

平成21年4月30日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19500188

研究課題名（和文）知の構造学習：オンラインショッピング・自律ロボット・生体警告防御系

研究課題名（英文）Structural Learning of Intelligence: Online Shopping, Autonomous Robot and Biological Self Defense System

研究代表者

村瀬一之(MURASE KAZUYUKI)

福井大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：40174289

研究成果の概要：既存の人工進化や学習アルゴリズムは可塑性と安定性のバランスを欠くものが多く、適応能力が高いと過去の記憶を失い、過去の経験を重視すると適応能力が落ちるといったジレンマを抱えている。本研究では、その解決策として人工神経回路網の構造学習法をいくつか提案し、医療診断やロボットの環境への適応問題などの実データで検証した。また、実際の神経系での可塑性や信号伝達などにグリア細胞が関与していることを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：ニューラルネットワーク、記号知、身体知、生体警告防御系

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトが行動や決断をするとき、その多様な決定プロセスが意識に昇る事はごく稀である。例えば、行動は多くの選択肢の中から選ばれている筈であるが、選択肢はほとんど意識されない。また、医者が診断を下すとき、特定の判断が多くの可能性の中から選択されるが、その過程のほとんどは経験に基づく直感で、理由付けはむしろ事後になされる。さらに、これらには情動も大きな影響を与える。

このような非自覚的なプロセスの獲得と保持は、中枢神経系の可塑性と安定性が保証する。神経科学によって、可塑的シナプスの存在やメカニズムが細胞・分子レベルで解明され、それが認知レベルでの学習や記憶の基礎であることも明らかになりつつある。情動系も解明が進んでいる。しかし、中枢神経系の構造と機能の間には未だ数多くのミッシングリンクがある。神経細胞の10倍以上あるグリア細胞がシナプス可塑性に関与する事はごく最近明らかになった。また、視、聴、味、嗅

および平衡感覚以外の感覚、すなわち体性感覚についての理解は十分とは言えない。

数理科学的・工学的な理解と応用には、初めて遭遇する環境に適応する可塑性と、過去の経験を保持し続ける安定性の両方を備えるメカニズムの創出が不可欠である。既存の進化・学習アルゴリズムは、可塑性と安定性のバランスを欠くものが多く、適応能力が高いと過去の記憶を失い、過去の経験を重視すると適応能力が落ちるといったジレンマを抱えている。あるいは、精緻であるがために、実用的とはいえない。ほとんどの学習・進化アルゴリズムでは、最急降下法あるいは最適値探索法に基づいて構造を決定する。しかし、最適値探索によって1つの決定プロセスを研ぎ澄まし、それに最適な構造を創り出す結果、他の構造は排除され消滅してしまう。

ヒトが遭遇する実世界の問題には複数の解が存在する。例えば、障害物は右に曲がっても左に曲がっても回避できる。病気を診断する過程にも複数の論理が存在し、その中で一つの判断が選ばれる。すなわち、ヒトのデジジョン・メーカーは、ほぼ同等な適応度を持つ多様な候補の競合・協調で行われる。複数の構造を保持する安定性を保ちつつ、新たな環境や論理に逐次適応できる可塑性を持つ、このようなダイナミックな構造学習アルゴリズムの創出が望まれる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、神経系の可塑性と安定性の理解に基づき、実用的な数理モデルを得る事である。具体的には、実データに応用できる可塑性と安定性のバランスに優れたニューラルネットワークの動的構造学習アルゴリズムを開発する事と、体性感覚の可塑性と安定性をシステム論的に理解する事である。

動的構造学習アルゴリズムでは、自動診断などの為のニューラル・クラシファイヤーの構築、オンライン・ショップで顧客が購入に至るまでの履歴データからのシンボリック・ルールの抽出、自律ロボットの適応行動の生成、を具体的なターゲットとする。体性感覚では特に生体警告防御系に着目する。今後、ロボットなどに皮膚感覚や内臓などからの深部感覚を持たせる事が重要と考えるからである。

## 3. 研究の方法

本研究は、我々が従来から行っている、ニューラルネットワーク（特に複数のニューラ

ルネットワークからなるニューラルネットワーク集合）、ロボティクス、神経科学の複合的研究を学際的に総合化することにより実現する。

(1) 方法として用いるのは次のとおりである。

- ① 医療診断データやオンラインショッピング履歴等の実データによる計算機シミュレーション
- ② 実際の移動ロボットとヒューマノイド・ロボットを用いた実験
- ③ 実際の中樞神経系での興奮伝播、シナプス前終末電位及び単一神経細胞活動のイメージング

(2) 具体的な研究課題は以下のとおりである。

- ① ニューラルネットワーク集合（NNE）の構造学習アルゴリズムの開発
- ② NNEによるクラシファイヤーの構成とシンボリック・ルール抽出
- ③ スパイク・タイミング依存可塑性（STDTP）の自律ロボットへの適用
- ④ スパイク・ニューラルネットワークとSTDTPによる構造学習と自律ロボットへの適用
- ⑤ 分散センサ情報の動的構造学習アルゴリズムとロボティクスへの適用
- ⑥ グリアやシナプス前調節を介した多様なシナプス可塑性の共存機序の解明とシステム的理解
- ⑦ 生体警告防御系と情動系の連関機序の解明とシステム的理解

(3) 研究グループとして以下の3つを組織する。

- ① 記号知の構造化研究グループ
- ② 身体知の構造化研究グループ
- ③ 生体警告防御系研究グループ

## 4. 研究成果

(1) 記号知の構造化研究グループ

ニューラルクラシファイヤーの構成法についての研究を行った。ニューラルクラシファイヤーの学習過程では、解の探求と探索のバランスが重要である。それをダイナミックに行う方法を提案した[Islam et al. 2009]。ルールを抽出するためのフューチャーセクションについても新しい方法を提案した[Kabir et al. 2007]。

また、ニューラルネットワーク集合の学習に関して、データサンプリング法に関するサーベイを行なったほか[Akhand et al. 2009]、

構成論的に構築していく方法と[Akhand & Murase, 2007]、よく用いられるBaggingとBoosting法に負の相関学習を導入しパフォーマンスを高める方法を提案した[Islam et al. 2008]。

さらに、複素ニューラルネットワークを実数値のクラシファイヤーとして利用する方法を提案した[Amin & Murase, 2009]。このネットワークでは2層のみで複雑な問題を解くことができる。また、複素ニューラルネットワーク集合についてもその学習法を提案し、ベンチマークデータでは極めて良好な結果を得た[Amin et al. 2009]。

## (2) 身体知の構造化研究グループ

実際の生物ではスパイクを発するニューロンが信号処理を担う。ニューロン間の信号伝達を行うシナプスには可塑性を持つものがあり、それが神経系の学習と記憶を担うとされている。その最も解明されている系として、アメフラシ(Aplysia)における連合学習があり、カンデル[E. Kandel]らはその功績によりノーベル賞を受賞した。また、中枢神経系の可塑的シナプスでは、そのシナプス前神経と後細胞が発するスパイクのタイミングによって、シナプスの結合強度が可塑的に変化することが知られ、スパイクタイミング依存型可塑性(STDP)と呼ばれている。

我々は、アメフラシを模した極めて単純構造にSTDPを持たせた人工神経回路網を提案した[Alnajjar & Murase, 2008]。このニューラルネットワークは条件刺激による学習を模しているため極めて学習が早い。実移動ロボットの制御系に採用したところ、従来の遺伝的進化法などに比べて極めて早く、環境に順応した適応行動を生成した。

環境の変化に適応し続ける能力は、学習によって実現できる。しかしながら、一度学習した内容は、次の新たな環境に適応するためには消し去られる。この問題は可塑性と安定性のジレンマと呼ばれ、学習能力を高めると過去の記憶を失いやすく、記憶を重視すると新規の学習が進まない。

我々はこの問題を解決するために、経験を構造として記憶する三つの方法を提案した。ひとつは、アメフラシを模した人工神経回路網に木構造の上位記憶機構を持たせたもので[Alnajjar et al. 2009]、実移動ロボットに搭載した実験でその有効性を示した。次に、より一般的に、経験した環境をパターンとして記憶する方法も提案し[Zin et al. 2009]、実移動ロボットによる実験でも良好な結果が得られた。さらに、複数の構造からなるニュー

ラルネットワーク集合をロボットの制御系として用いることを提案した[Okura et al. 2009]。人工進化と負の相関学習を繰り返すことにより、複数のネットワークが異なる環境への適応を実現する。実移動ロボットでの実験結果も良好であった。

## (3) 生体警告防御系研究グループ

従来、神経系における情報処理を考える際には、神経細胞のみを考慮していた。すなわち、その10倍以上存在しているグリア細胞は環境整備や構造維持機能を担うとされ、情報処理には殆ど作用しないとされていた。また、シナプスにあっても、主要なのはシナプス後細胞への作用であって、シナプス前終末への作用は殆ど無視されていた。しかしながら、近年、グリア細胞が神経系での信号処理に何らかの役割を担っていることが種々の系で明らかにされ、また、シナプス前調節も重要であることが明らかになった。

本研究では、感覚神経が最初に終末するシナプス(一次シナプス)において、グリア細胞がそのシナプス可塑性とシナプス前調節にどのように関わっているかを、実際のラットで調べた。方法として、電位感受性色素を用いた光イメージング法を用いた。これにより微細なシナプス前神経の活動を、シナプス後細胞の活動と区別して記録できる。

その結果、シナプス前神経の活動は、グリア細胞を介して調節されていることが明らかになった[Ikeda et al. 2007]。また、一時シナプスでの可塑性の発現が、グリア細胞を介して調節されていることも明らかになった[Ikeda et al. 2008]。

これらの結果は、神経細胞は単に入力の加重和で出力を生成するといった単純な機能を持つのみならず、よりダイナミックなメカニズムで調節されていることを示している。

さらに、感覚系が情動系と交わる扁桃体においても、イメージングにより計測を行い、シナプス可塑性を介した複雑なメカニズムが存在することを明らかにした[Kiritoshi et al., Soc. Neurosci. Abstr., Washington DC, 2008]。

## 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17件: 全て査読有)

- ①. Ikeda H, Kiritoshi T, Murase K (2009) Synaptic Plasticity in the Spinal Dorsal Horn, Neuroscience Research, (in press).
- ②. Fady Alnajjar, Indra Bin Mohd

- Zin, Kazuyuki Murase (2009) A Hierarchical Autonomous Robot Controller for Learning and Memory: Adaptation in Dynamic Environment, *Adaptive Behavior* (in press).
- ③. Indra Bin Mohd Zin, Fady Alnajjar and Kazuyuki Murase (2009) Adapting a Mobile Robot into a Complex Environment by Pattern Association Network Controller (PAN-C), *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics* (in press).
- ④. M.A.H. Akhand, Md. Monirul Islam, Kazuyuki Murase (2009) A comparative study of data sampling techniques for constructing neural network ensembles, *International Journal of Neural Systems*, Vol. 19, No. 2, pp.1-23.
- ⑤. Mashud Hyder, Md. Monirul Islam, M.A.H. Akhand, Kazuyuki Murase (2009) Symmetry axis based object recognition under translation, rotation and scaling, *International Journal of Neural Systems*, Vol. 19, No. 1, pp.25-42.
- ⑥. Okura M, Md. Shahjahan, Murase K (2009) Evolution of cooperative ensemble neural network controller for autonomous mobile robots, *Int. Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences* (in press).
- ⑦. Faijul Amin, Md. Monirul Islam, Kazuyuki Murase (2009) Ensemble of Single-Layered Complex-Valued Neural Networks for Classification Tasks, *Neurocomputing*, (in press).
- ⑧. Islam MM, Sattar MA, Amin F, Yao X, Murase K (2009) A new adaptive merging and growing algorithm for designing artificial neural network, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B*, Vol. 39, No. 3, pp.705-722.
- ⑨. Amin, F., Murase, K. (2009) A single-layered complex-valued neural network for real-valued classification problems, *Neurocomputing*, Vol 72, pp.945-955.
- ⑩. Md. Monirul Islam, Yao, X., S.M. Shahriar Nirjon, M. Asiful Islam, Murase, K. (2008) Bagging and Boosting negatively correlated neural network, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B*, Vol. 38, No. 3, pp.771-784.
- ⑪. Alnajjar, F., Murase, K. (2008) A simple Aplysia-like spiking neural network for adaptive behavior in autonomous robots, *Adaptive Behavior*, Vol. 14, Issue 5, pp.306-324.
- ⑫. Ikeda H, Kiritoshi T, Murase K (2008) Effect of excitatory and inhibitory agents and glial inhibitor on optically-recorded primary afferent excitation. *Molecular Pain* 4:39 (doi:10.1186/1744-8069-4-39).
- ⑬. Ikeda H, Kiritoshi T, Murase K (2008) Glia-mediated facilitation of neuronal excitation in the spinal dorsal horn in arthritic rats. *Pain Research*, Vol. 23, No. 3, pp.151-157.
- ⑭. Md. Monirul Kabir, Md. Shahjahan, Murase, K. (2007) A backward feature selection by creating compact neural network using coherence learning and pruning, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Volume 11, No.6, pp.570-581.
- ⑮. Okura, M., Maruyama, A., Murase, K. (2007) A neural obfuscator for java program, *Information*, Volume 10, No. 5, pp.609-617.
- ⑯. Akhand, M.A.H., Murase, K. (2007) A minimal neural network ensemble construction method: A constructive approach, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Volume 11, No.6, pp.582-592.
- ⑰. Ikeda H, Tsuda M, Inoue K, Murase K (2007) Long-term potentiation of neuronal excitation by neuron-glia interactions in the rat spinal dorsal horn, *European Journal of Neuroscience*, Vol. 25, pp.1297-1306.

[学会発表 (国際会議)] 計 26件 : 全て査読有)

- ①. Md. Monirul Islam, Md. Abdus Sattar, Md. Faijul Amin, and Kazuyuki Murase (2008) A New Adaptive Strategy for Pruning and Adding Hidden Neurons during Training Artificial Neural Networks, Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning (*IDEAL'08*), Daejeon, Korea, November 2-5, 2008, Lecture Notes in Computer Science, Springer, pp.40-48.
- ②. Md. Monirul Kabir, Md. Monirul Islam, Kazuyuki Murase (2008) A New Wrapper Feature Selection Approach using Neural Network, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International

- Symposium on Advanced Intelligent Systems, (*SCIS&ISIS2008*) Nagoya, Japan, Sept 17-21, 2008, pp.1953-1958.
- ③. MAH Akhand, Md. Monirul Islam, Kazuyuki Murase (2008) Selecting Neural Network Ensemble Methods based on Problem's Characteristics: An Empirical Study, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, (*SCIS&ISIS2008*) Nagoya, Japan, Sept 17-21, 2008, pp.2091-2096.
  - ④. MAH Akhand, Md. Monirul Islam, Kazuyuki Murase (2008) Ensemble with Selected Heterogeneous Neural Networks, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, (*SCIS&ISIS2008*) Nagoya, Japan, Sept 17-21, 2008, pp.924-929.
  - ⑤. Md. Monirul Islam, Md. Faijul Amin, M. A. H. Akhand, Kazuyuki Murase (2008) Neural Network Construction with Functional Adaptation, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, (*SCIS&ISIS2008*) Nagoya, Japan, Sept 17-21, 2008, pp.87-92.
  - ⑥. Asif Iqbal, A. B. M. Musa, Anindya Tahsin, Md. Abdus Sattar, Md. Monirul Islam, K. Murase (2008) A Novel Algorithm for Translation, Rotation and Scale Invariant Character Recognition, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, (*SCIS&ISIS2008*) Nagoya, Japan, Sept 17-21, 2008, pp.1367-1374.
  - ⑦. Indra Bin Mohd Zin, Fady Alnajjar, Kazuyuki Murase (2008) Adaptation of Real Autonomous Mobile Robot in Complex Environment using Pattern Association Network Controller (PAN-C), Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, (*SCIS&ISIS2008*) Nagoya, Japan, Sept 17-21, 2008, pp.913-917.
  - ⑧. Md. Faijul Amin, Md. Monirul Islam, Kazuyuki Murase (2008) Enhancing Classification Ability of Single-Layered Complex-Valued Neural Network by Ensemble Methods, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, (*SCIS&ISIS2008*) Nagoya, Japan, Sept 17-21, 2008, pp.1947-1958.
  - ⑨. Fady Alnajjar, Kazuyuki Murase (2008) A Novel Sensor Fusion of Aplysia-like Spiking Neural Network for Autonomous Mobile Robot, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, (*SCIS&ISIS2008*) Nagoya, Japan, Sept 17-21, 2008, 832-837.
  - ⑩. Fady Alnajjar, Indra Bin Mohd Zin, Kazuyuki Murase (2008) A Novel Hierarchical Adaptive Controller with Dynamic Memory for an Autonomous Robot, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, (*SCIS&ISIS2008*) Nagoya, Japan, Sept 17-21, 2008, pp.907-912.
  - ⑪. Md. Monirul Islam, Md. Faizul Amin, Suman Ahmed, K. Murase (2008) An Adaptive Merging and Growing Algorithm for Designing Artificial Neural Networks, Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (*IJCNN2008*), Hong Kong, June 1-6, 2008, pp.2004-2009.
  - ⑫. M.A.H. Akhand Md. Monirul Islam, K. Murase (2008) Training of Neural Network Ensemble Through Progressive Interaction, Proc *IJCNN2008*, pp.2121-2127.
  - ⑬. Fady Alnajjar, K. Murase (2008) Sensor-fusion in Spiking Neural Network That Generates Autonomous Behavior in Real Mobile Robot, Proc *IJCNN2008*, pp.2201-2207.
  - ⑭. Fady Alnajjar, Indra Bin Mohammad Zin, K. Murase (2008) A Spiking Neural Network with Dynamic Memory for a Real Autonomous Mobile Robot in Dynamic Environment, Proc *IJCNN2008*, pp.2208-2214.
  - ⑮. Fady Alnajjar, Abdul Rahman Hafiz, Indra Bin Mohammad Zin, K. Murase (2008) Vision-sensorimotor Abstraction and Imagination Towards Exploring Robot's Inner World, Proc *IJCNN2008*, pp.2419-2425.
  - ⑯. Md. Faijul Amin, Md. Monirul Islam, K. Murase (2008) Single-layered Complex-valued Neural Networks and Their

- Ensembles for Real-valued Classification Problems, Proc *IJCNN2008*, pp.2501-2507.
- ⑰. Md. Shahjahan, Md. Asaduzzaman, K. Murase (2008) How to Maintain Information Content in Artificial Neural Networks with Coherence Adaptation, Proc *IJCNN2008*, pp.2613-2619.
  - ⑱. Md. Shahjahan, Nahin Mahmood, Mayen Uddin, Shamim Ahsan, K. Murase (2008) An Implementation of On-line Traffic Information System Via Short Message Service (sms) for Bangladesh, Proc *IJCNN2008*, pp.2025-2032.
  - ⑲. Md. Asaduzzaman, Md. Shahjahan, M.M. Kabir, M. Ohkura, K. Murase (2008) Generation of Equal Length Patterns from Heterogeneous Patterns for Using in Artificial Neural Networks, Proc *IJCNN2008*, pp.3382-3387.
  - ⑳. Md. Abdus Abdus Sattar, Md. Monirul Islam, Kazuyuki Murase (2008) A New Constructive Algorithm for Designing and Training, Proceedings of the 14th International Conference on Neural Information Processing (*ICONIP 2007*), November 13-16, 2007, Kitakyushu, Japan, M. Ishikawa, K. Doya, H. Miyamoto and T. Yamakawa (Eds) Neural Information Processing, Part I, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin/Heidelberg, Vol. 4984, pp. 317-327.
  21. Md. Monirul Kabir, Md. Shahjahan, Kazuyuki Murase (2008) Diversity-based Feature Selection from Neural Network with Low Computational Cost, Proceedings of the 14th International Conference on Neural Information Processing (*ICONIP 2007*), November 13-16, 2007, Kitakyushu, Japan, M. Ishikawa, K. Doya, H. Miyamoto and T. Yamakawa (Eds) Neural Information Processing, Part II, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin/Heidelberg, Vol. 4985, pp. 1017-1026.
  22. P. Chakraborty, F. Ahmed, M. M. Kabir, Md. Shahjahan, Kazuyuki Murase (2008) An Automatic Speaker Recognition System, Proceedings of the 14th International Conference on Neural Information Processing (*ICONIP 2007*), November 13-16, 2007, Kitakyushu, Japan, M. Ishikawa, K. Doya, H. Miyamoto and T. Yamakawa (Eds) Neural Information Processing, Part I, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin/Heidelberg, Vol. 4984, pp. 517-528.
  23. Md. Monirul Kabir, Md. Shahjahan, Kazuyuki Murase (2008) Feature Subset Selection using Constructive Neural Nets with Minimal Computation by Measuring Contribution, Proceedings of the 14th International Conference on Neural Information Processing (*ICONIP 2007*), November 13-16, 2007, Kitakyushu, Japan, M. Ishikawa, K. Doya, H. Miyamoto and T. Yamakawa (Eds) Neural Information Processing, Part I, Lecture Notes in Computer Science, Springer/Heidelberg, Vol. 4984, pp. 374-384.
  24. Gourab Kundu, Sirajum Munir, Md. Faizul Bari, Md. Monirul Islam, Kazuyuki Murase (2008) A Novel Algorithm for Associative Classification, Proceedings of the 14th International Conference on Neural Information Processing (*ICONIP 2007*), November 13-16, 2007, Kitakyushu, Japan, M. Ishikawa, K. Doya, H. Miyamoto and T. Yamakawa (Eds) Neural Information Processing, Part II, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin/Heidelberg, Vol. 4985, pp. 453-459.
  25. Md. Monirul Islam, Mohammad Shafiul Alam, and Kazuyuki Murase (2007) A New Recurring Multistage Evolutionary Algorithm for Solving Problems Efficiently, Proceedings of the 8th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning (*IDEAL'07*), December 16-19, 2007, Lecture Notes in Computer Science, Springer, 4881: 97-106.
  26. Akhand MAH, Murase K (2007) Neural Network Ensemble Training by Sequential Interaction Proceedings of the 17th International Conference on Artificial Neural Networks, Sept. 9-13, 2007, (*ICANN2007*), Porto, Portugal, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4668, pp. 98-108.

[その他]

ホームページ :

<http://www.synapse.his.fukui-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

村瀬 一之 (MURASE KAZUYUKI)  
 福井大学・大学院工学研究科・教授  
 研究者番号 : 40174289

### (2) 研究分担者

池田 弘 (IKEDA HIROSHI)  
 福井大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号 : 80377473

