

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22300082

研究課題名（和文）パートナーロボットを用いたリハビリテーション支援のための
ソフトコンピューティング

研究課題名（英文）Soft Computing for Rehabilitation Support with Partner Robot

研究代表者

久保田 直行（KUBOTA NAOYUKI）

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：30298799

研究成果の概要（和文）：本研究では、高次脳機能障がい患者のリハビリテーション支援を目的とした計測システム及び人型ロボットシステムを適用した支援システムの研究開発を行った。具体的には、半側空間無視を対象とし、ソフトコンピューティングや認知神経心理学の知見に基づき、タブレット PC を用いて人間の空間認知領域を特定するとともに、構造化学習を用いてリハビリテーション時の時系列動作パターンを学習することにより動作解析を行い、様々な観点から開発したシステムの有効性について検討を行った。

研究成果の概要（英文）：We developed a monitoring system and partner robots to realize rehabilitation support to patients with higher brain dysfunction. In this study, we applied portable tablet PC as an interface to evaluate spatial cognitive function, and proposed a method for structured learning and visualization of human motion patterns based on soft computing and cognitive psychology.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2011 年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2012 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
総計	10,600,000	3180,000	13,780,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ファジィ理論・福祉・介護用ロボット

1. 研究開始当初の背景

近年、高齢化が進むとともに脳梗塞や脳出血などによる脳血管障害を持つ患者の数が増加している一方で、厚生労働省は病院でのリハビリテーションよりも自宅での介護や社会復帰を優先させ、発症後 180 日以降は、介護保険制度に準じた家庭での生活や各種社会福祉施設での生活が余儀なくされている。脳血管障害後の運動麻痺や感覚麻痺の回復を目的

とする様々なリハビリテーションが行われているが、残念ながらその効果は小さく、残存部位の機能代償によるものがほとんどである。また、リハビリテーションの現場では、セラピストが個々の経験をもとに各患者へのリハビリテーションプログラムを立案・実施することが多く、治療行為や患者のモニタリングの負担が極めて大きいことに加え、リハビリテーションプログラムの再現性が低い。この

ような社会的背景のもと、効果的なリハビリテーションの確立やセラピストを支援するためのシステム開発は急務である。

リハビリテーションの一つである認知運動療法は、マッサージや温熱療法、電気刺激療法、関節可動域訓練など、人間の身体を機械のように扱うのではなく、接触した物体の特性を感じたり、自己の身体の空間的な位置、動き、重さなどを知覚したり、注意を払ったりする認知過程を重視し、運動に関する中枢神経系の準備状態を作り上げる運動療法である。具体的には、「あらゆる行為にはイメージが先行する」という考えのもとで、身体イメージの認知や運動イメージの想起を行うために、知覚、注意、記憶、判断、言語などの認知機能について、脳の可塑性に基づく学習を行う。基本的に、感覚レベルでは、視覚、注意、聴覚、触覚、圧覚、運動覚などの感覚情報が互いに交換性を持ち、共通の意味を持ちうると仮定すると、複数の感覚モダリティ間での情報の交換、すなわち、異種感覚情報交換が成立する。しかしながら、患者の運動や認知過程を計測するためのシステムも少ないため、患者の状態を効率よく計測するためのシステムやリハビリテーションを支援するためのシステムは必要不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、運動麻痺や感覚麻痺の患者に対し、認知運動療法などにおけるリハビリテーションの支援を目標とし、ソフトコンピューティングに基づく計測システム及び人型ロボットシステムを適用したリハビリテーション支援を実現する。

認知運動療法では、人間の認知の仕組みに基づいているため、認知神経心理学などの知見が極めて有効になる。そこで、本研究では認知運動療法における患者の状態や症状を計算論的に推定するために、認知神経心理学的などで議論されている脳の相互依存的な情報処理機能に基づく多戦略学習の新しい方法論を提案し、さらに、提案手法の学習結果を用いたリハビリテーション支援システムの開発を行う。図1に多戦略的構造化学習の方法論を示す。本提案手法は、ブラックボックス的な全体的並列処理と機能分割に基づく分散的逐次処理の相互依存的な学習形態に基づく。分散的逐次処理では、患者の立場に立ち、特徴抽出を行う教師無し分類学習、抽出された情報に基づく連想記憶、想起情報と教師情報との誤差に基づく教師あり学習、他者の行動や目標となる動作を実現するための模倣学習などから構成される。各機能を実現するために、計算論的な観点から、入出力情報の特性などにあわせて、ニューラルネットワークやファジィ推論などの知能化技術を適用する。具体的には、得られたデータをニューラルネット

ワークに学習させることで、患者の動作や認知過程をモデル化する。これにより、セラピストの治療行為ではセラピストの主観に基づいたリハビリテーションの評価を定量的に示すことができ、モニタリングにおけるセラピストの負担を軽減することができる。これらの実験結果から成果を明確にした上、リハビリテーション支援プログラムの安全性や適用可能性を示す。

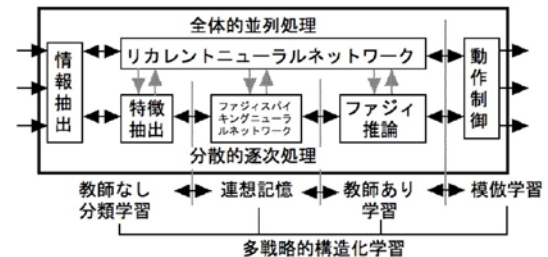


図1 探戦略的構造化学習

3. 研究の方法

リハビリテーションの現場において、脳障がい、肉体障がいに関わらず、知覚機能の評価は治療を進めていく上で非常に有用な判断材料である。人間にとって運動の制御や学習は非常に重要な機能であるが、これらの機能は感覚・知覚系との連携によって成り立っている。運動系と知覚系の対応関係は、我々がリハビリテーションを必要としない健常な状態にあるときには、ほとんど感じられることはない。しかしながら、高齢者のように老化や障害によって運動機能や知覚機能が損なわれた場合、これらの対応関係にずれが生じる。このような高齢者に、残存する機能を活かしたリハビリテーションプログラムを提供するためには、単に運動機能だけを評価するのではなく、運動系と知覚系の総合的な評価を適切におこなう必要がある。

本研究では、大きく分けて四つのシステム開発を行う。一つ目は高次脳機能障がいの一つである半側空間無視の症状評価のための半側空間無視領域特定システム、二つ目はリハビリテーション時における患者の視機能評価のための視線検出システム、三つ目はリハビリテーション時における患者の上肢運動計測・可視化システムである。最後に、これら三つのシステムを統合し、人型ロボットシステムを活用した患者の運動や認知過程のモニタリングシステムを開発し、システム評価のための実証実験を行う。

4. 研究成果

(1) 半側空間無視領域特定システム

半側空間無視とは、脳血管障がいなどの大脳損傷後に生じる大脳半球病巣の反対側の刺激に対して反応したり、その方向を向いたりすることが障害される病態であり、脳血管障

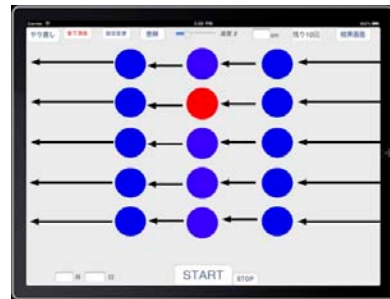
がい患者の日常生活活動を阻害する主要な高次脳機能障がいの一つである。リハビリテーションに関する試験は半側空間無視に限らず、一つの症状に対して様々な種類があり、試験自体も未だに紙や道具などが用いられている。現在、半側空間無視の評価方法には一般的に紙で行う線分末梢試験や線分二等分試験などの紙を用いた検査課題を組み合わせて使用している。しかしながら、紙を用いた課題では試験中に意識の方向がどのように変化しているのかということや、動いている物体にどのように意識を向けているのかを計測することができない。つまり、紙を用いた試験では、患者の意識方向の変化などの動的な要因などに基づき試験が行われるが、試験の結果には、静的な情報しか含まれない。したがって、意識を向けている方向の変化などはセラピストが直接観察して診断せざるを得ず、動的な情報を自動的に抽出する診断支援システムの必要性が高まっている。また、机上試験の成績はセラピスト自身が計算して、評価しなくてはならない。観察や計算は試験と平行して行うため、セラピストにとって大きな負担になる。以上の議論に基づき、本研究では、左半側空間無視患者の認識空間と認識のための意識方向の動きと移動物体をどの程度の速さでその位置から意識できるかを計測するために、iPadなどのタッチパネルを持つデバイスを用いたシステムを開発した。方法論的には、静的な情報と動的な情報を計測し、患者の状態を定量的に解析するための支援システムである。具体的には、画面上に左右からボールが出現し、画面上で色が変化したボールをタッチすることにより、色が変わってからの時間から認識可能な領域を特定し、半側空間無視の領域を推定する(図2)。

研究開始時は、半側空間無視領域を推定することを目的として開発を進めてきたが、実際に実験を行うと、リハビリテーションへの効果があることがわかった。このアプリケーションを行う前と後に、線分末梢試験や線分二等分試験を行った結果、このアプリケーションを使用後に、左への注意の改善がみられた。また、右からだけではなく、左から移動する円にも注意を払わなければならない、右からの追走以外にも左から移動するものにも注意することで空間注意が即時的に改善したと考えられる。

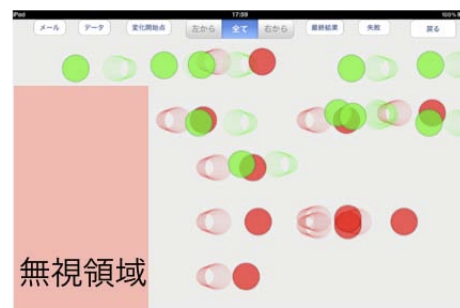
(2) 視線検出システム

リハビリテーションの評価において、「目の前の物体に対して、それを視認できているのか」ということは患者を日常生活に復帰させる上で非常に重要とされている。リハビリテーションの現場において、運動機能の評価だけではなく、知覚系の評価指標として視線検出システムを導入している事例は少なくない。既

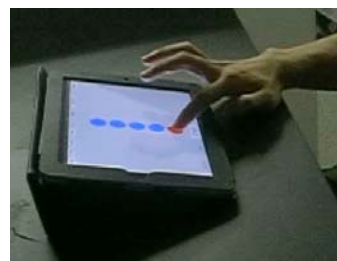
存の視線検出システムでは、カメラとLEDを適用し、照射された赤外線が角膜反射や強膜反射を検出するアクティブ方式の計測装置が多く適用されている。しかしながら、この方式のシステムは高精度の視線検出が可能なものの、高価で準備に時間がかかる点からあまり普及していない。また、リハビリテーションの現場では精度よりもむしろ、患者のことを考えて手軽さが求められている。本研究では、半側空間無視領域特定システムにも用いたタブレットPCを適用し、搭載されているカメラを用いた視線検出手法を提案する。また、ここでは、タブレットPCを適用することで、安価で簡易に扱える視線検出システムの開発を目指す。視線検出手法には、進化的ロボットビジョンに基づき、遺伝的アルゴリズムを用いたテンプレートマッチングを適用し、実証実験においてその有効性を検討した。



(a) タッチインターフェースを用いたリハビリテーション支援システム



(b) 患者によるリハビリテーションの例



(c) 計測実験結果の一例

図2 半側空間無視領域特定システム

図3は視線検出を行う際の様子である。本システムでは、被験者に青色のメガネをかけてもらい、メガネの枠をランドマークとした

視線検出を行う。メガネの適用は、処理コストの削減および背景の色を排除し視線検出に必要な色を検出しやすくするためである。メガネは、画像処理の補助として適用しているだけであるため、処理の妨げとなりうるレンズは外しており、ここではフレームだけを用いる。本提案手法では、メガネフレームの検出、特徴抽出、目の輪郭検出、虹彩検出を行い、目の輪郭中心と虹彩中心の差分及びメガネフレームとの相対位置に基づき視線方向の推定を行う。

実験では、被験者にメガネをかけてもらい、タブレット PC を顔から 30cm 程度離れた状態で固定した。タブレット PC の画面上には、円形の移動体が表示され、被験者にはこれを目で追ってもらい。まず、はじめに、移動体を画面上の上、左、下、右、左上、左下、右下、右上の順に表示し、順に目の位置を認識させることにより、画面上における目の追視範囲を特定し、これに基づき、視線方向の推定を行う。本実験では、追視範囲の特定後、同様に移動体を表示し、視線方向の推定を行った。視線方向の推定結果は環境光や顔の傾きなどの外乱に影響し、推定精度は 75%であった。また、特定方向に限り検出がしづらいなどの問題点も明確になり、個人にあわせた閾値の調整方法が今後の課題としてあげられる。

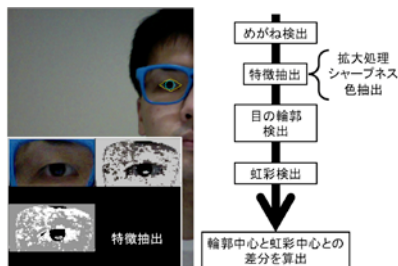


図3 視線検出システム

(3) 上肢運動計測・可視化システム

近年、高齢化によって脳梗塞や脳出血、脳卒中などの脳血管障害になる患者が増えており、死に至らない場合であっても、日常生活に支障をきたす片麻痺などの高次脳機能障がいになることが多い。従来では、片麻痺自体を回復させることができず、利き腕を代えるなどの訓練が行われてきたが、脳科学の進歩によって、今まで回復はしないと考えられていた片麻痺が、効果的なりハビリテーションを繰り返し行うことによって回復が望めることがわかってきた。また、高次脳機能障害である片麻痺の評価において、我が国では発症から回復過程について臨床的にステージ分類を行うブルンストロームステージが最も用いられている。しかし、ブルンストロームステージでは、各ステージの幅が広く、詳細な上肢機能評価には適していない。筋収縮の反応を評価の対象とするため、理学療法士が主観

的に評価を行っており、定量的に症状の経過を評価することが困難である。定量的な評価手法としては、関節可動域を調べる ROM 測定も行われているが、療法士が角度計で患者の腕の関節角度を計測するため、手間と時間がかかってしまう。さらに、ROM 測定は、測定する箇所を十分に露出させ、基本軸を固定する必要があり、多関節筋のある関節ではその影響を考慮しなければならないなど、患者および療法士にとって負担となる要素が多い。

動作解析にはモーションキャプチャなどが用いられることが多いが、表面マーカの設置が必要であることや、装置が高価なことなどから、実臨床での利用が少ない。そこで、本研究では、Microsoft Kinect センサを用いることにより、既製の類似センサと比べ、はるかに安価で、かつ容易に適用可能なマーカーレスのモーションキャプチャシステムを構築する。具体的には、計測された関節座標から、関節角度を推定することにより、可動域を定量的に示す。

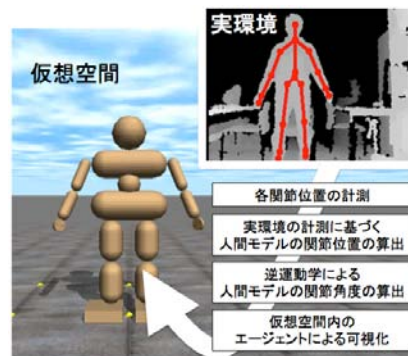


図4 計測・可視化システム概念図

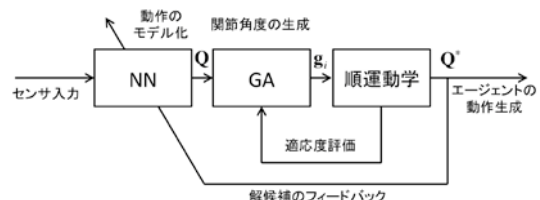


図5 上肢関節角度推定のフロー

図4に本システムの概念図を示す。Kinect センサの関節自動検出機能により計測された関節座標は、患者の姿勢により、誤差が大きく生じる。そのため、関節角度を推定するには、計測誤差を考慮しながら逆運動学を解く必要がある。したがって、本研究では、人間の腕のモデルに基づき、進化戦略 (Evolution Strategy; ES) を用いて、計測された関節座標系列から関節角度を推定する手法を提案する。また、階層型ニューラルネットワーク (Neural Network; NN) を用いて関節座標から関節角度を推定するための学習を行い、NN と ES を統合することにより、姿勢推定を行う (図5)。



(a)リハビリ前 (b)リハビリ後
図6 リハビリテーション前後における肩の屈曲伸展運動

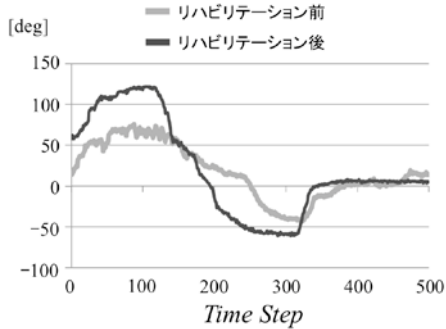
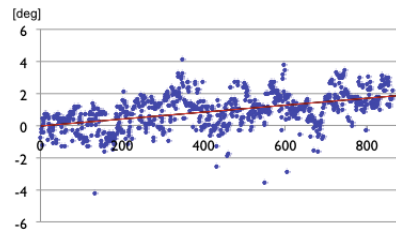


図7 肩の屈曲伸展運動における関節角度の推移

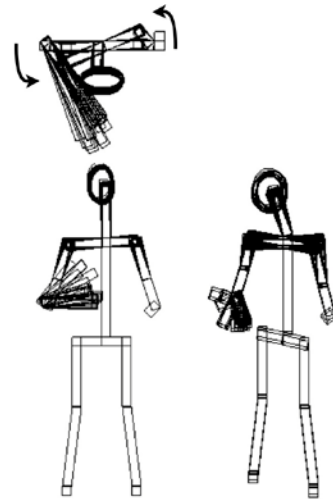
本システムの有用性を検討するため、片麻痺患者のリハビリテーション前後の上肢の運動を計測した。ここでは、可動域の変化量を定量的に示すことを目的とする。Kinect センサを被験者の正面からおおよそ 1.8m 離れた位置に設置する。被験者は、椅子に座った状態で、肩の屈曲・伸展、肩の外転、肩の水平屈曲・水平伸展、肘の屈曲運動を行う。各運動はリハビリテーション前後にそれぞれ 1 回ずつ行い、その動作を Kinect センサで計測する。被験者には椅子に座った状態で、肩の屈曲・伸展、肩の外転、肩の水平屈曲・水平伸展、肘の屈曲運動をしてもらう。各運動はリハビリテーション前後にそれぞれ 1 回ずつ行い、Kinect センサで計測する。また、計測した各関節位置を用いて、物理計算エンジン ODE で作成した人間モデルに基づき動作の可視化を行い、可動域の確認を行う。実験では、患者はリハビリテーション後に手を高くあげることができるようになり、提案システムでもその変化を可視化することができた (図 7)。

また、半側空間無視を呈する患者にも動作計測実験を行った。姿勢変化の結果を図 8 に示す。実験では半側空間無視領域特定システムのアプリケーションを患者に操作してもらっている際の動作を計測した。結果より、肩の姿勢が変化し、上半身が左方向に向いていることが確認できた。これは、無意識のうちに上半身が左方向を向くことにより、注意を払うべき範囲が左方向にシフトしたものであると考えられる。

最後に、人型ロボットシステムを用いたインタラクティブなリハビリテーション支援システムについて説明する。本研究で開発した計測システムを実装するために、統合化したシステムを図 9 に示す。タブレット PC を 2 本のロボットアームを挟む形で配置し、手前には、大型のタッチパネルを配置した。タブレット PC は、リハビリテーションの指示を行ったり、ロボットの顔の表情を表出しながら、音声で、リハビリテーションプログラムを説明することができる。現在、病院での実証実験に向けた最終的な開発を行っているところである。



(a) 肩姿勢の時間的変化



(b) 推定結果における肩姿勢の時間的変化

図8 計測実験における姿勢の変化

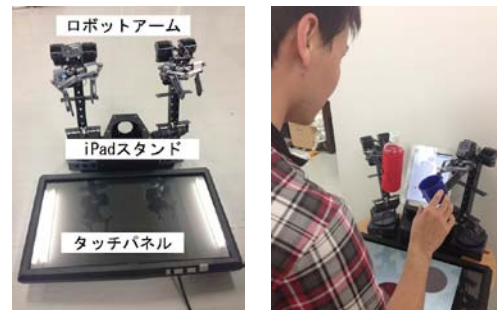


図9 リハビリテーション支援のためのインタラクティブロボットシステム

(4) まとめ

本研究では、患者の運動や認知過程のモニタリングを目的としたリハビリテーション支援システムの開発を行った。本リハビリテーション支援システムでは、計測・分析・可視化などを同時に行いながら、支援を行うための枠組みを提供する。実証実験では、セラピストとともに評価手法に関して議論をした上でシステムを構築し、計測や評価における対象を定量的に示すことができた。

認知運動療法が多く用いられる障がい者に高次脳機能障がいが増えらるが、3次元空間認知を基礎として認知・学習過程に大きな障がいを示すことは明らかであるものの、これまで詳細な評価方法は確立されていない。したがって、今後の課題として、3次元空間認知の状況を評価するためのシステム開発を行う予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計9件)

- ① Janos Botzheim, Takenori Obo, Naoyuki Kubota, Human Gesture Recognition for Robot Partners by Spiking Neural Network and Classification Learning, 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, November 20-24, 2012, Koube, Japan.
- ② Naoyuki Kubota, Janos Botzheim, Takenori Obo, Human Motion Tracking and Feature Extraction for Cognitive Rehabilitation in Informationally Structured Space, the 9th France-Japan & 7th Europe-Asia Congress on MECHATRONICS and the 13th International Workshop on Research and Education in Mechatronics, November 21-23, 2012, Paris, France.
- ③ Tadimitsu Matsuda, Takayuki Koyama, Osamu Nitta, Naoyuki Kubota, Kotomi Shiota, Kazu Amimoto, Comparison of Hemispatial Neglect Dynamic Evaluation by iPad and Line Segment Test, 8th world stroke congress, October 10-13, 2012, Brasilia, Brazil.
- ④ 松田雅弘、新田収、小山貴之、久保田直行、塩田琴美、勝又泰貴、二瓶篤史、高梨晃、宮島恵樹、川田教平、野北好春、河方けい、網本和、iPad を利用した新た

な半側空間無視用動的評価の信頼性の検討、第47回日本理学療法学会、May 25-27, 2012、兵庫。

- ⑤ 小山貴之、新田収、松田雅弘、久保田直行、勝又泰貴、二瓶篤史、河方けい、網本和、iPad を利用した半側空間無視用動的評価と線分試験との関連性、第47回日本理学療法学会、May 25-27, 2012、兵庫。
- ⑥ 二瓶篤史、松田雅弘、新田収、小山貴之、久保田直行、勝又泰貴、泉良太、網本和、坂村雄介、戸井田麻理乃、吉永亮太、半側空間無視患者に対する iPad を利用した新たな治療法の即時効果についての検討、第47回日本理学療法学会、May 25-27, 2012、兵庫。
- ⑦ 青木理、檜皮えりこ、久保田直行、タッチインタフェースの半側空間無視リハビリテーションへの適用可能性、第12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、December 23-25, 2011、京都。
- ⑧ 檜皮えりこ、青木理、久保田直行、半側空間無視のための診断補助システムのボール出現パターンの開発、第21回インテリジェント・システム・シンポジウム、September 1-2, 2011、兵庫。
- ⑨ 松田雅弘、新田収、小山貴之、久保田直行、勝又泰貴、泉良太、網本和、半側空間無視患者に対する iPad を利用した評価、即時効果の症例報告、第21回日本保健科学学会、October 1-2, 2011、東京。

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保田 直行 (KUBOTA NAOYUKI)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：30298799

(2) 研究分担者

新田 収 (NITTA OSAMU)

首都大学東京・人間健康科学研究科・教授
研究者番号：80279778