

3Dプリント（付加製造技術）による仕口を用いたセルフビルド実験住宅 その1 幾何学システムの概要と効用

付加製造技術 3Dプリント 仕口(ジョイント)
セルフビルド モジュール 実験住宅

正会員 ○ 今井 公太郎*
正会員 伊東 優**
正会員 国枝 歓**
正会員 山口 大翔***

1. 目的

本研究は、近年普及が目覚ましい3Dプリント（付加製造技術）と建築デザインの融合による新たな可能性を探索する。具体的には3Dプリンタを用いて仕口（ジョイント）を製作し、大部分の工程をセルフビルド可能な住宅のプロトタイプを建設する。建設を通して3Dプリントの建材への応用の可能性を明らかにし、「複雑」な造形が、どこまで人間の手による建設を「単純」化できるかを明らかにする。そして、プランニングの自由度・構造的合理性・施工性・環境的性能・移動可能性（再建築・運搬）などの観点で性能を評価し、最終的な目標として、移動可能で、自由なライフスタイルを可能にする安価な住宅サービスの普及に応用することを目指す。本稿では本実験住宅の幾何学システムの概要とその効用を説明する。

2. 既往研究における位置づけ

本研究で採用される幾何学システムは正多角錐の混成によってスペースフレームを構築する。既往のシステムでは、球を正十二面体や正二十面体で近似する幾何学を用いて、半球状の空間を被覆するフラードーム[1]が著名である。フラードームは少ない部材で大きな空間を覆うことができるが、形態的に構築できるのは半球状の空間に限定されている。本研究の幾何学システムは、フラードームの長所を享受しながら、変形が幾何的に拘束された正四面体のフレームに加えて、変形が拘束されない正多角錐のフレーム（正多角錐枠体）を適度な割合で組み合わせることで、自由な形状の内部空間を実現できる。ただし、この幾何学システムではお互いの部材の角度が一定ではなく、仕口の形状が個別に異なるため、仕口を3Dプリンタで製造することを前提にしている。

3Dプリント技術を用いた住環境構築の研究及び実践は国内ではほぼ見当たらず、大半は欧米を中心とした海外で為されている状況である。そのなかでは、「大型の3Dプリント機器からセメント系の材料を射出し住宅全体を製造するもの[2]」「現場では製作できない複雑な部材を3Dプリント機器から製造し建築物に当てはめるもの[3]」「月面など極限環境にて3Dプリント機器から建設資材を製造し建設を行うもの[4]」等が挙げられる。日本国内の運用

を前提にすると、住宅より大きな3Dプリント機器を運搬し運用することは現実的に難しいにも関わらず、3Dプリントする部位を限定し流通材と組み合わせる住宅を建設した例は見当たらない。本研究によるプロトタイプはすでに2018年12月に国立新美術館で行った展覧会「もしかする未来 工学とデザイン」に出展している。[5]その後、SUTDの研究グループが2019年金属3Dプリンタの仕口による実験的パビリオンを世界で初めて建造している。[6]

3. 幾何学システムの概要

本研究で用いる具体的な構造体の幾何学システムについて述べる。これは、隣接する多角錐の頂点同士、及び辺同士を連結して構成されるスペースフレームであって、辺の長さが等しい多角錐を組み合わせた形の混成である。多角錐の稜線を芯とする位置に鋼管等の部材を配置して出来る多角錐枠体は、四つの正三角形枠から形成された正四面枠体、正四角錐枠と四つの正三角形枠を有する正四角錐枠体、及び正五角錐枠と五つの正三角形枠とを有する正五角錐枠体である。正四面枠体は不変形で固定された枠体であるが、正四角錐枠体の正四角錐枠、及び正五角錐枠体の正五角錐枠はそれぞれの各頂点の角度が固定されない枠体である。隣接する多角錐枠体の頂点同士には連結する仕口が設けられ、隣接する多角錐枠体の組み合わせ姿勢に応じた形状に接続されることを特徴としている。

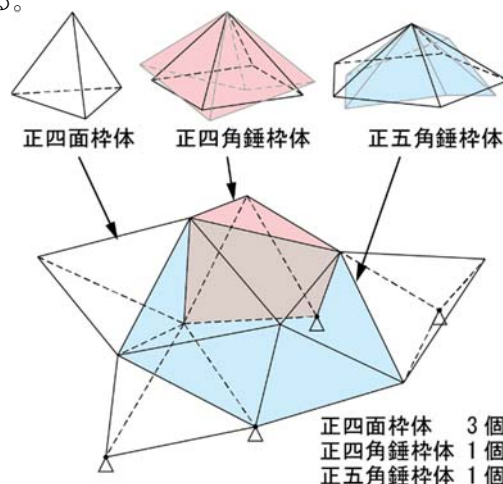


図1 幾何学システム 変形可能な多角錐枠体の混成



図2 プロトタイプの展示風景, 国立新美術館 2018年

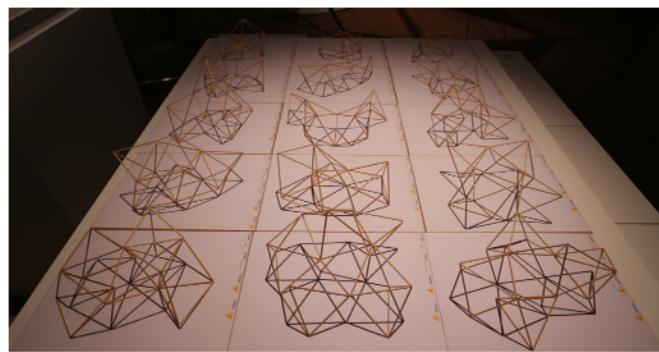


図3 幾何学システムが形成するヴァリエーション



図4 樹脂製の3Dプリンタによる仕口サンプル

4. 効用

- ・ **計画の自由度** この幾何学システムは特別な仕口を用いる工夫のみで、一般的なグリッドフレームでは実現できない計画の自由度を実現し、利用者の設定する条件に合わせた規模・形状に形態をコントロールできる。ユニット式のプレハブ建築では難しかった大きな空間を実現することも可能である。
- ・ **フレキシビリティ** 増築や形態の変更は仕口の差し替えて行うことができる。それにより、敷地形状に合わせた移設を可能にし、ライフスタイルの変遷に対応した柔軟な住まい方の一助となる。
- ・ **構造的合理性** 正四面体と正多角錐体の混成では

一部四角形や五角形の不安定な部分ができるが、その他は正三角形の立体トラス構造に近い状態の合理的な構造体になる。支点の状態をコントロールすることでフレーム全体の安定性を確保できる。(詳しくはその2で述べる。)

- ・ **モジュール化** 外壁の取り付けを想定すると、多角錐体体の辺長は等しいので、すべて同じ正三角形のパネルにより全体を被覆できる。(ただし周辺部の地面と接する部分及び一部の多角形の部分を除く。) フレームの全体的な形態を自由に計画できるにも関わらず、鋼管等の部材・外壁パネル及びそれをつなぐジョイナーも含めて大部分の規格化が可能になる。
- ・ **プレファブ化** 建物全体を3Dプリンタで出力することを想定すると、現地に大型の3Dプリンタを設置する費用と手間が必要になる。本研究では3Dプリンタの適用範囲を仕口に限定することで、プレファブ式に事前に部品の製造が可能になり、現場で乾式に組み立てられる。
- ・ **易施工性** 仕口に様々な角度の部材を差し込んでネジ止めするような機構には高い精度が求められる。3Dプリンタを前提にすれば「複雑」で立体的な機械的ディテールを仕口に組み込むことが可能になり、現地での組み立てを「単純」化し、施工を簡素化できる。

5. まとめ

以上のようにこの幾何学システムは仕口に「複雑」性を集約することにより、多様な形態と同時にそれとは矛盾する「単純」化(モジュール化)を実現できる。この性能により住宅を仮設建築や移動式建築のようにつくることができ、また、そのことは住宅以外の用途への応用も想定できる。その2では引き続きこの幾何学システムの構造的安定性について検討する。また本研究の一部はJSPS 科研費 基盤研究(B) 19H02312の助成を受けたものです。

[参照]

- [1] “Geodesic dome”, Buckminster Fuller's patent for Building construction, US2682235-A, sheets 1 and 2, 1954.
- [2] “we print buildings”, Apis Cor, < <http://apis-cor.com/> >, 2017.
- [3] “THE INSTITUTE FOR ADVANCED ARCHITECTURE OF CATALONIA DESIGNS THE FIRST 3D PRINTED BRIDGE IN THE WORLD”, Areti Markopoulou ら, < <https://iaac.net/institute-advanced-architecture-catalonia-designs-first-3d-printed-bridge-world/> >, Iaac, 2017.
- [4] “Lunar Outpost Design”, Giovanni Cesaretti ら, < https://www.fosterandpartners.com/media/2634652/lunar_outpost_design_foster_and_partners.pdf >, Foster + Partners, 2014.
- [5] “もしかする未来 工学×デザイン”, 今井公太郎研究室 他 < <https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/event/moshikasuru/> >, 国立新美術館, 2018.
- [6] “AirMesh”, < <https://airlab.sutd.edu.sg/2019/12/19/airmesh/> >, Architectural Intelligence Research Lab SUTD, 2019.

* 東京大学生産技術研究所 教授・博士 (工学)

** 東京大学生産技術研究所 特任研究員・修士 (工学)

*** 東京大学大学院工学系研究科 修士課程

* Professor, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

** Specially Appointed Researcher, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, M. Eng.

*** Graduate Student, Graduate School of Eng., The Univ. of Tokyo.