

歴史的建造物の3次元のモデルを作成するための調査方法に関する考察

3D スキャナと写真測量を用いた内部空間の調査について

Consideration on research methods for creating 3D models of historic architectures

About an investigation of the internal space using "3D-scanner" and "photographic surveying"

○恒松 良純^{*1} , 櫻井 一弥^{*2}

Yoshizumi TSUNEMATSU^{*1} , Kazuya SAKURAI^{*2}

* 1 東北学院大学工学部 環境建設工学科 准教授 博士 (工学)

Associate Prof., Department of Architecture Faculty Engineering TOHOKU GAKUIN Univ., Dr. Eng.

* 2 東北学院大学工学部 環境建設工学科 教授 博士 (工学)

Prof., Department of Architecture Faculty Engineering TOHOKU GAKUIN Univ., Dr. Eng.

Summary: This study examines the investigation into Historical Architectures method to make a 3D model.

It points out "Field survey" and "3D-scanner" and "a photograph measurement" targeting at three technique and makes the 3D model. We compare it about making time and precision about the model that we made by three technique. We examine the utilization by the field work.

The investigation intends for "the Deforest hall" which is a Historical Architectures. It is a propagator hall built in 1987. We perform it about a measurement of the internal space of the building.

We assume the result of "Field survey" basics. And we compare the result with "a photograph measurement" with "the 3D-scanner". We examine a difference every technique, and we examine the future use.

As a result of comparison, "Field survey" and "3D-scanner" thinks with an effective method in the technique of the 3D data making of the building conventionally. We acquire the data of the big part of the building by "Field survey" and suggest a method using "3D-scanner" about the complicated part of the shape.

We obtained a guideline about the use.

キーワード: 現地調査, 3D スキャナ, 歴史的建造物, デフォレスト館

Keywords: Field survey, 3D-scanner, Historical Architectures, The Deforest hall

1. はじめに

歴史的建造物は、その土地の歴史や文化を継承することから「まち」の表情をつくる重要な存在といえる。後世にその価値を伝えると共に、建造物の現況についての情報を時代を超えて共有することは、修繕・維持・保全の視点からも重要である。

歴史的建造物の意匠をはじめとして現状についての詳細を把握することは重要な作業であり、現地における丁寧な調査が必要である。しかしながら、調査では的確な計測の技術やポイントを捉えたスケッチを描く能力をはじめ、それに携わるスタッフの熟練などが必要である。一般的には、多くの人手や時間を要している。

内部空間でも天井付近の高所など、仮設足場などの設置による対応と調査対象の状況により諸課題がある。

調査結果については、最終的に平面図や立面図・展開

図など建築としての図面化が必要であり、一部ではCADによる三次元のデータ化による管理が行われている。それは、単なる三次元モデルの表現だけでなく電子情報のオンライン化と共に、BIMを用いた計画・設計・施工・維持管理など部材、材料などの詳細情報を共有する技術として活用されはじめている。

文化財などでは調査の実施には時間的な制約を伴うこともあり、調査方法とデータ化の効率的な手法の検討は非常に重要であると考えている。

近年、注目される手法の中で三次元デジタルスキャナ(以下、3D スキャナ)は、高性能化と共に小型化・軽量化が進んでおり、様々な分野で活用されている。例えば、広域な敷地の形状を把握する測量技術における活用、発掘した遺跡の現状把握における活用などであり、その利活用の可能性の範囲は広い。建築分野においてもその

活用が模索されているところであり、機器の大きさなどを活かして建築物の内部やドローンに搭載しての高所での利用など今まで作業が困難と思われる場所でも使用でき、更なる活用が期待される。

3D スキャナの特徴としては、瞬時に測定が可能、遠隔計測が可能であるため仮設の足場が不要、調査対象への接触による損傷リスクが少ないなどがあげられる。また、建造物の保護の観点から、ターゲットなどを用いずに計測できるとことが期待されている。さらに、小型化・軽量化により取り扱いの利便性が向上し、必ずしも専門的な経験がない学生でも、既存建造物をより手軽かつ迅速に計測できることについても期待されると考えている。

本研究では、3D スキャナと同じく活用が期待される写真計測の2つ手法の特性に注目する。特に、建造物の内部空間の計測について現地調査での利活用を検討する。主に、時間・作業人数、計測時にターゲット用いずに実施するなどの作業効率について。従前の調査手法により得られた結果から、対象とする2つの手法の計測結果との精度を比較する。その後、手法ごとの差異について検討を行い今後の利用について考察することを目的とする。

建築分野に関連する既往研究には以下のようなものがある。石田、嘉納ら¹⁾は、内装部材のプレカット化を対象とし三次元レーザースキャナの活用について論じている。取得した点群データよりポリゴンモデルの生成、躯体寸法との整合性を確認し、利用の可能性を示している。ターゲットを設けることで精度の高い計測を検討している。三浦、小嶋^{2) 3)}は、伝統的で職人技術の要求される作庭について、3D スキャンによって得られるデータを用い実地調査から設計に至る作業について提案をしている。データの取得に際しポジショニング・ターゲットを用いることで正確な測定を実施している。海老原、小見⁴⁾は、三次元写真計測における実測精度と誤差についてトータルステーションの計測値との比較をしている。竹内、宇野ら⁵⁾は、三次元形状スキャナを用いてシャチホコの点群データを取得し、メッシュ化後に表面の凹凸のディテールについて確認し、3D プリンタによりモデル作成を行っている。データ利用のプロセスについて参考になる結果を示している。野々垣、野々村⁶⁾らは、汎用のデジタルカメラを中心に既存建築物のモデル化を試みている。モデルを作成する手順を取り組み作業時間と関連について考察している。

いずれの既往研究も三次元データの取得を3D スキャナや写真計測を用い、今後の発展的な利活用を検討するという視点において類似するが、本研究では、複数の手法の比較検討とその可能性を探る。また、建築空間における内部意匠を対象としており、今後の歴史的建造物の計測において有益な指針になると考えている。



基本概要（重要文化財）
 建設年：明治20（1887）年
 構造規模：木造2階建て
 建築面積：178.1㎡
 延床面積：391㎡（内ベランダ17.5㎡）
 主屋桁行：16.7m 梁間：14.6

図1 デフォレスト館 外観・基本概要

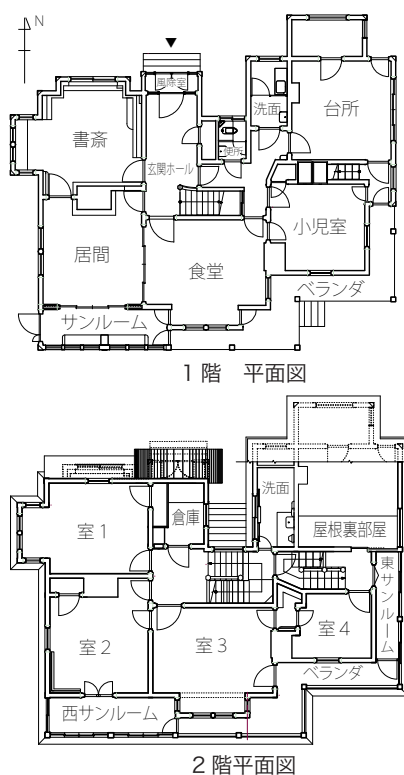


図2 デフォレスト館 各階平面図

2. 研究および調査対象の概要

本研究では、学校法人東北学院が所有する旧宣教師館「デフォレスト館（所在地：宮城県仙台市青葉区）^{注1)}」の内部空間を対象としている。データを取得してから3Dモデルを作成するまでの作業を従来の調査手法（以下、従来手法）、3D スキャナによる調査、写真計測による調査の3つの手法により実施し、その精度や作業時間の比較から活用について検討する。なお、調査は建築を学ぶ学生が実施している。

デフォレスト館（図1・2・3）は、明治20（1887）年に宣教師館として建設された東北地方における最古級の木造擬洋風建築であり、コロニアル・スタイルの建造物である。平成28（2016）年7月に国の重要文化財（建造物）

に登録され、今後の修繕・維持・保全とともに利活用について検討されている。デフォレスト館建造物調査報告書⁷⁾では調査の結果⁸⁾から、現況と様々な履歴が報告^{注2)}されている。

3. 調査と3Dデータの作成

従来手法、3Dスキャナ、写真計測の3つの手法(表1)について、各現地調査から3Dデータの取得と3Dモデルの作成を行った。最終的に作成したモデルは比較を行うため同一のファイル形式^{注3)}とした。

3.1 従来手法による調査と3Dデータの作成

一般的に建造物の計測を行う場合、スケッチした図面(図4)に実測した数値を記入など現地にて実施し実測図を作成する。本研究では、報告書⁶⁾をはじめとした資料を参考に、展開図(図5)と天井伏図、その他の詳細を補完するため現地実測調査を行った。実測図からCAD化^{注4)}し、2D図面(図2)を基に3Dモデル(図6)を作成した。なお、この方法を従来手法とし、現状を正確に記録した実測値として、他の手法と精度を比較する基準値とする。

3.2 3Dスキャナを用いた3Dモデルの作成

3Dスキャナ^{注5)}を使用して内部空間のスキャンを行い(図7・8)、取得した点群データを断面形状を確認する機能を用い3Dモデルの作成を行った。3Dモデルは、3Dスキャンにより取得したデータを幾つかのソフトウェア^{注6)}を用いファイル形式を変換した後、作成した。基本的な流れについてはフロー(表1)で示した通りである。

データ取得の特徴から居室内部の六面のデータが必要であり、壁・床・天井のデータを取得している。しかしながら一部モデル形成に不具合があり、データ取得時の問題と考え以下のように注意した。室内のデータの欠損がなくデータが閉合するように考慮した。スキャン時に対象物(特に壁面)に対して正対になるよう、対象物との距離が一定になるようにデータ取得をした。タブレットPCのメモリ上、一度で取得できない場合は複数回に分けて実施し、不足部分についても全体の整合性がとれるように実施した。手摺やモールディングなどもそれぞれの形状が取得できるように個別にスキャンした。

また、室内の開口部の状況によりデータの取得に不具

合が発生し、透過性の高いガラス面や凹凸のない壁面などでは室内の目印になるオブジェなどを用いた。

3.3 写真計測ソフトを用いた3Dモデルの作成

一般的なデジタル一眼レフカメラ^{注7)}を使用してデータを取得する。点群データ(図9)を取得し、写真計測ソフトウェア^{注8)}を用いて3Dモデルの作成を行った。現地調査で撮影した画像データから点群データとして取得し、3Dメッシュデータを自動生成している。3Dスキャンと同様に撮影時に、居室内部の六面のデータが必要であり、壁・床・天井のデータを取得し撮影時に対象物に正対になるように注意した。さらに対象物からある程度の距離を必要とした。これは、画像をつなぐ上での目印としてより広い範囲の画像が必要になったためと考えられる。

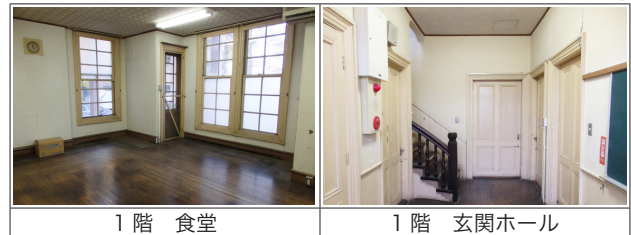


図3 デフォレスト館 内観写真

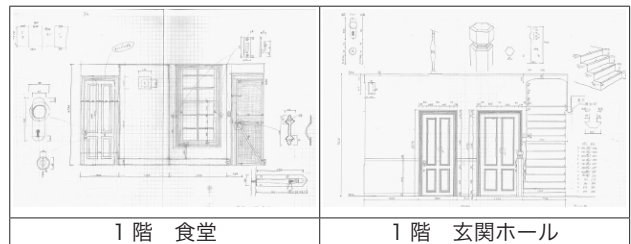


図4 デフォレスト館 内観スケッチ

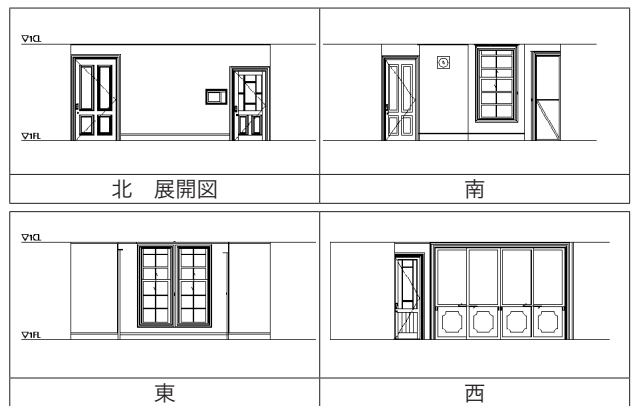


図5 デフォレスト館 1階居間 展開図

表1 各手法の3Dモデル作成フロー

■ 従来手法	■ 3Dスキャナ	■ 写真計測
<input type="checkbox"/> 実測データの取得 ・図面の作図(スケッチ) ・実測による数値の取得 ・作図 ・2D図面の作図(.vwx) <input type="checkbox"/> 3Dモデルの作成 ・レイヤの設定 ・躯体の作成 ・建具・インテリアのシンボル化 ・テクスチャ・光源の設定 <input type="checkbox"/> 3Dモデルのデータ取得 ・データの作成(.vwx・.mcd・.dxf)	<input type="checkbox"/> 画像データを取得 ・居室単位で床・天井・壁の6面のデータ取得(.dp) ・全居室を併せて1つの建築とする(.dp) ・点群データの位置を整理(.txt) ・変換ソフトを用いて変換(.vpc) <input type="checkbox"/> 3Dモデルの作成 ・レイヤの設定 ・任意の面により、断面形状を確認 ・点群データによるモデル形成 ・3Dモデルの成形・出力(.3dm) <input type="checkbox"/> 3Dモデルのデータ取得 ・データの書き出し(.dxf・.3dm) ・CADソフトへ取り込み(.vwx)	<input type="checkbox"/> 画像データの取得 ・写真データを写真計測ソフトに取り込む(.jpg) <input type="checkbox"/> 3Dモデルの作成 ・写真データから点群データに自動生成(.psz) ・点群データから高密度点群データに変換(.psz) ・高密度点群データからポリゴンデータを自動生成(.psz) ・ポリゴンデータにテクスチャを自動生成(.psz) <input type="checkbox"/> 3Dモデルのデータ取得 ・データの書き出し(.dxf) ・CADソフトへ取り込み(.vwx)

結果として、3Dモデルを取得できたがデータの実寸で100mm程度と実物に比べて非常に小さいものとなった。これは絶対値を有しない本手法の特徴ではあり、基準となる既知の計測値による補正の必要性を改めて確認した。

4. 3つの手法の結果と特徴についての考察

4.1 従来手法による結果と特徴についての考察

現地調査については、人手と時間を要する。単純な形状の居室など正確な計測が簡便にできる。天井の高い居室、複雑な形状の居室は計測が難しい。作業員のある程度の技術的スキルが必要となる。

4.2 3Dスキャンによる結果と特徴についての考察

形状変化の認識しやすい平面形状の居室の計測がしやすい。幅や奥行きが大きく単純な平面形状の凹凸の少ない居室は計測しにくい。開口部などがガラス面はレーザーが反射せずデータ取得が困難となる。室内の明暗によっても同様の結果となる場合がある。作業員は機器の操作にある程度の慣れが必要となる。特にデータ取得時に壁面などが歪んでしまうことがあり、何度かやり直しが必要となった。今回は複数のソフトウェアを介してデータ互換を行っている。また、居室の大きさにより複数回実施しなければならない場合もあり、データを統合する点においても一連の作業としてやや複雑になっている。しかしながら、データ取得時に調査対象に触れることなく計測できる、特に複雑な形状の手摺やモールディングなどの調査において有効であり、保全が必須な文化財などには活用の可能性が高い。

4.3 写真計測による結果と特徴についての考察

面積の広い居室については測定しやすいが狭い部屋だと歪みなどが生じる。作業員は対象と正対するなど多少の注意が必要であるが技術的な習熟は必要としない。デジタル一眼レフカメラでデータ取得ができる点、モデルの作成をソフトウェアで自動生成できる点など一連の作業の簡便さから手法としての魅力はあるが、3Dモデル作成過程においてデータ容量が一番大きくなり、自動生成では時間を要する結果となった。また、物理的な絶対値を有しないことから、基準となる計測値を用いた補正を行うか、あらかじめ大きさの基準となる撮影対象を決める必要があり、計測結果を得るための作業を要する。

5. 手法の比較について

作成した3Dモデルについて、現地における実測および計測の調査と3Dモデル作成に関して各々人員と所要時間、「LOA^{注9)}」による精度(図11)、特徴よりデータ取得のしやすさなどを比較・検討する。

時間(表2)については、内部装飾や建具などの調査も踏まえて、3Dスキャンと写真計測の2つの手法が従来手法より人・時間が少なく実施できたと考えている。

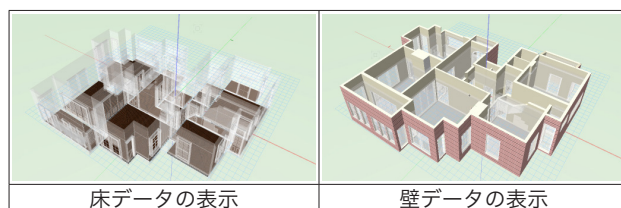


図6 デフォレスト館 従来手法 3Dモデル

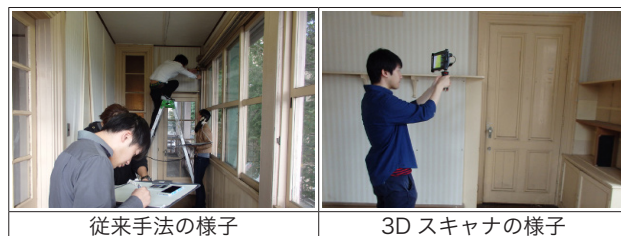


図7 デフォレスト館 調査風景

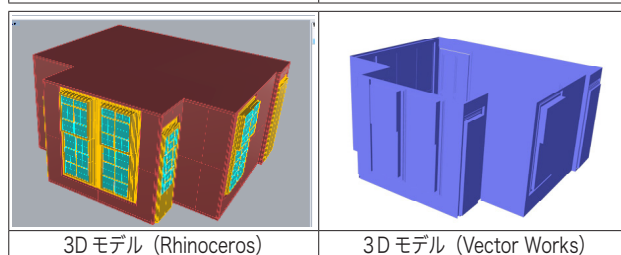
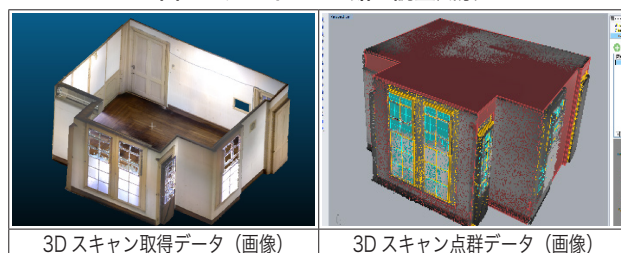


図8 デフォレスト館 1階居間 展開図



図9 デフォレスト館 写真計測取得データ

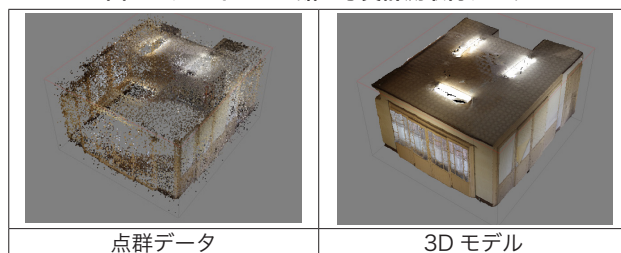


図10 デフォレスト館 写真計測取得データ

LOA は、3D スキャナなどで取得した点群データや出来形 BIM モデルなどの正確さを表現する手段として米国建築文書化協会 (USIBD) により指標として提唱されている。今回は精度の比較に参考として用いた。LOA については、従来手法を基準となる値と想定し計測結果との比較を行った。比較する二つのデータを同一ファイル上に取り込み、角度や位置を調整し、任意の一辺にあわせた。各居室の床、壁、天井・窓枠などに対して、任意の4点を決定し誤差を計測した。それぞれの誤差の平均値を求めた後、LOA の各レベルに照合 (表3) した。居室の大きさにより誤差に差があるが、ほとんどのポイントで、LOA10 となり指標の基準では誤差が大きくなった。特に大きな居室の誤差が大きくなった。また、小さな居室でも開口部の状況により誤差が大きくなっている場合がある。これは、3D スキャナが透過する面などのデータ取得が得にくい為と考えられる。さらに、データ取得が1度で全面を取得できた居室より、複数回に分割してデータを取得した居室の方が誤差が大きくなった。写真計測の結果は、実寸と比較して非常に小さくなってしまい、大きさを調整する手続きが必要となり本稿における比較には不向きであると考え比較の対象としなかった。

6. 考察

3D スキャナの利便性については確認できたが、点群データから CAD の汎用データへの変換についての操作性などの経験と蓄積が必要であると考え。しかし、手摺やモーディングなどの複雑な形状の取得に長けている。

汎用的な利用を考慮すると複数の CAD のデータとしての互換性についての検討が必要がある。

従来手法と 3D スキャナの併用については、計測の効率化から有用と考えられる。今後は、複数の手法により取得したデータを効率的に統合し、利活用を図るための考察が必要であると考えている。

7. まとめ

デフォレスト館の内部空間について3つの手法により計測を行った。従来手法、3D スキャナを用いた手法と写真計測ソフトを用いた手法の各々の特徴を把握すると共に比較・検討を行った。

従来手法では、データ取得の際に3つの手法の中で最も人手と時間が必要となるが、全居室の 3D データを正確

に作成することができる。3D スキャナでは、データ取得にかかる時間が短く、建築内部への接触などなく計測できる。また、手摺やモーディングなど複雑な形状のデータ取得に適している。計測する対象が大きくなるほど精度について誤差が大きくなる傾向があり、調整と確認が必要である。写真計測では、データ取得にかかる時間は少なく、ソフトの機能を用いて 3D データを自動生成できるが、その特徴より実測値と大きく異なる結果であったため、大きさを調整が必要であり、今回の結果としては計測にはやや不向きであった。

比較の結果、建造物の 3D データ作成の手法において、従来手法と 3D スキャナの組合せが効率的な方法と考える。従来手法により建造物の大きな部分のデータを取得し、形状の複雑な部分について 3D スキャンを利用する。3D スキャンは非接触でデータ取得が可能のため、細部の意匠も含めての活用が期待でき従来手法のデメリットを補完できると考える。いずれも、デジタルデータとして利用する場合、操作する機器の性能に影響を受けるため事前の確認が必要である。

以上より、従来手法以外の利用に関する指針を提案することができた。

表2 調査日程および調査・作成所要時間 一覧

従来手法	3D スキャン	写真計測
現地調査 (2014年10・11月)	現地調査 (2014年6・10・11月)	現地調査 (2015年10・11月)
計 426人・時間	合計 64人・時間	計 8人・時間
3Dモデル作成	3Dモデル作成	3Dモデル作成
計 2D図面: 80人・時間 3Dモデル: 70人・時間	計 97人・時間	計 197人・時間
総計 576人・時間	総計 161人・時間	総計 205人・時間

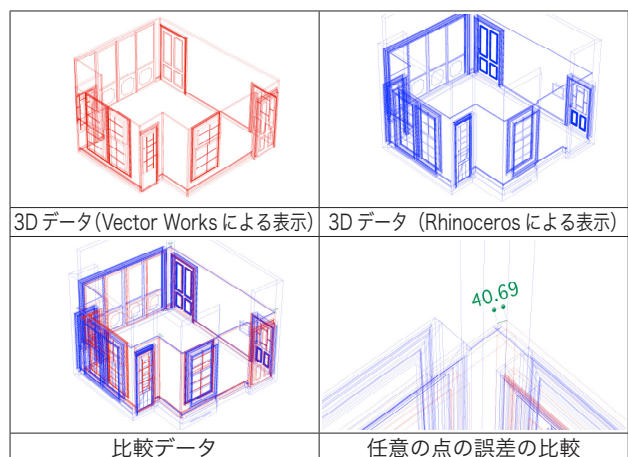


図11 比較誤差画像 食堂

表3 床面積・比較誤差・LOAレベル (1階一部抜粋)

居室名	床面積 (m ²)	開口部 (数)	比較誤差 壁 (mm)	比較誤差 床 (mm)	比較誤差 天井 (mm)	比較誤差 窓枠など (mm)	LOA 壁 (Level)	LOA 床 (Level)	LOA 天井 (Level)	LOA 窓枠など (Level)
サンルーム	10.07	2	56.32	68.35	96.28	43.08	LOA10	LOA10	LOA10	LOA20
居間	24.03	2	48.51	78.53	73.17	90.07	LOA20	LOA10	LOA10	LOA10
書斎	22.14	3	83.83	42.30	50.82	92.41	LOA10	LOA20	LOA10	LOA10
風除室	1.49	1	22.62	19.04	39.58	38.96	LOA20	LOA20	LOA20	LOA20
玄関ホール	13.45	0	9.4	75.00	21.37	42.94	LOA30	LOA10	LOA20	LOA20
食堂	20.81	3	49.88	78.77	64.76	94.25	LOA20	LOA10	LOA10	LOA10
小児室	15.13	2	111.81	90.84	122.59	137.42	LOA10	LOA10	LOA10	LOA10

※「床面積」は従来手法の実測値より算出した。

なお、本研究は一般財団法人日本建設情報総合センターより「BIMを用いた文化財建造物の修繕・利活用計画策定と維持管理に関する研究（第2014-02）」として助成を受けて実施した。2014年・2015年に調査した報告した当時のデータについて考察している。

謝辞

本研究を実施にあたり、東北学院大学施設部および当時東北学院大学大学院生であった吉家尚氏、同学部生であった熊谷悠也氏、高橋朱梨氏、高橋俊一氏の各氏と同大学櫻井研究室にご協力頂きました。また、建設ITジャーナリストの家入龍太氏には技術的なアドバイスを頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 石田航星, 嘉納成男, 五十嵐健, 藤井裕彦, 大澤雄司, 酒本晋太郎, 富田裕行:内装部材のプレカットのための3次元レーザーキャナーを用いた計測と生産設計の手法に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第78巻 第688号, pp.1355~1363, 2013.6
- 2) 三浦彩子, 小嶋雄介:3D データ導入による作庭方法の構築(その1・精緻な三次元情報活用による新しい石庭設計手法の開発), 日本建築学会技術報告集 第18巻 第38号, pp.371~374, 2012.2
- 3) 三浦彩子:3D データを利用した枯山水庭園の施工に関する研究(精緻な三次元情報活用による新しい石庭設計手法の開発 その2), 日本建築学会技術報告集 第20巻 第44号, pp.381~386, 2014.2
- 4) 海老原亨主, 小見康夫:3次元写真計測による建造物実測時の実用精度と誤差要因, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.19~20, 2013.8
- 5) 竹内啓五, 宇野康則, 石岡宏晃:小型ハンディキャナによる文化財の計測, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.641~642, 2013.8
- 6) 野々垣修慶, 野々村善民, 萩原春親:写真測量を用いた建築物の3Dモデルの再現方法に関する研究(その1), 日本建築学会情報システム技術委員会, 第44回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.431~434, 2021.12
- 7) デフォレスト館建造物調査報告書 学校法人東北学院 2014. 2
- 8) 野村俊一:デフォレスト館の創建と明治期の履歴, 日本建築学会計画系論文集 第80巻 第707号, pp.177~184, 2015.1

注釈

- 注1) 東北学院大学土樋キャンパスの西端に位置しており、明治20年に創建された木造擬洋風建築の宣教師館である。シップル教授一家が居住していた最後の宣教師であったことから長い間「シップル館」と呼ばれてきたが、文化財として見直すにあたり、最初の住人であるデフォレスト宣教師にちなんで「デフォレスト館」と呼ぶこととなった。当時の県土木課技師による設計と考えられている。外観は、煉瓦積み及びペダスタルの基礎上に土台を介して建つ、屋根は寄棟造および切妻造(一部片流れ屋根)の鉄板葺、外壁は下見板張のペンキ塗りでベランダに面する側廻りは漆喰塗りとなっている。
- 注2) 開口部には、上げ下げ窓と引き違い窓が用いられ、軒下と階の境に蛇腹が巡り、菱格子天井が張られたベランダには面取りした角柱がある。突き出した玄関ホールは西洋古典様式の柱

が立ち、楕形ペディメントの屋根がかかる。内部は、壁が木摺に漆喰を塗りつけた大壁で、床が寄木張りとなっている。1階は、玄関ホールを中心に北西に書斎、南西にサンルーム付きの居間、南に食堂、北西に書斎が続き南東に小児室、北東に台所が配置されている。2階の部屋割りは1階とほぼ同じであり非線形対称の平面となっている。

注3) 最終的に取得した3Dモデルのファイル形式は、「.vwx」と「.dxf」とし比較については従来手法で用いているVector Worksで実施している。

注4) 従来手法において2D図面と3Dモデルの作成に次のソフトウェアを用いている。「Vector Works:一般的な作図により2D図面と3Dモデルの作成」作成する各種CADデータは以下のように表現を統一する事とする。2次元で作成する図面のデータを「2D図面」とし、3次元で作成したモデルのデータを「3Dモデル」とする。

注5) 3Dスキャナなどの測定では、距離の情報を取り出すため、物体認識や三次元計測では、複数の方式が使用されている。本稿は「Structured Light方式」を用いて検討した。

・Stereo vision方式:2つの画像を視差測定し、三角測量の原理で奥行き距離を測定し演算により情報を取得する。

・Structured Light方式:パターンを投影して、カメラで投影状況を取得する。パターンの歪み具合から奥行き情報を演算して情報を取得する。

・Time of Flight方式:照射光が被写体に反射して戻ってくるまでの時間を測定する。距離を速さと時間の原理から奥行きの距離を演算して情報を取得する。

3Dスキャナは、「DPI-8kit(OPT Technologies社製)を用いた。スキャンデータを高速で取り組む事ができ、移動しながら計測ができるため入り組んだ場所であってもデータの取得が可能となる。本体とデータ保存のタブレットPCが一体化できるため計測時にモニターでの確認が可能となっている。本機は、最大撮影距離3.5mとなっており、室内の天井部分の撮影も可能であった。本調査での使用台数は1台である。

主要な機器仕様(実施当時)

・タブレット:NVIDIA SHIELD Tablet(Andoroid4.4.2),

RAM 2GB of RAM, Storage 16GB フラッシュドライブ

・カメラ:PrimeSense Carmine 1.08カメラ

注6) 3Dスキャンによる3Dモデルの作成に次のソフトウェアを用いている。「Cloud Compare:スキャンデータを取得し保存、点群データの位置取得」「Rhinoceros:断面形状を確認し3Dモデルの形成」「Arena4D:Rhinocerosのプラグインソフトとしてのデータ変換」

注7) デジタル一眼レフカメラは、「Canon EOS kiss X5(キャノン社製)」を用いた。本調査での使用台数は1台である。

注8) 写真測量は、SfMの手法である。SfM(Structure from Motion)は、対象を複数枚の写真から対象の形状を復元する技術の総称である。SfMを使用したソフトウェアを利用して3次元のモデルを作成することができる。本稿では、写真計測の3Dモデルの作成に「Photo Scan:現地調査で撮影した画像データから点群データ、3Dメッシュデータを生成取得」を用いた。

注9) LOA(Level Of Accuracy)は、3Dスキャナなどで取得した点群データや出来形BIMモデルなどの正確さを表現する手段として米国建築文書化協会(USIBD)により新指標として提唱されている。本研究では比較の精度を確認する指標として用いるが、次のようなレベルが設定されている。各レベルの誤差上限値(UpperRange)と下限値(LowerRange)に95%が入っていることが条件としている。例えば「LOA30」のレベルで評価する場合、比較する相互の点に対応する各点の誤差が5~15mmの間に95%が納まっている精度となる。

Level	Upper Range (mm)	Lower Range (mm)
LOA10	User defined	50
LOA20	50	15
LOA30	15	5
LOA40	5	1
LOA50	1	0