

II-5 3次元CAD開発のためのOpenGLの可能性に関する調査研究

Research on Applicability of OpenGL for Developing 3D-CAD

田中成典¹・西田義人²・檜山武浩³・足立佳哉⁴
和泉紘介⁵・上野友里恵⁴・平松祐樹⁴・若林克磨⁶

Shigenori TANAKA, Yoshito NISHITA, Takehiro KASHIYAMA, Yoshiya ADACHI,
Kosuke IZUMI, Yurie UENO, Yuki HIRAMATSU and Katsuma WAKABAYASHI

抄録：国土交通省 CALS/EC アクションプログラム 2008 では、3次元CADデータの利活用に関する構想が提案されている。しかし、我が国で利用されている3次元CADは、AutoCADやSolidWorksをはじめ、海外の3次元CADが大半であり、国産は皆無である。安価な3次元CADが存在しないため、建設事業の設計・施工フェーズで3次元CADデータが利活用されていない。そのため、国産の安価な3次元CADの早急な開発が切望されている。

そこで、本研究では、3次元CADの開発に欠かせないグラフィックスライブラリの現状を把握することを目的とし、3次元グラフィックスアプリケーション開発に実績のあるOpenGLの可能性に関する調査研究を実施する。

キーワード： CALS/EC アクションプログラム, 3次元CAD, OpenGL

Keywords : CALS/EC Action Program, 3D-CAD, OpenGL

1. はじめに

近年、我が国の建設業界では、2次元CADデータ交換標準フォーマットである SXF (Scadec data eXchange Format)¹⁾の開発が行われ、各社の商用製品^{2)・4)}への実装や国土交通省直轄事業の電子納品⁵⁾⁶⁾での使用が義務付けられるなど、2次元CADが主流となっている。その結果、3次元CADで作成された3次元データも2次元データの図面に変換して電子納品されている。また、一部工事では3次元データによる施工管理を行っているが、公共事業では活用事例がないという状況である。これらの背景を受けて、我が国では、国土交通省 CALS/EC アクションプログラム 2008⁷⁾において、調査・計画、設計、積算、施工、維持管理を通じて3次元データの利活用に関する構想が提案されており、3次元データに関する次の策定および実施が目標とされている。

- ・ 3次元データへの交換標準の策定
- ・ 3次元データによるモデル設計・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

しかし、現在、我が国において利用されている3次

元CADは、AutoDesk社のAutoCADやDassault Systèmes SolidWorks社のSolidWorksをはじめ、海外の3次元CADが大半であり、国産は皆無である。また、安価な3次元CADが存在しないため、建設事業の設計・施工フェーズで3次元CADデータが利活用されていない。そのため、国産の安価な3次元CADの早急な開発が切望されている。

このような状況を踏まえて、本研究では、将来、国産の3次元CADの開発に必要な要求仕様書(概略設計書)と実装仕様書(基本・詳細設計書)を策定する時の手戻りを軽減することを目的として、3次元CADの実態およびグラフィックスライブラリの適用可能性に関する調査研究を実施し、課題抽出および今後の方向性について考察する。

本論文の構成として、第2章では、現状の3次元CADの実態を調査する。第3章では、3次元のグラフィックスライブラリの実態調査として、OpenGL、DirectXとWPFを調査する。第4章では、3次元のグラフィックスアプリケーション開発に実績のあるOpenGLにフォーカスを当て、3次元CADが保持すべき機能として、最も基本となる3次元モデルの作成方法とモデルの選択方法を調査する。

1 : 正会員 工博 関西大学 教授 総合情報学部
(〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町二丁目一番一号, Tel : 072-690-2154, E-mail : tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp)
2 : 非会員 情博 関西大学大学院 総合情報学研究科(現, 三菱電機株式会社先端技術総合研究所)
3 : 正会員 情博 関西大学 ポスト・ドクトラル・フェロー 総合情報学部
4 : 非会員 関西大学大学院 総合情報学研究科
5 : 学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科
6 : 非会員 関西大学 総合情報学部

2. 3次元CADの実体調査

本研究では、既存の3次元CADの実態について把握するため、3次元モデルの表現方法と描画空間における座標系について調査した。

(1) モデルの表現方法

3次元CADにおけるモデルの表現方法⁸⁾には、ワイヤーフレームモデル、サーフェスモデルとソリッドモデルがある。既存のCAD製品における3次元モデルの表現方法は、ソリッドモデルが主流である。また、ソリッドモデルを採用する製品では、同時にサーフェスモデル、ワイヤーフレームモデルも利用できることが多い。ソリッドモデルが主流な理由を以下に纏める。

1点目として、ソリッドモデルは、ワイヤーフレームモデルやサーフェスモデルに比べて、実際に材料を加工するような感覚で設計を行えることが挙げられる。境界のみを定義するサーフェスモデルでは、物体の定義として曖昧さが残ることに対して、ソリッドモデルでは完全に定義することが可能である。これによって立体を削るといった作業や体積計算、重心計算を行うことができる。

2点目として、コンピュータの性能の向上が挙げられる。ソリッドモデルでは、面情報のみをもつサーフェスモデルに比べ、図形を描画する際の計算量が多い。そのため、コンピュータの性能が乏しかった数年前までは、サーフェスモデルが主流であった。しかし、近年のコンピュータの性能の向上に伴って、ソリッドモデルへの移行が進められ、現在では低価格のCAD製品も含め、大部分のCAD製品がソリッドモデルで3次元モデルを表現している。

3点目として、多くの市販の3次元CADがモデリングカーネルを利用していることである。モデリングカーネルは、基本形状の生成、フィレットの生成、曲面の生成、属性の付加、集合演算などの3次元CADの核となる機能が実装されたソフトウェアライブラリである。モデリングカーネルは、ソリッドモデルベースであるため、モデリングカーネルを利用している3次元CADは、必然的にソリッドモデルとなる。

また、分野別に見ると、汎用・機械系3次元CADは、ほぼ全てソリッドモデルを含んだ表現方法を採用しているのに対して、建築・土木系3次元CADは、必ずしもソリッドモデルである必要性はないと考えられる。例えば、AutoDesk社のAutoCAD Civil3DやBentley Systems社のinRoadsなどはサーフェスモデルを採用している。その理由として、機械設計は一品一様の設計であり、現実空間上に配置する部品あるいは製品の設計である。一方、建築・土木系における設計は、現実空間の設計であるため、本来は実体があるが、実体がない物体としての描画が求められることがある。

例えば、地表面の表現が該当する。地表面は、地球という物体の表面である。これをソリッドモデルで表現する場合は、領域が有限なオブジェクトとして捉える必要がある。また、実体を持たない境界面や等高線、厚みを持たない道路の区画線や横断歩道などの路面認識は、サーフェスモデルでなければ表現できないと考えられる。このため、建設分野に特化した3次元CADの開発には、3次元モデルの表現方法としてサーフェスモデルが適していると考えられる。

(2) 座標系

座標系には、直交座標系、円柱座標系、球座標系がある。直交座標系には、右手系と左手系がある。右手系には、数値座標系の数学系と機械座標系の機械系が、左手系には測地座標系の測地系と視点座標系の視点系が存在する。その他に、空間を定義する手段として、位置情報(座標値)を空間全体で定義したグローバル座標系と図形毎に定義したローカル座標系が存在する。

本研究では、市販の3次元CADが右手系と左手系のどちらを採用しているかを調査した。調査結果として、市販の3次元CADには直交座標系を利用している製品が多く、左手系のみを採用している製品は調査を行った範囲では存在しなかった。その理由としては、グラフィックスライブラリの標準インターフェイスであるOpenGLやDirectXが右手系直交座標を採用していること、また、JIS B8437やISO 9787において、産業用マニピュレーティングロボットにおける座標系が右手系直交座標系を採用していることが挙げられる。

3. 3次元グラフィックスライブラリの実体調査

本研究では、3次元CADの開発時に使用すべきグラフィックスライブラリについて把握するため、Silicon Graphics社が提供しているOpenGL、Microsoft社が提供しているDirectXとWPFについて調査した。

(1) OpenGL

OpenGLは、コンピュータで3次元モデルを描画する際に使用されるグラフィックスライブラリである。OpenGLを使用して開発されたシステムはOSに依存しないため、汎用性と移植性の高いシステムの開発が可能である。OpenGLでは、表-1に示すように、点、線分、折線、ベジェ曲線、NURBS曲線、三角形、四角形、凸多角形、ベジェ曲面やNURBS曲面の基本形状の描画機能を提供している。また、立方体、球体、トーラス、多面体や円錐モデルの高次プリミティブ形状を描画できる。

(2) DirectX

DirectXは、高速で高品質なグラフィックス機能を提供するマルチメディアライブラリである。DirectXでは、表-1に示すように、点、線分、折線と三角形の基本

表-1 描画可能な形状

| 形状 | OpenGL | DirectX |
|----------|--------|---------|
| 点 | ○ | ○ |
| 線分 | ○ | ○ |
| 折線 | ○ | ○ |
| ベジエ曲線 | ○ | × |
| NURBS 曲線 | ○ | × |
| 三角形 | ○ | ○ |
| 四角形 | ○ | × |
| 凸多角形 | ○ | × |
| ベジエ曲面 | ○ | × |
| NURBS 曲面 | ○ | × |
| 立方体 | ○ | ○ |
| 球体 | ○ | ○ |
| トーラス | ○ | ○ |
| 多面体 | ○ | ○ |
| 円錐 | ○ | ○ |

形状の描画機能を提供している。また、立方体モデル、球体モデル、トーラスモデル、多面体モデル、円錐モデル等の高次プリミティブ形状を描画できる。

(3) WPF

WPF (Windows Presentation Foundation) は、Windows の OS である Windows Vista のために開発されたグラフィックスサブシステムである。WPF では、OpenGL や DirectX と異なり、立方体、円柱、球体モデルなどの高次プリミティブ形状を描画できず、三角形メッシュの集合として独自に描画する必要がある。

(4) OpenGL との機能比較

上記の調査結果を基に OpenGL と Microsoft 社が提供するグラフィックスライブラリについて比較を行った。WPF については、前述の通り、全ての形状を三角形メッシュの集合として描画する必要があり、複雑な 3 次元モデルの描画には不向きである。一方、DirectX は、OpenGL と同様の高次プリミティブを描画可能である。しかし、基本プリミティブ形状については、DirectX は、点、線分、折線、三角形のみであるのに対して、OpenGL は、上記のプリミティブ形状に加えて、凸多角形や自由曲面等を描画できる。また、DirectX は、Windows アプリケーション開発のためのグラフィックスライブラリであるため、使用できる OS や開発環境が限られる。そのため、OS や開発環境面においても、OpenGL が 3 次元 CAD の開発に適したグラフィックスライブラリであると考えられる。

4. 3 次元 CAD の機能実装

本研究では、3 次元 CAD が保持する機能について、OpenGL を使用した際の実装方法を調査した。なお、調査対象の機能については、3 次元モデルの描画方法

とモデルの選択方法を調査の対象とした。その理由として、この 2 つは、グラフィックスライブラリと関連が深く、3 次元 CAD を開発する上で必要性が高いと考えられるためである。

(1) 3 次元モデルの描画方法

本研究では、OpenGL を念頭において、3 次元モデルの描画方法について調査した。なお、描画対象である 3 次元モデルの表現方法としては、国際規格である ISO10303 で定義される位相付き 3 次元サーフェスモデル (Manifold surface shape representation) ⁹⁾ とした。位相付き 3 次元サーフェスモデルの概要を図-1 に示す。また、本表現方法で使用する幾何形状としては、我が国の 2 次元 CAD のデータ交換フォーマットである SXF ¹⁾ や既存の CAD システムを参考に表-2 に示すものとした。

まず、モデル表現の最下層である位相の「頂点」については、OpenGL の点形状を描画するインターフェイスを使用して幾何形状を直接描画することができる。次に、位相の「稜線」については、OpenGL が提供するインターフェイスを使用することで、線と折線、ベジエ曲線、NURBS 曲線の幾何形状を直接描画できるが、その他の幾何形状を描画できない。そこで、OpenGL で直接描画できない円、円弧、楕円、楕円弧やクロソイドの形状については、折線に近似して描画する必要がある。最後に、位相の「面」については、基本的には曲面形状を全て TIN やメッシュに分割し、OpenGL が提供する三角形、四角形や凸多角形のためのイン

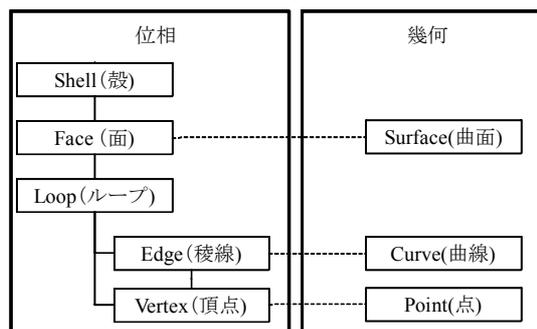


図-1 位相付き 3 次元サーフェスモデル

表-2 モデル表現に使用する幾何形状

| 種別 | 形状 | 種別 | 形状 |
|----|----------|----|----------|
| 点 | 座標点 | 曲面 | ベジエ曲面 |
| | 線分 | | NURBS 曲面 |
| | 折線 | | 円錐面 |
| 曲線 | 円 | | 円柱面 |
| | 円弧 | | 球体面 |
| | 楕円 | | トーラス面 |
| | 楕円弧 | | 回転面 |
| | ベジエ曲線 | | 押出面 |
| | NURBS 曲線 | | 掃引面 |
| | クロソイド | | |

ターフェイスを使用して描画する必要がある。なぜなら、3次元モデルを構成する面の形状は、球の部分的な領域といった複雑な形状であるため、OpenGLのインターフェイスによって描画できないからである。

前述の通り、位相付き3次元サーフェスモデルを対象とした場合、OpenGLが提供する高次プリミティブ形状のためのインターフェイスを利用する場面は少ない。ただし、単純なモデル形状や基本形状として提供するプリミティブを描画する際においては、これらの高次プリミティブ形状のためのインターフェイスの利用が有効である。

(2) モデルの選択機能

3次元空間上におけるモデルの選択は、モデルの移動、回転、尺度変更、作成したモデル自体の編集や注釈の挿入などを実現するために必要となる機能である。そこで、本研究では、OpenGLを用いて3次元空間上で作成したモデルを選択する方法について調査した。

調査結果として、OpenGLでは、モデルを表現する形状の最小単位である点、曲線、曲面毎にIDを設定することで、ユーザが選択した形状を特定するための機能が提供されている。そのため、3次元CADの開発時においては、独自に選択機能を実装する必要がなく、開発コストを抑えることができる。また、OpenGLでは、各形状に設定するID群において、階層構造を表現することができる。つまり、3次元CADが保持するモデルの位相構造をそのままOpenGLに渡すことが可能である。そのため、OpenGLの選択機能を活用することで、ユーザと3次元CADが保持するモデルのデータ構造間とのダイレクトな情報の連携が可能である。

5. 考察

Silicon Graphics社のOpenGLとMicrosoft社のDirectXとWPFとの機能比較を行った。その結果として、OpenGLにおいては、DirectXやWPFに比べ、表現できるプリミティブが多種であることや、OS等の環境への依存が少ないことが分かった。そのため、3次元CADを開発する上で、OpenGLの方がDirectXやWPFに比べて優れたグラフィックスライブラリであると考えられる。

また、3次元モデルの描画について、OpenGLが提供するインターフェイスを用いた実装方法について調査した。その結果、まず、位相付き3次元サーフェスモデルの頂点と稜線形状については、OpenGLが提供するインターフェイスを使用することで容易に描画機能を実装できることが分かった。円や楕円などの一部の形状については、OpenGLにおいて、それを直接描画するためのインターフェイスが存在しない。しかし、折線などに近似することで幾何形状を描画できるため、

3次元CADの開発時における障害とならないと考える。次に、曲面形状については、面取りやブーリアン処理で作成された複雑な形状となることがあるため、TINやメッシュに分割した後、OpenGLが提供するインターフェイスを使用して描画する必要があると考える。ただし、単純な形状やプリミティブについては、OpenGLが提供するインターフェイスを活用することで、容易に描画機能を実装できることが分かった。

これらの調査結果を踏まえて、OpenGLは3次元CADを開発する上で十分適応可能なグラフィックスライブラリであると考えられる。

6. おわりに

本研究では、3次元CADの開発のためのOpenGLの適用可能性を把握することを目的として、3次元CADの実態、3次元グラフィックスライブラリの実態、3次元CADの実装方法について調査した。今後は、本研究の調査結果を基に3次元CADのプロトタイプシステムを開発し、機能面、速度面、コスト面においてOpenGLが優れているかどうかを掌握する。

謝辞：本研究開発を遂行するにあたり、JACIC（財団法人日本建設情報総合センター）の2008年度および2009年度の研究助成事業の助成を受けた。ここに記して、感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：SXF Ver.3.1仕様書，国土交通省，<http://www.calsed.go.jp/index_denshi2.htm>，（入手2008.10.10）。
- 2) オープンCADフォーマット評議会：OCF検定の認証を受けているソフトウェア一覧，オープンCADフォーマット評議会 <http://www.ocf.or.jp/kentei/soft_ichiran.shtml>，（入手2010.5.20）。
- 3) 建設情報標準化委員会CAD交換標準小委員会：SXFブラウザVersion 3.01操作マニュアル，日本建設情報総合センター <http://www.cals.jacic.or.jp/cad/developer/SXFBrowserDownload_old.htm>，（入手2008.6.20）。
- 4) 西田義人，田中成典，古田均，杉町敏之，柴敏洋，秩父基浩：建設業界のためのSXFビューアの開発，情報処理学会論文誌データベース，情報処理学会，Vol.1，No.3，pp.82-95，2008年12月。
- 5) 国土交通省：土木設計業務等の電子納品要領(案)，国土交通省，2008年5月。
- 6) 国土交通省：工事完成図書等の電子納品要領(案)，国土交通省，2008年5月。
- 7) 国土交通省：国土交通省CALIS/ECアクションプログラム2008，国土交通省，2009年3月。
- 8) コンピュータソフトウェア協会CAD利用技術者試験センター：平成20年度版CAD利用技術者試験3次元公式ガイドブック，日経BP社，2008年2月。
- 9) ISO 10303-203：Industrial Automation System and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part203：Application Protocol：Associative Draughting，International Organization for Standardization，1994。