

オブジェクト指向波動光学シミュレーション ライブラリ — LightWave

Object-Oriented Library for Computer Simulation in Wave-Optics — LightWave

松島恭治

Kyoji Matsushima

関西大学工学部 先端情報電気工学科

Department of Electrical Engineering and Computer Science, Kansai University

E-mail : matsu@kansai-u.ac.jp

ABSTRACT

Object-oriented library for numerical simulation in wave-optics, named LightWave, is reported. The LightWave library is implemented in C++ language and features high productivity and high-speed simulation. The general idea of the LightWave object and its basic usage is presented.

1 はじめに

近年のPCの発展は目覚ましく、その演算能力は一時代前のスーパーコンピュータをすでに凌駕していると言われている。一方、電子ビーム描画等による微細加工技術も急速に発展しつつあり、それによる計算機合成ホログラム (以下 CGH) や回折光学素子 (以下 DOE) の応用も急速に進みつつある。このような微細構造素子で支配的な効果は回折現象となるため、計算機支援によるその設計・評価には本来巨大な演算能力が必要であるが、PCの発達によりデスクトップでこのような素子の設計開発が可能になりつつある。

しかしながら、比較的計算が容易な、微細構造が波長の10倍程度以上のスカラー回折理論 (フーリエ光学) 領域であっても、実際に回折型素子の設計ソフトを作成し、その正当性の検証を行うことは容易ではない。また、素子によっては極めて巨大な計算量を必要とするものもあるため、実行速度が不十分なソフトでは事実上使い物にならないこともある。そのため、この種のソフトの開発者は、フーリエ光学だけでなく数値計算技術にも十分な知識と技能を必要とする。

そこで我々は、フーリエ光学に関する基本的な知識さえあれば、FFT等を含む数値計算技術の詳細を必要としない波動光学シミュレーションライブラリとしてLightWaveライブラリを開発を行ってきた [1]。またこれを実際のDOEやCGHの設計計算に利用し [2, 3]、その一部をフリーソフトとして配布している¹。このライブラリはWindowsやLinuxの開発環境とともに用いることができ、このような回折型素子の設計開発を著しく容易にすることができる。このライブラリの特

¹LightWaveの一部を以下のWebサイトで配布している。
<http://www.laser.ee.kansai-u.ac.jp/lightwave>

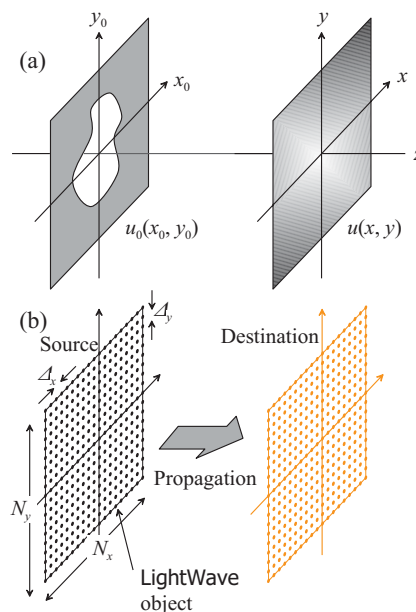


Fig. 1 Distribution of complex amplitudes in Fourier optics (a) and the LightWave object (b).

徴は、オブジェクト指向技術を用いて実装されているため理解が容易で柔軟性が高く、ソフトの生産性が非常に高いことである。また、完成したソフトはライブラリ無しで書き下ろしたソフトと同等以上に高速実行が可能である。本報告ではこのライブラリの原理と利用方法について述べる。

2 LightWave オブジェクトの概念

Fig. 1(a) は、光学の教科書等で回折現象とその理論の解説に用いられる図である。光は、 $(x, y, 0)$ 平面上の複素振幅の分布 $u_0(x_0, y_0)$ 、あるいは $u(x, y)$ として表わされ、フレネルキルヒホッフ積分や、フレネル

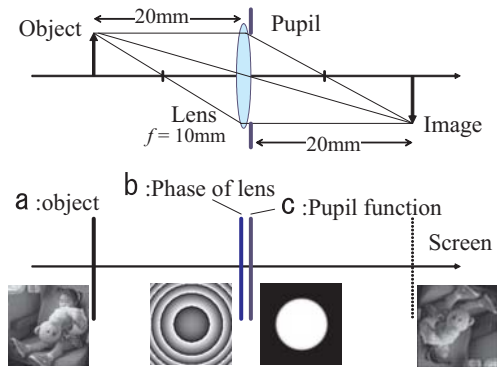


Fig. 2 Model of image formation by a lens and its expression by using LightWave objects.

積分等の公式を用いて，波源である $u_0(x_0, y_0)$ から，スクリーン面での $u_0(x_0, y_0)$ が計算される．

Fig. 1(b) に示すように，この 2 次元複素振幅分布 $u_0(x_0, y_0)$ を離散化し，複素数値の 2 次元配列としてカプセル化したものが LightWave オブジェクトである．LightWave はオブジェクト指向言語である C++ 言語を用いて実装されたクラスであり，2 次元配列データ以外に，その光波の波長，複素振幅分布の x 方向と y 方向の標本数 (N_x, N_y)，標本化間隔 (Δ_x, Δ_y) 等を一つのインスタンス (変数) に内包している．ライブラリの利用者はこの LightWave オブジェクトを操作することによりシミュレーションを構成する．そのための関数が 130 種以上ライブラリに実装されている．

3 LightWave を用いたプログラム例

LightWave を用いたプログラム例として，Fig. 2 に示した簡単な結像光学系の C++ 言語シミュレーションコードを Fig. 3 に示す．このシミュレーションでは，Fig. 2 下図に示したとおり，三つの LightWave オブジェクト a, b, c をそれぞれ，物体 (画像)，レンズ位相分布，瞳関数に割り当てて用いる．ソースコード中の 4~6 行では，LightWave オブジェクト a を生成して物体として画像を読み込んでいる．7 行ではそのオブジェクト a を距離 20mm 伝搬している．9~13 行では b, c を生成してそれぞれレンズの位相と円形瞳関数を設定し，伝搬してきた a を乗算した結果を c に代入している．c を 15~18 行でさらに 20mm 伝搬し，その振幅分布を bmp 形式画像ファイルとして保存している．

このソースコードをコンパイルし，LightWave ライブラリファイルと共に実行することにより，シミュレーションが実行できる．このシミュレーションコードで Fig. 4(a) を入力画像として，円形瞳関数の大きさを変えて結像した場合のシミュレーション結果を (b)~

```

1: #include <LightWave.h>
2: void main(void)
3: {
4:     LightWave a(128,128,2e-6);
5:     a.LoadBMP("Shion-128gs.bmp", LW_AMPLITUDE);
6:     a.Embed(3);
7:     a.SPWProp(20e-3);           //伝搬距離 20mm
8:
9:     LightWave b = a, c = a;
10:    b.SetQuadraticPhase(10e-3); //焦点距離 10mm
11:    b ** a;
12:    c.SetGaussian(0.3e-3,40);  //開口半径 0.3mm
13:    c ** b;
14:
15:    c.SPWProp(20e-3);         //伝搬距離 20mm
16:    c.Extract(3);
17:    c.Normalize();
18:    c.SaveAsBMP("image.bmp", LW_AMPLITUDE);
19: }

```

Fig. 3 A C++ source code to simulate image formation by a lens.

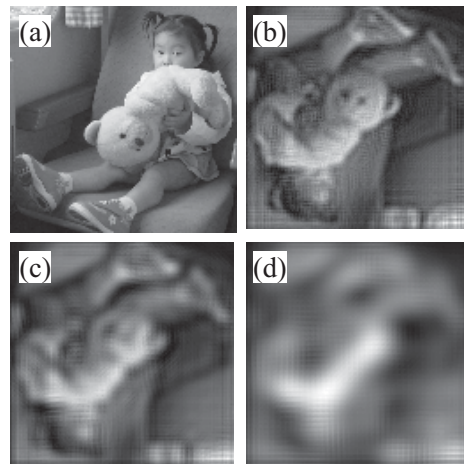


Fig. 4 An object (a) and images formed through different sizes of pupil (b)-(d).

(d) に示す．光学理論通り，瞳の大きさを変えると像の鮮明度が変わることがわかる．

4 実行環境とまとめ

LightWave を用いたプログラムは Windows の Visual Studio.NET 開発環境，あるいは Linux/Unix で gcc コンパイラを用いて作成することができる．特に gcc 版では 64 ビット CPU&OS の環境下で用いることにより，搭載メモリ量によってのみ制約される大きな標本数のオブジェクトを取り扱うことができる．利用言語は基本的に C++ であるが，ドット NET 版 LightWave では，C# 等のドット NET 対応言語で利用することも可能である．

参考文献

- [1] 松島: HODIC Circular **23**, 4, 17-27(2003).
- [2] K. Matsushima: Technical Digest of ICO 2004, 467-468(2004).
- [3] 松島, 森村, 平井, 布施, 栗巢, 江畑: 第 29 回光学シンポジウム, 81(2004).