(11) 国際規格に準拠した汎用 3 次元 CAD エンジンの考察

Consideration of Three-dimensional CAD Engine Considering International Standards

田中 成典[1]・窪田　諭[2]・北川 悦司[3]・物部 寛太郎[4]・中村 健二[5]

Shigenori Tanaka, Satoshi Kubota, Etsuji Kitagawa, Kantaro Monobe and Kenji Nakamura

抄録：我が国の建設事業においては，CALS/EC や情報化施工，生産性向上のために 3 次元データを利用する環境を構築することは重要な課題であるが，その要求を満たす 3 次元 CAD が存在しない．そのため，国産の 3 次元 CAD ソフトの開発を支援することを目的とした，汎用 3 次元 CAD エンジンの開発が求められている．

そこで，本研究では，建設事業において 3 次元 CAD を迅速かつ低コストに導入し，これを活用できる環境を構築するために，国際規格である ISO（International Organization for Standardization）に準拠した汎用 3 次元 CAD エンジンについて考察した．考察にあたっては，国際規格準拠のために，パラメトリックモデリングの採用，ISO 10303 に準拠したデータモデルの構築，時間項の考慮という汎用 3 次元 CAD エンジンの方針を定めた．そして，パラメトリックモデリングの実現方法，3 次元モデルの作成・編集機能を検討し，汎用 3 次元 CAD エンジンの全体像を明らかにした．

キーワード：3 次元 CAD，3 次元データ，国際規格，ISO 10303（STEP）

Keywords ：Three-dimensional CAD, Three-dimensional Data, International Standard, ISO 10303 (STEP)

１．はじめに

我が国の建設事業においては, CALS/EC や情報化施工，生産性向上のために 3 次元データを利用する環境を構築することは重要な課題である．3 次元データは，工事の品質向上や時間短縮など建設生産システムの生産性向上に活用され, 3 次元 CAD データを活用した設計 [1]，情報化施工の実施 [2]や維持管理情報の可視化など 3 次元データの活用要求が高まっている [3]-[7]．社会基盤構造物を適切に維持管理するために，事業関係者が設計や施工段階の知識を関係者間で共有することが重要であり，CAD によって作成されたデータ（以下，CAD データという）の利用が有効であると考えられる．建設事業における様々な場面で 3 次元 CAD データを有効に活用する環境を構築するために, 3 次元 CAD が必要である．しかし，建設事業で利用されている CAD ソフトは 2 次元を対象にしているものが多い．また，一部で利用される 3 次元 CAD ソフトは作成したい形状を完成形状として描画するものであり，2 次元 CAD ソフトの延長といえる．したがって，建設事業においては, 3 次元 CAD データを作成するための安価な 3 次元 CAD エンジンが存在しないため，未だ 3 次元 CAD データが十分に整備，活用されていない．機械系の 3 次元 CAD ソフトは多く存在するが，建設事業の特性を考慮した 3 次元 CAD エンジンは存在しない．

そこで，本研究では，建設事業において 3 次元 CAD を迅速かつ低コストに導入し，これを活用できる環境を構築するために，国際規格である ISO（International Organization for Standardization）に準拠した汎用 3 次元 CAD エンジンについて考察する．ここで，本研究の対象は道路，橋梁やダムなど特定ドメインに依存しない 3 次元 CAD エンジンであるため，これを汎用 3 次元 CAD エンジンと呼ぶ.

２．汎用 3 次元 CAD エンジンの方針

汎用 3 次元 CAD エンジンの考察にあたり，田中らの調査結果 [7]をもとに，我が国のみならず国際建設プロジェクトでも利用できる汎用 3 次元 CAD エンジンを目指し，以下の方針を設定した.

（１）パラメトリックモデリングの採用

3 次元モデリング機能として，パラメトリックモデリング手法を採用する．従来のモデラが生成する幾何モデルには，個々の形状が本来担っている設計上の意味や意図が表現されていなかった. 一方, パラメトリックモデリングは，コンピュータ内部に最終形状だけでなく，形状を制約する条件も保持し，モデラ自身がその条件を満たす形状を再構築する能力を備えるものである [8]．パラメトリックモデリングでは，拘束（幾何拘束，代数式拘束）表現と拘束を満たす形状の自動生

1：正会員　博(工)　関西大学　教授　総合情報学部
(〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1，Tel :072-690-2404，E-mail : tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp)
2：正会員　博(工)　岩手県立大学　講師　ソフトウェア情報学部　（〒020-0193 岩手県滝沢村滝沢字巣子 152-52）
3：正会員　博(情)　阪南大学　准教授　経営情報学部　（〒580-8502 大阪府松原市天美東 5-4-33）
4：正会員　博(情)　宮城大学　助教　事業構想学部デザイン情報学科　（〒981-3298 宮城県黒川郡大和町学苑 1）
5：正会員　博(情)　大阪経済大学　准教授　情報社会学部　（〒533-8533　大阪市東淀川区大隅 2-2-8）

成，あるいはモデリング操作履歴の記憶とその自動再実行の 2 技術が採用される．本研究では，「モデリング操作履歴の記憶とその操作の再実行」による方法を採用し，設計者が行った一連のモデリング操作を操作履歴として記録するとともに，それを再実行することで最終形状を生成する．

（２）国際規格 ISO10303 の準拠

建設事業において国際建設プロジェクトへの展開が進んでおり，国内建設プロジェクトにおいても WTO（世界貿易機構）の TBT 協定（貿易の技術的障害に関する協定）に従い，透明性を確保するために国際規格を遵守する必要がある．また，3 次元 CAD ソフトの利用が進んでいる自動車・機械分野では，国際規格に準拠したデータ交換を実現している．そこで，本研究では，ISO において製品データを表現し，異なるソフトウェア間でのデータ交換を実現する ISO10303（STEP: Standard for the exchange of product model data）[9]に準拠して汎用 3 次元 CAD エンジンを設計・開発する．

（３）時間項の考慮

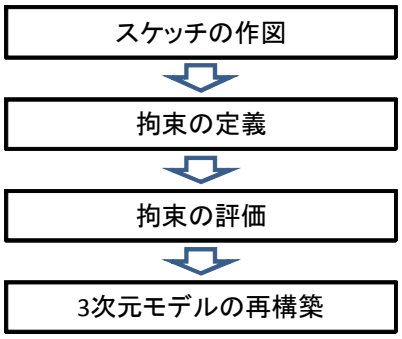
構造物の施工段階では日々工事が進捗し様子が変わるとともに，情報化施工によって工事や架設などのシミュレーションを行う要望が高い．そこで，汎用 3 次元 CAD エンジンでは, 3 次元モデルに対して時間項を保持する．3 次元モデルにおける属性情報として時間項を設定し，構造物の計画から維持管理まで，およびシミュレーションの開始から終了までを表現する．

３．パラメトリックモデリングによる 3 次元形状作成

（１）パラメトリックモデリングの実現方法

汎用 3 次元 CAD エンジンは，パラメトリックモデリングによって 3 次元形状を作成する．パラメトリックモデリングでは「最終形状（3 次元幾何形状）」，形状を制約する拘束条件と操作手順を「操作履歴」として保存する．本研究では，設計者のモデリング手順を操作履歴として記憶し，再実行機能により形状の再生成を行う方式とし，パラメータを変更し操作を再実行することにより，形状を再定義する．

汎用 3 次元 CAD エンジンでは，記録した操作履歴は設計者に提示され，それを任意に編集できるようにする．つまり，2 次元平面にスケッチを記述し，これに必要な拘束を実施する．そして，スケッチに対して行う押し出しやスイープなど，3 次元モデルの形状生成の操作履歴が作成される．構造物を設計・施工する際には，設計変更が頻繁に行われる．パラメトリックモデリングを採用することにより, 3 次元 CAD ソフトで寸法などのパラメータを変更して技術者が設計する形状を生成することができる．また，3 次元モデルを用いた施工や架設などのシミュレーションにおいても，



図－１ パラメトリックモデリングの流れ

パラメータを変更することによりシミュレーション用データを作成できる．

a）パラメトリックモデリングの流れ

パラメトリックモデリングの流れを**図－１**に示す．スケッチは 2 次元平面上に描く 2 次元図形のことである．その図形を押し出したり，回転させたりすることで 3 次元形状が生成される．スケッチに対して幾何や寸法の拘束を定義し，形状を決定する．ここで，「モデリング操作履歴の記憶とその操作の再実行による方法」を採用する理由は，次のとおりである．

- 多くの汎用 3 次元 CAD で採用されている方法である．
- バリアント手法（CAD のマクロ言語を用いてモデルを生成する方法や手順を記述する方法）はコマンドベースであるためユーザが利用しにくい．
- 方程式の数値解法による手法と推論に基づく手法は，数式や推論を CAD に組み込むことが困難である．
- 3 次元モデルの拘束を可能にすると処理が煩雑になりすぎる．

b）スケッチ

スケッチは，3 次元形状を作成する際の基盤となるデータであり，作成操作で使用する 2 次元幾何形状である．これは，Part108（Parameterization and constraints for explicit geometric product models）[10]に準拠する．2 次元幾何形状として，線分，折線，円，円弧，楕円，放物線，双曲線，NURBS 曲線，クロソイド曲線を定義する．その図形を押し出したり，回転させたりすることで 3 次元モデルが生成あるいは削除される．スケッチの図形は，幾何情報と位相情報で構成される．スケッチにおいては, まず図形の位相情報を定義する．次に，幾何情報として幾何拘束と寸法を定義する．幾何拘束を利用することにより，パラメトリックな形状編集を可能とする．幾何情報は，2 次元の基本幾何図形のみで表現され，各幾何図形要素に対して，任意に拘束条件を付加することができる．

また，スケッチにおいて面取り，フィレット，オフセットの編集機能を使用できる．スケッチ上に配置さ

れた幾何情報は，スケッチ毎に定義した座標系で位置情報を保持する．それぞれのスケッチは 3 次元空間上の配置座標を保持し，スケッチを使用する作成操作から生成される 3 次元形状は，スケッチの持つ配置情報をもとに 3 次元空間上での配置位置を決定する．

c）拘束

拘束はラフに作成したスケッチに対して定義され，形状を決定する．拘束には，幾何拘束，寸法拘束，数学的拘束がある．幾何拘束は，それぞれの要素が平行関係であることや同じ長さであることなどの要素間の幾何学的な関係を決定するためのものである．寸法拘束は，図形そのものの長さや角度を決定するためのものである．定義した拘束について，不足や矛盾を確認することが拘束評価である．拘束は Part108 に準拠する．

d）操作履歴

操作履歴は，「スケッチに対しての作成・編集操作」および「3 次元モデル（スケッチから生成された 3 次元形状を含む）に対しての作成・編集操作」のそれぞれを保持する．操作履歴を保持することで，3 次元形状の再編集を実現することが可能となる．操作履歴は Part55（Procedural and hybrid representation）[11]と Part111（Elements for the procedural modeling of solid shapes）[12]に準拠する．

e）3 次元幾何形状

3 次元幾何形状は，操作履歴とスケッチから生成される 3 次元形状データである．3 次元データを異なる CAD ソフトウェア間で交換する際には，操作履歴とスケッチだけでなく，これらを全て実行した結果に対応する 3 次元幾何形状が必要である．最終形状は，3 次元形状の作成・再編集時の参照情報として利用される．汎用 3 次元 CAD エンジンで生成される CAD データは，AP（Application Protocol）203（Configuration controlled design）[13),14)]に準拠する．また，操作履歴を再実行して生成される形状が部品モデルとなり，部品モデルを組み合わせたものがアセンブリモデルとなる．

f）属性

属性は，3 次元モデルに付加された属性情報を保持し，幾何要素，アセンブリといった多様なレベルでの属性情報の関連づけを実現する．時間項は，構造物に関する情報と構造物の維持管理に関する情報に分類され，ドメイン CAD 間で共通の定義として保持すべき項目を既定義属性とする．具体的には，構造物の設置・撤去の日時，構造物の供用開始・終了日時，日常点検・定期点検・詳細点検の実施頻度などを有する．

（2）3 次元モデリング

a）作成機能

3 次元データの利用場面の調査[7)]および CAD ベンダと有識者へのヒアリングより，汎用 3 次元 CAD エンジンの表現形状モデルとしては，サーフェスモデルが最適である．また，汎用 3 次元 CAD エンジンを使用した各ドメイン CAD において，図面データの編集や表面積計算等の数値計算，さらには各種シミュレーションを実現するためには，位相情報の保持が必須となる．そこで，汎用 3 次元 CAD エンジンの表現形状モデルとして，位相付き 3 次元サーフェスモデル（Manifold surface shape representation）を採用する．

モデリングでは，作成操作として，押し出し体，回転体，スイープ体，ルールド体，メッシュ体，ブーリアン体を実現する．例えば，押し出し体では，スケッチ上で表現された底面形状に任意に押し出し方向と押し出し量を設定して押し出すことにより形状を作成する．設計者が行う作成操作は，操作履歴として記録され，設計者は設定値を変更できる．

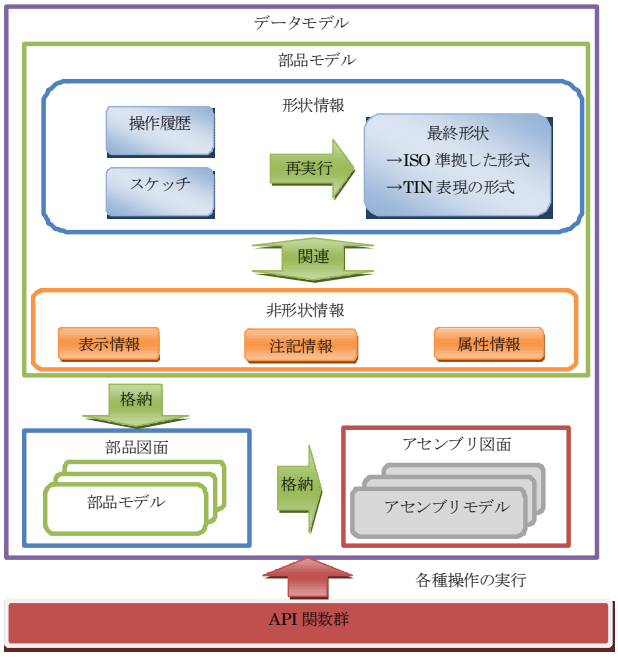
b）編集機能

編集操作として，面取り，フィレット，切断，移動，回転，拡大・縮小を実現する．これらのうち，面取り，フィレットおよび切断の操作は，操作履歴に記録される．一方，移動，回転，拡大・縮小の操作は，別の操作履歴の設定値を変更するものであるため，操作履歴には記録されない．例えば，フィレットでは，事前操作までを再実行することで生成した 3 次元形状に対してフィレット処理を実行するエッジを任意に設定し，フィレット値（半径値）を指定する．

（3）データモデル

モデリング機能については，操作履歴として 3 次元モデル作成のために行った一連の操作をその順序を保持した状態で管理する．操作履歴は 3 次元モデル毎に作成されるものであり，モデリング情報を管理する最上位の枠組みである．操作履歴で管理する個々の操作は，その種類毎に定義したデータモデルで管理される．

ISO10303 に準拠したデータ交換においては，操作履歴とスケッチに加え，最終形状の情報も受け渡す必要がある．そこで，最終形状は，AP203 で定義されるデータ表現に準拠する．ただし，描画ライブラリとして使用を想定している OpenGL においては，円や曲面といった形状を直接描画できないため，ISO10303 に準拠した形式から OpenGL の描画のための形式に変換する必要がある．そこで，汎用 3 次元 CAD エンジンでは，OpenGL でのスムーズな描画の実現を図るために，最終形状として，AP203 に準拠した形式と OpenGL の描画を想定して TIN（triangulated irregular network）化した 3 次元形状の 2 つのデータモデルにおいて最終形状を管理する．また，部品モデルでは，非形状情報として，表示情報，注記情報と属性情報を管理する．これらは，形状情報に対して関連付けられる．



図－２ 汎用 3 次元 CAD エンジンの構成

４．汎用 3 次元 CAD エンジンの構成

前章の検討結果より，汎用 3 次元 CAD エンジンの構成を**図－２**に提案する．汎用 3 次元 CAD エンジンは，各機能を実現する上で扱う情報を管理するデータモデルとそれらを操作するための API 関数群によって構成される．API 関数群は道路や橋梁，ダムなど特定分野向けのドメイン CAD で利用される．

汎用 3 次元 CAD エンジンのデータモデルは，個々の 3 次元モデルを管理する「部品モデル」，その集合によって表現される図面情報を管理する「部品図面」，アセンブリモデルの集合によって表現される図面情報を管理する「アセンブリ図面」によって構成される．特に，データモデルの基盤となる部品モデルについては，その主要な構成要素である「操作履歴」，「スケッチ」と「最終形状」において 3 次元モデルの情報を管理する．

５．おわりに

本研究では，建設事業のための汎用 3 次元 CAD エンジンを開発するために，パラメトリックモデリングの採用，ISO10303 の準拠，時間項の考慮という方針を有する汎用 3 次元 CAD エンジンを考察した．そこでは，パラメトリックモデリングによって 3 次元モデルを作成するためのスケッチや操作履歴などの要素，ISO10303 の対応規格，3 次元モデルの作成・編集機能を検討した．今後は，汎用 3 次元 CAD エンジンの設計を行い，エンジンの開発を行うことで設計の検証を行う予定である．

謝辞：本研究は，関西大学産学連携プロジェクト（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）により実施し，参画企業のご協力を賜った．また，国土交通省建設技術研究開発助成「汎用 3 次元 CAD エンジンの調査と設計に関する技術開発」の支援を受けた．ここに記して，感謝の意を表します．

参考文献

1) 窪田諭：道路事業を対象とした 3 次元データの活用に関する検討，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.62, No.1，pp.43-48，2012 年 1 月．
2) 国土交通省情報化施工推進会議：情報化施工推進戦略，2008 年．
3) 古田均，田中成典，トーマス・フローズ，山崎元也，本郷廷悦，草野成一，物部寛太郎：高速道路事業におけるプロダクトモデルの研究開発，情報処理学会論文誌，Vol.49，No.8，pp.2802-2817，2008 年 8 月．
4) 田中成典，今井龍一，中村健二，川野浩平：点群座標データを用いた 3 次元モデルの自動生成に関する研究，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌），Vol.23，No.4，pp.572-590，2011 年 8 月．
5) Nikolic, D., Jaruhar, S., and Messner, J.I., Educational Simulation in Construction: Virtual Construction Simulator, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 25, No. 6, pp. 421-429, 2011.
6) 藤澤泰雄，矢吹信喜，五十嵐善一，吉野博之：鉄道高架橋を対象とした三次元設計モデルの積算・施工への利用，土木学会論文集 F3（土木情報学），Vol.67，No.2，pp. Ⅰ_8- Ⅰ_17，2011 年．
7) 田中成典，窪田諭，北川悦司，物部寛太郎，中村健二：建設事業における汎用 3 次元 CAD エンジンの調査と設計，土木学会論文集 F3（土木情報学），Vol.67，No.2，pp. Ⅱ_41- Ⅱ_50，2011 年．
8) 大高哲彦：デジタルエンジニアリングに関する一考察，UNISYS TECHNOLOGY REVIEW，第 79 号，2003 年．
9) 木村文彦，小島俊雄：製品モデル表現とその利用技術 STEP，日本規格協会，1995 年．
10) ISO10303-108: *Industrial automation system and integration – Product data representation and exchange – Part108: Integrated application resource: Parameterization and constraints for explicit geometric product models*, International Organization for Standardization, 2005.
11) ISO10303-55: *Industrial automation system and integration – Product data representation and exchange – Part55: Integrated generic resource: Procedural and hybrid representation*, International Organization for Standardization, 2005.
12) ISO10303-111: *Industrial automation system and integration – Product data representation and exchange – Part111: Integrated application resource: Elements for the procedural modeling of solid shapes*, International Organization for Standardization, 2007.
13) ISO 10303-203: *Industrial automation system and integration – Product data representation and exchange – Part203 : Application protocol : Configuration controlled design*, International Organization for Standardization, 1994.
14) 財団法人日本情報処理開発協会 STEP 推進センター：AP203 解説書，1998 年．