

非接触3次元デジタイザRANGE7のコア技術

Core Technologies of the RANGE7 Non-contact 3D Digitizer

阿部 芳久*
Yoshihisa ABE

山口 亘**
Wataru YAMAGUCHI

河野 利夫*
Toshio KAWANO

向井 隆晋*
Takayuki MUKAI

要旨

新しく開発した「非接触3次元デジタイザKONICA MINOLTA RANGE7」のコア技術について紹介する。

従来機に比べ大きさ・重さを半減する小型・軽量化技術により操作性を改善した。130万画素（従来比4倍）のデータを高速に処理する専用回路と処理アルゴリズムにより、従来機と同等の処理時間でノイズの影響を低減した測定を可能とした。ソフトウェアはGUIの工夫、事前予測機能などを搭載することで初心者でも使いやすい測定機とした。また、測定機の検査には他社に先駆けて光学式測定機検査ガイドラインに基づく方法を導入した。

Abstract

Core technologies of the newly developed KONICA MINOLTA RANGE7 non-contact 3D digitizer are reported. The handling of the RANGE7 has profited from weight and size reduction technologies: compared to our already compact previous model (the VIVID9i), weight and size have been cut in half. The RANGE7 enables measurement with reduced noise interference while maintaining the same processing speed as that of our previous model. It does this by means of a special circuit and process algorithm which fast processes data representing 1.3 million pixels, four times that of the previous model. Software newly developed for the RANGE7 has improved usability, even for beginners, by the ingenuity of its GUI, including a preview function. Additionally, in advance of our competitors, we applied a product testing method based on an optical 3D-measuring system's guideline in testing the RANGE7.

1 はじめに

非接触3次元測定機は、3次元図面による検査（CAT: Computer Aided Testing）、現物からの3次元図面作成（RM: Reverse Modeling）などモノづくりのプロセス効率化に使用されている。特に、近年では日本自動車工業会（JAMA）／日本自動車部品工業会（JAPIA）、電子情報技術産業協会（JEITA）で3次元図面ガイドラインが発行され、検査用途として非接触3次元測定機が活躍する裾野が広がっている。

弊社では、1997年に非接触3次元デジタイザVIVID700を発売して以来、2004年のVIVID9iまでVIVIDシリーズとして発売し、様々な分野・用途で導入実績がある。

今回、従来機VIVID9iの仕様や設計¹⁾を全面的に見直し、鋳・鍛造、プレス、射出成形品の検査やリバースモデリング用途に対し、使い勝手と信頼性を向上した「非接触3次元デジタイザKONICA MINOLTA RANGE7」（以下、RANGE7と表記）を開発した（Fig.1）。本稿では、その原動力である「小型・軽量化」、「高速データ処理」、「ソフトウェア」及び「測定空間補正と検査」技術について紹介する。



Fig.1 KONICA MINOLTA RANGE7

2 測定原理

RANGE7の基本原理は三角測量である。三角測量とは投光角 θ 、受光角 ϕ 、基線長 L から測定対象物表面までの距離を測定するものであり、3次元座標 (x_i, y_i, z_i) は受光系の焦点距離 f 、像倍率 β から式（1）で求められる。

* コニカミノルタセンシング(株) 開発部 開発12課
** コニカミノルタセンシング(株) 開発部 開発21課

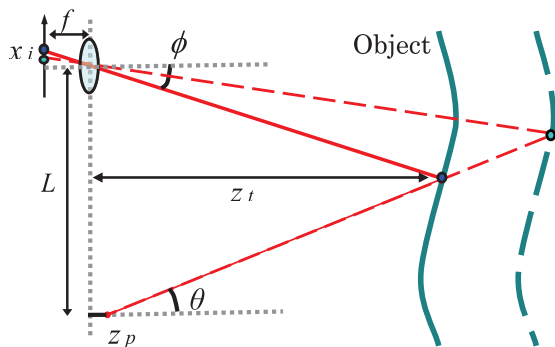


Fig.2 Triangulation method

$$\tan \phi = \frac{x_i}{f}$$

$$z_t = \frac{L + z_p \cdot \tan \phi}{\tan \theta + \tan \phi} \quad \beta = \frac{f}{z_t}$$

$$x_t = x_i / \beta \quad y_t = y_i / \beta \quad (1)$$

RANGE7では鋳・鍛造，プレス，射出成形品での測定性能を重視し，黒・光沢面測定能力の高いレーザー光切断方式を採用している。Fig.3 はRANGE7の基本構成である。

投光系は，半導体レーザーをコリメータ，円柱レンズによりストライプ状に変換し，ガルバノミラーで折り返して測定対象物に照射する。測定対象物からの反射光は，受光レンズによりイメージセンサ上に結像し，センサ上の像位置を求める。バンドパスフィルタは投光した半導体レーザーの波長のみを透過し，周辺環境光の影響を低減する。

ガルバノミラーとイメージセンサの撮像を同期して駆動し，各投光角（時間）での受光出力変化から位置（角度）を求めることで前述の原理により測定対象物の形状を3次元的に捉えることができる。

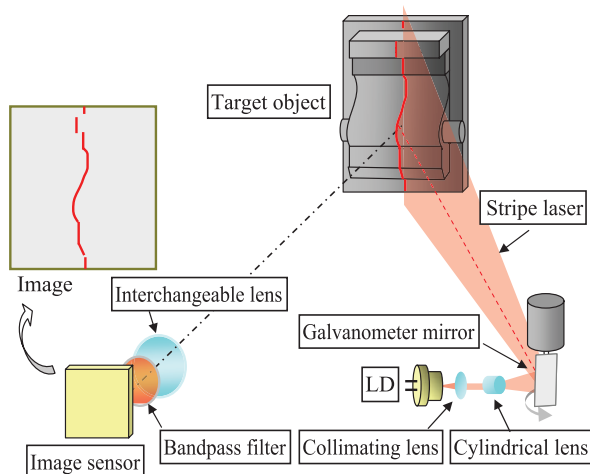


Fig.3 Principle parts of the RANGE7

3 使い勝手向上に関する主要技術

3.1 小型・軽量化技術

RANGE7は従来機に比べ大きさ・重さを半減し，設置や測定時の取り回しを大幅に改善している。Table 1は従来機とのサイズ・重量比較である。

Table 1 The RANGE7 and VIVID9i compared

	RANGE7	VIVID9i
Optical base material	CFRP	Al, SUS
Base length	190 mm	250 mm
Dimension [W×H×D]	295×190×200 mm	221×412×282 mm
Weight	6.7 kg	15 kg

RANGE7では光学系の骨組みに断面形状を工夫したCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)を採用し，剛性，軽量化，熱による基線長変化低減を同時に実現した。

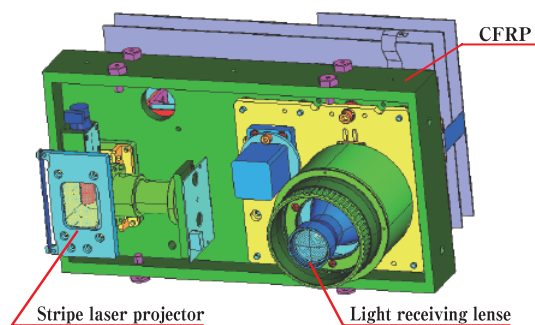


Fig.4 Structural drawing of the RANGE7

オートフォーカス調整機能はVIVIDシリーズから継承した面走査型3次元デジタイザとしては他に類を見ない仕様である。RANGE7では従来機のレンズ全群繰り出し方式からセンサ駆動方式へ変更し，駆動対象の重量を約40%軽減することで部品削減およびサイズ縮小を達成した（Fig.5）。

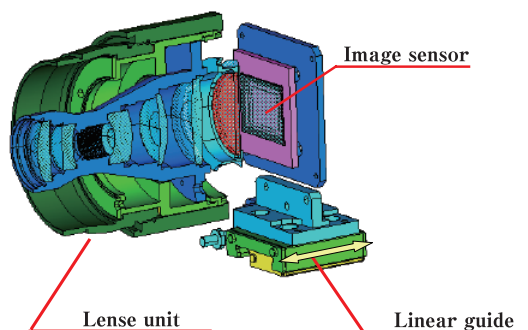


Fig.5 Structure of focus adjustment

小型・軽量化により熱源が測定精度に与える影響は詳しく吟味されなければならない。

熱の発生源である高速デジタル基板等と熱により精度へ影響をあたえる光学系とをCFRPにより分離した。基板の熱が光学系エリアへ伝達するのを防ぐために、空気の流量・流路に細心の注意を払った (Fig.6)。これらの結果、環境温度40℃でも測定が可能となった。

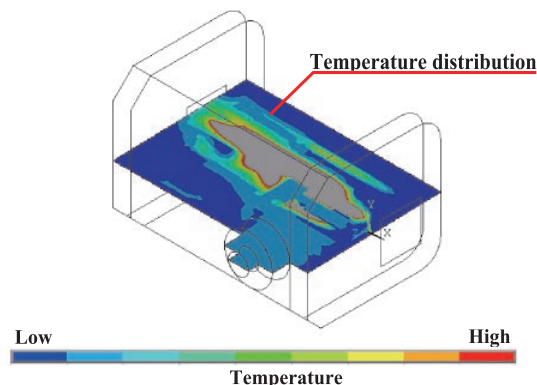


Fig.6 Simulated temperature distribution

3.2 高速データ処理技術

RANGE7で採用しているレーザー光切断方式はストライプ光の照射位置が空間（時間）的に集中しているためパターン投影方式などに比べノイズ光（多重反射光）の影響を軽減することができる。

Fig.7 に多重反射の簡易モデル例を示す。パターン投影では検出位置の反射光：aとノイズ位置からの反射光：a'が混合された信号として検出されるため、これらを分離することが困難であり、更に、多くのノイズ成分が混合した場合にはSN比が悪化する。一方、レーザー光切断では検出位置の反射光：bとノイズ位置からの反射光：b'は時間的に分離されているため、検出位置の反射光のみを抽出することでノイズの影響を軽減することができる。

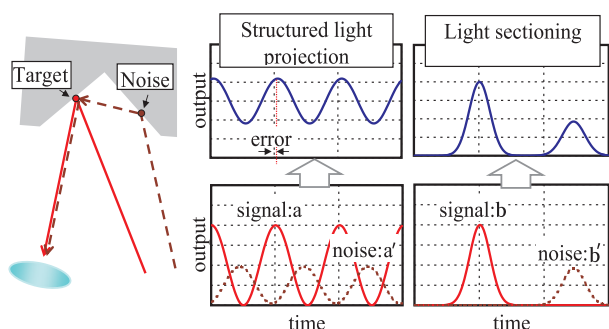


Fig.7 Examples of multi-reflection noise

レーザー光切断方式は、前記の利点がある反面、大量の画像データを処理する必要がある。

RANGE7は従来機に比べ4倍の画素数であり、従来と同等の測定時間を達成するために自社独自の高速処理回路を開発した。Fig.8 はその処理フローである。センサ

は最高595枚/秒撮像し、16チャンネルでデータを読み出す。専用データ処理回路では、大量データから有効なデータ領域のみを抽出することでデータを圧縮する。前記、圧縮処理と平行してUSBを通じて処理PCへデータを転送し、PC内で3次元データ化を行う。データ抽出、3次元化では、前述したノイズ成分を分離した信号成分を使用して処理を行う。

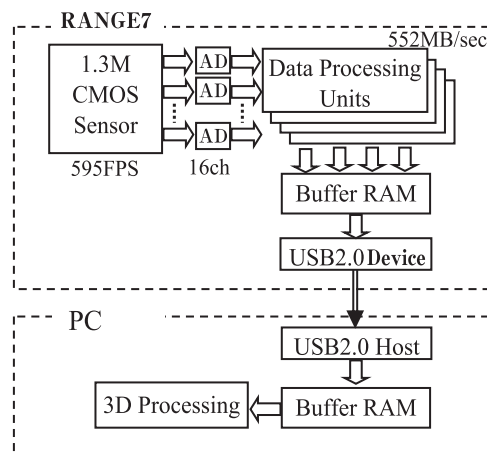


Fig.8 Data flow of the 3D processing

3.3 ソフトウェア技術

RANGE7では使い勝手を向上するため制御ソフトウェア「RANGE VIEWER」(Fig.9)を新規に開発した。

RANGE VIEWERは、操作キーやデータ表示ウィンドウの配置・大きさの最適化 (Fig.9-①)、測定と編集画面のタブ構成の採用 (Fig.9-②) により、作業ミスを防いでいる。また、操作実行ごとに次の操作を予測し、ナビゲーションメッセージ (Fig.9-③) が表示されるため、初心者でも簡単に使用できる。測定したデータはソフトウェアプロセス通信機能 (IPC: Inter-Process Communication) により他のアプリケーションソフトウェアへ転送することができる。

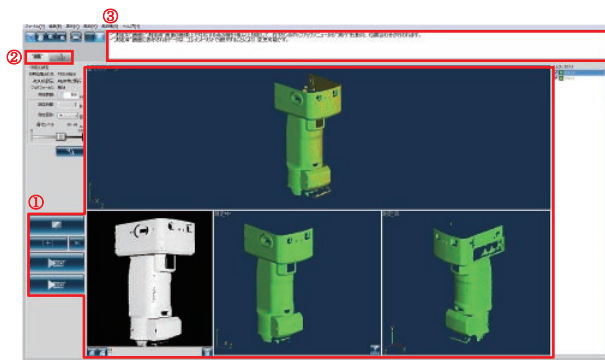


Fig.9 Screen Image of the RANGE VIEWER

RANGE VIEWERには測定に関する特徴的な機能としてレーザー投光モニターとプレビュー測定がある。

レーザー投光モニター機能は、2次元画像をリアルタイムに表示すると同時に測定対象物上に測定領域を示すインジケータを投光する。この機能により測定の画角決め、影（死角）となり測定できない部分が容易に確認できる。

プレビュー機能は通常より高速な測定（約0.4秒）を行い、概略の3次元データを表示する。この概略形状表示により測定結果の事前予測が可能となり、測定作業における余分な手戻りが低減される。プレビュー測定の3次元データは、1/4に間引いて表示しているがFig.10のように概略の形状を把握するには十分である。

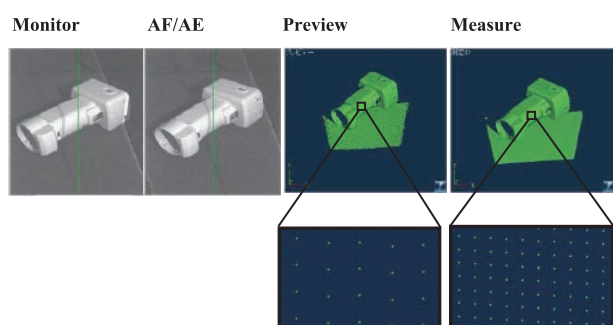


Fig.10 Functions for measurement

4 高精度化に関する技術

4.1 誤差シミュレーション技術

RANGE7では、各測定条件下において受光レンズ、投光光学系、イメージセンサの位置・姿勢や受光レンズ焦点距離などが変化した場合に生じる測定空間の伸縮、歪みをシミュレーションするソフトウェアを開発し、実物で発生する問題の原因箇所の特を素早く行えるようにした。

また、このソフトウェアを使用して、測定環境下で起こる温度変化、姿勢差等から発生しうる測定誤差や各要素の誤差感度を品質工学の許容差設計の考え方を利用して計算し、この計算結果をもとに各構成要素に要求されるロバスト性能を最適化、決定した。この計算では、事前に誤差感度が高いパラメータ、ばらつきの大きいパラメータを推定し、13因子に絞り込んでL36直交表に割り当てた。各因子のばらつき範囲は、各要素単体の実験結果や熱・構造解析シミュレーション結果から決定し、評価誤差項目には測定空間内の代表的な箇所のXYZ方向及び、空間対角方向の伸縮、理想平面測定データの平面性を設定した。

想定される測定環境下での測定誤差（ 3σ ）、及び誤差感度をワイドレンズの条件で計算した一例を以下に示す。

Table 2 Simulated measurement error (3σ)

	Error (mm)
Flatness	0.003
Δx	0.045
Δy	0.046
Δz	0.050
Δ diagonal	0.043

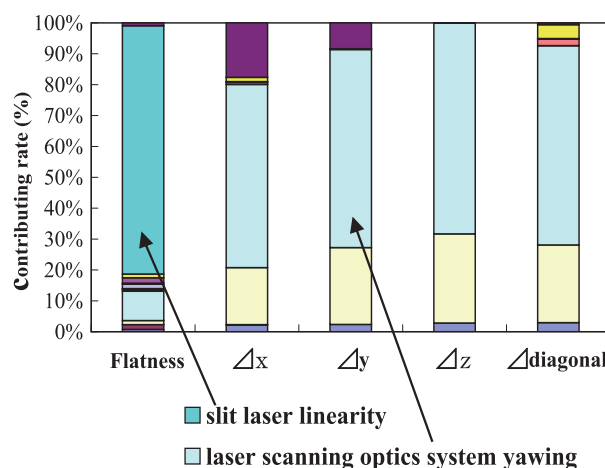


Fig.11 Contributing rates of parameters

4.2 測定空間補正技術

空間補正には、工場出荷時に行われる工場校正と、実使用環境で行われる校正がある。

工場校正では、従来機から校正方法、校正モデルを見直し、測定空間全域でサンプリングした3次元座標値が所定の誤差に収まるよう校正パラメータを最適化している。主要な校正パラメータは4.1の誤差シミュレーション結果により決定した。

実使用環境で行われる校正は、Fig.12のチャートを用いて微小な歪みを補正する。チャートの位置・姿勢を変えて、7条件で測定し、工場出荷時に値付けされたマーカー間距離と比較して補正パラメータを最適化している。

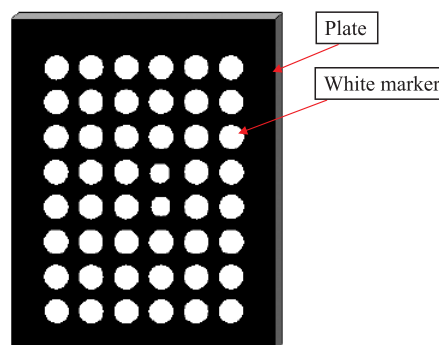


Fig.12 Calibration chart

4.3 精度検査

現在、日本国内では非接触3次元測定機に対する精度検査規格が制定されておらず、これまで各社独自の検査方法を実施していた。しかし、ドイツにて発行されたガイドライン「VDI/VDE 2634パート2」²⁾に準拠した日本工業規格案が検討されており、RANGE7ではこのガイドラインに準拠した検査を導入している。ガイドラインではFig.13のように2つの球が両端に付き、球間距離が値付けされたチャート（ボールバー）をFig.14のように測定空間内に10姿勢で配置し、各姿勢での測定球間距離が精度仕様を満たすことが要求されている。



Fig.13 Artifacts for inspection of the RANGE7

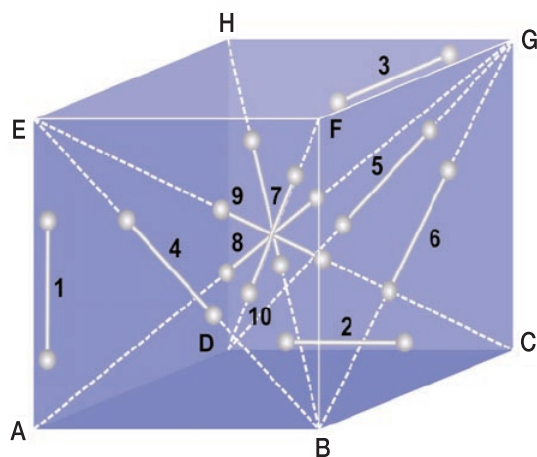


Fig.14 Arrangement of artifacts for determination of sphere-spacing error

RANGE7では前記検査を産業技術総合研究所で校正されたボールバーを使用し、各受光レンズの最短、最長測定距離条件で検査している。

Fig.15には、その一例としてテレレンズ最短（450mm）での検査結果（姿勢1～10、2モード、工場出荷時N=50台、弊社試験条件）のヒストグラムを示す。

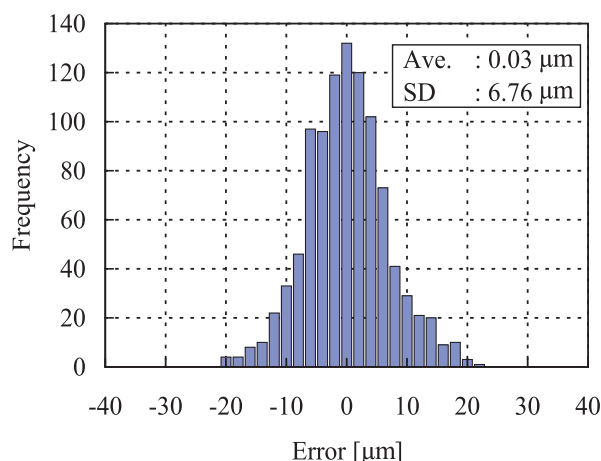


Fig.15 Results of inspection

RANGE7は、他社に先駆けて上述した厳しい検査を全数実施し、精度保証を行っている。これにより、お客様に安心して使用して頂ける製品となっている。

5 まとめ

本稿では、新しく開発したRANGE7の主要技術について紹介した。非接触3次元測定機をモノづくりのプロセス効率化のツールとして使用するには、使い勝手と信頼性の向上は不可欠である。RANGE7はこれらの要求に答える製品であると考えている。

今後は、測定制約条件の緩和、測定から最終結果を得るまでのワークフローの効率化を進めたい。特に、低反射率（黒物）の測定性能向上は、黒樹脂、黒塗装品などでは重要な課題である。現在、同性能を向上したモデルも用意している。より一層、使い勝手が良く、安心・信頼してご使用頂ける製品、また、お客様の課題を解決するシステムの提供を目指したい。

6 謝辞

本製品の開発に際し、ご助言・ご協力いただきました多くの関係者の皆様に深く感謝し、お礼を申し上げます。

●参考文献

- 1) 有泉 昌弘, 河野 利夫, 阿部 芳久, 原田孝仁, KONICA MINOLTA Tech. Rep., 2, 187 (2005)
- 2) VDI guideline, "Optical 3D-measuring systems - Optical systems based on area scanning", (2002)