

設計段階での円滑な意思共有を支援する拡張現実感システム

○高林 弘樹*¹ 田中 智己*²
中林 拓馬*³ 平沢 岳人*⁴

キーワード：拡張現実感 AR 三次元 CAD データベース 建築設計

1. はじめに

筆者らはこれまでに拡張現実感 (Augmented Reality : 以下、AR) 技術を建築分野に応用する研究を行ってきた¹。中林らは AR のスケール感に着目し、模型上に設計案である建築物を重畳するといった試みの中で、仮想物の影や実物と仮想物の前後関係の考慮などの AR の表現に関する研究を行ってきた²。中林らがおこなってきた研究の実用を考えると、設計者が設計意図等を他の設計者と共有するような場合や、施主に意匠等の説明をするシーンにおいて、設計案の変更等が AR に円滑に反映されることが望ましい。しかし、これまでの AR システムでは、設計案の変更を適用させるために三次元 CAD からデータを再度書き出し、再読み込みのために AR システムを再起動させなければならないと、リアルタイム性に問題があり円滑な設計検討ができないと考えた。今までの AR システムに加え、リアルタイムに設計案を更新できるようになると、AR の利点を最大限に発揮できるようになる。

そこで本研究では、三次元 CAD と AR システムを動的に連携させるようなシステムを構築することで、図面上での設計変更をリアルタイムに AR システムで重畳する三次元モデルに反映し、設計検討を行うシーンでの実用性向上を試みた。

2. システム構成

2.1 システム概要

建築設計において図面の作成は CAD で行うのが一般的である。昨今、三次元 CAD が普及しており、三次元 CAD で図面を作成することによって建築物等の三次元形状も同時に作成される。したがって、AR システムで重畳する三次元モデルも三次元 CAD を用いて図面と同様に作成・操作可能であるべきであり、ユーザーインターフェイスとして三次元 CAD を用いることで、設計検討と図面の作成の流れを円滑にすることができる。

AR システムと三次元 CAD の連携には関係データベースを用いた。従来のシステムでは、三次元 CAD 上のモデル全体のデータを AR システム起動時に読み込ませることで仮想物を重畳するといった静的な手法を用いてきた (図 1 左)。本研究では重畳する仮想物の変更を容易にするため、関係データベースで三次元モデルを部品 (インスタンス^{注1}) 毎に管理し、三次元 CAD と AR システムを動的に

連携することで仮想物の変更をリアルタイムに反映することを可能にした (図 1 右)。また、関係データベースを用いてインスタンスの管理を行うことで、複数の三次元 CAD からの操作による協調設計や、多様な三次元 CAD への対応といった拡張性も期待できる。これらの理由から本研究では以上のようなシステム構成とした。

本研究のシステムの開発には、三次元 CAD に ArchiCAD^{注2}、データベースに PostgreSQL^{注3}、AR システムに ARToolKitPlus^{注4}を用いた。ArchiCAD と PostgreSQL を連携させるために ArchiCAD の公開 API を用いて独自に拡張を行った。

2.2 処理の流れ

本システムの処理の流れを図 2 に示す (以下本章の丸付き数字は図 2 を参照)。処理の流れの概要は以下の通りである。三次元 CAD のオペレータにより図面上でインスタンスが実体化・変更される (図 2 ①) と、拡張機能によりその座標情報などが関係データベースに送信される (図 2 ②)。次に、関係データベースはインスタンスの情報を受け取り、それらを管理する (図 2 ③)。AR システムは関係データベースにアクセスし、関係データベース内のインスタンスの情報から仮想物を描画する (図 2 ④)。ユーザーは AR による合成シーンを見ながら設計検討を行う (図 2 ⑤)。

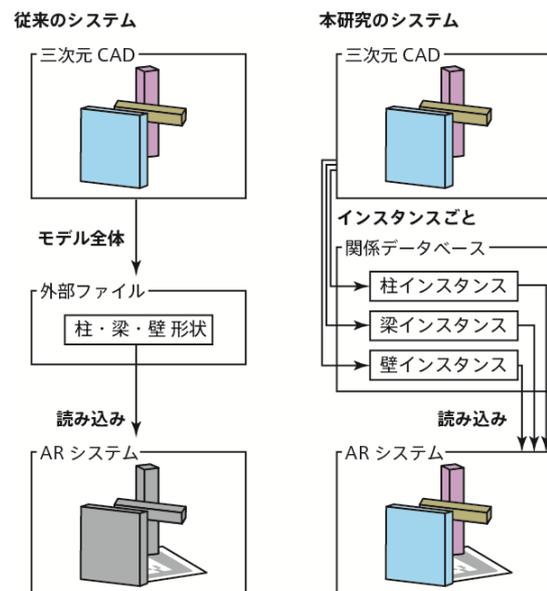


図 1 システム構成の比較

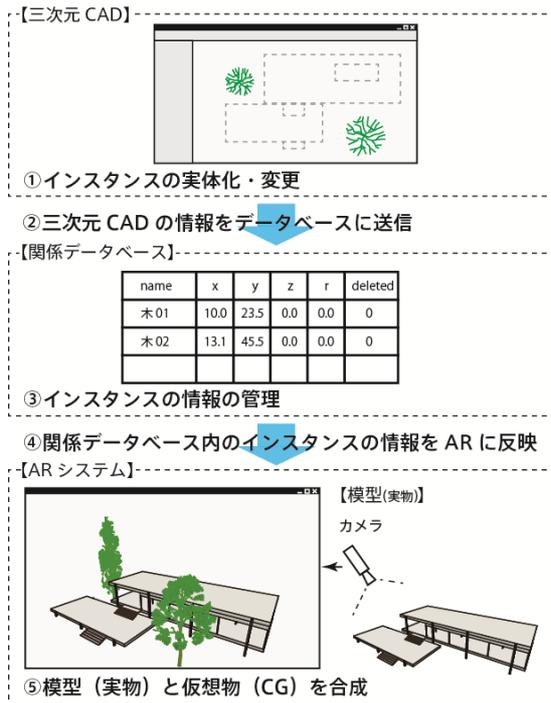


図 2 システムの処理の流れ

3. 連携のための関係データベースの設計

本章では、三次元 CAD と AR システムの円滑な連携のための関係データベースの設計について述べる。

3. 1 形状データの管理

本研究では ArchiCAD の柱、梁、壁ツールによって表現されるインスタンスと、オブジェクトツールによって表現されるインスタンスの二つについて AR システムとの連携を行った。

・柱、梁、壁ツールによって表現されるインスタンスの処理 (a)

柱、梁、壁ツールによって表現されるインスタンスは例えば壁であれば、幅・始点・終点・高さといったように形状決定にあたってオペレータが操作するパラメータが比較的少なく、またそれらから三次元形状を生成する仕組みが複雑でないインスタンスである。

関係データベース内では、これらを図 3 左のように、ツール毎に ID とパラメータを記録できるテーブルによって管理している。三次元 CAD の図面上にインスタンスが実体化されると関係データベース内のテーブルには新規レコードが作成され、ID が付与される。その ID を図面上のインスタンスの ID に受け渡すことで三次元 CAD の図面上のインスタンスと関係データベース内の情報を紐付けている。

・オブジェクトツールによって表現されるインスタンスの処理 (b)

オブジェクトツールによって表現されるインスタンスとは、ArchiCAD のライブラリ中の植栽や家具等であり、

これらは形状決定にあたってオペレータの操作するパラメータが比較的多く、三次元形状を生成する仕組みが複雑であることが多いインスタンスである。

関係データベース内では、これらは図 3 右のようにオブジェクトタイプ (e.g., 角机、樹木) 毎に汎用フォーマットで書き出した三次元モデルファイル名と、その位置を記録できるテーブルで管理している。三次元 CAD の図面上のインスタンスと関係データベース内の情報の紐付けは 3.1 (a) と同様である。

3. 2 協調設計のためのユーザー管理

設計案を複数人で検討するシーンを想定し、建築設計における意思決定を支援する仕組みとして複数人が同時に同じ図面を変更可能な機能を実装した。これは関係データベースを用いてクライアントを識別することで行った。他者の操作したインスタンスは ArchiCAD の独自開発したアドオンを起動することで図面上に反映される。

| ID : SERIAL, PK | ID : SERIAL, PK |
|-----------------|-----------------|
| 始点 X 座標 | ファイル名 |
| 始点 Y 座標 | X 座標 |
| 終点 X 座標 | Y 座標 |
| 終点 Y 座標 | Z 座標 |
| 上面 Z 座標 | 回転角 |
| 底面 Z 座標 | ... など |
| 始点幅 | |
| 終点幅 | |
| ... など | |

図 3 関係データベース上でのインスタンスの情報 (左：標準ツールによるインスタンス〈壁〉の管理テーブル、右：ライブラリによるインスタンスの管理テーブル)

4. AR システムの実用に向けた検討

設計者が設計検討を行うシーンでの実用性を高めるために、AR によるシーン合成の実時間性の向上を試みた。また、効果的な利用のための応用をいくつか示す。

4. 1 実時間性の向上

設計者間の意思共有や、施主へのプレゼンテーションなどといった場合において、三次元 CAD の図面上での操作は時間的遅延なく AR システムによる合成シーンに反映されるべきである。そこで AR システムに以下の処理を行うことで本研究システムの実時間性を高めた。

・三次元モデルの描画方法

本研究において AR システムで重畳するモデルである 3.1 (a), (b) のインスタンスの描画に関する特徴を表 1 に示す。

3.1 (a) の三次元モデルに関して、これらは形状情報と位置情報が関係データベースによって管理されている。この形状情報から AR システム内でオブジェクトの三次元形状を計算し描画している。これらのインスタンスの三次元形状は簡単な形状であることが多いため、関係データベー

スの情報から AR システム内で形状計算をしても実時間性に影響があるような処理負荷はない。

3.1 (b) の三次元モデルは、オブジェクトタイプ名と位置情報が関係データベースによって管理されている。これらのインスタンスの三次元形状はポリゴン数が多いため、3.1 (a) と同様に形状情報を関係データベースで管理し、AR システム内で三次元形状を計算すると描画に時間がかかるためリアルタイム性が損なわれる。また、これらのオブジェクトは形状の変更が比較的少ない。以上の理由から描画はオブジェクトタイプ毎に三次元形状を出力した外部ファイルを参照することで行なっている。このため、外部ファイルを更新しない限り、三次元 CAD の図面上でのパラメータの変更による形状変形は AR システムには反映されない。

・ AR システムの高速化

AR システムのマルチスレッド化をすることで、三次元 CAD の図面上でのインスタンスの変更をより高速に AR システムのシーンの合成へ反映し、リアルタイム性を高めた。本システムでは、カメラ映像取得処理と重畳するモデルの描画処理を並行して行うことで高速化している。また後述の立体視処理に関しては左映像、右映像それぞれにおいて高速化の処理を行なっている。

これらの処理による本システムの三次元 CAD の図面上での操作画面と AR システムによる合成シーンを図 4 に示す。

4. 2 効果的な利用のための応用

AR による表現の幅を広げるなど、設計検討に AR を用いる利点を発揮し、より効果的な設計検討のための試みを行った。

・ 立体視

AR では実空間の映像に仮想物を重畳するため、使用者が見る映像は二次元となり、実空間に比べ立体感が損なわれる。そこで立体視を取り入れることで AR の立体感を高め、空間中の位置把握性の向上を試みた。立体視は人間の左右の眼の視差を利用して行う。本システムではステレオカメラを用いて映像を二系統入力し、AR システムで左映像、右映像のシーンの合成を行いサイドバイサイド映像による立体視を行った。

・ アニメーション

AR で重畳した三次元モデルにアニメーションを付加し、意思共有やスケール感の向上を図った。これにより、人が建物に入っていき様子や、自動車が車道を走るといった動きが AR 上に重畳できる。

・ 実物と仮想物の取り合い

本システムでは実物と仮想物の前後関係を正しく表示させるために、実物の形状情報を三次元 CAD で作成している。したがって、AR のオブジェクトを操作する三次元 CAD の図面上に実物のデータが既に入力された状態であ

るので、実物に干渉しないよう確認しながら仮想物のオブジェクトを配置することができる。また、実物の床に接してオブジェクトを配置するなどの操作も容易に行える

表 1 インスタンスの特徴

| | 壁・柱・梁ツールによって表現されるインスタンス | オブジェクトツールによって表現されるインスタンス |
|-----------|-------------------------|--------------------------|
| パラメータ | 少ない | 多い |
| 三次元形状の複雑さ | 単純 | 複雑 |
| 描画方法 | DBの情報から三次元形状を計算 | 外部ファイルの参照 |

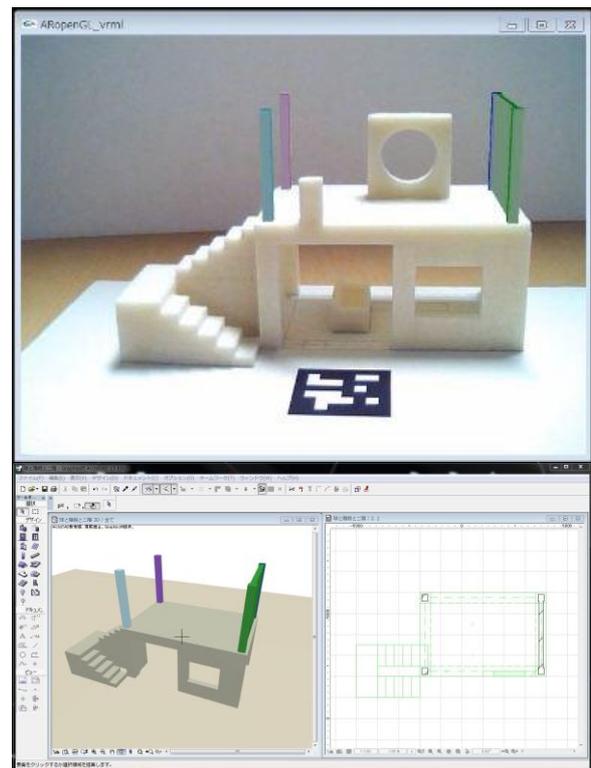


図 4 操作画面 (上: 合成シーン、下: 三次元 CAD)

5. 利用例

実際の設計検討のシーンを想定し、建物周辺の植栽検討を行った。実際の利用手順は以下である。

- 1) ArchiCAD のオブジェクトライブラリの中から検討に用いるオブジェクトを外部ファイルとして書き出す。
- 2) AR システムを起動し 1) のファイルを読み込む。
- 3) ArchiCAD で関係データベースとの通信用のアドオンを起動する。
- 4) インスタンスの操作を行う。
- 4') 協調設計者がインスタンスの操作を行った場合は、図面更新用のアドオンを起動する。
- 5) 4)を繰り返し、AR により合成されたシーンを見ながら設計検討を行う。

図5に操作前後の三次元 CAD の操作画面（左）と AR システムによる合成シーン（右）を示す。図中の建物が模型（実物）であり、木が仮想物である。これらの AR システムによる映像をスクリーンに投影することで、大人数での設計検討を行うことができた。また、それぞれが複数のコンピュータの三次元 CAD からオブジェクトの操作を行うことで、より円滑な協調設計が可能となった。二台のプロジェクタを用い立体視用の映像をスクリーンに投影し（図6）、また、アニメーションを伴う添景（人や動物）も実装することで、表現豊かなシーンの合成も行うことができた。さらに、障害物として入力した実物の三次元形状を、模型に重ね合わせて表示することで、建築部品の強調表示や内部の検討（図7）も可能となった。

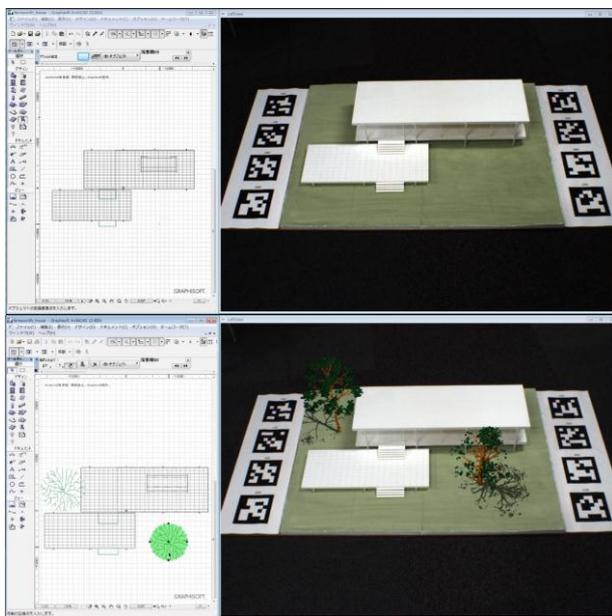


図5 植栽の検討（上：操作前、下：操作後）



図6 立体視 AR システムの様子

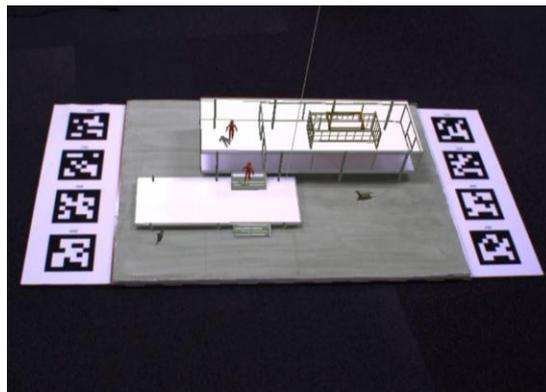


図7 模型への三次元形状の重ね合わせ表示

6. まとめ

関係データベースを用いることで三次元 CAD 上での設計案の変更をリアルタイムで AR システムの三次元モデルに反映可能になった。設計者は協調設計者あるいは施主と、AR によって模型上に違和感なく合成された設計案をみながら意思共有し設計を進めることができる。独自ソフトウェアではなく一般的な三次元 CAD をユーザーインターフェイスとすることで、新しいソフトウェアの導入や操作の煩雑さを省くこともできた。

本研究で用いた三次元 CAD は ArchiCAD のみであったが、他の三次元 CAD との連携も可能であり、今後取り組んでいきたい。また、様々なインスタンスにも対応すると共に、テクスチャの反映など視覚的な表現度を高め、リアリティに富んだシーンの合成も試みたい。

【脚注】

- 注1 本稿では三次元 CAD の標準ツールにより図面上に作成される一つの建築部品三次元モデルのことを指す。
 注2 Graphi Soft 社製の建築向け三次元 CAD。
 注3 オープンソースのオブジェクトリレーショナルデータベース管理システム。
 注4 AR を実現するための C 言語ライブラリとして最も一般的である ARToolKit を拡張したものである。

【参考文献】

- 1) 田中智己、他 2 名：“拡張現実感技術を用いたインテリアシミュレータの Web アプリケーションの展開”、第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集（社）日本建築学会・情報システム技術委員会、pp. 183-186（2011.12）
- 2) 中林拓馬、他 2 名：“拡張現実感と模型を用いた建築設計用ツールの開発”、日本建築学会技術報告集、第 17 巻第 37 号、pp.1053-1056（2011.10）

- *1 千葉大学大学院工学研究科 博士前期課程
 *2 千葉大学大学院工学研究科 博士後期課程
 *3 千葉大学大学院工学研究科 博士後期課程・
 日本学術振興会特別研究員 DC
 *4 千葉大学大学院工学研究科 准教授 工博