特集≫≫　建設施工の生産性向上，コスト縮減

360 度パノラマ画像を使用した効率的な屋内現況図作製手法

T-Siteview® Draw の開発とリニューアル改修工事への適用

柳　本　貴　司・佐　藤　貢　一・高　取　昭　浩

通常，既存建物の改修工事計画を立案する際，建物所有者の立会の下，既存図面と比較しながら現地調査を行っている。この作業は建物の利用者がいる中で行われるため，短時間かつ効率的な作業が求められる。このような背景により，本システムは建物内部の現況寸法把握の迅速化とリニューアル改修工事の早期計画立案を目的に，デジタルカメラによる撮影から図面作製までを一連の流れで構築できるツールである。

本稿は，本システムの概要，精度検証結果および図面化について報告し，さらに画像データから BIM への連携を紹介する。

キーワード：全天球カメラ，360 度パノラマ画像，改修工事，屋内測量，図面作製，BIM

1. はじめに

近年，1990 年前後のバブル期に建設された建物の修繕・改修工事が盛んに行われている。修繕工事とは劣化した外壁（タイルの剥離・浮き，シール材の劣化）や屋根（防水シートの劣化）などの機能を回復させる工事であり，一方改修工事は，間取りや設備機器の変更などで室内空間を改善し，建物の機能や性能を初期レベル以上へ向上させる工事である。これら工事の計画時，特に既存建物の改修工事を行う際には，事前に建物内部の現況を調査する必要がある。本来，この調査段階で現況図が揃っていれば，改修工事に必要とされる寸法や材料などの情報を確認することができる。しかし既存の図面が現況と異なる場合や図面が紛失している場合には，手測りや測量機器により建物内部を再計測して，既存図面の修正もしくは現況図の再作製を行なう必要がある。一方，所有者の立場としては調査時の立会が必要となり，時間が拘束されるため短時間での調査が望ましい。このような課題を解決するためには，現地作業をより短時間かつ効率的に実施し，1 回の現地調査で必要な情報（寸法，内装材の材質や建具など）をすべて取得する手法が求められている。

開発したシステムは，建物内部の現況把握の時間短縮かつ改修工事の計画立案の効率化を目的に，全天球カメラで撮影した 360 度パノラマ画像[注 1)]（以下，パノラマ画像と呼ぶ）からの現況寸法計測および図面作製を行うツールである。さらに得られた 3 次元計測データをコンピュータ上で可視化し，各部位の属性情報（部屋名称，面積，材料・部材情報や仕上げ材料）を付加して BIM（Building Information Modeling）データとして構築することで，建物所有者による自由な改修工事（間取りの変更や内装材の変更など）の検討を可能にした。

本稿は，建物内部の改修工事の施工計画立案に必要なデータ（測量結果や図面）等の収集を効率化するための計測方法とその精度について述べ，最後に本システムと BIM との連携を紹介する。

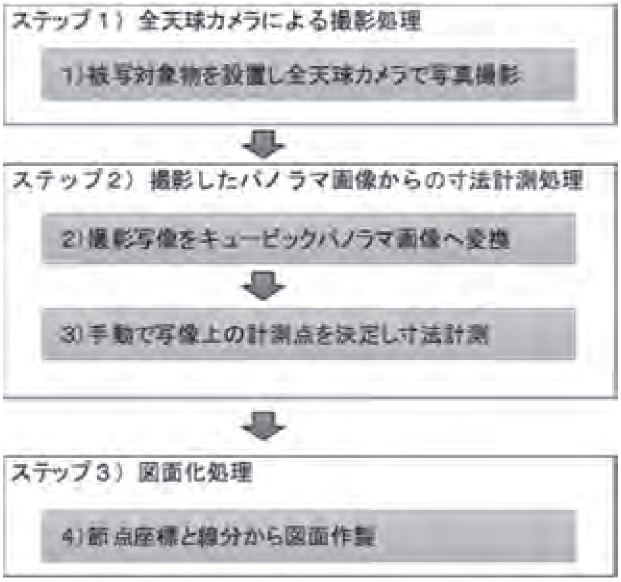
2. 現地での撮影から図面作製までの流れ

後述する全天球カメラの撮影から寸法計測するまでのフローを**図― 1** に示す。

ステップ 1 は全天球カメラによる撮影処理である。任意の位置に全天球カメラを設置し，スマートデバイスと連動させることで遠隔で撮影することが可能である。ただし平面的に広い空間の場合，遠方の映像ほど画質が悪くなり寸法計測に誤差を生じる可能性がある。第 4 章では，計測精度確保が可能な距離（領域）について述べる。

次にステップ 2 は，全天球カメラで撮影したパノラマ画像からの寸法計測処理である。この処理では，パノラマ画像をキュービックパノラマ画像（後述詳細説明）へ変換し，その後，柱と床の交点（節点座標）や壁の四隅の交点（節点座標）を指定することで距離や面積を計測する。

最後にステップ 3 は，図面化処理である。図面化を



図―1　寸法計測のフロー

行う際にステップ2で得られた節点座標とそれらを接続する線分を所定のフォーマットに統一することで，迅速に図面の作製ができる。

3. 全天球カメラを用いた室内寸法計測の手法

さまざまな分野で利活用されている一眼レフデジタルカメラと同程度の画質を有し，小型で携帯性も兼ね備えたアクションカメラは世の中に広く普及している。その中でも一回の撮影で室内空間をすべて撮影する機能を持つ全天球カメラは，撮影回数の削減や調査時間の短縮につながり，建設現場でも作業の効率化および省力化のツールとして使用されている。本システムでは，現地作業時間の短縮を図るため全天球カメラを採用した。

本章では，全天球カメラの特徴，カメラで撮影した画像による寸法計測手法について述べる。

(1) 全天球カメラの特徴

本システムで採用した全天球カメラは，2つの魚眼レンズが前面と背面に設置され，一回の操作でパノラマ画像を撮影する機能を有している。全天球カメラの外観とその仕様を**写真―1**，**表―1**に示す。全天球カメラを床面に対し直立させた状態で撮影したパノラマ画像例を**写真―2**に示す。この画像のように直線が曲線として写り込みをしているものの，つなぎ目がないシームレスな画像として出力することが特徴である。一方，画像下部の黒色部分は，カメラを設置した三脚の雲台と脚の部分が写り込んだものである。

写真―1
全天球カメラ

表―1　全天球カメラの仕様

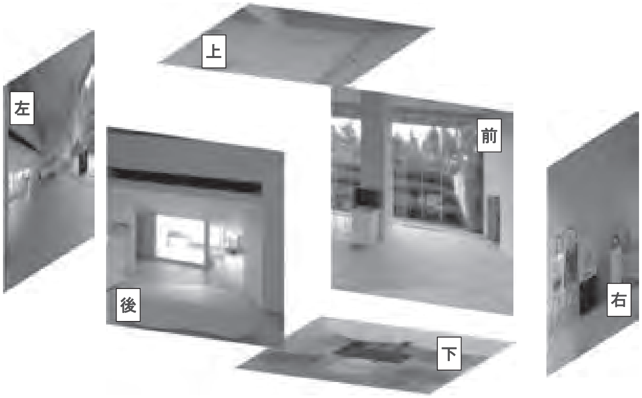
撮影距離	レンズ先端より約 10 cm ～∞
解像度	5376 × 2688
撮像素子	1/2.3 CMOS（× 2）
有効画素数	約 1200 万画素（× 2）

写真―2　全天球カメラで撮影したパノラマ画像

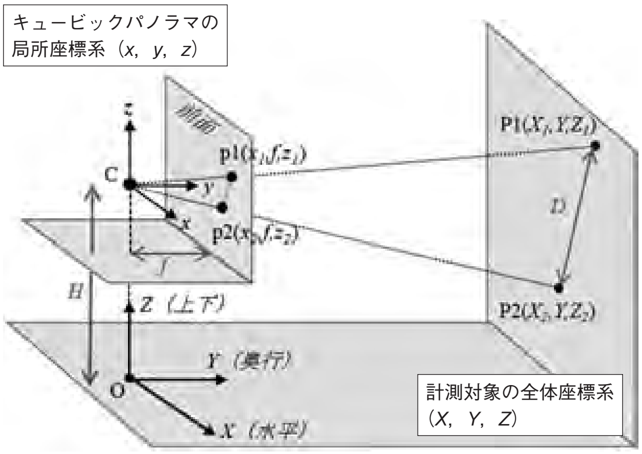
(2) 寸法計測の手法

撮影したパノラマ画像は，前述したように直線が曲線として表現され，この画像では正確な節点座標や線分の長さを計測することができない。この課題を解決するため，パノラマ画像を**図―2**に示すようにキュービックパノラマ画像へ変換する手法[注2)] を採用した。この画像は全天球カメラのレンズ位置を中心に正六面体を形成し，その各面にパノラマ画像から切り出した画像を平面に写像させたものである。この手法により，正確に節点座標や線分の長さを計測することができる。具体的な手法を説明する。**図―3**は，キュービックパノラマの局所座標系と計測対象の全体座標系の関係を示す。局所座標系はキュービックパノラマの中心点Cを原点として，水平方向を$+x$軸，奥行方向を$+y$軸とする。x-y平面の法線方向を$+z$軸とする。

C点直下の床面上の点Oを計測対象の全体座標系



図―2　キュービックパノラマ画像



図― 3　寸法計測の座標系

の座標原点とする。キュービックパノラマ局所座標系の座標を（x, y, z），全体座標系の座標を（X, Y, Z）としたとき，点 O から点 C までの高さを H とすると，各点間の関係は以下のように表される。

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z-H \end{Bmatrix}$$

全体座標系の計測点を P1（X_1, Y_1, Z_1）とし，P1 がキュービックパノラマ上に写像している点を p1（x_1, y_1, z_1）とする。ここで点 C から前面画像までの距離を f とする。f はキュービックパノラマ画像を構成する正方形画像の一辺の長さの 1/2 となる。$y_1 = f$ のため，p1 は（x_1, f, y_1）で表される。この座標はキュービックパノラマ上で計測可能な座標である。ここで，C 点の高さをカメラレンズの高さ H とし，床面が水平であるとすると，全体座標系と局所座標系の関係を幾何学的に相似とすることができ，点 p1 の座標から点 P1 の座標を求めることが可能となる。

P1 と P2 の 2 点間の距離 D は，P1（X_1, Y_1, Z_1）と同様に P2（X_2, Y_2, Z_2）の座標が分かれば，下式により 2 点間の距離 D が計算できる。

$$D=\sqrt{(X_2-X_1)^2+(Y_2-Y_1)^2+(Z_2-Z_1)^2}$$

4.　寸法計測の精度検証

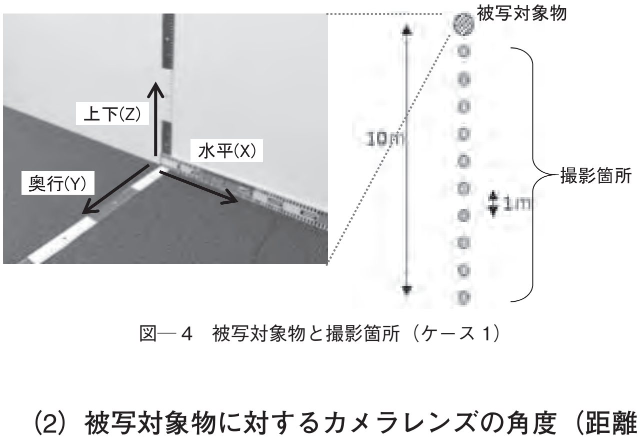
本章では，全天球カメラによる寸法計測の精度検証を行うため，固定長（1 m）のクロスロッドを被写対象物に見立て，床面上に水平および奥行に各 1 本，上下方向に 1 本を壁に配置した。計測精度の検証として以下の 2 種類のケースを実施した。ただしカメラレンズの高さは床から 1.5 m に固定とした。

ケース 1：被写対象物とカメラ間の距離による検証

ケース 2：被写対象物に対するカメラレンズの角度（距離一定）による検証

（1）被写対象物とカメラ間の距離による検証

ケース 1 は，被写対象物とカメラ間の距離をパラメータにしたときの計測精度の検証である。このケースのパラメータは，**図― 4** に示すように被写対象物を固定しカメラを 1 〜 10 m までを 1 m 刻みで移動させながら 10 パターン実施した。カメラレンズの向きは，被写対象物に設置した壁面に正対（角度 0 度）させた場合と 90 度回転（角度 90 度）させた場合の 2 パターンとした（**図― 5** 参照）。**表― 2** に被写対象物とカメラ間の距離をパラメータにした計測誤差を各 3 成分（水平，奥行および上下方向成分）について示す。壁面に正対させた（角度 0 度）場合，距離 4 m までは水平，奥行および上下方向共に 2%（20 mm）以内，距離 5 m までの水平，奥行および上下方向で 3%（30 mm）以内，さらに距離 9 m 以内で誤差 4%（40 mm）以内に収まっている。一方，壁面と 90 度回転（角度 90 度）させた場合，誤差 2% に収まる距離は 3 m 以下であった。ただし距離が 4 m 以上になると計測寸法の誤差にバラツキが生じ，距離 9 m 時では誤差が 10%（100 mm）を超える場合もあり，これらの誤差の要因は，距離が離れることによる画質の低下および魚眼レンズを使用していることによる画像の歪みであると考えられる。



図― 4　被写対象物と撮影箇所（ケース 1）

（2）被写対象物に対するカメラレンズの角度（距離一定）による検証

全天球カメラを設置する際に，カメラレンズの向きが任意の方向になることを想定し，**図― 5** に示すようにカメラレンズの向きを被写対象物とレンズの角度を 5 パターン（角度 0，30，45，60，90 度）に設定した。ただし被写対象物までの距離は 5 m に固定した。レン

表― 2 距離とレンズの角度による誤差計測（ケース 1）

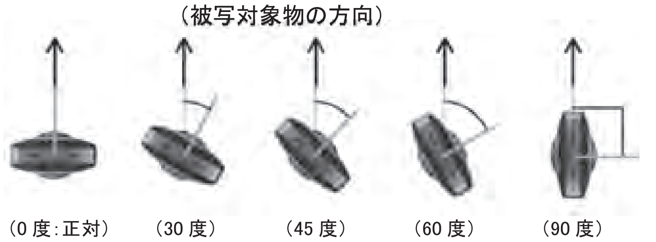
単位：mm

		レンズの角度											
		0 度（正対角度）						90 度					
		水平（X）	誤差割合	奥行（Y）	誤差割合	上下（Z）	誤差割合	水平（X）	誤差割合	奥行（Y）	誤差割合	上下（Z）	誤差割合
距離	1 m	0	（0.0%）	－		− 6	（0.6%）	17	（1.7%）	－		4	（0.4%）
	2 m	5	（0.5%）	24	（2.4%）	3	（0.3%）	10	（1.0%）	− 12	（1.2%）	− 5	（0.5%）
	3 m	− 9	（0.9%）	17	（1.7%）	− 18	（1.8%）	9	（0.9%）	− 7	（0.7%）	− 14	（1.4%）
	4 m	− 7	（0.7%）	14	（1.4%）	− 16	（1.6%）	53	（5.3%）	40	（4.0%）	7	（0.7%）
	5 m	− 3	（0.3%）	29	（2.9%）	− 4	（0.4%）	12	（1.2%）	29	（2.9%）	− 2	（0.2%）
	6 m	− 9	（0.9%）	33	（3.3%）	− 18	（1.8%）	49	（4.9%）	11	（1.1%）	8	（0.8%）
	7 m	− 27	（2.7%）	4	（0.4%）	− 30	（3.0%）	4	（0.4%）	6	（0.6%）	− 12	（1.2%）
	8 m	− 31	（3.1%）	− 34	（3.4%）	− 26	（2.6%）	46	（4.6%）	29	（2.9%）	17	（1.7%）
	9 m	− 23	（2.3%）	− 17	（1.7%）	− 22	（2.2%）	118	（11.8%）	133	（13.3%）	40	（4.0%）
	10 m	13	（1.3%）	62	（6.2%）	7	（0.7%）	66	（6.6%）	35	（3.5%）	26	（2.6%）
	最小値	− 31	（3.1%）	− 34	（3.4%）	− 30	（3.0%）	4	（0.4%）	− 12	（1.2%）	− 14	（1.4%）
	最大値	13	（1.3%）	62	（6.2%）	7	（0.7%）	118	（11.8%）	133	（13.3%）	40	（4.0%）

正値：1 m より長く計測されたことを示す，負値：1 m より短く計測されたことを示す

ズの角度をパラメータとした場合の計測誤差を**表― 3**に示す。水平方向は 0 度から 45 度までは 1%以内であるが，60 度の場合，水平方向 21 mm（2.1%），90 度の場合，75 mm（7.5%）と誤差が極端に大きくなる。上下方向は 30 度までは 1%に収まっている。奥行方向は角度に寄らず 2.0 ～ 2.5%の誤差が生じている。

以上の精度検証結果により，対象物の節点座標や線分が距離（領域）3 m の範囲内にあれば，約 2%以下の誤差の範囲で精度確保できることが確認できた。これより精度確保された距離 3 m は，カメラを建物の柱割りの基準スパン（6 m）の中心に設置することで，室内内法空間の領域を網羅することができる。特に平面的に広い範囲を計測する場合，延べ床面積が分かれ



図― 5 被写対象物とレンズの角度（ケース 2）

表― 3 レンズの角度による誤差計測（ケース 2）

単位：mm

		水平（X）	誤差割合	奥行（Y）	誤差割合	上下（Z）	誤差割合
角度	0 度	5	（0.5%）	20	（2.0%）	5	（0.5%）
	30 度	9	（0.9%）	21	（2.1%）	10	（1.0%）
	45 度	8	（0.8%）	25	（2.5%）	12	（1.2%）
	60 度	21	（2.1%）	24	（2.4%）	13	（1.3%）
	90 度	75	（7.5%）	23	（2.3%）	17	（1.7%）

被写対象物との距離5 m固定

ば 1 スパン（6 m × 6 m）に 1 回のパノラマ画像をすることで撮影回数や作業時間が推定できる。

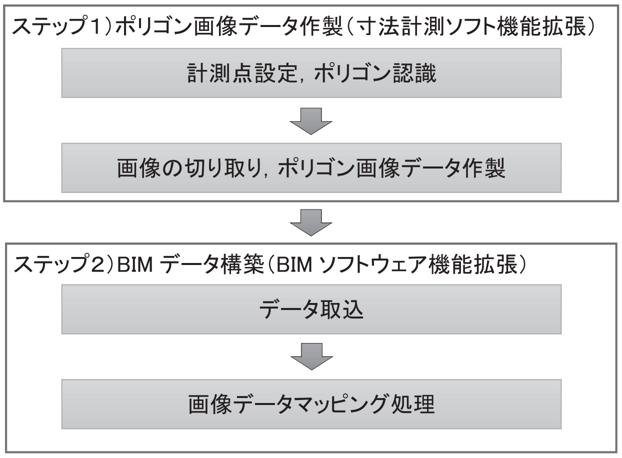
5. 本システムと BIM との連携

パノラマ画像から計測した結果を基に建物内部の最新の現況図面（2 次元）を作製（**図― 1** 中のステップ 3）することは，改修工事の早期計画立案に有効である。一方，建物の維持管理を継続的に行う場合，改修工事を行う毎に現地で計測することは効率的ではない。そのため得られた建物内部情報（節点座標や線分）を 3 次元へ拡張した BIM による維持管理ツールが有効となる。BIM（Building Information Modeling）とは，コンピュータ上に作製した 3 次元の形状情報と建築物の属性情報（部屋名称，面積，材料，部材の性能や仕上げなど）を併せ持つ建物データである。改修工事ごとにパノラマ画像で計測された各々の節点座標や線分を建物データとして管理することで，最新の現況図面（2 次元）を作製することなく，以降の改修工事の計画立案を BIM ソフトウェア[注2)] で効率的に行うことが可能になる。パノラマ画像から BIM データを構築するフローを**図― 6** に示す。BIM の構築には「ポリゴン画像データ作製」と「BIM データ構築」の 2 ステップで実施する。

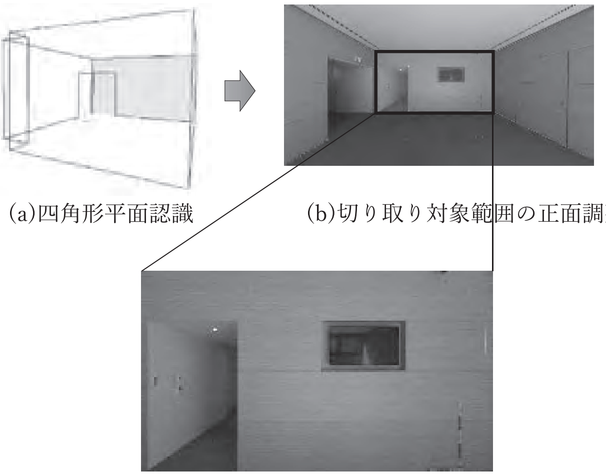
ステップ 1 の「ポリゴン画像データ作製」では，パノラマ画像を基に寸法計測ソフト[注3)] を用いて BIM データを構築するためのポリゴン画像データを生成する。ポリゴンとは多角形の面のことであり，ポリゴン画像データとは，ポリゴンデータとそれに結び付く画

像データの組みのことである。はじめに，撮影したパノラマ画像上で壁・床・天井の交点を計測点として設定する。この計測点を4箇所選択し，四角形のポリゴンを作製する。このポリゴン作製時に計測点を選択する順番は，部屋内部から見て反時計回りとした。これはBIMデータとして構築する際に，ポリゴンの表裏を判断するためである。次に，画像の切り取り対象範囲が正面に来るように画像の向きを調整して対象範囲の画像を切り取る。この操作手順を**図―7**，切り取った画像の例を**図―8**に示す。

ステップ2の「BIMデータ構築」では，BIMソフトウェアの拡張機能で，切り取った画像データを取り込み，BIMデータを構築する。本ステップでは，BIMデータを構成する平面が壁・床・天井など建物内部の構成部位として成立するように画像データのマッピング処理を実施している。ただし，壁厚などパノラマ画像から判定できない情報は，暫定的に値を付与する。



図―6　BIMデータ構築フロー



(a)四角形平面認識　(b)切り取り対象範囲の正面調整

(c)画像切り取り

図―7　切り取り手順

図―8　切り取り画像例

図―9　BIMソフトでの取込結果

以上のステップにより生成したBIMを**図―9**に示す。これにより以降改修工事を行う場合の変更・計画案の作製を効率的に行うことが可能になる。

6. おわりに

本報では，建物内部の現況把握の時間短縮や改修工事の計画立案の効率化を目的に，全天球カメラを用いた撮影画像から図面作製までの一連のフローと寸法計測の精度を検証し，現地での寸法計測作業の時間短縮および改修工事計画立案に有効であることを報告した。

さらに2次元の図面データを拡張させた3次元のBIMデータと連携することで，建物の維持管理を継続的に行っていく上で作業効率向上等の効果が見込まれる。

今後は計測結果の更なる精度向上と，人が計測しにくい天井内部などの隠蔽部の計測などを実現していく予定である。

注 1）「360度パノラマ画像」とは，上下左右の全方位が1枚の球面体上に写っている画像とする。
注 2）「BIM ソフトウェア」は，Autodesk 社の Revit2017 を使用した。
注 3）「寸法計測ソフト」は，ズームスケープ社のPanoMeasure2を使用した。

JCMA

《参 考 文 献》

1）中村友也，嘉納成男，佐藤康弘他：写真計測に基づく既存建物における正射投影画像付き 3 次元モデルの作製，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），2012.9
2）高井賢，佐藤康弘，佐々木晴夫他：デジタルカメラ画像による連続内観システムの開発，日本建築学会大会学術講演梗概集，2013.8
3）小野徹他：天井裏点検を目的としたキュービックパノラマ画像による三次元計測，日本写真測量学会年次学術講演会，2014.5
4）梅津匡一，高井賢：イメージステーションによる測量工法の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），2017.8
5）柳本貴司，佐藤貢一，佐藤康弘：パノラマ画像による建築内部空間の図面化システム，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），2017.8

[筆者紹介]

柳本　貴司（やなぎもと　たかし）
大成建設㈱
技術センター　先進技術開発部　新領域技術開発室
次長

佐藤　貢一（さとう　こういち）
大成建設㈱
技術センター　先進技術開発部　新領域技術開発室
次長

高取　昭浩（たかとり　あきひろ）
大成建設㈱
設計本部　設計品質技術部　BIM ソリューション室
室長