

# 公益的研究助成進捗状況概要報告

平成23年度（報告対象期間 平成23年4月～平成23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23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 20 年度選考の3年目)

1. 全身に吸収される SAR の測定法に関する研究	-----	1
東京農工大学大学院 講師 有馬 卓司		
2. SAR の簡易測定法の調査研究	-----	2
防衛大学校電気電子工学科 助教 道下 尚文		
3. 差動伝送系機器からの電磁妨害波の抑制法の開発	-----	3
秋田大学工学資源研究科電気電子専攻 教授 井上 浩		
4. 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	-----	5
名古屋工業大学大学院 教授 王 建青		
5. 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	-----	6
新潟大学自然科学系 教授 山田 寛喜		

## 公益的研究集会助成進捗状況概要報告 目次 2

(平成22年度選考の1年目)

11. 電気・電子機器のEMCワークショップ ----- 7  
九州工業大学大学院工学研究院電気電子工学研究系 教授 桑原 伸夫
12. 国際電波科学連合(URSI)B分科会 2013 電磁界理論国際会議のための準備会合 ----- 8  
日本大学理工学部電気工学科 教授 山崎 恒樹
13. 2012 年アジア太平洋マイクロ波フォトニクス会議(APMP2012) (進捗報告省略)  
早稲田大学研究戦略センター 教授 松島 裕一

(平成21年度選考の2年目)

14. 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
15. 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

(平成20年度選考の3年目)

16. 医用生体電磁気学研究会 (進捗報告省略)  
首都大学東京大学院 教授 多氣 昌生

# 1. 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

本調査研究では、測定が困難である全身に吸収される SAR の測定手法として「wheeler 法」を用いることを提案してきた。計画最終年度の本年度は提案手法の有効性に関して、下記に示す成果が得られた。

## (1) Wheeler 法に用いるシールドの形状についてその特性を明らかにした

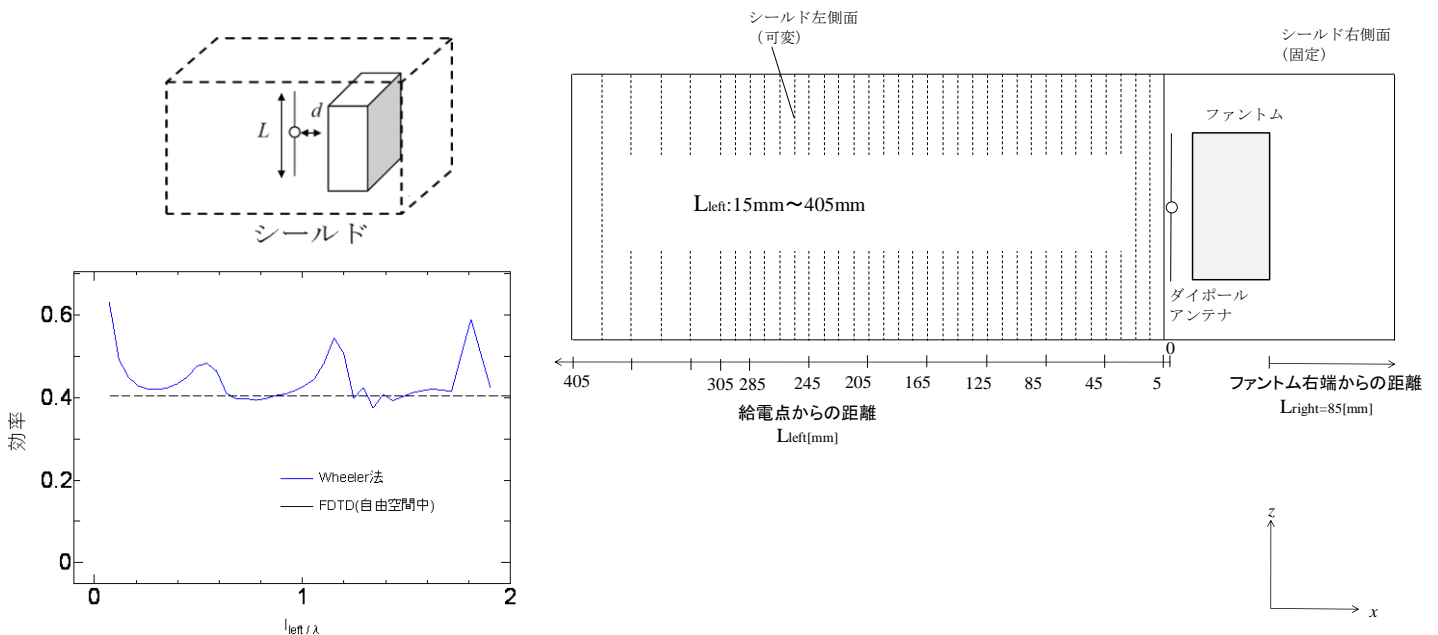
Wheeler 法は図 1 に示すように、測定対象をシールドで覆った条件と覆わない条件双方で測定し、比較することにより損失電力 (=全身に吸収される SAR) を測定する手法である。このシールドの形状について、比較的容易に手に入れることのできる球形と数値的に解析しやすい方形について比較し方形のほうが安定した結果が得られることを解析および実験双方で確認した。

## (2) Wheeler 法に用いるシールドのサイズについてその特性を明らかにした

Wheeler 法はシールドの大きさによって正しく測定できるときとできないときがある。これは、シールドが共振器として働いてしまうためであり、実用上問題であった。そこで、図 2 に示すように、方形のシールドの長さ方向を変化させ正しく測定できる条件とできない条件を明らかにした。その結果図 3 に示すように、 $0.6\lambda$  ごとに正しく測定できないことが分かった。このことより、 $0.6\lambda$  シールドの大きさを変化させればその中に正しい測定結果があることが分かった。

## (3) 人体頭部サイズに対して提案した手法が有効か検討した

提案してきた全身 SAR 測定手法は主に小動物を用いた動物実験などを想定していた。そのため被測定物は長辺で 10cm 程度だった。提案する手法のさらなる応用を考え人体頭部サイズのファントムを用いたシミュレーションを行った。その結果、提案する手法は人体頭部サイズの測定にも応用可能であることが数値的に確認された。



## 2. SARの簡易測定法の調査研究

防衛大学校電気電子工学科 助教 道下 尚文

SAR の標準測定法は使用する液体ファントムの管理が煩雑であり，測定時間が膨大となる問題点がある．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，広帯域化を図ることをねらいとしている．本年度は以下の成果を得た．

(1) 広帯域軽量ファントムとして用いる電波吸収体の電気定数を設計した．軽量ファントムの表面インピーダンスの振幅が液体ファントムと等しくなるように電気定数を決定することで，広帯域にわたってファントム表面の電界分布が等しくなることを明らかにした．また，実際の電波吸収体の適用範囲を調査し，広帯域ファントムとして使用可能であることを示した．

(2) 簡易測定法の妥当性を確認した．プローブの受信電圧から電界値を求めるためのアンテナファクタを FDTD 法により算出した．電波吸収体内部の電界測定値から吸収体表面及び液体内部電界分布を推定することで局所 SAR を求めた．TELEC 所有の標準測定装置による測定結果との差は 0.78dB 以下となり，本測定法の妥当性を示した．

以上の成果について，以下の学会で発表した．

- [1] T. Watanabe, N. Michishita, and Y. Yamada, "Estimation of Peak Spatial-average SAR of Inverted F-antenna on Metal Plate Using Lightweight Phantom Composed of Wave Absorber," 5th European Conference on Antennas and Propagation, Rome, Italy, April 2011, pp.74-78.
- [2] 道下尚文, 落山啓太, 山田吉英, "簡易局所 SAR 測定用広帯域軽量ファントムの表面電界分布," 信学ソ大, B-1-206, Sep. 2011.
- [3] K. Ochiyama, N. Michishita, and Y. Yamada, "Electromagnetic Simulation of Surface Electric Field on Broadband Lightweight Phantom for Simplified SAR Measurement," International Conference on Modeling and Simulation Technology, Tokyo, Oct. 2011, pp.32-35.
- [4] N. Michishita, K. Ochiyama, and Y. Yamada, "Design of Broadband Lightweight Phantom Composed of Wave Absorber for Simplified SAR Measurement," International Symposium on Antennas and Propagation, Jeju, Korea, FrP2-47, Oct. 2011.
- [5] 落山啓太, 道下尚文, 山田吉英, 新井宏之, 田中稔泰, "簡易局所 SAR 測定用の電波吸収体を用いた広帯域軽量ファントム," 信学技報, ACT2011-2, pp.5-11, Sep. 2011.
- [6] 落山啓太, 道下尚文, 山田吉英, 新井宏之, 田中稔泰, "広帯域電波吸収体ファントムを用いた携帯端末用アンテナの局所 SAR 測定法," 信学技報, ACT2011-10, Dec. 2011.
- [7] N. Michishita, T. Watanabe, Y. Yamada, H. Arai, and T. Tanaka, "Simplified Local Specific Absorption Rate Measurement Method Using Lightweight Phantom Composed of Wave Absorber Embedded of Electric Field Probe," IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 採録決定.

### 3. 差動伝送系機器からの電磁妨害波の抑制法の開発

秋田大学工学資源研究科電気電子専攻 教授 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としている。すなわち、モデルとなるプリント回路基板を使用して、差動伝送系機器からの電磁妨害の発生の基本的な問題を明らかにし、問題の解決策すなわち抑制法を提案することを目標としている。

最終年度は 1) ストリップライン構造で幾何学的に非対称な差動伝送線路からの不要電磁放射の予測モデルの開発、および 2) 伝送信号波形の整形用デバイスの開発を行った。

(1) 非対称構造が  $S$  パラメータ、近傍電磁界、放射電磁界に与える影響を検討した結果、従来から信号品質改善の観点から広く利用されているミアンダ遅延線は伝送線路終端での CM 成分を抑制しアイパターン等の信号品質の確保には有効であるが、放射そのものは抑制できないという重要な結果が得られた。関連研究を行っている国内外の研究グループの多くが放射抑制効果を DM から CM へのモード変換係数( $S_{cd21}$ )のみで評価しているが、 $S_{cd21}$ のみでは放射抑制効果の定量的な評価とはならず、新たな評価パラメータ及びモデルの必要性を示唆する重要な結果である。この問題解決のために、幾何学的に非対称な差動伝送線路構造からの不要電磁放射強度を精度良く予測し、支配的な放射要因を明らかにするための手法として、次に示す 2 つで構成した物理ベース等価回路モデルの基礎を開発した。

モデル 1) CM 成分の発生量、周波数特性を再現可能で、差動伝送線路の幾何学的構造と物理(電磁)現象の対応関係が明確な電圧及び電流分布計算のための伝送線路モデル。

モデル 2) 等価電磁流により放射現象をシミュレートするアンテナモデル。

幾何学的に非対称な等長配線の予備的検討から、等長配線により信号品質が改善できても放射そのものを抑制できない要因として、要因 1)非対称による CM 伝搬部分の発生による CM 放射の増加、要因 2)差動伝送線路間隔の広がりによる差動信号のメリットである放射打ち消し効果の減少、ならびに要因 3)線路の基板端への配線による CM 放射の増加の 3 つが考えられ、低周波帯では要因 1 が、GHz 超高周波では要因 2 が支配的な要因であることを明らかにした。

(2) 抑制の観点から、波形整形用の負の群遅延特性をもつ差動励振 F・SIR を伝送線路構造に含むモデル線路を PCB 上および IC チップ内に試作した。差動励振 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及び電磁界解析から明らかにし、その有用性を示した。

第 2 年度報告書提出時(平成 22 年 12 月 1 日)から最終年度報告書作成時(平成 22 年 12 月 20 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 3 件、国際会議 3 件、信学会研究会・全国大会等 5 件であり、さらに国際会議に 1 件投稿中である。

#### レフリー制のある学術雑誌(原著論文)

- [1] 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,

pp.24-30, Dec. 2010. (前回報告書で採録決定として報告したものが発行)

- [2] Y. Kayano and H. Inoue, "A Study on Characteristics of EM Radiation from Strip Line Structure", *Radio Science*, 46, RS0F06, doi:10.1029/2011RS004735.
- [3] Y. Kayano, K. Mimura and H. Inoue, "Evaluation of Imbalance Component and EM Radiation Generated by an Asymmetrical Differential-Paired Lines Structure", *Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging* (採録決定)

#### 国際会議

- [4] 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*, pp.103-108, Nara, Japan, April, 2011.
- [5] 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*, S-Tu2-5, Jeju Island, Korea, May 2011.
- [6] Y. Kayano and H. Inoue, "Electromagnetic Radiation Resulting from Strip Line Structure Driven by a Feed Cable", in *Proc. IEEE International Symposium on EMC*, Long Beach, CA, USA, pp.161-166, Aug. 2011.

#### 電子情報通信学会研究会及び全国大会 他

- [7] 柳澤 良介, 萱野 良樹, 井上 浩, "差動励振モードによる F-SIR 構造の負の群遅延特性に関する検討", 電子情報通信学会技術研究報告, 環境電磁工学研究会, EMCJ2010-122, Mar. 2011.
- [8] Y. Kayano, K. Mimura and H. Inoue, "A Study on Imbalance Component and EM Radiation from an Asymmetrical Differential-Paired Line driven by LVDS", 2011 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, B-4-53, pp.366, Mar. 2011.
- [9] Y. Kayano and H. Inoue, "Identifying Frequency Response of EM Radiation from an Asymmetrical Differential-Paired Line based on Physics-Based Equivalent Circuit Model", 電子情報通信学会技術研究報告, 環境電磁工学研究会, EMCJ2011-87, Oct. 2011.
- [10] Y. Kayano and H. Inoue, "A Study on Imbalance Component and EM Radiation from an Asymmetrical Differential-Paired Line driven by LVDS (Part II)", 2011 年電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, B-4-28, p.341, Sep. 2011.
- [11] 楊 曉帆, 萱野 良樹, 井上 浩, "負の群遅延特性の広帯域化のための多段 F-SIR 構造の検討", *IEEE EMC Society Sendai Chapter*・東北大学 EMC 仙台ゼミナール共催学生発表会, Dec. 2011.

#### 国際会議 (投稿中)

- [12] Y. Kayano and H. Inoue, "Effect of Periodic Dielectric Material placed over PCB on EM Noise Shielding", in *Proc. Joint Conference of "International Conference on Electronics Packaging" and "IMAPS All Asia Conference"*, Tokyo, Japan, April, 2012(投稿中).



#### 4. 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に加え、カプセル内視鏡に代表される体内から体外へのインプラントボディアエリアネットワーク(BAN)における人体比吸収率(SAR)評価などのEMC問題もクローズアップされている。これらのEMC問題を適切に対処・評価することができるように、本年度では、体内埋め込み型無線機のSAR評価法の確立を目指し、400MHz帯を取り上げて研究を進めてきた。

- (1) まず、インプラントBANの代表的周波数帯400MHzを対象に、解剖学的人体数値モデルにカプセル内視鏡用小型アンテナを埋め込み、FDTD(Finite Difference Time Domain)法を用いて、カプセルアンテナが消化器官内で計90ヶ所移動しながら、体表に設置されている受信アンテナへの伝搬損及びそのときの体内SARを求めた。
- (2) 次に、電力の距離減衰則に基づき、送信アンテナの体内位置と体表受信アンテナ間の距離をパラメータとした平均伝搬損の近似式を数値データから導出し、その減衰指数が5~6であること、また、平均伝搬損からの変動が対数正規分布に従い、その標準偏差が1.8~2.2であることを明らかにした。
- (3) これらの伝搬損の統計特性を基に、カプセル内視鏡による体内からの画像を体外へ伝送するときの通信特性(ビット誤り率特性)を求め、一定の通信品質、例えば $10^{-3}$ のビット誤り率を確保するために必要な送信電力を算出した。
- (4) このように算出した送信電力下における体内90ヶ所の10グラム平均局所ピークSARの統計分布を求め、無線機出力電力と局所ピークSARの平均値・中央値及び2W/kg或いは10W/kgの安全指針値を超える場所的確率を明らかにした。例えば、 $10^{-3}$ のビット誤り率、20Mbpsの高速伝送を実現しようとする、25mWの送信電力が必要であり、そのときにカプセル内視鏡が体内で移動しながら2W/kgの局所SARを超える確率が4%以下であることがわかった。

このようなアプローチにより、無線機の許される最大出力電力が導出でき、それを安全性評価の閾値とする。運用時には、人体ファントムにインプラントアンテナを埋め込んだときの放射電力を測定し、それと閾値電力と比較することで、無線機の適合性を評価する。なお、本研究の成果を2012年5月開催予定のアジア・パシフィックEMC国際会議及び3月に開催される電子情報通信学会総合大会で発表する。

## 5. 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 寛喜

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。最終年度である今年度は、昨年度までの成果のとりまとめ、および公開（発表）と、最終的な目標であるフル・ブラインド校正手法の開発に取り組んでいる。

昨年度、検討を進めていた、アレーを用いる現地での校正手法の開発を目的とした、マルチパス環境下での校正手法に関しては、その後、シミュレーションによる解析を進め、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電子情報通信学会英文論文誌に公開されている[1]。また、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(Manifold Separation)の有効性を検討し、素子数の増加に伴い、数値計算上の不安定問題が生じることを明らかにし、その解決手法として行列の対角装荷(diagonal-loading)が有効となることを示した [2]-[3]。これらが、いままでの研究成果を論文/国際会議として、とりまとめた結果である。

さらに、今年度は、最終的なブラインド校正手法開発に取り組んでいる。昨年度までの検討結果である[2], [3]は、既知信号を用いた結果であり、その時点で校正行列の推定が数値的に不安定となる可能性を有していると言うことは、完全なブラインド校正(到来方向, 校正行列未知)自体に数値的に安定な一意な解を 求めることの難しさを示唆している。現時点までのシミュレーションで鍵となる問題点が明らかになりつつある。残りの期間で、それらの明確化と(可能な範囲の)解決手段の開発, 実験による検証を行う予定である。

[1] H. Yamada, H. Sakai, Y. Yamaguchi, "On Array Calibration Technique for Multipath Reference Waves," IEICE Trans. Communications, Vol.E94-B, no.5, pp.1201-1206, May 2011.

[2] 高橋善樹, 山田寛喜, 山口芳雄, "MS-Root-MUSIC を用いた DOA 推定のためのアレー校正手法に関する検討", 信学論, Vol.J94-B, No.9, pp.1190-1194, 2011年9月.

[3] Y. Takahashi, H. Yamada, Y. Yamaguchi, "Array calibration techniques for DOA estimation with arbitrary array using Root-MUSIC algorithm," Proc. IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Innovative Wireless Power Transmission: Technologies, Systems, and Application (IMWS-IWPT 2011), Uji, Kyoto, Japan, May 2011.

## 11. 電気・電子機器のEMCワークショップ

九州工業大学 大学院工学研究院電気電子工学研究系 教授 桑原 伸夫

「第23回電気・電子機器のEMCワークショップ～スマートソサイエティ時代のEMC～」

開催日：平成23年11月10日（木）～11日（金） 場所：ホテル双葉（新潟県）

参加者数：67名 発表件数：11件

本ワークショップは、電子情報通信学会の環境電磁工学研究専門委員会の第2種研究会活動の一環で毎年1回開催しており、本年度で第23回を数えております。

近年エネルギー問題、中でもスマートグリッドが注目され、スマートハウス、スマートメータ等が産業界における研究開発対象となるスマートソサイエティ時代において、EMCは重要な位置付けにあり、将来への迅速な対応が求められております。そこで今回のワークショップでは、エネルギー関連の切り口からEMCを考えるということで、「スマートソサイエティ時代のEMC」をテーマとしました。

産、官、学の第一線でご活躍されている講師をお迎えし、行政の立場から見たエネルギー関連の動向を俯瞰すると共に、現場密着のEMC問題への対応技術についてご講演・パネル討論を実施し、太陽光発電システム・LED照明・自動車充電システムの国際規格の最新動向等をご紹介いただき、技術セッションではパワーエレクトロニクス機器関係のEMC技術の発表をいただきました。

本ワークショップでは例年通り、大学・官公庁・企業の研究開発者等、EMCに関連される方々が一堂に会し、活発な技術論議、意見交換や情報共有を行い、懇親会等にて親睦も深めました。このように、本ワークショップは我が国のEMC技術の発展に寄与し、大きく貢献できたと考えております。

- ・基調講演：「スマートグリッドの世界動向と我が国の取り組み」 発表1件
- ・特別講演：「EMCJの創設と今後の展望」 発表1件
- ・セッション1：「現場でのEMC問題と対応技術」 発表3件およびパネル討論
- ・セッション2：「EMC国際規格の動向～スマートハウスに向けて～」 発表3件
- ・セッション3：「パワエレ機器のEMC問題」 発表3件

## 12. 国際電波科学連合(URSI)B分科会 2013 電磁界理論国際会議のための準備会合

日本大学理工学部電気工学科 教授 山崎 恒樹

2 件の討論会あるいは特別講演会を共催／協賛を実施した。(さらに、3月に1件の会合開催を予定。)以下に、各会の詳細について述べる。

### 1) 生体電磁解析・測定技術に関する討論会 (平成23年5月9日)

本研究集会(電磁界理論)が得意とする境界領域の一つとして、生体電磁気学領域がある。そこで、電気学会における2つの調査専門委員会が主催する討論会に協賛した。本討論会の構成にあたり、電磁界理論と生体電磁解析／計測技術が融合するような話題4件を選定することに協力した。電磁界理論技術の生体電磁解析・計測に果たせる役割および生体電磁気学分野における電磁界理論のニーズについて活発な討論がなされた。

集会の参加者数、主要参加者

参加者数 25名

助成対象団体関係者の参加：山崎恒樹(日本大学)、平田晃正(名古屋工業大学)

その他の参加者：大久保千代治(電磁界情報センター)、和氣加奈子および浜田リラ(情報通信研究機構)、山崎健一(電力中央研究所)、藤原修(名古屋工業大学)、鈴木敬久(首都大学東京)、上村佳嗣(宇都宮大学)

### 2) 電磁界理論シンポジウムにおける特別講演会 (平成23年11月18日)

本研究集会(電磁界理論)の応用分野として、アンテナ計測技術およびその応用が挙げられる。そこで、以下の2件の特別講演を行った。

#### 1. 反射板が近接したダイポールアンテナにおけるモードおよび実用的構成の研究

高野 忠

#### 2. 衛星搭載プローブの開発による磁気圏プラズマ波動の広帯域観測

岡田 敏美

集会の参加者数、主要参加者

参加者数 52名

助成対象団体関係者の参加：山崎恒樹(日本大学)、安藤真(東京工業大学)、白井宏(中央大学)、平田晃正(名古屋工業大学)、

その他の参加者：宮崎保光(愛知工科大学)、塩沢俊之(大阪大学)、

**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

企画調査グループ

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