

# 次世代ニューロリハビリテーション技術の臨床展開に関する研究

研究代表者 安田 和弘  
(理工学術院総合研究所 次席研究員)

## 1. 研究課題

本邦において脳血管障害の罹患者は約 130 万人と多く、後遺症である運動、感覚麻痺や高次脳機能障害は日常生活への復帰を著しく阻害する。身体障害のなかでも、立位バランスおよび歩行障害は生活自立を制限する主たる要因のため、リハビリテーションを効率良く進めることが求められる。また、高次脳機能障害である半側空間無視 (USN) は、脳卒中の約 40% に観察される症状で、脳損傷の反対側の空間を無視することで移動中に障害物に衝突する等、生活自立の阻害原因となっている。これらの日常生活自立を妨げる障害に対して、本研究では、1) 脳卒中患者の歩行における足圧の時間的、空間的変化を有効に体性感覚フィードバックする装置の開発、2) USN に対する仮想空間 (VR) を用いたリハビリテーション支援システムの開発および臨床での効果検証を目的とする。

## 2. 主な研究成果 (1)

### 2.1 システム開発

これまで説明してきたバランス支援 RT では、姿勢安定性向上を目的としてきたが、脳卒中患者では歩行能力を向上させる必要性が高い。臨床では歩行トレーニングが頻繁に実施されているが、脳卒中患者は動作に努力を要する課題では、過剰な筋緊張からつま先接地を誘発することがある。しかしながら、麻痺患者は感覚麻痺を有することが多く、自己修正ができないケースが大半である。このような異常な筋緊張や感覚麻痺による修正不全を避けるために、本研究では、新たに開発した歩行用知覚支援 RT を用いて足底接地感覚を代行する機構を案出した。本装置では足底に圧力センサを挿入し、接地部位を背部に振動フィードバックする。さらに、療法士にも振動フィードバックする共感型システムを付与することで、適切な教示や褒めを患者に提示できる。

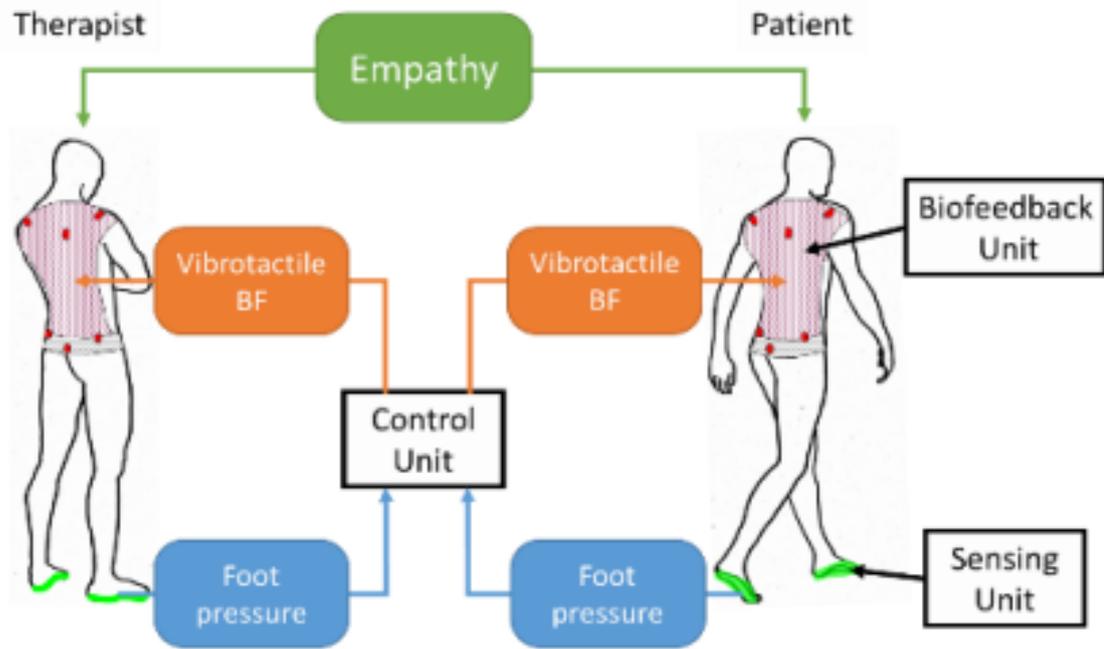


図3 歩行用知覚支援 RT の構成図 (Saichi, Yasuda and Iwata, 2016 より引用)

## 2.2 基礎試験

### 2.2.1 目的

歩行用知覚支援 RT の中期に及ぶ実行可能性検証として 6 名の片麻痺患者に対して 2 週間の介入を実施し影響を検証する。

### 2.2.2 対象

実験参加者は、本研究の趣旨を理解し、紙面上で同意の得られた回復期の脳卒中片麻痺患者 6 名であった (表 1)。

表 2 介入試験における実験参加者特性

No.	Age	Brs.	Hypoesthesia	MMSE
1	54	V	Severe	30
2	56	V	Severe	30
3	52	V	Severe	29
4	40	VI	Mild	30
5	72	V	Normal	16
6	67	V	Dull	27

Brs: Brunstrom's recovery stage, MMSE: Mini-Mental State Examination

### 2.2.3 方法

回復期の片麻痺者 6 名を対象に、3 週間の介入を行った。介入は知覚支援 RT を用いた 20 分間の歩行訓練を各週 3 回ずつ、合計 9 回実施した。歩行訓練では、患者及び療法士が知覚共感ウ

エアを着用し、歩行中の患者の麻痺側足底圧を背部へ振動バイオフィードバックした。これにより、患者は接地状態を知覚しながら歩行し、それに対して療法士はバイオフィードバックに基づいて動作指導を行った。測定は介入開始前、介入開始 3 週間後の計 2 回行った。各測定日で歩行パフォーマンスの評価指標として 10m 歩行速度、関節角度指標として麻痺側離地時および初期接地時の足関節角度、麻痺側の蹴り出しの評価指標として床反力計 P-walk (BTS 社) を用いて健足重複歩距離を測定した。各々の指標に関して Pre-Test (week0) と Post-Test (week3) を Wilcoxon の符号順位和検定を用いて比較した。

#### 2.2.4 結果

麻痺側離地時の足関節角度を図 2 に示す。麻痺側離地時の足関節角度では前後間に有意傾向を認め、介入後に上昇した ( $p=0.0747$ )。

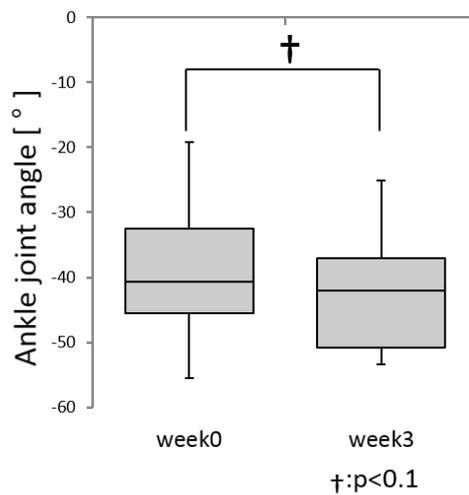


図 2 麻痺側離地時の足関節角度の介入前後比較

麻痺側接地時の足関節角度を図 3 に示す。介入前後にて有意差を認めなかった ( $p=0.6002$ )。

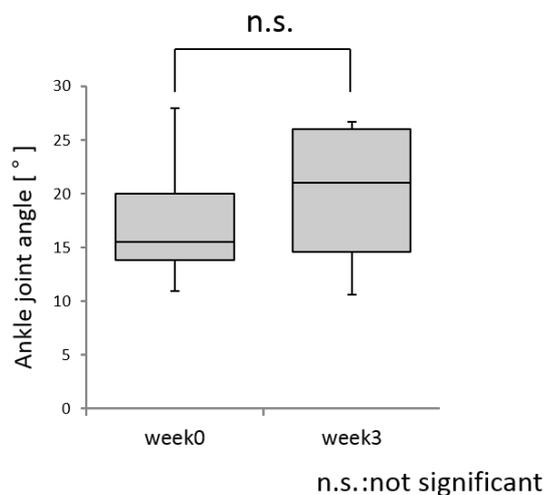


図 3 麻痺側接地時の足関節角度の介入前後比較

健側重複歩距離の測定結果を図4に示す。Post-TestではPre-Testと比較し、健側重複歩距離が有意に上昇した( $p=0.0277$ )。

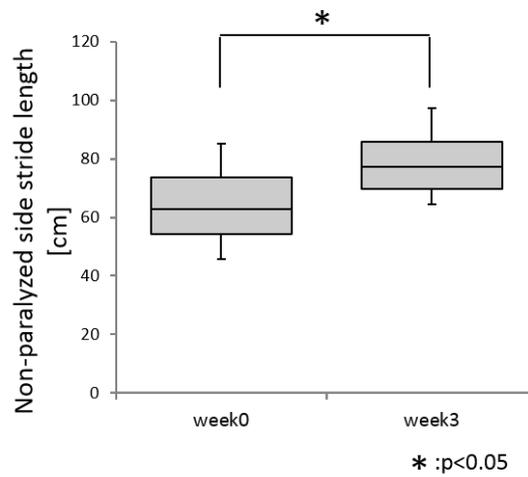


図4 健側重複歩距離の介入前後比較

ケイデンスの測定結果を図5に示す。ケイデンスは前後間に有意差を認めなかった( $p=0.1159$ )。

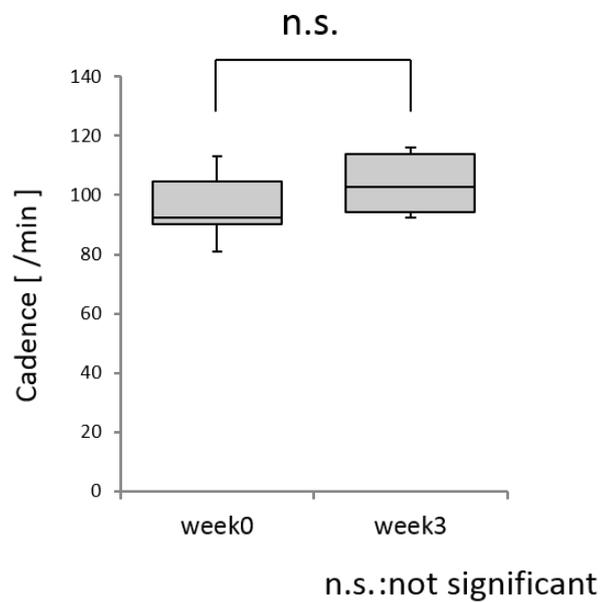


図5 ケイデンスの介入前後比較

10m 歩行速度の測定結果を図 6 に示す.歩行速度は前後間に有意差を認めなかった( $p=0.1730$ ).

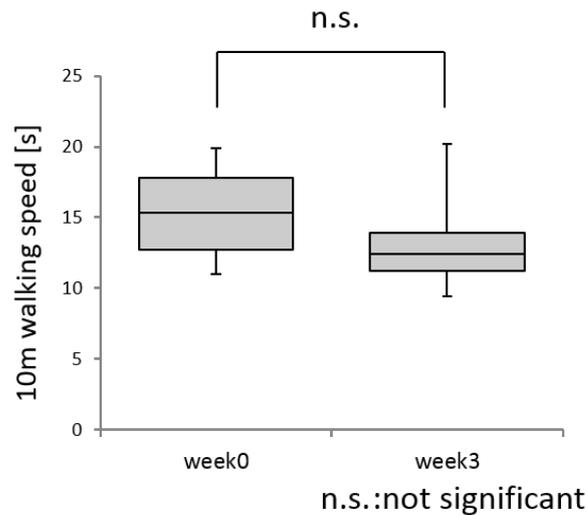


図 6 10m 歩行速度の介入前後比較

### 2.2.5 結論

- ・歩行用知覚支援 RT を開発し, 感覚障害によって運動修正が困難な回復期の脳卒中事例を対象として 3 週間の介入を行い, 歩行能力への影響を検証した.
- ・踵接地時の背屈角度に変化を認めなかったが, 蹴り出し時の底屈が増加し, 健足重複歩距離が上昇した. この結果から, 知覚支援 RT による運動学的変化を認めた. しかしながら, 10m 歩行速度およびケイデンスについては向上を認めなかった.
- ・試験結果より本装置により脳卒中患者において歩行時の運動学的変化が見られたが, 歩行パフォーマンスの有意な向上には至らなかった.
- ・集団に対する知覚支援 RT の効果を明らかにするとともに, コントロール群を含めた, より頑健な実験デザインでの検証を継続していく.

## 3. 主な研究成果 (2)

### 3.1 半側空間無視 (USN) 評価システムの開発

半側空間無視 (Unilateral Spatial Neglect:USN) とは, 脳出血や脳梗塞などの脳血管障害を起因とする高次脳機能障害である. USN は, 大脳半球病巣と反対側の刺激を報告すること, 反応すること, 向くことの障害であると定義されている. USN を発症すると, 病巣と反対側の空間を無視することで, 様々な情報を見落とし, 日常生活に多大な支障をきたす. これまでの経緯において, 実際の生活空間に即した形で近位空間無視や遠位空間無視といった USN 症状を定量的に評価することが実現されていなかった. そこで, 本研究では没入型 VR の利点を活用することで, 近位空間および遠位空間において USN 症状の評価を可能とするシステムを開発した.

機器は, ヘッドマウントディスプレイ (Oculus Rift Development Kit 2, Oculus VR, Inc.), および手指モーションキャプチャ (Leap Motion, Leap Motion, Inc.) から構成される (図 7). システムではセンサとモーションキャプチャによって頭部運動をトラッキングしているため, VR 空間内

に患者の動きを反映できる。

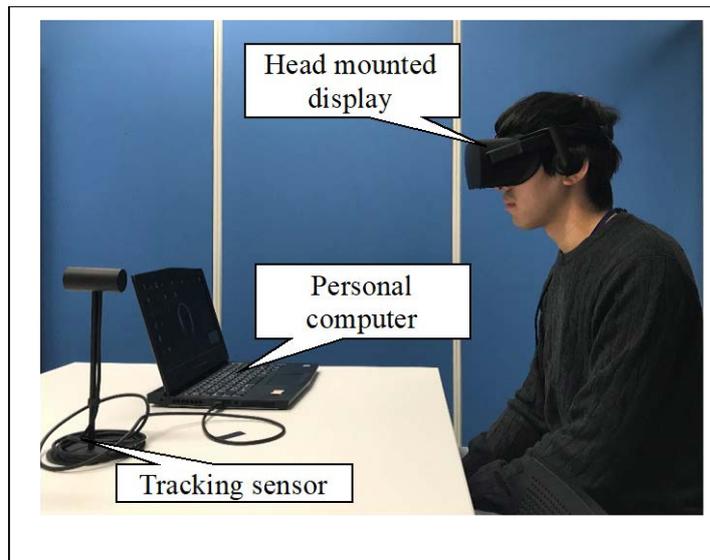


図7 USN 評価システムの全体像

評価システムの機能的要求は以下の通りである。

1) 球座標系の用意

患者の眼球位置を原点として、近位空間と遠位空間の両方における無視を測定するため、手の届く距離として 0.5, 1.0[m]を設定し、届かない距離として 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0[m]を設定した(図 8 左)。また、患者の身体正中位を  $0^\circ$  とし、 $-90^\circ$  から $+90^\circ$  の 11 段階で偏角を測定できるようにした。さらに視線高さを基準に $-4^\circ$  ,  $0^\circ$  ,  $+4^\circ$  の 3 段階の高さによる測定を可能とした(図 8 右)。

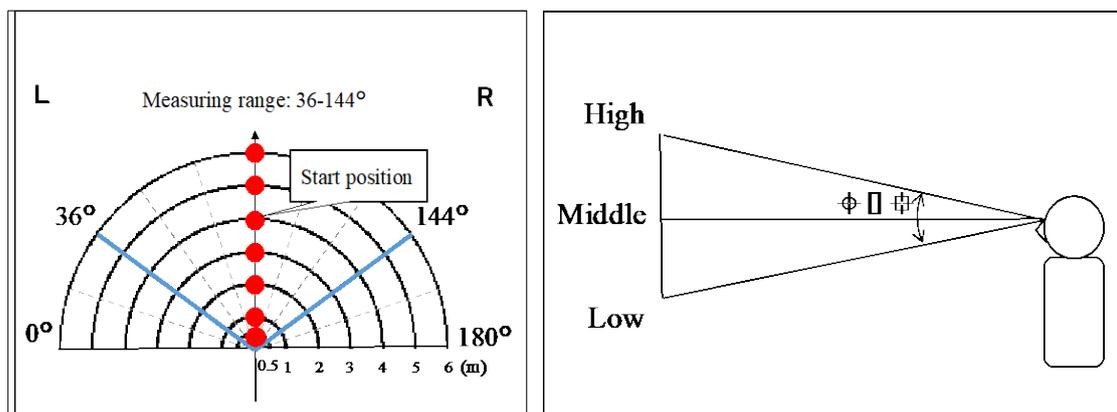


図8 USN 評価システムの刺激呈示距離および高さ設定

2) オブジェクトのランダム表示

物体の移動による視覚誘導が症状改善に繋がることが分かっている。そこで本システムは視覚誘導を起ささないために、物体の出現順序をランダムとした<sup>(1)</sup>。

### 3) 測定時間の短縮化

脳卒中患者は体力が著しく低下している場合がある。USN の性質上、身体中心線を基準に左側を無視することが多いため、初期出現位置を偏角  $\theta = 0^\circ$  とし、各半径距離における回答に応じて次の出現位置を無視側、あるいは非無視側に移動するようにアルゴリズムを設定した。

### 4) 運動機能に依らない測定手法

脳卒中患者は運動麻痺を有している場合や認知障害を併発している場合があり、従来の BIT では測定が不可能な患者が存在した。そこで本システムでは口頭による回答方式と低認知負荷で済むように赤色の無機質なオブジェクトが見えたかどうかを測定した。なお、虚偽の回答に備えて、見えた場合にはどこにあるのかヒアリングを都度行なった。

## 3.2 適応性試験

### 3.2.1 目的

USN 評価システムを用いた実効性について検証する。本システムを用いて患者の無視症状を記述するために、USN を示す患者に対して、適応性の確認を行なった。

### 3.2.2 対象

対象は 80 代男性、右利き。右頭頂葉領域の脳出血を発症し、紙面での検査が不可能な事例であった。試験参加者には臨床試験について紙面を用いて説明を行い、同意を得た。また、本試験は早稲田大学倫理審査委員会の承認を得て実施された。

### 3.2.3 方法

試験では、患者ごとの無視特性を捉えることを目的とするため、第 3 者（理学療法士）によって患者の頭部を固定し、運動機能や姿勢の個人差が影響しないように配慮された状況で、視野角内における無視範囲を測定した。試験より得られる、各回答結果と座標データを元に分析を行なった。ここで得られる座標データには距離と角度の情報が記録されており、これにより認知空間および無視空間を特定する。結果は図 9 の座標系にそれぞれの領域を反映することで描写した。回答に応じて 2 つの領域に分け、それぞれ見えた範囲を認知範囲として青色、見えなかった範囲を無視範囲として赤色で描写した。

### 3.2.4 結果

測定した結果を図 10 に示す。図 10 に示すダイアグラムは高さごとに分け、右から低い空間 (Low)、目線高さの空間 (Middle)、高い空間 (High) における認知および無視範囲を表している。患者 A の近位空間では無視が確認できないことに対して、遠位空間になると無視が出現した。さらにこの傾向は、高さの違いにより無視が出現する距離が異なり、低位置ほど遠位を無視する傾向であった。

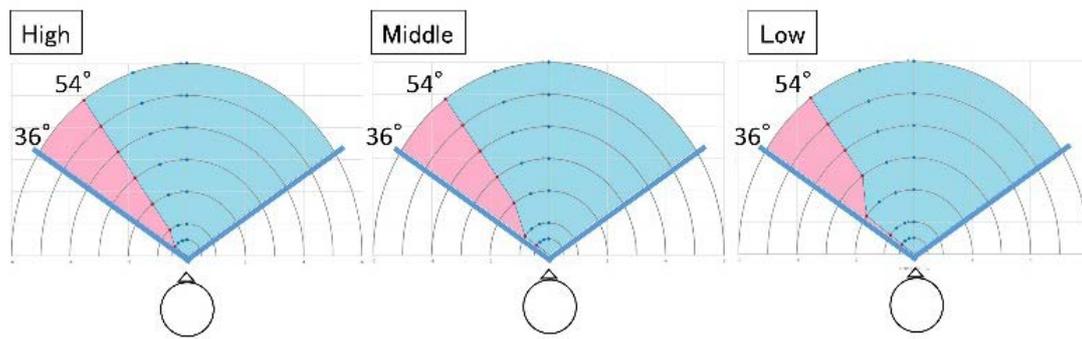


図 10 患者 A における無視・認知領域の視覚的描写

### 3.2.5 結論

- USN に対して、仮想空間を用いて無視領域を定量化するシステムを開発した.
- 無視症状を有する患者 1 名に開発したシステムおよび課題を適応し、実効性を検証した.
- 開発したシステムによる評価で遠位・近位空間無視領域を計測、各々の空間に生じる無視を視覚的に表現した.
- システムにおける繰り返し測定の信頼性および既存紙面試験との相関分析による妥当性検証を実施する必要がある.

## 4. 共同研究者

岩田 浩康（創造理工学部・総合機械工学科・教授）  
 林 勇希（創造理工学部・総合機械工学科・修士 2 年）  
 加藤 遼一（創造理工学部・総合機械工学科・学部 4 年）  
 北地 雄（総合東京病院・リハビリテーション科・理学療法士）  
 川口 俊太郎（苑田会リハビリテーション病院・理学療法士）

## 5. 研究業績

### 学術論文

加藤遼一，安田和弘，萩原晨功，川口俊太郎，岩田浩康，”没入型仮想現実による半側空間無視の評価システム-近位・遠位空間無視に着目した無視領域定量化の試み-”、ライフサポート学会誌

K. Yasuda †, R. Kato †, A. Hagiwara, S. Kawaguchi, H. Iwata, ”Development and feasibility assessment of immersive virtual reality system to evaluate near and far space neglect in individuals after stroke: a brief report” (under review)

K. Yasuda, Y. Hayashi, A. Tawara, H. Iwata, ”Using a Vibrotactile Biofeedback Device to Augment Foot Pressure During Walking in Healthy Older Adults: A Brief Report”, Frontiers in Psychology, section Perception Science

K. Kodama, K. Yasuda, N. Kuznetsov, Y. Hayashi, H. Iwata, "Balance Training with a Vibrotactile Biofeedback System Affects the Dynamical Structure of the Center of Pressure Trajectories in Chronic Stroke Patients", *Frontiers in Human Neuroscience*, vol13, B4, 2019. 3.

K. YASUDA, K. SAICHI, N. KAIBUKI, H. HARASHIMA, H. IWATA, "Haptic-based perception-empathy biofeedback system for balance rehabilitation in chronic stroke patients: Concepts and initial feasibility study", *Gait and Posture*, Vol62, pp484-489, 2018

福嶋勇太, 安田和弘, 鈴木慈, 大橋洋輝, 岩田浩康, 「脳卒中片麻痺歩行に対するばねと人工筋肉を用いた背屈支援装置の開発－踵接地時の膝折れ挙動に対する影響の検証－」, *ライフサポート学会誌* (印刷中)

K. YASUDA, K. SAICHI, IWATA, "Haptic-based perception-empathy biofeedback enhances postural motor learning during high-cognitive load task in healthy older adults", *Frontiers in Medicine*, Vol. 5, no149, 2018.

福嶋勇太, 安田和弘, 鈴木慈, 大橋洋輝, 岩田浩康, 「腰椎すべり症による下肢運動麻痺に対する人工筋肉型背屈支援装置の適応」, *バイオメカニズム学会誌*, 43 巻 1 号

T. ONISHI, K. YASUDA, S. KAWATA, H. IWATA. "Development of a rhythmic auditory biofeedback system to assist improving the kinetic chain for bat swing performance", *ROBOMECH Journal*, vol15, no12, 2018

萩原晨功, 安田和弘, 大平雅弘, 富山美咲, 齋地健太, 岩田浩康 「物体中心無視に対する没入型仮想現実による手がかり刺激呈示システムの使用経験」, *脳科学とリハビリテーション* (印刷中)

#### 査読付き予稿集

Yuki Hayashi, Kazuhiro Yasuda, Yu Kitaji, Hiroaki Harashima, Hiroyasu Iwata, "A haptic-based perception-empathy biofeedback device that supplements foot pressure pattern during gait in stroke patients", *Proceeding of the The 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2019)*

Jing-Chen Hong, Shigeru Suzuki, Yuta Fukushima, Kazuhiro Yasuda, Hiroki Ohashi, Hiroyasu Iwata, "Development of High-Dorsiflexion Assistive Robotic Technology for Gait Rehabilitation", *Proceeding of the The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018)*

Akinori Hagiwara, Kazuhiro Yasuda, Kenta Saichi, Daisuke Muroi, Shuntarou Kawaguchi, Masahiro Ohira, Tadimitsu Matsuda, Hiroyasu Iwata, "Development of a visual cueing system using immersive virtual reality for object-centered neglect in stroke patients", *Proceeding of The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018)*

Kazuhiro Yasuda, Kenta Saichi, Hiroyasu Iwata. "Design and initial validity study of perception-empathy biofeedback system for gait training in older adults", Proceeding of The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018)

#### 査読無予稿集

加藤遼一, 萩原晨功, 安田和弘, 川口俊太郎, 岩田浩康, 「USN 個別化治療に向けた 3D 無視領域同定システム」, 第 28 回フロンティア講演会, 2019 年 3 月 15~16 日, 埼玉医科大学日高キャンパス, E8-2, 2019

林勇希, 安田和弘, 北地雄, 原島宏明, 岩田浩康, 「触覚バイオフィードバックに基づく歩行リハビリ支援システム-第 16 報: 知覚共感ウェアを用いた中期的介入比較研究-」 第 19 回計測自動制御学会 (SI2018), 2018 年 12 月 13~15 日, 大阪工業大学梅田キャンパス, 2B2-05, 2018

岩木将一郎, 田郷岡凌, 安田和弘, 岩田浩康, 「歩行における随意的調整・自動運動の両立を目的とした急性期リハにおける仰臥位歩行訓練システムの開発」 第 19 回計測自動制御学会 (SI2018), 2018 年 12 月 13~15 日, 大阪工業大学梅田キャンパス, 2B2-06, 2018

平井大智, 安田和弘, 林勇希, 岩田浩康, 「Pusher syndrome の垂直認知を再校正するための没入型 VR リハビリシステムの開発」, 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2018 年 12 月 13 日~15 日, 1B6-05

加藤遼一, 萩原晨功, 安田和弘, 川口俊太郎, 大平雅弘, 岩田浩康, 「没入型仮想現実による半側空間無視評価システムの構築」, 第 34 回ライフサポート学会 (LIFE2018), 2018 年 9 月 6~8 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, OS2-4, 2018

林勇希, 安田和弘, 北地雄, 原島宏明, 岩田浩康, 「触覚バイオフィードバックに基づく歩行リハビリ支援システム-第 15 報: 脳卒中片麻痺を対象としたパイロットスタディー」 第 34 回ライフサポート学会大会 (LIFE2018), 2018 年 9 月 6~8 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, OS2-7, 2018

岩木将一郎, 田郷岡凌, 安田和弘, 岩田浩康, 「下肢運動デバイスと VR による一人称歩行映像を併用した急性期リハにおける仰臥位歩行訓練システムの開発」 第 34 回ライフサポート学会大会 (LIFE2018), 2018 年 9 月 6~8 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 2-3-1-2, 2018

田郷岡凌, 岩木将一郎, 安田和弘, 岩田浩康, 「急性期リハビリにおける麻痺足随意性拡張を目指したアシストシステムの開発」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2018 年 6 月 4~5 日, 北九州国際国際コンベンションゾーン (福岡県), 2A1-F03, 2018

#### 受賞・表彰

フロンティア講演会論文賞: 加藤遼一, 安田和弘, 萩原晨功, 川口俊太郎, 岩田浩康, 「没入型仮想現実による半側空間無視の評価システム-近位・遠位空間無視に着目した無視領域定量化の試み-

第 19 回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2018) 優秀講演賞：岩木将一郎, 安田和弘, 岩田浩康 「歩行における随意的調整・自動運動の両立を目的とした急性期リハにおける仰臥位歩行訓練システムの開発」

#### 国際会議

Yuki Hayashi, Kazuhiro Yasuda, Yu Kitaji, Hiroaki Harashima, Hiroyasu Iwata, "A haptic-based perception-empathy biofeedback device that supplements foot pressure pattern during gait in stroke patients", Proceeding of the The 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2019)

Jing-Chen Hong, Shigeru Suzuki, Yuta Fukushima, Kazuhiro Yasuda, Hiroki Ohashi, Hiroyasu Iwata, "Development of High-Dorsiflexion Assistive Robotic Technology for Gait Rehabilitation", Proceeding of the The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018)

Akinori Hagiwara, Kazuhiro Yasuda, Kenta Saichi, Daisuke Muroi, Shuntarou Kawaguchi, Masahiro Ohira, Tadimitsu Matsuda, Hiroyasu Iwata, "Development of a visual cueing system using immersive virtual reality for object-centered neglect in stroke patients", Proceeding of The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018)

Kazuhiro Yasuda, Kenta Saichi, Hiroyasu Iwata. "Design and initial validity study of perception-empathy biofeedback system for gait training in older adults", Proceeding of The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018). [Special Session: H11 Intelligent Systems and Technologies in Rehabilitation Engineering and Assistive Technology]

#### 国内会議

加藤遼一, 萩原晨功, 安田和弘, 川口俊太郎, 岩田浩康, 「USN 個別化治療に向けた 3D 無視領域同定システム」, 第 28 回フロンティア講演会, 2019 年 3 月 15~16 日, 埼玉医科大学日高キャンパス, E8-2, 2019

林勇希, 安田和弘, 北地雄, 原島宏明, 岩田浩康, 「触覚バイオフィードバックに基づく歩行リハビリ支援システム—第 16 報：知覚共感ウェアを用いた中期的介入比較研究—」第 19 回計測自動制御学会 (SI2018), 2018 年 12 月 13~15 日, 大阪工業大学梅田キャンパス, 2B2-05, 2018

岩木将一郎, 田郷岡凌, 安田和弘, 岩田浩康, 「歩行における随意的調整・自動運動の両立を目的とした急性期リハにおける仰臥位歩行訓練システムの開発」第 19 回計測自動制御学会 (SI2018), 2018 年 12 月 13~15 日, 大阪工業大学梅田キャンパス, 2B2-06, 2018

平井大智, 安田和弘, 林勇希, 岩田浩康, 「Pusher syndrome の垂直認知を再校正するための没入型 VR リハビリシステムの開発」, 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2018 年 12 月 13 日~15 日, 1B6-05

大平雅弘, 萩原晨功, 安田和弘, 富山美咲, 岩田浩康 「脳出血により物体中心無視を認めた症例に対する没入型仮想現実を用いた手がかり刺激呈示システムの適用」, 第 42 回日本高次脳機能障害学会学術総会, 2018 年 12 月 6~7 日, 神戸国際展示場 (兵庫県)

加藤遼一, 萩原晨功, 安田和弘, 川口俊太郎, 大平雅弘, 岩田浩康, 「没入型仮想現実による半側空間無視評価システムの構築」, 第 34 回ライフサポート学会 (LIFE2018), 2018 年 9 月 6~8 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, OS2-4, 2018

林勇希, 安田和弘, 北地雄, 原島宏明, 岩田浩康, 「触覚バイオフィードバックに基づく歩行リハビリ支援システム—第 15 報: 脳卒中片麻痺を対象としたパイロットスタディー—」 第 34 回ライフサポート学会大会 (LIFE2018), 2018 年 9 月 6~8 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, OS2-7, 2018

岩木将一郎, 田郷岡凌, 安田和弘, 岩田浩康, 「下肢運動デバイスと VR による一人称歩行映像を併用した急性期リハにおける仰臥位歩行訓練システムの開発」 第 34 回ライフサポート学会大会 (LIFE2018), 2018 年 9 月 6~8 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 2-3-1-2, 2018

平野瑞樹, 室井大佑, 安田和弘, 齋地健太, 萩原晨功, 岩田浩康, 「右中大脳動脈領域の脳梗塞により半側空間無視が遷延化した事例に対する没入型 VR を用いた介入の適応」, 第 55 回リハビリテーション医学会, 2018 年 6 月 28~7 月 1 日, 福岡国際会議場 (福岡), 2018

田郷岡凌, 岩木将一郎, 安田和弘, 岩田浩康, 「急性期リハビリにおける麻痺足随意性拡張を目指したアシストシステムの開発」, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2018 年 6 月 4~5 日, 北九州国際国際コンベンションゾーン (福岡県), 2A1-F03, 2018

#### 社会活動・その他

「効果的なリハビリを提供する—知覚共感型遠隔リハビリシステム—」, Innovation Showcase Network, 角川アスキー総合研究所 (KADOKAWA ASCII Research Laboratories, Inc.), 2018 年 9 月 12 日

「共感型デバイスにより運動学習を効果的に行う方法 ~ ふたりが繋がればうまくいく ~」, 早稲田大学理工学術院総合研究所ホームページ (ニュースリリース), 2018 年 6 月 26 日

## 6. 研究活動の課題と展望

歩行用知覚支援 RT (安定性) においては, 被験者を拡充するとともに, 本年度までの制約を解消するための機構およびシステム変更を検討する. また, USN 評価システムにおいては適応患者数を増やし評価システムの信頼性・妥当性を検証する. さらに USN 評価から介入システムへの連動制を考慮したテーラーメイド型の評価—介入システムの案出に着手する予定である.