

PSO を用いたマスク機能付き平面度計測

伊藤俊治^{*1}、水野和康^{*1}

Flatness Measurement with Mask Processing by Using PSO

Shunji ITO^{*1} and Kazuyasu MIZUNO^{*1}

Industrial Technology Division, AITEC^{*1}

3次元形状計測データとマスクとの相対的な位置関係を PSO (Particle Swarm Optimization) と呼ばれる最適化手法を用いたソフトウェアで探索的に定めるマスク処理の方法を提案した。そして、シミュレーションと実験において以下のことを行った。試料をデジタルカメラで撮像した後、市販の画像処理ソフトを用いることによって、複雑な形状のマスクを容易に作成した。遺伝的アルゴリズム、PSO、独自に工夫した改良型 PSO などの生物の進化あるいは行動を模擬した最適化手法と 4 軸あるいは 5 軸の座標変換を組み合わせることによって、マスクと形状計測データとの位置合わせを計算機上で行った。改良型 PSO を用いた場合、試料の設置角誤差が 0~9°の範囲内であれば、繰り返し計測と同等の再現性で平面度を計測できることを実験によって確認した。

1. はじめに

自動車部品のうちダイキャスト品は軽量化、低価格化の目的でプレス加工品へと移行する傾向にあり、プレス加工品の形状を高精度に計測する要求が高まっている。プレス加工品の破断面近辺には加工によるだれが生じ、これをマスク処理によって形状計測の評価から除外する要求がある。そこで、本研究では市販の画像処理ソフトを用いて複雑な形状のマスクを容易に作成するとともに、鳥や魚などの生物の行動を模擬した最適化手法によって計算機上でマスクと試料との位置合わせを行う。これにより物理的な位置合わせを不要にした上でマスク処理する平面度計測の方法を提案する。

各種のマスク方式を比較する。まず最も簡便な方式として断面曲線の高さ方向の平均値を求め、これからしきい値以上離れたデータを除外するという方式が考えられる。非常に簡便な方式だが、しきい値が半ば平面度の値となり、入力したしきい値によって主観的に平面度が決定されてしまうという問題がある。

一方、除外したい領域を手動で決めるマニュアル方式が考えられるが、マスク形状が複雑な場合、領域の決定が困難であること及び同一マスクで他の試料を計測する際、試料の物理的な位置合わせに手間を要する欠点がある。

さらに破断面を基準にして、そこから一定量の幅をマスク領域として定める方式が考えられる。これは 3 次元形状計測データから直接マスクを作成できれば良い方法

であるが、実際にはデータのサンプリング間隔が粗い場合などではマスクの作成は困難である。また、データからマスクを直接作成できない場合には、試料の物理的な位置合わせなどに手間を要するという問題もある。

当所で所有する位相測定干渉計、3次元非接触粗さ計では、マニュアル方式によって除外領域を決定する方法が採られている。

本研究の課題としては、既存の画像処理ソフトあるいは 2 次元 CAD を用いて複雑な形状のマスクを容易に作成すること及び試料とマスクとの物理的な位置合わせを不要にすることとした。

2. 実験方法

2.1 原理

最適化手法によって計算機上でマスクと試料との位置合わせを行い、評価から除外する領域を決定する。この方法の付随的な効果としては使用したマスクに対して最小の平面度をもたらすマスク位置を最小領域法で導出できる点を挙げられる。手法は 4 軸あるいは 5 軸の座標変換と最適化手法を組み合わせるものである。変数として 3 次元形状計測データの平行・回転移動量を選択し、評価値としては、マスクしない領域の最大高低差を選ぶ。対象が多変数であること、及び評価値が多極小値性をもつことが予想されることから、最適化手法として PSO と呼ばれる鳥や魚の群の行動を模擬した手法を用いた。

2.2 PSO (Particle Swarm Optimization)¹⁾

^{*1}工業技術部 機械電子室

PSOは、swarm intelligenceという分野の一つであり、遺伝的アルゴリズムに代わるものとして1995年にエバートとケネディによって紹介された。PSOのアルゴリズムは、鳥や魚などの社会的な振る舞いを参考にして考え出されたもので、個体とその仲間の動きによって次の動きが決定される最適化手法である。

2.3 改良型 PSO

改良型 PSO は、本課題の評価値の特徴に適合するように、PSO の原理をベースに独自に改良した手法である。ここで、3次元形状計測データにおいてマスクされない部分を評価領域、測定物の存在する部分を測定領域と呼ぶことにする。測定領域から評価領域をはみ出させる個体であるならば、その個体を群の最良点周りの小さな矩形領域内のランダムな位置に配置し直し、PSO を開始しないというルールを付け加えた手法が改良型 PSO である。

3 . シミュレーション

3.1 シミュレーション条件

レーザ変位計と XY テーブルを組み合わせた 3次元形状計測システムによってリング状(外径:48mm、内径:40mm)のプレス加工品の平面形状偏差曲面を計測し、このデータをシミュレーションに使用した。レーザ変位計のサンプリング方法はたれ流し方法であり、サンプリング間隔は横方向に約 0.35mm、縦方向に約 1.2mm である。

また、マスクは外径 46mm、内径 42mm とし、数式によって作成した。変数としては、縦横方向の平行移動量とその各々の軸周りの回転移動量を選択した。

最適化手法としては、遺伝的アルゴリズム (GA)²⁾、PSO、改良型 PSO を選択した。各手法に共通の条件を表 1 に、遺伝的アルゴリズムに固有の条件を表 2 に示す。

表 1 各手法に共通の条件

個体数	50	最大世代数	100
変数の範囲	-2~2mm -0.005~ 0.005rad	繰り返し 探索数	10

表 2 遺伝的アルゴリズムの条件

染色体長さ	32bit	長さ分解能	0.0156mm
変数長さ	8bit	角度分解能	0.000039rad
突然変異の確率	5%	交叉の確率	80%
		交叉の箇所	4箇所

3.2 シミュレーションで用いる評価値の特徴

3次元形状計測データの縦横方向への平行移動量を X、Y とし、それらの軸周りの回転を零としたとき、全探索で求めた評価値の様子を図 1 に示す。表示領域は X、Y とともに -4mm から 4mm である。同図で突出した正方形のうちフラットに見える領域(A)においては、2.3節で定義した評価領域が測定領域から、はみ出した領域であり、この場合、意図的に一定の高い値を評価値に与えた。また、窪みのように見える領域(B)においては、評価領域が測定領域内に収まっている領域であり、この底部は多極小値性の特徴を示している。

3.3 シミュレーション結果

図 2 に、マスクの位置を決定するときの評価値の推移を示した。同図においては、それぞれの最適化手法ごとに 10 回の探索シミュレーションの平均値を用いた。評価値は、小さければ小さいほど良好だが、世代を増やすにつれて評価値の低下に違いが認められた。遺伝的アル

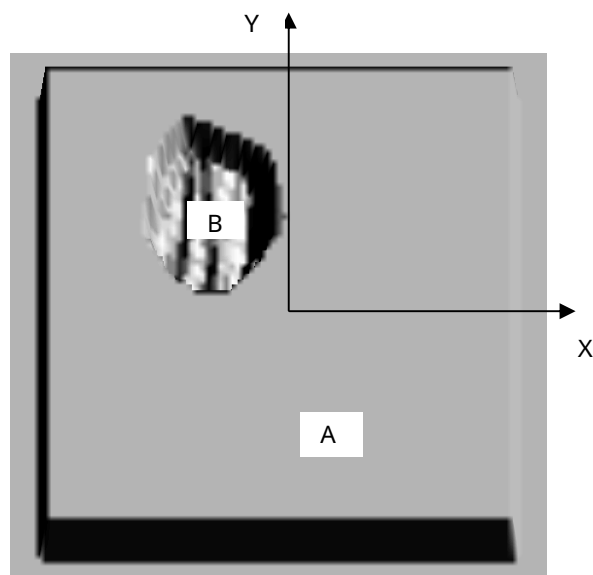


図 1 評価値の様子

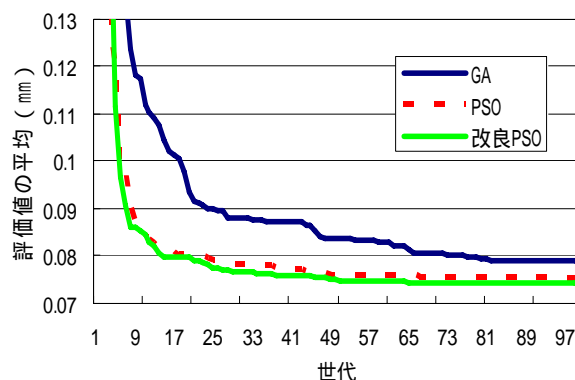


図 2 評価値の推移

ゴリズムでは、100 世代で探索を打ち切った場合、評価値が下がり切らないのに対して、PSO あるいは改良型 PSO はそれよりも評価値が小さくより効果的であった。改良型 PSO が最も良く、次に PSO、遺伝的アルゴリズムの順になった。

次に、3つの最適化手法の探索性能を比較するため、10回の探索シミュレーションにおける100世代目の評価値の平均を図3の(a)に、バラツキ(2σ)を図3の(b)に示した。(a)において、PSOと改良型PSOでは、ほぼ全探索(0.074mm)と同等の評価値になった。また、(b)において、10回のバラツキは遺伝的アルゴリズムで非常に大きく、PSOと改良型で小さかった。このことから100世代では遺伝的アルゴリズムの場合、探索が完全に収束していないのに対して、PSOと改良型PSOでは100世代で十分に収束したと言える。

次に、演算時間の比較を行った。使用言語はC++、CPUはPentium4、クロック周波数は2.4GHzである。PSOあるいは改良型PSOは遺伝的アルゴリズムよりも1桁速く、約2秒程度で演算を終了した。ちなみに全探索の場合、探索範囲を狭めて行っても約30分を要した。PSO

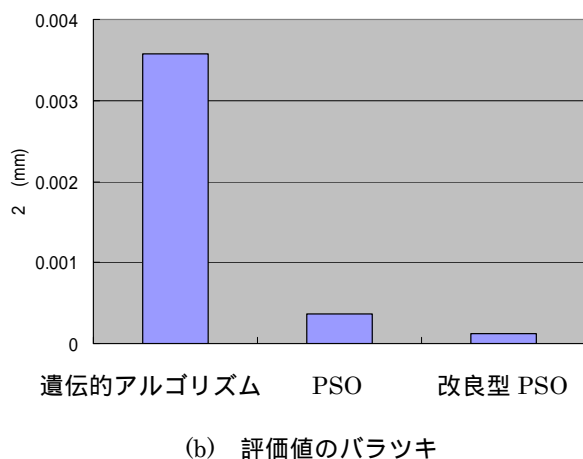
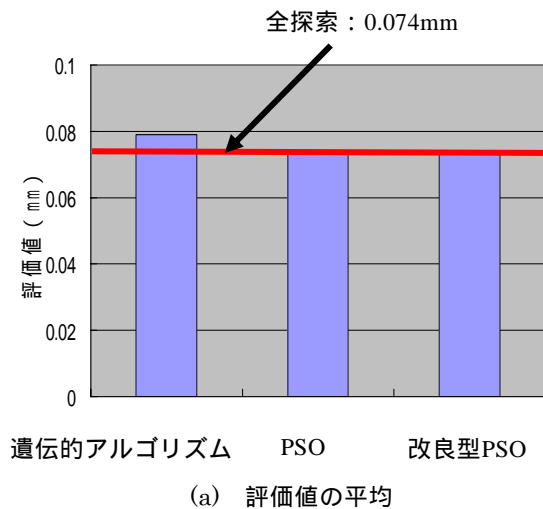


図3 100 世代目の評価値

及び改良型PSOは評価値の多極小値性に頑強であることのみならず、収束の速さ、演算時間の短さにおいてもすぐれた最適化手法であることが確認された。

4 . 実験結果及び考察

試料としては、直径65mmの排水栓を使用した。また、マスクは試料をデジタルカメラで撮像した後、Photoshopで作成した。マスクの直径は62.5 mmとした。

マスク処理例を図4に示す。(a)は、レーザ変位計を用いた3次元形状計測システムによって得た生データを表す。(b)は、マスクによって除去されるデータを表す。マスクの位置は改良型PSOを用いて、評価値が最小になるように計算機上で探索によって定めた。(c)は、マスク処理した結果である。全体の高低が良好に表示されており、評価領域が適切に決定されていることが分かる。この場合、平面度は0.253 mmとなった。

図5は、試料を45°回転させた状態で形状を計測し、同様にマスク処理した例である。マスクと測定データとの位置合わせについては、マスク側を固定とし測定データを座標変換する方法である。(a)の生データをマスクの位置へ回転し除去データ(b)を求めた。(c)はマスク処理後の結果となる。

物理的な試料の設置の差異に対する計測と評価の安定性を調べる目的で各種の実験を行った。まず、繰り返し測定において試料の設置位置を変えずに10回連続して計測し、その結果に改良型PSOを用いてマスク処理を行った。ただし、レーザ変位計からの取り込みデータは、たれ流しデータであるから、測定の都度、サンプリング

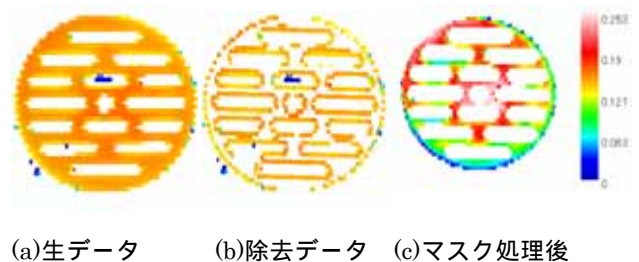


図4 マスク処理例(1)

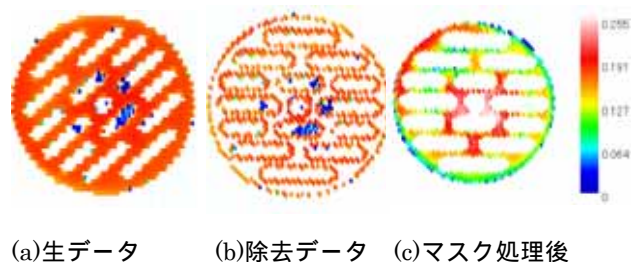
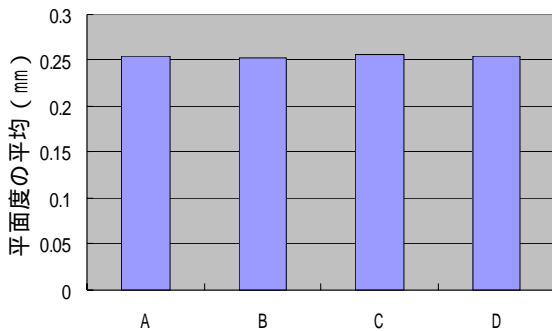


図5 マスク処理例(2)

データの横方向の座標値は異なる。従って、この実験は試料の設置位置は変更しないが、試料の異なった位置からデータをサンプリングし計測している実験と同等である。

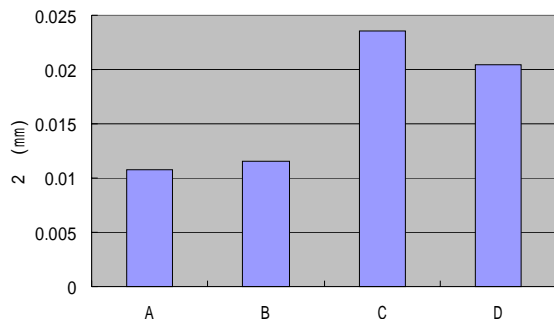
次に、試料の位置を0～9°まで1°ごとに回転させ、その都度、形状計測を行う実験を行った。また、0～90°まで10°ごとに回転させ、データを獲得する実験も行った。

さらに試料を縦方向に0～1.2 mmまで0.2 mmごとに



(a) 平面度の平均値

- A 繰り返し：試料位置を変更せず 10 回
- B 角度 (0°～9°)：試料位置を 1°ごとに回転
- C 角度 (0°～90°)：試料位置を 10°ごとに回転
- D y 方向 (0～1.2mm)：試料を 0.2mm ごとに移動



(b) 平面度のバラツキ

A、B、C、D は(a)と同じ

図6 各種測定方法による平面度

移動させ、移動させるたびに形状を計測する実験も行った。これは縦方向のサンプリング間隔が約1.4mmであることから、その中間を埋める測定データの時、算出される平面度がどのように変化するかを調べる目的である。

図6は、これらの実験で得られた平面度の平均値と2σを表している。比較すると平面度の平均値は(a)に示すようにほとんど同じだが、2σは(b)のように繰り返し実験と0～9°までの回転の実験では小さく、0°～90°の回転実験と0～1.2mmの移動実験では大きくなった。また、0～9°までの回転実験は繰り返し実験と同等のバラツキになることが分かった。従って、この範囲であれば試料を回転して設置しても問題ないと言える。また、計測システム自身の精度2σは、0.002mm程度であるから、測定箇所の違いによる差が大きいと言える。レーザ変位計によるたれ流しサンプリングデータを使用していること、及びサンプリング間隔が横方向に約0.6mmであり、縦方向に約1.4mmと粗いことから、サンプリング位置の相違によってこの程度のバラツキはあり得ると考えられる。

5 . 結び

最適化手法としてPSOを選択し、計算機上でマスクと試料との位置合わせを行い、評価から除外する領域を決定する平面度計測法を提案した。この方法の付随的な効果として、使用したマスクに対して最小の平面度をもたらすマスク位置を最小領域法で導出できた。

今回は、計測データとしてレーザ変位計とXYテーブルを組み合わせた3次元形状計測システムを使用したが、他の計測機の場合にも適用可能と思われる。本方法は、マスクを必要とするプレス加工品などの平面度を高精度に計測するために有用と考える。

文献

- 1) 伊庭斉志：進化論的計算手法，P159 (2005)，オーム社
- 2) 堀場ほか：愛知県工業技術センター報告，31，53 (1995)