

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 2 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H03878

研究課題名(和文) 複雑系フォトンクスに基づく超高速物理乱数生成の高機能化

研究課題名(英文) Development of ultrafast random number generators based on complex photonics

研究代表者

内田 淳史(Uchida, Atsushi)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：50327996

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：ランダムな数列を生成する乱数生成器は、情報セキュリティ分野や自然災害予測のための大規模数値シミュレーション分野に必要な基盤技術である。しかしながらコンピュータで生成される擬似乱数を用いた場合、安全性の脅威や予測精度の低下が近年大きな問題となっている。そこで本研究では、半導体レーザーのカオス現象に基づく超高速物理乱数生成器の開発とその高機能化を行う。本研究成果として、物理乱数のエントロピー生成率を計測し、非再現性の定量的評価方法を新たに確立した。また、光集積回路および乱数生成処理用電子回路を一体化した高速物理乱数生成モジュールを開発し、実時間での超高速物理乱数生成を実験的に達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究にて開発された超高速物理乱数生成器を用いることで、インターネットや携帯電話のような現存する情報セキュリティの多大なる向上が見込まれ、多くの需要が期待される。さらに量子暗号通信や情報理論的セキュリティ方式など、従来の計算量的セキュリティとは本質的に異なる新たな暗号方式を実現できる可能性を秘めており、次世代の情報セキュリティの基盤技術となり得る。加えて、天気予報や地震予測などの自然災害予測における大規模数値シミュレーションの予測精度の大幅な向上が期待される。乱数を必要とする学問分野は、情報学、暗号学、物理学、天文学、地学、設計工学、金融工学など多岐に渡っており、その学術的貢献度も多大である。

研究成果の概要(英文)：Random number generators play a crucial role for applications in information security and large-scale computer simulations. Pseudo-random number generators have periodicity and reproducibility, which are vulnerable for encryption keys in information security and reduce the accuracy of computer simulations. In this study, we develop physical random number generators using fast chaotic semiconductor lasers. We quantitatively evaluate the entropy rate of chaotic temporal waveforms to certify the unreproducibility of physical random number generators. We experimentally succeed in developing a module of a real-time physical random number generator using a photonic integrated circuit and an FPGA electronic board.

研究分野：光工学・光量子科学

キーワード：乱数 応用光学・量子光工学 先端機能デバイス セキュア・ネットワーク 超高速情報処理

1. 研究開始当初の背景

高度情報化社会における情報セキュリティには、乱数と呼ばれるランダムな数列が必要不可欠である。コンピュータにより決定論的に生成される擬似乱数が現在多く用いられているが、盗聴者が擬似乱数の初期値を推定することで乱数の予測が可能になるという安全性の脅威が存在する。また、天気予報や地震予測などの自然災害予測のための大規模数値シミュレーション分野や、流体力学に基づく設計工学分野においても、ランダム性の高い大量の乱数が必要とされている。しかしながら並列計算機で複数の擬似乱数を用いた場合、予測結果の重大な誤りが存在することが指摘されており、擬似乱数の大きな問題点となっている。

上述の問題を改善するために、物理乱数と呼ばれる自然現象を利用した乱数生成方式が近年注目を浴びており、電子回路の熱雑音等を用いて実装されている。物理乱数は雑音を用いているが故にランダム性が高いという優れた特性を有しているものの、従来の方式では生成速度が遅いのが欠点であり、その生成速度は1秒間に1億個(毎秒0.1ギガビット)程度に留まっている。このように情報セキュリティ分野、自然災害予測分野、および設計分野において、ランダム性が高くかつ高速な物理乱数生成器の必要性が近年非常に高まっている。

この問題を解決するために、半導体レーザーの高速性とカオスの不規則性を利用した超高速物理乱数生成器が提案されている。レーザーとカオスを用いることにより、従来法の約10倍の生成速度となる世界最速の乱数生成速度(1秒間に17億個、毎秒1.7ギガビット)を2008年12月に達成している[1]。それ以降、本手法と同一の原理に基づく様々な高速物理乱数生成器が国内外で開発されており、2015年には毎秒1.2テラビットの生成速度を達成するなど[2]、僅か7年間のうちにギガビット(10^9 ビット)からテラビット(10^{12} ビット)へと1000倍近くもの生成速度の向上に成功している。

一方で物理乱数生成の高速化に伴い、乱数の質を評価する方式が不十分であることが近年大きな問題となっている。特に従来の国際標準の乱数統計検定方式では1ギガビットの乱数を用いているが、既に毎秒1テラビットの生成が可能である現在では、不十分な統計検定方式と言わざるを得ない。加えて乱数のランダム性を評価するためには、擬似乱数用の統計検定が従来用いられているが、非再現性を特長とする物理乱数に適した乱数評価方法を開発する必要性が非常に高まっている。

2. 研究の目的

本研究では、半導体レーザーカオスから生成された高速物理乱数に対する新たな評価方式の確立を行うことを目的とする。従来の統計検定方式では、生成された乱数列の統計的性質が理想的な乱数と同等であるかどうかを調査することが主眼である。一方で物理乱数の非再現性や予測不可能性を理論的に保障するためには、乱数源における不確定性の生成率(エントロピー生成率)の評価が極めて重要である[3]。そこで、物理乱数生成器のエントロピー生成率を実験データから定量的に評価し、乱数のランダム性の理論的保証を行うことを目的とする。

またこれまでに提案されている高速物理乱数生成器は、カオス波形を計測器にて取得した後にコンピュータ上でソフトウェア的に乱数を生成しており、実時間で乱数生成は達成されていない点が大きな問題である。そこで物理乱数生成光源として小型の光集積回路と、乱数生成処理を実装した高速電子回路ボードをモジュール化することで、実時間乱数生成可能な物理乱数生成器を実現することを目的とする。現在多くの物理乱数生成方式では光学定盤上で作動する大きな装置を用いているため、その小型化・集積化は重要な研究課題である。

2. 研究の方法

(1) 物理乱数生成用の光集積回路の設計・製作と時間ダイナミクスの調査

半導体レーザーから受光素子までを一体化した物理乱数生成用の光集積回路の設計および実装を行う。本研究では高速なカオスを発生させるために、戻り光生成のための外部共振器を有する半導体レーザーと光検出器を一体化した光集積回路の設計および製作を行う。特に戻り光の生成に必要な外部共振器長の設計が高速なカオスを生成するために重要なパラメータとなり、外部共振器長の最適化を実験的に達成する。さらに製作された光集積回路におけるレーザーカオスの時間ダイナミクスの調査を詳細に行う。

(2) 物理乱数生成用モジュールを用いた実時間物理乱数生成器の開発

高速乱数生成処理方式を電子回路上へ実装することを目標とする。プログラム可能な電子回路(FPGA)を用いて、乱数生成処理方式を実装する。また乱数生成処理に用いられるビットシフト量や下位ビット切り出し量のパラメータの最適化を行う予定であり、これはFPGAにより容易に電子回路の書き換えが可能となる。これらの高速乱数処理方式を実装した電子回路と、物理乱数光源となる光集積回路をモジュール化した高速物理乱数生成器の開発を行う。コンピュータとの高速インターフェース(PCI Express x8)を備えた物理乱数生成用ボードの実現により、実時

間での高速物理乱数生成を達成する。

(3) 半導体レーザカオスの時間波形を用いた統計検定によるエントロピー生成率の評価

従来の乱数評価の研究では国際的な乱数統計検定が用いられており、生成された 2 値乱数列 (ビット) に対する統計的な偏りを調査することが主な目的である。しかしながら物理乱数の場合、生成された 2 値乱数列には乱数源の性質のみならず、乱数生成に用いた後処理の効果も多く含まれており、物理乱数源の非再現性の評価が独立に行われていない点が問題となる。そこで本研究では、2 値乱数列の代わりにエントロピー生成源のレーザカオス時間波形を用いた統計検定方式を行い、生成された乱数のエントロピー生成率を定量的に評価する。さらにレーザのパラメータとエントロピー生成率の関係についても調査を行う。

(4) 時間遅延埋め込みによる非線形力学的手法を用いたエントロピー生成率の評価

レーザカオス波形に対して時間遅延埋め込み法を用いてアトラクタを再構成し、実験データからエントロピー生成率を直接推定する手法の提案を行う。本研究ではこの非線形力学的手法を用いて、カオス波形のエントロピー生成率を推定する。特にモデル方程式が存在せず、実験データのみが与えられた場合におけるエントロピー生成率の評価方法を確立する。

4. 研究成果

(1) 物理乱数生成用の光集積回路の設計・製作と時間ダイナミクスの調査

本研究では物理乱数生成器の小型化のため、戻り光を有する半導体レーザを搭載した光集積回路の製作を行った。光集積回路の模式図を図 1 に示す [4]。DFB 半導体レーザ、光増幅器(SOA)、導波路(Waveguide)、光検出器(PD)が同一基板上に配置されている。さらに導波路の右端面(Mirror)で反射した戻り光を半導体レーザに戻すような構成である。光増幅器の注入電流を変化させると戻り光量が変化して、カオス的な出力振動が生成される。ここでは異なる外部共振器長(1.3~10.3 mm)の光集積回路を 5 種類製作し、カオスの発生領域について調査を行った。

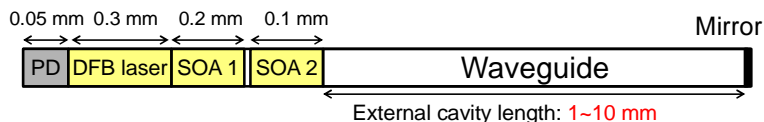


図 1 光集積回路の構成図 [4]

異なる外部共振器長を有する光集積回路のダイナミクスの 2 次元分岐図を図 2 に示す [4]。ここでは光集積回路の DFB レーザの注入電流と光増幅器の注入電流(戻り光量に相当する)を同時に変化させている。また図 2 は、安定(S)、周期振動(P)、準周期振動(Q)、間欠性(I)、カオス(C)、低周波不規則振動(L)、の時間ダイナミクスに色ごとに分類されている。ここで外部共振器長が 1.3 mm と 2.3 mm の場合には、カオスが観測される領域(図 2 のピンク色の領域)が非常に狭いことが分かる。これは外部共振器長により決定される外部共振周波数がそれぞれ 29.9 GHz と 16.9 GHz であり、DFB レーザの緩和発振周波数(2.3~7.4 GHz)と比べて大きく、カオスを発生

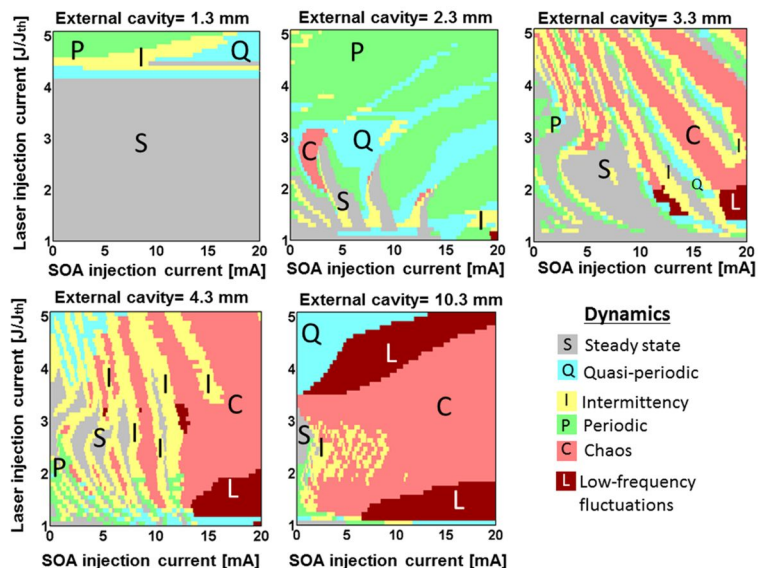
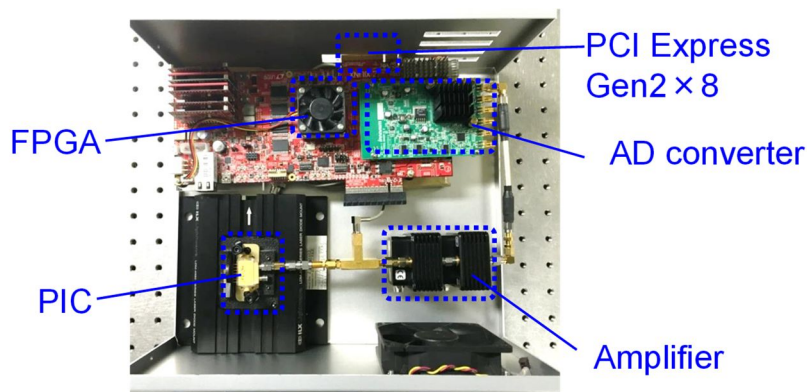


図 2 光集積回路の 2 次元分岐図 [4]

させるための周波数混合が生じないためであると考えられる。一方で外部共振器長が 3.3, 4.3, 10.3 mm の場合には (外部共振周波数はそれぞれ 11.8, 9.0, 3.8 GHz) 広いパラメータ領域でカオスが観測されていることが分かる。また 3.3 mm や 4.3 mm の場合には、間欠性と呼ばれるカオスと安定状態が交互に出現するようなダイナミクスも生じている (図 2 の黄色の領域)。これらの結果、乱数生成には間欠性よりもカオス振動が必要になるため、広い領域でカオスが観測される 10.3 mm の外部共振器長を有する光集積回路を用いて物理乱数生成を行うことが望ましいことが明らかとなった。

(2) 物理乱数生成用モジュールを用いた実時間物理乱数生成器の開発

前述の 10.3 mm の外部共振器長を有する光集積回路を用いて、FPGA による電子回路への後処理を実装することで、実時間での物理乱数生成実験を行った。本光集積回路および FPGA による後処理回路を用いた高速物理乱数生成器をモジュール化した実験装置を図 3 に示す [5]。光集積回路で発生したカオス的出力は、光集積回路 (PIC) 内の光検出器により電気信号に変換される。得られた電気信号は外部の電気信号増幅器 (Amplifier) により増幅されて、AD 変換器 (3.6 GigaSample/s、12 ビット分解能) へと入力される。その後 AD 変換された信号は FPGA 内部へ入力されて、乱数生成の後処理が行われる。AD 変換器では 12 ビット信号が得られるが、下位 4 ビットを切り捨てて、8 ビット信号を用いて後処理を行っている。



Box size: 310 mm × 270 mm × 140 mm

図 3 実時間物理乱数生成装置 [5]

本研究で用いた乱数生成の後処理方式は以下の通りである [5]。各時刻の 8 ビットデータに対して、ソフトウェア的にそれぞれ時間遅延信号を作成し、合計 4 つの 8 ビットデータを得る。4 つの信号から 2 つの信号のペアを作成し、差分信号処理 [6] を行って新たな 2 つの 8 ビットデータを得る。そのうちの一方の 8 ビットデータに対して、最上位ビットと最下位ビットを入れ替え、上位 2 ビット目と下位 2 ビット目を入れ替えるというビット順反転処理 [7] を加える。このデータともう一方の 8 ビットデータに対して、個別ビット毎に排他的論理和演算を行う。得られたデータの複数の下位ビットを抽出することにより、2 値乱数列を生成する。

FPGA から得られた出力は PCI Express Gen 2 x8 により外部のコンピュータのメモリ上へと直接転送される。本装置で生成された乱数は、バイナリおよび ASCII 形式で取得できるため、数値シミュレーション等への応用へ直接使用できる。また図 3 に示す通り、本装置は 310 mm × 270 mm × 140 mm の箱の中に収められている。

本物理乱数生成器の実時間での乱数生成速度の調査結果を図 4 に示す [5]。後処理における下位ビット切り出し数を変化させた場合の、乱数生成速度を示している。下位ビット数を増加させるにつれて生成速度はほぼ線形に増加しているが、7 ビットで飽和していることが分かる。これは PCI Express の転送速度の限界のためであると考えられる。実時間での乱数生成速度は最大で 21.1 Gb/s を達成しており、従来用いられている実時間乱数生成方式 (12.8 Gb/s) [8] よりも高速な生成速度を達成した。

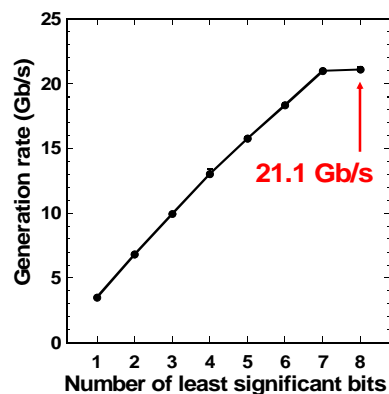


図 4 実時間での乱数生成速度 [5]

(3) 半導体レーザカオスの時間波形を用いた統計検定によるエントロピー生成率の評価

本研究では、半導体レーザカオスから生成された物理乱数のエントロピーの評価を行った。特に、物理乱数のための統計検定方式として近年提案されている NIST Special Publication 800-90B を用いた [9]。本方式では、後処理の効果が含まれた最終的に生成された 2 値乱数列ではな

く、物理乱数源からの信号をAD変換して得られた n ビット列に対するエントロピーを評価するための手法である。検定項目は10種類からなり、最も基本的な検定(Most Common Value, MCV)は、 n ビットデータの出現確率分布 P_i の最大値 P_{max} から求められる(つまり $-\log_2(P_{max})$)。このように乱数源の n ビットデータのうち、何ビットが実効的にエントロピーを有しているかを評価することができる。

NIST Special Publication 800-90Bの検定結果を図5に示す[10]。半導体レーザカオス信号の乱数源から8ビットAD変換して得られたデータに対して、上位 n ビットを切り出したデータを用いて10種類の統計検定を行い、そのうちの4つの検定項目の結果について表示している。切り出した上位ビット数を増加させると、得られるエントロピーも増加することが分かる。MCVの検定項目に対して、8ビットデータのうち約6ビットのエントロピーを有していることが分かる。一方でCompression検定では、エントロピーは最大で2ビット程度しか得られていない。このように8ビットデータのうち、何ビット分のエントロピー(非再現性)を有しているのかを定量的に評価することに成功し、非再現性が保証された物理乱数生成の有用な指標と考えられる。

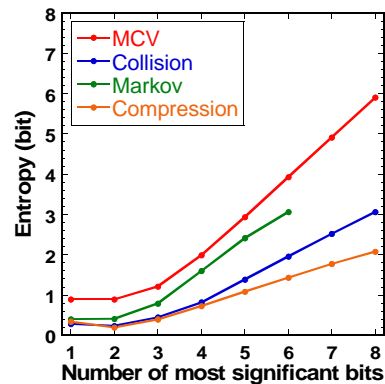


図5 統計検定を用いたエントロピー評価 [10]

(4) 時間遅延埋め込みによる非線形力学的手法を用いたエントロピー生成率の評価

本研究では、非線形力学的な手法に基づく()エントロピーと呼ばれる新たなエントロピー評価方法を提案し、評価を行った[11]。()エントロピーは乱数源からAD変換された n ビットデータに対して、高次元空間への時間遅延埋め込みという処理を行い、空間内のある微小区間内に含まれるデータの個数の時間変化を計測することで、エントロピーを算出する方法である。従来はカオス時系列の解析に用いられてきたが、本研究では乱数のエントロピー評価に用いることを新たに提案する。

()エントロピーの評価結果を図6に示す[11]。図6の $h_{cp,6D}$ (紫色の丸)が6次元空間へ埋め込んだ()エントロピーを示しており、理論的に求められたエントロピー(h_0 limit、図6の点線)と良く一致していることが分かる。一方で他のエントロピーの評価方法では、理論値を超えていることが分かる(図6の灰色の領域)。このように()エントロピーを用いることで、理論値に近い正確なエントロピーを推定できることが明らかとなった。

以上のエントロピー評価方法により、物理乱数の非再現性を定量的に評価することが可能となり、非再現性の保証された物理乱数生成が実現できるため、情報セキュリティ応用へ向けて有用な手法である。

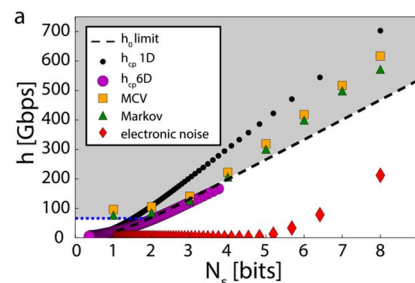


図6 ()エントロピーの評価結果 [11]

参考文献

- [1] A. Uchida, K. Amano, M. Inoue, K. Hirano, S. Naito, H. Someya, I. Oowada, T. Kurashige, M. Shiki, S. Yoshimori, K. Yoshimura, and P. Davis, *Nature Photonics*, Vol. 2, pp. 728-732 (2008).
- [2] R. Sakuraba, K. Iwakawa, K. Kanno, and A. Uchida, *Optics Express*, Vol. 23, pp. 1470-1490 (2015).
- [3] A. M. Hagerstrom, T. E. Murphy, and R. Roy, *Proc. Nat. Acad. Sci. (PNAS)*, Vol. 112, pp.9258-9263 (2015).
- [4] A. Karsaklian Dal Bosco, S. Ohara, N. Sato, Y. Akizawa, A. Uchida, T. Harayama, and M. Inubushi, *IEEE Photonics Journal*, Vol. 9, pp. 6600512 (2017).
- [5] K. Ugajin, Y. Terashima, K. Iwakawa, A. Uchida, T. Harayama, K. Yoshimura, and M. Inubushi, *Optics Express*, Vol. 25, pp. 6511-6523 (2017).
- [6] J. Zhang, Y. Wang, M. Liu, L. Xue, P. Li, A. Wang, and M. Zhang, *Optics Express*, Vol. 20, pp. 7496-7506 (2012).
- [7] Y. Akizawa, T. Yamazaki, A. Uchida, T. Harayama, S. Sunada, K. Arai, K. Yoshimura, and P. Davis, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 24, pp. 1042-1044 (2012).
- [8] D. P. Rosin, D. Rontani, and D. J. Gauthier, *Physical Review E*, Vol. 87, pp. 040902 (2013).
- [9] E. Barker and J. Kelsey, National Institute of Standards and Technology, Special Publication 800-90B (2016).
- [10] K. Yoshiya, Y. Terashima, K. Kanno, and A. Uchida, *Optics Express*, Vol. 28, pp. 3686-3698 (2020).
- [11] J. D. Hart, Y. Terashima, A. Uchida, G. B. Baumgartner, T. E. Murphy, and R. Roy, *APL Photonics*, Vol. 2, pp. 090901 (2017).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 30件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 T. Mihana, Y. Terashima, M. Naruse, S.-J. Kim, and A. Uchida	4. 巻 Vol. 2018, Article ID 4318127
2. 論文標題 Memory effect on adaptive decision making with a chaotic semiconductor laser	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Complexity	6. 最初と最後の頁 pp. 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2018/4318127	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 M. Tomiyama, K. Yamasaki, K. Arai, M. Inubushi, K. Yoshimura, and A. Uchida	4. 巻 Vol. 26, No. 10
2. 論文標題 Effect of bandwidth limitation of optical noise injection on common-signal-induced synchronization in multi-mode semiconductor lasers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 pp. 13521-13535
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1364/OE.26.013521	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 菅野 円隆, 内田 淳史	4. 巻 Vol. 33, No. 5
2. 論文標題 光リザーバコンピューティングの展開	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 pp. 577-585
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 成瀬 誠, 内田淳史, S. Huant	4. 巻 Vol. 33, No. 5
2. 論文標題 光を用いた意思決定 - バンディット問題を光で解く -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 人工知能	6. 最初と最後の頁 pp. 592-599
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Naruse, T. Mihana, H. Hori, H. Saigo, K. Okamura, M. Hasegawa, and A. Uchida	4. 巻 Vol. 8, Article No. 10890
2. 論文標題 Scalable photonic reinforcement learning by time-division multiplexing of laser chaos	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 pp. 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-29117-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Takano, C. Sugano, M. Inubushi, K. Yoshimura, S. Sunada, K. Kanno, and A. Uchida	4. 巻 Vol. 26, No. 22
2. 論文標題 Compact reservoir computing with a photonic integrated circuit	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 pp. 29424-29439
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.26.029424	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Ohara, K. Kanno, and A. Uchida	4. 巻 Vol. 10, No. 1
2. 論文標題 Numerical study on dynamics-dependent synchronization in mutually-coupled lasers with asymmetric feedback	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 pp. 60-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.26.029424	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 内田 淳史, 菅野 円隆	4. 巻 Vol. 102, No. 2
2. 論文標題 光を用いたリザバーコンピューティングの最新研究動向	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会誌	6. 最初と最後の頁 pp. 127-133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Karsaklian Dal Bosco, S. Ohara, N. Sato, Y. Akizawa, A. Uchida, T. Harayama, and M. Inubushi	4. 巻 Vol. 9, No. 2
2. 論文標題 Dynamics versus feedback delay time in photonic integrated circuits: Mapping the short cavity regime	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Journal	6. 最初と最後の頁 pp.6600512-1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JPHOT.2017.2667883	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 A. J. Lawrance, T. Papamarkou, and A. Uchida	4. 巻 Vol. 53, No. 2
2. 論文標題 Synchronized laser chaos communication: Statistical investigation of an experimental system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 pp.8000210-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JQE.2017.2657331	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 N. Suzuki, T. Hida, M. Tomiyama, A. Uchida, K. Yoshimura, K. Arai, and M. Inubushi	4. 巻 Vol. 23, No. 6
2. 論文標題 Common-signal-induced synchronization in semiconductor lasers with broadband optical noise signal	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 pp.1800810-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTQE.2017.2690821	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Kanno, T. Hida, A. Uchida, and M. Bunsen	4. 巻 Vol. 95
2. 論文標題 Spontaneous exchange of leader-laggard relationship in mutually coupled synchronized semiconductor lasers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 pp. 052212-1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.95.052212	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Karsaklian Dal Bosco, N. Sato, Y. Terashima, S. Ohara, A. Uchida, T. Harayama and M. Inubushi	4. 巻 Vol. 23, No. 6
2. 論文標題 Random number generation from intermittent optical chaos	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 pp. 1801208-1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTQE.2017.2708608	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Ito, H. Koizumi, N. Suzuki, I. Kakesu, K. Iwakawa, A. Uchida, T. Koshiba, J. Muramatsu, K. Yoshimura, M. Inubushi, and P. Davis	4. 巻 Vol. 7, No. 8444
2. 論文標題 Physical implementation of oblivious transfer using optical correlated randomness	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 pp. 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-08229-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. Naruse, Y. Terashima, A. Uchida, and S.-J. Kim	4. 巻 Vol. 7, No. 8772
2. 論文標題 Ultrafast photonic reinforcement learning based on laser chaos	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 pp. 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-08585-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 J. D. Hart, Y. Terashima, A. Uchida, G. B. Baumgartner, T. E. Murphy, and R. Roy	4. 巻 Vol. 2
2. 論文標題 Recommendations and illustrations for the evaluation of photonic random number generators	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 APL Photonics	6. 最初と最後の頁 pp. 090901-1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5000056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 S. Ohara, A. Karsaklian Dal Bosco, K. Ugajin, A. Uchida, T. Harayama, and M. Inubushi	4. 巻 Vol. 96
2. 論文標題 Dynamics-dependent synchronization in on-chip coupled semiconductor lasers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 pp. 032216-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.96.032216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Sasaki, I. Kakesu, Y. Mitsui, D. Rontani, A. Uchida, S. Sunada, K. Yoshimura, and M. Inubushi	4. 巻 Vol. 25, No. 21
2. 論文標題 Common-signal-induced synchronization in photonic integrated circuits and its application to secure key distribution	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 pp. 26029-26044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.25.026029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Kuriki, J. Nakayama, K. Takano, and A. Uchida	4. 巻 Vol. 26, No. 5
2. 論文標題 Impact of input mask signals on delay-based photonic reservoir computing with semiconductor lasers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 pp. 5777-5788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.26.005777	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 K. Kanno, A. Uchida, and M. Bunsen	4. 巻 Vol. 93
2. 論文標題 Complexity and bandwidth enhancement in unidirectionally coupled semiconductor lasers with time-delayed optical feedback	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 pp. 032206-1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.93.032206	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 J. Nakayama, K. Kanno, and A. Uchida	4. 巻 Vol. 24, No. 8
2. 論文標題 Laser dynamical reservoir computing with consistency: an approach of a chaos mask signal	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 pp. 8679-8692
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.24.008679	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 A. Karsaklian Dal Bosco, Y. Akizawa, K. Kanno, A. Uchida, T. Harayama, and K. Yoshimura	4. 巻 Vol. 24, No. 19
2. 論文標題 Photonic integrated circuits unveil crisis-induced intermittency	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 pp. 22198-22209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.24.022198	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 内田 淳史	4. 巻 Vol. 2, No. 3
2. 論文標題 複雑系フォトニクスを用いたリザーバコンピューティング	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 フォトニクスニュース	6. 最初と最後の頁 pp. 99-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Ugajin, Y. Terashima, K. Iwakawa, A. Uchida, T. Harayama, K. Yoshimura, and M. Inubushi	4. 巻 Vol. 25, No. 6
2. 論文標題 Real-time fast physical random number generator with a photonic integrated circuit	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 pp. 6511-6523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.25.006511	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 菅野 円隆, 手塚 美和, 中山 丞真, 内田 淳史, 文仙 正俊	4. 巻 Vol. 45, No. 3
2. 論文標題 レーザーの複雑過渡ダイナミクスを用いた光リザーバコンピューティングの情報処理性能の向上	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 pp. 148-152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 A. Karsaklian Dal Bosco, S. Ohara, N. Sato, Y. Akizawa, A. Uchida, T. Harayama, and M. Inubushi	4. 巻 Vol. 9, No. 2
2. 論文標題 Dynamics versus feedback delay time in photonic integrated circuits: Mapping the short cavity regime	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Photonics Journal	6. 最初と最後の頁 6600512-1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JPHOT.2017.2667883	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 A. J. Lawrance, T. Papamarkou, and A. Uchida	4. 巻 Vol. 53, No. 2
2. 論文標題 Synchronized laser chaos communication: Statistical investigation of an experimental system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 8000210-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JQE.2017.2657331	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 N. Suzuki, T. Hida, M. Tomiyama, A. Uchida, K. Yoshimura, K. Arai, and M. Inubushi	4. 巻 Vol. 23, No. 6
2. 論文標題 Common-signal-induced synchronization in semiconductor lasers with broadband optical noise signal	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	6. 最初と最後の頁 1800810-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSTQE.2017.2690821	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Kanno, T. Hida, A. Uchida, and M. Bunsen	4. 巻 Vol. 95
2. 論文標題 Spontaneous exchange of leader-laggard relationship in mutually coupled synchronized semiconductor lasers	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 pp. 052212-1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.95.052212	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 内田 淳史	4. 巻 Vol. 47, No. 6
2. 論文標題 複雑系フォトリニクスを用いた高速物理乱数生成の進展	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 レーザー研究	6. 最初と最後の頁 pp. 310-314
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Yoshiya, Y. Terashima, K. Kanno, and A. Uchida	4. 巻 Vol. 28, No. 3
2. 論文標題 Entropy evaluation of white chaos generated by optical heterodyne for certifying physical random number generators	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 pp. 3686-3698
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.382234	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計104件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 33件)

1. 発表者名 N. Chauvet, N. Chauvet, M. Naruse, A. Uchida, H. Hori, A. Drezet, G. Bachelier, S. Huant
2. 発表標題 Entangled photons, a new resource for social decision making
3. 学会等名 JSPS Core-to-Core International Workshop on Nanoscale Electron-Photon Interactions via Energy Dissipation and Fluctuation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Naruse, A. Uchida, H. Hori, N. Chauvet, A. Drezet, G. Bachelier, and S. Huant
2 . 発表標題 Transform single photons to ultrafast decision making
3 . 学会等名 JSPS Core-to-Core International Workshop on Nanoscale Electron-Photon Interactions via Energy Dissipation and Fluctuation (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Naruse, A. Uchida, H. Hori, N. Chauvet, A. Drezet, G. Bachelier, S. Huant
2 . 発表標題 Decision making by photonics
3 . 学会等名 JST CREST International Workshop: Novel Frontiers of Optics for Computing (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Naruse, N. Chauvet, D. Jegouso, A. Uchida, H. Hori, A. Drezet, B. Boulanger, S. Huant, and G. Bachelier
2 . 発表標題 Decision making by classical and quantum light
3 . 学会等名 The 15th International Conference on Near-field Optics, Nanophotonics and Related Techniques (NFO-15) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Miyamura, S. Sunada, A. Uchida, and T. Niiyama
2 . 発表標題 Reservoir computing model based on spatiotemporal dynamics
3 . 学会等名 Proceedings of 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Sunada, K. Arai, and A. Uchida
2 . 発表標題 Wave dynamical reservoir computing at a microscale
3 . 学会等名 Proceedings of 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Kanno, M. Bunsen, and A. Uchida
2 . 発表標題 Mutually coupled optoelectronic systems with different delays for reservoir computing
3 . 学会等名 Proceedings of 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 M. Naruse, N. Chauvet, D. Jegouso, A. Uchida, H. Hori, A. Drezet, B. Boulanger, S. Huant, and G. Bachelier
2 . 発表標題 Decision making by classical and quantum light
3 . 学会等名 Proceedings of 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 R. Homma, S. Kochi, T. Niiyama, A. Uchida, M. Naruse, and S. Sunada
2 . 発表標題 Optical decision making with a semiconductor ring laser
3 . 学会等名 Proceedings of 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 T. Mihana, Y. Mitsui, K. Kanno, M. Naruse, and A. Uchida
2 . 発表標題 Decision making using lag synchronization of chaos in mutually-coupled semiconductor lasers
3 . 学会等名 Proceedings of 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Mitsui, T. Mihana, K. Kanno, and A. Uchida
2 . 発表標題 Experiment on leader-laggard relationship in mutually-coupled semiconductor lasers with time delay
3 . 学会等名 Proceedings of 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 K. Yoshiya and A. Uchida
2 . 発表標題 Entropy estimation of white chaos generated from optical heterodyne for random number generation
3 . 学会等名 Proceedings of 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 C. Sugano, K. Takano, K. Kanno, M. Inubushi, K. Yoshimura, and A. Uchida
2 . 発表標題 Reservoir computing using semiconductor laser with short external cavity
3 . 学会等名 Proceedings of 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Uchida
2 . 発表標題 Applications of complex photonics: From information security to artificial intelligence
3 . 学会等名 International Symposium on Physics and Applications of Laser Dynamics 2018 (IS-PALD 2018) (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. A. Haya, C. Sugano, K. Kanno, and A. Uchida
2 . 発表標題 Photonic reservoir computing using a single semiconductor laser with optical feedback-phase modulation
3 . 学会等名 Cognitive Computing 2018, Merging Concepts with Hardware (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 A. Uchida, K. Takano, C. Sugano, M. Inubushi, K. Yoshimura, S. Sunada, and K. Kanno
2 . 発表標題 Photonic delay-based reservoir computing on a chip
3 . 学会等名 Cognitive Computing 2018, Merging Concepts with Hardware (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 S. Sunada, T. Niiyama, A. Uchida, and K. Arai
2 . 発表標題 Photonic reservoir computing with a chaotic micro-cavity
3 . 学会等名 Cognitive Computing 2018, Merging Concepts with Hardware (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Naruse, N. Chauvet, H. Hori, S. Huant, and A. Uchida
2. 発表標題 Photonic decision making
3. 学会等名 Cognitive Computing 2018, Merging Concepts with Hardware (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Takeuchi, M. Naruse, T. Mihana, K. Kanno, A. Uchida, J. Ma, and M. Hasegawa
2. 発表標題 Dynamical channel selection in wireless communications by multi-armed bandit algorithm using chaotic time series
3. 学会等名 7th Japan-Korea Joint Workshop on Complex Communication Sciences (JKCCS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 巳鼻 孝朋, 三井 湧方, 菅野 円隆, 成瀬 誠, 内田 淳史
2. 発表標題 相互結合された半導体レーザにおける遅延カオス同期を用いた意思決定の数値解析
3. 学会等名 2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 アフィカ アマリナ ハヤ, 菅野 千紘, 菅野 円隆, 内田 淳史
2. 発表標題 戻り光位相変調された半導体レーザを用いた光リザーバコンピューティング実験
3. 学会等名 2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅野 千紘, 高野 耕輔, アフィカ アマリナ ハヤ, 菅野 円隆, 内田 淳史
2. 発表標題 短距離フィードバックを有する半導体レーザを用いたリザーバコンピューティングの記憶容量
3. 学会等名 2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三井 湧方, 巳鼻 孝朋, 菅野 円隆, 内田 淳史
2. 発表標題 相互結合された半導体レーザの遅延カオス同期における自発的スイッチング実験
3. 学会等名 2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小田 航也, 吉屋 圭吾, 川口 佑, 内田 淳史
2. 発表標題 マルチモード半導体レーザを用いた周波数帯域拡大カオス生成実験
3. 学会等名 2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅野 円隆, 成瀬 誠, 内田 淳史
2. 発表標題 強化学習を併用した光リザーバコンピューティングの提案
3. 学会等名 2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内田 淳史
2. 発表標題 複雑系フォトニクスを用いた光AI：リザーバコンピューティングと意思決定
3. 学会等名 2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 砂田 哲, 新山 友暁, 内田 淳史, 新井 賢一
2. 発表標題 光多重反射を利用した大規模な光ニューラルネットワーク形成とリザーバコンピューティングへの応用
3. 学会等名 2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮村 圭祐, 砂田 哲, 新山 友暁, 内田 淳史, 新井 賢一
2. 発表標題 時空間ダイナミクスを用いた物理リザーバコンピューティング
3. 学会等名 2018年度電子情報通信学会ソサエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 成瀬 誠, 内田 淳史, S. Huant
2. 発表標題 古典光及び量子光を用いた意思決定に関する研究
3. 学会等名 先端光学研究会 2018 in 浜松（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内田 淳史
2. 発表標題 レーザーにおけるコンシステンシーとリザーバコンピューティングへの応用
3. 学会等名 平成30年度 第2回ブレインウェア研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川口 佑, 菅野 円隆, 内田 淳史
2. 発表標題 (epsilon, tau)エントロピーによるレーザーカオスの予測不可能性の評価
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2018, 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎 和人, 菅野 円隆, 松本 敦, 成瀬 誠, 内田 淳史
2. 発表標題 量子ドットレーザーの戻り光変化による非線形ダイナミクス実験
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2018, 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川口 佑, 菅野 円隆, 内田 淳史
2. 発表標題 半導体レーザーカオス時系列からのエントロピー生成率の算出
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 巴鼻 孝朋, 三井 湧方, 菅野 円隆, 成瀬 誠, 内田 淳史
2. 発表標題 レーザカオス同期の自発的スイッチング現象を用いた意思決定の数値計算
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅野 円隆, 成瀬 誠, 内田 淳史
2. 発表標題 レーザを用いたリザーバコンピューティングにおける強化学習を利用したモデル選択
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎 和人, 菅野 円隆, 松本 敦, 成瀬 誠, 山本 直克, 内田 淳史
2. 発表標題 量子ドットレーザダイナミクスの分岐現象の実験的調査
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内田 淳史
2. 発表標題 複雑系フォトニクスと情報セキュリティ・人工知能への応用
3. 学会等名 電子情報通信学会 システムナノ技術に関する特別研究専門委員会(SNT) 第1回研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小田 章裕, 巳鼻 孝朋, 菅野 円隆, 成瀬 誠, 内田 淳史
2. 発表標題 当たり確率が変化する多本腕バンディット問題におけるレーザカオスを用いた強化学習と意思決定
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅野 円隆, 成瀬 誠, 内田 淳史
2. 発表標題 光リザーバコンピューティングにおける意思決定手法を用いたモデル選択
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 成瀬 誠, 巳鼻 孝朋, 菅野 円隆, 内田 淳史
2. 発表標題 カオス時系列を用いた敵対的生成ネットワーク (CHAOS GAN)
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 巳鼻 孝朋, 三井 湧方, 菅野 円隆, 成瀬 誠, 内田 淳史
2. 発表標題 遅延カオス同期を用いた意思決定の数値計算による性能評価
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅野 千紘, アフィカ アマリナ ハヤ, 菅野 円隆, 内田 淳史
2. 発表標題 短い遅延ループを有する半導体レーザを用いたリザーバコンピューティングの並列化
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 アフィカ アマリナ ハヤ, 菅野 千紘, 菅野 円隆, 内田 淳史
2. 発表標題 光リザーバコンピューティングにおける戻り光強度変調と位相変調の比較実験
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 砂田 哲, 新山 友暁, 内田 淳史, 新井 賢一
2. 発表標題 光微小共振器によるリザーバ計算：大規模光ネットワークとセンシング応用
3. 学会等名 2019年 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹内 俊剛, 成瀬 誠, 巳鼻 孝朋, 菅野 円隆, 内田 淳史, 馬 セイ, 長谷川 幹雄
2. 発表標題 レーザカオス時系列を用いた意思決定原理による無線通信の動的チャネル選択
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三井 湧方, 巳鼻 孝朋, 菅野 円隆, 内田 淳史
2. 発表標題 相互結合された半導体レーザーの遅延カオス同期を用いた意思決定
3. 学会等名 2019年電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 A. Uchida, K. Ugajin, Y. Terashima, and K. Yoshiya
2. 発表標題 Progress in random number generation with chaotic lasers
3. 学会等名 SIAM Conference on Applications of Dynamical Systems (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Kuriki, K. Takano, C. Sugano, and A. Uchida
2. 発表標題 Experiment on temporal mask effect in laser dynamical reservoir computing
3. 学会等名 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Kanno, C. Sugano, K. Takano, A. Uchida, and M. Bunsen
2. 発表標題 Information processing based on an external-cavity semiconductor laser with optical feedback-phase modulation
3. 学会等名 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Mihana, Y. Terashima, M. Naruse, S.-J. Kim, and A. Uchida
2. 発表標題 Adaptation of decision making with chaotic semiconductor laser
3. 学会等名 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Ohara, K. Kanno, and A. Uchida
2. 発表標題 Numerical analysis on dynamics-dependent synchronization in mutually-coupled semiconductor lasers
3. 学会等名 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 巳鼻 孝朋, 寺島 悠太, 成瀬 誠, 金 成主, 内田 淳史
2. 発表標題 半導体レーザカオスを用いた意思決定における記憶係数による適応性と収束性
3. 学会等名 電子情報通信学会 非線形問題研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅野 千紘, 高野 耕輔, 内田 淳史, 犬伏 正信, 吉村 和之
2. 発表標題 短い外部共振器長を有する半導体レーザを用いたリザーバコンピューティングに関する数値計算
3. 学会等名 2017年 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高野 耕輔, 菅野 千紘, 栗城 瑛将, 内田 淳史, 犬伏 正信, 吉村 和之
2. 発表標題 戻り光を有する半導体レーザーの光集積回路を用いたリザーバコンピューティングの実験
3. 学会等名 2017年 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 富山 真, 内田 淳史, 吉村 和之, 犬伏 正信
2. 発表標題 広帯域ノイズ光により駆動されたマルチモード半導体レーザーにおける共通信号入力同期実験
3. 学会等名 2017年 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小田 航也, 寺島 悠太, 吉屋 圭悟, 内田 淳史
2. 発表標題 広帯域ノイズ光と乱数生成用電子回路を用いた実時間物理乱数生成実験
3. 学会等名 2017年 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三井 湧方, 巳鼻 孝朋, 小原 翔馬, 内田 淳史
2. 発表標題 相互結合された2つの半導体レーザーを用いた遅延カオス同期実験におけるリーダー-ラガード関係
3. 学会等名 2017年 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小原 翔馬, 菅野 円隆, 内田 淳史
2. 発表標題 非対称な戻り光を有する相互結合された半導体レーザのカオス同期の数値解析
3. 学会等名 2017年 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 巳鼻 孝朋, 寺島 悠太, 成瀬 誠, 金 成主, 内田 淳史
2. 発表標題 綱引き理論に基づく半導体レーザカオスを用いた意思決定の性能分析
3. 学会等名 2017年 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉屋 圭悟, 寺島 悠太, 内田 淳史
2. 発表標題 光ヘテロダインによる白色カオスを用いた 高速物理乱数生成におけるエントロピーの評価
3. 学会等名 2017年度電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内田 淳史
2. 発表標題 レーザのダイナミクスを用いたリザーバコンピューティング
3. 学会等名 Perspectives in Random and Nonautonomous Dynamical Systems (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉屋 圭悟, 寺島 悠太, 内田 淳史
2. 発表標題 物理乱数生成における光ヘテロダインを用いた白色カオスのエントロピーの評価と比較
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2017, 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小田 航也, 寺島 悠太, 吉屋 圭悟, 内田 淳史
2. 発表標題 スーパーluminescentダイオードと後処理用電子回路による実時間物理乱数生成
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2017, 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三井 湧方, 巳鼻 孝朋, 小原 翔馬, 内田 淳史
2. 発表標題 相互結合型半導体レーザにおけるリーダ-ラガード同期
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2017, 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅野 千紘, 高野 耕輔, 内田 淳史, 犬伏 正信, 吉村 和之
2. 発表標題 短距離フィードバックを有する半導体レーザにおけるリザーバコンピューティングの数値計算
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2017, 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河内 聡志, 本間 竜太郎, 砂田 哲, 新山 友暁, 内田 淳史
2. 発表標題 半導体リングレーザーを用いた高速・最適意思決定に関する検討
3. 学会等名 平成29年度 応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 成瀬 誠, 内田 淳史, 堀 裕和
2. 発表標題 ナノ光学とレーザーカオスをを用いた強化学習メカニズム
3. 学会等名 東北大学電気通信研究所ブレインウェア工学研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Naruse, N. Chauvet, D. Jegouso, A. Drezet, B. Boulanger, S. Huant, G. Bachelier, A. Uchida, and H. Hori
2. 発表標題 Decision making by classical and quantum light
3. 学会等名 東北大学情報科学研究科「量子ウォークとネットワークのダイナミクス」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小田 章裕, 巴鼻 孝朋, 成瀬 誠, 内田 淳史
2. 発表標題 半導体レーザーカオス波形を用いた事前知識なしにおける意思決定の調査
3. 学会等名 2018年 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 成瀬 誠, 巳鼻 孝朋, 堀 裕和, 西郷 甲矢人, 岡村 和弥, 内田 淳史
2. 発表標題 レーザーカオスの時分割多重によるスケーラブルな強化学習
3. 学会等名 2018年 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本間 竜太郎, 河内 聡志, 新山 友暁, 内田 淳史, 成瀬 誠, 砂田 哲
2. 発表標題 半導体リングレーザーの高速ランダムスイッチングダイナミクスを用いた意思決定の検討
3. 学会等名 2018年 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅野 円隆, 内田 淳史, 文仙 正俊
2. 発表標題 位相変調された戻り光を有する半導体レーザーに基づくリザーバコンピューティング
3. 学会等名 2018年 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高野 耕輔, 菅野 千紘, 内田 淳史, 犬伏 正信, 吉村 和之
2. 発表標題 半導体レーザーを搭載した光集積回路によるリザーバコンピューティング実験
3. 学会等名 2018年 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉屋 圭悟, 内田 淳史
2. 発表標題 光ヘテロダインによる白色カオスの光周波数差に対するエントロピーの評価
3. 学会等名 2018年 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 富山 真, 山崎 和人, 内田 淳史, 吉村 和之, 犬伏 正信
2. 発表標題 マルチモード半導体レーザー間の共通信号入力同期における駆動光の帯域制限実験
3. 学会等名 2018年 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎 和人, 富山 真, 内田 淳史, 吉村 和之, 犬伏 正信
2. 発表標題 マルチモード半導体レーザーを用いた共通信号入力同期における帯域制限の影響
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川口 佑, 吉屋 圭悟, 小田 航也, 内田 淳史
2. 発表標題 3つの一方向結合された半導体レーザーにおける帯域拡大カオスとエントロピーの数値計算
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内田 淳史
2. 発表標題 レーザーのカオス同期とコンシステンシー：情報セキュリティから人工知能への応用まで
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会 総合大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 J. D. Hart, Y. Terashima, A. Uchida, T. E. Murphy, and R. Roy
2. 発表標題 Noise and chaos in optical random number generation
3. 学会等名 The 14th Experimental Chaos and Complexity Conference（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 J. Nakayama, K. Kanno, and A. Uchida
2. 発表標題 Reservoir computing based on consistency of a semiconductor laser driven by a chaos mask signal
3. 学会等名 Dynamics Days Europe 2016（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 A. Uchida
2. 発表標題 Reservoir computing with consistency of a semiconductor laser: chaos mask effect
3. 学会等名 International Symposium on Physics and Applications of Laser Dynamics 2016 (IS-PALD 2016)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2016年

1 . 発表者名 A. Karsaklian Dal Bosco, N. Sato, S. Ohara, Y. Terashima, A. Uchida, T. Harayama, and K. Yoshimura
2 . 発表標題 Intermittent dynamics in lasers: Distribution mapping and random number generation
3 . 学会等名 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 Y. Terashima, K. Ugajin, A. Uchida, T. Harayama, and K. Yoshimura
2 . 発表標題 Fast physical random bit generation using a photonic integrated circuit
3 . 学会等名 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 S. Ohara, A. Karsaklian Dal Bosco, K. Ugajin, A. Uchida, T. Harayama, and K. Yoshimura
2 . 発表標題 Chaos synchronization and nonlinear dynamics in a photonic integrated circuit with two semiconductor lasers
3 . 学会等名 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 T. Sasaki, I. Kakesu, A. Uchida, S. Sunada, K. Yoshimura, and K. Arai
2 . 発表標題 Common-signal-induced synchronization in photonic integrated circuits driven by constant-amplitude random-phase light
3 . 学会等名 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2016) (国際学会)
4 . 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Kuriki, J. Nakayama, K. Takano, and A. Uchida
2. 発表標題 Experiment on reservoir computing using consistency of a semiconductor laser
3. 学会等名 2016 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 J. D. Hart, Y. Terashima, A. Uchida, T. E. Murphy, and R. Roy
2. 発表標題 Chaos, noise, and physical random number generation
3. 学会等名 Dynamics Days 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 富山 真, 鈴木 頌允, 内田 淳史, 吉村 和之, 新井 賢一, 犬伏 正信
2. 発表標題 半導体レーザー間の共通信号入力同期実験における駆動用ノイズ光源の帯域制限の調査
3. 学会等名 2016年度電子情報通信学会ソサエティ大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 吉屋 圭悟, 寺島 悠太, 内田 淳史
2. 発表標題 光ヘテロダインによる白色カオスを用いた高速物理乱数生成実験
3. 学会等名 2016年度電子情報通信学会ソサエティ大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高野 耕輔, 栗城 瑛将, 中山 丞真, 内田 淳史
2. 発表標題 半導体レーザの過渡ダイナミクスを用いたリザーバコンピューティングの複雑性評価の数値計算
3. 学会等名 2016年度電子情報通信学会ソサエティ大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐々木 卓磨, 掛巢 和泉, 内田 淳史, 砂田 哲, 吉村 和之, 犬伏 正信
2. 発表標題 光集積回路を用いた共通信号入力同期と相関乱数秘密鍵配送実験
3. 学会等名 2016年度電子情報通信学会ソサエティ大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 栗城 瑛将, 高野 耕輔, 中山 丞真, 内田 淳史
2. 発表標題 半導体レーザを用いたリザーバコンピューティング実験におけるマスク信号の調査
3. 学会等名 2016年度電子情報通信学会ソサエティ大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 寺島 悠太, 宇賀神 上総, 吉屋 圭悟, 内田 淳史, 原山 卓久, 犬伏 正信
2. 発表標題 光集積回路の高速カオスを用いた物理乱数生成実験と評価
3. 学会等名 2016年度電子情報通信学会ソサエティ大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 成瀬 誠, 堀 裕和, 青野 真士, 内田 淳史, 金 成主
2. 発表標題 フォトン・インテリジェンス
3. 学会等名 第7回横幹連合コンファレンス「行動意思決定科学の応用」(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 富山 真, 鈴木 頌允, 内田 淳史, 吉村 和之, 新井 賢一, 犬伏 正信
2. 発表標題 波長フィルタを適用したノイズ光源により駆動された半導体レーザーの共通信号入力同期
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2016, 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 吉屋 圭悟, 寺島 悠太, 内田 淳史
2. 発表標題 光ヘテロダインを用いた白色カオスのダイナミクス調査と物理乱数生成実験
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2016, 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高野 耕輔, 栗城 瑛将, 中山 丞真, 内田 淳史
2. 発表標題 平均状態エントロピーを用いた半導体レーザーによるリザーバコンピューティングの性能調査
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2016, 日本光学会年次学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 栗城 瑛将, 高野 耕輔, 中山 丞真, 内田 淳史
2. 発表標題 異なるマスク信号を用いた半導体レーザーにおけるリザーバコンピューティング実験
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第37回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内田 淳史
2. 発表標題 光学系におけるリザーバコンピューティングの最新研究状況
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第37回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 成瀬 誠, 内田 淳史, 金 成主
2. 発表標題 ナノ光学とレーザーカオスを用いた超高集積・超高速意思決定
3. 学会等名 応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス(M&BE)研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 巳鼻 孝朋, 寺島 悠太, 内田 淳史, 成瀬 誠, 金 成主
2. 発表標題 半導体レーザーカオスを用いた超高速意思決定における適応性の調査
3. 学会等名 2017年 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小原 翔馬, カルサクリアン・ダル・ボスコ アンドレアス, 宇賀神 上総, 内田 淳史, 原山 卓久, 犬伏 正信
2. 発表標題 短い外部共振器長における相互結合された半導体レーザのカオス同期特性の数値解析
3. 学会等名 2017年 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木 卓磨, 三井 湧方, 内田 淳史, 砂田 哲, 吉村 和之, 犬伏 正信
2. 発表標題 多段化された光集積回路間における共通信号入力同期実験
3. 学会等名 2017年 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 寺島 悠太, 吉屋 圭吾, 内田 淳史
2. 発表標題 半導体レーザの帯域拡大カオスを用いた物理乱数生成器におけるエントロピー生成率の評価
3. 学会等名 2017年 第64回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 内田 淳史	4. 発行年 2016年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 314
3. 書名 複雑系フォトンクス レーザカオスの同期と光情報通信への応用	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 モデル選択装置、及びモデル選択方法	発明者 成瀬 誠, 菅野 円隆, 内田 淳史	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-118755	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 解探索システム及び方法	発明者 成瀬 誠, 内田 淳史	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-037643	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

埼玉大学 内田淳史研究室 http://www.au.ics.saitama-u.ac.jp

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	菅野 円隆 (Kanno Kazutaka) (10734890)	埼玉大学・理工学研究科・助教 (12401)	