

歪フォトニック結晶の微分幾何学的研究

Differential geometric study on distorted photonic crystals

Geometrize¹, 京都工繊大² ○北川 均^{1,2}, 南條 勤治², 北村 恭子²

Geometrize¹, Kyoto Inst. Tech.² ○H. Kitagawa^{1,2}, K. Nanjo², K. Kitamura²

E-mail: kitagawadirac@gmail.com, kyoko@kit.ac.jp

物理学の幾何学化は近現代物理学の歴史であり、一般相対論はそのひな形となっている。フォトニクス分野においてもtransformation opticsは微分幾何学の基礎の上に立っている。前回我々はフォトニック結晶に空間的に緩やかな歪を与えた、歪フォトニック結晶における光の挙動を微分幾何学の観点から調べ、歪フォトニック結晶中に一般相対論的構造が存在することを見出した^[1]。本理論でも(平均)屈折率の空間変化の影響を含有しているが、その効果を消去した、格子歪のみでも光の挙動が非自明となることを示した点においてtransformation opticsとは一線を画している^{[1],[2]}。その結果を要約すると次の2点となる。①フォトニック結晶への格子歪の導入によりMaxwell方程式の形は変更を受ける。②格子歪の効果だけで光は曲がる。特にy-軸方向にのみ格子変位($\Delta y = \beta_2 y^2$)を与えた1次元格子歪(β_2 はy-軸方向の歪係数)の場合の測地線方程式の厳密解を得、光の軌跡が曲がることを理論的に示し、FDTDシミュレーションでも確認した^{[1],[2]}。今回我々は結果②に関して次の2点で進展を得た。
(i) x-軸、y-軸両方向に格子変位($(\Delta x, \Delta y) = (\alpha_1 x^2, \beta_2 y^2)$)を与えた2次元格子歪の測地線方程式の厳密解(1)を導出した(α_1 はx-軸方向の歪係数、 ϕ は出射角)。

$$y = \frac{1}{2\beta_2} \ln \left| \left(\frac{\beta_2}{\alpha_1} \tan \phi \right) (e^{2\alpha_1 x} - 1) + 1 \right| \quad (1)$$

その結果を1次元格子歪の結果と比較して図1に示す。歪係数を大きくする程光の曲がりが大きくなるが、1次元歪に対し2次元歪はほぼ2倍の格子歪の効果があることがわかる。

(ii) 格子点形状にも歪を与えた場合を考察した。格子定数歪と格子点形状歪との間に次の相補的関係があることに着目し、「格子定数を伸ばす(縮める)ことと格子点形状を縮める(伸ばす)ことは同等である」(図2)というある種の双対性を見出した。この双対性を用い、格子点形状を空間的に緩やかに変形させることによって光を曲げることができる。これは格子定数及び格子点形状歪によるメタマテリアルを創りだせることを意味する。詳細は当日報告する。

【文献】 [1]北川他,2019年秋応物19p-E207-7. [2] 南條他,2019年秋応物19p-E207-6.

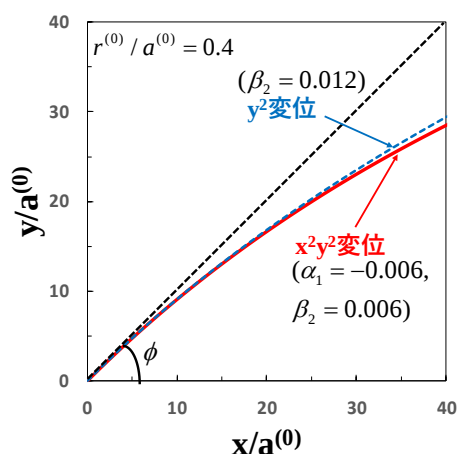


図1: $(\Delta x, \Delta y) = (\alpha_1 x^2, \beta_2 y^2)$ の変位を与えた歪フォトニック結晶における光の軌跡。青破線は前回報告した y^2 変位の軌跡。 α_1, β_2 はそれぞれx-,y-軸方向の歪係数、 ϕ は出射角、 $r^{(0)}, a^{(0)}$ はそれぞれ変位前の孔半径と格子定数。

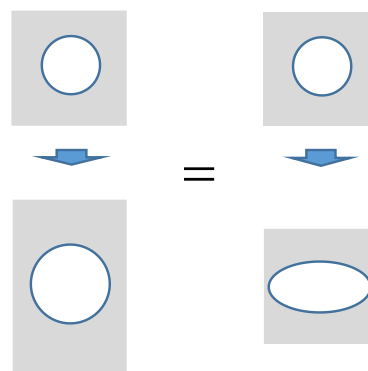


図2: 格子定数歪と格子点形状歪との間の双対性。「格子定数を伸ばす(縮める)ことと格子点形状を縮める(伸ばす)ことは同等である」(格子点充填率は一定)。左辺は格子点形状を固定してy-軸方向の格子定数を伸ばした場合、右辺は格子定数を固定して格子点形状をy-軸方向に縮めた場合を表す。