、小児を対象とする治療機器開発を実施した。また、柴田はCajal研究所にも滞在してtacit learningの医療用ロボットへの活用を共同研究した。動物実験による革新的技術開発においても多くの優れた成果を上げることができた。ミシガン大学との間では無線技術を活用する埋め込み型インターフェース開発を共同で実施し、動物試験により実用性を確認する成果を上げることができた。再生医療技術では名古屋大学、愛知医科大学においてげっ歯類モデルに対して脊髄由来神経幹細胞、多能性幹細胞を用いた末梢神経内脊髄様組織誘導に関する研究を展開し、研究成果を論文化するだけでなく、ミニブタを用いた大型動物での実証実験も実施した。ミニブタモデルでは運動ニューロン疾患に対する呼吸ペーシング技術を、iPS細胞移植と機能的電気刺激を組み合わせて実現する研究を実施し、その成果を国内外で発表した。心臓では洞不全症候群などの患者が健康人と同じレベルで生活することを可能としたが、我々の技術は現在寝たきりでの呼吸器管理となっている重症運動ニューロン疾患患者が通常の生活を送ることを可能とする画期的技術であり、また、四肢体幹麻痺に対する治療にも転用可能で、極めて独創的かつ革新的な麻痺治療技術であるが、大型動物での試験を開始したことでその実現性が高まった。現在は岐阜大学獣医学部の支援によりクローンミニブタでの研究が計画されており、実用化に向けた研究がさらに推進するものと期待している。

事業7に掲げたfeasibility studyは理化学研究所と名古屋大学手外科が開発したtacit learning制御型多自由度能動義手を倫理委員会の許可を得て9名の前腕切断者に装着してもらいその有用性を確認することで実施した。9名はいずれもOttobock社製単自由度筋電義手の長期ユーザーであったがtacit learning制御型多自由度能動義手を用いることで前腕回旋運動を要求されるタスクの実行速度は短時間で有意に改善し、また、筋骨格モデリング・解析システムSIMMによりタスク実行時の消費エネルギーも半減することが確認された。さらに、名古屋大学脳とこころの研究センターで実施された脳ネットワーク解析ではtacit learning制御型多自由度能動義手の装着により運動関連領域間の機能的結合の強化が短時間で誘導されることも確認された。以上の効果は暗示的運動制御を人工知能で支援することの有用性を明確に示した。

事業8に掲げた次世代サイボーグ医療技術開発と研究人材の育成も積極的に行った。上述のように上肢機能再建の次世代技術開発をもつばら研究する国際研究ネットワークとしてIFRHの設立と第1回国際会議を開催したが、そこへは全国の大学より50名を超える上肢障害治療の研究者が参加している。IFRHは関連技術の提供を広く実施し、また3年毎に国際会議を開催することを決めている。ICNRはロボティクスや人工知能、あるいは再生医療技術研究者の理想的な相互交流の場となっている。そこでICNRを活用して領域を超えた研究者交流を図り次世代技術開発を促進している。さらに、ドバイにおいて技術移転と人材育成に成果を上げた実績を踏まえて今後新興国支援も積極的に拡大する計画である。

以上の成果を踏まえて当初掲げた目標を上回る成果を上げたと判断している。

2. 国際共同研究課題の到達目標及びその達成状況

(1) 事業計画調書に記載した国際共同研究課題の研究目的及び到達目標

(事業計画調書(3-(2))に記載した国際共同研究課題の研究目的及び到達目標(「研究の学術的背景」及び「当該研究領域における本研究課題の学術的な特色や独創的な点、及び事業期間内に何をどこまで明らかにしようとするのか、到達目標とその検証方法」))

事業計画では以下の2つの研究到達目標を掲げた

1. 我々が独自に開発した人工知能をtacit learningをベースとする能動義手を世界に広める
2. ミシガン大学と次世代サイボーグ医療に関わる最先端技術を相互技術移転し、また、患者や社会のニーズに一致した実用的な人工知能制御型多機能能動義手を開発する

(2) 上述の到達目標等に対する達成状況の自己評価とその理由

【自己評価】

- 期待を上回る成果を得た
- 十分に達成された
- おおむね達成された
- ある程度達成された
- ほとんど達成されなかった

【理由】

平成27年より日米の強力なパートナーシップの元でビッグデータ解析や患者レジストリを活用する疫学研究を推進し、重度四肢外傷治療の実態や切断患者の治療状況、能動義手へのニーズ調査や治療技術の課題などを深く研究し、その成果を複数の国際共著論文として出版した。その成果を踏まえミシガン大学、名古屋大学、理化学研究所、フランス国立情報学自動制御研究所(INRIA)、東北大学、Cajal研究所、アラブ首長国大学が連携し、更にトヨタ自動車や株式会社榎屋などの研究者も参画して、tacit learning やセンサー技術、human machine interfaceの開発も大きく進歩させた。特に新たなインターフェース技術に関しては特許申請に漕ぎ着けることもでき、開発目標を十分に達成できたと考えている。上述したように技術交流も国内外連携施設間に留まらずIFRHやICNR通した技術・情報交流を現代病院(韓国)、ゲッチングン大学(ドイツ)、デューク大学(アメリカ)をはじめ、多くの研究機関の研究者と実施し、この分野のリーダーとしての地位を固めたと自負している。特に、アラビア語に通じる柴田をアラブ首長国連邦に派遣してtacit learningを活用する医療技術の移転を行い新興国まで技術交流を拡大することができた点は事業計画書にあげた範囲を超えて達成できたと考えている。次世代サイボーグ医療に関する相互技術移転については、人工知能開発を担当する林部はINRIAのDavid Giraudと連携し、また、下田と柴田はCajal研究所のJose Luis Pons 更にはAlAin病院のPeer Mohanmad Muhamedと連携して強力に推進した。また、ミシガン大学では長谷川、竹内がPaul Cedernaと連携して電磁給電方式でのhuman machine interfaceの開発に成功し、サイボーグ医療の根幹をなす技術に目処を立てることができた。事業計画書にあげた目標をほぼ達成できたと考えている。大型動物による実証試験は神経障害による呼吸麻痺患者の自立支援機器としての呼吸ペースメーカー技術の開発を名古屋大学、愛知医科大学、理化学研究所で実施し、ミニブタにおいてiPS細胞由来神経幹細胞により横隔膜の活動を制御することに初めて成功しており、サイボーグ医療の可能性を明確に示すことができたと考えている。医療機器承認を目指すfeasibility studyの実施では上述のごとく本邦では切断者を対象にtacit learning制御型多自由度義手の有用性を運動解析と推定エネルギー消費量を指標に明確に示し、論文化できた。一方で、米国でのfeasibility studyは計画書にあげたが諸般の事情で実施することができず、この点では課題を残した。

以上の成果を総括して目標をほぼ達成できたと自己評価した。

3. 今後の展望について

これまでの実施状況を踏まえて、事業実施期間終了後の展望について記入して下さい。

① 自己資金、若しくは他の競争的資金等による海外派遣・招へいの機会を含む若手研究者の研鑽・育成の事業の継続（又はその見込み）状況

この事業を通して培った独自の人工知能と human machine interface 技術をベースとするサイボーグ医療技術開発は本年度より3年間にわたり科学研究費補助金基盤研究Aを受託することができ、さらなる技術開発と人材育成を展開する予定である。また、次世代サイボーグ医療を開発する上で欠かすことができないニューロリハビリテーション技術に関する医工連携研究と、その成果の社会実装をめざして名古屋大学と理化学研究所、さらに産業技術総合研究所が加わって愛知県新城市と研究協定を締結し、市民参加型研究によるニューロリハビリテーションの要素技術開発を目指す研究センターを新城市市民病院内に設置することとなった。ここには複数の企業も既に参画を表明しており、共同研究契約を締結して研究者を派遣し、我々と共に実用的な診断・治療機器の開発を目指す。我々はこれらの仕組みを活用してアカデミアの枠を超えた研究人材育成を推進する。

② 本事業の相手側を含む海外の研究機関との研究ネットワークの継続・拡大（又はその見込み・将来構想）状況（組織において本事業で支援した若手研究者に期待する役割も含めて）

この事業を通して我々は世界の研究者と連携して上肢機能障害に対する革新的治療技術開発を目指す IFRH を立ち上げた。上肢機能再建外科医が参集する第60回日本手外科学会に合わせて第一回会議を名古屋市国際会議場で開催した。国内外から再生医療、人工知能、ロボット研究の第一人者が参加したが、初日には国内はもとより、アジア、ヨーロッパ、北米からも多くの研究者を招聘して、ロボット手術、四肢移植、能動義手開発、医療用ロボット開発、人工知能などの第一人者20名が各分野のトピックをレクチャーし、翌日には全国から50名あまりの若手研究者も討論に加わって国際シンポジウムを開催し、技術的な課題を検討し、今後の活動方針を決定した。第2回IFRHは3年後にハワイで開催することが決まった。一方で、我々は Pons, Moreno と協議を重ね、ICNR を活用した情報発信の取り組みも進めている。平田と下田は TRI 医療イノベーション推進センターと連携して3月31日に名古屋市でニューロリハビリテーションコンセンサス会議を開催し、Cajal Institute との協議を踏まえて筑波大学の山海、慶應大学の里宇などこの分野の第一人者と協議をし、本年10月にイタリアで開催する第5回ICNRに際して国際ワークショップを本邦主導で開催する準備を進めている。これらの仕組みを活用して若手研究者の研鑽・育成に努める所存である。

③ 本事業で支援した若手研究者の研究人材としての将来性について

本事業で支援を受けた若手研究者は現在も異なる立場で次世代サイボーグ医療技術開発に取り組んでいる。上述のように柴田は現在もアラブ首長国大学にとどまり、現地では助教ポストを与えられ日・UAE間を頻繁に往来しながら tacit learning の開発と技術移転を継続している。また、柴田は Cajal Institute との連携で不可欠な人材となっており、8回ICNRにおいて本邦が中心になって開催する国際 workshop の準備でも大きな役割を担っている。山本は名古屋大学医学部に設置された産学共同研究講座で講師に就任し、樹脂素材による筋骨格障害治療用埋め込み型医療機器の開発に従事しており、また、ミシガン大学とは引き続き連携してビッグデータ解析や疫学手法を活用して多くの国際共著論文を出版し続けている。米田は名古屋大学手外科助教に就任し、平田の指導のもとで引き続き次世代サイボーグ医療技術開発に専念しており、ミシガン大学の Kevin Chung 教授との国際共同研究においても中心的役割を担っている。竹内は名古屋大学工学部マイクロ・ナノ制御学講座助教に就任し引き続きミシガン大学との共同研究を推進し、また、長谷川、平田とともに外骨格支援機器開発を精力的に行なっている。

資料1 実施体制

① 日本側研究グループ事業実施体制

フリガナ 担当研究者氏名	所属機関	所属部局	職名 (身分)	専門分野	備考
主担当研究者 ヒラタ ヒトシ 平田 仁	名古屋大学	大学院医学系研究科	教授	手の外科	
担当研究者 クリモト シグル 栗本 秀	名古屋大学	大学院医学系研究科	特任講師	手の外科	
ニシヅカ タカノブ 西塚 隆伸	名古屋大学	大学院医学系研究科	特任講師	手の外科	
イワツキ カツニキ 岩月 克之	名古屋大学	医学部附属病院	講師	手の外科	(H28.4.1追加)
ナカノ トモノリ 中野 智則	名古屋大学	医学部附属病院	助教	手の外科	(H29.2.1追加)
イシイ ヒサオ 石井 久雄	名古屋大学	大学院医学系研究科	寄附講座	手の外科	(H29.2.1追加)
オカダ ヨウヘイ 岡田 洋平	愛知医科大学	医学部	准教授	内科学講座(神経内)	
ハセガワ ヤスヒサ 長谷川 泰久	名古屋大学	大学院工学研究科	教授	ロボット工学	
シモダ シンゴ 下田 真吾	理化学研究所	知能行動制御連携ユニット	ユニットリーダー	知能行動制御	
ハヤシベ ミツヒロ 林部 充宏	東北大学		教授	知能行動制御	(H29.4.1追加)
若手研究者 やまもと みちろう 山本 美知郎	名古屋大学	大学院医学系研究科	特任講師	手の外科	
しばた 柴田	理化学研究所	知能行動制御連携ユニット	研究員	運動解析学	
あるなしやーるふあてい アルナシヤールファデーイ	名古屋大学	高等研究院大学院工学研究科(兼務)	特任助教	マイクロ・ナノシステム工学専攻	
たけうち まさる 竹内 大	名古屋大学	高等研究院大学院工学研究科(兼務)	特任助教	マイクロ・ナノシステム工学専攻	
よねだ ひでまさ 米田 英正	名古屋大学	医学部附属病院	助教	手の外科	(29.2.1追加)
計 14名					

② 相手側となる海外の研究グループ(海外の連携機関)

研究機関名	相手側研究者氏名 (招へいした研究者は※印を表示)	職名 (身分)	備考	派遣した 若手研究者氏名
A. ミシガン大学形成外科	※Kevin C. Chung ※Paul S. Cederna	教授 主任教授		山本 美知郎 竹内 大 柴田アルナシヤールファデーイ 米田 英正
B. フランス国立情報学 自動制御研究所	※林部 充宏 ※David Giraud	准教授 教授	(H29.3.31まで) (H29.4.1追加)	
C. スペイン国立研究院	Jose Luis Pons	教授	(H29.4.1追加)	柴田アルナシヤールファデーイ
D. AlAin Hospital	Peer Mohanmad Muhamed Ali	主任	(H29.4.1追加)	柴田アルナシヤールファデーイ
計 4 機関				

資料2 双方向の人的交流にかかる資料

(1) 若手研究者の選抜方針・基準、選抜方法の概要

派遣に際して選抜方針として以下の点を確認した

1. 医学あるいは工学分野で上肢外科機能再建技術開発に関する十分な知識と経験があり、海外連携拠点の研究者と密に連携をし、開発を進める能力を有すること
2. 300日以上海外連携拠点に滞在し、国内研究者と密に連携をしつつ開発を進めることができること
3. 次世代サイボーグ技術の展開を推進する上で主導的役割を担う意思を有するものであること
4. 国際研究ネットワークを構築・拡大する上で必要となる知識と能力を有すること

(2) 派遣及び招へいの支援体制の概要

(日本側からの派遣者及び連携機関からの招へい者に対して組織としてどのようなバックアップ体制をとったかについて記載してください。)

【派遣者に対する支援体制】

名古屋大学は応募に際して國枝理事が表明したように本事業を円滑に達成するために積極的支援を行なった。具体的には、医学部では従来3ヶ月以上の海外出張を認めておらず、休職の上で海外研究機関に在籍することと定められていたが、本事業では特例として大学に在籍した状況での長期出張を認める制度改正を行い研究者の派遣を支援した。

【招へい者に対する支援体制】

海外連携施設の研究者の招聘に際しては名古屋大学、理化学研究所は教育、研究打ち合わせ、及び共同研究の実施に支障が生じないように全面的な支援を行なった。また、招聘者はその後も我々と連携して複数の国際共同研究への応募を行い、国際ネットワークの維持・拡大に努めている。本事業を通して設立したIFRHにおいては第1回国際会議に多くの研究者を海外から招聘したが、国内から参加した50名以上の若手研究者との研究交流を後押しした。

(3) 若手研究者の海外派遣計画及び研究者の招へい計画の見直し(増減)状況とその理由

【派遣計画】

応募時には6名を派遣予定であったが、最終的な派遣人数は4名となった。

- ・山本 美智朗(派遣者①)

計画とおりの派遣となった。

- ・柴田アナルジャールフアディ(派遣者②)

初年度からミシガン大学に派遣予定が、一身上の都合により2年目からの派遣となった。また、派遣先についても、当初はミシガン大学のみとなっていたが、その後ICNRとの連携と新興国での技術移転・人材育成を目的に派遣先をアラブ首長国連邦へと切り替えた。

- ・竹内 大(派遣者③)

プログラム開始当初より Paul Cederna 教授のもとで interface 開発を実施する予定で

あったが、初期の開発を名古屋大学で長谷川の指導のもとに実施し、その後初年度末から3年目までミシガン大学で電磁誘電技術の開発を実施した。

・岩月克之（派遣者④）、石井久雄（派遣者⑤）、中野智則（派遣者⑥）

それぞれ他の研究とのコンフリクトにより300日を超える派遣が困難、異動先部門の規定による派遣の制約、および他医療機関への転勤のため派遣が困難となったが、助教の米田英正を派遣しており疫学研究と再生医療技術開発に参加した。派遣者米田は大学院在学中から担当研究者の西塚の指導のもとで本プログラムにより推進していた切断指肢医療実態に関する国際共同研究である Franchise study に関わっており、また、山本とともに4次元動作解析に基づく上肢機能解剖学研究と、新規材料を用いる医療材料開発を推進している実績があり、本プロジェクトを推進する十分な資質を備えていたため事業計画への支障はなかった。

【招へい計画】

当初2名の研究者を招へい予定であったが、最終的な招へい人数は4名となった。

・Kevin Chung 教授（招へい者①）、Paul S. Cederna 主任教授（招へい者②）

招へい期間は短縮となったが、日本側研究担当者である西塚との連携やネット会議の活用による短縮により順調に国際共同研究を推進することができ、事業計画への支障はなかった。

・林部充宏准教授、David Giraud 教授

林部は長年にわたり下田と人工知能制御技術開発を行ってきた研究者であり、本プログラム開始時点では David Giraud 教授のもとで tacit learning による自動制御技術開発と interface 開発を行い、本プログラムにより招聘し下田、長谷川と連携して国際共同技術開発を推進していた。しかし、2年度途中で東北大学教授に就任し帰国したため、フランス国立情報学自動制御研究所の連携研究者に David Giraud 教授を追加した。新たな体制での連携を強化するため下田のもとへ David Giraud 教授を招聘した。これにより国際共同開発を推進することができた。

（4）若手研究者が果たした役割にかかる成果の概要

① 派遣された若手研究者の成果

（資料4に記載するような研究成果の発信状況等だけではなく、国際共同研究における役割を含め、将来的に当該研究領域において中核的な役割を担う活躍が見込まれるか等の観点も含めて記載してください。）

本事業で派遣された山本、米田の2名は、名古屋大学手外科からミシガン大学形成外科に留学中であった2名の大学院生と連携して、ビッグデータ解析による上肢切断者に対する医療課題の抽出や、治療状況の実態、患者レジストリを用いた上肢切断者の治療ニーズの発掘などを積極的に行なった。初年度から2年度まで派遣された山本は帰国後に国立リハビリテーションセンターの飛松、兵庫リハビリテーションセンターの陳、中部労災病院の田中と連携をして日本国内で上肢切断者研究のレジストリ構築を主導し、QOLやQUALY解析を実施し、平成30年1月には義手の使用状況とQOLに関する日米共同多施設研究報告会を開催した。また、米田は帰国後も名古屋大学手外科助教として再生医療技術の開発を進めており、また新城市におけるニューロリハビリテーション研究拠点の研究開発を担うなど次世代サイボーグ医療技術の基盤技術開発に専念している。工学研究者として事業に参

加した柴田、竹内も事業終了後も活躍を続けている。柴田は本事業終了後もアラブ首長国連邦大学と理化学研究所の双方に在籍し、人工知能を活用する医療技術開発と技術移転を継続している。また、上述の通り第8回 ICNR で開催予定の国際 workshop の企画を担当しており、Cajal 研究所との連携を通じた国際的な研究ネットワークの拡大に大きな貢献を果たし続けている。竹内は帰国後も名古屋大学マイクロナノ制御工学助教としてミシガン大学との共同研究を継続しており、長谷川、平田とともに human machine interface、外骨格支援機器の開発に精力的に取り組んでおり、また、若手人材の育成にも尽力し続けている。

② 派遣した機関・組織の成果

(機関等として組織的に若手研究者を支援する枠組みが構築されたか、また本事業による派遣・招へいが今後も維持・継続されるか等の観点も含めて記載してください。)

本事業を通じて次世代サイボーグ医療技術を目指す研究者の国際ネットワークである IHFR が組織された。第1回国際会議は前述のように名古屋大学が担当して本邦で開催されたが、今後3年ごとに継続開催を予定しており、第2回はミシガン大の Paul Cederna 教授が担当して米国で開催することが決まっている。ミシガン大学と理化学研究所、及び名古屋大学の3者は本事業の継続的に発展させるため本年度科学研究費 国際共同研究加速基金(国際共同研究強化(B))に応募しており、継続して国際共同研究体制の維持と、若手研究人材の育成を目指している。また、上述したように TRI 医療イノベーションセンターと協力して国内のニューロリハビリテーション研究者との連携も図り、その上で ICNR を活用する研究ネットワークの拡大を図っている。人と機械の円滑な連携を可能とする脳の可塑性誘導技術の開発が我々の主要なターゲットであるが、下田と長谷川は電気・電子工学系の国際組織 The Institute of Electrical and Electronics Engineers(IEEE)においてそれぞれ Robotics and Automation Society の Cognitive Robotics Technical Committee の Co-Chair、Robotics and Automation Society の Administrative Committee Member と Wearable Robotics の Co-Chair に就任しており、人工知能とインターフェース分野で技術開発や人材育成を国際的に主導する上で有利な地位を確立した状況で派遣機関との連携を深化・継続させている。

(5) 若手研究者の派遣実績の詳細【氏名のみ非公表】 ※派遣者毎に作成すること。

派遣者①：特任講師

(当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動) Kevin Chung 教授と連携して米国で上肢切断者の治療実態調査及び患者レジストリを用いた疫学研究を実践した。また、日本でも国立リハビリテーションセンター、兵庫リハビリテーションセンター、中部労災病院と連携して同様の研究レジストリを構築し、QOL, QUALY 解析などを実施した。 (具体的な成果) 研究成果を複数の国際共著論文として出版している。また、平成 30 年 3 月には日米共同多施設研究報告会を実施し、研究成果を総括しており、現在論文を執筆中である。				
派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
アメリカ・ミシガン州、ミシガン大学、形成外科、Kevin Chung	4 日	317 日	5 日	326 日

派遣者②：研究員

(当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動) ミシガン大学では Paul Cederna 教授と運動制御用人工知能の開発を共同研究し、その後アラブ首長国連邦では UAE 大学及び AlAin 病院で人工知能の医用展開を技術移転し、人材育成と共同研究を実施。Cajal 研究所では Jose Luis Pons 教授のもとで人工知能のニューロリハビリテーションへの応用を研究した。 (具体的な成果) アラブ首長国連邦では小児疾患を対象に tacit learning を用いる治療技術開発を実施している。また、本年 10 月に我々が企画・開催を予定している ICNR 国際 workshop では準備委員会のメンバーを務め、欧米各国の研究者との国際研究ネットワーク作りに貢献している。				
派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
アメリカ・ミシガン州、ミシガン大学、形成外科、Kevin Chung	0 日	60 日	0 日	60 日
アラブ首長国連邦・ドバイ、AlAin Hospitl、Peer Mohanmad Muhamed Ali	0 日	0 日	280 日	280 日
スペイン・マドリッド、スペイン国立研究院、医用工学、Jose Luis Pons	0 日	0 日	40 日	40 日

派遣者③：助教

<p>(当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)</p> <p>竹内は長谷川のもとでマイクロナノ工学技術を用いたサイボーグ医療技術開発を行っており、ミシガン大学では埋め込み式インターフェースの開発を Cederna の元で行ない、帰国後も平田と研究を継続している。</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>ミシガン大学では体外給電式 human machine interface の開発に成功し、現在名古屋大学において動物試験を実施し、国際共同研究を継続している</p>				
派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
アメリカ・ミシガン州、ミシガン大学、形成外科、Kevin Chung	6 日	344 日	87 日	437 日

派遣者④：助教

<p>(当該若手研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)</p> <p>上肢 major amputation の疫学研究、臨床評価ツールの開発、mangled extremity における上肢再建治療の現況調査</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>前年度から継続して行われている米国での FRANCHISE STUDY のデータ収集を補助した。上肢 major amputation の患肢 salvage あるいは切断の実施判断に用いられる各種スコアリングシステムの問題点をメタアナリシスにて検討し、現場で用いることができるより有効な臨床評価ツールの開発を行った。またアメリカ国内での上肢 major 切断の疫学研究を行う中で、骨軟骨移植、腱移行術や皮弁術などの mangled extremity の再建治療の各種手法について現況を調査した。外科医の中ではあまり知られていない義肢の工学的な知見についても現場を見学することで調査を行い、研究協力者の協力を得て総括を行った。その結果は臨床医に一般的に利用されている臨床補助ツールである UpToDate にシステマティック・レビューとして報告した。</p>				
派遣先 (国・地域名、機関名、部局名、受入研究者)	派遣期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
アメリカ・ミシガン州、ミシガン大学、形成外科、Kevin Chung	0 日	0 日	314 日	314 日

(6) 研究者の受入実績の詳細【氏名のみ非公表】 ※招へい者毎に作成すること。

招へい者①：准教授

<p>(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)</p> <p>はじめの2年間は INRIA に在籍し、David Giraud 教授と連携して運動制御用人工知能や human machine interface の開発に関わった。招聘期間においては名古屋大学を拠点とし、理化学研究所との共同研究を推進した。平成 29 年度は東北大学工学部教授に就任し、下田、平田と連携して運動制御用人工知能やロボット技術の開発を手がけた</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>暗示的運動制御用人工知能開発を強力に推進し、また、視線解析などの活用による運動解析技術の開発を手がけた。</p>				
招へい元(機関名、部局名、国名)及び日本側 受入研究者(機関名)	受入期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
フランス国立情報学自動制御研究所、ロボット工学、フランス 平田仁(名古屋大学)、下田真吾(理化学研究所)	33 日	20 日	0 日	53 日

招へい者②：教授

<p>(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)</p> <p>ビッグデータを活用する上肢切断患者の治療実態や、患者レジストリを用いた QOL, QUALY 解析を主導し、我々と共に日米アジアにまたがる国際研究ネットワークを構築した。</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>研究成果を第 1 回 IFRH 国際会議で発表し、さらに複数の国際共著論文として出版した。</p>				
招へい元(機関名、部局名、国名)及び日本側 受入研究者(機関名)	受入期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
ミシガン大学・形成外科・アメリカ 平田 仁(名古屋大学)	0 日	0 日	6 日	6 日

招へい者③：教授

<p>(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)</p> <p>独自の human-machine interface 技術を有しており、すでに人臨床試験を開始している。本事業では理化学研究所と名古屋大学の有する暗示的運動制御型人工知能やロボティクス技術を彼らの技術と融合し、また、必要となる要素技術開発を主導した</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>柴田、竹内と密接に連携し、相互技術移転を行なって全く新しい電磁給電式 human-machine interface の開発に成功した。IFRH では発起人の一人として国際ネットワーク構築に尽力し、第2回大会の準備委員長に就任している</p>				
招へい元（機関名、部局名、国名）及び日本側 受入研究者（機関名）	受入期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
ミシガン大学・形成外科・アメリカ 平田 仁（名古屋大学）	0 日	0 日	6 日	6 日

招へい者④：教授

<p>(当該研究者の国際共同研究における役割を含めた具体的な研究活動)</p> <p>独自の human machine interface 技術を有し、また、機能的電子刺激による運動制御でも卓越した技術を開発しており、すでに人臨床試験を実施している実績もある。本事業では林部と連携して暗示的運動制御用人工知能の開発を下田と協力して推進した。</p> <p>(具体的な成果)</p> <p>林部とともに多くの国際共著論文を出版し、また、IFRH においても多くの貢献をした。</p>				
招へい元（機関名、部局名、国名）及び日本側 受入研究者（機関名）	受入期間			合計
	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	
フランス国立情報学自動制御研究所、ロボット工学、フランス 平田仁（名古屋大学）、下田真吾（理化学研究所）	0 日	0 日	6 日	6 日

資料3 国際共同研究の計画概要・方法

(1) 実施期間中における研究のスケジュールと実施内容の概要

平成27年度

疫学研究開始: ミシガン大学の Kevin Chung 教授との切断患者レジストリ、FRANCHISE study の取り組みは Kevin Chung 教授のもとに留学した経験のある西塚によりネット会議などを通して立ち上げが進められ、その後山本がミシガン大学に派遣され、ビッグデータ解析や QOL, QUALY 解析を進めた

能動義手開発: 下田、林部により開発がリードされ、tacit learning に artificial neural network を組み合わせる人工知能のアップグレードが進められた。また、ミシガン大学ではこの間にもインタフェースの開発が進められて、ネット会議やミシガン大学訪問を通して技術的なすり合わせが協議された。その後竹内がインタフェースを電磁宮殿方式にアップグレードすることを目的に派遣された。

Feasibility study: 本邦での feasibility study のデータ解析を進め、また、脳機能解析による神経可塑性誘導効果の検証と、ニューロリハビリテーションの有用性などに関する検証が進められた。

平成28年度

平成27年度に開始された活動に加えて以下の活動を開始した

国際研究ネットワークの強化・拡大: 下田、平田、柴田が中心となり ICNR との連携を開始した。第7回 ICNR では下田が scientific program chair を努め、平田が plenary lecture を担当して本事業の概要を1時間に渡り講演した。ミシガン大学に派遣されていた柴田は UAE 大学との連携を開始し、技術移転の準備に入った。平田、下田、長谷川、Kevin Chung, Paul Cederna は日米欧及びアジアのサイボーグ医療研究者に呼び掛け IFRH を組織した。山本、西塚は飛松、鎮、田中を始め国内で能動義手を用いる治療をリードする研究者とコンタクトを開始し、患者レジストリや疫学研究の準備を進めた。

平成29年度

平成28年度に開始された活動に加えてさらに以下の活動を開始した

連携施設の拡大と国際研究ネットワークの強化: IFRH の第1回国際会議の開催と、総会での活動方針の決定がなされた。

疫学研究: 患者レジストリを活用する QOL, QALY 解析が国内で進められ、成果第1回日米共同多施設研究報告会で報告された。

海外技術移転: 柴田を Al Ain 病院および UAE 大学に派遣し、また、途中で Cajal 研究所にも移動をして人工知能の医療応用に関して技術移転を実施し、また、国際研究ネットワークの拡大に努めた。

ニューロリハビリテーション研究の推進: TRI 医療イノベーション推進センターと連携をし、この分野における国内の代表的研究機関との交流を推進し、第1回ニューロリハビリテーションコンセンサス会議を開催した。

(2) 成果の概要

これまで詳細に述べてきたように我々は身体運動制御には明示的制御と暗示的制御が存在し、後者が占める割合が圧倒的に大きいことを指摘し、暗示的運動を自動制御する人工知能 tacit learning の開発を進めてきた。また、ミシガン大学は効率の良い human machine interface の開発で世界をリードしており、本事業開始時点では既に人臨床試験に向けた

準備も進める段階にあった。そこで、本事業では日米の卓越する先進技術を活用してサイボーグ医療技術開発を推進し、また、上肢運動機能再建をターゲットに革新的技術の医療承認を目指すことを目標に掲げた。さらに、ミシガン大学と名古屋大学は上肢切断患者の実態調査などの疫学研究で連携をしており、国際ネットワークの構築も推進していたため、研究をさらに深化させ患者や社会のニーズにマッチした能動義手として開発を推進した。本事業では機械と肉体の円滑な連動を図る上で今後鍵を握ることになるニューロリハビリテーションに関して作用機序を明確化し、必要となる脳の可塑性を誘導する治療技術開発も目指した。これらのすべての目標に対して、国際研究ネットワークの開拓や技術移転・人材育成の仕組みを構築することができ、国内外の連携研究施設も当初より大きく増えた。さらに、事業終了後にも自治体との研究協定締結を締結して本事業を通して育成された若手研究者が開発する技術の社会実装に向けた取り組みを推進する研究環境も整えつつあり、本事業の主たる目標である戦略的な国内外での研究ネットワーク構築と発展を実現できていると考えている。

(3) 本事業を契機として新たに始まった国際共同研究

(件)

合計	うち、相手先機関以外
0	0

資料4. 共同研究成果の発表状況

①学術雑誌等（紀要・論文集等も含む）に発表した論文又は著書

	<p>論文名・著書名 等 (以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。) ・査読がある場合、印刷済及び採録決定済のものに限って記載して下さい。査読中・投稿中のものは除きます。 ・本事業の研究成果で、DP（ディスカッション・ペーパー）、Web等の形式で公開されているものなど速報性のあるものも、3件以内で付記することができます。 ・さらに数がある場合は、欄を追加して下さい。 ・著者名について、責任著者に「※」印を付してください。また、主担当研究者には<u>二重下線</u>、担当研究者には<u>下線</u>、派遣した若手研究者には<u>波線</u>、海外の主要連携研究者には<u>斜体・太下線</u>、連携研究者には<u>斜体・破線</u>を付してください。 ・共同研究の相手側となる海外の研究機関との国際共著論文等には、番号の前に「◎」印を、また、それ以外の国際共著論文については番号の前に「○」印を付してください。 ・当該論文の被引用状況について特筆すべき状況があれば付記してください。 ・上記のうち、主な発表論文のコピー（A4判）を2件以内で添付し、添付したコピーの右上にそれぞれに「事業番号」を記入するとともに、当該論文の番号の前に「★」印を付してください。</p>
1	Complete adult neurogenesis within a Wallerian degenerating nerve expressed as an ectopic ganglion, ※Nakano T, Kurimoto S, Hirata H, J. Tissue Eng. Regen. Med, (査読有) (2018)12(6):1469-80.
2	Efficacy and safety of novel collagen conduits filled with collagen filaments to treat patients with peripheral nerve injury: A multicenter, controlled, open-label clinical trial.※ Saeki M, <u>Hirata H</u> . Injury (査読有) (2018) 49(4):764-44.
3	Survival rate of limb replantation in different age groups. ※Tatebe M, <u>Hirata H</u> . J.Hand Microsurg (査読有) (2017) 9(2); 92-4.
4	Non-invasive volumetric analysis of asymptomatic hands using a 3-D scanner. ※Shinkai H, <u>Hirata H</u> . Plos One. (査読有) (2017) 12(8); e0182675.
★ 5	Biomechanical reconstruction using the tacit learning system: Intuitive controle of prosthetic hand rotation. ※Oyama S, <u>Shimoda S</u> , <u>Alnajjar FS</u> , <u>Hirata H</u> .Front Neurorobot. (査読有) (2016) 10:19. eCollection.
6	Multi-layered channel patterning by local heating of hydrogels, ※ <u>Takeuchi M</u> , <u>Hasegawa Y</u> . IEEE Robotics and Automation Letters (査読有) (2017) Vol.2 pp. 958-63.
7	3D hepatic lobule like tissue constructs by cell microcapsule technology.Liu Z, ※ <u>Takeuchi M</u> , <u>Hasegawa Y</u> . Acta Biomaterialia (査読有) (2017)vol.50, pp. 178-87.
◎ 8	A comparative study of attitude regarding digit replantation in the United States and Japan. ※ <u>Nishizuka T</u> , Shauver MJ, Zhong L, <u>Chung KC</u> , <u>Hirata H</u> . J. Hand Surg. 2015 40(8): 1646-56.(査読有)
◎ 9	Cross-cultural variation in preference for replantation or revision amputation: Societal and surgeon views. ※Maroukis BL, Shauver MJ, <u>Nishizuka T</u> , <u>Hirata H</u> , <u>Chung KC</u> . Injury. 2016 47(4): 818-23. (査読有)
◎ ★ 10	Traumatic finger amputation treatment preference among hand surgoens in the US and Japan. Shauver MJ,※ <u>Nishizuka T</u> , <u>Hirata H</u> . <u>Chung KC</u> . Plast. Reconstr. Surg.2016 137(4);1193-202. 2017(査読有)
◎ 11	A Systematic Review of Different Implants and Approaches for Proximal Interphalangeal Joint Arthroplasty. ※ <u>Yamamoto M</u> , Malay S, Fujihara Y, Zhong L, <u>Chung KC</u> . Plast Reconstr Surg. 2017 May;139(5):1139e-1151e. (査読有)
○ 12	Generation of human-like movement from symbolized information. ※Okajima,S, Tournier M, <u>Alnajjar FS</u> , <u>Hayashibe M</u> , <u>Hasegawa Y</u> , <u>Shimoda S</u> . Front. Neurorobot. 2018 12:43 eCollection 2018..(査読有)

②学会等における発表

	<p>発表題名 等</p> <p>(発表題名、発表者名、発表した学会等の名称、開催場所、口頭発表・ポスター発表の別、審査の有無、発表年月(西暦)について記入してください。)</p> <p>(以上の各項目が記載されていれば、項目の順序を入れ替えても可。)</p> <ul style="list-style-type: none"> 発表者名は参加研究者を含む全員の氏名を、論文等と同一の順番で記載すること。共同発表者がいる場合は、全ての発表者名を記載し、主たる発表者名は「※」印を付して下さい。発表者名について主担当研究者には<u>二重下線</u>、担当研究者には<u>下線</u>、派遣した若手研究者には<u>波線</u>、海外の主要連携研究者には<u>斜体・太下線</u>、連携研究者には<u>斜体・破線</u>を付して下さい。 口頭・ポスターの別、発表者決定のための審査の有無を区分して記載して下さい。 さらに数がある場合は、欄を追加して下さい。 共同研究の相手側となる海外の研究機関の研究者との国際共同発表には、番号の前に「◎」印を、また、それ以外の国際共同発表については番号の前に○印を付して下さい。
1	A novel approach for currently untreatable paralyses. ※ <u>H. Hirata</u> . Invited lecture at the Singapore Society for Surgery of theHand. Singapore, Oct. 7, 2017.
2	末梢神経における胎児由来神経前駆細胞移植による感覚神経再生. ※浅野研一、 <u>中野智則</u> 、 <u>栗本秀</u> 、 <u>平田仁</u> 他 28回日本末梢神経学会 2017年8月25-26日 名古屋市 口演
3	末梢神経における胎児由来神経前駆細胞移植による感覚神経再生. ※浅野研一、 <u>中野智則</u> 、 <u>栗本秀</u> 、 <u>平田仁</u> 他 32回日本整形外科基礎学術集会 2017年10月26-27日 那覇市 口演
4	手指切断に対する治療法別にみた患者満足度の検討 ※丹羽智史、 <u>中野智則</u> 、 <u>平田仁</u> 他 90回日本整形外科学会 仙台 ポスター発表 2017
5	Spain Japan collaboration kick-off Meeting-Target of the program and current output. ※ <u>Hitoshi Hirata</u> , <u>Shingo Shimoda</u> . Madrid, Special Lecture, Dec. 2017
6	運動器をターゲットとするサイボーグ医療の開発 第17回日本再生医療学会 ※ <u>平田仁</u> 横浜 シンポジウム 2018年3月
7	Implicit or explicit learning; It's time to decide which way to go. Special Lecture at INRIA, ※ <u>Hitoshi Hirata</u> , Montpellier, Special Lecture, France, March 2017
8	Implicit or explicit learning; It's time to decide which way to go. 7 th International Conference of Neurorehabilitation, ※ <u>Hitoshi Hirata</u> , Segovia, Special Lecture, Spain, Oct 2016
9	異所性神経節誘導による駆動筋再生 第49回日本結合式学会 ※ <u>中野智則</u> 、 <u>栗本秀</u> 、 <u>平田仁</u> 津市 口演、2017年6月
10	Reconstruction of motor function in peripheral nerves by transplantation of h-iPSC-derived motor neuron progenitors. 40回日本精神神経学会 ※丹羽智史、 <u>平田仁</u> 、 <u>岡田洋平</u> 千葉 ポスター 2017年7月
11	末梢神経における退治由来神経前駆細胞移植による感覚神経再生 28回日本末梢神経学会 ※浅野研一、 <u>中野智則</u> 、 <u>平田仁</u> 名古屋 口演 2017年8月
12	愛知県下における手指外傷救急搬送システム構築への取り組み ※石井久雄、 <u>山本美知郎</u> 、 <u>平田仁</u> 44回日本マイクロサージャリー学会 宮崎 口演 2017年12月