

次世代端末用の 広帯域ウェアラブルアンテナ

倉本 晶夫・高橋 良英

要 旨

近年、携帯電話やノートパソコンをはじめとする携帯端末は、高速・大容量の通信機能を有しています。伝搬環境の良好な場所では高速な通信が可能でも、伝搬環境の悪い場所では十分な性能が得られない場合があります。このような場合、外部接続可能なアンテナを持っていれば、高速通信の一助となります。そこで、普段、折り畳んで持ち運び、衣服に付けたり、カバンのサイドポケットに入れて使用でき、かつ、多様な用途で使用可能な広帯域ウェアラブルアンテナを提案します。導電性の布より構成し、自由空間中及び人体近傍で使用可能なアンテナを開発し、良好な性能を確認しました。ここでは、地上波デジタルTV受信/特定小電力無線、及び携帯電話/無線LAN/WiMAXに使用可能な2種類の広帯域ウェアラブルアンテナを紹介します。

キーワード

●広帯域アンテナ ●ウェアラブル ●導電性布

1. はじめに

近年、携帯端末において、あらゆる場所で高速な無線通信が実現できることが期待されています。一方で、端末は小形化され、内蔵のアンテナでは、常に高速な通信を確保することが難しい場合もあります。伝搬環境の悪い場所でも高速なデータ通信を行いたい場合、外部アンテナを用いる方法が有効です。ここでは、持ち運びが容易で衣服への着脱も可能なウェアラブルアンテナ^{1)~6)} について紹介します。

このアンテナは、導電性の布より構成されており、折り畳み自由でどこでも収納可能です。また、人体などの誘電体近傍においても利得が劣化しないので、衣服に付けて使用したり、カバンのサイドポケットに収納したまま使用することが可能です。更に、比帯域90%を超える広帯域性を有しており、大きさに応じて、地上波デジタルテレビ受信用アンテナから、携帯電話、無線LAN、WiMAXなどの外部アンテナとしての活用が可能です。将来的には、コグニティブ無線システムへの適用も期待できるアンテナと考えています。

2. アンテナの使用イメージ

本アンテナの使用イメージを図1に示します。布で構成されているため、衣服に付けたり、カバンのサイドポケットに入れたまま使用可能です。本稿では、地上波デジタルテレビ

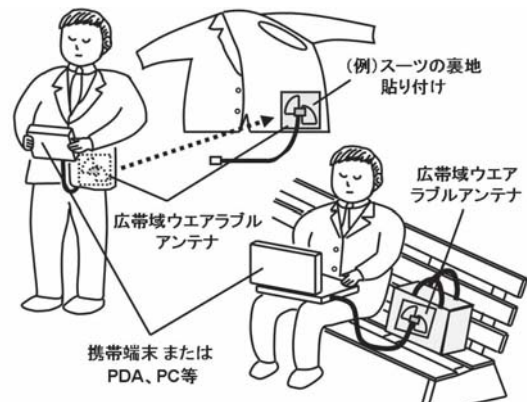


図1 アンテナ使用イメージ

受信用/特定小電力無線用のアンテナ、及び携帯電話/無線LAN/WiMAX用のアンテナの試作結果について紹介します。

3. 地上波デジタルテレビ受信用/特定小電力無線用の 広帯域ウェアラブルアンテナ

アンテナの基本性能を確認するために、UHF帯の周波数で試作開発^{1)~4)} したものです。420MHz帯の特定小電力無線及び地上波デジタルテレビ放送(周波数帯域: 470-770MHz)の受信を目的としました。

電気的性能としては、自由空間中及び衣服などに付けた人体近傍でも、アンテナの整合が得られること(VSWR<2)及

びブロードな指向性が得られ、人体近傍でもアンテナの利得が劣化しないことを目標としました。

3.1 構成及び原理

本アンテナの構成を 図2 に示します。本アンテナは、2つの直角三角形の放射素子から構成され、底辺を平行に向かい合わせ、上側の素子を左側にシフトして給電します。底辺及び高さは、それぞれ最低使用周波数の0.25波長、0.17波長となっています。

図3 は、本アンテナの考案のプロセスです。一般に、広帯域な特性を有するBow-tie Antenna⁷⁾ は、入力インピーダンスが高く、50Ωで給電するには、テーパ線路のような広帯域のインピーダンス変換器が必要で、アンテナ全体が大きくなってしまいます。そこで、50Ω前後の入力インピーダンスで整合する方法⁸⁾ を検討し、素子を反転させることで調整可能なことを確認しました。更に、対称構造の板状素子は対称線に沿ってカットしても、整合特性が維持される傾向にあること

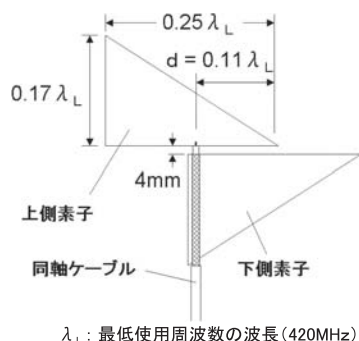


図2 アンテナの構成

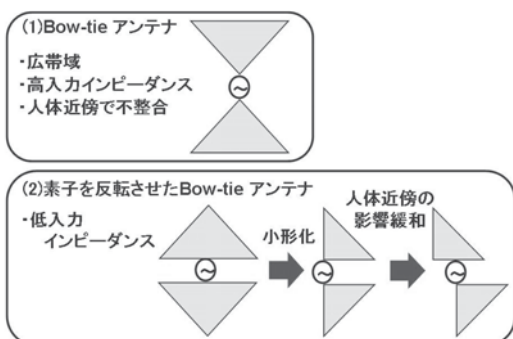


図3 考案のプロセス

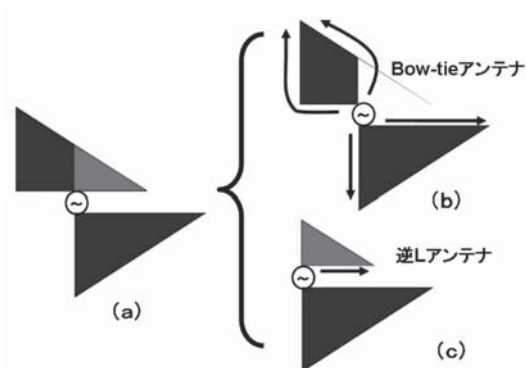


図4 広帯域性の原理

に基づき小形化しました。最後に、自由空間中及び人体近傍の両方の状態で、インピーダンス整合が得られるように、上側素子を横方向にシフトして調整したものです。

次に広帯域性の原理について、図4により説明します。本アンテナ (a) は、(b) (c) に示すように2つのアンテナとしての動作により、広帯域性が得られています。低域においては、(b) に示すように、矢印方向に電流が分布し、非対称の素子ながら、Bow-tie Antennaのように動作しています。一方、高域においては、(c) に示すように、下側素子をグラウンドとみなし、逆Lアンテナのような動作になっています。低域、高域とも板状素子を用いることで、それぞれ広い帯域が確保され、全体として非常に広帯域な特性が得られています。

3.2 素子設計

初めに、図2のアンテナ構成で、上側素子のシフト量dについて説明します。図5 は、自由空間中及び人体近傍において、上側素子をシフトしたときのリターンロス特性の計算値を示しています。シフト量を、 $d=0.11\lambda_L$ (図2参照) に相当する80mmとしたときに、自由空間中及び人体近傍の両方の条件で良好な整合状態が得られます。計算には、モーメント法を用い、人体モデルは、アンテナ面積×厚さ300mmの直方体と仮定し、比誘電率などはFCCで採用されている計算⁹⁾ によって求めた値を使用しています。アンテナとの距離は5mmです。これらの結果を実験によっても確認し、パラメータを決定しました。

次に、アンテナを導電性の布で構成した場合の特性について確認しました。導電性の布は、アクリル繊維を金属メッキ

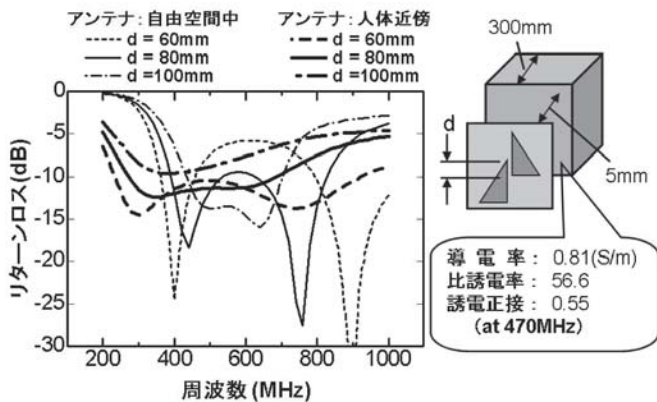


図5 上側素子シフトdに対するリターンロス特性

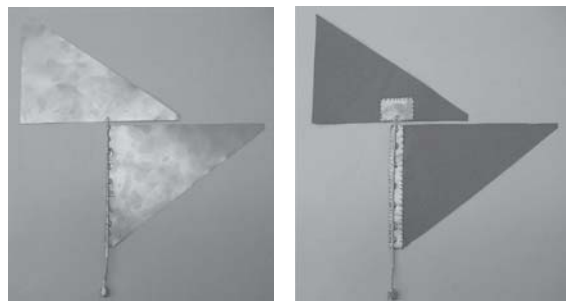


写真1 銅フィルム製のアンテナと導電布製のアンテナ

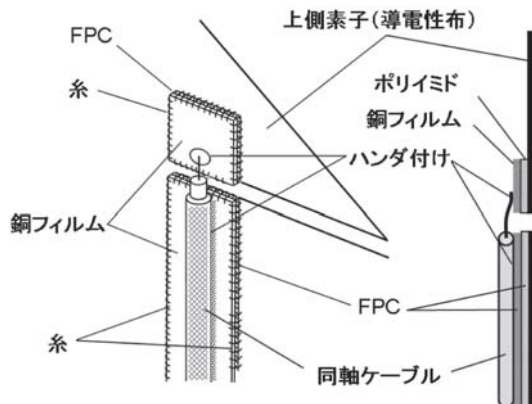


図6 FPCを用いた給電部の構造

して樹脂コーティングした素材^{3) 4)}で、導電率は、 1.34×10^4 [S/m]です。写真1に、試作したアンテナの外観を示します。
(a)は、銅フィルムより構成したアンテナ、(b)は、導電

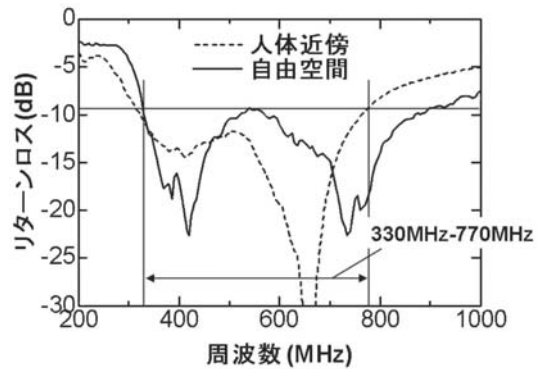


図7 導電性布で構成したアンテナのリターンロス特性

性の布を用いたアンテナです。銅フィルム製のアンテナで電気特性を確認してから、導電性布のアンテナの性能が同等であることを確認しました。なお導電性布は、はんだ付けができないため、図6に示すようにFPC (Flexible Printed Circuit) を用い、銅フィルム面に同軸ケーブルをはんだ付けし、FPCの誘電体側 (ポリイミド側) を導電性布に密着して、通常の糸で縫い付け、静電容量的に給電しています。

図7に、導電性布で構成したアンテナのリターンロス特性を示します。自由空間中においても、人体近傍においても、所望の周波数帯域 (420-770MHz) をカバーし、リターンロス-9.5dB (VSWR<2) が得られています。

3.3 給電部の簡易化

本アンテナを使用するに当たり、図6の給電方法では、複雑で壊れやすく、改善が必要です。取り外しなどの利便性も考慮し、給電部の簡易化^{2) 4)}を行いました。図8、写真2に、給電部を簡易化したアンテナの構成、外観を示します。素子側では、洋裁に用いるスナップボタン (直径12mm) を導電性布に縫い付け、同軸ケーブル側は、給電ユニットにスナップボタンがはんだ付けされており、アンテナ側にはめ込めるようになっています。なおスナップボタンの位置は、モーメント法を用いた解析により最適化しています。

3.4 アンテナの特性

導電性布で構成し、給電部を簡易化した試作アンテナ (写真2参照) の特性について示します。

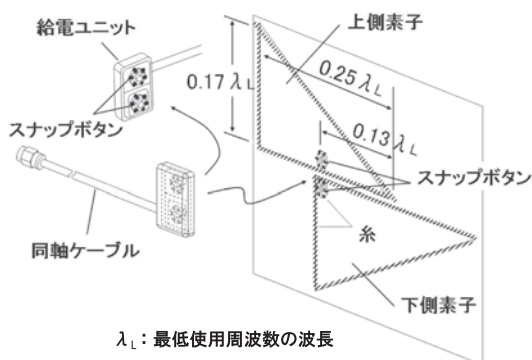


図8 給電部を簡易化したアンテナの構成

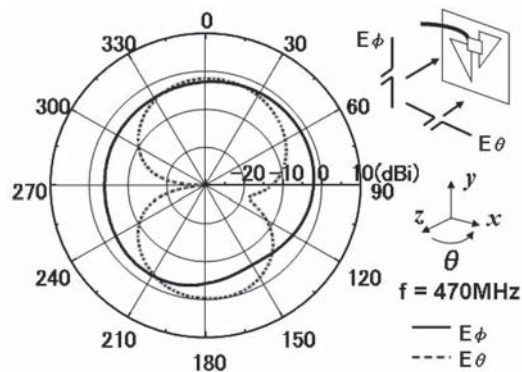


図10 自由空間中の水平面放射パターン

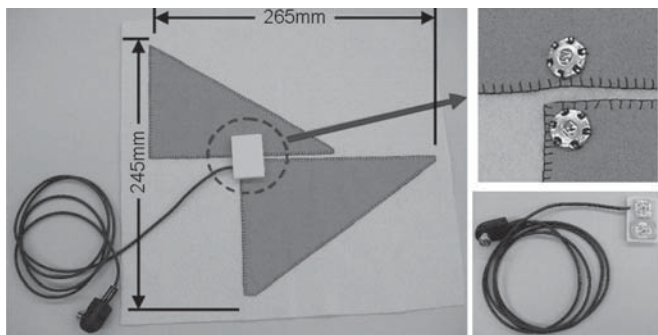


写真2 給電部を簡易化したアンテナの外観

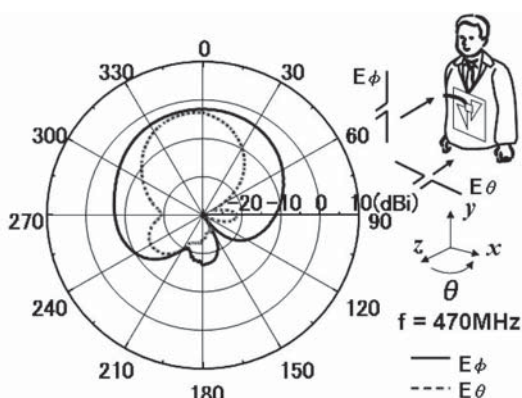


図11 人体近傍における水平面放射パターン

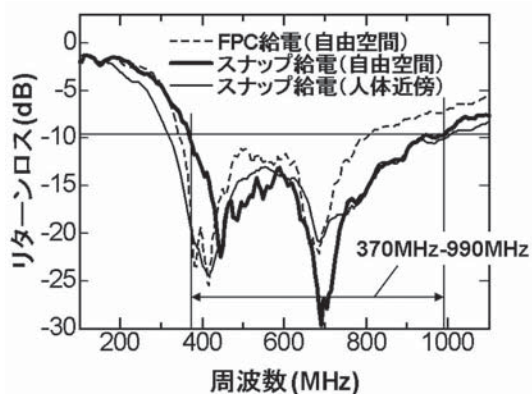


図9 リターンロス特性

図9に、リターンロス特性を示します。スナップ給電では、自由空間中及び人体近傍において、所望の周波数帯域で-9.5dB以下 (VSWR<2) が得られています。スナップ給電では、モーメント法による最適化を行ったので、高域は、FPC給電

に比べ広帯域化されていることがわかります。

次に、放射パターンを図10、図11に示します。図10は、アンテナを自由空間中に置いたとき、地上波デジタル放送の下限周波数である470MHzにおける水平面 (zx面) の放射パターンです。垂直偏波成分 E_ϕ は、ほぼ無指向性が得られ、水平偏波成分 E_θ は、ダイポールのような8の字指向性が得られています。これは、それぞれの電界が、三角形の素子の底辺及び高さ方向の辺に沿った電流により放射されるためです。

図11は、アンテナを人体近傍 (胸) に置いたときの放射パターンです。人体がある180度方向の放射は大きく減衰していますが、人体のない0度方向では、自由空間中と同等の利得を得ており、十分使用可能であることがわかります。

以上、試作した地上波デジタルテレビ受信用/特定小電力無線用の広帯域ウェアラブルアンテナについて、良好な特性を得ることができました。性能一覧を、表1にまとめます。

次世代端末用の 広帯域ウェアラブルアンテナ

表1 地上波デジタルテレビ受信用 / 特定小電力無線用
広帯域ウェアラブルアンテナの性能

項目	性能			備考	
周波数	370MHz - 990MHz			比帯域:91%	
VSWR	< 2.0				
最大利得	周波数	470MHz	620MHz	770MHz	同軸ケーブル損失 0.6dB(@760MHz)を含む
	自由空間	-0.3dBi	0.7dBi	1.8dBi	
	人体近傍	-2.3dBi	0.2dBi	-0.6dBi	
大きさ	縦寸法	275mm (245mm)			()内は、素子部分のみ の大きさ
	横寸法	295mm (265mm)			
	厚さ	10mm (0.8mm)			給電部含む。()内は、 布部分の厚さ

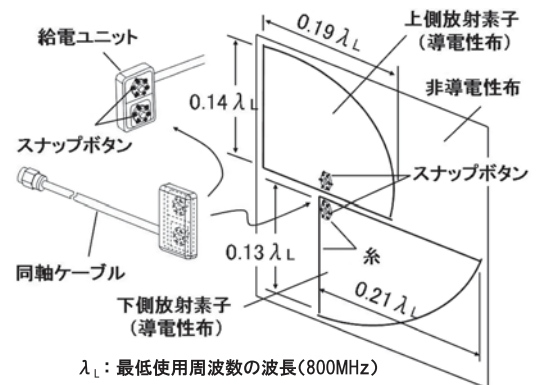


図12 アンテナの構造

4. 携帯電話/無線LAN/WiMAX用の
広帯域ウェアラブルアンテナ

第3章の応用として更に高い周波数帯での試作開発事例^{5,6)}です。800MHz帯/2GHz帯の携帯電話 (810-960MHz/1.92-2.17GHz)、2.4GHz帯の無線LAN (2.4-2.5GHz)、更に、2.6GHz帯のWiMAX (2.5-2.7GHz) に対応できるアンテナです。

4.1 アンテナの構成

アンテナの構成を、図12に示します。図8と異なる点は、放射素子が、直角三角形から楕円扇形になった点です。前項では、目標とする比帯域が59% (420-770MHz) であったのに対し、本用途では、108% (810MHz-2.7GHz) になります。解析及び実験検討の結果、三角形の斜辺を円弧にすることで、広帯域化が可能であることを確認⁵⁾しました。

アンテナの外観を、写真3に示します。最低使用周波数が800MHzのため、外形が小形になっています。給電部は、前項同様、スナップボタン (直径8mm) を使用しています。

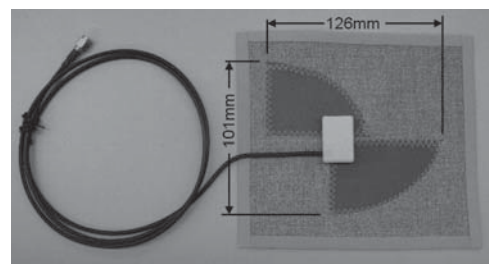


写真3 アンテナの外観

4.2 アンテナの特性

アンテナのリターンロス特性を図13に示します。自由空間中、人体近傍、カバンのサイドポケット内 (カバン内には、厚さ100mmの書類を挿入) に置いた場合でも、所望の周波数 (810MHz-2.7GHz、ただし、1.04-1.35GHzを除く) で、リターンロス-9.5dB以下 (VSWR<2) が得られています。

図14は、自由空間中の水平面 (zx面) の垂直偏波Eφ放射

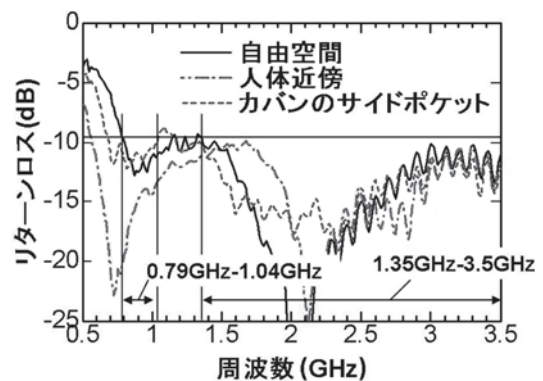


図13 リターンロス特性

パターンを示しています。いずれの周波数においても、ほぼ無指向性の放射パターンが得られています。

図15は、人体近傍及びカバンのサイドポケット内に置かれた場合の水平面の垂直偏波Eφ放射パターンを示しています。周波数1.9GHzにおいて、自由空間、人体近傍、カバンのサイドポケットに入れたときの放射パターンを比較したものです。

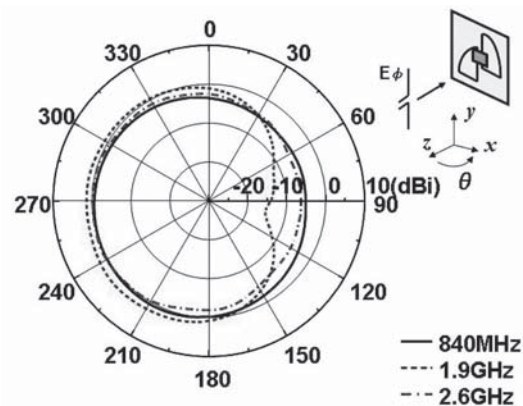


図14 自由空間中の水平面Eφ放射パターン

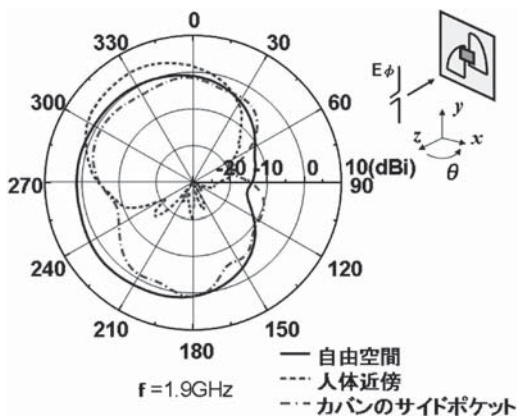


図15 自由空間、人体近傍及びカバンのサイドポケット内に置かれた場合の水平面Eφ放射パターン

表2 携帯電話／無線LAN／WiMAX用広帯域ウェアラブルアンテナの性能一覧

項目	性能			備考	
周波数	790MHz - 1.04GHz, 1.35GHz - 3.5GHz			比帯域: 108%以上	
VSWR	< 2.0				
最大利得	周波数	840MHz	1.9GHz	2.6GHz	同軸ケーブル(1.2m)の損失1.8dB (@2.6GHz)を含む
	自由空間	0.6dBi	2.5dBi	0.4dBi	
	人体近傍	-1.9dBi	4.3dBi	3.6dBi	
大きさ	縦寸法	152mm (101mm)		()内は、素子部分のみの大きさ	
	横寸法	170mm (126mm)			
	厚さ	10mm (0.8mm)		給電部含む。()内は、布部分の厚さ	

いずれの状態においても、電波を遮るものがない0度方向では、自由空間中と同等以上の利得が得られています。

以上のように、試作した携帯電話/無線LAN/WiMAX用の広帯域ウェアラブルアンテナについても、良好な特性を得ることができました。性能一覧を表2にまとめます。

5. まとめ

導電性の布で構成された広帯域ウェアラブルアンテナの原理、構成を解説し、2種の用途を想定した広帯域ウェアラブルアンテナの開発試作例について紹介しました。

現在、さまざまな用途での導入が検討されており、製品化を進めていく予定です。

参考文献

- 1) A.Kuramoto & Y.Furuya, "Wideband Wearable Antenna," ISAP2007, POS1-58, pp1086-1089, Niigata, Aug. 2007.
- 2) A.Kuramoto, "Wideband Wearable Antenna Using Simple Feed Method," ISAP2008, pp509-512, Taipei, Oct. 2008.
- 3) 倉本晶夫, "三角形の素子を用いた広帯域ウェアラブルアンテナ," 信学技報 A・P2008-196, Feb. 2009.
- 4) 倉本晶夫, "三角形の素子を用いた広帯域ウェアラブルアンテナの給電部の簡易化," 信学技報 A・P2008-197, Feb. 2009.
- 5) 高橋良英, 田邊浩介, 倉本晶夫, "コグニティブ無線システムを目指した広帯域ウェアラブルアンテナ," 信学総大 B-1-205, March 2009.
- 6) 倉本晶夫, "次世代ワイヤレスネットワーク端末用の広帯域ウェアラブルアンテナ," 信学ソ大 BS-12-3, Sept. 2009.
- 7) John D. Kraus and Ronald J. Marhefka, Antennas: for all applications, 3rd ed., McGraw-Hill, USA, 2002.
- 8) Schantz, H.G., Fullerton, L., "The diamond dipole: a Gaussian impulse antenna," IEEE AP-S, International Symposium, Boston USA, vol.4, pp100-103, July 2001.
- 9) C.Gabriel, "Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies," Report N.AL/OE-TR-1996-0037, Occupational and environmental health directorate, Radiofrequency Radiation Division, Brooks Air Force Base, Texas (USA), June 1996.

執筆者プロフィール

倉本 晶夫
モバイルネットワーク事業本部
モバイルワイヤレスネットワーク事業部
シニアエキスパート
NCPアドバンストテクノロジスト
工学博士
電子情報通信学会会員

高橋 良英
モバイルネットワーク事業本部
モバイルワイヤレスネットワーク事業部
電子情報通信学会会員