

4次元建築計画ツールの発展的利用について

寺島賢紀[†]

既存の3次元形状モデルとスケジュールデータを互いにリンクさせて建設プロセスを可視化し、建築計画の分析を行うシステムの実装について述べる。4次元の工程管理については、出来型や工程などが瞬時に把握でき、建築計画や分析が容易になり、生産性向上や再工事・再設計を減らせることが期待できるなどの長所が指摘されてきた。本稿では、4次元建築計画ツールを核として、コストの積算や環境負荷物質の排出量表示、都市計画への応用など、出来形の進捗以外の情報提供について考察する。

Advanced Usage of 4D Construction Planning Tool

Takanori Terashima[†]

This paper mentions about the implementation of the visualizer which renders the 3D modeling data combined with process schedules. 4D construction planning is pointed out its advantages such as instantly identify the work progress and process scheme of the construction project, and makes ease of construction plan analysis. The redesign and reconstruction will be reduced consequently. This paper also discusses the other functions that the 4D construction planning tool ought to have, such as representation of cost accumulation and environmental load, and application to urban planning other than visualization of building process.

1. はじめに

建設業における ICT 技術の利用形態として、3D モデルに時間軸を追加した4次元施工計画ツールを構築し、建築計画に伴う付随情報をツール上で視覚的に確認できる機能について議論する。従来、平面図で提供されていた施工計画を、PC上で立体的に再現するソフトウェアの開発と、そのソフトウェアを核とした発展的な活用方法について紹介したい。

近年建築業界では、設計施工一貫のメリットを生かした生産システムの合理化を目指しており、設計ツールとしての3次元CAD利用が進められている[1]。これまでのCADの利用は、基本計画段階で設計意図をより明確に伝えることや実施設計で整合性の取れた図面を作成することを目的とする場合が多かったが、3次元CADにより関係者が有する情報を一元化し、意匠・構造・設備・施工者まで含めて合理的な生産行為の実現を目指している[2]。施工部門のノウハウを設計段階から取り込み、設計と生産のコラボレーションが行われる。これを生産設計と呼び、設計段階での視覚化、数量把握、問題点の早期把握によって、後工程での詳細検討や設計のやり直しを低減する、出来形管理、出来高計算等が瞬時にできるようになるなどの効果があるといわれる。

しかしながら、各種構造物や製品を計画、設計、製作、施工、管理していく上では、CADをはじめとする各種アプリケーション・ソフトウェアが利用されるが、ソフト間のデータ互換性が低いことから、データの共有化による全体としての効率化が図られていないことが指摘される。この解決のため、異なるシステム間でデータを相互運用できるよう、プロダクトモデルの開発が進められている[3][4][5][6]。プロダクトモデルとは、構造物等の構成部材をオブジェクトとしてとらえ、その3次元形状と属性情報を表現できる一般化されたデータモデルである。図1に示すように、プロダクトモデルを作成することで、一連の作業において利用される各種システムおよびソフトウェアでデータの共有が実現できる。この生産設計を視覚的に表現するのに、3次元CADで作成された構造物と、施工のタイミングとを合わせて4次元化した建築計画手法が有効であるとされている[7][8][9][10]。

それでもなお、特定のプロジェクトにおける4次元化の例はあるものの[11]、現実の建設現場への浸透は見られない。現実の建設現場では、設計図も仮設計画図も2次元の図面で提供される。2次元図面は、設計者には十分に機能するものの、現場経験の少ない技術者にとっては、設計モデルや計画図の3次元的なイメージを持つことは困難であり、計算機上でのシミュレーションや解析には不向きである。それでも従来

[†] 宮城大学
Miyagi University
名古屋工業大学グリーンコンピューティング研究所
Center for Green Computing, Nagoya Institute of Technology

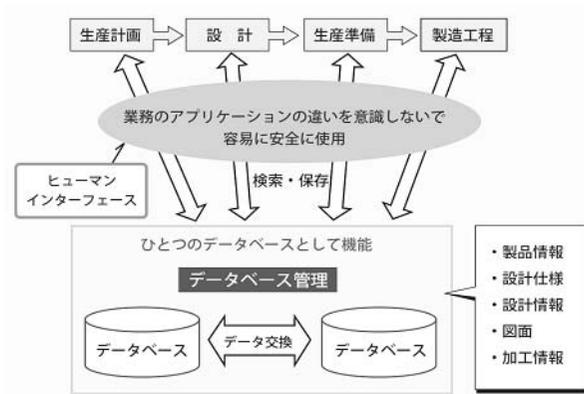


図 1 プロダクトモデルの概念図

型の手法からの急速な脱却が見られないのは、その変化に係る労力が大きすぎるのだと思われる。ある大手建設会社での独自のヒアリングによると、2次元でも、図面化したものは、どんなものでも建設できるとしており、すでに作業形態が確立しているものは、変更の労力に見合う大きなメリットがないかぎり、変化を受け入れるモチベーションは低いと感じた。プロダクトモデルは、将来的なソリューションとしての期待度は高く、再利用できる部品の開発が進めば、汎用的なものになりうるが、現状ではケースごとに適切なデータ構造を設計する必要がある。

各種アプリケーションを統合的に用いて建築計画を行う手法についてはいくつか提案されているが[12][13][14][15][16]、筆者らは、各種アプリケーションデータを統合的に用いるアプローチを採用して、システム開発をおこなってきた[17][18]。構造物の形状データとスケジュールデータをリンクさせて工程を視覚的に再現し、建築計画の分析を行うシステムの構築である。視覚的な再現と呼ぶものには、構造物の積層状態を表示するだけでなく、建設地に設置する重機の利用や、資材の搬入経路、一時資材置場の設定などのシミュレーションも含み、総合仮設計画の事前検証を行うものを目指す。それぞれのデータは、異なるアプリケーションで作成されるが、それらをインポートして相互に関連付けることにより、プロダクトモデルを構築することなく、従来型の作業形態で生成されるデータを利用して、4次元 CAD のメリットを享受する。

2. 建築プランニングツールの概要

2.1 アプリケーションの仕様

AutoCAD 上で VBA や AutoLisp を用いてアニメーションを実現している例や、他の高性能な CAD 上でアニメーションを実現する例はあるが、高価な CAD システムなしでもデータ交換を実現としたいという要求から、本システムは、形状データを読み込み可能なアプリケーションとする。実装するシステムには、以下の機能を持たせる。システムの概略を図 2 に示す。

- (1) 形状データの取り込み
- (2) 実行スケジュールの取り込み
- (3) 形状データとスケジュールデータとのリンク
- (4) 次元モデルの表示
- (5) 時間ごとの出来型表示
- (6) コストの推移表示
- (7) パーツのマテリアル設定
- (8) 作業状態の保存・再生

(1), (2)については、外部アプリケーションで作成したデータの取り込みである。(3)が、それらを相互に関連付けるために、本システムが提供するインタフェースであり、異なるタイプのデータ、すなわち形状データとスケジュールデータを読み込んで、それらを互いに関連付ける。関連付けるデータは、部品の形状データと、その部品を使用する工程名および日程と、コストデータ、素材データである。すべての部品データは工程のいずれかで使用され、逆にすべての工程に必要な部品データがリンクすることになる。こうして、3次元形状データに時間という次元を付加することができる。(4)~(7)は、データの可視化を行う機能であり、3次元形状の表示のほか、任意の時間における出来型を表示する。指定時間を連続して変化させることで、時間軸に沿った作業状況をアニメーションで表示させることも出来る。(8)の作業状態というのは、建築プロジェクトの作業状態ではなく、作成したアプリケーション上での作業状態のことである。

生産現場での普及率・利用率から、形状データは AutoCAD で作成されたもの、スケジュールデータは Microsoft Project (以降 MS-Project)で作成されたものに対応する。国内では、スケジュールデータを MS-Excel で作成することも多いが、欧州では AutoCAD と MS-Project の組み合わせ以外はないと断言されるほど一般的なものである。コスト表示の機能については、日本ではプロジェクトに対する一括支払いが多いのに対し、欧州では、一定期間ごとの出来高払いが多いという理由で必要性が高い機能である。

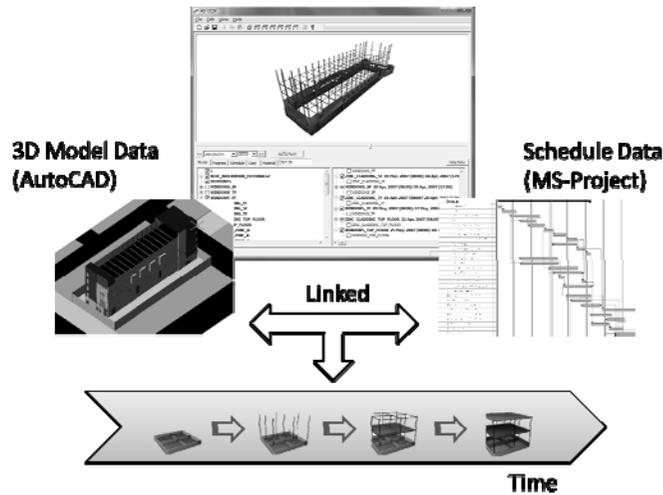


図 2 システムの概念図

システムの外観は、一般的な Windows アプリケーションの Look & Feel を備え、マウスオペレーションによる 3 次元シーンの操作を行えるものとし、Microsoft Visual C++および DirectX SDK を用いて実装する。

2.2 システムの動作

第一に形状データとスケジュールデータの読み込みが必要である。形状データは AutoCAD で作成されたものとするが、そのファイル形式には DWG 形式と DXF 形式がある。DWG 形式はバイナリ形式であるが、DXF 形式はテキストデータとして記述される。DXF は Drawing Interchange File Format を表し、仕様も公開されて[19]、異なる CAD システムでのデータ交換に利用される。本システムでは、DXF 形式の形状データを読み込み、モデルを再現する。

スケジュールデータは MS-Project で作成されることを前提にしているが、実際には、MS-Project で作成し、MS-Access 形式にエクスポートしたものを用いる。読み込んだファイルは、ODBC ドライバを介して各々の要素にアクセスする。MS-Project の直接アクセスするドライバがないため、いったん MS-Access 形式にエクスポートする必要がある。データベースファイルに含まれるテーブルから、タスク名、施工開始日、終了日、および費用など、必要なデータを記述したフィールドを指定して読み込む。読



図 4 パーツとスケジュールのリンク

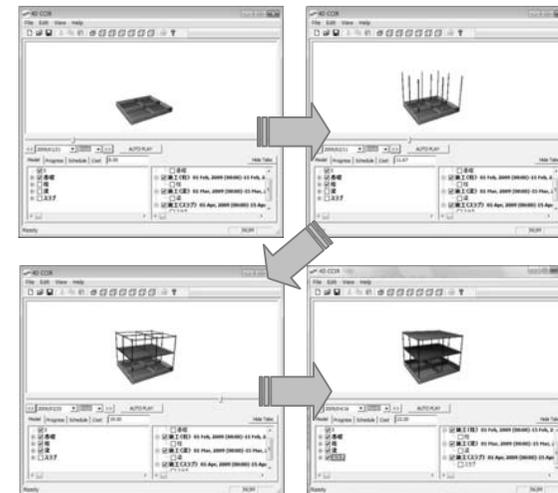


図 3 出来形の表示

み込まれたデータを一覧表示し、それぞれの一覧から関連するものを選んで関連付けを行う。その作業の様子を図 4 に示す。マウスクリックでその作業を行っている。すべてのリンク付けが行われたのち、指定した時点での各部品の状態を含めて表示を切り替える。すなわち、スケジュール表の開始・終了日時を参照して、指定日時での未着工、建造中、終了の 3 つの状態を判断し、表示/非表示を切り替えて、あるいは色分けで表示することで、出来形を表現する。一定時間ごとに自動で日付を進めれば、工事の進行をアニメーション表示する。図 3 に時間の経過による出来形表示の遷移例を示す。時間経過にしたがって、建造物が立ちあがっていく。

3. 各種付随データの表示

インポートしたモデルデータとスケジュールデータはタブで表示分けされるほか、それらをリンクさせた結果もたらされる情報についてもタブで切り替えて表示を行う。例えば、下記のようなものがある。

3.1 工事の進捗表示

プロジェクトに付随するデータの提示の例として、ひとつは作業の進捗状況を示すものである。未着工の工程、進行中の工程、終了した行程をそれぞれリスト表示し、出来型表示部分にも、色分けして反映させる。その様子を図 6 に示す。進捗状況が工程ごとに確認できるほか、分量なども感覚的に把握できる。

3.2 コストの累積表示

ある時点でのコストと環境負荷物質排出量の累積を時間軸に沿って表現する。コスト表示の機能については、日本ではプロジェクトに対する一括支払いが多いのに対し、欧州では、一定期間ごとの出来高払いが多いという理由で必要性が高い機能である。累積表示の様子を図 5 に示す。

3.3 外観の検証

形状データの表示は、濃淡の表現だけでなく、素材感も設定できるようにした。DXF ファイルでは、色の指定が可能であるが、図面の作成段階では不要で、設定されないことが多い。アプリケーション上で工程を再現するには、見た目の色や質感は重要なため、この不備を開発するアプリケーションで補う必要がある。それぞれの部材の素材データを関連付けて、表示の際に作業状況表現の視覚的なリアリティを向上させる。DXF にはテクスチャに関する記述がなく、素材データの蓄積は独自に行う必要がある。

4. システムの有効性と発展的利用

図面と、工程スケジュールをリンクさせて可視化することで、時間軸に沿った作業の進捗状況が視覚的に確認できるようになっている。工事の開始から終了までをアニメーションで表示するだけでなく、特定の時間における出来型の確認も出来る。複雑な工程を経るような作業の場合でも、事前に施工工程計画のシミュレーションが可能であり、設計者、発注者、現場の作業員の間でスムーズな意思疎通が実現できる。外観の素材データも設定できると、よりリアリティを持って、検討・分析が可能である。タブを切り替えてコストの累積度合いなどの付随したデータ視覚的にも把握可能であり、必要な情報を統合的に扱えるようになっている。

結果として、一連のプロジェクトに見られる、1) 計画図の完成度や精度が評価しづ

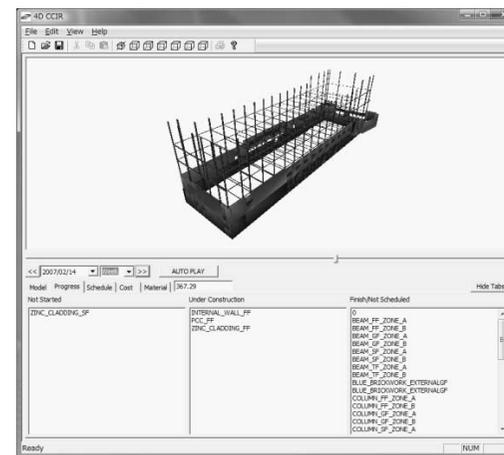


図 6 進捗状況の区別表示

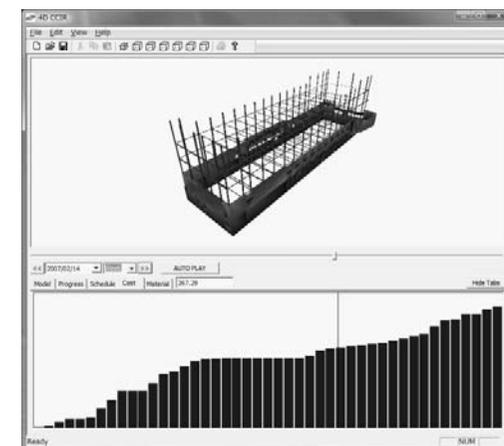


図 5 コストの累積表示

らい、2) 進捗や細部についての伝達が難しい、3) 進捗を映像化しづらい、4) 業務の指示を映像化しづらい、5) 部品の衝突/干渉、製造過程の時間的な衝突が発見しづらいという問題の解決策を提供できる。建築業者、設計事務所、発注者の間で施工手順を事前に確認し合うことができる。従来の工程表に加えて立体モデルでの施工工程を表現することができるため、現場作業員に対しても明確な指示を与えることができる。

本稿執筆時点では実装されていないが、このシステムを核とした発展的な利用も考えられる。

4.1 用地利用計画

現段階で本システムの取り扱う事柄は、プロジェクト対象の建造物に限定されるが、近い将来は、建設用地の利用をも時系列に沿って取り扱うことを目指す。一例を図7に示す。プロジェクトの進行中、建設用地の一部は資材置き場として利用されるが、資材の移動や、運搬経路も事前に検証することで、必要とされる資材が置かれているのかどうか、地形的に搬入可能なかどうかなどといった、現実的な問題も事前に確認することができる。搬入計画も効率的なものにできる。

4.2 環境負荷物質排出量の可視化

建築物の評価尺度の一つとして環境負荷の重要性が増しており、価格や工期で目標を満たしていたとしても、環境負荷の値が大きければ建築物として望ましくないという意識が働くようになってきている。通常は、資材の生産から建物の運用期間を経て、廃棄に至るまでの環境負荷を計算することが求められることが多いが、建造するものが決定されている場合は、どのような手順で立てても、建造物自体がもたらす環境負荷物質の量に大きな違いは生じない。

本研究では、利用される部材データと一般に利用できるインベントリデータとを整合させて、環境負荷物質の排出量を可視化し、実感できる数値として提示するほか、資材運搬などの建築計画時における資材移動の効率化を図ることで環境負荷を軽減するような圧力を生じさせることを目的とする。あるいは、建設現場周辺住民との合意形成に際する有害物質の排出量公開という側面も持たせられる。

日本における温室効果ガス排出量の4割程度は建設業にかかわるものと言われており、不必要なエネルギー消費を削減できるツールを提供することは、経済的にも有意義なことと考える。

4.3 都市計画への応用

3次元の形状データを持っているので、それらをオンライン上の地形図に配置して景観の検証を行うのに用いる。作業例を図8に示す。景観への配慮に役立つほか、地域住民との合意形成にも役立つ。地形図と連携できると、広域な地形図への建造物を

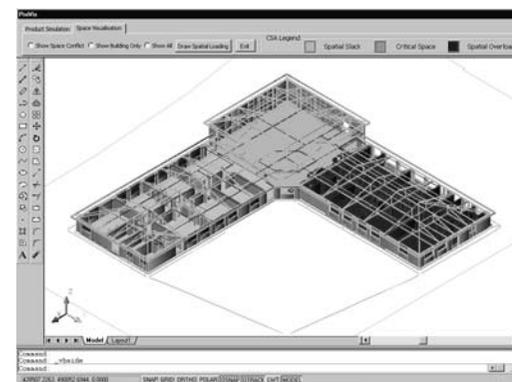


図7 建設用地の利用計画

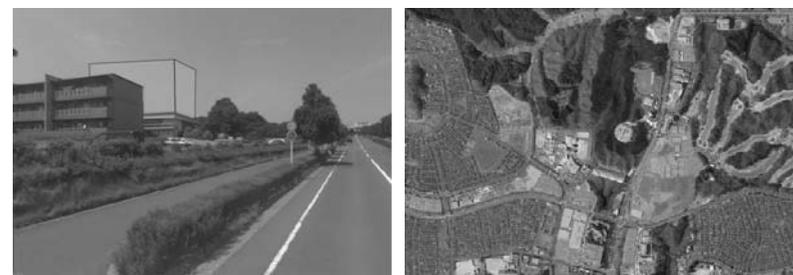


図8 景観の事前検証と都市計画

配置していくことで、都市計画にも役立つ。単に建物の配置計画を行うだけでなく、複数ユーザによる操作を許すことで協調的作業が可能になる。また、ランドマークや特定のエリアからの距離、あるいは配置位置の標高などをリアルタイムに提示するなどして、配置時のルール付けを行えば、複数ユーザの、特に建設業者、自治体、周辺住民の間での合意形成に貢献できる。

5. おわりに

建築計画の解析や検査に必要と思われる機能のうち、形状データの読み込みと、スケジュールデータの読み込み、そして両者をリンクさせて時間的条件による表示切替えを可能としており、AutoCAD、MS-Project で作成された既存のリソースの活用によって建築生産における VR の必要性に応えるシステムについて述べ、その上での付加的な情報提示と発展的利用について考察した。既存のデータをインポートして互いにリンクさせるインタフェースを提供することで、従来型のタスクを変えることな 4D CAD のアドバンテージを得ることができる。

発展的な用法としていくつか実装の機能についても提案した。運搬車両の搬送路の検討、重機の設置位置やスペース、資材の一時格納場所、搬入順序などの検討までを含めて総合的に建築計画のシミュレーションができるようになり、事前にプロジェクトの進捗を検証できる。環境負荷物質の排出量を抑制する手助けや、地形図と組み合わせて完成後の全体を見ることができ、開発地域全体の景観が視点を変えて検証することができる。周囲の景観との整合性などを複数ユーザで行い、さまざまな立場でプロジェクトに関わる人たちの合意形成に役立つものになる。

謝辞 A part of this research has been supported the NEXT Program (Funding Program for Next Generation World-Leading Researchers) by the Japan Cabinet Office.

参考文献

- 1) 永尾眞, 福島清, 曾根巨充, 藤井裕彦, 松葉裕, 細川隆司, 東間敬造, 萱嶋敬:「数量算出とコストコントロールの可能性」, 日本建築学会技術報告集, 第 21 号, pp.373-377 (2005)
- 2) 矢吹信喜, 小谷隼, 志谷倫章:「バーチャルリアリティを利用したプロダクトモデルに基づく鋼桁橋設計システム」, 土木情報利用技術論文集, Vol.13, pp.211-220 (2004)
- 3) 矢吹信喜, 蒔苗耕司:「プロダクトモデルと 3 次元/4 次元 CAD」, 土木学会誌, Vol.90, No.5, pp.23-25 (2005)
- 4) 矢吹信喜, 志谷倫章:「PC 橋梁の 3 次元プロダクトモデルの開発と応用」, 土木学会論文誌, No.784/VI-66, Vol.90, No.5, pp.171-187 (2005)
- 5) 河内康:「プロダクトモデルをめぐる情勢, 第 7 回建設情報研究所研究発表会」 (2005)
- 6) (社)建設コンサルタンツ協会:「建築分野におけるプロダクトモデルによる情報連携～プロダクトモデル読本～」 (2008)
- 7) 嘉納成男, 八尾唯仁, 細田正紀:「バーチャル建設現場システムの開発ープロトタイプシステムの開発とその開発課題」, 第 18 回建築生産シンポジウム, pp.67-72 (2002)
- 8) 嘉納成男, 細田正紀, 香川洋平, 田村尚希, 宮本貴之:「バーチャル建設現場システムの開発ー建築工事の可視化シミュレーション」, 第 19 回建築生産シンポジウム, pp.95-102 (2003)
- 9) 嘉納成男:「施工シミュレーションの動向」, 建設の施工企画, 708 号, pp.18-24 (2009)

- 10) 檜山和男, 市村強:「数値シミュレーションへの 3 次元 GIS/CAD データの利用」, 土木学会誌, Vol.90, No.5, pp.28-29 (2005)
- 11) 西松建設株式会社における MicroStation モデリング活用事例,
<http://www.bentley.co.jp/info/usercase/nishimatsu.htm>
- 12) Nashwan Dawood, Eknarin Sriprasert, Zaki Mallasi, Brian Hobbs: “Development of an Integrated Information Resource Base for 4D/VR Construction Process Simulation & Visualization”, CONVR 2001
- 13) Nashwan Dawood, Eknarin Sriprasert, Zaki Mallasi, Brian Hobbs: “4D Visualisation Development: Real Life Case Studies”, CIB W78 conference (2002)
- 14) Nashwan Dawood, Darren Scott, Eknarin Sriprasert, Zaki Mallasi: “The Virtual Construction Site (VIRCON) Tools: An Industrial Evaluation”, ITcon vol.10 (2005)
- 15) Bauke de Vries, Jeroen M.J. Harink: “Generation of a construction planning from a 3D CAD model”, Automation in Construction, No.16, pp.13-18 (2007)
- 16) Leen Seok, Kang, Sang Bok, Jee, Chang Hak, Kim: “4D System for Visualizing Schedule Progress of Horizontal Construction Project Including Earthwork”, CONVR 2006
- 17) Takanori TERASHIMA, Nami Amarume, Koji Makanae, Nashwan Dawood: “Development of a Construction Planning Tool by Integration of Application Data”, CONVR2010
- 18) 寺島賢紀, 蒔苗耕司, Nashwan Dawood: 「多次元情報表示型施工計画ツールの構築」, 日本設計工学会誌, Vol.45, No.10, pp.50-66 (2010)
- 19) DXF Reference :
<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?siteID=123112&id=12272454&linkID=10809853>