

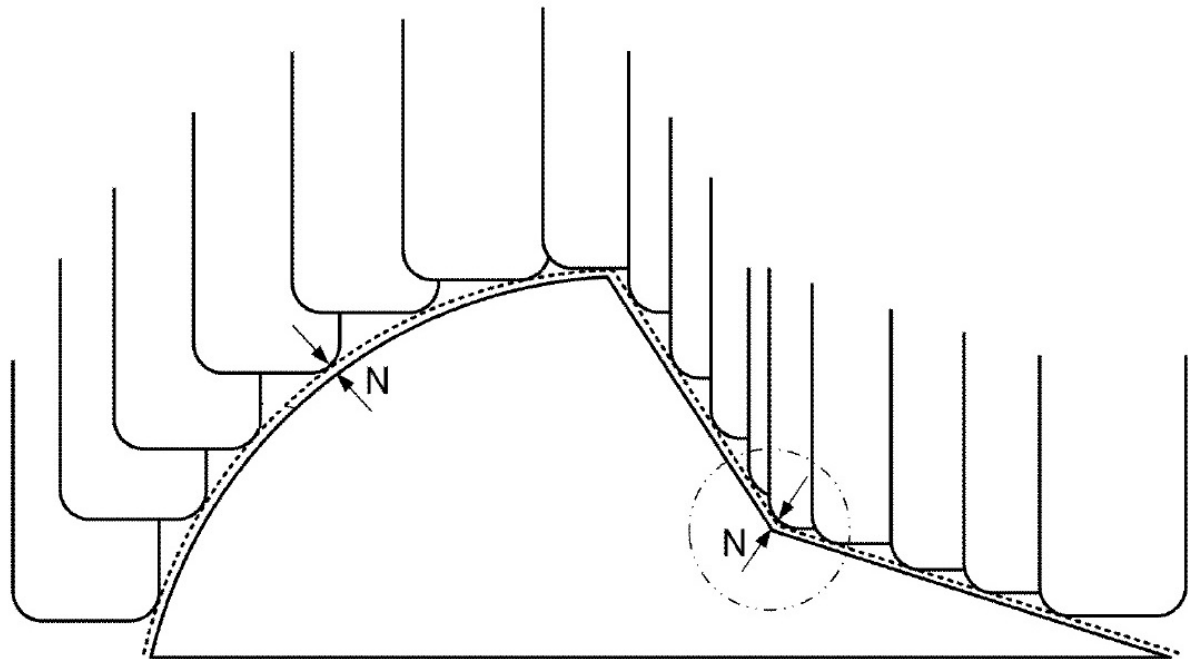
# 三次元補正技術

株式会社ジェイネット  
ジェイコア開発チーム

2018年9月に三次元補正に関する特許（特許第6399675号）を取得させていただきました。1998年に機上測定器開発を開始した時より、製品としての最終目標はここでした。

当時より工具長や工具径に関してはレーザや接触式などで、測定を行うことは実施されている企業様も御座いましたが、レーザ式では誤差が発生する、接触式では主軸が止まっている状態でないと測定できないなど、解決しなければならない壁がたくさんありました。様々な測定方法を試して行き着いた先が画像を用いて測定させる方式になりましたが、画像に拘ったのは、それだけが理由では御座いませんでした。

少し極端な表現になってしまいますが、工具長や工具径だけを測定して補正を行っても精度良く補正が反映されるのは、加工機械のテーブルに平行な底面加工と90°の立ち壁だけなのです。



工具と材料が当たるポイントをNで示します。

上の図を御覧ください。曲面と斜面の加工ですが、実際に加工を行っているポイント(N)は、工具長や工具径で表される点では無いのです。本図では一例としてラジアスエンドミルを挙げましたが、これはボールエンドミルでもスクエアエンドミルでも同じです。

現在は工具長と工具径を測定し、例えばR0.5mmのラジアスで切削を行う場合は半径が0.5mmの理想曲線を引いてCAMはパス（加工プログラム）を計算します。しかし、主軸には伸びも振れもありますので実加工回転数での工具長・工具径測定は必須でした。

しかし、前図のように実際に当たるポイントはそれらの計算だけでは、摩耗や振れ周りによる変形や、工具の形状誤差（殆の工具はマイナス公差で作られますので例えば R1.5 のボールエンドミルは径が  $2990\mu\text{m}$  等になります。したがって径の部分で正確な R にはなりません）が発生しますので補正は行なえません。

ですが、発想を逆転すると、どのような状況であっても先端形状が二次元或いは三次元で正確に捉えられていれば、実際に当たるポイントを基本的にプログラムできますので三次元補正は可能になります。

話題は若干戻りますが、1998 年の開発当初から画像で補正技術を解決する方法として選んだのは勿論、様々なシステムを試してうまくいかなかったこともありますが、完全な自動化・無人化を行うためには、この三次元補正を完成させなければならないことを認識しており、そのことが大きな要因となっております。

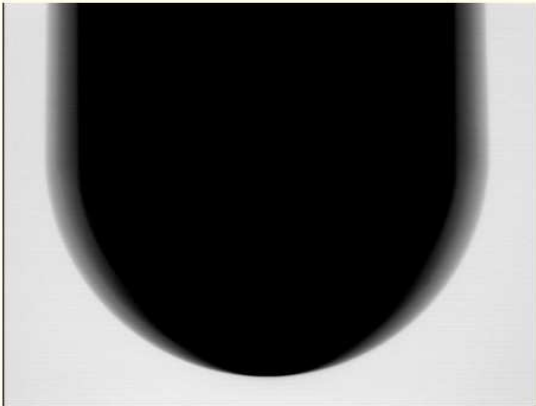
本製品を開発する際に最終目標が、そこであることを見失いますと、日々進化する製品と最終的な着地点に整合性が無くなり、製品のシステム自体が対応しなくなる可能性が高くなります。従いまして、その時点ではオーバースペックだったとしても譲れないいくつかの仕様が御座いました。

## 残像方式に拘った理由

次の図はジェイコアが画像を捉えるシステムになります。

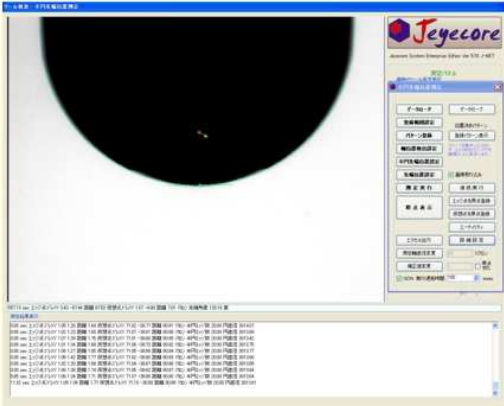
# 残像方式を用いた測定

人間の視覚では残像で見えている しかも稜線を確認することが出来ている



☆ライブ画像（回転中・生画像）  
残像で稜線が不明瞭だが確認できる

➔

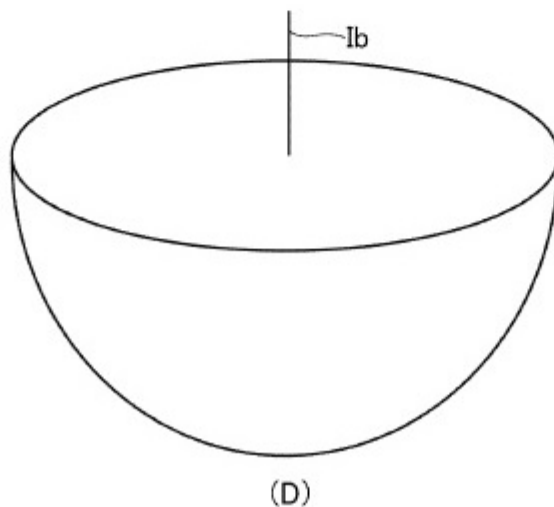
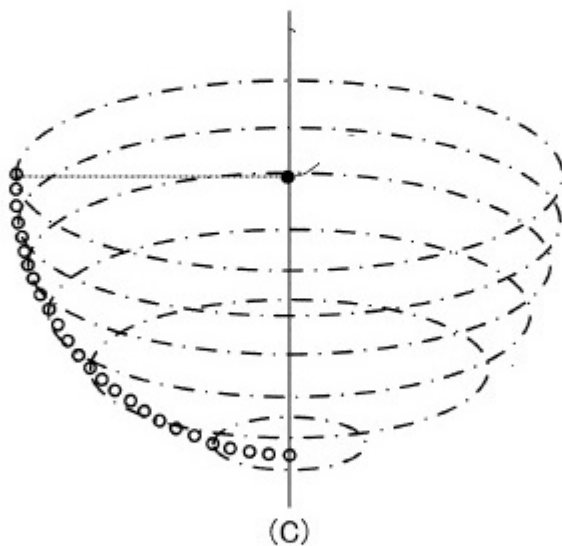
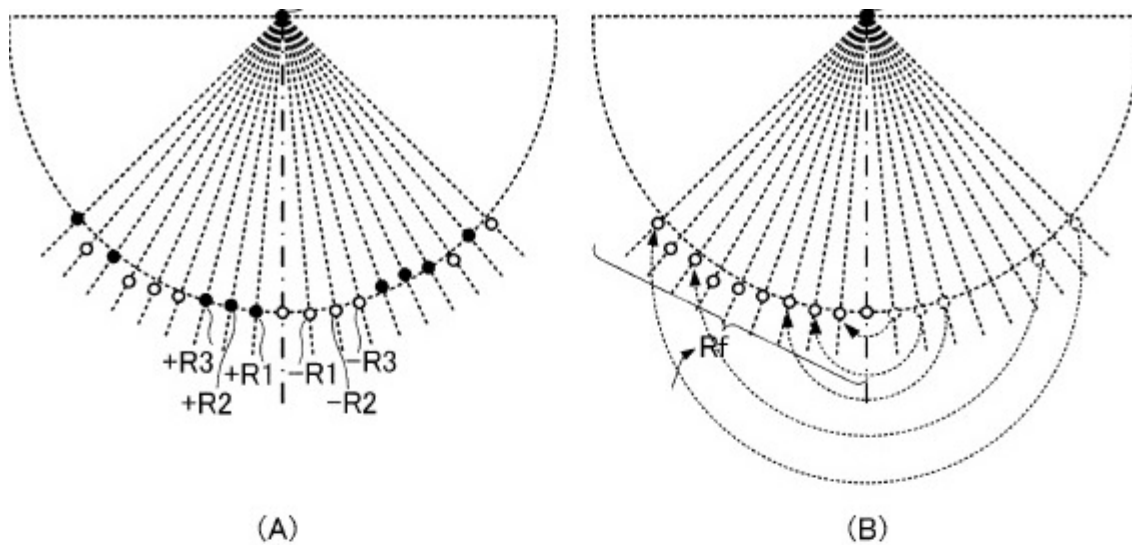


☆積算画像（積算アルゴリズム）  
エッジ（稜線）を確実に抽出する

**積算アルゴリズムを用いるとこのように回転中の工具における最外殻軌道を確実にトレースすることが可能となる。**

左の写真は回転中の工具を肉眼で見たものです。右は残像で捉えられたエッジを抽出して画像化したものです。シャッターを使用して撮影を行いますとツールが一番大きく（最外殻）見えるポイントを捉えるのは容易ではありませんが、残像方式ですと取り込み中に 1 回転すれば確実にこの形状を得ることが出来ます。そしてこの形状を捉えることが工具の形状を抽出、算出するのに必須でした。

更にこのエッジ形状を膨大な点群座標データにしますと二次元形状が、座標データを360°回転させますと三次元データ（モデリング）が可能になります。



上の図はジェイコアが測定した点群座標データから3Dモデリングする過程を示したものです。

図（A）で残像形状からそれぞれのエッジ点を算出しセンターを基準として左右の座

標を比較させます。ここでは、-R1 と+R1、-R2 と+R2、-R3 と+R3 のように比較し、それぞれの値が中心点から遠いポイントを正とし、図 (B) でデータを正の値に入れ替えます。(図では粗いですが実際は  $5\mu\text{m}$  間隔程度で座標を取得しております。)

これは、残像の取り込み時に  $360^\circ$  回転していればマイナスポイントもプラスポイントも同じ値になるはずなのですが、仮に  $180^\circ$  のデータであっても 1 回転 ( $360^\circ$ ) の値と同じになるようにさせるアルゴリズムで有り、また何らかの理由 (例えば外乱光) で正しい座標が測定できなかった時でもフェイルセーフとなります。

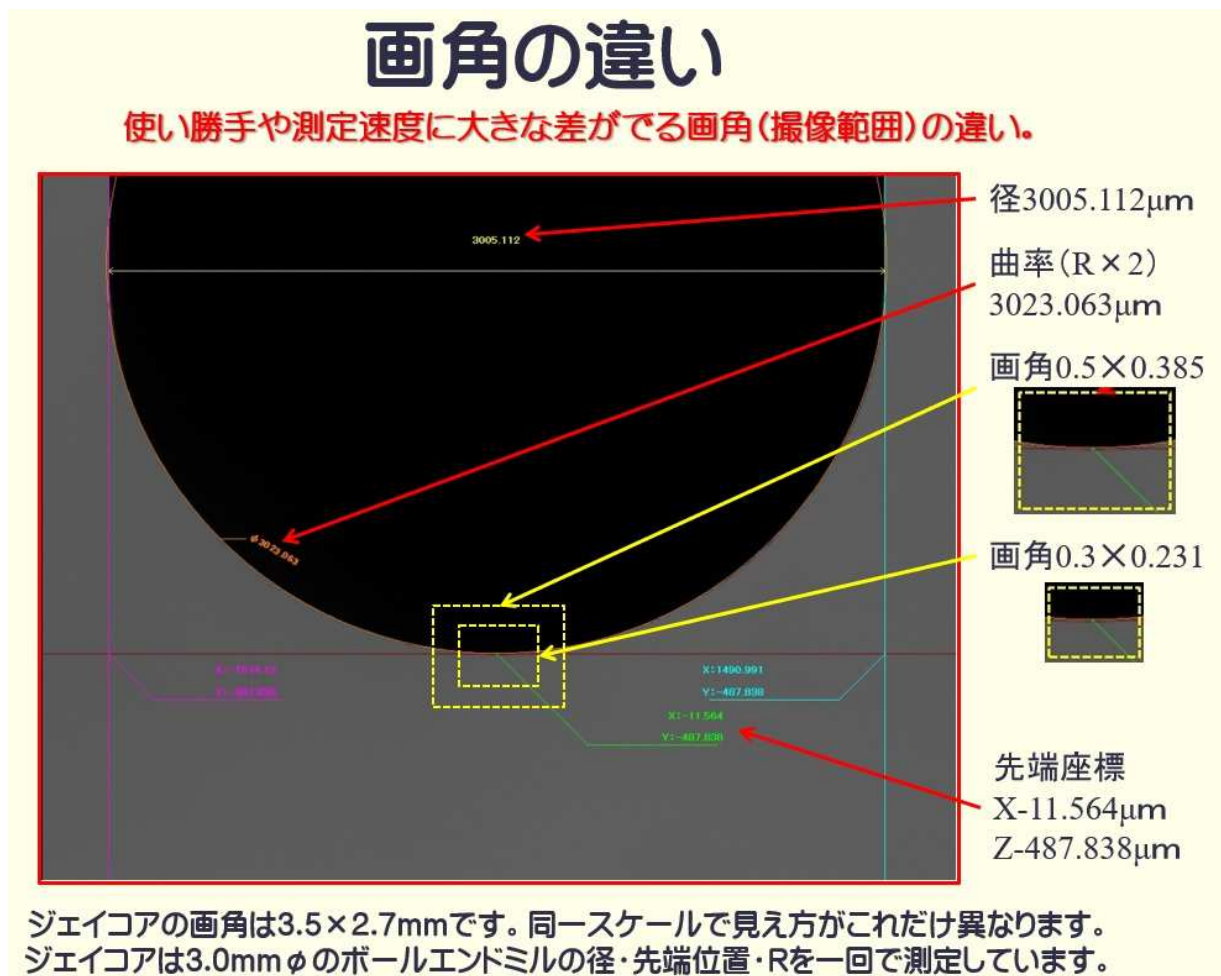
図 (C) では前項目で得た二次元座標データを数学的に  $360^\circ$  回転させ立体的な点群座標データを作成していることを示します。

図 (D) で点群座標三次元データを点間円弧補正し、ソリッドモデルとして作成することを示します。

入力される CAM によって中間、図 (B) の二次元データ、或いは図 (D) で作成されるソリッドモデルを工具の形状として入力しますと確実な三次元補正を行えるパスを出すことが可能となります。

## 画角の大きさに拘った理由

下の図は画角の違いで何が変わるのかを示しました。



TYPE-M の画角 ( $3.5 \times 2.7\text{mm}$ ) この他 TYPE-O132 では  $6.4 \times 5.1\text{mm}$  になります。

画角の大きさは勿論、使い勝手や測定速度に大きな影響を及ぼしますが、最も大きな違いは、全体の形状をトレースできるかになります。画面中に小さな画角で撮影した場合の画像も示しましたが、これを元に点群座標データを作成しても材料と当たる部分としては一部分となってしまいますので、あまり意味が無くなってしまいます。また何枚かの画像を合成して全体像を得ることも出来ますが、機械精度が干渉しますので測定精度は落ちてしまいますし、測定時間は撮影枚数に比例して大幅に延びてしまいます。そこで TYPE-M では 3mmφまで、TYPE-O132 では 6mmφまでを一回の測定でもデリングできる設計としました。

画像機器の画角の大きさと精度はトレードオフの関係にあり、画角を大きくしたままで精度を担保させるためには撮像素子もレンズもグレードの高い製品としなければならぬために原価との戦いは激しいものになります。それらの事柄を理解しながらも、いずれ工具の三次元モデリングを可能とするという目的のためには妥協できないスペックでした。

開発を開始した当初より、ここ、工具までをモデリングさせた三次元補正が最終目標地点でした。20年前の機器スペックやプログラムのアルゴリズムでは到達出来なかった高みが様々な機器の技術革新で可能となりました。使用されるパーツのすべての仕様がようやく、100%活かされるレベルに到達致しました。それぞれの仕様に拘り続けた意図をようやく理解して頂けるかと存じます。

20年前には画像で工具を測定して補正を行うという機器は御座いませんでしたが、最近の種類こそ、多くはないですが、市場でも見られるようになりました。開発者としては方向性が間違っていなかったことに安堵しております。是非、市場の画像を用いた補正用測定製品と比較して頂ければ幸いです。

本製品は、工具長・工具径をNCにフィードバックさせて補正を行うのみならず、CAMに都度、形状データを送信し、環境が整っていれば新たな補正パスを出力させ、DNC運転等で加工の途中であっても常に正しい加工プログラムで運転させることが可能となり、無人での24時間運転を実現させることを可能とさせます。

本技術に於きましては、工機メーカー様、CAMメーカー様、金属加工企業様と幅広く協業出来ると考えておりまして、現在参加ご希望の企業様が增加しております。ご興味が御座いましたら、ご説明させて頂きますのでお気軽にお問い合わせ賜れますと幸いです。



株式会社ジェイネット  
ジェイコア開発チーム  
事業本部  
埼玉県越谷市越ヶ谷 1-3-14 7F  
TEL : 048-940-0775  
Mail : sales@jng.co.jp