

## 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24年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21700337

研究課題名（和文） 環境に適応するための脳型学習法・暗黙学習の未知物体との接触動作への応用

研究課題名（英文） Emergence of Grasping based on tacit learning

研究代表者

下田 真吾 (SHIMODA SHINGO)

独立行政法人理化学研究所・自律行動制御連携ユニット・連携ユニットリーダー

研究者番号：20415186

研究成果の概要（和文）：

人の手による物体把持は、把持対象や環境状況に依存した極めて効率的な動作である。この動作を人工的に実現するには、従来の人工物制御法の応用では難しい。本研究では、生物制御の原理に基づいた学習法である Tacit learning を利用することで、把持力に応じた姿勢など環境に応じた動作が創発可能であることを示し、3DOF 電動前腕義手を残存関節の動きに適応して制御することで、効率的に物体を把持できる姿勢を創発可能であることが示された。

研究成果の概要（英文）：

Grasping by human beings is one of the most environment-sensitive behavior. We can crate appropriate grasping posture depending on the grasping object and the environmental situations. To apply this ability to the artificial arm control, we used tacit learning that is developed based on the principle of biological controls. We showed in the simulation study that the proposed controller can learn the appropriate grasping posture depending on the grasping force. We applied our controller to control the 3DOF artificial arm to adapt the motion of the remaining joints and experimentally showed that the appropriate behaviors emerged through the body/environment interactions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・生体生命情報学

キーワード：生物制御, Tacit learning, 行動創発, Grasping, 義手

## 1. 研究開始当初の背景

これまでのロボット制御技術は、産業用ロボットに代表されるように安定した環境内で、与えられた目的を高速かつ精密にこなすことを目的として発展し、ほぼ完成の域に達しているといえる。それに対し現在のロボット制御の大きな課題の一つは、災害現場や地球外惑星などの環境のモデル化が困難な不整地、もしくは家庭内や都市内など人と共存し環境が絶えず変化するような場所で、環境に適応した複合的な行動を用いて目的を達することである。

制御は、生物のあらゆる機能を支える生命活動の基盤であるともいえる。人工物の制御と比較した生物による制御の特徴は、予測不可能な環境変動に対する適応の素早さ巧みさにあり、まさに現在のロボット制御が必要としている要素である。このような生物の特徴的な制御能力は、さまざまな環境変動の同時複合的な生起に対応して、さまざまな制御動作を合理的に組み合わせることで実現できる、自由度の高い生物独特の制御の構造から来ている。この制御の構造は、一見複雑であるが要素に分解すると単純でしかも一様かつ同質 (homogeneous) な制御機構がネットワーク構造をなしていることが分かる。細胞内の制御では、タンパク質同士、あるいはタンパク質とDNAの物理的な結合が、制御の物質的な機構の大半を占めている。一様な機構からなるために、組み合わせも自由にでき、新しい動作を加えることも容易である。このような生物の制御方式をわれわれは**複合制御 (compound control)**と呼ぶ。複合制御は細胞、個体、臓器などすべてのレベルにおける生物の制御に共通して見られる。複合制御とは「多数の複合したタスクを等質な制御機構の組み合わせによって効果的に実現する制御方式」といえる。本研究では、複合制御の基本概念を基にロボット制御器を設計することを大目標とする。

## 2. 研究の目的

複合制御を脳に限って注目すると、単純一様かつ同質な制御機構とは神経細胞の活動となる。神経細胞の活動は四肢の制御のみな

らず、すべてのセンサデータを処理し、物事を認識して判断し行動を起こす。このような一見多様かつ複雑な機能は、基本的には同質な活動をする神経細胞の自律的活動により行われているものである。しかしこれら多くの機能は生まれながらにして持っているのではなく、自然環境との相互作用の中で“学習”により獲得していくものである。ここで言う生物の学習を神経細胞動から見ると、これまでのロボットの行動学習とは大きく異なる面が見える。これまでのロボット研究で行われている学習は、「設計者側が意図した行動を起こすコントローラを獲得する」というものが多い。しかし、生物の学習は「**神経細胞の自律的な活動が制御であると同時に、活動の結果ネットワーク状態が変化することでさまざまな機能、行動が生まれる学習ともなる**」と考えることができる。したがって、Brooksらのサブサンプリングアーキテクチャ同様、環境の複雑さが機能、行動の複雑さを生むことになる。しかし複合制御では、あらかじめ定義されて行動の組み合わせでなく、環境に適応的な行動が多数の単純同質な制御機構の自律的活動の結果、生まれるものであり、一見多種多様と思われる機能が生まれる原因こそ、単純同質な制御機構の組み合わせであるからだと考えている。本研究では、複合制御の基本概念に基づき、多数の同質な制御機構とそのネットワークを持ち、環境との相互作用を通して、生物の概念による“学習”により行動を獲得するロボット制御器の開発を目指す。

## 3. 研究の方法

### 3.1. 制御機構の自律的活動アルゴリズムと初期ネットワークの状態定義の確立

現在提案している自律活動アルゴリズムと初期ネットワーク状態を用いてマニピュレータ制御、倒立振り子、平地での二足歩行に同様のアルゴリズム、定義を用いて3つの異なる動作の学習に成功している。これにより提案したアルゴリズムの有効性が検証されているといえる。提案したアルゴリズム、定義を用いて不整地歩行歩行など複雑環境中で行動を学習するには、複雑な行動を生成するために、

より多くの制御機構，大規模なネットワークが必要である．現在の「入力を減少させる方向に発火が伝わるネットワーク」で大規模化が可能であるかを検証し，必要ならば改善している必要がある．

平行して実験に用いる歩行ロボットを改良する必要もある．自律的に働く制御機構の特徴を最大限に生かすために，アクチュエータは単純な機能を持つ制御機構からの出力を直接駆動信号として利用可能であるものを使用する必要がある．センサも同様に，できるだけ生データに近い状態で制御機構にデータを送ることが可能なセンサを用いる必要がある．使用するCPUもあわせて検討を行う．CPUの条件もこれまでのロボットとは異なる．提案する手法では単純なプログラムのスレッドを数千から数万個並列に起動し，制御機構として用いる．したがって，一体のロボットを動かすために最適なCPUの数や速度，さらにメモリ管理の手法など使用するアクチュエータ，センサ条件に合わせ選定する必要がある．

### 3.2. 制御理論に基づく制御安定性，学習収束性の証明

複合制御による学習で得られる行動から，新たな制御理論を構築できる可能性がある．これまでの制御理論では，環境変動は「外乱」「設定値変動」などの「外部入力」として取り扱われ，それらの相互の関連や複合性は無視されてきた．実際は，Aという外乱が発生すれば，Bという外乱が起こりがちであるとか，外乱Aに対する対処があるやり方で行えば外乱Bのことは考えなくてもよい，などさまざまな複合したケースが存在し得る．生物の制御ではこのような状況が頻繁に起こる．たとえば，ラクトースとグルコースの栄養状態にもなって発生する大腸菌の遺伝子発現と代謝の制御はこのような複合制御の例で，大腸菌のような下等な単細胞生物でもこの種の複合制御を実に巧妙にやってのけることが出来る．これまでの人工物の制御ではこのような問題への対処は「論理制御」として議論されているが，実際は論理制御では扱えない場合が多く，定量化のレベルが粗くなりすぎることが避けられない．生物の場合は「論理制御」では制御性能を達成できないことが知られてい

る．環境変動とそれに伴う軌道修正や設定値変動の「複合性」を定式化し，それを有効に取り扱うことの出来る制御理論を確立する必然性がここにある．複合制御の最大の特徴は制御の要素機構が一様等質であることに依存している．このような構造を制御機構として具体的に設定し，その動作特性の検討を通じて「等質な機構」から「異質な行動」が導出されることを示し，その**制御安定性，学習収束性の証明**を行う．

### 4. 研究成果

反射と本能の存在，この2つこそが環境と相互作用しながら行動を創発する Tacit learning の基礎となりうる．この事実を導き出したことが，理論的な側面からの本研究の最大の成果であると言える．研究当初，環境に適応的な動作を創発するために生得的に持つべき能力を議論し[2]，環境入力に対しその入力を打ち消すように働く反射動作と，生得的に持つ行動目標から出発することで，その目標を達成しつつより環境に適応的な動作を生み出すことが出来ることを理論的に証明することに成功した．その理論を基に，6DOF のハンドモデルにより把持動作のシミュレーションを行い，Tacit learning により把持姿勢を学習することで，把持力に応じて異なる姿勢が獲得可能であり，かつそれらの姿勢は把持力に応じた効率的なものとなっていることが示された．

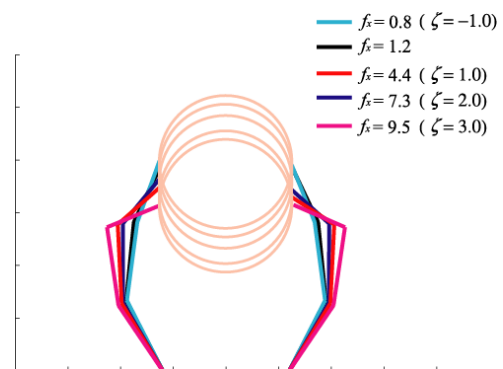


Fig. 1 Grasping posture depending on the contact force

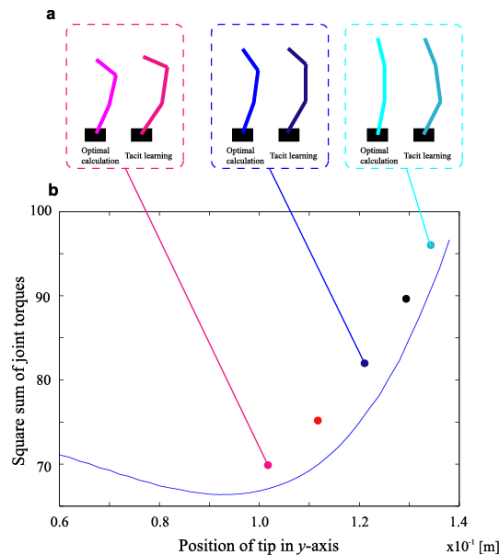
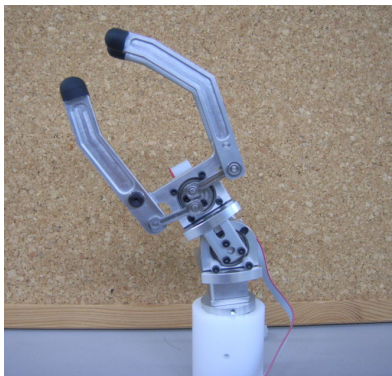


Fig. 2 Efficiency of the created posture

これらの結果を基に、Fig. 3 に示す 3DOF 電動前腕義手の制御アルゴリズムの開発を行った。義手の制御においては、生得的に持つ目標として肩・肘などの残存関節の動きを利用することとした。その結果、健常者に手首の動きを拘束する装具を用いた疑似的な実験では、卓上の物体を効率よく把持することが可能であることが示された。



この結果を基に今後は、医療機関・義肢装具メーカーとの協力し実際の患者に応用し、普段の生活において発生する問題点なども考慮しながら開発を進めていく必要がある。

## 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 1 件)

① Shingo Shimoda, Yuki Yoshihara and Hidenori Kimura, “Behavior adaptation to the environment by tacit learning”, Systems, Control and Information, Vol. 55, No. 11, pp. 473-479, 2012,2 (査読無)

[学会発表] (計 4 件)

① Shingo Shimoda, “Tacit learning: a biomimetic learning”, The Annual conference of the institute of systems, control and information engineers, Ohsaka, May, 22<sup>nd</sup>, 2011

② Shingo Shimoda, “Robot Intelligence –Hardware intelligence and Software intelligence–”, I-shou university symposium, I-Shou University, Kaohsiung County, Taiwan, Oct, 22<sup>nd</sup>, 2010

③ 下田真吾, “Tacit learning による物体把持姿勢の創発”, 日本ロボット学会学術講演会, 名古屋, 2010年9月21日

④ 下田真吾, “自律行動制御器の開発 –Innate に持つべきものは?–”, ロボティックサイエンスサマーワークショップ, 小樽, 2009年8月3日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：

取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

下田 真吾 (SHIMODA SHINGO)  
独立行政法人理化学研究所・自律行動制御連  
携ユニット・連携ユニットリーダー  
研究者番号：20415186