

平成 28 年 5 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2015

課題番号：24686051

研究課題名(和文) マルチエージェントシステムに対するブロードキャスト制御技術の確立

研究課題名(英文) Broadcast control of multi-agent systems

研究代表者

東 俊一 (Azuma, Shun-ichi)

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：40420400

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,200,000円

研究成果の概要(和文)：ブロードキャスト制御とは、マルチエージェントシステムにおいて、エージェント間の情報交換を用いるのではなく、すべてのエージェントに同一のメッセージをブロードキャストすることで、大域的目的を達成させる制御のことである。これは、多数のエージェントで構成される大規模システムに対して適した制御であり、スマートグリッドや生体システムなどへの応用が期待されている。本課題では、ブロードキャスト制御を、大規模系の制御のための新技術として提案し、実用化のために必要となる理論を構築した。また、ソーラーファームおよびウインドファームの発電量最大化制御へ応用し、その有用性を実機実験により確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we have established a framework of broadcast control of multi-agent systems. Here, the "broadcast control" means governing multi-agent systems by sending the same signal to the all agents indiscriminately, under the assumption that there is no agent-to-agent communication. In this control scheme, the agents do not need devices and energy for information transmission, which will be an advantage in various applications, such as smart grids and biological systems. In the project, we have presented several theoretical results. Moreover, we have applied the framework to control problems of maximizing power generation in a solar/wind farm, and demonstrated the effectiveness of the broadcast control.

研究分野：制御工学

キーワード：ブロードキャスト制御 ランダムイズド制御

1. 研究開始当初の背景

制御分野においては、マルチエージェントシステムの制御が今世紀に入って世界的なブームになっている。この背景には、センサネットワーク、高度交通システム、スマートグリッドなどへの応用があり、ますます複雑化するシステムの実現に不可欠な技術となりつつある。

これまでの研究で中心的な課題になっていたのは、図1に示すように、エージェント間の情報交換が存在する条件下での制御であり、「与えられた大域的目的が達成されるためには、どのように情報が交換されれば良いか？」の研究が実施されてきた。一方、図2に示すように、エージェント間の情報交換ではなく、エージェント群に、同一のメッセージをブロードキャストして制御するような状況も考えられる。

**例1 電力システム：**電力の需給バランスの現在値を、インターネットなどを通じて需要家にブロードキャストし、需給バランスを改善するよう制御する。また、同じ情報を分散電源（蓄電池を含む）などの供給側にブロードキャストするような制御も近い将来の方法として考えられる。

**例2 投薬制御：**通常、薬剤を体内に投与すると、その成分は血中に取り込まれて患部細胞へ送られる。この際、薬剤をある特定の細胞だけに作用させられることは少なく、通常は、複数の細胞（細胞群）に同時に作用する。すなわち、細胞群に薬剤がブロードキャストされる。

**例3 避難誘導：**緊急時に人々を避難誘導する際も、適切な情報をブロードキャストすることで、群集を安全な場所に導く。

このように、ブロードキャスト型の制御の必要性は割と身近で感じられる。

また、そのような制御が原理的に持つ利点として「各エージェントが送信機を持たなくて良い」、「エージェント数に依存しない（脱落や追加があっても良い）」、「大域的目的を表現する関数の形が未知で良い」などが挙げられ、まさに大規模系に適した制御法である。しかしながら、その方法論はつい最近まで未解決のままであった。実際、ブロードキャスト制御のコンセプトは、Uedaらによって、セル型アクチュエータの制御手法として提案され[Proc. of IEEE BioRob 2006]、それを Juliusらが生物制御に応用しているが[IEEE-TAC 2008]、現在までにこの程度の研究しか見当たらない。そして、これらはかなり単純なシステムを対象としたものであり、役割分担を発現させることが本質的となるマルチエージェン

ト制御に利用できるようなものではなかった。

そこで、申請者らは、平成22~23年に、群ロボットのフォーメーション形成を例に「ブロードキャスト制御をマルチエージェントシステムに展開できるか？」を検証した。その結果、実に興味深いことがわかってきた。直観的には、ブロードキャストでできることは、「右向け右」のように、すべてのエージェントを画一的に動かせるだけのように思えるが、各エージェントのダイナミクスに、ある確率要素が含まれる場合には、「各時刻における目的の達成度（この場合、フォーメーションの完成度）」をブロードキャストすることで役割分担を含む大域的目的が達成される。これを数学的に証明した[第39回制御理論シンポジウム, 2010]。これは、役割分担を必要とするマルチエージェントシステムが、ブロードキャストという限られた情報伝達によって制御できることを示した初めての結果であった。この成功により、本研究を深化させ、実用化へ向けた取り組みを進める必要があると考えた。

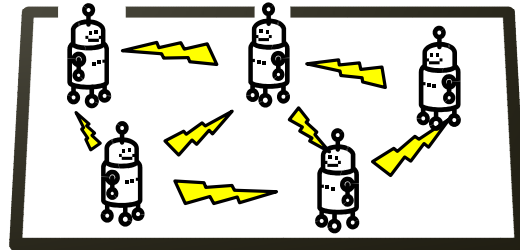


図1 エージェント間の情報交換に基づくマルチエージェントシステム

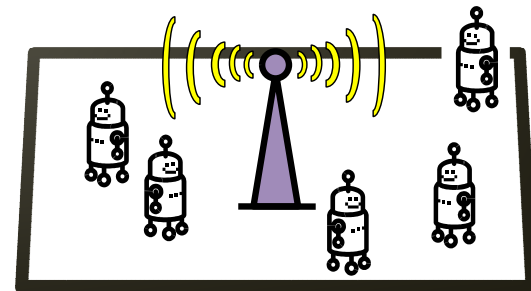


図2 ブロードキャスト型指令に基づくマルチエージェントシステム

2. 研究の目的

そこで本課題では、図2のように、エージェント間に情報交換は無く、代わりに、すべてのエージェントに同一のメッセージをブロードキャストすることで、大域的目

的を達成させる「ブロードキャスト制御」の枠組みを構築することを目的とした。特に、ブロードキャスト制御を、大規模系を制御するための新技術として提案し、その普遍的な理論の構築と応用可能性を実証することを目指した。

### 3. 研究の方法

2で示した目的のために、本課題では、以下の課題に取り組むこととした。それらは、それぞれ「理論基盤の整備」、「実応用可能性の証明」、「社会への還元、応用可能性の創造」に対応するものである。

#### (1) 制御理論の体系化

上述した予備検討では、ブロードキャスト制御の基本的な枠組みが得られたに過ぎないが、それをレベルアップし、普遍的かつ体系的な制御理論を構築する。特に、ブロードキャスト制御問題の可解条件と制御器の設計方法を明らかにする。

#### (2) アクティブソーラファームへの応用

多数のソーラパネルで構成されるソーラファームを考える。各パネルにはアクチュエータが備えられ、その向きを自由に動かすことができることとする。このとき、全体の発電量を最大化するための制御として、ブロードキャスト制御を採用し、その有効性を証明する。

#### (3) ツール化とカタログ化

ブロードキャスト制御技術をユーザが容易に利用できるよう(1)の理論をソフトウェアに実装にする。また、ブロードキャスト制御が、実際にどの分野でどのように貢献できるのか?を体系化したカタログを作成する。

### 4. 研究成果

#### (1) 制御理論の体系化

量子化観測化におけるブロードキャスト制御

ブロードキャスト制御では、各時刻における目的の達成度の観測が必要である。この際、誤差のない完全な観測が理想的であるが、現実には、量子化された観測になることが多い。そこで、量子化された観測下におけるブロードキャスト制御の方法を開発した。本手法では、各エージェントにディザの役割を演じる確率的な移動を重畳させることで、量子化による情報の欠損を補う。その結果、観測が粗く量子化される場合でも目的を達成することが可能となる。本研究では、このような枠組みを提案するとともに、確率1で目的が達成できることを証明した。

移動量に制限を加えたブロードキャスト制御

研究代表者らの先行研究で提案されたブロードキャスト制御では、各エージェントの単位時間あたりの移動量に制限がなく、しばしば、エージェントの物理的制約を超えることがあった。そこで、本研究では、エージェントの単位時間あたりの移動量があらかじめ指定された値を超えないような制御方法を提案した。提案法は、飽和関数を利用して、移動量が強制的に大きくなるようにするものであるが、そのような場合でも確率1で目的が達成できることを証明した。

マルコフ連鎖型のエージェントの場合への拡張

エージェントのダイナミクスが、マルコフ連鎖系で記述される場合への拡張を行った。

#### (2) アクティブソーラファームへの応用

ブロードキャスト制御をアクティブソーラファームの発電量最大化へ応用した。図3および図4に示す実機を開発し、実証実験を行った。その結果、図5に示すように発電量の最大化が行えることを明らかにした。本枠組みでは、固定型の場合と比較して、約2倍の発電量を得られる可能性があることも確認した。

また、同様のアイデアをウインドファームにも応用し、ウインドファームでも同様の結果が得られることを確認した。

#### (3) ツール化とカタログ化

個別の対象に関しては、ソフトウェアとして実装しているが、期間内に一般に公開できるレベルまでは到達しなかった。また、(2)に示したようにブロードキャスト制御の応用例をいくつか提案しているが、カタログ化の方も期間内に完成することができなかった。これらについては、引き続き研究に取り組み完成を目指したい。

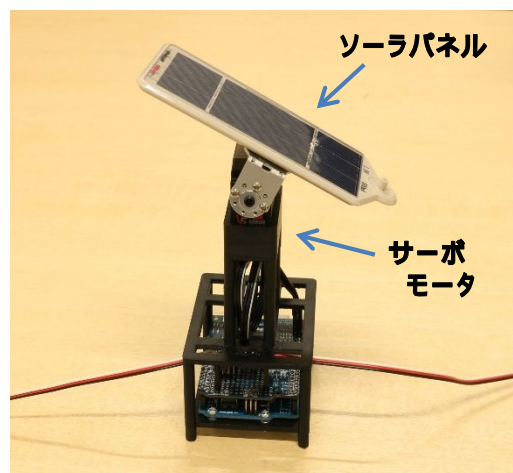


図3 開発したアクティブソーラパネル実験機

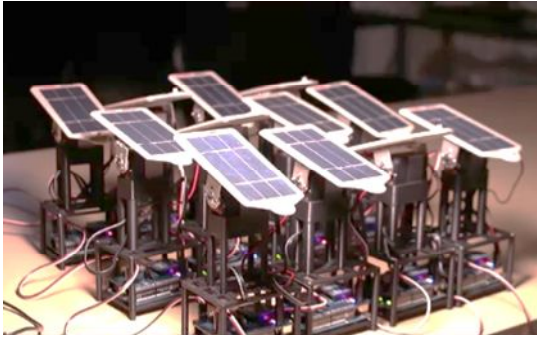


図4 開発したアクティブソーラファーム実験機

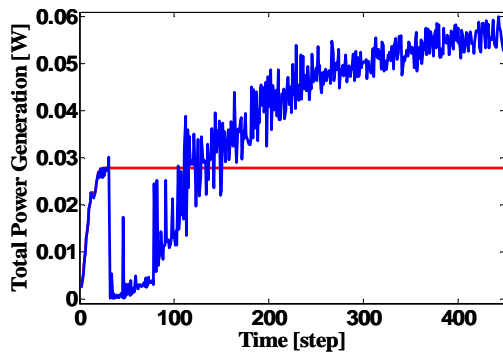


図5 アクティブソーラファームの発電量最大化の例

## 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8件)

東 俊一: ランダムイズド制御, システム/制御/情報, Vol. 60, No. 5, pp. 181--186 (2016) 査読有  
DOI: 付与なし

Shun-ichi Azuma, I. Baba, and Toshiharu Sugie: Broadcast Control of Markovian Multi-agent Systems, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 9, No. 2, pp. 103--112 (2016) 査読有  
DOI: 10.9746/jcmsi.9.103

Yosuke Tanaka, Shun-ichi Azuma, and Toshiharu Sugie: Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation with Norm-Limited Update Vector, Asian Journal of Control, Vol. 17, No. 6, pp. 2083--2090 (2015) 査読有  
DOI: 10.1002/asjc.1153

Yosuke Tanaka, Shun-ichi Azuma, and Toshiharu Sugie: Broadcast Control of Multi-Agent Systems with Quantized Measurements, IEICE Transactions on

Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E97-A, No. 3, pp. 830--839 (2014) 査読有  
DOI: 10.1587/transfun.E97.A.830

Mohd Ashraf Ahmad, Shun-ichi Azuma, and Toshiharu Sugie: A Model-Free Approach for Maximizing Power Production of Wind Farm Using Multi-Resolution Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation, Energies, Vol. 7, No. 9, pp. 5624--5646 (2014) 査読有  
DOI: 10.3390/en7095624

東 俊一: ブロードキャスト信号によるマルチエージェントシステムの制御, 計測と制御, Vol. 53, No. 12, pp. 1093--1098 (2014) 査読有  
DOI: 付与なし

馬場 一郎, 東 俊一, 杉江 俊治: ハイブリッド自動車の燃費最適化制御器設計: 同時摂動最適化によるモデルフリーアプローチ, 計測自動制御学会論文集, Vol. 49, No. 9, pp. 887--894 (2013) 査読有  
DOI: 10.9746/sicetr.49.887

Shun-ichi Azuma, Ryota Yoshimura, and Toshiharu Sugie: Broadcast Control of Multi-Agent Systems, Automatica, Vol. 49, No. 8, pp. 2307--2316 (2013) 査読有  
DOI: 10.1016/j.automatica.2013.04.022

[学会発表](計7件)

Taichi Kitao, Shun-ichi Azuma, Mostefai Mostefai, Ichiro Maruta, and Toshiharu Sugie: Model-Free Position Control of Solar Farms Maximizing Power Generation, SICE International Symposium on Control Systems 2016, Nagoya, March 7-10, 2A2-4 (2016) 査読有

Mohd Ashraf Ahmad, Shun-ichi Azuma, and Toshiharu Sugie: A Model-Free Approach to Wind Farm Control Using Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation, 21st International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems, Groningen, July 7-11, pp. 1352--1355 (2014) 査読有

泉 晋作, 東 俊一, 杉江 俊治: グラフ信号処理と合意制御, 第2回制御部門マルチシンポジウム, 東京, 3月4~7日, 723-2, PS-32 (2015)

田中 洋輔, 東 俊一, 杉江 俊治: 量子化された観測に基づくブロードキャスト制御, 物理と情報をつなぐ次世代システム制御研究会 第一回講演会, 大阪, 11月21~22日 (2013)

東 俊一: マルチエージェントシステムのブロードキャスト制御, 「制御工学」先端・先進研究交流会: 先端研究紹介と応用への将来展望, 招待講演, トヨタ自動車株式会社 東富士研究所, 11月27日 (2013)

Shun-ichi Azuma: Broadcast Control of Multi-agent Systems , Joint CSS-Graduate School of Informatics, Kyoto U. Workshop on Systems and Control, 招待講演 , Kyoto University, Kyoto, 5月9日 (2013)

東 俊一 : マルチエージェントシステムのブロードキャスト制御 : 確率的制御器による大規模システムの機能発現 , 第57回システム制御情報学会研究発表講演会,招待講演 ,兵庫県民会館, 5月17日 ,Paper ID 331-1 (2013)

〔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〕  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

東 俊一 (SHUN-ICHI AZUMA)  
京都大学・大学院情報学研究科・助教  
研究者番号 : 40420400

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし