

## 携帯無線機用アンテナの実効利得改善に関する研究

著者	斎藤 裕
著者別名	Saito, Yutaka
雑誌名	博士学位論文要旨 論文内容の要旨および論文審査結果の要旨 / 金沢大学大学院自然科学研究科
巻	平成14年9月
ページ	470-478
発行年	2002-09-01
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/16487">http://hdl.handle.net/2297/16487</a>

氏名	斎藤 裕
生年月日	
本籍	石川県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第508号
学位授与の日付	平成14年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	携帯無線機用アンテナの実効利得改善に関する研究
論文審査委員(主査)	長野 勇(工学部・教授)
論文審査委員(副査)	村本健一郎(工学部・教授) 橋本 秀雄(工学部・教授) 西川 清(工学部・教授) 八木谷 聡(自然科学研究科・助教授)

## 学位論文要旨

### ABSTRACT

The purpose of this thesis is improvement of the effective gain of the antennas for radio terminals in vicinity of the human body. A card radio terminal is used in user's chest pocket or held in user's hand. A wristwatch radio terminal is worn on user's wrist. Therefore effects of various parts of the user's body have to be considered for analysis of the antennas for these terminals.

In chapter 2, we have grasped the features of the elevation patterns and the efficiency of the  $\lambda/4$  monopole antenna for the card radio terminal, which is worn on user's chest and held in user's hand. From the results, we have cleared the guidelines for improvement of the antenna gain. In chapter 3, we have proposed the high gain antenna for the wristwatch phone. In chapter 4 and 5, we have improved the pattern averaging gain (PAG) of the antennas for the card radio terminal and the handy phone by using the  $3\lambda/4$  antenna. In chapter 6, we have measured the effective gain of the above antennas in actual multi-pass propagation environment by using the random field measurement (RFM) method. From the results, we have showed the high effective gain of the proposed antennas.

### 1 携帯無線機用アンテナ研究の変遷と本研究の目的

近年、急激な発展を示している移動通信システムにおいて、移動端末（以下、携帯無線機）のアンテナ性能はシステムのサービスエリアを左右する重要な要素であり、様々なシステム

や携帯無線機の形態において最適なアンテナが研究されてきた。

国内の携帯電話には、伸縮型ホイップ・ヘリカルアンテナ [1] と板状逆 F アンテナ [2] (以下 PIFA : Planar Inverted F Antenna) が主に用いられており、過去 10 数年の多くの研究によりその動作特性が明らかにされ基本構成もほぼ確立している。携帯電話の場合、最も通信性能が重視される状態は使用者が携帯電話を手で持ち耳に密着した通話状態であるため、この通話状態を想定した研究が盛んに行われてきた。

通話状態の携帯電話用アンテナの特性を評価する場合の課題として、損失媒質である頭部や手の影響を含めたアンテナ特性を測定及び解析する方法の問題がある。また、携帯電話は複数の反射波が存在する多重波伝搬環境で使用されるため、実際の伝搬特性を考慮した実効的なアンテナ利得 (実効利得) を評価する必要がある。

これに関する多く研究の中で、実験により実効利得を求める方法として RFM (Random Field Measurement) 法 [3], [4] や、簡便な評価指標としてパターン平均化利得 (以下 PAG : Pattern Averaging Gain) [5] が提案されている。特に、PAG は電波暗室において測定された水平 (XY) 面の指向性から求められるもので、測定自体は短時間に容易に行えるため広く利用されている。一般的な携帯電話用ホイップアンテナの通話状態の PAG は約 -6 dBd であり、これが携帯無線機用アンテナの目標値となる。

この他、有限差分時間領域 (以下 FDTD : Finite Difference Time Domain) 法 [6] やモーメント法 (以下 MOM : Moment Method) [7] などの数値解析法を用いた研究により実験では得られない重要な結果が示されることで、頭部近傍に配置された携帯機アンテナの特性が解明されてきた。

今後、移動通信システムのサービス形態は、従来の電話から IP 接続や情報配信などへと変化していく。これに伴い、携帯無線機の形態が多様化していくことが予想される。例えば、カード型や腕時計型携帯無線機は、頭部近傍ではなく胸ポケットに入れた状態、手で保持した状態や腕に装着した状態などの様々な状態で使用される。これらのアンテナ特性を評価する場合は人体全身の影響を考慮する必要がある。携帯電話の通話状態以外の装着状態を想定して人体全身の影響を取り扱った従来の研究例 [8] はいくつかあるが、実効利得の改善に着目した研究は従来報告されていなかった。

このような背景から、本論文では、カード型や腕時計型携帯無線機用アンテナを人体の様々な位置に装着した状態における実効利得の改善を目的とする。

移動通信システムの周波数帯は 800 MHz 帯から 1.9 GHz 帯へ移行してきた。今後は、第 3 世代移動通信システム (IMT-2000) の周波数帯である 2 GHz 帯が中心となる。このため、本論文において取り扱う携帯無線機用アンテナの動作周波数を 2 GHz に設定している。

## 2 人体全身の影響を含む小形携帯無線機用アンテナの放射特性

従来の研究において、通話状態の携帯電話用アンテナの特性評価においては頭部、手及び肩の影響を考慮すべきであり、胴体や足などの肩より下の部位の影響は無視して差し支えないという結果が報告されている [9]。

一方、カード型非音声情報端末の場合は口や耳の近傍で通話を行うことはなく、胸ポケット内に入れて使用する状態（以下、胸装着状態）や手で持って表示を見ながら操作する状態（以下、手保持状態）が主な使用状態として想定される。カード型携帯無線機ではこのような胸装着状態や手保持状態の通信性能を確保することが要求されるので、カード型携帯無線機用アンテナにはこれらの状態において高い実効利得が求められる。胸装着状態や手保持状態において実効利得を評価し改善を行ううえで、次に示す2点の課題がある。

1点目の課題は、人体に装着された携帯無線機用アンテナの垂直面指向性と効率の問題である。2点目の課題は、各装着状態のアンテナ特性評価における人体の取り扱い方の問題である。これらの課題を解決するために、実際の人体に装着された4分の1波長モノポールアンテナ付カード型無線機の垂直面指向性と実効的なアンテナ効率の測定及び数値解析を行った。数値解析はFDTD法電磁界シミュレータFIDELITYを用いた。

図1及び図2に指向性を示す。この他、実効的なアンテナ効率、PAG及び人体部位個別の影響を検討した結果から、次のような結論を得た。

### (1) 胸装着状態

実効的なアンテナ効率はアンテナと胸との間隔（10 mm～35 mm）に依存し18%～80%の範囲で変化する。間隔10 mmでは電力の約73%が人体に吸収されるが、間隔35 mmでは人体は反射体に近い。人体正面の垂直面指向性は自由空間のそれと相似形であり水平方向がヌル点となるためパターン平均化利得（PAG）が-8 dBd以下と低い。実効利得改善に際しての重要なポイントは、効率の改善に加えて、アンテナ単体（自由空間）の垂直面指向性において水平方向の放射レベルを向上することである。電力吸収及び指向性ともに胴体の影響が支配的であり、アンテナ特性の解析や測定において考慮すべき部位は胴体のみである。

### (2) 手保持状態

効率は約60%で一定であり、電力吸収は手及び腕に集中する。垂直面指向性は自由空間とは異なり水平方向の放射が高くPAGが約-4 dBdと高い。これはカード型無線機の筐体上電流分布の変化と頭及び胴体の反射の影響である。実効利得改善のポイントは、手への電力吸収の低減に加えて、手の影響による垂直面指向性の変化を含めて水平方向の放射レベル

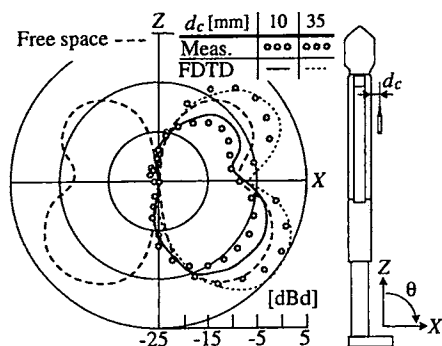


図1: 胸装着状態におけるカード型無線機用4分の1波長モノポールアンテナのXZ面指向性

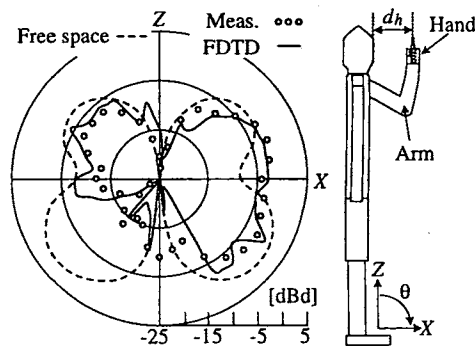


図2: 手保持状態における胸装着状態におけるカード型無線機用4分の1波長モノポールアンテナのXZ面指向性

を向上することである。アンテナ特性の解析や測定に際しては上半身すべてを考慮する必要がある。

### 3 腕時計型無線機用アンテナ

近年、移動通信システムに用いられる携帯無線機の小型化が急速に進んでいる。その一例として、腕時計型 PHS 電話機が最近発表されている [10]。このような腕時計型無線機用アンテナには、それが使用者の腕に装着された状態において高い利得が要求される。

従来の研究において、腕時計型無線機のストラップに取り付けられた PIFA [11] やケース内部に内蔵されたノーマルモードヘリカルアンテナ (NMHA) が提案されている。これらの従来アンテナの課題は、腕を顔の前に構えた通話状態の PAG は高いが、腕を腰の横に垂らした待受状態の PAG が低いことであった。

3 章では、通話状態と待受状態の両方において高い PAG が得られる新しいタイプのアンテナとして、図 3 に示すような開閉蓋に沿った 1 波長ループを提案する。この開閉蓋は通話状態では開かれ、待受状態では閉じられることを想定している。

このアンテナの動作の特徴は、開閉蓋の角度変化にしたがってループ面の角度が変化することと、給電方法として導体板上における不平衡給電を選択した結果、通話及び待受の両状態に対応してループ上の電流分布が変化することである。上記の二つの現象によって偏波方向が切り換えられ、通話及び待受の両状態において主偏波が垂直となり、特に図 4 に示す待受状態において、垂直偏波成分の最大放射方向が水平 (Y) 方向に向くことになる。

このような 1 波長ループアンテナの放射特性を人体全身の影響を含めて測定した結果、通話状態及び待受状態の PAG はそれぞれ  $-5.5$  dBd 及び  $-3$  dBd であり、この待受状態の値は、PIFA や NMHA のそれよりも約 7 dB 高い値であった。

### 4 カード型無線機用アンテナ

2 章での検討結果から、胸装着状態における PAG は  $-8$  dBd 以下と低いことがわかって

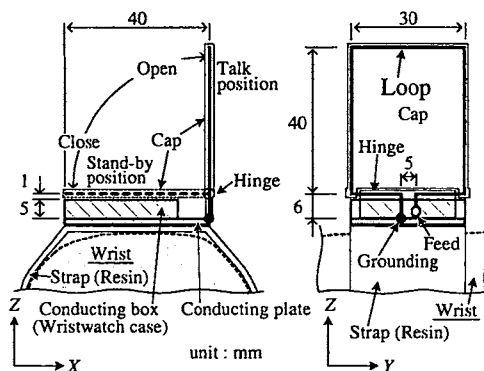


図 3: 腕時計型無線機用 1 波長ループアンテナの構成

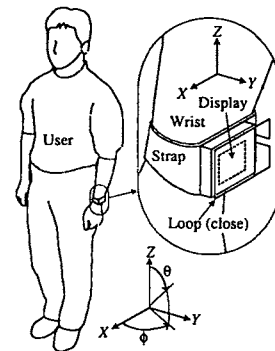


図 4: 待受状態における人体の姿勢

いるため、4章ではこの胸装着状態に着目し、この状態においてカード型無線機用内蔵アンテナのPAG改善を検討する。

内蔵アンテナの利得改善に関する従来の研究として、寄生素子を追加する方法により、指向性を人体の反対側へ向けることによる放射効率の改善に着目した方法がある[12]。これに対して、放射効率の改善よりはむしろ主偏波方向と指向性の適正化に着目した方法がある[13]。

4章で検討する内蔵アンテナは、後者に属するものであり、図5に示すように半波長素子を主放射素子として用い、これを励振するための励振器としてPIFAの基本形である逆Fアンテナ(IFA)を用いるものである。IFAの素子長が1/4波長であるので、このように構成されたアンテナ全体の素子長は3/4波長となるので、このアンテナを3/4波長アンテナと記述する。

従来のアンテナ[13]では平衡不平衡変換素子や整合回路などの追加部品が必要であることに対して、この3/4波長アンテナは、一枚の板金を折り曲げ成形した部品で整合機能を含むアンテナ全体を構成できるというコスト面の利点を有する。

図6に示すような胸装着状態の指向性を測定して効率及びPAGを求めた。その結果、半波長素子が地板から突起して垂直に配置された3/4波長アンテナは、アンテナが人体に向けられるような装着方向を考慮すると従来のPIFAに比べて平均的な効率の面で有利であった。また、この3/4波長アンテナのPAGは-4.5 dBd以上であり主アンテナとして十分な値であった。

## 5 携帯電話用内蔵アンテナ

従来の携帯電話用主アンテナは、伸縮ホイップアンテナに代表されるような外装ケースの外部に突起したアンテナ(外付けアンテナ)が主流であったが、近年携帯電話の用途や形状の多様化にとまらぬ、外付けアンテナがないこと、すなわち主アンテナの内蔵化が求められるようになってきている。

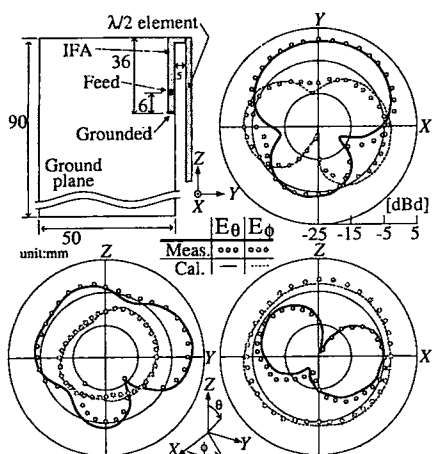


図5: 半波長素子を垂直に配置した3/4波長アンテナの指向性

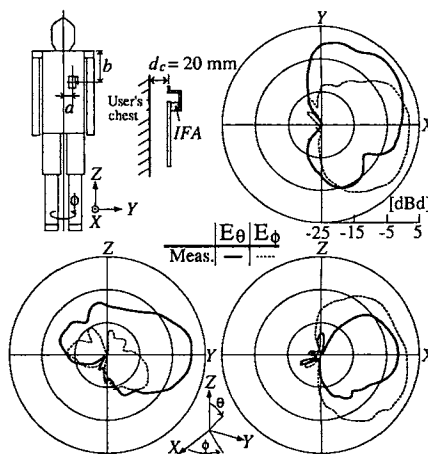


図6: 半波長素子を垂直に配置した3/4波長アンテナの胸装着状態の指向性

主アンテナを内蔵する場合、外付けアンテナ並の利得を内蔵アンテナのみで確保する必要がある。5章では、4章で述べた 3/4 波長アンテナを携帯電話用内蔵アンテナに適用することにより、通話状態の利得改善を検討した結果を示す。

図 7 に示す通話状態では、携帯電話が一般に傾斜角 60 度で保持される点に着目し、図 8 に示すように 3/4 波長アンテナの半波長素子を携帯電話の幅方向に沿って配置した。その結果、傾斜角 60 度における主偏波が垂直 ( $E_\theta$ ) 偏波となる。

3/4 波長アンテナ、半波長ホイップ及び PIFA の通話状態の指向性を測定した結果、3/4 波長アンテナでは  $E_\theta$  成分の最大放射が水平方向に向くことがわかった。また、各アンテナの通話状態の PAG を比較した結果、3/4 波長アンテナの通話状態の PAG は -4 dBd 以上であり、他のアンテナの PAG よりも約 3 dB ~ 4.5 dB 高い値を、一般的な携帯電話用外付けアンテナである半波長ホイップより高いことがわかった。

## 6 RFM 法を用いた実効利得の評価

2章から5章では主としてパターン平均化利得 (PAG) を実効利得の評価指標として用いた。PAG は電波暗室で測定可能な簡便な評価指標であり、800 MHz 帯における PAG の有効性は従来の研究 [4], [5] により実証されていた。しかし、本論文で取り扱う 2 GHz 帯における PAG の有効性が示された報告はなかった。

そこで、2章から5章で示した各アンテナの実効利得を評価するために、実際に 2 GHz 帯において RFM 法による測定を実施して、実効利得の測定結果を示す。また、測定した実効利得と PAG の結果と比較し、2 GHz 帯における評価指標としての PAG の有効性について示す。

図 9 に測定システムの構成を示す。測定は金沢大学工学部の敷地内で行った。送信アンテナは地上高は約 11 m の 3 階校舎 (電子情報棟) 屋上に設置しており、この送信点から 132

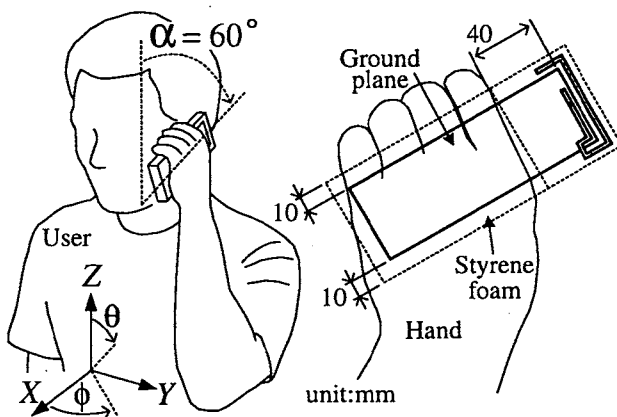


図 7: 通話状態の測定条件

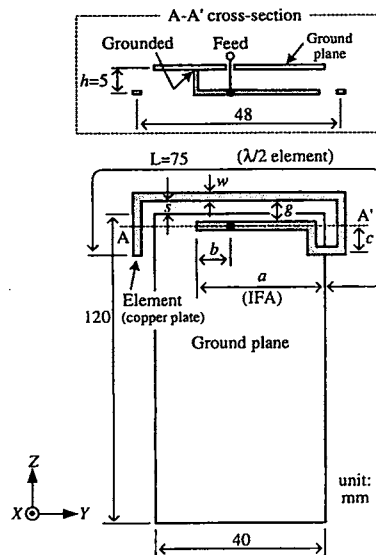


図 8: 携帯電話用 3/4 波長アンテナの構成

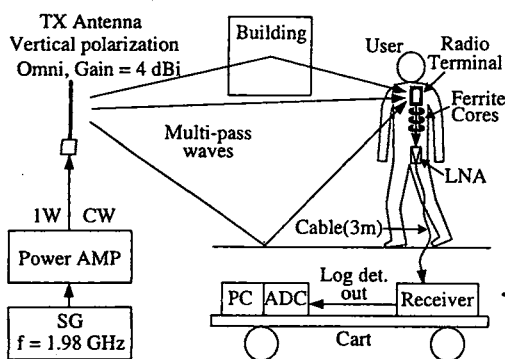


図 9: 実効利得の測定システム

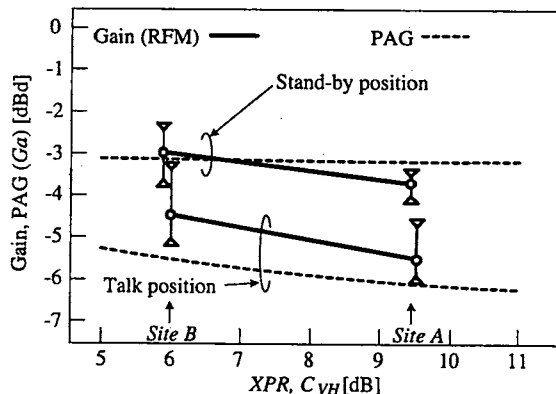


図 10: 腕時計型無線機用 1 波長ループの実効利得

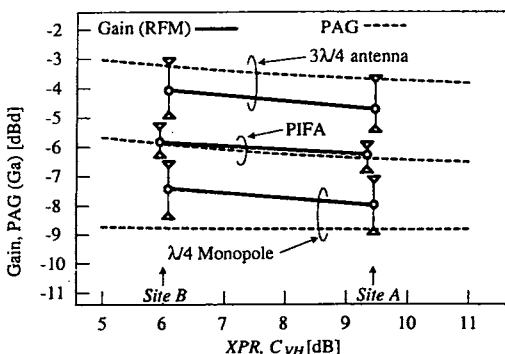


図 11: 胸装着状態におけるカード型無線機用 3/4 波長アンテナ, IFA 及び 1/4 波長モノポールの実効利得

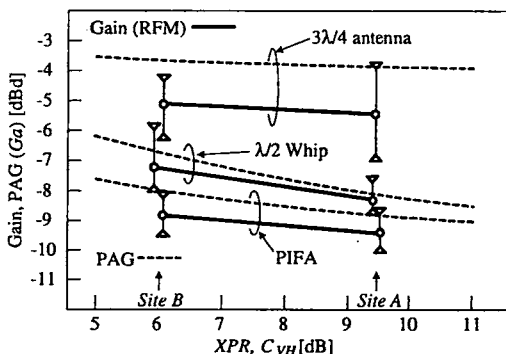


図 12: 通話状態における携帯電話用 3/4 波長アンテナ, 半波長ホイップ及び PIFA の実効利得

m 離れた A 点と約 200 m 離れた B 点の路上において測定を行った。両測定点とも送信アンテナとの間には複数の 4 階校舎が存在し見通し外である。

まず、両測定点において交差偏波電力比 ( $XPR$ ) を測定した結果 A 点が 9.4 dB, B 点が 6.0 dB であった。次に、垂直に配置した半波長ダイポールの受信レベル中央値と、人体に装着した被測定アンテナの受信レベル中央値との比から実効利得を求めた。

求めた実効利得を図 10 から図 12 の実線で示す。これらの図において、 $\Delta$   $\nabla$  点で示した範囲は 5 人の測定結果の上下限值であり、丸点が平均値である。また、2 章～ 5 章で示した各アンテナに対応する PAG を破線で併記している。横軸上で  $XPR$  と  $C_{VH}$  を一致させて実効利得と PAG を表示している。

図 10 から、3 章で議論した腕時計型無線機用 1 波長ループの実効利得は、通話状態において  $-5.3$  dBd 以上、待受状態において  $-3.7$  dBd 以上と十分高いことを確認した。

また図 11 から、4 章で示したカード型無線機用 3/4 波長アンテナの胸装着状態の実効利得は約  $-4.5$  dBd であり、他のアンテナの実効利得より 2 dB ~ 4 dB 高いことを確認した。



さらに図 12 から、5 章で示した携帯電話用 3/4 波長アンテナの通話状態の実効利得は約 -5 dBd であり、半波長ホイップの実効利得より 2 dB ~ 3 dB 高いことがわかった。

また、PAG と実効利得の差は最大で 1.5 dB 程度と小さく、 $XPR$  と  $C_{VH}$  による変化傾向もほぼ一致する。この程度の差異が許容できる場合、PAG は 2 GHz 帯において簡易的な評価指標として有効であることがわかった。

## 7 結論

カード型無線機の代表的な装着状態として胸装着状態及び手保持状態の二つに着目し、これらの状態で人体に装着されたカード型無線機用 4 分の 1 波長モノポールアンテナの垂直面指向性と実効的なアンテナ効率の特徴を明らかにして、実効利得改善の指針を示した。また、FDTD 法を用いて個々の人体部位が放射特性に及ぼす影響を解析し、測定や解析において考慮すべき人体部位を明らかにした。

このような指針に基づいて、腕時計型無線機の開閉蓋の周囲に内蔵した 1 波長ループアンテナ、カード型無線機用 3/4 波長アンテナ及び携帯電話用内蔵 3/4 波長アンテナによる実効利得改善を検討した。その結果、各アンテナの装着状態の PAG は、従来アンテナの PAG より高く -6 dBd 以上であり、携帯無線機用アンテナとして十分な利得が得られた。

さらに、RFM 法を用いて実際の伝搬環境における 2 GHz 帯の実効利得を測定した結果、上記の各アンテナの実効利得は -5 dBd 以上と高いことを確認した。また、実効利得と PAG の比較から、PAG は 2 GHz 帯において簡易的な評価指標として有効であることを示した。

以上の研究結果からわかるように、本論文で検討した 3 種類の内蔵アンテナは、従来用いられているアンテナよりも高い実効利得を有しており、小形携帯無線機及び携帯電話用内蔵アンテナとして十分に実用的である。これらの提案アンテナは今後の移動通信システムで用いられる携帯無線機用内蔵アンテナとして広く応用されるものと期待できる。

今後の課題として、実際の携帯無線機の構造条件に基づく詳細な設計や、動作周波数の広帯域化が挙げられる。

## 参考文献

- [1] K. Ogawa and T. Uwano, "A Diversity Antenna for Very Small 800-MHz Band Portable Telephones," *IEEE Trans. Antennas & Propagat.*, vol.42, no.9, pp.1342-1345, Sept. 1994.
- [2] 春木宏志, 小林 敦, "携帯無線機用逆 F アンテナ," 昭 57 信学総全大, no.613, p.3-66, 1982.
- [3] J. B. Andersen and F. Hansen, "Antennas for VHF/UHF Personal Radio: A Theoretical and Experimental Study of Characteristics and Performance," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol.VT-26, no.4, pp.349-357, Nov. 1977.
- [4] H. Arai, N. Igi, and H. Hanaoka, "Antenna-Gain Measurement of Handheld Terminals at 900 MHz," *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, vol.VT-46, no.3, pp.537-543, Aug. 1997.

- [5] T. Taga and K. Tsunekawa, "Performance Analysis of a Built-in Planar Inverted F Antenna for 800 MHz Band Portable Radio Units," IEEE Journal on Selected Areas in Communications., vol.SAC-5, no.5, pp.921-929, June 1987.
- [6] J.Toftgard, S. Hornsleth, and J. B. Andersen, "Effects on portable antennas by the presence of a person," IEEE Trans.Antennas and Propag., vol. 41, no.6, pp.739-746, June 1993.
- [7] R. F. Harrington, "Matrix methods for field problems," Proc. IEEE, vol.55, no.2, pp.136-149, Feb. 1967.
- [8] H.-R. Chuang, "Human operator coupling effects on radiation characteristics of a portable communication dipole antenna," IEEE Trans.Antennas and Propag., vol. 20, pp.556-560, April 1994.
- [9] 小川晃一, 松吉俊満, 門間健志, "人体頭部に近接したダイポールアンテナの多重波中実効利得特性に与える肩の影響に関する基礎的検討," 信学論 (B), vol.J82-B, no.10, pp.1847-1856, Oct. 1999.
- [10] NIKKEI ELECTRONICS, no.706, p.28, 日経 BP 社, 1998.
- [11] 山崎正純, 新井宏之, "円筒形地板上に設置された逆 F 形アンテナの特性," 1990 信学秋季全大, B-100, p.2-100, 1990.
- [12] 新井宏之, 酒井信智, "携帯端末用単方向指向性アンテナの構成法と人体ファントムの効果," 1999 信学総大, SB-1-12, 1999.
- [13] H. Morishita, H. Furuuchi, H. Ide, Z. Tanaka and K. Fujimoto, "A Balance-Fed Loop Antenna System for Handset," IEICE Trans. Fundamentals., vol. E82-A, no. 7, pp.1138-1143, July 1999.

## 学位論文審査結果の要旨

平成 14 年 1 月 28 日に第 1 回学位論文審査委員会を開催, 2 月 1 日に口頭発表, その後に第 2 回審査委員会を開催し, 慎重審議の結果以下の通り判定した。なお, 口頭発表における質疑を最終試験に代えるものとした。

人体近傍で使用される携帯無線機のアンテナ性能は人体からの影響を強く受ける。従来の携帯電話用アンテナの性能改善研究ではアンテナが頭部に近接する通話状態に主眼が置かれてきた。一方, 近年実用化されつつあるカード型や腕時計型などの新しい形態の無線機は, 通話状態で使用されることはなく, 例えば胸ポケット内 (胸装着状態) などのような様々な状態で使用される。本研究は, このような様々な装着状態が予想される無線機に内臓されるアンテナの実効利得改善を目的とする。先ず, 胸装着状態及び手保持状態の二つに着目し, これらの状態におけるアンテナの放射特性の特徴と実効利得の改善指針を明らかにした。この指針に基づき, 腕時計型無線機用内臓アンテナとして開閉蓋内臓 1 波長ループアンテナを提案し, さらにカード型無線機用内臓アンテナとして 3/4 波長アンテナを用いて実効利得改善を検討した。最後に上記アンテナの実効利得を実際の伝搬環境において測定した結果を示し, 従来の携帯電話用アンテナ以上の高い実効利得改善が得られることを実証した。

以上のように, 本研究は, 待ち受けや通話状態を考慮して携帯電話用アンテナの性能改善を行い, 新しいアンテナを提案した。これらは, 近い将来のモバイル通信に多大な貢献をするものと期待できる。このことより, 本論文は博士 (工学) に値するものと判定した。