



第54回オープンセミナー
技術課題解決促進事業

レーザービーム回折現象のための MATLABコードの検討・試作

令和6年5月29日・30日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

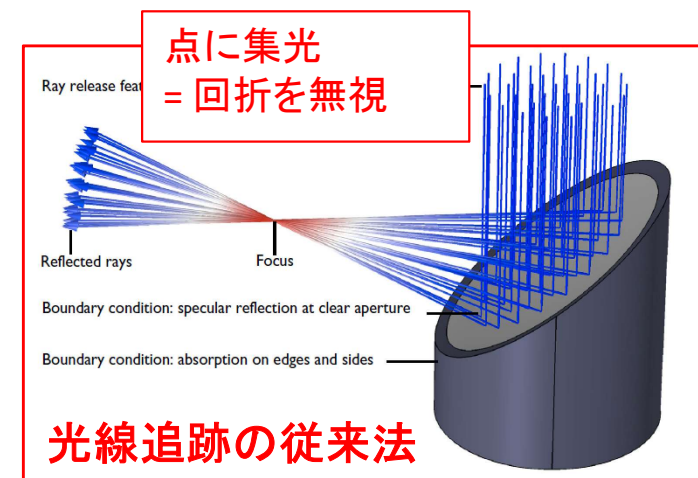
敦賀総合研究開発センター

レーザー・革新技术共同研究所 瀬戸 慧大

1. 背景

- レーザー加工ではレーザー光伝搬を理解することが非常に重要。
 - 加工する際にはレーザーは集光する。← 光伝搬の課題の一部。

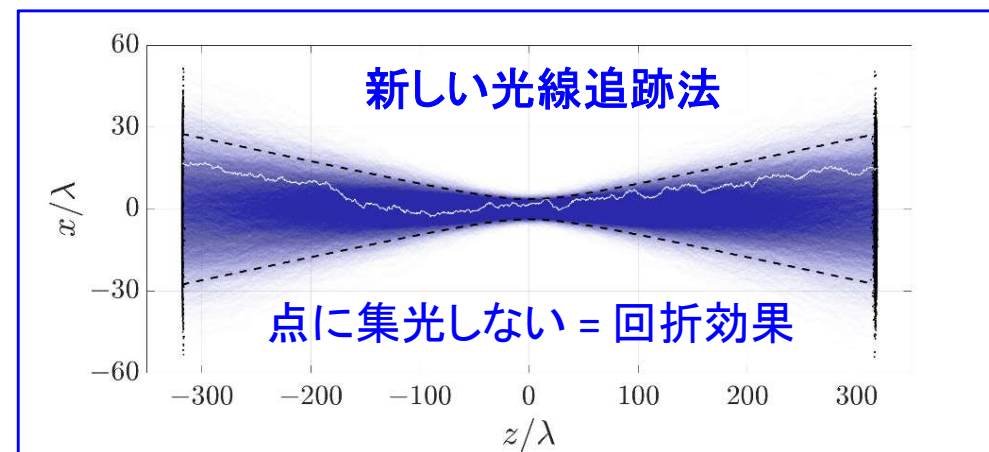
- 敦総研では光線追跡法を採用。
 - 照射によってエネルギー付与する場所を探查。
 - 回折現象(光の波動らしさ)の表現は苦手。
 - 集光も回折現象の一つ。
 - 集光の表現も苦手ということの意味する。



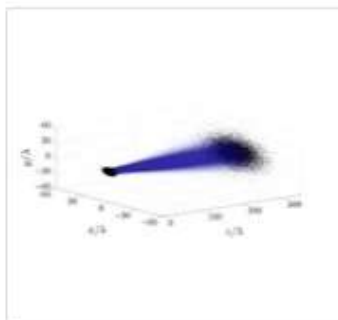
回折を表現できる光線追跡法を構築した。

Stochastic ray tracing (右図は出力例)

この新理論の数値計算コード開発は途上であり広い課題に適応できるよう高度化のための研究を推進中である。現状は真空中での光伝搬までは記述可能である。



Optics Express Vol. 32, Issue 10, pp. 16999-17011 (2024) • <https://doi.org/10.1364/OE.521317>



Stochastic ray tracing for Fresnel diffraction

Keita Seto

Author Information Find other works by these authors

この論文タイトルをGoogleなどでご検索いただければこのwebページが出てきます。

Open Access

- Get PDF
- Email
- Share
- Get Citation
- Citation alert
- Save article
- Editors' Pick

Check for updates

ここをクリックしていただければ論文のPDFを無料でご取得いただけます。

PDF Article

Abstract

We propose stochastic ray tracing for laser beam propagation in Fresnel diffraction to find the duality between wave and ray representations. We transform from the Maxwell equations to the Schrödinger equation for a monochromatic laser beam in the slowly varying envelope approximation. The stochastic ray tracing method interprets this Schrödinger equation as a stochastic process, of an analogy of Nelson's stochastic mechanics. It can illustrate the stochastic paths and the wavefront of an optical beam. This ray tracing method includes Fresnel diffraction effects naturally. We show its general theoretical construction and numerical tests for a Gaussian laser beam with diffraction, that stochasticity realizes the beam waist around the Rayleigh range.

© 2024 Optica Publishing Group under the terms of the [Optica Open Access Publishing Agreement](#)

More Like This

- [Fresnel-Gaussian shape invariant for optical ray tracing](#)
Moisés Cywiak, *et al.*
Opt. Express 17(13) 10564-10572 (2009)
- [Diffractive ray tracing of laser beams](#)
Frederick Tappert
J. Opt. Soc. Am. 66(12) 1368-1373 (1976)
- [Ray tracing of Fresnel systems](#)
Jing-Liang Chen
Appl. Opt. 22(4) 560-562 (1983)

- Article Outline
- Figures (3)
- Data Availability
- Equations (52)
- References (32)
- Cited By
- Metrics
- Back to Top

2. 課題の整理

基礎理論 (stochastic ray tracing) は完成している。

$$\hat{\mathbf{X}}(z) = (\hat{X}(z), \hat{Y}(z)), \quad \mathbf{x}_\perp = (x, y).$$

$$d_+ \hat{\mathbf{X}}(z) = V_+(\hat{\mathbf{X}}(z), z) dz + \sqrt{\frac{1}{k}} d\hat{W}_+(z) \quad (1)$$

$$V_+(\hat{\mathbf{X}}(z), z) = \text{Re}\{V(\hat{\mathbf{X}}(z), z)\} - \text{Im}\{V(\hat{\mathbf{X}}(z), z)\} \quad (2)$$

右下の図は (1) を解いて描画。

フレネル回折積分 (光波の振幅)

$$V(\mathbf{x}_\perp, z) = -\frac{i}{k} \nabla_\perp \ln a(\mathbf{x}_\perp, z) \quad (3)$$

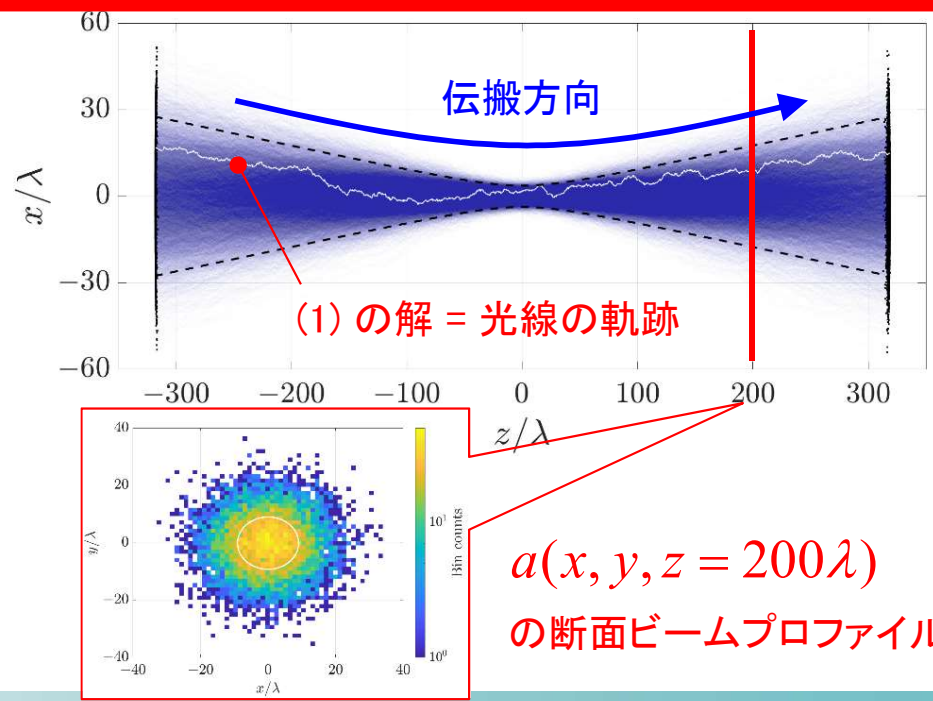
$$a(\mathbf{x}_\perp, z) = \int_{\square_2} d^2 \mathbf{x}'_\perp \frac{a(\mathbf{x}'_\perp, 0)}{2\pi i z / k} \exp\left[-\frac{(\mathbf{x}_\perp - \mathbf{x}'_\perp)^2}{2iz / k}\right] \quad (4)$$

(4) 式の $a(x', y', 0)$ が入力データであり
ガウス関数の場合に右の出力を得る。

任意の $a(x', y', 0)$ に対する (4) 式を計算できる、
汎用性があるコードを開発したい。

→ その結果を (4) 式に。

もちろん高速計算ができることも望ましい。



3. 試作(調査)の概要

課題1

- 任意の $a(x', y', 0)$ に対して前頁(4)式を計算できるMATLABプログラムを検討・試作する。
- その結果を用いて前頁(3)式のMATLABプログラムを検討・試作する。
 - 特に $z=0$ とその付近での計算を安定にできる方法が望まれる。

$$V_x(x, y, z) = -\frac{i}{k} \frac{\partial \ln a(x, y, z)}{\partial x}, \quad V_y(x, y, z) = -\frac{i}{k} \frac{\partial \ln a(x, y, z)}{\partial y}. \quad (3)'$$

課題2

ガウスビームに対しては前頁(3)'式が具体的に導出できている。

$$V_x(x, y, z) = \frac{x}{R(z)} + i \frac{x}{kw^2(z)/2}, \quad V_y(x, y, z) = \frac{y}{R(z)} + i \frac{y}{kw^2(z)/2}. \quad (3)''$$

- K. Seto, Optics Express 32(10), 16999–17011 (2024)の論文の5, 6節の出力結果を再現する、可能な限り高速化を図った計算コードの試作・検討をする。

4. 留意事項その他

- 今回必要な基礎方程式はすべて K. Seto, *Stochastic ray tracing for Fresnel diffraction*, Optics Express 32(10), 16999–17011 (2024) の論文に記載されているので参照のこと。次から無料でご覧いただけます。 <https://doi.org/10.1364/OE.521317>
- 課題1と2共通の注意として、R2023a MATLAB (Ver. 9.14)、Parallel Computing Toolbox (Ver. 7.8)、Statistics and Machine Learning Toolbox (Ver. 12.5)の環境で動作するコード(**m スクリプトファイル**)を納品物とすること。計算機環境の貸し出しはありません。
- 課題1について、**任意の2次元ビーム断面関数 $a(x',y',0)$ と点 (x,y,z) に対してフレネル回折積分(4)式と(3)'式が数値計算できること。**
- 課題2については、**上記の論文執筆で作成した計算コードの提供は行わない**。言語は MATLABに限定するが、自由に計算スキームをご提案いただきたい。論文中(43)式と(48)式を連立することでFig. 1(b)に相当する出力を得ること。光線本数、レーザー波長、 $z=0$ でのレーザースポット半径を入力値とできるようにコード試作を行うこと。

ご清聴ありがとうございました。