

3次元CAD並びにラピッドプロトタイピングについての利用研究()^{*1}

田 野 俊 昭^{*2}

後 藤 卓 三^{*3}

香 川 康^{*4}

[要 旨]

図面を作成することが目的であった従来の2次元CADに対して、3次元CADは立体としてコンピュータ上にバーチャルな試作を行うことができる。3次元CADで作成されたデータを、設計以外の業務でも有効に活用する方法が求められている。

大企業が3次元CADの導入し、開発期間の短縮を図るなかで、中小企業も受発注に伴う3次元データの対応を余儀なくされている。

そこで、製品開発の上流における3次元CADデータの活用法として、ラピッドプロトタイピングシステムを用いた試作の京都府北部地域における適用を試みた。

また、昨年度の研究に引き続き、粉末積層造形の加工条件の検討を行い、表面性状の改良に関する一定の知見を得た。

1 緒 言

製品開発における品質の向上・納期短縮・コストダウンの要求は年々厳しくなる一方である。CAD(Computer Aided Design)システムは、設計を合理化するツールとして多くの製造業者に導入され、今では不可欠なものとなっている。

しかし、ここでいうCADとは、一般には2次元CADのことである。2次元CADは、設計図を効率よく作成するためのツールであり、データの用途は限られている。

これに対して、3次元CADで作成した設計データは、製品そのものの立体形状を持っているので、色々な角度から形状の検討が可能であるうえ、

加工や解析などの設計以外の業務でも形状情報の利用できる。

そのため、一つのデータを複数の部門で共有し、コンカレント(並行)な製品開発が可能になり、開発期間の短縮が期待できる。

近年、コンピュータの性能向上や開発期間短縮の要求を背景として、大企業を中心として3次元CAD/CAMが急速に浸透している。

それに伴って、3次元データによる受発注が発生し、これまで2次元データのみを扱っていた中小企業においても、3次元CADの導入を検討する必要が生じている。

また、業務を効率化してリードタイムを短縮するために、製品開発の各工程で3次元データをどれだけ活用できるかが、今後の企業間競争を生き残る鍵となる。

京都府北部地域(以下当該地域とする)の機械金属業界における取り組み状況を見てみると、一

* 1 地域産業集積中小企業活性化事業

* 2 機械電子課 技師

* 3 同課 主任研究員

* 4 同課 主任

部の企業を除いてあまり進んでいないことが前年度のアンケート調査等から判明した。

そこで、昨年度の研究に引き続き、3次元CAD及び3次元CADで作成したデータから高速に試作を行うラピッドプロトタイピング（以下RPとする）について、当該地域の企業で適用を試み、その効果を検証した。

また、粉末積層造形の加工条件の最適化によるRP製品の品質向上を図った。

なお、本研究は地域産業集積中小企業活性化事業の一環として行った。

2 研究内容

- (1) 当該地域企業で3次元CAD及びRPを利用し、その効果を検証する。
- (2) RP装置の加工条件を最適化し、成形品質の向上を検討する。

3 結果及び考察

3.1 当該地域企業による3次元CAD及びRPの利用研究

普段の設計では2次元CADにより設計を行っている企業において、3次元CADによる部品設計及び作成したデータからRPを用いた試作を行い、その利用によって得られる効果を検討した。当該企業は、板金部品を製造するための産業用プレス機械の開発を行っている。

注文された製品のプレス成形による加工法を検討し、金型の設計・加工から成形機の組み立てまで、一貫生産を行っている。

複数の工程を経て、最終的に複雑な形状の製品を成形している。各工程では、単純な形状を組み合わせるので、金型の設計は2次元CADで行っている。

今回、3次元CADによる設計を適用した製品

は、電気器具用の円形板金部品である。円周方向に溝が設けられ、外側の抜き勾配面に断面形状が鍵状になるような突起が、一定の間隔で設けられている。突起の先端は平面となっているが、円周面からの押出しであるため、先端部と円周面につながる突起部の側面は自由曲面となる。また、それぞれの面の交線には丸みがつけられている。

図面を基に、3次元CAD（CATIA V4.2.0）によりモデリングを行い、作成したモデルからSTLファイルを出力、RPによる立体モデルを作成した。

・設計品質の向上について

設計図では、断面が徐変する形状のような曲面的なつながりを表現できないので、これらの曲面的なつながりは推測により図面化されていた。

こうした外形線が推測で描かれた図面では、加工段階で指示された形状に加工できないことになり、本型作成までに形状の調整が必要になる。

3次元CADによるモデリング、特にソリッドモデリングでは、コンピュータ内に実体モデルを作成される。

そのため、矛盾した形状はモデリングできず、設計者は完全な製品形状の入力を要求されるので、不用意な設計ミスを防ぐことができる。

今回の製品を3次元CADによりモデリングを行ったところ、曲面が交差するエッジにつける丸みの半径が、元の図面で指示されている値ではモデリングが不可能であった。（図1）

そのため、半径が徐々に変化する自由曲面を作成して、矛盾のない形状が作成された。この3次元データから2次元に投影することにより、図面に正しい輪郭を描くことができた。

・RPによる部門間の情報伝達

当該企業では、金型の作成は当然ながら設計図

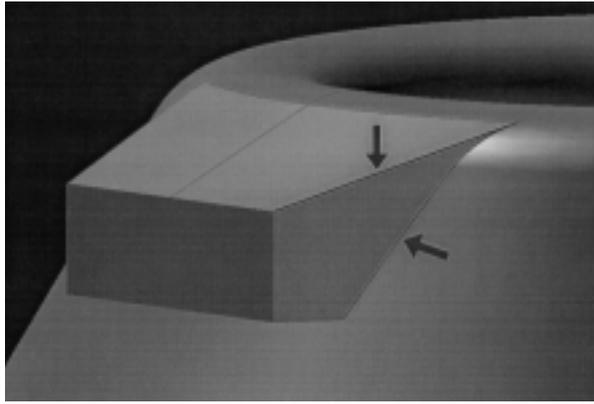


図1 単一半径で丸み付けできないエッジ

を基に加工しているが、図面上に形状が表現されていない部分は加工者が判断している。

一度で良好な金型ができることは殆どなく、プレスした製品にシワや破断などの不具合が発生する。不具合の発生した部分は、金型に修正を加えて、問題点を潰してゆく方法を繰り返している。

今回の製品は、当該企業で今までに手がけたことのない複雑な形状であるため、発注者・設計者・加工者間で形状把握に差があり、従来の進め方では納期やコスト面で大きな損失につながる可能性が高い。

そこで、RPで立体モデルを試作したところ、設計図では確認できなかった曲面のつながりや、色々な角度からの形状の検討が可能になり、発注者・設計者間で製品形状の調整が図られた。

また、加工工程を検討する際にもRPモデルにより立体的な形状の把握に参考となった。

基本設計を3次元から始めることで、試作と図面出力が並行して進められるため、設計段階の効率化はさらに向上することが予想される。

3.2 RP装置の最適成形条件の検討

機器はDTM社(米)のSinterstation2000、材料は同じDTM社から供給されるナイロン系樹脂(商品名:デュラフォーム)を使用した。(主な仕

表1 Sinterstation2000の仕様

レーザー方式	CO ₂ レーザー 定格出力: 50W
レーザー走査方式	ガルバノミラー
最大成形寸法	φ305×H380mm
積層ピッチ	0.127mm(可変)
コントローラ	OS: WindowsNT ファイル形式: STL

様は表1のとおり)

この装置は、ローラで均一にならした粉末層にCO₂レーザーを照射してモデルの断面形状を溶着させる工程を繰り返して積層し、立体モデルを成形する。

レーザーを照射する際、パートテーブル上の粉末の温度を予め融点付近まで上昇させておくことで、溶着に必要なレーザー出力を下げ、過剰な溶着を防ぐことで形状の再現性を保っている。

そのため、レーザー出力とその走査速度及びパートテーブルの温度は相互に成形中の粉末の溶着強度に大きく影響を与えると考えられ、微妙な調整が必要となる。

また、レーザーは一方向を反復して走査しているが、断面形状によりレーザーの走査範囲が変化すると、その端点のずれが輪郭の段差として現れてしまう。

本研究では、これら成形に関する2つの要素に着目し、成形品質の向上を試みた。

3.2.1 引張り試験による成形条件の比較

引張強度について、粉末焼結による積層造形の最適成形条件を検討した。

表2に示す設定により試験片を成形し、引張試

表2 引張試験片の成形条件

レーザー走査速度	1,900 (mm/min)
レーザー走査間隔	0.15 (mm)
パートテーブル温度	180, 181, 182 (°C)
レーザー出力	6.3、6.6、6.9、7.2、7.5、(7.8、8.1) (W)
サンプル数	1条件につき5個

表3 引張試験の試験条件

試験機	インストロン 5500R (MODEL1122)
試験速度	20mm/min
標点距離	50mm

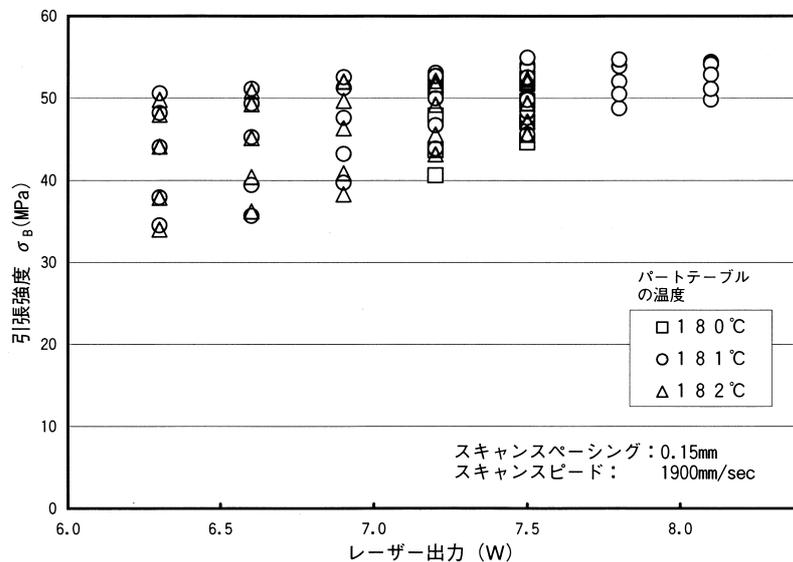


図2 パートテーブル温度、レーザー出力と引張強度の関係

験を行った。表3に試験条件を示す。

図2に、パートテーブル温度別にレーザー出力と引張強度の関係を示す。

パートテーブル温度を180 から182 までの3段階、レーザー出力を6.2Wから7.5Wまでの5段階としてそれぞれを組み合わせる成形したものであるが、パートテーブル温度180 で成形した試験片は、レーザー出力が6.8W以下のものは反りにより大きな変形が発生するなど成形品質のパラツキが大きいため、正常な成形ができないと判断

し、測定していない。

また、パートテーブル温度182 での成形は、レーザーが照射されない部分でも弱い溶着が起っており、試験片の取り出しが容易に行えなかったため、パートテーブルの最適温度を181 とし、7.8Wと8.1Wの成形を追加した。

レーザー出力の増加に伴い、引張強度も増加しているが、レーザー出力が7.5Wを超えると、引張強度の有意差は認められない。

この材料での成形品の引張強度は55Mpa付近で

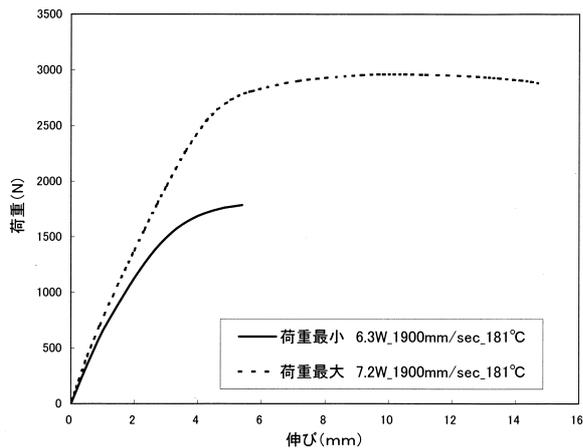


図3 荷重 - 伸び線図

あることが予想される。

また、出力の増加とともに同じ条件での引張強度のばらつきが収束する傾向が見られる。

図3は引張試験で、最大荷重が最大値と最小値を記録した試験片の荷重 - 伸び線図を示す。

引張強度が最小値であった試験片では、荷重に対する伸びが大きい、荷重が上昇する途中で破断しているため、最終的な伸びは短い。

それに対して、引張強度が最大値を記録した試験片では、始めは伸びが小さく直線的であり、徐々に伸びを大きくしながら最大荷重を記録し、また徐々に荷重を低下しながら伸びつづけて破断に至っている。最終的な伸びも大きい。

引張強度が低い試験片では、標点間で破断したものはまったくなかったが、標点間で破断した試験片では伸び及び最大荷重とも他の同じ条件で成形した試験片の中で最も大きい値を記録している。

目視で観察したところ、多くの試験片が白色の部分と灰色の部分に分かれている。これらの試験片の破断部は、試験片の中心部から大きく離れた、白色と灰色の境界付近に集中していることがわかった。

このRPで使用している材料は、粉末の状態

は白色であるが、完全に溶融すると灰白色になる。試験片の色の違いは、粉末の溶融の程度と関連があり、白色の部分はレーザーの加熱が不十分でポラスであるのに対して、灰白色の部分は粉末が良く溶けて結合しあっていると考えられる。

したがって、破断部が偏っているのは、試験片全体で一様に溶融されていないことが原因であると予想される。

このような溶着強度のばらつきの原因は、パートテーブル上の温度分布が均一でないことが挙げられる。

パートテーブルの温度は、1つのIRセンサーでパートテーブル中央付近を計測しており、その測定値のフィードバックによりテーブル上部のヒーターによる加熱のON/OFFで温度制御を行っている。

このヒーターはレーザー光を避けるためドーナツ型をしている。

また、成形室には、酸素濃度の抑制及びレーザーウィンドウへの材料の凝結防止のため、常に窒素ガスが供給されている。

ヒーターの形状や窒素ガスの流れがパートテーブル上の温度分布に影響を与えて、レーザー出力と粉末の温度とのバランスを崩し、その結果、粉末の溶着を不安定にしているのではないかと考えられる。

今回の実験では、一定の値を超えるレーザー出力を照射することでパーツ強度のばらつきを抑制できることが判った。

パートテーブル温度が181 の場合、レーザーの走査速度1900mm/minに対してレーザー出力を7.5W前後で成形を行うと最適な成形品質を得ることができる。

しかし、レーザー出力が強すぎると、粉末が過剰に溶着を起こすため、輪郭がボケてしまうので

注意が必要である。

3.2.2 レーザーの輪郭走査による成形品質の向上についての検討

1回の断面形状へのレーザー走査は、通常の成形では、テーブルを上から見て横方向に等ピッチ(0.15mm)にずらしながら往復させてパーツの断面を塗りつぶすようにガルバノミラーによりコントロールされている。

横方向を往復する際の端点付近は切り返しのため走査速度がほとんどゼロになるが、レーザー出力は一定なので、粉末が過剰に溶融している。

そして、設定された走査間隔だけ離れて逆方向に走査を開始するため輪郭部に図4のような段差が生じる。

輪郭が走査方向に平行に近くなると、走査線の端点の移動量が大きくなるため、生じる段差が顕著に顕われる。

そこで、通常の走査後に輪郭部のみを再度なぞるように走査する工程を追加し、輪郭の円滑化を試みた。

半径50mmの曲面と走査方向に対して20度の傾いた平面を持つモデルを成形した。(図5)

曲面では、レーザーを走査する方向と輪郭の角度の違いによる段差の間隔の変化を観察する。

従来の横方向の走査を引張強度が最大になる設

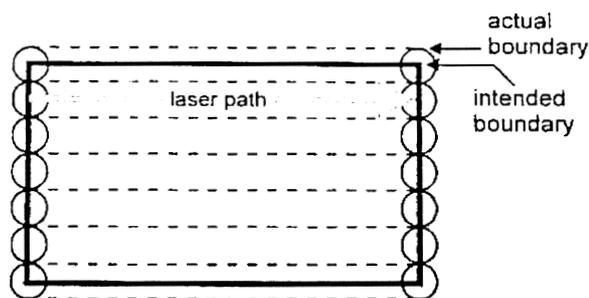


図4 レーザーの走査

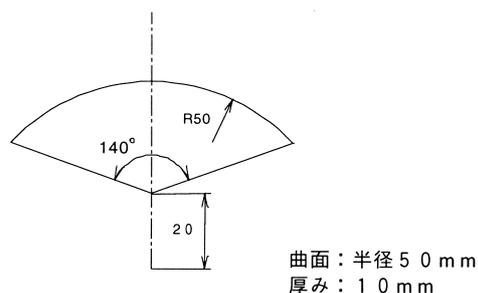


図5 輪郭部走査試験用モデル

定値で行い、その後に輪郭部の走査を行った。表4に成形条件を示す。

・表面粗さ測定機による平面の円滑化の評価
曲面微細形状測定システム(テラーホブソン社フォームタリサーフS6)で、平面部の表面を段差と垂直にトレースして計測した結果の波形を観察した。

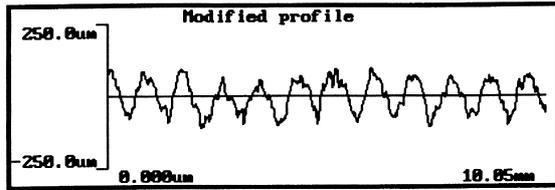
図6にその結果を示す。

輪郭部の走査なしのモデルでは、明確な段差が

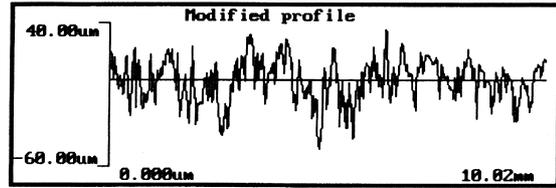
表4 輪郭部走査の成形条件

基本条件	パートテーブル温度	181(°C)
	レーザー出力	7.5(W)
	レーザー走査速度	1,900(mm/min)
	レーザー走査間隔	0.15(mm)
輪郭部	輪郭部の走査	なし、あり
	レーザー出力	2、2.5、3(W)
	レーザー走査速度	280、360(mm/min)
	オフセット量	+0.1、+0.05、0、-0.05、-0.1(mm)

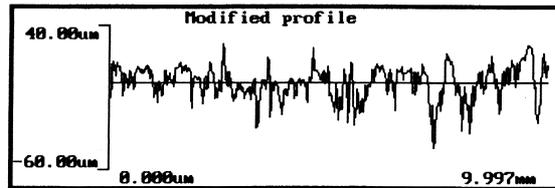
※オフセット量は輪郭に対して内側をプラスとする。



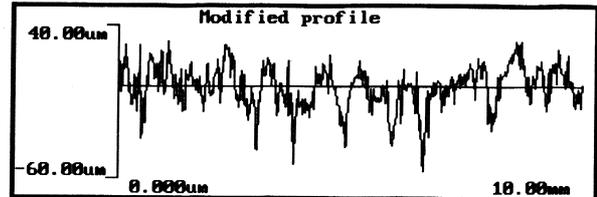
a) 輪郭走査 なし



c) 輪郭走査 あり
 レーザー出力： 3 W
 走査速度： 360mm/sec
 オフセット量： 0mm



b) 輪郭走査 あり
 レーザー出力： 3 W
 走査速度： 360mm/sec
 オフセット量： -0.1mm



d) 輪郭走査 あり
 レーザー出力： 4 W
 走査速度： 360mm/sec
 オフセット量： 0mm

図6 平面部の輪郭形状

等間隔に現れているが、輪郭部を走査したモデルは、段差は観測されず、輪郭部の走査条件の違いによる表面性状の有意差は見られなかった。

・ 目視による表面の円滑化の評価

平面、曲面ともに輪郭部の走査により、表面性状の改善が確認できた。

走査速度に対して、レーザー出力が大きいほうが表面の段差は目立たなくなっていた。

また、レーザーのオフセット量をマイナス値（輪郭に対して外向き）に設定したものがより良い結果となった。

レーザー出力が大きすぎると余剰硬化を起こし、オフセット量が大きいと、横方向の走査で溶着している部分との乖離による粉末溶着状態の悪化を招く。

最も表面が円滑に成形された条件（輪郭部のレーザー出力：3 W、輪郭部の走査速度：360mm/sec、オフセット量：-0.1mm）では、段差がほとんど見られなかった。

4 結 言

企業の図面からモデリングを行う際、基本的に3次元CADのソリッドモデリング機能を使用した。しかし、図面化されない部分を表現するにはソリッドモデリングだけでは不十分であったため、サーフェスマデリング機能で作成した。3次元CADの操作に関する研究者の習熟度の問題もあって、結果的にモデリングに時間を要したが、形状を理解する手助けや設計品質の向上などに3次元CADやRPの効果が認められた。

設計初期段階への3次元CADの適用により、他部門へのデータ活用の波及性による業務の効率化も予想される。

RPの加工条件については、成形中のパートテーブル上の温度環境が成形品質（特に試作品の強度）に与える影響が大きいことが判明し、レーザー出力及びパートテーブル温度の細かい設定によって成形品の強度が向上した。

また、輪郭部のレーザー照射の追加による輪郭の円滑化が図られ、成形後の仕上げ作業が削減さ

れた。

3次元CADは操作を習得するための設計者への負担の増加により、導入当初は設計効率が低下する恐れがある。しかし、操作に習熟することで、設計品質の向上や後工程への活用などにより業務全体に及ぶ効果が期待できる。

また、RPの利用により、形状確認用の試作が素早く行え、設計部門以外で形状を検討できるのも大きなメリットといえる。

RPの装置は高価であり、企業が導入するには負担が大きい。また、インターネットの普及により、遠隔地からのデータ転送が簡便になっていることも併せて、当センターのRPを有効に活用されることが望まれる。

(参考文献)

- 1) 中川威雄、丸谷洋二：積層造形システム 三次元コピー技術の新展開、工業調査会、(1996)
- 2) 後藤卓三、田野俊昭、鎌田和彦：3次元CAD並びにラピッドプロトタイピングについての利用研究、本誌No.28、(2000) P.1