

周期構造を組み込んだヒトに優しく高効率なアンテナの開発

High Efficiency Antenna Including Periodic Structures



有馬 卓司 (Takuji ARIMA, Ph.D.)

東京農工大学 准教授

(Associate Professor, Tokyo University of Agriculture and Technology)

電子情報通信学会 米国 IEEE

受賞：電子情報通信学会学術奨励賞(2001) IEEE AP-S Japan Chapter Young Engineer Award(2002) 電子情報通信学会通信 EMCJ 研究会若手優秀発表賞(2006) 電子情報通信学会通信アンテナ伝播研究会若手奨励賞(2007) 電子情報通信学会通信アンテナ伝播研究会功労賞(2010) 電子情報通信学会通信ソサイエティ活動功労賞(2011) 電子情報通信学会通信アンテナ伝播研究会功労賞(2011) 電子情報通信学会通信ソサイエティ活動功労賞(2012)

著書：宇野亨, 何一偉, 有馬卓司, FDTD 法によるアンテナ/電磁波解析 (CD 付) ~そのポイントとプログラム~ 株式会社トリケップス, 2011.5 分担 3, 4, 5 章

研究専門分野：電磁波工学

あらまし 携帯電話を始めとする情報通信端末の発展は目覚ましいものがある。これら機器は、電波を用いて無線通信を行っている。電波はアンテナによって情報端末から放射され、基地局と通信を行いデータの送受が可能となるが、実際に基地局に届いている電波は、放射された電波の一部にすぎない。基地局に届かない電波は、空間中に放射されるのみで通信に利用されることはない。当然ながら、情報通信端末の近くにヒトなどが存在すれば、電波の一部はヒトに吸収されてしまい、ヒトに吸収された電波は無駄なエネルギーになってしまう。本研究では、情報端末用のアンテナを工夫することにより、ヒトに吸収される電力を抑える。また、ヒトに吸収される電力を抑えたことにより、アンテナの高効率化が可能になる。本研究において、ヒトへ吸収される電力を抑える方法としては、電波に対する新媒質であるメタマテリアルを活用した。メタマテリアルとは、自然界には無い電気特性を示す構造であり、電波の伝搬特性などを任意に制御できる構造である。

1. 序論 研究の目的・背景 (国内外の動向)

我々の生活において、電磁波を用いた機器は広く用いられている。特に近年の携帯電話およびスマートフォンの発達に伴い、電磁波を用いる環境は急激に増加したといえる。これら機器から放射された電磁波は基地局に届き、電気信号に変換されて情報が伝達される。一方、機器から放射された電磁波のうち、基地局に届く電磁波はごくわずかであり、大多数は基地局に届くことはない。また、機器から放射された電磁波の一部は機器近傍にある人体などに吸収される。この人体に吸収される電力は通信に使用されることはないために無駄な電力であるといえる。一方、人体へ吸収された電力は熱エネルギーに代わり、この熱エネルギーが人体に影響を及ぼす懸念があり、現在国内で販売されている携帯電話は、この吸収量を定量評価し安全であることを確認している。しかしながら、人体に吸収される電力は少ないに越したことはないといえる。

一方、これまでに人体への吸収電力を減らすアンテナの検討は多いとは言えない。本研究の概念を図 1 に示す。本研究ではこの問題に対し、アンテナを工夫することにより、人体へ吸収される電力を低減するアンテナを開発するとともに、その電力を放射に使うことによりアンテナの効率を向上させるものである。



図 1 本研究の概念図

特に本研究では、メタマテリアルと呼ばれる電波に対する新媒質を組み込んだアンテナの開発を行う。メタマテリアルとは、これまで自然界には存在しない電気特性を示す構造であり、電磁波をある程度任意に制御

周期構造を組み込んだヒトに優しく高効率なアンテナの開発

High Efficiency Antenna Including Periodic Structures

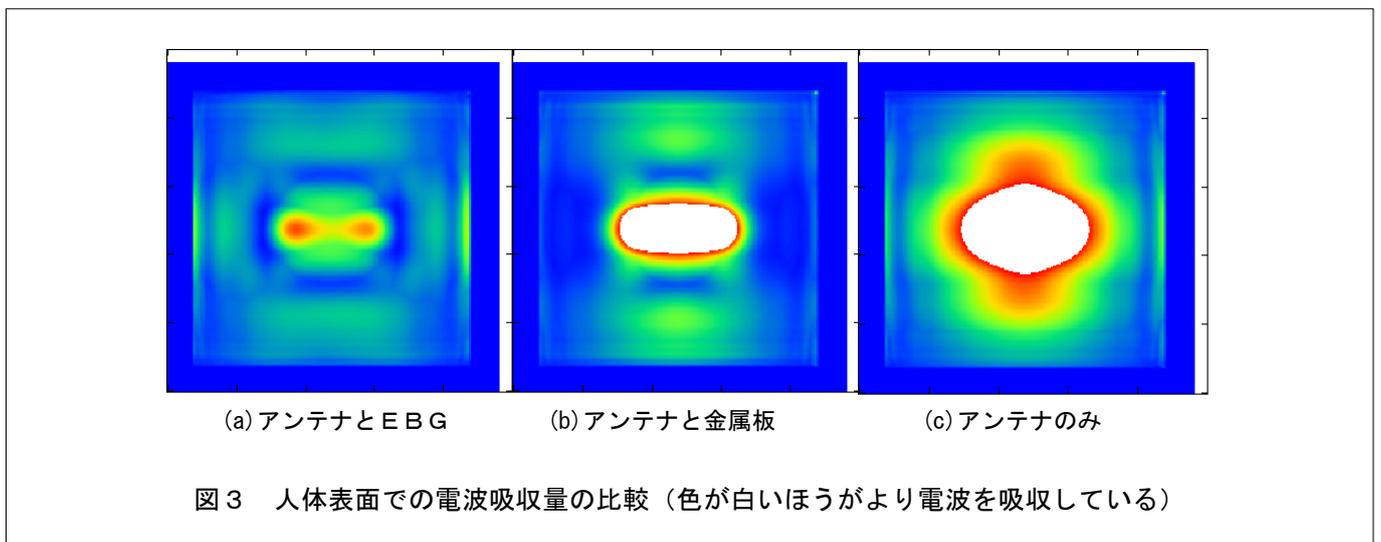
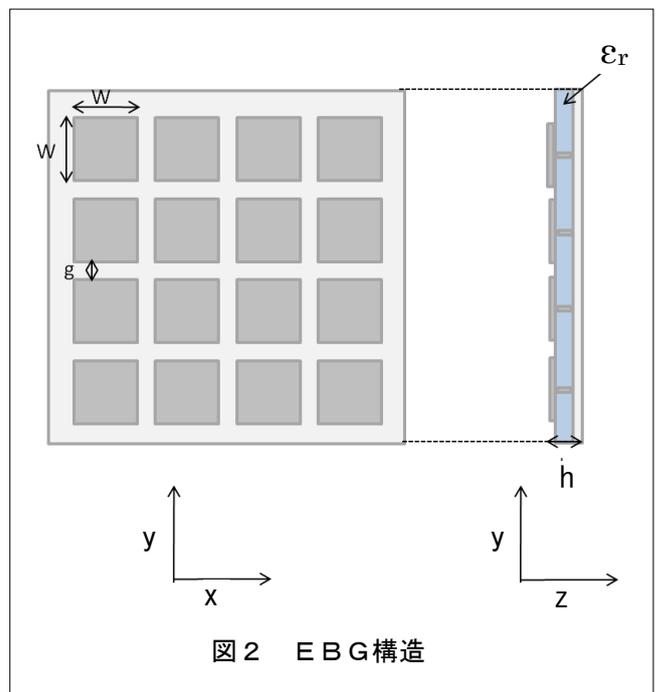
できることが知られている。この構造は同じ構造を繰り返し配置する周期構造を用いて実現される。この周期は繰り返し回数が多いほどよい。しかし、本研究で対象とするアンテナは情報通信端末に利用することを考えているために、周期構造の周期は限られてしまう。本研究ではさらに、メタマテリアル構造の小型化を目的に、繰り返し構造の周期の打ち切り方を工夫することにより、小形で効率的なアンテナの開発を行った。

2. 本論

2. 1 メタマテリアル構造及びその効果について

図2にメタマテリアルの一種であるEBG (Electric Band Gap) 構造[1]を示す。この構造は金属基板上に金属のパッチと呼ばれる板を周期的に配置した物であり、この表面上で電磁波が伝搬しないことが知られている。通常の金属であると金属の表面上を電波が伝わり、その裏面に電磁波が伝わる。この構造をアンテナと人体の間に挟むことにより、人体への電磁波の吸収を抑えることが出来ると考える。実際に吸収量をFDTD法(時間領域差分法:電磁波方程式を近似的に解析するシミュレーション手法)を用いて解析した結果を図3に示す。筆者らは次世代携帯電話での利用を想定して、周波数は3.5GHzとした。それぞれのパラメータは、 $W=7\text{mm}$, $h=3\text{mm}$, $g=3\text{mm}$, 比誘電率 10.2である。このEBG構造の前面にダイポールアンテナ、裏面に人体を配置し電波の吸収量を比較した。アンテナ

と EBG の距離は 21mm, 人体と EBG の距離は 10mm とした。人体モデルは、アンテナ近傍の電波吸収量のみを評価することが目的であるために、その大きさは、 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ で、厚みは 35mm とした。電波吸収量の比較対象は、アンテナと人体の間に、EBG 構造を配置した時(図3(a))、ただの金属板を配置した時(図3(b))、何も配置しない時(図3(c))とした。EBG 構造の効果の評価するために、EBG 構造を金属板に置き換えた際の電波吸収量の評価をしている。



周期構造を組み込んだヒトに優しく高効率なアンテナの開発

High Efficiency Antenna Including Periodic Structures

図 3(a)~(c)を比較することでもわかるように、EBG 構造をアンテナと人体の間に EBG 構造を挿入することで、大幅な電波吸収量の低減が可能出ることが分かる。定量的に電波の吸収量を計算した結果は、アンテナのみの時を 1 とすると、金属板を配置した時は 0.67 であり、本研究で検討している EBG 基板を配置した時は 0.26 となり、約 4 分の 1 に電波の吸収量が低減できている。このことから EBG 構造の効果が大きいことが分かる。また、EBG 構造は損失を含まないことから、この低減された電波は放射に用いられたと考える。

2. 2 開発した低電波吸収アンテナ

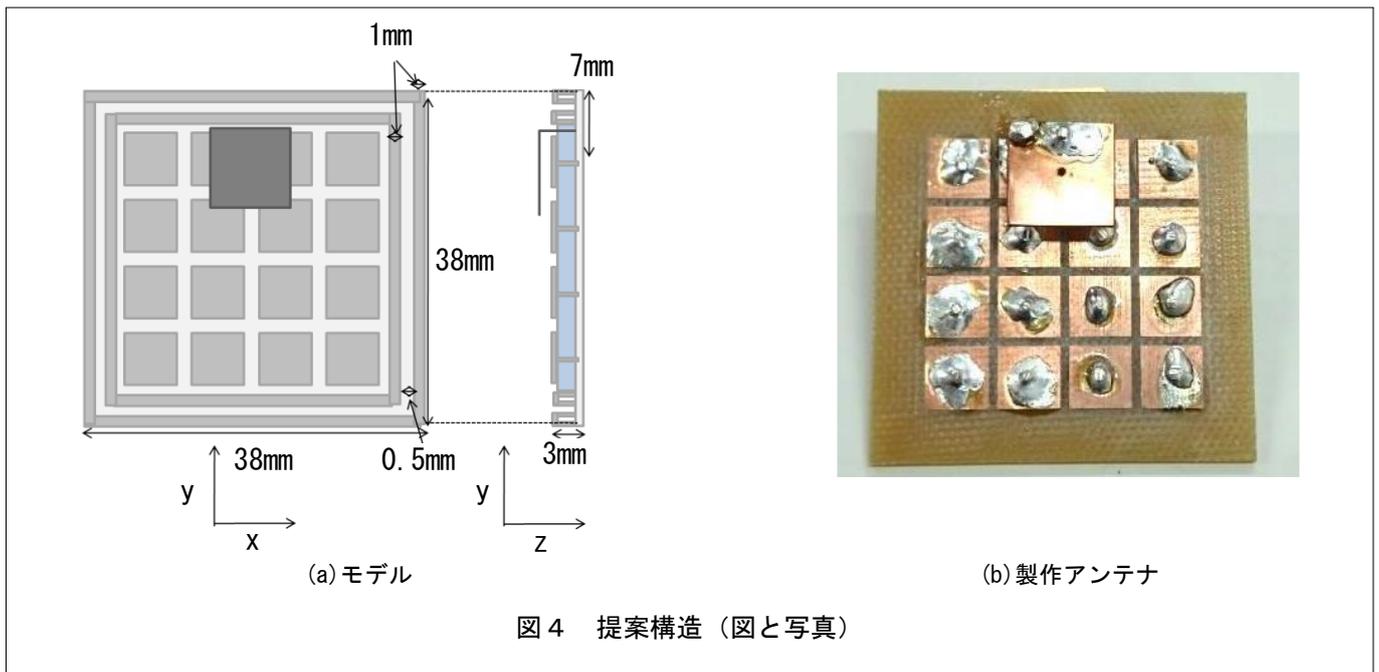
(a) 基本構造

EBG 構造を組み込むことにより、電波の吸収量を抑え放射効率を向上させたアンテナを図 4 に示す。本研究では情報通信端末への応用を想定しているために、2.1 章で検討したダイポールアンテナは、その大きさなどの制約から用いることは出来ない。そこで、情報通信端末で広く用いられている板状逆 F アンテナを用いた。このアンテナは図 4 に示す様に板状であり、基板の上に配置されるアンテナである。このアンテナは小形であることから、情報通信端末で広く用いられて

いるアンテナである。一方、このアンテナは基板上に配置されることから、基板を EBG 構造とした[2]。EBG 構造の各パラメータを図 4(a)に示す。また、作製したアンテナを図 4(b)に示す。作製においては基板掘削機と呼ばれる機械を用いた。この機械は誘電体基板を削ることで任意のアンテナを作製できるものであり、その作製精度も非常に高い物である。また、EBG 構造はビアと呼ばれる金属導体が底面の金属とパッチと呼ばれる上面の四角い金属板の間に入っている。このビアの作製においては、ドリルで穴をあけ、その中に導線を通しハンダで固定することにより作製した。アンテナ特性における実験をいくつか行ったが、その結果作製したアンテナは、シミュレーション通り所望の特性を得られていることが分かった。

(b) 折り曲げ構造

図 4(a)に示す構造は、EBG の端部を折り曲げる構造で挟んでいる。この構造について説明する。上述したように、EBG 構造は同じ構造を繰り返し配置する周期構造で実現される。図 2 を見てもわかるように、今回用いた EBG 構造は一つの構造が四角い金属板の構造であり、この構造を図 2 では 2 次元方向に 4 回ずつ繰り返している。



周期構造を組み込んだヒトに優しく高効率なアンテナの開発

High Efficiency Antenna Including Periodic Structures

一方、この周期は繰り返す回数が多いほど電磁波の伝搬を抑えることが出来、本研究においては、裏面にある人体へ電波が回り込まないことを示す。しかし、本研究で対象とするアンテナは情報通信端末用を想定しているために、繰り返す回数は少ないほど小形になり良いということになる。よって、ここではメタマテリアル構造の小型化を目的に、繰り返す構造の周期の打ち切り方を工夫することを検討した。EBG 構造の打ち切り方をいくつか検討した結果、EBG 構造はその基板の大きさが、中心から約半波長の大きさにおいて非常に電磁波の伝搬を抑制できることが分かった[3][4]。各種検討を行ったが、基板の形状が円形でも同じことが分かった。一方、筆者らが想定している次世代通信に用いられる 3.5GHz の半波長は、約 4cm 程度と比較的大きくなってしまふ。左右に半波長とると、アンテナの各辺の合計が約 8cm 必要となり、現実的な大きさではない。そこで、図 4(a)に示す構造を開発した。この構造は EBG 構造をこれまでと同じ 4 周期で打ち切り、その周りに基板の長さが中心から半波長になるように、折り返した構造である。この構造では 2 回折り返している。この構造を用いることで同じ大きさでありながら、より電磁波の吸収量を低減できる。

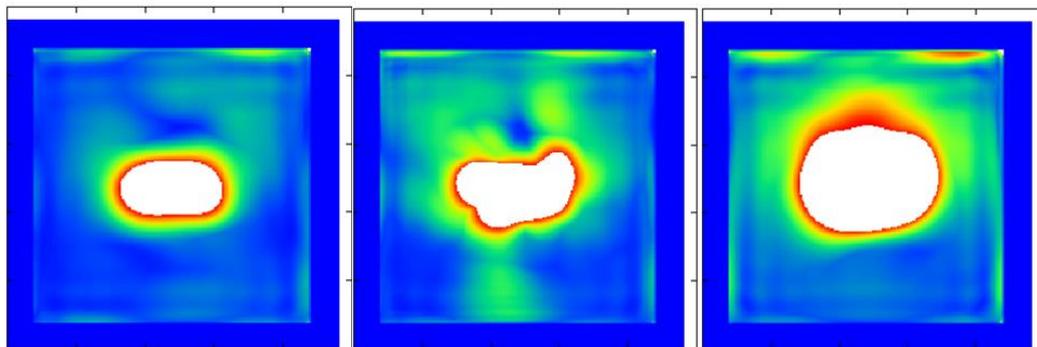
(c) 人体への電磁波吸収量の検討

ここでは、実際に開発したアンテナの人体への電磁波吸収量について検討する。人体モデルは先と同様にアンテナ近傍での吸収量を検討したかったために、開

発したアンテナ背面から 10mm 離して、100mm×100mm で、厚みは 35mm のみの大きさでモデル化し、このモデルに吸収される電力について検討する。

電波吸収量の比較対象は、提案アンテナ（図 4 (a)、折り返しあり）、EBG を組み込んだアンテナで折り返しの無いもの、それに従来の板状逆 F アンテナとした。それぞれのモデルにおける人体モデル表面での電波の吸収量を図 5(a)~(c)に示す。この図からもわかるように、開発したアンテナ（折り返し構造）は電磁波を吸収している領域が、中心部に集まっていることが分かる。これに比べて従来のアンテナは、その領域が広がっていることが分かる。また、図 5(a)と図 5(c)を比べることにより、折り曲げ構造の有効性もわかる。次に、定量的に電波の吸収量を計算した結果を示す。従来のアンテナの時の電磁波吸収量を 1 とすると、開発した構造は 0.41 であった。また、折り返さないときは 0.58 であった。よって開発した構造は、従来のアンテナに対して 60%程度電磁波の吸収を防いでいることが分かる。さらに、折り返しによる効果は 20%であることが分かった。

以上より、従来から使用されてきた板状逆 F アンテナの基板部分を EBG 構造にし、さらに、EBG 構造の端を折り曲げることにより、人体への吸収量を 60%あまり低減できることが分かった。また、人体に吸収されなくなったため、アンテナの放射効率は向上したといえる。



(a) 開発したアンテナ

(b) 折り返しなし

(c) 従来のアンテナ

図 5 開発したアンテナによる人体表面での電波吸収量の比較

周期構造を組み込んだヒトに優しく高効率なアンテナの開発

High Efficiency Antenna Including Periodic Structures

3. 将来展望

本研究では、情報通信端末において、人体に吸収される電力を低減するアンテナ、およびその吸収される電力を放射に用いるアンテナの開発を行った。本研究においては、次世代通信である 3.5GHz を行ったが、この方法は大きさ等の制約を除けば任意の周波数で作製できると考えることから、その用途は広いと考える。また、現在医療の現場でも電磁波の活躍が広がっているが、本研究で開発したアンテナは、医療機器等の電磁波による誤動作が非常にシビアな分野に用いることで、不要な電磁波を減らすことが可能と考える。以上より、本研究で開発したアンテナは様々な分野に応用できると考える。また、本研究ではアンテナ自体を工夫したが、どのようなアンテナにも応用できる構造を提案できれば、その応用分野は広くなると考える。

参考文献

- [1] F. Yang and Y. Rahmat-Samii “Microstrip Antennas Integrated With Electromagnetic Band-Gap(EBG) Structures: A Low Mutual coupling Design for Array Applications”, IEEE Transaction on Antenna and Propagation, vol.51, Issue.10, pp.2934-2946, 2003.10
- [2] R. Ikeuchi, A. Hirata, “Dipole Antenna Above EBG Substrate for Local SAR Reduction”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.10, pp.904-906, 2011.9
- [3] 丹野雄悟, 有馬卓司, 宇野 亨, ”有限 EBG 構造における構造端部の取り扱いについて”, 2013 年電子情報通信学会ソサイエティ大会論文集, B-1-130, p.130, 2013.9.20
- [4] Takuji Arima, Yugo Tanno, Toru Uno, “An efficient edge structure of finite size EBG structure”, Proc. Vietnam-Japan International Symposium on Antennas and Propagation, 2014.1.10,

この研究は、平成 22 年度 S C A T 研究助成の対象として採用され、平成 23 ~ 25 年度に実施されたものです。