

# リバースエンジニアリングを活用した複雑形状を把持できるバイスの開発

## Development of precision vise for complicated-shaped samples using reverse-engineering

南相馬技術支援センター 機械加工ロボット科 夏井憲司

応募企業名 日本オートマチックマシン株式会社

リバースエンジニアリングを活用して、口金に把持したいサンプル形状を転写することにより、自由曲面を含むような複雑形状であっても面接触により確実に把持することができるバイスの開発を行った。その結果、ドローンのプロペラや配管用バルブをサンプルとして、面接触でガタつきなく把持することができた。また、精度良く位置決めすることも可能になった。

**Key words:** 精密バイス、リバースエンジニアリング、位置決め精度

### 1. 緒言

把持したいワークの形状に合わせてバイスの口金を加工し、面接触でしっかりとワークをクランプする手法は、これまでも用いられてきた。しかし、そのほとんどは、円筒形などの単純な形状であり、自由曲面を含むような複雑形状については例が見られなかった。そこで今回、応募企業の製品のひとつである樹脂製の精密バイス(図1)を対象に、リバースエンジニアリングを活用して自由曲面を含む複雑形状のサンプルも面接触で把持できるバイスの開発に取り組んだ。

また、面接触でのクランプの効果として、サンプルの位置決め精度の向上も見込めるため、併せて開発したバイスの位置決め精度の評価も行った。

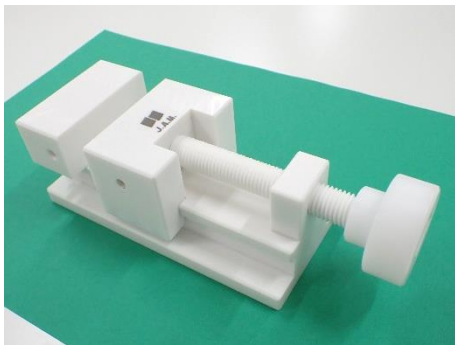


図1 応募企業開発の樹脂製精密バイス  
(把持寸法 幅70×高さ30×長さ80[mm])

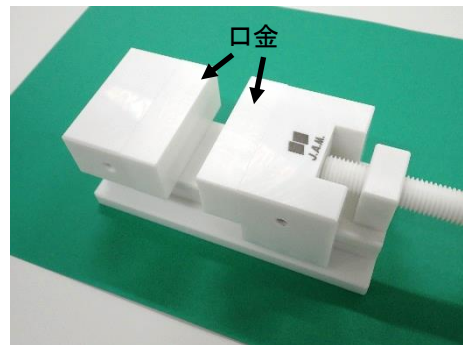


図2 改造後のバイス

### 2. 2. 把持するサンプル

今回把持するサンプルには、全体が自由曲面で構成されたドローンのプロペラ(全長150[mm])を使用した。サンプルの外観を図3に示す。



図3 サンプルとしたプロペラ

### 2. バイスの開発手順

#### 2. 1. 口金の取り付け

初めに、応募企業の精密バイスは、口金が存在しないタイプであったため、本体と同じPET樹脂製の口金をねじ止めで固定できるように改造を施した。改造後のバイスを図2に示す。

#### 2. 3. 口金のCADデータの作成

このプロペラを、非接触三次元測定機(ATOS Compact Scan 12M (GOM社製))を使用して形状測定し、3Dデータを取得した。得られた3Dデータを図4に示す。



図4 プロペラの3Dデータ(STL形式)

このプロペラ形状をそのまま口金に転写しても、挿入に必要なスペースを確保することができない。そこで、この3Dデータに対しGeomagic Freeform Plus (3D Systems社製)を使用して形状編集を施した。このソフトのモールドツールには、指定した抜き勾配以上になるように、形状の肉付けやそぎ落としを自動で行う機能が存在する。この機能を使用して、挿入に必要なスペースを肉付けにより作成した。なお今回、機械加工により口金にサンプル形状を転写しようと考えていたため、作業性を考慮して、抜き勾配は6度と大きめの値を設定した。形状編集後の3Dデータを図5に示す。

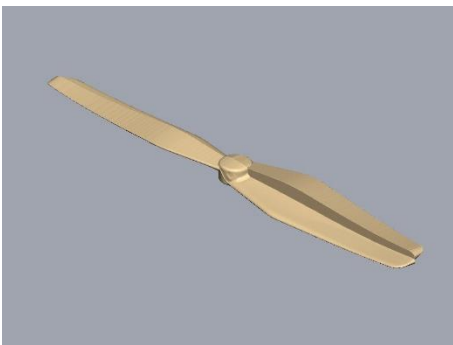


図5 肉付けを行った3Dデータ

ここで、バイスと接触しない部分は口金のCADデータ作成には不要であるため、この後の作業の簡便化のためにGeomagic DesignX (3D Systems社製)を使用して不要な形状の削除を行った。削除後の形状を図6に示す。

この3Dデータをリバースエンジニアリングによって、CADデータに変換した。その後、ブール演算により口金のCADデータとプロペラのCADデータの差分を求めて、CADデータを作成した(図7)。

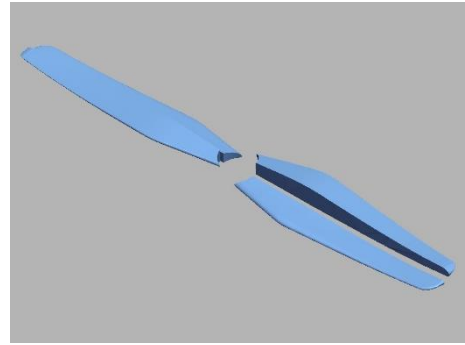


図6 不要な形状を削除した3Dデータ

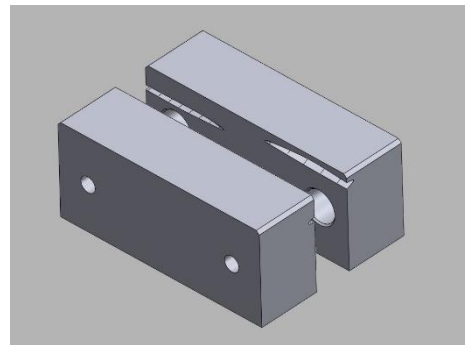


図7 口金のCADデータ

また、ブール演算により作成した溝にプロペラを挿入する場合、ある程度の隙間が必要になると考えられる。しかし、隙間を大きくしすぎるとプロペラと接触する面積が減少してしまう。そこで、適切なクリアランスを調べるために、プロペラのスキャンデータからオフセットのコマンドにより0.025、0.05、0.1、0.2[mm]拡大した4種類のCADデータを作成した。ブール演算より、プロペラとクリアランスの異なる合計5種類の口金のCADデータを作成し、性能の評価を行うことにした。

#### 2. 4. 口金の機械加工

作成した5種類の口金のCADデータを使用して、プロペラを把持する溝を口金に加工した。CAMはhyperMill (OPEN MIND社製)を、加工にはマシニングセンタを使用した。

### 3. 性能評価

作製した5種類の口金をバイスに装着し、プロペラの把持を試みた(図8)。すべての口金で、プロペラをガタつきなく把持することができ、使用感の違いは見られなかった。

そこでクリアランスによる違いを評価するために、きさげ作業などで使用する当たり検査剤を使用して、口金とプロペラとの接触面積を評価した。また、転写

した形状で把持することにより、位置決め精度の向上も見込めるため、CNC 三次元測定機を使用して、位置決め精度の評価も併せて行った。

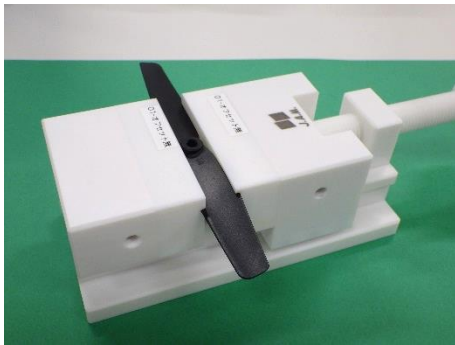


図8 プロペラを把持した様子

### 3. 1. 接触面積の評価

クリアランスの異なる5種類の口金について、プロペラとの接触面積の評価を下記の手順で行った。

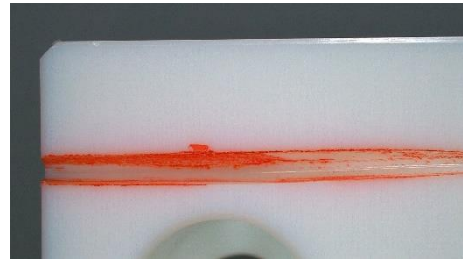
- ① プロペラの口金と接触する部分に当たり検査剤(SP-Red (株) ナカニシ製)を薄く塗布する。
- ② 手でプロペラを口金に挿入し、しっかりと接触させる。
- ③ プロペラを取り外して、口金に残った当たり検査剤を実体顕微鏡(S9i (ライカ社製))で観察する。

検査剤の残った部分が口金とプロペラの接触した箇所と考えられる。口金に残った検査剤の実体顕微鏡写真を図9に、考察を以下に示す。

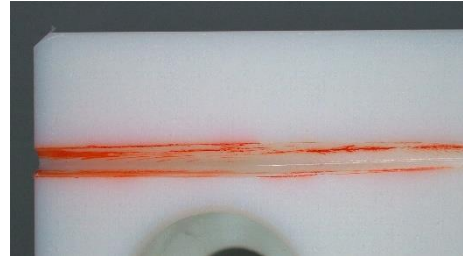
(a)プロペラのCADモデルをオフセットしなかった口金と、(b)0.025[mm]オフセットさせた口金は、溝の底に検査剤が付着していなかった。クリアランスが足りず、プロペラが溝の底まで挿入できなかったと考えられる。

(c)0.05[mm]オフセットした口金では、溝の底の検査剤の付着していない部分がわずかに存在した。(d)0.1[mm]オフセットした口金と、(e)0.2[mm]オフセットした口金は、溝の底に検査剤が付着していたため、完全に挿入できたと考えられる。しかし、(e)の口金では本来、接触するように設計した溝の上面(図9(e)の青い四角で示した箇所)に検査剤が付着しておらず、クリアランスを大きくしすぎたため溝の底のみで接触していたと思われる。

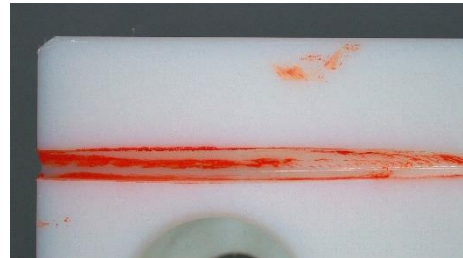
以上の結果から、今回の条件では、0.05から0.1[mm]が適正なオフセット値であると考えられる。



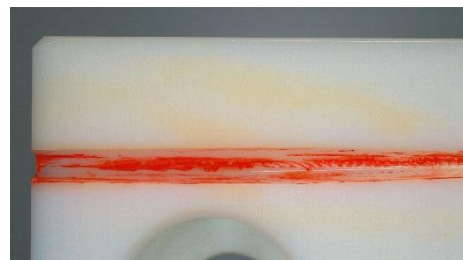
(a) オフセットなし



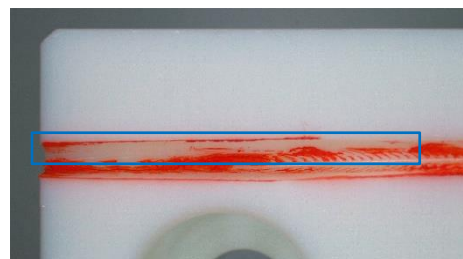
(b) 0.025mm オフセット



(c) 0.05mm オフセット



(d) 0.1mm オフセット



(e) 0.2mm オフセット

図9 実体顕微鏡の観察画像

### 3. 2. 位置決め精度の評価

5種類の口金の位置決め精度の評価を下記の手順で行った。

- ① 口金の固定ねじを仮締めする。
- ② プロペラを溝に挿入、口金の位置を微調整し、プロペラのがたつきがなくなった状態で、バイスの送りねじを回してクランプする。
- ③ 口金の固定ねじを本締めする。

- ④ CNC 三次元測定機を使用して、図 1 0 に示すように、測定座標系を設定する。
- ⑤ プロペラ中心の六角穴(図 1 1)と端面の高さ(z 座標値)を測定する。
- ⑥ 六角穴中心の x 座標値を  $x_0$ 、y 座標値を  $y_0$  とする。端面の z 座標値を  $z_0$  とする。
- ⑦ プロペラを精密バイスから取り外す。
- ⑧ 再度、プロペラをクランプする。
- ⑨ 六角穴の中心と、その上面の z 座標値を測定する。
- ⑩ 下記の式で、各軸方向の位置決め誤差を計算する。  
 x 軸方向位置決め誤差  $\Delta x_n = x_n - x_0$   
 y 軸方向位置決め誤差  $\Delta y_n = y_n - y_0$   
 z 軸方向位置決め誤差  $\Delta z_n = z_n - z_0$
- ⑪ ⑦から⑩を9回繰り返す。

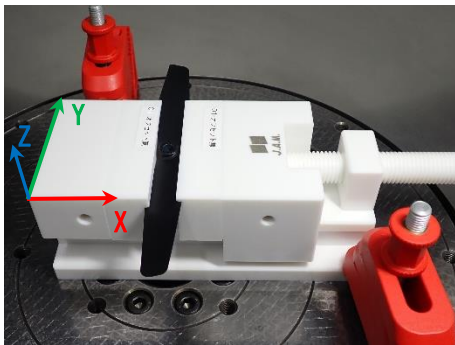


図 1 0 測定座標系

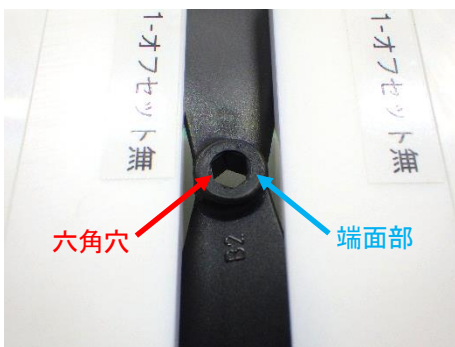


図 1 1 測定箇所

10回の繰り返し測定により求めた各軸の位置決め誤差を図 1 2 から 1 4 に示す。

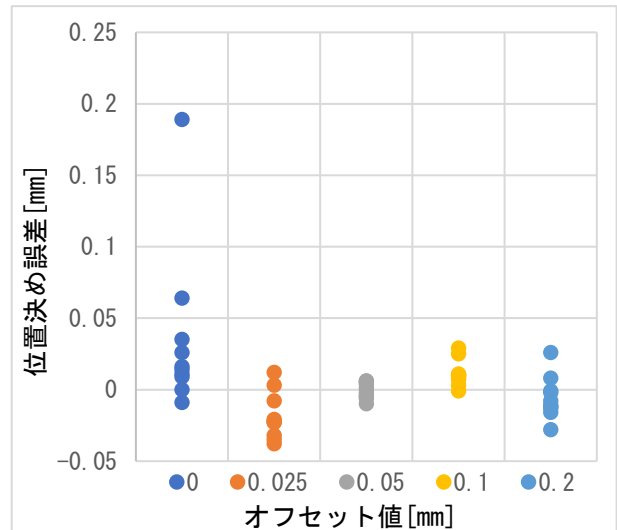


図 1 2 x 軸方向位置決め誤差

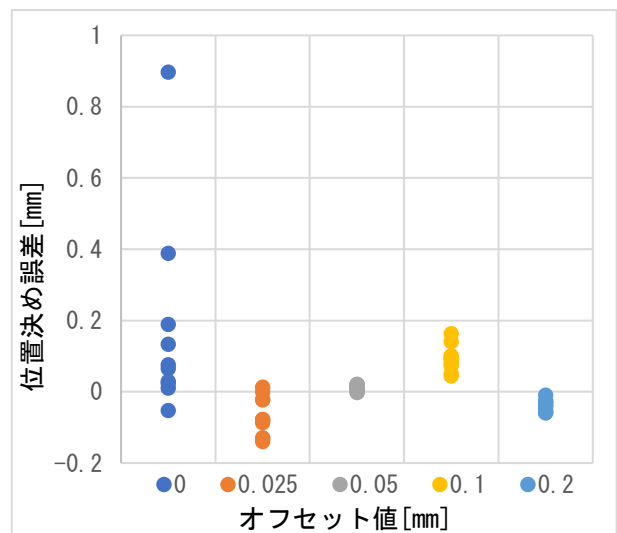


図 1 3 y 軸方向位置決め誤差

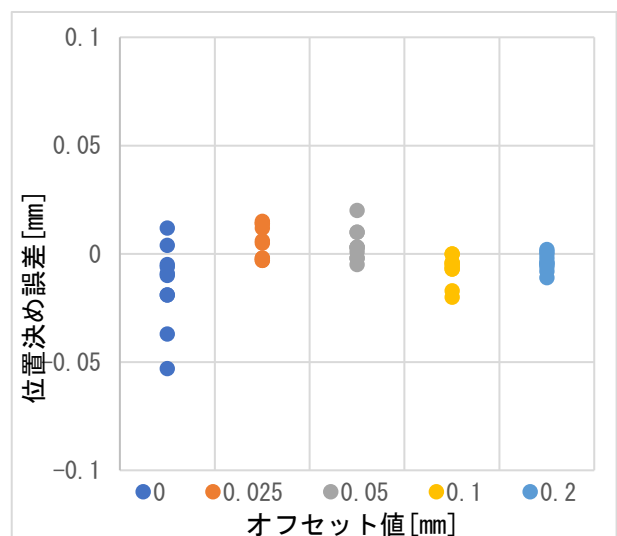


図 1 4 z 軸方向位置決め誤差

オフセットを施した口金は、おおむね良好な位置決め精度となった。最も誤差の大きかった y 軸方向の位置決め誤差も 0.2[mm]以下に抑えることができた。特に 0.05[mm]オフセットした口金では、三軸とも位置決め誤差を 0.05[mm]以下にすることができた。

オフセットなしの口金は、位置決め誤差が最大となった。図9の(a)から分かるようにプロペラが口金の溝の底まで挿入できなかつたことにより、本来、設計した位置以外の箇所でプロペラが引っ掛かり、そのままクランプしてしまったからだと思われる。

また、三軸の内、y 軸方向の位置決め誤差が最も大きくなった。今回使用したプロペラの長さが口金の幅より大きかつたため、y 軸方向に口金をはみ出して把持することになった。他の二軸と違い全体を挟み込む形で把持できなかつたため、位置決め誤差が大きくなったものと考えられる。プロペラより幅の大きな口金で全体を把持できれば、y 軸方向の位置決め誤差を減少させることができるとと思われる。

### 3. 3. 他製品(配管用バルブ)への適用

図15に示す配管用バルブに、今回開発した手法の適応を試みた。バルブの寸法は、幅53×高さ70×奥行25[mm]である。スキャンデータからのオフセット値は0.1[mm]とし、プロペラと同じ手順で口金を作製した。作製した口金を図16に示す。



図15 サンプルとしたバルブ

また、同様に接触面積と位置決め精度の評価も行った。接触面積の評価結果を図17に示す。バルブの金属部分は鋳肌であったため完全に密着はしなかつたが、当たり検査剤が転写した形状全体に分散して付着していたため、局所ではなく全体で接触していたものと思われる。

このバルブのハンドルは六角ナットで固定されていたため、このナットの中心 x 座標値と、y 座標値、ナット端面の z 座標値により位置決め精度の評価を行った。位置決め精度の評価結果を図18に示す。プロペラのモデルとは違い、バルブでは x 軸方向の位置決め誤差が大きくなった。モデルの形状により位置決め誤差の

出やすい方向が決まるものと思われる。しかし、位置決め誤差は最大で 0.1[mm]以下となり、高い精度で位置決めすることができた。

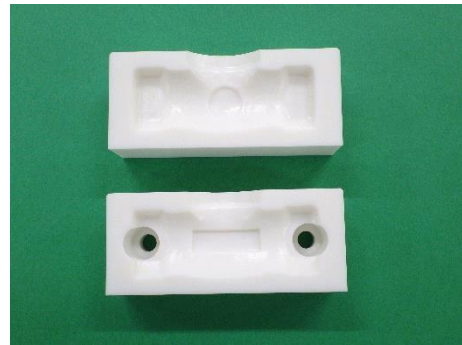


図16 バルブ用口金



図17 口金に残った検査剤の観察画像

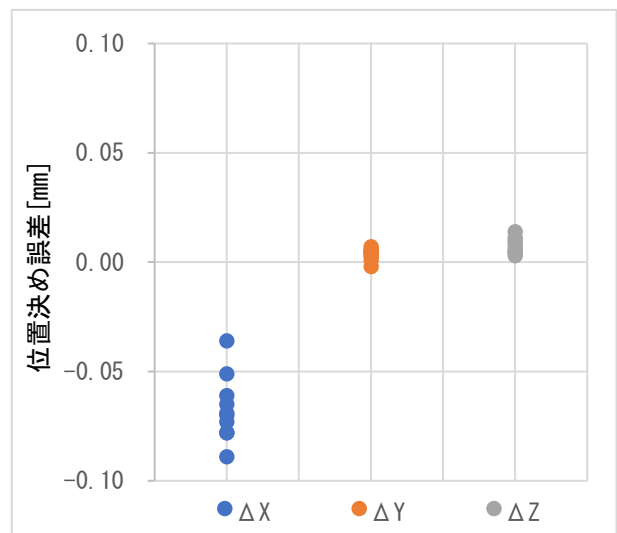


図18 バルブの位置決め誤差

## 4. 結言

リバースエンジニアリングを活用して、口金に把持したいサンプル形状を転写することにより、自由曲面を含むような複雑形状であっても面接触により確実に

把持することができるバイスの開発を行った。

その結果、ドローンのプロペラや配管用バルブをサンプルとして、面接触でガタつきなく把持することができた。また、プロペラでは位置決め誤差を0.05[mm]以下に、配管用バルブでは0.1[mm]以下に抑えて、精度良く位置決めすることも可能になった。