

3D-FAX 用三次元形状計測装置の開発

佐藤辰雄，後藤和弘，杓掛暁史
情報産業部

Development of Sensor System for 3D-FAX

Tatsuo SATO・Kazuhiro GOTOH・Akifumi KUTSUKAKE
Information Technology Division

要旨

オフィスなどで使用されているファクシミリは紙に印刷された文書などを光学的に読みとり電話回線を通して遠隔地の端末で二次元画像として印刷出力される。本事業で開発する 3D-FAX は物体の形状を三次元計測し、インターネット経由でデータ転送して、遠隔地で同形状の三次元構造物を複製するシステムである。

本事業では、入力側として当センターの保有する三次元形状計測技術（特開 2001-330417）を基に高速高精度な三次元形状計測装置を開発し、出力側に(株)デンケン製のゾルゲル変換樹脂を用いた光造型装置（特開 2001-4893，特開 2001-49129）を使用して、システムの試作を行った。開発した三次元形状計測装置では 300 mm 立方以内の対象物の形状計測が可能である。また、データ転送用には専用の簡易 WEB サーバを開発し光造型装置へのデータアップロードを可能にした。このほか産業技術総合研究所では複数視点の三次元データの統合、計測欠落部分の修復、等の三次元モデリング技術の開発を行った。これらの装置や技術を用いて物体の形状計測と全周囲モデル作成、樹脂成形によるモデル復元まで、基本的機能の確認を行った。

これらの研究により、3D-FAX システム実用化に向けた基本技術を開発し、システムの早期実用化の見通しを得た。ただし、現状光造型は多くの時間を要するため、リアルタイム性は実現できないが、将来、光造型の高速化の研究を行うことにより対応可能となる。

1. はじめに

オフィスなどで使用されているファクシミリは紙に印刷された文書などを光学的に読みとり電話回線を通して遠隔地の端末で二次元画像として印刷出力される。本事業で開発する 3D-FAX は物体の形状を三次元計測し、インターネット経由でデータ転送して、遠隔地で同形状の三次元構造物を複製するシステムである。その実現には、三次元形状を読みとるための三次元計測技術、計測したデータから三次元モデルを作成するモデリング技術、データを転送する通信技術、転送されたデータから樹脂モデルを作成する光造型技術などが必要である。

本事業では、入力側で三次元形状を読みとるための技術として当センターの保有する三次元形状計測技術を基に高速高精度な三次元形状計測装置を開発し、出力側に(株)デンケン製のゾルゲル変換樹脂を用いた光造型装置を使用して、システムの基本機能の確認を行った。開発した三次元形状計測装置は 300 mm 立方以内の対象物の形状計測が可能なものである。

この三次元形状計測装置の開発に当たっては、当センターで従来より研究してきたカラーグラデーション

パターン投影法を基に、いくつかの項目について変更や最適設計を加え、性能向上を図った。具体的には、以下のような項目について新たな機能を実現した。

- (1) カラーパターン投影を液晶方式から DLP(Digital Light Processing)方式のプロジェクタへと変更した。これによりプロジェクタの小型化が図られた。
- (2) 投影パターンの最適設計を行い、パターン上での不連続性をなくした。これにより画像からのプロジェクタ座標の計算がより正確になり、計測精度の向上が期待できる。（ただし、現時点では従来技術との比較評価はできていない）
- (3) 被計測物体と計測装置との位置関係を自由に回転移動させるため、3自由度の計測架台を開発しそれに計測装置を取り付けることで、計測装置から対象物への視線方向を自由に設定する事ができるようになった。ただし現状では、開発費用や期間なども考慮し、電動や自動制御とはせず、すべて手動である。

また、通信ソフトウェアとしては WEB ベースによ

る専用の簡易サーバソフトを試作し、クライアントとしては汎用のブラウザを使用することにより、どんなPCからでもVRML形式のモデルデータを光造型装置へアップロードできる。これにより多視点方向から計測した三次元形状データを統合した全周囲モデルをVRML形式に記録すれば光造型装置へと転送可能となった。もちろんこのとき光造型装置側でVRML形式の記述を読み込める必要があるが、現状すでにその機能を持っており問題ない。

以下、これらについて順次詳しく説明する。

2. 3D-FAX システムの構成

本システムは形状の読みとり装置と通信ソフトウェア、モデル生成、樹脂造型による物体復元などの機能からなり、研究開発としては、カラーパターン投影法に基づく三次元形状計測装置と通信ソフトウェアの開発を大分県が担当、複数視点から計測した形状データを統合しその際欠落した部分を穴埋めして全周囲モデルを作成する技術開発を産総研が担当、光造型による物体復元を(株)デンケンがそれぞれ担当する。

これらの構成を Fig.1 に示す。

3. 三次元形状計測の原理と本研究で行った改良点
パソコン上では当センターで開発した専用のプログラムが走っており、このプログラムの制御でプロジェクタから虹状のパターンを計測物体に投影する。

この虹状のパターンは“色相”の変化が直線的に変化するように設計してある。そのときの画像を CCD カメラで取得することにより画像上での“色相”から、その点がプロジェクタのどこに該当するか(プロジェクタ座標)を知ることができる。そのプロジェクタ座標と各画素(画像を構成する格子点)のカメラ座標とを計算処理し、画像のそれぞれの画素毎に物体座標系における三次元座標(X,Y,Z)に変換する。これを画像内のすべての画素について繰り返すことにより、物体表面の極めて多数の点の三次元座標が求められ、その結果物体表面の形状が計測できることになる。

また、実際の処理ではこの投影パターンを色相の軸に沿って 1/3 周期と 2/3 周期ずらしたもう 2 つのパターンを準備し、これらの画像を合成することにより、物体表面の色によらない形状計測をも可能にしている。

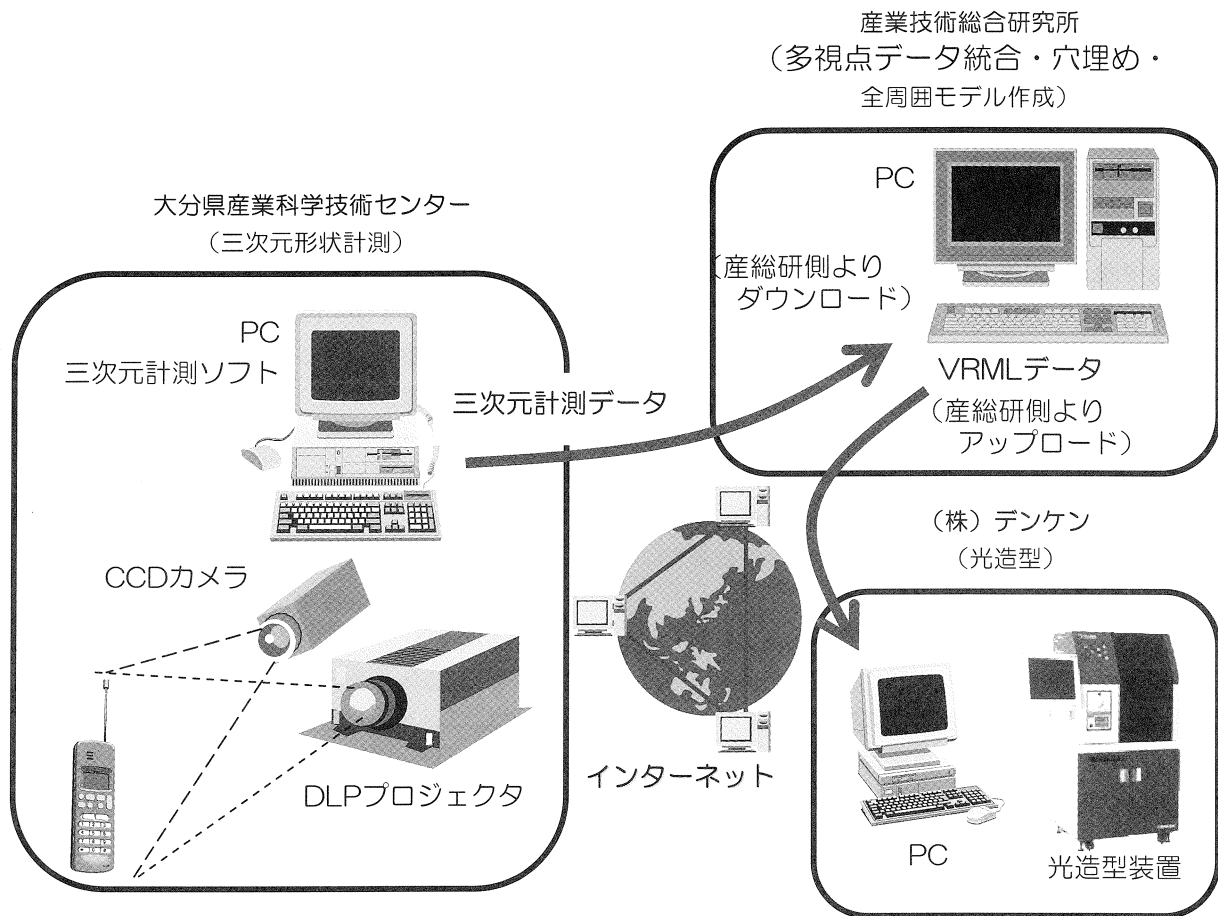


Fig.1 研究項目の分担とシステムの構成

本研究ではこれら一連の処理の精度向上のため投影パターンの再設計と、それに適した新しい処理方法を開発した。

新しい投影パターンでは、その色相は位相（回転角）が線形に変化するようにし、位相ずれしも 1/6 周期ずつ 6 通りにずらすことで、より高精度なものとした。

また、従来はカメラで撮影した画像をそのまま使用していたが、本研究ではあらかじめ画像の段階でカメラのシェーディングやレンズの周辺減光も考慮した正規化を施すことにより高精度化を図った。

4. 装置（ハードウェア）の試作

物体形状読みとりのための三次元形状計測装置では、物体の全周囲をくまなく計測するため、計測対象物との位置関係による視線方向を変化させる必要がある。このための装置として、三次元計測装置本体（PC、CCD カメラ、プロジェクタ）の他に 3 自由度の計測架台が必要となる。

4.1 視線移動用架台

まずはじめに視線移動のための 3 自由度の計測架台について説明する。この架台には光造型の造型範囲をすべてカバーするという基本的な要求仕様から 300mm 立方の物体を搭載可能な必要がある。また、物体を中心として計測装置を Fig.2 のように X、Y、Z の 3 軸周りに自由に回転させる必要もある。

その回転は、まず物体を乗せる円盤状のテーブルが水平面内で回転する。次にカメラ等を搭載した長い 2 本の両側アームが鉛直面内で旋回する。最後にカメラとプロジェクタを搭載したカメラ部がその中心軸を回転軸として回転する。以上により 3 つの回転自由度が得られる。実際に試作した装置を Fig.3 に示す。

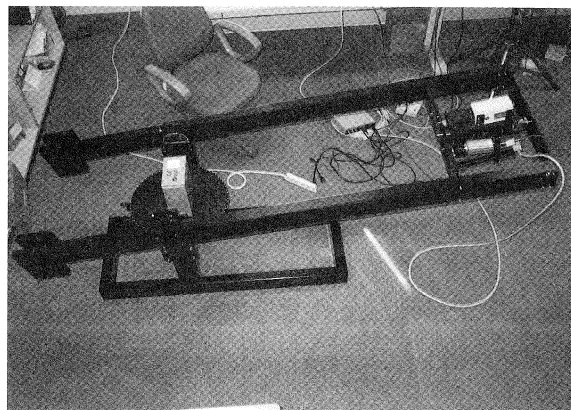


Fig.3 試作した視線移動用架台

4.2 計測装置本体と計測の様子

計測装置はカラーパターンを投影する DLP プロジェクタ、その画像を取り込むためのカラー CCD カメラ、および 3 節に説明した処理を行うソフトウェアを搭載した PC からなる。カメラおよびプロジェクタの様子を Fig.4 に示す。このカメラおよびプロジェクタの中心軸を回転中心として Z 軸周りの視線移動（回転）が行われる。

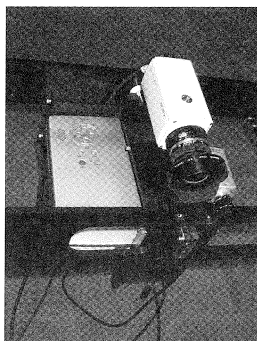


Fig.4 カメラおよびプロジェクタからなる計測装置本体

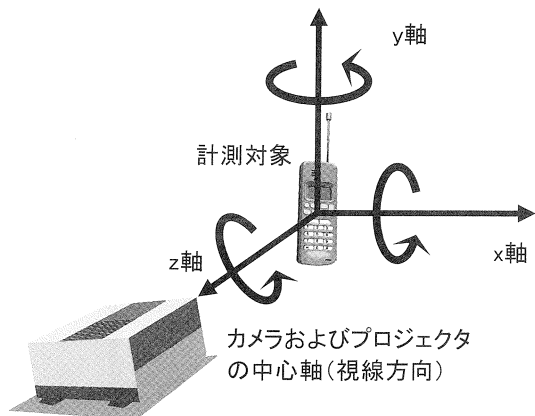


Fig.2 3 自由度の回転軸



Fig.5 約 60° 上方から計測している様子

5. 3D-FAX ネットワークシステム

3D-FAX システムにおけるネットワーク構成の概要を Fig.6 に示す。システムは、三次元計測装置、三次元造型装置、ユーザインタフェース、データ処理機能の4つで構成する。このように各機能を処理ブロックとしてまとめ、ネットワークで緩やかに接続することにより、三次元計測装置や三次元造型装置を他の様々な三次元計測・造型装置で比較的容易に置き換えられる。また、ユーザインタフェースや各種処理機能についても同様に変更・追加が容易であるため、全体として柔軟で拡張性のあるシステムとなる。Fig.7 は開発したシステムの構成である。データ処理の主な機能として、計測データや造型データの管理、処理の通知、遠隔監視などを実装する。機器に依存する処理の一部は WEB サービスによる外部ファンクションコールを採用するため、機器を変更した場合やデータ処理機能をネットワーク上の他のサーバへ分散配置できる。ユーザは WEB ブラウザをインタフェースとして、ネット上のどこからでも、計測データや造型データの転送、三次元データの確認などの作業を行うことができる。Fig.8~9 にシステム利用時の画面キャプチャ例を示す。ユーザは Fig.8 の画面にて三次元計測データをサーバへアップロードし、Fig.9 のように計測したデータの確認を行う。データ確認の後、三次元データを FAX するために Fig.10 のインタフェースで相手先やコメント等を入力し、造型処理を開始する手続きを行う。

本システムの特長である柔軟性や拡張性のため、三次元計測装置で計測した情報をもとに三次元造型することはもちろん、将来的にはネットワーク上の他のサーバ上に部品ライブラリを用意することで、希望の部品をブラウザで選択して三次元造型だけを行うことも可能になると考えられる。

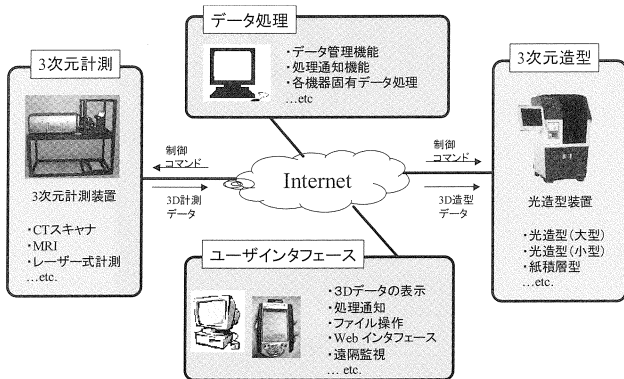


Fig. 6 システム全体の概要

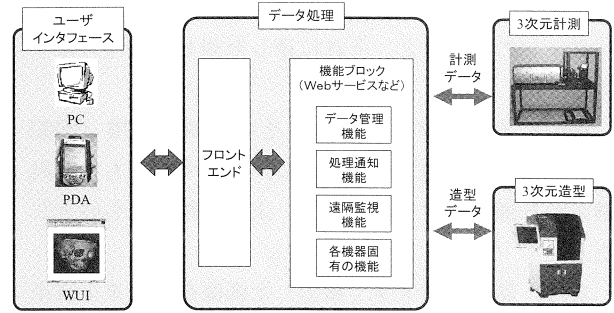


Fig.7 開発した 3D-FAX システムの構成

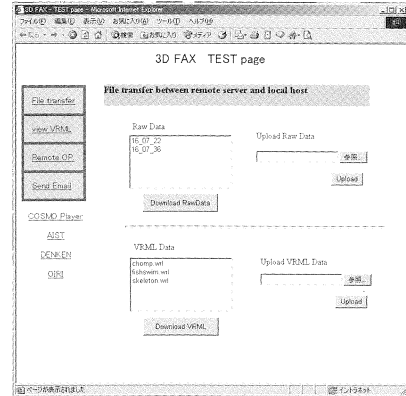


Fig.8 ファイル転送画面

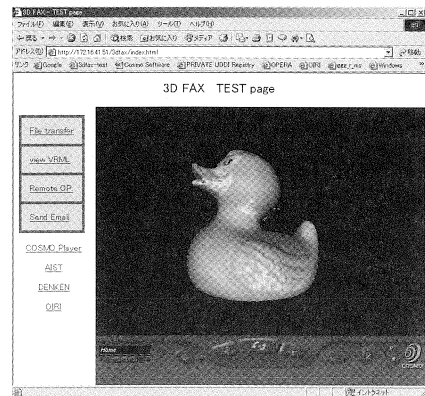


Fig.9 計測データ閲覧画面

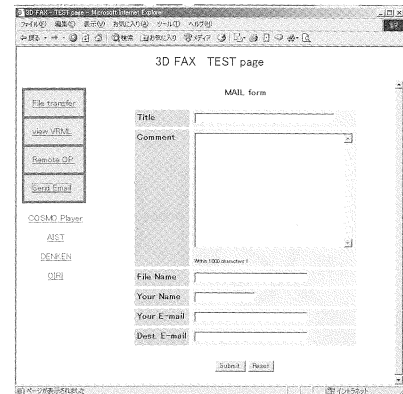


Fig.10 処理通知用画面

6. 実験例

以上の機能を確認するため、石膏像、木製の下駄などを計測しデータ統合を経てそれぞれの三次元モデルを作成して、光造型により物体形状の復元の実験を行った。

Fig.11～13 に形状計測の状況と計測結果の例を示す。



Fig.11 物体にパターンが投影されている様子

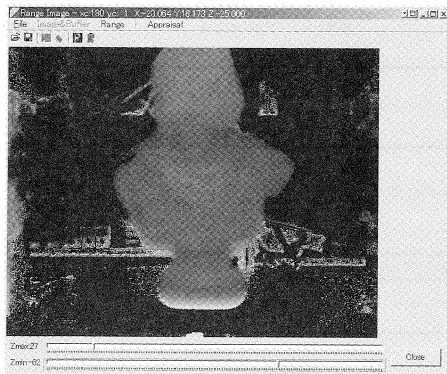


Fig.12 計測結果の 2D 表示



Fig.13 計測結果の 3D 表示

7. まとめと今後の課題

本事業では、カラーグラデーションパターン投影法に基づく投影パターンの最適化とそれに合わせた計算アルゴリズムを開発したうえで、光造型装置の造型寸法の対応した三次元形状計測装置を開発し、物体を計測して機能確認を行った。同時にネットワーク対応のための WEB サーバなどソフトウェアを開発して、3D-FAX データ転送機能の確認を行った。

これらにより 3D-FAX システムの基本的な機能は確認できた。

しかし、Fig.13 などのように、三次元計測を行う上でデータ上の多くのノイズが重なっており、高品位とはいえない。今後はこれらの改善とともに、さらなる性能向上を目指して、実用化に結びつけていく必要がある。

なお、本研究は平成 15 年度中小企業支援型研究開発事業により産業技術総合研究所からの委託にて行いました。産総研地域連携推進室のみなさま他、本研究の機会を与えていただきました関係各位のご協力に深く感謝いたします。また、投影パターンの最適設計と計算アルゴリズムの開発では産総研増田氏に多大な協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。