

「秋田大学研究者海外派遣支援事業」帰国報告書

平成21年10月30日

所属・職名： 工学資源学部情報工学科・講師

氏名： 横山 洋之

派遣期間： 平成21年3月1日から同年8月31日まで

派遣研究機関名：英文 University of Wisconsin-Madison

：和文 ウィスコンシン大学マディソン校

研究課題： 論理LSIのテスト容易化設計に関する研究

○研究概要

半導体集積回路の設計技術、製造技術が進展し、これまで複数のVLSIを使い、ソフトウェアで実現していたような複雑な処理を1つのVLSIに収めることが可能になってきている。このようなVLSIの大規模化、高機能化に伴い、VLSIの動作を保証するためのテストのコストが増大し、VLSI製造コスト全体に占めるテストコストをいかに低減するかが重要な課題となっている。この課題を解決する一般的なアプローチとして、設計段階からテストを考慮する「テスト容易化設計」がある。しかし、高集積化高機能化するVLSIに対して、従来のテスト容易化設計手法では十分なテストが行えない状況になってきている。タイミング的な故障や、トンネル電流、回路の状態依存の故障、回路特性のばらつきなど、従来問題とならなかった現象が、回路の微細化に伴い顕著になってきたためである。更に、高集積化に伴う消費電力の増加を抑えるため、「低消費電力設計」が重要になっており、このような低消費電力設計されたVLSIのテストにおいては、テスト時の消費電力を考慮する必要がある。すなわち、一般にVLSIテストのコストは、一製品あたりにかかるテスト時間が短いほどコストを抑えられることから、一度により多くの故障を検出できるテストパターンを用いればテスト時間の短縮が望める。しかし、多くの故障を検出可能なテストパターンは回路の大部分を活性化することから消費電力が大きくなる傾向があり、しかもテスト容易化設計が施されたVLSIでは、通常の使用時には生じないような多大な消費電力がテスト時に発生するケースが多い。これは通常動作では何の問題もない製品をテストで不良品としてしまう可能性が大きくなり、製造歩留まりの低下につながる。身体検査に例えれば、早く検査しようとして乱暴に体を動かしたため体を痛めるようなものである。これらのことから、テスト容易化設計されたVLSIでは、設計上の消費電力制限を越えないように配慮しながら、必要なテストパターン数を少なくする必要がある。つまり、テスト時間とテスト時の消費電力はトレードオフの関係にあり、適切なトレードオフ点を見つけるこ

とが重要である。本研究では、テスト時の消費電力を考慮しながらテストコスト低減を図る有効なテスト容易化手法を提案することを目的としている。

本研究では、テスト容易化設計として、スキャン設計が施された VLSI を仮定し、回路内部に自己テスト用回路を組み込む BIST (Built-In Self Test) において、重み付きランダムパターン生成器の重みの最適化手法、およびスキャンシフト消費電力削減のためのスキャン・セルについての提案を行った。スキャン設計とは、順序回路のテスト生成問題を組み合わせ回路と同程度の難しさのテストパターン生成問題にするため、順序回路内部の状態記憶回路（具体的にはフリップフロップ回路）をシフトレジスタにし、任意の値の設定と観測が可能なようにするテスト容易化設計であり、昨今の VLSI において広く取り入れられている。また、BIST も VLSI の外部からの観測性、制御性の低さの問題を回避する手段として広く用いられている。この BIST におけるテストパターン生成器には、テストパターンを記憶しておく必要がないことから線形フィードバックシフトレジスタを用いた擬似ランダムパターンを用いることが多く、このランダムパターンの値の出現確率に重みを用いることで、より効率良くテストできる場合がある。これは「重み付きランダムテスト」と呼ばれ、有効な重みの組み合わせを求める問題は、組み合わせ最適化問題であり、本研究における主要な課題である。

重み付きランダムテストパターン生成における重みの最適化について、提案する手法を概説する。まず、仮定される故障の集合において、多くのテストパターンで検出可能な故障 (easy to detect faults) と特定の少数のテストパターンでしか検出されない故障 (random pattern resistant faults) を分け、処理対象を絞り込む。さらに回路トポロジ的な故障の位置情報を特徴量として故障のクラスタリングを行い、各クラスターについて最適化処理を行う。最適化処理には故障シミュレーションベースの GA (Genetic Algorithms) を用いた。また、特定のテストパターンでしか検出できないような故障については ATPG (Automatic Test Pattern Generation) によって生成されたテストパターンを GA の初期集団に組み込むことで対処した。

幾つかのベンチマーク回路に対して提案する手法を適用した結果、消費電力の制限を設けた状況で有効な解を得ることができた。しかし、故障シミュレーションベースの最適化手法を用いていることから大規模な回路になるほど長時間の計算処理が必要となる。そのため、現在、並列処理化を図っている。

○研究期間全般にわたる感想

まず、今回の滞在地、米国ウィスコンシン州マディソンについて紹介する。ウィスコンシン州は米国北部に位置し、五大湖の1つミシガン湖に面した酪農を中心とした農業州である。「大草原の小さな家」の舞台となった州としてご存知の方も多いのではないだろうか。州の広さは北海道と北東北3県を合わせたくらいで、そこに600万人弱が暮らしており、都市部以外では人より鹿の数の方が多いと言われるくらい人口密度が低い。州の最大都市はバドワイザー

ビールやミラービールなどで有名なミルウォーキーである。今回滞在したマディソンはウィスコンシン州の州都であり、ミルウォーキーから自動車で1時間ほど西に行ったところにある政治と大学の街である。隣のイリノイ州シカゴからも近く、飛行機だと1時間であるが、実はシカゴのオヘア空港で飛行機が地上を走り回っている時間が長いため実質40分程度の飛行距離である。米国の多くの州ではこのように経済的な大都市と政治的な中心である州都は一致しておらず（シカゴも同様）、このことに関してはこれまで自分の認識不足であった。マディソンは、メンドウータ湖とモノーナ湖の2つの湖を利用し計画的に整備された非常に美しい街で、州議会場や州政府関係の機関、および今回の派遣先であるウィスコンシン大学マディソン校がある。緯度は札幌と同じくらいで、冬はマイナス20℃くらいになる。秋田市程の広さに30万人程が暮らしており、大学関係者と州政府機関の関係者が多い。街は、道路、住宅などに関しては日本では考えられないくらい贅沢に土地が使われ、広大な公園がいくつも整備されているなど、まず都市整備に対する考えの違いに驚いた。空気が非常に澄んでおり、晴れた日は秋田の空を更に一拭きしたような青い空が広がる。

次に、今回の派遣先であるウィスコンシン大学マディソン校について紹介する。ウィスコンシン大学マディソン校は州内各地にあるウィスコンシン州立大学システムに属する大学の本校であり、詳しい人数は失念したが、ここだけで数万人規模という大規模な大学である。メンドウータ湖の湖岸に面した地域に大学の施設が集まっており、特に大学の敷地といったものはなく、街と融合して存在している。秋田市でいうと、秋田駅から山王まで大体が大学関連の施設が立ち並んでいるといった感じになる。多数の学科、研究プログラムなどがあり、組織については自分でもよく理解していないというのが正直なところである。学生は、州内はもとより、全米、世界中から集まってきているが、日本人は比較的少なく今回の滞在期間中でも日本人の学生には一度も会う機会がなかった。今回の派遣では、Department of Electrical and Computer EngineeringのKewal K. Saluja教授のお世話になった。Saluja教授はLSIのテストおよび高信頼システム設計がご専門であり、今回の自分の研究に対しても貴重なアドバイスを多数いただいた。またSaluja教授の博士課程の講義を拝聴する機会があり、学生の活発な質問やプレゼン内容の質の高さが印象的であった。大学での生活において感心したのは、ほとんどの申請や手続きがオンライン化されており、研究においても必要な資料がデジタルアーカイブとして直ぐに手に入る環境が提供されていたことである。特に後者の文献資料が簡単に手に入るというのは、研究を進める上で非常に助かった。

全体的な感想は、今回、半年間の滞在であったが、今までとは異なる環境での生活は非常に刺激的であり、体感的には半年以上滞在したような印象である。アメリカには過去何度か数日間の日程で訪れたことはあったものの、実際生活してみて初めて感じるものが多くあった。強く感じたのは、アメリカは別の国であるという、当然のことではあるが日本に居ては感じ得ない感触である。これまでアメリカを「アメリカ」という言葉でひとくくりにし、日本にとって最も信頼できるパートナーあるいはリーダーといった親近感に似たものを持っていたが、アメリカはそんな小さなものではなく、広大な国土とパワーを持った連邦国家ということを感じ

た。それから、日本での生活の便利さとそれが故に失っているものがあるのではないかということを感じた。マディソンでは、コンビニも無いし（それらしきものはある）ショッピングモールは早く閉まるし（日曜日は午後6時で閉店）食べ物の品揃えは少ないし（量は多い）、細かいサービスは雑だしで、日本と比べてしまうと“なんで？”ということが多かった。しかし、マディソンの人たちはみんなフレンドリーで親切で思いやりのある人たちばかりで、細かいことにはこだわらない。良くも悪くも日本が特殊なのかと感じた。今回の海外派遣では、研究、生活を含めいろいろなことを見直す機会となり非常に有益であった。

最後に、このたびの海外派遣では、国際交流センター、学部、学科をはじめ関係各所の方々にご支援いただいたことを深く感謝したい。



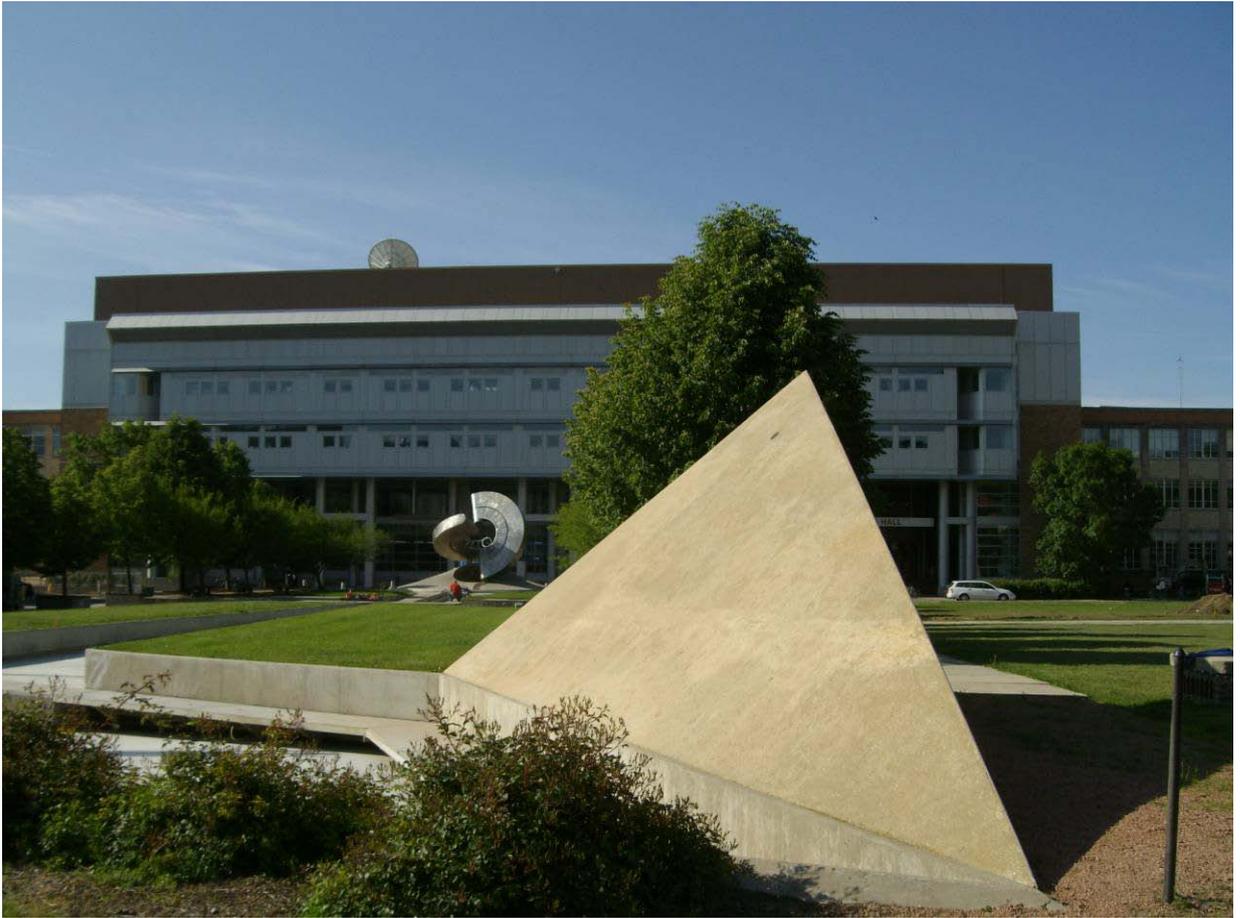
マディソン市上空から、右がメンドウータ湖、左がモノーナ湖。2つの湖の間が市の中心街になっており、そこから蝶の羽のように街が広がっている。



住んでいたアパートの近くにあるオスカー・レンボーン公園。奥に見えるのがシェルター。いたるところにこのような公園が整備されている。ちなみにこの公園は個人から寄付されたものとのこと。



マディソン中心街ステートストリート。奥に見えるのは州議会場（キャピタル）。マディソンの主要公共交通機関はバスであり、学生は無料で利用することができる。そのためか、休日は非常ににぎわう。



Engineering Hall. Department of Electrical and Computer Engineering 他, 工学系の学科が幾つか入っている. 中央奥に見える半円形もモニュメントは工学系学科のシンボルで噴水になっている.



工学系学科のエキスポの様相。様々なイベントや一般企業の参加などもあり大変にぎわっていた