

# 平面図から対話的操作が可能な 3DCG を生成する 手法の提案と開発

Developing a Method that Generates Interactive 3D Models from 2D Floor Plans

川田 宗作\*<sup>1</sup> 加藤 直樹\*<sup>1</sup>  
Shusaku KAWADA\*<sup>1</sup> Naoki KATO\*<sup>1</sup>

東京学芸大学\*<sup>1</sup>  
Tokyo Gakugei University\*<sup>1</sup>

<あらまし> 本稿では、視覚言語モデル (VLM) による平面図の構造解析と、構成的立体幾何学 (CSG) に基づく数理的な形状再構築を組み合わせた 3DCG 生成手法と、それを実装した 3DCG 生成・表示ツールの試作について述べる。試作したツールを用いた評価実験からは、本手法は VLM 単独と比較して幾何学的整合性や閉包性において優位性を示し、定量的な精度では 3D 生成 AI に及ばないものの、数理的な再構築によって形状の破綻を原理的に回避できることが確認された。

<キーワード> 空間図形, 平面図, 生成 AI, 視覚言語モデル, 構成的立体幾何学

## 1. はじめに

平成 30 年度および令和 6 年度の全国学力・学習状況調査の結果、見取図や展開図といった平面図から空間図形の構造を理解することに課題を抱える児童生徒の存在が示唆されている。学習指導要領解説 (平成 31 年, 算数) では、そのような児童生徒に対して、具体物操作による指導などが求められているが、教育現場において、多様な空間図形すべてに対応するモデルの準備は、時間的・物理的コストの面で困難である。これに対し、端末上で操作が可能な 3DCG を扱い具体物に近い操作を提供するデジタル教材 (東京書籍 2025) が開発されている。しかし、既存教材の多くは特定の空間図形のみに対応で、任意の空間図形を扱えない点が課題である。一方で、紙面上に掲載されている空間図形の平面図からの 3DCG 自動生成には、図面特有の奥行き情報の欠落や寸法の曖昧さという技術的課題の解決を要する。

そこで本稿では、任意の空間図形の平面図から、対話的な操作が可能な 3DCG を生成する手法を提案し、そしてそれらを実装したツールの試作と評価を通して 3DCG 生成手法の有効性の検証について述べる。

## 2. 3DCG 生成手法の設計

### 2.1. 基本原理とアプローチ

1 枚の平面図から 3 次元形状を一意に復元することは、奥行き情報の欠落や寸法の曖昧

さを含む。そこで、この曖昧さを有限な組み合わせに絞り込み、幾何学的に整合性の取れた 3DCG を生成するために、対象となる立体を「基本形状 (プリミティブ) の組み合わせ」として捉え直す構成的立体幾何学 (Constructive Solid Geometry : CSG) の概念に基づいたアプローチを採用する。具体的には、直方体や円柱などの数理的に定義された基本形状を、積み上げたり穴を開けたりといった演算によって組み合わせることで再構築する。

### 2.2. 3DCG 生成手法の構成

3DCG 生成手法は、大規模視覚言語モデル (Vision-Language Model : VLM) による意味的構造解析と、CSG アプローチによる幾何構築の 2 段階で構成される。

#### 2.2.1. VLM による意味的構造解析

入力された平面図に対し、VLM を用いて画像全体の意味的・幾何的構造を解析する。従来のエッジ検出手法では困難であった平面図における「貫通」や「積み上げ」といった文脈的な意味を理解する。VLM は次の情報を JSON 形式の構造化データとして出力する。

(1) プリミティブの分類とパラメータ推定 : 構成要素 (角柱, 錐体, 正多面体など) の分類と、底面の形状や高さなどの形状パラメータを推定する。

(2) 構造の推論 : 複数の形状が存在する場合の空間的な配置関係 (積層, 包含など) と、適用すべき演算の種類 (和, 差) の決定。

### 2.2.2. CSGアプローチによる幾何構築

VLM が抽出した形状パラメータに基づき、Python 上の幾何計算アルゴリズムを用いて 3DCG を生成する。この際、単純なブーリアン演算のみでは計算誤差によるメッシュの消失などが生じやすいため、貫通、積層など形状の特徴に応じて処理を次の三つに使い分ける仕組みを実装した。

(1) 2D 断面演算（型抜き方式）：貫通穴などは、3DCG 化する前の 2D 断面の段階で差分処理を行うことで、幾何的な破綻を防ぐ。

(2) 積層構造の安定配置（積み木方式）：複合立体においては、メッシュ同士を無理に結合せず、個別のオブジェクトとして配置することで部品の消失を防ぐ。

(3) 3D ブーリアン演算（彫刻方式）：斜面や複雑な切り欠きなど、上記で表現できない形状についてのみ 3D 演算を適用する。

## 3. ツールの評価

### 3.1. 評価の目的と方法

提案手法の有効性を検証するため、前章で設計した手法を実装したツールを用いて、3DCG 生成精度の評価を行った。

評価にあたっては、提案手法と既存の「3D 生成 AI」および「VLM（視覚言語モデル）」を用いてそれぞれ 3DCG 生成を行い、その結果を比較した。評価用データには、「基本的な立体（直方体、角柱、円柱等）」12 種類と、「複雑な立体（L 字型角柱、穴あき円柱等）」7 種類の計 19 種類の平面図（見取図）を用いた。

### 3.2. 評価指標

3DCG 生成精度の評価においては、次の定量的および定性的観点から評価を行った。

(1) エッジ比率の一致率（定量）：入力した見取図が示す立体の各辺の長さの比率と、実際に生成された 3DCG の各辺の長さの比率を比較し、その一致率を算出する。

(2) 閉包性（定性）：生成された 3DCG にお

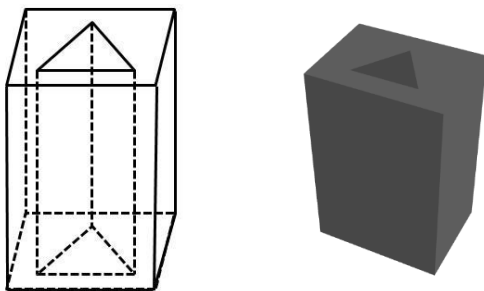


図 1 入力した見取図と 3DCG 生成結果例

いて、面の欠落（穴）や不要な重複がなく、立体として正しく閉じているかを目視により確認する。

### 3.3. 結果と考察

提案手法を用いた 3DCG 生成結果の例を入力した見取図とともに図 1 に示す。

エッジ一致率について、提案手法は VLM のエッジ一致率の平均を上回る結果となった。本手法は、VLM による視覚的な特徴抽出にとどまらず、CSG に基づく数理的な再構築を組み合わせているため VLM 単独での生成時に生じやすい幾何的な歪みや寸法の誤差が、3DCG への変換過程で補正されたためと考えられる。一方で、3D 生成 AI と比較した場合、提案手法はエッジ一致率の平均を下回る結果となった。

また、閉包性については、VLM ではメッシュの破綻や面の欠落が散見されたのに対し、提案手法および 3D 生成 AI では、19 ケース全てにおいて幾何学的に閉じた整合性の高いモデルが生成された。提案手法において、高い水準の閉包性が確認された要因は、CSG に基づいた、あらかじめ「閉じた立体」として数学的に定義された基本形状（プリミティブ）を操作単位とした手法上の特性が、面の欠落や破綻を原理的に回避し、幾何学的な整合性を担保した結果として現れたと考えられる。

## 4. おわりに

本稿では、VLM と CSG を融合させた 3DCG 生成手法とそれを実装したツールの試作と評価について述べた。評価実験の結果、本手法は VLM と比較して、幾何的な整合性の確保において一定の有効性を示した一方、定量的な精度では 3D 生成 AI に及ばない結果となった。今後の課題として、3DCG 生成手法の改善による生成精度の向上、より複雑な形状への対応、および本ツールを実際の授業で活用した際の学習効果の検証が挙げられる。

### 参考文献

東京書籍（2025）立体の展開図を調べよう  
[https://sw41.tsho.jp/03jk/m1/contents/m1\\_16/index.html](https://sw41.tsho.jp/03jk/m1/contents/m1_16/index.html)(accessed 2026.01.1)