

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20700052

研究課題名（和文）自己診断・自律回復を実現する高信頼・無故障 LSI に関する研究

研究課題名（英文）Dependable LSI system based on self-analysis and self-reconfiguration

研究代表者

吉川 雅弥 (YOSHIKAWA MASAYA)

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：50373098

研究成果の概要（和文）：

本研究では、診断・検出・治療・回復で構成する高信頼 LSI システムの開発・検討を行った。診断に関しては、故障原因推論システムの要素技術として信頼性に関する検討を行った。検出に関しては、故障箇所特定アルゴリズムの要素技術として熱による影響を考慮した故障モデルの研究を行った。治療に関しては、自己再生・最適化アルゴリズムの研究を行った。回復に関しては、自律適応システムのベースとなるプログラマブルデバイスとその CAD システムのプロトタイプを完成させた。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we developed the dependable LSI system which consists of Analysis, Detection, Treatment and Recovery functions. Regarding the analysis function, we studied the reliability of LSI as an elemental technology for fault diagnostics. Regarding the detection system, we examined the fault modeling considering thermal effects. Regarding the treatment function, we investigated the optimization algorithm as an elemental technology for the self-recovery. In addition, we developed the dedicated CAD system for the self recovery device.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学

キーワード：高信頼 LSI, 耐故障化技術

## 1. 研究開始当初の背景

半導体集積回路の微細化技術により、電子システムを1チップの大規模集積回路 (LSI) 上に実現することが可能となった。このようなシステム LSI は、携帯電話や自動車など様々な応用用途がある。一方で、近年のシステム LSI を核とした電子システムに全面的に依存する社会では、システムの故障は人命、莫大な経済的損失を招く可能性がある。そのため、システムの高信頼性が求められるようになり、フォールトトレランス (耐故障) の技術が必要不可欠になった。21 世紀の社会では、福祉や災害現場、宇宙や深海などの極地、エンターテインメント、家事労働ほか、あらゆる分野で電子頭脳を持つ製品やロボット等が活躍すると考えられる。そのような社会で安全・安心に生活するために、次世代の電子システムでは、耐故障化技術がもっとも重要な技術の1つである。関連する国内および国外の研究動向としては、まず、耐故障化技術については、国内・国外ともに企業を中心に研究がなされているが、そのほとんどが、不良が発生した部分を冗長回路に切り替えることで補償する冗長技術に関する研究である。今後微細化が進むにつれ、1つの LSI に複数の不良が発生するようになると、論理回路全体を単位としての冗長化では正常動作を保つことが難しくなる。

次に、自律適応システムに関して、国外では米国の UC サンディエゴ、欧州のエジンバラ大学などで進化型ハードウェアに関する研究や、国内では進化システム総合研究所を中心に興味深い研究がされているが、耐故障化技術に応用したものは報告されていない。このように、本提案で目指す自己診断・自律回復といった研究はこれまで実現されていない。

また、研究代表者は、自己診断・検出に必要な要素技術として、これまでに適応的に知識獲得を行う機械学習システムを開発し、動的に変化する環境下で評価を行いその有効性を確認していた。さらに、システムの再構成や自律回復に必要な要素技術として、自律分散型の高速な適応処理を実現する専用ハードウェアを開発し、評価実験によりその有効性を実証していた。このように本提案研究の基礎となるいくつかの要素技術について、これまでの研究でその効果を確認した。そこで、これらの要素技術を組み合わせることで、

今後ますます重要となる耐故障化技術の分野での先行的な技術革新を行いたいと思い、本提案研究の着想に至った。

## 2. 研究の目的

本研究では、次世代の電子システムの基盤技術として、「診断」、「検出」、「治療」、「回復」で構成する予防機能を指向した高信頼・無故障 LSI システムを開発する。これにより、自己診断、回路の故障・欠陥の検出、システムの再構成による治療、そして自律回復が可能となり、電子システムの信頼性が飛躍的に向上する。

## 3. 研究の方法

本研究では、新しい視点に立ち、高い信頼性と耐故障性を実現するために「診断」、「検出」、「治療」、「回復」で構成する予防機能ループを実現する新しい LSI システムを開発する。そこで、4つのサブテーマを設けて、それぞれに研究を進める。

<診断>知識ベースによる故障原因推論システムの開発

システム LSI の故障フェーズは、初期故障・偶発故障・摩耗故障の3つのフェーズに分けることが出来る。本研究では、この3つのフェーズに対し、故障パターンを分類し、知識ベースを構築する。そして、知識ベース内の知識を利用して診断テスト結果から得たデータを解釈し故障原因推論の制御を行う。

<検出>故障シミュレーションモデルを用いた故障箇所特定アルゴリズムの開発

故障回路の動作を正確に把握するには、回路のタイミング動作を正確に把握する必要がある。しかし、回路のタイミング動作には個体差が大きく、温度変化や経年変化などによっても誤差が生じる。そこで本研究では、動作中の実際の回路動作から観測した値をもとに適応的に故障モデル (短絡故障モデルや縮退故障モデルなど) のチューニングを行い、故障箇所を特定する。

<治療>利用可能な資源に基づく自己再生アルゴリズムの開発

本研究で開発する高信頼・無故障 LSI システムでは、故障回路の代替回路用の FPGA (書き換え可能素子) を内蔵している。そして、

周囲の環境（電力の状態や故障箇所の重要度など）によって、代替回路の最適化項目（パワー優先、スピード優先）を決定し、動作を保証するテストパターンを生成する。ここでは、多くの設計パラメータを同時に最適化することが重要である。そこで、これまで進めてきた多目的最適化の研究をベースに効果的なアルゴリズムを開発する。

<回復>自律適応システムの開発

研究代表者は、適応システムの専用ハードウェアに関して、適用範囲を限定しない汎用性と高速な適応処理を実現する独自のアーキテクチャを開発し、その有効性を確認している。そこでこれを基本に自己再生アルゴリズムで生成したテストパターンを満足する回路アーキテクチャを適応的に獲得する自律適応システムを開発する。

#### 4. 研究成果

本年度の研究実績の概要として、まず「診断」に関しては、故障原因推論システムの要素技術として信頼性、特に経年劣化に関する検討を行った。次に「検出」に関しては、故障箇所特定アルゴリズムの要素技術として重要であり、熱による影響を考慮した故障モデルの研究を行った。ここでは、特に電源配線をターゲットに熱モデルとその信頼性について検討を行った。そして、「治療」に関しては、当初予定していた遺伝的アルゴリズムをベースとする最適化アルゴリズムだけでなく、蟻の採餌行動を工学的にモデル化したACOや粒子群最適化などの群知能をベースとした自己再生・最適化アルゴリズムについて、研究を行い、最適化で最も重要な探索領域の集中化と分散化の基本的な指針を確立した。特に、ベンチマークデータを用いた従来の最適化アルゴリズムとの比較実験においては、解の精度だけでなく、収束の速度についても検討を行った。また、「回復」に関しては、自律適応システムのベースとなる独自のプログラマブルデバイスに論理をマッピングするための独自のCADシステムのプロトタイプを完成させた。このCADシステムでは、一般的なLSIの設計フローと同様にVerilogHDLでの入力が可能であるだけでなく、配線容易性が最も問題になるため配線混雑の緩和を考慮した配置・配線を実現した。さらに、ベンチマークデータや実用回路のデータを使用した評価実験を通し、その有効性を検証した。以上のように、当初予定した研究実施項目について、各サブテーマの要素技術に関しては検討することが出来たが、申請研究期間内に、検討・開発した要素技術を用いて無故障LSIシステムとしては、完成させることが出来なかった。しかしながら、2年間

の研究機関を通して、数多くの新しい知見を得ることができた。また、研究結果を関連する国内・国際学会で発表をし、参加者とディスカッションを行ったことで、さらに、研究を発展させることが出来た。

#### 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1件）

- ①. M. Yoshikawa, H. Yamauchi, H. Terai, "Hybrid Architecture of Genetic Algorithm and Simulated Annealing", IAENG Journal of Engineering Letters, 査読無 (Invited paper), Vol. 16, Issue 3, pp. 339-345, 2008.

〔学会発表〕（計16件）

- ①. M. Yoshikawa, K. Otani, "Ant Colony Optimization Routing Algorithm with Tabu Search", Proceedings of International MultiConference on Engineers and Computer Scientists (IMECS 2010), Vol. 3, pp. 2104-2107, March 17, 2010. (Hong Kong, CHINA)
- ②. M. Yoshikawa, T. Miyachi, "Selective Ant Colony Optimization Considering Static Evaluation", Proceedings of International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE), Vol. 3, pp. 22-25, February 28, 2010. (Singapore)
- ③. M. Yoshikawa, H. Nishimura, H. Terai, "A new genetic coding for job shop scheduling problem considering genotype and phenotype", Proceedings of 4th International Conference on Computer Engineering and Applications (CEA 2010), pp. 59-62, January 29, 2010. (Boston, USA)
- ④. M. Yoshikawa, A. Naruse, S. Souboku, "Adaptive Immune Algorithm considering Intensification and Diversification", Proceedings of IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI 2009), pp. 422-423, August 10, 2009. (Las Vegas, USA)
- ⑤. M. Yoshikawa, H. Terai, "Hardware Architecture of Pheromone-balance Aware Ant Colony Optimization", Proceedings of The 2008 International Conference on Genetic and Evolutionary Methods (GEM 2008), pp. 135-139, July 14, 2008. (Las Vegas,

- USA)
- ⑥. M. Yoshikawa, H. Terai, "Route Selection Algorithm based on Integer Ant Colony Optimization", Proceedings of IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI 2008), pp.17-21, July 13, 2008. (Las Vegas, USA)
  - ⑦. M. Yoshikawa, H. Terai, "Design of LSI for high-speed route guidance system using virus infection algorithm", Proceedings of International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes, pp.397-401, May 4, 2008. (Jasper, CANADA)
  - ⑧. M. Yoshikawa, M. Fukui, H. Terai, "A New Pheromone Control Algorithm of Ant Colony Optimization", Proceedings of International Conference on Smart Manufacturing Application, pp.335-338, April 9, 2008. (Soul, KOREA)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉川 雅弥 (YOSHIKAWA MASAYA )

名城大学・理工学部・准教授

研究者番号：50373098

(2) 研究分担者 ( )

研究者番号：

(3) 連携研究者 ( )

研究者番号：