High-band UWB 通信用単方向性平面スロットアンテナ

One-sided directional planar slot antenna for UWB high-band applications

金谷　晴一（Haruichi KANAYA, Dr. Eng.）

九州大学大学院システム情報科学研究院情報エレクトロニクス部門准教授

（Department of Electronics, Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Associate Professor, Kyushu University）

IEEE　電子情報通信学会シニア会員　エレクトロニクス実装学会理事　電気学会（九州支部総務企画幹事）　応用物理学会　会員

受賞：2005 IEEE 66th ARFTG Conference the Award for Best Open Forum Paper (2005)

004 IEEE 64th ARFTG Conference the Award for Best Open Forum Paper (2004)

Young Researcher Award; in recognition of best paper presented during The 4th IUMRS International Conference in Asia (1997).

著書：電気電子工学シリーズ17　ベクトル解析とフーリエ解析　柁川 一弘　金谷 晴一　朝倉書店　2007年

研究専門分野：集積回路設計　アンテナ工学

あらまし　近年、機器間の接続において、ワイヤレスネットワークの普及が急速に進んでいる。そのため、短時間での大容量データの転送などに対応することが要求され、それらを実現する無線通信方式の一つとして、超高速無線通信技術であるUWB（Ultra Wide Band：超広帯域）通信システムが注目されている。UWBシステムは、大容量データの転送だけではなく、誤差数cmでの高精度な位置測定が可能である。UWBシステムを複数台用いることで、工場などでの資材管理や安全管理等への応用が期待されている。

そこで本論文では、UWBシステムへの実装を目的とした、High-band UWB通信用単方向性平面スロットアンテナの開発を行った。

1．はじめに

現在、超高速無線通信技術のUWBシステムが注目されている。UWBシステムは、大容量データの転送だけではなく、誤差数cmでの高精度な位置測定が可能である。UWBシステムを複数台用いることで、工場などでの資材管理や安全管理等への応用が期待されている。いつでもどこでも必要な精度で測位が行えることは、地理情報の利用に重要である。

UWB通信の大きな特徴は、従来の無線システムと比較して、非常に広い周波数帯域を利用していることである。UWB 通信の周波数帯域は、最大で3.1～10.6 GHz の約7 GHzである。従来の無線LAN（IEEE802.11b/g）の使用周波数帯域は約80 MHz 、第3世代の携帯電話（GPSと同じ直接周波数拡散方式）は1 MHz程度のため、UWB通信は非常に広い周波数帯域を利用していることがわかる(1)。また日本では、UWB通信の帯域は、3.4～4.8GHzのLow-bandと7.5～10.25GHzのHigh-bandに分かれている。Low-bandは、第4世代移動通信システムで利用が検討されている電波と同じ帯域を使うため、利用するには免許を必要とする。しかし一方で、High-bandは免許を取得する必要がない。そのためHigh-bandを用いたUWBシステムは、免許取得の時間や費用をかけることなく、迅速なシステム導入が可能となる。

UWBシステムを利用する場合、無線通信を行うために、UWB通信用の広帯域アンテナが必要となる。アンテナの性能がUWB通信の質に大きく関わる。一般に、UWB システムで使用するアンテナには、小形(2)-(4)であり、アンテナと背面金属板との間隔が使用周波数の波長より十分小さい平面で低姿勢な構造(5),(6)であることが求められる。背面に金属板が近接したアンテナは、背面からの装置の影響による特性劣化を防ぐことが期待でき、アンテナを人体や商品など、どこにでも装着することが可能となる。さらに、アンテナが線状のプリント構造であれば、絆創膏のようにアンテナを対象物に貼り付けることができるようになるので、用途が広がる。

そこで本報告では、実装する装置によるアンテナ特性劣化を防ぐ、単方向性平面アンテナを実現した手法について述べる。本研究では、背面の高周波回路によ

るアンテナ特性の劣化を防ぐため、アンテナ背面にフローティングメタルを有する構造とした。この構造により、背面の高周波回路からの電波障害による影響の軽減が期待できる。さらに、背面にフローティングメタルを設けることで、背面の電波を反射させ、正面方向に電波を強く放射する単方向性を実現した。一般には、背面のメタルを反射板として使用するには、メタルを接地し、放射素子からλ/4 (λは使用周波数の波長)の距離遠ざける必要がある。しかし、提案するアンテナは、フローティングメタル構造であり、共振周波数の差異を利用することで、平面で低姿勢な構造でありながら、単方向性を実現した。

また本アンテナは、スロットダイポールアンテナに、新たに長方形のスロットやスリットを導入した。このスロットやスリットのサイズを制御することにより、各周波数における入力インピーダンスを個別に制御することが可能となった。入力インピーダンスを個別に制御することで、共振周波数を制御し、UWB通信のHigh-bandに対応する帯域を実現した(7)-(10)。

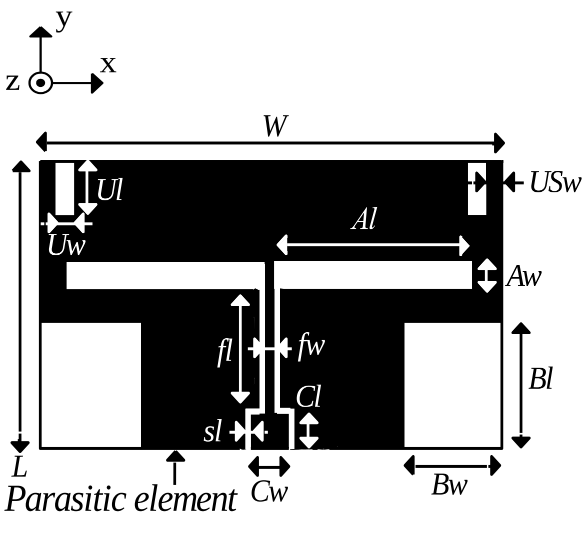
2. アンテナ設計(Ant1)

アンテナを UWB システムへ実装する場合、背面の高周波回路への影響が懸念される。本章では、背面の高周波回路によるアンテナ特性の劣化を防ぐため、アンテナ背面にフローティングメタルを有する単方向性アンテナを提案する。図1 にアンテナ構造(Ant1 とする)を示す。

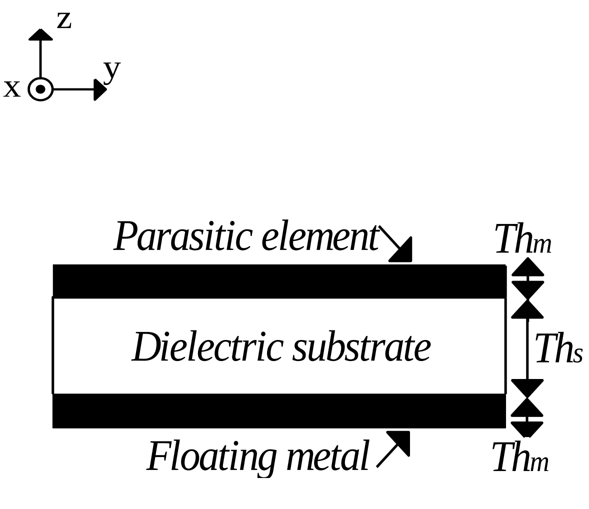
Cl = 2.0 mm、*Cw* = 1.8 mm、*fw* = 0.2 mm、*sl* = 0.2 mm、基板は FR 4 基板 (ε_r:4.25, Tanδ: 0.017) で基板厚 *Ths* = 1.6 mm、金属（銅）厚 *Thm* = 0.018 mm である。

本アンテナでは、アンテナ裏面にフローティングメタルを取り付けたため、アンテナに新たにキャパシタの要素が加わった。キャパシタの要素が加わったことで、共振部の Q 値が上がったため、狭帯域の反射特性（S_{11} 特性）となった。そこで、UWB 通信の High-band に対応する帯域幅を実現するため、新たにスロットアンテナの上下左右に、合計 4 つの長方形のスロットとスリットを設けた。このスロットとスリットによって、新たに共振を発生させた。また、このスロットとスリットのサイズを変えることで、入力インピーダンスを独立に制御することが可能となる。この入力インピーダンスの制御により、共振周波数を制御することで、UWB 通信の High-band に対応する帯域幅を実現した。

今回、調節したパラメータは、*W*、*L*、*fl*、*Al*、*Aw*、*Ul*、*Uw*、*USw*、*Bl*、*Bw* である。ここでは、高い周波数帯のインピーダンスのみを制御することができる、*Ul*、*Uw*、*USw* について、各パラメータを変化させたときの入力インピーダンス特性を図２に示す。図に示すように、低域側(7- 9.5GHz 程度)の入力インピーダン

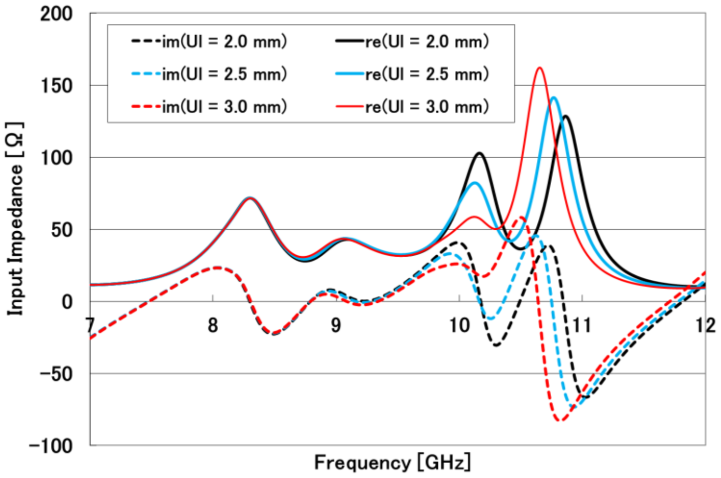


(a) x-y 平面（平面図）

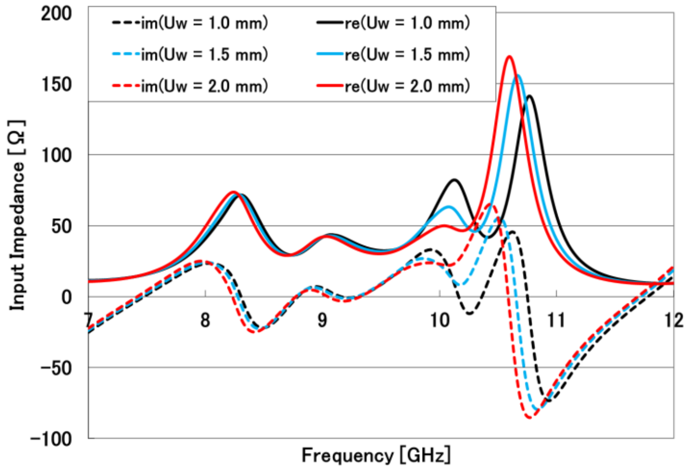


(b) y-z 平面（断面図）

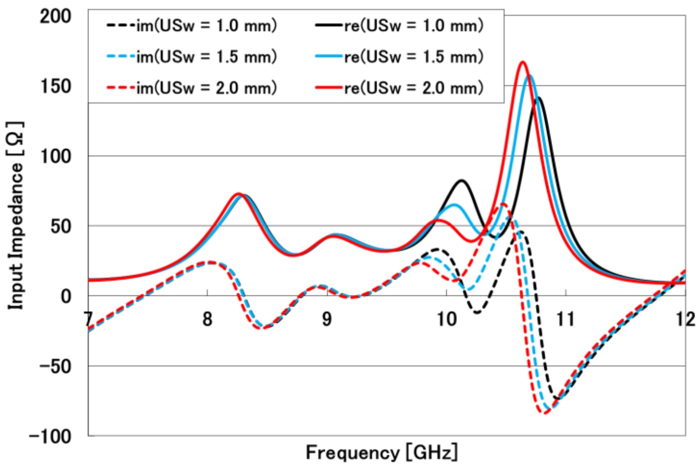
図１　アンテナ構造（Ant1）



(a) *Ul*



(b) *Uw*



(c) *USw*

図２　入力インピーダンス特性

スをほぼ一定に保ちながら、高域側（9.5－11GHz）の入力インピーダンスを制御可能である。

本アンテナのように各共振周波数を自由に制御できる構造は、実際にアンテナを作製して測定を行い共振周波数のズレを確認した場合でも、すぐにシミュレーションで再調整を行い作製することができるため、非常に有益である。最終的なアンテナ（Ant1）の各サイズを以下に示す。

W = 29 mm、*L* = 16 mm、*fl* = 6.0 mm、*Al* = 11.5 mm、*Aw* = 1.0 mm、*Ul* = 2.5 mm、*Uw* = 1.0 mm、*USw* = 1.0 mm、*Bl* = 7.2 mm、*Bw* = 6.0 mm、*Cl* = 2.0 mm、*Cw* = 1.8 mm、*fw* = 0.2 mm、*sl* = 0.2 mm、基板厚 *Ths* = 1.6 mm、金属（銅）厚 *Thm* = 0.018 mm である。

図３に、入力特性である S11 特性を示す。図から、本アンテナは 3 つの共振が発生していることがわかる。この 3 つの共振を用いて UWB 通信の High-band に対応する帯域幅を実現している。S11 特性は、7.92 GHz から 10.52 GHz までの 2.60 GHz において、-10 dB 以下となった。比帯域幅は 28.9 %となり、UWB 通信の High-band に対応する帯域幅を実現している。

図４に、帯域内における S11 最小時の電流分布を示す。電流分布より、大きく 3 つの共振が発生していることがわかる。本アンテナは、アンテナのスロットサイズを変え、これらの電流経路長を制御することで、共振周波数の制御を実現している。**図４ (a)** より、8.32GHz ではスロットダイポールアンテナとアンテナ下部との間（8.0 mm）で、λ/2 波長の共振をしている。**図４ (b)** より、9.08 GHz ではスロットダイポールアンテナとアンテナ上部との間（7.0 mm）で、λ/2 波長の共振をしている。**図４ (c)** より、10.34 GHz ではスロットダイポールアンテナとアンテナ上部左右の間（17.7 mm）で、3λ/2 波長の共振をしている。

図５に各周波数における、本アンテナの放射パターンを示す。放射パターン特性より、本アンテナは帯域幅において、単方向性となったことがわかる。特に高い帯域において、優れた単方向性を示している。

3. アンテナ利得の向上（Ant2）

UWB システムでは、より広範囲な測定範囲が求められる。そこで本章では、通信距離の向上を実現するため、利得特性を改善した構造を提案する。

図６にアンテナ構造（Ant2）を示す。*Cl* = 2.0 mm、*Cw* = 1.8 mm、*fw* = 0.2 mm、*sl* = 0.2 mm、基板は Ant1 と同一である。変更した箇所は、スロットダイポールアンテナの形状である。Ant1 は長方形だったが、Ant2 では台形の形とした。*Aw* = 3.0 mm である。**図７**に Ant2 の電流分布を示す。台形のスロットとすることで、スロットダイポールアンテナの x 軸と-x 軸方向に流れる電流（電界）による打ち消しによる影響を軽減でき、動作利得特性が向上したと考えられる。

図８に、利得の周波数特性を示す。図より、Ant2 は Ant1 と比較すると、低域側でフラットな動作利得特性

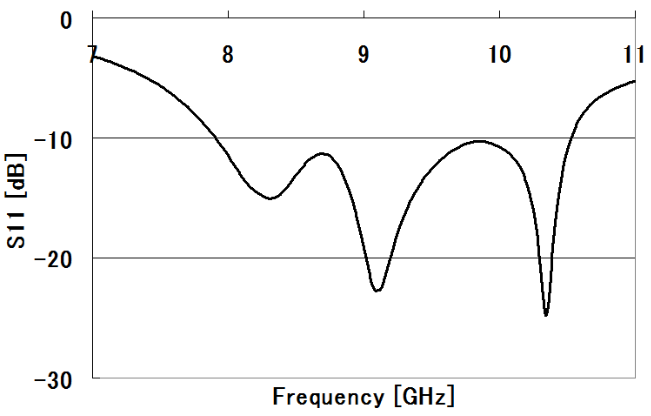
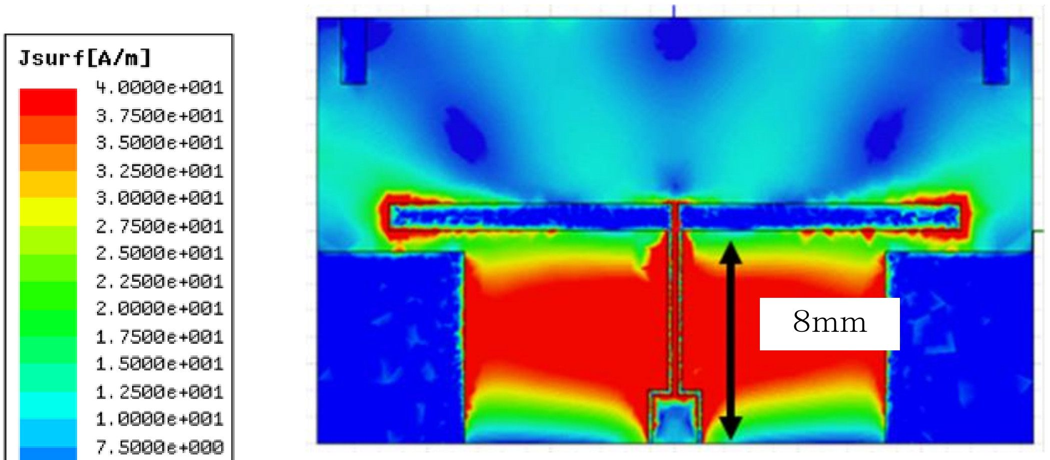
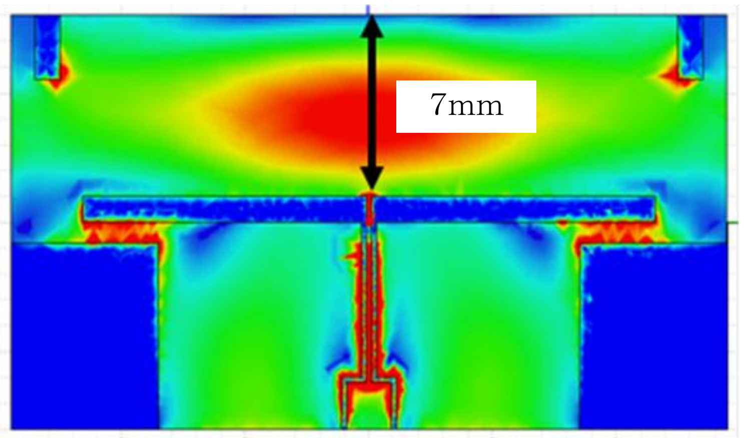


図３　反射特性（Ant1）

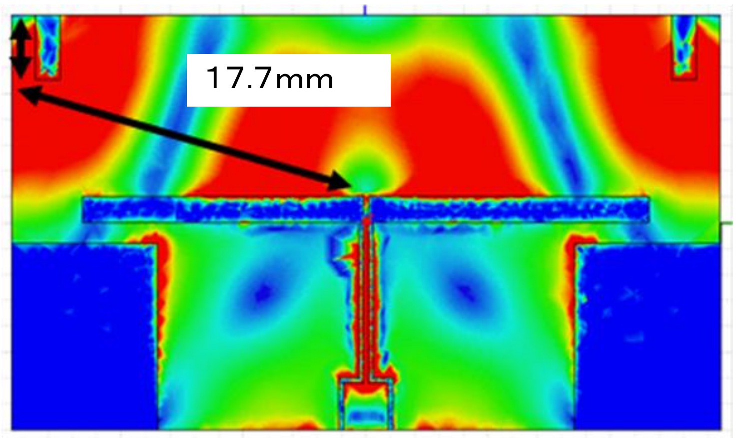
High-band UWB 通信用単方向性平面スロットアンテナ
One-sided directional planar slot antenna for UWB high-band applications



(a)8. 32GHz



(b)9. 08GHz



(c)10. 34GHz

図４　電流分布（Ant1）

High-band UWB 通信用単方向性平面スロットアンテナ

One-sided directional planar slot antenna for UWB high-band applications

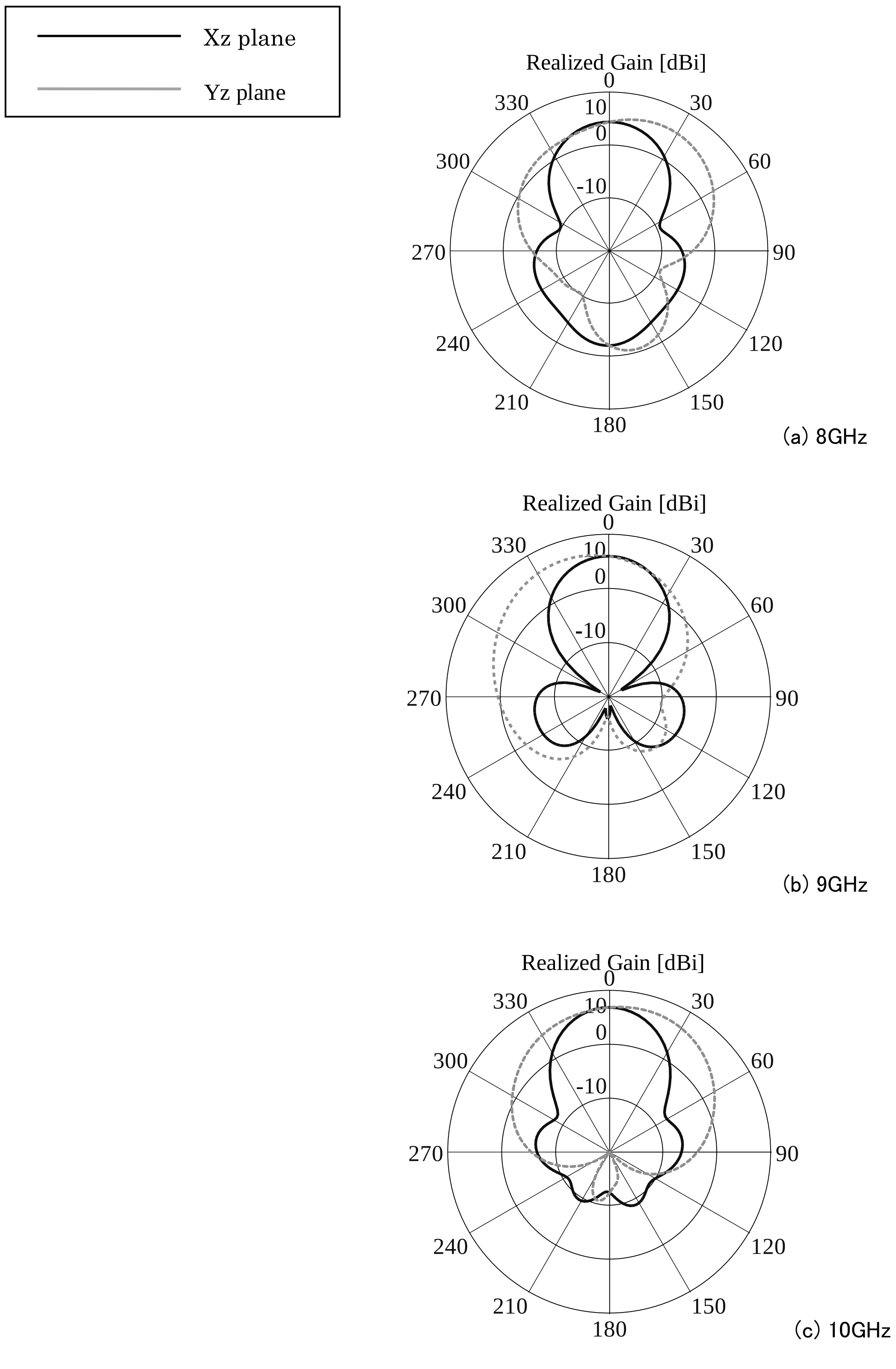


図５　放射パターン（Ant1）

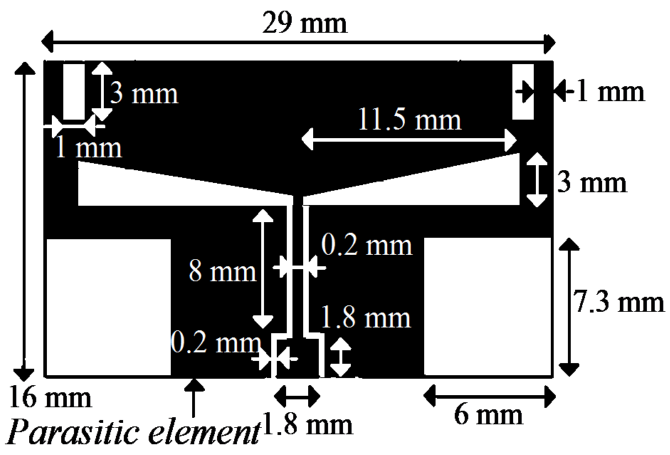
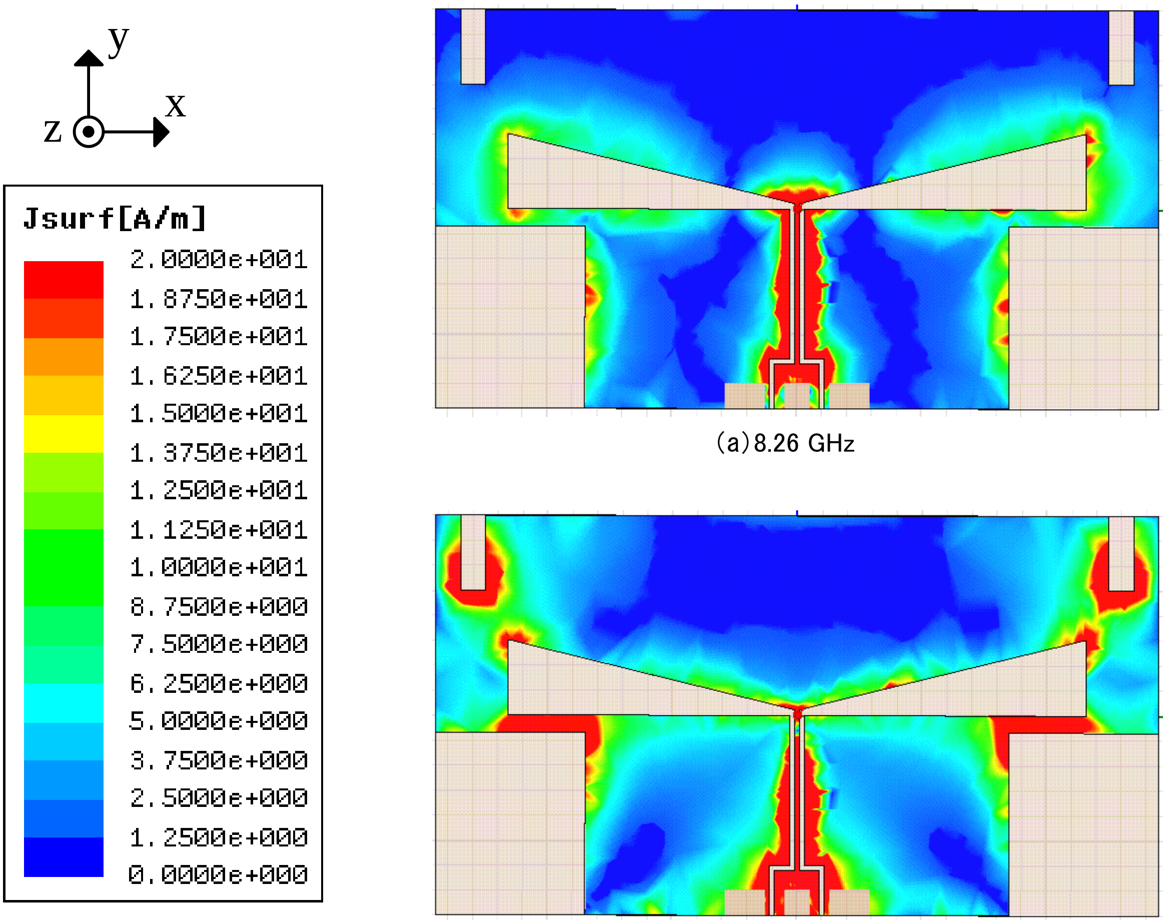


図６　アンテナレイアウト（Ant2）



(a) 8.26 GHz

(b) 8.86 GHz

図７　電流分布（Ant2）

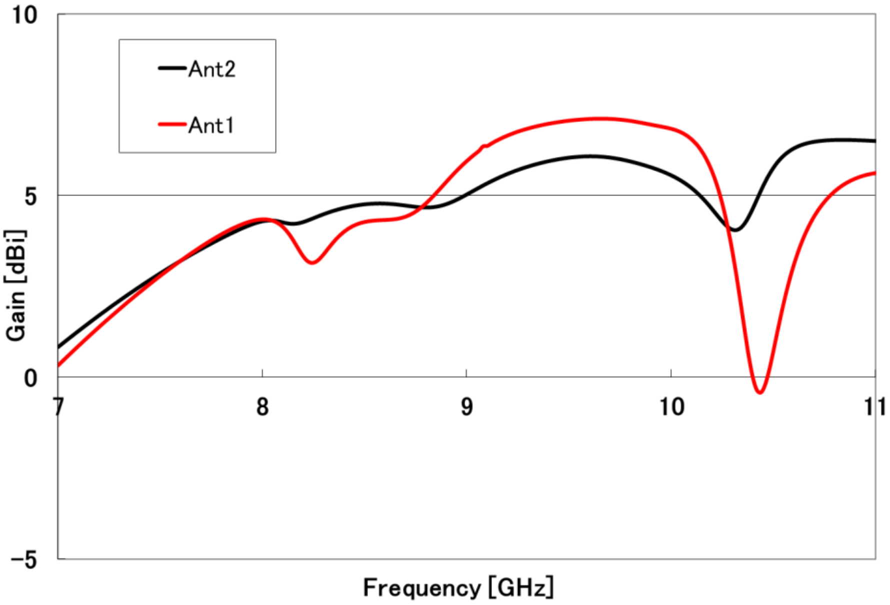


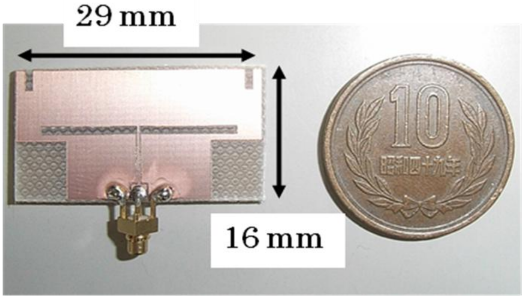
図８　利得の周波数特性

を実現できたことがわかる。Ant2 の利得は、7.25 GHz において 1.91 dBi となり、Ant1 と比較して約 0.33 dB 向上した。

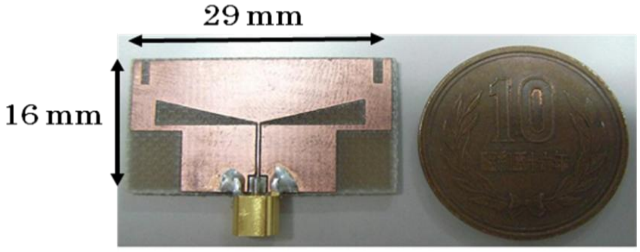
４．試作および評価

図９に試作アンテナの写真を示す。Ant1、Ant2 とも、アンテナサイズは 29mm×16mm である。

図１０に Ant1 における、放射パターンの実験値と設計値の比較を示す。作製アンテナの放射パターンはシミュレーション結果と同等のパターンを実現できたことがわかる。作製アンテナにおいても帯域内において単方向性となり、特に高周波数帯域において、優れた単方向性を示している。**図１１**に、Ant1 および Ant2 の S11 特性の実験値を示す。図から、作製アンテナはシ



(a) Ant1



(b) Ant2

図９　試作アンテナの写真

High-band UWB 通信用単方向性平面スロットアンテナ

One-sided directional planar slot antenna for UWB high-band applications

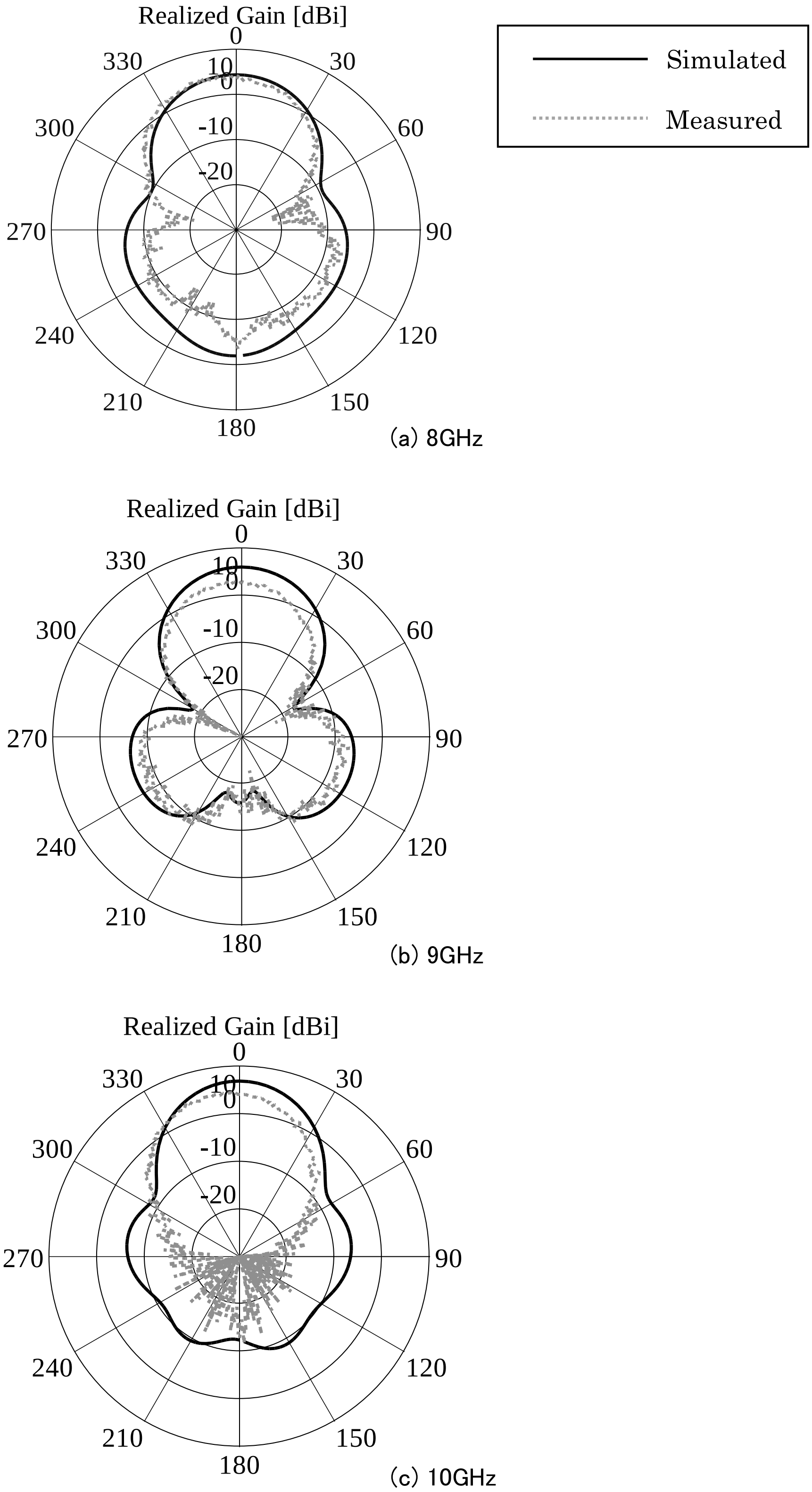


図10 放射パターンの実験値

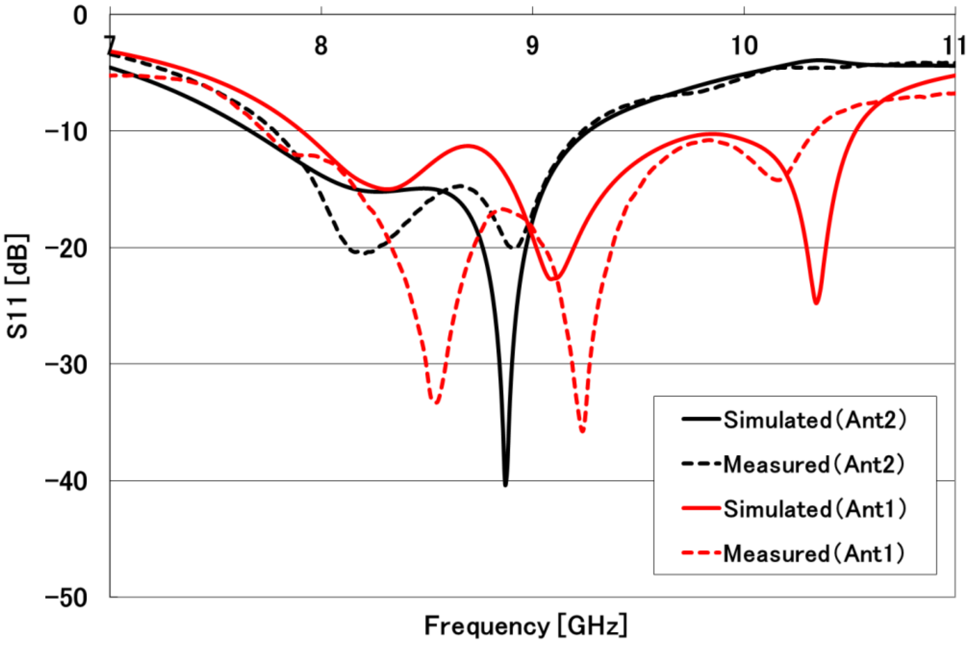


図11　反射特性の実験値

ミュレーション結果とほぼ同等の S11 特性となっている。Ant2 の S11 特性は、7.79 GHz から 9.23 GHz までの 1.44 GHz において、-10 dB 以下となり、比帯域幅は 16.0 %となった。シミュレーション結果の S11 特性は、7.67 GHz から 9.26 GHz までの 1.59 GHz において、-10dB 以下となり、比帯域幅は 17.7 %であった。以上より、Ant1、Ant2 とも、設計値通りのアンテナを作製できている。また、Ant2 における、放射利得の前後比（F/B 比）を表1に示す。高帯域側で高い F/B 比を得ることができた。

表１　各周波数におけるＦ／Ｂ比

Frequency [GHz]	Ant1 [dB]	Ant2 [dB]
7	1.76	1.10
8	6.48	5.33
9	11.79	9.18
10	15.92	16.27

５．通信距離測定

作製した High-band UWB 通信用単方向性平面スロットアンテナ（Ant1）と、利得特性を向上させたアンテナ（Ant2）の通信距離を測定する。

今回の測定では、Ant1 と Ant2 を装置に実装し、通信距離を比較した。受信アンテナには、市販の無指向性アンテナ（BC: Bi-conical antenna）を使用した。アンテナ直径 φ7、アンテナ長 20.5mm であり、セミリジッドケーブル（長さ 20mm）が接続されている。

送信アンテナには、BC、Ant1、Ant2、を使用し、各アンテナを実装したときの通信距離を測定した。

通信距離測定時の環境を**図12** に示す。場所は、九州大学 伊都キャンパス ウエスト 2 号館の生協売店前の広場で行った。

通信距離の測定では、受信機が信号を受信できているかを LED で判定する。LED が点滅している場合は通信が行われていると判定した。受信機を少しずつ下げていき、LED が消灯する手前の距離を通信距離とする。実装しているアンテナの高さは、地上より約 1.5 m とした。

図13に通信距離の測定結果を示す。Ant1 の通信距離は 9.15 m となり、市販されている無指向性アンテナ(BC) と比べて、約 153%の通信距離を実現できたことがわかる。単方向性にすることで、Theta = 0° 方向のアンテナ利得が帯域幅で向上したため、通信距離の向上を実現している。また、動作利得特性を向上させた Ant2 の通信距離は 10.20 m となり、Ant1 と比較すると、更に約 111% の通信距離を実現できたことがわかる。これも、Theta = 0° 方向のアンテナ利得が低域側の帯域で向上し、フラットな動作利得特性になったため、通信距離の向上を実現したといえる。Ant2 は目標であった 10m の通信距離を実現した。

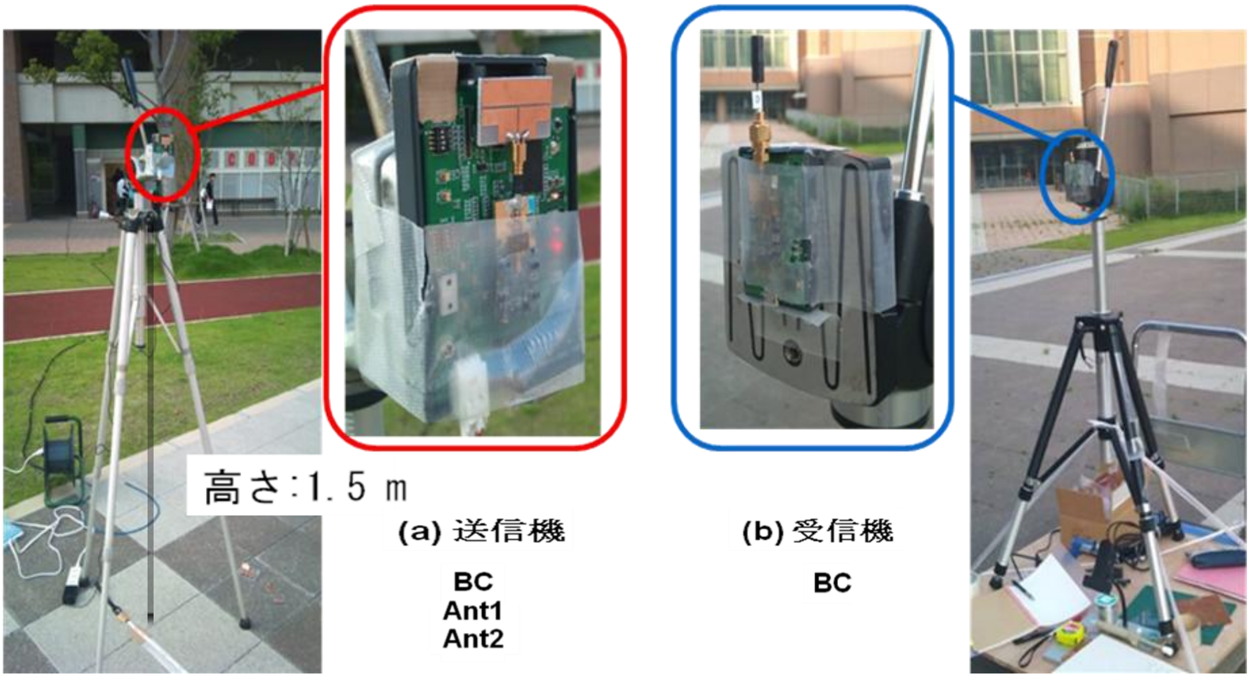


図12　通信距離測定環境

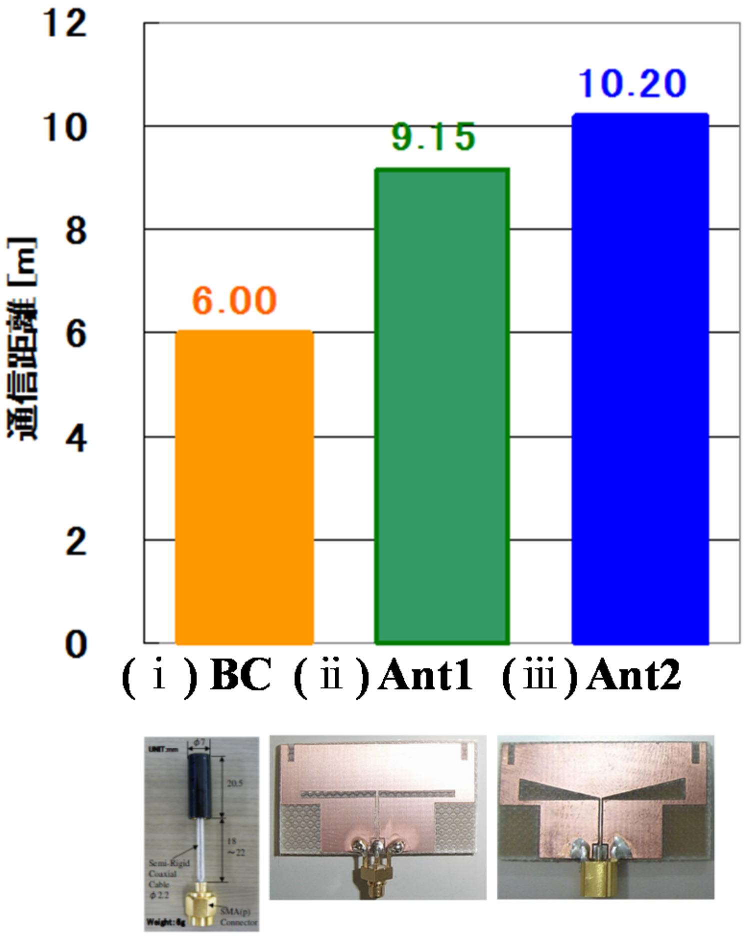


図13　通信距離の比較

6．まとめ

本研究では、UWB システムへの実装を目的とするアンテナの研究を行った。UWB システムで使用するアンテナには、小形であり、低姿勢な構造であることが求められる。そこで、UWB 通信の High-band での単方向性平面アンテナの構造を提案した。本アンテナは、背面の高周波回路によるアンテナ特性の劣化を防ぐため、アンテナ背面にフローティングメタルを有した。この単方向性により、背面の高周波回路からの電波障害による影響を低減させることが期待できる。さらに、アンテナを人体や商品など、どこにでも装着することが可能となる。

参考文献

(1) 神谷泉、“測位技術の調査と IC タグ、UWB の測位への応用”。
(2) S. R. Best, “A discussion on the properties of electrically small self-resonant wire antennas”, *IEEE Antennas Propag. Mag.*, Vol. 46, No. 6, pp. 9–22, (Dec. 2004).
(3) A. Erentok and R. W. Ziolkowski, “Metamaterial-inspired efficient electrically small antennas”, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 56. No. 3, pp.691-707, (March 2008).
(4) M. Sun, Y. P. Zhang and Y. Lu, “Miniaturi-

zation of Planar Monopole Antenna for Ultrawideband Radios"*knnas Propag.*, **Vol. 58. No. 7**, pp.2420-2425, (July 2010).

(5) T. Tsukiji and Y. Kumon, "Modified transmission line type antennas for mobile communication", *IEICE Trans. Commun.* **E75-B, 8,** pp.775-780, (Aug. 1992).

(6) A. Thumvichit and T. Takano, "Ultra low profile dipole antenna with a simplified feeding structure and a parasitic element", *IEICE Trans. Commun.* **E89-B, 2**, pp.576-579, (Feb. 2006).

(7) H. Kanaya, T. Hashiguchi, R. K. Pokharel, and K. Yoshida, "Study of A CPW-Fed Slot Dipole One-Sided Directional Antenna for UWB Systems",2007 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings, **Vol.4**, pp.2465-2468, (2007).

(8) S. Ijiguchi, H. Kanaya, D. Kanemoto, K. Yoshida, R. K. Pokharel, K. Yoshitomi, A. Ishikawa, S. Fukagawa, A. Tahira, "Development of One-Sided Directional Printed Slot Antenna for High-Band UWB systems", *Proc. 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, pp.1474-1477, (2011).

(9) 吉田啓二、金谷晴一、"アンテナ、アンテナ設計装置、アンテナ設計方法及びアンテナを生産する方法"、特許第 4811807 号、(2011)。

(10) 井地口智詞、"High-band UWB 通信用単方向性平面スロットアンテナの開発"、九州大学大学院システム情報科学研究院修士論文、(2012)。

この研究は、平成１９年度ＳＣＡＴ研究助成の対象として採用され、平成２０年度～２２年度に実施されたものです。