

研 究 報 告

令和 8 年 4 月 23 日

公益財団法人 前田記念工学振興財団

理 事 長 岸 利 治 殿

研究代表者

所 属 : 九州大学大学院芸術工学研究院准教授

氏 名 : 岩元 真明

研究課題名 : 建築模型のデジタルアーカイブに関する研究 : 葉祥栄アーカイブの模型
資料を対象として

助成金額 : 100 万円

研究実施期間 : 自 令和 7 年 4 月 1 日 ~ 至 令和 8 年 3 月 3 1 日

建築模型のデジタルアーカイブに関する研究：

葉祥栄アーカイブの模型資料を対象として

所属 九州大学大学院芸術工学研究院 准教授 岩元真明

（研究計画ないし研究手法の概略）

現在、日本各地で建築アーカイブの活動が行われているが、予算・スペース・人材の不足という問題に直面し、建築模型の取得・保管が進んでいないという課題がある。対照的に、海外の建築アーカイブは模型の取得に積極的であり、こうした国内外の意識の違いが、資料の海外流出の一因にもなっている。こうした状況を踏まえ、低予算・省スペースで適用可能な建築模型のデジタルアーカイブと公開の方法論を開拓する必要がある。そこで、本研究では、九州大学葉祥栄アーカイブに収蔵されている建築模型約 250 点に焦点を当て、建築模型のデジタルアーカイブ化の方法論を検証した。

具体的には、以下のステップで研究を進めた。(1) 国内外における建築模型の 3D スキャニングに関する事例を調査し、本研究の参照となる知見を蓄積する。(2) 高精度 3D スキャナーを用いた建築模型のデジタル化を実施する。(3) 欠落がある模型について 3D モデリングを用いたデジタル復元を実施する。(4) 3D プリンティングを用いて欠落部を補完する模型復元方法の実証を行う。(5) ウェブサイトを利用した建築模型デジタルアーカイブの公開方法について検証する。

上記を通じて、デジタルとフィジカルを往還する建築模型アーカイブの新しいあり方の一端を示した。

（実験調査によって得られた新しい知見）

（1）国内外における建築模型の 3D スキャニングに関する事例調査

資料調査、ウェブ調査および専門家へのヒアリングによって、国内外における建築模型の 3D スキャニングに関する事例を収集・分析した。その結果、3D、VR、AR コンテンツを公開・共有・売買するウェブ・プラットフォーム Sketchfab において、建築模型の 3D スキャンが複数公開されていることが確認された。ハーバード大学の Harvard Library Imaging Center は、1920 年代に制作された仏・クリュニー修道院の柱頭石膏模型の 3D スキャニングを行い、展覧会で活用するとともに、データを Sketchfab で公開している。City Museum Berlin はベルリンの聖ペトリ教会の建築模型の 3D スキャンデータを、Rosicrucian Egyptian Museum はバビロンで祭祀に用いられた陶器の建築模型（BC26）の 3D スキャンデータを、同じく Sketchfab で公開している。

一方、近現代の建築模型の 3D スキャニングの事例は少なく、スイスの建築設計事務所 Herzog & de Meuron のアーカイブ部門である Kabinett が同社が制作した建築模型のスキャニング（フォトグラメトリおよびガウシアン・スプラッティング）を行っていることが確認されるのみであった。

こうした既往の建築模型 3D スキャニングには以下の共通点が認められた。①フォトグラ

メトリを採用している。②建築模型の内部空間ではなく、ヴォリュームおよび外形を対象としている。ここから、国内外の多くの美術館・博物館で行われている考古遺物や美術品の3Dスキャンデータの延長線上で、建築模型のデジタル化が行われているのが現状であると推測された。

(2) 高精度3Dスキャナーを用いた建築模型のデジタル化

葉祥栄アーカイブが収蔵する建築模型を対象に、高精度ハンドヘルド3DスキャナーEinstar Rockit（SHINING 3D社製、Laser HDモード時 最高0.05mm解像度）を用いてデジタル化を実施した。具体的には、「内住コミュニティセンター」の模型2点、「三角港フェリーターミナル」の模型2点、「見えない家」の模型1点の計5点のスキャンを実施した（図1、2）。



図1：スキャンした建築模型。左から「内住コミュニティセンター」2点、「三角港フェリーターミナル」2点、「見えない家」1点

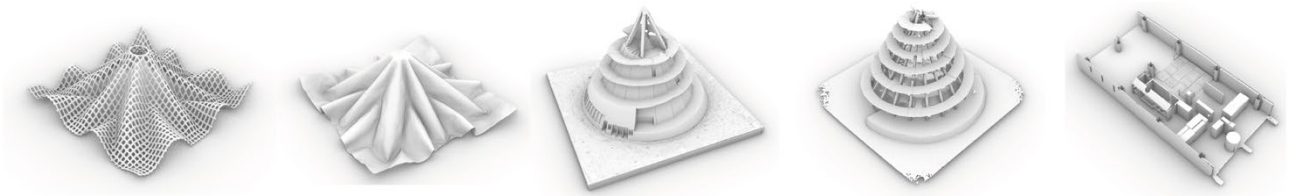


図2：建築模型のスキャンデータのイメージ。左から「内住コミュニティセンター」2点、「三角港フェリーターミナル」2点、「見えない家」1点

建築模型の3Dスキャニング上の課題は、対象が考古遺物や美術品と異なり、内部空間をもつ「建築」の縮小模型である点にある。既往事例が主にヴォリュームおよび外形を対象としているのに対し、建築模型では、外形に加えて内部空間や開口部、細部の構成要素といった建築的情報を捉える必要がある。

これに対応し、スキャン効率と精度を両立するため、以下のスキャニング環境を構築した（図3）。まず、電動回転式のスキャニング台を制作した。台上部には大型板を設置し、板上に複数のキャリブレーション用マーカーを配置した。模型をこの板の上に載せると、板自体が回転することで、模型自体を動かさず全周スキャンが可能となる仕組みを構築した。スキャナー本体は台に固定された可動アームによって保持する構成である。アームは高さと角度を自由に調整できるため、スキャナーの位置を固定したまま模型の細部に対して多様な角度からアプローチでき、安定したスキャンデータの取得が実現された。

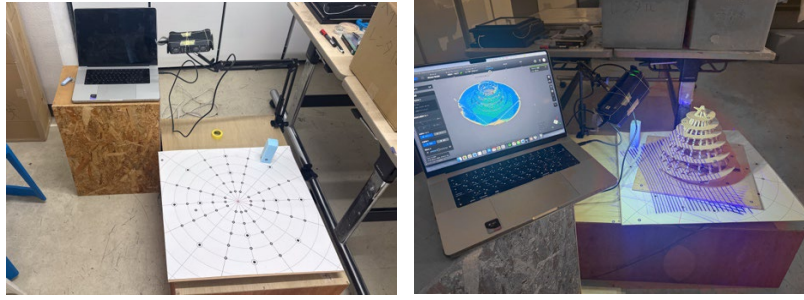


図 3：構築したスキニング環境

本スキニング環境を用いて模型の 3D スキャンを実施した結果、いくつかの技術的課題が明らかになった。第一に、透明素材（プラスチック材など）のスキニングの困難さである。葉祥栄の建築作品ではガラスが多用されることがしばしばあり、そうした作品の模型にはプラ板などの透明材が使われているが、今回使用したスキャナーでは光を透過する素材を正確に捕捉することが難しい。第二に、内部空間のスキニングの困難さがある。模型内部にマーカーを設置することが物理的に難しく、またスキャナー本体を内部に挿入することもサイズの困難であるため、内部空間の情報取得には未解決の部分が残されている。これらは今後の研究課題として引き続き取り組む。

（3）建築模型 3D スキャンデータの欠落を 3D モデリングで補完するデジタル復元の検証

建築模型は、制作から年月を経るにつれて、素材の劣化・物理的な損傷・部材の欠落が生じる。例えば、「三角港フェリーターミナル」の模型はモルタルによって制作されているが、頂上部分に崩れが見られ、過去に部分的な補修が行われた履歴がある。このような欠落をそのままの状態でも 3D スキャンしても、得られるデータは模型の「現在の状態」を記録するに留まり、模型制作時に伝えようとしていた設計情報を完全に伝えるものではない。

そこで、3D モデリングソフト（Rhinceros）を用いて、スキャンデータ上の欠落部分をデジタル的に復元することを試みた。具体的には、ケーススタディとして、「見えない家」の模型を選定した。これは住宅作品の 2 階部分の内部を示すスタディ模型であり、制作当初からその他部分は存在しない。そこで、2 階部分以外の構造（柱・梁）を 3D モデリングで補うことを検証した。

復元にあたっては、葉祥栄アーカイブに収蔵されている原図面を主たる参照資料とし、必要に応じてボンデジタル CAD データや建築雑誌等に掲載された作品図面・写真などの資料を参照した。葉祥栄アーカイブは物理資料とデジタル資料の双方を豊富に所蔵しており、こうした多様な参照資料を活用できることは、復元作業の精度と妥当性を支える重要な条件となっている。

デジタル復元は、単に欠落部を埋める作業ではなく、「どの時点の模型を復元対象とするか」、「復元部と原資料部をどのように区別して記録するか」（判別可能性の確保）といった、アーカイブとしての記述方針を伴う作業である。本研究では、スキニングした部分（資料部分）とモデリング部分（復元部分）を判別可能にする方法についても検討を行った（図 4）。

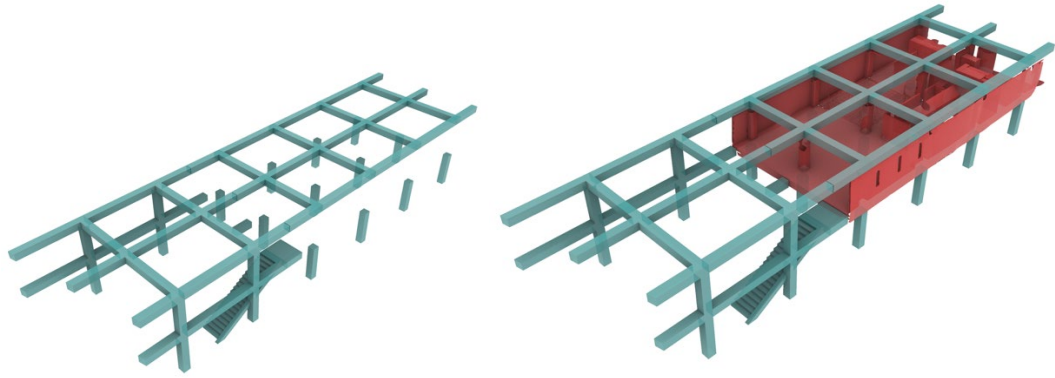


図4 (左)「見えない家」の欠落部(2階部分以外の柱・梁)のモデリングのイメージ、
(右)スキャニングデータ(赤)をモデリング(青)で補ったイメージ

(4) 3D プリンティングを用いた模型欠落部補完の検証

(3)で作成したデジタル復元データを基に、3D プリンティングによる物理的補完を試みた。
使用機器は FDM 方式 (PLA フィラメント) である (図5)。



図5 「見えない家」の 3D プリンティングを用いた模型復元

復元部材の再現において、色彩についてはフィラメントの選定やスプレー塗装によって一定程度の近似が可能である。一方で、素材そのものの質感の再現には現状大きな制約がある。葉祥栄の模型は、折り紙・石膏・モルタル・木材など、各プロジェクトの設計プロセスと結びついた多様な素材を用いており、そこには単なる表面的な見え方を超えた触覚的・物質的な情報が含まれている。3D プリンティングによって形状を復元しても、こうした素材が担っていた情報のすべてを再現することは難しい。

ただし、完全な素材再現を目的としない限り、3D プリンティングによるフィジカル復元には明確な利点がある。欠落部にぴったりと合う部材を制作可能であるため、復元作業を最小限にとどめることが可能である(最小限の介入)。また、オリジナル模型に手を加えることなく、着脱可能な復元部材として制作できる(可逆性の確保)。オリジナルの模型と素材感が異なるという欠点も、オリジナル部と復元部の差異を明確にするという観点(判別可能性の確保)から肯定的に評価することも可能である。

建築模型の修復はいまだ体系的な手法が確立されておらず、また繊細な模型の修復には手仕事の技術と多大な作業時間が必要となる。ゆえに、模型修復は建築アーカイブにとって困難な課題の一つである。3D スキャニングにより模型の形態を把握し、3D モデリングにより欠損部を補い、3D プリンティングにより欠損部を制作する手法は、高度な手仕事を必要と

しないため、これまでの模型修復方法の有効な代替案となる可能性がある。

(5) 建築模型デジタルアーカイブの公開方法の検証

(2)～(4)で得られた 3D データを適切に公開・共有する仕組みを検証した。自作のウェブサイト（葉祥栄アーカイブのウェブサイト）での公開を基本方針とし、公開範囲については段階的な展開を想定した。初期段階では葉祥栄アーカイブ関係者に限定した公開とし、権利関係（建築物のオーナーとの調整）や運用上の課題を整理する。その後、教育利用や展覧会での活用を見据えて、一般公開へと範囲を広げていく計画である。

閲覧体験の設計においては、本研究の二つの強みを活かす方法を検証した。ひとつは高精度 3D スキャナーによる精密な形状データである。EinStar Rockit によって取得された 0.05mm 精度のスキャンデータは、通常のフォトグラメトリでは得られないレベルの細部情報を保持している。もうひとつは、葉祥栄アーカイブに蓄積されてきた豊富な関連資料との結びつきである。原図面、ボーンデジタルの CAD データ、写真、雑誌掲載資料、インタビュー記録など、模型を取り巻く多層的な情報が存在している。

これら二つの強みを具体化する実装として、3D スキャンモデルと原図面を同一画面上に並置し閲覧できるインターフェースを想定している。利用者は 3D ビューア上で模型を自由に回転・拡大しながら、同じ画面で対応する原図面を参照する。これにより、模型として表現された立体と、図面として記述された設計意図を相互に行き来しながら読み解くことが可能となる。模型単体でも図面単体でも得られない、資料間の関係性そのものを閲覧体験として提供することが可能となる。こうした公開の仕組みは、低予算・省スペースという制約下でも、建築アーカイブが果たしうる模型の公開を最大化する方法論となりうる。今後の課題は、こうした公開手法の具体的な実装である。

(発 表 論 文)

ICAM、CAADRIA への国際会議発表準備中。