

異方性なしでは役に立たない透明マント

米マサチューセッツ工科大学(MIT)の研究チームは、最近、一般的に用いられている設計法では、透明マント(不可視装置)を意図した通りに作ることはできないと断定した⁽¹⁾。

理論的には、車、家、科学者自身などの物体を視野から完全に隠す光学式透明マントの設計は可能だが、現実的な考察によれば、これらの設計を構築することはほとんど不可能だ。そのようなマントは、おそらく、光の波長より小さな構造部品で構成され、それらのすべてがサブ波長の寸法精度で互いにアラインメントされた光学メタマテリアルから作られることになる。これを人間のサイズのマントで実現するのは神業に近い。さらに、大規模なメタマテリアルマントは光の部分的吸収と散乱が避けられず、その目的を果たすことはできないだろう。

事態の簡素化

そこで、クロウキング設計者たちは二つの方法で事態を簡素化した。第1に、彼らは主としてサイズが数波長程度の非常に小さなマントに目を向けた。こうすればマントは作りやすくなる。第2に、彼らは、より単純な材料からマントを作ることができる特別なケースに関心を向けた。任意の複雑なクロウキング配置は光学的に異方性のメタマテリアルを使用しなければならない。異方性メタマテリアルは、そこを通過して伝搬する光の位相面が光の進行方向にたいして直角にならないように設計され、奇妙な性質を持つ。異方性メタマテリアルの構成は非常に困難だ。反対に、一定程度簡素化したクロウキング配置であれば、異方性ではなく光学的に等

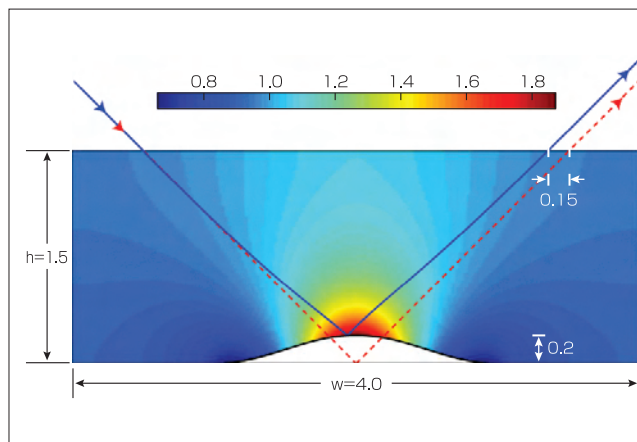


図1 幅が4.0単位の完全反射鏡に高さ0.2単位の滑らかなバンプが存在する。傾斜屈折率(色尺度)を持つ1.5単位高さの等方性メタマテリアルからなる光学式マントがこのバンプを完全に隠すように設計された。45°の角度でバンプの頂点近くに入射した光線は、マントを出射する光線の正しい方向指定には成功したが、出射光線の適切な出口点への位置決めに失敗した。(資料提供:MIT)

方性のメタマテリアルあるいは傾斜屈折率誘電体を使用しても何とかなる。

特別な事例の一つとして、研究チームは、任意の物体を隠すことを諦め、完全反射鏡上のバンプ(隆起部分)だけを隠そうと努力した。バンプは単純な形状で、高さが滑らかに変化し、完全反射率を持つことが条件になる。彼らは、反射鏡とバンプを外面が平坦で、願わくばバンプが見えなくなるような屈折率変化を持つ透明な等方性クロウキング層で覆った。

結果を見る

MITの研究チームが断定したことは、異方性から等方性クロウキング材料へのジャンプは犠牲を伴うということであった。光学的に異方性の材料ならば反射鏡上のバンプを完全に覆い隠せるが、光学的に等方性の材料から作られたマントはバンプを部分的にしか隠せない。バンプから反射された光ビームの位相前面はバンプが存在しない場合の結果を正確に模倣するが、光ビーム自身は横方向にシフトする(図1)。等方性の傾斜屈折率材料(屈折率が1以下から約1.4の範囲で変化)で隠された0.2

単位高さのバンプの例では、45°の角度で反射された光線は約0.15単位だけ横方向にシフトするので、斜め光線の横方向シフトは隠されるバンプの高さと同程度に大きくなる(屈折率を1以下にするには、マントをやはりメタマテリアルで作られなければならない)。

したがって、反射鏡上のバンプを完全に覆い隠すには、光学的に異方性のメタマテリアルが常に必要だと、MITの研究チームは語っている。小型の反射性バンプ以外の何かを隠すために設計された、さらに興味深いクロウキング装置では、高い吸光度、狭い伝送帯域、不十分な剛性率などの障害も発生している。こうした困難をほとんどまたは全く説明せずに大規模な光学式透明マントのアイデアを取上げている一般の科学技術メディアの記事を考えてみてほしい。そして、いかに多くの人々が柔軟な(おそらく洗濯機で洗える)透明マントが身近にあると考えているかを想像してみてほしい。

(John Wallace)

参考文献

- (1) B. Zhang et al., <http://arxiv.org/abs/1004.2551>, Apr. 15, 2010.