

ここまで来た！ 金属流動の動的3次元可視化

生産技術部 ○牟禮雄二

1. はじめに

鋼（鉄の合金）やアルミなどの金属素材を凹凸一對の金型の中で圧縮する鍛造加工により、自動車部品等の多くの構造用部品が製造されている。金属素材は、室温状態であっても高圧下ゆえ、金型の中であたかも熱い飴の様に変形する。この現象は金属流動と呼ばれ、金属素材は金型凹部へ充満して完成品に至る。この時、決して金型の外からは見えない3次元的な金属流動を動的に高精度で可視化（見える様に）することが金型設計の肝要である。ところが、静止物に対する3次元的な金属流動の可視化技術¹⁾は存在するが、多大な手間とコストを必要とするため実用的ではなく、ましてや動体に対する可視化技術は皆無であった。

本発表では、筆者が開発した動体に対する世界初で唯一のステレオX線を用いた可視化技術²⁾³⁾の概要と適用事例および関連技術として当センターで実施した金属成形の数値シミュレーション事例等を総説する。

2. 可視化の原理と装置

金属流動の動的3次元可視化は、金属素材と同様の流動状態を呈す軟質モデル材料⁴⁾の内部に埋め込んだ硬質変形指標（以下、微小鋼球）の加圧に伴う移動量を2台のX線発生器と1台のX線カメラで撮影することで可能となる。X線カメラで得られた映像信号は、1フレーム（1/30秒）ごとにX線照射方向別に収録する。同信号をPCへ画像キャプチャーした後、X線照射方向別に分別してステレオ画像として記憶装置に保存する。得られたステレオ画像から画像処理により連続フレームごとに微小鋼球の2次元位置座標を同定する。以上の時系列かつX線照射方向別の微小鋼球の2次元位置座標をもとに3次元位置座標を算出すると微小鋼球の動的3次元可視化が可能となる。

可視化装置を図2に示す。装置は、ステレオ構成のX線発生器と1台のX線カメラ（視野：112mm×86mm）を相対して設置してあり、その他、押圧装置（最大加圧能力9.8kN）、3軸動作と360°回転が可能な回転台、制御装置、画像キャプチャーボード、PCおよび画像処理ソフトで構成した。

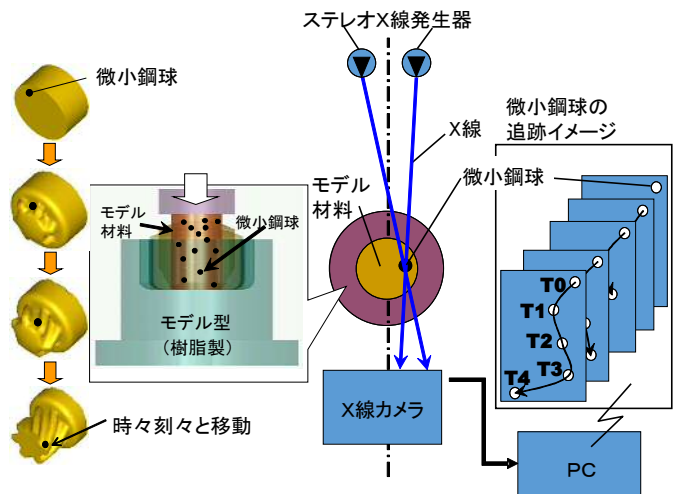


図1 可視化の原理

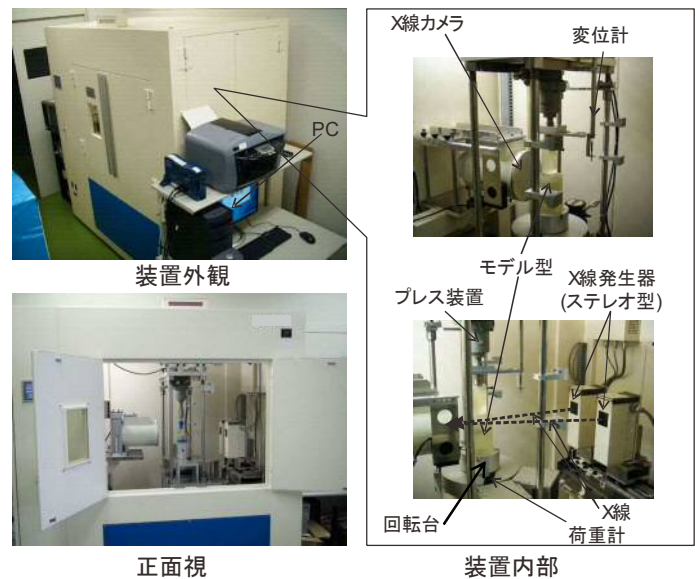


図2 可視化装置

3. 動的3次元可視化事例

ヘリカルギヤ鍛造の可視化実験に用いた樹脂製モデル型、ギヤの目標形状およびギヤ仕様を図3に示す。実験条件は、モデル型の設置についてX線の照射方向に対して微小鋼球配置面が直角方向と当該面から80°回転させた方向の2条件とした。円柱素材(モデル材料)は半分分割し、指標として6mm間隔で直径1mmの微小鋼球を135個配置後、残りの半面と合わせた。可視化実験は、素材温度25℃、加工ストローク13.7mm、加圧速度1mm/secで実施した。なお、潤滑剤としてワセリンを型側に薄く一様に塗布した。実験後、微小鋼球の軌跡データをPCへ取り込み、データ解析した。実時間で得られた材料流動の2次元X線画像と3次元座標を計算した可視化結果を図4に示す。2次元画像において、背景の歯型形状と合わせて見ると3次元金属流動による微小鋼球の軌跡が詳細に確認できた。正面視画像からモデル型のギヤ成形部入口において微小鋼球が停滞するデッドゾーンが確認できた。

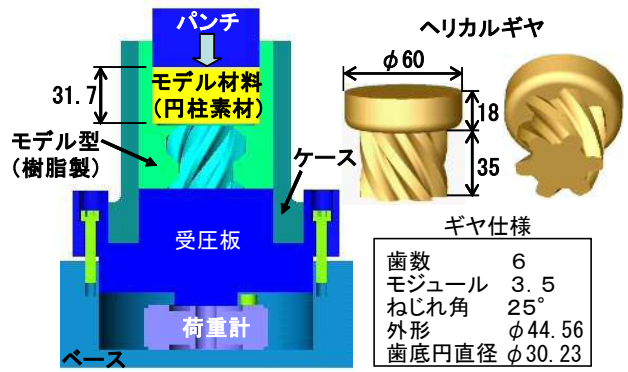


図3 可視化対象のヘリカルギヤとモデル型

4. 数値シミュレーション事例

話題を変えて、金属流動を明らかにする別手法である有限要素解析に基づく数値シミュレーションの一例を図5に示す。図の左は、工具寿命が短い圧造工具の内部応力であり、図の右は工具内部に空間を設けることでバネ効果を利用し、寿命を革新的に伸長した工具の内部応力である。発生する応力値が劇的に低減していることがわかる。

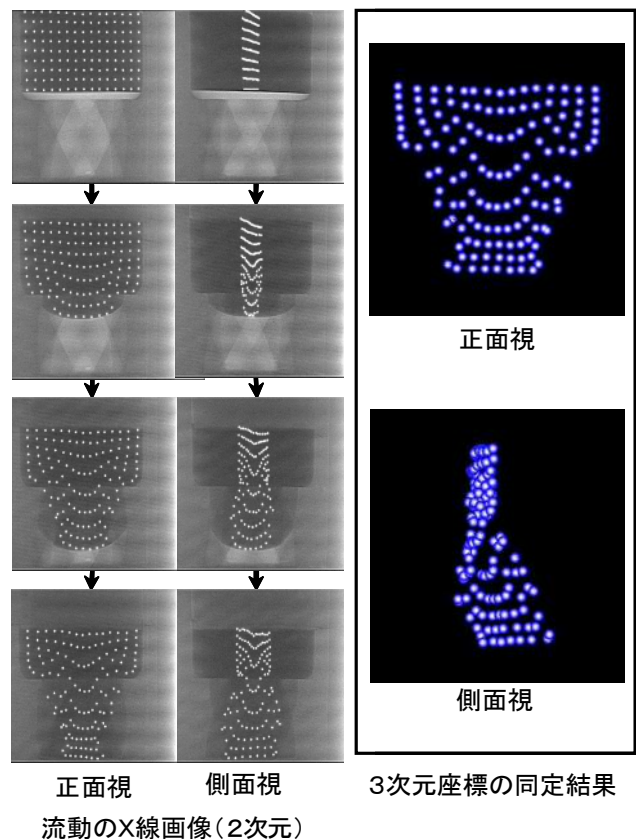


図4 ステレオX線による可視化結果

5. おわりに

鹿児島県工業技術センターでは、本発表で紹介した可視化技術および数値シミュレーション技術を今後もさらに高度化させていく予定である。

参考文献

- 1) Glibbery, S. : PhD Thesis, Technical Univ. Denmark, 23(1990)
- 2) 牟禮, 中西 : 塑性と加工, Vol51, No.596, 893-897(2010)
- 3) 特許第4771338号 鹿児島県
- 4) 特許第5181120号 鹿児島県

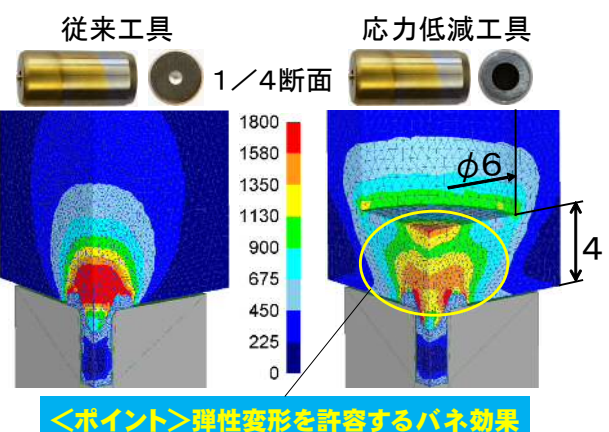


図5 数値シミュレーションによる圧造工具の応力解析