

3Dカメラを用いた昇降路計測技術

Elevator Shaft Measurement Technologies Using 3D Camera

要 旨

近年、バブル期に納入された昇降機の多くがリニューアル(モダニゼーション、以下“モダニ”という。)の時期を迎えており、モダニ需要が急激に高まっている。昇降機のモダニでは、既存の昇降路を計測し、新規エレベーターの機器が納まるか検討を行う必要がある。しかしながら、対象になる昇降機は全国に数万台あるため、計測作業の効率化・省力化・素人工化が大きな課題になっている。この課題を解決するため、三菱電機では三次元(3D)計測技術に着目し、昇降路の計測簡易化を目指して取組みを行ってきた。特に、計測器を全国支社へ展開する際に課題になる、計測器の機器コストと人材育成コストといった導入コストを削減するため、次のような特長を持つ昇降路計測システムを開発した。

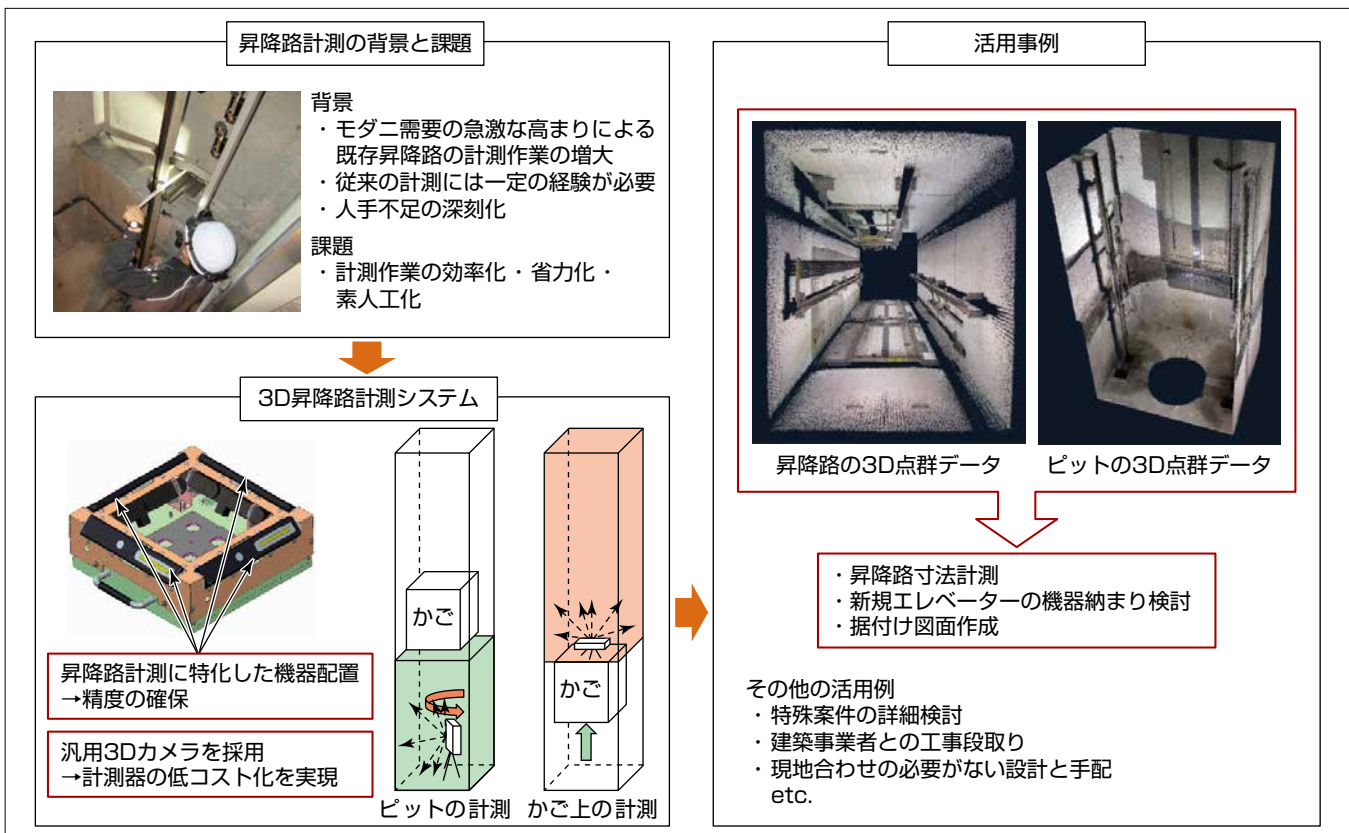
(1) 機器構成

レーザ方式ではなく汎用の3Dカメラを採用することで機器コストを抑制し、計測精度などの仕様要求を満たせるように昇降路計測に特化・最適化した機器を開発した。

(2) 計測・寸法計算ソフトウェア

寸法計測に使用する専用ソフトウェアを開発し、直感的に操作ができるようなUI(User Interface)を構築した。これらのソフトウェアによって、現地で求められる昇降路計測、及びモダニ対応可否判断が迅速に、かつ特別な経験がなくても行えるようになった。

今後はこれらの技術の汎用性を高め、全国支社への展開を進めるとともに、昇降機のモダニの受注・設計・工作・据付け・保守の全工程での3D計測データの活用を目指す。



3Dカメラを用いた昇降路計測の活用

従来、手測りで昇降路の寸法を測ってきたが、開発した3D昇降路計測システムは簡易に昇降路計測が行えるだけでなく、汎用3Dカメラを採用することで低コストで全国支社への展開が可能になった。現地でピットとかご上それぞれで取得した点群データを用いて遠隔地でモダニの対応可否判断、据付け図面の作成が可能になった。さらに、取得したデータは客先提案、詳細検討効率化、建築側との折衝など多様な用途に活用できる。

1. ま え が き

エレベーターのリニューアル(モダニ)を実施する際、既存昇降路に対して新規エレベーターの機器が納まるか検討を行う必要があり、その検討には既存昇降路の寸法を事前に計測することが必要になる。現在、この計測作業は手作業(メジャーやレーザ距離計などによる手測り)によって行われている。バブル期に納入されたエレベーターはモダニの時期を迎えており、全国的に増加するモダニ需要に対応するために作業の効率化・省力化・素人工化が大きな課題になっている。

このような背景の下、三菱電機では、現場計測作業、機器の納まり検討などを効率化・省力化・素人工化するため、計測作業のデジタル化と現場作業の削減を進めてきた。その一環として、既存昇降路を3D点群データとして記録し、現場ではなく事務所などで簡便に寸法計算を行うための技術を開発した。本稿では、3Dカメラを用いた昇降路計測技術の特長とその実証結果を示す。

2. 3D計測による昇降路現場調査

2.1 3D計測による現場調査の流れ

今回の開発が目指す3D計測の活用の流れは、まず現場では作業者が3Dスキャナを使用して昇降路の3D点群データを取得する。現場から持ち帰ったデータはデータベースに登録され、設計部門担当者はデータベースを通して3D点群データを参照し、各種用途に合わせたソフトウェアで必要な解析を行う。これによって現場での計測漏れの削減、作業者ごとのばらつき抑制、負荷平準化などが期待できる。また、従来は現場での計測には、一定の経験を積んだ作業者が必要であった。しかし、今回の開発によって、現地で行う作業は3D点群データの取得が中心になるため、手順に従って3Dスキャナを扱う知識さえあればよく、現場作業の素人工化も期待できる。

2.2 3Dスキャナの活用戦略

3D計測を行うためスキャナは様々に存在する。例えば、従来、昇降路向けに、3Dレーザスキャナを想定した技術が開発されている⁽¹⁾。一般に、3Dレーザスキャナは高精度な計測が可能で、エレベーター機器の納まり検討だけでなく、計測したデータのCAD化やCADモデルを使ったシミュレーションなど、活用幅が広いというメリットがある。一方で、その価格は廉価な製品であっても数百万円単位であり、全国各地にある多数のモダニ需要に円滑に応えるた

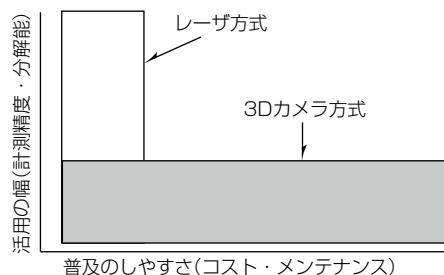


図1. 3Dスキャナの活用戦略

めには各拠点への面の展開が必要であることを考えると、その投入コストは莫大(ばくだい)なものになる。

一方、価格数万円程度の市販の3Dカメラを使ったスキャナも存在する。3Dカメラを活用する場合、3Dレーザスキャナほどの精度は望めないものの、エレベーター機器の納まり検討のような用途であれば十分な精度であることを、この開発と並行して実施してきた複数の検証で確認してきた。これらの実地的な検証も踏まえ、三菱電機は図1に示す3Dスキャナ活用戦略をとる。この戦略の下、3Dレーザスキャナを使った3D計測技術はそのフラグシップとして、特殊なエレベーターの昇降路計測など、より詳細な検討が必要な場合のものとして開発する。一方で、市販の3Dカメラによる廉価な専用3Dスキャナを普及機として内製開発する。

以降、本稿では、後者の普及機の開発について述べ、3章では開発した3D昇降路計測システムについて述べ、4章ではその解析ツールとしての寸法計算ソフトウェアについて述べ、5章で実証試験について述べる。

3. 3D昇降路計測システム

3.1 機器構成

三菱電機が開発した3D昇降路計測システムは、3Dスキャナ本体と、3Dスキャナ制御用のタブレットパソコン、及び三脚などの計測周辺機器からなる。図2に3Dスキャナ本体を示す。

この開発品では、3Dカメラを採用しており、3Dスキャナ本体に搭載された4台の3Dカメラは、外部キャリブレーション済み(互いの位置・姿勢の関係は既知)であり、それぞれの3Dカメラから得られる3D点群データは、基準とする一つの座標系上での位置合わせされた点群データに変換され、出力される。

3.2 計測ソフトウェア

3Dスキャナの計測制御はタブレットパソコンにインストールされた専用の計測ソフトウェアを介して行う。計測

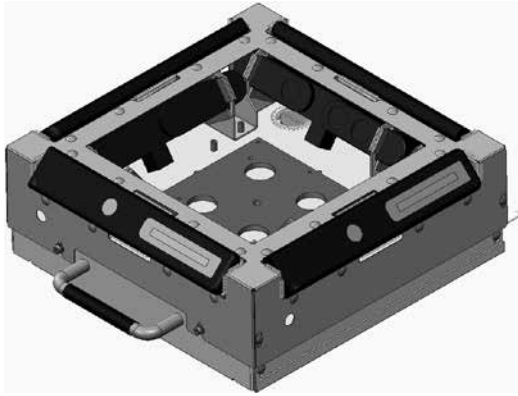
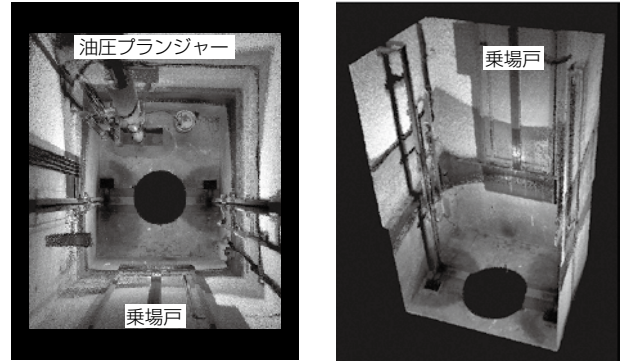


図2. 3Dスキャナ本体



(a) 上面図 (b) 斜視図
図4. ピット計測時の3D点群データの例

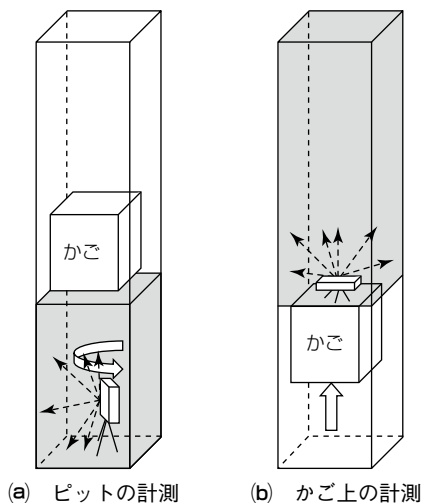
ソフトウェアには、独自に開発した三次元モデル再構成技術⁽²⁾を昇降路計測向けに拡張した処理が搭載されており、移動しながらの実時間計測を可能にする。計測ソフトウェアは、計測開始から終了まで、計測フレームごとの3D点群データを実時間でつなぎ合わせて出力する。

3.3 計測形態

3Dスキャナを使用した昇降路計測は二つの形態からなり、3Dスキャナをピット部に設置して最下階～ピット部の計測を行う形態と、かご上に設置し、かごを昇降させて最上階～最下階付近までを計測する形態である。図3にそれぞれの計測形態を示す。

3.3.1 ピットの計測方法

ピットの計測時には、3Dスキャナは図3(a)のように縦にして三脚に取り付けられ、昇降路中央付近に設置する。計測開始後、3Dスキャナは鉛直方向を軸に360度回転した後、自動で計測を完了する。ピットで計測された3D点群データの例を図4に示す。



(a) ピットの計測 (b) かご上の計測
図3. 昇降路計測の形態



図5. かご上計測時の3D点群データの例

3.3.2 かご上の計測方法

かご上での計測作業の大まかな流れを述べる。図3(b)に示すように3Dスキャナを横にして三脚に取り付け、かご上に設置する。設置後、計測ソフトウェアによって計測開始を指示し、作業者は昇降路外に退避する。退避後、3Dスキャナの計測開始通知(音声と音による通知)によって、かごを昇降させ、計測完了通知(音声と音による通知)をもって計測を完了する。かご上で実際に計測された3D点群データ例を図5に示す。

4. 寸法計算ソフトウェア

寸法計算ソフトウェアは、昇降路3D点群データに対して、ユーザーとインタラクティブに解析を行い、所望の寸法を計算するためのGUI(Graphical User Interface)アプリケーションである。またソフトウェアは、後述する寸法計算に特化した機能のほか、3D点群データ閲覧ビューアとしての基本的な機能を備えている。図6に寸法計算ソフトウェアのGUI画面を示す。



図6. 寸法計算ソフトウェアのGUI画面

4.1 寸法計算の考え方

寸法計算ソフトウェアでは寸法を、昇降路の壁面や床面といった部位に相当する点群(部分点群)と基準平面との距離(各点から基準平面までの距離の平均)から計算する。具体的には基準平面として、昇降路の横方向(水平方向)の寸法に関しては表1に示すかごレール位置に基づく三つの平面を基準とし、縦方向(垂直方向)の寸法に関しては、乗場のフロア面と同じ高さを持った平面を基準として考える。

4.2 寸法計算のための機能と手続

寸法計算ソフトウェアには、前節で述べた基準平面を、点群に対するモデルフィッティング技術と二次元パターンマッチングや直線検出などの画像処理技術を組み合わせた3D構造解析技術によって自動抽出する機能が備わっている。例えば、エレベーター現場調査の基準となるレール及び敷居を自動抽出することで昇降路の寸法計算の基準とする。

また同時に、点群に対して平面抽出やクラスタリングといった構造解析処理を行った結果に基づいて、壁面や床面などの昇降路部位に相当する点群を自動で抽出する機能を搭載している。図7に昇降路点群データとそのデータから昇降路部位を自動で抽出した結果を示す。

これら機能によって得られた結果を基に、GUI操作を介して、基準平面と各壁面や床面を組み合わせた寸法計算を実行していく。

4.3 寸法計算結果の出力

昇降路の種類、建物の構造などに応じた所定のフォーマットで、取得した寸法を外部に出力し、寸法計算結果を

表1. 横方向の寸法計算の基準となるかごレールに関する平面

基準平面の種類	定義
レール間平面	左右かごレールの先端位置を結んだ平面
レール左端平面	左側かごレールの先端を通り、レール間平面に直交する平面
レール右端平面	右側かごレールの先端を通り、レール間平面に直交する平面

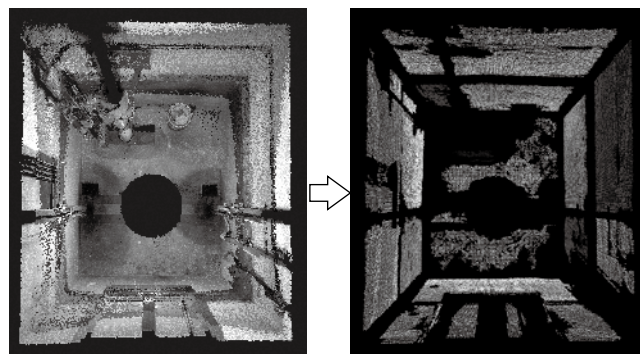


図7. 昇降路点群データの構造解析処理

各種付随情報とともに、データベースに登録又はドキュメントとして保管できる。

5. 実証試験

実証試験では、機器面とソフトウェア面に分け、それぞれの関連部門によるトライアルとフィードバックを繰り返して実施した。機器面では、安全面や運搬面から見たハンドリング性、計測作業をスムーズに進めるユーザーインタラクティブ機能の確認などを実施した。ソフトウェア面では、従来手法とこの開発品による出力結果を比較し、普及品としての要求される精度を満たしているかを複数にわたる昇降路形状・環境で確認した。それら実証試験で得られた客観的な計測器のデータと、実証試験によって得られた知見は、マニュアルと併せて三菱電機内で共有化されている。

6. むすび

今後、国内だけでなく世界的にモダニ需要が高まる中、低コストかつ簡易な操作で昇降路を計測し、各種用途に活用できる3D昇降路計測技術は極めて重要である。本稿で述べた技術は、3D昇降路計測技術の核となる計測と、その基礎的な活用を実現しており、今後、この技術を現場や営業といったフィールドに広く展開していくことで効率化・省力化・素人工化へつなげていく。さらに、この技術を、特殊案件の詳細検討、建築事業者との工事段取り、現地合わせの必要のない設計と手配、BIM(Building Information Modeling)と協調した3D納まり判定など多種多様な用途に活用できるように進化させていく。

参考文献

- (1) 山内雄太, ほか: 3次元(3D)計測データを活用したエレベーターリニューアル工事現場調査システムの開発と適用, 精密工学会誌, 84, No.2, 128~131 (2018)
- (2) Taguchi, Y., et al.: Point-Plane SLAM for Hand-Held 3D Sensors, IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA), 5182~5189 (2013)