

目次

【巻頭言】

- 1 エレクトロニクスソサイエティの財務体質強化に向けて
[エレクトロニクスソサイエティ副会長] 津留 正臣 (三菱電機)
-

【寄稿】

[各賞受賞記]

[エレクトロニクスソサイエティ賞]

- 3 電磁界理論およびマイクロ波分野
人体マルチフィジクスシミュレーション技術の開発とその応用
平田 晃正 (名古屋工業大学)
- 6 光半導体およびフォトニクス分野
分布帰還型レーザと青色発光素子の研究開発
松岡 隆志 (東北大学 金属材料研究所)
- 9 回路およびエレクトロニクス分野
多値 NAND 型フラッシュメモリと SSD システムへの応用に関する先駆的研究
竹内 健 (中央大学)

[Best ELEX Paper Award]

- 12 RF Integrated Circuits
A 12 to 24 GHz High-Efficiency CMOS Power Amplifier
Ramesh K. Pokharel (Kyushu University)、H. Mosalam (Egypt-Japan University of Science and Technology)

[招待論文賞]

- 14 「複素振幅を扱うニューラルネットワークとそのエレクトロニクスにおける利点」の
背景と将来展望
廣瀬 明 (東京大学)

[学生奨励賞]

- 16 高密度光直接記録の高速化に向けた基礎検討
立澤 圭輔 (日本大学)
- 半波長ダイポール型レクテナからの高調波再放射特性の研究
川島 祥吾 (京都大学)
- 17 デュアルパラレル型電気光学変調器を用いた波長チャープ変調による 3 次相互変調歪補償
柏木 悠汰 (兵庫県立大学)
- 混合変調法による半導体レーザの変調特性制御
三枝 慈 (東北大学)
- 18 光プローブ電流センサ向け完全差動 CMOS アナログフロントエンドの設計
上倉 宇晴 (信州大学)
- 自動効率最適化回路を有する RF エネルギーハーベスティング回路の設計
小野寺 尚人 (東京大学)
-

【論文誌技術解説】

- 19 ELEX Review Paper の紹介
[ELEX 編集幹事] 飯塚 哲也 (東京大学)
- 20 英文論文誌小特集「Recent Progress in Electromagnetic Theory and Its Applications」の
企画内容と論文傾向
[EMT 研専前委員長、ゲストエディタ] 佐藤 源之 (東北大学)
[EMT 研専委員長、ゲストエディタ] 廣瀬 明 (東京大学)
-

【報告】

- 21 2017 年ソサイエティ大会のご報告
[大会運営委員長] 柴田 随道 (東京都市大学)
- 22 広範な分野をカバーする超高速光技術
[超高速光エレクトロニクス研究会 (UFO 研究会)] 西澤 典彦 (名古屋大学)
- 23 集積回路技術の転換点をリードする
[集積回路研究専門委員会 委員長] 日高 秀人 (ルネサスエレクトロニクス)
- 24 2017 年 磁気記録・情報ストレージ研究専門委員会の活動状況
[磁気記録・情報ストレージ研究専門委員会 委員長] 岡本 好弘 (愛媛大学)
- 25 APMC 国内委員会の活動紹介 – APMC 2018 のご案内 –
[APMC 国内委員会 委員長] 古神 義則 (宇都宮大学)
- 26 PIERS 国内委員会活動報告 : 2017 PIERS 国際会議報告と 2018 年日本開催 (富山) のご案内
[PIERS 国内委員会 委員長] 山崎 恒樹 (日本大学)
-

【短信】

- 27 2018 年総合大会へのお誘い
[大会運営委員長] 柴田 随道 (東京都市大学)
- [研究室紹介]
- 28 ポリマー光導波路デバイスの新展開をもとめて
石樽 崇明 (慶應義塾大学)
-

【お知らせ】

2018 年フェロー候補者推薦公募について
シニア会員の申請について
エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞について





【巻頭言】

「エレクトロニクスソサイエティの財務体質強化に向けて」 (エレクトロニクスソサイエティ副会長)

津留 正臣（三菱電機）



この度、エレクトロニクスソサイエティ副会長（企画広報財務担当）を拝命しました三菱電機の津留です。平成24年度から平成25年度まで和文C編集委員、平成26年度和文C編集幹事、平成27年度から平成28年度までエレクトロニクスソサイエティ企画会議財務幹事を務めてまいりました。よろしくお願いいたします。

エレクトロニクスソサイエティ（エレス）企画会議は、エレス全体の財務立案と把握、企画の取りまとめと発信、会員サービスの充実、対外広報などを担当しています。また、重要課題に対してはアドホック委員で構成されるタスクフォースを組織し、詳細な検討を実施しています。

現在のエレスの課題の一つとして、財務体質の改善及び安定化が挙げられます。米田元副会長、津田前副会長のもと財務体質改善に向けた中期計画を立案し、予算の精度向上、直轄事業費の緊縮を打ち出しました。皆様のご協力のもと、図1に示すようにエレスの収支は赤字から黒字へと変わり、着実に成果を収めてきています。

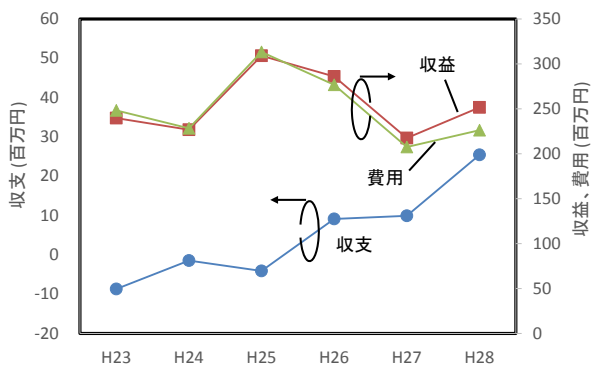


図1 エレス収支動向

エレスの主な収入源は、会員会費、研究会事業、論文誌事業となります。しかしながら、近年、会員数とともに会員会費は減少の一途をたどっています。また、研究会活動の改革や技報完全電子化の施策にとともに、収益モデルが変化しつつあります。現在の黒字収支が安定して継続できるかはまだ不透明な状況にあります。今後もエレスが発展し、よりよい会員サービスを提供するためにも、高い予算精度を維持し、費用削減の検討を継続することに加え、収

益を高める施策を実施し、さらなる財務体質の強化を図っていく必要があります。

会員数増加及び活動活性化に向けた施策として、エレクトロニクスソサイエティ賞の継続、エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞及び優秀学生修了表彰の継続、2014年度から電子化したエレス News Letter の記事の更なる充実、技報アーカイブシステムの運用、会員向け公開コンテンツ（ソサイエティプレナリーセッションでの特別講演ビデオなど）の配信等を行っております。今後も、費用対効果を検証しつつ、これらの施策を推進していきたいと考えています。

また、ぜひエレスホームページをご覧ください。上記表彰の公募や受賞者情報、News Letter 発行など新着情報を掲載しております。

<http://www.ieice.org/es/jpn/>



図2 エレスホームページ

さらに、海外会員の増加施策や他分野の方々の誘致など、エレス会員となる方々の範囲を広げていく必要があるのではないかと思います。具体的な施策はこれから検討していく必要がありますが、国際会議や他学会との連携などでエレスの良さをアピールしていきたいと思っています。会員数の増加により、会員会費による収益増大だけでなく、総合

大会やソサイエティ大会への参加・発表件数が増加し、各大会の収益増大や会員間の交流の拡大・研究活動の活性化を期待します。

また、エレスの在り方 WG と連携し、中期的収支の数値目標に対する達成度の検証、及び、必要に応じた同目標の修正、予算の実行状況と次年度予算案の精査、新たな増収施策についての検討と立案、フィードバックをかけやすい予算/決算審議運用などに注力していきたいと考えています。

財務体質の強化を図り、会員サービスの充実化を通して、企画会議としてエレス及び本会のさらなる発展に寄与していきたいと思っています。会員の皆様のご支援・ご協力を賜りたく、よろしくお願いいたします。

著者略歴：

平成 10 年九州工業大大学院・工学研究科電気工学専攻・博士前期課程修了、同年三菱電機(株)入社。以来、通信及びレーダ装置用マイクロ波/ミリ波回路の研究開発に従事。現在、同社情報技術総合研究所・マイクロ波技術部勤務。平成 16 年 本会学術奨励賞受賞。平成 21 年 IEEE MTT-S Japan/Kansai Chapters Young Engineer Award 及び Michiyuki Uenohara Memorial Award 受賞。平成 28 年 本会エレクトロニクスソサイエティ活動功労表彰受賞。平成 28 年 関東地方発明表彰 発明奨励賞受賞。平成 24 年～平成 26 年本会論文誌（和文 C）編集委員、平成 26 年～平成 27 年 本会論文誌（和文 C）編集幹事、平成 27 年～平成 29 年 本会エレクトロニクスソサイエティ企画会議財務幹事、平成 29 年～現在 本会エレクトロニクスソサイエティ副会長（企画広報財務担当）。博士（工学）。



【寄稿】(エレクトロニクスソサエティ賞受賞記)

電磁界理論およびマイクロ波分野

「人体マルチフィジクスシミュレーション技術の開発とその応用」



平田 晃正 (名古屋工業大学)

本会会員の専門である電子情報通信の要素技術を有機的に連携すれば、ヒトに係る物理現象を表現できる事例は少なくない。ヒトは電気信号で動いており、神経における信号伝搬は、伝送線路理論を用いて表現できる。また、各種ワイヤレス通信で用いられる電波など、我々の身の周りにはさまざま電波が飛び交い、複雑な電波環境が形成されている。電波環境下における体内誘導量は、ヒトを多数の誘電物質の集合体であるとみなすことで表現できる。

視点を電気・電子機器中心に置くか、それともヒトを中心に置くのかで、表現や、考え方、さらに中心となる学会すら変わるかもしれない。だが、昨今の計算科学、特にマルチフィジクス解析の進歩により、ヒト、デバイスを有機的に連携させシミュレートすることが可能となり、両者の垣根はなくなりつつある。マルチフィジクスシミュレーションの応用としては、人体の安全性、医療応用などが中心的課題となるが、双方のエンドポイントが医学分野との連携となると別の垣根が存在する。

医学分野におけるエンドポイントは、少なくとも物理量を知ることではない。むしろ、ヒトがどのような応答を起こすか、さらにはその応答閾値がどの程度なのかを明らかにし、それを活用することにある。生理応答と体内物理量の関係を知ることができれば、多くの問題は解決できるはずである。つまり、電気を中心とするマルチフィジクス解析と生理応答を結合させ、シミュレーションを真の意味で役立つ形にすることの学術的価値は高い。

では、これを解決するためのシミュレーションには何が必要なのか？ まず、物理解析、生理応答において共通なのは組織構成を考慮に入れた詳細な人体のモデル化である。次に、電磁界解析手法について考えると、高周波(概ね 100 kHz 以上)では、体外波源によって体内に誘導される物理量を求めるための全電磁界解析、低周波では準静近似に基づく電界あるいは磁界解析が必要となる。最後に、体内物理量に基づく生理応答の再現のための、統合解析である。

生理応答を再現するためには、高周波の場合には、体内

に吸収された電力による熱解析、発汗、血液の変化などのモデル化が必要となる。一方、低周波では、体外から照射された電流が一定レベルを超えると、刺激が生じる。そこで、体内に生ずる電流分布より、神経(直径: 1~20 μm)を伝搬する電気信号を表現するには、マイクロメートルの分解能でのモデル化が必要となる。つまり、高周波ではマルチフィジクスシミュレーション技術と生理応答を結合させた解析、低周波ではマルチスケールシミュレーション技術が必要となる。これら技術を高いレベルで開発できれば、多岐の応用を切り開くことができる。以下に、受賞業績であった解析における要素技術、さらには応用例について述べたい。

複合的な解析の精度を左右するのは、人体を模擬したモデルの精度となる。人体モデルの開発では、MR 画像などの医用画像に基づき、人体を構成する組織の同定が行われている。数ミリメートルオーダーの解像度のボクセルから構成されるようになったのは、1997 年英国のグループによる NORMAN が初めである[1]。その後、国内においても平均体型の日本人男女の数値人体モデル TARO および HANAKO が開発された[2]。応用目的として電磁界安全性評価を考えた場合、このような標準モデルは有効である。

一方、脳など個人差の大きい部位への外部からの電気・磁気刺激は、個体差によるばらつきが顕著であることが報告されており、個々人の人体モデルの構築、検証が必要とされる。脳組織に関するメッシュ生成は、MR における T1 強調画像からフリーソフト FreeSurfer により生成することが可能である[3]。また、MR 画像取得において T1 および T2 強調画像双方を用い、皮膚、頭蓋、脳髄液などのメッシュ生成が可能である。筆者らのグループも独自に開発したソフトウェアを用いて実施している[4]。

電磁界解析技術においては、その高精度化、高速化が結果の質、量を左右する。人体のような複数の組織から構成される媒質を扱う場合、その数値誤差を無視できないことが少なくない。特に、低周波解析では顕著になり、また、電磁界と個々のヒトとの相互作用は、ばらつきも大きく、

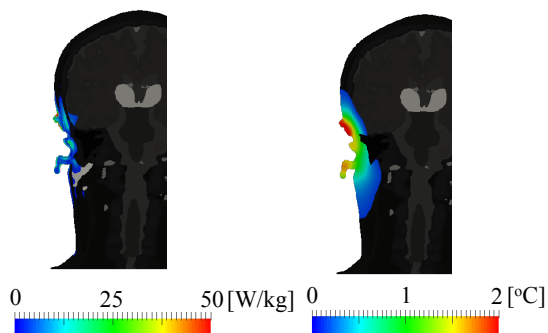


図 1 ダイポールアンテナにおける頭部局所ばく露による SAR (左) と温度上昇 (右)。周波数、3 GHz、耳介とアンテナまでの距離 25 mm。10 g 平均 SAR の空間最大は 10 W/kg。

様々な状況を考え、その計算結果を統計的に処理することが求められる。統計的に処理するには、従来解析法を問題に応じて簡略化し、計算精度を保ったまま高速化を実現することが必要となる。筆者らは、低周波から中間周波 (概ね 10 MHz 以下) において、他研究グループに比べて数十倍から数百倍の速度を有するシミュレータの開発に成功した。具体的には、周波数領域での電磁界解析手法として一般的に用いられるスカラーポテンシャル空間差分法あるいは有限要素法などにおいて、ボクセルから構築される人体のような不均質な媒質に対する適用例がなかった、幾何マルチグリッド法を適用する手法を考案[5]、また、モデル端部における誤差を取り除く手法として局所的な導電率の平滑化手法を導入[6]、高速化と高精度化を同時に実現した。

体内における熱計算では、血流の存在などにより、体内深部温度の変化を高精度に計算することは困難とされてきたが、熱拡散方程式と熱力学第一法則を満足するための補助方程式を連立させる手法を考案[7]、有効性を立証した。更には東北大学サイバーサイエンスセンターとの共同研究により、計算コードをベクトル化、並列化し、リアルタイム計算が可能なシミュレータを開発した。

上記開発技術の応用例を紹介したい。1 つめは、人体の安全性評価への応用である。電波防護ガイドラインに示された局所 SAR と温度上昇の最大値の相関がヒトを対象とした場合にどうなるかは、2000 年代まで十分な議論がなされていなかった。両者の分布は似ているものの異なる (図 1 参照)。これは、体内における熱の拡散によるものである。そこで、筆者は人体と携帯端末を模擬したアンテナの相対位置関係、周波数などを変化させ、数百にも及ぶ

場合に対して解析、得られた結果を統計的に処理した。その結果、局所を有限質量 (おおよそ 10 g) にわたり平均化した値と最大温度上昇には強い相関関係があることを明らかにした。10 g という質量は、一辺がおおよそ 22 mm の立方体に相当し、人体における電力吸収分布および生体組織における熱拡散長の影響を考慮すれば適切なことが示された[8]。IEEE 規格は、2005 年まで SAR の平均化質量を 1 g としていたが、この結果に基づき 10 g に変更し、国際ガイドライン間での調和がとれたことは特筆に値する。現在、第 5 世代無線通信システムの導入にあたり、電磁界安全性は解決すべき問題の一つであり、現在の筆者らのグループの研究課題の一つである[9]。

2 つめは、臨床への医療応用例である。脳外科手術前の検査では、コイルを用いた磁気による刺激装置の位置を変化させ、電流パルスを複数回印加する。その際、体表面に電極を貼付し、対象となる部位 (例えば手、足など) で MEP (Motor Evoked Potential: 運動誘発電位) が観測された場合には、脳内誘導電界が強く表れた位置と当該部位の筋肉の神経が繋がっていると推定できる。MEP が観測された場合の測定装置の位置、角度の情報を記録し、計算機上で同様の刺激を模擬することで、術前検査の精度を向上することができる。なお、MR 画像を用いた磁気刺激位置決定のためのナビゲーションシステムは複数商品化され、電気生理に関する研究などで頻用されている。図 2 は、左手親指において MEP が観測できた脳刺激サンプルのうち、振幅が大きくなった 3 サンプルについて電磁界解析を行ったものである[10]。結果は、脳内に誘導された電界の最大値でそれぞれ規格化している。図より、測定装置の位置および角度を変化させた場合、脳内に誘導される電流分布は異なることがわかる。また、ここでは示さないが、異なる被験者の脳を対象とした場合、同様に異なる脳内誘導電流分布が得られた。これらは脳の解剖学的な構造の差異によるものだと考えられ、このことから、外部装置からの磁気刺激では、パーソナル医療の必要性があることが確認される。さらには、脳腫瘍患者への適用事例でも、磁気刺激装置で刺激することで推定した手の運動野は、脳表直接電気刺激の結果と一致することを確認している[10]。

現在、あらかじめ膨大なシミュレーションを実施し、医用画像とともに機械学習することにより、脳内に誘導される誘導電界分布を推定する試みを実施している[11]。この膨大な計算については、高速電磁界解析技術が必要であるが、スーパーコンピュータの利用やハードウェアの更なる発展で解決されるであろう。

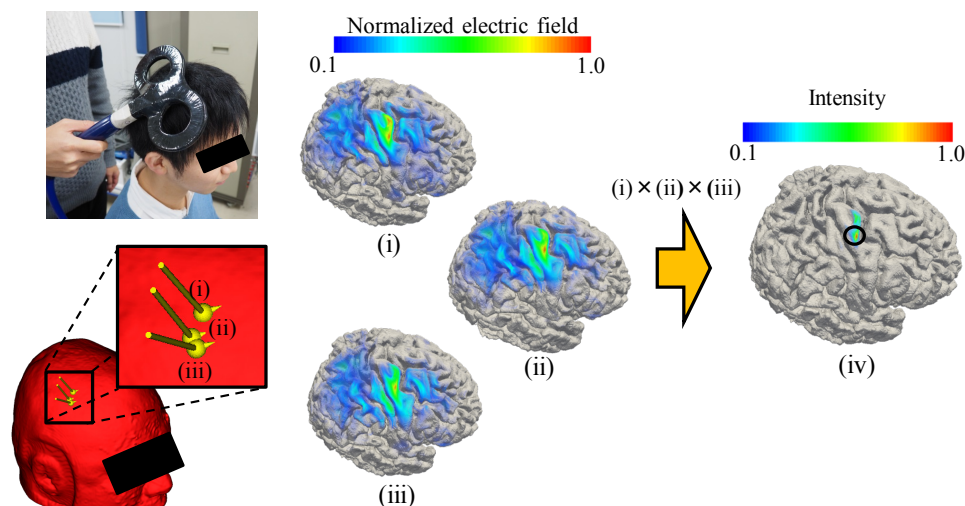


図2 経頭蓋磁気刺激法による刺激を計算機上で再現し、シミュレーションを行った例。複数回の刺激を実施し、左手親指でMEPが観測されたサンプル3点を抽出。その際の脳内電流をシミュレーションし(i, ii, iii)、重ね合わせることで、(iv)図における○の位置のように高分解能で手の運動野を推定。

参考文献

- [1] P. J. Dimbylow, "FDTD calculations of the whole-body averaged SAR in an anatomically realistic voxel model of the human body from 1 MHz to 1 GHz," *Phys. Med. Biol.*, vol.42, no.3, pp.479-490, 1997.
- [2] T. Nagaoka, S. Watanabe, K. Sakurai, E. Kunieda, S. Watanabe, M. Taki and Y. Yamanaka, "Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry," *Phys. Med. Biol.*, vol.49, no.1, pp.1-15, 2004.
- [3] B. Fischl, "FreeSurfer," *NeuroImage*, vol.62, no.2, pp.774-781, 2012.
- [4] I. Laakso, S. Tanaka, S. Koyama, V. De Santis, and A. Hirata, "Inter-subject variability in electric fields of motor cortical tDCS," *Brain Stimul.*, vol.8, no.5, pp.906-913, 2015.
- [5] I. Laakso and A. Hirata, "Fast multigrid based computation of induced electric field for transcranial magnetic stimulation," *Phys. Med. Biol.*, vol.57, pp7753-7765, 2012.
- [6] I. Laakso and A. Hirata, "Reducing the staircasing error in computational dosimetry of low-frequency electromagnetic fields," *Phys. Med. Biol.*, vol.57, no.4, pp.N25-N34, 2012.
- [7] A. Hirata and O. Fujiwara, "Modeling core temperature variation in the bioheat equation and its application to

temperature analysis due to RF exposure," *Phys. Med. Biol.*, vol. 54, no.10, pp. N186-196, 2009.

[8] K.R. Foster, M. C. Ziskin, Q. Balzano, "Thermal modeling for the next generation of radiofrequency exposure limits: commentary," *Health Phys.*, vol.113, no.1, pp.41-53, 2017.

[9] Y. Hashimoto, A. Hirata, R. Morimoto, S. Aonuma, I. Laakso, K. Jokela, and K. R. Foster, "On the averaging area for incident power density for human exposure limits at frequencies over 6 GHz," *Phys. Med. Biol.*, vol.62,no.8, pp.3124-3138, 2017.

[10] A. Hirata, "Electromagnetics in Medicine," *IEEE Pulse*, July-Aug issue, 2017.

[11] 平田晃正, 本谷秀堅, "電磁界シミュレーションと機械学習の融合によるパーソナル診断・治療の展望," *信学誌*, vol.100, no.5, pp.362-366, 2017.

著者略歴:

平成8年阪大・工・通信卒。平成12年同大学院博士課程了。博士(工学)。同年阪大・工・助手。平成16年名工大・准教授、現在教授。生体電磁気学、アンテナ、計算物理学などに関する研究に従事。平成26年本会論文賞、平成29年本会エレクトロニクスソサイエティ賞など各受賞。IEEEおよび英国物理学会 Fellow。



【寄稿】(エレクトロニクスソサイエティ賞受賞記)

光半導体およびフォトンクス分野

「分布帰還型レーザと青色発光素子の研究開発」

「Research and Development on Distributed Feedback Laser and Blue Light Emitter」

松岡 隆志 (東北大学 金属材料研究所)



第20回エレクトロニクスソサイエティ賞を頂き、大変光栄に存じます。研究の実施と本賞受賞に関しまして、学会の皆様および研究を支えて下さった皆様に深く感謝いたします。本賞の対象となりました光ファイバ通信用長波長帯 InGaAsP/InP 分布帰還型 (DFB) レーザと青色発光ダイオードに関する研究開発について以下に述べさせていただきます。

長波長帯 InGaAsP/InP 分布帰還型 (DFB) レーザ

1980年代前半までの光ファイバ通信システムにおける伝送速度は 400Mb/s であり、光源には波長 1.3 μ m のファブリ・ペロ (FP) 型半導体レーザが用いられていました。そんな中で、光ファイバの伝送損失が波長 1.55 μ m で最小となり、筆者の所属していた電電公社電気通信研究所において低閾値電流で動作する 1.55 μ m の FP 型レーザが、永井氏らによって開発されていました[1]。しかし、光ファイバにおける伝送速度の波長分散の影響のため、波長 1.55 μ m の通信システムは実用になっていませんでした。筆者の所属する半導体光素子研究室において、単一縦モードレーザを開発することになり、筆者に任されました。単一縦モードレーザの構造として当時考えられていたのは、分布帰還型 (DFB) レーザ[2]と分布ブラッグ反射型 (DBR) レーザ[3]でした。筆者は素子構造の単純さから DFB レーザを選択しました。DFB レーザの構造を図1に示します。素子構造において FP レーザとの違いは、共振器が波長フィ

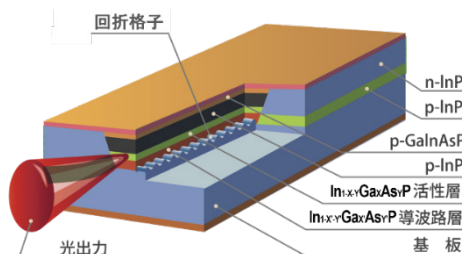


図1 DFB レーザの構造

ルタとして働く回折格子によって構成されていることです。1980年秋に研究を開始し、1981年7月に波長 1.55 μ m 帯 InGaAsP/InP からなる DFB レーザの室温連続発振に成功しました[4]。実用化に向けての技術開発項目は、InP 基

板表面への周期 240nm の回折格子の作製技術[5]と、回折格子上への InGaAsP 導波路層の結晶成長技術[6]でありました。回折格子の作製技術については、当時の電子ビーム露光 (EB) 装置のビームの位置制御の精度不足のため EB 装置を使用できず、二光束干渉露光法を用いることにしました。回折格子作製の再現性向上のため、膜厚 30nm のホトレジストの塗布装置、面内均一・再現性確保のための二流体方式のスプレー現像装置、および、直線平行である干渉縞を当時使用できた InP 基板サイズ 10×12mm を超える直径 1 インチ以上の露光面積を確保できる二光束干渉露光装置を開発しました。本露光装置には、波長 351.1nm の単一周波数で発振する紫外 Ar イオンレーザを導入しました。後にこの二光束干渉露光装置を外販しました。当時、InP 系材料のエッチングは湿式で行われており、塩酸系エッチング液が用いられていました。その場合、エッチングに伴い試料表面上での水素の気泡の発生およびエッチング速度の不安定性の問題を解決するために、飽和臭素水などからなるエッチング液を開発しました。回折格子作製の InGaAsP 導波路層の結晶成長においては、回折格子を形成したフォトリソグラフィプロセス後の結晶表面のクリーニングが課題でした。Si-IC プロセスで一般的に使用されていた酸素プラズマによるアッシングと、硫酸系エッチング液とを用いて、結晶成長に耐えるクリーンな表面を得ることができました。次の課題は、この回折格子上に波長換算 1.3 μ m のバンドギャップをもつ InGaAsP 導波路上へのエピタキシャル成長です。当時のエピタキシャル成長は水素雰囲気での成長炉中での液相成長でした。成長用原料の溶解中に、質量移動がおき、回折格子が消失してしまうことに気がきました。炉中にフォスフィンを導入し、基板表面に燐圧を印加することによって、回折格子の形状を保存できる技術を確認しました。以上の技術によって DFB レーザを作製できるようになりました。しかしながら、単一縦モード発振するレーザの歩留まりが高くありませんでした。レーザ端面での回折格子の位相によって、各発振モードの発振閾値に必要な利得が左右されることによっているこ

とを実験的に明らかにしました。この現象は、既に 1975 年に理論的に指摘されていました[7]。両端面でのミラーの反射率を非対称にすることによって、単一縦モード発振確率を 90%以上にできることを示しました。この概念は、現在製造されている $\Lambda/4$ シフト DFB レーザに発展しています。1987 年には、1.6Gb/s の伝送が電電公社によって実用化されました。その後、波長多重方式の概念が創出され、現在では、一波長あたりの伝送速度 100Gb/s の 100 波多重のシステムが実用化され、ファイバあたり 10Tb/s の伝送が可能となっており、高度情報化社会を支えています。

窒化物半導体

青色発光ダイオードの主たる構成要素である GaN の合成は 1932 年に始まり[8]、気相成長については 1969 年になされていますが[9]、長い間、高品質 GaN 薄膜は得られていませんでした。1986 年に、天野らによってサファイア基板上に表面の平坦な GaN 薄膜が、有機金属気相成長(MOVPE)法を用いてようやく成長されました[10]。キーポイントは、サファイアと窒化物半導体との間の橋渡し材料としての AlN バッファ層の導入[11]と、Si 基板上への GaAs 成長時に開発されたバッファ層の低温成長です[12]。ワイドギャップ半導体においては作製が難しいとされている p 型 GaN も、天野らによって、Mg のドーピングとその後の電子線照射による Mg の活性化によって 1989 年に作製されました[13]。Mg の活性化については、その後、中村らは、水素のない雰囲気におけるアニールによって、水素を脱離することによって p 型化できることを示しています[14]。この現象は、1983 年に報告されていた Si におけるアクセプタの水素パッシベーションの現象と同様です[15]。一方、筆者らは、高効率発光素子の実現に必須のダブルヘテロ(DH)構造の構築を念頭に置き、図 2 に示します $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{N}$ (以降、InGaAlN)を提案しました[16]。

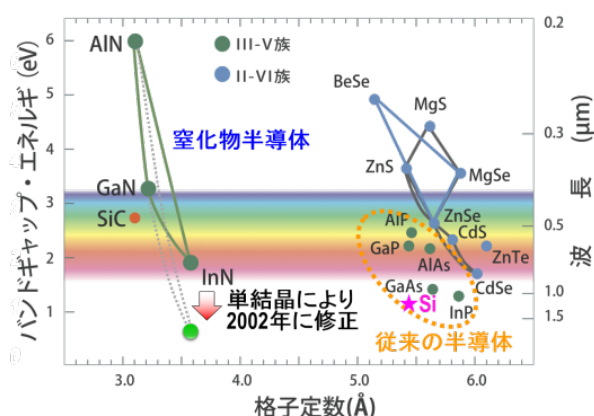


図 2 各種半導体の格子定数とバンドギャップ・エネルギー

化合物半導体を構成する 2 元素に、バンドギャップ・エネルギー E_g と、高品質結晶を積層するための格子定数を制御できる自由度を加える必要があるため 4 元素となるわけです[17]。青色発光材料として最も成長しやすいと思われる InGaN の成長は既に試みられていましたが、多結晶しか得られていませんでした[18]。InN と GaN における窒素の平衡蒸気圧の温度依存性を考慮すると、成長温度については GaN の 1000°C から 800°C へと低くし、窒素原料であるアンモニアと III 族原料との供給比については GaN の 1000 から 16000 程度へ大きくし、および、アンモニアの分解効率を上げるために原料輸送に通常用いられる水素ガスを窒素へ変更することによって、単結晶成長を実現しました[17]。これらの概念は、現在の LED の大量生産現場で用いられています。以上の技術を組み合わせて、中村らによって 1993 年に DH 構造の青色 LED が作製されました[19]。この青色 LED を光源とする白色 LED が、1996 年には板東らによって提案・作製されました[20]。この白色 LED は、蛍光灯に比べて高い効率と長い素子寿命から、広く照明に用いられています。2025 年には、全世界の照明の 55% が白色 LED 化すると予測されており、その省エネ効果は日本の総発電量に匹敵すると言われています[21]。

窒化物半導体において最も窒素平衡蒸気圧の高い材料である InN についても、単結晶が成長されるに至っています。InGaN の単結晶薄膜成長がなされた 1989 年に、純粋の InN の E_g は既に報告されていた多結晶 InN の E_g 約 2eV より小さいことを予測されていました[17]。単結晶 InN の E_g は、0.7eV 近傍にあることが、MOVPE 成長[22]と MBE 成長[23]のそれぞれの InN で示されました。その結果、窒化物半導体は、紫外から赤外までカバーできる材料となりました。現在、窒素平衡蒸気圧の高い材料の高品質化のために、加圧下で成長できる MOVPE 装置を開発し、研究を進めています[24]。しかしながら、InGaAlN の全組成域の結晶を使用できるわけではありません。構成元素の原子の大きさが大きく異なるため、図 3 に示すように大きな相分離があるためです[25]。

窒化物半導体は、現在では、高周波・高出力トランジスタとしても用いられるようになってきています。

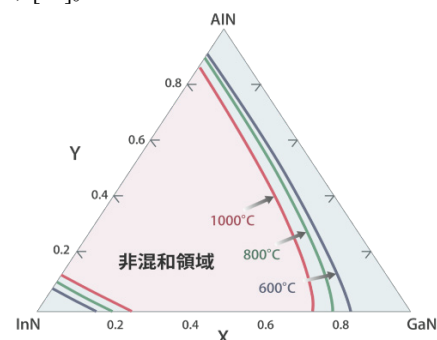


図 3 InGaAlN の相分離

実際、AlGaIn/GaN 高電子移動度トランジスタが携帯電話の基地局に使用されています。さらに、結晶材料の使い方の工夫によって、素子特性の向上も期待されています。例えば、図4に示すような結晶の極性[26]を考慮して高電子移動度トランジスタ（HEMT）を作製すると、表1に示すように極性に依存して HEMT の特性が変わります[27]。今後、成長法の工夫による材料の組成域の拡大などの材料物性の制御を考えると、窒化物半導体を用いた“ナイトライド・エレクトロニクス”のさらなる発展を期待できます。

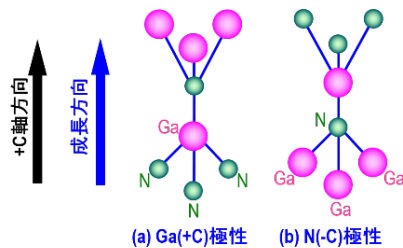


図4 GaN 薄膜成長と結晶極性

表1 結晶極性と HEMT の特性

極性	Ga極性	N極性
	HEMT	逆HEMT
HEMT 構造	AlGaIn GaIn GaIn	InGaIn AlGaIn GaIn
動作原理: この界面に発生する2次元電子ガスと呼ばれる電子層のオン・オフ	高温成長材料 低温成長材料	
作製プロセス	× (困難)	○ (容易)
界面特性	× (急峻性がない)	○ (急峻)
トランジスタのオン時の抵抗	× (高い)	○ (低い)
高速性	<< (電子移動度 GaN << InGaIn)	
オフ時の特性	× (ノーマリー・オン: 常に電流が流れる)	○ (ノーマリー・オフ?)

DFB レーザから窒化物半導体の研究開発の経緯について述べさせていただきました。ナイトライド・エレクトロニクスは、自動車などへの応用をはじめとして多方面に広がっています。今後も、システム応用を見据えて、材料から素子までの今までの経験を活かして研究を進め、エレクトロニクスの発展に寄与していきたいと考えております。

最後に、本賞にご推薦頂きました佐々木昭夫 京都大学名誉教授に感謝申し上げます。DFB レーザの研究にしましては元 電電公社 電気通信研究所 調査役 永井治男氏に、窒化物半導体の研究にしましては元 NTT 茨城電気通信研究所 光材料研究室長 宮下忠氏および元 NTT 先端技術総合研究所長 伊澤達夫氏に大変お世話になりました。ここに感謝申し上げます。また、私の学生時代の指導者でありました元 北海道大学 電子工学科 固体電子工学講座 助手の武笠幸一氏、および、電電公社において希望の研究分野に異動させて頂きました元 電電公社 武蔵野電気通信研究所 集積設計研究室長 長谷川欽一氏には、研究者としての助走を付けて頂きました。電電公社から

NTT において、多くの方々にご協力頂きました。あらためて感謝申し上げます。

参考文献

- [1] H. Kawaguchi et al., Electron. Lett. 15, 669 (1979).
- [2] H. Kogelnik and C. V. Shank, J. Appl. Phys. 43, 2327 (1972).
- [3] S. Wang, IEEE J. Quantum Electron. 10, 413 (1974).
- [4] T. Matsuoka et al., Electron. Lett. 18, 27 (1982).
- [5] T. Matsuoka and H. Nagai, J. Electrochem. Soc. 133, 2485 (1986).
- [6] H. Nagai et al., Jpn. J. Appl. Phys. 22, L291 (1983).
- [7] W. Streifer, IEEE Quantum. Electron. QE-11, 154 (1975).
- [8] W. C. Warren et al., J. Phys. Chem. 6, 2651 (1932).
- [9] H. P. Maruska and J. J. Tietjen, Appl. Phys. Lett. 15, 327 (1969).
- [10] H. Amano et al., Appl. Phys. Lett. 48, 353 (1986).
- [11] S. Yoshida et al., Appl. Phys. Lett. 42, 427 (1983).
- [12] M. Akiyama et al., Jpn. J. Appl. Phys. 23, L843 (1984).
- [13] H. Amano et al., Jpn. J. Appl. Phys. 28, L2112 (1989).
- [14] S. Nakamura et al., Jpn. J. Appl. Phys. 31, 1258 (1992).
- [15] J. I. Pankove et al., Phys. Rev. Lett. 51, 2224 (1983).
- [16] 田中秀尚 他, 特許 1985649 (1995.10.25).
- [17] T. Matsuoka et al., Inst. Phys. Conf. Ser. 106, 141 (1990).
- [18] K. Osamura et al., Solid State Commun. 11, 617 (1972).
- [19] S. Nakamura et al., Jpn. J. Appl. Phys. 32, L338 (1993).
- [20] 板東完治 他, 第 264 回蛍光体同学会講演予稿, 5 (1996).
- [21] R. Haitz and J. Y. Tsao, Phys. Status Solidi A 208, 17 (2011).
- [22] T. Matsuoka et al., Appl. Phys. Lett. 81, 1246 (2002).
- [23] J. Wu et al., Appl. Phys. Lett. 80, 3967 (2002).
- [24] T. Matsuoka, Proc. SPIE 7945, 7945-1 (2011).
- [25] T. Matsuoka, MRS Internet J. Nitride Semicond. Res.3, 54 (1998).
- [26] T. Matsuoka et al., Phys. Status Solidi B 243, 1446 (2006).
- [27] T. Matsuoka et al., Compound Semiconductor Week 2015, O2.2 (Santa Barbara, USA, June 28-July 2, 2015).

著者略歴:

1976 年北海道大学工学部電子工学科卒業。1978 年同大学大学院電子工学専攻修士課程修了、同年日本電信電話公社入社。以来、SOS を用いた IC、光ファイバ通信用単一縦モードレーザ、青色発光素子用窒化物半導体、および、高周波・高出力トランジスタの研究に従事 2005 年より東北大学金属材料研究所教授 博士(工学)。1984 年 ECOC Prize 受賞、2014 年応用物理学会フェロー表彰、2016 年日本結晶成長学会業績賞および赤崎勇賞受賞、2017 年文部科学大臣表彰科学技術賞受賞。応用物理学会、日本結晶成長学会、IEEE シニア、MRS、SPIE 各会員。



【寄稿】(エレクトロニクスソサイエティ賞受賞記)

回路およびエレクトロニクス分野

「多値 NAND 型フラッシュメモリと SSD システムへの応用に関する先駆的研究」

竹内 健 (中央大学)



この度、平成 29 年度のエレクトロニクスソサイエティ賞を頂き、誠に光栄に存じます。エレクトロニクスソサイエティの皆様、推薦いただきました方々、選考委員の皆様には心から感謝申し上げます。また、今回受賞の対象になった「多値 NAND 型フラッシュメモリおよび SSD システムへの応用に関する研究」は、中央大学、東京大学、東芝で実施したものです。研究をともに行った下さった学生、研究員、同僚や後輩、ご指導頂いた多くの上司や大学の先生方に深く御礼申し上げます。多くの方々と協力して研究を行うことで、とても一人では成し遂げられない成果を挙げることができました。

今回の受賞では、スマートフォン、タブレット、パソコンからデータセンタの記憶媒体として使われている多値 NAND 型フラッシュメモリとフラッシュメモリを組み込んだ SSD システムに関する研究成果を評価して頂きました。1993 年に東芝 研究開発センターに入社しフラッシュメモリの開発に携わり始めた時には、フラッシュメモリは 1 個のメモリセルに 1 ビットを記憶する SLC (Single-Level Cell) の 16M ビット品の量産が始まったばかり。フラッシュメモリは社会で広く認知されていたとは言いがたい状況でした。そのような全く新しい製品の立ち上げ期に、更に 1 個のメモリセルに記憶するデータを 2 ビット、3 ビットと増やす、多値フラッシュメモリを開発するという野心的な研究に取り組みました。今から考えても、かなり無謀な挑戦だったように思います。まだ世界にも競合と言えるほどの研究者がほとんどいない中、多値 NAND 型フラッシュメモリの基本的な回路動作や高信頼な書き込み方式などの研究を行いました。研究成果は 1995 年から 2000 年にかけて 6 年連続で Symposium on VLSI Circuits で発表することができました。その中でも 1997 年に発表したフラッシュメモリを高速かつ高精度に書き込み・読み出しを行うメモリ駆動方式: Multi-page cell architecture (K.Takeuchi, IEEE Symposium on VLSI Circuits, pp. 67-68, 1997)はその後に商品化された多値 NAND 型フラッシュメモリで使用され、デファクトスタンダード技術となりました。世界で初めての多値 NAND 型フラッシュメモリの実用化に成功し、

0.7 μ m 16M、0.4 μ m 64M、0.25 μ m 256M、0.16 μ m 1G、0.13 μ m 2G、56nm 8G ビット多値 NAND 型フラッシュメモリの商品化に携わることができました。これだけの成果を出すことができたのは、多値 NAND 型フラッシュメモリという新しいデバイスの開発に携われたことにあると思います。年々急成長するデバイスでありながら、競合があまり居ない。従って、何をやっても新しい成果になったと言っても過言ではない状況でした。その意味では単に幸運だっただけなのかもしれません。今や数多くの方がフラッシュメモリの研究開発をしています。もし私が今フラッシュメモリの研究を始めていたら、これほどの成果は出せなかったと思います。

ただ、私がフラッシュメモリの研究を始めた時は「トンネル電流を流して書き換えるために 20V という高電圧が必要なフラッシュメモリなど先がない」などと言われていました。将来性も不明確と考えられ、採算も赤字の会社のお荷物事業でした。しかし、今やフラッシュメモリは 15 ナノメートルまで微細化され、世界で最も微細化されたデバイスになりました。また市場も 3 兆円を超えるレベルまで成長しました。微細化が可能になった重要なポイントとして、「常識のウソ」があると思います。トランジスタを微細化するためには、電圧もスケールアップしなければいけないというのが Dennard のスケールアップ則です。一方、フラッシュメモリは書き換えにトンネル電流を使うため、書き換えの電圧を 20V 程度から低電圧化できません。この点からフラッシュメモリは微細化できず、将来性がないという人も多くいました。しかし、実際に 20V を印加する書き込み時にはメモリセルトランジスタは 2 端子のキャパシタとして動作し、3 端子のトランジスタとして動作する読み出し時は 0.5V 程度と低い電圧で動作することでスケールアップの問題を回避し、「低電圧化できないデバイスは微細化できない」という常識を超えていきました。当初は事業も赤字続きで常に部署も存亡の危機あるでしたが、リスクを取ってフラッシュメモリの研究開発に携わったことが結果的に報われた、と言えるのかもしれません。

その後、東京大学、中央大学に移り、フラッシュメモリ

自体とは一歩距離を置いて、フラッシュメモリを使いこなすためのコントローラ技術の研究を行いました。今回受賞対象になった論文の大半は、大学において書いたもので、今回の受賞は主に大学での成果を認めて頂いたものだと思います。

90年代にフラッシュメモリを開発していた時は、ちょうど日本の DRAM 産業が凋落していく時期と重なりました。ウインテルと言われたように、マイクロソフトやインテルに DRAM の仕様を牛耳られ、DRAM メーカーは単にデバイスを作るだけ。このようにコモディティ化されてしまっは、メモリメーカーは儲かるはずがありません。韓国メーカーなどに比べると製造コストが高い日本メーカーは1社、また1社と DRAM 事業から脱落していきました。2012年のエルピーダメモリの破綻により、日本からは DRAM メーカーは消滅しました。

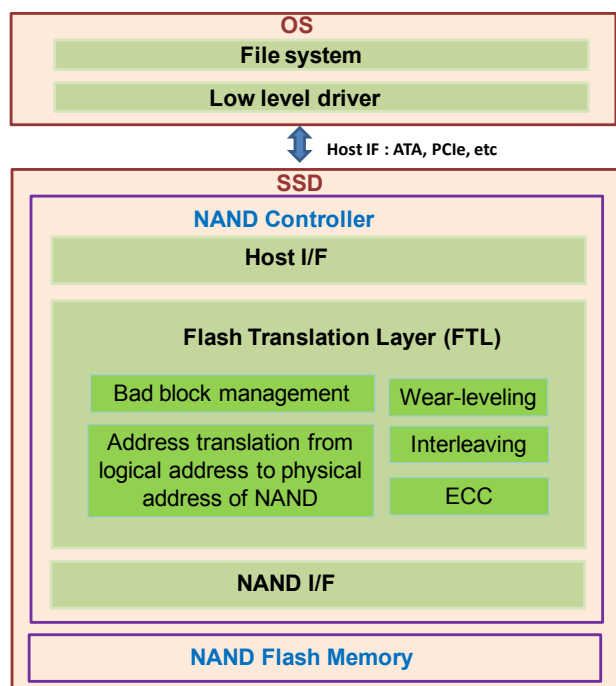


図1 SSD メモリシステム

このような DRAM の失敗を横で見ながらフラッシュメモリや SSD の開発を行っていました。そして、絶対に DRAM と同じことを繰り返してはいけない、と考えてきました。フラッシュメモリをコモディティ化しないための重要な鍵は、コントローラにあると考えています。図1に示すように、メモ리카ード、USB メモリから SSD まで、フラッシュメモリを使った製品には必ずコントローラが搭載されています。フラッシュメモリは書き換え回数が数千回と制限がありますので、同じメモリセルばかりに書き

込みが集中しないようにデータを制御するウェアレベリングやメモリのセラーを訂正する ECC（誤り訂正システム）、並列動作によって書き込みのスループットを向上させるインタリーブなど、様々な機能をコントローラに実装する必要があります。今やコントローラの優劣がフラッシュメモリを使ったメモリシステムの性能を決める、と言っても過言ではないでしょう。

コントローラを搭載する利点は、メモリの品質や性能を向上させるだけではありません。ホストの CPU がデータをやり取りするのはコントローラだけで、フラッシュメモリはいわば隠蔽されています。つまり、CPU ベンダや OS ベンダの意向に従って、フラッシュメモリの規格を決める必要はないわけです。フラッシュメモリが過度な価格競争に陥らず、コモディティ化を避けられている重要な理由は、ウインテルの呪縛を逃れるためのコントローラにあると考えられます。

2007年に私が大学に移ってから、フラッシュメモリが従来使われているメモ리카ード等の用途に比べると、将来のフラッシュメモリが使われるストレージなどのコンピューティング用途ではより高い信頼性が求められると考えました。また、コンピューティング用のコントローラに搭載されるプロセッサの計算能力も高まるため、かなり複雑な誤り訂正も実行可能になると考えました。ホストの CPU からコントローラにデータ処理をオフロードし、コントローラ、つまりメモリの近くでデータ処理をする考え方は現在では In-Storage Computing、Data Centric Computing、Near Data Computing とも言われています。大学に移ってからはストレージに向けて極めて高い誤り訂正能力を持つフラッシュメモリに適した ECC を研究開発し、集積回路分野のトップ学会である ISSCC（International Solid-State Circuits Conference）で2011年から2015年まで5年連続で発表を行いました。開発した ECC により、許容できるエラー率を一万倍以上に高め、劇的にメモリの信頼性を改善することに成功しました。こうしたコントローラ技術は今後、開発した技術がエンタープライズサーバー、クラウドデータセンタのストレージ（SSD）といった新市場にフラッシュメモリが使われることに貢献することを期待しています。

振り返ると、最初に携わったフラッシュメモリ製品は16Mビット品でした。現在のフラッシュメモリは512Gビットまで大容量化されています。実に容量が3万倍にも増えたわけです。しかし、増加を続けるビッグデータを記憶するメモリとしては、まだ容量が不十分です。これからも

メモリメーカーはフラッシュメモリデバイスの大容量化を続けていくと思いますが、それと同時にコントローラの進化も必要です。メモリセルが微細化、大容量化されるとメモリセルの間の干渉効果やランダムテレグラフノイズ（RTN）などが増加し、メモリデバイスだけで高い信頼性を担保できなくなるのです。これからもコントローラとメモリデバイスのより一層の協調・連携により、大容量かつ高速、低電力のストレージを実現していきたいと考えています。

著者略歴：

1991 年東京大学工学部物理工学科卒。1993 年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻修士課程修了。2003 年スタンフォード大学経営大学院 MBA 取得。2006 年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻 博士取得。1993 年から 2007 年まで東芝にて NAND 型フラッシュメモリの研究開発に従事。2007 年に東京大学工学系研究科電気系工学専攻 准教授、2012 年に中央大学理工学部電気電子情報通信工学科 教授。現在はビッグデータ向けストレージ、SSD メモリシステムなどの研究を行っている。登録特許は世界で 220 件。ISSCC2007 にて Takuo Sugano Award 受賞。



【寄稿】(2016 Best ELEX Paper 受賞記)

「RF Integrated Circuits」

(A 12 to 24 GHz High-Efficiency CMOS Power Amplifier)

Ramesh K. Pokharel (Kyushu University)

H. Mosalam (Egypt-Japan University of Science and Technology)



We would like to thank everyone for nominating and awarding our above-titled paper by the 2016 Best ELEX Paper. The research work recognized by such prestigious award will, of course, give us the future direction to focus more on the research and to be more ambitious. It is, in fact, a matter of pride, and I would like to thank everyone again who supported this research in different ways.

This paper is a result of joint-collaboration between Kyushu University, Japan and Egypt-Japan University of Science and Technology (E-JUST), Alexandria, Egypt. E-JUST is a university established in collaboration between the Government of Japan and Egyptian Government in 2010 which is located in New Borg El Arab city of Alexandria, Egypt, and Kyushu University is in charge of supporting to the department of Electronics and Communication Engineering of the E-JUST. As a support program, we dispatch two professors for teaching and research every year, and one in every semester. Other faculties from the Graduate School of Information Science and Electrical Engineering of Kyushu University will take care of supporting the research and supervising the M. S. and Ph. D. students as a co-supervisor visiting the E-JUST frequently and using online and interactive methods, and the most of the Ph. D. students enrolled in this department of the EJUST will visit Kyushu University to conduct the research for 9 months under their Ph. D. program. Furthermore, we have also developed a double-degree program for the Ph. D. students. Upon successfully completing this program, the student will be awarded by two Pd. D. degrees, one from each university.

The recognition of the work by this prestigious award shows our commitment to disseminating our knowledge as a member of the Consortium of the Japanese Supporting universities to the E-JUST. In this collaborative work, we have developed a high-efficiency broadband power amplifier (PA) operating from 12GHz to 24 GHz for possible application in future 5G wireless communication systems. The proposed PA was

fabricated using a 0.18 μm CMOS technology, which provides CMOS transistors with a cut-off frequency (f_t) of 50 GHz and oscillation frequency (f_{max}) of 55 GHz. Otherwise, a more advanced node of CMOS technology such as 90 nm or 65 nm which offers the transistors operating at much higher frequencies is suitable for such band application. However, the wafer cost increases by at least double in advancing from one generation node to next-generation node of the CMOS technology. Realization of system and system components in 0.18 μm CMOS technology compared to 65 nm CMOS technology is the cost-cutting way which is about three times cheaper than the later node. However, technology and design challenges remain intact to design the system components at quasi-millimeter wave band using 0.18 μm CMOS technology.

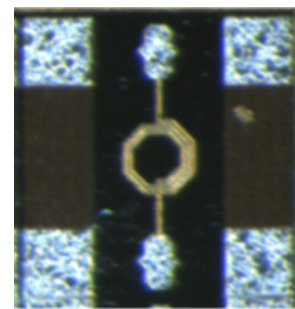


Fig. 1. An in-built spiral inductor.

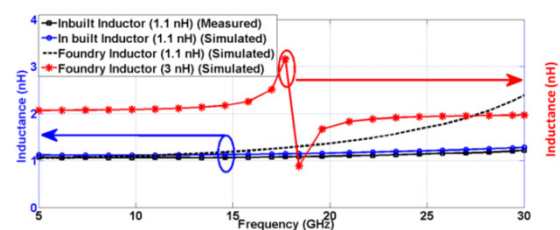


Fig. 2. Comparison of the inductance of inductor provided by the foundry and that of an inbuilt inductor.

A few of them are it is extremely difficult to achieve high output power and gain at the same time over a wide frequency

band due to the problem of low oxide breakdown voltage of deep sub-micron technologies. Therefore, small size cascode pairs with high drain to source breakdown voltage are used to reduce parasitics, and achieve a higher gain in this work. On the other hand, a spiral inductor provided by the foundry usually encounters a self-resonance at around quasi-millimeter wave band if the inductor is larger than 3nH as shown in Fig. 1. Furthermore, inductance values differ beyond 15 GHz. For example, a 1.1 nH foundry inductor, as illustrated Fig. 1, has a value of 1.3 nH at 15 GHz, and a value of 1.9 nH at 27GHz, which results in almost 80% error. This error further increases exponentially when the inductor is large. To overcome these two problems, all inductors used for the proposed PA were designed and extracted using an electromagnetic simulator. In addition, in order to test the extracted model of the-designed inductors, a 1.1 nH inbuilt inductor was fabricated separately and tested. The measurement results as shown in Figure 1 indicate good agreement between the extracted model, and the measured inductor where the error is almost within 6% till 30 GHz. However, the simulated 1.1 nH foundry inductor results deviate from the measured results starting from 15 GHz.

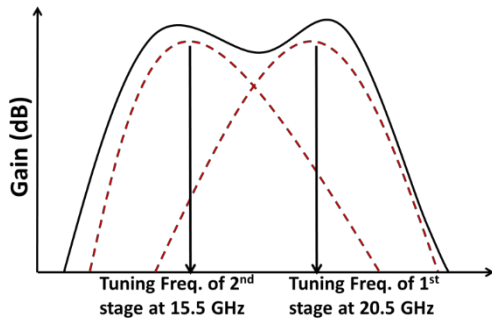


Fig. 3. Illustration of stagger tuning for the proposed PA where the center frequency of the first and second stage is approximately set to 20.5 and 15.5 GHz, respectively.

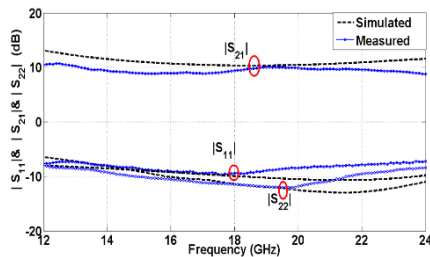


Fig. 4. Comparison of measured and simulated power gain ($|S_{21}|$) input return loss ($|S_{11}|$) and output return loss ($|S_{22}|$).

To achieve the broadband characteristic and to reduce group delay variations, the stagger-tuning technique is employed, where gain flatness is accomplished by using two different center frequencies at 15.5 and 20.5 GHz for the first and second stage, respectively, as shown Fig. 3. This gain flatness is accomplished by adjusting the width of transistors used, as these transistors control the current-gain cut off frequencies $\omega_{T1} = g_{m1}/C_{gs1}$, $\omega_{T2} = g_{m2}/C_{gs2}$ and $\omega_{T3} = g_{m3}/C_{gs3}$. The first stage (driver stage) consists of a cascode configuration as it achieves a high unilateral gain. The input impedance matching network formed by the gate inductor L_{g1} and capacitor C_{g1} is employed in order to realize wideband input impedance matching. The output of the first stage amplifier is passed to the second stage amplifier (power stage) through an inter-stage matching circuit formed by MIM capacitors C_{int} , C_2 and inductor L_{int} which is designed and optimized to achieve maximum PAE and output power, in addition to minimum group delay variation through the 12 to 24 GHz frequency band. As a result, the fabricated chip has very good gain performance as shown in Fig. 4, and it has the best Power Added Efficiency (PAE) of 26% and a group delay variation of 56 ± 20 ps.

Biography :

Ramesh K. Pokharel received M. E. and Ph. D. degrees from the University of Tokyo in 2000 and 2003, respectively all in Electrical Engineering. From 2003 to 2005, he was with Aoyama Gakuin University, Tokyo, Japan. In 2005, he joined Faculty in Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University as an Assistant Professor where he is currently a Professor. His current research interests include the low-cost RFIC and analog circuits for microwave and millimeter wave wireless communications, and integrated and compact wireless power transfer devices through the human body.

Hamed Mosalam received M. S. and Ph. D. Degrees from Egypt-Japan University of Science and Technology (Egypt) in 2013 and 2016, respectively all in Electronics and Communication Engineering. He is currently a researcher at Electronics Research Institute (ERI), Cairo, Egypt. He is interested in high speed and low cost radio-frequency integrated circuits in CMOS technology.



【寄稿】(エレクトロニクスソサイエティ招待論文賞受賞記)

招待論文「複素振幅を扱うニューラルネットワークと そのエレクトロニクスにおける利点」の背景と将来展望



廣瀬 明 (東京大学)

この度、本会エレクトロニクスソサイエティ (エレス) より 廣瀬明、丁天本の連名で執筆した招待論文「複素振幅を扱うニューラルネットワークとそのエレクトロニクスにおける利点」に対し招待論文賞という栄えある賞を賜りました。大変ありがたく、エレス、電磁界理論(EMT)研究会、さらには関連分野の情報システムソサイエティ・ニューロコンピューティング(NC)研究会の皆様にも、深く感謝申し上げます。今回ここに招待論文の背景など関連事項を記す機会にも恵まれました。ありがとうございます。

著者が複素ニューラルネットワークの論文発表を始めたのは、1990年代前半です。同じ時期に、米国では George M. Georgiou、Jacek Zurada、また欧州では Igor Aizenberg、日本でも Tohru Nitta らが論文発表を始めました。少し後に Danilo P. Mandic、Simone Fiori、Tülay Adalı と Simon Haykin ら、多くの研究者が発表を始めました[1,2]。

科学技術の重要な展開は世界同時に発生することが多い。これは、学生時代に所属研究室 (東大、大越・菊池研) で行ったコヒーレント光通信の研究の中で感じましたが、ここでも同様のことが起こりました。もっとも、複素ニューラルネットワークの研究では、研究者それぞれの目的・目標に大きな相異・個性があり、ニューラルネットワーク研究の幅の広さを実感しました。それは活性化関数の構成方法やネットワークとしての総合的な評価の仕方まで、様々な点で多様な展開を生みしました。

著者にとっての複素ニューラルネットワークは、電気電子情報のシステムが複素振幅を扱うにあたって好ましい汎化特性を得るためのニューラルネットワークです。すなわちそこでの複素表現された情報とは、たとえば通信の送受信シンボルを複素平面上のコンステレーションで議論する際の信号と同一です。提案当時には、量子ニューロデバイスや光波ニューラルネットワークの効果的な実現を目指して、これを提案しました。また電子回路での利用、特に搬送波を有する高周波回路での利用も重要です。この立場は上にあげた研究者の中では George Georgiou が近い考え方を持っていることを 1993 年の国際会議で出会って知り、感激しました。すぐに意気投合し、情報交換するよ

うになりました。(当時はすでに e メールは普及しており、モザイクという名前のブラウザで画像情報がほとんどないウェブページを閲覧していました。) 後に気付いたのですが、その流れは一面では米国の Bernard Widrow らが 1970 年代に提案した複素最小二乗法にも遡るものでした。

複素ニューラルネットワークの利用分野は多岐にわたります。ここではそのうち著者らの関わったものからいくつかを取り上げてみます。

まずは最初期の光波ニューラルネットワークです。光情報処理は 1980 年代を中心に盛んに研究され、製品としても大規模行列演算を高速に行うパーソナルコンピュータ(PC)用ボードがイスラエルの会社から販売されるなどしました。もっとも原理的にはハードウェアとしての問題点があることが指摘され、なかなか解決は難しいと考えられます。それは、いわゆる望遠鏡効果です。光は電荷を持たず高速演算が可能で空間伝搬では並列化にも適していますが、光波の進行方向にどうしても大きなハードウェアになってしまう、という点です。われわれは、それ以外の点を究極まで伸ばしてゆこうと考えました。光波空間並列処理にキャリア周波数依存性のある複素ニューラルネットワークによる学習の考えと理論を持ち込んで、学習で光周波数多重処理を実現するシステムです[3]。(具体的に思い描いていただくため、いくつかの論文引用をお許ください。) これによって、コヒーレントな光波情報処理の最終的にありうる姿を示すことができたと考えています。

次の応用分野は、現在もっとも展開が行われている偏波干渉合成開口レーダです。人工衛星や航空機に合成開口レーダを搭載して情報を収集し解析する技術は近年急速に高度化しています。その需要も大きく、災害把握とモニタリング、森林や海洋の観測による地球環境保全、農作物の評価と監視など枚挙にいとまがありません。そのための高度なビッグデータ処理も開拓されています。近距離レーダによる自動運転やセキュリティ確保用イメージングも大きく展開しています。超音波も利用されます。いずれも社会に大きな影響を与えようとしています。アクティブなレーダでは、コヒーレントな電磁波でイメージング/セン

シングを行うことにより、通常のカメラでは得られない種類の対象情報を得ることができます。すなわち、位相や偏波です。そこに適切なニューロ的適応性を導入できれば、それらの活用分野は質的に転換し全く広いものになります。これを実現するものが、複素ニューロです。位相を観測することにより地表の高さ(地形)を詳細に得ることができますが、コヒーレントな観測では干渉性雑音・歪みが発生します。複素ニューロによりこれを適応的に除去できます[4]。偏波を利用すると土地利用や農作物情報が得られます。ここでも複素数の拡張版である四元数を使った四元数ニューラルネットワークによって、あたかも偏波が見える人間が考えたかのようにするであろう分類やカテゴリ作りを実現することができます[5]。従来、偏波合成開口レーダでは森林と街区の区別が難しい場合が少なくありませんでした。しかしこの方法によれば、森林と街区の区分が正確になり、さらに街区の中にも小さい建物が多い住宅地と大きな建物が構成する工場地区という新たなカテゴリを自動的に作って分類することも可能です[6]。従来にない「人間的な」解析を可能にしました。

最後に最近展開が始まった分野として、無配線コンピュータ・デバイスを取り上げます。多くの半導体技術者の尽力でトランジスタ 1 つひとつはどんどん小さくなっています。トランジスタを構成する原子の数も数えるほどになり、いわゆるムーアの法則の限界がやっと現実になり始めています。すなわち、特性のばらつきが極端に増大してロジック回路は結局、働かなくなります。その結果、学習や自己組織化を基盤にするニューラルネットワークに基づく情報処理フレームワークの採用が必須になります。またフォン・ノイマン型コンピュータにしろニューラルネットワークにしろ、配線爆発は常に最大の問題です。トランジスタが小さくなるにしたがい、配線が占める割合はむしろ一層増大します。物理的に配線しないで情報処理を行うことが可能であれば、理想的です。しかし配線を行わずにコンピュータが実現できるのか。そこに、波動を利用するニューラルネットワークが登場します。たとえばスピン波を利用したリザバー（溜め池）を準備しておき、ここで非線形性なども利用しながら時系列入力信号を高次元の情報空間に写像します。この「波動溜め池」がリザバー・ニューラルネットワークとして働きます[7]。その溜め池から適応的に信号を取り出し、所望の出力を合成します。このデバイスの中心であるリザバー部分は配線無しで情報処理を行います。消費電力を極めて低く抑える可能性もあります。現在のディープラーニングを行う

マシンなどが抱える問題を解決します。もっとも、溜め池の規模を小さくした場合には、得られる解出力は、精度の点でディープラーニングのとことん学習を行うシステムに比べれば劣ることになるかもしれません。しかし、ある程度良い解を高速に出す、という動作はまさに人間の行動であり、そして人工ニューラルネットワークが本来目指してきたものでした。この意味でも、AI やニューラルネットワークのここ十年程度の進展とは方向を異にする、新たな展開をもたらすものになると考えています。

複素振幅を扱うニューラルネットワークとそのエレクトロニクス利用は、まだまだこれからの科学技術です。皆様の引き続きのご支援・ご参加を切にお願い申し上げます。

参考文献

- [1] 廣瀬明、「複素ニューラルネットワーク [第 2 版]」SGC ライブラリ 126、サイエンス社 (2016)
- [2] A.Hirose, "Complex-Valued Neural Networks, 2nd Edition," Springer, Studies in Computational Intelligence, (2012) Memorial 400th volume of SCI
- [3] S.Kawata, A.Hirose, "Frequency-multiplexing ability of complex-valued Hebbian learning in logic gates," International Journal of Neural Systems, 18, 2 (2008) 173-184
- [4] R.Yamaki, A.Hirose, "Singular unit restoration in interferograms based on complex-valued Markov random field model for phase unwrapping," IEEE Geosci. and Rem. Sens. Lett., 6, 1 (2009) 18-22
- [5] F.Shang, A.Hirose, "Quaternion Neural-Network-Based PolSAR Land Classification in Poincare-Sphere-Parameter Space," IEEE Trans. on Geosci. and Remote Sensing, 52, 9 (2014) 5693-5703
- [6] H.Kim, A.Hirose, "Unsupervised Fine Land Classification Using Quaternion Auto-Encoder-based Polarization Feature Extraction and Self-Organizing Mapping," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, to appear
- [7] R.Nakane, G.Tanaka, A.Hirose, "Reservoir Computing with Spin Waves Excited in a Garnet Film," IEEE Access, to appear.

著者略歴：

1987 年東大大学院電子工学専攻博士課程中退、同年 東大先端科学技術研究センター 光デバイス分野・助手。同大新領域創成科学研究科基盤情報学専攻を経て、現在、東大大学院電気系工学専攻・教授。本会エレクトロニクスサイエティ（エレス）賞、エレス招待論文賞などを受賞。日本神経回路学会(JNNS)会長、アジア太平洋神経回路学会(APNNS)初代会長、本会エレス副会長（編集出版担当）などを歴任。IEEE フェロー。

「高密度光直接記録の高速化に向けた基礎検討」

立澤 圭輔（日本大学）

この度は名誉あるエレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞を授与頂き、大変光栄に存じます。ご推薦下さいました学会関係者の皆様方には深く御礼申し上げます。

今回受賞対象となりました「高密度光直接記録の高速化に向けた基礎検討—複数の入射波長に対する局所円偏光生成—」は、磁気記録速度の限界を打破し、更なる高速化の実現可能性を明らかにした報告です。現在、磁気記録分野では磁性材料の磁気共鳴による律速で記録速度は理論的な限界に達しつつあります。そのため次世代の超高速磁気記録方式として、高強度な円偏光照射により磁化の向きを制御する光直接記録が注目されています。我々は、現行方式に対して最大 10 万倍の高速化と数倍の高密度化が実現可能な、ナノアンテナと粒子状記録媒体を用いた方式を検討しています。本報告では、記録速度の更なる向上を目的に、様々な入射光に対して局所円偏光を生成するナノアンテナを設計し、その偏光評価を行いました。特定波長のみに反応するアンテナを最適設計することで、局所円偏光生成に利用する入射光に選択性を持たせたことが特徴です。入射光の波長を変化させて行った電磁界解析では、最適設計されたナノアンテナでのみ局所円偏光の生成が確認されました。このことはアンテナを複数利用した同時記録の実証につながり、光直接記録の更なる高速化の実現可能性を示しました。

今回の受賞を励みとして、一層の精進を重ねていく所存です。今後とも皆様のご指導ご鞭撻の程、何卒宜しくお願い申し上げます。最後に、指導教員の大貫進一郎教授をはじめ、本研究で大変貴重なご助言を頂いている共著者の方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

著者略歴：

平成 26 年日本大学理工学部電気工学科卒業、同年、同大学院理工学研究科博士前期課程電気工学専攻に入学、平成 29 年同大学院修了。現在、株式会社 SUBARU に在籍。平成 28 年度電子情報通信学会電磁界理論研究会学生優秀発表賞を受賞。



「半波長ダイポール型レクテナからの高調波再放射特性の研究」

川島 祥吾（京都大学）

この度は名誉あるエレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞を授与いただき、大変光栄に存じます。ご推薦下さいました学会関係者の皆様、また日頃からご指導頂いております篠原真毅教授、三谷友彦教授には厚く御礼申し上げます。

私達の研究室では、マイクロ波電力伝送（MPT）をテーマとして研究を行っています。他の無線給電方式に比べた MPT の特徴の一つとして、遠方に高効率送電が可能である点や、送電方向を可変化できる点があります。このとき用いられる技術が「レトロディレクティブ」で、これは受電対象が送信するパイロット信号の到来方向に電力を送り返す技術です。私達が提案した「高調波利用型レトロディレクティブ」とは、受電対象のレクテナ（アンテナ+整流器）がマイクロ波を整流する際に発生・再放射する高調波をパイロット信号として適用するものです。従来法に比べ、受電側にパイロット信号源が不要になり、対象の簡易軽量化が可能になります。

本研究は、半波長ダイポール型レクテナからの高調波再放射特性把握のために電磁界シミュレーション・実験を行いました。半波長ダイポール型レクテナからは、二次・三次高調波はそれぞれ、1 波長・3/2 波長ダイポールアンテナのように放射することがシミュレーションで示され、実験においても合致する結果が得られました。またレクテナをアレイ化した場合の再放射パターンに関して、アレイファクタ計算に従う実験結果が得られ、設計において、高調波再放射パターンを予測できる可能性を示しました。この結果は今後のシステム構築に対して有用な設計指針となると考えております。

今回の受賞を励みに、より一層精進を重ね、研究に努めたいと思います。今後とも皆さまのご指導ご鞭撻のほど、どうぞよろしくお願いいたします。

著者略歴：

平成 28 年京都大学工学部電気電子工学科卒業、同年より同大学院理工学研究科電気工学専攻博士前期課程所属、マイクロ波無線電力伝送の研究に従事。



【寄稿】 学生奨励賞受賞記

「デュアルパラレル型電気光学変調器を用いた 波長チャープ変調による 3 次相互変調歪補償」

柏木 悠汰（兵庫県立大学）

この度は名誉あるエレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞を授与して頂き、大変光栄に存じます。ご推薦して頂いた学会関係者の皆様方、また、本研究を進めるにあたりご指導頂きました兵庫県立大学の榎原晃教授、河合正准教授、ならびに関係者の方々に厚く御礼申し上げます。



今回受賞対象となりました研究発表は、電気光学変調器における非線形歪みを光学的に補償する新たな方法の報告です。電気光学変調器は高速動作が可能のため、主に光ファイバ通信システムなどで用いられています。今後は、さらなる通信容量の増大に対応するため、より高精度で高性能な光変調動作が求められています。本研究では、その電気光学変調器の応答特性の非線形性に起因する歪みの発生を光学的に補償することを目的としています。

非線形歪みの中で 3 次相互変調歪（IMD3）は信号成分の近傍に発生するため、システムなどに悪影響を及ぼすおそれがあります。そこで、波長チャープ変調を行う 2 つの電気光学変調器から構成されるデュアルパラレル型マッハツェンダー光変調器（DPMZM）構造を用い、2 つの変調光スペクトル間の干渉により IMD3 成分のみを選択的に補償する方法を提案しました。そして、その動作原理を明らかにし、さらに、実際に DPMZM を用いて歪み補償動作を実験により検証しました。その結果、通常の構成の電気光学変調器に比べて 20dB 以上の IMD3 成分の抑圧が可能であることを確認できました。今後は、歪み抑圧性能の向上や信号伝送性能の評価を進めていく予定です。

今回の受賞を励みとして、本研究を発展させ、高性能で実用性の高い光変調器を実現し、エレクトロニクス分野に貢献できるよう、より一層研究に邁進いたしますので、今後ともご指導を賜りますようお願い申し上げます。

著者略歴：

平成 29 年兵庫県立大学工学部電子情報電気工学科卒業。同年より、兵庫県立大学大学院工学研究科電子情報工学専攻博士前期課程在籍。現在、電気光学変調器の研究に従事。

「混合変調法による半導体レーザーの変調特性制御」

三枝 慈（東北大学）

この度は名誉あるエレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞を授与頂きましたこと、大変光栄に存じます。ご推薦頂きました学会関係の皆様方に心から御礼申し上げます。また、本研究を進めるにあたって終始ご指導を頂きました八坂洋教授、ならびに関係の皆様方に厚く御礼申し上げます。



今回受賞対象となりました「混合変調法による半導体レーザーの変調特性制御」は、これまでに私達の研究室が進めてきた、直接変調レーザーの変調可能帯域向上のために必要な基本技術の一つです。近年、直接変調レーザーの変調可能帯域を拡大する手法として、光子共鳴効果と呼ばれる小信号応答特性上の高周波領域に誘起される第二の共振状ピークを利用して、変調可能帯域を拡大する手法が注目されています。しかし、直接変調レーザーは高周波領域における変調感度が急激に低下するという特性を有するため、光子共鳴効果を利用しても十分な帯域拡大効果が得られないという課題がありました。そこで私達は、光子共鳴効果の帯域拡大効果を十分に得るためには、高周波領域の変調感度の低下を抑制することが重要であると考えました。本研究で提案した混合変調法は、半導体レーザーの印加電流に加え、新たに半導体レーザーの共振器内部損失を同時に変調することで、小信号応答特性の平坦性を維持したまま、高周波領域における変調感度劣化の大幅な抑制に成功しました。本変調法は、超高速半導体レーザーの実現に有用な技術であると考えております。

最後になりましたが、この受賞を励みにして引き続き光通信のフィールドで研鑽を積んでいきたいと思っております。

著者略歴：

2017 年 東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年、日本オクラロ株式会社に入社。現在に至る。2016 年度 電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ レーザ量子エレクトロニクス研究会 奨励賞受賞。

【寄稿】学生奨励賞受賞記

「光プローブ電流センサ向け完全差動 CMOS アナログフロントエンドの設計」

上倉 宇晴（信州大学）

この度は名誉あるエレクトロニクスソサエティ学生奨励賞を授与いただき、大変光栄に存じます。ご推薦くださいました学会関係者の皆様には厚く御礼申し上げます。また、日頃より熱心にご指導頂いております指導教員の宮地幸祐准教授、ならびに関係者の方々に心より感謝申し上げます。



今回受賞対象となりました「光プローブ電流センサ向け完全差動アナログフロントエンド(AFE)の設計」は、パワーエレクトロニクスにおける大電流計測用途を目的として研究されている光プローブ電流センサに向けたアナログ信号処理回路の設計に関する報告であります。近年の、高速な半導体デバイスの発展に伴い、パワーエレクトロニクスにおける高速スイッチングする大電流測定の需要は高まっています。しかし、現行のホールセンサは、磁気ヨークの鉄損による発熱により高周波測定が困難という問題があります。そこで高周波の電流計測時の発熱が少なく、非接触での測定が可能な電流センサとして磁気 Kerr 効果を用いた光プローブ電流センサの研究が進められています。光プローブ電流センサでは、磁気光学効果により被測定電流に応じて変化する光信号をフォトダイオード(PD)により電流に変換、Trans-Impedance Amplifier (TIA)によって電流電圧変換することで電圧信号を得ます。1 μ A 程度の光電流を電圧に変換するために AFE 回路には高い変換利得が要求されます。また、センサ全体の帯域は、TIA が安定動作する帯域によって制限されます(PD の接合容量が大きく帯域は 1MHz 以下)。そこで Regulated Cascode (RGC) amplifier を PD と TIA の間に挿入することで、巨大な PD の容量と TIA を分離し、TIA の安定動作周波数の広帯域化することで全体の広帯域化を図りました。

今回の受賞を励みとして、より一層の精進を重ねて参ります。今後とも皆様のご指導ご鞭撻のほど、どうぞよろしくお願い申し上げます。

著者略歴：

2016 年信州大学工学部電気電子工学科卒業、2017 年現在、同大学総合理工学研究科工学専攻修士課程在学中。

「自動効率最適化回路を有する RF エネルギーハーベスティング回路の設計」

小野寺 尚人（東京大学）

この度は非常に名誉ある電子情報通信学会・エレクトロニクスソサエティの学生奨励賞を頂くことができ、大変光栄に思います。

私達の研究室では、極低消費電力で動作するアナログ LSI の研究を行っております。本研究では電池不要なセンサノードの実現を目指し、マイクロ波による電波給電を行うための電源マネジメント回路の設計を行いました。電波によって給電可能な範囲を広げるためには、電源回路の感度を向上させることが重要となります。また、強度の低い電波によって電源の自給及びコールドスタートを実現するためには、数 μ W という非常に低電力での回路動作を行わせる必要があります。そこで本提案では給電効率を自動で最適化する制御回路を設計し、なおかつその制御回路を主負荷を駆動するストレージ容量とは分岐したストレージ容量によって起動することで、全体の充電を高速化する手法を提案いたしました。

現在はこの回路を詳細に計測し、提案の有効性を検証しております。整流回路の特性をより詳しく調べることで、更なる効率改善が可能になると考えております。

エネルギーハーベスティング技術はまだ未成熟な分野ではありますが、デバイスが今後更に小型・省電力化していくことで、いずれはエネルギーハーベスティングによるバッテリーレスなセンサやマイクロコントローラーが実世界で稼働するようになるのではないかと思います。将来そのような製品が、まだ誰も思いつかないようなアプリケーションを生み出し、その土台となっていくと思うと、研究に関わる一員として非常に楽しみに思います。

最後となりますが、ご指導いただきました桜井先生、高宮先生、研究室の皆様、ならびに受賞にご推薦頂きました学会関係者の皆様に、心から御礼申し上げます。

著者略歴：

平成 28 年東京大学電気電子工学科修了、同年同大学院工学系研究科電気系工学専攻入学。同大学生産技術研究所桜井・高宮研究室に所属し、エネルギーハーベスティング用電源回路の研究に従事。





【論文誌技術解説】

「ELEX Review Paper の紹介」 (ELEX 編集委員会)

ELEX 編集幹事 飯塚 哲也 (東京大学)



電子情報通信学会のオンラインレター誌である Electronics Express (ELEX)では、年に数回程度、エレクトロニクス分野における注目のテーマを選定して数編のレビュー論文を掲載しています。多岐にわたり進展が著しいエレクトロニクス分野において活発な研究分野をご紹介するために2011年度から開始された本施策も20回を超えました。これまでレビュー論文執筆をご快諾いただきました皆様に改めまして感謝申し上げます。これまでに取り上げたテーマを下記にご紹介いたします。

- ・テラヘルツ技術
- ・光通信技術
- ・メタマテリアル
- ・不揮発性メモリ
- ・超伝導エレクトロニクス
- ・フォトニクス
- ・受動マイクロ波回路
- ・フォトニック結晶
- ・太陽電池
- ・パワー半導体デバイス
- ・ワイヤレス給電
- ・集積回路
- ・先端 Si デバイス
- ・環境発電デバイス
- ・Si フォトニクス
- ・3D 集積デバイス
- ・先端ミリ波技術
- ・光インターコネクト
- ・化合物半導体デバイス、回路技術
- ・ハードウェアセキュリティ

いずれのレビュー論文も各分野の第一人者にご執筆いただき、当時の最新技術が分かりやすく解説、比較されております。最先端の技術動向把握や自身の研究成果との比較に最適な内容となっており、論文執筆や技術報告をされる際の引用文献として極めて有用ですので、是非レビュー論文の内容を皆様に一読いただければと思います。ELEX のレビュー論文には WEB ページの“Review Paper”からアクセスできます(<http://www.elex.ieice.org/>)。レビュー論文に限らず、ELEX に掲載される全ての論文は、閲覧、ダウンロード共に無料となっておりますので、お気軽にアクセスいただければ幸いです。

最近のレビュー論文として、10 月に「フレキシブルエレクトロニクス」に関する特集を行いましたのでこの場を借りてご紹介させていただきます。「フレキシブルエレクトロニクス」は、その柔軟性による応用可能性の広さはもちろんのこと、低コストでの製造が可能である事や大面積での実装が容易である事から、これまでの「堅い」半導体

による集積回路技術とは異なり、複雑な形状の物体への接触が容易である事を生かしたセンサ応用や、生体への埋め込みや皮膚への貼り付けによる生体信号の取得など、IoT 技術の発展とともにその技術開発には期待が高まっております。特に近年フレキシブル基板上でのデバイス開発技術は大きく進展し、より高速の情報処理や通信が可能となっているとともに、受発光素子の効率・寿命の改善など、数多くの成果が報告されております。また、柔軟でかつ低コストで製造・加工が可能な液晶ポリマの高周波特性に着目し、同基板上に低損失のミリ波デバイスを実装した例が近年数多く報告されており、高効率かつ低コストな通信デバイスの製造技術実現に向けた期待が高まっております。

このように、近年進展が著しい「フレキシブルエレクトロニクス」に関して、この分野を先導される3名の方にレビュー論文をご執筆いただきました。1件目は株式会社フジクラの細野亮平様に、柔軟な液晶ポリマ基板上へのミリ波デバイスの実装に関して、最新の研究開発の状況について具体例を交えて解説いただきました。2件目は大阪大学大学院工学研究科の梶井博武先生に、有機受発光素子による光通信・センサデバイスについて、その基礎と将来展望をまとめていただきました。3件目は大阪大学産業科学研究所の吉本秀輔先生に、生体信号モニタに向けたフレキシブルデバイスの応用について最新の研究動向を詳しくご紹介いただきました。ご多忙にも関わらず、素晴らしい論文をご執筆いただきました梶井先生、吉本先生、細野様に心より御礼申し上げます。

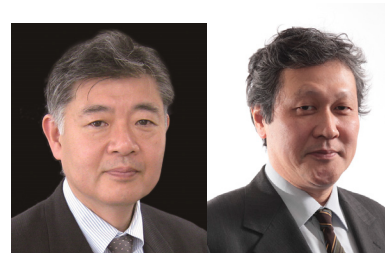
ELEX では、今後も会員の皆様にとって魅力あるテーマを取り上げ、レビュー論文を企画して参ります。どうぞご期待下さい。

著者略歴：

2007 年 東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻博士課程修了。2009 年 東京大学大規模集積システム設計教育研究センター助教に着任。2013～2015 年 米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校客員研究員。2015 年より同センター准教授。これまでに、データ変換、有線・無線通信等の各種集積回路技術に関する研究に従事。2002 年 本学会学術奨励賞。IEEE 会員。



英文論文誌小特集「Recent Progress in Electromagnetic Theory and Its Applications」の企画内容と論文傾向
(EMT 研専前委員長、ゲストエディタ) 佐藤 源之 (東北大学)
(EMT 研専委員長、ゲストエディタ) 廣瀬 明 (東京大学)



電磁界理論研究専門委員会(EMT)では幅広い研究を行っています。電磁波の解析とその理論、散乱応用問題、アンテナ、光導波路、数値解析方法に関する研究、またメタマテリアルのデザインと解析、熱・変形・イオンなども含むマルチ・フィジックス数値解析など、広く基礎理論応用への挑戦が行われています。さらに、電磁気学の基本法則をどのように解釈するか、どのように若い世代に伝えてゆくか、教育のあり方はどのようなか、なども議論します。

本研専では、電磁界理論の進展とその応用に関する最近の新しい研究成果を深く発表・討論することを目的として、毎年秋に泊まりがけで「電磁界理論シンポジウム」を開催しています。本特集号の前年、2016年11月17日(木)～19日(土)に第45回シンポジウムを南紀白浜(和歌山県)にて開催しました。学生を含む研究者70名以上が集い、とことん語り合いました。このイベントでの成果を中心に、研究専門委員会では「電磁界理論の進展とその応用」小特集号“Special Section on Recent Progress in Electromagnetic Theory and Its Application”(2018年1月号)の発行を企画しました。加えて本研専が深く関わる関連国際会議2016 AP-S/URSI、PIERS 2016、ICEAA 2016、ISAP 2016等での発表成果を発展させた論文も募集しました。そして国内国外の研究者からの多くの投稿から査読と編集委員会での慎重な審議を経て、小特集号にふさわしい4本の一般論文と5本のブリーフペーパーを採録しました。

内容は多岐にわたります。キーワードを列挙しますと次のようなバラエティに富むものになります。周期表面散乱を表すグリーン関数を合成するための新たな数値手法、ウィーナー・ホッフ法による細線構造の散乱・回折の解析、開放境界条件での静磁界の新計算新手法、誘電体導波路端面のビーム波散乱の摂動法による解析、レーダ用送受信アンテナアレイの校正方法、建造物中の金属柱の腐食状態を検査するためのUWBレーダ構築のための解析の手法と散乱特性解析、UWBレーダ信号のパラメータとその物理的解釈に関する実験と考察、複素ニューラルネットワーク処理による対人プラスチック地雷可視化システムの構築、FDTD計算のためのFPGA計算システムの構築。

狭義の電磁界理論から遠い方も近い方も、興味を持っていただけるものがあるのではないかと思います。ぜひご一読ください。歴史ある電磁気学に新たな発見があるはずです。

ご尽力いただいた編集委員の皆様へ感謝します。

・編集委員会委員(敬称略)

○ゲストエディタ

佐藤 源之(東北大)、廣瀬 明(東大)

○幹事

西岡 泰弘(三菱電機)、阪本 卓也(兵庫県立大学)

○委員

安藤 芳晃(電通大)、稲沢 良夫(三菱電機)、上田 哲也(京都工繊大)、大貫 進一郎(日大)、尾崎 亮介(日大)、後藤 啓次(防衛大)、佐藤 亮一(新潟大)、柴崎 年彦(都立産技高専)、鈴木 敬久(首都大東京)、高橋 一徳(応用地質)、田中 雅宏(岐阜大)、中嶋 徳正(福岡工大)、平野 拓一(東工大)、平山 浩一(北見工大)

著者略歴(佐藤 源之)：

1980年東北大・工・通信卒。1985年同大大学院工学研究科博士課程了。同大工学部助手、助教授を経て現在、同大東北アジア研究センター教授。2008～2011年東北大学ディスティングイッシュト プロフェッサー。1988～1989年ドイツ連邦地球科学資源研究所客員研究員。電磁波応用計測、人道的対地雷検知除去の研究などに従事。工博。2014年 Frank Frischknecht Leadership Award(SEG)、2017年 本会論文賞、同年 喜安賞など受賞。2015年電磁界理論研究専門委員会委員長。本会正員、IEEE Fellow、電気学会 会員。

著者略歴(廣瀬 明)：

1987年東大大学院電子工学専攻博士課程中退、同年 東大先端科学技術研究センター 光デバイス分野・助手。同大新領域創成科学研究科基盤情報学専攻を経て、現在、東大大学院電気系工学専攻・教授。工博。本会エレクトロニクスソサイエティ賞など受賞。日本神経回路学会元会長(2013～2014)、アジア太平洋神経回路学会初代会長(2016)。IEEE フェロー。



【報告】

「2017 年ソサイエティ大会のご報告」 (大会運営委員長)



柴田 随道 (東京都市大学)

2017 年ソサイエティ大会は、基礎・境界ソサイエティ、NOLTA ソサイエティ、通信ソサイエティ、エレクトロニクスソサイエティの 4 ソサイエティが合同して、2017 年 9 月 12 日 (火) ～15 日 (金) の 4 日間、東京都市大学世田谷キャンパスにて開催されました。参加者総数は、4 日間延べ 5,650 人でした。

一般講演は、全ソサイエティの合計で 1,138 件でしたが、その内、エレクトロニクスソサイエティでは、各専門委員会からの一般講演セッション (C-1 電磁界理論、C-2 マイクロ波 A・B・C、C-3 光エレクトロニクス、C-4 レーザ・量子エレクトロニクス、C-5 機構デバイス、C-6 電子部品・材料、C-7 磁気記録・情報ストレージ、C-8 超伝導エレクトロニクス、C-9 電子ディスプレイ、C-10 電子デバイス/シリコン材料・デバイス、C-12 集積回路、C-13 有機エレクトロニクス、C-14 マイクロ波・ミリ波フォトンクス、C-15 エレクトロニクスシミュレーション) にて、合計 221 件の講演がありました。

一方、公募シンポジウムでは全体で 97 件の講演があり、その内、エレクトロニクスソサイエティでは、合計 14 件の講演がありました。エレクトロニクスソサイエティの公募シンポジウムでは、「CS-1 電磁界理論におけるアルゴリズム」、および「CS-2 レーダ・イメージング関連機器の最新動向」と題した 2 つのセッションが開催され、また通信ソサイエティとの共催で「BCS-1 IoT 向け無線システムおよびデバイスの最新動向」と題したセッションも開催され、それぞれ活発な議論が行われました。

依頼シンポジウムとしては、「CI-1 異種材料融合技術で加速する集積光デバイスの新展開」、「CI-2 データ伝送容量増大に向けた光デバイス技術の進展」、「CI-3 新たな体験を生み出す AR/VR 技術」、「CI-4 ハイブリッド材料技術から拓がるセンサ・光電変換デバイスの最新動向と展望—有機、バイオ、酸化物、カーボン、ナノメタル、シリコン・・・」、 「CI-5 空間領域の波動伝搬技術の新展開」と題した 5 つのセッションで計 32 件の講演が行われました。パネルセッションでは、「CP-1 デバイス開発から回路設計にわたる光・マイクロ波シミュレーション技術の現状と展望」と題して 6 件の講演と講演者全員による討論が行われました。

これらの依頼シンポジウムやパネルセッションでは、いずれも最新の興味深いテーマで活発な議論が行われました。

大会 2 日目午後には、エレクトロニクスソサイエティブレナリーセッションが電子情報通信学会 100 周年記念シンポジウムとして、「エレクトロニクスの発展の現状と未来像：IoT や AI が築く世界の先に見えるもの」とのテーマで行われました。記念シンポジウムに先立ち、植之原裕行エレクトロニクスソサイエティ会長より挨拶があり、表彰式にて各賞 (エレクトロニクスソサイエティ賞、ELEX Best Paper Award、招待論文賞、エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞) の贈呈が行われました。その後、5 件の特別講演が行われました。最初の 3 件は「2020 年東京オリンピック時期に向けたエレクトロニクス開発の現状」として富澤将人氏 (NTT) による「5G・IoT を支える次世代光通信ネットワークの研究開発」と題する講演、菅原充氏 (㈱ QD レーザ) による「網膜走査型レーザアイウェア：ロービジョンエイドからスマートグラスまで」と題する講演、市田丈人氏 (TAK・アナリティクス・リサーチ) による「5G 及び IoT 時代に求められるネットワーク技術の世界市場動向」と題する講演が行われました。また、続く 2 件は「after 東京オリンピックの新たな世の中に向けて」として西川徹氏 (㈱ Preferred Networks) による「IoT のエンジンとなるディープラーニング」と題する講演、泰地真弘人氏 (理研) による「高性能プロセッサの将来～脳型コンピュータ・専用計算機」と題する講演が行われました。いずれも興味深いもので、大変有意義な記念シンポジウムとなりました。

終わりに、本ソサイエティ大会の開催運営を担当された皆様に感謝を申し上げますとともに、今後とも、多くの方々に本大会でのご講演・ご聴講を受け賜りますよう、お願い申し上げます。

著者略歴：

昭和 58 年東大電子卒。昭和 60 年同大学院工学系研究科修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社入社。平成 27 年より東京都市大学教授。電子情報通信学会論文賞、YRP 賞等受賞。本会フェロー。



【報告】

「広範な分野をカバーする超高速光技術」 (超高速光エレクトロニクス研究会 (UFO 研究会))

西澤 典彦 (名古屋大学)



超高速光エレクトロニクス研究会 (通称 UFO 研究会) は、約 30 年前にスタートした歴史ある研究会です。委員のメンバーも、これまでこの分野でご活躍の主立った方々が参加されており、高いレベルを維持してきました。まだ若手研究者であったときに、この研究会で大御所の先生方から叱咤激励を頂き、大変に刺激を頂いていたことを良く覚えています。

今回、委員長に就任するに当たり、研究会の活性化のため、多くの若手の方々に新委員として加わって頂きました。お陰様で、今年は、刺激的な議論が絶えない、益々活発な研究会になっています。

超高速光技術は、光ファイバ通信分野のみならず広範な科学技術分野を横断的に貫く基幹技術です。超高速領域での研究開発においては、電子情報通信分野のみならず理化学系の物理、化学や生物・医学系との交流も図られてきました。基礎から応用まで、材料からシステムまで、超高速光技術を軸としてそれに関連した光の技術を幅広く俯瞰することが、それぞれの技術分野にブレークスルーをもたらす可能性を秘めています。とりわけ、近年では、超短ファイバレーザの進展が目覚ましく、使い勝手の良い小型ターンキー超短光パルス発生システムの実現にとどまらず、バイオイメーシング用の超小型光源として医療技術の進展に貢献しています。また高精度加工技術への応用展開によって産業技術に貢献しています。

超高速光技術の広範な分野をカバーするために、UFO 研究会は、現在、次の 4 つのグループで構成されています。

第 1 グループ：材料・デバイス

第 2 グループ：新レーザ技術、新レーザ応用技術

第 3 グループ：バイオ・通信計測

第 4 グループ：fs, as, 基礎科学

超短パルスレーザ技術では、ファイバレーザや高出力固体レーザの研究の進展が著しく、重要なトピックになっています。また、実用的なレーザ技術の開発によって、バイオイメーシングや光周波数コムへの応用展開も進んでいます。また、基礎科学の分野では、フェムト秒 (fs, 10^{-15} s) を更に越えた、アト秒 (as, 10^{-18} s) の時間幅の極短パルスの生成が実現されて来ました。これらの新しいトピックにフォーカスしながら、UFO 研究会を盛り上げると共に、他の研究会とも交流を図りながら、電子情報通信学会に貢献できればと考えております。

今年度は、これまでに研究会を 3 回開催し、どれも盛況でした。これまでは、超高速光エレクトロニクス分野全体、そしてアト秒科学に新レーザ技術がテーマでした。年度末にバイオ・通信技術をテーマとした第 4 回目の研究会を開催する予定です。是非、お気軽にご参加ください。詳細は以下をご参照ください。

<http://www.ieice.org/~femto/>

著者略歴：

1995 年名古屋大学大学院工学研究科博士課程修了。同年同大学工学部助手。MIT 客員研究員、大阪大学工学研究科准教授を経て、現在名古屋大学工学研究科教授。広帯域超短パルスファイバレーザ光源とそれを用いた光周波数コム、超高分解能 OCT 等の研究に従事。2005 年第 1 回文部科学大臣表彰若手科学者賞、2011 年産学官連携功労者表彰科学技術政策担当大臣賞等受賞。



【報告】（新任研専委員長）

「集積回路技術の転換点をリードする」

（集積回路研究専門委員会 委員長）

日高 秀人（ルネサスエレクトロニクス）



今年度、集積回路研究専門委員会（ICD）の委員長を拝命しました日高秀人（ひだかひでと）です。1980年代以来、集積回路技術開発分野に30年ほど身を置いた立場から見ると隔世の感のある、Moore則の終焉やMore-than-Moore、3次元集積化製品の登場など、集積回路研究コミュニティは時代の大転換を経験し、その先の時代への模索と試行が懸命に行われています。微細化によるスケールアップに頼る単純発展から、応用開拓とそれに合わせた集積回路の展開へというテーマ転換が重要になってきました。

歴史上は、集積回路の大きな応用分野が従来のComputation（計算機）、Communication（通信）から、これらを維持しつつMobility、IoTなどへ拡大し、いわゆるクラウドからエッジに至るまで目覚ましい進歩・展開が進行中であり、Society 5.0, Connected Industryなど未来社会の現実化への取組みが盛んです。これらの中で、新たなシステム集積化課題を、単に回路・システム技術のみでとらずに、実装・応用などの関連技術や技術標準化・社会実装など広汎な観点でとらえることが肝要と認識し、集積回路研専はこれらを触発する触媒として役立つことを目指す所存です。

一例として、近年、産業としての重要度が再び増してきた組込みシステムを取っても、現在の大きな課題は、CPS（センサ・アクチュエータと多重フィードバック）、セキュリティの実装、ビッグデータ・AIの活用など、従来技術の延長では測れない新技術の確立と実装・活用が大きなテーマとなってきました。また、自動車などで顕著な安全制御系と情報系の融合・相互作用や電力系と制御系の融合などが、現実の社会・産業課題解決策になってきたと言えます。組込み系技術ロードマップによる技術開発のリードが必要な所以でもあります。

このような背景の下、集積回路研究専門委員会（1987年設立）は、カバー領域の再定義や他研専との連携構図の明確化、および特に若手・学生の取り組み奨励などを、第1種・第2種研究会の構成変化・内容充実により明示的に

2017年度 ICD研究会開催内容（*は2種研）

開催月	テーマ	開催地
4月	メモリ技術と集積回路一般	東京
5月	LSIとシステムのワークショップ2017*	東京
7-8月	アナログ、アナデジ混載、RF、センサ/I/F、低電圧/低消費電力技術、新デバイス・回路	札幌
8月	集積回路技術リテラシー研究会（夏の合宿）*	立山
9月	第10回 アクセラレーション技術発表討論会「全脳シミュレーション再び」*	和光
10月	第47回集積回路技術リテラシー研究会*	横浜
11月	デザインガイア2017:VLSI設計の新しい大地	熊本
12月	学生・若手研究会*	石垣島
3月	マイクロ波集積回路/マイクロ波一般	彦根

先導する意図を込めて年間計画化しています。今年度は、4回の1種研（アナログ/RF/メモリ/マイクロ波/低電圧設計など）に加えて、自主・自律を特長とする2種研を5回開催しています。システムとLSIワークショップ（2種研）では、2016年には開催地を東京に移したことや企業への配信などが奏功して、対前年度比で参加者人数の2.3倍増を実現しました。他分野連携の場としてますます活用します。一方、アナログ&RF回路技術の伝承として若手教育と活動奨励（失敗談の共有など）に注力しています。また、アクセラレーション研究会では、スーパーコンピュータ分野で産学官連携の触媒としての成果が見えています。

今後、セキュリティやAI関係での他研専との連携や、専門分野OBによる若手キャリアアップ、技術経営へのアプローチなど、時代背景を見据えた新趣向を打ち出す所存ですので、一層の御参加をお願い致します。

著者略歴：

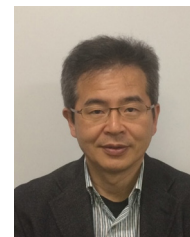
東京大学大学院工学系研究科修士課程修了、同年三菱電機(株)入社。現在、ルネサスエレクトロニクス(株)に在籍。専門は半導体メモリ開発・設計と応用、組込みシステム開発、および技術開発マネージメント。工学博士、IEEE Fellow。



【報告】

「2017 年 磁気記録・情報ストレージ研究専門委員会の活動状況」 (磁気記録・情報ストレージ研究専門委員会 委員長)

岡本 好弘 (愛媛大学)



磁気記録・情報ストレージ研究専門委員会 (MRIS : Magnetic recording & information storage) は、情報ストレージに関わる原理及び材料から装置及びシステムにわたる分野全般の情報交換・議論の場を提供するため、国内各地で研究会を開催しています。写真 1 は研究会での講演会と懇親会の間で撮った記念写真です。講演ごとに忌憚のない意見を述べ議論し、その続きを懇親会でという具合です。

本委員会は、ハードディスク装置 (HDD)、磁気テープ、光ディスク、固体メモリなどの情報ストレージにおける性能向上や新規機能の導入に向けて

1. 記録再生の原理・理論、スピントロニクス
2. 記録再生用材料・部品 (記録媒体・ヘッドなど)
3. 記録再生信号処理
4. サーボ・トライボロジ技術などの制御技術
5. 情報ストレージ装置およびシステム
6. 情報ストレージ関連の評価・計測技術
7. その他の情報ストレージ関連技術

を研究分野としています。HDD や磁気テープなどの磁気記録だけでなく、多層記録やホログラム記録などの光記録、分極や抵抗変化を利用した強誘電体メモリ、相変化メモリなどの電氣的な記録を取り扱っています。また、デジタルアーカイブシステム、監視映像ストレージシステム、地域分散ストレージシステム、クラウドストレージシステムなどの情報ストレージシステムも対象としています。分野のトピックスを紹介すると、Seagate は熱アシスト磁気記録 (HAMR)、Western Digital はマイクロ波アシスト磁気記録 (MAMR) を採用し、40TB の HDD 実現へのロードマップ

を歩み始めていますし、IBM とソニーは 330TB の磁気テープカートリッジに相当する記録密度を達成しています。また NHK と日立はホログラム記録を採用して 8K スーパーハイビジョン映像を長期保存するアーカイブシステムを試作・展示しています。

本委員会は、現在、委員長、幹事 2 名、幹事補佐 2 名、専門委員 21 名の計 26 名で構成され、幹事及び幹事補佐を中心に研究会の開催、ソサイエティ大会及び総合大会のセッション運営を行っています。

2017 年度の活動状況について以下に報告します。年間 5 回の研究会開催を計画し、11 月までに 3 回実施しました。ホットな話題提供として取り上げた 5 件の招待講演を含めて 35 件の研究成果が報告され、活発に議論されました。5 回のうち、6 月の東北大学 (仙台市)、12 月の愛媛大学 (松山市)、3 月の名古屋大学 (名古屋市) の 3 回の研究会については開催地を固定し、7 月と 10 月の研究会は開催地を変えて実施しています。来年度は 7 月に早稲田大学、10 月に大阪大学で開催を予定しています。

6 月	記録システム (東北大学)	講演 : 13 件
7 月	固体メモリ・記録媒体 (東京工業大学)	8 件
10 月	ヘッド・スピントロニクス (新潟工科大学、柏崎エネルギーホール)	14 件
12 月	信号処理 (愛媛大学)	講演予定 : 17 件
3 月	光記録 (名古屋大学)	1 月 15 日講演申込締切

また研究会においては、学部・大学院学生の研究発表を奨励し、特に優秀な講演を行った学生 (筆頭著者に限る) を、磁気記録・情報ストレージ研究専門委員長賞として表彰しています。今年度はすでに 2 名の方を表彰し、若手研究者の更なる活躍を期待しているところです。

著者略歴 :

1985 年 愛媛大学大学院修士課程修了、同年、シャープ(株)に入社。1990 年 愛媛大学工学部助手、講師、助教授を経て 2009 年 同大学大学院理工学研究科教授、現在に至る。2016 年 6 月より磁気記録・情報ストレージ研究専門委員会 委員長、2012 年、2017 年 四国支部長、博士(工学)。映像情報メディア学会、日本磁気学会、IEEE 会員。



写真 1 研究会での記念撮影



【報告】

「APMC 国内委員会の活動紹介 ―APMC 2018 のご案内―」 (APMC 国内委員会 委員長)



古神 義則 (宇都宮大学)

本委員会は、国際会議 APMC (Asia-Pacific Microwave Conference) を日本国内で定期的開催するための活動を支える国際会議国内委員会です。

APMC は、1986 年来、アジア太平洋地区で毎年開催されるマイクロ波関連技術分野に関する国際会議です。北米、欧州それぞれで開催される IEEE IMS (International Microwave Symposium) ならびに EuMA EuMW (European Microwave Week) とともに、この分野の 3 大国際会議に数えられ、世界中から多数の研究者・技術者の参加を得ています。

日本国内では 1990 年の東京開催を皮切りに、その後 4 年毎に開催されています。かように大規模な国際会議を、国内で 4 年おきに開催するとなると、その準備は並大抵ではありません。国際会議運営の組織作り、財務的基盤の確立と管理等はもちろんですが、何より大切なのは、国内のマイクロ波技術の活性化、若手研究者・技術者の育成に努めることです。そのために毎年 MWE (Microwave Workshops and Exhibition) を開催し、国内のマイクロ波技術者のコミュニティの形成・維持・拡大を図ってきました。APMC 国際会議実行委員会は、その年々の MWE 実行委員会と連携しながら、目先の APMC 日本開催に向けて準備するという構図になっています。諸先輩方のご尽力により、すでに 30 年近く、このルーチンが繰り返されてきました。現体制もその趣旨を継承し発展する事を目指し、現況にそくした施策を続けています。

さて、今回の APMC 国際会議は、2018 年 11 月 6 日から 9 日の 4 日間、国立京都国際会館で開催されます。現在、栗井郁雄 (元山口大教授、現リューテック代表取締役) 組織委員長ならびに石崎俊雄 (龍谷大教授) 実行委員長の下、着々と準備が進められています。

基調コンセプトは「Harmonious World Connected by Microwaves」です。国や地域だけでなく様々な学問分野やその応用がマイクロ波技術で結ばれて互いに調和し、社会の幸福と繁栄を創造できるように、本国際会議が貢献したい、との実行委員長の思いがこめられています。古来、多種多様な文化が融合され、調和のもとで日本文化が形成された歴史を持つ「京都」での開催に相応しいコンセプトで

あると言えるでしょう。

コンファレンストピックは、高周波・マイクロ波・ミリ波・テラヘルツ波・光波に関わる、アクティブデバイス・回路、パッシブコンポーネント、システム、アンテナ・伝搬です。具体的には、5G や ITS など、市場規模の大きな技術テーマを中心にその通信要素技術にフォーカスしつつ、無線電力伝送、マイクロ波化学、医療・福祉・セキュリティ分野など、急速に広がりつつある各種マイクロ波応用技術も網羅して、多くの魅力的なセッションを企画しています。また学生コンテストの他、女性研究者企画、若手技術者企画、地域連携企画など、マイクロ波コミュニティ拡大のための様々なイベントも用意されるようです。

さらに、「京都」の魅力を活かした各種ソーシャルイベントも工夫され、参加者の印象に強く残る国際会議週間となる事でしょう。

会場となる国立京都国際会館内には、7 パラレルのオールセッションルーム、十分なキャパシティのポスターセッションスペースが確保されます。国内のマイクロ波技術分野の研究者・技術者はもちろんのこと、アンテナ・電磁界解析・電子デバイス・オプティクスなど周辺各分野から多数ご参加頂きます様、心よりお待ちしております。

論文投稿締め切りは、2018 年 5 月 19 日を予定しています。詳しい情報は APMC 2018 のホームページ (<http://www.apmc2018.org/>) をご参照ください。

APMC 国内委員会としては、APMC 2018 実行委員会の準備活動を支援しつつ、その 4 年後、8 年後の APMC (それぞれ東京、福岡で開催予定) を睨みながら、活動を継続して参ります。

著者略歴：

昭和 63 年埼玉大・工・電気卒。平成 2 年同大大学院修士課程了。博士(学術)。平成 5 年同博士後期課程了。同年宇都宮大・工・電気電子工学科助手。平成 13 年同助教授、平成 20 年同大学大学院工学研究科准教授。平成 24 年同教授。マイクロ波・ミリ波帯の誘電体共振器フィルタ、誘電率計測に関する研究に従事。電気学会、IEEE 各会員。



【報告】

「PIERS 国内委員会活動報告：2017 PIERS 国際会議報告と 2018 年日本開催（富山）のご案内」（PIERS 国内委員会 委員長）



山崎 恒樹（日本大学）

PIERS (Progress in Electromagnetics Research Symposium、電磁波工学研究の進歩に関する国際会議) 国際会議は、1989 年に故 MIT の J.A.Kong 教授が創設され、表 1 にありますように、来年日本での第 3 回目（第 1 回 2001 年 7 月（大阪）、第 2 回 2006 年 8 月（東京）に続いて）の開催で 40 回目を迎えます。

本会 News Letter (Vol.156) にて 2013 の PIERS 国際会議報告 (Taipei と Stockholm)、また、News Letter (Vol.160) において PIERS 2014 in Guangzhou (中国広州) を報告致しました。今回は、2017 年度 (St Petersburg と Singapore) の会議報告と、2018 年富山開催のご案内です。2017 年度の会議概要は下記の通りです。

1. PIERS 2017 in St Petersburg (Russia) :

(1-1) 会議期間：2017 年 5 月 22 日(月)～25 日(木)

(1-2) 開催場所：Park Inn by Radisson Pribaltiyskaya Hotel
(ロシア・サンクトペテルブルク)

(1-3) 参加者数 1071 名 (75 カ国)

2. PIERS 2017 in Singapore (Singapore) :

(2-1) 会議期間：2017 年 11 月 19 日(日)～22 日(水)

(2-2) 開催場所：Nanyang Technological University (NTU : シンガポール)

(2-5) 参加者数 1017 名 (50 カ国)

PIERS は、2013 in Stockholm より急速に規模を拡大しており（参加者数 1,000～1,600 人、参加国数 50～75 カ国）、2017 年度の会議も、数多く存在する電磁波工学分野の国際会議の中で最大規模となっています。また上記会議も、日本人の参加・発表が年々増加しており、会議は盛況に終了しました。

さて、2018 年の PIERS 会議におきましては、8 月 1 日～5 日富山市（富山国際会議場、ANA クラウンプラザホテル富山）で開催されます。開催におきましては、PIERS 2015 Prague 会期中、PIERS ビジネスミーティングにおいて、PIERS 2018 招致委員会の小林一哉 委員長（中央大学教授：現 PIERS 2018 Toyama 実行委員会 委員長）が日本を代表して PIERS 2018 Toyama の立候補プレゼンテーションを行い審議の結果、PIERS 2018 Toyama 開催が決定しま

表 1 1989 年～2018 年までの PIERS 開催

回	開催年	開催地	回	開催年	開催地
1st	1989	Boston	21th	2007	Beijing
2nd	1991	Cambridge	22th	2007	Prague
3rd	1993	Pasadena	23th	2008	Hangzhou
4th	1994	Noordwijk	24th	2008	Cambridge
5th	1995	Seattle	25th	2009	Beijing
6th	1996	Innsbruck	26th	2009	Moscow
7th	1997	Hong Kong	27th	2010	Xian
8th	1997	Cambridge	28th	2010	Cambridge
9th	1998	Nantes	29th	2011	Marrakesh
10th	1999	Taipei	30th	2011	Suzhou
11th	2000	Cambridge	31th	2012	Kuala Lumpur
12th	2001	Osaka	32th	2012	Moscow
13th	2002	Cambridge	33th	2013	Taipei
14th	2003	Singapore	34th	2013	Stockholm
15th	2003	Honolulu	35th	2014	Guangzhou
16th	2004	Pisa	36th	2015	Prague
17th	2004	Nanjing	37th	2016	Shanghai
18th	2003	Hangzhou	38th	2017	St Petersburg
19th	2004	Cambridge	39th	2017	Singapore
20th	2006	Tokyo	40th	2018	Toyama

した。2018 PIERS Toyama の詳細は下記の通りですので、皆様奮ってご応募・ご参加下さい。

<http://www.piers.org/piers2018Toyama/>

著者略歴：

1975 年日大・生産工・電気卒。1977 年日大・理工・大学院（電気）・修士課程了。同年日大・理工・電気助手、1987 年専任講師、1991 年助教授を経て 2000 年教授。1989～1990 年米国 MIT に客員研究員。工博。2005～2006 年本会電磁界理論研究専門委員会委員長。1985 年本会学術奨励賞。1990 年～電磁波工学アカデミー会員。2013 年より PIERS 国内委員会委員長。



【短信】

「2018 年総合大会へのお誘い」 (大会運営委員長)

2018 年総合大会は、基礎・境界ソサイエティ、NOLTA ソサイエティ、通信ソサイエティ、エレクトロニクスソサイエティ、情報・システムソサイエティの 5 ソサイエティが合同して、2018 年 3 月 20 日（火）から 23 日（金）までの 4 日間に渡って、東京電機大学（千住）にて開催致します。総合大会の開催準備・運営を担当される関係者の皆様に感謝を申し上げますと共に、多くの方々に大会でのご講演、ご聴講を受け賜りますよう、お願い申し上げます。

エレクトロニクスソサイエティでは、各研専からの一般講演セッション（C-1 電磁界理論、C-2 マイクロ波 A・B・C、C-3 光エレクトロニクス、C-4 レーザ・量子エレクトロニクス、C-5 機構デバイス、C-6 電子部品・材料、C-7 磁気記録・情報ストレージ、C-8 超伝導エレクトロニクス、C-9 電子ディスプレイ、C-10 電子デバイス/シリコン材料・デバイス、C-12 集積回路、C-13 有機エレクトロニクス、C-14 マイクロ波・ミリ波フォトニクス、C-15 エレクトロニクスシミュレーション）に加えて、ご提案頂いた下記のセッションが企画されております。

依頼シンポジウムとして、光エレクトロニクス研専により「CI-1 光エレクトロニクス研究会（OPE）学生優秀研究賞表彰式」が企画され、学生の表彰および受賞者からの研究内容の紹介が行われます。また、同研専により「CI-2 超スマート社会を実現する究極の光通信技術」が企画され、光デバイス・モジュールの将来技術についての発表と議論が予定されています。レーザ・量子エレクトロニクス研専/集積光デバイスと応用技術時限研専により「CI-3 次世代コンピューティングと光技術」が企画され、次世代コンピューティングアーキテクチャや光インターコネクションの動向とそのための光デバイスの開発状況が議論されます。集積回路研専により「CI-4 自動運転社会の実現に向けた集積回路技術の役割」が企画され、自動運転社会のシステムから車載用集積回路、半導体素子まで様々な階層での現状と課題を俯瞰し、集積回路技術が果たすべき貢献について議論します。また、通信ソサイエティとの共催でテラヘルツ応用システム時限研専/電子デバイス研専/マイクロ波・ミリ波フォトニクス研専/光応用電磁界計測時限研専により「BCI-1 テラヘルツ技術とそのシステム応用に関

柴田 随道（東京都市大学）



する動向と進展」が企画され、テラヘルツに関する要素技術からシステム応用まで最前線トピックスの情報交換を行います。

超伝導エレクトロニクス研専による「CT-1 超伝導エレクトロニクスが切り開く量子情報工学の最新動向」と題したチュートリアルセッションや、有機エレクトロニクス研専による「CT-2 近未来の電子情報社会を支える次世代蓄電・発電デバイスの新展開」と題したチュートリアルセッションも行われます。

公募シンポジウムとして、電磁界理論研専による「CS-1 学生がイキイキ学び考える電磁気学：大学・高専における電磁気学教育の現状・問題・将来」、エレクトロニクスシミュレーション研専による「CS-2 エレクトロニクス分野における最適化・自動設計および人工知能技術の応用と最新動向」、通信ソサイエティとの共催でマイクロ波研専/スマート無線研専による「BCS-1 Digital RF 技術とそれを支える要素技術の最新動向」も開催される予定です。

さらに特別企画セッションとして、マイクロ波研専により「CK-2 Thailand-Japan Microwave (TJMW) 2017 / Vietnam-Japan Microwave (VJMW) 2017 優秀発表賞特別セッション」が開催され、TJMW2017 および VJMW2017 において優秀な発表を行った学生の講演が行われます。

大会初日の 3 月 20 日（火）午後後半には、「CK-1 エレクトロニクスソサイエティプレナリーセッション・ウエルカムパーティー」が開催され、エレクトロニクスソサイエティ初の試みとして表彰式に引き続きウエルカムパーティーを予定しております。交流の場として大勢のご参加をお願いします。

2018 年総合大会の聴講参加の事前申込締切は、2018 年 2 月 13 日（火）までとなっております。総合大会に関する情報については、下記 URL をご覧ください。

<http://www.ieice-taikai.jp/2018general/jpn/>

著者略歴：

昭和 58 年東大電子卒。昭和 60 年同大学院工学系研究科修士課程修了。同年、日本電信電話株式会社入社。平成 27 年より東京都市大学教授。電子情報通信学会論文賞、YRP 賞等受賞。本会フェロー。



【短信】研究室紹介

「ポリマー光導波路デバイスの新展開をもとめて」

石樽 崇明（慶應義塾大学）

慶應義塾大学理工学部は、1858 年、福沢諭吉による蘭学塾創始（1868 年に慶應義塾と命名）から約 80 年遅れて 1939 年に開校された藤原工業大学を起源としています。藤原工業大学は、後に慶應義塾へ寄付することを前提に創設され（5 年後の 1944 年に、慶應義塾大学工学部となる）、現在の慶應義塾大学理工学部の所在地である神奈川県横浜市の日吉に開校されました。慶應義塾大学理工学部に入学者は、人文・社会科学系学部、医学部、薬学部の学生とともに、学部 1、2 年次の 2 年間で日吉キャンパスで過ごし、学部を超えた人間関係を構築します。その後、3 年次から、同じく日吉地区にある矢上キャンパスへと移ります。慶應義塾大学のメインキャンパスは、東京都港区の三田キャンパスであるため、理工学部の新入生の中には、「3 年生になっても三田キャンパスには行けず、日吉地区にとどまる」ことを知らない学生がいたりします。

学門 1 から学門 5 の 5 通りの学門に属する形で理工学部へ入学した学生は、2 年次への進級時に 11 の学科のいずれかに配属されることとなりますが、石樽研究室は、その中の物理情報工学科に帰属します。物理情報工学科は、物理と数学を基盤とし、そこに先端工学の特徴である自動化・情報化・システム化を取り入れることによって、新しい情報技術・医療技術・環境エネルギー技術の創出を目指す学科です。その学科カリキュラムに沿って 4 年生にまで進級した学生、約 110 名のうち、5～6 名が、毎年、石樽研究室に入り研究を始めます。本稿では、この機会をお借りして、石樽研究室の研究内容をご紹介します。

スマホなどを使って Google ネット検索をしたり、Map を見ながら目的地への経路を探したり、あるいは Amazon でネットショッピングをしたりと、幅広い世代の人々がクラウドサービスの恩恵に授かるようになった昨今、人工知能の本格運用化に向けて「コンピューティング技術」は、とどまることなく進化し続けています。特に、最高峰に位置するスーパーコンピュータやハイエンドサーバには、さらなる高速化並びに低消費電力化が急務となっており、その解決策の一つとして、コンピュータ内配線を光化する光インターコネクットの導入が進められています。石樽研究室で



は、光・電気配線の混載を可能にする「広帯域・高密度光配線板」の実現を目指し、ポリマー光導波路デバイスの研究を進めています。ポリマー光導波路の研究開発の歴史は長く、これまでも多くの機関から様々な提案が行われてきていますが、作製法についてみると、その大半は、半導体加工プロセスと同様にフォトリソグラフィ法を応用する例であることがわかります。これに対して、石樽研究室では、新たなポリマー光導波路の作製法として、マイクロディスペンサを用いた「モスキート法」を考案し、従来は困難とされてきた光配線を可能にする新しい導波路デバイスの研究に取り組んでいます。特に、電気・光混載基板とされる「光配線板」応用には、直線状の並列光回路に加えて、曲げや 3 次元配線などの高密度配線パターンが望まれ、さらに、半田リフロー工程にも耐えうる高耐熱性が求められます。特に、3 次元配線を実現するために、従来のフォトリソグラフィ法では、複雑なプロセスの繰り返しが必要であったのに対し、モスキート法では極めて簡便に、さらに使用材料を浪費することなく形成可能であることを実証してきました。図 1 は、実際に、最近、モスキート法により作製した 2×6ch. 立体交差型シャフリングポリマー導波路の上面ならびに断面写真です。導波路上面写真の中央部で、並列した 2×6ch. の伝送路が（立体）交差していること、一方で断面では、12ch. の真円状のコアが 1 列に配列していることがわかります。

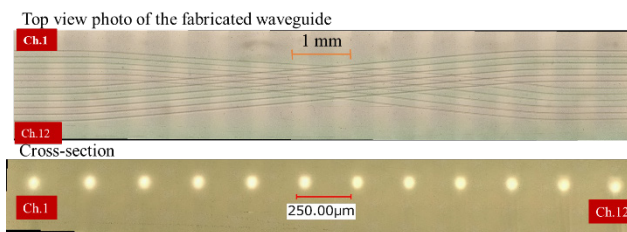


図 1 モスキート法にて作製した 3 次元シャフリングポリマー導波路の上面・断面写真

さらに、近年、光インターコネクット技術は、より高速・高密度信号伝送への要求に答えるべく、それまでのマル

チモード伝送路（コアサイズ $50\mu\text{m}$ 程度）からシングルモード伝送路（コアサイズ $10\mu\text{m}$ 以下）へと、デバイス性能の要求仕様が変わりつつあります。加えて、シリコンフォトニクス技術の進展に伴い、チップ内の光配線化が現実味を帯びてきており、ポリマー光導波路はチップーボード間の配線インタフェースとしての、新たな役割を担いつつあります。そのためには、ポリマー光導波路のシングルモード化が重要な技術課題となりますが、モスキート法は、シングルモードポリマー光導波路の作製に関しても、非常に簡便で、さらに、スポットサイズ変換機能などの付加機能を付与したシングルモード導波路を容易に作製できることを明らかにしてきました。昨今では、モスキート法を光導波路のみでなく、マイクロ流路作製へ応用するなど、その適用範囲を広げ、光インターコネクトのみならず、バイオセンサなどへの新展開の検討を始めています。

以上の研究成果は、電子情報通信学会の全国大会をはじめ、エレクトロニクスソサイエティの光エレクトロニクス（OPE）研究会にて発表させて頂いており、これらの発表を通じて、樹脂材料メーカ、電子部品メーカ、コンピュータメーカなど幅広い業種の企業との、共同研究のご機会・ご支援を頂けるようになって来ました。このような産学連携は、大学の研究成果を社会に還元しうる貴重な機会であるとともに、学生たちにも率先して共同研究にコミットしてもらうことで、より広い視野をもつ人材の育成が可能に

なると考えています。

慶應義塾大学理工学部は、2014年に創立75周年を迎えました。その長い歴史の中にあつて、石樽研究室は、今年、2017年に14期生を迎え入れ、海外からの留学生1名を含む博士課程から学部4年生までの18名の学生と訪問教授1名、訪問研究員2名の全21名で日々研究に励んでいます。石樽研究室は、「ポリマー光導波路デバイス」というコア研究テーマのもとに、電子情報通信学会を通じて、微力ながら研究成果、人材面で社会に貢献できるように、今後とも研究活動を邁進して参ります。今後ともご支援をいただければ幸いです。

著者略歴：

平成18年慶應義塾大学大学院後期博士課程修了、同年（財）神奈川科学技術アカデミー研究員、平成20年慶應義塾大学理工学部助手、専任講師を経て現在に至る。平成27年エレクトロニクスソサイエティ OPE 研究会幹事補佐、平成28年 OPE 研究会幹事、エレクトロニクスソサイエティ フォトニクス技術領域会議 幹事、平成29年電子情報通信学会シニア会員、平成20年第11回丸文研究奨励賞 受賞、平成26年 IEEE Electronic Component Technology Conference (ECTC) Outstanding Session Paper Award 受賞。

【お知らせ】

◆2018 年フェロー候補者推薦公募について

電子情報通信学会では、本会規則第2条第5項により、「学問・技術または関連する事業に関して顕著な貢献が認められ、本会への貢献が大きいシニア会員に対し、フェローの称号の証を贈呈」しています。エレクトロニクスソサイエティでは、皆様方からご推薦いただいた方の中からフェローピアレビュー委員会と執行委員会でフェロー候補者を選定し、学会本部のフェローノミネーション委員会に推薦します。本年の推薦期間は4月1日から6月30日ですので、エレクトロニクス分野でフェローの称号にふさわしい方のご推薦をお願い致します。なお、フェロー推薦に関しては以下の URL に掲載されておりますので、ご覧ください。

<http://www.ieice.org/jpn/fellow/suisen.html>

◆シニア会員の申請について

シニア会員推薦規程が改正され、申請書及び推薦書の提出は年間を通して可能となりました。6月30日までに提出された申請書及び推薦書を当該年度の審査対象といたします。詳細は、電子情報通信学会の下記 WEB ページにも掲載されています。

<<http://www.ieice.org/jpn/senior/index.html>>

- ・2018 年シニア申請〆切：2017 年 6 月 30 日
- ・申請資格：本会が関連する技術分野に原則 10 年以上従事しており、本会会員として累計在籍年数 5 年以上の正員、あるいは顕著な業績・貢献が認められる正員。
- ・申請方法：シニア会員申請ページからの自己申告です。

◆エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞について

2018 年総合大会（2018 年 3 月 20 日～23 日、東京、東京電機大学）において、第 21 回エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞の審査を行います。本賞はエレクトロニクス分野における優秀な発表（一般講演、シンポジウム講演）を行った学生に対して贈呈するものです。概要は以下の通りです。

＊ 選定対象者： 次のすべての条件を満たす方。

- (1) 講演申込の際に筆頭者かつ講演者として登録し、かつ実際に講演を行った者。
- (2) 過去に電子情報通信学会の学術奨励賞、及び本賞を受賞したことがないこと。

該当者は自動的に本賞の選定対象者として登録されますので、申込み手続きは不要です。

＊表彰：2018 年総合大会のエレクトロニクスソサイエティのプレナリーセッションにおいて、下記 3 分野それぞれについて 2 名の方に表彰盾および賞金 (30,000 円) を贈呈します。

イ) 電磁界理論およびマイクロ波

(電磁界理論、マイクロ波/THz、エレクトロニクスシミュレーション)

ロ) 光半導体およびフォトニクス

(光エレクトロニクス、レーザ・量子エレクトロニクス、マイクロ波・ミリ波フォトニクス、ポリマー光回路、集積・超高速光エレクトロニクス、シリコン・ナノフォトニクス)

ハ) 回路およびエレクトロニクス

(電子部品・材料、電子デバイス、シリコン材料・デバイス、電子ディスプレイ、機構デバイス、磁気記録・情報ストレージ、集積回路、超伝導エレクトロニクス、有機エレクトロニクス)

◆ エレソ News Letter 研究室紹介記事募集研究室紹介記事を募集します。

今年度も昨年度と同様に、【短信】研究室紹介のコーナーに一般公募記事の掲載も予定しております。研究紹介の機会として奮って応募下さい。

＊応募方法：タイトル、研究室名、連絡先 (e-mail) を下記応募先までご連絡下さい。

応募多数の場合は選考の上、編集担当より、フォーマット書類一式をお送り致します。

＊応募先：エレソ事務局 (h-sakai@ieice.org) TEL:03-3433-6691

これまでの記事は、下記 URL エレソニュースレターのページに掲載されております。ご参考下さい。

< <http://www.ieice.org/es/jpn/newsletters/> >

◆ エレソ News Letter の魅力的な紙面づくりにご協力下さい

本 News Letter は、エレソ会長、副会長からの巻頭言や論文誌編集委員長、研究専門委員会委員長からの寄稿を中心に、年 4 回発行しております。今後、さらに魅力的な紙面づくりを進めるため、エレクトロニクスソサイエティでは、会員の皆様から企画のご提案やご意見を募集いたします。電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ事務局宛（詳細は下記 URL）にご連絡をお願いいたします。

< <http://www.ieice.org/es/jpn/secretariat/> >

◆ エレソ News Letter は年 4 回発行します。次号は 2018 年 4 月発行予定です。
編集担当：枚田、山脇（企画広報幹事）、山口（編集出版幹事）、今井（研究技術幹事）

[編集後記]

News Letter No.168 をお届けいたします。前号から編集を担当させていただいております。未熟者ですが、よろしくお願いいたします。電子情報通信学会創立 100 周年の年が終わり、101 年目の年が明けました。News Letter は、エレクトロニクスソサイエティの各種論文誌や研専、国際会議、さらには本分野で活躍されている研究室の情報を、それぞれ 1～2 ページにまとめ、紹介しております。100 年後に本ソサイエティの活動を俯瞰する際に本誌が役に立てるよう、記事を充実させ永続させていきたいと思います。皆様にも寄稿をお願いすることがあるかと思いますが、その際はよろしくお願いいたします。（山口）