

新塑性加工技術シリーズ 13

チューブフォーミング

—— 軽量化と高機能化の管材二次加工 ——

日本塑性加工学会 編

コロナ社

■ 新塑性加工技術シリーズ出版部会

部会長	浅川基男	(早稲田大学名誉教授)
副部会長	石川孝司	(名古屋大学名誉教授, 中部大学)
副部会長	小川茂	(新日鉄住金エンジニアリング株式会社顧問)
幹事	瀧澤英男	(日本工業大学)
幹事	鳥塚史郎	(兵庫県立大学)
顧問	真鍋健一	(首都大学東京)
委員	宇都宮裕	(大阪大学)
委員	高橋進	(日本大学)
委員	中哲夫	(徳島工業短期大学)
委員	村田良美	(明治大学)

(所属は2016年5月現在)

刊行のことば

ものづくりの重要な基盤である塑性加工技術は、わが国ではいまや成熟し、新たな展開への時代を迎えている。

当学会編の「塑性加工技術シリーズ」全19巻は1990年に刊行され、わが国で初めて塑性加工の全分野を網羅し体系立てられたシリーズの専門書として、好評を博してきた。しかし、塑性加工の基礎は変わらないまでも、この四半世紀の間、周辺技術の発展に伴い塑性加工技術も進歩を遂げ、内容の見直しが必要となってきた。そこで、当学会では2014年より新塑性加工技術シリーズ出版部会を立ち上げ、本学会の会員を中心とした各分野の専門家からなる専門出版部会で本シリーズの改編に取り組むことになった。改編にあたって、各巻とも基本的には旧シリーズの特長を引き継ぎ、その後の発展と最新データを盛り込む方針としている。

新シリーズが、塑性加工とその関連分野に携わる技術者・研究者に、旧シリーズにも増して有益な技術書として活用されることを念じている。

2016年4月

日本塑性加工学会 第51期会長 真 鍋 健 一

(首都大学東京教授 工博)

■ 「チューブフォーミング」 専門部会

部会長 栗山幸久 (元 東京大学)

■ 執筆者

栗山幸久 (元 東京大学) 1章, 2.1節, 2.2.1~2.2.3項,
2.3, 2.4節, 7章, 9.3節

水越秀雄 (株式会社 UACJ R&D センター) 2.2.2項

内海能亜 (埼玉大学) 3.1, 3.5~3.7節

加藤和明 (元 株式会社三五) 3.2.1項, 5.2, 5.6節

奥出裕亮 (東京都立産業技術研究センター) 3.2.2項

長谷川取 (東京都立産業技術高等専門学校) 3.3, 3.4節

水村正昭 (新日鐵住金株式会社) 4章

淵澤定克 (宇都宮大学名誉教授) 4章

福村卓巳 (株式会社山本水圧工業所) 4章

白寄篤 (宇都宮大学) 4章, 8.1, 8.4節

久保木孝 (電気通信大学) 5.1, 5.3~5.5節

陣の内雄士 (株式会社三五) 5.2, 5.6節

北澤君義 (信州大学) 6章

寺前俊哉 (株式会社日立製作所) 7章

山内浩行 (株式会社スギノマシン) 8.2.1~8.2.3項

山藤博文 (株式会社ベンカン) 8.2.4項

村上千碩哉 (元 東京工業大学) 8.3節

吉原正一郎 (芝浦工業大学) 9.1節

古島剛 (東京大学) 9.2節

(2019年2月現在, 執筆順)

浅	尾	宏	高	橋	明	男
一	之	和	高	橋	啓	三
遠	瀬	順	中	村	正	信
大	藤	忠	西	村		尚
落	谷	和	淵	澤	定	克
小	合	信	真	鍋	健	一
加	野	善	丸	尾	智	彦
蒲	納	秀	三	原		豊
北	原	君	宮	川	松	男
北	澤	岳	森		茂	樹
木	脇	淳	吉	富	雄	二
高	村	信				
	田					

(五十音順)

ま え が き

チューブフォーミングはその名の通り管の成形加工であるが、ロール成形、ピアシング・圧延、板曲げなどの一次加工により成形された管を加工する「管に関する二次加工技術の総体」であり、切断、曲げ、拡管・縮管、口広げ・口絞り、穴あけ、接合といった複数の加工技術からなる。新塑性加工技術シリーズ『チューブフォーミング』は、この管の二次加工技術を体系化して記した書籍であり、旧版（1992年発刊）をほぼ25年ぶりに改訂したものである。

旧版の発刊より25年遡った時点から旧版発刊までを見ると、日本は高度経済成長期にあり、種々の工業的な技術が進歩した時期であり、加工に耐える材料の開発がなされ、それと相まって加工技術も進歩した時期である。旧版から現在までを見ると、1995年には生産年齢人口が減少に転じ、経済成長が大きいとされる人口ボーナス期（生産年齢人口が従属年齢人口の2倍以上）も終わり、成熟期に入っている。

この25年間を概括すると、チューブフォーミングの適用が配管主体から構造材へと拓けたことが大きな変化である。これは省エネルギー・省資源の観点から軽量化が重要な課題となり、中空なため軽量で剛性・強度を確保できる管がこの課題の解決に適していることによる。直管では構造を形成できないので管の加工が必要であり、チューブフォーミング技術が進化した。材料に関しては、銅管は大きな変化はないがチタン管の適用が拡大し、成形性のよい銅管・アルミ管が開発され、その後、高強度化が進展した。加工技術は、計算機による複雑で正確な加工プロセス制御や、高精度なコンピュータシミュレーションによる加工条件や加工メカニズムの検討など、計算機の進歩に支えられて発展

してきた。チューブフォーミングの分野では、液圧成形がより複雑な一体成形が可能なチューブハイドロフォーミングへと進化したのが大きな発展の好例である。

本書は、このような技術の進展を取り入れるとともに、つぎの25年でも古びないよう普遍的な記述を心掛けた。また、章構成を簡素化し、技術をより体系化して記述することに努めた。新塑性加工技術シリーズでは『曲げ加工』がなくなるため材形の曲げも含めた。さらに今回の改訂では、技術伝承を重要な課題と考え、熟練技術者の加工技術に関する知識を抽出し、アーカイブすることを行った。そのための手法を開発し、元チューブフォーミング社の中村正信氏、株式会社太洋の岡田正雄氏から貴重な知識を開示いただき、本書に残すことができた。両氏のご協力に深謝いたします。

これから益々インターネット上への情報の蓄積が進み、また、それらへのアクセスも容易になると考えられるが、個々の項目の断片的な知識でなく、体系化された情報としての教科書は一定の価値をもつものとする。今後、さらに人口減少が進み技術伝承が課題となっていく中で、本書が次世代の技術者の参考になれば幸甚である。

本書は、塑性加工学会チューブフォーミング分科会のメンバーを中心に執筆したものであり、執筆者各位に感謝する。とりわけ執筆や担当章の取りまとめだけでなく、本書の全体の構成や記述について討議を重ね形にした、宇都宮大学 白寄篤先生、埼玉大学 内海能亜先生、新日鐵住金株式会社 水村正昭氏に感謝する。私は新日鐵で板・管の一次加工・二次加工の研究開発に携わっていたものの、大学に移ってからは塑性加工以外の研究をおもにしていたため、本書が完成し中継ぎの任をまっとうできたのは、これらの方々によるものである。最後に、全体を通して貴重なアドバイスをいただいた浅川基男先生、遠藤順一先生に感謝する。

2019年3月

「チューブフォーミング」専門部会長 栗山 幸久

目 次

1. 総 論

1.1 概 論	1
1.2 加工法の分類	2
1.3 管材を用いた製品設計とチューブフォーミング工程設計	4
1.3.1 管材の製品事例	4
1.3.2 管材の製品設計	5
1.3.3 チューブフォーミングの工程設計	7
引用・参考文献	7

2. チューブフォーミング用材料

2.1 概 論	8
2.2 各 種 管 材	9
2.2.1 鋼 管	9
2.2.2 アルミ管	14
2.2.3 その他の管材	18
2.3 成 形 性 試 験	20
2.3.1 材料特性試験	21
2.3.2 材料成形限界試験	25
2.3.3 加工性試験	29

2.4 材料特性と二次成形性	33
2.4.1 n 値—加工硬化特性—	34
2.4.2 r 値—異方性—	37
引用・参考文献	40

3. 曲 げ 加 工

3.1 基 礎	43
3.1.1 概 論	43
3.1.2 理 論	45
3.2 加 工 法	45
3.2.1 円 管 の 曲 げ	45
3.2.2 形 材 の 曲 げ	66
3.3 加 工 力	80
3.3.1 剛完全塑性材料	81
3.3.2 加工硬化する材料（へん平化無視）	81
3.3.3 加工硬化する材料（へん平化考慮）	82
3.3.4 回転引曲げにおける曲げモーメントの実験式	83
3.4 加工不良現象	84
3.4.1 横断面の変形	84
3.4.2 加工不良の具体例	84
3.4.3 スプリングバック（形状凍結性）	86
3.5 曲げ型とマンドレル・治工具類	89
3.5.1 曲げ型とダイレス加工	89
3.5.2 マンドレル・治工具類	90
3.6 加 工 限 界	94
3.6.1 断 面 変 形	94
3.6.2 破 断	97
3.6.3 屈 服	98
3.6.4 し わ	99

3.7 加工事例とその他	102
引用・参考文献	103

4. ハイドロフォーミング

4.1 基礎	108
4.1.1 概論	108
4.1.2 理論	110
4.2 加工法	114
4.2.1 変形拘束による分類	115
4.2.2 負荷条件による分類	116
4.2.3 加工温度による分類	122
4.2.4 圧力媒体による分類	124
4.3 加工条件	125
4.3.1 拡張率	125
4.3.2 変形挙動と加工不良	125
4.3.3 加工負荷経路の影響	130
4.3.4 材料特性および金型潤滑の影響	133
4.3.5 特殊な管材の加工	136
4.4 プリフォーミングとポストフォーミング	139
4.4.1 プリフォーミング	139
4.4.2 ポストフォーミング	141
4.5 型設計	144
4.5.1 上下金型	144
4.5.2 軸押しパンチ	145
4.6 加工機械	148
4.6.1 加工システム	148
4.6.2 装置構成	149
4.7 加工事例	151
4.7.1 自動車部品	151

4.7.2 その他の部品	154
引用・参考文献	157

5. 管 端 加 工

5.1 基 礎	160
5.1.1 大分類と概論	160
5.1.2 口絞り加工の理論	164
5.1.3 口広げ加工の理論	167
5.1.4 カーリング・反転加工の理論	168
5.2 加 工 法	171
5.2.1 プレスによる口絞り加工	173
5.2.2 プレスによる口広げ加工	175
5.2.3 プレスによる口絞り・口広げ加工製品事例	177
5.2.4 プレスによるカーリング・反転加工	179
5.2.5 アルミ飲料ボトル缶の製缶（管端）加工	180
5.3 加 工 力	183
5.3.1 口絞り加工の加工力	183
5.3.2 口絞り加工の加工力に及ぼす諸因子の影響	184
5.3.3 口絞りの加工力の推定	186
5.3.4 口広げの加工力	189
5.3.5 カーリング・反転加工の加工力	189
5.4 加 工 限 界	190
5.4.1 口絞り加工の加工限界と不良変形	190
5.4.2 口絞り加工の加工限界に及ぼす諸因子の影響	191
5.4.3 口広げ加工の加工限界と不良変形	196
5.4.4 カーリング・反転加工の加工限界と不良変形	198
5.4.5 加工限界の向上法	199
5.5 加 工 精 度	202
5.5.1 口絞り加工の精度	202
5.5.2 口広げ加工の精度	205

5.5.3	カーリング・反転加工の精度	206
5.6	工程設計・型設計	207
5.6.1	プレスによる口絞り加工用パンチ・ダイ設計	207
5.6.2	プレスによる口広げ加工用パンチ・ダイの型設計	211
5.6.3	型材料・コーティング	212
	引用・参考文献	214

6. スピニング，スエーピング，回転成形

6.1	インクリメンタルフォーミングとしてのスピニング，スエーピング， 回転成形	217
6.2	スピニング	218
6.2.1	回転しごき加工	218
6.2.2	絞りスピニング	220
6.2.3	偏心・傾斜スピニング	222
6.2.4	同期スピニング	223
6.3	ロータリースエーピング	224
6.3.1	スピンドル回転方式	225
6.3.2	スピンドル静止方式	226
6.3.3	ダイクロージング方式	227
6.3.4	ハウジング回転・スピンドル低速回転方式	228
6.3.5	マンドレルスエーピング	228
6.3.6	ダイ穴のクリアランス	229
6.4	回転成形	230
6.4.1	回転広げ成形	231
6.4.2	回転口絞り成形	232
6.4.3	回転ビード成形	235
6.4.4	揺動回転成形	236
6.4.5	傾斜フランジ成形	238
6.5	角管末端のインクリメンタルフランジ成形	238

引用・参考文献	239
---------	-----

7. 切断, 輪郭・穴あけ, バーリング

7.1 概 論	241
7.2 管の切断加工法	241
7.2.1 ロール押込み切断法	242
7.2.2 突切り切断法	244
7.2.3 心金を用いた切断法	246
7.2.4 切断加工事例	247
7.3 管端の輪郭加工と穴あけ加工	248
7.3.1 輪 郭 加 工	248
7.3.2 穴 あ け 加 工	249
7.3.3 輪郭・穴あけ加工事例	251
7.4 バーリング加工	251
7.4.1 液圧バルジ方式	253
7.4.2 剛体引抜き方式	253
7.4.3 クロスピン方式	254
7.4.4 逐次バーリング方式	255
7.4.5 バーリングの加工事例	257
引用・参考文献	257

8. 接 合

8.1 概 要	259
8.2 おもに配管で使われる塑性接合	260
8.2.1 ローラー拡管法	260
8.2.2 液 圧 拡 管 法	265
8.2.3 ローラー拡管法と液圧拡管法による加工事例	268
8.2.4 メカニカル形管継手	268

8.3 おもに構造物の組立てで使われる塑性接合	273
8.3.1 薄肉材の結合	273
8.3.2 塑性流動結合法	276
8.4 その他の接合法	283
引用・参考文献	286

9. 特徴的な加工事例

9.1 その他の加工	288
9.1.1 管鍛造	288
9.1.2 つぶし加工	289
9.1.3 異形加工	290
9.1.4 バテッド管	292
9.1.5 レーザーによる管材肉厚増肉法	294
9.1.6 スパイラル溝付き管・テーパ管	294
9.2 マイクロチューブフォーミング	296
9.2.1 マイクロチューブの用途, マイクロスケールとの違い	296
9.2.2 一次加工	298
9.2.3 二次加工	300
9.3 工程設計事例	305
9.3.1 ねじりばね自動車サスペンション部品	305
9.3.2 真空バルブボディ	307
9.3.3 フロントロアーアーム	309
9.3.4 工程設計のグラフ記述による技術伝承	311
引用・参考文献	313

索引	316
----	-----

1.1 概論

管材の二次的成形をチューブフォーミングというが、広義には、成形に加え分離および接合などの加工技術も含めることが多い。管材の成形、分離、接合は図1.1に示すようにさまざまな加工技術があり、チューブフォーミングは一つの加工法ではなく、チューブを素材として製品に加工する総合的な加工技術である。また、チューブフォーミングは、管材と類似形状をもつ深絞り加工品などの後続加工工程にも適用されている。

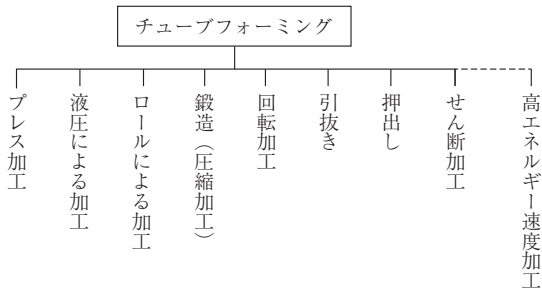


図1.1 加工様式によるチューブフォーミングの分類

管材は各種の流体輸送用に古くから多用され、それに伴い、配管のために必要な曲げ加工、接続部・支持部の加工、また継手類を管材から製造するチューブフォーミング技術が発達してきた。また、造管技術の進歩により高強度化、高寸法精度化が進んだことによって、管材は建築や自動車などの構造部材とし

て広く用いられるようになった。旧版からの変化としては、1990年代末にハイドロフォーミングが実用化され、自動車構造部品に管材が用いられるようになったこと、高張力管材の曲げなど加工技術が進展したことが挙げられる。このような技術的な進展は、制御技術や制御機器の能力の向上に支えられ実現したものであり、偏心・傾斜スピニングなどもこのような制御技術の進歩により実用化することができたと考えられる。また、センサーにより変形状態を把握し加工条件を制御することにより、破断を回避して板厚分布を適正化するインプロセス制御の研究開発も進んできた。

チューブフォーミングにおける加工力や変形を評価する手法として塑性力学に基づいた理論式や実験式が多く求められ、必要な加工力、成形に必要な力学物性、成形可否検討などに用いられてきた。FEM（有限要素法）技術の進展により、成形時の変形挙動の把握などが詳細に解析できるようになったが、チューブフォーミングは工具との接触や摩擦の問題などFEMで扱いにくい加工法であり、解析解などとの比較検証も重要である。FEMの入力としても重要な管材の変形特性の評価法に関してまとまった研究がなされ、軸方向のほか周方向の特性を評価する標準的な手法が提案されている。このような精度のよい物性値を用いることにより、FEMを用いてチューブフォーミングでの管材の変形挙動が精度よく求められる。一方、成形限界、特に破断限界は材料の変形能に依存するものである。板材の成形では、くびれの発生後まもなく破断に至ることから、くびれの発生限界をもって成形限界とすることが実用上可能で、このくびれの発生限界は分岐論で求まる。管材でも、このような理論的な手法で成形限界を求める検討がされており、実験的に成形限界や成形余裕度を評価する手法が提案されており、それらをもとにした成形可否判断の高度化が期待できる。

1.2 加工法の分類

チューブフォーミングで用いる加工法を加工様式により分類すると、図 1.1

に示すように、新塑性加工技術シリーズのほかの本のタイトルにある加工技術が並んでおり、管材に関する総合的な加工技術の体系であることがわかる。

チューブフォーミングを加工法によって分類すると、図 1.2 に示すように大きくは成形、接合および分離に分けられ、その分類のもとに個別の加工法がある。

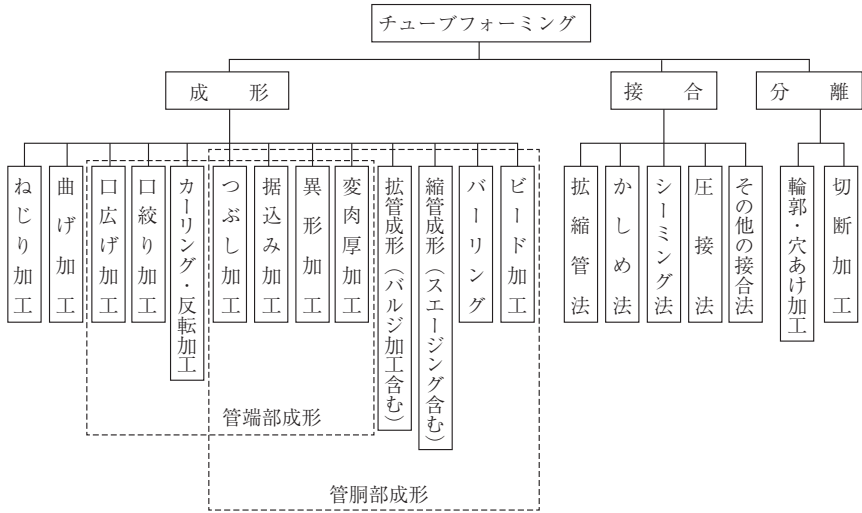


図 1.2 加工法によるチューブフォーミングの分類

成形法は、管材全体の曲げ加工、ねじり加工のほか、管端部における各種形状の成形および鍛造のような肉厚変化を伴う据込み加工、カーリング成形などがあり、管胴部におけるバルジ成形、スエージングなどの縮管成形、しごきなどによる変肉厚加工などがある。

接合には、各種の溶接法、接着法が用いられるほか、かしめ継ぎ、ロータリーエキスパンダーによる接合、シーミングによる缶の口締め加工など塑性変形を活用した接合方法も適用されている。

分離には、専用の管切断機で代表されるバイト切断のほか、鋸・砥石などによる切断といった切削・研削による除去加工によるものが多い。切断面精度より生産効率を重視する場合は、プレス金型による切断、くさび形ロールの押込

みによる切断が利用されている。また、プレス金型による切断は、端面を複雑な形状に切断する場合、管胴部の穴あけ加工に有用である。

1.3 管材を用いた製品設計とチューブフォーミング工程設計

1.3.1 管材の製品事例

管材は、4800年前のエジプトの神殿の給水管に銅管が、また、2000年前のローマの水道管に鉛管が用いられており、各種流体の輸送用配管材として長い歴史がある。水道管用の材料は、鉛、黄銅、銅、鉄、ステンレス鋼と変遷し、近年では樹脂ライニング鋼管も用いられている。また、用途も水道管から空調用配管、化学プラントや発電設備の配管、石油・ガスのパイプラインと分野が拡大しているが、これらは金属管であり、それらの接合方法、継手加工、曲げ加工の開発が行われてきた。また、管材は配管のほかに管端を閉じて容器として用いられている。家庭用のプロパンガスやタクシーのLPガスのボンベとしても広く用いられているほか、圧縮天然ガスボンベの金属ライナーや燃料電池車用の水素ボンベの金属ライナー、水素ガス輸送・貯蔵用のボンベとしての使用拡大が期待される。このような圧力容器としての用途では、管端のクロージング加工や接合がチューブフォーミングの主たる加工である。これらの配管、容器は耐圧設計がおもな要件であり、加工も複雑なものではない。

これらの配管、容器とは異なる用途として構造材としての管材の利用がある。自動車のドアインパクトビーム、大型クレーンの桁材、大空間を覆うトラス構造の構造部材、動力伝達軸、ねじりばねといった機能構造部材として用いられる。これらは、管が中空閉断面であり、曲げやねじりの剛性が重量の割に高くとれることが利用される理由であるが、チューブフォーミングによりほかの部材に合わせた形状への加工や部材として望ましい寸法・形状への加工が可能となることにより、事務機器部材や自動車のエンジクレードル、リアサスペンションのトーションビーム、ピラー補強材などに利用が拡大している。

1.3.2 管材の製品設計

管材を配管，圧力容器として用いる場合は，基本要件は耐圧性であり，熱交換器，ボイラータューブ，一部のプラント配管では耐熱性が要求されるものもある。耐圧性は材料強度，肉厚，外径を適切に選定すればよい。一方，構造材として用いる場合には，部材の軽量化を要求されることが多い。管材は，板材や丸棒に比べて素材価格が高いため，使用素材量を少なくし，コストダウンを図る観点からも軽量化は重要である。

構造材として用いる場合，丸棒から管材への代替は以下に示す利点がある。

〔1〕中空化による軽量化

丸棒を円管に置き換えると，中立軸から遠いところに材料を集めるため，同じ質量で剛性や断面係数を高くすることができる。強度設計（材料の降伏が始まる応力基準の設計）では，断面係数が部材の基本特性となる。剛性設計（たわみ変形量基準の設計）では，断面二次モーメントが部材の基本特性となる。

表 1.1 に丸棒と薄肉管の曲げ剛性，断面係数を示す。ここで，丸棒の径を d_s ，薄肉管の外径を D ，肉厚を t とする。質量当りの剛性である比剛性，質量当りの断面係数である比断面係数は，いずれも薄肉管が丸棒の 2 倍であり，丸棒を管に置き換えることによる軽量化効果である。

厚肉管の式を用いた軽量化の詳細な検討も行われている^{1),2)†}。ただし，こ

表 1.1 丸棒と薄肉管の比剛性と比断面係数

	丸 棒	薄肉管
曲げ剛性 EI	$(EI)_{\text{bar}} = E \frac{\pi}{64} d_s^4$	$(EI)_{\text{tube}} = E \frac{\pi}{8} D^3 t$
断面係数 Z	$(Z)_{\text{bar}} = \frac{\pi}{32} d_s^3$	$(Z)_{\text{tube}} = \frac{\pi}{4} D^2 t$
断面積	$A_{\text{bar}} = \frac{\pi}{4} d_s^2$	$A_{\text{tube}} = \pi D t$
比剛性 (剛性 ÷ 断面積)	$\frac{(EI)_{\text{bar}}}{A_{\text{bar}}} = \frac{E}{16} d_s^2$	$\frac{(EI)_{\text{tube}}}{A_{\text{tube}}} = \frac{E}{8} D^2$
比断面係数 (断面係数 ÷ 断面積)	$\frac{(Z)_{\text{bar}}}{A_{\text{bar}}} = \frac{1}{8} d_s^2$	$\frac{(Z)_{\text{tube}}}{A_{\text{tube}}} = \frac{1}{4} D^2$

† 肩付き数字は，章末の引用・参考文献番号を表す。

索引

【あ】	回転引曲げ	49	クロージング	208	
アクスルハウジング	カウンター	117, 121	クロスピン方式	254	
152, 153	カウンターパンチ	121	【け】		
アンダードライブ方式	150	拡管式管継手	272	形状凍結性	86
【い】	加工限界	190, 196, 198	軽量化効果	5	
異形管	63	加工硬化特性	34	結晶塑性	305
異方性	37	加工性試験	29	限界曲げ角度	46
インクリメンタル		加工精度	141, 202, 205, 206	【こ】	
フランジ成形	238	ガスタービン	154, 156	高圧発生装置	149, 151
		形 材	66	高圧法	117, 118
		型締め装置	149	高枝管張出し	120
		型締め力	117, 145	工具面圧	212
【う】		型バルジ	116, 127	交差型カウンターパンチ	121
内向きピアシング	141, 142	可動金型	120, 121, 138, 140	高周波誘導加熱曲げ	62
【え】		カーリング	160, 168, 179	構造締結	259
液圧拡管法	265	カーリング変形	211	高速加圧	119
液圧バルジ方式	253	管楽器	154	拘束金型	211
エキゾースト		管端隆起	130	拘束しごき加工	177
マニホールド	152, 153	管継手	260	剛体引抜き方式	253
液中放電	119	管細め	283	工程設計	7, 305
液封加工	117, 141	【き】		降伏曲面	24, 37
エマルジョン液	151	機械特性	20	口部成形	182
エルボ	48, 55, 58	技術伝承	7, 305	コーナー <i>R</i>	128, 129
円弧工具	170	キャリブレーション	128	コーナー <i>R</i> 限界	130
エンジンクレードル	152	曲面加工	209	ゴムバルジ	124
延性破壊条件	26	【く】		【さ】	
【お】		口絞り	164, 283	サイクルタイム	117, 118, 148
押付け曲げ	52	口絞り加工	160, 173, 207	最終内圧	128
押通し曲げ	54	口広げ	167, 283	最小曲げ半径	46
温間加工	60	口広げ加工	160, 175, 211	サブフレーム	151, 152
【か】		屈 服	43, 84, 98	三次元曲げ	102
回転成形	230	クラスタリング	313		
		グラフ記述	311		

破 裂	125, 126, 128, 129, 137, 139
破裂限界	130
破裂内圧	128
反転加工	168, 179
ハンブルグ曲げ	56
ハンマリング制御	119

【ひ】

引抜き	298
引張試験	21
引張曲げ	53
ピンチング	139

【ふ】

ファジィ制御	133
フォーミングプレス	175
負荷経路	119, 130, 132, 133, 137
複合組織鋼	11
複動式	151
普通炭素鋼	11
プッシュロータリー曲げ	51
プラグ	91
フランジ	123, 124, 142
フランジ加工	174
フレア加工	175
プレス式パイプベンダー	48
プレス曲げ	47
フロントピラー	152, 153

【へ】

ベローズ	121
偏心口広げ	200
偏心口広げ加工	176
偏心プラグ曲げ	59
偏肉	43, 97
偏肉率	97
へん平変形	43, 95
へん平変形分力	95
へん平率	94

【ほ】

保持内圧	130, 132
ボトル缶	180

【ま】

マイクロ口広げ加工	300
マイクロスエージング 加工	302
マイクロスピニング 加工	302
マイクロチューブ	296
マイクロチューブ ハイドロフォーミング	303
巻締め(シーミング)	274
マグネシウム	20
曲げ加工法	43, 45
曲げ加工力	80
曲げ型	89, 94
曲げ半径	164

曲げモーメント	80, 81, 82, 83
摩擦圧接	285
摩擦係数	133, 134, 135, 136
マンドレル	91

【め】

メカニカル形管継手	268
メカロック方式	150
メタルシール	148

【や】

焼入れ	122
-----	-----

【れ】

冷間ハンブルグ曲げ	58
-----------	----

【ろ】

ロータリー スエージング	173, 224
ローラー拡管法	260
ロール押込み切断法	242
ロール曲げ	53

【わ】

ワイパーダイ	89, 93, 94
割 れ	43, 85

【英字】

CNC 制御	45, 50, 56, 62, 63, 64	r 値	37, 133, 134, 135
CD 曲げ	48	T 成形	116, 133
n 値	34, 112, 113, 133, 134, 135		

チューブフォーミング——軽量化と高機能化の管材二次加工——

Tube Forming —for Light Weighting and High Functionality—

© 一般社団法人 日本塑性加工学会 2019

2019年7月22日 初版第1刷発行

検印省略

編 者 一般社団法人
日本塑性加工学会
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 萩原印刷株式会社
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 <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04383-9 C3353 Printed in Japan

(三上)



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。