

スタジアム形微小共振器の境界条件がモードに与える効果

Effect of boundary condition on microstadium cavity modes

岡山県立大 °福嶋 丈浩

Okayama Pref. Univ., °Takehiro Fukushima

E-mail: fuku@c.oka-pu.ac.jp

【はじめに】正方形に2つの半円を繋いだスタジアム形共振器には安定な周期軌道が存在せず、内部に閉じ込められた光線は不規則な振る舞いを示す。また、波長に比べて共振器サイズが十分大きいとき、光線の振る舞いを反映した複雑な電磁場分布を示す波動カオスマードが現れる[1]。このような複雑なモードが形成されるメカニズムを調べることは、学術的に興味深い研究課題である[2]。我々は共振器の形を円形からスタジアム形まで変化させてモード解析を行ったところ、共振器の変形によるモード形状の変化に加えてモード間の相互作用(結合)が複雑な電磁場分布を形成する要因になっていることを示した[3]。本研究では、スタジアム形共振器の境界条件がモードに与える影響を調べたので、その結果について報告する。

【解析モデル】モード解析には、有限要素法に基づく物理解析ソフト COMSOL Multiphysics®を用いた。共振器の材料は、屈折率が3.3の無損失誘電体を仮定した。一つは、共振器の外側を真空に設定し、もう一つは共振器の境界を完全導体(PEC)に設定した。共振器の半円部分の直径を1.0 μm とし、2つの半円を繋ぐ直線部分の長さ d をゼロ(円形)から1.0 μm (スタジアム形)まで0.1 μm の刻みで変化させて共振器モードの周波数と電場の分布の変化を調べた。

【解析結果】直線部分の長さ d に対する共振周波数 f の変化を図1に示す。ここでは、S偏光のモードのみを示している。図1に示した周波数帯には多数のモードが現れるが、いずれのモードも d の増加にともなって共振周波数が低下することがわかる。まず、図1(a)に示した外側が真空の場合の計算結果について説明する。 $d=0$ (円形共振器)における代表的なモードとして、外周に沿って定在波が形成されるウイスパリングギャラリーモード(WGモード)が現れる。この状態から d を増やすと、共振器形状の対称性が崩れて、異なった対称性を持つ2つのモードに分岐する。図1(a)に定在波の腹の数が4個のWGモードと8個のWGモードから変形したモードの形状を示している。分岐したモードは、 d の増加とともにそれぞれ異なった形に変形することがわかる。次に、図1(b)に示した境界が完全導体の場合の計算結果について説明する。この場合も $d=0$ (円形共振器)では、外周に沿って定在波が形成されるWGモードが現れ、 d の増加にともなって異なる対称性を持った2つのモードに分岐する。しかし、図1(a)と図1(b)を比較すると、境界が完全導体の場合に形成されるモードの共振周波数は、外側が真空の場合のモードに比べて高くなっていることがわかる。これは、境界が完全導体の場合には表面波が形成されないためであると考えられる。また、図1(b)を見ると、腹の数が8個のWGモードから変形したモードの片方が $d=0.8$ μm の付近で近接する他のモードと反交差の相互作用を起こしていることがわかる。この相互作用によって、モードのミキシングとエクスチェンジが起こり、外側が真空の場合とは異なったモードに変化している。図1の高周波領域を見るとモードの密度が高くなっており、極めて複雑なモード間相互作用が生じていることがわかる。円形共振器と異なりスタジアム形共振器では、共振器サイズが大きくなると境界条件が共振器モードの形に大きな影響を及ぼすと考えられる。

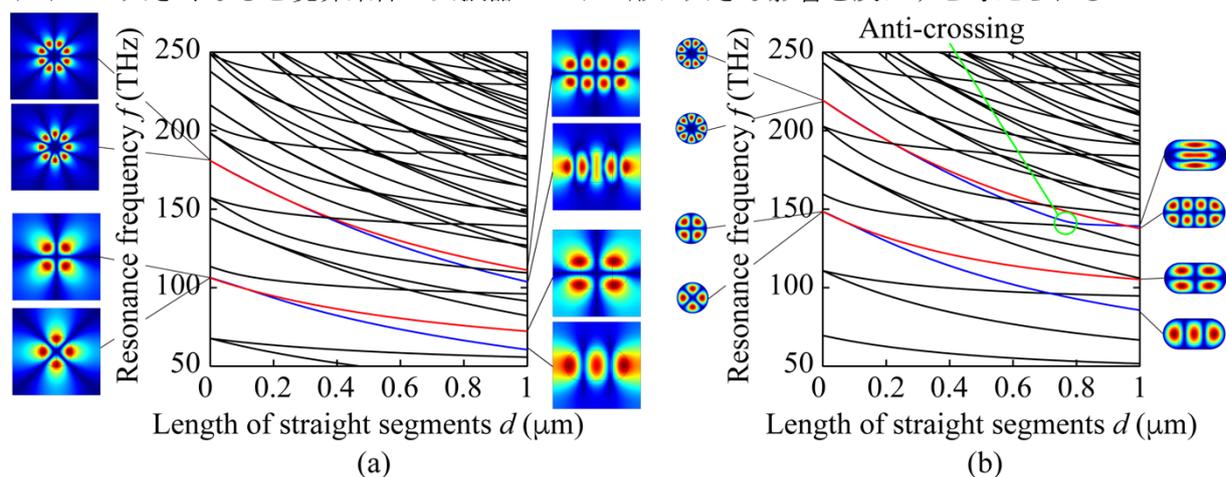


Fig. 1 Dependence of the resonance frequency f on the length d , (a) vacuum, (b) PEC.

[1] T. Harayama and S. Shinohara, "Two-dimensional microcavity lasers," *Laser & Photonics Reviews*, vol. 5, pp. 247-271, 2011. [2] T. Fukushima and T. Harayama, "Stadium and quasi-stadium laser diodes (invited paper)," *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.*, vol. 10, pp. 1039-1051, 2004. [3] T. Fukushima, "Modal interactions in microstadium optical cavities," *Proc. of ICTON 2018, We.D4.2*, 2018.