

複合現実感による作業支援

坂内 祐一, 山本 裕之

製造業においては設計部門への 3D CAD の導入が進み VR を利用した仮想試作などが可能になっている。さらにこの CAD データをもとに生産 / 販売 / サービスの分野まで一貫した情報管理によってトータルな製造コスト削減の試みが盛んになっている。本論文では、仮想世界と現実世界を融合させる技術である複合現実感を用いて、仮想試作から生産 / 販売 / サービスにまで応用可能な作業支援システムの研究事例と今後の展望を述べる。

Mixed Reality Systems for Supporting Spatial Work

Yuichi BANNAI, and Hiroyuki YAMAMOTO

3D CAD system, which has been introduced in design department of manufacturing enterprises in recent years, enables virtual prototyping without any clay mockups. The goal of IT management of total manufacturing process, which includes design, production, sales, and service processes, using 3D digital data is to reduce the production cost. In this paper, we describe the case study and the future view of Mixed Reality systems for supporting spatial work, which are applicable to the manufacturing process.

1. はじめに - 3D CAD 導入のインパクト -

製造業においては設計部門への 3D CAD 導入が急速に進んでいる。3D CAD 導入に伴い設計データの編集・加工作業が柔軟に行なえるようになり、様々なビジュアライズ機能や干渉チェック機能などにより実物試作以前に多くの確認や検証が可能になったことで、設計作業の効率化に重要な役割を果たしている。さらにこの 3DCAD データを元にして、製品の設計のみならず、試作 / 生産や販売 / サービスさらには廃棄 / 回収まで製品のライフサイクル全体の業務を IT を使って管理しようとする PLM(Product Lifecycle Management) の実現へ向けた取り組みが始まっている[1]。

すなわち上流工程である設計の CAD データを下流工程も含めて共有することにより、問題点の早期発見、試作コストの削減、手戻りコストの削減、製品の開発期間の短縮と開発費の大幅な圧縮を目指すのが目的である。図1にこの具体的なデータの流れを示す。企画

段階での製品企画書をもとに設計情報が設計部門から 3D CAD データとしてアウトプットされ、これが生産や販売などの段階でそれぞれ必要なデータへ変換され活用されていく。

各段階での具体的なシステムとしては、CAD 以外に、デジタルモックアップ(DMU)ツール、組立指示書などの電子マニュアル作成支援ツール、工程シミュレーションツールなどがあるが、これらは現状 VR 技術を応用したツールとして実現されている。VR ではこれらの製品データを仮想データとして PC で処理し結果を PC のディスプレイ上に表示して作業が行なわれるが、実空間での仮想物の見え方を再現したり、実空間を利用した作業をシミュレーションしたりする場合には、実空間自体を仮想環境として PC で実現する必要があるため実質的には限界があった。そこで実空間と仮想空間を融合する技術である複合現実感を用いることでこれらの限界を打破しより現実に即したシステム構築の可能性がある。本稿では PLM の流れを踏まえながら、複合現実感の産業応用への研究動向と可能性についての展望を述べる。

キヤノン (株) MR システム開発センター
MR Systems Laboratory, Canon Inc.

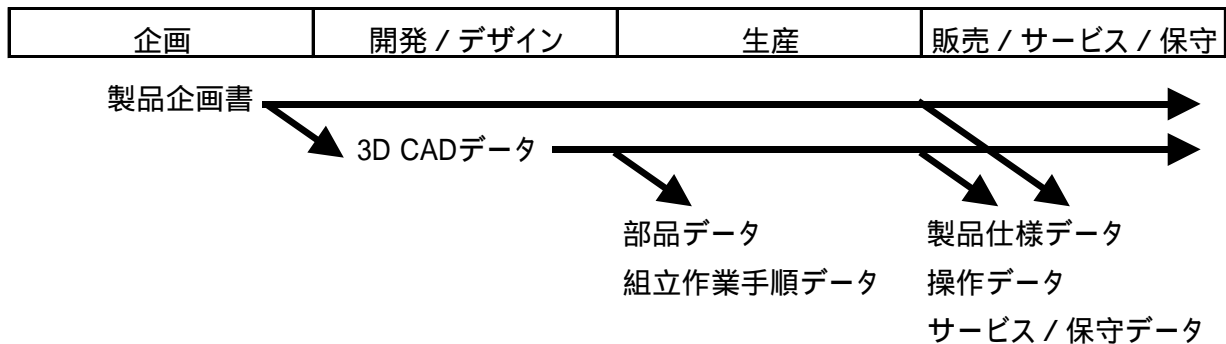


図1 製造業における3D CADデータを中心にした部門間の情報の流れ

2. 複合現実感による作用支援

ここでは Product Lifecycle を上流から大きく 1)設計・デザイン, 2)生産, 3)販売・サービス・保守の3つに分けて複合現実感による作業の支援の研究例を中心に述べる.

2.1 設計 / デザイン

設計 / デザイン工程では、3DCAD や 3D デザインツールのデータを 3D Viewer により自由な視点から表示して部品や概観形状の確認を行ったり、Rapid Prototyping によるモックアップ作成を行ったり、デジタルモックアップツール(DMU)による干渉チェックを行ったりする事により、実物の試作をなるべく減らす傾向が強まりつつある。さらに複合現実感(以下 MR と表記する)を用いることにより、従来コンピュータディスプレイ上で表示されていたデータを実空間に置くことができるので、実空間の中に実物大に表示された仮想物を HMD を装着したユーザが、自ら視点を移動しながら(頭部の移動・首振り等)の見え方の確認や、仮想物を実物のプロトタイプと並べての比較なども可能であるメリットがある。このような試みは試作にコストがかかる自動車産業などで多数行われている。

研究例を紹介すると、Fata Morgana [2]は、自動車のデザイン支援を目的とした MR(AR: Augmented Reality)システムである。論文では、デザイナーによる外観評価の方法を実際にビデオに撮影して分析して5つのシナリオにまとめている。1)遠くから眺めて車(クレイモデル)をターンテーブル上で回す。2)車の周りを歩き回りながらの全体評価。3)近づいて詳細をチェック。4)

車を前にしての同僚との議論。5)現状の車と新しい車の比較。当初の目的はデザイナーが試作品なしで前の車のモックアップとの比較を行ったり、詳細なデザインの検討を行ったりすることであったが、BMW のデザイナーを対象にした実験に用いられたのは、AR Toolkit[3]を用いて机上のブックレット上に車を表示するシステムである。考察としてマウスなどを用いて仮想の車の視点を変えるより、歩き回るインタフェース(Walking around interface)の方が有効であることや、デザイナーは車の詳細をチェックするために動いたときの反射光の様子を観察しているので、リアルタイムの反射シミュレーションが必要であることなどが述べられている。

やはり自動車のデザイン支援システムである Space Design[4]は、外観デザインの評価だけでなく、CAD データを読み込んで 2D パレットとスタイラスペンを用いて HMD を装着した状態で 3D 曲面の形状を変更することが可能なシステムで、マーカをカメラで識別してトラッキングを行なっている。デザインツールからモックアップを作成し、モックアップでの修正をデザインツールデータの変更により反映させていたプロセスを省略して、ラフスケッチからデザイン図完成までを一貫してサポートしようとするシステムである。市販の CAD システムのファイルへの import, export の機能も備えており、MR システム中に積極的にデザインツールの機能を盛り込んでいこうというアプローチである。オープンカーのミニチュアへの屋根の取付け、エンジン室のパイプの配管シミュレーション、モックアップへの着色などの試用を行なっているが、これらの評価については述べ

られていない。

この Space Design のように MR システム側で CAD のファイル交換を可能にしてデザインワークフロー全体のサポートを目指すことは重要であるが、CAD の形状変更機能、さらにデジタルモックアップの干渉チェック機能を MR システム側に取り込んでいくのは、HMD を装着して 3D 空間での操作が伴うという UI・操作性の問題や性能面での制約が多く現状では困難が多い。むしろ CAD や DMU ツールに MR との表示・インタラクションの I/F を設けて、MR に適した機能のみを MR システム側で実現するアプローチが現実的と考えられる。

また以上の研究では、デザインの外観評価業務だけでも実用化を目指すには、ロバストなトラッキング(計測範囲・計測精度の向上)、人間の視野に近い HMD 画角の実現、画質の向上(VGA, SVGA では不十分)、環境光のリアルタイム再現、などの MR の基盤技術での課題解決が必要である事も述べられている。

2.2 生産

生産部門では、設計部門からの図面をもとに工程設計や作業手順の決定を行ない生産を立上げるが、3DCAD データの活用により試作品なしで作業設計を検討したり、作業者に対し事前に手順を訓練したりすることが可能になっている。さらに 3DCAD データを実空間に配置した MR 空間を使って、人間の実際の空間的な動作を計測する作業計測・シミュレーション、また実空間と仮想物を用いての作業訓練などが可能になる。

3DCAD データを用いて自動車組立作業者の訓練を目的とした研究例に AR Doorlock Assembly[5]がある。自動車のドアにドアロック部品を取り付ける作業は、見えにくく狭い場所に正確に力を入れて取り付ける必要がある。両手でねじを取り付ける作業も含むので、両手が自由に使えるような MR(AR)システムを開発した。設計のアウトプットとしての CAD データは生産現場での作業指示に用いるには詳細過ぎデータ量も膨大になるので MR システムの動作速度低下を引き起こす。表示速度を向上させるためにこのシステムでは、CAD

データを組立作業上影響がない程度削減している。本物のドアに仮想のドアロック部品とともに grip や move の作業指示をアニメーション表示して作業指示をするシステムを展示会にて来訪者に試用させた。問題点としては、カメラによるマーカ識別を用いた Tracking でマーカを見失うことがある、早い動きを追従できない(Motion Blur が起こる)点、および Hands free UI を実現するために音声認識を試みたが会場の騒音のためうまく動作しなかった点等が挙げられている。実用化にむけた計画は述べられていない。

また、Boeing Project[6]は、ボーイング社で 1990 年から開発してきた AR を用いた配線作業支援システムの実験に関する論文である。従来の作業は 120X240cm のアルミボード(複数枚)に紙で印刷された配線パターンを貼り付け、マニュアルを参照しながらパターンに合わせて配線作業を行っていた。作業者が Wearable PC と単眼 HMD を装着する AR システムでは、紙の配線パターンを HMD 上に実写に合わせて重畳表示させると共に、ユーザがクリックボタン操作により必要な情報を取り出して HMD に表示させることができる。既存のマニュアルは配線の幾何学的なデータが保存されている CAD と配線情報からなるデータベースの情報で、これらを AR データへ変換するに機械的な Parsing, Interpreting は無理でマニュアルにて作業しなければならなかった。標準の作業手順書も存在しなかったため、実験に先立って AR データ作成のため話し合いで標準的な手順が定められた。1997 年に 6 週間にわたって 10 名の被験者(熟練者と初心者が混在)による大規模な実験を上述のアルミボード 2 枚を用いて行なった。その結果、作業時間についてはユーザマニュアルを読む時間の減少を見込んでいたが、所望の AR データを探し出す UI が良くなかったため時間が相殺され、従来法とほとんど差がなかった。長時間の HMD 装着による目への影響は検査の結果見られなかった。また実験に際して職場の状況や反応、すなわち担当者の熱意、作業者の抵抗など人間や組織的な阻害要因が大きかったため、本格導入はされていない。

生産部門の場合、現場の要求が非常に厳しい(信頼

性, 作業性, 時間, コスト等)のと, 導入に際しての阻害要因が多数考えられるため, Boeing Project が試みたようにMRシステムを用いながら生産すると言うより, 作業教育時の作業指示などが適していると考えられる。これについては 2.3 の販売 / サービス / 保守の節で取り上げる。

生産現場で最もMRシステムが活用できそうなのが, 作業シミュレーション・作業設計支援である。通常量産時の作業設計は部品と組立品の試作が全て完了した時点から本格的に動き出すが, 試作品が全て出来ていなくとも, 仮想部品をMR空間の部品棚や作業机に配置することにより組立の作業性などの評価を行なうことが出来る。MR空間で作業者の動作を記録し, すなわちHMDの画像(作業者の視野画像)や体の各部位に取り付けたセンサの値(位置 / 姿勢の値)を記録して(MR空間でのモーションキャプチャと言うことも出来る), 作業の評価をすることで作業設計支援が可能である。

2.3 販売 / サービス / 保守

ここでの作業支援の内容としては, 3DCAD データをもとに作成された仮想の製品をもとに, 操作方法やサービス方法などを訓練する例が考えられる。従来の紙やハイパーテキストベースの電子マニュアルのような頁めくりやナビゲーションによる検索ではなく, 人間の作業のコンテキストに沿って必要な情報を, 実空間をベースに文字のアノテーション表示・3Dモデルの表示・アニメーション表示によって, 直感的に分かり易く表示できるメリットがある。いわゆる紙 / 電子マニュアルに対して実世界指向MRマニュアルと言うこともできる。

研究例として, 原子力発電所の保守のためのシステム AR Power plant Maintenance[8]がある。この中で取り上げられている発電所の保守作業の現状は, 保守作業者が紙ベースのチェックリストと無線機を現場まで持ち歩き, 無線で指示者と更新しながら作業を進めている。この研究では, 紙のマニュアルから半自動で電子的な作業工程書を生成しデータベースに蓄積しておいて, 作業者の状況に応じたデータを信頼性の低

いネットワークでアクセスすることを前提とした Mobile AR system の作成を目的としている。作業者が次の指示を要求すると, 画面上の作業部分がハイライトされアノテーションやビデオが表示される。紙ベースのマニュアルをいかにAR化(Interactive Electronic Technical Manuals)して保守場所に応じた作業指示をHMDに表示するかと, Mobile 制約下でクライアント側にマニュアルデータすべてを持つことは不可能なので必要時に備えてクライアント側に予測データをプレフェッチして置くこと, さらに無線の通信切断に備えたデータ形式やデータ送信方法などのシステム構築がこの論文のポイントとなっている。この研究も実際の保守作業の一部分についてのシステム構築と実験にとどまっているが, IETM のシナリオ中のデータと3D仮想物の情報の意味的な対応付け, 音声入出力を含めたUIのマルチモ - ダル化やその表現方法などを課題としてあげている。一般的にはマニュアルをどのように実空間に配置するか, ユーザ操作で情報表示どう情報表示をinitiateするか(たとえば実世界の物に重畳させた仮想ボタンなどを設ける), 複雑な動作の場合どうユーザの動作や状態を検知してユーザのコンテキストや意図を取り出すかなどは, アプリケーションに依存した部分が多く難しい課題である。またこの研究に述べられている屋外を含めて非常に広い範囲を動き回る Outdoor Mobile MR (Wearable) System は非常にホットな話題であるが, ここでは取り上げない。例えば ISWC (International Symposium on Wearable Computing) などの論文を参照されたい。

3. MR 作業支援システムの展望と技術課題

3.1. VR の限界と MR

複合現実感の作業支援への応用領域をまとめたものが表 1 である。横軸は部門を表し, 縦軸はいくつかの応用領域をシミュレーションと指示 / 学習の機能に集約してみた。設計 / デザインの上流工程では, 設計物に対する確認の用途が主であるが, 生産より下流の部門になると実空間内で人間の実際の操作 / 動作を支援する用途もある。前者の例でMRがVRより優れてい

	設計 / デザイン	生産	販売 / サービス / 保守
シミュレーション	形状の確認 視認性の確認	作業シミュレーション (作業計測を含む)	
指示 / 学習		作業指示 作業学習	作業指示 操作学習

表1 複合現実感の応用領域

る点として、実物大表示や実環境下での観察が可能である点、Walking around interface など人間の普段の行動が直接反映されるインタフェースが可能になる点が挙げられる。VR において PC の画面に 3 次元物体を表示してマウスなどで View Point をコントロールする煩わしさを考えれば、MR ではより現実の行動に即した否フェースが構築できる意義は大きい。後者の例は、実空間に置かれた仮想物で人間自身が操作 / 動作のシミュレーションするというコンテキストで、全てを Virtual で扱う VR に比較して、動作に必要な実空間の一部を仮想物で表現できる MR が極めて有利な分野である。VR でごく当たり前のモーションキャプチャを、実空間と仮想物からなる MR 空間で行なうことにより、より現実的なデータが収集でき、さらに同時にビデオスルーの HMD から作業員視点の画像が取得できるというメリットがある。

以下 MR 自体の技術課題の他、システムを構築していく上で重要な、ヒューマンインタフェースの課題、グループウェアの課題について簡単にまとめた。

3.2 MR(HMD)の問題

ほとんどの MR アプリケーションで必須となる HMD の視野角の狭さは致命的である。現状筆者らが使用している HMD[9]の画角は 51 度であるが人間の視野角は 200 度程度あるので周辺視部分の解像度を下げても大幅に視野角を広げる必要がある。解像度も過去の研究例や我々の経験から最低でも XGA 程度は必要と考える。位置 / 姿勢センシングの範囲、精度の向上は実用化のためには避けて通れない課題である。またアプリケーションによっては光学的整合性を満足するた

めの環境光のリアルタイム計測も重要である。

3.3 ヒューマンインタフェースの問題

HMD を装着しながら 3D 実空間の作業を行なうということからヒューマンインタフェースの選択肢は限られてくる。HMD の画面に複雑なメニューを表示して色々な作業を選択させるのは好ましくなく、むしろ実物体を用いたタンジブル UI(TUI)こそ、MR の最も有望なインタフェースであると筆者らは考えている。TUI を使うことのメリットとして、

- ・タンジブルな物には強力なアフォーダンスがありユーザが直感的に操作を理解することができる。

- ・3D 空間での操作には、基準や手がかりとなる物が見えているか触れられるかが必要で、操作対象物その物を手にするのが最も自然である。(2D パレットなど基準となる平面を持たせる例[4]もある)

- ・上記に関連して、タンジブルな物のユーザ操作の結果を物に CG を重畳表示することで視覚的なフィードバックができる。このことが TUI の最も重要な概念である入力空間と表示空間の一致[10]をもたらす。入力空間と出力空間の乖離は、2D データを扱う場合より 3D データの場合深刻な問題になる。(3.1 で述べた画面上での 3D ビューアの操作が良い例である。)

- ・人間の五感のうち人工的に実現が最も難しい触覚を代行させる物として、形状だけのモックを作成して TUI として用いることができる。視覚・触覚に加えて、聴覚さらには嗅覚までを MR 空間で扱うことは可能である。

ただし、TUI には以下のような問題点もある。

- ・GUI のような汎用的なインタフェースは構築困難で

あるので、問題に応じた TUI の構築が必要となる。

・TUI として扱う物体のセンシングが常に必要となる。特に物体の変形を伴う場合は位置情報に加えて物体の形状までリアルタイムに計測できなければならないため非常に難しい。

3.4 グループウェアの問題

デザインや設計部門においては、デザインや設計の結果を多人数でディスカッションしながら作業を進めることは一般的なもので、2.1 で述べたMRシステムを多人数用に拡張した対面型 MR 設計 / デザイン支援システムのニーズは大きいと考えられる。MR では仮想共有物をHMDを装着した個々の参加者からの視点で見えるシステムを構築できるので、大画面を共有する VR システムとは異なる効果が報告されている[11]。また、設計・試作・生産など異なる部門間で(遠隔地の場合が多い)VR データを共有するシステムは実用の物もある。生産やサービス・保守の部門においては、MR 作業訓練システムやMR 作業指示システムに教師が介在するMR教育システムも考えられる。これらMR協調作業システムについては、対面型だけでなく遠隔型を含めて[12]に整理されているが、今後の研究に待たれる部分が多い。

まとめ

今後設計の上流工程から販売 / サービスの下流工程まで一貫したデータの共有による PLM の流れは加速するが、その中で用いられているVRシステムを置換 / 拡張する形でMRをベースとした作業支援システムが普及してくると考えられる。本稿で述べたように現在実用的なMRシステムが稼働している例はほとんど見当たらない。これはMR自体の技術が発展途上で成熟しておらず実際の現場での要求水準に達していないことが大きい。これに加えて使用に耐えうるヒューマンインタフェースの開発やシステムとして完成度の高いグループウェアの開発は実用にあたって必須の要件である。

参考文献

- [1] 木崎健太郎: 本当は現実的な PLM への取り組み, 日経デジタルエンジニアリング 2003 年6月号, pp84-91.
- [2] G. Klinker, A.H. Dutoit, and M. Bauer, "Fata Morgana A Presentation System for Product Design", In. Proc. of ISMAR'02, pp76-85 (2002).
- [3] AR-toolkit
<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [4] M. Fiorentino, R. de Amicis, G. Monno, and A. Stork, Spacedesign: "A Mixed Reality Workspace for Aesthetic Industrial Design", In. Proc. of ISMAR'02, pp86-94 (2002).
- [5] D. Reiners, D. Stricker, G. Klinker, and S. Muller, "Augmented Reality for Constructin Tasks: Doorlock Assembly", In Proc. of IWAR'98, A K Peters, Ltd., pp31-46, (1999).
- [7] D. Curtis, D. Mizell, P. Gruenbaum, and A. Janin, "Several Devils in the Details: Making an AR Application Work in the Airplane Factory", In Proc. of IWAR'98, A K Peters, Ltd., pp47-60, (1999).
- [8] G. Klinker, O. Creighton, A. H. Dutoit, R. Kobylinski, C. Vilsmeier, and B. Brugge, "Augmented maintenamce of powerplants: A prototyping case study of a mobile AR system", In. Proc. of ISAR'01, pp124-132 (2001).
- [9] 山本裕之: 複合現実感-仮想と現実の境界から見える世界-, 情報処理 Vol.43, No.3, pp213-216 (2002).
- [10] 石井裕: タンジブル・ビット - 情報と物理世界を融合する新しいユーザ・インタフェース・デザイン, 情報処理 Vol.43 No.3 pp222-229 (2002).
- [11] 清川清, Mark Billinghamurst, Daniel Belcher, and Arnub Gupta: 拡張現実感インタフェースを用いた対面協調作業のコミュニケーション過程, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.2, pp159-168 (2002).
- [12] 坂内祐一, 山本裕之, 佐藤宏明: 複合現実感によるグループウェアの展望, 情報処理学会研究報告 GN-48 pp57-62 (2003).