

汎用3次元CADエンジンの 調査と設計に関する技術開発

田中 成典

関西大学 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1)

本研究では、我が国の建設業界において3次元CADを迅速かつ低コストに普及させることを目的に、汎用3次元CADエンジンのプロトタイプの開発に向けて、以下の2つを目標とした。

- 1) 汎用3次元CADエンジンのプロトタイプに関する技術開発
- 2) 汎用3次元CADエンジンのプロトタイプに関する技術開発

「調査」においては、エンジン設計に必要な調査報告書を作成し、「設計」においては、エンジン開発に必要な基本設計書を作成した。そして、それらの成果が、建設ドメインのCADエンジンを開発する際の基礎資料となることを目指した。

キーワード 3次元, CAD, ISO 10303 (STEP)

1. 背景

我が国の社会基盤である産業基盤（道路、港湾、空港、電機、ガス等）、生活基盤（病院、福祉施設、公園、水道等）、国土保全（治山・治水、災害復旧、公害防止等）においては、社会基盤情報の整備・構築による電子国土の実現とその利活用が必要である¹⁾。

建設業界においては、公共投資の減少と熟練技術者の不足という制約の中で、高度成長期に整備された社会資本が更新期を迎えつつあり、限られた予算で増大する維持管理需要を賄いつつ、公共サービスの水準を維持しなければならないという厳しい課題に直面している。さらに、各地で頻発する自然災害への対応、公共事業の透明性や品質確保等、複雑かつ広範囲な課題もあり、これらの解決にはIT技術の総合的な活用による生産性とサービスの向上が不可欠である。

建設分野のIT活用については、CADデータ交換標準フォーマットであるSXF²⁾が開発され、国土交通省直轄事業の電子納品での利用や各社の商用製品に実装されるなど、2次元CADが主に利用されている。

一方、国土交通省CAL/ECアクションプログラム2008（案）³⁾では、目標③として「調査・計画・設計・施工・管理を通じて利用可能な電子データの利活用」を掲げている。その効果として、3次元データの利活用により、工事の一層の品質向上とコスト縮減及びスピードアップを図るなど建設生産システムの生産性向上が可能となる（CADデータの利活用）としている。そのために、

実施項目として、

- ・3次元データへの交換標準の策定
- ・3次元データを活用したモデル設計・施工の実施
- ・3次元データを活用した維持管理情報の可視化

を挙げている。これらの場面で3次元データを利活用するためには、3次元CADデータが生成される必要があり、3次元CADエンジンの果たす役割が大きい。また、目標④として「工事の一層の品質向上を図る情報化施工の普及促進」があり、3次元データの活用可能性が高い情報化施工を対象としており、建設分野に特化した3次元CADエンジンの活用が望まれる。

しかし、現状では、安価な3次元CADエンジンが存在しないため、建設分野では未だ3次元CADデータが十分に利活用されていない。建設事業のライフサイクルにおける様々な場面で利用可能な汎用3次元CADエンジンを迅速かつ低コストで普及させるために、汎用3次元CADエンジンの設計・開発を早期に実施することが必要である。

2. 本研究の概要

本研究では、我が国の建設業界において3次元CADを迅速かつ低コストに普及させることを目的に、汎用3次元CADエンジンの調査と設計に関する技術開発を行った。平成20年度は、「調査報告書」を取り纏めた。平成21年度は、汎用3次元CADエンジンのプロトタイプの「基本設計書」を作成した。また、本研究の成果を実用化するた

めに、共同研究者と共に産学連携プロジェクト（関西大学カイザー・プロジェクト：時間項を考慮した3次元CADエンジンの研究開発）を立ち上げ、「概略設計書」と「詳細設計書」を完成させた。本研究全体の流れを図-1に示す。

3. 汎用3次元CADエンジンのプロトタイプの開発に関する技術開発

(1) 調査の概要

本調査では、我が国の建設業界において3次元CADを迅速かつ低コストに普及させることを目的に、汎用3次元CADエンジンのプロトタイプを設計するための調査を行い、調査報告書（約170ページ）に纏めた。調査の詳細を以下に述べる。

(2) 調査の詳細

a) 建設分野における3次元CADの利用場面

現状の3次元CADと3次元データの利用場面を国土交通省の報告書、土木学会の学术论文、財団法人日本建設情報総合センター（JACIC）の報告書、Webページなどを参照して調査した。また、国土交通省国土技術政策総合研究所などの実務者へのヒアリングを実施した。現状の建

設分野では、道路や橋梁の設計、情報化施工で3次元データを利用した実務が行われているが、全体的には3次元CADや3次元データを利用した場面は少ない。

さらに、本調査では、将来の3次元CADの利用場面を想定し、実現のための課題を整理した。建設事業のライフサイクルに渡って、汎用3次元CADエンジンにより生成される3次元データを利用することは効果が大きいと考えられる。

b) 3次元CADに付随するシーズ調査

汎用3次元CADエンジンの設計・開発に付随するシーズを調査した。調査したシーズは、座標系、データ構造、3次元モデルの表現方法とモデリング手法、面の生成技術、3次元幾何要素の変換・操作・加工、データ品質、表示技術である。特に面の生成技術は、建設分野を対象とする汎用3次元CADエンジンにとって、地表面の表現などに必要であるため、ボロノイ領域やドロネー分割による3次元TINの生成のアルゴリズムを調査した。これらのシーズの内容とアルゴリズムを調査し、3次元CADの機能面や速度面などに優れた汎用3次元CADエンジンの設計に必要な要素技術を明確にした。

c) 3次元CADの標準化動向

汎用3次元CADエンジンの設計にあたり、3次元モデルや汎用3次元CADエンジンの設計に係わる仕様STEP（ISO10303 Part42, Part59, Part108, Part109, AP202,

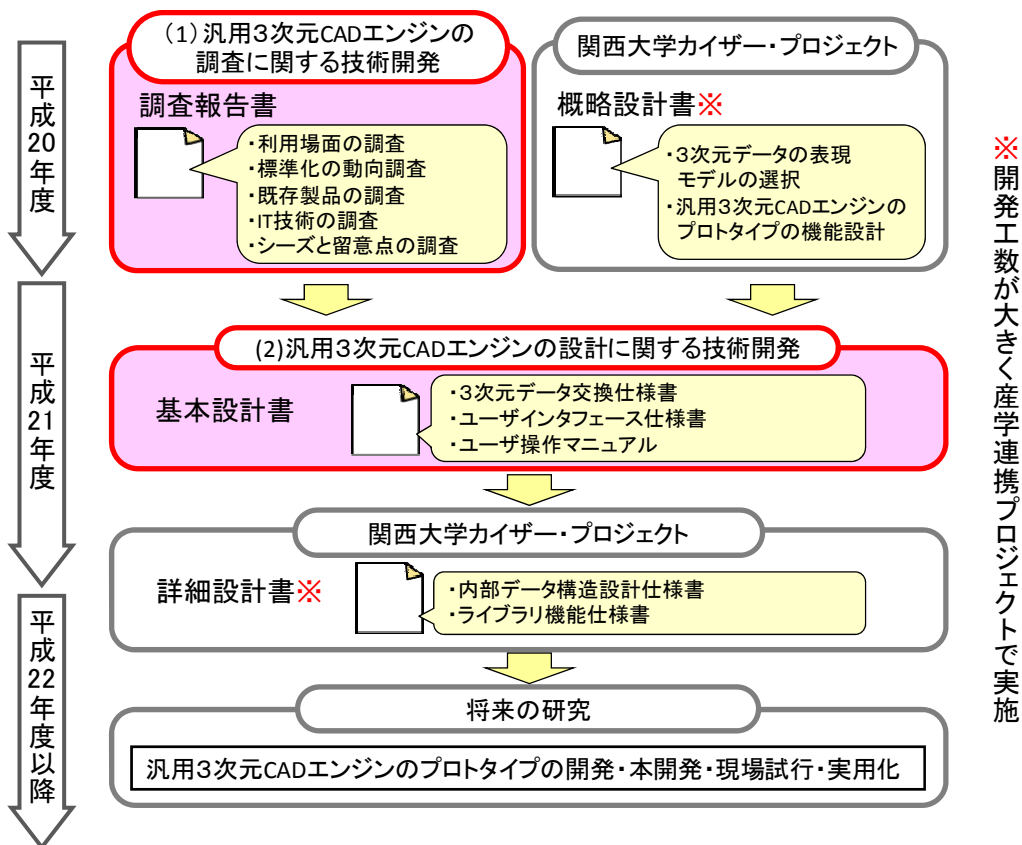


図-1 本研究全体の流れ

AP203) について調査した。具体的には、3次元モデルの幾何要素を表現するためにPart42, AP202, AP203に準拠することが必要であり、その特徴を明らかにした。また、Part59は3次元モデルの形状データの品質を規定するために利用でき、Part108はパラメトリックモデリングを、Part109はアセンブリモデリングのデータ交換を円滑に行うために利用する必要がある。

d) 3次元CADの既存製品の調査

既存の汎用3次元CADの機能や取り扱い要素を整理し、建設分野だけでなく、電気や機械等の適用分野毎に製品(約50製品)の特長を調査した。既存の汎用3次元CADの機能や取り扱い要素を整理し、汎用3次元CADの機能の比較、建設分野に特化した汎用3次元CADに必要な機能や特徴の整理を行った。既存製品の調査により、汎用3次元CADエンジンの設計に向けて必要な機能を把握することを実現するとともに、建設分野に特化した汎用3次元CADに必要な機能や特徴を把握することができた。

e) 3次元CADエンジンの開発に関するIT技術

汎用3次元CADの開発に必要なグラフィック描画ライブラリ、データベース、OS、開発言語、グラフィックボードに関する調査を行った。グラフィック描画ライブラリとしてOpenGLを採用することにより、これを用いたエンジン開発を円滑に行えるOS、開発言語を選定する必要がある。さらに、OpenGLを用いたエンジン開発が既存のIT技術によって実現可能であることをグラフィックボード調査によって確認した。

f) 3次元CADエンジンの設計時の留意点

調査結果を踏まえ、建設分野を対象とする汎用3次元CADエンジンの機能要件と開発環境を結論付け、設計時に留意すべき点を述べた。まず、建設分野を対象とする汎用3次元CADエンジンは、3次元モデルを操作し、必要な機能を実現するためのエンジンを目指すこととした。次に、汎用3次元CADエンジンの機能として、座標系、3次元モデルの表現、要素の選定と表現方法、3次元モデリング、アセンブリモデリング、パラメトリックモデリング、属性情報、ファイルの入出力、3次元ビューア、データ品質、ドメインに依存した機能を設計することを明らかにした。さらに、アセンブリモデリング、パラメトリックモデリング、3次元ビューアの表示精度、データ品質については、設計時の留意点を取り纏めた。

4. 汎用3次元CADエンジンのプロトタイプ的设计に関する技術開発

(1) 設計の概要

本設計では、汎用3次元CADエンジンのプロトタイプを開発するために必要な基本設計書を作成した。基本設計書は、3次元データ交換仕様書(約150ページ)、ユーザインタフェース仕様書(約40ページ)、ユーザ操作マニ

ュアル(約60ページ)から構成される。

3次元データ交換仕様書は、異なるCADソフト間で正確にデータ交換を行うための仕様を提供することを目的とする。本研究では、汎用3次元CADエンジンのプロトタイプ開発を目標としており、このエンジンを用いてCADベンダが各ドメインCADを開発することを想定している。3次元データ交換仕様書は、ドメインCAD間のデータ交換において利用される標準の位置付けである。ここでは、国際標準規格ISO10303“Industrial automation systems - Product data representation and exchange”(STEP: Standard for the exchange of product model data)に準拠してデータ交換仕様を策定する。

ユーザインタフェース仕様書は、3次元CADエンジンを基に開発するCADソフトのユーザインタフェースを定め、建設分野に特化した操作性の高いインタフェース仕様を提供することを目指す。

ユーザ操作マニュアルは、3次元CADソフトを用いて土木構造物を作成することを想定し、基本的なプリミティブと土木構造物の作成手順を示す。これらにより、実務で利用可能なユーザインタフェースとユーザ操作を実現する。

ドメインCAD開発者は、基本設計書を参考にすることにより、ドメインCADにおいてデータ出力機能を開発することができる。建設技術者は、基本設計書に準拠して作成されたドメインCADから出力された3次元データを異なるCADソフト間で交換することができる。また、基本設計書は、3次元データの流通に取り組む国土交通省やJACICにおける基礎資料となるものである。設計の詳細を以下に述べる。

(2) 設計の詳細

a) 3次元データ交換仕様書

本書では、関連するISO/STEPの各Partの位置付けを明らかにし、構成と内容が複雑なISO/STEPのうち3次元CADエンジンのデータモデルに係わる全体像の把握を実現した。開発する3次元CADエンジンの国際分野での利用を考慮して、国際的な競争力を強化するため、国際標準規格ISO/STEPに準拠する必要があるためである。

調査の対象としたISP/STEPのPartを下記に示す。

- ・3次元幾何形状 → AP203 (Part42)
- ・スケッチ・拘束 → Part108
- ・モデリング手順 → Part55, 111
- ・アセンブリ → Part109
- ・属性 → Part41にユーザが独自に設定できる属性が定義されており、その他のPartにドメイン毎の属性が定義されている。

上記のPartで3次元データ交換仕様の作成が可能であることを確認した。

さらに、3次元CADソフトによって生成される3次元データの交換仕様の設計仕様を提案した。3次元データ交

換仕様は、パラメトリックモデリングを考慮して、3次元データの幾何仕様とスケッチ、操作履歴などの要素に該当するISO/STEPを元に作成しており、国土交通省やJACICで検討途上のSXFレベル4や3次元幾何データ交換仕様に資するものとなる。

b) ユーザインタフェース仕様書

本書では、3次元CADエンジンのビューアシステム（3次元CADソフト）のグラフィカル・ユーザ・インタフェース（GUI）を設計し、操作性の高いソフトとすることを旨とした。建設分野で開発される3次元CADシステムについて、ユーザインタフェース仕様書を公開することで、建設分野向け3次元CADのインタフェースと操作の統一に寄与することができる。ここでは、3次元CADソフトを多く利用している機械系CADを参考にした。

ユーザインタフェース設計の基本方針としては、土木分野での利用を考慮した。また、既存の3次元CADのユーザインタフェース調査を行い、その結果を考慮した。既存の3次元CADとして、AutoCAD Civil3D, SolidWorksとAutodesk Inventorの3つのCADソフトを対象として調査を行った。本ユーザインタフェースで選定する3次元CADの機能は次の方針で選定した。

- ・土木分野での利用に必要な機能
- ・既存の3次元CADのユーザインタフェースで重視されている機能
- ・CADベンダ各社のヒアリング調査で要望のあった機能

本ユーザインタフェースで選定する3次元CADの各機能の操作方法は以下の方針で選定した。

- ・ユーザインタフェース調査で2つ以上のCADソフトが同じ操作である場合、その操作を採用する。
- ・各CADソフトで操作方法が異なる場合、土木分野での利用を考慮し、より簡便な操作を採用する。

・CADベンダ各社のヒアリング調査結果を反映する。
以上の設計方針に基づいて、ユーザの操作性を考慮した画面設計とそれに付随する各機能の設計を行った。

c) ユーザ操作マニュアル

本書では、3次元CADエンジンが保持する3次元形状データの表示、作成、編集を行うための操作マニュアルを作成し、操作性の高いユーザインタフェースを設計した。また、3次元CADソフトを用いて土木構造物を作成するために行う操作として、道路線形や橋梁などの3次元モデル作成を取り上げ、具体的なユーザ操作を明らかにした。本書の作成は、ユーザインタフェース仕様書の策定と連携して行った。

5. 本研究の応用

(1) 各種ソフトウェアへの展開

本研究は、汎用3次元CADエンジンのプロトタイプ的设计が可能となるだけでなく、「各種アプリケーションシステムへの応用」、「汎用4次元CADエンジンの応用」や「ドメイン3次元CADの実用化」の基盤資料となる。そのため、本研究の成果を活用することにより、汎用3次元CADや4次元CAD、ドメイン3次元CAD等の実現に繋がる。

また、我が国のCAD/CG/GISベンダーが、建設分野に特化した「3次元CAD」、たとえば道路CAD、橋梁CAD、河川CAD、ダムCADなどのソフトウェアの早期開発に期待できる。そして、情報化施工には時間軸を考慮した4次元CADへと発展できる。さらに、「CG」や「VR」のみならず、「3次元GIS」や「4次元GIS」への開発、ひいては「次世代ITS」に代表される社会基盤に関するソフトウェア（図-2）への展開開発に期待できる。

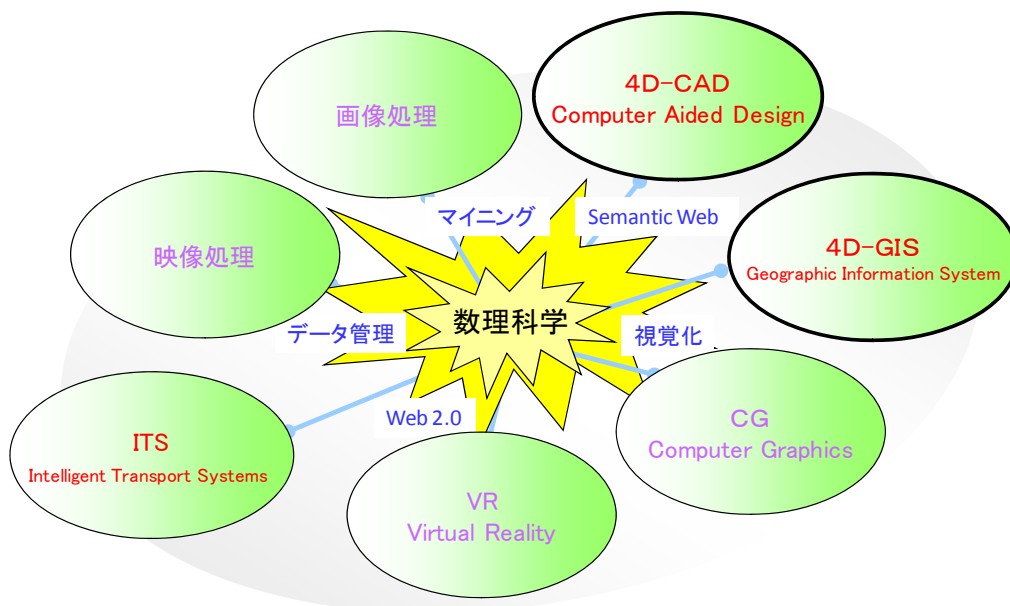


図-2 汎用3次元CADエンジンを用いた各種ソフトウェアへの展開

(2) アプリケーションシステムの応用

社会サービスに貢献できる様々なアプリケーションシステム（図-3）が、3次元のプロダクトモデルを介して連携でき、社会資本基盤情報の交換・連携・共有・再利用がスムーズに行われるメリットがある。また、建設事業における3次元設計、仮組立、情報化施工（現在、国土交通省CALS/ECアクションプログラム2008）のアプリケーションシステムの設計に活かすことができる。その結果、電子政府・電子自治体の業務形態にも変革が起こり、業務プロセスの改善と共に新たなビジネスの創出が可能となる。

6. 結論

我が国の建設分野では、3次元データの有効活用とCALS/ECアクションプログラムの実現による多大な効果を楽しむために、国産の安価な汎用3次元CADエンジンのプロトタイプの前急な開発が期待されている。

調査報告書では、我が国の建設業界において3次元CADを迅速かつ低コストに普及させることを目的に、汎用3次元CADエンジンのプロトタイプを設計するための調査を行った。

基本設計書は、3次元CADエンジンの設計基盤資料としての要件を十分に満たしていると考えられる。

開発する3次元CADエンジンの国際分野での利用を考慮して、国際的な競争力を強化するため、国際標準規格ISO/STEPに準拠する必要がある。そこで、3次元データ

交換仕様書では、関連するISO/STEPの各Partの位置付けを明らかにし、構成と内容が複雑なISO/STEPのうち3次元CADエンジンのデータモデルに係わる全体像の把握を実現した。

さらに、3次元CADソフトによって生成される3次元データの交換仕様の設計仕様を提案した。3次元データ交換仕様は、パラメトリックモデリングを考慮して、3次元データの幾何仕様とスケッチ、操作履歴などの要素に該当するISO/STEPを元に作成しており、国土交通省やJACICで検討途上のSXFレベル4や3次元幾何データ交換仕様に資するものとなる。

ユーザインタフェース仕様の策定では、グラフィカル・ユーザ・インタフェースの設計を行い、ユーザの操作性を考慮した画面設計とそれに付随する各機能の設計も行った。これらは、ユーザインタフェース仕様書とユーザ操作マニュアルとして纏めた。これらのユーザインタフェース仕様は、ISO/STEPや土木分野での利用が考慮されているため、国土交通省直轄事業のみならず地方公共団体の建設事業でも成果を活用可能であり、応用性が非常に高いと考える。

参考文献

- 1) 古田均, 三上市藏, 碓井照子, 広兼道幸, 田中成典: 建設CALS/ECに向けた電子国土の動向を探る—CAD/CG/GIS/GPSの統合—, 山海堂 (2001).
- 2) 建設情報標準化委員会, CADデータ交換標準小委員会: SXFフィーチャ仕様書, 日本建設情報総合センター (2005).
- 3) 国土交通省, 国土交通省 CALS/EC アクションプログラム 2008, 国土交通省 (2009).



図-3 社会サービスに貢献するアプリケーションシステムの応用