

鋳造品の製造工程における 3D モデルの活用事例

The 3D Model in Manufacturing Process of the Casting Products

中橋 篤*
Atsushi Nakahashi工藤 博昭*
Hiroaki Kudo増山 誠**
Makoto Masuyama岩泉 昌宏***
Masahiro Iwaizumi博士(工学) 高橋 史生****
Fumio Takahashi

要 旨

鋳造品は複雑形状を有していることから現場作業において2D図面から3D形状を即座に読み取る技術、技能が必要不可欠である。そのため、若年者の図面理解力向上の手助けとして3Dモデルの有効活用を推進してきた。その活用の一環として、3Dプリンターを導入することで、作業効率の向上とヒューマンエラーを防止することができた。

鋳造品の寸法測定作業や鋳仕上げ工程において従来はスコヤ、ゲージ、定規等を用いて作業をしていたが、工期短縮、作業時間短縮、定盤レス、高い寸法精度が得られるなどのメリットがあることから、非接触式三次元測定器を導入した。測定器はフォトグラメトリーと3Dスキャナー技術を駆使したシステムである。本器を鋳鋼品の野引き工程、社内寸法測定工程に適用し、作業時間低減、工期短縮を達成した。

— Synopsis —

Because castings have complicated shape, foundry shop workers are required the skill and know-how to image 3D configurations from 2D drawings immediately. We have started utilization of 3D model in each manufacturing process to assist young workers for understanding of drawings. As part of this scheme, we installed a 3D printer in order to enhance our understanding of the 3D configurations. The facility installation enabled to improve the work efficiency and prevent our human errors.

So far, we have checked the casting dimensions by using the contact tools such as steel square, gauge, ruler, in each layout check procedure. We installed a non-contact coordinate measuring machine for the purpose of 'lead time minimization', 'simplification of measuring' and 'dimension accuracy improvement'. The machine consists of photogrammetry system and 3D scanner technology system. This machine has adopted to ruling and internal dimension check process, as a consequence we achieved reduction of work hours and lead time minimization.

*: 日鋼 MEC (株) 製造部
Manufacturing Department, NIKKO MEC CO, LTD.**: 室蘭製作所 鋳鍛製品部
Forgings and Castings Engineering Department, Muroran Plant***: 室蘭製作所 機械部
Machining Department, Muroran Plant****: 新事業推進本部 金属材料事業推進室
Metallic Materials Business Promotion Office, New Business Promotion Headquarters

1. 緒言

当社鋳造工場では、火力発電所、水力発電所並びに産業機械に用いられる大型鋳鋼品の製造を行っている。主として図1に示すような複雑形状品を製造しており、製造工程において3Dモデル活用の幅が広がっている。そこで、本稿では当社が鋳造品の工程において推進している3Dモデルの活用と三次元測定器の適用について報告する。



図1 タービンケーシング

2. 3Dデータの作成

図2に当社内における図面の流れを示す。受注後、顧客より製品図面、CADデータを受領し、それらを元に社内製作図を作成する。この社内製作図を用いて製品3Dモデル、鋳造方案図、ゲージ図を作成する。製品3Dモデルからは製品重量、製品重心などの計画データが得られ、製品3Dモデルと鋳造方案図より作成する鋳造方案モデルから造型時の中子体積、鋳型の重心など現場作業において必要不可欠な各種情報を取得している。

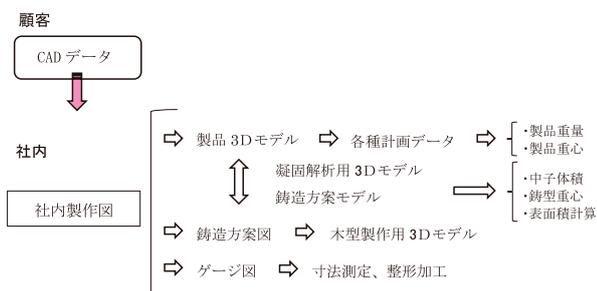


図2 図面の流れ

3. 3Dデータの活用事例

3.1 鋳造方案立案及び凝固解析

作成した鋳造方案モデルは凝固解析に活用しており、製品モデルに押湯と余肉を付与し、冷金を配置して鋳造方案の骨子をモデルに組み込み作成する。図3に3Dモデルと

これを用いた凝固解析結果について示す。当社において凝固解析は、引け巣予測や歩留まり改善の目的で活用しており、都度モデルを修正し解析を行うことで欠陥を予測し、コスト低減並びに品質向上に役立っている。

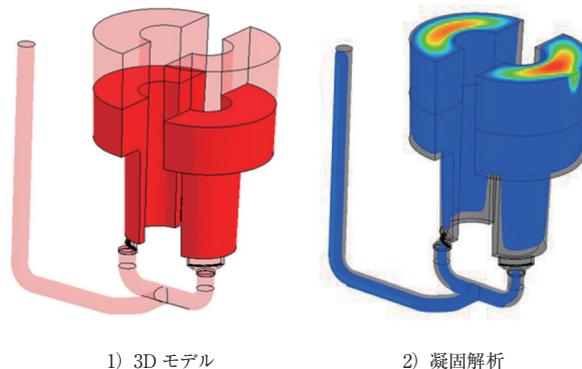


図3 3Dモデルと凝固解析

3.2 木型製作工程及び造型工程

製造する製品構成が多品種少量生産であることや木型の寸法精度向上、コスト低減といった観点から、図4に示すように木型は全て木製ではなく木製骨組みの上にNC加工した発泡スチロールを積層することで製作している。その際、鋳造方案3Dモデルを用いてNC加工することで、手作業の技能を機械化し、寸法精度の向上及び品質安定化に役立っている。また、造型作業においては、中子の切断位置や木型切断位置、冷金配置、中子被せ作業をモデル上で確認することができ、作業者がモデルと実物を照らし合わせながら理解を高めて作業することができる。



図4 木型組み立て

3.3 余肉整形工程

余肉整形作業は、ガウジングにて実施している。ガウジング作業は、人の技量により作業効率が大きく左右される工程であり、熟練者と若年者では、作業時間が大きく異なっていた。そこで、作業者に分かりやすく3D形状を理解してもらうために、図面と3Dモデルにて形状を確認することで、作業者の図面理解力を向上させ、3D形状理解への負担を軽減した。

3.4 3Dプリンターの導入

鋳造品は形状が複雑であるが故に2D図面から3Dの立体図を理解する能力が必要不可欠である。新入社員や若手作業者の形状理解度向上のため、2018年に3Dプリンターを導入した。図5に3Dプリンターから出力された製品モデルの写真を示す。事前に作成した3Dモデルを元に縮小された実製品モデル、鋳造方案モデルを出力し、造型作業においては造型方法の検討や実作業における問題点の抽出を行い、整調工程においては、形状理解力の向上、溶接作業性の問題点抽出など様々な視点から具体的に検討を行うことができる。



図5 3Dプリンターにより出力された製品モデル

4. 三次元測定器による寸法測定

4.1 導入目的

近年、3Dモデルを用いた様々な測定器の開発が進められている。そのような中、鋳造品の寸法測定作業においてもメリットが多にあることから適用が進められている。そこで、複雑形状品の製造を主とする当社においても三次元測定器を導入した。鋳造品の工程上でのメリットとしては、定盤を使用せず土間でも測定可能である点や高い寸法精度、技術技能に依らない測定など効果が大きい期待できるため、本装置の導入に至った。図6に示すように、従来は人の目や手による測定が主体であり、スコヤやトースカンといった測定機器を用いた方法を採用していたが、デジタル機器を用いることで抜本的に測定方法を変更した。



図6 従来の寸法測定作業

4.2 非接触式三次元測定器について

導入した三次元測定器カメラ本体を図7に示す。これは、非接触式の光学式3Dスキャナーであり、本体に取り付けであるCCDカメラとプロジェクターにより製品の表面形状を座標化し、ポリゴン化することができる。本測定器は、自動車部品、航空機産業など幅広い分野で採用されている。本測定器のセンサ仕様を表1に示す。本測定器は高い寸法精度と大きさに拘らない測定範囲を有している点で、大型鋳鋼品を主体として少量多品種な複雑形状を有する製品を製造する当社において、極めて有効な機器である。



図7 三次元測定器カメラ

表1 三次元測定器センサ仕様

センサ仕様	
カメラ解像度	2×5,000,000画素
測定範囲	38×29 ～ 2,000×1,500mm ²
カメラ、モデル間距離	490 ～ 2,000mm
使用環境	5℃ ～ 40℃

4.3 非接触式三次元測定システム基本原理

本測定器は、三角測量の原理とフリンジ投影技術を駆使し、正確な位置座標を取得する装置である。本システムの基本原理を図8に示す。カメラからブルーLED光源を製品表面へ入射し、表面の凹凸により波面の歪みが発生し、現れたフリンジパターンを高解像度ステレオカメラにて撮影する。撮影し座標化されたデータをPCにて処理し、ポリゴン化することで、測定モデルが完成する。図9に示す本器独自のトリプルスキャン方式により左右のカメラから表面を撮影することで、1度に広範囲の表面形状を正確に認識することが可能である。これにより複雑形状品への適用を可能とし、形状や鋳肌の状況を細かく測定することができる。

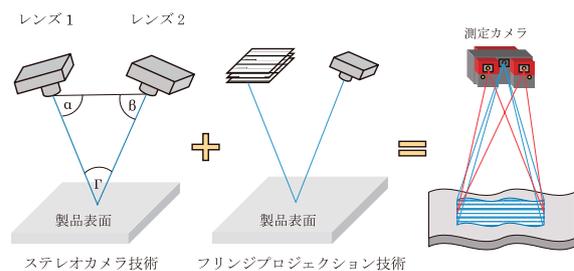


図8 測定システムの基本原理

また、カメラ位置をオンラインでPC内で監視することでカメラの校正状態をモニタリングし、測定精度を常に検証することで、高い測定品質を維持することができる。

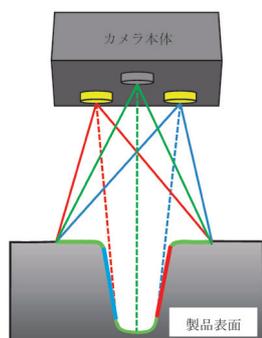


図9 トリプルスキャン方式

4.4 実操業における測定方法

三次元測定器測定方法を図10に示す。測定の前に製品寸法及びクレーン能力、測定場所や受け台高さといった工場設備の面から測定方法について事前検討を実施し、製品据え付けと測定段取りを行う。測定点として必要なポイントシールを製品に貼り付ける。このシールは測定中の振動や温度変化などをモニタリングするためにも使われており、現場環境で測定する際にも安定した測定が可能になる。そして、測定器の補正を行って測定作業に移行する。



図10 三次元測定器測定方法

続いて事前に作成した製品モデルを測定ファイル内に保存する。測定作業はカメラに治具を取り付けて内外面測定し、表面形状を撮影する。撮影された表面形状はPC上に表示され、都度撮影状況を確認することができる。この画像は図11に示すような測定結果として表される。

計測後は、製品3Dモデルとポリゴン化された測定モデルを対比し、その表面偏差を自動的に算出・画像化する。その際、測定結果と製品モデルとの合せ込み方法も任意に選択することが可能である。加えて、各座標軸(x,y,z)の平

行移動の他にも角度変更、選択した3点にて位置合わせを行うことも可能である。この合せ込み手法により複雑形状品の芯出し作業において最適な芯を設定することができる。

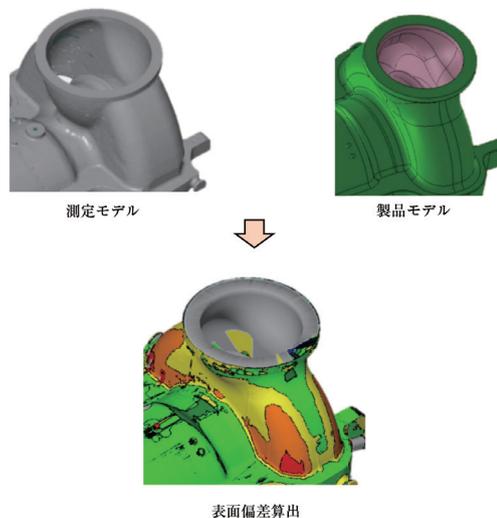


図11 測定結果(表面偏差表示:測定モデル-3Dモデル対比)

4.5 寸法精度の確認

導入した三次元測定器は $\pm 0.01\text{mm}$ の精度を有しているが、従来測定法との比較や精度の検証が必要である。そこで、従来測定法による測定値と三次元測定器を用いた測定値の寸法精度を確認した。検証は、二つの測定方法による同製品・同位置にて得られた測定値の比較により行った。図12に従来法による測定値と三次元測定器による測定値の比較を示す。図より測定誤差は全数 $\pm 1.0\text{mm}$ 以内に収まっており、鋳鋼品における寸法精度の観点からみると十分適用可能であると判断した。

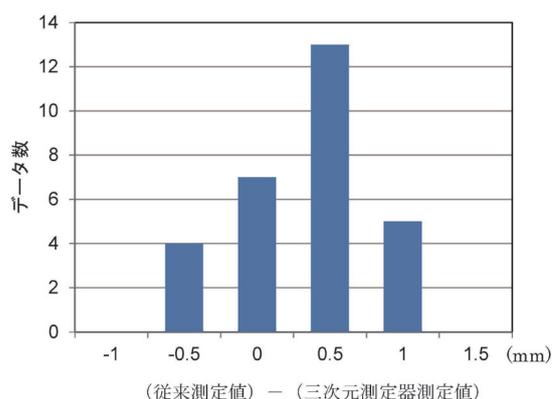


図12 従来測定法と三次元測定器における測定値の比較

4.6 機械加工前肉取り野引き作業への適用

当社にて導入した三次元測定器は、PC上に描いた断面線や野線をも現物に投影する機能(バックプロジェクション機能)が備わっている。図13に製品に投影された現物投影線を示す。このバックプロジェクション機能を用い、機械加

工前の肉取り野引き作業への適用を進めている。肉取り作業へ展開することにより製品モデルと測定モデルの芯をあらゆる寸法、角度にて最適化が可能である。導入前は作業者がゲージを用い寸法確認を行いながら野書き作業や余肉整形作業をしていたが、導入後は本機能を用いて直接製品に中心線や断面線を映し出し、実製品へ野書くことで作業の簡略化や効率化が図られている。

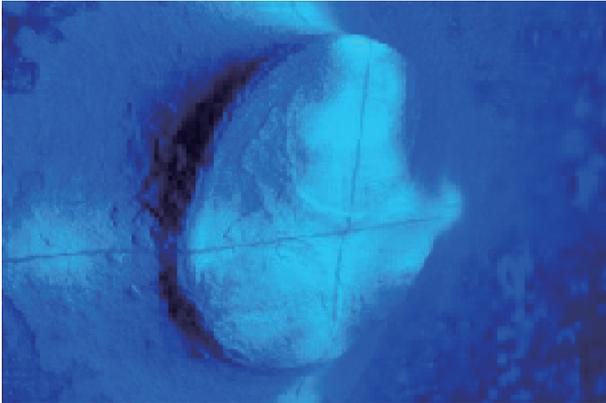
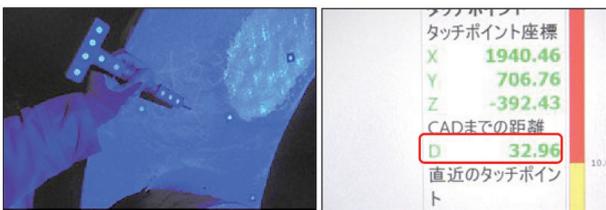


図13 製品に投影された現物投影線

更に、余肉整形時において、当社ではタッチプローブを活用している。タッチプローブとは図14に示すプローブを製品に直接当てることによりPC上に製品CADモデルと測定モデルとの表面偏差が表示される機能である。本機能を用い、等高線をマーキングし、プローブを用いて詳細な表面偏差を製品に記入する。このプロフィールを基に整形作業することで従来はゲージ、定規を用いて作業を行っていたが、それらが不要となり、工期短縮、コスト改善に寄与した。また、タッチプローブは寸法間違いや図面の見間違いなどのヒューマンエラー防止にも効果的であった。

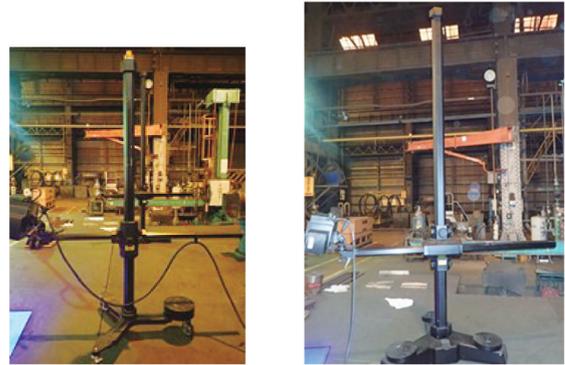


1) 作業風景 2) PC 操作画面

図14 タッチプローブの活用

4.7 測定治具について

当社で製造する鋳造品は形状が多様多様であることから本測定用に測定治具を導入しており、製品に合ったスタンドを取り揃えている。図15にスタンドの写真、および詳細寸法を示す。2つのスタンドにて現在製造している全ての鋳造品を測定することができ、多種多様な形状に対応することができる。また、最適なスタンドを選定することで安全性においても作業者が製品上で高所作業を行うことなく撮影できるように改善することができた。



スタンド名	高さ,mm	水平バース寸法,mm	台座寸法,mm
ASABA 2.5m	2,500	1,500	φ1,070
AROB 3.6m	3,600	2,000	φ1,040

図15 三次元測定器カメラスタンド

4.8 適用効果の確認

本測定器の適用工程を図16に示す。現在では製造工程の内、機械加工前野引き、鋳肌面整形、整形後の寸法検査工程に三次元測定器を適用しており、様々な改善が図られている。そこで、三次元測定器を適用することで改善した作業時間を算出した。図17に示すように従来の作業で行う場合を100%とすると三次元測定器を適用した野引き作業時間は従来の50%へ低減することができた。

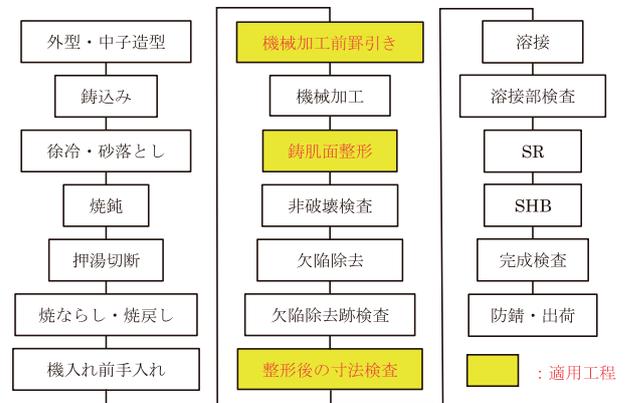


図16 三次元測定器適用工程

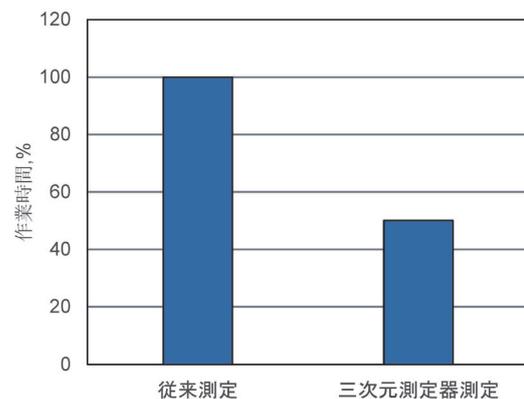


図17 従来測定と三次元測定による作業時間比較

5. 結 言

当社で製造している鋳鋼品に3Dモデルを活用した3Dプリンター及び三次元測定器を様々な工程へ活用し、改善を図ることができた。以下に効果を纏める。

- ・3Dモデルを各工程へ展開し、作業の簡略化、ヒューマンエラーへの防止など改善を図ることができた
- ・3Dプリンターを導入し、複雑形状品に対する若年者の形状理解度が向上した
- ・様々な工程へ三次元測定器の適用を進め、作業時間の短縮及びコスト低減を達成した

現在、三次元測定器の適用工程拡大を進めている最中であり、今後もコスト改善を図っていく予定である。また、小型カメラ導入による測定範囲の拡大やリバースエンジニアリングとしての活用方法検討など更なるステップアップを目指し、活用の場を広げていきたい。今後も継続的に革新的な技術を積極的に取り込み、コスト低減及び工期短縮へ向け取り組んでいく。