

技術論文

3D 計測技術の動向とその応用

Trend of 3D Measurement Technology and Its Application

篠田 達也
Tatsuya Shinoda
永田 優次
Yuji Nagata

近年、各産業界において 3D 計測技術の導入・活用が進んでおり、コマツでも積極的な活用を始めている。3D 計測技術は、現状を「見える化」するための強力なツールであると同時に、前後工程を「つなぐ」役割も果たすことができるため、工程改善において今後重要な役割を担っていくと考えられる。本稿では、3D 計測技術の概要（原理・使い方）に加え、実際の活用例について述べる。

Recently, 3D measurement technology has been used and applied more and more throughout the industry, and we, Komatsu Ltd., have begun its aggressive application, as well. The 3D measurement technology, which is a powerful tool for the “visualization” of the current situation and can “link” a sequence of processes, will play an important role for process improvement. This paper describes the outline (principle and use) of the 3D measurement technology as well as the actual application examples.

Key Words: 3D 計測, 見える化, つながる化, 歩留り向上, 品質向上

1. はじめに

コマツにおける 3D 計測技術活用の背景として、コマツ流「つながる化」という考え方がある。これは、ICT を使って生産から販売まで全ての工程をリアルタイムにつなぎ、工程間の改善を目指すものである。ここでは、生産における「つながる化」の概念図を図 1 に示す。これまでは各個別工程内における改善活動が主であったが、現在は、3D 計測により取得したデータをもとに前後工程をつなぎ、これまで実現できなかったような新たな工程改善に取り組んでいる。

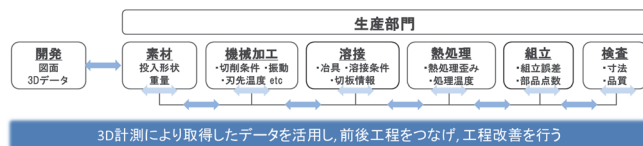


図 1 生産工程における「つながる化」

2. 3D 計測技術概要

2.1 市場の 3D 計測器に関する調査

近年、市場には多様な 3D 計測器が出回っており、目的に応じて選べる機種幅が広がってきている。そこでまず、我々は市場の 3D 計測器を調査・整理した。その調査結果を図 2 に示す。

		精度	ワーク サイズ	特徴	活用例
レーザー照射 タイプ	パターン投影法	~0.05mm	数m	高精度 形状計測	部品組立性改善
	光切断法	~0.08mm	数m	ポータブル 形状計測	素材材等の 製造・加工 工程改善
	タイムオブフライト	~2mm	数十m	広範囲 形状計測	建屋内計測
カメラ撮影 タイプ	キャリブプレート済み ステレオ法	~0.085mm	数m	インライン 点計測	ICT建機キャリ ブレーション
	Structure from Motion (コードターゲット併用)	~0.025mm	数m	手軽 点計測	板金部品平面 度計測
	SfM & MVS	~10mm	数百m	市販カメラ + ソフト 超低価格・超広範囲	地形計測・大 型部品計測

図2 種々の3D計測技術
(各写真は Web ページから引用)

整理した情報をもとにして、社内の改善ニーズに対して適切な計測器を提案し、改善活動に取り組んでいる。なお、全社で検査・計測分野の連絡会を実施することで、最新技術や他工場での改善活動に関する情報を共有し、3D計測技術による工程改善を全社レベルで促進させている。

2.2 活用している3D計測技術

次に、コマツで導入・活用している3D計測技術について紹介する。

2.2.1 パターン投影法

パターン投影法は、計測対象物に縞状のパターンを投影し、その縞の状態を左右のカメラで撮影し、画像処理を行うことで3D形状を復元する手法である(図3)。0.05mm/mレベルの高い精度を有し、一度に広範囲を計測できるため、コマツでも多くの工場では活用している。

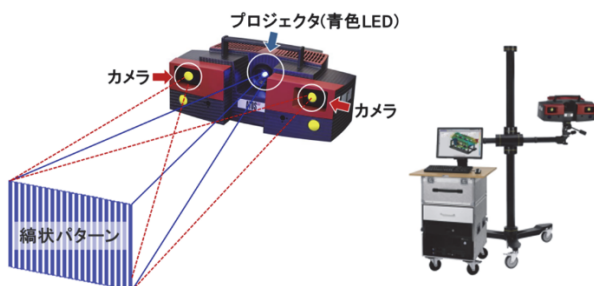


図3 パターン投影法による形状計測
(GOM社 ATOS)

2.2.2 光切断法

光切断法はラインレーザーを計測対象物に照射し、反射光をカメラで撮影し、画像処理することで形状を復元する手法である。この手法は古くから活用されている技術ではあるが、コマツでは、より使い勝手の良いポータブルタイプの機種を導入している。ノートPCと軽量の筐体(1kg以下)から構成されており、操作も非常に簡単である。まず、計測対象物及びその近傍にポジショニングターゲットと呼ばれる目印を複数枚貼付し、それらを2つのカメラで読み込む。この作業により筐体の自己位置を計算する。その後、14本のラインレーザーを照射し、その反射光をカメラでとらえることで3D形状を復元する(図4)。

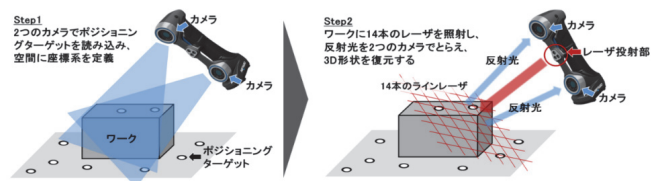


図4 光切断法による形状計測
(Creaform社 HandySCAN 3D)

処理が高速に行われるため、レーザーが照射された領域の形状が、ほぼリアルタイムで復元される。使い勝手が非常に良いことから、パターン投影法と並んで、各工場でも積極的に使われ始めている。

2.2.3 Structure from Motion及びMulti-View Stereo

計測対象物をカメラで複数枚撮影し、画像に写っている特徴点を手がかりとして、撮影時のカメラ位置を計算する技術を Structure from Motion (SfM)と呼ぶ。カメラ位置を計算する際、特徴点も 3 次元復元されるが、特徴点だけでは点群が疎であるため、SfM の後に、Multi-View Stereo (MVS)と呼ばれる手法を用いることで、密な点群を復元する。図 5 に SfM と MVS を使って建機を 3D 復元した例を示す。本手法は市販のカメラとソフトウェアさえあれば使用することが可能である。精度は mm~cm レベルであるが、市販のカメラとソフトウェアさえあれば 3D 形状を復元することができるため、手軽に 3D 形状を記録したい場合に活用している。



図 5 SfM&MVS による形状計測 (Agisoft 社 PhotoScan)

2.2.4 Structure from Motion (コードターゲット併用)

2.2.3 で示したように通常の SfM はそこまで精度が高いものではないが、図 6 に示すように、コードターゲット・ポジショニングターゲットを併用することで高精度 (0.02mm レベル) に計測を行うことができる。コマツにおける実際の使い方については後ほど述べる。

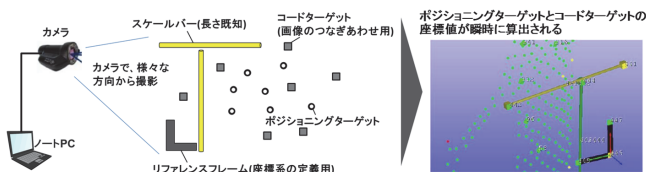


図 6 ターゲットを併用した SfM (Creaform 社 MaxSHOT 3D)

3. 3D 計測を用いた改善事例

コマツでは、2.で紹介した 3D 計測技術を用いて種々の工程改善に取り組んでいる。3D 計測による工程改善は図 7 に示す通り、①3D 計測による形状取得 ②目標形状との差異を解析(見える化) ③差異解析結果をもとに工程改善の流れで行われる。流れがシンプルであるがゆえに適用範囲が広く、数多くの工程改善を行うことができる。

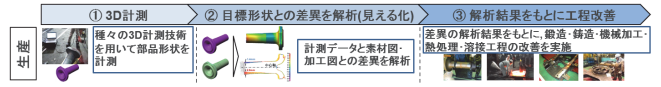


図 7 3D 計測技術による工程改善の流れ

3.1 素形材部品の生産工程改善

まず、3D 計測による素形材部品の生産工程改善について述べる。改善のターゲットは主に①設計改善 ②素材製造改善 ③加工改善 の3つがある(図 8)。設計改善では最終的に、機能性向上・生産効率向上(機械加工レスなど)を目指し、素材製造改善・加工改善では、取り代低減・エアカット低減などを目指す。

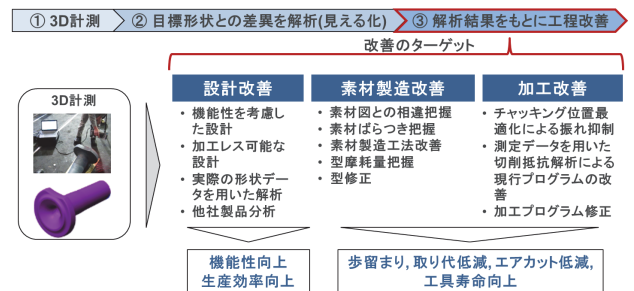


図 8 3D 計測による素形材部品改善のターゲット

図 9 に示す建機の足回り部品(鍛造品)を例に詳細を述べる。まず、2.2.2 で紹介したポータブルタイプの 3D 計測器を使って、鍛造後の部品形状を取得した(図 10 最左)。次に、検査ソフトウェアを用いて、計測結果と素材図との相違を解析した。その結果、部品中央部から端部にかけて、一様な曲がりが発生していることがわかった(図 10 中央)。

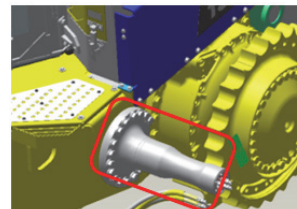


図 9 足回り部品

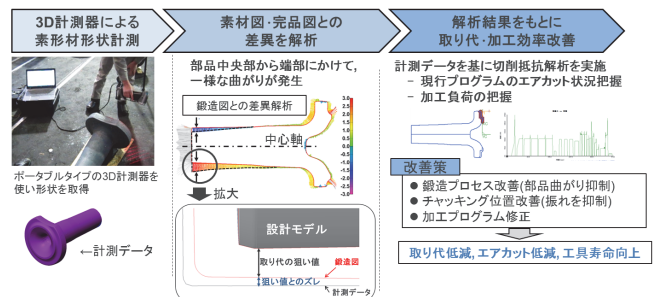


図 10 足回り部品の 3D 計測による改善

そこで、鍛造工程及びそれに関する工程を調査し(図11)、部品の曲がり要因を同定した。同定した要因を修正することによって、部品の曲がりを抑えることができ(図12)、鍛造の取り代も低減することができた。これにより、現行品に比べ、歩留まりが約10%向上した。



図11 鍛造後の工程

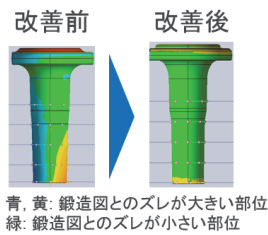


図12 部品曲がりの改善結果

取り代を低減することに加え、加工プログラムを修正することで、加工時間の短縮も実現した。

以上の改善は、オフラインでの計測結果をもとに行ったものである。今後は、加工機内で計測を行い、その結果をもとに、チャッキング位置及び加工プログラムの修正を行うといった、よりインライン性の高いシステムの構築を目指す。

3.2 溶接工程改善による部品の品質向上

3D計測技術は、建機部品の品質を向上させることも可能である。

図13に示す下部走行体にある部品(台座)を例に、その詳細を述べる。



図13 台座部品

図13に示す台座部品は平面度を確保することが非常に重要である。そこで、平面度を確保するための手段の1つとして、コマツでは3D計測技術を活用している。台座を下部走行体に組み立てるために図14に示す複数の工程を踏んでいるが、青色で示したタイミングにおいて平面度計測を実施した(計5回)。



図14 台座部品の組立工程

計測には、2.2.3で紹介した、ターゲットコード併用 SfM を用いた(図15)。

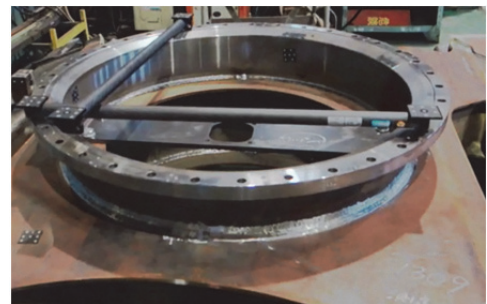


図15 ターゲットコード併用 SfM による平面度計測

図16(青色)に計測結果を示す。計測1→計測2における平面度変化が最も大きいことがわかる。そこで、計測1と計測2の間にある工程を見なおした(工程2・3)。

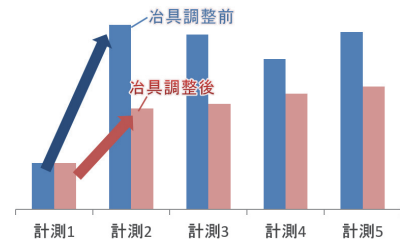


図16 台座部品の平面度計測結果

工程2・3では専用の組立治具を用いるが、平面度計測と同じ手法を用いて、治具位置の3D計測を行った。そして、その結果もとに、より適切な治具位置に再調整した。この再調整により、部品組立におけるねじれが抑えられ、その結果、平面度悪化も抑えることができた(図16(赤色))。

4. おわりに

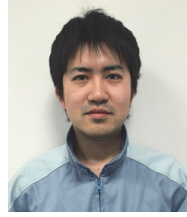
3D計測を用いた改善を本格的に初めて2年ほど経つが、改善活動を通して感じたことを以下に示す。

①3D計測自体は比較的容易だが、計測データを処理するソフトウェアの操作に慣れが必要なことが、普及の障害となっている。

②3D計測を用いた改善は工程間をまたがることが多いため、これまで以上に各グループ・他部署との連携が必要である。

③ベンダー・産学連携を利用し、コマツ独自の計測システムを開発することで、他社との差別化が可能になる。

筆者紹介



Tatsuya Shinoda

篠田 達也 2013年、コマツ入社。

生産本部 生産技術開発センタ

3D活用グループ



Yuji Nagata

永田 優次 2009年、コマツ入社。

生産本部 生産技術開発センタ

素形材グループ

【筆者からひと言】

3D計測技術はコマツの生産革命を起し得る重要ツールですので、その実現のために、今後も各部門と協力して生産プロセス改善を実施していきます。それと同時に、将来競合他社との差別化を図るために、コマツ独自の計測システムの開発にも取り組んでいきます。