

X線CTスキャンによるプレス加工品の形状評価技術

群馬県立群馬産業技術センター

研究員 高橋 勇一

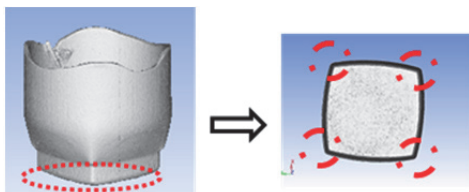
(平成22年度一般研究開発助成 AF-2010027)

キーワード：X線CTスキャナ、プレス加工、外観計測

1. 研究の目的と背景

アルミ材の角形状超深絞り成形による化粧品ケースでは、多段絞りに(製品の絞りが深くなる)なればなるほど、破けやシワ、肉の偏り等が発生してしまうことが知られている。加えて、独特の高級感や風合いを要求されるデザイン性の維持、他の部品との勘合と、いずれも難易度の高い要求を同時に満足させる必要がある。これまでの製造では、熟練の職人による深絞り用金型の微調整の他、研磨といった後工程を必要としていた。

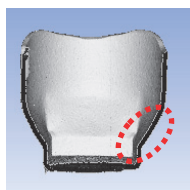
角形状深絞り加工の課題は事前の試作により、各頂点と面部の応力の違いに起因し(図1)、肉の移動大きさと加工困難さに関連があること(図2)、偏肉は一旦発生してしまうと肉厚の均一化は困難であり、裂けの修正は不可能であることを確認している。



角部と面の部分では応力が異なる

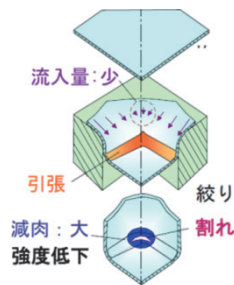
→裂けやシワが発生

図1 各頂点と面部の応力



肉の移動が大きい箇所では割れが発生

図2 肉の移動による割れの発生



プレスによる多段深絞りでは、各工程別に破断限界の指標となる材料の肉厚を測定し、工程別に管理する必要がある。現在の肉厚測定は、以下の3方法が主流である。

- ① 製品を切断し、ノギス等による厚さ測定。これは切断時に製品の形状を歪めるおそれがある。
- ② 接触式の三次元計測機の使用。データを離散的に取得するため、これらのデータから全面的肉厚を評価可能なデータの作成には多大な時間を要してしまう。
- ③ レーザ光を利用した三次元デジタイザ。レーザ光が入射及び反射を受光できないような複雑形状や金属光沢面の計測は行えない。

上記の計測法ではいずれも、表面のみの計測となるが、X線であれば透過計測を行うため、両面を同時に測定可能である。

本研究では、X線CTスキャナを外観計測として利用することを目的として、特有のノイズの軽減手法と、断面画像の輝度管理法、5%程度発生する寸法誤差について、ステータジや校正器の開発、接触式三次元計測機を用いた校正データによるスケージングといった測定方法を提案し、寸法の評価方法について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 試験品

本研究で使用したアルミ薄板は、高光沢材(5657) $t=0.5\text{mm}$ であり、絞り加工は、プレス加工機を用いて行った。段数は5段で、1段、2段にしわ押さえ治具を用いて試料を作製した。

2.2 実験装置

本研究に使用したX線CTスキャナは、株式会社島津製作所製「マイクロフォーカスX線CT装置 SMX-225CT-SV」

である。表 1 に主な仕様、図 3 に外観を示す。

X 線 CT スキャナによるワークの測定条件は以下の通りである。

- ① 焦点サイズを最小とする管電圧、管電流
 - ② フル画面取込みを許可する最大撮影、ビュー数
 - ③ 受け入れ可能な上限の 1 ビューあたりの露光時間
- 断面画像の三次元ボクセルデータ化および三次元形状

データ (STL 形式) 化は、くいんと社製「VOXELCON 2012」および Volume Graphics 社製「VG Studio 2.2」を用い、点群処理ソフトである Siemens 社製「Imageware V13.0」により計測を行った。

表 1 装置仕様

X線装置	X線管電圧	30~225kV
	X線管電流	0~1000 μ A
	最大出力容量	225W
テレビジョン装置	撮像素子	2/3インチCCD
	総画素数	40万画素
	有効画素数	763 \times 493
ターンテーブル	回転ステージ直径	ϕ 100
	最大ワーク重量	9kg



図 3 X 線 CT スキャナ

3. 試験結果および考察

3. 1 線質硬化の軽減

X 線 CT スキャナは、X 線源で発生した X 線が、ワークを透過した X 線強度をもとに CT 値を算出し、断層画像を得るものである。

X 線源から放射される X 線は、連続エネルギーであるため、ワークを透過することにより低エネルギーは高エネルギーに比べ多く吸収される。

深絞り加工品に関して、底面は側面よりも肉厚なため、図 4 に示すように底面の一部の底が抜けたようになってしまう。この課題について今回の研究では、図 5 のようにワークに任意の傾斜をつけ、著しい肉厚の変化が生じない配置方法について検討した。図 6 に樹脂 (ジュラコン) による 5° 刻みで傾斜角度を可変するステージを示す。

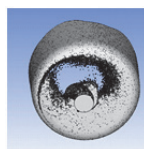


図 4 線質硬化の例

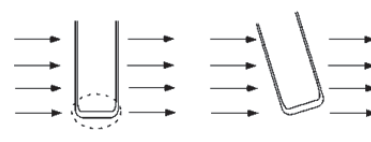


図 5 線質硬化の軽減を意図した配置

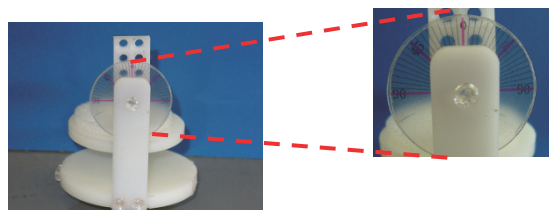


図 6 角度可変ステージ

線質硬化の軽減と傾斜角度の関係を明らかにするため、角度可変ステージ上のワークの傾斜角を 0° ~90° の範囲で振り、底面の状態を調べた。結果を図 7 に示す。

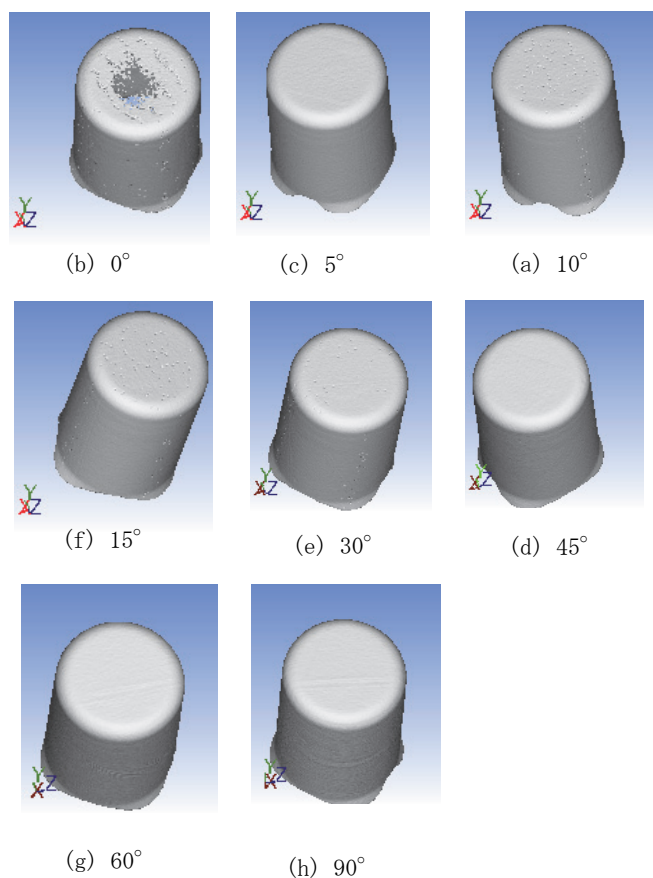


図 7 ワークの角度と底面の状態

図7より、線質硬化は 5° 程度の傾斜から劇的に改善されることが分かる。 5° 以上の傾斜角でも線質硬化の改善はされるが、傾斜角をつけることにより撮像範囲が広がるため、ボクセル当量長(1mm/ボクセルの値)が増大し、結果として空間分解能の悪化を引き起こすことが懸念される。

また、CT再構成を直交格子に行うため、グリッドが反映され、エリアシング(凹凸)が顕著になる傾斜角も存在する。

本研究では、最適な傾斜角を $5^\circ \sim 10^\circ$ として実験を進めることにした。

3. 2 ルビー球の球間距離による寸法誤差の評価

図8にX線CTスキャナ装概略図を示す。X線CTスキャナについては、検出器とX線源の焦点との距離SDD(Source to detector distance)と、ワークの中心とX線源の焦点との距離SRD(Source to rotation center distance)が可変であるため、パラメータの自由度が高い。断面画像の倍率はこの比で決まるが、図9に示すように同じ倍率を得る複数のSDDとSRDの組み合わせが存在する。

SDD/SRDの位置決め精度、ターンテーブルや検出器の傾きが寸法精度に影響を及ぼし、最大 $\pm 5\%$ の誤差を生じさせることが知られている。

X線CTスキャナの測定領域をルビー球の球間距離により、寸法精度を求めた。評価に使用したフォレストゲージを図10に示す。¹⁾

フォレストゲージは25個のルビー球、カーボン(シャシ)、ネクセラ(基盤)から構成される。

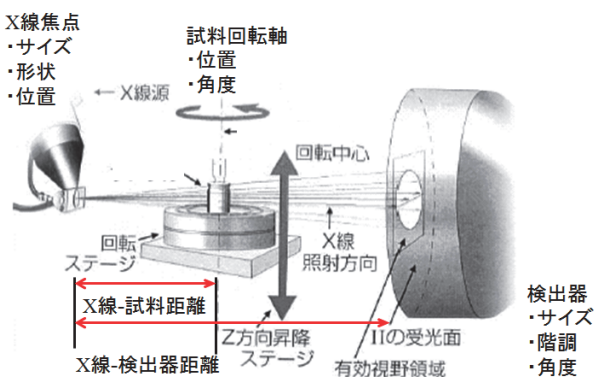


図8 X線CTスキャナ装概略図

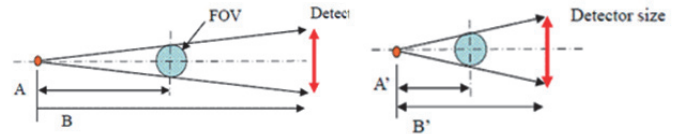


図9 断面画像の倍率

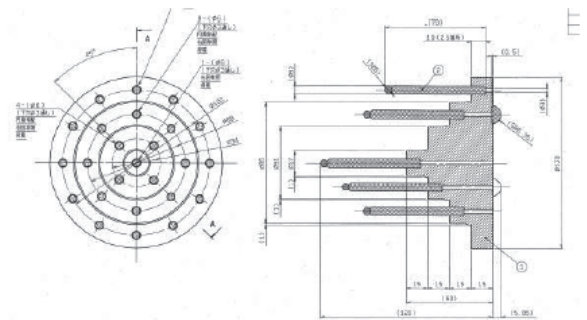
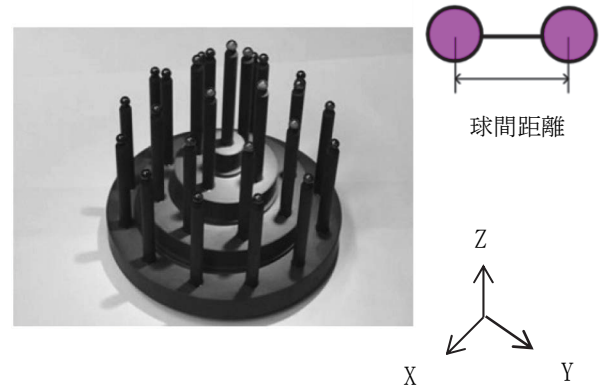
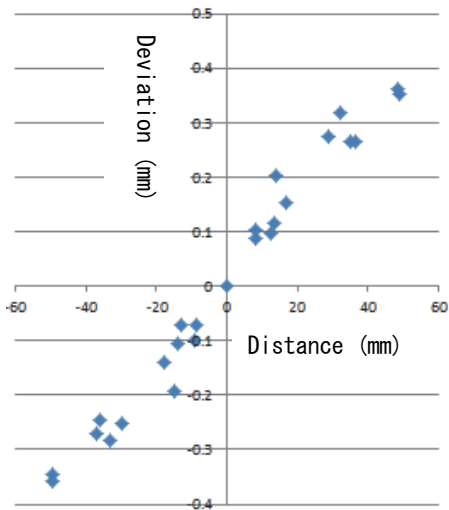


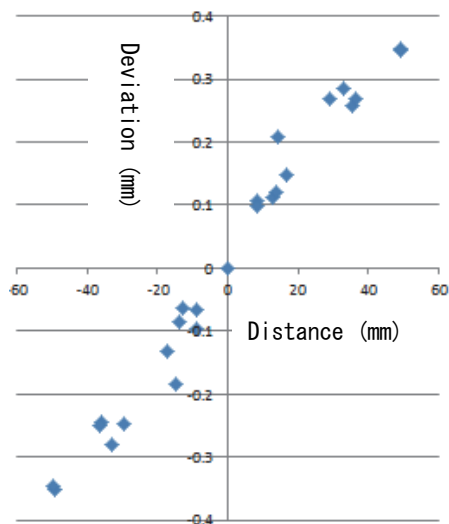
図10 フォレストゲージ

図11に、X線CTスキャナの測定領域のX、Y、Zの各方向それぞれの偏差を求めた結果を示す。縦軸は偏差、横軸は原点からの距離である。座標系の原点をフォレストゲージ中央のルビー球の中心とし、各ルビー球の中心間の距離を球間距離とする。偏差は、CTスキャナによる測定値(各ルビー球の中心でベストフィットを行った結果)と、接触式三次元計測機による計測値との比較により求めた。

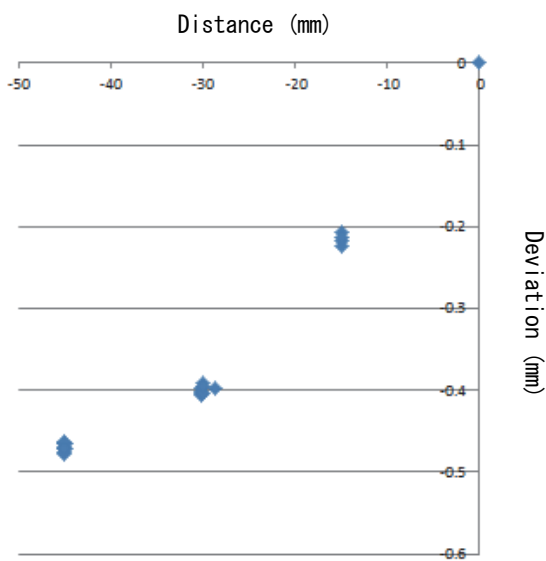
これらのグラフの傾きを、スケーリング係数とした場合、ほぼ一直線となることから、Z偏差は横軸の水準が離散的であるが、X偏差、Y偏差と同様に、X線CTスキャナの測定領域の一律のスケール補正が可能であることが示唆される結果となった。



(a) X 軸偏差



(b) Y 軸偏差



(c) Z 軸偏差

図 11 X 線 CT スキャナの測定領域の偏差

3. 3 断面画像の輝度値の管理法

図 12 に断面画像のヒストグラムを示す。ヒストグラムは横軸に輝度、縦軸に画素数を示す度数分布である。断面画像では、その分布に対して、色や透明度の変化をグラフ上に示すことによりそれぞれの輝度値が決定する。観察した部分にコントラストを与えて、動的に画像を変化させることが断面画像処理の大きな利点である

一方、図 13 に示すようにヒストグラムの輝度値の設定により、見かけ上の寸法が大きく変化してしまう。

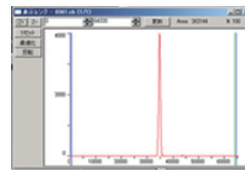


図 12 ヒストグラム

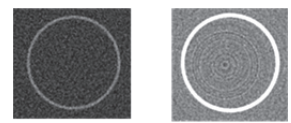


図 13 閾値の設定による見かけ上の寸法の変化

この変化を最小限にとどめることを目的として、図 14 のような校正器を考案した。X 線は物質の厚さと密度に依存し指数関数的に減衰する。そのため校正器もワークの厚みや密度に沿った形状とする必要がある。密度の異なるアルミ、鉄、銅等金属について、厚み 1mm、直径 0.5mm~20mm 円盤状に切り出し、ハノイの塔状に重ねる構造とした。

本研究では、ワークと同じ素材であるアルミ薄板、高光沢材 (5657) により校正器を作製した。校正器をワークと同様に断面画像を取得し、校正治具の断面画像上の寸法が既知の寸法になるよう輝度値を定めた。

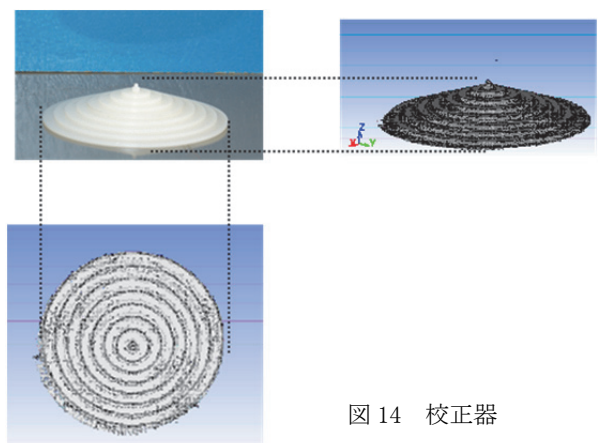


図 14 校正器

3.4 三次元計測機による校正データを用いたスケールリング方法

外観計測には一般的に接触式の三次元計測機が使用されている。三次元計測機はデータを離散的に取得するため、これらのデータから全面の形状を評価可能な形状データの作成には多大な時間を要してしまう。

X線CTスキャナは複雑な外観形状の計測に長けているが、SDD/SRDの位置決め精度、ターンテーブルの傾きといった装置的、機械的な影響により、最大5%程度と見積もられる寸法誤差が発生する。

この問題に対して、今回の研究では、接触式三次元計測機によりワークのX軸、Y軸方向といった最小限の校正データを採取しスケールリングを行った。図15に外観計測の流れを示す。

撮像した断面画像を三次元測定機からの校正データにより、図16に示すような深絞り成形品の肉厚測定を試みた。X線CTスキャナによる断面画像から作成した形状データを図17に、三次元測定機による断面形状データを図18に示す。ともに、三次元CADに取り込み可能なデータ形式であり、三次元測定機による断面形状を基準とし、断面画像から作成した形状データのスケール補正を三次元CAD上の作業として実施した。

その結果、X線CTスキャナのみの測定では0.3mmほど発生する誤差を、三次元計測機による校正データによりスケールリングを行うことにより、断面形状部分では、0.05mm以下で形状に合わせこむことが可能になった。

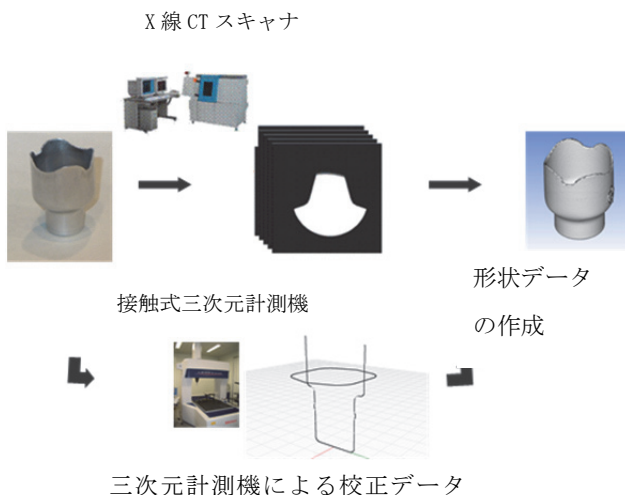
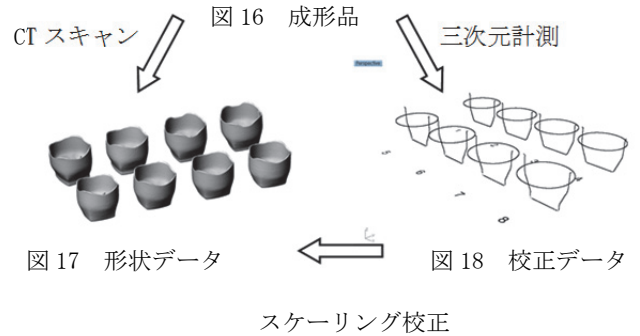


図15 計測、校正の流れ



図16 成形品



4. 結言

本研究では、アルミ材の角形状超深絞り成形の肉厚評価を行うために、X線CTスキャナを外観計測として利用した。測定上課題となる、特有のノイズ対策として可変ステージを、断面画像の輝度管理用校正器をそれぞれ開発し、断面画像から作成した形状データを三次元計測機による校正データによりスケールリングを行い、寸法の評価方法について検討を行った。

結果、測定では0.3mmほど発生する誤差を、断面形状部分では、0.05mm以下で形状に合わせこむことが可能になった。

謝辞

本研究は、公益財団法人天田財団平成22年度一般研究開発助成(AF-2010027)により実施したものであり、ここに感謝の意を表します。また、X線CTスキャナによる計測について、多大な協力をいただきました独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門藤本弘之氏、大澤尊光氏に謝意を表します。

参考文献

- 1) 大澤尊光・藤本弘之：産業用X線CT装置評価法に関する標準化動向，日本非破壊検査協会講演大会講演概要集(2011)