

各種塑性加工法

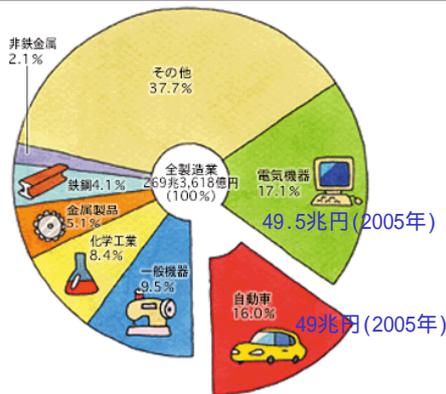
豊橋技術科学大学

森謙一郎



- 各種塑性加工法
- 軽量材料の塑性加工技術
- サーボプレスの利用技術
- 塑性加工のシミュレーション

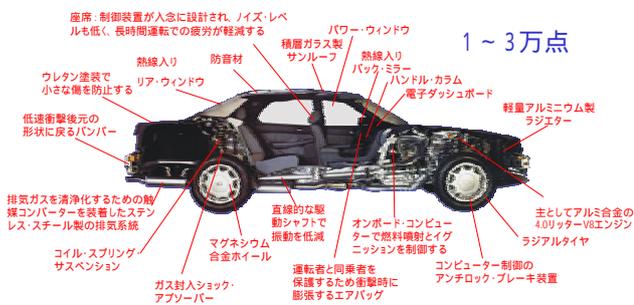
主要製造業の製造品出荷額の構成比(2002年)



自動車関連の就業人口



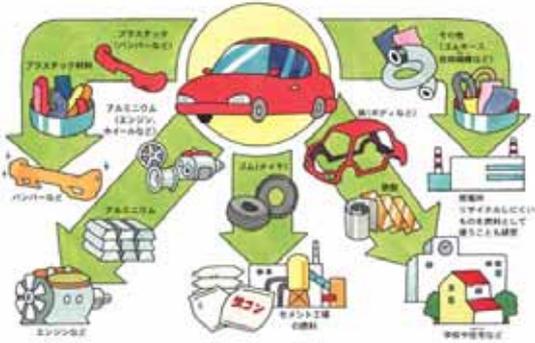
自動車部品



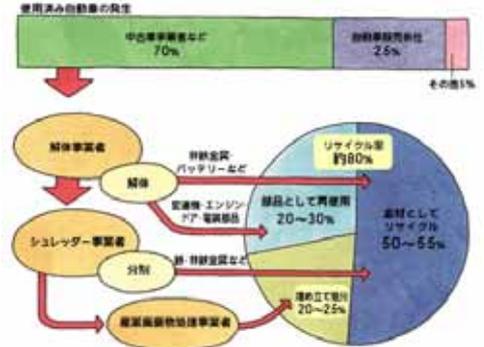
自動車部品の構成材料



自動車部品のリサイクル

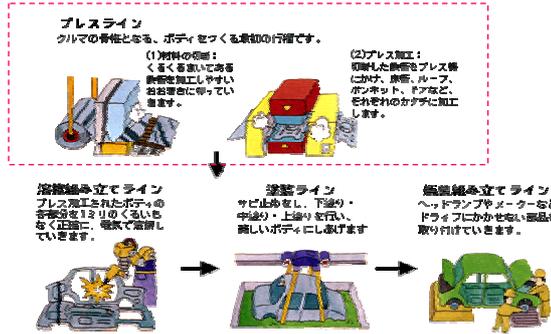


自動車部品のリサイクル率

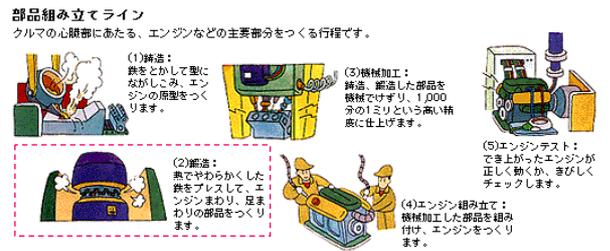


金属部品: リサイクル性が高い

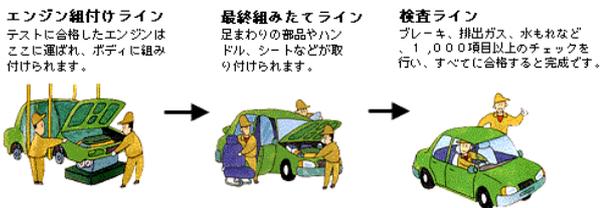
自動車ボデーの製造



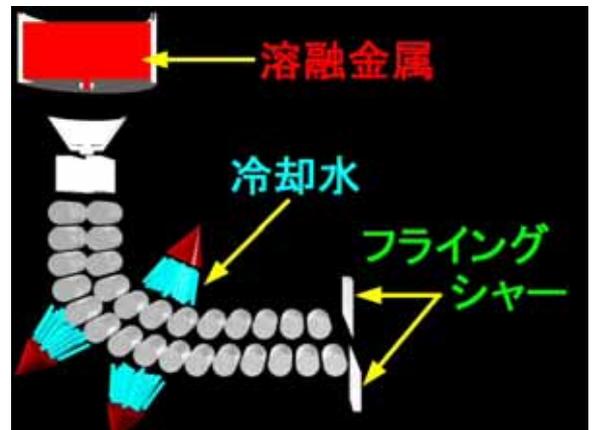
自動車エンジンの製造



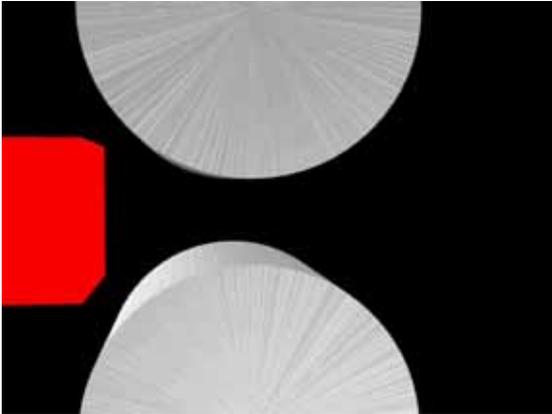
自動車組み立て、検査



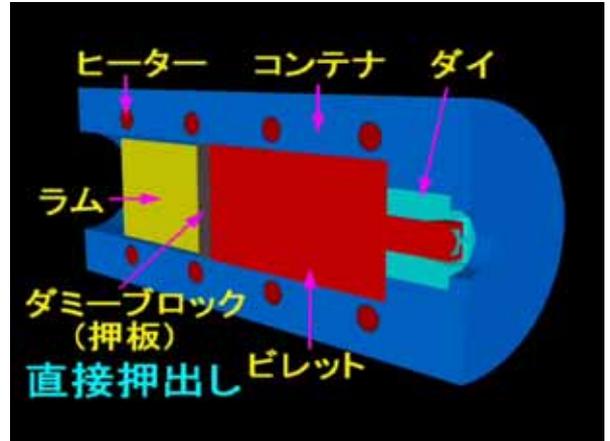
連続鋳造: 素材の製造



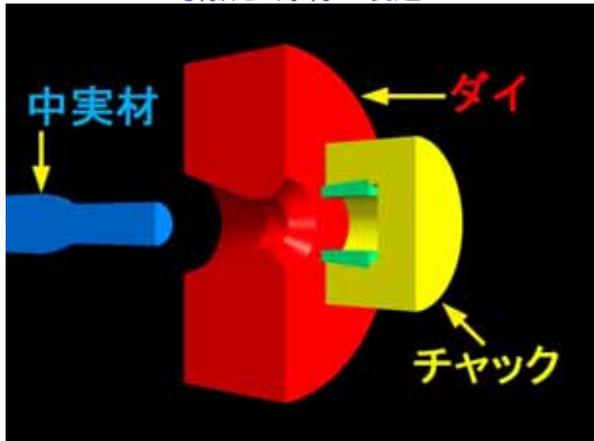
熱間圧延: 板材の製造



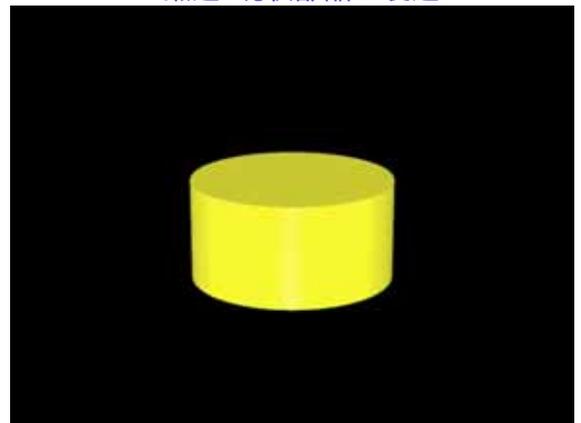
押し出し: 丸棒, 型材の製造



引抜き: 線材の製造



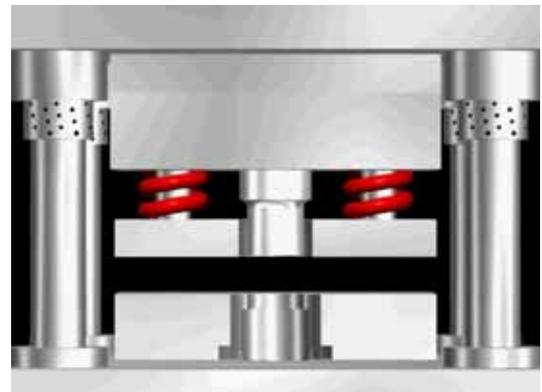
鍛造: 塊状部品の製造



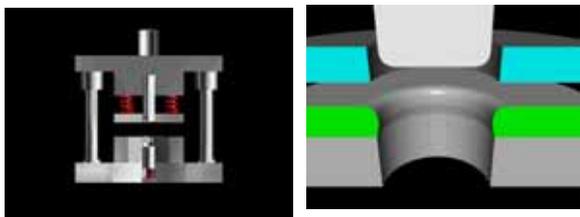
ジュース・ビールなどの金属缶の製造工程における缶の塑性変形



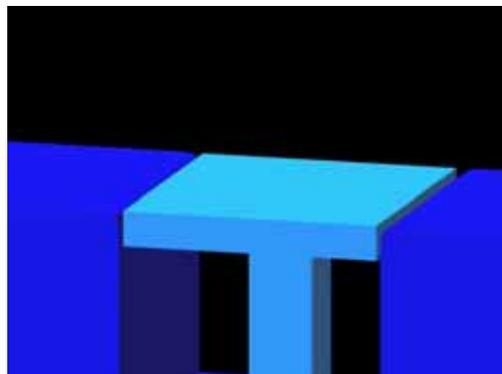
打抜き



深絞り加工



曲げ加工



圧延

押出し

引抜き

鍛造

1146 加工方法	代表的形状	主要な加工法
圧延		圧延機
押出し		押出し機
引抜き		引抜き機
鍛造		鍛冶機

塑性加工: 金属材料を金型で塑性変形させて所定の形状に成形

深絞り

張出し

曲げ

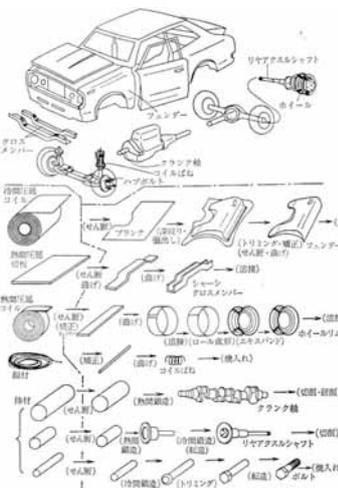
スピニング

せん断

接合

1147 加工方法	代表的形状	主要な加工法
深絞り		深絞り機
張出し		張出し機
曲げ		曲げ機
スピニング		スピニング機
せん断		せん断機
接合		接合機

塑性加工: 金属材料を金型で塑性変形させて所定の形状に成形



塑性加工: 金属材料を金型で塑性変形させて所定の形状に成形

自動車部品の塑性加工

軽量材料の塑性加工技術

— 軽量部品の成形 —

100kg軽量: 1km//燃費向上

平成19年

軽量材料の成形

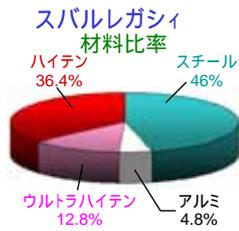
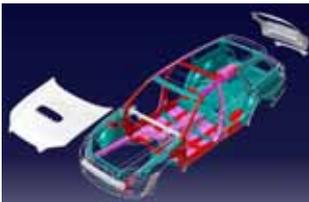
- 超高張力鋼板(7.8)
- アルミニウム(2.7), マグネ(1.8), チタン(4.5)
- 接合

軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形
- テーラードブランク



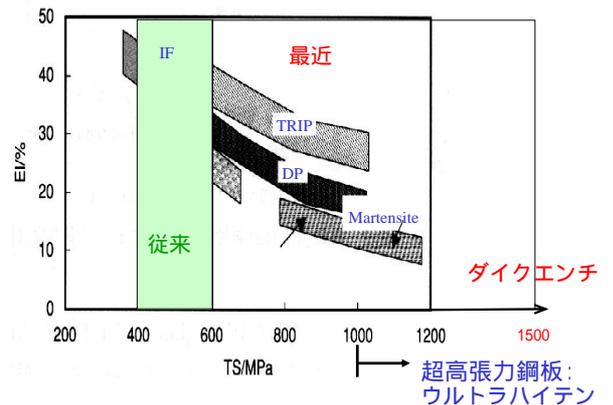
自動車車体への高張力鋼板の適用



トヨタ クラウン, 骨格部材の45%が高張力鋼板



高張力鋼板の強度

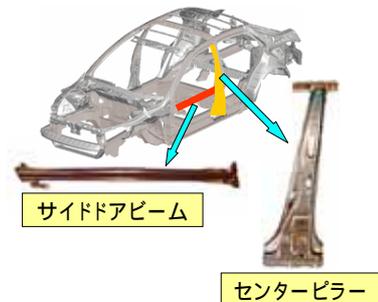


自動車用板材の比較

板材	引張強さ	比重	比強度	コスト(1kg当り)	生産量
ウルトラハイテン	980 ~ 1470MPa	7.8	126 ~ 188MPa	100円程度	鉄: 12億 ton
従来ハイテン	490 ~ 790MPa	7.8	63 ~ 101MPa		
軟鋼板 SPCC	340MPa	7.8	44MPa		
アルミ合金板 A6061(T6処理)	310MPa	2.7	115MPa	500円 ~ 600円	アルミ: 3400万 ton
マグネシウム合金板 AZ31	270MPa	1.8	137MPa	3000円程度	マグネ: 60万 ton

超高張力鋼板の自動車部材への適用

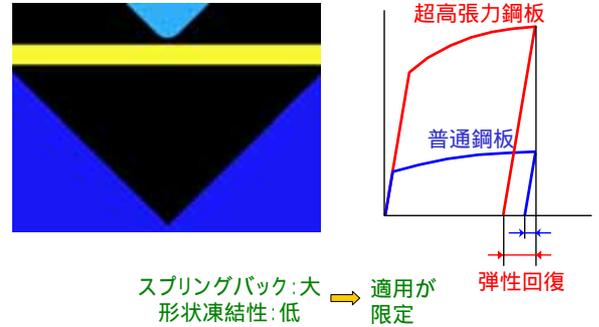
超高張力鋼板: 1GPa以上



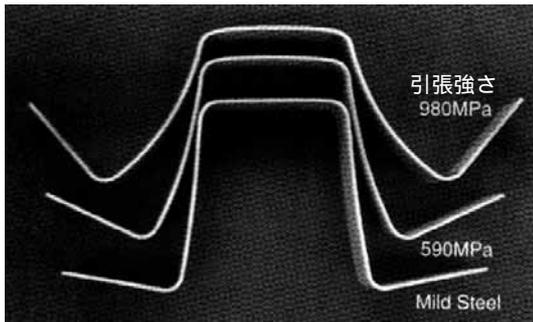
超高張力鋼板のプレス成形

- 決押しによるスプリングバック低減
- 伸びフランジ性の向上
- 通電加熱を用いた温・熱間プレス成形
- 通電急速加熱を用いた管材の熱間歯形成形
- 熱間プレス成形における酸化の抑制
- 温・熱間せん断加工

超高張力鋼板のスプリングバック

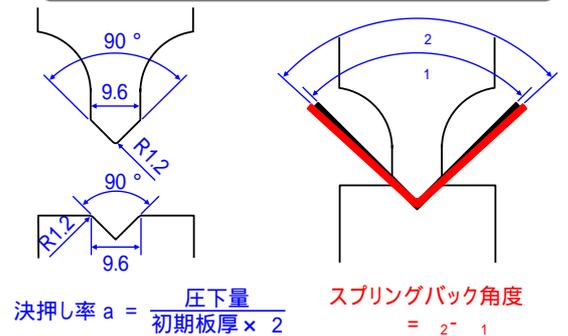


高張力鋼板のハット曲げにおけるスプリングバック



岩谷：プレス技術，42-8(2004)，43

V曲げ加工における金型形状，決押し率・角度の定義



V曲げの変形挙動

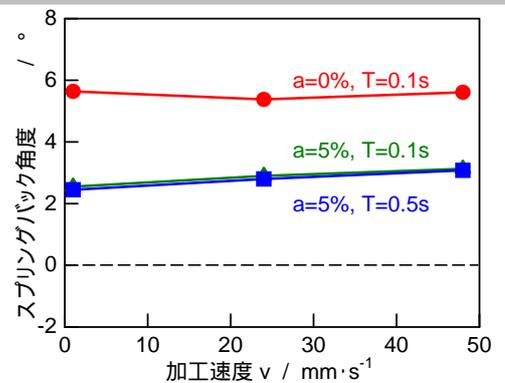


(a) SPCC

(b) SPFC980

設定加工速度: $25 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$

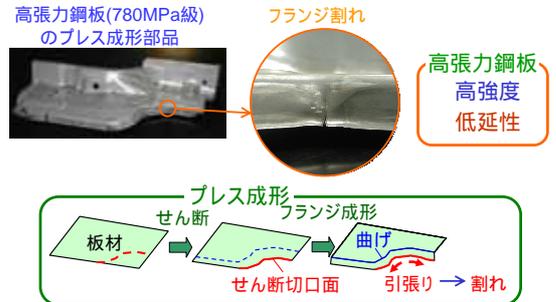
V曲げにおけるスプリングバック角度と加工速度の関係 (SPFC980Y)



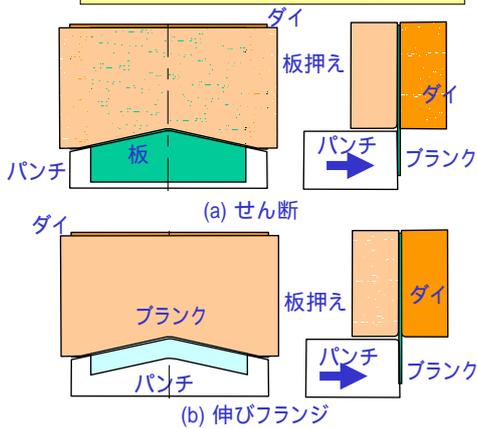
超高張力鋼板のプレス成形

- 決押しによるスプリングバック低減
- 伸びフランジ性の向上
- 通電加熱を用いた温・熱間プレス成形
- 通電急速加熱を用いた管材の熱間歯形成形
- 熱間プレス成形における酸化の抑制
- 温・熱間せん断加工

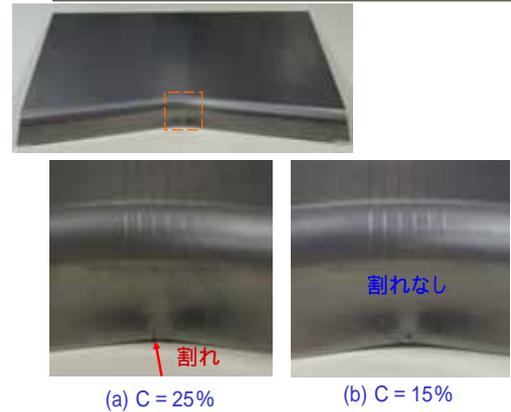
高張力鋼板のプレス成形性及ばすせん断切り口面性状の影響



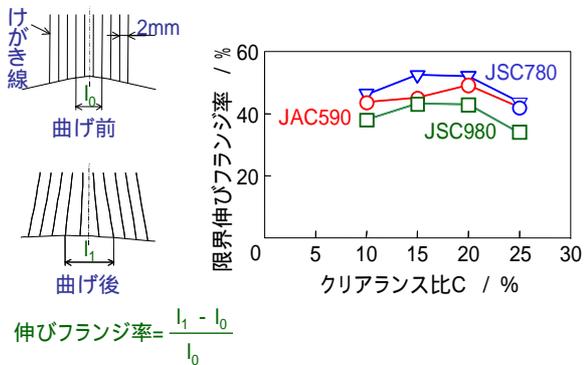
せん断と伸びフランジ成形



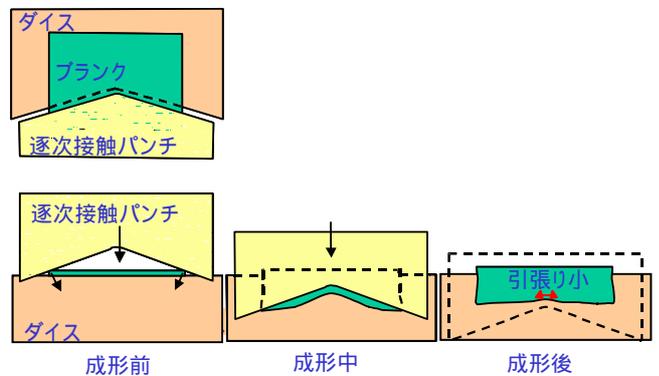
フランジ割れにおよぼすせん断クリアランスの影響 (JSC780, L=17mm)



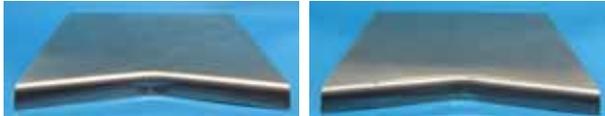
限界伸びフランジ率とクリアランス比の関係



逐次接触パンチによる角部引張り応力の低減



逐次接触パンチによる割れの防止 (980MPa級鋼板)



(a) 平頭パンチ ($\theta = 0^\circ$)



(b) 傾斜パンチ ($\theta = 10^\circ$)

超高張力鋼板のプレス成形

- 決押しによるスプリングバック低減
- 伸びフランジ性の向上
- 通電加熱を用いた温・熱間プレス成形
- 通電急速加熱を用いた管材の熱間歯形成形
- 熱間プレス成形における酸化の抑制
- 温・熱間せん断加工

通電加熱を用いたウルトラハイテンの温・熱間プレス成形



サイドアーム

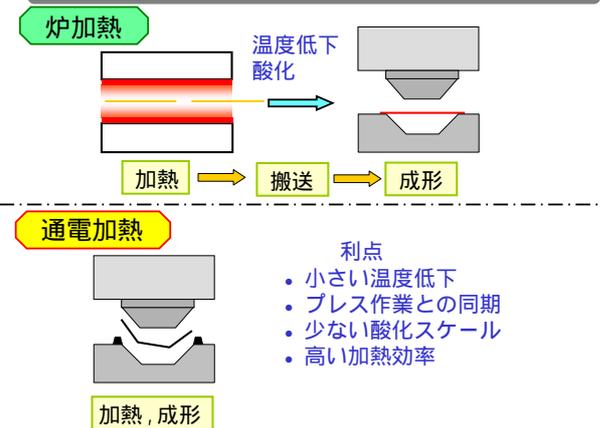
センターピラー

スプリングバック: 大
成形性: 低

熱間プレス成形

変形抵抗: 小
延性: 大

通電型内加熱を用いた温・熱間プレス成形

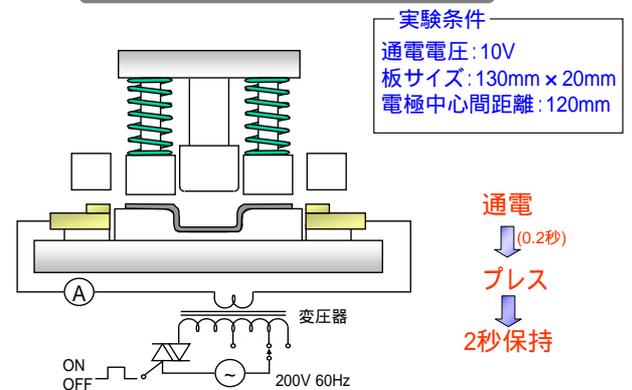


通電加熱の映像 (SPFC980)

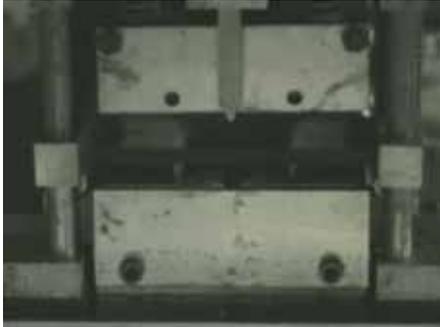


電極

通電加熱ハット曲げ成形装置



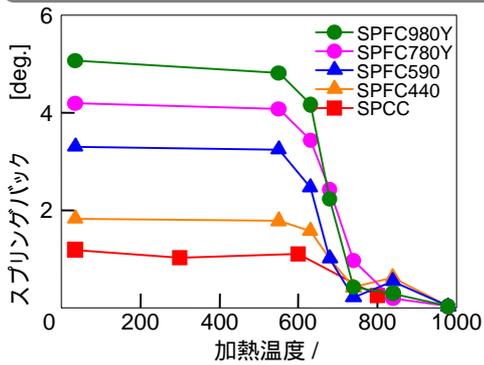
980 °Cにおける通電加熱ハット曲げ成形



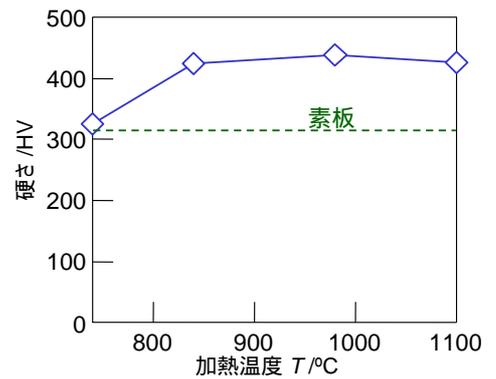
ハット曲げの成形体 (SPFC980Y)



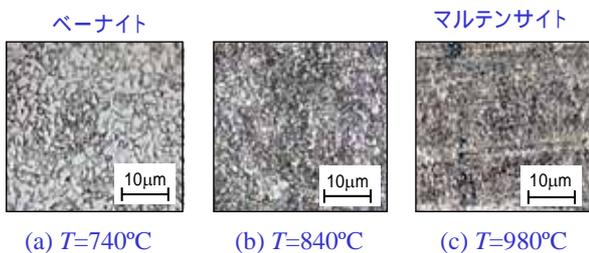
ハット曲げ加工における
スプリングバックと加熱温度の関係



曲げられた板材の硬さと加熱温度の関係



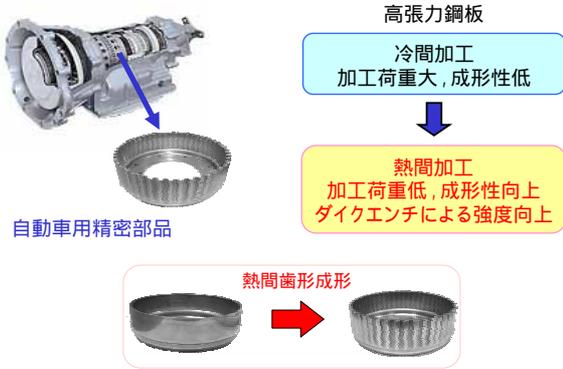
ハット曲げ成形体底面板厚中央部の組織



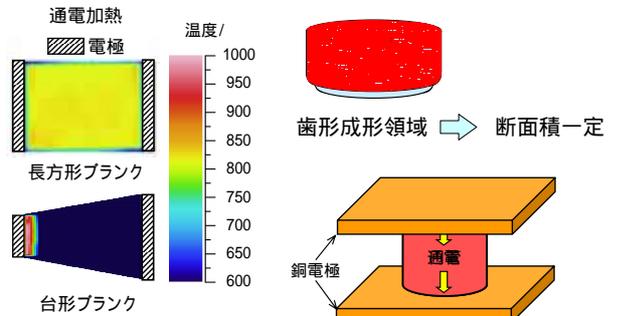
超高張力鋼板のプレス成形

- 決押しによるスプリングバック低減
- 伸びフランジ性の向上
- 通電加熱を用いた温・熱間プレス成形
- 通電急速加熱を用いた管材の熱間歯形成形
- 熱間プレス成形における酸化の抑制
- 温・熱間せん断加工

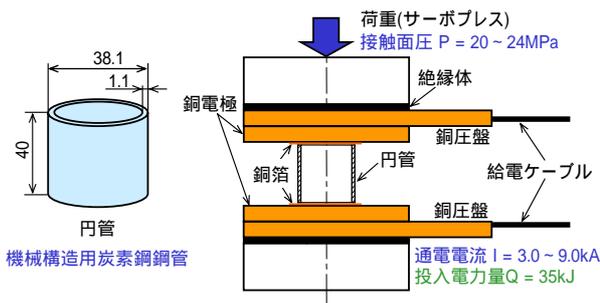
通電急速加熱を用いた管材の熱間歯形成形



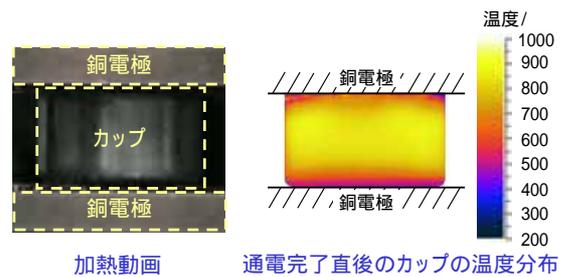
円管端部からの給電による通電加熱



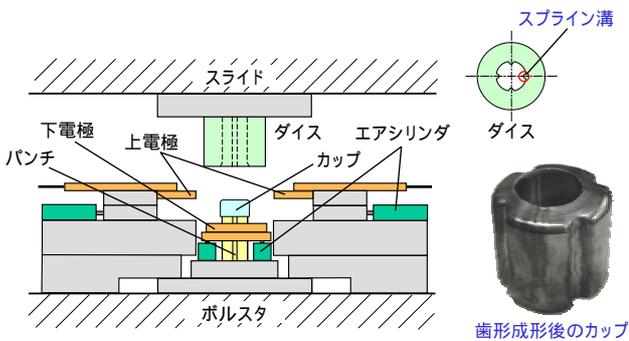
円管の通電加熱実験条件



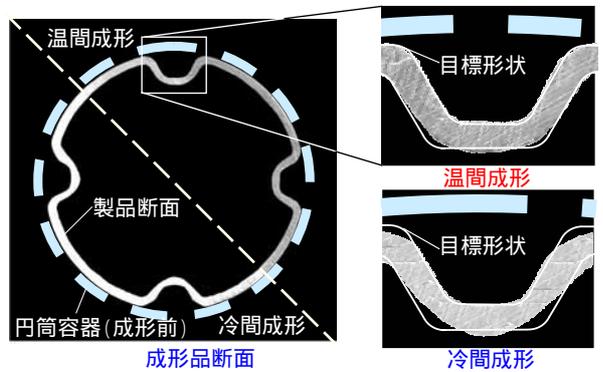
放射状線電極を用いたカップの通電加熱状態 ($I=7.0\text{kA}$)



カップの熱間歯形成形



スプライン成形された歯形ドラムの断面



超高張力鋼板のプレス成形

- 決押しによるスプリングバック低減
- 伸びフランジ性の向上
- 通電加熱を用いた温・熱間プレス成形
- 通電急速加熱を用いた管材の熱間歯形成形
- 熱間プレス成形における酸化の抑制
- 温・熱間せん断加工

加熱のみによる抑制剤評価試験

使用鋼板

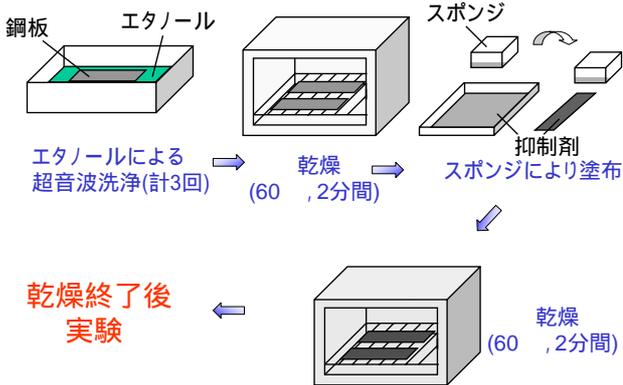
熱間プレス成形用鋼板(スミクエンチ)

C	Si	Mn	P	B
0.21	0.25	1.2	0.015	0.0014

評価した抑制剤

剤種	A	B
防錆元素	K,B,C,Na	K,B,C,Na, P,Ca
タイプ	液化皮膜	液化皮膜

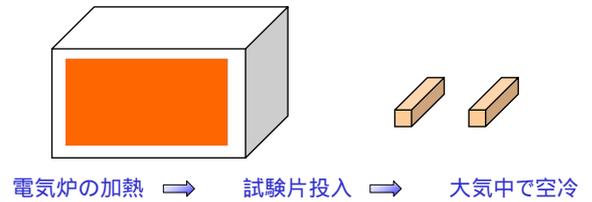
抑制剤塗布方法



抑制剤評価試験条件

加熱温度: 800, 825, 850, 875, 900, 925
試験片: 長さ130mm, 幅20mm, 板厚1.2mm

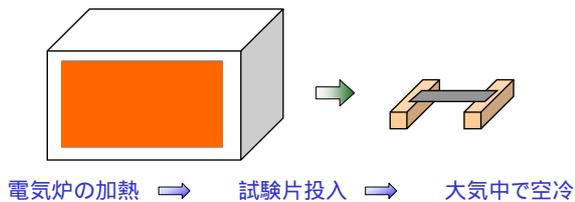
実験手順



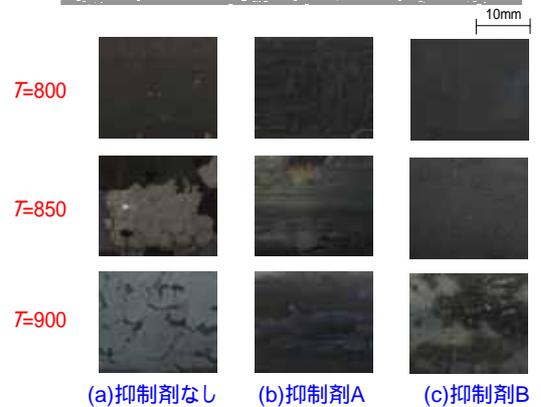
抑制剤評価試験条件

加熱温度: $T=800, 825, 850, 875, 900, 925$
試験片: 長さ130mm, 幅20mm, 板厚1.2mm

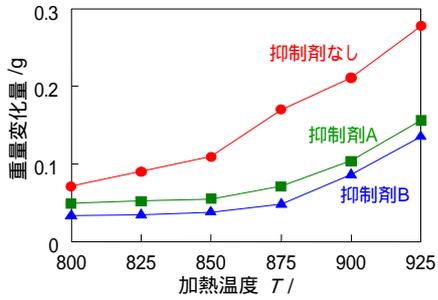
実験手順



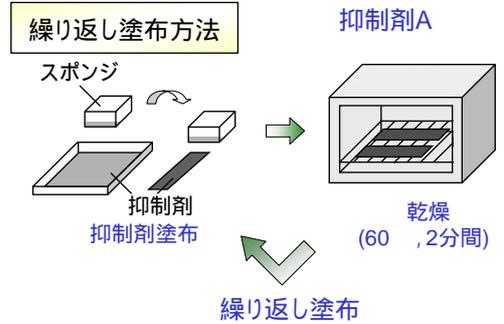
各温度におけるスケール発生状況



加熱後の試験片重量と加熱温度の関係

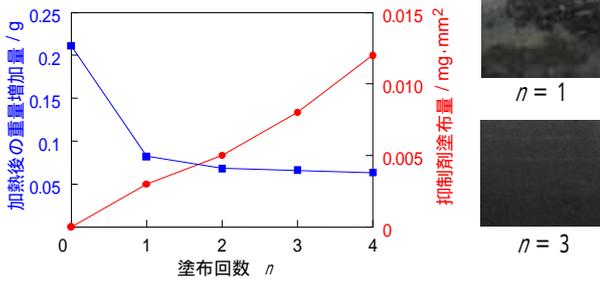


繰り返し塗布による抑制効果の向上



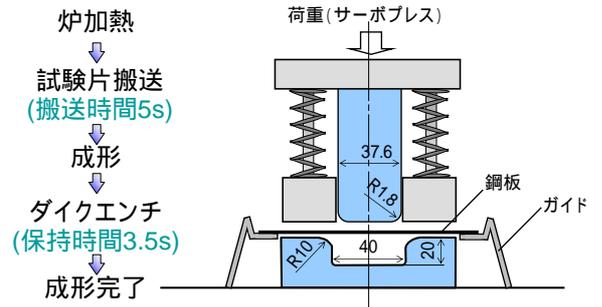
塗布量の増加による抑制効果の向上

T=900



プレコート抑制剤を用いたハット曲げ成形実験条件

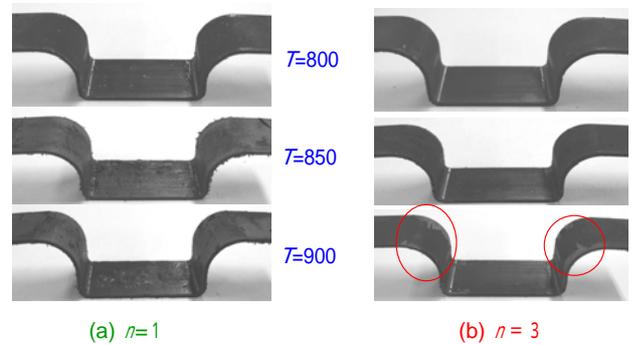
加熱温度: 600, 700, 800, 850, 950, 950
 試験片: 長さ130mm, 幅20mm, 板厚1.2mm



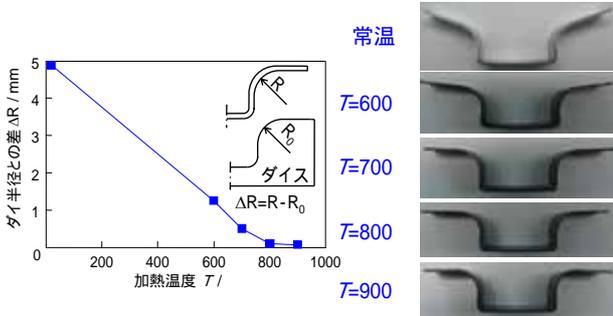
T=950 におけるハット曲げ成形実験



ハット曲げ成形体外観

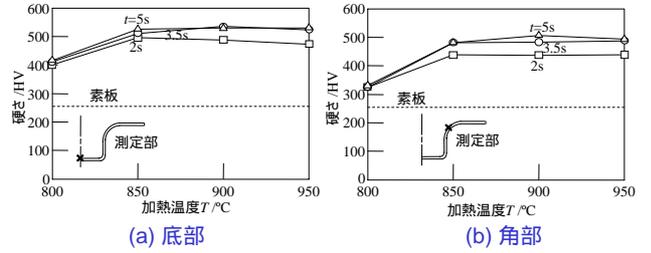


ハット曲げ成形体スプリングバック



加熱温度 $T=700$ 以上ではスプリングバックがほぼ無くなる

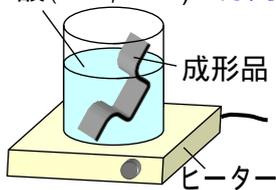
ハット曲げ成形体の硬さ



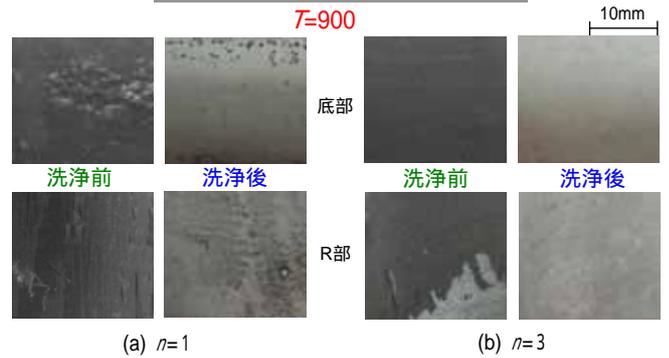
洗浄試験

成形後、鋼板表面に塗布された抑制剤を洗浄する

リン酸 (10%, 70) 2分間浸す



洗浄前後の底部表面写真

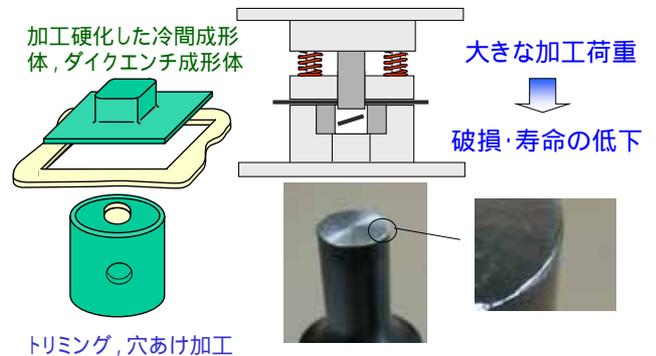


若干の酸化の場合抑制剤成分と一緒に表面膜も除去可能

超高張力鋼板のプレス成形

- 決押しによるスプリングバック低減
- 伸びフランジ性の向上
- 通電加熱を用いた温・熱間プレス成形
- 通電急速加熱を用いた管材の熱間歯形成形
- 熱間プレス成形における酸化の抑制
- 温・熱間せん断加工

超高張力鋼板のせん断加工



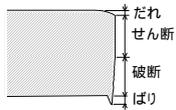
c=5%, v=150mm/sにおける各温度での切口面



(a) 常温 (b) 650 (c) 830 (d) 1070

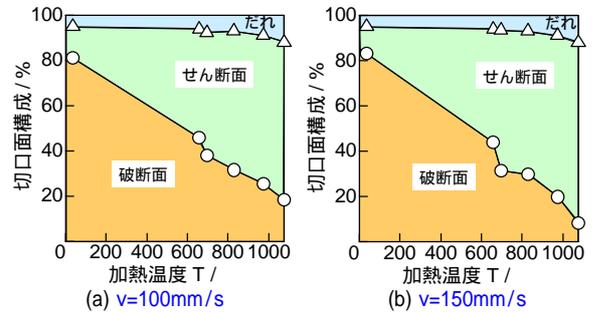


(a) 常温 (b) 650 (c) 830 (d) 1070



加熱温度 高 → せん断面 増

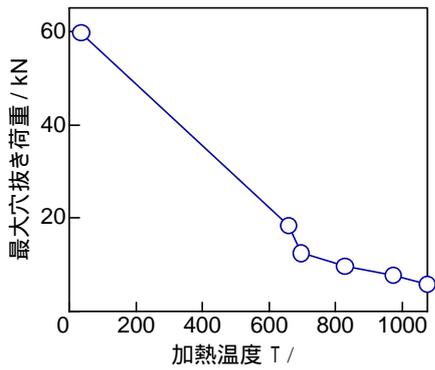
c=5%における切口面構成の変化



(a) v=100mm/s

(b) v=150mm/s

C=5%, V=150mm/sにおける最大穴抜き荷重の変化



温・熱間穴抜き加工における問題点と局部加熱法

高温炉等で全体を加熱する方法

- 1) 加熱効率が低い。
- 2) 形状精度に影響。
- 3) 加熱時間が長い。

せん断領域を局部的に加熱する方法

- 1) 加熱効率が高い。
- 2) コンパクトな装置。
- 3) 酸化が非常に少ない。

接触ピンを用いた局部通電加熱穴抜き加工実験

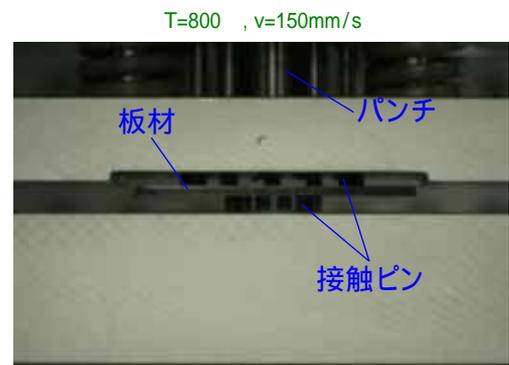
実験条件

加熱温度 T / °C	400 ~ 900
クリアランス c / %	5, 10, 15
穴抜き速度 v / mm·s ⁻¹	150

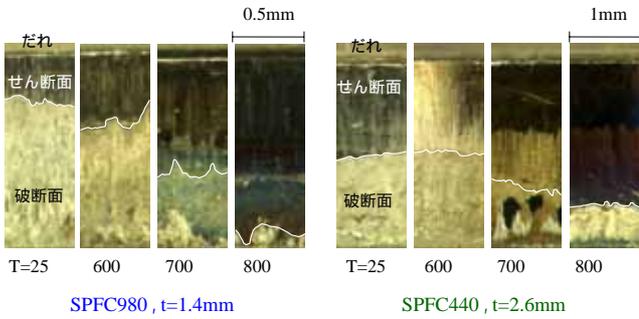
接触ピン径 2.6

[単位:mm] バネ ダイス

接触ピンを用いた局部加熱穴抜き動画



せん断加工後切り口面(穴抜き材)



— 軽量部品の成形 —

100kg軽量: 1km/燃費向上

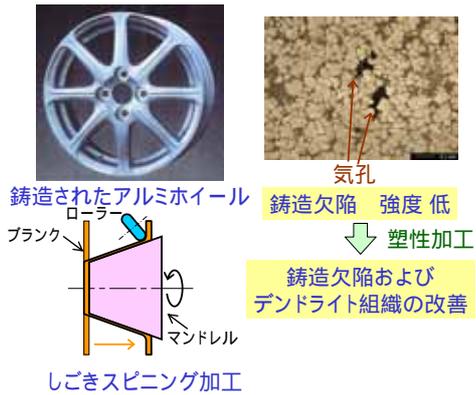
軽量材料の成形

- 超高張力鋼板(7.8)
- アルミニウム(2.7), マグネ(1.8), チタン(4.5)
- 接合

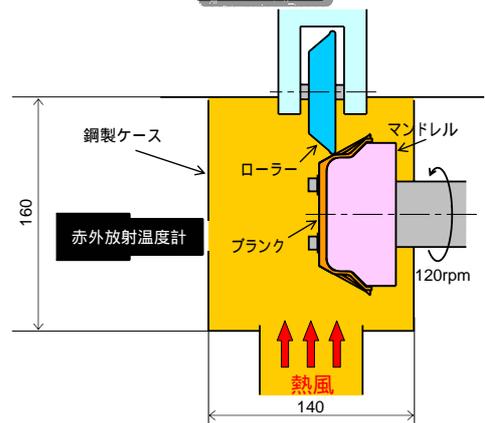
軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形
- テーラードブランク

アルミニウム合金鋳物の熱間しごきスピニング加工



実験方法



熱間しごきスピニング加工の映像

$R=2mm, T=400, R=40\%$



加工温度上昇による加工性向上

$R=2mm, R=40\%$

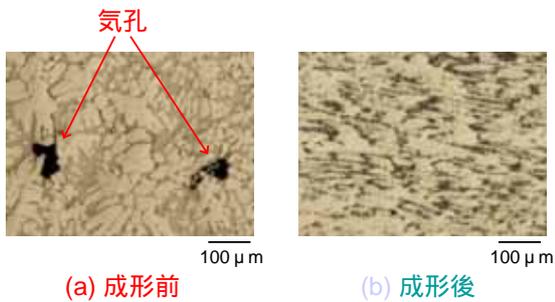


(a) T=350

(b) 拡大図

(c) T=400

しごきによる鑄造欠陥の改善
 $R=2\text{mm}$, $T=400$, $R=40\%$



マグネシウム合金板の冷間深絞り加工

	マグネシウム合金	アルミニウム合金	鋼
比強度 MPa	139	107	70



マグネシウム合金の
 温間プレス成形品

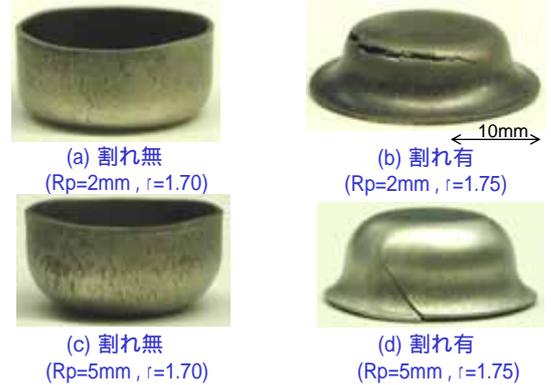
ダイカスト, チクソフォーミング (90%以上)

↓ 生産性向上
 プレス成形
 温間 200 ~ 300 装置複雑
 冷間 常温 成形性低
 ↓
 冷間での成形性向上

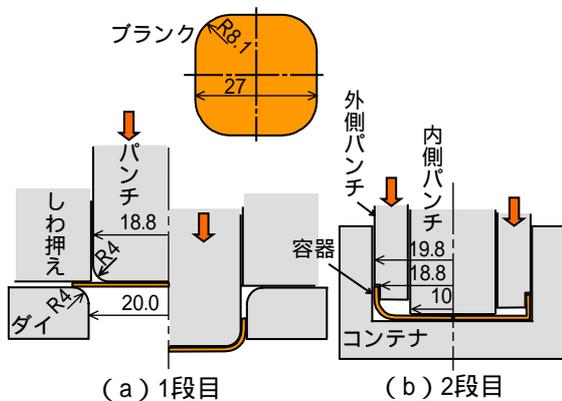
マグネシウム合金板の冷間深絞り加工
 における割れ



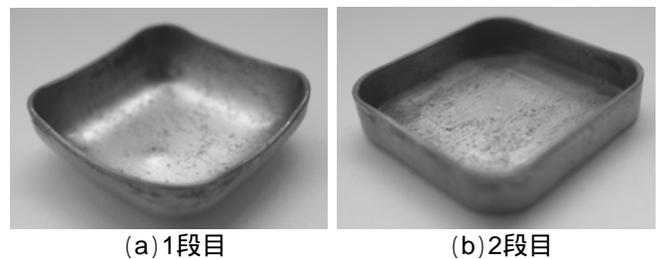
冷間深絞り加工されたマグネシウム合金容器



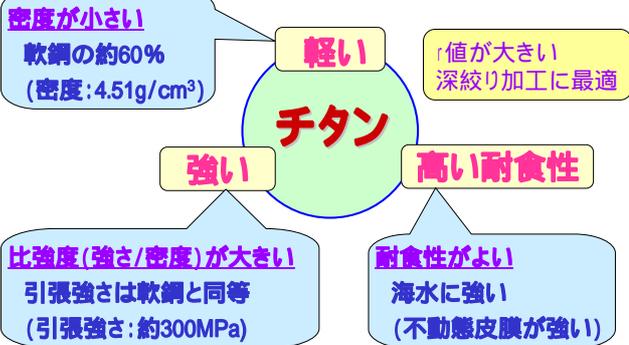
角筒容器の冷間2段成形



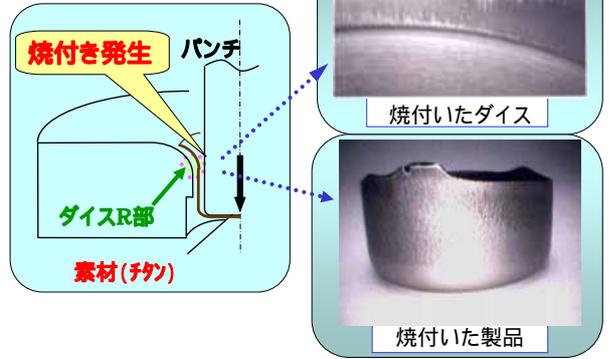
1・2段成形後の角筒容器外観



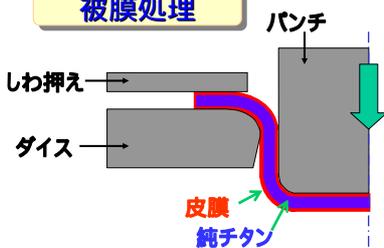
チタン板の多段深絞り加工



純チタン板の多段深絞り加工



被膜処理



皮膜の種類

- (1) 陽極酸化皮膜処理 (Anodic oxidation coating)
- (2) 大気酸化皮膜処理 (Atmospheric oxidation coating)
- (3) 市販材(カラーチタン, 窒化チタン) (Commercial materials: Color titanium, Nitrogen titanium)

陽極酸化皮膜処理と銅合金ダイスによる純チタン容器の成形



深絞り加工された 型チタン合金容器



— 軽量部品の成形 —

100kg軽量: 1km/燃費向上

軽量材料の成形

- 超高張力鋼板(7.8)
- アルミニウム(2.7), マグネ(1.8), チタン(4.5)
- 接合

軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形
- テーラードブランク

アルミニウム板の接合

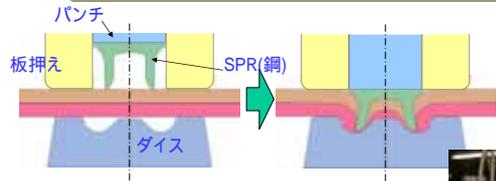


アルミニウム: 溶接性が低い

Audi_A2



セルフピアッシングリベット

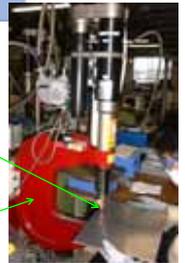


<工法のメリット>

- ・板にSPRを打込み、機械的に結合
- ・穴あけ不要
- ・溶接の難しい材料の締結
- ・異種材料の締結

接合部

Cフレーム



アルミニウム板と高張力鋼板の接合

高張力鋼板

- ・高強度, 高硬度
- ・延性小

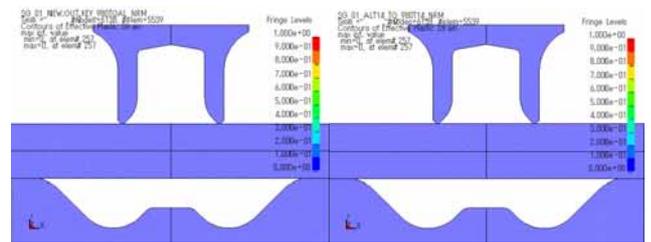
リベット硬度に近い

多種の不良が想定



ダイ形状の最適化 (ダイ径, 深さ)

シミュレーションによる打ち込み



(a) 上板 SPFC980 t1.4, 下板 A5052 t1.5

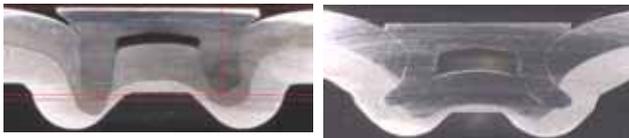
(b) 上板 A5052 t1.5, 下板 SPFC980 t1.4

テーパダイを使用した実験断面

(上板: SPFC980, t1.4, 下板: A5052, t1.5)

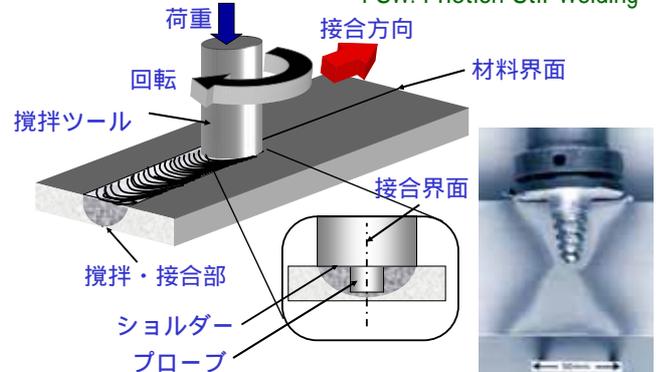
曲面ダイ

テーパダイ形状



摩擦攪拌接合 (FSW)

FSW: Friction Stir Welding



摩擦攪拌接合の特徴

利点

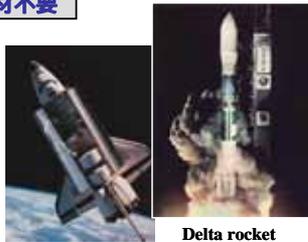
- 非溶融 溶接変形少ない 長尺もの
- 攪拌微細組織化 強度低下少ない
- 機械攪拌 シールドガス、溶加材不要

欠点

- 材料固定用ジグが必要
- 回転ピンの穴が残る
- 材料に剛性が必要



700系新幹線(のぞみ)



Delta rocket

— 軽量部品の成形 —

100kg軽量: 1km/燃費向上

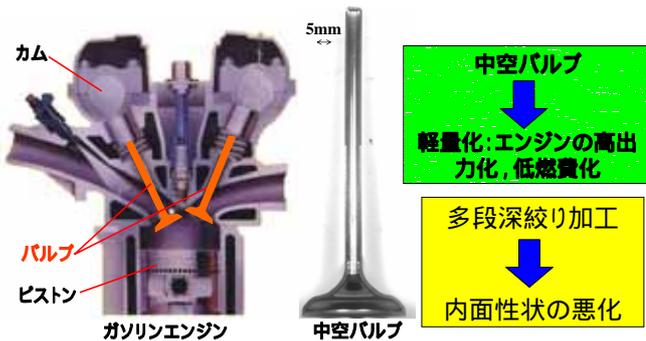
軽量材料の成形

- 超高張力鋼板(7.8)
- アルミニウム(2.7), マグネ(1.8), チタン(4.5)
- 接合

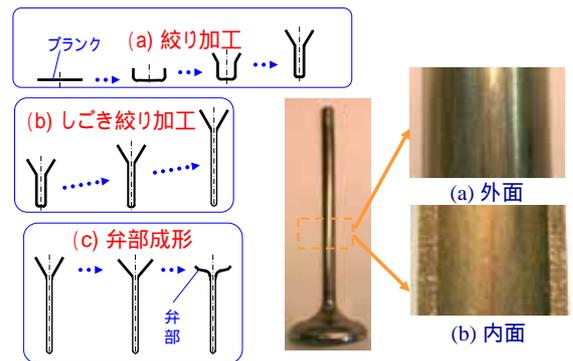
軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形
- テーラードブランク

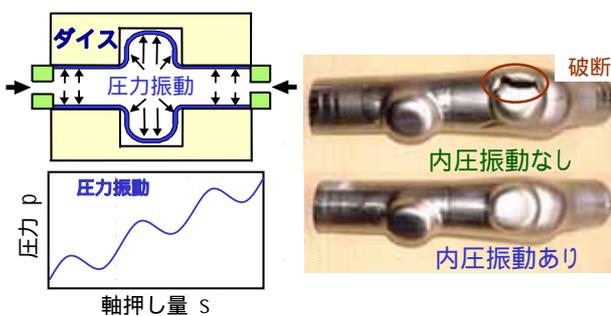
自動車用中空エンジン弁のプレス成形



プレス成形法と内面粗さ



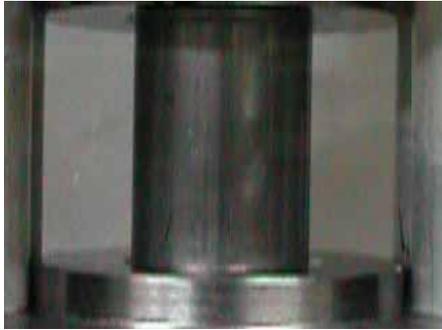
管材の内圧振動ハイドロフォーミング



一定圧力におけるハイドロフォーミング



内圧振動ハイドロフォーミング



内圧振動より得られた台形の張出し

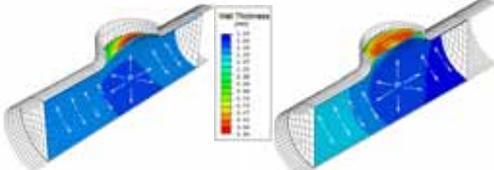
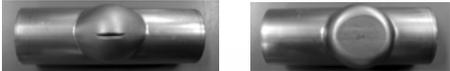
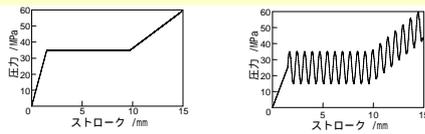


(a) 内圧振動
 $p_0 = 17.6 \text{ MPa}$
 $\Delta p = 3 \text{ MPa}$
 $= 0.66 \text{ c/mm}$

(b) 一定圧力
 $p_0 = 20.5 \text{ MPa}$

(c) 一定圧力
 $p_0 = 17.5 \text{ MPa}$

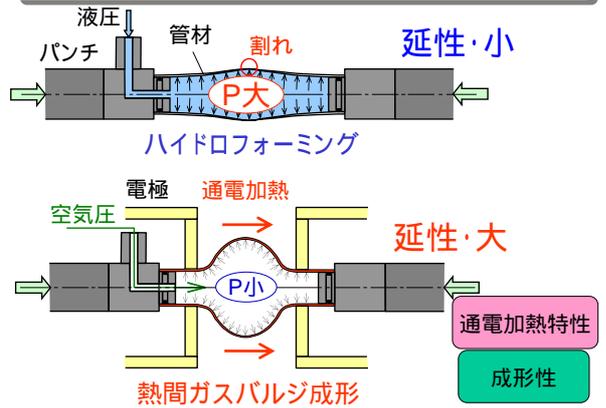
内圧振動ハイドロフォーミング



(a) 内圧振動なし

(b) 内圧振動あり

ハイドロフォーミングと熱間ガスバルジ成形



熱間ガスバルジ成形

アルミニウム合金管A6063-T5



熱間ガスバルジとハイドロフォーミングの張出し性の比較



リングなし $r=125\%$ リングあり 132%
 $v=25 / \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}, s=30 \text{ mm}$ $40 / \text{mm} \cdot \text{s}^{-1}, 36 \text{ mm}$

熱間ガスバルジ



$s=0 \text{ mm}, r=10.2\%$ $6.1 \text{ mm}, 20.5\%$ $7.2 \text{ mm}, 9.7\%$

ハイドロフォーミング

— 軽量部品の成形 —

100kg軽量: 1km/燃費向上

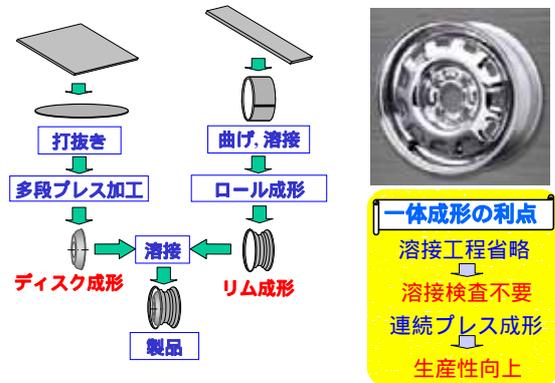
軽量材料の成形

- 超高張力鋼板(7.8)
- アルミニウム(2.7), マグネ(1.8), チタン(4.5)
- 接合

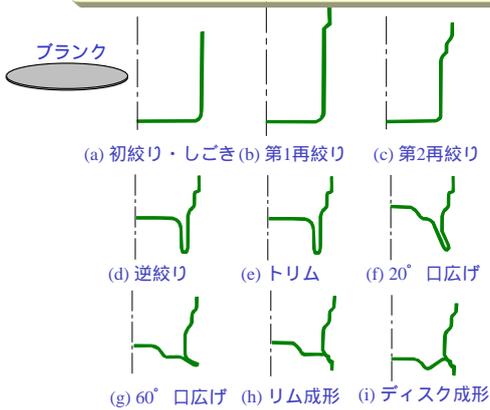
軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形
- テーラードブランク

乗用車用ホイールの一体化成形



乗用車用ホイールの一体化成形法



実験による成形結果



一体プレス成形ホイール



— 軽量部品の成形 —

100kg軽量: 1km/燃費向上

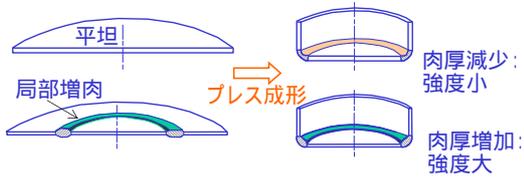
軽量材料の成形

- 超高張力鋼板(7.8)
- アルミニウム(2.7), マグネ(1.8), チタン(4.5)
- 接合

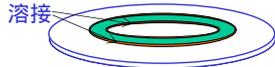
軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形
- テーラードブランク

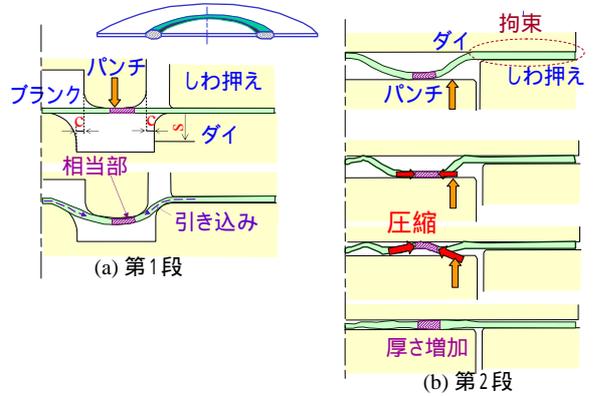
局部増肉テーラードblank



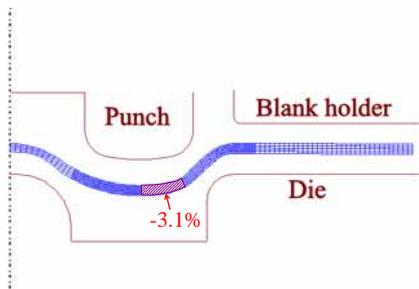
溶接テーラードblank: 大きな溶接と材料損失



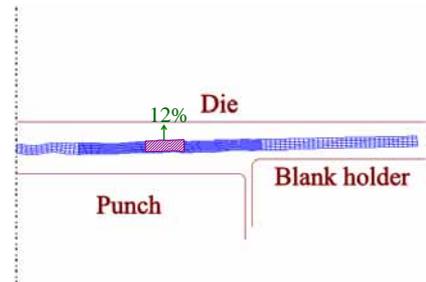
局部増肉テーラードblankの2段成形法



第1段目における変形状



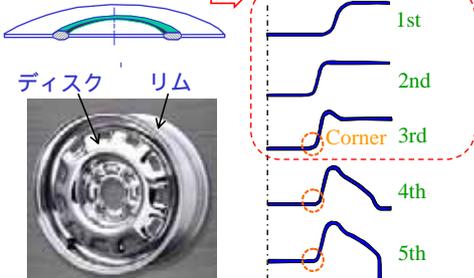
第2段目における変形状



ホイールディスクの多段プレス成形

ホイール強度は角部肉厚に大きく影響される

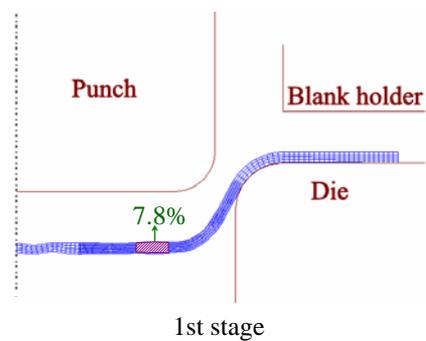
テーラードblank



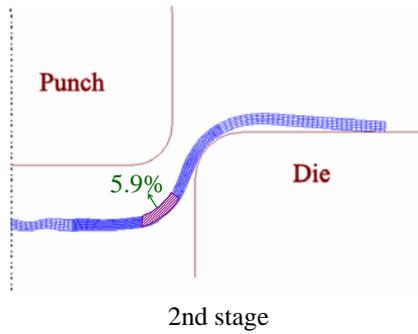
スチールホイール

多段プレス成形

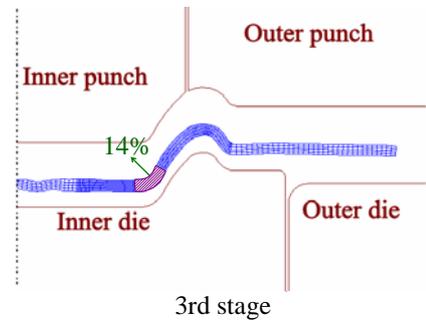
第1段目における変形状



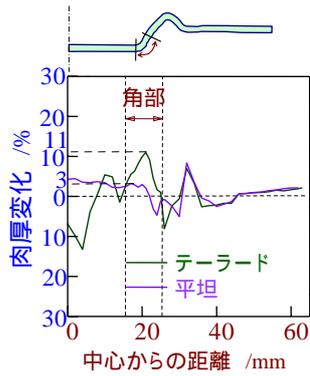
第2段階における変形形状



第3段階における変形形状



テーラードblankと平坦blankの成形品の肉厚分布の比較



— 軽量部品の成形 —

100kg軽量: 1km//燃費向上

軽量材料の成形

- 超高張力鋼板(7.8)
- アルミニウム(2.7), マグネ(1.8), チタン(4.5)
- 接合

軽量化部品の成形

- 中空部品
- 一体化成形
- テーラードblank

サーボプレスの利用技術

サーボプレス

機械式サーボプレス
ACサーボモーター: 早い

油圧式サーボプレス
油圧ポンプ: 遅い

直接駆動タイプ

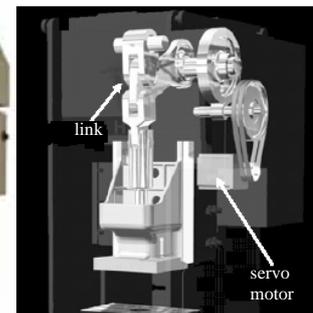
コマツ, 非常に高価
最大荷重がどのストローク



メカニカルリンク・トルタイプ

コマツ

汎用モーター: 下死点付近だけ高荷重
低価格



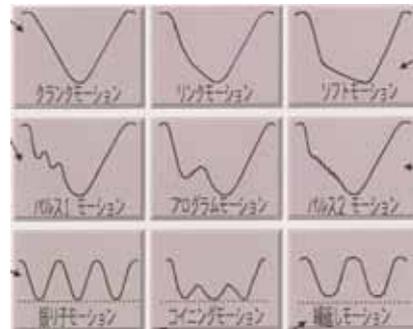
クランク式

アマダ, アイダ

高トルクモーター, 比較的 low 価格
振動モーション



クランク式サーボプレスのモーション



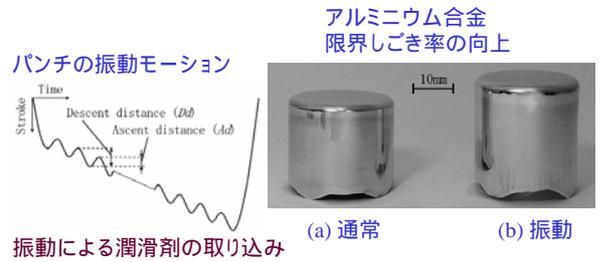
Amada SDE



サーボプレス適用

- 成形性
- 精度
- 生産性
- デジタル生産

振動しごき加工: 摩擦の低下



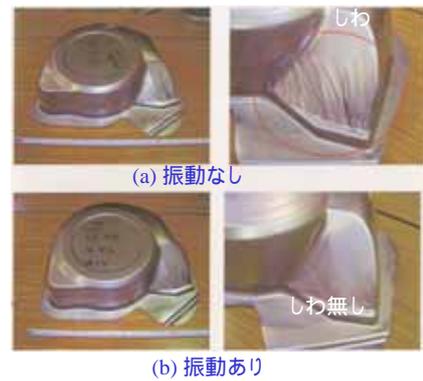
日本工大 古閑

振動プレス成形: 摩擦の低減

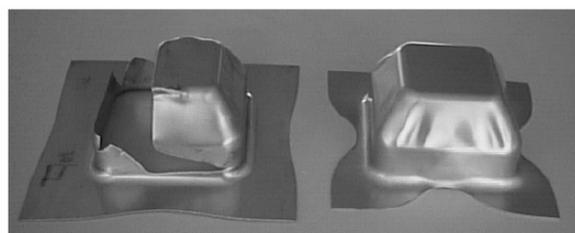


JFE

振動プレス成形: しわの消去

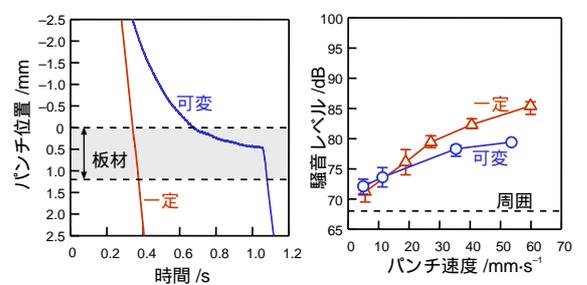


サーボダイクッション: しわ押え力の制御



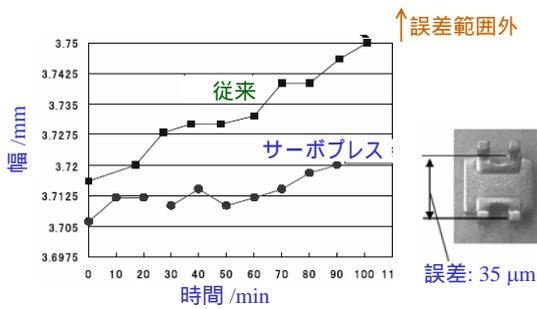
(a) 通常のダイクッション (b) サーボダイクッション

せん断加工: 騒音低減

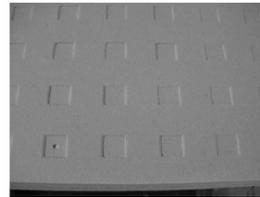


大阪大学 小坂田, 大津

精度：下死点位置の調節



精度：スライドモーションの制御

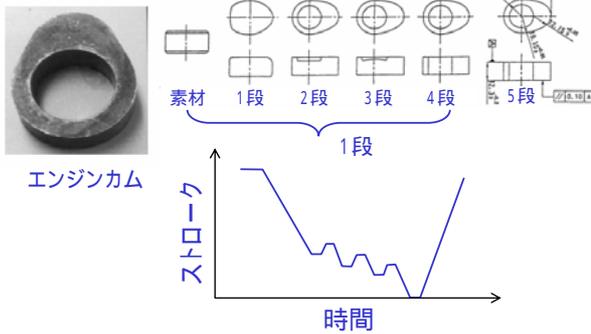


(a) エンボス加工:
下死点付近で減速



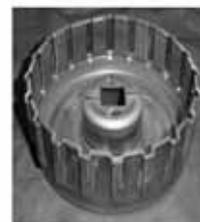
(b) ヒートシンク:
下死点位置の制御

生産性：加工段数の低減

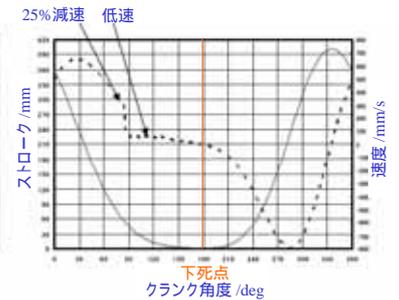


生産性：加工速度の制御

焼き付き防止: 温度の低減



歯形ドラムの板鍛造



デジタル生産: トヨタ自動車

サーボプレス+ロボット
どこの場所でも同じ製品の生産



サーボプレスの適用

- 成形性
- 精度
- 生産性
- デジタル生産

塑性加工の
有限要素シミュレーション
ものづくりプロセスのCAE

— 有限要素シミュレーション —

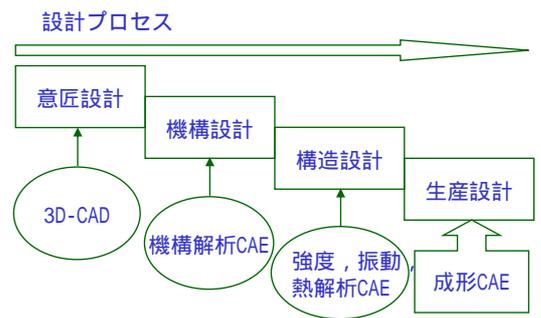
- 全般
- 板成形
- パルク加工
- 粉末加工

CADとCAE

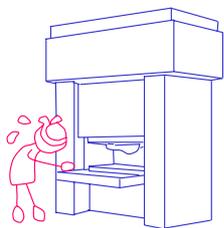
CAD
(Computer Aided Design)
図面作成, 図形処理

CAE
(Computer Aided Engineering)
計算機シミュレーション
有限要素法, 差分法, 境界要素法

設計プロセスとCAE



計算機支援技術



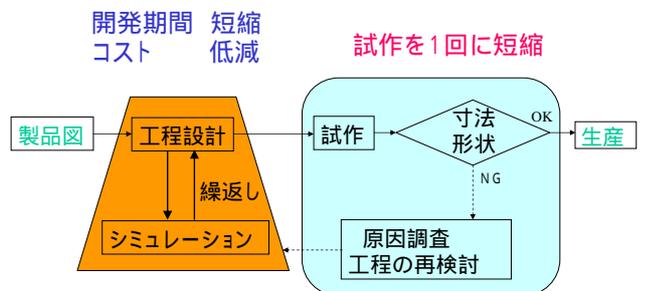
(a) 試行錯誤実験

早く, 安く



(b) コンピュータシミュレーション

シミュレーションを用いた工程設計



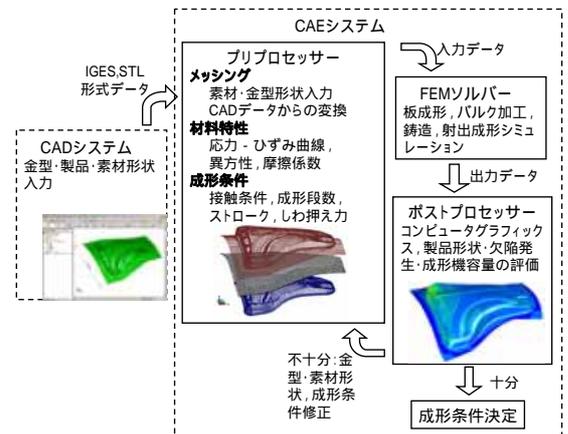
- 得たい情報
 - 塑性変形, 温度分布,
 - 工具の変形, 欠陥予測,
 - 材料組織

塑性加工用市販ソフト

- 統合システム
 - 塑性変形, 工具の弾性変形, 温度
- 3次元解析
- プリ・ポスト処理
- 高価, 信頼性

塑性加工用市販ソフト

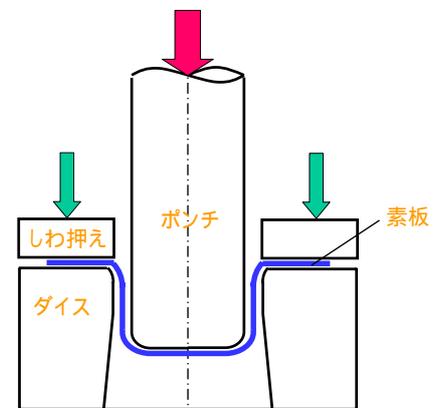
- 動的陽解法: LS-DYNA, JSTAMP, PAM-STAMP, OPTRIS, RADIOSS
- 静的陰解法: JOH/NIKE, MARK
- 静的陽解法: ASTOM3D
- 1ステップ法: FAST_FORM3D, HyperForm, Auto Form



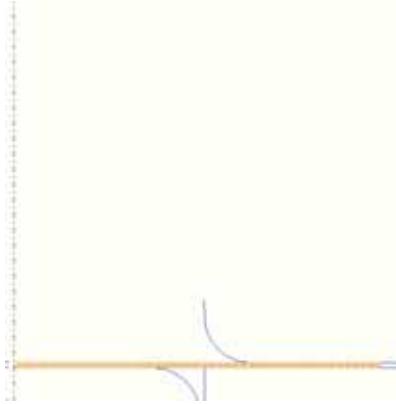
有限要素シミュレーション

- 全般
- 板成形
- バルク加工
- 粉末加工

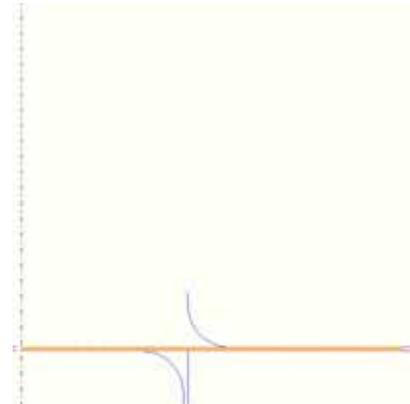
円筒の深絞り加工



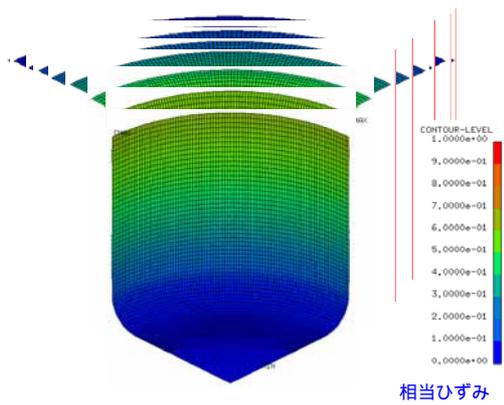
円筒深絞り加工



円筒深絞り加工



深絞り加工の3次元シミュレーション



しわ押えなし再絞り加工のしわ解析



しわ押えなし再絞り加工のしわ

ダイス形状の標準化

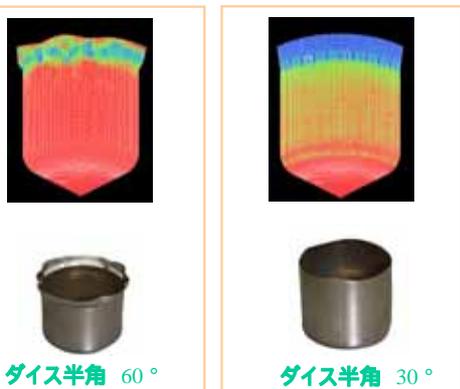
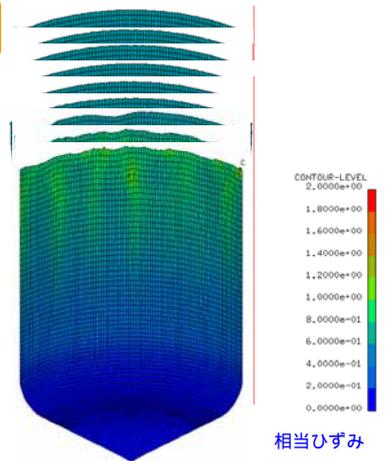
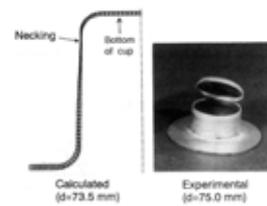


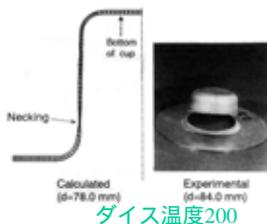
図 深絞り加工におけるしわの発生



ダイス温度100

マルテンサイト変態を考慮したステンレス鋼板の深絞り加工のシミュレーション

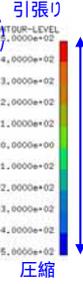
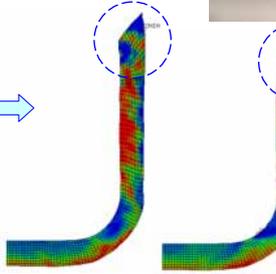
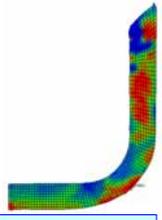
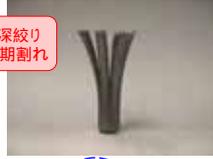
変形・温度・組織変化連成



ダイス温度200

ステンレス深絞り加工品の
残留応力分布(デンスー)

ステンレス深絞り
加工品の時期割れ



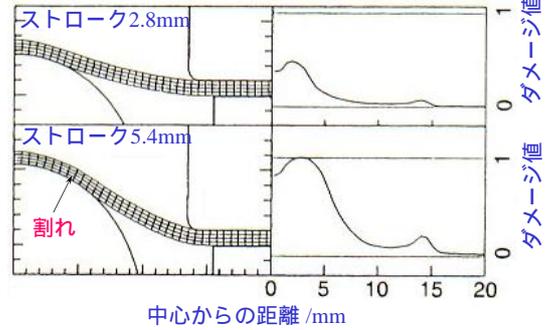
時期割れ防止に活用

端面残しなし

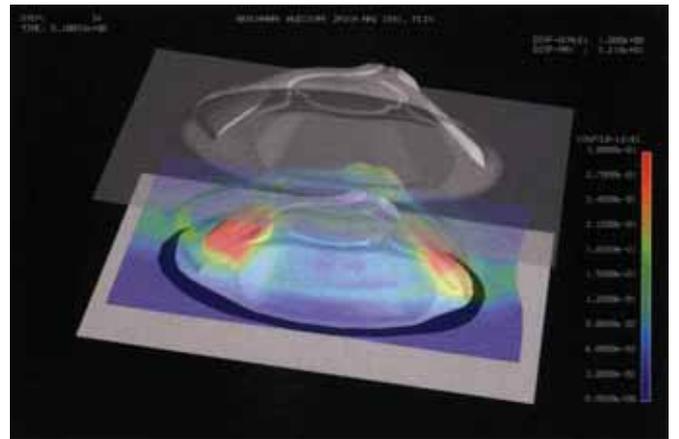
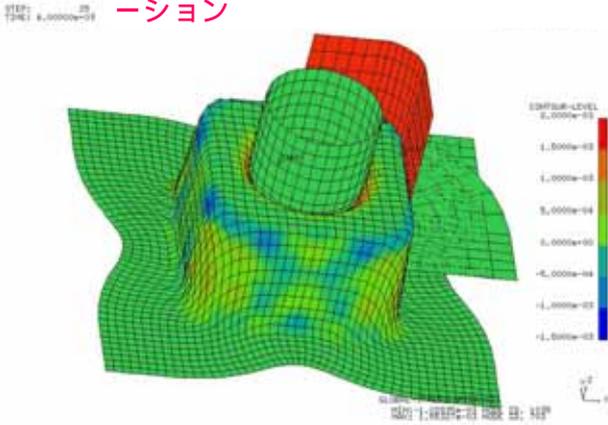
端面残しあり

3工程(絞りしごき加工)

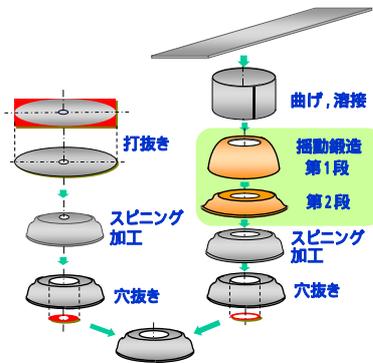
アルミニウム合金板の張出し加工における変形状とダメージ値分布



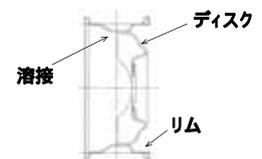
LS-DYNAによる深絞り加工のシミュレーション



自動車用ホイールの成形



しごき絞り成形による乗用車用ホイール
ディスクのフランジ部の肉厚減少



(a) 外観

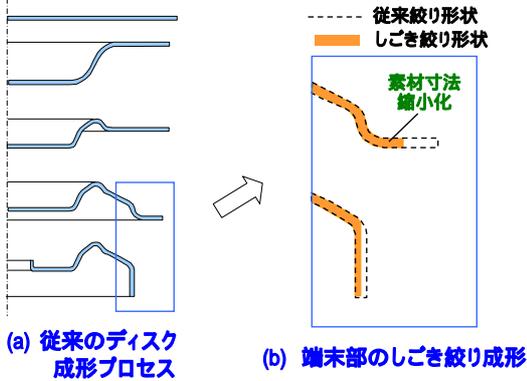
(b) 断面図

軽量化ニーズ

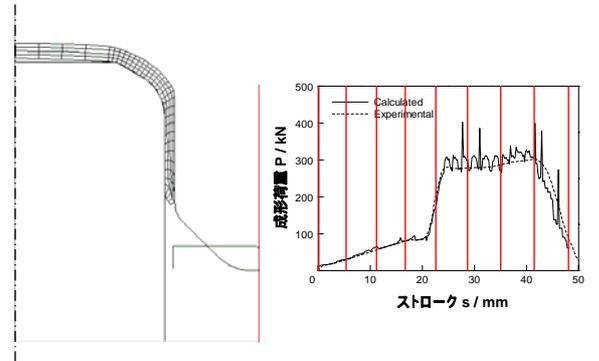
強度分布に対応した肉厚分布

ディスク絞り端末部の薄肉化

ディスクのしごき絞り成形



ディスクのしごき絞り成形



突機ディスク成形の絞りしごき加工

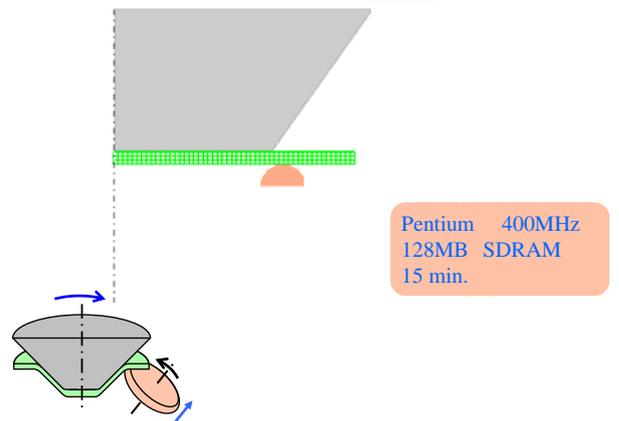
シミュレーション結果

ダイとの接触面圧、しごき率、表面仕上げ状態

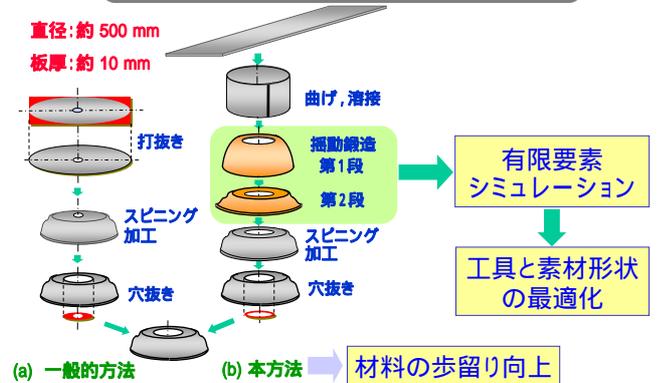
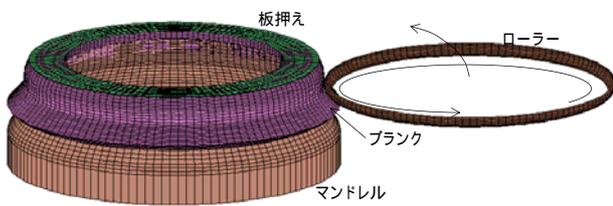


しごき率 = 40%
 ↓
 約500g軽量化(約8%)

しごきスピニング

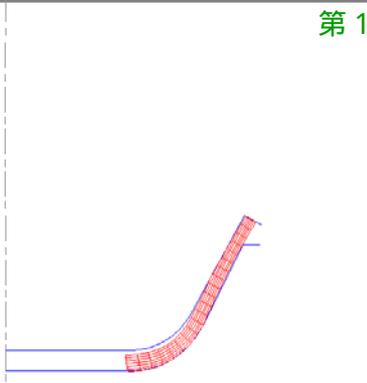


大型ホイールのディスク成形における近似3次元シミュレーション



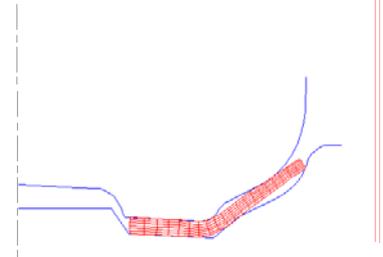
ディスク成形における有限要素シミュレーション

第1段

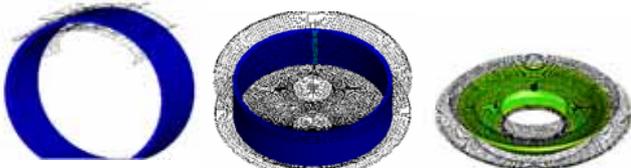


ディスク成形における有限要素シミュレーション

第2段



ディスク成形の3次元シミュレーション



相当ひずみ

相当ひずみ

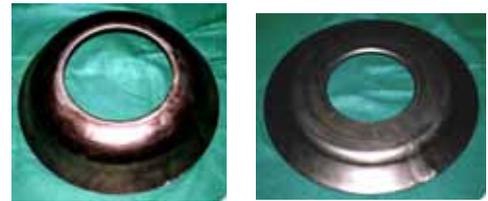
最大主応力

(a)先曲げ、EX成形

(b) 第1段(プレス)

(c) 第2段(揺動)

シミュレーションで得られた最適条件で成形したディスク



(a) 第1工程

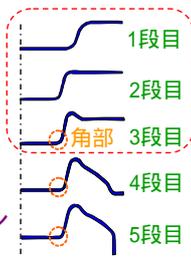
(b) 第2工程

フランジ付き多段絞り容器角部の増肉成形

角部の肉厚は製品強度に大きく影響



スチールホイール

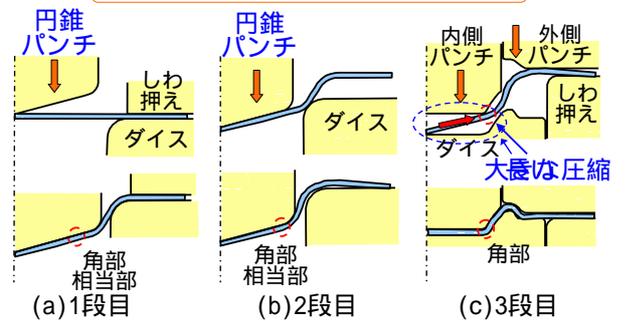


多段プレス成形

角部の肉厚は3段目で決定

円錐パンチによる増肉成形

円錐パンチによる増肉成形法



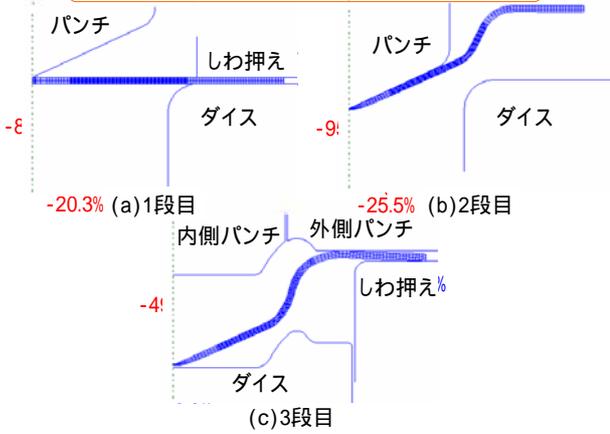
(a)1段目

(b)2段目

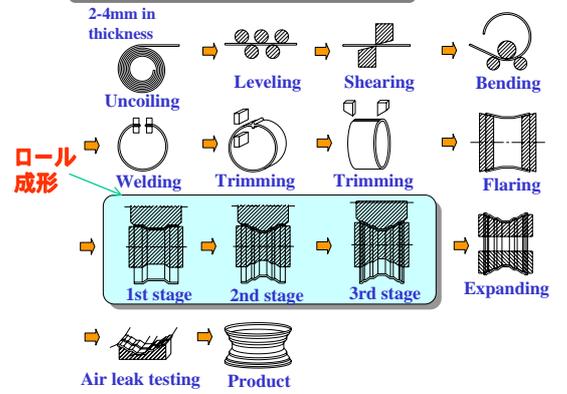
(c)3段目

最適な加工条件を求める
円錐パンチ角度、絞り体積

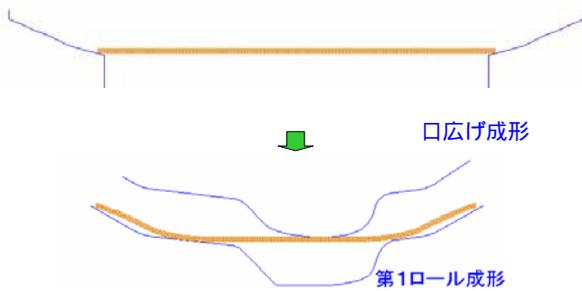
変形挙動($\theta = 25^\circ$, $V = 7800 \text{mm}^3$)



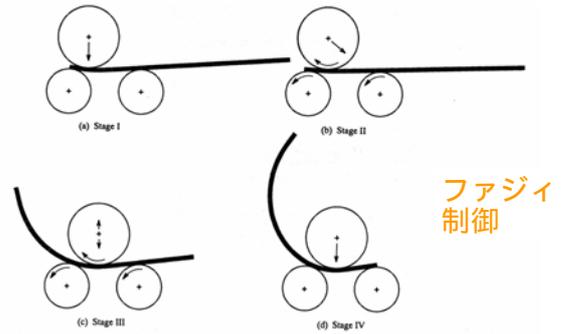
リムの成形プロセス



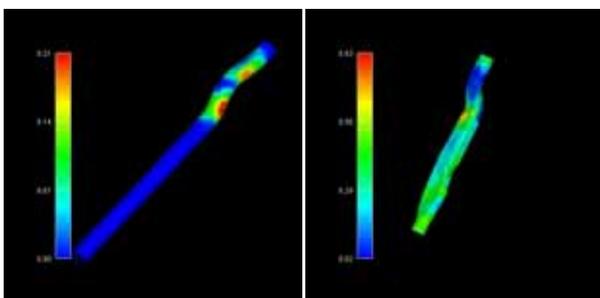
自動車用スチールリム成形のシミュレーションによる変形挙動



3本ロール曲げ加工の制御FEMシミュレーション



曲げ加工とハイドロフォーミング



— 有限要素シミュレーション —

- 全般
- 板成形
- バルク加工
- 粉末加工

ヘディング加工における塑性座屈

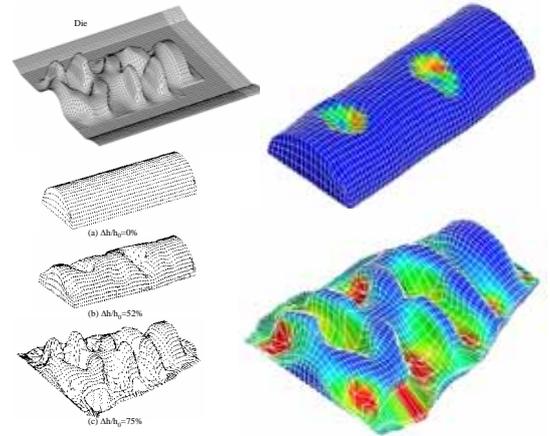
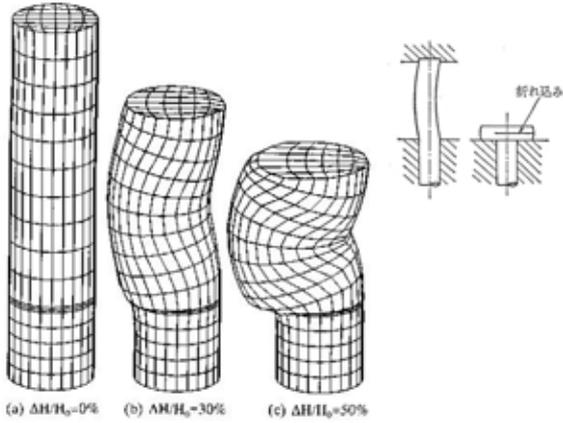


図 クランクシャフトの3次元鍛造



図 多段押し出し加工におけるシェブロンクラック

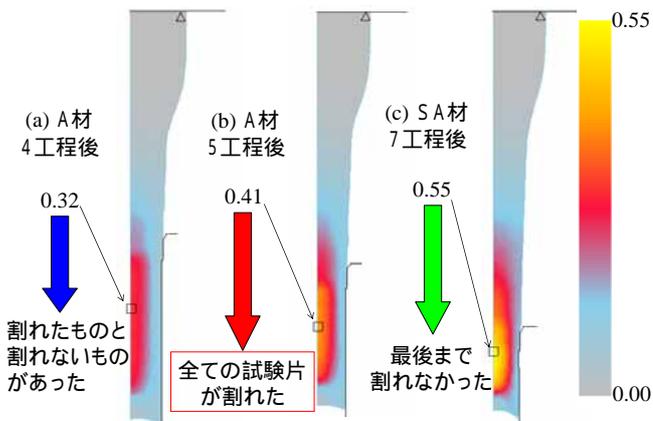
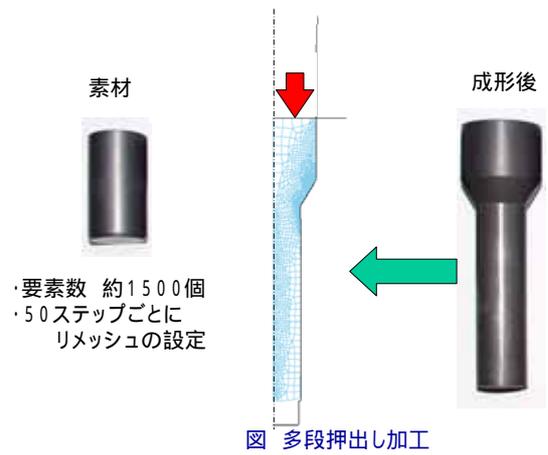
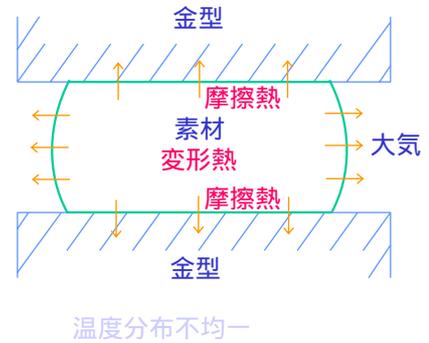
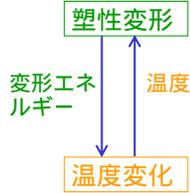
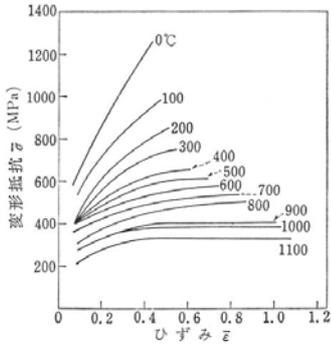


図 シェブロンクラックに対するダメージ値の分布

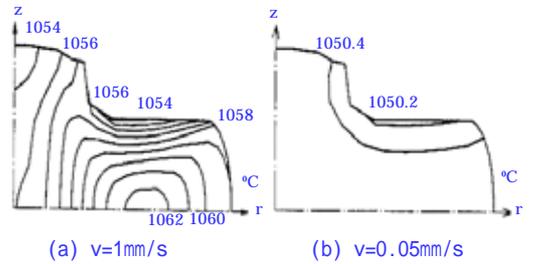
高温加工における熱発生と熱移動



ステンレス鋼の変形抵抗曲線



ニッケル基合金の超塑性鍛造のシミュレーションにおける温度分布



ヘディング加工における温度と残留応力



(a) 温度分布



(b) 除荷時の残留応力分布

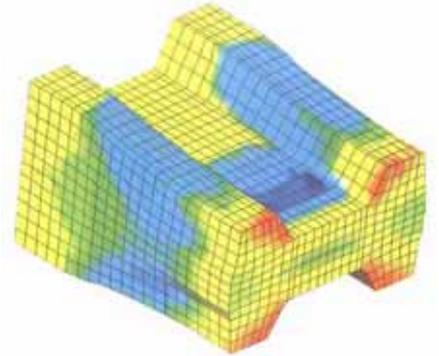
変形・温度・
温度降下による
弾性回復



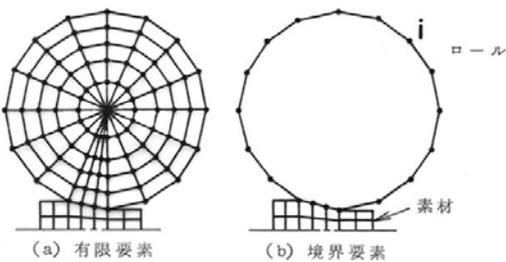
(c) 常温における残留応力分布

H形鋼の3次元孔型圧延

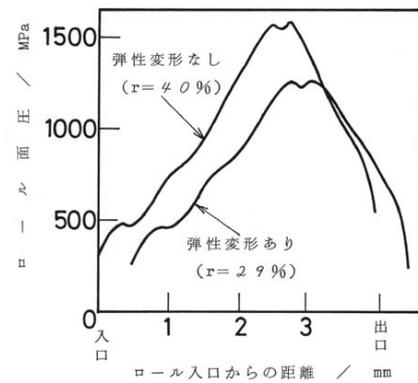
3次元変形
の取扱い



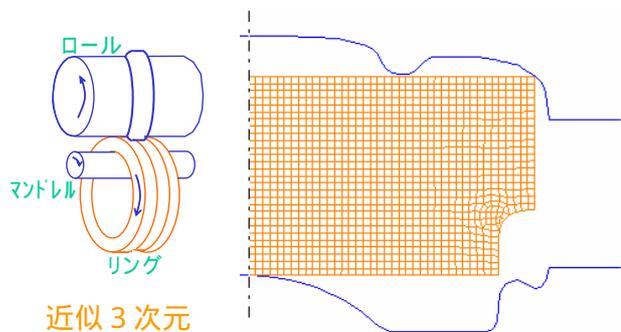
圧延におけるロールの弾性変形



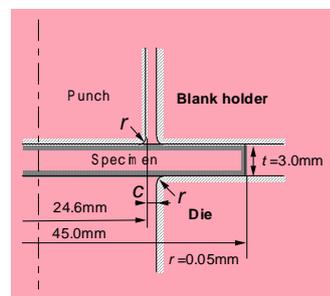
平面ひずみ圧延におけるロール面圧分布



リングローリング加工



せん断加工のシミュレーション(名大)



亀裂の進展を考慮したせん断加工シミュレーション



有限要素シミュレーション

- 全般
- 板成形
- バルク加工
- 粉末加工

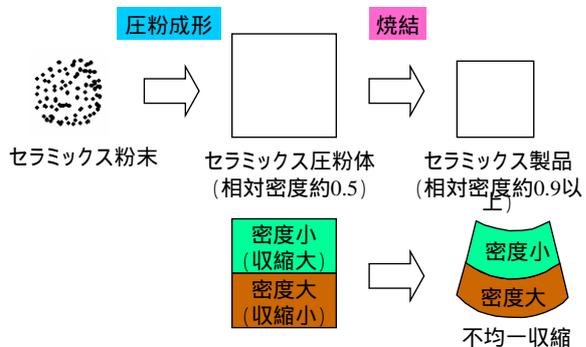
粉末成形と焼結のコンピュータシミュレーション

豊橋技術科学大学
森謙一郎

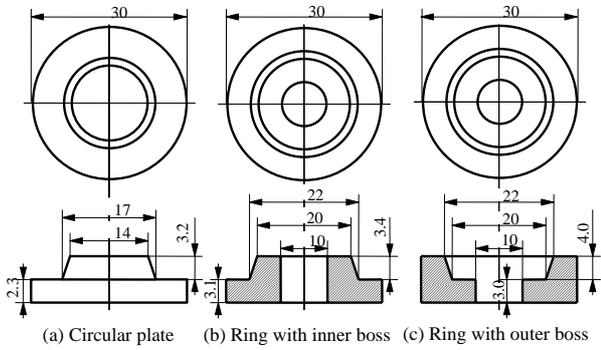
巨視的：粉末成形・焼結の有限要素法
連成：焼結



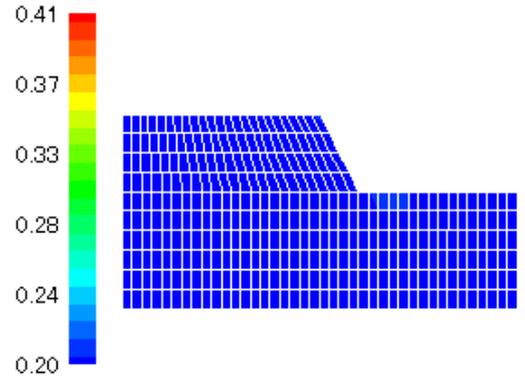
セラミックス製品の成形行程と不均一収縮



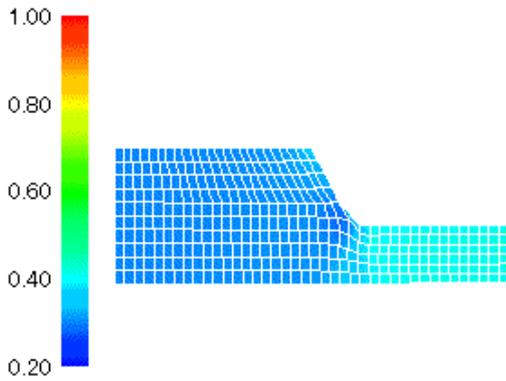
焼結実験に用いた圧粉体の形状



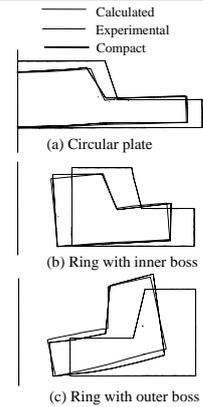
圧粉成形における相対密度分布



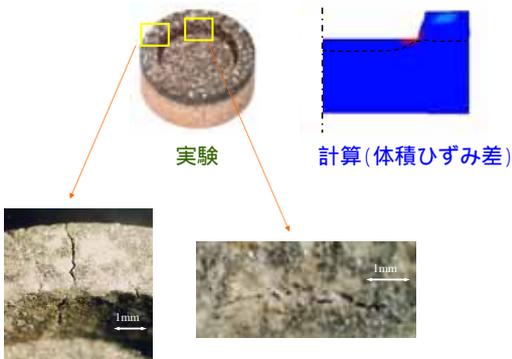
焼結における相対密度分布



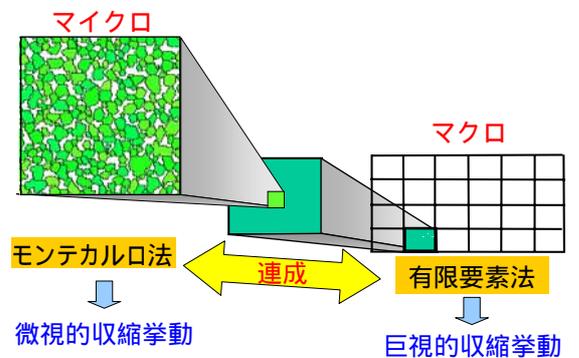
焼結体の断面形状



焼結割れ予測



モンテカルロ法と有限要素法の連成による焼結のマイクロ マクロシミュレーション

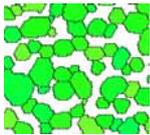


モンテカルロ法による焼結プロセスの 微視的組織の予測

微視的収縮挙動

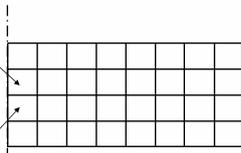


平均粒径 $D_0=3.4$ セル



平均粒径 $D_0=11.5$ セル

巨視的変形挙動



— 有限要素シミュレーション —

- 全般
- 板成形
- パルク加工
- 粉末加工