

# 地下街の3次元レーザ計測と点群データの 利活用について

## THREE DIMENSIONAL LASER SCANNING OF UNDERGROUND MALL AND APPLICATION EXAMPLES OF POINT CLOUD DATA OBTAINED BY LASER SCANNING AND PHOTOGRAMMETRIC PROCESSING

中村 栄治<sup>1\*</sup>・山本 義幸<sup>2</sup>・成澤 守<sup>3</sup>・大森 高樹<sup>4</sup>

Eiji NAKAMURA<sup>1\*</sup>, Yoshiyuki YAMAMOTO<sup>2</sup>, Mamoru NARUSAWA<sup>3</sup>,  
Takaki OOMORI<sup>4</sup>

This report describes a three dimensional laser scanning process of an underground mall called ESCA located in the west region of Nagoya Station and application examples of the point cloud data sets of the mall obtained by the laser scanning and of buildings above the ground in a vicinity region of the mall acquired by photogrammetric processing of pictures of these buildings. The first example is a facility maintenance and operation application where relations of the mall and its surrounding pipe network of sanitary swears can be understood visually by showing the point clouds of the mall and 3D CAD models of sanitary swear pipes in the same view. The second one is a disaster management application where a 3D CAD model of the mall created based on its point cloud data which is placed on virtual space may provide a virtual reality method for making a plan for managing potential disaster risks. The last one is a customer attraction example where by labeling the point cloud with store names in the mall, these store locations can be easily pin pointed even from a place above the ground in a point cloud space otherwise these underground located stores could not be seen from anywhere above the ground in the real world.

**Key Words :** *underground mall, 3 dimensional laser scanning, point cloud, facility operaton and maintenance, disaster management, customer attraction*

### 1. はじめに

過密化した都市中心部で合理的に空間を利用するために、日本では昭和30年代から地下街の開発が急速に進んだ。この口火を切ったのが名古屋駅東側に位置する名駅地下街である。駅前の地上交通の緩和と整理を目的とし、商店街のアミューズメントセンター化を目指した地下街を建設するために、1953年（昭和28年）に名古屋地下街株式会社が設立され<sup>1)</sup>、1957年（昭和32年）に地下街が完成した。その後、札幌、大阪、東京において大規模な地下街の開発が続き、1974年までには、現在全国にある83の地下街の7割近くが開業することになった<sup>2)</sup>。

地下街は、その多くが主要道路の直下に位置するとともに、隣接する商業施設や交通機関への導線となることで、近隣で営まれる経済活動の重要な構成要素となっている。単体で建替え可能な地上施設とは異なり、近接する地区の経済活動に影響を及ぼすことなく、地下街を取り壊したり建て替えたりすることは容易ではない。今後ますます地下街の維持管理は極めて大きな意味を持つことになる。

上述したように、多くの地下街が高度成長期に開業した施設であるため、老朽化対策だけではなく耐震性も含めた維持管理が求められている<sup>3)</sup>。地下は地上に比べ温度変化の影響を受けにくく温度が安定しているため<sup>3)</sup>、

キーワード：地下街，3次元レーザ計測，点群データ，維持管理，防災，顧客誘導

<sup>1</sup>正会員 愛知工業大学教授 情報科学部情報科学科 Professor, College of Information Science, Aichi Institutional of Technology,  
(E-mail: eiji-nakamura@aitech.ac.jp)

<sup>2</sup>正会員 愛知工業大学准教授 工学部土木工学科 Associate Professor, College of Engineering, Aichi Institutional of Technology,.

<sup>3</sup>正会員 株式会社エスカ 施設部 Facilities Department, ESCA Co., Ltd.

<sup>4</sup>正会員 株式会社日建設シビル CM防災部 Construction Management & Disaster Prevention Department, Nikken Sekkei Civil  
Engineering Ltd.

地下街は恵まれた自然条件を兼ね備えた施設といえる。しかし、近年、都市部で豪雨が増える傾向にあり<sup>4)</sup>、地下街の浸水に対する避難対策が求められるようになって<sup>5)</sup>いる。

土木・建築の空間情報化技術（BIMやCIM<sup>6)</sup>）が急速に進歩し、その普及が進む現在においては、空間情報化技術を駆使し、これら課題に対処することが望ましい。紙ベースの図面による設計施工であった時代に開業した地下街においては、まずは、現況をレーザスキャナで3次元計測することが第一になる。本稿では、1971年に名古屋駅西側に開業した総延床面積が約3万㎡に及ぶ地下街エスカを、レーザスキャナで計測した実例を報告する。レーザ計測から得られる点群データと写真点群とを統合することにより、維持管理や防災あるいは顧客誘導へと広がる点群データの利活用について述べる。

## 2. 3次元レーザ計測

### (1) 地下街エスカの概要

エスカは83の店舗が入居する地下1階と、295台の車を収容できる地下2階からなる地下商業施設である<sup>7)</sup>。図-1に地下1階の店舗図を示す。紙面の都合で店舗図を南北に分割して表示した。図-1の上図は地下1階南部を、図-1の下図は北部をそれぞれ表している。図-1の01～80の番号は店舗番号を表す。ショッピングモールとなっている地下1階は、17ヶ所に設けられた階段を主とする連絡路で地上と結ばれている。図-1では、E1～E17がこれらの連絡路のある場所を表している。



図-1 地下1階店舗地図<sup>8)</sup>

### (2) レーザ計測作業

据え置き型レーザスキャナであるFAROのFocus 3D S120を使い、店舗が入居する地下1階および地上と地下1階を結ぶ連絡路のレーザ計測を、2013年4月から11月にかけて15回に分けて行った<sup>9)</sup>。毎回、地下街の営業が終了してから計測作業を開始した。具体的には、午後10時頃から午前2時頃にかけて行った。計測作業は地上の連絡路入口付近から開始し、連絡路の階段から地下1階の通路へと向い、午前2時になるまで作業を続けた。図-2に地上にある地下街への入口の例（E14番）を示す。入口付近にレーザスキャナを置いて計測を開始し、順次、階段を下るようにスキャナの設置位置を変えながら計測を続けた。



図-2 地上入口（午前中に撮影）

1回のレーザ照射時間は10分程度であり、計測データのつなぎ合わせのための真球（3個/セット×2セット）の配置や、レーザスキャナの移動と設置にも時間を要するため、4時間ほどの計測作業では、10回程度の計測が限度であった。図-3に1日（4時間）での計測範囲の一例を示す。斜線で示す領域が計測範囲である。したがって、すべての連絡路と地下1階全体を計測するのに15日（約60時間）を要した。

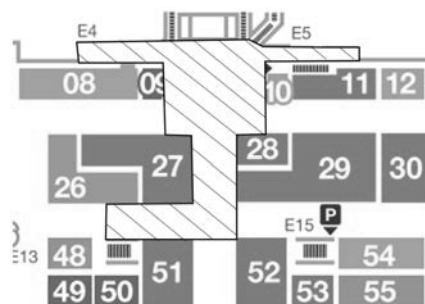


図-3 1日での計測範囲

営業時間後の地下街においては、非常灯以外はすべて消灯されてしまうが、レーザ計測により色付き点群を生成するために、計測範囲においては照明をつけた状態で計測を行った。そのような状態の一例を図-4に示す。営業時間外であるため、店舗のシャッターは閉じた状態での計測となった。



図-4 レーザ計測環境

名古屋駅新幹線口と地下街エスカとは、エスカレータ2基とエレベータ1基、そして階段からなるE9番連絡路で結ばれている(図-1の下図左下)。これは、地上から地下街エスカへと向かう人の流れが最も多い連絡路である。いわば地下街エスカの表玄関である。ここの壁面と天井は鏡面素材からできており、レーザが鏡面反射することにより、スキャナから計測対象までの距離を正確に測定することができず、この付近の点群を得ることはできなかった。その他にも、E11番連絡路(図-1の上図左端)近辺を計測したが、計測時に照明が消灯されており、輝度値が極めて低い点群しか生成されなかったため、この付近の点群を計測結果から削除せざるを得なかった。

### (3) 座標変換基準点の計測作業

レーザスキャナによる計測で得られる点群は、6次元ベクトルの集合体と考えることができる。各ベクトルは、レーザスポットが照射された計測対象のスキャナ本体を原点とするローカル座標の値(3次元直交座標:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ )と、スキャナに搭載されたカメラが撮影した計測対象の写真の輝度値(三原色:  $R$ ,  $G$ ,  $B$ )である。ローカル座標では地下街の位置や標高を知ることはできないため、計測後、点群の座標をグローバル座標(平面直角座標系第Ⅶ系)に変換する必要がある。座標変換には、グローバル座標とローカル座標の2種類の値を同時に複数回の基準点が必要になる。

地下1階の床タイルの模様が点群にもはっきりと現れるため、これらを座標変換の基準点とした。図-5に示すように、名古屋駅西側にある街区多角点( $X: -92027.618$ ,  $Y: -26083.674$ ,  $Z: 1.455$ )と節点( $X: -92061.100$ ,  $Y: -26169.765$ ,  $Z: 1.382$ )を既知点とし、トータルステーション(以下TSと略す)を使った測量により、基準点のグローバル座標を求めた。図-5では、地下街エスカは矩形破線で、街区多角点と節点は丸印で表してある。街区多角点(右側の丸印)を出発し、地下街エスカの地下1階を経由して地上に戻り、節点(左側の丸印)を通過して街区多角点に戻る閉合多角方式<sup>10)</sup>で測量を行った。



図-5 測量での既知点(検索結果<sup>11)</sup>に加筆)

TSの計測経路が描く多角形の頂点の中から、地下街エスカの地下1階に位置する頂点から適宜2点を選んで基線とし、基線からみた座標変換の基準点の水平角と垂直角および距離をTSにより計測した。

## 3. 点群データ

### (1) 点群の処理

各回のレーザ計測で得られた結果を一つの単位として点群を処理した。E17番連絡路の入口から計測を開始して得られた点群の例を図-6に示す。ノイズ処理を施す前の点群であるため、レーザが十分な密度で届かない領域の点群も含まれていることがわかる。これらの領域に属する点群には、レーザがスキャンした軌跡に沿った点群が円弧状に現れるといった特徴が見られる。



図-6 レーザ計測結果(E17番スタート)

十分な密度でレーザが照射されなかった領域をノイズとして手作業で除去した。図-6に示した点群について、ノイズ処理により得られた結果を図-7に示す。レーザが十分な密度でスキャンできなかった領域の点群が消えていることがわかる。点群のサイズ、つまり点の総数は約1億6千万点である。

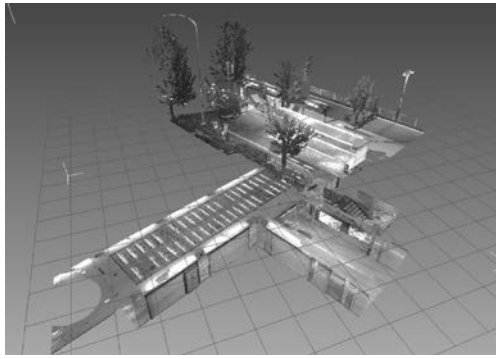


図-7 ノイズ処理後（E17番スタート）

ノイズを除去した後、上述した基準点を使い、各回の計測で得られた点群のグローバル座標変換を行った。図-8に、全15回の計測で得られた地下1階の点群を示す。点群のサイズは約50億点である。店舗のシャッターが閉じた状態でレーザ計測を行ったため、点群は地下1階の通路と階段を表していることになる。

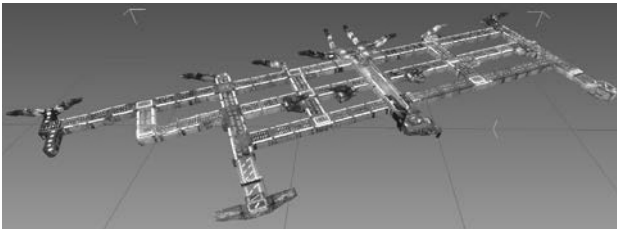


図-8 地下1階の点群

## (2) 点群の特徴

点群はグローバル座標を持っているため、地下1階の任意の場所の標高や、任意の2点間の距離を点群上で容易に知ることができる。E13番連絡路の地上から地下1階へと下る階段の点群を図-9に示す。4段にわたり踏面のXYZ座標が表示されているが、表示値の第3要素Zが標高である。1段目の踏面の標高が0.88mであり、4つの踏面の標高差から、どの蹴上も16cmとなるように施工されていることがわかる。点群の利点は、構造物の幾何情報を内包しているだけではない。点群は色情報を持っているため、構造物を視覚的に記録することができる。したがって、TSなどで計測した場合には、測定点を写真やスケッチなどで記録しておく必要があるが、点群の場合には、そのような必要がない。点群そのものが幾何情報のデータベースになっていると考えることができる。

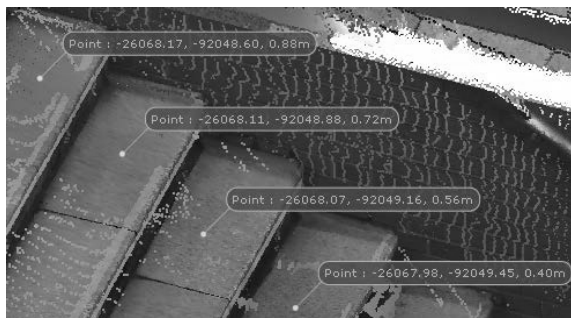


図-9 階段踏面の標高

## 4. 点群データの活用

### (1) 維持管理

名古屋駅周辺は無電柱化が進んだ地域であり、上下水道管やガス管以外にも、電力線や通信線が収められた共同溝が地下に埋められている。図-10は、写真計測で得られた地上の点群とレーザ計測で得られた地下街の点群において、地上から地下を見通せるよう、それぞれの点群の一部を削除して示したものである。

名古屋市水道局の下水台帳に記載されている配管に関する情報と、TS計測で得られたマンホールの位置を基にして下水管路の3次元CADを作成し、点群の中に配置した<sup>12)</sup>。点群は計測対象の表面を表すことしかできないが（地下街であれば天井や壁、床などの意匠部分）、図-10からは、下水管の埋設状況を地下街との関係を踏まえて視覚的に把握することができる。点群を指定すれば点群間の距離も知ることができるため、下水管と地下街との関係も定量的に把握することができる。現在、タブレット端末に地下街や下水管路の点群を表示することで、現場においても手軽に維持管理作業で点群データが利用できるよう検討を進めている。



図-10 地上から見た地下街と下水管との位置関係

### (2) 防災

VR（バーチャルリアリティ）技術を使い、避難経路の点検や避難誘導の方法をはじめとした防災行動計画を立てる上で、バーチャル空間をどのように利用できるのか検討を進めているとことである。バーチャル空間に地下街を3次元モデルで再現し、地下街エスカを訪れた客や店舗従業員の視点から、バーチャル空間にゴーグルやタブレット端末を使って仮想的に身を置くことで、どこまで現実に肉薄して防災行動を考えることができるかがポイントとなる。

点群から直接3次元CADを自動的に生成する手法など<sup>13)</sup>を使えば、地下街の3次元モデルを比較的短時間で得ることができる。しかし、2節で述べたように、地下街の一部領域の点群が欠落していることから、現存する紙図面を主とし、点群を従として3次元CADを作成するこ

とにした。具体的には、施工の現状を点群で確認しながら、図面と異なって施工されている所があれば、点群からの情報に合わせて3次元CADを作成するといった流れである。図-11は、作成途中の3次元CADに店舗写真をテクスチャとして貼り付けたモデルをバーチャル空間に配置し、タブレットに表示した一例である。画面左下の十字キーを指先で操作することで、バーチャル空間を自由に動き回ることができる。HMD（ヘッドマウントディスプレイ）を使えば、この空間が眼前に広がり、体を動かすことで地下街を仮想的に動きまわることができる。



図-11 VR空間での地下街

### (3) 顧客誘導

地上を歩いている人々が、地下街にある店舗の名前や場所を視覚的に捉えることができるならば、それは地上から地下街への顧客誘導の一助となるに違いない。図-12はレーザ計測で得られた地下街の天井部分の抜いた点群と、写真計測で得られた地上部の点群を合わせて表示したものである。地下街の中から4店舗（マクドナルド、マツモトキヨシ、ユニクロ、ATM）を例として取り上げ、点群に店名をラベル付けして、高速点群ビューワ<sup>14)</sup>で表示したものである。地上のビルを手がかりとして、これら店舗の場所を容易に把握することができる。



図-12 店舗位置の見える化

このビューワ上では、点群サイズの大小によらず、ストレスなくスムーズに視点を自由に動かすことができるため、図-12のように空中から見下ろした構図ではなく、地上から地下街を見た場合の構図も再現できる。この点について、図-13に示すように現地で実験を行った<sup>15)</sup>。

Windowsで動作するタブレット端末に高速点群ビューワをインストールし、点群を学内のサーバに保存した状態で、公衆回線網により点群にアクセスしてタブレット端末に店舗名がラベル付けされた点群を表示した。回線の通信帯域は20～30Mbps程度であったが、視点を自由に變更しながら、店舗の位置を地上から把握することができた。さらに、点群の視点を變更しながら店舗名ラベルを手がかりとして地下街の目的とする店舗まで、迷うことなくたどり着けることを確認した。



図-13 実験の様子

## 5. 3次元レーザ計測の位置づけ

据え置き型レーザスキャナは一度に大量のポイントを計測できる能力を持ち、計測により得られた点群を使えば、任意の点の座標や距離あるいは角度などを算出することができる。さらに、計測対象である建築物の幾何学的情報を定量的に取得できるだけでなく、計測対象のテクスチャを点群は表現できるため、建築物の現状を定性的に把握することができる。しかし、レーザはスキャナを中心に放射状に照射されるため、計測対象とスキャナとの距離が大きくなるにしたがい、あるいは計測対象面へレーザが入射する角度が浅くなるにしたがい、得られる点群の密度が低くなっていく特性がある。したがって、必要に応じて十分な点群密度が得られるよう、その都度スキャナを適所に移動させて計測する必要がある。地下街のような大規模な施設を据え置き型スキャナで計測する場合には、手間や時間など相応のコストが発生することになる。

写真計測による点群生成技術<sup>16)</sup>は近年長足の進歩を遂げ、市販のソフトウェアを使えば専門家でなくても簡単に点群を生成することができるようになった。写真点群の特徴は、図-14に示すように、レーザ計測に比べ高密度な点群が得られることである。階段の壁面や踏面のテクスチャも再現できるほど高密度な点群であることがわかる。写真計測では民生用のカメラを使用でき、カメラはメンテナンスフリーに近いため、維持管理には経費がほとんどかからない。一方、レーザスキャナは高価であ

り、定期的な校正が必要になるなど維持管理にも多額の費用が必要になる。



図-14 写真点群の一例 (E3番階段)

点群は計測方法によらず、点群処理ソフトや点群ビューワで同じように扱うことができるが、6次元ベクトルの集合体であるため、点群を収めたファイルの容量が大きくなることに注意する必要がある。計測で得られた点群を闇雲に統合するのではなく、必要に応じて点群を分割し、ファイル容量を小さくして作業をすることで、作業の効率化を図るなど、点群データを扱うときには様々な工夫が必要になる。

レーザ計測や写真計測は、現状を短時間で3次元スキャンできる優れた技術であるが、すべてのものを計測できるわけではない。鏡面材質に覆われた構造物は光を反射するため、光を反射しないようなもので覆わない限り、そのような構造物の点群を得ることはできない。また、点群は構造物の内部ではなく表面の計測結果に過ぎないため、必要に応じて躯体図面などと合わせて利用することにより、点群のデータとしての価値を生かすことができる。

## 6. おわりに

据え置き型レーザスキャナを使い名古屋駅西側に位置する地下街エスカの地下1階と地上からの連絡路を計測し、50億点からなる点群データを生成した。合わせて、地下街近隣の地上ビル群を写真計測し、それらの点群データも生成した。得られた点群を統合することにより、地下街の維持管理や防災、あるいは顧客誘導に点群データが利用できる可能性を示した。

維持管理においては、3次元CAD化した下水道管路を点群と融合することで、下水道管路と地下街との位置関係を3次元的に把握できることを示した。防災においては、点群とVR技術を合わせたバーチャル空間上で、避難行動計画をどのように立案できるか検討中であることを述べた。さらに、点群に店舗名をラベル付けすることで、地上から地下街の店舗が把握できることを示し、点群データによる顧客誘導ツールの実験例を示した。

今後、地下街エスカを訪れた人々や、地下街の管理者あるいは店舗で働く人々がモバイル端末（タブレットやスマートフォン）を使い、地下街の点群データや3次元モデルなどから、自分たちに必要な情報を手軽に取得できるように仕組みを検討する予定である。

**謝辞：**株式会社きもと技術本部情報技術グループの羽鳥良子氏には、計測で得られた点群を高速点群ビューワで表示できるようデータの変換を行っていただきました。愛知工業大学情報科学部情報科学科の松河剛司准教授には、バーチャル空間に表示できる3次元モデルを作成していただきました。心から両氏に感謝いたします。

本研究の一部は、（一財）日本建設情報総合センターの研究助成を受けて実施したものです。

## 参考文献

- 1) 藤川壽男：ナゴヤ地下街誕生物語，C&D 出版，2007.
- 2) 国土交通省：地下街耐震に関する調査（地下街耐震対策検討調査業務報告書），2010.
- 3) 地下空間普及研究会：みんなが知りたい地下の秘密，SB クリエイティブ，2010.
- 4) 守田優：都市の洪水リスク解析，フォーラムエイトパブリッシング，2014.
- 5) 石垣泰輔：市街地の水災害と地下空間浸水—大阪梅田地区を対象として—，日本都市計画学会関西支部平成26年度シンポジウム資料，2014.
- 6) 土木学会編：CIM から広がる新たな世界，土木学会誌，Vol. 100，No. 6，2015.
- 7) 会社概況，[www.esca-sc.com/company.html](http://www.esca-sc.com/company.html)，株式会社エスカ，2016年9月15日参照
- 8) 全店舗マップ，[www.esca-sc.com/esca\\_allshopmap.pdf](http://www.esca-sc.com/esca_allshopmap.pdf)，株式会社エスカ，2016年9月15日参照.
- 9) 大河内政宏，騎馬史弥，高橋峻：地下街活性化に向けた3Dデータの取得（卒業論文），愛知工業大学情報科学部情報科学科，2014.
- 10) 長谷川 昌弘，川端 良和：基礎測量学（改訂新版），電気書院，2010.
- 11) 都市再生街区基本調査及び都市部官民境界基本調査の成果提供システム，<http://gaikuchosa.mlit.go.jp/gaiku/>，国土交通省，2016年9月15日参照.
- 12) 飯田英伸，阿部克彦：名古屋駅西側商業地区の道路専有地下埋設物の可視化（卒業論文），愛知工業大学情報科学部情報科学科，2015.
- 13) 高地伸夫：ロバスト特徴抽出と点群・画像の融合処理による三次元計測・モデリングとその遺跡，ビル建築物への応用（博士論文），北海道大学大学院情報科学研究科，2013.
- 14) Geoverse，[www.kimoto.co.jp/business/datakitchen/3ddata](http://www.kimoto.co.jp/business/datakitchen/3ddata)，株式会社きもと，2016年9月15日参照.
- 15) 大平勇人：3次元レーザ計測を用いた地下街の見える化（修士論文），愛知工業大学大学院経営情報研究科，2015.
- 16) R. Hartley，A. Zisserman：Multiple View Geometry in Computer Vision（第2版），Cambridge University Press，2004.