

様 式 F-7-2

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）実績報告書（研究実績報告書）

|           |    |               |      |           |
|-----------|----|---------------|------|-----------|
| 所属研究機関名称  |    | 奈良先端科学技術大学院大学 | 機関番号 | 1 4 6 0 3 |
| 研究<br>代表者 | 部局 | 先端科学技術研究科     |      |           |
|           | 職  | 助教            |      |           |
|           | 氏名 | 新谷 道広         |      |           |

1. 研究種目名 若手研究 2. 課題番号 18K18025

3. 研究課題名 脳型機械学習ハードウェアの高信頼化に関する研究

4. 補助事業期間 平成30年度～令和2年度

5. 研究実績の概要

フォンノイマンボトルネックによるノイマン型計算基盤の性能向上の限界、ムーアの法則の破綻が近づき、ヒトの脳を模した脳型コンピュータはこれまでの計算の「質」を革新する最重要技術の1つとして期待を集めている。しかし、構成素子であるメモ리스タの製造不安定に起因する信頼性課題により大規模化、すなわち「量」に重大な課題を抱えており、ノイマン型計算規模を超える目処は立っていない。本研究では、ソフトウェア上で脳型コンピュータの回路構成を模擬したシミュレーションによる確認、CADツールによる回路設計、特性パラツキと信頼性を考慮したSPICE回路シミュレーションを通して、脳型コンピュータの回路性能を犠牲にすることなく長期信頼性を保証する手法を提案した。

メモリスタニューラルネットワークでは、メモリスタをクロスバーアレイ構造で実装し、クロスバーアレイの1層がニューラルネットワーク層に対応する。既存の手法では、各ニューラルネットワーク層の行方向に冗長セルを付与し、チェックサム法を用いて過渡故障の誤り訂正を行っていたが、2つ以上の同一行の故障は訂正できない課題があった。そこで、提案手法では、列方向にも冗長セルを追加することで、誤り訂正性能の向上を図った。さらに、定期的なオンラインテストにより永久故障を特定し救済する。手書き文字認識を行う3層ニューラルネットワークを用いた数値計算の結果、既存手法と比べて1.88%の識別率向上を確認した。

さらに、本研究で得た機械学習の学習アルゴリズムに関する知見を活かして、集積回路の見逃し故障を効率的に検出するシステムを開発し、従来手法と比べて9.5倍の性能向上を達成した。リサイクルFPGAを検出する手法にも本研究の知見を応用し、効率的かつ高精度な検出方法を提案した。

6. キーワード

ニューラルネットワーク メモリスタ 高信頼化 過渡故障 永久故障 誤り訂正符号 脳型コンピュータ

7. 研究発表

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

|                                                                                                             |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Ishizaka Mamoru, Shintani Michihiro, Inoue Michiko                                                | 4. 巻<br>36            |
| 2. 論文標題<br>Area-Efficient and Reliable Error Correcting Code Circuit Based on Hybrid CMOS/Memristor Circuit | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Electronic Testing                                                                     | 6. 最初と最後の頁<br>537～546 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1007/s10836-020-05892-3                                                       | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>—             |

## 2 版

|                                                                                                              |                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Ahmed Foisal, Shintani Michihiro, Inoue Michiko                                                    | 4. 巻<br>EI03.A          |
| 2. 論文標題<br>Cost-Efficient Recycled FPGA Detection through Statistical Performance Characterization Framework | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences            | 6. 最初と最後の頁<br>1045~1053 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1587/transfun.2019KEP0014                                                     | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>—               |

|                                                                                                                                     |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1. 著者名<br>Ahmed Foisal, Shintani Michihiro, Inoue Michiko                                                                           | 4. 巻<br>-         |
| 2. 論文標題<br>Accurate Recycled FPGA Detection Using an Exhaustive-Fingerprinting Technique Assisted by WID Process Variation Modeling | 5. 発行年<br>2020年   |
| 3. 雑誌名<br>IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems                                             | 6. 最初と最後の頁<br>1~1 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1109/TCAD.2020.3023684                                                                               | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>—         |

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件／うち国際学会 1件）

|                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Shintani Michihiro, Mino Tomoki, Inoue Michiko                                                                                     |
| 2. 発表標題<br>LBIST-PUF: An LBIST Scheme Towards Efficient Challenge-Response Pairs Collection and Machine-Learning Attack Tolerance Improvement |
| 3. 学会等名<br>IEEE Asian Test Symposium (ATS) (国際学会)                                                                                             |
| 4. 発表年<br>2020年                                                                                                                               |

|                                                 |
|-------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>井阪友哉、新谷道広、アフメドフォイスル、井上美智子            |
| 2. 発表標題<br>自己参照に基づく直接密度比推定を用いた教師なし再利用FPGA検出     |
| 3. 学会等名<br>電子情報通信学会技術研究報告 (ディペンダブルコンピューティング研究会) |
| 4. 発表年<br>2021年                                 |

|                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Shintani Michihiro                                                       |
| 2. 発表標題<br>Recycled FPGA detection using exhaustive fingerprinting characterization |
| 3. 学会等名<br>The 15th D2T Symposium, The University of Tokyo (招待講演)                   |
| 4. 発表年<br>2020年                                                                     |

〔図書〕 計0件

## 8. 研究成果による産業財産権の出願・取得状況

計0件（うち出願0件／うち取得0件）

## 9. 科研費を使用して開催した国際研究集会

計0件

## 10. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関         |                                     |   |   |
|---------|-----------------|-------------------------------------|---|---|
| 米国      | Duke University | University of California, San Diego | — | — |
| —       | —               | —                                   | — | — |
| —       | —               | —                                   | — | — |
| —       | —               | —                                   | — | — |
| —       | —               | —                                   | — | — |
| —       | —               | —                                   | — | — |

## 11. 備考

<http://dslab.naist.jp/>