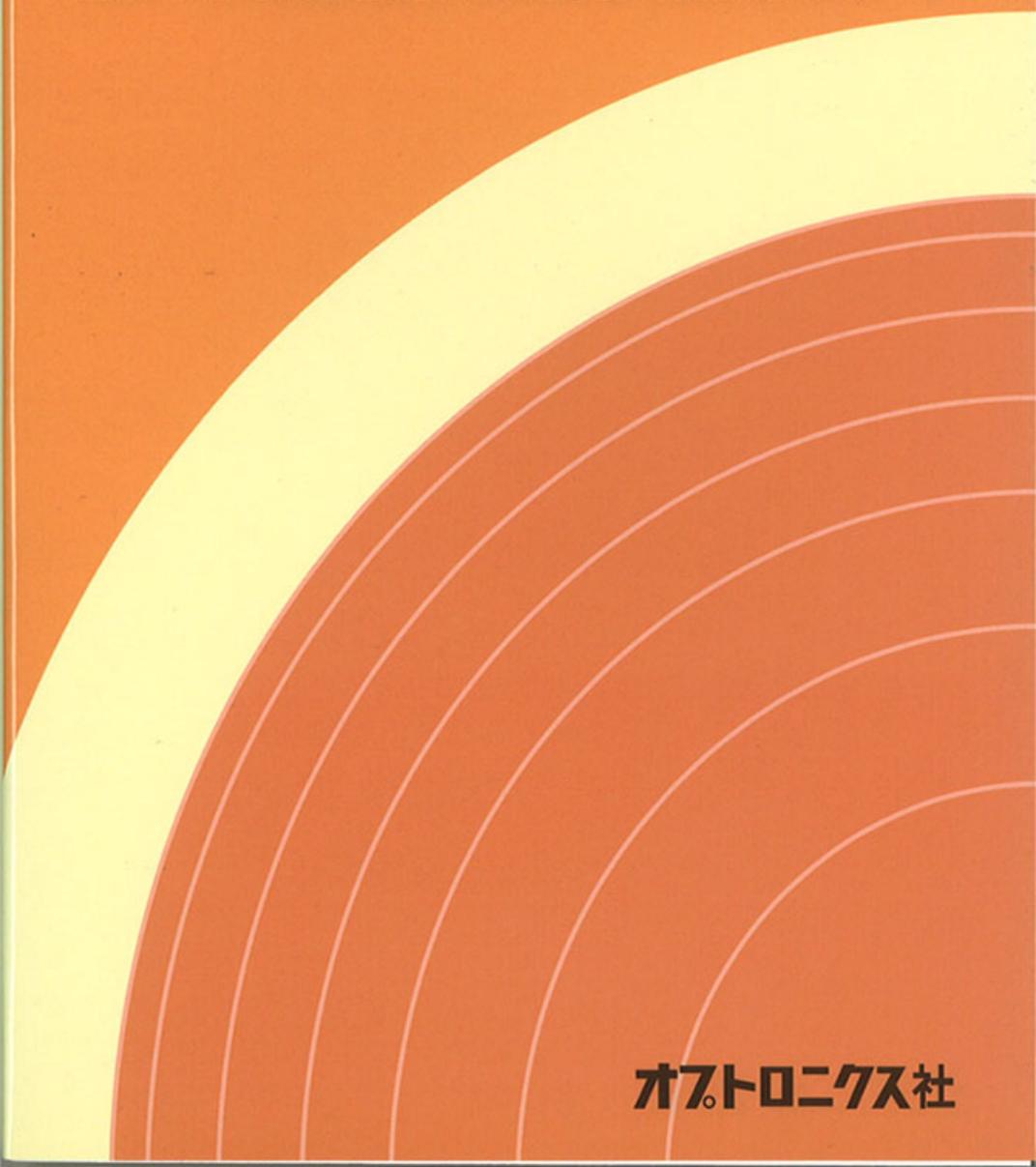


**増補改訂版**

# **回折光学素子入門**

監修 (社) 応用物理学会 日本光学会 光設計研究グループ



**オプトロニクス社**

## 増補改訂にあたって

1997年5月に「回折光学素子入門」の初版が刊行されて以来8年余りがたった。この間幸いなことに多くの読者に恵まれたが、その後の急速な適用領域の拡大と、技術の発展、深化に対応するため、前回同様、(社)応用物理学会日本光学会光設計研究グループが監修にあたり、増補改訂版を発行することにした。

第1部「理論と設計手法」では新たに時間領域差分(FDTD)法による解析手法を追加したほか、設計波長以外の波長での回折効率の改善手法などの新技術を視野に入れた構成とした。第2部「レンズ系への応用」では2波長回折型のDVD／CD互換レンズ、積層型の素子、多重波長光源に最適化されたホログラム素子の応用(ウェアラブルディスプレイ)を加えた。第3部「機能素子としての応用」では、有機材料を用いた偏光性素子、レーザー加工への応用、プロジェクター用のホログラムフィルター、回折型のマイクロチップの応用を取り上げた。また新たに第4部「拡張された回折光学素子」を追加し、波長より短い周期構造SWSと周期構造の多次元化としてのフォトニック結晶に関する章を配した。

全体の半分以上が新しく加えられた内容となり、旧版と対応する章であっても大幅な改訂が加えられているため、増補改訂版といっても全く新しい書籍に生まれ変わったといってよい。なお旧版同様各章が独立しており、どこから読まれても支障はないであろう。

発行に当たって、(株)オプトロニクス社の川尻多加志編集長、編集担当の宮崎尚樹氏には大変お世話になった。感謝の意を表したい。

2006年1月

「回折光学素子入門 増補改訂版」監修委員会

## まえがき（初版）

回折光学素子（Diffractive Optical Element）は光の回折現象を利用した光学素子である。当初は回折格子やホログラム素子がその中心で、これらを通常の屈折・反射型のレンズ系の中に融合させ、統一したものとして扱う方法や技術は必ずしも十分ではなかった。近年になって米国を中心にリソグラフィーによるバイナリーオプティックス技術が開発され、この分野が新たに注目されるようになった。一方、ダイヤモンドバイトを用いた超精密切削により光学素子に微細形状を直接加工したり、金型に微細加工を施しその形状をガラスやプラスチック素材の上に転写する成形技術が確立され、任意の非球面上にレリーフ型（表面凹凸型）の回折光学素子を形成することができるようになってきた。最近では、こうした背景のもとで伝統的なレンズ技術の体系の中に回折光学素子を取り込もうとする動きが強くなっている。

このような状況のなかで、応用物理学会・日本光学会・光設計研究グループでは96年10月25日に「回折光学系の基礎とレンズ系への応用」と題して第10回研究会を開催したところ、予想を大幅に上回る参加者を得て内容についても大変好評であった。

本書は、同研究グループの機関誌に掲載された上記研究会の予稿に、過去の機関誌の関連論文と、(株)オプトロニクス社から96年8月に刊行された雑誌「月刊オプトロニクス」の特集「ディフラクティブ・オプティクスとその応用」の解説記事を追加し、「回折光学素子入門」と題して、回折光学素子の基礎からトピカルな応用に至る広い領域をカバーすることとした。また監修委員としては光設計研究グループの運営委員があたった。

最新の内容であって出来るだけ新鮮味を失わないようにするために、一部を除いて原文に手を加えることはせず、発刊のタイミングを優先した。このため、各章を通じて記号や用語の不統一な部分や、若干の内容の重複には目をつぶらざるを得なかった。しかし、回折光学素子・光学系の各分野で新たな視点からの応用を開拓しようとしている研究者、技術者にとって、手軽に基礎となる理論と最新の応用を概観できる貴重な資料となろう。また、入門書として基礎から応用への流れを意識して構成しつつも各章は独立した形式をとっているため、初学者が予備知識を持たずに興味のある部分のみを読ま

れても一応の理解ができるものと思う。

(株)オブトロニクス社の川尻多加志編集長、編集担当の加納久裕氏には企画段階から刊行までひとかたならぬお世話になった。この場を借りて感謝の意を表したい。

監修委員一同

片山 龍一	バイス技術研究所 イメージングデバイス開発室 課長 日本電気株式会社 メディア情報研究所 主任研究員
菊田 久雄	大阪府立大学 大学院 工学研究科 助教授
金馬 慶明	松下電器産業株式会社 AVコア技術開発センター オプトデバイスグループ デバイス第二チーム 主幹技師
塩野 照弘	松下電器産業株式会社 AVコア技術開発センター オプトデバイスグループ 主幹技師
鈴木 憲三郎	株式会社ニコン コアテクノロジーセンター 光学技術本部 光学設計部 主幹
鈴木 等	株式会社トプコン 技術・品質グループ 技監
田中 康弘	松下電器産業株式会社 パナソニック AVC ネットワークス社 AVC デバイス開発センター 主幹技師
槌田 博文	オリンパス株式会社 研究開発本部 光学技術部 部長
中井 武彦	キヤノン株式会社 レンズ開発センター レンズ技術開発部 レンズ第一技術開発室 室長
西郡 恵美子	サイバネットシステム株式会社 応用システム第2事業部 オプティカルソリューション部 部長
春原 正明	松下電器産業株式会社 パナソニック AVC ネットワークス社 AVC デバイス開発センター 参事
藤川 和彦	パナソニックエレクトロニックスデバイス株式会社 機構部品ビジネスユニット 主任技師
丸山 晃一	ペンタックス株式会社 ペンタックスフェロー, R&Dセンター 主席研究員
水野 定夫	松下電器産業株式会社 AVコア技術開発センター 参事
宮前 博	コニカミノルタオプト株式会社 オプティカルユニット事業部 事業部長
山本 公明	オリンパス株式会社 研究開発センター 研究開発本部 担当部長

---

# 回折光学素子入門 増補改訂版

## 目次

---

はじめに .....	1
	(小野 雄三)
1. 回折光学の位置づけと名称 .....	1
2. 回折光学素子の特徴 .....	3
3. 応用の展開 .....	3
4. その後の展開 -改訂増補版の発行にあたり- .....	4
5. まとめ .....	5

### 【第1部 理論と設計手法】

第1章 回折光学の基礎 .....	9
	(山本 公明)
1. はじめに .....	9
2. 回折素子の光学的基礎 .....	10
2.1 回折レンズの結像原理と基礎特性 .....	10
2.1.1 結像原理と結像特性 .....	10
2.1.2 積層化による回折効率の改善と広大域化 .....	12
2.1.3 バイナリ光学素子の回折効率 .....	14
2.2 回折素子の光線追跡法 .....	15
2.2.1 格子方程式や位相関数を利用する方法 .....	15
2.2.2 Sweatt model を利用する方法（高屈折率法） .....	16
2.3 収差 .....	17
2.4 周波数応答特性 .....	18
3. 応用 .....	19
3.1 光学レンズの収差補正 .....	19
3.2 ホログラムスキャナ .....	20
3.3 光ピックアップ用 .....	20

3.4	光情報処理用	.....	21
3.5	コンタクトレンズ	.....	22
3.6	その他	.....	23
4.	おわりに	.....	23

**第2章 回折光学素子の幾何光学 ..... 25**  
 (宮前 博)

1.	はじめに	.....	25
2.	薄型回折素子の機能	.....	26
2.1	回折格子の基本的性質	.....	26
2.2	光路差関数	.....	27
2.3	薄型回折素子の屈折率と分散	.....	28
3.	光線追跡	.....	29
3.1	屈折の法則の一般化	.....	29
3.2	近軸追跡	.....	29
3.3	非点光束追跡	.....	30
4.	ブレーズ型回折素子と回折効率	.....	32
4.1	ブレーズ型回折素子	.....	32
4.2	微小ブリズムの積層化	.....	34
4.3	積層ブリズム内部での波面	.....	35
5.	高屈折率法	.....	36
5.1	ブレーズ型素子の極限	.....	36
5.2	屈折の法則	.....	37
6.	おわりに	.....	37

**第3章 回折光学系設計の実際 ..... 39**  
 (鈴木 等)

1.	はじめに	.....	39
2.	回折光学素子の設計法	.....	39
3.	回折光学素子による色収差補正	.....	41
4.	形状変換	.....	44
5.	結像性能の評価計算	.....	46
6.	おわりに	.....	49

<b>第4章 高屈折率法による設計</b>	50
(丸山 晃一)	
1. はじめに	50
2. 高屈折率法の屈折率	51
3. 回折格子	52
4. レンズ	53
5. 光ディスク用対物レンズ1	55
6. 光ディスク用対物レンズ2	56
7. 望遠レンズ1	58
8. 望遠レンズ2	60
9. トリプレット1	63
10. トリプレット2	65
11.まとめ	67
<b>第5章 レリーフ型回折光学素子の回折効率</b>	68
(塩野 照弘)	
1. はじめに	68
2. スカラー回折理論による薄いグレーティングの回折効率	69
2.1 計算手法	69
2.2 計算結果	69
3. ベクトル回折理論による各種グレーティングの回折効率	71
3.1 解析モデル	71
3.2 計算結果	72
3.2.1 透過型・反射型ブレーズ化グレーティングにおける 周期依存性	72
3.2.2 透過型・反射型ブレーズ化グレーティングにおける 入射角依存性	74
3.2.3 透過型バイナリ／マルチレベルグレーティングにおける 周期依存性	74
3.2.4 高屈折率8レベルグレーティングにおける周期依存性	75
3.2.5 透過型ブレーズ化グレーティングにおけるブレーズ角依存性	76
3.2.6 透過型ブレーズ化グレーティングにおける入射方向依存性	77
3.2.7 グレーティング構造の最適化	78

4. まとめ	79
--------	----

第6章 時間領域差分（FDTD）法による回折光学素子の解析 ..... 82  
(市川 裕之)

1. はじめに	82
2. 回折問題の定義	83
3. FDTD法の適用	83
3.1 FDTD法の原理	84
3.2 初期条件	85
3.3 境界条件	86
3.3.1 z方向	86
3.3.2 x方向	87
3.4 計算の終わり	87
4. 回折効率の計算	87
5. 計算例と結果	88
6. まとめ	90

第7章 CODE V<sup>®</sup>における回折光学系の取扱い ..... 92  
(西郡 恵美子)

1. はじめに	92
2. CODE VでのDOEのモデリング	93
3. DOEの製造	94
4. 体積型HOEの回折効率	96
5. DOEの自動設計	97
6. DOEの評価	97
7. 具体例	97
7.1 レーザスキャナー光学系	97
7.2 2焦点対物レンズ（DVD）	98
7.3 ガウシアン／フラットトップ変換光学系	100
8. おわりに	102

## 【第2部 レンズ系への応用】

第1章 光ディスク用色収差補正レンズ	105
(丸山 晃一)	
1. はじめに	105
2. 光ディスク用レンズの色収差補正の必要性	106
3. 回折による色収差補正	107
4. 回折色補正レンズの設計	108
5. 回折色補正レンズの加工	111
6. まとめ	114
第2章 光ディスク用回折格子一体型レンズ	115
(田中 康弘, 春原 正明)	
1. はじめに	115
2. 回折格子一体型コリメートレンズ	116
2.1 回折格子の溝形状の設計	116
2.2 レンズの試作	118
3. CD, DVD互換2焦点対物レンズ	120
3.1 レンズ設計	120
3.2 レンズの加工法	121
3.3 評価	122
4. まとめ	123
第3章 DVD用2焦点ピックアップ	125
(金馬 慶明, 水野 定夫)	
1. はじめに	125
1.1 DVD	125
1.2 光スポットの微小化	125
1.3 基材厚0.6 mm	126
1.4 CDとの互換	126
2. DVD用2焦点ピックアップの構成	127
2.1 二つの焦点	127
2.2 ホログラムの回折光	128

2.3 ホログラムによる光波面変換	128
2.4 ホログラムの凹レンズ作用	129
2.5 光量	129
3. DVD用2焦点ピックアップの特性	130
3.1 色収差、平板ホログラムの組立許容誤差	130
3.2 コマ収差の影響	131
3.3 レンズ表面へのホログラム一体化	131
3.4 ホログラム一体ガラス成形レンズ	132
4. 実験結果	133
5. あとがき	134

**第4章 2波長回折型DVD／CD互換レンズ** ..... 136  
 (丸山 晃一)

1. はじめに	136
2. 設計例	137
3. 球面収差補正	138
3.1 回折による収差補正と光利用効率	138
3.2 2波長による球面収差補正	140
4. DVD専用領域	142
4.1 球面収差補正と温度特性	142
4.2 開口制限機能	143
5. まとめ	145

**第5章 白色光積層型回折光学素子** ..... 147  
 (中井 武彦)

1. はじめに	147
2. レンズとしての回折光学素子	148
2.1 逆分散特性（色消し作用）	148
2.2 撮影レンズと回折効率	149
3. 単層型回折光学素子	150
3.1 回折効率	150
4. 積層型回折光学素子	152
4.1 回折効率	152

4.2 素子構造の特徴	154
4.3 格子材料の選択範囲	155
4.4 回折効率の角度特性	157
5. 3積層型回折光学素子	159
5.1 3積層型回折光学素子の構成	159
5.2 回折効率の角度特性	160
6. 応用光学系	161
7. まとめ	162
 第6章 密着複層型PF(位相フレネル)レンズ	163
	(鈴木 憲三郎)
1. はじめに	163
2. 回折光学素子(DOE)の可能性	163
2.1 コンテンポラリーな光設計／回折光学素子	163
2.2 位相型回折格子	164
2.3 位相フレネルレンズ(Phase Fresnel Lens)	165
3. 回折光学素子(DOE)の光学設計上の特性	165
4. 密着複層型PF(位相フレネル)レンズの開発	166
4.1 格子の基本構成／フレアの対策	166
4.2 密着複層型PFレンズの製作	168
4.3 製作誤差感度検討	169
5. 応用光学系の設計	171
5.1 デジタルカメラ用テレコンバータレンズ	171
5.2 実際の光学設計プロセス	171
5.3 最終設計解	172
6. 光学系試作と評価	173
6.1 PFレンズ試作	173
6.2 試作品の実写画像、光学品質評価結果	173
6.3 まとめと今後の展望	174
6.3.1 試作まとめ	174
6.3.2 今後の展望	174
7. おわりに	174

**第7章 赤外用回折型Siマイクロレンズ** ..... 176  
(塩野 照弘, 藤川 和彦)

1. はじめに	176
2. マルチレベル回折光学素子の回折効率	177
2.1 解析モデル	177
2.2 計算結果	178
3. 回折型Siマイクロレンズの構造と作製	180
3.1 構造と最適溝深さ	180
3.2 作製	181
4. おわりに	185

**第8章 ウェアラブルディスプレイ用回折光学素子** ..... 187  
(笠井 一郎)

1. はじめに	187
2. 体積位相型回折光学素子の基本特性	188
3. ウェアラブルディスプレイへの応用	190
3.1 基本構成	190
3.2 HOEの設計	191
3.2.1 基本的な設計手順	191
3.2.2 HOEの位相関数を直接定義する方法	191
3.2.3 HOEの位相関数を製造光学系によって定義する方法	192
3.2.4 再生波長の影響	192
3.2.5 製造光学系の設計例	192
3.2.6 色収差補正	193
4. カラーHOEの試作	194
5. まとめ	195

**【第3部 機能素子としての応用】**

**第1章 偏光性ホログラム光学素子と光磁気ディスクヘッドへの応用** ..... 199  
(片山 龍一)

1. はじめに	199
---------	-----

2.	$\text{LiNbO}_3$ を用いた偏光性回折素子 .....	199
2.1	素子の構成と原理 .....	199
2.2	素子の製作手順 .....	202
2.3	素子の特性 .....	203
3.	光磁気ディスクヘッドへの応用 .....	204
3.1	偏光性ホログラム光学素子の構成と作用 .....	204
3.2	光磁気ディスクヘッドの特性 .....	206
4.	おわりに .....	207

**第2章 有機材料を用いた偏光性回折光学素子 .....** 208  
 (大井 好晴)

1.	はじめに .....	208
2.	高分子液晶を用いた偏光性回折光学素子 .....	209
2.1	高分子液晶 .....	209
2.2	基本素子構成例 .....	210
2.3	素子の機能 .....	210
2.4	素子の作製例 .....	211
2.4.1	電界印加方式 .....	212
2.4.2	選択露光方式 .....	213
2.5	素子の特性例 .....	214
3.	応用例 .....	215
3.1	光ピックアップ用偏光ホログラム .....	215
3.2	回折型偏光子 .....	216
4.	おわりに .....	218

**第3章 レーザー加工への回折光学素子の応用 .....** 219  
 (尼子 淳)

1.	はじめに .....	219
2.	回折光学素子に対する要求 .....	220
3.	回折光学素子の設計 .....	220
4.	回折光学素子の製作 .....	222
5.	使用上の留意点 .....	224
5.1	位置合わせ .....	225

5.2 高次回折光 .....	225
5.3 0次ビーム .....	225
6. レーザー加工への応用事例 .....	225
6.1 回折ビームアレイを用いたSiウェハのレーザー孔開け .....	226
6.2 ベッセルビームを用いた金属薄膜のレーザー孔開け .....	228
6.3 超短パルスレーザーを用いる加工 .....	230
7. おわりに .....	233
<b>第4章 プロジェクター用ホログラム素子 .....</b>	<b>236</b>
(大八木 康之)	
1. はじめに .....	236
2. ホログラムカラーフィルターについて .....	236
3. ホログラムカラーフィルターの製造 .....	238
3.1 ホログラムカラーフィルターの仕様 .....	238
3.2 ホログラムカラーフィルターの製造工程 .....	239
3.2.1 ホログラムの設計 .....	239
3.2.2 振幅型バイナリーホログラムマスターの作製 .....	240
3.2.3 位相型体積ホログラムマスターの作製 .....	241
3.2.4 ホログラムカラーフィルターの量産 .....	243
4. ホログラムカラーフィルターの光学特性 .....	244
5. ホログラムカラーフィルターを搭載したプロジェクターの特性 .....	245
6. 今後の課題及びまとめ .....	246
<b>第5章 高効率回折型マイクロチョッパと赤外線センサへの応用</b> .....	<b>247</b>
(塩野 照弘, 上田 路人)	
1. はじめに .....	247
2. 回折型マイクロチョッパの構造と動作原理 .....	248
3. 回折型マイクロチョッパの光学特性解析 .....	250
4. 回折型マイクロチョッパの仕様と作製 .....	253
5. 回折型マイクロチョッパの変調特性測定 .....	254
6. 全回折型のマイクロ赤外線センサ .....	256
7. おわりに .....	257

## 【第4部 拡張された回折光学素子】

第1章 SWSとその光学素子への応用 .....	261
(菊田 久雄, 岩田 耕一)	
1. はじめに .....	261
2. 有効屈折率と構造複屈折 .....	262
3. 微細構造を利用した光学素子 .....	265
3.1 高効率な回折格子 .....	265
3.2 反射防止構造 .....	266
3.3 偏光素子 .....	267
3.4 共鳴格子 .....	268
4. SWSの作製方法 .....	270
第2章 回折光学から周期構造の光学へ —フォトニック結晶入門— .....	272
(小野 雄三)	
1. 回折光学素子からフォトニック結晶へ .....	272
2. 多光束干渉による3次元フォトニック結晶の形成 .....	275
3. 3次元フォトニック結晶の等価屈折率法による解析 .....	276
4. まとめ .....	278
<付録> カテゴリー別参考文献一覧 .....	283
A. 総論, レビュー .....	284
B. 回折光学理論 .....	284
C. 光学設計理論および手法 .....	287
D. レンズとしての応用 .....	290
E. 機能素子としての応用 .....	293
F. 作製, 評価 .....	295
G. その他 .....	296
<索引> .....	298

---

# はじめに

---

## 1 回折光学の位置づけと名称

回折光学（Diffractive Optics, DO と略記）は光波の回折現象を利用した光学を指す広い意味の言葉であり、回折格子やフレネルゾーンプレートをその範疇に含み、古くから存在している。回折光学が一つの技術分野として再認識されるようになったのは、90年代に入ってからである。1992年からは隔年に Diffractive Optics の Topical Meeting が開催されている。

回折光学の再認識は、二つの技術の流れから来ている。一つはホログラフィー技術であり、他方はバイナリーオプティックス（Binary Optics, BO, この手法でできた素子は Binary optical Element, BOE）と呼ばれるリソグラフィー手法による光学素子形成技術である。ホログラフィーは、物体波面を基準となる参照波面と干渉させて干涉縞として記録する前段階と、記録したホログラムに共役参照波を照射することで物体波を再生する後段との二段階からなる光学技術である。ホログラフィーにおける、この波面再生原理を、入射波を特定の回折波面に変換する光学素子機能であると拡張したのが、ホログラフィック光学素子（Holographic Optical Element, HOE）である。一方、BO は、リソグラフィー手法で形成する、2 値の位相パターンで形成した光学素子技術であり、変換波面はやはり回折波面である。しかしながら HOEにおいても、製作方法が従来のレーザ光による干渉縞記録から、電子計

算機上で計算した干渉縞を電子ビーム描画装置等で描き出す CGH (Computer Generated Hologram) に移行し、BOの手法と変わらなくなっている。

HOEは主に日本でコンシューマー機器への応用を目的に、一方BOEは主に米国で、防衛・宇宙産業への利用を目的に開発されてきた。さらに、1993年頃からもう一つの技術的流れとして、高精度の非球面製造技術である、超精密CNC旋盤とダイアモンドバイトによる切削加工をその製作手段とする回転対称な回折光学素子、ホログラフィーの言い方でいえばインライン干渉で製作した光学素子と言える、3番目のカテゴリーの存在が顕著になってきている。従来の回折光学素子が、軸外しや、0次回折光と1次回折光を巧みに使って、光学素子としての機能性に特徴を持たせていたのに対して、この手法では、回折素子を従来の屈折型レンズ系の中に導入することで、レンズ系としてのパフォーマンスを向上させようとしている。この手法では、格子の断面形状をブレーブ化して回折効率を高くできるのも特長のひとつである。このカテゴリーの素子には、HOEやBOEに相当する適当な名称が無いが、敢えて言えば、切削型DOE、あるいは、球面や非球面上に回折面が形成されることが多いので、屈折・回折ハイブリッド型DOEとでも言えよう。これら、三つの技術の流れを絵にしたのが、図1である。

回折光学は、Binary Optics や Holographic Optics を包含する分野であり、技術分野相互の包含関係を図示すると、図2のように表わすことができる。

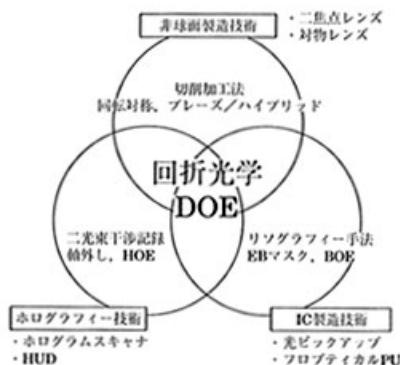


図1 回折光学を形成してきた三つの技術

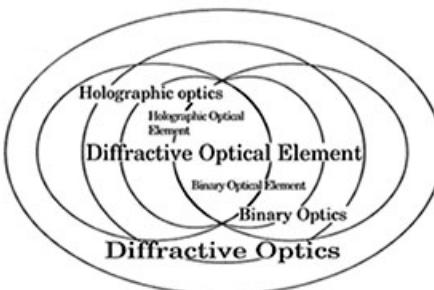


図2 回折光学の技術分野を構成する技術および素子の名称の関係

## 2 回折光学素子の特徴

回折光学素子 (Diffractive Optical Element, DOE) の機能は、

- ・レンズ機能素子
- ・分岐／合波機能素子
- ・光強度分布変換素子
- ・波長フィルター機能素子

の4つに大別できる。回折光学素子として、その特徴が発揮されるのは、分岐・合波素子として機能させた時である。即ち、複数の回折光を用いる場合で、これは屈折・反射素子では実現できない機能である。

生産上の特徴は、回折光学素子が表面凹凸素子であり、金型による複製が容易である点である。フォトリソグラフィー手法やプラスチックやガラスのモールド手法によって安価に量産が可能である。こうした特徴は、光エレクトロニクス装置の普及、小型・高機能化に伴う光学素子への小型化、複合機能化、量産性の改善という時代の要請に合致するものである。

## 3 応用の展開

回折光学素子の複合機能性と複製による量産性を特徴として、バーコード読み取り装置用ホログラムスキャナで始まった実用化は、マイクロオプティ

ックスとしてのDOEの応用に変化して行った。CDプレイヤー用の光ピックアップにおいては、これに必要とされるビームスプリッタ機能と、焦点誤差検出機能、トラック誤差検出機能を一枚の回折光学素子に複合化でき、商用化されている。さらに、偏光性を有する回折光学素子も開発され、検光子機能を必要とする光磁気ディスクの光ヘッドに応用されている。さらに1996年末市場投入されたDVDの光ピックアップにも応用されている。回折光学素子の本領は、上述のように光分岐機能と他の光学機能の複合化と言う形で發揮されて来た。しかしDVDピックアップへの応用では、球面収差補正レンズとしての機能も持たせている。非球面レンズ技術やモールドレンズ技術の発展で、回折光学素子の単なるレンズとしての機能はこれらを凌駕できなかつたが、最近は、レンズ系のなかへ回折光学素子を取り込もうとする動きも顕著である。回折光学素子の欠点とも言える色収差も、ガラス材料に比較して分散の符号が逆で、分散が2桁近く大きいことを積極的に利用して、色収差補正のための光学設計手法として使われ始めている。回折光学素子が収差補正レンズとして応用出来るようになって来たことは、製造技術の飛躍的な発展に負うところが大きいと言える。これまでの回折光学素子は、エレクトロニクスメーカー主導の応用主体で開発されて来たが、光学設計分野では既に従来の屈折素子と比較した光学設計の議論もされ始めており、一つの光学技術として認識されたと言えよう。

## 4

### その後の展開 一改訂増補版の発行にあたりー

本書の第1版が発行された1997年以降の回折光学の展開を見ると、OSA(米国光学会)主催のDiffractive OpticsのTopical Meetingは、第3回の'96年からはスコープと名称をDiffractive Optics and Microopticsに変えたが内容的には回折光学を中心に継続している。一方、EOS(欧洲光学会)主催のDiffractive Optics会議は、'92年のWorkshopから始まり、隔年で続いており2005年はワルシャワで開催された。ワルシャワでは会議の名称について、Nanophotonics等のより広い概念の名称にしてはどうかという言及があった。回折光学の概念が応用をはじめ周期や周期性の次元の点で拡張しているという認識のためである。筆者は「周期構造の光学」という名称でどうかと考えている。本改訂にあたり、新たにそうした章を設けたのもそのためである。

第1版発行後の技術的エボックは、2枚の回折次数の異なる回折素子を用いた白色光つまり写真結像レンズへの応用であろう。また、光ディスクの対物レンズでの屈折・回折ハイブリッドレンズの進展にも著しいものがある。2波長、3波長の板厚の異なるディスクへの対応は回折光学素子があつてはじめて出来たものであり、産業的意味も非常に大きい。ディスプレイ系への応用も顕著である。これら最近の応用の発展に関しては参考文献3にまとめたので参照していただきたい。

## 5

### まとめ

回折光学素子が一つの光学技術分野として再認識され、屈折型光学素子や反射型光学素子と同列に論じられるレベルに来た。さらにそれらとハイブリッド化し、従来不可能と思われた白色光の結像素子への応用も可能となった。これには、リソグラフィー技術の一般化や、フォトマスクの電子ビーム描画が産業として成立したという背景もあるが、応用の進展は、光ディスクをはじめとする光情報機器の普及、小型化、高機能化に伴う光学素子への小型化、複合化、量産性の改善という要請が強く作用した結果である。今後もこうした要請に応えて、回折光学素子の独自性のある機能を用いた新しい応用の発展と、そのための回折光学素子の概念の拡張が益々期待される。

(小野 雄三)

### 参考文献

- 1) 小野雄三：“回折光学素子を用いた光学系の機能設計と応用”，光学，24, No.12, 713-717 (1995).
- 2) 小野雄三：“ホログラム光学素子の最近の展望”，光学，22, No.3 126-130 (1993).
- 3) 小野雄三：“最近の回折光学素子－回折光学から周期構造の光学へ－”，光学，32, No.8 468-475 (2003).