

# ポストエージェント指向に基づく内外の変化を自律的に吸収し 継続動作する情報システム

藤田茂<sup>1</sup> 白鳥則郎<sup>2</sup>

**概要**：情報システムは社会の基盤であり、最近でも複数の大手通信事業者の提供する全国にまたがるサービスが数十時間に渡り使用不能となる大規模障害が大きな社会的話題となった。そのため情報システムを“継続動作”させる技術の確立が緊急の課題となっている。本研究では、その解決を包含する一般的な基盤として、先に提唱したポストエージェント指向の概念 Double 指向の基本アーキテクチャを構成し、これに基づき内外の変化を自律的に吸収し“継続動作”する共生情報システムの基本構成について述べる。ここで、従来のエージェントに対し Double 指向の特徴は、1)共進化機能、2)共認知機能、3)共生化機能の3点にある。本稿では、まず“継続動作”する共生情報システムを Double 指向に基づいて構成する。次に、Double 指向と共生情報システムの例として、前述の大規模障害の解決へ向けた効果的輻輳制御の例として、Double 指向と共生情報システムの有効性を示す。なお、共生情報システムの具体的な変化の事例として輻輳制御に加えて、利用者、規則、故障、部品、標準などを想定し、このような内外の変化を吸収して“継続動作”するシステムを検討している。本稿では特に Double 指向の3つの機能の効果を示す。

**キーワード**：ポストエージェント指向、共生情報システム、継続動作、持続可能性

## 1. はじめに

情報システムは社会の基盤であり、最近でも複数の大手通信事業者の提供する全国にまたがるサービスが数十時間に渡り使用不能となる大規模障害が大きな社会的話題となった。そのため情報システムを“継続動作”させる技術の確立が緊急の課題となっている。本研究では、その解決を包含する一般的な基盤として、先に提唱したポストエージェント指向の概念 Double 指向の基本アーキテクチャを構成し、これに基づき内外の変化を自律的に吸収し“継続動作”する共生情報システムの基本構成について述べる。ここで、従来のエージェントに対し Double 指向の特徴は、1)共進化機能、2)共認知機能、3)共生化機能の3点にある。本稿では、まず“継続動作”する共生情報システムを Double 指向に基づいて構成する。次に、Double 指向と共生情報システムの例として、前述の大規模障害の解決へ向けた効果的輻輳制御の例として、Double 指向と共生情報システムの有効性を示す。なお、共生情報システムの具体的な変化の事例として輻輳制御に加えて、利用者、規則、故障、部品、標準などを想定し、このような内外の変化を吸収して“継続動作”するシステムを検討している。本稿では特に Double 指向の3つの機能の効果を示す。

通信システムなど高い信頼性を求められる事例では、事前に分析を行い、手順書を作成して、誤りのない運用を行っている。しかし、人のミスに起因する障害のみならず、システムのひとつの障害を原因として、本来ならば自動的に修復、回復処理が実行される場合であっても、複数の障害が連鎖的に発生し、原因究明と復旧までに時間を要することがある。

我々はこれまでに、やわらかいネットワーク[3][8]の提案

やネバーダイ・ネットワーク[9][10][11]の提案を行って来た。これらのなかでは自律的に動作するエージェントが重要な役割を果たし来た。しかし、これまでこれらエージェントを効果的に開発運用するための設計モデルが示されていなかったことから、実運用には至っていなかった。本稿では、これまでの研究結果を踏まえ、我々が提案してきた Double 指向[2]の考えをエージェント指向[1]からの発展として捉えて示す。

これまでに利用者要求の変化やネットワーク状況の変化に対して、情報システムが自律的にパラメータ調整、モジュールの構成と再構成を行うエージェント指向分散処理システム ADIPS を提案してきた[4][13]。ADIPS はその後、Java 言語による実装 DASH を経て、いくつかの研究プロジェクトで用いられてきた。また共生コンピューティングに関する研究を行い[5][6][14][15][18][19]、共認知[7][16]や Perceptual Function、Social Function に関する研究[22]を実施してきた。

今回の研究の端緒となったポストエージェント指向 Double は文献[2]で提案し、今回はその具体化と継続動作可能な共生情報システムへの応用について述べている。

Double はこれまで個別に研究開発されてきた技術を文献[2]の概念に基づいて一つのモデルとして統合したものである。

## 2. 共生情報システム

情報システムは標準規格に基づいて、階層構造をもつアーキテクチャとして設計されることが多く、技術発展を個別の階層ごとに取り入れることが容易であり、適切な競争が促進されるなど、利用者にとっても利の多い仕組みであ

1 千葉工業大学情報科学部  
2 中央大学研究開発機構

ポストエージェント指向に基づく内外の変化を自律的に吸収し継続動作する共生情報システム

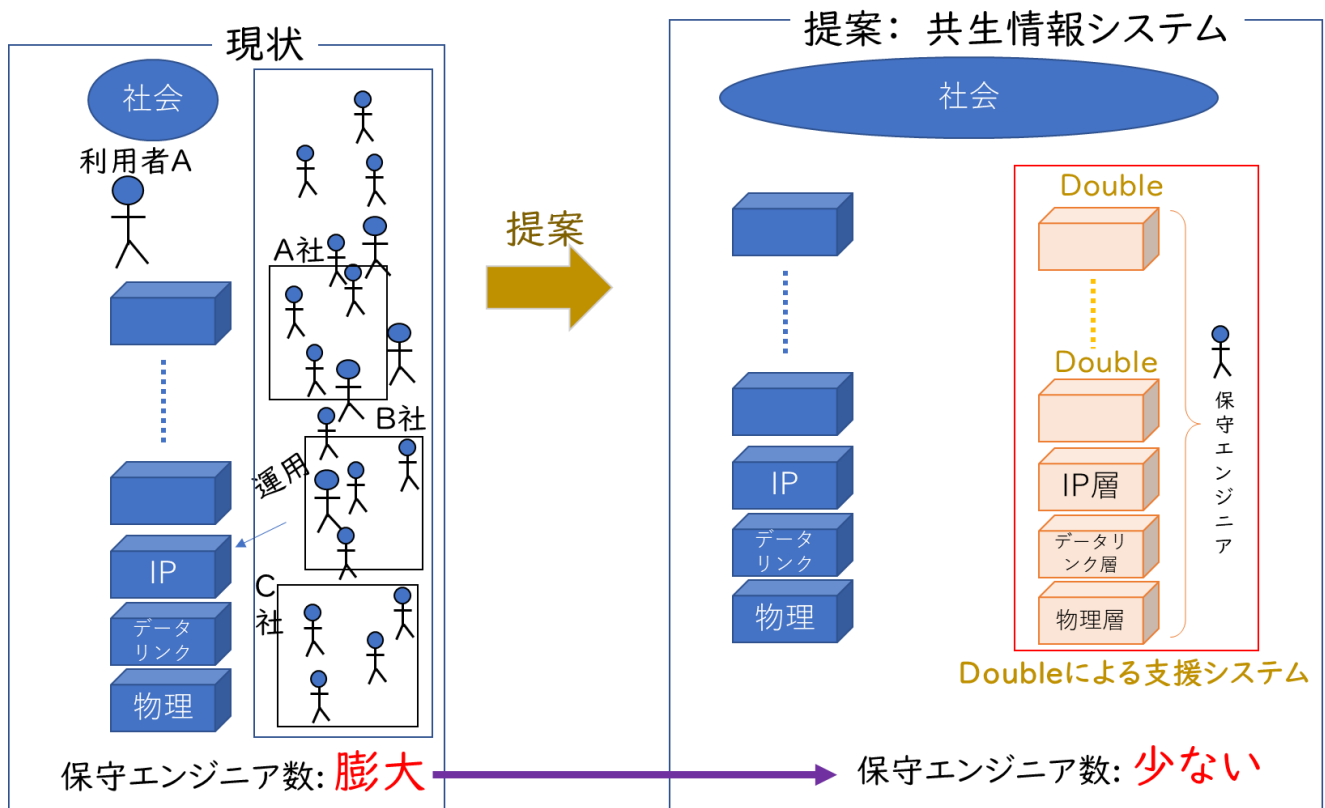


図1 ポストエージェント指向に基づき内外の変化を自律的に吸収し継続動作する共生情報システムの概念図

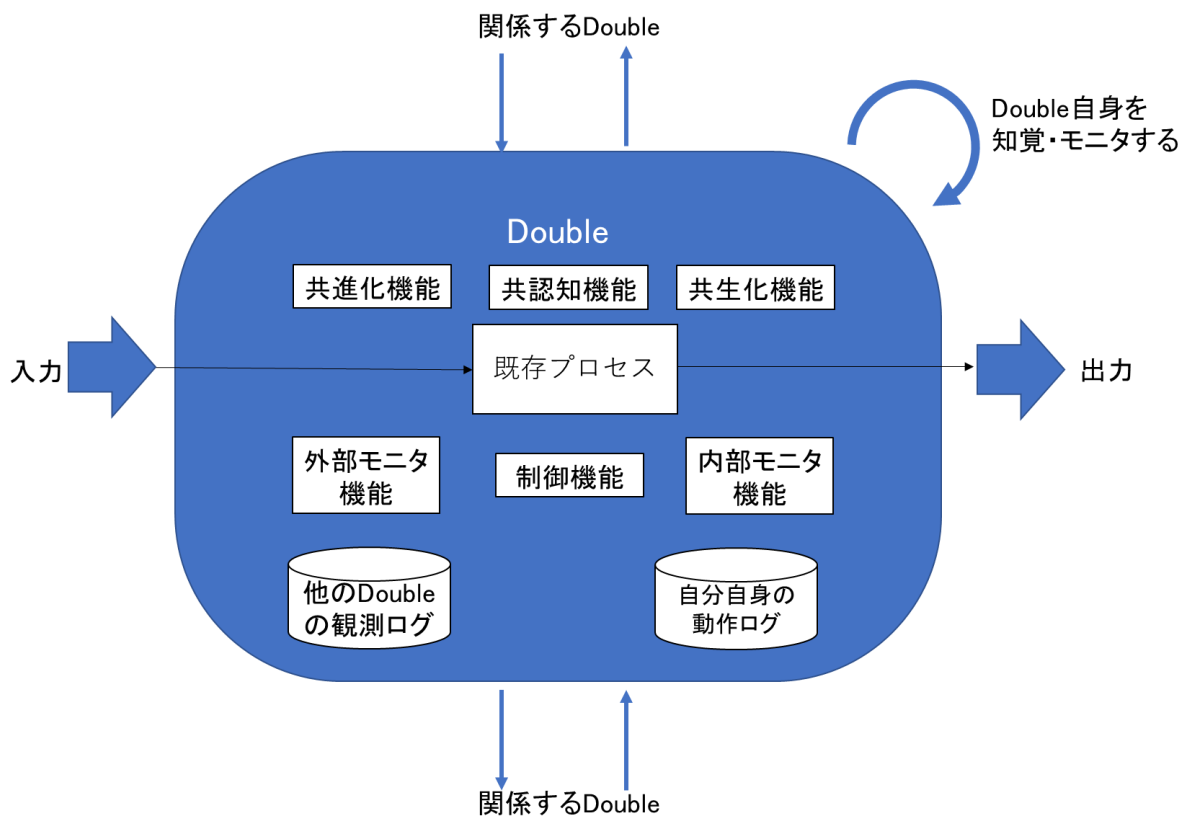


図2 Double指向の3つの機能（共進化、共認知、共生化）に基づく基本アーキテクチャ

る。情報システムは階層構造となっていることから、各階層には担当する技術者が存在し、各階層の機能の保守・運用を担当している。この結果、通常時には、人手を介することがなく情報システム運用されている。そして障害が発生した場合には、各層の担当者が障害解消のための処理を行う。これらの処理はマニュアル化されている分野とマニュアル化されておらず、現場で技術者が原因を調査し、解決策を立案して、処理を実行する場合がある。情報システムの数が増え続けていることから、階層ごとに障害が閉じることが少なく、他の階層の技術者や、遠隔地にある同じ層の技術者との連携が必要になり、技術者に要求される知識の増加と、作業の複雑さを招いており、運用・保守技術者の負担は増加する一方である。このため保守エンジニアの数は膨大なものになっている。

共生情報システムでは、各層の動作をモニタし、円滑に動作が実行されているかを、それぞれの層で Double が常時監視し、異常の発生時には各 Double が技術者を支援する。この結果、Double による支援を受けた保守エンジニアの数は、従来のシステムに比べて少なくなると期待される。

情報システムの例として TCP/IP 技術を使った例と共生情報システムによる効果の例を図 1 に示す。

### 3. Double: ポストエージェント指向

#### 3.1 エージェント指向の限界

これまで我々は、エージェント指向プログラミング環境と、その応用として共生コンピューティング、やわらかいネットワーク、ネバーダイ・ネットワーク、共生情報システムなどの研究を推進して来た[2-16][18,19]。これらの経験からの知見として、エージェント指向には長所と短所があり、特に短所として即応性、最適化などに難点があった。

そこで本稿では、これらの短所を克服するために、先に提唱したポストエージェント指向の概念である Double 指向の次の 3 つの機能に基づく具体的な基本アーキテクチャを構成する (図 2)。

3 つの機能は、

- ① 共進化機能 他の Double に交渉と合意に基づいて機能変更を行う機能
- ② 共認知機能 他の Double の動作履歴から他の Double の状態を推論し、動作を予測する機能
- ③ 共進化機能 ①②の結果が Double 自分自身と観測可能な他の Double を最適動作状態とするための機能からなる。

Double の内部には既存プロセスが存在する。例えば IP データグラムの転送を実施するプロセスが対応する。この既存プロセスが新規に開発される場合もあるが、Double は ADIPS でのエージェント化機能を継承し、既存プロセスを Double として取り扱うことを行う。

Double 内部に存在する既存プロセスは制御機能によって起動終了およびコントロールがなされる。

Double 内部の既存プロセスに対して入力、既存プロセスから出力されるデータは内部モニタ機能によって観測される。

Double 自体の状態 (利用資源のログなど) も同様に内部モニタ機能によって観測される。

内部モニタ機能によって観測されたデータは自分自身の動作ログとして保存される。

内部モニタ機能は自分自身の動作ログから Double 自身の動作が平常時のものであるか、平常時から逸脱した異常時であるかを判定する。

Double と他の Double のやり取りは外部モニタ機能によって観測される。

外部モニタ機能によって観測されたデータは他の Double の動作ログとして保存される。

外部モニタ機能は他の動作ログから自分以外の Double の状態が平常時のものであるか、平常時から逸脱した異常時であるかを判定する。

#### 3.2 エージェント指向

AOP[1]はコンカレントに動作するオブジェクトに対して、1)定められたプロトコルによる通信に限定する、2)オブジェクトの内部状態を Mental State としてモデル化し、3)内部クロックの進行と外部からメッセージ通信によって Mental State を更新する仕組みを導入して、自律動作するオブジェクトによるエージェント指向プログラミングを提唱した。

AOP の Mental State では、曖昧であって外部の状態の表現を Belief、エージェントが達成しようとしているゴールを表現する、Desire、エージェントの動作意図を表現する Intention をそれぞれモデル化した BDI Agent[12]が提唱され、実用に足るプログラミング言語として、JACK などが実装された。いずれも研究プロジェクトして一定の成果を収め、エージェントプログラミングとして研究プロジェクトでは利用されているが、実サービスを支えるフレームワークとはなっていない。

それぞれの価値記述に基づいて、それぞれの効用を最大化しようとするマルチエージェントの交渉については、交渉プロトコルの研究[20]がなされており、事前に定めた基準に基づいて、交渉に参加するエージェントを合意に導くための手法が研究されている。

#### 3.3 持続可能化への期待

情報システムの持続可能化について、情報システムそれ自体の安定化動作を指向するのみでは、長期的な持続動作が不可能であることが文献[20]で指摘されている。文献[20]では、社会、自然、利用者をそれぞれ充足させることの必

要性が延べられている。

### 3.4 Double: ポストエージェント指向

Double はその概念を文献[2]で示した。ここでは、エージェント指向に対して以下の3つの機能を加えることで、“持続動作”可能なシステムの構築がより長期に渡って運用保守でき、設計時には予想しなかった事態に対して Double の支援により技術者の作業負担が減ることを示す。

Double は処理を実行するための入力と出力がある。Double は自分自身の動作を知覚しモニタする。Double は他の Double を知覚し、コミュニケーションを取る。Double の概念モデルを図3に示す。

Double のモデルでは、コンピュータやネットワーク、利用者、技術者、他の Double も含めて、すべてが Double としてモデル化されて内部状態へ反映する。現実世界の事物を含めて、実際にはコンピュータプロセスとして存在しないモノ、コト、ヒトを Double 内部に Double として表現する。

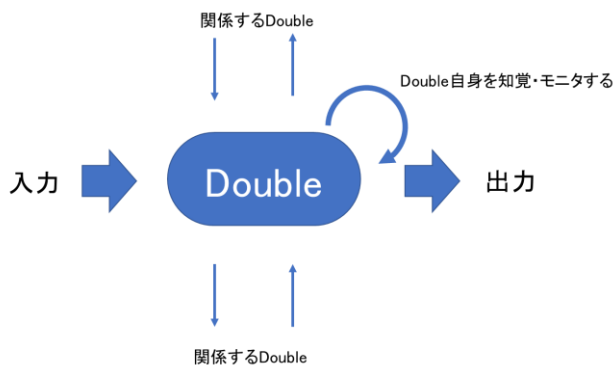


図3 Double の概念モデル

Double の内部変化は、Double 自身を知覚・モニタし、その履歴を観測することで得られる。Double の外部変化は、入力と出力をモニタすること、関係する Double の様子を観測することで知覚される。Double は内外の変化を知覚し、これを後述する共生化機能により、Double 自身の最適動作、また Double を含む全体の最適化のために適切な動作を推論決定し、持続動作するために必要な動作を計画実行する。

Double のモデルとして“継続動作”する、という目的は予め組み込まれた目標であって、これに関係しない動作は Double として実行不能である。一方で全体最適化のために、特定の Double をページすることがある。局所最適化と全体最適化のバランスを取る方針については、稿を改めて報告する。

Double が Double を内包することが可能である。図4に概念図を示す。Double の連携を効果的に実施するために、また Double の集合を一まとめにして表現した方が、Double が他の Double の動作をモデル化しやすいために、Double を内包する Double が存在する。

Double 自体の実行環境を持続可能にするために、我々は複数のコンピュータの用いて、データを秘密分散し、それらを統合することなく計算可能な秘密計算の手法を明らかにし[17]、これを用いた実行環境の設計[23]を行っている。

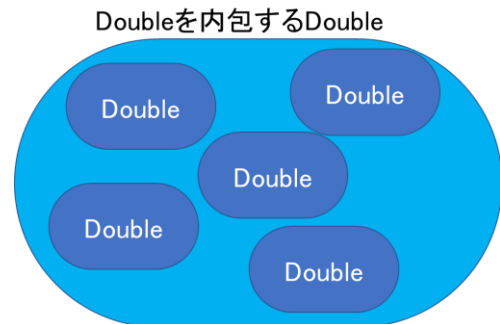


図4 Double を内包する Double の概念図

#### 3.4.1 共進化機能

Double は、Double 自身と環境の変化に応じて自分と他の Double の機能を変える機能を有する。例えば、大規模な通信網において局所的な輻輳が発生し、他の網へ急速に輻輳を原因とする障害が波及しシステム全体がダウンする場合がある。これを防ぐために、Double の共進化機能を用いて、関連するノードの Double の輻輳戦略を変えてもらいシステム全体の継続動作を目指す。また局所的なダウンを許容しつつ、システム全体のダウンを避けることを目指す。本稿ではこの共進化機能を中心に議論を進める。

#### 3.4.2 共認知機能

Double は Double 自分自身の動作履歴、関連する他の Double の動作履歴を用いて、Double 内部に、それぞれの平常状態の動作モデルを自ら構築する機能を有する。例えば、大規模な通信網を構成する要素としての Double は、他の Double が輻輳状態の原因となっている異常なデータ転送量を検出し、これを削減するように要求する。また、通常は協働関係にない Double に対して、交渉に基づいてデータ転送の受け入れを要求する。この共認知機能については、稿を改めて報告する予定である。

#### 3.4.3 共生化機能

共進化機能、共認知機能はいずれも共生情報システムが平常動作状態から、なんらかの異常発生や障害状態の際に一時的に対応する機能である。一方で、これらの異常発生や障害状態の原因となる事象が、頻発するのであれば、その事象下での動作を新たな平常状態として認識し、ひとつの Double の局所最適化のみならず、いくつかの Double の局所最適化、そして Double 集合の全体最適化を機能が共生化機能である。例えば二つの大規模な通信網の間で常にデータ転送が発生するのであれば、そのデータ転送を、大規



図5 2社ネットワークからなるシステムの輻輳制御における Double 指向の3つの機能による継続動作へ向けた制御

模通信網間の新たな接続点として Double を生成して運用を行う。また共認知機能により、自らの動作が全体への悪影響を与えることを認識した Double は、全体を持続動作させるために、自らを網から切り離し全体を維持させる動作を行う (図6)。この共生化機能については、稿を改めて報告する予定である。

がない場合には、K社通信網の内部で、輻輳がさらに輻輳を発生させる状況となる。このとき、地理的に近い位置にN社のノードDとノードFが存在する。K社のノード4、ノード7は、一時的なパケット転送を依頼する。このときN社のノードは自らの通信網維持に支障がないことを、共進化機能を使って予測し、コストを見積もり、K社のノードに提示し(あるいは事前の取り決めに基づいて)、一定数のパケットをK社のノード4、ノード7より引き受ける。この結果、一時的にK社通信網は、N社通信網を利用して迂回路を確保する。これら一連の共進化機能の基づく動作によって、K社の通信網は輻輳を抑制し、通信可能状態を持続させることが可能になる。

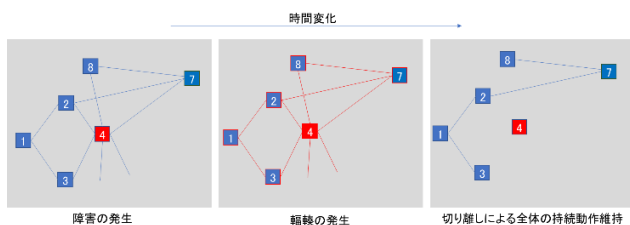


図6: 共生化機能による Double ノード切り離し例

## 4. Double の応用

### 4.1 大規模通信システムの障害

既に複数ノード間でのトラフィック分散プロトコルは複数提案されている、ここではそれらのプロトコルが無い状態で、Doubleの共進化機能のみによって、トラフィック分散が実現できる例を示す。

平常時はそれぞれ独立して動作している2つの通信事業者(N社とK社)がそれぞれ6つのノードを接続した通信網を運用しているとする(図5)。このとき、なんらかの原因でK社のノード4とノード7の間に輻輳が発生し、通史が出来なくなったとする。K社内部でのみ経路を確保しようとすると、ノード4からノード8、ノード8からノード7の経路を設定することとなる。しかし、これらの経路に余裕

### 4.2 持続可能な情報システムの構成

我々は、共進化機能、共認知機能、共生化機能を用いてシステムの内外の変化を吸収し、自律的な動作継続可能な情報システムの構成を目指している。

具体的な変化の事例として利用者、規則、故障、部品、標準、輻輳発生などの変化を吸収して動作するシステムを検討している。これについては、稿を改めて報告する。

## 5. おわりに

本稿では、ポストエージェント指向 Double の基本アーキテクチャを構成し、この Double 指向に基づいて持続可能な情報システムとして、共生情報システムの基本構成を与えた。今後は、Double 指向のプログラミング環境の開発とこれを用いた共生情報システムの応用を示す予定である。

**謝辞** This work was supported in part by Cooperative Research Project Program of the Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University.

## 参考文献

- [1] Y.Shoham, "Agent oriented programming", Artificial Intelligence, Volume 60, Issue 1, p. 51-92, 1993
- [2] 白鳥則郎, "ポスト・モダン分散システム", 情報処理, Vol. 36, No.9, pp.88-91, 1995/9
- [3] Norio Shiratori, Takuo Suganuma, "Flexible Network", 1995, Norio Shiratori, Takuo Suganuma, Sigeki Sugiura, Goutan Chakraborty, Kenji Sugawara, Tetsuo Kinoshita, E.S. Lee, "Framework of a Flexible Computer Communication Network", Computer Communications, Vol. 19, Issue 14, 1996, pp. 1268-1275
- [4] Shigeru Fujita, Tetsuo Kinoshita, Kenji Sugawara, Norio Shiratori, "Agent-Based Design Model of Adaptive Distributed Systems", Applied Intelligence, Vol. 9, No.1, pp.57-70, 1998
- [5] Norio Shiratori, et.al., "Symbiotic Computing Based Approach Towards Reducing Users Burden Due to Information Explosion", Journal of Information Processing, 2012. **[Invited Paper]**
- [6] Fujita, S., Sugawara, K., Kinoshita, T., and Shiratori, N., "An Approach to Developing Human-Agent Symbiotic Space", Proc. of 2nd Joint Conference on Knowledge-based Software, pp.11-18, 1996
- [7] Kenji Sugawara, Shigeru Fujita, "Non-verbal interface of a personal agent based on symbiotic computing model," IEEE 10th International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing (ICCI-CC'11), 2011, pp. 336-339.
- [8] T. Suganuma, T. Oide, S. Kitagami, K. Sugawara and N. Shiratori, "Multiagent-Based Flexible Edge Computing Architecture for IoT," in **IEEE Network**, vol. 32, no. 1, pp. 16-23, Jan.-Feb. 2018
- [9] Norio Shiratori, Noriki Uchida, Yoshitaka Shibata, Satoru Izumi "Never Die Network towards Disaster-resistant Information Communication Systems," ASEAN Engineering Journal Part D, Vol.1, No.2, pp.1-22, March 2013 **[Invited Paper]** .
- [10] Yoshitaka Shibata, Noriki Uchida, Norio Shiratori, IEEE Communication Magazine, Analysis of and proposal for a disaster information network from experience of the Great East Japan Earthquake, **IEEE Communications Magazine [Invited Paper]**
- [11] 白鳥則郎, 稲葉勉, 中村直毅, 菅沼拓夫, "災害に強いグリーン指向ネバーダイ・ネットワーク," 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.7, 1821-1831, July 2012 **[招待論文]**
- [12] A. S. Rao and M. P. Georgeff. Modeling Rational Agents within a BDI-Architecture. In Proceedings of the 2nd International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning, pages 473-484, 1991.
- [13] 藤田茂, 木下哲夫, 菅原研次, 白鳥則郎, "分散処理システムのエージェント指向アーキテクチャ", 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No.5, pp.840-852(1996)
- [14] Takahide Maemura, Shigeru Fujita Tetsuo Kinoshita, "Flexible Distributed System for Symbiotic Computing," 8th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI 2009), pp. 141-144, 2009.
- [15] Shigeru Fujita, Kenji Sugawara, "A Design Method for User Centric System Development by Symbiotic Computing," Centric2012, 2012.
- [16] K. Sugawara, Y. Manabe, S. Fujita and S. B. Yaala, "Interaction Zone between an office worker," Proceedings of the 2011 15th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), 2011, pp. 862-866
- [17] 滝雄太郎, 藤田茂, 宮西洋太郎, 白鳥則郎: 軽量 N パーティ 秘匿関数計算の一般化, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 10, pp. 1895-1902, 2018.
- [18] 藤田茂, "共生コンピューティング基盤の設計(1)", 情報処理学会研究報告, 2012-DPS-151(12), pp.1-5, 2012/05/14
- [19] 藤田茂, "共生コンピューティング基盤の設計(2)", 情報処理学会研究報告, 2012-DPS-152(2), pp.1-6, 2012/09/06
- [20] Yokoo, M., Sakurai, Y., & Matsubara, S., "Robust multi-unit auction protocol against false-name bids". IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1089-1094, 2001
- [21] Jin-Hee Cho, Kevin S. Chan, "Building Trust-Based Sustainable Network", IEEE Technology and Society Magazine, Summer, pp.32-38, 2013
- [22] S. Konno, Y. Manabe, S. Fujita, K. Sugawara, T. Kinoshita and N. Shiratori, "A Framework for Perceptual Functions of Symbiotic Computing," 2008 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, 2008, pp. 501-504
- [23] 藤田茂, 滝雄太郎, 白鳥則郎, "システムの持続可能化技術基盤と言語処理系の開発 -共生情報システムの実現へ向けて-", 情報処理学会研究報告, 2021-DPS-188(21), pp.1-8, 2021