Winged-edge 表現ソリッドモデルの STEP インタフェース*

中村伊知郎** 小島俊雄*** 久貝 穰† 木村文彦††

A STEP Data Access Interface for the Winged-edge Structure of CAD Database

Ichiro NAKAMURA, Toshio KOJIMA, Yutaka KUGAI and Fumihiko KIMURA

This paper describes a common CAD database access interface for the Winged-edge structure of CAD database. Using the interface, application programs can use subsets of CAD database as the data of a STEP Application Protocol (AP), because the conversion process between CAD data model and STEP data model is embedded in the interface program. EXPRESS language is used to specify this interface. The interface specifications are composed of a set of schema defining a STEP AP, a CAD data model and the mapping relationships between CAD and STEP in a unit of Entity set. An implementation method is proposed to generate an interface program from the specification definition. It is also showed that the mechanism discussed in this paper can apply to the complicated data model of real CAD systems.

Key words: CAD/CAM data exchange, database interface, STEP, STEP data access interface, winged-edge structure, CAD database, CAD data model, database schema, data specification

1. 緒 言

CAD/CAM システム間のデータ交換に関する国際規格 STEP (STandard for the Exchange of Product model data)¹⁾²⁾ において、製品モデルデータベースの標準インタフェース SDAI (Standard Data Access Interface)³⁾ が検討されている。SDAI は、STEP のデータモデルに基づいた製品データベースのアクセスインタフェースを定めるものである⁴⁾⁵⁾。従って、STEP データベースを直接利用しない CAD システムにおいては、STEP データモデルとは異なる CAD データモデルが用いられているため、SDAI を利用するには CAD データベースと STEP データベース間の変換が必要となる。

筆者らは、CAD システムにおける応用プログラムの可搬性を実現するために、CAD データベース上に SDAI インタフェースを構築する研究を行ってきた。そして、CAD と STEP のデータモデル間に必要な変換可能性の条件を導き、その条件に基づいた STEP データモデルとの写像関係を持つ CAD データベースへの実装方法を報告した⁶⁾。本文は、境界表現ソリッドモデルの中で広く利用されている Winged-edge 表現⁷⁾ の CAD データベースにおける SDAI インタフェース定義とその実装方式に関する検討を行い、これまでに導いた変換可能性の条件を拡張するものである。

本研究により、CAD データモデルと STEP データモデル間の写像関係に関する条件が一般化され、幅広い応用分野で、STEP 規格に基づいて特定の CAD システムに依存しない応用プログラムの作成が可能になる。

2. STEP と CAD における境界表現ソリッドモデル

本研究の目的は、Winged-edge 表現に基づいた境界表現ソリッドモデルを表現する CAD データベースに対して、図 1 に

示すように、SDAI インタフェースを構築することである。本インタフェースプログラムは応用プログラムに対して、STEP 規格の SDAI に従ったインタフェース仕様を提供するが、実質のデータ管理は CAD データに対するものとなる。そこで本文では、DAIS (Data Access Interface for STEP)⁸⁾ と呼ぶことにする。

STEP で定めるデータモデルは、応用分野ごとにアプリケーションプロトコル (以下、AP)²⁾ として、EXPRESS 言語⁹⁾ で規格化されており、境界表現ソリッドモデルに関しても AP 204⁹⁾ 及び、AP 204 から引用される汎用リソース²⁾ の 1 つである Part 42¹⁰⁾ としてまとめられている。

本文では、STEP データモデルとして AP 204 を、CAD データモデルとして Winged-edge 表現をそれぞれ取り扱うが、それらの本質的部分を取り出したものを議論の対象とする。両データモデルは構造において異なるが、同等の表現能力を持つ。また、各データモデル中のデータ要素 (以降、エンティティ⁸⁾) については、位相に関するものを中心に議論し、幾何形状に関するものは省略する。

STEP データモデルの図式表現を図 2 (a) に、CAD データモデルの図式表現を図 2 (b) にそれぞれ示す。本文では、データモデルの図式表現に、EXPRESS-G 表記法⁹⁾ を利用している。図より分かるように、STEP では形状モデルを表すエン

Fig. 1 Data sharing based on STEP data model

* 原稿受付 平成 5 年 1 月 22 日

** 正 会 員 三菱電機(株)情報通信システムエンジニアリングセンター (鎌倉市上町屋 325)

*** 正 会 員 機械技術研究所 (つくば市並木 1-2)

† 正 会 員 シャープ(株)総合デザイン本部 (大阪市阿倍野区長池町 22-22)

†† 正 会 員 東京大学工学部 (東京都文京区本郷 7-3-1)

Note: If flag is TRUE, the topological sense coincides with the sense of STEP_EDGE.

(a) STEP schema

(b) CAD schema

□ = Entity □ = Predefined type
 —○ = Reference -○ = Optional reference
 S = SET L = LIST

Fig. 2 Data model definition schema

ティティが位相を表すエンティティを参照し、さらに位相エンティティが幾何形状エンティティを参照する単純なモデル構造で表現されている。一方、CAD ではエンティティの自己参照により、loop エンティティのリスト構造や edge エンティティのループ構造を表す複雑なモデル構造で表現されている。データモデルに定義される継承構造や拘束条件については省略した。

3. データモデルの写像関係

応用プログラムが DAIS に対して、STEP インスタンスデータ（以降、インスタンス）を書き込む場合は、STEP エンティティから CAD エンティティへの写像関係が、読み取る場合は、逆方向の写像関係が必要となる。

3.1 一般原理

DAIS 実現の前提となる STEP 対 CAD のデータモデルの写像関係に関してまとめる⁶⁾。

STEP データモデルは各種 CAD データモデルを一般化する形で審議が進められてきており、STEP と CAD 間のデータモデル全体としての写像関係は、近似が発生することを条件として、定義可能と仮定する。

(a) STEP to CAD mapping

(b) CAD to STEP mapping

→ Reference → Mapping
 ● Parent instance ● Child instance

Fig. 3 Mapping between STEP and CAD

製品データモデルは一般的にその論理的単位の階層構造で表現され、STEP の論理単位は規格の性格上、CAD の論理単位との類似性が期待できる。よって、STEP の 1 論理単位から CAD の n (以降、 $n \geq 1$) 論理単位への写像関係と、CAD の 1 論理単位から STEP の n 論理単位への写像関係がそれぞれ定義可能と仮定できる。また、データモデル全体を 1 つの論理単位とし、データモデル間の写像関係を論理単位の 1:1 の写像関係と考えれば、すべてのエンティティは 1 つ以上の論理単位とその写像関係に属することになる。

論理単位はネットワークまたは木構造を成すエンティティの集合で表現されるので、本文ではエンティティ集合と呼ぶことにする。

3.2 境界表現ソリッドモデルへの適用

図 2 の (a), (b) に示した STEP, CAD データモデルに関して、STEP → CAD の写像関係を図 3 (a) に、CAD → STEP の写像関係を図 3 (b) にそれぞれ示す。あるエンティティ集合から生じたインスタンス集合を代表するインスタンスを親インスタンスと呼び、他の要素インスタンスを子インスタンスと呼ぶ。親インスタンスを生成するエンティティを親エンティティと呼び、親インスタンスを生成しないエンティティを子エンティティと呼ぶ。

図より分かるように、写像先のインスタンス集合の子インスタンスの中には、別のインスタンス集合の親インスタンスに相

当するものがあるので、写像関係には階層構造が存在する。特に、図3の(a)のCADのインスタンス集合の中には、同じエンティティから生成される親インスタンスと子インスタンスから構成されるものがあるため、STEP→CADの写像関係を持つ階層構造には自己参照構造が含まれている。

4. 写像関係の定義方式

本研究では、STEPのAP文書を直接引用できる点から、STEPとCADデータモデル間の写像関係の定義言語としてEXPRESSを採用した。STEPのAPを他の計算機言語に変換することによって生じる曖昧さを排するためである¹¹⁾¹²⁾。EXPRESSはSTEPのデータモデル定義言語であり、意味上の拡張が伴うが、拘束条件等を記述するための機能を写像関係定義に应用することが可能である⁹⁾。

4.1 全体構成

データモデルとその写像関係定義は、EXPRESSの記述単位であるスキーマ⁸⁾を利用し、(1)STEPのデータモデル定義、(2)CADのデータモデル定義、(3)STEP→CADの写像関係定義、(4)CAD→STEPの写像関係定義に分割して記述する。

(1),(2)はそれぞれ図2の(a),(b)に相当するもので、構成エンティティについての属性及び、WHERE節⁸⁾による局所拘束条件の定義と、データモデル全体についてのRULEブロック⁸⁾による大域拘束条件の定義を記述し、(1)はSTEP規格文書を直接利用する。

(3),(4)は、(1),(2)を参照して、写像先のエンティティ集合単位に写像関係定義を記述する。

4.2 写像関係定義スキーマの構成

写像先のエンティティ単位に分割して、写像関係を記述することにする。本方式は可読性が良い点に加え、DAISにおいて、対象インスタンスに関してエンティティに対応した処理を可能にするためである⁹⁾。

エンティティ集合間の写像関係定義は、(1)写像元エンティティ集合の要素エンティティの宣言、(2)写像先エンティティ集合の要素エンティティの宣言、(3)写像元エンティティ集合を写像先エンティティ集合へ写像する手続きの記述、の3つの構成要素に分割できる。そして、各写像関係定義スキーマにおいて、写像先エンティティ集合の親エンティティを継承する写像先親関係定義エンティティと、写像元エンティティ集合の親エンティティを継承する写像元関係定義エンティティを用意して、以下のように定義することにする。

- (1) 写像元エンティティ集合の宣言： 写像先親関係定義エンティティに写像元関係定義エンティティを参照する属性を定義し、WHERE節において写像元エンティティ集合の各エンティティのインスタンスの存在を局所拘束条件として記述する。
- (2) 写像先エンティティ集合の宣言： 写像元関係定義エンティティから写像先へ、(1)と逆方向の定義を行う。
- (3) 写像関係手続きの記述： 写像先親関係定義エンティティが継承する各属性に関する写像関係は、属性値を写像元のエンティティの属性値から定義することによって記述できるが、これには属性値を他の属性値から導くDERIVE節⁸⁾を利用できる。他エンティティ集合の親エンティティではない子エンティティに関する写像関係は、子エンティティを継承する写像先子関係定義エンティティ

を定義し、そのDERIVE節を利用して記述する。写像先親関係定義エンティティと写像先子関係定義エンティティとは、WHERE節の有無で区別できる。前者からの後者の呼出しは、後者のインスタンスを生成する関数であるコンストラクタ⁸⁾を参照する形となる。情報伝達が必要であれば、後者の属性として定義しておき、前者からコンストラクタの引数として渡す。

EXPRESSの仕様においては、各エンティティに関して暗黙に宣言されるコンストラクタは、そのエンティティ自身のインスタンスを生成するものだが、写像先親関係定義エンティティと写像先子関係定義エンティティのコンストラクタは、自分自身ではなく、継承の上位型(Supertype)⁸⁾となるエンティティのインスタンスを生成する。本文では、EXPRESS言語仕様を拡張して、継承による分類のために用意された抽象上位型(Abstract supertype)⁸⁾に継承の上位エンティティのインスタンスを生成するコンストラクタを持たせて、各種の写像先関係定義エンティティの定義に利用した。

4.3 境界表現ソリッドモデルへの適用

図4は、図3(b)の(2),(3)に関する写像関係の定義例である。本図では、EXPRESS-G表記法にWHERE節とDERIVE節の内容を補った表現を用いている。

図3(b)の(2),(3)に示すように、CADのloopエンティティは外周ループを表現している場合、STEPのfaceとloopエンティティに、1:2に写像される。WHERE節は図4のSF-from-CLエンティティに現れるように、対応するエンティティ集合の宣言のほか、写像関係の適用条件定義にも利用する。STEPのedge-useエンティティに関する定義は、直接対応付けられるCADエンティティがないため、写像先子関係定義エンティティで記述している。

ここで利用しているアルゴリズムの原理は、小島ら¹²⁾が用いたものと同一である。小島ら¹²⁾はデータモデル全体に関する写像関係について論じたが、本文ではエンティティ集合間の写像関係としてとらえていることが本質的な違いである。

5. DAISの実装方式

4章において写像関係定義を形式言語で行ったので、曖昧性が生じる人手による実装言語への翻訳を介さず、写像関係定義から直接的に、DAIS処理プログラムをプログラム生成することが可能である。

5.1 問題点

プログラム生成を実現するにあたっての問題点として以下のものがある。

- (1) DAISへの入出力は、STEPのインスタンス単位で行われるので、写像関係はSTEPのエンティティごとに必要だが、エンティティ集合ごとにしか定義できない。
- (2) 写像関係には階層関係が存在し、かつ自己参照構造を持つ階層も存在するため、写像関係に基づく処理には複雑な連鎖が生じる。

5.2 実装方式

本節では、これらの問題点をトランザクション¹³⁾の概念、DAISの内部データをデータモデルに基づいて管理するデータプール及び、データプール間のインスタンス識別子の対応表を導入することによって解決できることを示す。

本文では、応用プログラムから見た、CADデータベースに対する利用手続きの単位をトランザクションと定義する。トラ

Fig. 4 Mapping definition schema from CAD to STEP (Part)

Fig. 5 System configuration of DAIS

ンザクションはDAISによる複数の入出力から構成され、応用プログラムは各トランザクションの終了時点で、そのトランザクション内の入出力データがデータモデルとして整合性がとれていることを保証しなければならない。

図5にDAISのシステム構成を示す。DAISは、矩形で囲んだ4つの処理ブロックと、楕円で囲んだ2つのデータプールから構成される。SDAIインタフェースブロックは、応用プログラムに対してSDAIのインタフェース仕様を提供する。STEPデータプールは、STEPデータモデルに基づいた内部データを管理する。データ変換ブロックは、STEPとCADデータモ

デル間のデータ変換を行う。CADデータプールは、CADデータモデルに基づいた内部データを管理する。DAI制御ブロックは、CADシステムに依存したDAI(Data Access Interface)を制御する。DAIは、各CADシステムごとに提供されるCADデータベースに対するインタフェースである。

5.2.1 STEPデータプールの利用

5.1節の問題点(1)は、STEPデータプールの導入と、トランザクション単位での入出力データの整合性の保証により解決する⁶⁾。各エンティティ集合を構成するエンティティの一覧表がEXPRESS記述から抽出されることを前提として議論を進める。

STEPインスタンスの書き込み時には、入力インスタンスをSTEPデータプールに一時保存し、そのインスタンスのエンティティが所属する1つ以上のSTEP→CAD写像関係に関する写像元エンティティ集合のインスタンスがそろった時点で、写像関係定義に基づいてCADインスタンスを生成する。

STEPインスタンスの読取り時には、指定されたエンティティが所属する1つ以上のCAD→STEP写像関係に基づいて、全写像先エンティティ集合のインスタンスを生成し、対象インスタンス以外は要求があるまでSTEPデータプールに蓄えておく。

トランザクション単位での入出力データの整合性の保証により、STEPデータプール内のインスタンスは、トランザクションの終了ごとに消去できる。

5.2.2 CADデータプールの利用

5.1節の問題点(2)は、生成するCADインスタンスは直接

CAD データベースに格納されるので、整合性のとれたものでなければならないという制約に起因し、例えば、図3(a)の(3)の写像関係からCADのedgeインスタンスを生成する場合、参照する2 loop, 2 edge, 2 vertexの完全なインスタンスを事前に生成しておく必要があるが、edgeは自己参照によってループ構造をなしているため、実現できない。

本問題点は、CADデータプールの導入とトランザクション単位での入出力データの整合性の保証に加えて、処理系内にデータプール間のインスタンス識別子の対応表を用意することで解決する。

STEPデータプール内にCADのedgeインスタンスに対応するSTEPのloop, edge-use, edge, vertexインスタンスがそろったが、CADのedgeインスタンスが参照するloop, edge, vertexインスタンスに対応するSTEPインスタンスはそろっていない場合を考える。この時点では参照されるCADインスタンスの写像元エンティティ集合の親エンティティにあたるSTEPのloop, edge, vertexのインスタンスは特定できている。そこで、1つのSTEP→CAD写像関係を処理する際に、参照するCADインスタンスで他の写像関係の写像先親エンティティに相当するものは属性値の一部が未定のままCADデータプール内に生成してしまい、図5のようにCADデータプールのインスタンス識別子とSTEPデータプールのインスタンス識別子との対応表を管理することにする。これにより、不完全なCADインスタンスの写像元エンティティ集合にあたるSTEPインスタンスがSTEPデータプールにそろった時点で、完全なCADインスタンスを生成し、識別子対応表にしたがって置き換えることができる。

トランザクション単位での入出力データの整合性の保証により、CADデータプール内のインスタンスは、トランザクションの終了ごとにCADデータベースに書き込んだ後、消去できる。この際、識別子対応表のCADインスタンス識別子をCADデータベースのものに書き換える。また、CADデータプール内に不完全なインスタンスが残っている時は、異常を報告する。

本方式は、STEPデータモデルが自己参照構造を持つ場合の、STEPインスタンス読取り時にも適用できる。すなわち、STEPデータプールに属性値の一部が未定のままのSTEPインスタンスを生成し、読取り要求があった時点で、完全なインスタンスを生成して置き換える。

5.2.3 データの正当性検査

DAISは、トランザクションの終了ごとに、STEP及びCADデータプール内のインスタンスに対して、それぞれのデータモデル定義スキーマ中に定義された拘束条件に従って正

当性の検査を行うことにより、応用プログラムのトランザクション単位の入出力データが、データモデルとして整合性がとれているかを、検査することができる。

6. ま と め

CADデータベースの上に、STEPデータモデルとして入出力するデータアクセスインタフェースを構築することを提案した。

STEPとCADデータモデルのエンティティ集合間に写像関係が定義可能であることと、この写像関係の形式言語による定義より処理プログラムがプログラム生成可能であることを、製品データモデルの論理的単位が持つ階層構造と、STEPとCADデータモデル間の類似性に関する一般的な条件の下で論じた。境界表現ソリッドモデルの一表現法であるWinged-edgeデータ構造に関する実装を議論し、現実のCADシステムの複雑なデータモデルに適用可能であることを示した。

謝 辞

本研究は、工業技術院標準部機械規格課の標準化調査研究に関連する。関係各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 日本コンピュータ・グラフィックス協会：プラントデータ交換システムの標準化に関する調査研究成果報告書，(1992)。
- 2) ISO TC 184/SC 4 N 134 CD 10303-1：Overview and Fundamental Principles，(1992)。
- 3) ISO TC 184/SC 4/WG 7 N 262 Part 22：Standard Data Access Interface Specification，(1992)。
- 4) PDES Inc.：A High-level Architecture for Implementing a PDES/STEP Data Sharing Environment，PTI 017.03.00，(1991)。
- 5) D. Nixon et al.：Proposal for SDAI C++ Early Language Bindings，ISO TC 184/SC 4/WG 7 N 107，(1992)。
- 6) 中村伊知郎，小島俊雄，久貝 稔，木村文彦：STEPを利用したCADデータベースインタフェースの標準化，精密工学会誌，59，8 (1993) 1227。
- 7) 例えば，鳥谷浩志，千代倉弘明：3次元CADの基礎と応用，共立出版，(1991) 26。
- 8) ISO TC 184/SC 4 N 151 DIS 10303-11：The EXPRESS Language Reference Manual，(1992)。
- 9) ISO TC 184/SC 4/WG 3/P 1 N 161 Part 204：Mechanical Design Using Boundary Representation，(1992)。
- 10) ISO TC 184/SC 4 N 141 CD 10303-42：Geometric and Topological Representation，(1992)。
- 11) 小島俊雄，中村伊知郎，久貝 稔，木村文彦：STEPを用いたCADデータ交換システムの定式化，精密工学会誌，59，2 (1993) 239。
- 12) 小島俊雄，久貝 稔，中村伊知郎，木村文彦：STEPを用いた境界表現ソリッドモデルデータ交換システムの試作と実験，精密工学会誌，59，7 (1993) 1187。
- 13) 例えば，ソフト・リサーチ・センター：データベース・システム——最新技術と応用の展望，ソフト・リサーチ・センター，(1987) 109。