

# 目 次

<b>第 1 章 折紙の数理化のための基礎事項</b>	<b>1</b>
1.1 はじめに	1
1.2 折紙の基礎	2
1.2.1 本節の概要	2
1.2.2 折り目を付ける条件, 折り畳むための条件	3
1.2.3 節点での折り畳み (平坦折り) 条件	5
1.2.4 頂点の構成と折り畳み (平坦折り) 条件の考察	6
1.2.5 凹の頂点の構成	10
1.2.6 折り線/節点の相互関連と作用	11
1.3 平面の折り畳み 基本構造	13
1.4 円筒, 円錐殻の軸方向への折り畳み	14
1.4.1 円筒, 円錐殻の折り畳みモデル	15
1.4.2 折り畳みパターンの関連整理	16
1.4.3 ジャバラ機構と折り目の移動	17
1.5 円形膜の巻き取り収納法のモデル化	19
1.5.1 等角螺旋状折り線による円形膜の巻き取り収納モデル	19
1.5.2 アルキメデスの螺旋状折り線による円形膜の巻き取り収納モデル	21
1.5.3 アルキメデスの螺旋バラ (数理バラ) のデザイン	28
1.6 折紙構造を作るための新しいアプローチの提案	30
1.6.1 平面充填および群の考えを用いた折り線図の開発	30
1.6.2 平面でない紙 (シート) の折紙 ジグザグ面の折紙の提案	31
1.7 曲線折紙の基礎と造形	33
1.7.1 本節の概要	33
1.7.2 曲線折紙の基礎的考えとこれまでの報告および慣用の直線折紙との関係	33

1.7.3	半円筒形状を折る折り線のデザイン 直線折紙から曲線折紙へ . . . . .	35
1.7.4	波形のコアと波形面を持つ円筒設計への応用 . . . . .	38
1.8	球モデルの製作 . . . . .	41
1.8.1	折紙による球の設計 . . . . .	41
1.8.2	折り畳み可能な球殻の設計 . . . . .	45
1.9	おわりに . . . . .	47

## 第2章 折紙と学術研究との関連 51

2.1	はじめに . . . . .	51
2.2	機能構造の開発 折り畳み可能な筒状構造の設計とその構造的性質 . . . . .	52
2.2.1	筒状構造の設計にあたって . . . . .	52
2.2.2	底のない折り畳み筒状構造 . . . . .	53
2.2.3	対称型の折り畳み展開図の半分を貼り合わせて作る, 底のない折り畳み筒状構造 . . . . .	54
2.2.4	底のある折り畳み筒状構造 . . . . .	56
2.3	圧縮座屈の折紙・力ずくの折紙 . . . . .	60
2.3.1	本節の概要 . . . . .	60
2.3.2	軸圧縮座屈のモード . . . . .	60
2.3.3	軸圧縮座屈のモードと折紙モデルとの対応 . . . . .	61
2.3.4	軸圧縮座屈のモードマップ . . . . .	63
2.3.5	基本モデルの修正モデル . . . . .	64
2.3.6	座屈モードの遷移/変換 . . . . .	65
2.3.7	円錐殻の座屈 . . . . .	66
2.3.8	弾性座屈から塑性座屈への遷移 . . . . .	67
2.4	植物に見る螺旋模様の解析と折り畳み構造 . . . . .	68
2.4.1	本節の概要 . . . . .	68
2.4.2	植物の葉や花の配列に見られる螺旋模様と黄金角, 黄金比, フィボナッチ数 . . . . .	68
2.4.3	葉序を用いた折り畳み可能な円筒の設計 . . . . .	72

2.4.4	円形域での非対称螺旋模様による種子の配列とその成長 過程 . . . . .	73
2.5	背反(鞍型)構造 多重同心円折紙モデルと曲面折紙 . . . . .	76
2.5.1	本節の概要 . . . . .	76
2.5.2	基本構造 . . . . .	76
2.5.3	皺の形成 . . . . .	78
2.5.4	造形への応用 . . . . .	80
2.5.5	背反(鞍形)構造の工学との関連と応用 . . . . .	82
2.6	おわりに . . . . .	84
<b>第3章 折紙の数学・情報科学への応用</b>		<b>89</b>
3.1	数学への応用 . . . . .	89
3.1.1	はじめに . . . . .	89
3.1.2	Huzita-(Justin)-Hatori による折紙の公理系 . . . . .	90
3.1.3	3 次方程式の解法 . . . . .	91
3.1.4	4 次方程式の解法 . . . . .	94
3.1.5	5 次方程式の解法 . . . . .	98
3.1.6	おわりに . . . . .	100
3.2	情報科学への応用 . . . . .	100
3.2.1	はじめに . . . . .	100
3.2.2	複数の箱が折れる展開図 . . . . .	102
3.2.3	複数の正多面体が折れる展開図 . . . . .	106
3.2.4	おわりに . . . . .	110
<b>第4章 立体折紙と産業応用</b>		<b>115</b>
4.1	はじめに . . . . .	115
4.2	立体折紙の幾何 . . . . .	116
4.3	軸対称な立体折紙 . . . . .	117
4.3.1	基本展開図 . . . . .	119
4.3.2	平坦襷・円錐タイプ . . . . .	120
4.3.3	平坦襷・円筒タイプ . . . . .	123

4.3.4	立体襷・円錐タイプ	124
4.3.5	立体襷・円筒タイプ	126
4.3.6	軸対称立体折紙の設計ソフトウェア	127
4.3.7	作例	128
4.3.8	軸対称立体折紙の設計に関する考察	129
4.4	軸対称立体折紙の連結	132
4.4.1	立体襷タイプによる平面充填	132
4.4.2	平坦襷タイプの立体折紙による平面充填	133
4.4.3	形の異なるユニットの連結	135
4.4.4	双対な平面パターンの重ね合わせ	135
4.4.5	アルキメデスのタイリングに双対なパターン	136
4.5	鏡映を用いた曲線折りを持つ折紙の設計	137
4.5.1	円錐をベースとした立体折紙	137
4.5.2	可展面に対する鏡映操作の適用	138
4.6	立体折紙の産業への応用	139
4.6.1	ギフトボックスへの活用	140
4.6.2	服飾デザインへの活用	141
4.6.3	ランプシェードへの活用	142
4.6.4	展示用オブジェとしての活用	143
4.6.5	その他の産業への応用	144
4.7	おわりに	145

## 第5章 剛体折紙と産業応用 147

5.1	はじめに	147
5.2	剛体折紙のシミュレーション	150
5.2.1	剛体折紙とは	150
5.2.2	回転角を用いた数値計算方法	153
5.2.3	自由度	155
5.3	三角形メッシュ剛体折紙	156
5.4	四角形メッシュ剛体折紙	157
5.4.1	平坦折り可能四価頂点折紙	158

5.4.2	離散 Voss 曲面 . . . . .	159
5.4.3	形状バリエーションの生成方法 . . . . .	161
5.4.4	建築デザイン . . . . .	161
5.5	非ディスク剛体折紙 . . . . .	163
5.5.1	閉じた剛体折り構造 . . . . .	164
5.5.2	開いた剛体折り構造 . . . . .	164
5.6	筒型剛体折紙 . . . . .	165
5.6.1	筒型基本構造 . . . . .	165
5.6.2	筒型の一般化 . . . . .	166
5.7	セル型剛体折紙 . . . . .	168
5.7.1	2 方向折り畳み可能セル構造 . . . . .	169
5.7.2	2 回対称多角形タイリングによる 1 方向折り畳み可能セル構造 . . . . .	170
5.8	厚みの処理 . . . . .	172
5.8.1	厚板によるミウラ折り頂点 . . . . .	173
5.8.2	スライドするヒンジ . . . . .	174
5.8.3	軸移動しない手法 . . . . .	175
5.9	産業応用の展望 . . . . .	177

## 第 6 章 バイオミメティクスと折紙 181

6.1	植物の幾何学的解明とモデル化 . . . . .	181
6.1.1	はじめに . . . . .	181
6.1.2	波板状に折り畳まれた樹木の葉 . . . . .	182
6.1.3	波板状折り畳みモデルのベクトル解析 . . . . .	183
6.1.4	イヌシデやブナの葉身モデル . . . . .	185
6.1.5	展開時の葉身形状と投影面積 . . . . .	186
6.1.6	展開時の葉脈の長さ . . . . .	188
6.1.7	ポテトの花冠 . . . . .	190
6.1.8	ポテトの花冠の平面モデル . . . . .	191
6.1.9	ポテトの花のつぼみ . . . . .	193
6.1.10	ポテトの花の展開 . . . . .	196

6.2	ヒト肺胞の幾何学的解明とモデル化 . . . . .	199
6.2.1	はじめに . . . . .	199
6.2.2	肺胞系の構造と機能 . . . . .	200
6.2.3	肺胞系モデル . . . . .	204
6.2.4	肺胞系折紙モデル . . . . .	208
6.2.5	おわりに . . . . .	211
<b>第7章 折紙の構造強化機能 新しいコア材の開発</b>		<b>215</b>
7.1	空間充填で得られるコア材の特性 . . . . .	215
7.1.1	はじめに . . . . .	215
7.1.2	平面/空間充填の幾何学 . . . . .	218
7.1.3	折紙（切紙）ハニカム . . . . .	224
7.1.4	Octet-Truss 形コアパネル . . . . .	225
7.1.5	複合材折紙 . . . . .	230
7.1.6	おわりに . . . . .	233
7.2	空間充填で得られるコア材の成形法 . . . . .	234
7.2.1	はじめに . . . . .	234
7.2.2	四面体コアの成形性の検討 . . . . .	235
7.2.3	数値計算手法の概要 . . . . .	237
7.2.4	単工程プレス成形シミュレーション . . . . .	242
7.2.5	多工程プレス成形シミュレーション . . . . .	244
7.2.6	トラスコアパネルの曲げ強度 . . . . .	246
7.2.7	トラスコアパネルの実用化事例 . . . . .	248
7.2.8	おわりに . . . . .	249
<b>索 引</b>		<b>253</b>