

CFRTP の塑性加工入門

工学博士 米山 猛 共著
博士(工学) 立野 大地

コロナ社

ま え が き

機械の軽量化は、自動車などの移動機械を動かすエネルギーの削減や人間が持ち運んだり身に着けたりする機器の使いやすさ向上のために重要である。軽量化を図る材料として、CFRP（carbon fiber reinforced plastics、炭素繊維強化樹脂）は、最も効果的なものとして期待されている。すでに最新の航空機では、胴体の50%以上がCFRPで製作されている。地球温暖化を防ぐため、二酸化炭素排出削減は喫緊の課題であり、自動車においては、駆動時の二酸化炭素排出削減のためにEV化が急速に進もうとしている。EV自動車では、電池の重量が大きいので、ボディの軽量化がいつそう求められている。ボディの軽量化を進めるため、ハイテン材料（鉄材料）やアルミニウム材料の活用が進んでいるが、より軽量化を図る材料としてCFRPが期待されている。

しかし、これまで航空機などに用いられてきたCFRPは炭素繊維の隙間に熱硬化性樹脂を含浸させたもので、成形後は加熱溶解することが不可能で変形加工ができず、リサイクルも困難である。そこで、一般のプラスチックに使われているような加熱溶解する熱可塑性樹脂を炭素繊維にしみ込ませたCFRTP（carbon fiber reinforced thermoplastics、炭素繊維強化熱可塑性樹脂）が将来的には多用されると考えられている。飛行機に比べて自動車は生産量が圧倒的に大きいため、量産に適した加工方法が必要である。

CFRTPは加熱すれば柔らかくなって変形加工が可能であり、冷却・固化すれば成形品ができることから、これまで金属材料による量産方法として活用されてきた塑性加工のような方法が適用できると期待される。そこで本書では、CFRTP材料を用いた塑性加工について解説する。これまで金属材料の塑性加工を行ってきた技術者や樹脂の射出成形を行ってきた技術者が、CFRTPの成形加工に取り掛かるための基礎知識や具体的な加工方法について解説する。

金属加工技術者は、金属材料の変形特性を考慮しながら金属の型を用いて塑性加工し、所望の形状を作成する。CFRTPの塑性加工においても、主な量産方法は、金型を用いて形状を転写することである。しかし、CFRTPの変形メ

カニズムは金属材料のそれとは大きく異なるため、CFRTPの変形メカニズムを理解した上で形状の転写方法を考える必要がある。「材料の変形特性を知って、目的の形状づくりを行う」ことは共通である。

プラスチック射出成形の技術者は熱可塑性樹脂の特性について熟知している。しかし繊維長の長い炭素繊維と熱可塑性樹脂との複合材料においては、射出成形の方法はとれず、塑性加工のような変形加工の方式をとる。塑性加工においても加熱熔融した樹脂の流動を用いる加工であり、熱可塑性樹脂の特性についての知識が不可欠である。この熱可塑性樹脂の特性についての知識を活用し、CFRTPの「塑性加工」へアプローチするための基礎知識を提供したい。

1章～3章で基礎となるCFRTP材料と炭素繊維、熱可塑性樹脂そして塑性加工について解説する。4章～7章は主として連続繊維CFRTPプレートを用いたプレス成形について解説している。これらの章で、CFRTPの塑性加工を行う基本的な要素と考え方について理解できるはずである。8章は不連続繊維CFRTPを用いた塑性加工について説明する。9章はCFRTPの曲げ加工やせん断加工、接合を取り扱う。10章は発展した内容として、組紐プレス成形、テープ成形、3Dプリンティングについて紹介する。最後の11章で強度試験や組織観察など、CFRTPの評価方法について解説する。

本書はつぎのような読者を想定している。

- ・これまで主として金属加工に関わってきた技術者
- ・これまで主としてプラスチックの射出成形に関わってきた技術者
- ・繊維技術に関わってきた技術者
- ・これまでも炭素繊維複合材料など複合材料技術に関わってきた技術者
- ・これからCFRTPの量産加工に取り組もうとする研究者や技術者
- ・CFRPの成形加工について学ぶ学生

CFRTPの加工技術は、まだ歴史の浅い加工分野であるが、本書で基礎的な知識について習得し、これからの産業に広く活用される技術開発へチャレンジしていただければ幸いである。

2023年2月

米山 猛・立野大地

目 次

1. CFRTP 塑性加工の基礎知識

1.1	CFRTP と は	1
1.2	塑性加工とは	2
1.3	金属の塑性変形と CFRTP の塑性変形	4
1.3.1	金属の塑性変形	4
1.3.2	CFRTP の塑性変形	6
1.4	変形抵抗	7
1.4.1	金属塑性加工の場合の変形抵抗	7
1.4.2	CFRTP の場合の変形抵抗	8
1.5	塑性加工の温度と圧力	9
1.5.1	金属の場合の温度と圧力	9
1.5.2	CFRTP の場合の温度と圧力	9
1.6	材料の強度	10
1.6.1	金属材料の強度	10
1.6.2	CFRTP の強度	10
コラム 1	CFRPの歴史	11

2. 炭素繊維と熱可塑性樹脂

2.1	炭素繊維	13
2.2	熱可塑性樹脂	15
コラム 2	射出成形技術	19
引用・参考文献		20

3. CFRTP の材料

3.1 一方向繊維シート (UD シート)	21
3.2 織物繊維シート	23
3.3 積層プレート	25
3.4 不連続繊維 CFRTP	28
3.5 CFRTP プレートの強度	29
3.5.1 一方向繊維 CFRTP プレートの強度	29
3.5.2 織物繊維 CFRTP プレートの強度	30
3.5.3 不連続繊維 CFRTP の強度	33
引用・参考文献	35

4. 連続繊維 CFRTP のプレス成形

4.1 CFRTP プレス成形の基本プロセスと関連要素	36
4.2 一方向繊維 CFRTP プレートをを用いたプレス成形	37
4.2.1 プレス成形のプロセス	37
4.2.2 一方向繊維の変形	38
4.2.3 成形品形状に対応したシート形状	40
4.3 織物繊維 CFRTP プレートをを用いたプレス成形	43
4.3.1 織物繊維の基本的な変形	43
4.3.2 コーナー部における変形	48
4.3.3 変形に伴う厚み変化	51
引用・参考文献	52

5. CFRTP プレス成形時の諸現象

5.1 プレス成形時の層間すべり	53
------------------------	----

5.2	プレス成形後の「スプリングイン」	55
5.3	プレス成形時の圧力	57
5.4	プレス成形時の温度	61
5.5	成形時の圧力保持時間と成形後の強度	64
5.6	成形時に発生する欠陥	66
5.6.1	炭素繊維と樹脂の密着性	66
5.6.2	樹脂枯れと樹脂リッチ	66
5.6.3	ボイド（気泡）	67
5.6.4	層間剥離	67
5.6.5	繊維のしわ	68
5.6.6	繊維の破断	68
	コラム3 熱硬化性CFRPの成形プロセス	69
	引用・参考文献	70

6. CFRTP プレス成形の金型設計

6.1	プレス成形の方式	71
6.2	材料変形特性についての考慮	74
6.3	金型設計の詳細	75
6.3.1	クリアランス	75
6.3.2	抜き勾配	77
6.3.3	スライド金型	78
6.4	成形品の取出し	79
6.5	樹脂と金型表面との接触および付着	81
6.6	離型剤	83
6.7	金型の材質、表面硬さ、表面粗さ	84
6.8	金型の熱膨張・心合せ	85
6.9	金型の加熱と冷却	86
	コラム4 CFRTPの成形解析	88

引用・参考文献	89
---------	----

7. プレス機械と材料加熱技術

7.1 CF RTP 成形を行うプレス機械	90
7.1.1 油圧プレスとメカニカルプレス	90
7.1.2 プレスの剛性	92
7.1.3 荷重制御	93
7.1.4 位置制御	97
7.2 CF RTP の加熱技術	98
7.2.1 近赤外線ヒータ	98
7.2.2 遠赤外線ヒータ	101
7.2.3 ヒータプレート	102
引用・参考文献	104

8. 不連続繊維 CF RTP を用いた塑性加工

8.1 不連続繊維 CF RTP プレートを用いたプレス成形	105
8.2 連続繊維と不連続繊維のハイブリッド成形	107
8.2.1 リブ付パネルの成形	107
8.2.2 ダイクションを活用したリブ付パネル成形法	109
8.3 カップ鍛造成形	111
8.3.1 金型の設計	112
8.3.2 不連続繊維 CF RTP ビレットの製作	114
8.3.3 鍛造成形プロセス	115
8.3.4 鍛造過程の材料の流動	116
8.3.5 成形後の強度	118
8.4 歯車成形	119
引用・参考文献	123

9. CFRTP の曲げ加工・せん断・接合

9.1	CFRTP の曲げ加工	125
9.1.1	連続繊維プレートの局部加熱曲げ装置の試作と試み	126
9.1.2	プレスプレーキを用いた連続繊維プレートの曲げ加工	129
9.2	せん断加工	131
9.2.1	金属板材のせん断加工	131
9.2.2	CFRTP のせん断加工	132
9.2.3	CFRTP のせん断-シェービングパンチによる切断	135
9.3	CFRTP の接合	137
9.3.1	CFRTP の接合方法	137
9.3.2	加熱接合における課題	138
9.3.3	接合部の強度と接合長さの設計	141
9.3.4	接合の例	142
9.3.5	接合強度を上げる試み	143
	引用・参考文献	144

10. CFRTP 塑性加工の応用技術

10.1	CFRTP の組紐プレス成形	146
10.1.1	組紐とは	147
10.1.2	「組紐プレス成形」とは	148
10.1.3	組紐プレス成形の詳細	149
10.1.4	CFRTP パイプの強度	151
10.1.5	CFRTP パイプの応用性	152
10.2	CFRTP のテープ成形	153
10.3	CFRTP の3D プリンティング	155
	コラム5 繊維機械	159
	引用・参考文献	160

11. CFRTP の評価方法

11.1 概 要	161
11.2 曲 げ 試 験	162
11.3 引 張 試 験	165
11.4 構造強度試験, 圧壊試験	169
11.5 断面組織の観察方法	171
引用・参考文献	174
あ と が き	175
索 引	177

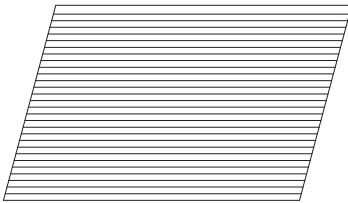
1

CFRTP 塑性加工の 基礎知識

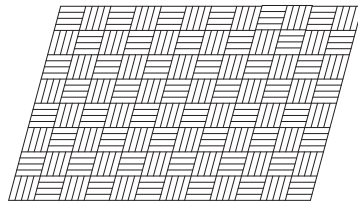
1.1 CFRTP とは

本章では金属の塑性加工やプラスチックの射出成形と対比しながら，CFRTPの塑性加工とはどのようなものか概説する。

CFRTP とは，炭素繊維束の間隙に熱可塑性樹脂をしみ込ませたものである。

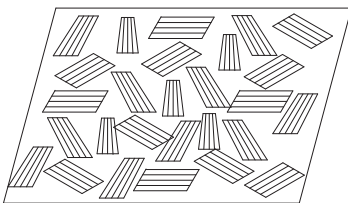


(i) 一方向 (UD) 繊維シート



(ii) 織物繊維シート

(a) 連続繊維シート



(i) UD カットランダム配向シート



(ii) マット材，不織布

(b) 不連続繊維シート

図 1.1 CFRTP シートの種類

CFRTP シートの主な種類を図 1.1 に示す。大きく分けて炭素繊維として連続繊維を用いるもの (図 (a)) と、ある程度の長さになった**不連続繊維**を用いるもの (図 (b)) に分けることができる。**連続繊維**を用いる場合も、**一方向 (UD) 繊維** (uni-directional carbon fiber) を配列した状態のシート (図 (i)) と縦横の繊維を織物 (fabric) にしたシート (図 (ii)) とがある。一方、不連続繊維を用いる場合は、一方向繊維の CFRTP テープを所定の幅と長さにカットしたものをいろいろな方向に配向させたもの (図 (i)) や、繊維を織らずに絡ませた状態のもの (不織布) に樹脂をしみ込ませたもの (図 (ii)) などがある。

1.2 塑性加工とは

塑性加工とは、材料の**塑性変形** (plastic deformation) を利用して、目的の形状をつくることである。塑性変形とは「元に戻らない変形」のことである。粘土を変形させて形をつくるのと同じイメージである。金属の場合、固体状態で、ある程度以上の力をかけて板を曲げたり、金型を押し付けて塊をつぶし、別の形に変えたりすることができる。「形をつくる」加工としては、塑性加工以外に、削って形をつくる**切削加工**や、近年 3D プリンタに見られるような**付加加工**があるが、塑性加工は生産速度が速く、材料の無駄も少ないという特徴がある。

塑性加工を行うにはなんらかの「型」を使うことが多い。自動車の外板であれば、平板を金型でプレスして、曲面をもった板を作製する。駆動軸に使われる部品は金属の塊を金型で押し込んで (鍛造)、必要な形状をつくる。アルミサッシのような形材は、その断面形状の出口をもつダイを用いて、円柱ピレットをコンテナ内で加熱・加圧し、ダイ出口から押し出して製作している。このようになんらかの型を使って加工する塑性加工の最大の特徴は、生産速度が速いことである。切削加工や付加加工で少しずつ形をつくるよりも、型に合わせて一度に形をつくるほうが圧倒的に速いのである。

一方、プラスチック部品の製作で一般に使われる加工法は、**射出成形**

(injection molding) である。これはプラスチック（熱可塑性樹脂）を溶融状態まで加熱して金型内に注入し，その後冷却して成形品を取り出す方法である。プラスチックを固体の状態ですべて加工することはない。プラスチックは細い高分子の繊維が絡まった状態にあり，固体の状態では，金属のような変形をしないからである。溶融温度状態になれば，絡まった高分子が移動するようになる

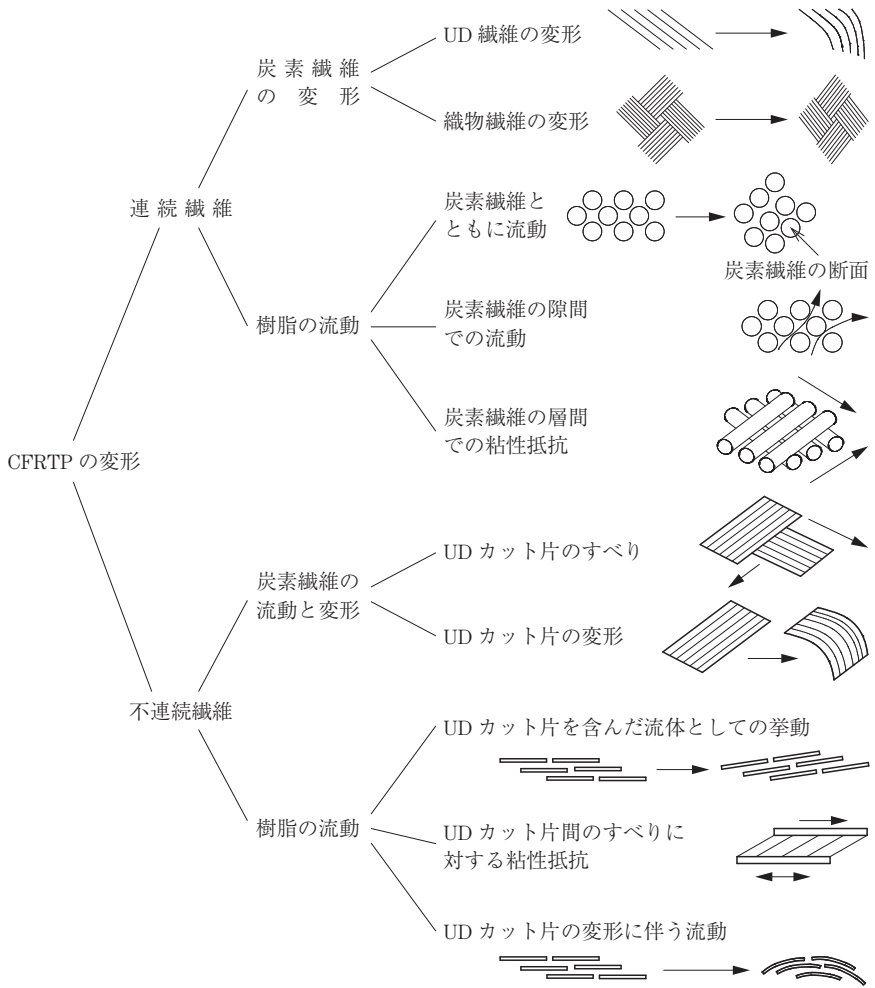


図 1.2 CFRTP の変形イメージ

ので、熔融状態にして流動させるという加工方法を使っている。「元に戻らない変形」という意味では、射出成形も塑性加工なのであるが、一般に射出成形を塑性加工とは呼んでいない。しかし、「元に戻らない変形」という点は共通である。

それでは、「CFRTP の塑性加工」とはなんだろうか。CFRTP は炭素繊維の隙間を熱可塑性樹脂で埋めたものである。変形させるためには、樹脂を熔融状態にしなければならない。一方、炭素繊維は加熱しても固体のまま、繊維の長さも変わらない。炭素繊維は細いので、髪の毛のようにしなるだけである。しかし、樹脂を熔融状態にして、金型などでプレスし、その後樹脂を固体状態まで冷却すれば、元の形には戻らない形にすることができる。このようにして目的の CFRTP 形状をつくることを本書では **CFRTP の塑性加工** と呼ぶ。変形のメカニズムは異なるが、金属の塑性加工と同様な CFRTP の塑性加工を行うことができれば、CFRTP 部品が量産でき、社会に普及することができるはずである。CFRTP の変形イメージを図 1.2 に示す。CFRTP は炭素繊維と樹脂の複合材料であるため、変形させる場合、炭素繊維の動きと樹脂の動きをそれぞれ考える必要がある。炭素繊維の変形のイメージと樹脂の流動のイメージをもちながら、「元に戻らない変形」= 塑性加工を考えることが大切である。

1.3 金属の塑性変形と CFRTP の塑性変形

1.3.1 金属の塑性変形

金属が塑性変形するメカニズムは、材料の中ですべりが起こることである。金属材料の内部には図 1.3 に示すような**転位**（dislocation, 原子の層が余計に入っているところ）があって、ある程度以上のせん断応力をかけると、この転位が移動して原子どうしの結合がずれる。これがすべりである。また逆に、最初は転位がなくても、ある程度以上のせん断応力をかけると材料内部に転位が発生し、この転位が移動すれば一つずつの結合がずれていくことで塑性変形が起こる。すべる方向の原子間の結合を一度にずらすには大きな力が必要である

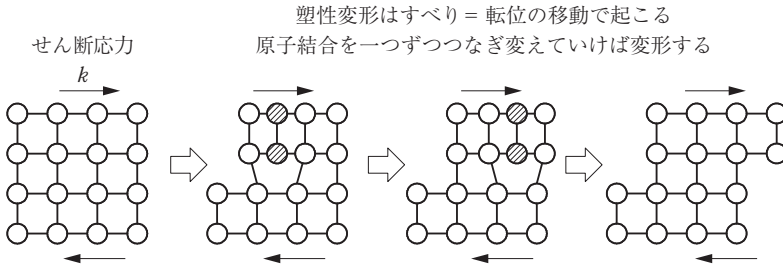
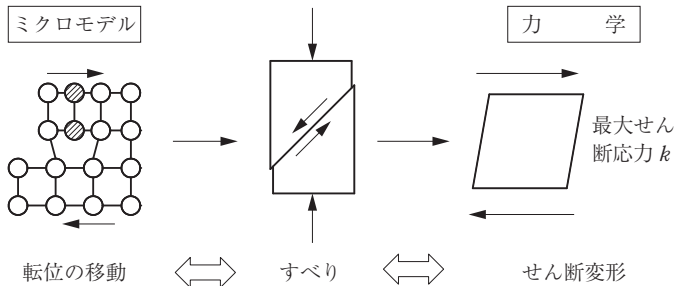


図 1.3 金属の塑性変形のメカニズム

が、一つずつ結合をずらす力を与えるだけで、塑性変形を引き起こすことができる。

このマイクロモデルと力学とのつながりを図 1.4 に示す。塑性変形（転位の移動）を起こす応力の条件が降伏条件である。材料内の最大せん断応力がある限界値を越えたらすべりが生じると考えるのがトレスカの条件，材料のせん断ひずみエネルギーがある限界値を越えたらすべりが生じると考えるのがミーゼスの条件である。直観的には、ある限界のせん断応力を越えたら転位の移動が起こってすべりが生じ、塑性変形が起こると考えればよい。

この材料内ですべりが起こることによって変形が起こるということは、つぎ



転位を移動させる力 \longleftrightarrow 最大せん断応力がせん断降伏応力に達すると塑性変形が起こる：降伏条件
 $\sigma_1 - \sigma_2 = \sigma_Y = 2k = Y$

「最大主応力 - 最小主応力」が降伏応力に達すれば、塑性変形が起こる

図 1.4 金属塑性変形のマイクロモデルと力学とのつながり

索引

【あ】		回復	9	組紐テープ	149
アクリル繊維	13	拡織	22	組紐パイプ	149
圧壊試験	169	型縮力	19	組紐プレス成形	148
圧縮変形	128	カートリッジヒータ	86	クランクプレス	91
圧着成形	31	金網	49	クリアランス	75
圧力の保持時間	64	金型温度	63	【け】	
圧力プロセス	64	金型鋼	85	計量	17
綾織	23	金型との接触	61	結晶化度	17
【い】		金型との接触圧力	64	結晶性樹脂	16
イジェクタピン	79	金型の位置精度	97	研磨機	172
板厚変化	51, 76	金型の肉厚	84	【こ】	
板厚方向の強度向上	144	金型表面温度	64	光学顕微鏡	171
板押え	71	加熱圧着接合	139, 142	交差角	44
位置制御 (プレスの)	97	加熱技術	98	構造強度試験	169
一方向繊維	2	加熱水蒸気	104	降伏条件	5
一方向繊維シート	21	加熱接合	138	固化温度	64
一方向繊維テープ	148	加熱炉	101	固化膜	59
異方性	11	ガラス繊維テフロンベルト	103	【さ】	
【う】		【き】		サイジング	14
ウェルド	139	疑似円周方向	115	最大せん断応力	141
【え】		疑似等方	25, 33	座屈	152
エッジトリミング	73	疑似半径方向	115	【し】	
遠赤外線ヒータ	101	規定試験片の寸法	162	シアエッジ成形	106
【お】		気泡	67	シェービング	135
凹型	76	球晶	17	シェービング加工	131
織物繊維シート	23	局部加熱曲げ加工	126	シート	25
温度プロセス	64	キンク	68	射出	18
【か】		近赤外線ヒータ	98	射出圧	18
開織	22	【く】		射出圧縮成形	108
		口開き	92	射出成形	2
		組角度	149	シヤリング加工	131
		組紐	147		

周 長	52	——の広がり	45	中立糸	148
樹脂枯れ	66	繊維長	33	中立テープ	149
樹脂の固化	60	繊維の間隔	39	チョップドテープ	33
樹脂の固化層	93	繊維のしわ	68		
樹脂フィラメント	155	繊維の配向	33	【つ】	
樹脂リッチ	66	繊維の流動	116	突き出しツメ	114
縹子織	23	繊維方向	41		
衝撃エネルギー吸収性能		センタークランプ方式	72	【て】	
	169	せん断応力	4, 7	鉄の熱膨張率	85
織 機	159	せん断加工	131	テープ成形	153
し わ	71	せん断降伏応力	7	転 位	4
心合せ	85	せん断-シェービングパンチ			
			136	【と】	
【す】		せん断速度	9, 134	凸 型	76
水冷穴	87	せん断弾性係数	45	飛び籽	159
スクリュープレス	91			トリミング	74
スプリングイン	55, 57	【そ】		トレスカの条件	5
スプリングバック	55, 57	層間すべり	55		
すべり	4	層間の密着	131	【な】	
スライド	60, 96	層間剥離	67, 164	ナイロン	15
スライド位置	97	側面部	72		
スライド構造	79	塑性加工	2	【ぬ】	
スライド変位	97	塑性変形	2, 5	抜き勾配	77
スラブ法	7				
ずれ量	54	【た】		【ね】	
		ダイクッション	109	ねじり剛性	169
【せ】		縦 糸	23, 44	熱影響部	140
成形解析	88	経 糸	23, 44	熱可塑性CFRPパイプ	147
成形時の面圧	84	ダルシー則	22	熱可塑性樹脂	15
成形収縮率	79	弾性変形	38	熱間加工	9
生産サイクルタイム	63	弾性率	167	熱収縮	56, 61
積層シート	126	短繊維	156	熱伝導による温度上昇	100
積層造形法	153	鍛造成形	111	熱伝導率	64
積層プレート	25	ダンベル形	161	熱膨張差を逃がす工夫	86
接 合	137	ダンベル形状	166	熱膨張率	15, 55
接合界面	137, 143	断面観察試料	171	粘性抵抗	8
接合強度	139	断面観察方法	161		
接合長さ	141	断面係数	162	【の】	
切削加工	2	断面2次モーメント	162	ノズルヘッド	156
接触式伸び計	167	鍛流線	111	伸びフランジ	75
切断面	136				
セラミックヒータ	101	【ち】		【は】	
繊維束	39	中空材	155	ハイブリッド成形	108

刃先角度	132
破断	69
破断面	134
ハット曲げ	54
パネルフロー	108
歯の曲げ強さ	119
ハロゲンヒータ	98
半含浸	66
搬送機	103
【ひ】	
引 け	10
非晶性樹脂	16
ヒータの選定	87
ヒータプレート	102
引張試験	165
——の規格	165
引張せん断試験	141
引張強さ	15
ヒートアンドクール	87
非ニュートン流体	62
非ニュートン流体性	62
標点間変位	162
表面粗さ	85
表面硬さ	85
表面層	62, 81
平 織	23
ビレットフロー	108
【ふ】	
ファインブランキング	131
付加加工	2
付加製造法	153
不織布	2
付 着	81
フランジ付きのパイプ	152
フランジ部	72
プリプレグ	69
プリプレグシート	153

フル含浸	66
プレス速度	62
プレスの剛性	92
プレスのフレーム構造	92
プレスブレーキ	125
プレス面圧	31
プレーディングマシン	147
プレート	25
不連続繊維	2
不連続繊維 CFRTP	28
不連続繊維 CFRTP ビレット	114
不連続繊維ビレット	111
【へ】	
ベルト加圧式テープ成形法	154
変形抵抗	7
【ほ】	
保 圧	10, 18
保圧ビン	113
ボイド	10, 67
紡 績	159
【ま】	
マイカヒータ	102
マイクロ波加熱	104
曲げ強度	33, 65, 151
曲げ剛性	169
曲げ試験	162
曲げ線	130
曲げ弾性率	163
【み】	
ミーゼスの条件	5
密着強度	127

【め】	
メカニカルサーボプレス	96
メカニカルプレス	91
【も】	
目的機能	169
【ゆ】	
油圧プレス	91
【よ】	
溶融温度	57
溶融温度域	62
横 糸	23, 44
緯 糸	23, 44
よじれ	68
【ら】	
落錘試験	169
【り】	
離 型	77
離型剤	83
リ ブ	107
流体解析	88
流動解析	18
輪 郭	53
輪郭長さ	54
【れ】	
冷間加工	9
冷却過程の加圧	94
冷却固化	33
冷却速度	64
連続繊維	2
【ろ】	
ロッキング	45

	【C】	UD カット片	105		【V】	
		UD カットランダムビレット			Vf	29
CFRTP	1		114	V 曲げ		54
——の塑性加工	4	UD カットランダムプレート				
C-RTM	69		28, 33			
	【P】	UD シート	21		【数字】	
		UD 積層ビレット	114	3D プリンティング	153, 155	
PVT 線図	20	UD 繊維	2	3次元織物	27	
	【U】	UD チップ	120	3点曲げ試験	118, 162	
UD カットプレート	33	UD テープ	28, 122, 148	4点曲げ試験	151, 162	

— 著者略歴 —

米山 猛 (よねやま たけし)

1979年 東京大学工学部産業機械工学科卒業
1981年 東京大学大学院工学系研究科修士課程
修了(産業機械工学専攻)
1984年 東京大学大学院工学系研究科博士課程
修了(産業機械工学専攻)
工学博士
1984年 金沢大学助手
1991年 金沢大学助教授
2001年 金沢大学教授
2019年 日本塑性加工学会会長(2019年度
~20年
2020年 金沢大学特任教授
現在に至る

立野 大地 (たつの だいち)

2006年 金沢大学工学部人間・機械工学科卒業
2008年 金沢大学大学院自然科学研究科博士前期
課程修了(人間・機械科学専攻)
2008年 民間企業に勤務
~12年
2012年 金沢大学研究員
2017年 博士(工学)(金沢大学)
2018年 金沢大学助教
現在に至る

CFRTP の塑性加工入門

Plastic Forming of CFRTP

© Takeshi Yoneyama, Daichi Tatsuno 2023

2023年3月2日 初版第1刷発行



検印省略

著者 米山 猛
立野 大地
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 新日本印刷株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)
ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04682-3 C3053 Printed in Japan

(金)



< 出版者著作権管理機構 委託出版物 >

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp)の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。