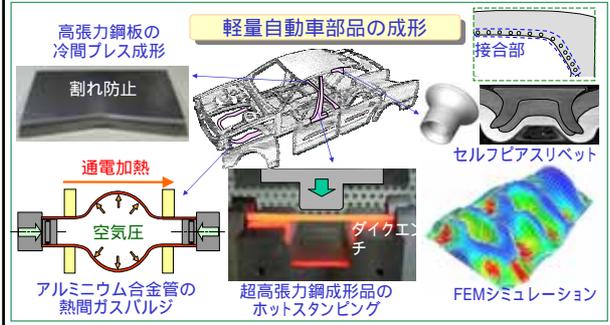


塑性加工における数値解析法および新加工法の開発

豊橋技術科学大学 森 謙一郎



1) 生産加工用有限要素法の開発と産業界への普及

2) 有限要素法と知能化技術の融合

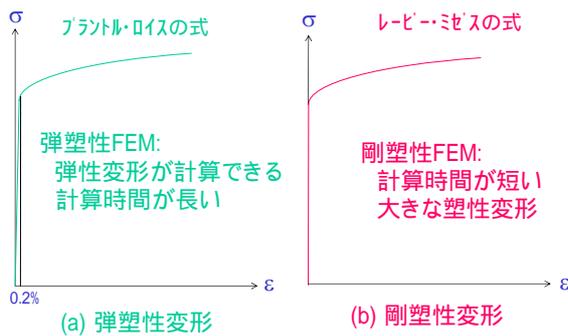
3) 微視的解析法の開発 ソフトウェア

4) 軽量材料の成形法の開発 ハードウェア

5) 軽量構造部品の成形法の開発

6) 新機能加工法の開発

塑性変形用有限要素法



圧縮特性法による剛塑性有限要素法

剛塑性有限要素法の問題点：
体積一定条件の取扱い、応力の計算

降伏条件

$$3\sigma_{ij}'\sigma_{ij}' + 2g\sigma_m^2 - 2\bar{\sigma}^2 = 0$$

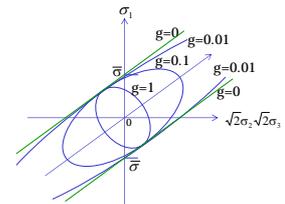
g : 正の小さな定数

構成式

$$\sigma_{ij} = \frac{\bar{\sigma}}{\varepsilon} \left(\frac{2}{3} \varepsilon_{ij} + \delta_{ij} \left(\frac{1}{g} - \frac{2}{9} \right) \varepsilon_v \right)$$

節点力 (非線形)

$$\{P\} = \left[\int_{V_e} [B]^T [D] [B] dV \right] \{v_e\} \rightarrow \text{釣合い, 繰返し計算}$$

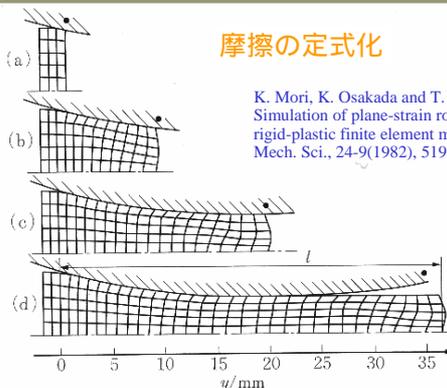


森謙一郎, 島進, 小坂田宏造, 多孔質体の塑性力学式を応用した剛塑性有限要素法による自由鍛造の解析, 日本機械学会論文集A編, 45-396(1979), 965-974.

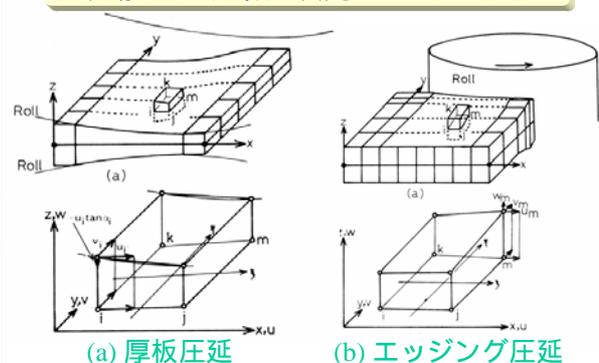
平面ひずみ圧延における格子の変形

摩擦の定式化

K. Mori, K. Osakada and T. Oda,
Simulation of plane-strain rolling by the rigid-plastic finite element method, Int. J. Mech. Sci., 24-9(1982), 519-527.



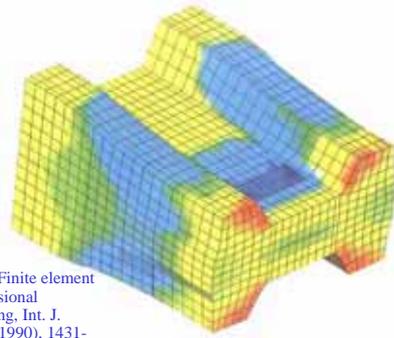
圧延加工の近似3次元シミュレーション



K. Mori and K. Osakada, Simulation of three-dimensional deformation in rolling by the finite-element method, Int. J. Mech. Sci., 26-9/10 (1984), 515-525.

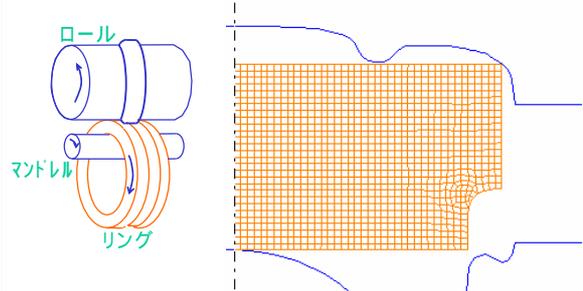
H形鋼の3次元孔型圧延

3次元変形
の取扱い



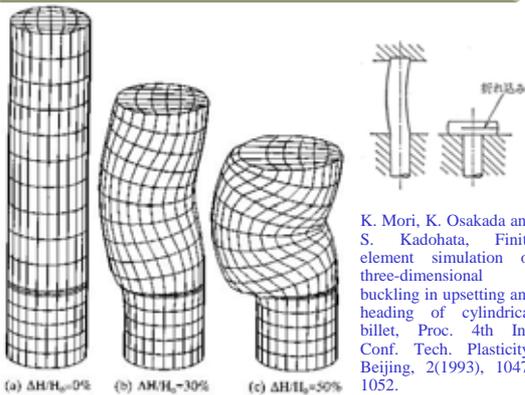
K. Mori and K. Osakada, Finite element simulation of three-dimensional deformation in shape rolling, Int. J. Numer. Meth. Eng., 30-8(1990), 1431-1440.

リングローリング加工の近似3次元シミュレーション



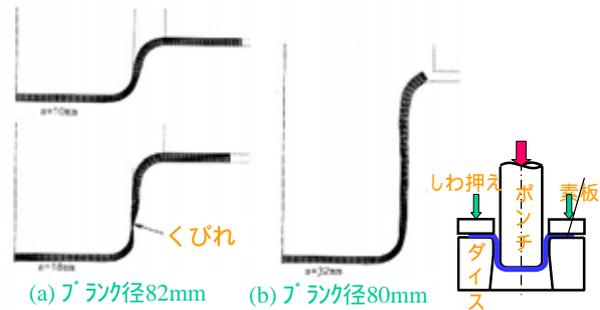
K. Mori and N. Hiramatsu, Simplified three-dimensional simulation of ring rolling with grooved rolls by rigid-plastic finite element method using generalized plane-strain modeling, Trans. NAMRI/SME, 29(2001), 3-8.

ヘッディング加工における塑性座屈



K. Mori, K. Osakada and S. Kadohata, Finite element simulation of three-dimensional buckling in upsetting and heading of cylindrical billet, Proc. 4th Int. Conf. Tech. Plasticity, Beijing, 2(1993), 1047-1052.

円筒深絞り加工におけるくびれ



(a) ブランク径82mm (b) ブランク径80mm

K. Mori and K. Yamaguchi, Finite element simulation of deep drawing and stretching of laminated composite sheet metals, Proc. 1st Japan Int. SAMPE Symposium, (1989), 701-70.

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100

Calculated (d=73.5 mm) Experimental (d=75.0 mm)

ダイス温度200

Calculated (d=78.0 mm) Experimental (d=84.0 mm)

K. Shinagawa, K. Mori and K. Osakada, Finite element simulation of deep drawing of stainless steel sheet with deformation induced transformation, J. Materials Processing Tech., 27-1-3(1991), 301-310.

焼結収縮の粘塑性有限要素法

全ひずみ速度

$$\{\dot{\epsilon}\} = \{\dot{\epsilon}^s\} + \{\dot{\epsilon}^p\}$$

焼結収縮 塑性変形

応力(多孔質体)

$$\{\sigma\} = [D][B]\{v_e\} - [D]\{\dot{\epsilon}^s\}$$

節点力

$$\{P\} = \left[\int_{V_e} [B]^T [D] [B] dV \right] \{v_e\} - \int_{V_e} [B]^T [D] \{\dot{\epsilon}^s\} dV + \int_{V_e} g p \gamma (N) dV$$

節点力の釣合い

セラミックス圧粉体

密度小(収縮大)
密度大(収縮小)

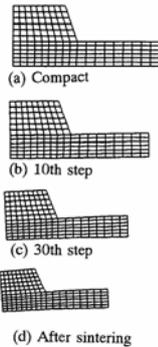
↓ 焼結



森謙一郎, 小坂田宏造, 米田辰雄, 平野俊明, 有限要素法による焼結後のセラミック部品の形状予測, 塑性と加工, 32-368(1991), 1136-1141.(日本塑性加工学会論文賞受賞)

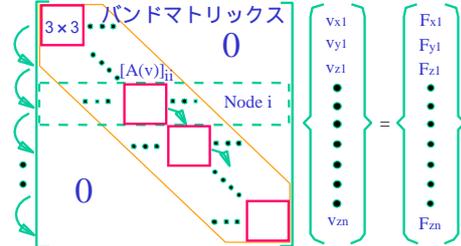
突起付きリングの焼結における不均一収縮

圧粉体の密度分布



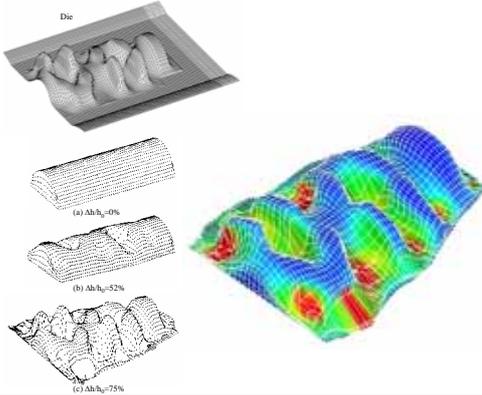
対角マトリクスを用いた剛塑性有限要素法

大規模 3次元



K. Mori and H. Yoshimura, 3-D rigid-plastic finite element method using diagonal matrix for large-scale simulation of metal forming processes, Int. J. Mech. Sci., 42-9(2000), 1821-1834.

クランクシャフトの3次元鍛造



有限要素シミュレーションの普及

素材

新日鐵, 日本鋼管, 住友金属, 川崎製鉄, 神戸製鋼, 日立金属, 三菱製鋼, 山陽特殊鋼, 愛知製鋼, フジクラ, 古河アルミ, 東京製鋼, トビー工業, INAX, ファイセラムックスセンター

重工・機械

三菱重工, IHI, 住友重機, 川崎重工, 日立造船, コマツ, 栗本鐵工, 日本発条, 光洋精工, 日立工機, セクセル, ニチダイ, 三菱長崎機工, プリチストンメタルファ, 福井鉄螺, 野口製作所, 西島, 瀬川鉄工

自動車

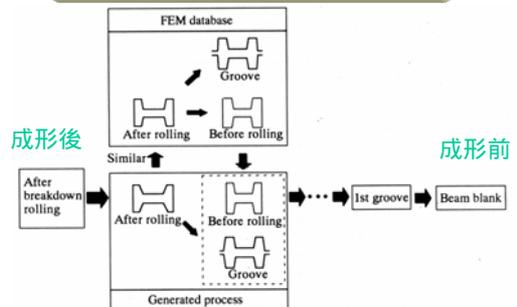
トヨタ, 日産, 三菱自工, スズキ

電機

日立製作所, 三菱電機, 住友電気, エプソン

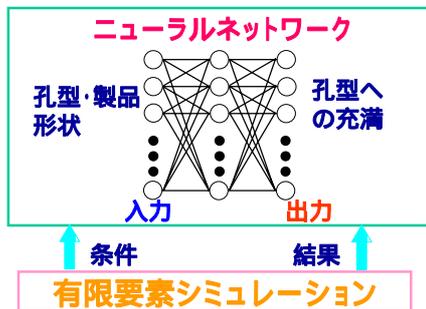
- 1) 生産加工用有限要素法の開発と産業界への普及
- 2) 有限要素法と知能化技術の融合
- 3) 微視的解析法の開発
- 4) 軽量材料の成形法の開発
- 5) 軽量構造部品の成形法の開発
- 6) 新機能加工法の開発

H形鋼孔型圧延の工程設計用エキスパートシステム



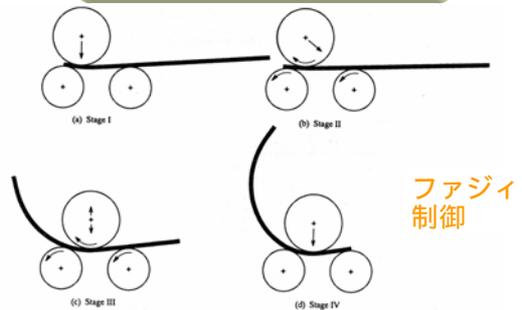
K. Mori, K. Osakada and T. Aizono, An expert system for process planning in breakdown rolling of H-beams, Int. J. Mach. Tools Manufact., 34-7(1994), 939-948.

有限要素シミュレーションとニューラルネットワークを用いた判断機構



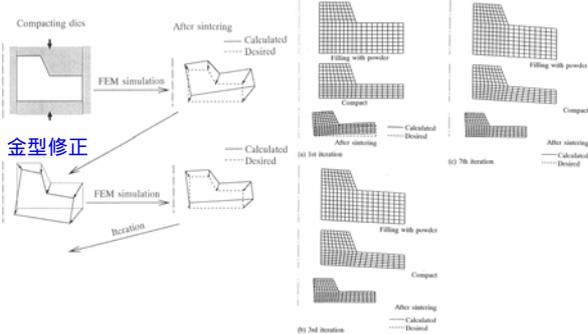
K. Mori, K. Osakada and M. Kobayashi: An expert system for roll pass design in shape rolling of H-beams, Trans. NAMRI/SME, 23(1995), 7-12.

3本ロール曲げ加工の制御FEMシミュレーション



K. Mori, G. Yang and K. Osakada, Determination of optimal motion of tools in metal forming processes by controlled FEM simulation, Int. J. Mach. Tools Manufact., 35-6(1995), 851-859.

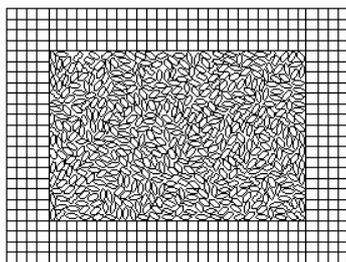
セラミックス焼結体のネットシェイプ成形



K. Mori, Finite element simulation of powder forming and sintering, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 195-48-49(2006), 6737-6749.

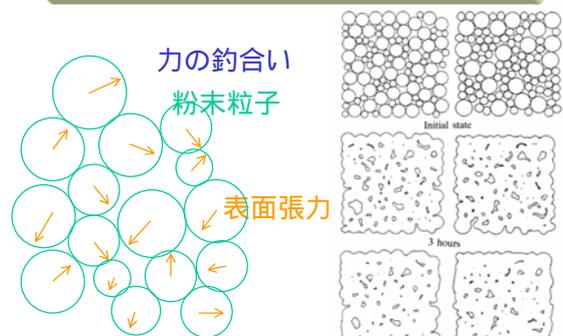
- 1) 生産加工用有限要素法の開発と産業界への普及
- 2) 有限要素法と知能化技術の融合
- 3) 微視的解析法の開発
- 4) 軽量材料の成形法の開発
- 5) 軽量構造部品の成形法の開発
- 6) 新機能加工法の開発

半溶融加工の個別要素要素シミュレーション



K. Mori, M. Otsu and K. Osakada, Distinct element simulation of grain alignment in mushy-state forging of magnets, Int. J. Mech. Sci., 39-7(1997), 771-780.

粒状要素法による粉末の焼結



K. Mori, M. Otsu and K. Osakada, Distinct element simulation of grain alignment in mushy-state forging of magnets, Int. J. Mech. Sci., 39-7(1997), 771-780.

Cosserat力学に基づく剛塑性有限要素法

降伏条件

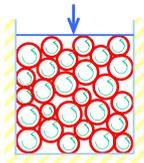
$$3\{(1+\mu)\sigma'_{ij}\sigma'_{ij}+(1-\mu)\sigma'_i\sigma'_i\}/4+3m_jm_j/(2l^2)+(\sigma_m/f)^2-(\rho^*\bar{\sigma})^2=0$$

m_{ij} : 偶応力, l : 特性長さ (粒子径)

構成式

$$\sigma_{ij} = \frac{\rho^{2n-1}\bar{\sigma}}{\dot{\epsilon}} \left\{ \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3\mu} \right) \dot{\epsilon}_{ij} + \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{3\mu} \right) \dot{\epsilon}_{ji} + \delta_{ij} \left(f^2 - \frac{2}{9} \right) \dot{\epsilon}_v \right\}$$

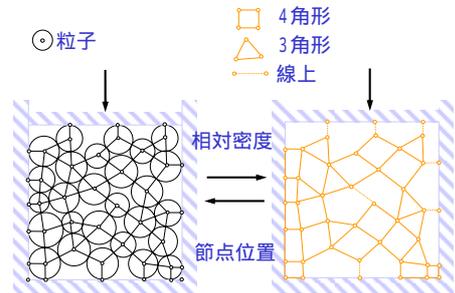
$$m_{ij} = \frac{2\rho^{2n-1}\bar{\sigma}l^2}{3\dot{\epsilon}} \dot{\kappa}_{ij}$$



粉末成形における粉末粒子の微小回転

K. Mori, M. Shiomi and K. Osakada, Inclusion of microscopic rotation of powder particles during compaction in finite element method using Cosserat continuum theory, Int. J. Numer. Meth. Eng., 42-8(1998), 847-856.

有限要素法を用いた圧粉成形の微視的アプローチ



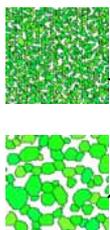
(a) 接触の判定 (b) 多孔質体有限要素法

K. Mori and R. Kuzime, Microscopic approach of powder compaction using finite element method, Int. J. Mech. Sci., 44-4(2002), 793-807.

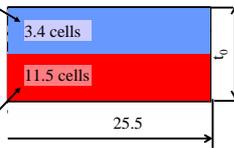
モンテカルロ法を用いた焼結の微視的収縮挙動のシミュレーション

平面ひずみモンテカルロ法

軸対称有限要素法



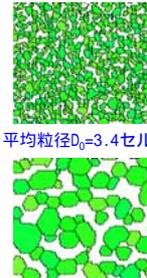
2層圧粉円板の焼結



K. Mori, H. Matsubara and N. Noguchi, Micro-macro simulation of sintering process by coupling Monte Carlo and finite element methods, Int. J. Mech. Sci., 46-6(2004), 841-854.

モンテカルロ法を用いた焼結の微視的収縮挙動のシミュレーション

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

