

Model Context Protocolを用いた二層知識継承による建築制約を持つ屋内シーン生成の自律的品質保証

多田 有里† 中村 亮太†

†武蔵野大学データサイエンス学部データサイエンス学科

背景と課題

研究の背景

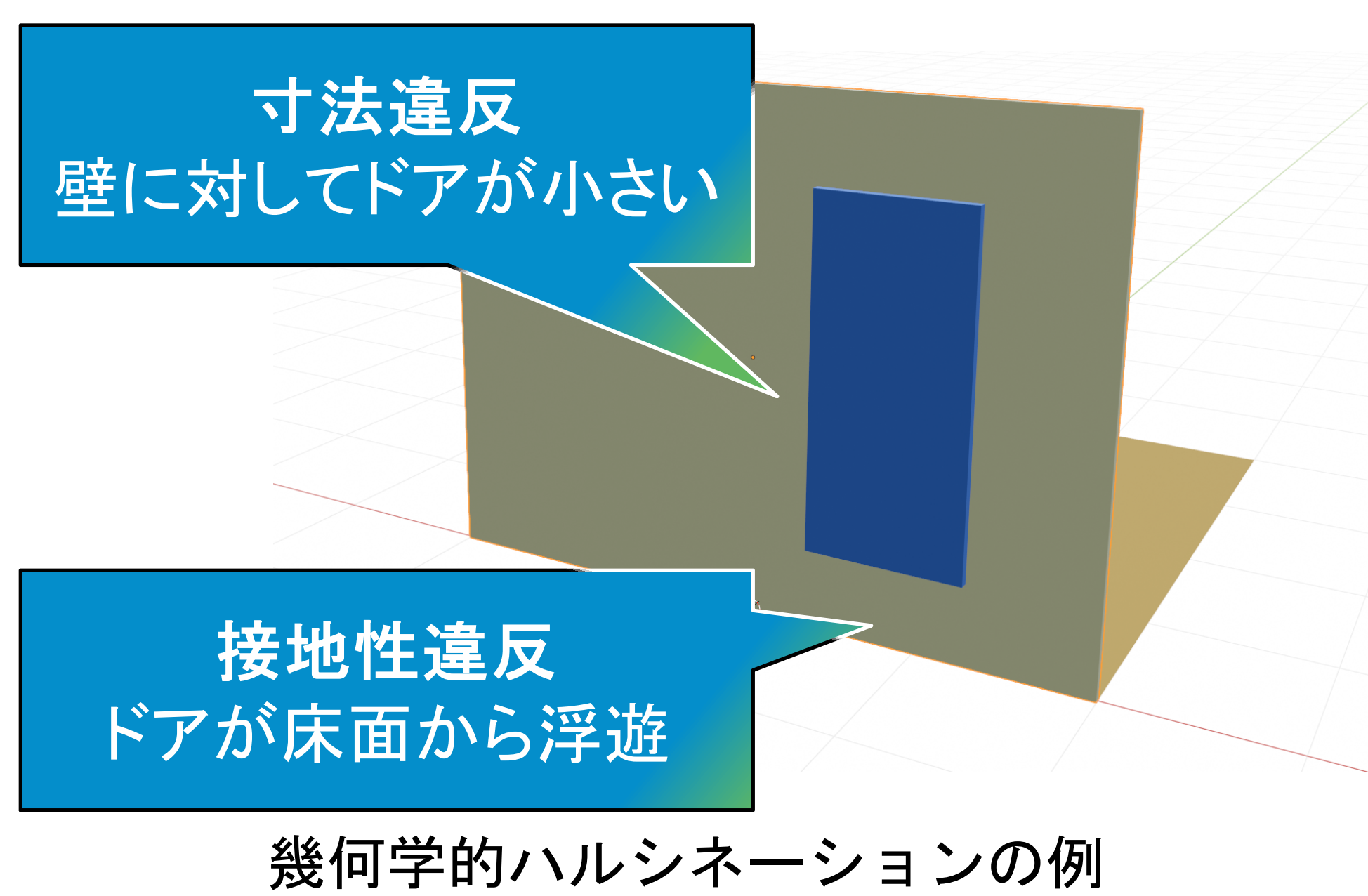
視覚的「自然さ」から構造的「整合性」へ

- 課題
近年のText-to-3D技術は飛躍的な視覚的品質を達成したが、「幾何学的ハルシネーション」が発生することがある。
- 既存手法の限界
「視覚的評価」に依存しており、2D画像から幾何学的な制約を解釈することは困難である。
修正プロセスが非効率で知識が蓄積されない。
- 必要性
主観的な「見た目」ではなく、数値検証による「構造的整合性」の保証と、知識継承による「自律的な品質改善」を両立する新たなText-to-3D技術が必要である。

幾何学的ハルシネーション

本研究では、画像上は自然に見えるが、3D空間内の幾何・物理・法規的制約を満たさない状態を「幾何学的ハルシネーション」と定義する。

- 接地性違反:床面から浮遊している。
- 干涉違反:オブジェクト同士が重なっている。
- 包含・埋没違反:壁や床に不適切に埋まっている。
- 寸法・整列違反:垂直・水平、クリアランスが不整合。
- 法規・設計数値違反:採光面積などの設計条件を満たさない。



提案手法

提案システム MCPによる数値的介入

- Model Context Protocol (MCP) の採用
LLMと3D環境 (Blender) を直接接続し、3D空間を座標や寸法といった「数値データ」として直接認識・操作する。
- 自律的品質保証ループ
「観測→計画→生成・編集→検査→修正」のサイクルを視覚情報に依存せず、自律的に実行する。
- 数値検査
視覚ベースでは検出不可能な、ミリ単位的位置ズレを修正可能にした。

二層知識構造による適応的推論

システム内部の知識を、性質の異なる二つのストレージに分離・統合した。

- StaticDB (規制知識)
絶対に変更してはならない「ハード制約」を定義。(例: 物理法則や建築基準法)
- DynamicDB (経験知識)
過去の修正プロセスから得た成功パターンを蓄積する「ソフト制約」を定義。
RAGにより類似局面で再利用する。

→ 知識の永続化により、使い込むほどに文脈理解が深化し、推論コストが最適化される。

結論

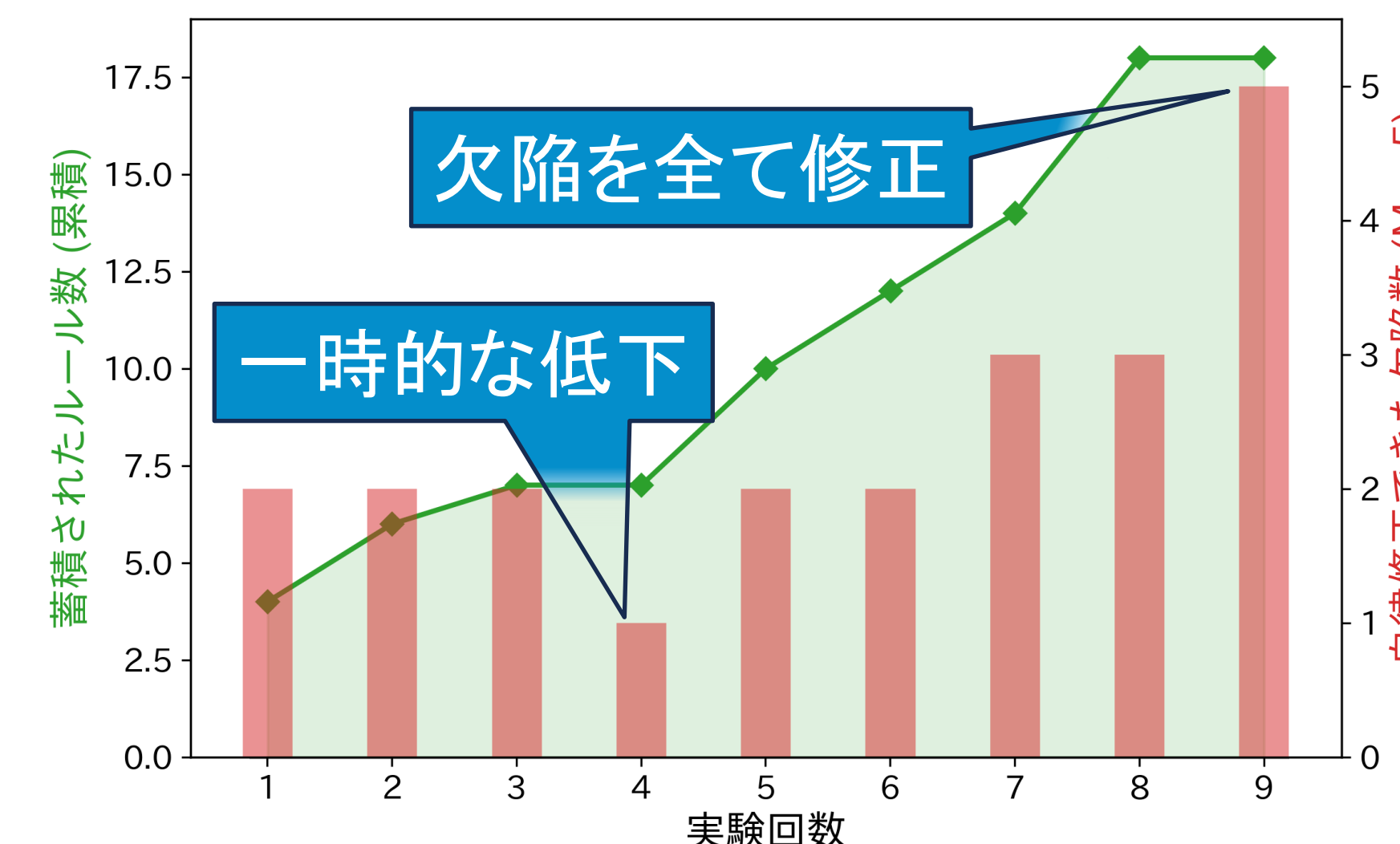
- MCPを用いた数値的介入と二層知識構造により、建築基準を満たすCADグレードのモデル生成を実現した。
- 本手法は、生成AIをクリエイティブツールから、信頼性が不可欠なエンジニアリングツールへと昇華させる重要な基盤となる。

実験結果と考察

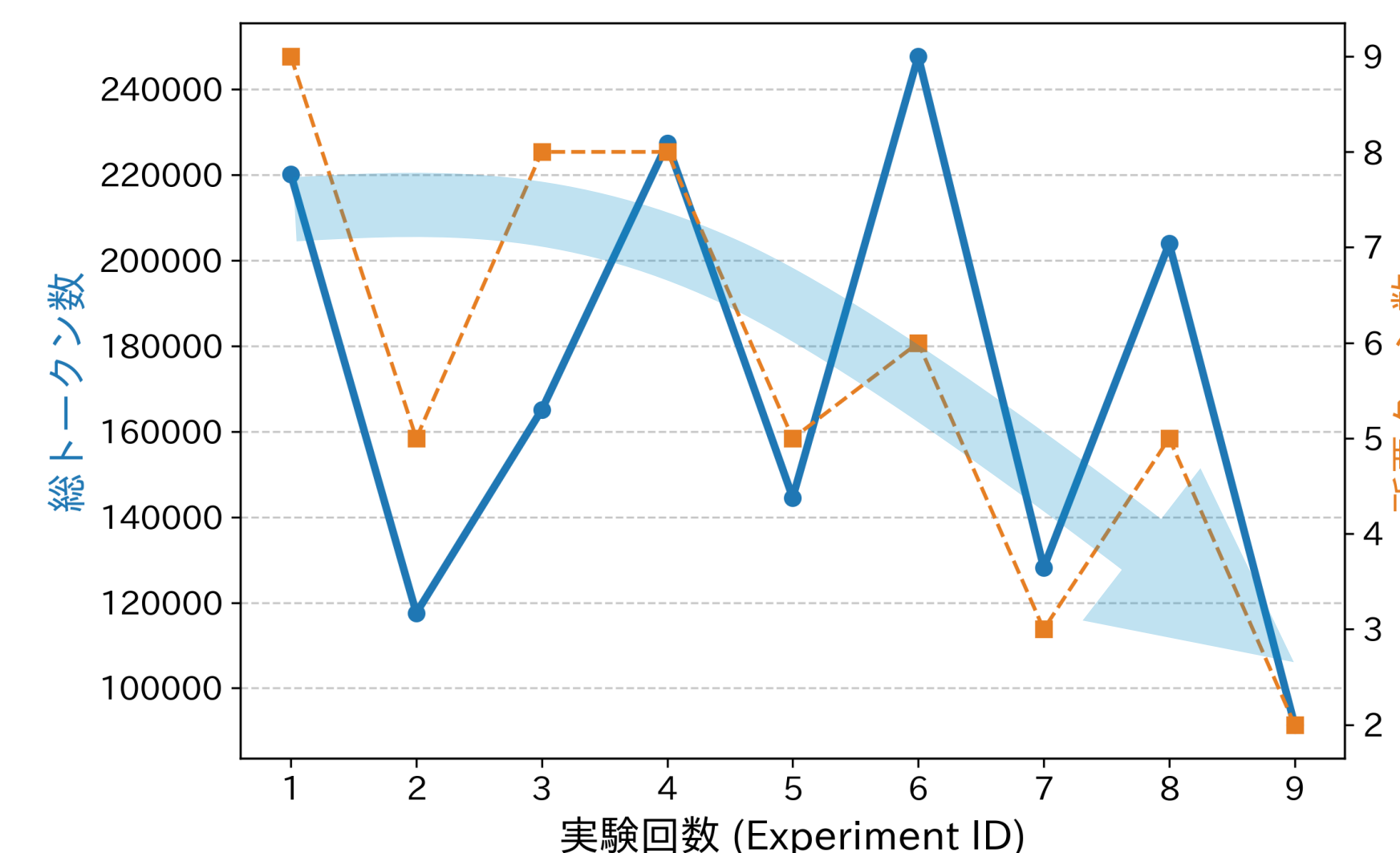
実験結果 知識蓄積に伴う効率化

5つの幾何学的ハルシネーションを修正するタスクを計9回実施し、性能推移を検証した。

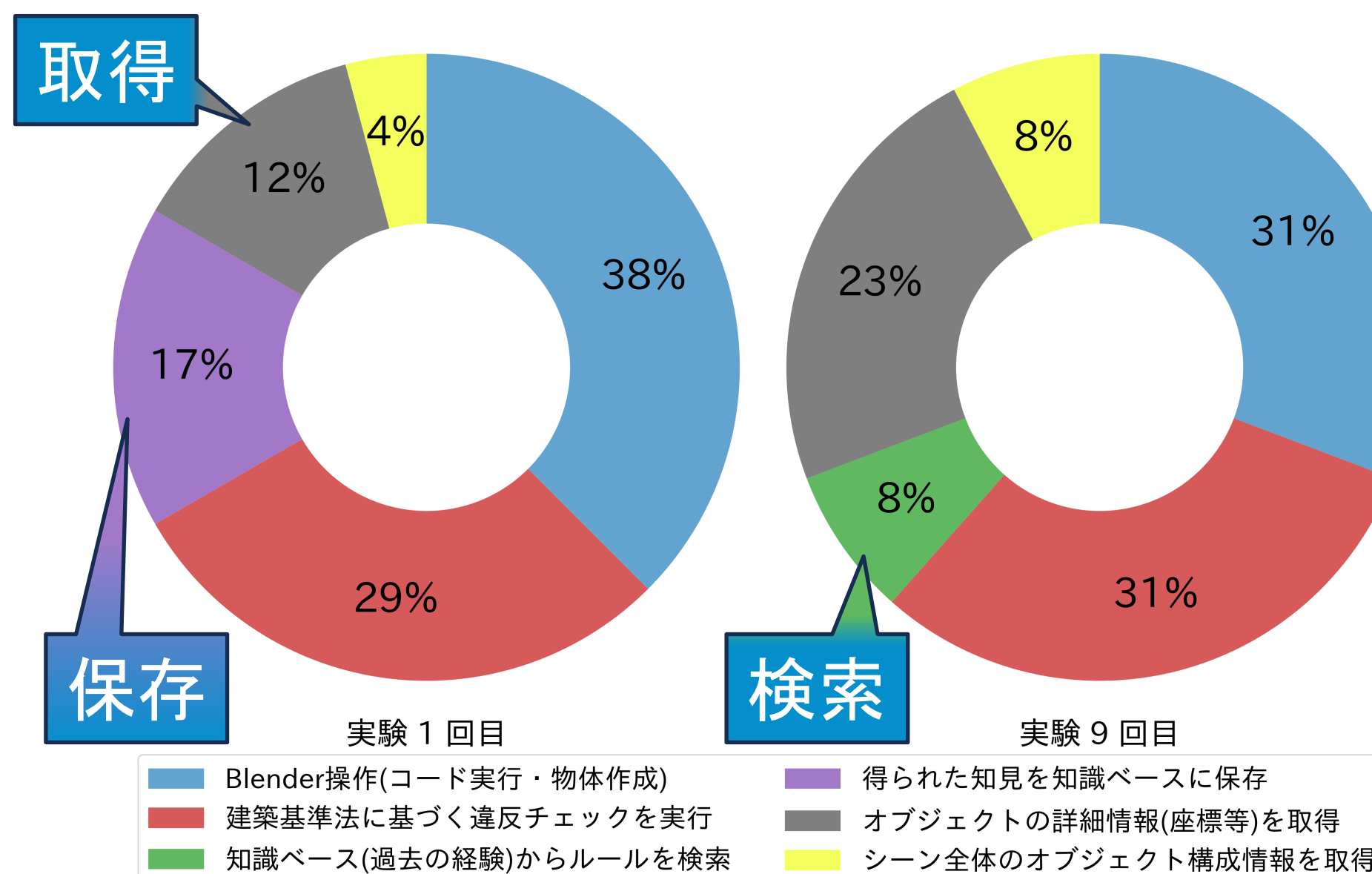
- 欠陥の全検出
知識の蓄積により、最終的にすべての欠陥を一切のヒントなしに修正した。



- 圧倒的なコスト削減
初期試行と比べ、ターン数を約78%削減
トークン消費量を約58%削減した。



- 行動変容
初期は「試行錯誤」のループが中心だったが、後期では「知識検索」による即時解決へと行動がシフトした。



考察

知識統合に伴う「停滞」の克服

- U字型発達の観測
ルール蓄積の段階(Exp4)で、一時的に欠陥検出数が低下する現象を確認した。
→断片的なルールが増えたことによる一時的な判断の競合が原因であるが、更なる学習による知識の体系化で解消された。
- 汎用性
数値データに基づくアプローチは、配管検証や公差チェックなど、他ドメインへも柔軟に転用可能である。