

第 37 回情報・システム・利用・技術シンポジウム
クロージングパネルディスカッション

3次元スキャン特集

12月12日（金）15：10～17：00

3次元スキャン技術は、製造業を中心に導入がすすみ、商品開発などで革新的な成果が上げられている。建築・都市分野でも歴史的建造物のデジタル化や、図面のない建物でのリニューアル等に応用が進められているが、BIM やデジタルファブリケーション等の活動とも関連して、さらに広がりを見せている。そこで、本パネルディスカッションでは、3次元スキャン技術について、最新の情報と事例を紹介する。

モデレータ／趣旨説明

猪里孝司（大成建設）

1. 招待講演

3次元スキャン技術からスマート建築へ

池田靖史氏（慶應義塾大学）

2. 招待講演

連続全周囲 360° 動画を用いた高精度 3DCAD の作成手法と展開について

上嶋泰史様（U' s F a c t o r y）

3. 招待講演

建設設備工事における 3D スキャナーの活用に関する報告

東一聡氏（日比谷総合設備）

3次元スキャン技術からスマート建築へ

○池田靖史*1

キーワード：3次元空間スキャン技術 UAV BIM

3次元スキャン技術の位置づけ

建築の企画や設計から施工そして利用に至るプロセス全般にわたる情報化の中で、見落としがちであるが実空間の3次元情報をデータ化するデバイスやその処理ソフトウェアは大きな影響力を持っている。インターネットに繋がっていないパソコンやスマホがたいした働きをしてくれないのと同じように、実空間情報の高速な取り込みがパラメトリックデザインコンピューターシミュレーションなどと結びついたときにその可能性は掛け算のように飛躍的に増大するのではないだろうか。

のっけから結論になってしまうが、3次元スキャン技術の動向を単純に表現すれば、高速化、低価格化、高範囲化という、至極普通の答えになってしまう。しかしそれをそのデータの活用方法の可能性とあわせて考えると当たり前の答えが飛躍的な革新を意味しているかもしれない事が感じられる。恥ずかしながら筆者自身はこうした研究分野を深く追求している訳では全くない。長年建築デザインにおける情報技術利用の展開に興味を持つ身として、この発展著しい技術の国際的な動向に注目して調査しているにすぎない。しかしながら国内ではこうした情報にまとまったものがないのも事実であり、本稿はそうした私なりの動向観察について多少雑駁ながら紹介したものである。

3次元プリンターとともにホームユース化

まず、低価格化からはいると、3次元スキャンという以前はレーザーを使ったかなり高価な機器がおもであったが、まずはプロダクト分野用の小型スキャナーにおいては今年、回転台タイプの Matter and form 社の製品や、ポータブル型では 3DSystem 社の Sense のような数万円しかない超低価格の3次元スキャナーが登場して、同じく低価格化した3次元プリンターとの組み合わせで、まるでプリントごっこ感覚で、3次元物体の「複製」ができる状況を作った。ちなみに3DSystemはipadに取り付けるタイプの3次元スキャナーなども持っている家庭向け3Dプリンター機器メーカーであるが、もっと面白いのは、子供用の人形やミニチュアおもちゃに始まり、楽器から靴、アクセサリーに至るまですぐにプリントアウト可能3Dデータとしてインターネット販売している。まさに電送プロダクト販売企業だが、その次の一手が、ユーザーサイドでの体や環境のスキャンによるデータのカスタマイズという事である。例えば紙媒体の分野でスキャンと出力の間が高速

になるとプリンターではなくコピー機になる、高速化によって、スキャンしたスタディ模型の縦横比を少しずつ変えていくつも出力する、などというちょっと馬鹿げた形態のスタディが、いとも簡単にできてしまうことになる。低価格であるために精度などがこれまでよりも押さえて部分はあるものの身近にある事で我々が予想する以上にデザイン段階の思考を刺激するかもしれない。

ただ実はこうした3Dスキャナーで直接取得できるのは主に点群データであってCADデータのようにポリゴンやオブジェクトでは構成されていないため、ここ数年で点群をポリゴンやソリッドに変換するソフトウェアも競って開発されてきた。これは意外に重要かつ難しい技術で、CADオブジェクトが幾何制御パラメーターや属性をデータベース的に利用可能にすることで実現するBIMの情報モデルとはかけ離れている。しかし単なるポリゴン化ではないモデル化をするためには形態の幾何学的特徴に関する知的な「解釈」が必要となる。ある意味ではその先の編集や変形を意識しなくてはならないため、デザインの領域に踏み込んでいとも言えるからである。視覚という人間の環境把握能力は物理光学的な部分から象徴解釈のような認知的レバルにまで連続している。2次元的なインターフェースにすぎない目の光学的視覚から立体空間を把握する高度な能力を模倣して異なる視点から得られた画像を使って立体を推測し再構成するアルゴリズムの発展のおかげで、精度を求めなければ、ただのカメラやスマホが3次元スキャナーにもなる。

有用な3次元の位置情報を持つものとして建築のように固定化された環境だけではなく、建物利用者の位置情報がある。建築計画学の分析のうえで人間による空間の利用状態の最も基礎的な情報である滞在位置についても正確に高速に低価格で取得可能になりつつある。都市レベルでは携帯電話の位置情報ビッグデータを短時間人口流動の統計的な把握に使うようになってきているが、多くの人を持っている新しいスマホに内蔵されているiBeaconを使うことによって、建築の室内で精度の高い3次元位置情報の取得が可能になる。ここでは建築計画研究者が何ヶ月もかかって実験していたことがリアルタイムでデータ化されるだけでなく、アルゴリズム次第でそれにリアルタイムで反応できる事に注目してほしい。すなわちその結果をすぐに空調制御などに対応させるようなHEMSと結びつける事ができる。

ドローンと建築の情報技術の関係

こうした3次元スキャンの動向の中でも建築分野で特に注目されるのがドローンと呼ばれる超小型の無人ヘリコプターを利用したものである。一般的には UAV（無人航空機）と呼ばれるラジコンの一種だが、モーター駆動と自動制御によって清音性や空中安定性などが生まれ、結果的に空中撮影や空中計測を圧倒的に低価格化した。日本でも千葉大学の野波健蔵氏らの完全自律型マルチロータ式電動ヘリコプター（ミニサーベイヤー：Mini Surveyor）が離着陸や目的地への飛行を自動化に取り組んでいる。カメラの軽量化高性能化とあわせてとれる見事な空撮動画が近年急に目にされるようになったが、当然のように画像だけでなくここでも点群データ方式と画像データ処理方式によって3次元データの取得に使える。敷地の上をしばらく飛ばせるだけで測量機もなしにいきなり3次元の測量データが入手できる事になる。また既存建物の3次元スキャンに際しても、固定点スキャン方式では難しい背後に隠れた部分や天井の高い部分などのデータがとれるし、洞窟や墳墓内、放射能地域など人間が入れない環境の中に攪乱をさけて入り込み3次元スキャンができる。

一方で、多数のドローンデータを連携させると広範囲のデータ取得が高速で行える。象徴的な例としては、SenseFly社が eBee という鷹のようなドローン群でマッターホルンを3次元スキャンしたケースが有名である。自動飛行制御技術の発展の産物であるドローン群はもともとロボットのような存在だが、その最も先進的な方向性がこの連携して飛ぶドローン群の制御でありグラナダ大学と Inteligenia 社のドローン群の動きを見ると、昨年 Electrolux 社が主催する Design Lab のアイデアコンペで優勝した Mab という900体のドローン群による室内掃除機なども、そんなに遠い夢ではないだろう。

こうした UAV においても低価格化とともに小型化が進行している。まるでおもちゃのようにしか見えないが、小型化してグループ制御させることによって、例えば高層ビルの外壁のクラック検査、橋梁やトンネルと行った危険な場所や配管内部また農場や太陽電池ファームのような広大な空間の維持管理などを考えるとそのコスト的な効果は計り知れない。

3次元スキャンからスマート建築へ

ドローンを利用した場合でも取得されたデータが無線でリアルタイムに次の処理にまわすアプリケーションを考えると、人間の活動に反応するロボットのようなスマートな環境を、既存の空間の中に重ね合わせていくためのデバイスとして他にはない可能性を秘めている事が理解できる。ドローンの例が印象深いのは3次元スキャン技術が、測定技術であると同時にそれ自体の制御技術の一部として発展してきた事にある。結果的に実空間と計算処理

概念における空間の相互関係という、建築における情報化において最も根源的な課題と向き合うこととなっている事をふまえれば、今後、日本での研究や実践の活動が増える事が期待される。

【参考文献】

- 1) <http://uav.ece.nus.edu.sg>
- 2) http://mec2.tm.chiba-u.jp/~nonami/consortium/ms_series.html
- 3) <http://www.parrot.com/jp/products/rolling-spider/>
- 4) <https://matterandform.net>

*1 慶応義塾大学 SFC 大学院 政策・メディア研究科

連続全周囲 360° 動画を用いた高精度 3DCAD の作成手法と展開について

○上嶋泰史*1

キーワード：情報

防災・建設・土木工事計画や工事中の確認作業においては、現地実測や実測内容の図面作成が必要である。また、現地測量結果からの2次元データを用いた複雑な複合図の作成も課題となっている。特に近年では3DCADを複合図として作図することを望まれるが、図面が存在しないような、既存建物等を3DCAD化する需要が高まっている。

このような背景を基に、(株)岩根研究所と(株)U'sFactoryの共同で、既存建物等を簡単に3DCADに変換可能な(商品名)「Robot Eye Walker 4D」を開発した。本商品は(株)岩根研究所独自のCV(カメラベクター)技術※1)を使い、全周囲動画映像からカメラ位置を高精度に求め、座標値を持ち合わせる三次元化映像を作成する。位置確認用のレーザー測量値を基に、CV補正し、360°映像から3DACADを作成し、中間ファイルを通じて市販3DCADに変換を行う。

以下に本商品における作成手順を示す。

【作業手順－1】



(図1)

全周囲 360° カメラ

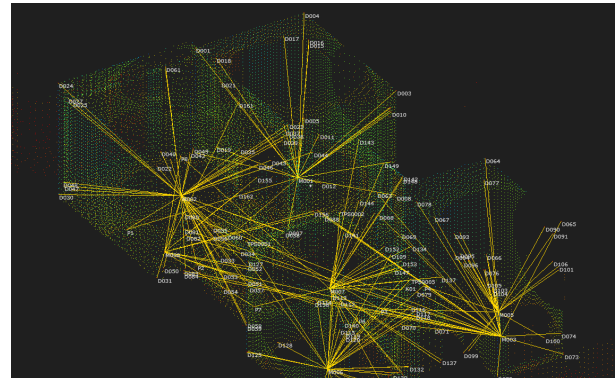
(図1)のように、レンズが6個(側面5個+天井1個)搭載した単一カメラを片手に徒歩にて、全周囲360°画像の撮影を行う。解像度は2Megaピクセル(1600×1200pixel)×6枚。撮影フレーム間隔は16枚/秒である。

【作業手順－2】



(図2)

(図2)に示すレーザー測量器にて、部屋の入隅、出隅など特徴とみられるポイントをX,Y,Z座用の相対座標として得られるデータをレーザー計測する。



(図3)

(図3)はレーザー点群データに入隅、出隅計測データのポイントを表示し、確認を行う。確認する目的は、特徴点計測の際、角となる出隅計測においてレーザーが突き抜けて意図しない計測ポイントの目視による確認且つ、計測ポイントに自動で付与された番号の確認を行うためである。

【作業手順－3】



(図4)

(図4)に示す(図2)で測量した、出隅・入隅・サインの角などの特徴点(X,Y,Z値)を画像に手動で登録する。特徴点は、同一特徴点を異なる時間(場所)の視点から画像に登録することが重要となる。手動の特徴点登録の目的は、(株)岩根研究所独自のCV(カメラベクター)技術を使い、画像同士の結合の際に、座標値を持ち合わせる三次

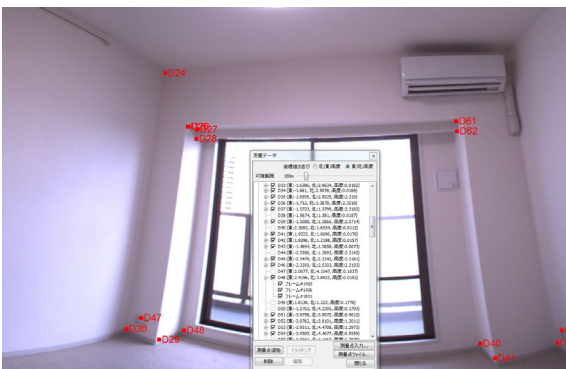
元化映像の補正に利用することである。

【作業手順一 4】



(図 5)

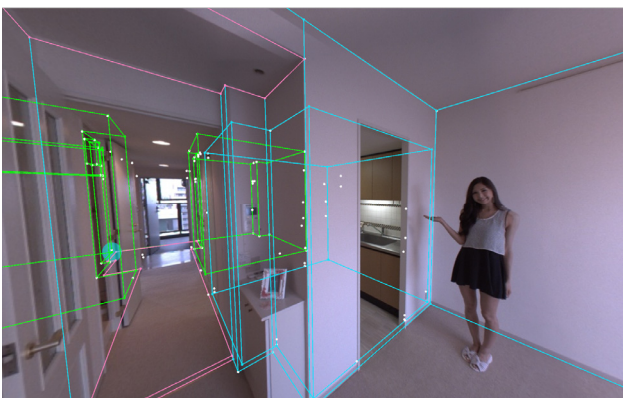
(図 5) の通り、(株) 岩根研究所独自の CV (カメラベクター) 技術を利用し、撮影した全周囲画像から「特徴点」を自動的に抽出し、全周囲画像内で追跡。特殊画像処理後、各画像フレームの三次元情報を取得可能な「CV 映像」に変換する。



(図 6)

(図 2) で計測したポイントが、(株) 岩根研究所独自の「CV 演算」、「CV 補正」により、(図 6) のように、CV 映像内の特徴点一致を確認できる。

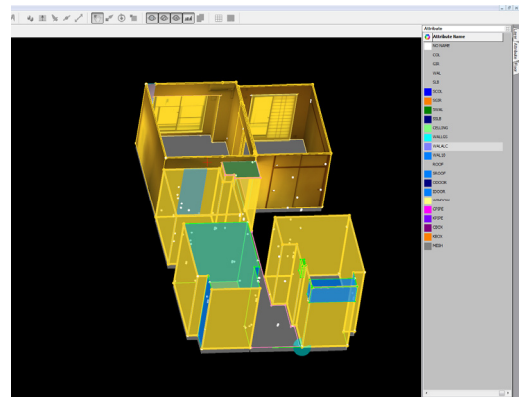
【作業手順一 5】



(図 7)

(図 7) では、360° カメラ撮影位置からの視点 (時間軸) を変えながらポイントとラインを描画し、壁面を構築する。

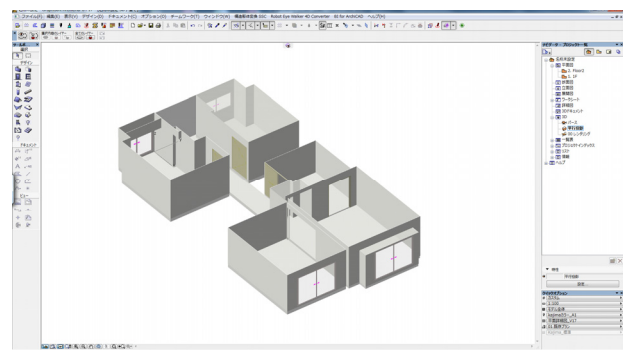
背景の 360° 画像を見ながら壁面を構築できるため、ヒューマンエラーの原因となる、見落しを防止する。壁面を構築後、(図 8) に示すように、床、壁、天井、建具、メッシュの属性を付加する。



(図 8)

【作業手順一 6】

(図 8) にて属性が付加されたオブジェクトを市販の 3 DCAD 用に変換するための中間ファイルを出力。専用アドインによる API 変換を活用し、再描画させる。



(図 9)

(図 9) は GraphiSoft 社の「ArchiCAD」に変換された様子。

以上の作業手順 1 から作業手順 6 により、360° CV 映像からの高精度計測 3 DCAD 作成手法を示した。

高精度計測とは、レーザー計測機の測位誤差 $\pm 3 \text{ mm}$ へ $\pm 5 \text{ mm}$ の範囲内と想定した。

ただし、実在する建物は専門の職人が施工したものであるため、ヒューマンエラー等の要素などを含め、全てが図面通りとなる水平・垂直面に施工されているとは限らない。故に計測ポイントの補正及び、3 DCAD への作図においては建築知識を有し、柔軟な図面化手法を理解することが求められる。

従来の 2 次元 CAD からの 3 DCAD 作成は、平面図、断面図、天井伏図、展開図といった図面からの読み取り知識を必要とされるが、現地現物を比較しながら 3 DCAD を作成する手法を構築した。

上記技術を活用した、業務活用の実例を以下に示す。

【活用事例一】

(既存躯体の計測及び、既存躯体スリーブ位置の3Dモデル化の実施)

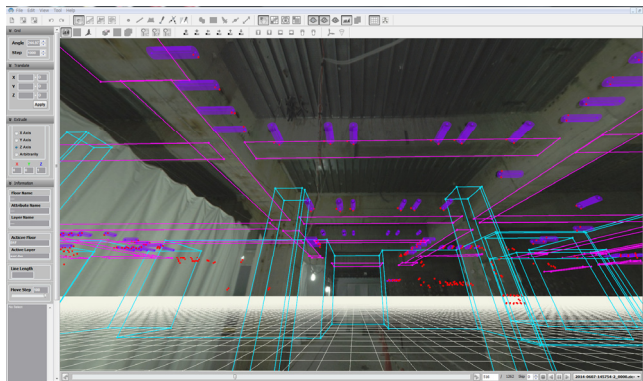
作業規模：B1F～B4F 述べ床面積：14,500㎡

作業期間：2014年6月～8月

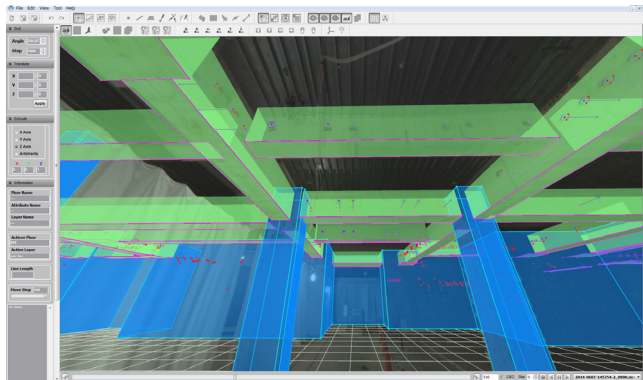
作業会社：(株) U'sFactory、(協力) (株) 岩根研究所

既存建物内の複数スリーブ計測における、従来手法の問題点は、実際に計測したスリーブ位置の確認が難しい上に、3DCADに活用するための、知識と膨大な作図時間を必要とすることである。

本商品における活用事例は、計測用の仮設足場を不要とただけでなく、計測したスリーブ位置の場所が360°動画(CV映像)上に視覚的に判断できるとともに、スリーブの有無とスリーブ径及び高さを画面上で判別可能としたことである。



(図10)



(図11)

図10の通り、計測後の目視確認を目的とし、連続360°動画はカメラの移動軌跡において視点を前後に変化させながら、レーザー計測結果データを取り込むことにより、計測結果の見える化を実現させ、ヒューマンエラーを防止する作業環境を整えた。

この計測結果の見える化という技術が連続360°動画との相性の良い点であり、従来技術には無い特徴である。

この特徴を生かした事例を次の活用事例一2に述べる。

【活用事例一2】

(既存建物周辺の現況実測及び敷地境界・歩道の3DCADの実施)

作業規模：建物周辺計測距離300m

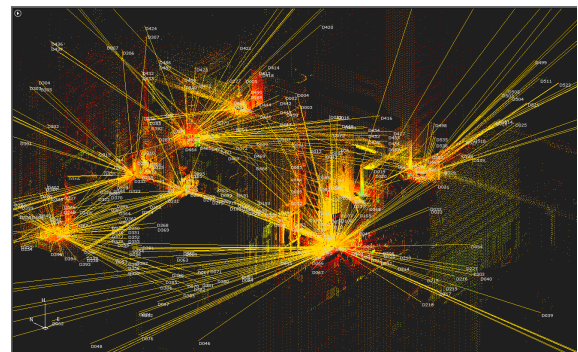
作業期間：2014年6月某日

作業会社：(株) U'sFactory、(協力) (株) 岩根研究所

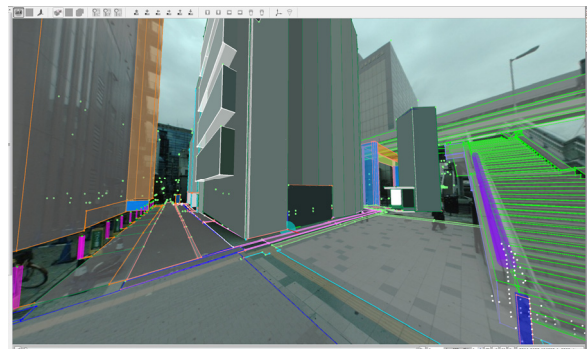
計測・撮影1日、360°動画及び3DCAD製作5日

既存建物の改修工事を計画する際は、多くの関係者による現地調査が必要である。従来の現地調査手法では、数多くの写真撮影と、撮影場所が第三者にも理解可能なように写真の整理として、平面図面に撮影場所と、写真番号の明記を行う。同じような外観の写真だけでも、複数の写真が存在し、同様の写真整理手法を行う。また、撮影した写真がフレーム内に収まっておらず、後日に何度も現地に足を運ぶケースも少なくない。

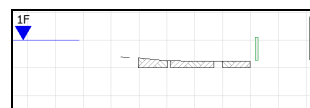
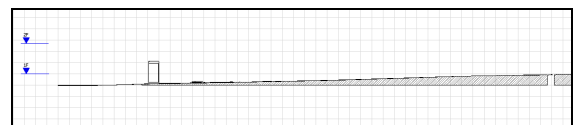
これらの問題を解決する手段のひとつとして、360°カメラによる敷地周辺の全周囲撮影及びレーザー測量を実施し、3DCADに変換することで現地情報の一元化の提案を行い、本作業の手法が採用となった。



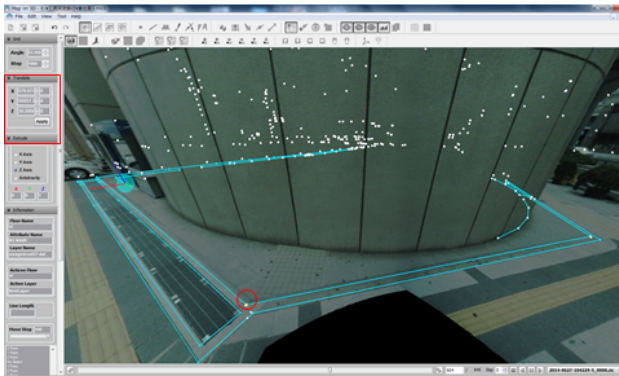
(図12) レーザー測量結果



(図13) 360°動画による3DCAD化



(図14) 道路断面形状図化



(図 1 5) 敷地境界ポイントの表示

本作業における (図 1 2) から (図 1 5) に示す成果物として、

- ①レーザー計測データ (CSV)
- ②計測可能な 360° 動画と閲覧アプリケーションの配布
- ③ArchiCAD データと歩道断面図
- ④任意点からの敷地境界ポイント X,Y,Z 座標及び写真を提出した。

このような複雑な周辺状況 (近接傾斜道路・歩道・EV・歩道橋・高架鉄道・近隣建物) の関係性を約 1 週間という短期間で情報を集約し、多くの関係者に情報共有を出来たことが、初期の設計 (計画) 段階においての有用性を高く評価いただいた。

【まとめ】

活用事例 1 及び 2 に示すように、測位座標を持ち合わせる全周囲映像には従来手法である複数枚の図面を必要とする 2 次元データで表現可能な情報を 3 次的に視覚化し、共有化が可能であることを具現化した。

特に計画段階におけるデザインレビューなどの会議体においては、現況報告及び、情報の共有化が必須となる。また、施工計画を含む建設コストの算出においても施工条件を関係者が早期に把握することで、問題点を抽出し、設計内容に情報を反映することが可能となる。

大規模の物件は、設計計画段階から多くの人が時間をかけて調整することが可能であるが、中小規模の物件ではそのような調整が難しいとされる。すべての物件において、初期計画段階での調整が重要であることは周知の事実であるが、全物件数の処理と作業時間を考えると初期計画段階に多くの人数を割けない実態もある。

今後、BIM (Building Information Modeling) における設計を増加させるには、この現況確認における 3 DCAD 作成も重要項目のひとつと考える。

【今後の展開】

現在、総務省事業における平成 25 年度補正予算「G 空間シティ構築事業」※2)において、立命館大学を代表団体とする「被災に伴い制限された通信環境下における、地下空間を含む情報伝達・避難誘導支援の実現」のコンソーシアムメンバーとして、名古屋の栄地下街 (セントラルパーク内) の地下及び地上部の 3 次元モデル製作を担当しています。iBeacon を活用したセンサー技術との融合で、測位座標を持ち合わせる全周囲映像と 3 DCAD 情報の活用における実証実験を実施することで、現況報告だけでなく、ファシリティーマネジメントに応用可能な、建物内の資産管理及び、修繕等の調査に活用可能な技術を提供する予定である。

【参考資料】

- 1) 株式会社岩根研究所 技術資料
- 2) 平成 26 年 7 月 18 日 総務企画局情報政策室 報道資料

*1 株式会社 U'sFactory 代表取締役

建設設備工事における3Dスキャナーの活用に関する報告

○東 一聡*1

キーワード：計測 設備 BIM 施工図 省力化 現場調査

1.はじめに

我々建設業界は、2020年の東京オリンピックを控え、すでにはじまっている労働力人口の低下、若年就業者の建設業への入職率の減少など、首都圏を中心に人手不足がより顕在化している。インフラをはじめ、現状の社会資本を維持するためにも、フローからストックへの転換がもめられ、既存ビルにおいても、ESCO事業をはじめ、節電、省エネの観点から、熱源改修工事などリニューアルのニーズが高まっており、設備更新の機会が増大している。しかしながら、リニューアル工事を行う場合、竣工図等が資料として保存されているものの、それだけでは不明な点が多い。また、全面的な改修工事を行う場合においては、足場を設置して現場の調査を行う必要があり、労務が不足する中、調査に多くの工数をかける必要があった。

そこで、弊社では、リニューアル工事において、必要な現場調査の省力化を図る為、2011年に「3Dスキャナー」を導入し、現場調査の省力化を実現した。本稿では、弊社の3Dスキャナーの使用例を紹介し、その有効性を述べる。

2.3Dスキャナーとは。

3Dスキャナーとは、離れた場所から高精度な3次元座標を点群として短時間で取得できる装置である。3Dスキャナーについては、各社から特徴ある製品が各種販売されているが、弊社は主にFaro社の「Laser Scanner Focus3D」(図1)を使用している。



図1 3Dスキャナー(Faro社製)

3.特徴

熱源機械室での現場調査は、多くの労力が掛かる。まず、運用中であるため、冷凍機、ボイラーや煙道の排熱などにより、機械室内の温度は40℃前後あることは珍しくない。稼働中の冷凍機、ボイラー、ポンプ、送風機などの騒音により長時間の現場調査は支障がでる。さらに高所の現場調査となることも多く安全への配慮が必要となる。通常熱源機械室は空間的に広く、基礎上に機器が設置されており、上部の配管はその高さを計測することすら難しい状況である。

そのような環境の中、3Dスキャナーを使用した現場調査は、次のような直接的なメリットがある。

- ・現場調査の手間、時間の低減
- ・現場調査時の安全性の向上
- ・施工図の精度向上
- ・短時間で現況施工図(3Dモデル)ができる。

また、これらメリットから波及する間接的なメリットとして現場調査の時間短縮によるスムーズな打合せや、提案案件のプレゼンテーション資料への応用等があれられ、客先に対しても、同様に安全性や立ち会い時間の低減など、多くのメリットが挙げられる。

さらに弊社は、3Dスキャナーにより得られる比較的扱いにくい点群データをCADデータ(施工図化)にすることで、現場技術者が容易に利用できる形式にしている。CADソフトはダイテック社のTfasを使用しており、多くの技術者が利用できるため、3Dスキャナーによる現場調査結果を最大限に生かしている。

4.熱源改修工事の現場調査の事例

この事例は3Dスキャナーの導入理由の1つであった熱源機械室の現場調査の負担低減を実施した事例である。図2の現況写真では伝わらないが、現場調査環境は決して良くない状況である。図3に示す現況の設計図(撤去図)においても、施工に必要な情報が不足しており、CAD化されてはいるが現場調査をしなければ、機器の位置、配管の高さ、障害物の有無などは不明である。

現場調査は機材の移動を含め2名で実施。現場調査時間は約1時間程度であった。さほど大きな機械室ではないが、客先の立会や、機械室内の環境を考えると非常に短時間で安全に行えたことを考慮すると導入のメリットが大きい。

図4に取得した点群データを示す。現場調査したスキャンデータは整理され、設計図を参照しながら、弊社の主要設備CADであるTfasにて施工図化（CADモデル化）を行った。施工図化は工事担当者とは別の作図担当部署にてお



図2. 現地状況

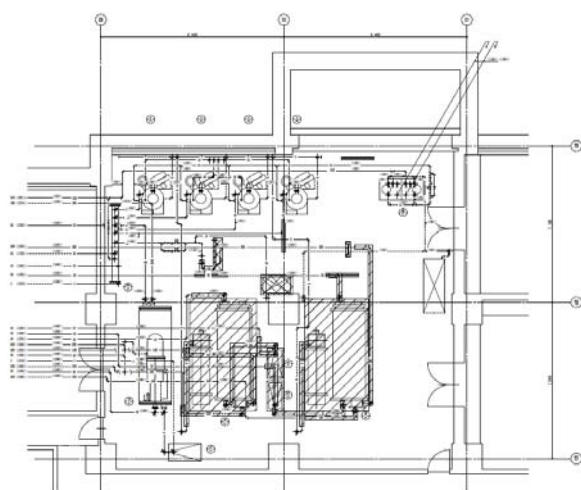


図3. 熱源改修工事設計図（撤去図）

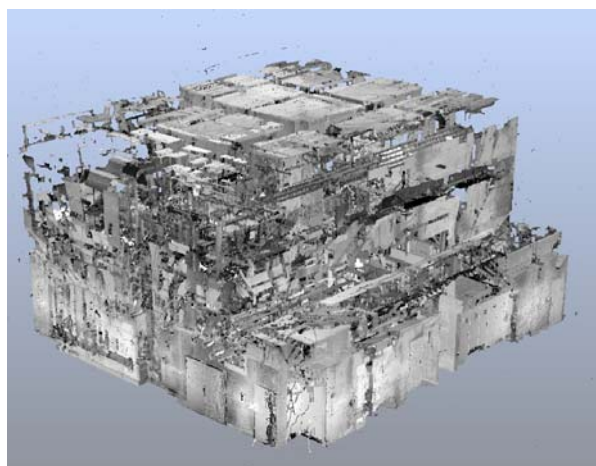


図4. 取得された点群データ

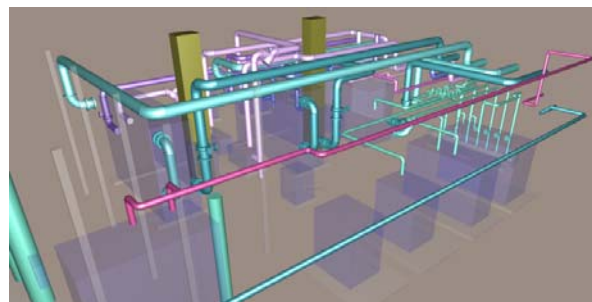


図5. CADモデルデータ（Tfas）

よそ3日間の作業であった。工事担当者はその間作図作業を離れ、配管切替えなどの施工計画や安全品質計画に時間を使うことができた。

図5は作成した点群データより作成した3DCADモデルデータ（Tfas）である。Tfasで作図することで、工事担当者も理解が早く、修正も容易にでき、社内で現況の施工図が作成されていたことで工事担当者からも好評であった。

5.まとめ

弊社では、熱源改修工事などのリニューアル工事を中心に3Dスキャナーを活用しており、すでに必要不可欠な装置となっている。

3Dスキャナーは計測器としては、マルチに活用できる装置であるが、計測されたデータを最終的にどのような形式にするかによってその価値が違う。我々は、弊社の現場技術者が使用できるCADソフトTfasでの図面、3Dモデルを完成形として現場に提供することで、その価値を高めている。点群データを扱えるソフトも増え、点群データをそのまま活用しようとする動きもあるが、最終的な目的を明確にして3Dスキャナーを使用していく必要がある。現在は、施工業者として、CADモデルにするのが、施工上都合が良いが、CADモデル化への工数がかかるため、CADモデル化への省力化への取組はもちろんであるが、点群データやパノラマ写真など手間の少ないものも提案書などに利用し、3Dスキャナーを最大限に活用して行きたいと考えている。

特に事例で述べた熱源改修工事などの大空間を有したリニューアル工事は、計画の段階から図面の不備など問題をかかえていることも多い。そのような物件では、設計段階から3Dスキャナーによる各データが大いに活用できるものと考えている。

【参考文献】

1) 東 一聡（3Dスキャナー使用によるリニューアル及びソリューション）建築設備と配管工事 2014年12月号 日本工業出版社

*1 日比谷総合設備株式会社