



【論文誌技術解説】

英文論文誌小特集号「Special Section on Solid-State Circuit Design - Architecture, Circuit, Device and Design Methodology」発刊によせて ゲストエディタ（小特集号編集委員会）

吉瀬 謙二（東京工業大学）



集積回路技術は、過去数十年にわたり、様々な電子機器の発展に大きな貢献を果たしてきました。身の周りにはある種々のセンサから、巨大なデータセンターのコンピュータに至るまで、あらゆるサービスを通じて集積回路技術は我々の日常生活に大きな影響を与えるようになってきています。この間に、集積回路技術に関する知識も多くの研究者、技術者の努力により飛躍的に増大してきています。

集積回路の発展を支えた大きな指導原理の一つは、1965年にゴードン・ムーアが提唱した「集積回路上のトランジスタ数は18ヶ月毎に倍になる」というムーアの法則であり、集積回路の微細化はナノメートル領域に向かって着実に進行し続けています。その結果、VLSIチップの集積度は指数関数的に増大し、今や1チップに100億個という脳の神経細胞数にも匹敵する膨大な数のトランジスタが集積可能になりつつあります。これにより、新たなアプリケーションや情報処理の開拓が期待されています。一方で、漏れ電流やばらつきの問題が顕在化しており、新たな回路技術や設計技術への要求が高まっています。SoCへのSRAMやアナログ回路の搭載は一般化していますが、低電圧動作するメモリやCMOSアナログ回路技術も待望されています。

このような背景のもと、集積回路研究専門委員会(ICD)では、集積回路設計技術に関するVLSIアーキテクチャ、3次元チップ、SoC、メモリ回路、デジタル回路、インタフェース回路、アナログ回路、低消費電力技術、設計技術、実装技術を主な対象分野とする英文論文誌小特集号として、「Special Section on Solid-State Circuit Design - Architecture, Circuit, Device and Design Methodology」を毎年4月に発行しています。

今回の特集号では、投稿論文の中から、編集委員会の厳正な審査により採択された卓越した論文6件が掲載されます。6件の一般論文の内容は、(1)ワイヤレスインターコネクションを用いた3次元FPGAアーキテクチャ、(2)ソフトエラーを低減する回路技術、(3)ワイヤレスインターコネクションのためのオンチップアンテナを用いた

60GHz CMOS トランスミッター技術、(4)オペアンプ回路技術、(5)3次元クロック分配のためのリレートランスミッション技術、(6)低遅延のDMR (dual modular redundancy) アーキテクチャ、という幅広く魅力的な内容となっています。集積回路技術にかかわる研究者、開発者のみならず、関連技術を研究、応用される皆様に、本特集号を広くご覧いただき、今後の研究開発の発展に役立てていただければ幸いです。

本特集号のために貴重な最先端技術の成果をご投稿いただいた著者の皆様、それらの論文を注意深く査読いただいた査読委員の皆様方に心より感謝を申し上げます。

編集にあたっては、富士通研究所山村委員長をはじめ集積回路研究専門委員会(ICD)の各位に多大なるご協力をいただきました。最後に、編集のために多大なご貢献をいただいた下記編集委員の皆様方に心より感謝を申し上げます。

小特集編集委員会（敬称略）

委員長：山村毅（富士通研）

幹事：吉瀬謙二（東工大）

委員：天川修平（広島大）、飯塚哲也（東大）、伊藤真紀子（富士通研）、川口博（神戸大）、崎村昇（日本電気）、竹村理一郎（日立）、土谷亮（京大）、年吉洋（東大）、鳥居淳（PEZY Computing）、中塚淳二（パナソニック）、野口宏一朗（ルネサスエレクトロニクス）、橋本昌宜（阪大）、原田知親（山形大）、本村真人（北大）、吉田毅（広島大）、ポカレル・ラメシュ（九大）

著者略歴：

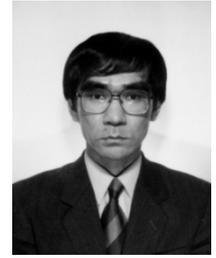
1995年名古屋大学工学部卒。2000年東京大学大学院情報工学専攻博士課程修了。博士（工学）。同年電気通信大学大学院情報システム学研究科助手。2006年東京工業大学大学院情報理工学研究科講師。2011年同准教授。計算機アーキテクチャ、並列処理に関する研究に従事。2011年～集積回路研究会専門委員。



【論文誌技術解説】

英文論文誌小特集号「Special Section on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices」の発行によせて

ゲストエディタ



原 直紀（富士通研究所）

近年のエレクトロニクスにおいて、半導体デバイスとその集積回路は主要となる要素である。将来の高度情報化ならびにグリーンエレクトロニクスの進展において、高性能・低消費電力の新機能デバイス開発に対する要求は高いものがあり、微細化の限界を打破するためのシリコンデバイス、通信容量を格段に飛躍させる化合物半導体デバイス、新機能を創出する量子効果デバイス、端末の使用利便性を向上させるフレキシブルデバイスやこれらを実現するための高度なプロセス技術、異種デバイスの集積技術など、半導体デバイス技術開発の大きな挑戦が進んでいる。

本小特集号「Special Section on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices（先端半導体デバイスの基礎と応用）」は、このような背景のもとで、最先端半導体デバイスの研究動向を紹介することを目的に企画され、シリコン材料・デバイス研究専門委員会（SDM 研）および電子デバイス研究専門委員会（ED 研）が韓国電子工業会（IEEK）の協力を得て2014年7月に金沢で開催した“Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD)”での発表者を中心に幅広く投稿を呼びかけた。主要な対象分野は下記の通りである。

- ・集積回路及び先端集積化技術
- ・MOSFET、バイポーラトランジスタ、集積デバイス
- ・集積回路プロセス技術
- ・化合物半導体材料とデバイス応用
- ・高周波デバイスと回路応用
- ・マイクロ波/ミリ波デバイス
- ・パワーデバイス
- ・TFT の材料・デバイス・応用
- ・ワイドバンドギャップ材料とデバイス
- ・量子効果デバイス、単電子デバイス
- ・新しい材料、デバイス、回路
- ・評価技術・シミュレーション技術

本特集号には、8 篇の論文が収録されている。その範囲は、各種デバイスのプロセス技術、有機デバイス、メモリ、新材料ナノデバイスをカバーしている。半導体デバイスの研究開発に携わる多くの研究者・技術者の皆様にご覧いただき、今後の研究の発展に役立てていただければ幸いです。

本特集号の発行にあたって、投稿いただいたすべての著者に感謝致します。また、論文読者及び編集委員会のメンバーには、本特集号の取りまとめに大変ご協力いただき、その貢献に感謝致します。特に査読・編集作業における ED 研幹事 松永高治氏の尽力によって無事に発行できる次第となりました。さらに、本特集号の発行に当たっては、SDM 研、ED 研の専門委員の方々の協力を得ました。この場を借りて皆様に感謝の意を表したく存じます。

編集委員会委員（敬称略）

幹事 松永 高治（日本電気）、黒田 理人（東北大）
委員 新井 学（新日本無線）、井田 実（NTT）、大見 俊一郎（東京工大）、大島 知之（ネオフォトニクス）、大野 雄高（名大）、岡田 浩（豊橋技科大）、尾辻 泰一（東北大）、小野 行徳（富山大）、重川 直輝（大阪市大）、杉井 寿博（LEAP）、鈴木 俊秀（富士通研）、田中 慎一（芝浦工大）、西岡 泰城（日大）、野口 隆（琉球大）、東脇 正高（NICT）、藤代 博記（東京理科大）、松田 敏弘（富山県立大）、宮崎 誠一（名大）、山口 直（ルネサスエレクトロニクス）、宮本 恭幸（東京工大）

著者略歴：

1990 年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、同年富士通入社。工学博士。以来、富士通研究所において、化合物半導体を中心に高周波デバイス・回路およびその応用に関する研究開発に従事。2013～14 年度電子デバイス研究専門委員会委員長。



【論文誌技術解説】

英文論文誌C小特集号「アナログ回路技術と SoC 向け混載技術 (Analog Circuits and Related SoC Integration Technologies)」に寄せて ゲストエディタ

三木 隆博 (ルネサスエレクトロニクス)



ユビキタス、グリーン、スマート、クラウド、ビッグデータ、IoT (Internet of Things) など、電子・情報・通信・エネルギーなどの分野で様々なキーワードが生まれている。これらに象徴される技術革新、すなわち、我々の社会を従来にも増して安全・安心・快適にし、自然に対する負担を軽減しようとするチャレンジには、集積回路技術が基盤技術として必要不可欠なことは言うまでもない。

これまで、アナログ回路や、それをプロセッサ、コントローラなどのデジタル回路と混載化し SoC (System on a Chip) を実現する技術は、社会の発展に様々な貢献をしてきた。身近なところでは、スマートフォンなど携帯機器の低電力化や操作容易化、エアコンや冷蔵庫など家庭用電気製品の高機能化や高効率化、自動車の安全性向上や低炭素化などは、アナログ回路とその関連技術の発展なしには語れない。今後、集積回路が我々の社会や生活にさらに深く浸透し、その用途が多様化するにつれ、アナログ回路分野の技術革新にますます期待が集まるものと思われる。

一方、期待の高まりに比例して課題も大きくなっている。アナログ回路の二大性能と言えば速度と精度だが、これらだけが課題のすべてではない。低電力化は、携帯電話が普及し始める 1990 年代以降顕著になった典型的課題と言える。また、設計や製造にかかるコストを削減するため、アナログ回路を小面積で実現し、容易に次世代プロセスに移行できるに越したことはない。すなわち、小面積化やポータビリティも重要なテーマである。一方、ロジックに比較し、アナログ回路は低電圧化が容易でなく、素子のミスマッチやプロセスコーナーのばらつきに弱い。従って、微細化プロセスがアナログ回路に引き起こす負の側面をいかに克服するかも大きな課題である。また、用途の多様化に伴った高機能化も無視できない課題であろう。

このような背景のもと、小特集号「アナログ回路技術と SoC 向け混載技術 (Analog Circuits and Related SoC Integration Technologies)」を企画し、英文論文誌 C の平成 27 年 6 月号に 2 件の招待論文と 5 件の一般投稿論文を編集した。招待論文の一つは(株)東芝の大黒達也氏に寄稿頂いた “Technology of FinFET for high RF and analog/mixed-

signal performance circuits” である。最先端デバイスである FinFET に関して、フリッカノイズや遮断周波数などの RF / アナログ関連特性とプロセス・デバイス構造やレイアウトとの関係が論じられている。招待論文のもう一つは、東京工業大学の岡田健一准教授に寄稿頂いた、“Digitally Assisted Analog and RF Circuits” である。デジタル回路でアナログ回路を校正するデジタルアシスト技術に関して、無線通信システムを中心に事例が紹介されているほか、“digitally-designed analog circuit” などこれまで明確に言葉付けがなかった概念に言及している点でも興味深い。一般投稿論文は、レプリカバイアスを使った高性能 VCO、周波数シンセサイザのスプリアス低減技術、パッドサイズ ADC、自動モード切り替型バック／ブースト DC-DC コンバータ、セルベース設計手法で実現した基盤バイアス発生器、とバラエティーに富んでいる。いずれも興味深い論文であり、本特集号をご覧いただいで研究・開発の参考にして頂ければ幸いである。

最後に、本特集号に論文をご投稿頂いた方々に謝意を表したい。また、査読委員と編集委員の方々には高い専門力を生かし本特集号の編集に多大なる貢献をして頂いた。さらに、幹事の(株)東芝の古田雅則氏には、本特集号の企画から発刊まで多大なるご尽力を頂いた。これらの方々初め、本特集号に協力頂いた方々に深謝する。

著者略歴：

1982 年大阪大学大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了、同年三菱電機(株)入社。1994 年博士 (工学) (大阪大学)。2003 年に(株)ルネサステクノロジ、2010 年にルネサスエレクトロニクス(株)へ継承転籍し、現在に至る。この間、一貫してアナログ分野を中心とした集積回路の研究・開発に従事。対象は、データコンバータ、無線通信用アナログ回路、各種センサインターフェース回路、パワー制御用アナログ回路、回路定数最適化システムなど。また、Symposium on VLSI Circuits、IEEE Custom Integrated Circuits、IEEE International Solid-State Circuits Conference 等のプログラム委員を歴任。IEEE Senior Member、電子情報通信学会正員。



【論文誌技術解説】

和文論文誌 C 特集号「エレクトロニクス分野におけるシミュレーション技術の進展」によせて

ゲストエディタ (エレクトロニクスシミュレーション研究専門委員会)

森田 長吉 (MWS Lab.)



今日コンピュータシミュレーション技術は自然科学、人文科学を問わずあらゆる分野で必須の技術となっているが、留まるところを知らないコンピュータの発展はシミュレーション技術の重要性を今後ますます高めることを予感させる。今やシミュレーションの名を冠する学会や研究会は山ほど出てきているが、そもそもシミュレーション技術は扱う対象が異なると往々にしてかなり違った技術になる。従って、本特集号を企画したエレクトロニクスシミュレーション研究会 (EST 研) は発足してまだ 4 年とはいえ、将来的には扱う分野の拡張発展によって分化発展する可能性もあるといえそうである。

ところで EST 研の前身は 1995 年から活動を開始したマイクロ波シミュレータ研究会 (最初は原則非公開の 3 種研) であり、そのシミュレーション対象は主にマイクロ波デバイスであった。当初は欧米の先駆的の大学教授の興したベンチャーがマイクロ波シミュレーションソフトを実用レベルの製品開発用シミュレータに組み込み、中身がブラックボックスのまま、高額で販売するという現実に直面して、これにどう対処すべきかを真剣に議論・検討する場として企業、大学一体となって有志が集まり発足させたと筆者は認識している。今やマイクロ波関連シミュレータは企業における商品開発だけでなく大学における研究でも幅広く利用されるようになった。これは目的達成上の利便性を求める多くの人たちの要望に応えるだけの内容になってきたからであり、時代の流れとして致し方ないことである。しかし、商品としてのシミュレータも年々新しいシミュレーション技術や解析理論を組み込みながらどんどん改良・発展していること、シミュレータの最も重要な要素技術はシミュレーション技法の理論とそれを体現させるソフトウェアであること、この前者、技法や理論の部分の強化・発展に学会、大学、企業他の研究機関が果たすべき役割は依然として大きいこと、等を忘れてはならない。かくして EST 研の活動、役割 (EST 研の企画する特集号の役割) も大きい。後者のソフトウェアに関して注意を喚起するために、ここで昨秋の IEEE The Institute に載った記事を紹介したい。

“Reading, writing, arithmetic, and coding: That’s the new curriculum in England’s public schools.”という文章の後に、英国が今年から 5 才から 16 才までの全ての子供にコンピュータサイエンスを学ばせる EU で最初の国となること、JAVA などの言語でアルゴリズム、プログラムデバッグ、コーディングを学ばせること、エストニアでは 6 才児童からプログラミングを教え、フィンランドでは 2016 年からカリキュラムに入れること、イタリア、シンガポール、その他の国でも検討に入ったこと、等が記されている。

さて、本特集号は EST 研発足以来 3 回目となる和文論文誌特集号である。

厳正な編集・査読作業の結果、本特集号には 2 編の招待論文と 4 編の一般論文、4 編のショートノートが採録されることとなった。詳細は 5 月号の論文集に譲るが以下に簡単にそれらの内容を記す。

招待論文の一編目は、次世代集積デバイスとして期待される新型 MOSFET について、その構造及び動作の特徴を詳説するとともに、論文著者らの開発した動作解析法を初めとした幾つかの最新の解析法を概説した論文であり、いわば能動デバイスシミュレーション最前線の紹介論文である。また二編目は、光と機械振動との相互作用を伴う物理現象の数値解析に電磁波解析で実績のある FDTD 法を拡張適用する方法、特に GPGPU (用語) 技術を利用して高速高精度数値解析する方法、を紹介し、この解析法を将来の量子光学デバイスとして夢の多いフォトニック結晶共振器のシミュレーションに適用した結果の報告論文である。

その他の論文として、

- (1) 物体までの距離情報を得る深度センサーとポイントクラウドライブラリによる 3 次元構造復元技術を応用した実環境 FDTD 数値モデル構築システム開発の論文、
- (2) 相互結合を多数含み、かつリアクタンス成分が不均一な等価回路網を効率よく解析できる方法として局所陰的ブロック型 Leapfrog 法を提案した論文、
- (3) 金属表面に発生する疑似表面プラズモンの解析を目的として磁界を陰的に更新する新しい半陰的 2 次元 FDTD

法を提案した論文、

(4) 生体へのミリ波暴露の影響評価を目的としたホーンアンテナ暴露装置の開発で商用 FDTD ソフトを用いて検討した論文、

の 4 編、またショートノートとして、

(1)ピラミッド型電波吸収体内に発生する温度分布を FDTD 熱伝導解析で検討、(2)経頭蓋直流電気刺激時に人体頭部内に誘導される電界を、等価な電流源でモデル化して解析する方法を提案、(3)電界／磁界混合型積分方程式に基づく大規模散乱問題反復解法について、代表的な二つの手法の収束性を比較検討、(4) FDTD 解析における媒質境界の扱いに関して既存の二つの方法の内どちらが適切かを指摘し、表面プラズモン伝播問題の例で実証、の 4 編が採録された。どれも最新の課題に意欲的に取り組んだ論文であるのでぜひ興味を持ってご一読頂きたい。

(用語) GPGPU(General Purpose Computing on Graphics Processing Unit) :

画像処理専用高速処理プロセッサとして開発された GPU(Graphics Processing Unit)を、画像処理以外、とくに数値計算処理に利用して高速化をはかる試みを GPGPU という。

著者略歴 :

昭和 39 年阪大・工・通信卒。昭和 41 年同大学院・工・通信・修士課程了。同年同大・工・通信・助手。平成 3 年千葉工大・電気・教授。平成 24 年千葉工大名誉教授。同年個人事業 MWS Lab. 登録。昭和 54 年～昭和 55 年デンマークオールボ大及びデンマーク工科大研究員。電磁波・光波、ハイパーサーミア、超音波衝撃波、MMIC 受動デバイス、パッチアンテナ、GPGPU 利用技法開発などの研究に従事。工博。共著：“Integral Equation Methods for Electromagnetics、”(Artech House)、“The Boundary Element Method” in ‘Analysis Methods for Electromagnetic Wave Problems、’(Artech House)、他 4 冊。IEEE Life Senior。