

3D Aデータ活用による検査業務効率化の検証

廣瀬 龍 希*¹

前田 一 輝*²

上原 忍*³

保野 佑 介*⁴

[要 旨]

CNC 三次元座標測定機 (CMM) を使った測定において、代表的な中間フォーマットの 3D A モデルを読み込んだ際に表示される製品製造情報 (PMI) を確認し、従来の測定・解析プロセスと 3D A モデルを活用した測定・解析プロセスを比較し、複数の形状において業務効率化の効果を検証した。

1 はじめに

製造業界においては、三次元 CAD の普及により、二次元 CAD や紙図面による設計・作図から三次元モデルを用いた設計が既に一般的になっている。受発注者間で異なる CAD を使用する場合であっても、中間ファイルフォーマットが規格化されており、三次元 CAD を所有している企業であれば、受け取ったモデルを確認することは、ほとんどの場合において問題にならない。

しかし、現在普及している三次元 CAD モデル、特に中間ファイル形式には、STEP AP 203 や AP 214、IGES、パラソリッド (x_t や x_b)、JT 等がある。ただし、これらはサーフェイスかソリッドか等の違いはあるものの形状のみのデータであり、製造や検査工程において必要となる材料、寸法公差、幾何公差、表面性状等の情報が含まれていない。そのため、二次元の紙図面等による補足が必要となり、三次元 CAD モデルがある場合であっても紙図面を人の目で確認し、測定箇所や手順、評価内容等を検討する必要があるという問題を抱え

ていた。

また、1つの製品に三次元と二次元の図面を併用することは、三次元 CAD モデルの修正が二次元図面に反映されなかったり、逆に二次元図面の修正が三次元 CAD モデルに反映されないといった問題が生じることもある。

そんな中、3D A モデル (3D Annotated Model) や MBD (Model Based Definition) と呼ばれるモデルが登場し、普及が進められている。JIS B 0060:2015-2 では、3D A モデルを、三次元 CAD を用いて作成された設計モデルに、「製品特性」、「二次元図面」、「モデル管理情報」を加えたモデルとされている^{1),2)}。つまり、三次元モデル上に、材料、寸法公差、幾何公差、表面性状等の情報を付与したモデルであり、これらの情報は、製品製造情報 (PMI) と呼ばれる。これにより、別途二次元図面が不要となり、工程間の整合性確保や省力化が期待されている。

さらに、3D A モデルにおいて PMI は、単なる注釈ではなく、セマンティック/マシンリーダブルな情報である。そのため、人間ではなく機械がこれらの情報を理解することで、測定パスの自動生成等可能な測定機も開発されている。

京都府内においても、このような 3D A モデルによる発注が行われるケースが増えてきており、企

* 1 基盤技術課 主任

* 2 中丹技術支援室 主任研究員

* 3 基盤技術課 主任研究員

* 4 基盤技術課 技師

業が 3DA モデルに対応するためには大きな設備投資が必要となることから、公設試からのサポートが求められている。当センターでは、3DA モデルに対する支援を行うための解析ソフトウェアをいくつか導入しているが、幅広い形状測定が可能であり、府内企業からの需要も高い CNC 三次元座標測定機（以下、CMM とする。）が 3DA モデルに未対応である。そこで、特に CMM よる測定に焦点を当て、3DA モデルに対応している解析ソフトウェアを組み合わせることで、検査業務効率化の可能性を検証する。

2 実験方法

2.1 使用機器

今回の実験では、測定機として、接触式の CMM (Leitz PMM-C 12.10.7・Hexagon Metrology GmbH 製) を使用する。表 1 に機器の仕様を、図 1 に機器の外観を示す。

また、3DA モデルを使った測定点群解析には、幾何公差判定ソフトウェア SmartProfile (KOTEM 社製) を使用する。このソフトウェアは、CAD モデルと測定点群データを読み込むことでサイズ公差・幾何公差の評価が可能である。

表 1 CNC三次元座標測定機

メーカー	Hexagon Metrology GmbH 【独】
型式	Leitz PMM-C 12.10.7
制御ソフト	Quindos 7 (ver.7.5.10159)
測定範囲(mm)	X:1,200 × Y:1,000 × Z:700
空間精度	$MPE_E = 0.6 + (L / 800) \mu\text{m}$ (L=測定長さ mm)
プロービング精度	$MPE_P = 0.6 \mu\text{m}$
スキャニング精度	$MPE_{THP} = 1.5 \mu\text{m} / 4.5 \text{ sec}$
導入年	平成 23 年(2011 年)



図 1 CMM 外観

2.2 3DA モデルの再現性確認

3DA モデル用いた評価を行うため、CAD を読み可能な解析ソフトウェアによる読み込みを行った。

現在普及が進められている 3DA モデルにはいくつかの種類があり、三次元 CAD ソフトによって対応状況も様々であるが、代表的な中間フォーマットとして、Aderiani らは、従来の STEP 形式に PMI を付与した ISO 10303 の STEP AP 242、アメリカの測定機メーカー等による業界団体 DMSC により作成され、普及を進めている ISO 23952 の QIF、自動車業界等で利用される ISO 14306 の JT 規格の 3 つを挙げている³⁾。

読み確認を実施した 3DA モデルは、一般社団法人電子情報技術産業協会 (JEITA) 三次元 CAD 情報標準化専門委員会から一般社団法人京都試作ネットに提供されたデータを使用した。モデルは三次元 CAD であるソリッドワークスにて作成されたものを中間ファイルフォーマットである STEP AP 242 及び QIF 3.0 に変換したデータであり、2 種類の形状を使用した。直方体のケース形状のモデル (モデル A) とピン形状のモデル (モデル B) の 2 種類を読み込み、PMI が正常に表示されている

かを確認した。

モデルの PMI が正常に読み込まれているかどうかの判断方法は、3DA モデルと併せて作成されたネイティブデータから 3DHTML 形式に変換されたデータとソフトウェア画面上に表示されたモデルデータを比較し、今回は HTML の表示を正として判断した。3DHTML を使うと、専用の三次元 CAD ソフトやビューア無しに、PMI 付きの三次元モデルを回転・縮小等させて確認することができる。

表 2 に読み込み確認に使用したモデルに含まれる PMI の一覧を示す。

表 2 3DA モデル中の PMI

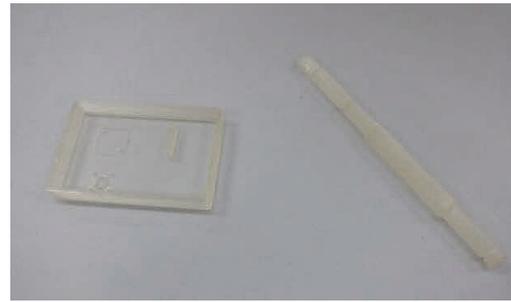
	モデル A	モデル B
形状データ	含む	含む
形体 ID	含む	含む
サイズ公差	含む	含む
はめあい公差	—	含む
幾何公差	含む	含む
データム	含む	含む
データムターゲット	含む	—
TED	含む	含む
普通公差	含む	含む
表面粗さ	含む	—
穴の加工指示	含む	—
欄外注記	含む	含む

※「—」印はデータに含まれない

2. 3 検査業務効率化の検証

2. 3. 1 測定器物

測定する器物としては、比較的単純形状の測定として既製品 V ブロックを、複雑形状の測定として JEITA モデル A を樹脂 3D プリンタ AGILISTA で造形したものを使用した。図 2 に今回造形したワークを示す。



モデルA モデルB

図 2 造形ワーク

2. 3. 2 二次元図面を用いた測定

当センターにおいて、CMM による測定依頼を受ける場合の、標準的な業務の流れを図 3 に示す。

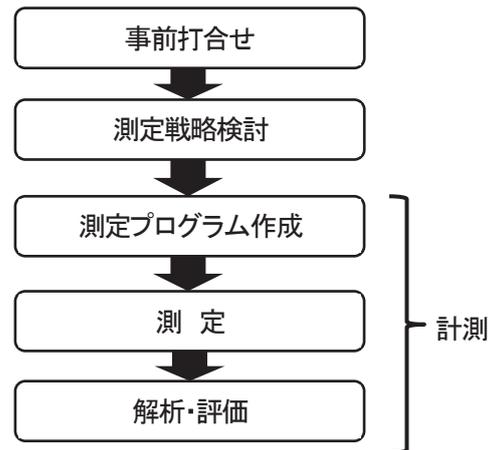


図 3 CMM による検査工程

まず、依頼者と測定箇所や点数等の測定条件について打ち合わせを行う。そして、打合せ結果や設計図、現物を元に使用するプローブ、固定方法、測定物座標系、測定手順等の測定戦略を検討する。それを元に、CNC (コンピュータ数値制御) 測定のプログラムを作成し、実際に CMM を動かしての測定を実施する。測定プログラムの作成は、プログラム作成 (ティーチング) と測定 (動きの確認) を繰り返しながらプログラムを作成することになる。また、各要素については、図面を確認

しながら Evaluation 項目の入力を行い、Quindos 上で評価を行う。すべてのプログラムが問題なく完成したら、最初からプログラムを通して、本測定を行い、最後に測定結果の妥当性を確認し、依頼者に結果を引き渡す。

2. 3. 3 3DA モデルを用いた測定

3DA モデルを使った解析では、測定作業までは同一の作業を行い、解析のみ SmartProfile で行う。

なお、既製品 V ブロックについては、幾何公評価ソフトウェアにより PMI を付与した。図 4 に、V ブロックに SmartProfile で与えた PMI を示す。

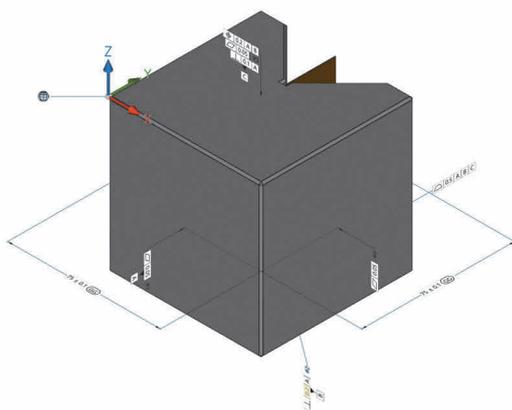


図 4 V ブロックに与えた PMI

2. 3. 4 3DA モデルによる疑似 CAT の試行

当センターの CMM は、三次元モデル (STEP 及び IGES) の読み込みは可能であるが、PMI の読み込みに対応していない。そのため、CAT によるプログラム作成を行う場合であっても、二次元図面が必要になることは変わらない。一方で、SmartProfile は、3DA モデルが読み込み可能、かつ CAD モデルからの点群の座標出力が可能である。

そこで、3DA モデルを読み込み可能な本ソフトウェアと CMM の両方を使用することで、疑似的に 3DA モデルを用いた測定プログラム作成を試みた。

SmartProfile には、スキャナ等のような接触式 CMM に比べて一度に多くの点を測定する機器のデータに対し、CMM 測定時のように点を間引く機能 (CMM ライクサンプラー) を有している。この機能を使い、PMI が設定されている面に点群を生成、出力することで、CMM プログラム作成ができるのかの検証や問題点の整理を行った。

2. 3. 5 測定時間の比較

CMM による測定作業において、従来の二次元図面のみ提供された場合と、3DA モデルを用いた場合とで同一の製品を測定完了までに要する時間を計測し、比較を行った。時間の計測は、図 3 の測定のプログラムの作成から評価完了までの時間とした。

3 結果及び考察

3. 1 3DA モデルの再現性確認結果

まず、STEP AP 242 については、モデルデータの読み込みはできたが、PMI の読み込みはできなかった。

次に、SmartProfile で QIF 3.0 を読込んだ結果を表 3 に示す。QIF の場合、ほとんどの PMI を読み込むことができているが、一部 PMI の読み込みはできなかった。

読み込みできなかったのは、はめあい公差、表面粗さ、欄外注記文字 (製品名等の二次元図面において図面枠に記載されるような情報) 等である。ただし、穴の加工指示 (今回はザグリ) については、3D モデル上に記号は表示されなかったが、形状には反映されており、要素のプロパティとしては保持されているようである。

表面粗さや注記が反映されていない理由については、本ソフトウェアの用途を考えると仕様であると考えられる。

表3 3DAモデルの読込確認結果

解析機器：SmartProfile

データ形式：QIF 3.0

	モデル A	モデル B
形状データ	○	○
形体 ID	○	○
サイズ公差	○	○
はめあい公差	—	×
幾何公差	○	○
データム	○	○
データムターゲット	○	—
TED	○	○
普通公差	○	○
表面粗さ	×	—
穴の加工指示	△	—
欄外注記	×	×

○：モデルに反映された
 △：部分的に反映された
 ×：モデルに反映されない
 —：元データに含まれない

本ソフトウェアは、CMMや3Dスキャナ等で取得した点群データから幾何公差を評価するためのソフトウェアである。表面粗さはこれらの測定機では測定できず、専用の機器を使用して測定するものであり、注記文字等については測定においては不要である。

はめあい公差記号については、CMMの測定において必要となるが、読込みができないことが分かった。理由としては、幾何公差ではなくサイズ公差であること、設計寸法によって公差域が変わること、3DAモデル作成時に穴・軸の定義付けがされていないこと等が影響していると考えられる。

ユーザ側で可能な対応策としては、設計時にはめあい公差ではなく数値で指示することや、サイズ公差ではなく幾何公差により指示することで、

対応していないソフトウェアであっても反映可能である。しかし、はめあいは一般に使用される表現ではあるため、ソフトウェア側の対応が待たれる。

なお、今回のように SmartProfile が対応していない PMI が存在する場合、エラーログから変換できないデータがあったことが確認できる。対応としては、PMI は XML 形式でデータを持つため、該当する番号の要素を確認するか、今回のようにモデル作成者に 3DHTML の作成を依頼する必要がある。

3. 2 検査業務効率化の検証

3. 2. 1 二次元図面を用いる場合

二次元図面を用いる従来の測定では、図面と現物を確認しながら、CMMの測定パス及び公差情報を入力することになる。Quindos 7では、図面から検査者が寸法情報や公差の指示を読み取り、測定パス上に穴や突起があればそれを避けるように点を編集する、といった作業が基本となる。

なお、Quindos 7がサポートしている三次元モデル (STEP や IGES) がある場合は、モデル上に測定点を作成することも可能だが、その場合でも PMI は表示されないため、二次元図面の確認は必要となる。

二次元図面を用いた測定に要した時間を表4に示す。

測定に要する時間は、大半が測定パスの作成であり、評価内容や測定時間は複雑な形状であっても大きくは変わらなかった。

ら自動的にベクトルを計算し、オフセットすることができる。

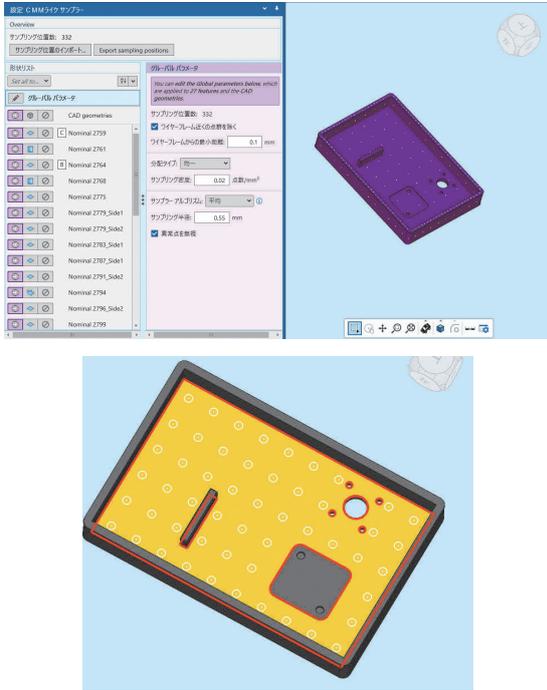


図6 CMM ライクサンブラ

まず、(1)の座標値を再度 SmartProfile で読み込み、仮のチップ径を入力することで、半径分オフセットした座標値を計算する。

次に、オフセット前後の座標値が手に入ったため、前後の座標値から三次元のベクトルを計算する。

そして、チップ径補正により得られる座標は、全体を縮小したような位置になるため、半端な数字になっていることから、キリの良い数字に修正し、(1)のデータに追加する。

最後に使用するプローブのチップ径を追加し、表計算ソフト等を使って CSV に、座標値 X、Y、Z、ベクトル U、V、W、チップ径 D の列が含まれるようにする。

以上により、プロービングする測定点の情報 (NPT) を準備することができる。この効果としては、単純平面については従来と大差がないか少

し手間がかかるが、平面上に穴や障害がある場合、傾斜面の測定において、従来よりも効率的に NPT を準備できた。

表 6 にこの方法で測定を実施した場合の測定に要した時間を示す。

V ブロックのように簡単な形状の場合には短縮効果が薄いですが、複雑形状になると従来の方法に比べて大きな短縮ができた。

表 6 3DA モデルを用いた測定時間

	Vブロック	モデル A
測定パス入力(hrs)	1.5	9.0
評価内容入力(hrs)	0.0	0.0
測定時間(hrs)	0.5	1.0
測定要素数	7	23

また、Quindos 7 標準の CAT と比べても、二次元図面なしに測定が必要な箇所を確認でき、測定し忘れも起きにくいという利点がある。

しかし、Quindos 7 やメーカーが用意する自動測定パス生成機能とは違い、CLP の作成やプローブの選定を行ってくれるわけではない。そして、CLP が作成できないということは、凸形状の測定への適用には問題があるため、対策が必要となる。

また、3DA モデルの原点やワーク座標系が測定に向いているとは限らないため、座標系の出力前に測定手順を考えてワークを動かす必要があることが多いでの注意が必要となる。

4 まとめ

本研究を通じて次のような知見を得ることができた。

- センターの機器では、寸法や幾何偏差等の PMI は表示できるものの、表面粗さや注記等の抜け落ちてしまう情報を確認した。

- ・ 3DA モデルを用いることで、測定結果表現の伝達性の向上、整理のしやすさの改善を確認した。
- ・ SmartProfile により、3DA モデルに非対応である CMM においても、疑似的に 3DA モデルを用いた CAT を行えることを確かめた。ただし、形状によっては手間が大きいことも分かった。

(謝辞)

本研究を進めるにあたり、多大なる御協力をいただきました、一般社団法人電子情報技術産業協会(JEITA)三次元 CAD 情報標準化専門委員会、Q V I ジャパン株式会社及び一般社団法人京都試作ネットの皆様に深く感謝いたします。

(参考文献)

- 1) JIS B 0060:2015-2 デジタル製品技術文書 情報—第2部：用語
- 2) 一般社団法人電子情報技術産業協会 三次元 CAD 情報標準化専門委員会：3DA モデル (3次元 CAD データ) の使い方と DTPD への展開 日刊工業新聞社
- 3) Abolfazl Rezaei Aderiani 他：Model-Based definition in Computer Aided Tolerance Analysis, Procedia CIRP, Vol.114 (2022), pp. 112-116, doi:10.1016/j.procir.2022.10.016