



夢はバラ色

フォトニックフラクタルに見る夢

宮本 欽生*

Dream of The Photonic Fractal

Key Words : Photonic fractal, Confinement of electromagnetic waves, Menger sponge, Stereolithography, Freeform fabrication

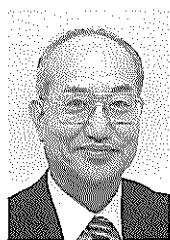
1. フォトニックフラクタルは人気者

「電磁波閉じ込め、夢のサイコロ」の見出しで、今年1月7日の朝日新聞朝刊1面トップに、フォトニックフラクタルが大きく報道されました。すぐさまNHKの記者が取材に来て、午後からTVニュースで放映されたのを皮切りに、新聞・TV各社の報道や、外国通信社からの電話取材が相次ぎました。1月9日には久米宏ニュースステーションでも、“21世紀の大発明かも?”と破格の扱いで取り上げられ、また主婦に人気のあるTV番組「ちんぷいぷい」でも“夕陽を溜める夢の玉手箱”とロマンチックなイメージで紹介されていました。ビジネス雑誌や子供向け雑誌にも掲載され、今やフォトニックフラクタルは、世間の人気者になっているようです。

2. 2.73次元の誕生

材料の機能と構造を3次元的に自在に設計し造形できれば、新しい機能が産み出せるのではないかと、の想いで研究を続けて6年程になります。ひとつのターゲットとして、フォトニッククリスタルという電磁波を完全反射し制御する、3次元誘電体格子の研究を進めてきましたが、それとは異なるフラクタル構造に電磁波が閉じ込められるのを最初に確認したのは昨年3月でした。桐原聡秀助手がフラクタル

ルのサンプルを作り、測定した生データを持ってきた時には、多少の期待はしていたものの「エッ! 出たか! ウアッ! 出た!」と飛び上がらんばかりに驚きました。すぐさま共同研究者で、“メンジャースポンジ型の誘電体フラクタル構造が電磁波を局在させるかも知れない”, と提案してくれた信州大学理学部の武田三男教授に連絡し、こちらに来てもらって測定を確認してもらいました。その時のサンプルが、図1に示す1辺27mmの立方体で、エポキシ樹脂で出来ています。立方体には、1辺が9mm, 3mm, 1mmと大きさの違う角穴が、それぞれ3, 24, 192個貫通し、部分と全体が似た構造になっています。このような自己相似性を有する形状をフラクタルと言い、複雑な形や、あいまいな形を、小数点がつくフラクタル次元で定量的に記述する幾何学として知られています。メンジャースポンジは2.73次元となり、2次元と3次元の中間的な構造として認識されます。サンプルの製法は、CADソフトを使ってメンジャースポンジ構造をパソコンの画面上で設計すると、数値データに変換されたファイルに従ってレーザービームが光硬化性樹脂液上をスキャンし、一層々重合固化していく光造形法を用いています。



* Yoshinari MIYAMOTO
1944年10月生
1969年大阪大学大学院・基礎工学研究科・物性物理専攻修士修了
現在、大阪大学・接合科学研究所・スマートプロセス研究センター、
教授、工博、材料科学
TEL 06-6879-8693
FAX 06-6879-8693
E-Mail miyamoto@jwri.osaka-u.ac.jp

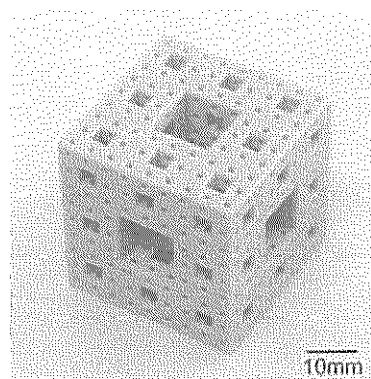


図1 メンジャースポンジ型フラクタル構造

3. 電磁波局在の波紋

図2(a)は、このメンジャースポンジ型のフラクタル構造に電磁波を照射したときの反射率と透過率のスペクトルです。12.8GHz付近で、どちらも大きく減衰しているのがわかります。この結果は、入射した特定波長の電磁波は、反射もせず透過もせずに内部に閉じ込められたことを意味しており、別の測定で、中心部の空洞に局在しているのが確認されています。反射率の減衰ピークはブロードですが、光硬化性樹脂液に高誘電率の酸化チタン系セラミック粉末を10%分散させて造形したサンプルでは、図2(b)に示すように、反射率、透過率の減衰ピークは鋭く、ともに8GHzで-50dB、すなわち10万分の1程度に減衰しています。セラミックスを複合化させることにより、メンジャースポンジ構造の平均誘電率が上がったことと、誘電損失が低くなったことが関係していると考えています。

中央空洞に局在した電磁波のエネルギーは、周囲の誘電体に吸収されたり、拡散して減衰すると推測されますが、透過率の減衰ピークから、局在してい

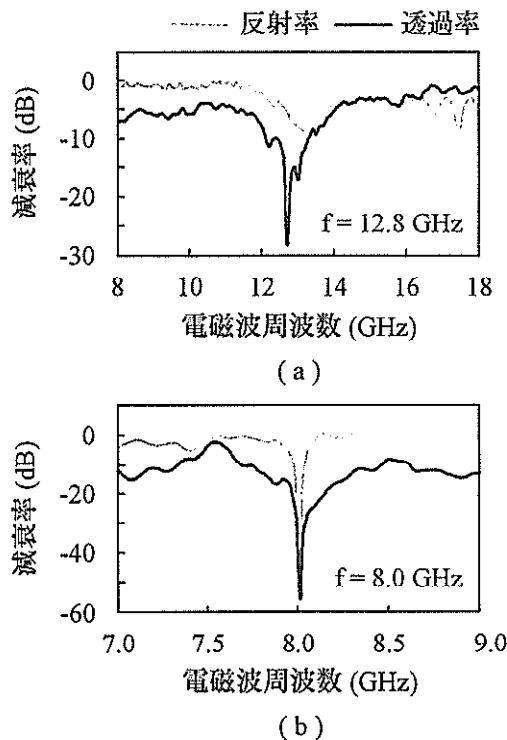


図2 メンジャースポンジフラクタルの電磁波特性
(a)エポキシ製
(b)酸化チタン分散(10%)エポキシ製

る時間は1千万分の1秒程度と見積もれます。ごく短い時間のようですが、最近のパソコンだと基本演算が100回程度できる時間に相当します。現在、もう一人の共同研究者である物質材料研究機構の迫田和彰主席研究員が、FDTD法という電磁場解析手法によって電磁波局在のシミュレーションをしていますが、構造が周期構造でなく、しかも3次元であることからスーパーコンピュータを使っても計算時間がかかり、実験で得たスペクトルをまだ再現するには至っていません。なぜ誘電体のメンジャースポンジ構造に電磁波が局在するかはまだ解明されていませんが、定性的には入射した電磁波とフラクタル構造内で生じた反射波が干渉しあって、他の部分では打ち消し合い、中央空洞に局在したのではないかと考えています。原因は分からなくても、中央空洞に局在する電磁波の波長は、メンジャースポンジ構造の1辺の長さ a と、平均誘電率 ϵ_{eff} によって $\lambda = 2/3a\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}$ の簡単な式で求められることが実験的に分かっています。この関係式は重要で、これで特定の電磁波を局在させる構造を設計することができます。

その後さらに種々の実験を進め、結果に間違いのないことを確認しつつ、論文や特許を手分けして執筆し、フィジカルレビューラーズの論文掲載が決まった後、1月の新聞発表になったわけです。ある程度の反響は予想していましたが、今度は世間が「エッ! 何!」と驚く番になりました。純粹に科学的な出来事が、大新聞の1面にでかでか出たり、老若男女を問わず話題に上るのは珍しいことと思います。経済不況やリストラ、北朝鮮にイラク問題と暗いニュースが続く中、世の中は明るく新鮮なニュースを欲していたのかも知れません。年配の方もフォトニックフラクタルと抵抗なく言ってくださるのを聞くと、本質を表し、かつ言いやすい用語をとって“フォトニックフラクタル”と名付けたことが見事に的中し、うれしく思っています。

4. フォトニックフラクタルの応用

入射した電磁波や光を、反射も透過もせずに内部に閉じ込めるフォトニックフラクタルは、特定の波長に対する黒体ともみなせ、多くの応用が期待できます。例えば、高効率のアンテナ、無反射完全吸収材、各種フィルター、電磁波を一時蓄積および増幅

する電磁波コンデンサーもしくは共振器、電磁波を効率よく集める電磁波コレクターなどが考えられます。またエネルギー機能としても利用でき、耐熱性の各種フラクタル炉を開発することにより、食品、金属・セラミックス等の高効率加熱や殺菌、温熱治療器等の開発が期待できます。フォトリソグラフィフラクタルをナノメートルスケールにすると光を閉じ込めることが出来るはずで、高効率レーザー発振、フィルター、太陽電池用高効率窓材、光コンデンサー、将来の光コンピュータ演算回路素子などの実現も考えられます。また、外からの刺激により能動的な制御も可能と思われ、さらに多種多様な応用が期待できるでしょう。我々はこの6月に、企業を対象にフォトリソグラフィフラクタル研究会を設立し、実用化を目指した応用展開を図ろうとしています。

5. フラクタルは孫悟空の世界

昨今のナノサイエンス・ナノテクノロジーの隆盛は、回折結晶学や量子力学等の基礎科学のプラットフォーム上で、1世紀近くかけて発展してきた科学技術の粋をなすものとみなせます。その基本概念は周期性にあり、20世紀の科学技術は周期性の世界を制御することに大成功を収めて来ました。反面、周期性の秩序もなければ、無秩序でもない、複雑で曖昧な世界を御する術はまだ得ていないと言えるでしょう。でも実際の世界は、細部と全体が相互に関連し、微妙で複雑な様相を呈している場合が多いように思います。個人的には、ナノスケールの窮屈な空間よりは、細部が全体に通ずる融通無碍なところや、メ

ンジャー sponge のように穴だらけの八方破れなフラクタルの空間が性に合っているようです。孫悟空が、一瞬にして10万8千里飛べる筋斗雲に乗って辿りついた世界の果てに、高くそびえ立っていた5つの柱は、実はお釈迦さんの手の指であったとする西遊記的一幕は、まさにフラクタル的です。孫悟空のスピードにあわせて世界が広がっていったのか？、それとも猛スピードと思っていたのは己の世界だけの話だったのか？ 自己相似性は定義できても、長さが定義できないフラクタルの空間に、電磁波が光の速度で入射し共鳴したとして、一体どうなるのでしょうか？ お釈迦さんの手のひらではありませんが、電磁波も速度が定義できずに困りはて、空洞内に閉じ籠もるしかないのかも知れません。

6. 周期性と自己相似性の融合

フラクタル科学は、マンデルブローが1975年頃に創始し発展してきた分野ですが、“構造の設計、製造、と特性評価が3次的にできる技術に結びつき、多くの応用が予見できるに至ったのは、今回の研究が初めてだ”とは、共同研究者でフラクタルの専門家である、信州大学理学部の本田勝也教授の言です。フラクタルの科学技術を構築することは、複雑性やカオスの制御につながることであり、さらに多くの可能性を秘めていると言えるでしょう。期待が膨らむばかりですが、自己相似性の概念に基づく科学技術と、高度に発達した周期性の概念に基づく既存の科学技術を融合することにより、夢のある未来の構築につながることを願っています。

