

建設工事におけるバーチャルリアリティ技術への期待

嘉納 成男

建設における3次元CADの導入は、製造業の積極的な導入状況を見ても、将来の大きな課題となっている。一方、建設の計画や管理において、3次元CAD情報を有効に使い、管理業務の質を向上するとともに、効率を高めようとする多くの試みがなされ始めている。本報文においては、建設分野における3次元CAD情報を工事段階において有効に活用するバーチャルリアリティ技術についての試行事例を紹介して、その考え方と将来の展望を述べる。

キーワード：バーチャルリアリティ、3次元CAD、工事計画、工事管理

1. はじめに

最近、製造業における3次元CADの導入が積極的に進められている。3次元CADソフトの充実とともに、コンピュータの演算や表示能力の向上によって、実務面での展開が可能になって来たためである。また、製造業における製品サイクルの短縮によって、設計期間の圧縮や製造における問題点の早期発見などのために、各種のCAEによるシミュレーションが重要になってきた現状も、その導入の必要性を高めている。建設分野においては、以前から3次元CADへの興味が深く、各種の試みがなされているものの、現時点においても、全面的な3次元CADの導入は進んでいない。

今後、製造業における3次元CAD導入の状況や、3次元CADソフトやコンピュータ機器の発展を考慮すると、建設業においても、3次元CAD導入への道を進まざるを得ない状況にあることは明らかである。

本報文においては、建設分野における3次元CAD情報を工事段階において有効に活用するバーチャルリアリティ技術についての筆者の試行事例を紹介して、その考え方と将来の展望を述べる。

2. 建設工事における計画・管理技術の改革

(1) 情報の過多と処理能力の不足

建設におけるコンピュータの利用は、長年にわたって着実に現場に定着していったものの、そこで行われているコンピュータの活用は、ワードプロセッサ、作

表、図面作成、データベースなどの情報の作成、保管、参照が主要な活用範囲となっている。また、インターネットを介した情報の配信、閲覧など、工事計画や管理者が得られる情報量は増大の一途にある。

しかし、これらのコンピュータ技術は、管理者の情報収集能力を増大させたものの、管理業務そのものはほとんど変化していない。コンピュータはいまだに従来の業務体系の中で使用されている状況にあり、新しい管理方式や管理手法を生み出すまでには至っていない。データベースやメールなどは、管理業務に大きな変革を与えたが、鉛筆がキーボードになり、ファクシミリがE-mailになり、業務マニュアルがWEB Siteになったのみで、業務の本質には大きな変化を与えていないと言える。戦後、建設における施工技術は大きな進歩を果たし、機械化や工業化工法など、革新的な技術発展がなされた。一方、建設作業は労働集約的であるとよく言われるが、現場管理においても労働集約的な管理が行われ続けている現状にある。

コンピュータを活用した情報提供や情報検索など、エンジニアに豊かな情報を与えれば、よい管理が出来るという考え方は大きな誤解である。管理者が情報過多になり、情報のハンドリングに明け暮れ、有用な情報に基づいた思考を妨げることになる。膨大な情報を蓄積しているデータベースの参照、関連する部門や外部業者から発信される大量のメールなど、情報の洪水のなかに管理者は置かれている。各種業務の確認事項や、指示、協議など、情報のハンドリングで膨大な時間を消費している現状にある。

(2) 知的支援の必要性

コンピュータの導入によって、さも当然のごとく、管理者の数が減員されている状況は、管理体制に大きな歪を生じさせている。コンピュータの導入で管理者の情報ハンドリングの能力は確かに向上したが、従来、管理者の片腕として簡単な判断や計画案のたたき台を作成していた部下は少なくなり、またいなくなってしまった。部下は単なる資料の整理や清書などを行っていたのではなく、上司の指導の下で出来る範囲での思考プロセスの補助を行っていた。生産の現場におけるコンピュータ化は、従来まで配員されていた知的支援を行い得る部下を排除し、資料の整理や清書さらには送付などの、非知的作業のみを行う部下（コンピュータ）が配属された状況を造り出している。

このため、管理者は以前よりも増して、多くの思考プロセスを行わなければならない状況に置かれている。さらに、満ち溢れる情報の過多は、思考プロセスにおいて考慮すべき情報量を倍増し、思考プロセスをより難しいものへと変えている。このような状況において、管理者の「ちょっとした」思考ミスや欠落が、組織的なプルーフや再確認もされないまま現実に移され、「とんでもない」事態を引起すことは明らかである。その確率が100万分の1であったとしても、建設プロジェクトの大きさを考えれば、このような事態が各箇所頻発することになる。

情報提供の技術とともに、提供された情報に基づいて、管理者の思考プロセスを助ける仕組みが必要である。この仕組みは、提供される情報の多さや密度の濃さに従ってより高度な技術が要求される。

(3) 時空の掌握

工事計画者や工事管理者に対して知的支援を行うには、それ相応の手法が必要になる。

これまでに開発された手法に目を向けると、まず、統計分析手法がある。過去の工事実績の分析や各種の要因間の関係を把握出来るため、品質管理や工程管理に大きな役割をなしている。

さらに、数理計画法の出現は最適化問題としての解法を可能にし、CPM手法などにおける工期とコストの関係を求める原理となっている。

建設において大きな出来事は、PERT/CPM手法である工程ネットワーク手法が開発されたことである。それまでバーチャートとして感覚的な時間管理から数量的な時間管理を行うことが出来るようになった。この手法によって、建設にとっての時間軸を正確に捉えることが出来るようになったと言える。

さらに、その後、コンピュータの発展と普及によって、大量のデータを取扱えるようになるとともに、データベースの仕組みが編み出され、大量のデータを保管、検索、参照することが可能になった。

さらに、思考ロジックをコンピュータで解析、運用するAIやExpertシステムの各種の手法が開発され、経験的判断ロジックをコンピュータで再現することの試行が行われており、If-Thenルールやニューラルネットなど実用に供している手法も出現している。

これと並行して、1980年ごろから芽生えてきた3次元CADやVRの技術は、その後コンピュータの能力の飛躍的な発展によって、実務において活用出来る状況に到達しつつある。3次元CADやバーチャルリアリティの技術、建設における3次元空間を正確に把握することを可能にしたと言える。

空間は、建設にとって非常に重要な要素であるにもかかわらず、最近まで、それを正確に把握する術を持たなかった。図面と言う2次元で構築物を表す方法論には成功したものの、正確に「もの」の形や配置を表現するものではなく、見る人の判断能力に大きく依存する道具であった。3次元CADの出現によって、「もの」を3次元空間の座標軸によって把握することが出来るようになった。これによって、建設における「もの」を時間と空間の4次元の世界で完全に把握し得たと言える。

3. バーチャルリアリティ技術を活用した計画管理

バーチャルリアリティ技術は、工事計画者や工事管理者に対して、「空」を情報として取扱うことを可能にする。これまでに工程ネットワーク手法によって、「時」を情報として取扱うことに加えて、「空」を取扱えることは、これまで以上に工事計画者や工事管理者が、知的支援をコンピュータから得られることを意味する。

工事現場を表現するためには、部品、部材、さらには仮設資材や工事用機械、作業員などの目に見えるもの（実体があるもの）の空間的な形状、位置や方位が重要な要素となる。また、工事の進捗を表現するためには、これらの実体の時系列的な動きの把握が不可欠である。さらに、工事現場における状況を示す「場」の情報化が必要となる。¹⁾

建設現場の状況を示すこれらの要素を纏めると、以下に示す5つの要素として捉えることが出来る。

① 時間

取付け時刻、開始時刻、経過時間など、時間・時系

に関する要素

② 空間

取付け位置，作業域など空間領域に関する要素

③ 実体

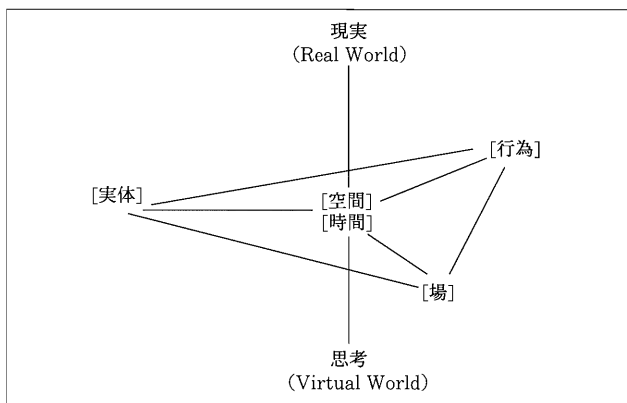
取付け部材，作業者など視覚的に確認でき実在する要素

④ 行為

取付け作業，作業者の動きなど，物の動きに関連する要素

⑤ 場

粉塵の場など，個々の実体としてよりも状況として把握される要素やまた，騒音など目に見えないが状況として把握される要素



図一 工事を表現する要素

図一は、5つの要素について関係を模式的に示した図である。バーチャル建設現場では、空間軸，時間軸をその座標系として、実体，行為，場が相互に関係し合いながら、工事が進む状況を作り出す。そして、バーチャル建設現場に対応して、リアル建設現場（実在する現場の状況）が存在する。バーチャル現場とリアル現場は、「思考」と「現実」とを表しており、それぞれの情報はバーチャルがリアルになった時点で同等になる。バーチャル建設現場では、我々が思考によって建設現場の内容を想像し、考え、計画し、記憶していることが、実際に工事がなされた時点でリアル現場と相互に一致する。バーチャル建設現場とは思考上の将来を示し、リアル建設現場は過去、現在の姿を示している。

4. 建築におけるバーチャルリアリティ技術の試行事例*

(1) 3次元CAD情報に基づく仮想現場見学

建築工事の円滑な運営においては、近隣の住民，関係者の工事に対する理解が不可欠である。敷地で始ま

る将来の建設の内容やその近隣への影響などを、近隣の住民，関係者に正確に説明することは非常に難しい。完成時の透視図や，立面図，平面図，総合仮設計画図などを提示しても，将来の工事による近隣への影響を正確に把握し得る一般人は少ない。近隣住民・関係者の理解の不足や誤解は，工事の着工後色々な形でクレームとして現れて来る。説明時には良く判らず納得していたが，工事着工後に建物や仮設の姿が現れてくるとそれが誤解であることが判り，不満を訴える近隣住民，関係者は多い。着工前に将来の工事現場の状況を精密なCG画像やReal Time Walk-Thruで見ることによって，近隣の理解を深める手段となる。

図一2は，建築工事現場の近隣から見た状況を示したCG図である。また，図一3は，工事現場の中での掘削工事において，どのようなことが行われているかを，近隣の住民に説明する資料である。工事の専門家



図一2 工事現場の近隣風景



図一3 工事現場の掘削工事の状況

* 本システムは，Virtual Construction Site Systemsとして開発したものであり，3次元CADシステムとして，MicroStation（日本ベントレー社），Real Time Walk-Thruシステムとして，WorldUp（旭エレクトロニクス社）を使用している。

でない近隣住民にとっては、どのような説明や2次元図面よりも、視覚的に見える形で示すことによって、複雑な内容であっても、その将来の姿を十分に理解できる。

このCG画像に加えて、Real Time Walk-Thru技術を用いて、近隣住民が現場内や現場周辺を移動しながら将来の姿を視覚的に判断、確認する効果は大きい。

(2) 作業安全の視覚的検討

建築作業における作業要領やマニュアルを3次元表示にし、かつアニメーションを含めることによって、従来判り難かった、作業の要点やノウハウを容易に理解、習得させる効果が期待できる。また、現場での安全性の検討など、アニメーションを活用することによ

る効果は大きい。

建設工事における技能の低下や経験年数の不足を補うには、作業者が理解しやすいように、作業手順や方法についての作業マニュアルによる教育が不可欠である。CG画像やアニメーションによるマニュアル化は、今後の建設作業において重要な位置付けとなる(図-4)。

また、複雑な構造形式を持つスペースフレームなどの建設では、今後の工事進捗によってどのような構築物が出来上がっていくのかについて、作業者や関係者に視覚的に説明し、作業の安全に対する理解や作業の手順、方法を感覚的に理解してもらおう効果は大きい。

(3) バーチャル建設シミュレーション

工程進捗の状況について、シミュレーションを行い

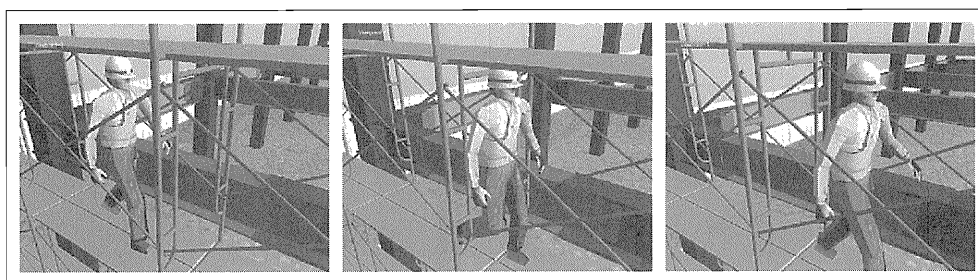


図-4 枠組み足場における安全性の検討

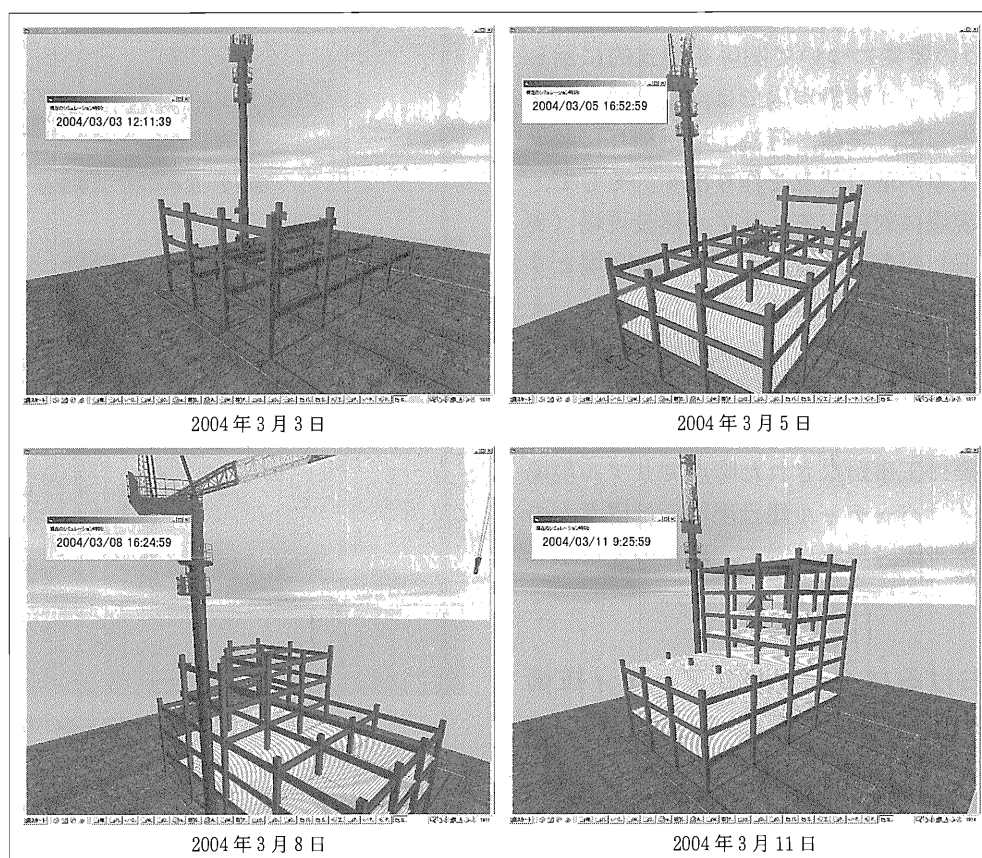


図-5 建設シミュレーション結果

その過程を視覚的に表示することによって、将来の工事の進捗状況を容易に理解できる。²⁾

工事計画にバーチャル建設現場のシステムを使用することによって、現場の状況を時系列的にかつ3次元空間として、視覚的に確認しながら工事計画を検討することができる。これは、机上において現場主義に一步近づくことが出来ることを意味し、各時点における現場の状況を視覚的に確認しながら合理的にまた感性的に工事計画を進めることが可能になる。また、3次元CAD情報を用いて、各種のCAEシステムを動かすことによって、より高度な工事計画を達成し得る。

バーチャルリアリティを用いた建設シミュレーションは、従来から第三者には説明が難しかった工程の進捗に関する理解を深める手段となる。また、図-5に示すごとく、立案した工事計画に基づいて模擬的に工事を進捗させてみることによって、安全性、生産性など工事の問題点や改善点を工事管理者が見出す手段ともなる。

(4) 工事計画と現場写真との照合

建設工事においては、多くの写真を撮影する。これは、工事の各時点での記録として、また証拠写真とし

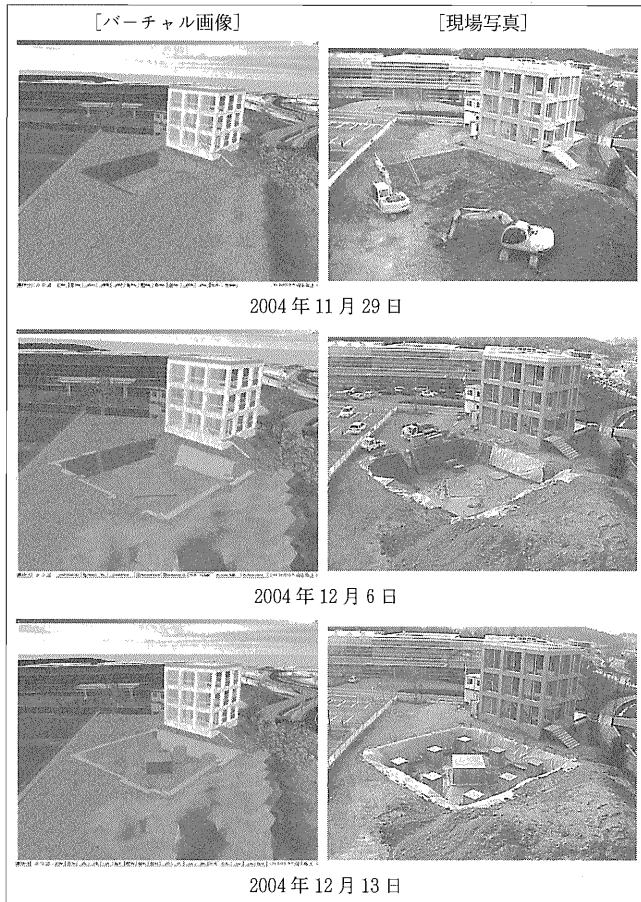


図-6 バーチャル画像と現場写真との比較

て、大きな役割がある。工事写真は、現時点の現状を表すとともに、過去の時点における工事の進捗の状況を記録している。

すなわち、バーチャルリアリティは、思考の上での工事の状況を示したり将来の状況を現しているため、工事写真と重ね合わせることによって、計画と現実との相違を調べたり、確認することが出来る。³⁾

図-6は、計画時点での工事現場の状況を示したバーチャル画像と、モニタリングカメラから撮影した各時点の工事現場の写真である。

このバーチャル画像は、前述した建設シミュレーションの実施過程で得られるものであり、計画に基づく進捗を示している。このため、2枚の画像を重ね合わせることによって、そのときまでに完成していなければならない部材の有無を画像の比較によって明らかにすることが出来る。この手法を用いることによって、管理者は進捗管理をより直感的にまた正確に行うことが出来るようになることが期待される。

(5) 工事写真データベース

工事現場では、膨大な記録写真を品質確認データとして撮影する。これらのデータを、3次元CAD情報と融合して蓄積しデータベースとすることによって、検討対象の部位に関連する写真データを容易に抽出することが出来る。これによって、竣工後の維持保全データとして、工事記録写真は竣工図とともに役立つことが可能になる。⁴⁾

図-7は、建築物の特定の柱を指定し、それに関する工事写真を検索対象としていることを示している。この結果、図-8に示す4つの写真を検索することが出来る。検索には、VR画面上でマークした位置、視点、視線方向など、3次元座標データに基づいて、検索対象に近い写真画像を検索するようにしている。

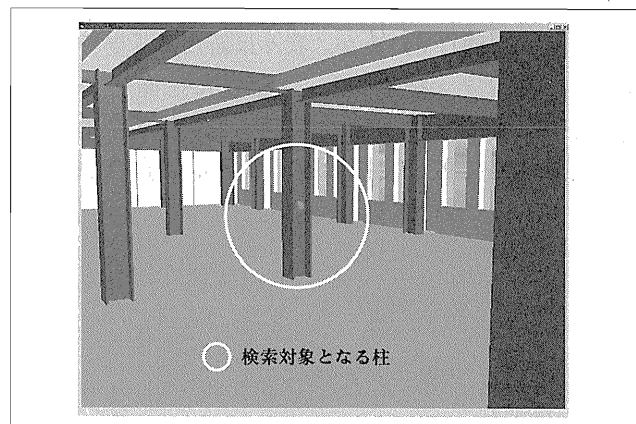


図-7 管理対象となる柱のVR画像



図-8 検索結果

6. おわりに

バーチャルリアリティ技術は、建設工事における計画や管理の新たな手法を生み出す技術となる。工程ネットワーク手法が開発されて以来、「時」のみを情報として計画、管理していたが、我々は新たに「空」をバーチャルリアリティ技術によって正確に把握が出来る。時空を制することによって、管理技術者の各種の計画や管理業務を知的に支援するより高度な手法を提供することになると期待される。

JCMIA

《参考文献》

- 1) 嘉納成男, 他: バーチャル建設現場システムの開発, プロトタイプシステムの開発とその開発課題, 建築生産シンポジウム, 2002.07, 日本建築学会
- 2) 嘉納成男, 他: バーチャル建設現場システムの開発, 3次元CAD情報に基づく部材取り付け順序の推定, 建設ロボットシンポジウム, 2004.09, 建設ロボット研究連絡協議会
- 3) 金, 嘉納: VR技術を用いた現場写真の活用化, 情報システム利用技術シンポジウム論文集, 2004.11, 日本建築学会
- 4) 金, 嘉納: 建築生産における現場写真とVR画像との比較, 建築生産シンポジウム, 2004.07, 日本建築学会

【筆者紹介】

嘉納 成男 (かのう なるお)
早稲田大学理工学部建築学科
教授
工博

