

公益的研究助成進捗状況概要報告

平成22年度（報告対象期間 平成22年4月～平成22年12月）

財団法人 テレコムエンジニアリングセンター

はじめに

財団法人テレコムエンジニアリングセンターは、公益事業の一環として、平成１８年度から公益的調査研究助成事業を実施しております。助成の対象は、無線機器の試験、電波の測定等一般に関する調査研究であり、これらの調査研究に携わる研究者の皆様を対象に、調査研究に対する助成および研究集会に対する助成を実施しております。

これらの調査研究テーマは各々１～３年計画として実行されるものですが、研究者の方々から平成２２年の１２月までの進捗状況の概要をご提供いただきましたので、報告いたします。

平成 21 年度公益的研究助成進捗状況概要報告 目次 1

(平成 19 年度選考の3年目)

1. モノポールアンテナの置換測定法の研究開発	1
産業技術総合研究所 研究員 石居 正典	
2. 移動通信携帯端末に適するマルチアンテナ技術に関する研究	2
仙台高等専門学校 准教授 袁 巧微	
3. アンテナで発生する相互変調ひずみの測定環境に関する調査研究	4
横浜国立大学大学院 准教授 久我 宣裕	
4. マイクロ波リモートセンシングによる湿地帯水域観測のための 偏波散乱測定に関する調査研究	5
新潟大学教育学部 准教授 佐藤 亮一	
5. アンテナ近傍波源に対する一般化インパルス応答の構成法 および測定法に関する調査研究	6
東京工業大学教育工学開発センター 准教授 西方 敦博	
6. 衛星通信・放送システム及び衛星搭載レーダの広域地表電力束密度 (PFD) 計測技術の研究	7
首都大学東京システムデザイン研究科 教授 福地 一	
7. 広帯域干渉電波の発生源位置検出に関する調査研究	9
福井大学大学院 准教授 藤元 美俊	

平成 21 年度公益的研究助成進捗状況概要報告 目次 2

(平成 20 年度選考の2年目)

11. 全身に吸収される SAR の測定法に関する研究	10
東京農工大学大学院 講師 有馬 卓司	
12. SAR の簡易測定法の調査研究	11
防衛大学校電気情報学群 助教 道下 尚文	
13. 差動伝送系機器からの電磁妨害波の抑制法の開発	12
秋田大学 理事・副学長 井上 浩	
14. 人体通信における埋め込み型医療機器の EMC 評価法に関する研究	14
名古屋工業大学大学院 教授 王 建青	
15. アレーアンテナの精密キャリブレーション手法とその高機能化に関する研究	15
新潟大学自然科学系 教授 山田 寛善	

公益的研究集会助成進捗状況概要報告 目次 3

(平成20年度選考の2年目)

21. 医用生体電磁気学研究会 - - - - - 16
首都大学東京大学院 教授 多氣 昌生

(平成21年度選考の1年目)

22. 4th Pan-Pacific EMC Joint Meeting
第4回環太平洋地域EMC合同会議 (終了報告) - - - - - 18
名古屋工業大学大学院 教授 藤原 修

(平成21年度選考の1年目)

23. 次世代無線設備試験認証技術研究会・ワークショップ (進捗報告省略)
同志社大学工学部 教授 笹岡 秀一

(平成21年度選考の1年目)

24. 伝搬解析コミュニティ(PAC-J)研究会・ワークショップ (進捗報告省略)
東京工業大学大学院 教授 安藤 真

1. モノポールアンテナの置換測定法の研究開発

産業技術総合研究所 研究員 石居 正典

本研究の目標である低周波帯域における電界強度測定用モノポールアンテナの置換測定法では、基準アンテナのアンテナ係数が必須となる。そこで、1年目の平成20年度には、絶対測定法としてのモノポールアンテナの近傍界測定に特化した3アンテナ測定法の定式化とシミュレーションによる検証を中心に行った。また、続く2年目の平成21年度には、目標であったモノポールアンテナの近傍界測定に特化した置換測定法の提案及び定式化、さらにシミュレーションによる検証を行った。さらには、前年度に提案した近傍界3アンテナ法の実験による検証も行い、この絶対測定法の実用的な有効性も確認した。

3年目である平成22年度には、上記の平成20～21年度の検討結果を踏まえて、まず、前年度提案したモノポールアンテナの近傍界置換測定法の実験による検証を行い、提案した相対測定法の実用的な有効性を実験によって確認した。また一方、モノポールアンテナのアンテナ係数の測定法には、実際には電磁波をアンテナに照射せずにアンテナエレメントとグランドプレーン間と等価容量を模擬したコンデンサを用い、アンテナの付属回路内の測定結果のみから簡易的にモノポールアンテナのアンテナ係数を求める容量置換法と呼ばれる測定手法がある。この手法は、本調査研究でこれまで提案及び検討してきた3アンテナ法や置換測定法とは全く系統の異なる測定法である。そこで、実際に同じ被測定アンテナに対して、3アンテナ法と容量置換法の両方を実施した。得られたアンテナ係数を比較してみることは、お互いの手法のベリフィケーションとしても意義がある検討である。結果としては、容量置換法は規格にも取り上げられている手法であるが、非常に簡略化した手法であるため、原理的に様々な問題点を有していることを確認した。なお、本助成金の申込者の1人体制で研究を実施した。なお、これまでの成果を踏まえ、助成期間終了後も更なる改良や検討を行って行く予定である。

以下は、本年度の研究成果リストである。

1. M. Ishii and Y. Shimada, "Measurement of Electrically Short Monopole Antenna by 3-Antenna Method," CPEM2010 Symposium Digest, pp704-705, Jun. 2010.
2. M. Ishii and Y. Shimada, "Reference Antenna Method for Non-resonant Electrically Short Monopole Antennas," 2010 IEEE International Symposium on EMC, vol. 1, No.1, pp56-61, Jul. 2010
3. 石井正典, 黒川悟, "モノポールアンテナ校正における近傍界3アンテナ法と容量置換法の比較," 電子情報通信学会, 信学ソ大, 通信1, pp320, 2010.9.
4. 石井正典, "低周波領域における微小モノポールアンテナの近傍界置換法測定," (独)産業技術総合研究所 計量標準総合センター2010年度成果発表会, 2011.1.

2. 移動通信携帯端末に適するマルチアンテナ技術に関する研究

仙台高等専門学校 准教授 袁 巧微

本研究は、携帯移動端末搭載用マルチアンテナ技術に関する研究を進めている。MIMO システム及びアダプティブアレーアンテナシステムには回路の省略、低コストで実現できるとの利点で変調散乱素子アレーアンテナ (Modulated Scattering Array Antenna: MSAA) が非常に注目されている。MSAA は通常一つアンテナ素子と他のダイオードを装荷した多数のアンテナ散乱素子 (Modulated Scattering Element: MSE) で構成されているため、受信回路は一つで済むという特徴を有する。今年度は MSAA を用いた MIMO システムにおける干渉波抑圧特性と NLOS (Non Light of Sight) 環境で MIMO 通信容量評価を中心とする研究を進め、以下の研究結果が得られた。

1. 周波数ホッピング技術による干渉波抑圧

平成22年度は周波数ホッピング技術を利用し、MSAA (図1) を用いた MIMO 受信システムでも狭帯域干渉波抑圧効果があることを解析上で明らかにした [1]。解析では、50MHz と 20MHz のシーケンシャルと選択的なホッピングパターンを用い、狭帯域干渉波の抑制効果を明らかにした。100MHz ホッピング範囲に対して、シーケンシャルと選択的なホッピングパターンの差が無く、両方ともエラー率が 0.031 まで抑える結果が得られた。

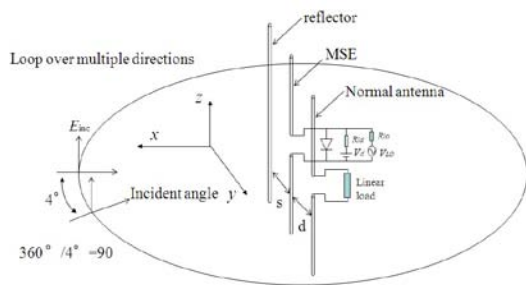


図1 MSAA

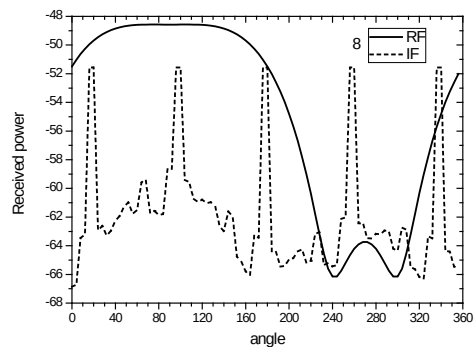


図2 周波数ホッピング

2. NLOS (Non Light of Sight) 環境で MIMO 通信容量評価

本年度は前年度の実験に引き続き、MSAAを受信アレーアンテナとして、携帯端末が使用されるNLOS (Non Light of Sight) 環境 (図3) で、空間分割多重 (SDM) を用いた MIMO 伝送容量を測定した [2] [3]。MSAAの素子間隔が0.1から0.7波長までに設定すれば、十分な MIMO 通信チャネル容量を得られることを解明した。

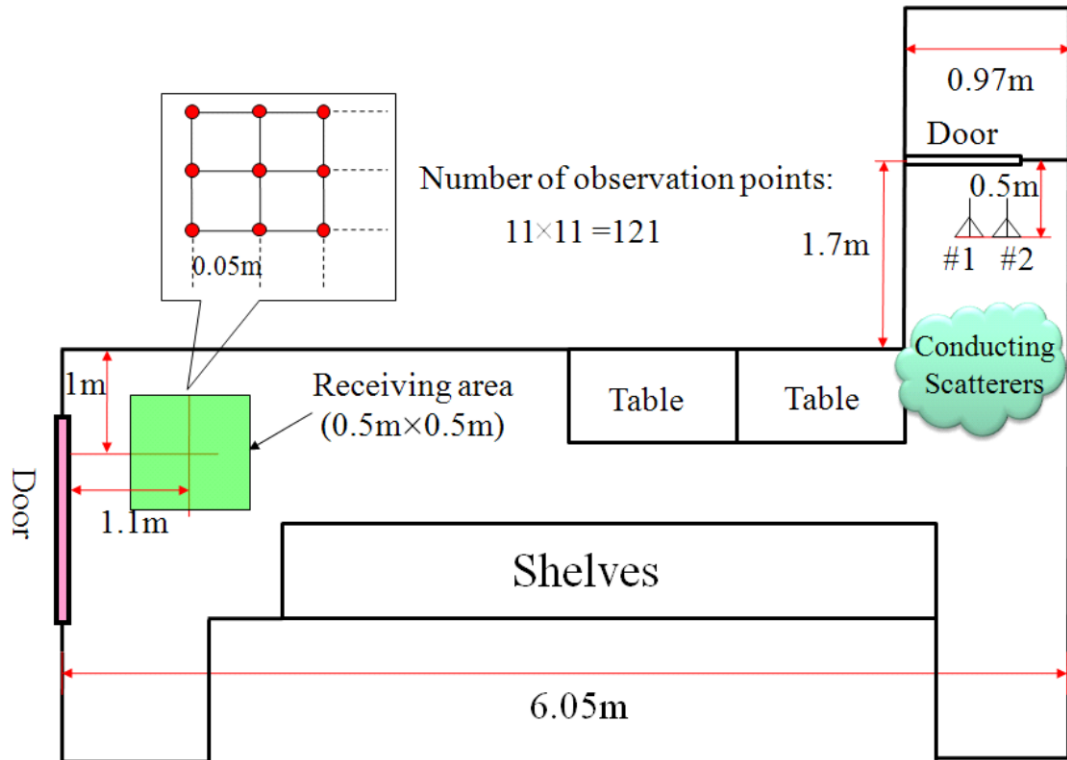


図3 測定環境

【発表資料】

1. Y. H. Lee, Y. G. Jan, L. Wang, Q. Chen, Q. Yuan, and K. Sawaya, "Using hopping technique for interference mitigation in Modulated Scattering Array Antenna system," *IEICE Electron. Express*, vol. 7, no. 12, pp. 839-843, June 2010.
2. L. Wang, Q. Chen, Q. Yuan, and K. Sawaya, "Diversity Performance of Modulated Scattering Antenna Array with Switched Reflector," *IEICE Electron. Express*, vol. 7, no. 10, pp. 728-731, 2010.
3. L. Wang, Q. Chen, Q. Yuan, and K. Sawaya, "Experimental Study on MIMO Performance of Modulated Scattering Antenna Array in Indoor Environment," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E93-B, no. 03, pp. 679-684, Mar. 2010.

3. アンテナで発生する相互変調ひずみの測定環境に関する調査研究

横浜国立大学大学院 准教授 久我 宣裕

昨年度までに開発した 2GHz 帯 PIM 源付きパッチアンテナに関する成果は、電子情報通信学会論文誌に正論分として採録された。アンテナへの入力電力に対して（ログスケールで）直線的な PIM 特性を実現する手法をダイオード付き無給電素子の角度設定により実現するものであり、PIM レベルを安定かつ簡易に制御できる点が評価された。一方で、800MHz 帯など他の周波数帯の検討は設備の関係から我々単独での実施が困難であるため、アンテナ単体に関する詳細検討については NTT ドコモ殿の協力を得て別途進めることとなった。

シールドボックス内での PIM 測定については、昨年度までに卓上小型シールドボックスを用いた基礎検討を実施してきた。本年度はアンテナを地板ごと収納できる寸法の汎用シールドボックス（600mm×600mm×1200mm）での検討を進めている。IEC 標準では垂直入射減衰が 30dB 以上の電波吸収体の使用を推奨することになったが、これは実用的な小型測定環境を実現するためには非常に厳しい要求仕様である。そこで、一般的な平面吸収体（垂直入射減衰が 20dB 程度）をシールドボックス内に全面設置した場合について、前述の PIM 源付きパッチアンテナを用いた評価を実施した。その結果、現状では -55dBm～-75dBm の範囲の 3 次 PIM 測定が可能であることを確認した。この結果については電子情報通信学会総合大会での発表を予定している。さらに低いレベルの PIM 測定や電波吸収体の減衰特性と PIM 特性の関係に関する検討については別途検討を進めている。

PIM 測定ではその原因となる電気接点を完全に排除することが理想であるが、コストや小型化を考えると、結論としては非現実的であると言わざるを得ない。そのため、電気接点で発生する PIM についてもその動作を十分に把握する必要がある。上記シールドボックスも蓋の開閉が必須であり、この部分の電気接点で発生する PIM をいかに低減するかが重要である。そのための基礎検討として、頻繁な着脱を伴う電気接点で発生する PIM について、時間特性と周波数特性の両面から考察を行った。その結果、タッピングなどの外部衝撃に対して発生する PIM が数種類のパターンに分類できることを確認した。今後これらの検討を進め、超小型 PIM 測定環境の実現および評価手法を確立していきたいと考えている。

1. 入江, 久我 「ダイオードを相互変調ひずみ源として内蔵したパッチアンテナ」, 信学論 B, vol. J93-B, no. 9, pp. 1170-1176, 2010 年 9 月
2. 久我, 入江 “PIM 源付きパッチアンテナを用いた小型電波暗箱の性能評価,” 信学総大, 2010 年 3 月
石橋, 富菜, 久我 “タッピングされた同軸コネクタの PIM 特性変化に関する研究,” 信学総大, 2010 年 3 月

4. マイクロ波リモートセンシングによる湿地帯水域観測のための 偏波散乱測定に関する調査研究

新潟大学教育学部 准教授 佐藤 亮一

本年度前半は、前年度までの研究成果に加え、追加で行った偏波散乱#促および解析の結果をまとめて、国内外の国際会議 [1] - [3] にて発表を行った。

本年度後半は、数ヶ所の湿地帯に足を運び、これまでの解析結果の客観的な評価を試みた。簡易 GPS を用いて解析対象箇所(湿地帯水域境界)の位置情報(緯度経度)を測定し、現地の様子と解析画像結果とを比較した。佐潟(新潟県新潟市)においては、偏波散乱特性より推定される結果と現地の様子とが良く似ていることを確認した。ただし、ノイズ低減処理(平均化処理)のため解象度が低くなり画像の一部では判定しづらい箇所があったので、新たに画像フィルタを開発・導入した。猪苗代湖(福島県猪苗代町)周辺での現地調査では、簡易 GPS が正常に動作しなかったため、正確なデータ検証を行うことができなかった。

今後は、猪苗代湖周辺の再調査を含め多くの湿地帯、ならびに地震・火山等の被災地周辺での検証も行っていく、本研究の妥当性を確認していく予定である。また、研究成果をまとめて、次年度も国際会議に投稿する予定である。

[1] R. Sato, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, "Man-made Target Detection Using Modified Scattering Power Decomposition with a Polarimetric Rotation," Proc. of the 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar(EUSAR 2010)(CD-ROM), vol.3, June 9 2010.

[2] R. Sato, Y. Yamaguchi, and H. Yamada, "Polarimetric scattering analysis for accurate observation of stricken man-made targets using a rotated coherency matrix," "Proc. of the 2010 IEEE Interactional Geosciences and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2010)(CD-ROM), July 27 2010.

[3] R. Sato, A. Sato, Y. Yamaguchi, D. Singh, G. Singh, and H. Yamada, "Landcover Monitoring in India Using POLSAR Image Analysis with Quad. Polarimetric ALOS/PALSAR Data, " Proc. of the 2010 Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC'10) (CD-ROM), FPl-14, Sept. 25 2010.

5. アンテナ近傍波源に対する一般化インパルス応答の構成法

および測定法に関する調査研究

東京工業大学教育工学開発センター 准教授 西方 敦博

最終年度である本年度は、近傍・遠方いずれの波源に対してもその位置及び方向の関数としてアンテナの応答を与える、一般化インパルス応答を、アンテナ測定により取得する手法の確立をめざすとともに、その実用的な応用例として、単発のインパルス波源の定位を実際に試みた。

測定球面上の接線電界を短縮ダイポールアンテナの球面走査によって測定し、アンテナの多重極展開係数の最小 2 乗ノルム解を求めている。残差ノルムの大きさを多重極展開の当てはまりの良さが評価できるが、今回実験に用いた折れ曲がり非対称アンテナでは、仰角方向の量子数 1 を最大 7 までとれば、また、不要波を除去するための時間ゲートを 20ns 程度とすれば、残差ノルムを低減させる観点から充分であることを示した。被測定アンテナと測定周波数帯が代わっても同じ手法により最適条件を見出すことが可能と考える。また、電界プローブの代わりに磁界プローブを用いても理論的には同じ展開係数が得られるが、実用上は近傍界が電界優勢か磁界優勢かによって使い分けることが有効と考える。今回、展開原点から等距離の球面上で測定したが、展開係数の決定において球面調和関数の直交性を利用していない。これを積極的に利用し演算量を減らす方法について今後検討する価値がある。

一般化インパルス応答の応用の 1 つとして、未知波源の定位実験を時間領域で行った（口頭発表：2010 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会 B-4-21 アンテナの多重極展開を用いた時間領域雑音の波源定位法の検討）。水銀接点リレーを用いて立ち上がり時間 1ns 以下のステップ波形を発生させ、短縮ダイポールアンテナを駆動し未知波源とした。クロス畳み込み処理により 2 つの受信アンテナの波形の一致が見られることを確認し、実際に cm オーダーの定位誤差で定位できることを示した。

誤差検討のために、現在、NEC2(モーメント法プログラム)によりプローブの有限の大きさの影響とアンテナ間結合の影響の計算を行っている。これにより、多重極展開係数における誤差、プローブ補正、2 つの受信アンテナ間結合の影響と補正について検討している（2011 年電子情報通信学会総合大会 B-4 発表）。

6. 衛星通信・放送システム及び衛星搭載レーダの広域地表電力束密度（PFD） 計測技術の研究

首都大学東京システムデザイン研究科 教授 福地 一

本調査研究は、衛星通信・放送システムや衛星搭載レーダによる地表面での電波の電力密度（PFD：Power Flux Density）を、安価・小型でありながら正確に測定する手法の確立を目的としている。これら衛星通信・放送システムや衛星搭載レーダは将来、多様な周波数・電力で運用されることが予想され、PFD を正確に広範囲に測定する方法を確立することは、効率的な電波利用と電波秩序の維持に大きく貢献すると期待される。

平成22年度は、提案時に述べた以下の2つのサブテーマに関する実験・解析を昨年度整備した計測システムをもとに進展させた。その成果の一部を、それぞれのサブテーマについて、電子情報通信学会全国大会（2011年3月）及び日本リモートセンシング学会学術講演会（2011年5月）の口頭発表として成果発表する。

（1）通信・放送衛星電波の PFD 測定

既存のアンテナに小型スピーカおよび較正用信号発生器を組み合わせて、安価な Ku バンド衛星信号受信装置を構成し、JSAT、BSAT の Ku バンド信号の降雨減衰を観測した。また、高速インターネット衛星（WINDS）の TDMA 波受信装置により、Ka バンド信号（18GHz）の降雨減衰を観測した。同時に、科研費等で整備した2周波での天空雑音温度測定装置（放射計）を用いた降雨に伴う雑音温度上昇を測定することを可能にし、雑音温度上昇とこれまでの成果である降雨減衰の客観抽出結果を比較することにより、雑音温度測定から降雨減衰を推定する手法を検討した。この結果、2周波放射計により従来降雨減衰の推定に必要な媒質温度の仮定を不要とする降雨減衰推定法を提案することができた。

* 学会発表：

- ① 佐々木、阿部、福地「簡易型2周波ラジオメータによる衛星回線降雨減衰時系列の推定（仮題）」2011年電子情報通信学会総合大会（2011/3/14-17 東京都市大学）
- ② 福地 「ミリ波帯電波の降雨減衰及び交差偏波識別度に及ぼす雨滴粒径分布の影響（仮題）」2011年電子情報通信学会総合大会（2011/3/14-17 東京都市大学）

（2）衛星搭載レーダの PFD 測定

日本の陸域観測衛星（ALOS）搭載 L-band 合成開口レーダ（PALSAR）による武蔵村山地域の観測データを用いてレーダの偏波較正（ポラリメトリック較正）及び受信レベル較正（ラジオメトリック較正）を引き続き試みた。これらは2006年度に実施した武蔵村山日産工場跡地での実験データをもとに解析を進めた。加えて、昨年度に引き続き、ドイツの TerraSAR-X 搭載 X-band 合成開口レーダによる首都大学東京日野キャンパスの観測実験を数回実施した（2010年1，4月）。

上記のデータ処理・解析を通じて、PALSAR の L-band 観測における偏波較正には電離層によるファラデー回転の補償が必要なこと、受信レベル較正には作成した基準反射器の

工作精度や設置角度（仰角、方位角）精度が大きく影響することが判明した。基準反射器の工作精度の課題については、TerraSAR-X 実験のために作成したコーナーリフレクタの工作精度を高めて再度実験した。TerraSAR-X の X-band 観測については今年度データ解析を実施したが、校正用基準反射器の理論反射性能が再現できていない。この点、TerraSAR-X のラジオメトリック校正アルゴリズムのチェックも含めて現在再検討中である。PALSAR については、平板反射器の反射特性から地上放射電力密度が設計通りであることが推測された。

＊論文発表予定：

- ① 小粥、竹代、福地「合成開口レーダ（SAR）による都市域規格化反射係数（ σ_0 ）の周波数依存性」日本リモートセンシング学会 2011 年第 50 回学術講演会、5.26-27 日本大学.

7. 広帯域干渉電波の発生源位置検出に関する調査研究

福井大学大学院 准教授 藤元 美俊

本研究では、広帯域な干渉電波の発生源の方向（DOA）および位置を検出することを目的としている。広帯域な信号を取り扱う際の問題点として、周波数ごとにアンテナ素子指向性が異なるため推定精度が劣化する。その対策として、昨年度、(A)サブアレーに分割する手法と、(B)サブバンドに分割する手法の2つを提案した。

本年度は、まず、上記(A)の手法についての検討を進め、その成果を学術論文誌に投稿し、レターとして採録された（下記文献[1]）。

次に、上記(B)の手法について検討を進め、以下のことを明らかにした（下記文献[2][3]に発表）。

- (1) 帯域を分割する数（サブバンド数）は6程度以上とすることが効果的である。
 - (2) 帯域を分割し、スペクトルを平均化する手法はアンテナ特性の振幅誤差に対して効果が大きい。
 - (3) サブバンド信号処理は、相関の高い複数の到来波の推定にも有効である。
- さらに、帯域分割法についても検討し、以下のことを明らかにした（下記文献[2][3]に発表）。
- (4) 超広帯域な信号に対しては、周波数帯域を等間隔ではなく、等比間隔で分割した方が効果が高い。

現在は、到来方向だけでなく波源の位置を推定する手法を考案し、その有効性を確認している段階である。MUSIC法の2次元走査に上記(B)の手法を適用することで、同時に複数の波源位置を推定できることを確認した（ただし、未発表であり今後発表の予定）。

- [1] 藤元，大波加，堀，“サブアレーによる到来方向推定精度の改善,” 信学論，B, vol.J93-B, No.9, pp.1288-1291, Sept., 2010.
- [2] M.Fujimoto, S.Ohaka, and T.Hori, “DOA Estimation without Antenna Characteristics Calibration for UWB signal by using Sub-Band Processing,” 2010 International Conference on Wireless Information Technology and Systems, 2010, Honolulu, HI.
- [3] S.Ohaka, M.Fujimoto, and T.Hori, “Improvement of DOA Estimation Accuracy of UWB Signal by Using Sub-Band Processing,” 2010 International Symposium on Antennas and Propagation, 2010, Macou, China.
- [4] 大波加，藤元，堀，“等比分割による広帯域信号のDOA推定精度向上効果”，平成22年度電気関係学会北陸支部連合大会，C-8, Sept. 2010.
- [5] 大波加，藤元，堀，“等比分割を用いた広帯域信号のDOA推定精度の向上”，2010信学ソ大，B-1-232, Sept. 2010.

11. 全身に吸収される SAR の測定法に関する研究

東京農工大学大学院 講師 有馬 卓司

本年度の進捗状況および成果を下記 3 つにまとめる。

1. 簡易な全身平均 SAR の測定手法として wheeler 法を用いることを提案した。

アンテナの放射効率を測定する手法として知られている、Wheeler 法を SAR 測定に応用することを提案した。放射効率はアンテナの入力電力から放射されずに損失となる電力を引くことで求まる。この理論を応用し、媒質に吸収され発生する SAR を損失と考え、アンテナ効率より SAR を見積もることができると考えた。後述するように FDTD 法を用いたシミュレーションおよび実験により、提案する手法は有効である事を示した。

2. FDTD 法を用いたシミュレーションを通してその有効性を理論的に示した。

提案する手法の有効性を FDTD 法を用いたシミュレーションによって明らかにした。シミュレーションモデルは、図 1 に示すものである。このモデルに対し、自由空間中の条件でシミュレーションした結果と、FDTD 空間中に Wheeler キャップを設置したモデルのシミュレーションを行い Wheeler 法により、効率を測定した。その結果提案手法は約 5% の差異で求めることができることが分かった。この効率より、1 W 入力に対する SAR を見積もることが可能である。

3. 実験を通し有効性を実験的に示した。

提案する手法の有効性を実際に実験により確かめた。実験において、Wheeler キャップは異なる大きさ (6 種類) の金属製調理用ボールを用いた。アンテナは有限地板上のモノポールアンテナとした。実験条件はアンテナからの距離をパラメータとして行ったが、約 6% の差異で求まることが分かった。

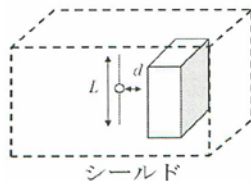


図 1. FDTD 解析モデル

	改良型 Wheeler 法 (FDTD 法)	FDTD (自由空間中)
効率[%]	53.9%	48.3%
全身平均 SAR[W/kg] (1Wあたり)	1.17W/kg	1.31W/kg

図 2. FDTD 法結果

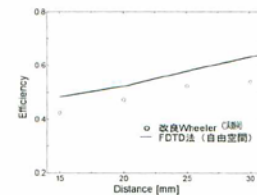


図 3. 実験値とシミュレーション比較

成果公表文献：(なお、年度内にもう 1 件発表予定である。IEICE 全国大会を予定)

有馬卓司, 今村崇志, 宇野亨「Wheeler 法を用いた全身に吸収される SAR の測定」電子情報通信学会次世代無線設備試験認証技術研究会技術報告 ACT2010-15, pp.49-52, 2010.12

12. SARの簡易測定法の調査研究

防衛大学校電気情報学群 助教

道下 尚文

人体に近接して使用される通信機器において局所 SAR 測定法の簡易化が要求されている。本調査研究は、側頭部以外の人体胴体に対する SAR 測定法の簡易化を図ることをねらいとしている。ここでは、標準測定法で用いられる人体等価液体ファントムを使わず、低密度、軽量で取り扱いが容易な電波吸収体からなる軽量ファントムを用いた測定系について検討している。

提案する簡易測定法は、平面型軽量ファントム内に電界プローブを埋め込み、電界プローブをファントムごと 2 次元走査することで得られた電界分布から局所 SAR を推定するものである。2 次元電界分布の測定のみで良いため、測定時間の大幅な短縮が可能である。平成 22 年度は以下の成果を得た。

(1) 軽量ファントムの設計法を確立した。軽量ファントムの表面インピーダンスの振幅が人体等価ファントムと等しければ、ファントム表面の電界分布をほぼ等しくできることがわかった。

(2) 内部電界推定法を確立した。媒質内部の減衰項を媒質による減衰と電磁波の拡散による減衰に分け、軽量ファントム内部の電界から人体等価ファントム内部の電界を推定することができた。

(3) 測定により妥当性を確認した。ダイポールアンテナを用いて電界プローブのアンテナファクタを決定し、携帯端末の局所 SAR を求めると解析値とほぼ等しくできた。

進捗度については、人体側頭部以外に近接して用いられる通信機器の 1 周波 (1850 MHz) における簡易測定法の妥当性を示すことができた。これらの成果について、以下の学会で発表した。

[1] 渡部旦, 道下尚文, 山田吉英, “軽量人体ファントムを用いた簡易 SAR 測定法,” 信学技報, ACT2009-15, pp.1-8, Feb. 2010.

[2] 渡部旦, 道下尚文, 山田吉英, “軽量人体ファントムを用いた表面 SAR 推定,” 信学総大, B-4-1, March 2010.

[3] 渡部旦, 道下尚文, 山田吉英, “軽量人体ファントムを用いた簡易 SAR 測定法のためのファントム表面電界の電磁界解析,” 日本シミュレーション学会大会発表論文集, pp.481-484, June 2010.

[4] 渡部旦, 道下尚文, 山田吉英, “電波吸収体を用いた軽量ファントム表面電界分布の測定,” 信学ソ大, B-4-5, Sep. 2010.

[5] T. Watanabe, N. Michishita, and Y. Yamada, “Simplified method for measurement SAR by using phantom composed of wave absorber,” 40th European Microwave Conference, pp. 216-219, Paris, France, Sep. 2010.

[6] T. Watanabe, N. Michishita, and Y. Yamada, “Surface electric field distributions of lightweight phantom composed of wave absorber for simplified SAR measurement,” Asia Pacific Microwave Conference, pp. 1352-1355, Yokohama, Dec. 2010.

13. 差動伝送系機器からの電磁妨害波の抑制法の開発

秋田大学 理事・副学長 井上 浩

本研究はユビキタスネット社会でのクリーンな電磁環境を達成するために、GHz 帯差動伝送系からの電磁妨害を解決するために、その発生メカニズムを明らかにしながら抑制法を開発することを目的にしている。すなわち、差動伝送系機器からの電磁妨害の問題を解決し、電磁妨害の発生メカニズムを明らかにしながらその抑制法を開発することが必要である。

本年度も研究初年度に引き続き、1) 電磁妨害の発生メカニズムの解明を通じた放射予測モデル、並びに2) 伝送信号波形の整形用デバイスの開発に主眼を置いた。

多層基板構造において最も基本となるストリップライン構造からの不要電磁波放射特性に着目した場合、水平偏波と垂直偏波の2成分があるが、垂直偏波成分については初年度に提案した物理等価回路モデルによりスリットを有する場合についても予測可能である。そのため、主にコモンモード成分に起因する水平偏波成分の予測モデルについて検討した。提案する等価回路モデルは、伝送線路理論に基づく分布定数線路モデルに不平衡の発生源として有限幅寸法のグラウンドインダクタンスに起因する電流駆動型メカニズムと、容量性結合による電圧駆動型メカニズムを考慮したものである。ベンチマークとして、FDTD法によるフルウェーブ解析との比較を行った結果、第1共振周波数以下では6dB以内で一致し、より高周波でもキャビティモードに起因する共振特性を精度良く解析・予測でき、提案する手法及び等価回路モデルの妥当性と有効性を実証することができた。

また、実際の差動伝送線路構造からの不要電磁波放射を予測するため基礎検討として、屈曲部を有した非対称な差動伝送線路モデルを考え、そのミックスド・モードSパラメータ、近傍電磁界、遠方電界特性について検討し、非対称構造がシグナルインテグリティ及び遠方電界(放射)に与える影響を定量化し、今後の予測モデルのための知見を得た。

抑制の観点からは、波形整形用の負の群遅延特性をもつ伝送線路構造をPCBレベル並びにICチップレベルで試作し、F-SIRの周期的配列により負の群遅延特性が実現可能であることを実験、電磁界解析、等価回路モデルから明らかにした。

今後は、それらを用いたシグナルインテグリティの改善及び遠方放射の抑制への検討を進める予定である。

初年度報告書提出時(平成21年12月15日)から今年度報告書作成時(平成22年12月1日)までの本公益的調査研究に関する成果は以下のように査読付き論文2件、国際会議5件、信学会研究会・全国大会5件であり、さらに国際会議に2件投稿中である。

レフリー制のある学術雑誌(原著論文)

- [1] R. Yanagisawa, Y. Kayano and H. Inoue, "Left Hand Mode Transmission Line Characteristics Made by F-SIR on PCB", IEICE Trans. Commun., vol.E93-B, no.7, pp.1855-1857, Jul. 2010.
- [2] Y. Kayano and H. Inoue, "Identifying EM Radiation from a Printed Circuit Board Driven by Differential-Signaling", Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging, vol.3, no.1, Dec. 2010 (採録決定)

国際会議

- [3] Y. Kayano, R. Yanagisawa and H. Inoue, “Negative Group Delay Circuit fabricated in an Integrated Circuit Chip”, in Proc. 2010 Asia-Pacific International Symposium on EMC, pp.1126-1129, Beijing China, May 2010.
- [4] Y. Kayano, R. Hashiya and H. Inoue, “The Correlation between Imbalance Current and EM Radiation from a Printed Circuit Board Driven by Differential-Signaling”, in Proc. International Conference on Electronics Packaging, pp.608-613, Hokkaido, Japan, May 2010.
- [5] R. Yanagisawa, Y. Kayano and H. Inoue, “Equivalent Circuit Analysis of F-SIR Structure with Negative Group Time Delay”, in Proc. Pan-Pacific EMC Joint Meeting’10, TH-AM2-1, pp.31-34, Sendai, Japan, May 2010.
- [6] Y. Kayano and H. Inoue, “Predicting CM Radiation from Strip Line Structure by Equivalent Circuit Model”, in Proc. IEEE International Symposium on EMC, pp.748-758, Fort Lauderdale, FL, USA, Jul. 2010.
- [7] Y. Kayano and H. Inoue, “A Study on Characteristics of EM Radiation from Strip Line Structure”, in Proc. Asia-Pacific Radio Science Conference, E2-1, Toyama, Japan, Sep. 2010

電子情報通信学会研究会及び全国大会

- [8] 高山 司, 萱野 良樹, 井上 浩, “スロットを周期的に形成した電源面を持つストリップライン構造からの不要電磁放射”, 信学技報, 機構デバイス研究会, EMD2009-137, Mar. 2010.
- [9] Y. Kayano, T. Takayama and H. Inoue, “A Study on EM Radiation from Stripline Structure with Gapped Plane”, 2010 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, B-4-2, p.352, Mar. 2010.
- [10] 萱野 良樹, 井上 浩, “給電ケーブルで駆動される PCB からの不要電磁波放射”, 2010 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, BI-2-2, PP.SS-112-SS-113, Mar. 2010.
- [11] Y. Kayano and H. Inoue, “A Study on EM Radiation from Stripline Structure with a Thin Wire”, 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, B-4-48, p.351, Sep. 2010.
- [12] Y. Kayano and H. Inoue, “An Equivalent Circuit Model for Predicting EM Radiation from Stripline Structure with a Thin Wire”, 信学技報, 環境電磁工学研究会/マイクロ波工学研究会, EMCJ201056/MW2010-91, Oct. 2010.

国際会議 (投稿中)

- [13] Y. Kayano, K. Mimura and H. Inoue, “The Correlation between Imbalance Component and EM Radiation from a Differential-Paired Line with Different Length”, in Proc. International Conference on Electronics Packaging, Nara, Japan, April, 2011 (投稿中)
- [14] Y. Kayano and H. Inoue, “Prediction of EM Radiation at GHz Frequency from a PCB Driven by a Connected Feed Cable”, in Proc. 2011 Asia-Pacific International Symposium on EMC, Jeju Island, Korea, May 2011 (投稿中)

14. 人体通信における埋め込み型医療機器の EMC 評価法に関する研究

名古屋工業大学大学院 教授 王 建青

人体周辺での電波利用技術の新たな展開に伴い、心臓ペースメーカーに代表される体内埋め込み型医療機器への電磁干渉や、体内無線デバイスによる人体比吸収率（SAR）などの電磁両立性（EMC）的問題もクローズアップされ、これらの EMC 問題を適切に対処・評価することが要求されている。本年度では、心臓ペースメーカーの電磁干渉問題について、昨年度に引き続き、本研究代表者の提案になる

（１）ペースメーカー自身を受信アンテナ、電極コネクタ部を負荷とみなすようにワイヤレス BAN(Body Area Network)信号によるペースメーカー電極コネクタ部での誘起電圧を測定し

（２）この電圧をペースメーカー内部センシング回路への入力として、回路の非線形性を考慮した形でペースメーカー回路出力に現れる干渉電圧を推定する

評価法の妥当性評価を進めた。具体的には、人体通信周波数帯（数 MHz～数十 MHz）及び超広帯域（UWB）周波数帯において、電磁界・回路シミュレータによる解析と製作モデル回路による実験の両方を実施し、その比較を行った。その結果、ワイヤレス BAN 信号のペースメーカー遮断帯域外の周波数成分は殆どセンシング回路出力に表れないが、直流電圧成分だけは 40dB も増幅され、正弦波入力のとくに比べて遥かに大きくなって出力されることがわかった。このことは、回路素子の非線形性により無線信号が直流成分へ変換され、それ故に心臓ペースメーカーに電磁干渉電圧が誘起されるという誤動作メカニズムで説明できた。また、このワイヤレス BAN 周波数帯信号による直流オフセット電圧の予測値が、実測値と同レベルであることから、本評価手法の妥当性が確認できた。

なお、この研究成果はアジア・パシフィック EMC 国際シンポジウム（APEMC）及び超高速高周波エレクトロニクス実装研究会で発表された（添付資料参照）。また、実験結果を含めた論文化は準備中である。よって、本研究は現在計画通り進められており、今後は上述検証結果を基に、ペースメーカー内部回路での誘導電圧を予測するための電極コネクタ部電圧からの変換ファクタを導出する予定である。

15. アレーアンテナの精密キャリブレーション手法とその高機能化に関する研究

新潟大学自然科学系 教授 山田 寛善

本研究では、アレーアンテナによる高分解能到来方向推定や正確なビーム形成の際に不可欠となるアレー校正手法に関する検討を行っている。今年度は、特にマルチパス環境下でのアレー校正手法の開発・改良と、任意形状アレーにおける校正手法の改良を中心に、それらの手法の改良と実証実験に取り組んだ。

マルチパス環境下でのアレー校正手法[1]-[3], [5]-[6]は、アレーを用いる現地での校正手法の開発を目的とした物であり、方位が既知の送信アンテナを用いることを想定している。実際には直接波のみならず、複数のコヒーレントマルチパス波が到来し、それらの素波の方位は予測できるが複素振幅は未知である。この研究では、マルチパス波の素波とコヒーレント参照波の雑音部分空間との直交性に着目した校正を施すことにより、複素振幅に依存しない校正手法が実現できること、および、素波の角度誤差に対しロバスト性を有することを明らかにした。これらの一連の成果は論文投稿中である。

また、マルチモード素子を用いたアレーにおける校正手法として、アレーマニフォールド分離法の有効性を検討した[4]。これは、本来、任意形状アレーを仮想的な等間隔アレーに変換する手法であるが、仮想素子数の増加が可能であるため、マルチモード特性による誤差補正にも有効といえる。ここでは、キャリブレーション既存手法の問題点を明らかにし、申請者等が提案している手法の適用が有効であることを示した。なお、仮想素子数の増加に伴い、校正方程式が数値的に不安定となる問題点が明らかとなったが、対角ローディングと呼ばれる安定化手法を用いることにより、実用的に十分な精度での校正が実現されることを示した。

以上の手法は、いずれも既知校正波を用いる手法であるが、ブラインド校正手法への拡張の基礎検討として、校正行列および校正信号（マルチパス無し）の方位を未知とした、SAGE 法に準じたアルゴリズムの検討を行い、初期の検討結果を発表した[7]。

[1] H. Yamada, Y. Yamaguchi, "On array calibration in the presence of multipath waves," Proc. Korea-Japan AP Technical Meeting 2010, Seoul, Korea, Apr.23, 2010.

[2] 山田, 山口, "信号部分空間と雑音部分空間の直交性を利用したアレー校正について", 信学技報, vol.AP2010-21, 2010 年 5 月.

[3] 酒井, 山田, 山口, "マルチパス環境下でのアレー校正による DOA 推定精度について", 信学技報, vol.AP2010-81, 2010 年 10 月.

[4] 高橋, 山田, 山口, "任意形状アレーにおける Root-MUSIC 法を用いた DOA 推定のためのアレー校正手法", 信学技報, vol.AP2010-128, 2010 年 12 月.

[5] 酒井, 山田, 山口, "マルチパス環境下におけるアレー校正精度の評価", 2010 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-236, 2010 年 9 月.

[6] 酒井, 山田, 山口, "マルチパス参照信号を用いたアレー校正手法の定量的評価", 2010 年電子情報通信学会信越支部大会, 4B-2, 2010 年 10 月.

[7] 高橋, 山田, 山口, "到来方向推定のためのブラインドアレー校正手法の精度向上に関する検討", 2010 年電子情報通信学会信越支部大会, 4C-4, 2010 年 10 月.

21. 医用生体電磁気学研究会

首都大学東京大学院 教授

多氣 昌生

電磁波の生体安全性の評価や電磁波の医療への応用等、電磁波と生体の関連を中心に幅広い研究が行われている医用生体電磁気学は、電波の安全性や人体周辺無線通信技術等のユビキタスネットワーク社会の基盤となる研究課題と密接に関わっていることから、本分野における研究者の交流・連携を図ることを目的として医用生体電磁気学研究会を発足させた。

本研究会では、URSI-K 国内小委員会と連携し、URSI-K 国内小委員会委員に加えて、広く関係する研究分野の若手研究者も参加して議論できる環境を提供し、これまでに下記の通り 4 回の研究会を実施した他、二回のシンポジウムを実施した。

第一回研究会を平成 21 年 5 月 12 日に首都大学東京秋葉原キャンパスにて開催した。参加者は、23 名であった。研究会での議論は、東京大学新領域 赤木貴則先生の特別講演「細胞分析のためのナノバイオデバイス」では、細胞の電気特性、細胞の電荷量などを基に、一細胞レベルでのマニピュレーション、分析などに冠する発表がなされ、細胞の電荷量変化のメカニズムや医療への応用の可能性と今後の見通しなどに関して活発な議論がなされた。

第二回研究会を平成 21 年 9 月 9 日に首都大学東京秋葉原キャンパスにて開催した。参加者は、24 名であった。研究会では、東北大学大学院教授 松木英敏先生の特別講演「ワイヤレス電力伝送の最近の動向」では、非接触電力伝送の技術開発の現状と、「無意識に充電」するインフラなど、社会導入のコンセプトに関する発表がなされ、実用化に向けた今後の課題など具体的な技術面での活発な議論がなされた。

第三回研究会は、シンポジウム形式とし平成 22 年 1 月 23 日に沖縄県青年会館にて開催した。プログラムは特別講演 1 件（「脳神経外科の診断治療における電気刺激と磁気刺激」東京大学医学部脳神経外科 川合謙介先生）、ならびに一般演題として、医療応用、曝露評価、生体影響評価の 3 セッションで計 12 件が発表された。参加者は 30 名を超え、幅広く活発な議論を行った。

第四回研究会は、平成 22 年 5 月 12 日に首都大学東京秋葉原キャンパスにて開催した。参加者は、26 名であった。情報通信研究機構 浜口清先生より「医療支援のための ICT 技術と IEEE802 標準化」では、情報通信技術（ICT）を活用した遠隔診療システムの支援のための、生体情報を対象とした人体内外上のワイヤレスセンサーネットワーク（および遠隔データ伝送）を応用先とした近距離無線通信技術の開発とその標準化に関する講演があり、機器の仕様や自治体との協働まで含め活発な議論が交わされた。また、労働安全衛生総合研究所 山口さち子先生より「磁気刺激の新規生体効果の探索」に関する講演があり、パルス磁場を用いた磁気刺激による抗がん剤の作用亢進についての実験結果が報告され、パルス磁場の作用機序やパルス装置の要件から見た磁気刺激の臨床応用の可能性などに関して活発な議論がなされた。また同山口先生より「MR 検査室での作業者の磁場ばく露の調査」

として、MR 検査室での実際の作業工程における作業者の磁場ばく露に関する報告があり、磁界の測定法などを含め活発な議論が行われた。

第五回研究会は、医用生体電磁気学の黎明期に活躍された雨宮好文先生の業績を振り返り、またこれからの医用生体電磁気学を展望するためのシンポジウム形式とし、平成 22 年 11 月 13 日に首都大学東京秋葉原キャンパスにて開催した。参加者は 30 名であり、昆虫の発生に対する電界の影響、MRI での温度測定などの他、ドシメトリ評価に関する初期の研究などに加え、電磁界防護指針の制定過程や疫学レビュー作成の過程がレビューされ、温故知新をするとともに、生物および工学の分野における今後の課題などが積極的に議論された。

第六回研究会は、シンポジウム形式とし平成 23 年 1 月 21 日に情報通信研究機構小金井本所にて開催する予定である。内容として、特別講演 1 件、一般演題 8～12 件を予定し、現在プログラムを調整中である。また、第六回研究会開催に合わせて、2011 年 8 月にINSTANTAMBULで開催予定の URSI 科学シンポジウム総会 に向けてのわが国としての対応についての審議を予定している。

なお、本研究会が密接に連携する国際電波科学連合（URSI）K 分科会に関して、2010 年 9 月 22 日から 26 日まで、富山市において 2010 年アジア太平洋電波科学会議（AP-RASC' 10）が開催され、本研究会関連の多くのセッションが組織された。

22. 4th Pan-Pacific EMC Joint Meeting

第4回環太平洋地域EMC合同会議（終了報告）

横浜国立大学大学院 准教授 久我 宣裕

研究集会概要

2010年5月27(木)～28(金)の2日間にわたり、東北大学（サイバーサイエンスセンタ）にて「4th Pan-Pacific EMC Joint Meeting –PPEMC'10–（第4回環太平洋地域環境電磁工学合同会議）」を開催した。

同集会では日本、中国、韓国、台湾、タイの研究者がEMC全般に関するテーマを取り扱い、一般講演のほかに、国内・国外の著名なEMC研究者を招聘した招待講演、さらには企業展示も実施した。初日の講演会の後にはバンケットを企画し、EMC研究者どうしの親睦を深めた。

本会議では論文発表27件、参加者56名、さらに2社による企業展示も同時に開催され、いずれも盛況であった。論文発表は、招待講演6件（国内2件、海外4件）、一般講演21件であり、招待講演では日本、中国、韓国、台湾、タイにおける大学教授による最近の研究成果やトレンド等が紹介された。セッションは、6つのTechnical Session、および3つのInvited Sessionで構成され、2日間にわたり研究成果等について活発に議論、討議がなされ、成功裡に終了した。



写真：PPEMC'10 Opening Addressの様子

研究集会の目的・意義

PPEMCは、環太平洋地域のEMC研究者に、研究成果の発表と情報交換の場を提供することを目的としている。ユビキタス社会に向けて今後更に発展する無線システムやIT機器、さらには両者の共存などについて、電磁環境の視点から議論を行い、機器のEMC設計、計測技術のほか、アンテナの校正、サイト評価法から電磁波の生体影響に至るまで、EMC全般に亘る幅広いテーマを扱い、国際的な人的交流をはかるとともに、EMC研究の発展に寄与する。

【公益的調査研究助成とは】

財団法人テレコムエンジニアリングセンター（ＴＥＬＥＣ）が実施する公益的調査研究助成事業の概要は以下のとおりです。

1 公益的調査研究助成の狙い

ホワイトスペースの活用、携帯端末向け放送や将来の携帯通信システムへの周波数割当など、新たな電波利用への関心が高まっています。通信システムとしての無線機器の高度化にとどまらず、ワイヤレス給電など通信以外の無線システムも開発が進んでいます。さらに、私たちを取り巻く電子機器にも無線技術が多く取り入れられ、意図しない電波雑音まで含めると、どんな環境でも電波あるいは電磁波と無関係ではありえません。無線技術は地球的規模での環境問題、資源・エネルギー問題などの克服とも深くかかわっています。

無線技術の効用を最大限に社会に活用していくためには、新たな電波有効利用技術の研究開発と合わせて、電波利用秩序を維持するために、無線機器の試験、電波の測定技術等の研究開発が不可欠です。

このような社会的背景に鑑み、ＴＥＬＥＣでは公益的な立場から、無線機器の試験、電波の測定等一般に関する調査研究（開発を含む。以下同じ。）を円滑に推進するため、これらの調査研究に携わる研究者の皆様を対象に、調査研究に対する助成及び研究集会に対する助成を行っています。

2 研究助成の対象とする研究分野

無線機器の試験、電波の測定等一般に関する分野の独創的な調査研究、ならびに日本の団体が運営主体となって開催する同分野の研究集会（会議、シンポジウム、研究発表会等）を対象としています。

3 応募資格

国内の研究・教育機関等に所属する研究者または共同研究グループ、ならびに応募対象の研究集会の運営主体の責任者としています。

4 研究助成額及び採用予定件数

調査研究助成額は1件当たり年間150万円以内とし、現在、新規募集を一時中止しており、継続案件のみ助成しています。また、研究集会助成額は1件当たり最大50万円とし、数件の採用を予定しています。

5 研究助成期間

一つの調査研究テーマに対して研究助成期間は3年以内としています。

6 募集時期

毎年10月ごろを予定。

詳細は、その時期にホームページ等でご案内いたします。

7 審査

調査研究助成対象者及び研究助成額、ならびに研究集会助成対象の研究集会及び助成額は、当センターが設置した公益的調査研究選考委員会において提出された書類を審査し、この選考委員会の結果に基づいて当センターの理事長が決定します。

財団法人 テレコムエンジニアリングセンター

〒140-0003 東京都品川区八潮 5-7-2

URL <http://www.telec.or.jp>