

アルミニウム鍛造技術会第42回技術講座
「鍛造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

豊橋技術科学大学
生産システム工学系 教授
森謙一郎

- 1) 有限要素法の特徴
- 2) 温度との連成
- 3) 欠陥発生予測
- 4) 最近の適用例
- 5) ソフトウェアとハードウェア

CADとCAE

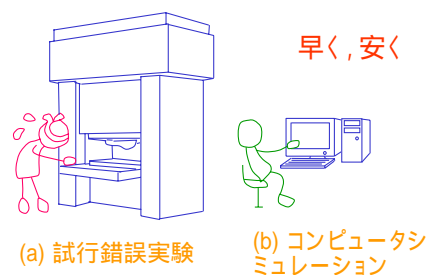
CAD
(Computer Aided Design)

図面作成, 図形処理

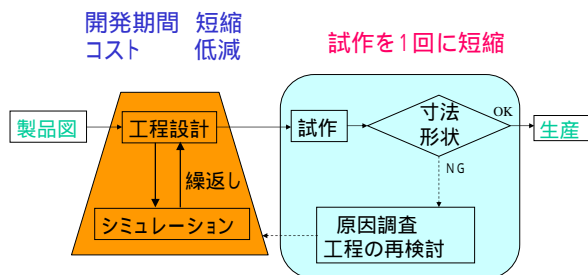
CAE
(Computer Aided Engineering)

計算機シミュレーション
有限要素法, 差分法, 境界要素法

計算機支援技術



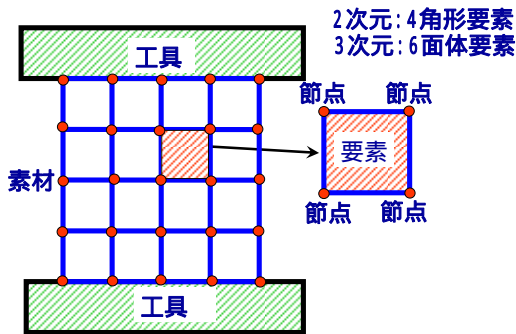
シミュレーションを用いた工程設計



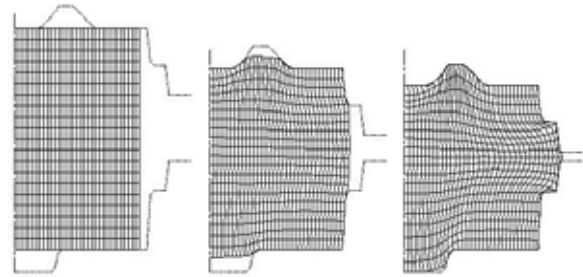
塑性加工の解析法

- 得たい情報
 - 塑性変形, 温度分布, 工具の変形
- 解析的な方法
 - スラブ法, すべり線場法, 上界法
- 数値解析法
 - 有限要素法, 差分法, 境界要素法

有限要素法



型鍛造における充満挙動



有限要素法の利点

- 1) 工具・材料の形状および材料特性を変化させるのが容易である。
- 2) 材料内部の材料流動、応力・ひずみ分布が求まる。
- 3) 自由度が大きく、精度の高い解が得られる。
- 4) 設計、開発の時間が短縮できる。
- 5) コストが低減できる。
- 6) 環境がよくなる。

塑性加工の有限要素シミュレーション

- 1) 鍛造加工
軸対称鍛造, 3次元鍛造, 座屈, 割れ発生の予測, 温度分布
- 2) 押し出し・引抜き加工
軸対称変形, 3次元変形, 割れ発生の予測, 温度分布
- 3) 板材成形
深絞り, 曲げ, 張出し, 3次元成形, 異方性, 成形限界, 温度分布, 組織予測, クラッド材
- 4) 粉末成形
粉末鍛造, 圧粉成形, 焼結, 金属粉末射出成形
- 5) 圧延加工
平面ひずみ圧延, 3次元圧延, 厚板圧延, エッジング圧延, 管材圧延, 孔型圧延, 組織予測
- 6) 切削・せん断加工
平面ひずみ, 3次元変形, 材料の分離
- 7) 表面処理
ショットピーニング

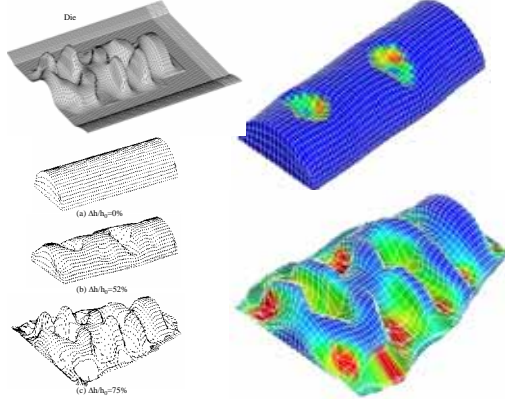
有限要素法で取扱える特性

- 1) 変形抵抗
加工硬化, ひずみ速度依存性, 異方性, 温度依存性
- 2) 摩擦
摩擦係数, 摩擦せん断係数
- 3) 加工による組織変化
圧延加工, 鍛造加工, 板材成形
- 4) 粉末成形における圧縮性
圧粉成形, 焼結金属
- 5) 慣性力
高速加工

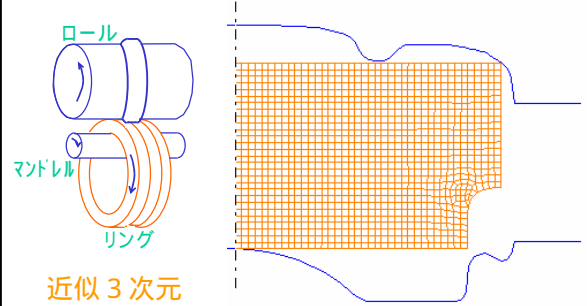
塑性加工用有限要素法の歴史

- 60 弾性有限要素法: 航空機の設計
弾塑性: 微小変形理論
剛塑性: 平面応力
- 70 弾塑性: 大変形理論
剛塑性: ラグランジュ乗数法, ペナルティ法, 圧縮特性法
- 80 各種加工法への適用: 摩擦, 接触問題, 定常変形
- 90 実加工への応用: 板成形, 鍛造, 圧延, 引抜き
動的陽解法
市販ソフトウェアの機能充実: プリ・ポスト

クランクシャフトの3次元鍛造

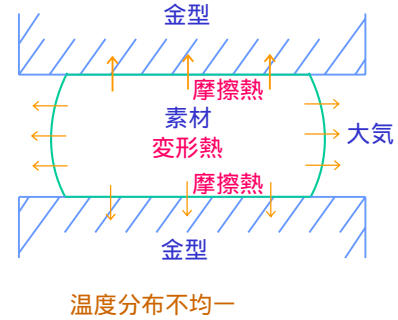


リングローリング加工

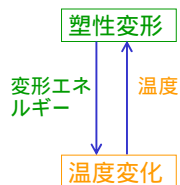
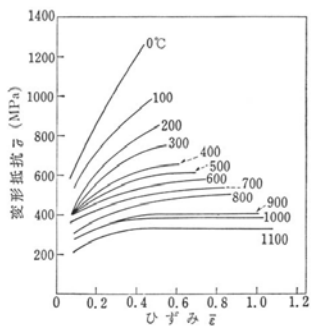


- 1) 有限要素法の特徴
- 2) 温度との連成
- 3) 欠陥発生の予測
- 4) 最近の適用例
- 5) ソフトウェアとハードウェア

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



連成の定式化

変形解析: 粘塑性有限要素法

$$\Phi = \int_V \int_0^{\dot{\epsilon}} \bar{\sigma} d\dot{\epsilon} dV + \int_{S_f} |\tau_f| \Delta v dS - \int_{S_f} T_i v_i dS \rightarrow \min.$$

温度の関数

温度解析: 熱伝導有限要素法

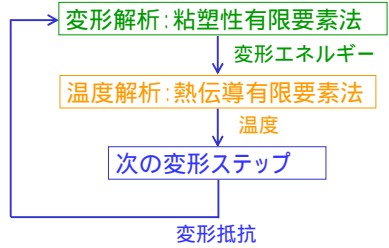
$$\left[\int_V k \left(\frac{\partial \{N\}^T}{\partial x} \frac{\partial \{N\}}{\partial x} + \frac{\partial \{N\}^T}{\partial y} \frac{\partial \{N\}}{\partial y} + \frac{\partial \{N\}^T}{\partial z} \frac{\partial \{N\}}{\partial z} \right) dV + \int_{S_a} h \{N\}^T \{N\} dS \right] \{T\} + \int_V c \rho \{N\}^T \{N\} dV \frac{\partial \{T\}}{\partial t} = \int_V \{N\}^T \dot{q} dV + \int_{S_a} h \{N\}^T T_a dS$$

塑性変形エネルギー

連立して解くのは困難

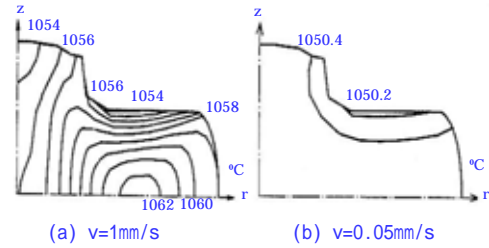
近似解析

非定常変形：各ステップごとに情報を交換

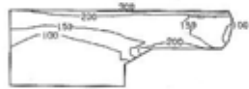


定常変形：繰返し計算

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



ヘッディング加工における温度と残留応力



(a) 温度分布



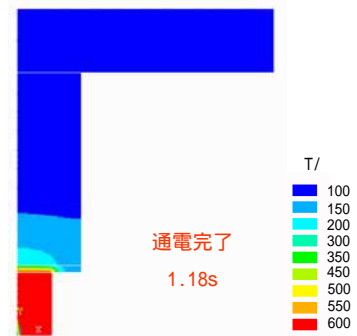
(b) 除荷時の残留応力分布



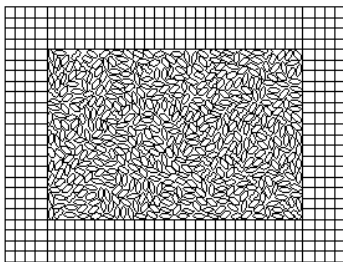
(c) 常温における残留応力分布

変形・温度・
温度降下による
弾性回復

アルミニウム合金の半溶融鍛造における直接通電時の温度分布

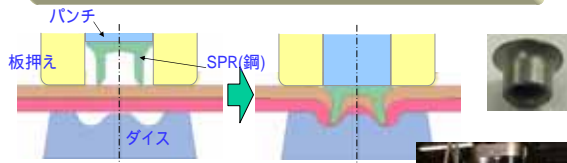


半溶融加工の個別要素シミュレーション



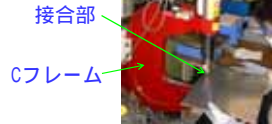
- 1) 有限要素法の特徴
- 2) 温度との連成
- 3) 欠陥発生予測
- 4) 最近の適用例
- 5) ソフトウェアとハードウェア

セルフピアッシングリベット(SPR)とは



<工法のメリット>

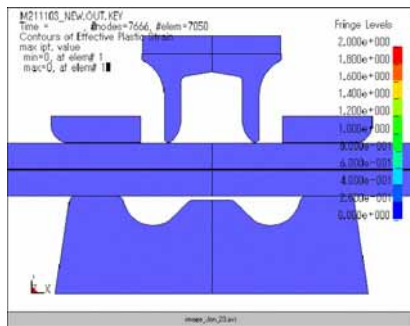
- 板にSPRを打込み, 機械的に結合
- 穴あけ不要
- 溶接の難しい材料の締結
- 異種材料の締結



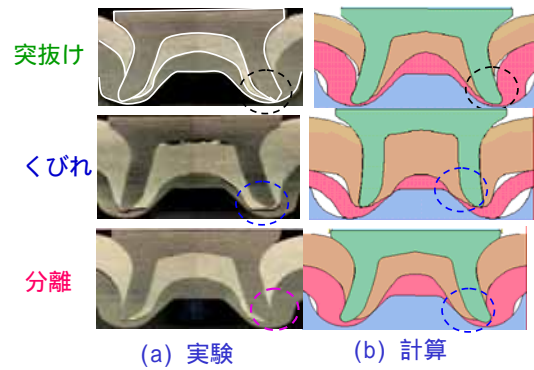
アルミ自動車車体のセルフピアッシングリベット



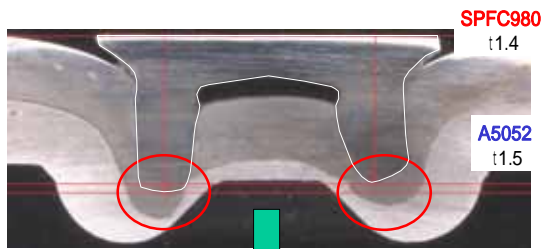
有限要素シミュレーション



接合欠陥

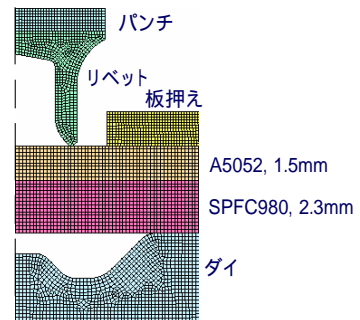


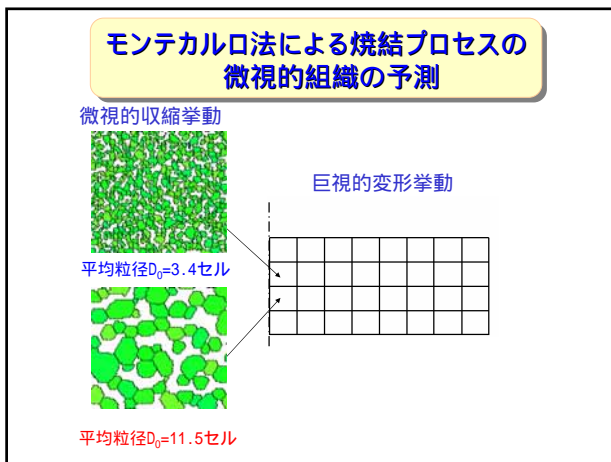
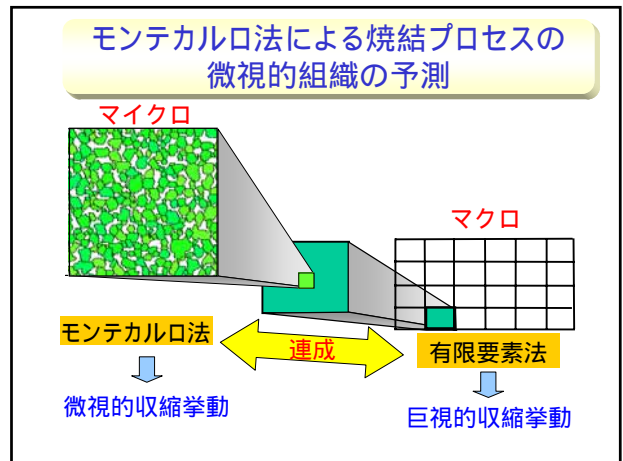
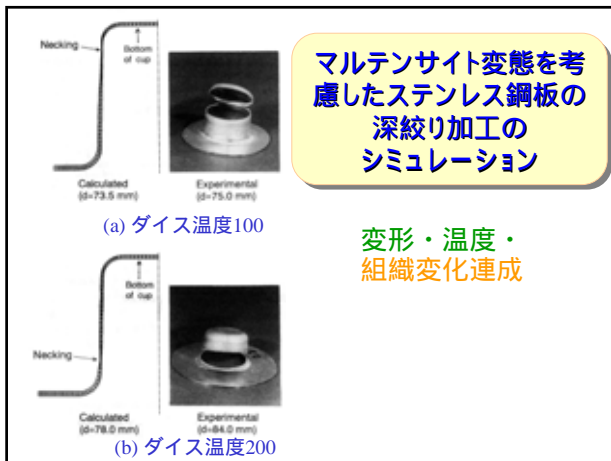
アルミニウムとウルトラハイテンの接合



FEMによる原因の把握

アルミニウムとウルトラハイテンの接合





- 1) 有限要素法の特徴
- 2) 温度との連成
- 3) 欠陥発生 の予測
- 4) 最近の適用例
- 5) ソフトウェアとハードウェア

塑性加工用市販ソフト

板材成形用
LS-DYNA, JSTAMP, PAM-STAMP, RADIOSS, FAST_FORM3D, OPTRIS

鍛造用
MARC, AUTO-FORGE, ABAQUS, DEFORM, SUPER-FORGE, TOPFORGE, FORM-2D, NIKE

- プリ・ポスト処理, 3次元解析, C A Dデータの取込み, 接触の取扱い
- 温度, 金型の弾性変形

