

数学的抽象階層に基づいた増加的モジュール式の セルラーDBMSの開発

児玉 敏男^{†1} 國井 利泰^{†2} 関 洋一^{†1}

要旨

インターネットが普及し、莫大な情報が常時処理される時代に入った。様々な情報戦略を展開している企業群においては、データまたはデータ属性間の依存関係が常に変化する状況に適合した情報システムの構築が時代の要請である。しかし、現在、最も汎用的に利用されている DBMS であるリレーショナル DBMS を振り返ると、データ間の依存関係が変化しない静的状況を前提にしている。ゆえに、情報システム構築時は、業務アプリケーションの開発分量が必然的に大きくなり、またシステム全体のメンテナンス性の低下を招いている状況にある。そこで、本稿では、グローバルモデルとして数学的抽象階層に基づき段階的に機構を付加（増加的モジュール式とする）する階層モデルを採用した新しい DBMS であるセルラーDBMS の開発提言を行う。さらに、プロトタイプシステムを開発し実際の業務適用例を示し、本システムの有効性を検証する。

A Development of a Cellular DBMS Based on an Incrementally Modular Abstraction Hierarchy

Toshio Kodama^{†1} Toshiyasu L. Kunii^{†2} Yoichi Seki^{†1}

Abstract

With the development of the Internet technology, we entered into a new era when enormous information is constantly being processed. As for the companies dealing with various information strategies, it is highly required to develop a information system which can handle situations where the data and/or data attributes dependencies are always changing. However, the relational DBMSs, the most popular commercial database, are built on the assumption that the data dependencies will not change. Therefore, the amount of the business applications inevitably becomes too large during the development of the information system and as the result the maintainability becomes low. Here, we propose a cellular DBMS that is based on the layer model that is based on incremental modular abstraction hierarchy and mechanisms are gradually added to as a global model. And we verify the effectiveness of it by having developed a prototype system and making examples of business application.

1. はじめに

インターネット上で、様々なコンピュータ機器がグローバルに常時接続される時代に入り、莫大な情報が常時処理されるようになった。その中、各企業が展開するインターネットモールでの顧客管理、コンビニエンスストアでの商品の在庫管理、建設工事現場での資機材管理等々、データ管理上の要求属性が常に変化する状況に適合した情報システムの構築が時代の要請である。しかし、現在、最も汎用的に利用されている DBMS であるリレーショナル DBMS (以下、RDB) を振り返ると、データまたはデータ属性間の依存関係が変化しない静的状況を前提にしている。変化に対してはデータベース管理者の存在が必要になる。ゆえに情報システム構築時は、業務アプリケーションの開発分量が必然的に大きくなりシステム全体のメンテナンス性が低下する。これは、RDB が採用するリレーショナルモデルが集合論的処理のみに基づき、情報の排他和の概念に基づかず情報のモジュール性を具備しないゆえである。これは、現在の他の主要なデータモデルである ER モデル、オブジェクト指向モデル、UML、XML 等、全て同様である。

情報の排他和について簡単な例を上げる。Web 上で企業 X が JV (Joint Venture) のパートナー企業 Y を探しているとする。条件がうまくマッチしたとき、接着写像 f によって以下の JV が形成される。

$$Y \sqcup X / \sim = Y \sqcup X / (x \sim f(y) \mid \forall y \in Y_0)$$

$$f: Y_0 \rightarrow X \mid Y_0 \rightarrow Y$$

$Y_0 \in Y$ は企業 Y の JV に関連する部分である。ここで \sqcup は数学的に排他和を表し、この JV モデルは排他和の概念に基づく。一方、企業 X が M&A を行う相手企業 Y を探していたとする。条件がマッチした後の合併時、Y は $Y_0 \rightarrow Y$ を結合部分として X と和をとる。

$$X \sqcup Y / (x \sim f(y) \mid \forall y \in Y_0)$$

リレーショナルモデルでは、JOIN 結合によって企業間の M&A は射影可能であるが、JV はサポートしえない。マニファクチュアリングにおいても JOIN 結合による和では、製品のパーツを代替不可なのでウェブ上のマニファクチュアリング(e-manufacturing) の利点を享受できない。ER モデル、オブジェクト指向モデル、UML も基本的にはグラフ理論モデルを基礎にしているので同値関係による接着をサポートしない。XML はネスト構造を形成するが、複雑なネスティングの妥当性を検証するための形式に欠ける。よって、システムが大きくなるほどその妥当性の検証が困難になる。

そこで、本研究ではこれらのデータモデルの欠点を補

^{†1} 前田建設工業(株) 情報システム SC
Maeda Corporation

^{†2} 金沢工業大学 IT 研究所
IT Institute, Kanazawa Institute of Technology

うため、グローバルモデルとしての代数的トポロジカルモデル（以下、階層モデル）を採用したセルラ-DBMSの開発提言を行う。階層モデルは、数学的抽象階層に基づき数学的排他和を表す接着空間モデル、セル空間モデルをサポートした全ての事象を射影可能なモデルである。このセルラ-DBMSの利用によって情報システム全体のメインテナビリティを格段に向上させ時代の要請に応えようとするものである。

2. 数学的抽象階層に基づいた階層モデル

2.1 概要

サイバー世界のような多様性に富む世界において、事象の一貫性を見いだすためには、数学的な不変量を定め多様性の中から本質を抽象化する必要がある。数学的不変量を表す同値関係によって全てのオブジェクトは部分集合の排他和として同値類を形成するが、その同値関係には次のような数学的抽象階層^{[2][3]}が存在する。

1. ホモトピーレベル
2. 集合論レベル
3. トポロジー空間レベル(特殊ケースとしてのグラフ理論レベル)
4. 接着空間レベル
5. セル空間レベル
6. 表現レベル
7. ビューレベル

この数学的抽象階層では、最も抽象度が高いホモトピーレベルから最下層のビューレベルまで段階的に機構が継承される関係にある。この数学的抽象階層に基づいたモデリング手法を“代数的トポロジカルモデリング”(Algebraic Topological modeling, 以下階層モデル)^{[2][3][4][5]}と呼び、著者の一人(T. L. Kunii)の独創的なアイデアである。この階層モデルは、上層から下層へ各階層の機構をモジュールとして増加的に付加する構造、増加的モジュール式を持つ。サイバー世界、実世界の全事象はこの数学的抽象階層を形成するので、階層モデルは全ての事象を射影可能な極めて汎用性の高い情報空間モデルであり利用価値が高い。

以下に、同値関係の数学的定義(2.2)、階層モデルの各階層の機構(2.3-2.9)について順に定義と応用に分けて説明する。

2.2 同値関係

集合 X 上の関係 $R \subseteq X \times X$ において、

1. $(\forall x \in X)[xRx]$ ならば、関係 R は反射律を満足するという。
2. $(\forall x, y \in X)[xRy \Rightarrow yRx]$ ならば、関係 R は対称律を満足するという。
3. $(\forall x, y, z \in X)[[xRy \Rightarrow yRz] \Rightarrow xRz]$ ならば、関係 R は推移律を満足するという。

この1. 反射律, 2. 対称律, 3. 推移律を同時に満足する関係 R を同値関係(equivalence relation)といい、 \sim

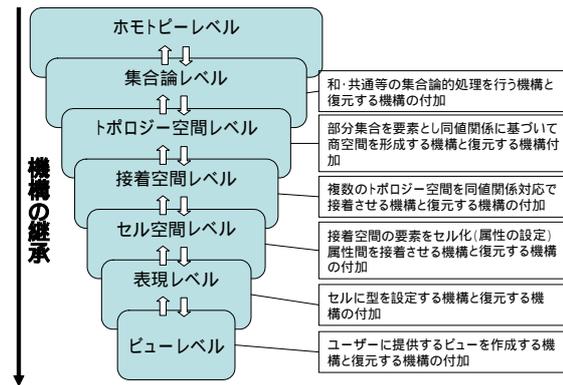


図 2.1 抽象階層の増加的モジュール式

Fig.2.1 An incremental modular abstraction hierarchy

で表す。 X の要素 x が与えられて、 $x/\sim = \{y \in X: x \sim y\}$ で定義される X の部分集合を x の同値類と呼び、全ての同値類の集合 X/\sim を X の商空間 (the quotient space), または等化空間 (the identification space) と呼ぶ。

$$X/\sim = \{x/\sim \in 2^X \mid x \in X\} \subseteq 2^X.$$

推移律から、 $x \in X, x/\sim \neq \phi$ ならば以下が成り立つ。

$$x \sim y \Leftrightarrow x/\sim = y/\sim,$$

$$x \not\sim y \Leftrightarrow x/\sim \cap y/\sim = \phi$$

これは、集合 X を ϕ ではない排他同値類への分解を意味する。

2.3 ホモトピーレベル

定義

ホモトピー理論は空間の変化の構造を扱う理論である。 X と Y をトポロジー空間、 f, g を X から Y の連続写像、 $I=[0,1]$ を変化のインターバルとする。

このとき、ホモトピー H は、

$$H: X \times I \rightarrow Y$$

$t \in I$ とし、

$$t=0 \text{ のとき } H = f,$$

$$t=1 \text{ のとき } H = g$$

である。ホモトピーは連続写像の拡張である。

$$H[X \times \{0\}] = f_0$$

$$H[X \times \{1\}] = g_1$$

このとき、

$$i_0 = X \times \{0\} \rightarrow X,$$

$$i_1 = X \times \{1\} \rightarrow X.$$

また、トポロジー空間 X, Y が以下の条件を満たすときホモトピー同値 $X \simeq Y$ という。

2つの関数 f, h

$$f: X \rightarrow Y,$$

$$h: Y \rightarrow X,$$

があり、

$$h \circ f \simeq 1_X \text{ かつ } f \circ h \simeq 1_Y$$

となる。このとき、 1_X と 1_Y は以下の恒等写像である。

$$1_X: X \rightarrow X, 1_Y: Y \rightarrow Y.$$

応用

このホモトピーのレベルは抽象階層の中で最も抽象度が高く位置づけられ、資源構成の候補となる全集合の全要素が存在するレベルである。またホモトピー保存の機構は集合論レベル以下の全ての階層で継承される。つまり、各空間が各階層レベル上にあるいは階層間を段階的に変化するときのホモトピーが保存されるので、変化の復元が可能になり資源の再利性が向上する。

2.4 集合論レベル

定義

集合上のどのようなオブジェクトも要素と呼ぶ。要素のない集合を空集合と呼び \emptyset で表す。このレベルの演算は、和 $(X \cup Y)$ 、共通 $(X \cap Y)$ 、差 $(X - Y)$ 、直積 $(X \times Y)$ 、否定 $(\neg X)$ 等である。集合には、各要素に順序もつ順序集合と順序を持たない非順序集合がある。順序集合とは、集合 A に次のような条件を満たす二項関係 \leq が定まっている対 (A, \leq) のことをいう。

任意の元 a について

1. $a \leq a$ (反射律)
2. $a \leq b$ かつ $b \leq c$ ならば $a \leq c$ (推移律)
3. $a \leq b$ かつ $b \leq a$ ならば $a = b$ (反対称律)

応用

この集合論レベルでは、ホモトピーレベルの集合を集合演算し資源となる、順序集合も含めた各集合を作成する機構を付加する。また、このレベルはホモトピー保存の機構を継承しているので集合の演算結果を元の集合に戻すことができる。例えば、集合 A, B が $A \times B$ で直積処理されるとき一般的には情報が失われ変化前の集合に戻すことはできないが、変化のホモトピーを保存することで処理結果を復元することが可能になり、集合の再利用が可能になる。

2.5 トポロジー空間レベル

定義

集合 X の部分集合の族 T が次の条件を満足するとき、集合 X のトポロジーという。

- 1) $X \in T, \emptyset \in T$;
- 2) $\forall j \in J (U_j \in T) \rightarrow \bigcup_{j \in J} U_j \in T$;
- 3) $U, V \in T \rightarrow U \cap V \in T$.

トポロジー T を与えられた集合 X をトポロジー空間といい (X, T) で表す。集合 X に対して与えられた2つのトポロジー T_1, T_2 が $T_1 \subset T_2$ なら T_1 は T_2 より弱い(または粗い)という。逆に T_2 は T_1 より強い(または細かい)という。明らかに最も強いトポロジーは集合 X の巾集合 (the power set) であり離散トポロジー (a discrete topology) という。また最も弱いトポロジーは \emptyset であり密着トポロジーという。また2つのトポロジー空間 $(X, T), (Y, T')$ がトポロジー同値であるとは、 $f: (X, T) \rightarrow (Y, T')$ が連続であり、逆写像 f^{-1} が存在し連続であるときである。トポロジー空間を X とすると X は全単射かつ連続な等化写像 f (an identification map) により各要素 $x \in X$ が部分集合 $(x/\sim \in X/\sim)$ に写像され商空間 (a quotient space or an

identification space) を形成する。

$$f: X \rightarrow X/\sim$$

また要素である部分集合が二項関係に限定されたときは特殊ケースとしてのグラフ理論レベルとなる。

応用

このトポロジーレベルでは、部分集合を要素として扱うトポロジー的処理を行う機構を付加する。このトポロジー的処理の機構とホモトピー保存機構により、集合論レベルの資源から要求に応じたトポロジー空間を作成できる。さらにトポロジー空間は要求の同値関係に対応した商空間にホモトピックにトポロジーを変化させることができ、また保存されたホモトピーにより復元も可能である。またトポロジー空間の構成を変更する要求に対しては、保存されたホモトピーによりトポロジー空間を一度集合論レベルに戻しトポロジー空間を再構成することが可能である。つまり集合論レベルの継承によって資源の再利用性が向上する。

2.6 接着空間レベル

定義

接着写像 f によりトポロジー空間 X の要素と別のトポロジー空間 Y の要素の間の同値関係により接着写像 (an attaching map) 等化写像 g (an identification map) を定め、接着空間 Y_f (an attaching space, or an adjunction space, an adjoining space) を作成する。

$$f: Y_0 \rightarrow X \mid Y_0 \subseteq Y, \text{ and}$$

$$g: Y \sqcup X \rightarrow Y_f = Y \sqcup_f X = Y \sqcup X / \sim = Y \sqcup X / (x \sim f(y) \mid \exists x \in X, \forall y \in Y_0). \text{ ここで } \sqcup \text{ は排他和を表す。}$$

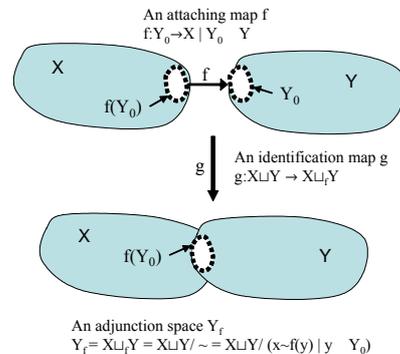


図 2.6.1 接着空間レベルにおける接着機構

Fig.2.6.1 An attaching mechanism at the adjunction space level.

応用

この接着空間レベルでは、複数の異なるトポロジー空間を、要素間の同値関係の対応により接着させる機構を付加する。この機構とホモトピー保存の機構により、トポロジー空間レベルの資源が要求された同値関係に対応した接着空間レベルにホモトピックに写像される。

書籍のオンラインショッピングの例^[14]を引用する。顧客を意味する空間 X 、オンライン書籍店を意味する空間 Y があり、 X の要素である the 'name' と Y の要素である the 'books' がそれぞれ {the surname, the middle name, the

given name}, {the new books, the old books}の部分集合を形成しているとする. X, Y は部分集合を要素に持つ集合なのでトポロジー空間である. ここで, 顧客 X が WEB 上でオンライン書籍店 Y を見つけたとする. その初期状態はまだ X と Y は互いに独立していると考えられるので $X \sqcup Y$ (\sqcup は排他和を意味する) である. そして, X が Y のホームページから嗜好にあった書籍 $Y_0 \subseteq Y$ を見つけ購入したとする. このとき, ユーザーの嗜好 $x \in X$ と対応する書籍 $y \in Y_0$ の写像 $f(y)$ が同値関係の対応を取り X と Y が接着され接着空間 Y_f が形成される (図 2.6)

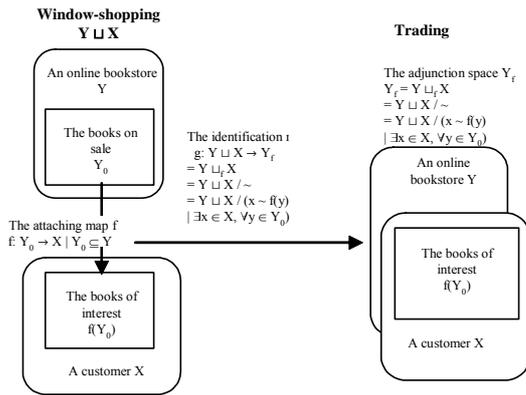


図 2.6.2 接着空間レベルにおけるオンライン書籍店の概念的多元分解分析
Fig.2.6.2 Conceptual multiresolution analysis of an online bookstore at the adjunction space level.

接着写像は要求に応じて様々に変化するが, 保存されたホモトピーにより接着空間は一度トポロジーレベルに戻し, 要求の同値関係に対応して再度接着空間に写像すれば柔軟に要求の変化に対応可能である. つまりトポロジー空間レベルの継承によって資源の再利用性が向上する.

2.7 セル空間レベル

定義

n 次元のセルは, n 次元の閉球とトポロジー的に同値であるトポロジー空間である. クローズドな n 次元のセルは n 個の属性を持ち \mathcal{B}^n と表し, オープンな n 次元セルは $\text{Int}\mathcal{B}^n$ と表す. \mathcal{B}^n は,

$$\mathcal{B}^n = \{x \in \mathbb{R}^n, \|x\| \leq 1\}$$

である. ここで \mathbb{R}^n は n 次元の実数である.

また, セル接着写像 f , 等化写像 g によりセル \mathcal{B}_s^p を別のセル \mathcal{B}_c^q にセル接着すると, 統合セル空間 Y_f が形成される.

$$f: \partial \dots \partial \mathcal{B}_s^p \rightarrow \partial \dots \partial \mathcal{B}_c^q$$

$$g: \mathcal{B}_s^p \sqcup \mathcal{B}_c^q \rightarrow \mathcal{B}_s^p \sqcup_f \mathcal{B}_c^q = Y_f$$

$$Y_f = \mathcal{B}_s^p \sqcup \mathcal{B}_c^q / \sim$$

$$= \mathcal{B}_s^p \sqcup \mathcal{B}_c^q / (\exists x \in \mathcal{B}_s^p, \forall y \in \mathcal{B}_c^q)$$

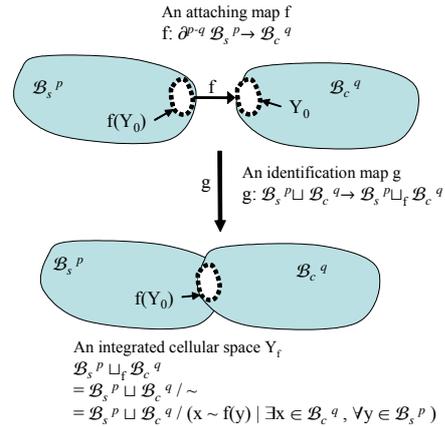


図 2.7 セル空間レベルにおけるセル接着機構
Fig. 2.7 A cell attaching mechanism at the cellular space level.

応用

このセル空間レベルで, スキーマ, インスタンスの区別を設け, また接着空間の要素に属性を設けてセルを作成する機構, また複数のセル空間で各属性, インスタンス間で同値関係の対応を取り接着する機構 (セル接着) を付加する. これらの機構とホモトピー保存の機構により, 接着空間の資源が, 要求に対応したセル空間にホモトピックに写像される.

引き続き書籍のオンラインショッピングの例を挙げる. トポロジー空間である顧客 X , オンライン書籍店 Y にそれぞれ n, m の次元を設け $\mathcal{B}_{\text{store}}^m, \mathcal{B}_{\text{customer}}^n$ に, また書籍 Y_0 に k ($k \leq m$) の次元を設け $\mathcal{B}_{\text{store}}^k$ にしたとする. 接着空間と接着写像 f , 等化写像 g は,

$$\mathcal{B}_{\text{store}}^m \sqcup_f \mathcal{B}_{\text{customer}}^n = \mathcal{B}_{\text{store}}^m \sqcup \mathcal{B}_{\text{customer}}^n / \sim = \mathcal{B}_{\text{store}}^m \sqcup \mathcal{B}_{\text{customer}}^n / (x \sim f(y) \mid \exists x \in \mathcal{B}_{\text{customer}}^n, \forall y \in \mathcal{B}_{\text{store}}^k)$$

$$f: \mathcal{B}_{\text{store}}^k \rightarrow \mathcal{B}_{\text{customer}}^n \quad (\text{where, } \mathcal{B}_{\text{store}}^k \subseteq \mathcal{B}_{\text{store}}^m)$$

$$g: \mathcal{B}_{\text{store}}^m \sqcup \mathcal{B}_{\text{customer}}^n \rightarrow \mathcal{B}_{\text{store}}^m \sqcup_f \mathcal{B}_{\text{customer}}^n$$

である. オンライン書籍店の書籍は

$$\partial^{m-k} \mathcal{B}_{\text{store}}^m = \mathcal{B}_{\text{store}}^k$$

である.

セルの属性設定, 属性間の同値関係の対応への要求は様々に変化するが, 保存されたホモトピーによりセル空間は一度接着空間レベルに戻し, 要求に対応して再度セル空間に写像すれば柔軟に要求の変化に対応可能である. つまり接着空間レベルの継承によって資源の再利用性が向上する.

2.8 表現レベルの特徴

定義

セル空間の各属性に対する型 (とそれに伴う桁) と, 型に基づいた資源の出力形式が決定される. 型とは, 資源における品質・規格の同一性を保証する情報であり, 型が定めればユーザーが共通概念として資源を認識することができる.

応用

この表現レベルでは、セル空間とその各属性に対して型や桁を定義する機構、型情報に基づき資源の出力形式を選択する機構を付加する。この機構とホモトピー保存の機構により、セル空間の資源が要求に対応した表現レベルにホモトピックに写像される。各属性の型設定に対する要求は様々に変化するが、保存されたホモトピーにより表現レベルの資源は一度セル空間レベルに戻し要求に対応して再度表現レベルに写像すれば、柔軟に要求に対応することができる。つまりセル空間レベルの継承によって資源の再利性が向上する。

2.9 ビューレベルの特徴

定義

型が設けられた共通概念としての資源の中から、ユーザーが操作対象とする資源を一意に識別可能である。

応用

このビューレベルでは、ユーザーが資源を一意に特定するための出力形式を提供する機構を付加する。この機構とホモトピー保存の機構により、表現レベルの資源が要求に対応したビューレベルにホモトピックに写像される。ユーザーへの出力形式への要求は様々に変化するが、保存されたホモトピーによりビューレベルの資源を一度表現レベル（またはセル空間レベル）に戻し要求に対応して再度ビューレベルに写像すれば、柔軟に要求に対応することができる。つまり表現レベルの継承によって資源の再利性が向上する。

3. プロトタイプシステムの実装

3.1 実装環境

開発したプロトタイプシステムは Web アプリケーションであり、実装には JSP1.4, Web サーバーには Tomcat4.2 を用いた。クライアントとサーバーは同一の PC (OS : Windows2000, CPU : Intel Pentium 1.2GHz, メモリ : 512Mbyte, ハードディスク : 20Gbyte) とした。

3.2 実装した各機構の処理

本システムで実装した処理は次の通りである。

1) 要素から順序集合を作成する処理(集合論レベル), 2) 部分集合を要素とするトポロジー変化の処理(トポロジー空間レベル), 3) 2つのトポロジー空間を接着させる処理と分解処理(接着空間レベル), 4) 2つのセル空間をセル接着させる処理とセル分解する処理(セル空間レベル), 5) セル空間を接着空間化する処理(セル空間レベル)。また、表現レベル、ビューレベルで付加される各機構は、開発する実際のシステムによって異なるので本システムでの実装は行わない。

1) 順序集合作成の処理 各要素から順序集合を作成する処理である。写像を f とすると

$$f: a_1, a_2, \dots, a_n \rightarrow (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

トポロジー空間レベル以下で、この順序集合は、部分集合としての要素として処理される。

2) トポロジー変化処理 指定された要素に基づいてトポロジーを変化させる処理である。写像を g, g^{-1} とすると、要素 (a_1, a_2, \dots, a_n) に基づいたトポロジー変化は、

$$g: ((a_1, a_2, \dots, a_n), \{b_1, b_2, \dots, b_n\})$$

$$\rightarrow ((a_1, a_2, \dots, a_n), b_1), ((a_1, a_2, \dots, a_n), b_2), \dots, ((a_1, a_2, \dots, a_n), b_n)$$

$$g^{-1}: ((a_1, a_2, \dots, a_n), b_1), ((a_1, a_2, \dots, a_n), b_2), \dots, ((a_1, a_2, \dots, a_n), b_n)$$

$$\rightarrow ((a_1, a_2, \dots, a_n), \{b_1, b_2, \dots, b_n\})$$

である。

3) トポロジー空間の接着処理, 分解処理 2つのトポロジー空間があるとし、各空間を特定する ID を s_1, s_2 とし、また各空間の要素 a_m, c_m に同値関係が認められたとする。接着した要素を $a_m \sim c_m$ と表記し、2つのトポロジー空間が接着するときの等化写像 h と分解写像 h^{-1} は、

$$h: (s_1, \{a_1, a_2, \dots, a_m, \dots, a_n\}), (s_2, \{c_1, c_2, \dots, c_m, \dots, c_n\})$$

$$\rightarrow \{((s_1, s_2), a_m \sim c_m), (s_1, \{a_1, a_2, \dots, a_{m-1}, a_{m+1}, \dots, a_n\}), (s_2, \{c_1, c_2, \dots, c_{m-1}, c_{m+1}, \dots, c_n\})\}$$

$$h^{-1}: \{((s_1, s_2), a_m \sim c_m), (s_1, \{a_1, a_2, \dots, a_{m-1}, a_{m+1}, \dots, a_n\}), (s_2, \{c_1, c_2, \dots, c_{m-1}, c_{m+1}, \dots, c_n\})\}$$

$$\rightarrow (s_1, \{a_1, a_2, \dots, a_m, \dots, a_n\}), (s_2, \{c_1, c_2, \dots, c_m, \dots, c_n\})$$

である。

4) セル空間のセル接着処理, 分解処理 セル空間をスキーマ、インスタンスに分けて次のように記述する。

$$\text{セル空間: } \{X\} \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$$

ここで、 X はスキーマを表すトポロジー空間、 x_i ($i=1, 2, \dots, n$) はインスタンスを表すトポロジー空間であり、 x_i は X に対してトポロジー同形であると定める。また、この記述をセル表現と呼ぶことにする。

2つのセル空間があるとし、各セル空間を特定する ID を S_1, S_2 、またそれぞれのインスタンスを特定する ID (CID と呼び、システムの自動発番) を i_{1-i}, i_{2-i} ($i=1, 2, \dots, n$) とする。また、各セル空間のスキーマを表すトポロジー空間の要素 A_m, B_m に、またインスタンスを表すトポロジー空間の要素 a_{i-m}, b_{i-m} ($i=1, 2, \dots, n$) に同値関係が認められたとする。接着した要素をそれぞれ、 $A_m \sim B_m, a_{i-m} \sim b_{i-m}$ と表記し、2つのセル空間が接着し統合セルとなるときに等化写像 j と分解写像 j^{-1} は、

$$j: \{(S_1, \{A_1, A_2, \dots, A_m, \dots, A_n\})\} \{ (i_{1-1}, \{a_{1-1}, a_{1-2}, \dots, a_{1-m}, \dots, a_{1-n}\}), (i_{1-2}, \{a_{2-1}, a_{2-2}, \dots, a_{2-m}, \dots, a_{2-n}\}), \dots, (i_{1-n}, \{a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_{n-m}, \dots, a_{n-n}\}) \}, \{(S_2, \{B_1, B_2, \dots, B_m, \dots, B_n\})\} \{ (i_{2-1}, \{b_{1-1}, b_{1-2}, \dots, b_{1-m}, \dots, b_{1-n}\}), (i_{2-2}, \{b_{2-1}, b_{2-2}, \dots, b_{2-m}, \dots, b_{2-n}\}), \dots, (i_{2-n}, \{b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_{n-m}, \dots, b_{n-n}\}) \}$$

$$\rightarrow \{((S_1, S_2), A_m \sim B_m), (S_1, \{A_1, A_2, \dots, A_{m-1}, A_{m+1}, \dots, A_n\}), (S_2, \{B_1, B_2, \dots, B_{m-1}, B_{m+1}, \dots, B_n\})\} \{ (i_{1-1}, i_{2-1}), a_{1-m} \sim b_{1-m}, (i_{1-1}, \{a_{1-1}, a_{1-2}, \dots, a_{1-(m-1)}, a_{1-(m+1)}, \dots, a_{1-n}\}), (i_{2-1}, \{b_{1-1}, b_{1-2}, \dots, b_{1-(m-1)}, b_{1-(m+1)}, \dots, b_{1-n}\}), \dots, (i_{1-n}, i_{2-n}), a_{n-m} \sim b_{n-m}, (i_{1-n}, \{a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_{n-(m-1)}, a_{n-(m+1)}, \dots, a_{n-n}\}), (i_{2-n}, \{b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_{n-(m-1)}, b_{n-(m+1)}, \dots, b_{n-n}\}) \}$$

$$\rightarrow \{((S_1, S_2), A_m \sim B_m), (S_1, \{A_1, A_2, \dots, A_{m-1}, A_{m+1}, \dots, A_n\}), (S_2, \{B_1, B_2, \dots, B_{m-1}, B_{m+1}, \dots, B_n\})\} \{ (i_{1-1}, i_{2-1}), a_{1-m} \sim b_{1-m}, (i_{1-1}, \{a_{1-1}, a_{1-2}, \dots, a_{1-(m-1)}, a_{1-(m+1)}, \dots, a_{1-n}\}), (i_{2-1}, \{b_{1-1}, b_{1-2}, \dots, b_{1-(m-1)}, b_{1-(m+1)}, \dots, b_{1-n}\}), \dots, (i_{1-n}, i_{2-n}), a_{n-m} \sim b_{n-m}, (i_{1-n}, \{a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_{n-(m-1)}, a_{n-(m+1)}, \dots, a_{n-n}\}), (i_{2-n}, \{b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_{n-(m-1)}, b_{n-(m+1)}, \dots, b_{n-n}\}) \}$$

$$\rightarrow \{((S_1, S_2), A_m \sim B_m), (S_1, \{A_1, A_2, \dots, A_{m-1}, A_{m+1}, \dots, A_n\}), (S_2, \{B_1, B_2, \dots, B_{m-1}, B_{m+1}, \dots, B_n\})\} \{ (i_{1-1}, i_{2-1}), a_{1-m} \sim b_{1-m}, (i_{1-1}, \{a_{1-1}, a_{1-2}, \dots, a_{1-(m-1)}, a_{1-(m+1)}, \dots, a_{1-n}\}), (i_{2-1}, \{b_{1-1}, b_{1-2}, \dots, b_{1-(m-1)}, b_{1-(m+1)}, \dots, b_{1-n}\}), \dots, (i_{1-n}, i_{2-n}), a_{n-m} \sim b_{n-m}, (i_{1-n}, \{a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_{n-(m-1)}, a_{n-(m+1)}, \dots, a_{n-n}\}), (i_{2-n}, \{b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_{n-(m-1)}, b_{n-(m+1)}, \dots, b_{n-n}\}) \}$$

$$\rightarrow \{((S_1, S_2), A_m \sim B_m), (S_1, \{A_1, A_2, \dots, A_{m-1}, A_{m+1}, \dots, A_n\}), (S_2, \{B_1, B_2, \dots, B_{m-1}, B_{m+1}, \dots, B_n\})\} \{ (i_{1-1}, i_{2-1}), a_{1-m} \sim b_{1-m}, (i_{1-1}, \{a_{1-1}, a_{1-2}, \dots, a_{1-(m-1)}, a_{1-(m+1)}, \dots, a_{1-n}\}), (i_{2-1}, \{b_{1-1}, b_{1-2}, \dots, b_{1-(m-1)}, b_{1-(m+1)}, \dots, b_{1-n}\}), \dots, (i_{1-n}, i_{2-n}), a_{n-m} \sim b_{n-m}, (i_{1-n}, \{a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_{n-(m-1)}, a_{n-(m+1)}, \dots, a_{n-n}\}), (i_{2-n}, \{b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_{n-(m-1)}, b_{n-(m+1)}, \dots, b_{n-n}\}) \}$$

$$j^{-1}: (j \text{ の逆写像, 省略 })$$

である。

5) セル空間の接着空間化処理 セル空間を接着空間化したときのトポロジーの要素は次のように表現する .
 要素 : (セル空間 ID , インスタンス ID , 属性 , 属性値)
 4) で作成した統合セル空間を接着空間化する写像 k は,
 $k: \{(\{S_1, S_2\}, A_m \sim B_m), (S_1, \{A_1, A_2, \dots, A_{m-1}, A_{m+1}, \dots, A_n\}), (S_2, \{B_1, B_2, \dots, B_{m-1}, B_{m+1}, \dots, B_n\})\} \{(\{i_{1-1}, i_{2-1}\}, a_{1-m} \sim b_{1-m}), (i_{1-1}, \{a_{1-1}, a_{1-2}, \dots, a_{1-(m-1)}, a_{1-(m+1)}, \dots, a_{1-n}\}), (i_{2-1}, \{b_{1-1}, b_{1-2}, \dots, b_{1-(m-1)}, b_{1-(m+1)}, \dots, b_{1-n}\}), \dots, (\{i_{1-n}, i_{2-n}\}, a_{n-m} \sim b_{n-m}), (i_{1-n}, \{a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_{n-(m-1)}, a_{n-(m+1)}, \dots, a_{n-n}\}), (i_{2-n}, \{b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_{n-(m-1)}, b_{n-(m+1)}, \dots, b_{n-n}\})\}$
 $\rightarrow \{(\{S_1, S_2\}, \{i_{1-1}, i_{2-1}\}, A_m \sim B_m, a_{1-m} \sim b_{1-m}), (S_1, i_{1-1}, A_1, a_{1-1}), \dots, (S_1, i_{1-1}, A_n, a_{1-n}), \dots, (S_1, i_{1-n}, A_1, a_{1-1}), \dots, (S_1, i_{1-n}, A_n, a_{1-n}), \dots, (S_2, i_{2-1}, B_1, b_{1-1}), \dots, (S_2, i_{2-1}, B_n, b_{1-n}), \dots, (S_2, i_{2-n}, B_1, b_{1-1}), \dots, (S_2, i_{2-n}, B_n, b_{1-n})\}$
 である .

4. 事例研究

開発したプロトタイプシステムを使用して, 業務適用例を挙げその有効性を検証する .

4.1 記録伝票, 明細伝票

一般的な業務伝票の例として, 記録伝票, 明細伝票を挙げる (図 4.1) . ある案件を管理しようとするとき, 記録伝票に案件の基本情報を記録し, 各明細伝票に案件の詳細情報をそれぞれ記録する . 本節で扱う各伝票のデータは, ある建築工事案件の概算見積を行うときに記録されるデータを想定したものである .

記録伝票	コード: 1231										
業務分類: 見積	業務名: 概算見積										
案件受注名: 光が丘ドーム新築											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>案件名</th> <th>金額</th> <th>承認状況</th> <th>記入者</th> <th>登録日</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>光が丘ドーム新築工事</td> <td>225,000,000</td> <td>承認</td> <td>山本</td> <td>2003/3/16</td> </tr> </tbody> </table>	案件名	金額	承認状況	記入者	登録日	光が丘ドーム新築工事	225,000,000	承認	山本	2003/3/16	
案件名	金額	承認状況	記入者	登録日							
光が丘ドーム新築工事	225,000,000	承認	山本	2003/3/16							
所管部署:	関東支店										
部署コード:	12										
期間:	2003/4/2 ~ 2003/7/3										
契約日:	2003/3/16										
完成基準:	完成計上										
完成計上日:	2004/7/3										
課税区分:	課税										
明細伝票コード:	40,72,187,210,214										

明細伝票	コード: 40	明細伝票	コード: 72
明細名: 共通仮設備	2003/4/2 ~ 2003/7/3	明細名: 建築工事費	2003/4/2 ~ 2003/7/3
取引名: 水盛遣方費	1	取引名: 水盛遣方費	1
数量: 1	式	数量: 1	式
単価: 75,000,000		単価: 80,000,000	
金額: 75,000,000		金額: 80,000,000	
明細伝票	コード: 187	明細伝票	コード: 210
明細名: 屋外施設工事費	2003/4/2 ~ 2003/7/3	明細名: その他工事費	2003/4/2 ~ 2003/7/3
取引名: 水盛遣方費	1	取引名: 水盛遣方費	1
数量: 20	式	数量: 1	式
単価: 20,000,000		単価: 10,000,000	
金額: 20,000,000		金額: 10,000,000	
明細伝票	コード: 214		
明細名: 設備工事費	2003/4/2 ~ 2003/7/3		
取引名: 水盛遣方費	1		
数量: 1	式		
単価: 40,000,000			
金額: 40,000,000			

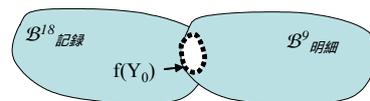
図 4.1 記録伝票, 明細伝票の例



図 3.2 プロトタイプシステムのインターフェース

4.2 伝票の階層モデルにおける表現

階層モデルにおいて, 記録伝票, 明細伝票はともに型が“伝票”であり各属性にも型が定められているので, 表現レベル上のオブジェクトということができる . これを, 階層を一つ上げセル空間レベルにすると, 記録伝票は属性数が 18 の記録セル (\mathcal{B}^{18} 記録), 明細伝票は属性数が 9 の明細セル (\mathcal{B}^9 明細) であり, これらが同値セル \mathcal{B}^1 記録, \mathcal{B}^1 明細 (ともに属性が“明細コード”のセル) で接着された統合セル空間 Y_f となっている . (図 4.2)



An integrated cellular space Y_f
 \mathcal{B}^{18} 記録 \sqcup_f \mathcal{B}^9 明細
 $= \mathcal{B}^{18}$ 記録 \sqcup \mathcal{B}^9 明細 / \sim
 $= \mathcal{B}^{18}$ 記録 \sqcup \mathcal{B}^9 明細 / (x ~ f(y) | $\exists x \in \mathcal{B}^9$ 明細, $\forall y \in Y_0$ \mathcal{B}^{18} 記録)

図 4.2.1 記録セルと明細セルの統合セル

このとき, この統合セルのスキーマを表すトポロジーは次の通りである .

((記録伝票, 案件), 明細伝票, 明細コード ~ (明細, コード)), (記録伝票, {コード, (業務, {名前, 段階}), (案件, {受注名, 名前, 金額, 承認状況, 記入者, 記入日, 契約日, 課税区分, (所管部署, {コード, 名前}), 完成基準, 完成計上日, (期間, {開始, 終了})}), (明細伝票, {(明細, 名前), (期間, {開始, 終了}), 取引名, 数量, 単価, 単価, 金額}))

同様に, 各インスタンスのトポロジーを作成して, 統合セルのセル表現を作成する . (スキーマのトポロジー要素に対応するインスタンスのトポロジー要素が無いときはダミーとして“/”を挿入する)

そして, この統合セル空間を, 接着空間化処理により階層を一つ上げ接着空間レベルにすると, 記録セル, 明細セルはそれぞれトポロジー空間 X 記録, Y 明細 であり, これらが接着された接着空間 X 記録 \sqcup_f Y 明細 となっている .

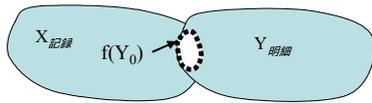
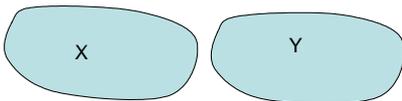


図 4.2.2 記録トポロジー空間と明細トポロジー空間からなる接着空間

このとき、接着空間のトポロジーは次の通りである。

- | | | | |
|-----|---|---|---|
| X部分 | { | { | (記録伝票,1a,コード,1231), (記録伝票,1a,業務/,分類,見積), |
| | | | (記録伝票,1a,業務/,名前,概算見積), (記録伝票,1a,案件/,受注名,光が丘ドーム新築), (記録伝票,1a,案件/,名前,光が丘ドーム新築工事), (記録伝票,1a,案件/,金額,225000000), ... (略), ... |
| 接着部 | { | { | ((記録伝票,1a,案件/),(明細伝票,2a)), 明細コード~(明細/,コード), 40~40), ((記録伝票,1a,案件/),(明細伝票,2b)), 明細コード~(明細/,コード), 72~72), ((記録伝票,1a,案件/),(明細伝票,2c)), 明細コード~(明細/,コード), 187~187), ((記録伝票,1a,案件/),(明細伝票,2d)), 明細コード~(明細/,コード), 210~210), ((記録伝票,1a,案件/),(明細伝票,2e)), 明細コード~(明細/,コード), 214~214), |
| | | | (略) ..., (明細伝票,2e,明細/,名前,設備工事費), (明細伝票,2e,期間/,開始,2003/4/2), (明細伝票,2e,期間/,終了,2003/7/3), (明細伝票,2e,取引名,水盛遣方費), (明細伝票,2e,数量,1), (明細伝票,2e,単位名,式), (明細伝票,2e,単価/), (明細伝票,2e,金額,40000000)} |
| Y部分 | { | { | (略) ..., (明細伝票,2e,明細/,名前,設備工事費), (明細伝票,2e,期間/,開始,2003/4/2), (明細伝票,2e,期間/,終了,2003/7/3), (明細伝票,2e,取引名,水盛遣方費), (明細伝票,2e,数量,1), (明細伝票,2e,単位名,式), (明細伝票,2e,単価/), (明細伝票,2e,金額,40000000)} |
| | | | (略) ..., (明細伝票,2e,明細/,名前,設備工事費), (明細伝票,2e,期間/,開始,2003/4/2), (明細伝票,2e,期間/,終了,2003/7/3), (明細伝票,2e,取引名,水盛遣方費), (明細伝票,2e,数量,1), (明細伝票,2e,単位名,式), (明細伝票,2e,単価/), (明細伝票,2e,金額,40000000)} |

さらに、この接着空間を、分解することにより階層を一つ上げると、トポロジー空間 $X_{記録}, Y_{明細}$ の排他和 $X_{記録} \sqcup Y_{明細}$ となり、これはトポロジー空間レベルである。このとき、各トポロジー空間 $X_{記録}, Y_{明細}$ は次の通りである。



A disjoint union $X \sqcup Y$

図 4.2.2 記録トポロジー空間と明細トポロジー空間の排他和

- | | | | |
|-----|---|---|---|
| X部分 | { | { | (記録伝票,1a,コード,1231), (記録伝票,1a,業務/,分類,見積), |
| | | | (記録伝票,1a,業務/,名前,概算見積), (記録伝票,1a,案件/,受注名,光が丘ドーム新築), (記録伝票,1a,案件/,名前,光が丘ドーム新築工事), (記録伝票,1a,案件/,金額,225000000), ... (略), ... |
| Y部分 | { | { | ((明細伝票,2a,明細/,名前,共通仮設費), (明細伝票,2a,明細/,コード,40), (明細伝票,2a,期間/,開始,2003/4/2), (明細伝票,2a,期間/,終了,2003/7/3), (明細伝票,2a,取引名,水盛遣方費), (明細伝票,2a,数量,1), (明細伝票,2a,単位名,式), (明細伝票,2a,単価/), (明細伝票,2a,金額,75000000), (明細伝票,2b,明細/,名前,建築工事費), (明細伝票,2b,明細/,コード,72), ... (略), ... |
| | | | (略) ..., (明細伝票,2a,明細/,名前,共通仮設費), (明細伝票,2a,明細/,コード,40), (明細伝票,2a,期間/,開始,2003/4/2), (明細伝票,2a,期間/,終了,2003/7/3), (明細伝票,2a,取引名,水盛遣方費), (明細伝票,2a,数量,1), (明細伝票,2a,単位名,式), (明細伝票,2a,単価/), (明細伝票,2a,金額,75000000), (明細伝票,2b,明細/,名前,建築工事費), (明細伝票,2b,明細/,コード,72), ... (略), ... |

このように、表現レベルにおけるオブジェクトをトポロジー空間レベルまで階層を上げると、トポロジー変化の柔軟性が非常に高くなるので、ユーザーの様々な要求への対応が可能になる。例えば、「全ての明細名が知りたい」というようなユーザー要求があるとするなら、トポロジー空間 $Y_{明細}$ において、(明細/,名前)を基準にしたトポロジー変化処理を行えば以下のような回答が瞬時に得られる。

(略) ..., ((明細/,名前), {共通仮設費, 建築工事費, 屋外施設工事費, その他工事費, 設備工事費})

既存の DBMS を利用時はデータベース設計に従ったデータの IO を行う必要があるが、この例が示すように、階層モデルを採用したセルラーDBMS を利用すれば、それらの制限を無くしより柔軟性の高いデータ IO が可能になる。

5. 評価

プロトタイプシステム利用の結果、概括して既存手法での開発と比較したセルラーDBMS 利用時の利点は以下であると考えられる。

5.1 統一的なモデル

アプリケーションモデルとして、典型的なクライアント/サーバシステムは、プレゼンテーション層とデータ層の2層アーキテクチャに基づいていたが、クライアントマシンのリソース制限、メンテナンス性等の問題点が見直され、現在は多層アプリケーションモデルが主流である。多層アプリケーションは、一般的にブラウザ・JAVA アプリケーション等のプレゼンテーション層、アプリケーションロジック・業務ロジックを含む業務層、データベースを含むデータ層から構成される。(図)

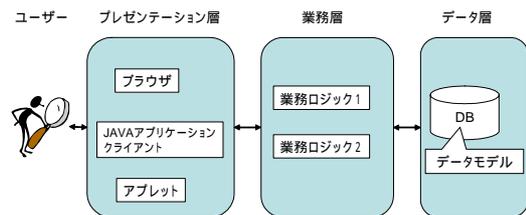


図 5.1.1 3層アーキテクチャ

また、J2EE アーキテクチャのように MVC モデルというデザインパターン(図)を採用し、ビューを含む WEB 層と業務モデルを含む EJB 層に業務層を分離する4層アーキテクチャも提供されている。(図)これは業務ロジックにおける業務モデル (Model) をビュー (View), コントローラ (Controller) と分離することで、作業分担による開発効率の向上、業務モデルの再利用性とメンテナンス性の向上を図ろうとするものである。さらに、フレームワークのように、実装レベルで Web 業務の内容

をパターン化したアーキテクチャを提供する技術も盛んである。

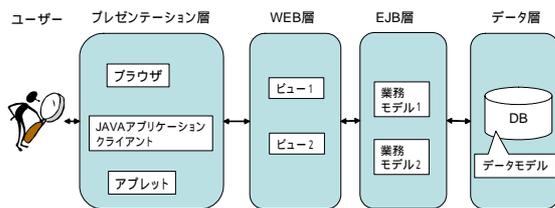


図 5.1.2 4層アーキテクチャ

これらの近年の技術開発の動向を俯瞰しても、システム開発において技術的に業務モデルとデータベースのデータモデルを統一化する志向性はない。それに対し、階層モデルは業務層の業務モデルとデータ層のデータモデルに統一したモデルとなる。よって、業務設計とデータベース設計が統一化され、アプリケーションの開発分量が大幅に削減されるので、システム全体のメンテナンスビリティが格段に向上し、開発・保守コストの大幅な削減が可能になる。

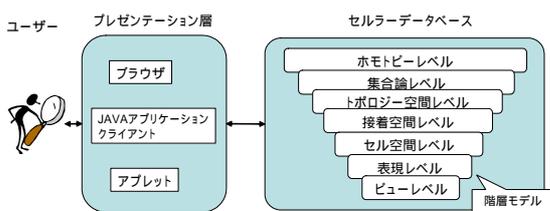


図 5.3 セルラーDBMS 利用時のシステムアーキテクチャ

5.2 概念設計レベルでの開発・修正

階層モデルでは接着空間モデルをサポートしているので、セルラーDBMSを使用すれば概念設計レベルでの開発が可能であり、システム開発工程における詳細設計、コーディングを省くことが可能である。また、従来の一般的なシステムにおける仕様変更は、概念設計、詳細設計、コーディングの順に修正を加える必要があるためメンテナンスが非常に大変であるのに対し、セルラーDBMSを使用して開発されたシステムは、概念設計レベルで開発されているので、設計内容への理解が容易であり、修正作業も概念モデルを修正するのみで済むので保守コストの大幅な削減を可能にする。

6. 今後の課題

本稿での業務適用例は一部の例に限定したが、今後は事例研究として、予算管理、顧客情報管理、資機材管理等を含めた一連の総合的なプロジェクト管理への業務適用例を作成し、セルラーDBMSの有効性を検証する。

7. おわりに

本論文では、階層モデルをデータモデルとして採用したセルラーDBMSの開発提言を行った。また、プロトタイプ開発、業務適用例の作成により、階層モデルは情報システムの業務モデル・データモデルの統一なモデルとなりえることを確認し、セルラーDBMSの利用は情報システム全体のメンテナンスビリティの大幅な向上を示唆する結果を得た。

謝辞

企業の情報システムの既存システムの問題点把握に関して貴重な意見を頂いた前田建設工業(株)情報システム SC の関洋一氏(元専任部長)、池上一茂氏(副部長)、久村賢一氏(課長)、廣田健治氏(主任)に衷心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] C. J. Date, "The Database Relational Model: A Retrospective Review and Analysis", Addison Wesley Publishing Company, 2000.5.
- [2] T. L. Kunii and H. S. Kunii, "A Cellular Model for Information Systems on the Web -Integrating Local and Global Information-", Proceedings of 1999 International Symposium on Database Applications in Non-Traditional Environments (DANTE'99), November 28-30, 1999, Heian Shrine, Kyoto, Japan, Organized by Research Project on Advanced Databases, in cooperation with Information Proceeding Society of Japan, ACM Japan, ACM SIGMOD Japan, pp. 19-24, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, U.S.A.
- [3] T. L. Kunii, "Creating a New World inside Computers -Methods and Implications-", Proc. of the Seventh Annual Conference of the Australian Society for Computers in Learning in Tertiary Education (ASCILITE 89), G. Bishop and J. Baker (eds.), pp. 28-51, Gold Coast, Australia, December 11-13, 1989, [also available as Technical Report 89-034, Dept. of Information Science, The University of Tokyo].
- [4] T. L. Kunii, "Homotopy Modeling as World Modeling", Proceedings of Computer Graphics International '99 (CGI99), (June 7-11, 1999, Canmore, Alberta, Canada) pp. 130-141, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, U. S. A.
- [5] T. L. Kunii, "Web Information Modeling: The Adjunction Space Model", Proceedings of the 2nd International Workshop on Databases in Networked Information Systems (DNIS 2002), pp. 58-63, The University of Aizu, Japan, December 16-18, 2002, Lecture Notes in Computer Science, Subhash Bhalla, Ed., Springer-Verlag, December, 2002.