

光の八木・宇田アンテナ

Nano-antennas could help keep quantum secrets

ZEEYA MERALI 2010年3月14日 オンライン掲載
www.nature.com/news/2010/100314/full/news.2010.119.html

ナノスケールの金のロッド（棒）を配列することで、
光を望みの方向に向けることができた。これは量子通信に不可欠の技術だ。

屋根の上に立っているテレビのアンテナ。これは正式には「八木・宇田アンテナ」とよばれ、日本の技術が人類に大きく貢献した一例だ。簡便で高性能なアンテナはテレビ受信用として全世界で使われ、地上デジタル放送になってもなお、空に向かって立ち続ける。この1926年に発明されたアンテナが、最先端の量子光通信の分野でも重要な役割を果たそうとしている。

広島大学大学院先端物質科学研究科量子物質科学専攻の角屋豊教授、Holger F. Hofmann 准教授、小迫照和大学院生のグループは、ナノスケールの八木・宇田アンテナを開発、可視光線を特定の方向に伝搬させることに成功した。今回の「光の八木・宇田アンテナ」は、全長が500nm (0.5 μ m) で、構成要素である金属ロッド（棒）は最大のものでも幅50nm長さ125nmという超小型版だ²。

八木・宇田アンテナを光領域へ拡張

従来の八木・宇田アンテナは金属棒を単純に並べたもので（右の写真参照）、マイクロ波領域で作動する。いちばん端の棒が「反射器」、2本目が「給電器」つまり送受信機である。3本目以降の「導波器」の数はいろいろで、地上波デジタル用では10本以上も並んでいる。送信する場合、給電器部分に電気信号を送ると、そこから電波信号が発生する。

他のすべての金属棒は、給電器の電波を受けて誘導電波を発生させる。ポイントは金属棒どうしの間隔にある。反射器は、波長の約4分の1の位置に置かれ

ていて、発信電波をちょうど反射する（弱め合う）位相距離になっている。一方、反対側の導波器の間隔はすべて約1/3波長になっていて、こちら側では信号電波は増幅される（強め合う）。こうして全体は、金属棒の並びの片側方向に、指向性の高い電波を送り出すことになる。受信の場合はこの逆で、弱い電波でも効率よく受信できるわけだ。

以上が八木・宇田アンテナの基本原理だが、高い性能を発揮する理由は単純ではない。もちろん個々のロッドの長さも重要だし、「八木・宇田アンテナには、経験的な工夫もいろいろ組み込まれている」（角屋教授）、簡単な解析ではすまないのだ。また、今回の光版では、金属ナノ粒子の「局在表面プラズモン共鳴現象」を利用する必要があった。光も電磁波の一種なので、簡単に光のアンテナができてよさそうなのに、これまで実現しなかったのは、このような理由による。

理論面を担当するHofmann 准教授は、アンテナの機能を単純化したモデルを開発、それが成功へと導く基礎になった。また、ナノスケールでは、ロッドの長さの間隔より、長さとおさの比のほうが重要なこともわかった¹。

研究チームは、ナノスケールの金ロッドを5本、光リソグラフィ技術でガラス基板上に作製し、それらを含めた表面全体を、酸化ケイ素 (SiO_x) 膜で被覆した。問題は、給電ロッドだけを駆動することだった。レーザー光のビーム径が大きいので、アンテナ全体に光が当たってしまうのだ。そこで、給電ロッド



八木・宇田アンテナは東北帝国大学電気工学科の八木秀次教授と宇田新太郎講師が1926年に開発した。写真はアンテナをもつ八木博士。日立国際電気（八木アンテナ）提供。

だけ45度傾けたアンテナを製作した。ここに45度偏光したレーザー光を当ててやれば、給電ロッドだけに光波が作用することになる。あとは、ガラス基板から放出される光の方向分布を測定することだった。

「理論予測より高い成績が得られ、入射光の約3分の2が指向性方向に向きました」とHofmann 准教授。計算では、金ロッドは完全な楕円面を仮定していた。「しかし、実際にはロッドは箱形で、このために性能がよくなったのかもしれない」。

量子光通信の基本要素

量子コンピューターでは、放出される光を特定方向に導く必要がある。オックスフォード大学（英国）の量子ナノ構造の専門家Jason Smithは「光子を効率的に集め、高度な作業を行いたければ、光子がいつでもどこへ放出されるかを知る必要があります」と話す。これまで、壁が鏡面で内部を真空に引いた光導波路などが必要だった。今回の成果は、材料がガラスとはいえ、めざす方向への重要な第一歩だ。実際、広島大学のグループは、この仕組みをシリコンに組み込みたいと考えている。Smithはこれを歓迎する。「コンパクトで効率的な光制御システムは、大きな課題だからです」。

（翻訳：編集部）

1. Hofmann, H.F., Kosako, T. & Kadoya, Y. *New J. Phys.* **9**, 217 (2007).
2. Kosako, T., Kadoya, Y. & Hofmann, H.F. *Nature Photonics* advance online publication doi:10.1038/nphoton.2010.34 (2010).