

機械設計用3次元CADテンプレート開発におけるUMLの適用

矢部 稔

Three-Dimensional Mechanical CAD Templates Development Using UML

Minoru Yabe

通常、機械設計プロセスは、入力諸元から形状を作り込む前向き推論と、事例研究、または解析・実験を通して、出力性能から形状を検証する後ろ向き推論との合体問題として表現され、機械設計者には、様々な拘束条件の下で競合を解消し、最適解を見出すことが要求されている。これらのプロセスは、フローチャートなどの従来書式で記述することが極めて困難であり、形状と諸元、および拘束条件とを融合したモデルで表現する必要がある。筆者らのグループでは、機械設計用CADアプリケーション・システム「CADテンプレート」開発プロジェクトの中で、知識表現の研究成果を基に、上記モデルをUMLにて表現することを考案した。またUMLとともに、オブジェクト指向的手法をシステム開発プロセスに組み込んだ結果、ユーザー要件に合致する品質で「CADテンプレート」を完成させることができた。

In general, a mechanical engineering process can be represented as a combination of geometric modeling routines (based on forward reasoning) and geometric verification routines through case studies, analyses and experiments (based on backward reasoning). Engineers are required to solve conflicts and to find optimal solutions while operating under various constraints. It is difficult to describe this process in conventional specification forms (e.g. flowcharts). We have studied knowledge representation methodology and applied object-oriented architecture with UML diagrams to the "CAD templates" system development project.

As a result, we have completed the "CAD templates," the quality of which meets our users' application system requirements.

Key Words & Phrases : CAD ,テンプレート ,機械設計 ,知識表現 ,UML

CAD, template, mechanical design, knowledge representation, UML

1. はじめに

近年、各種製造業では3次元CAD(Computer Aided Design)の利用が定着しつつあり、それらIT設備との連携によって、製品開発プロセスにおける関連作業の並列化、後続作業の前倒し化など、抜本的な改革施策が進んでいる。また、かつては形状処理や図面化の道具としてしか見なされていなかったCAD自体も、その後、著しい機能向上をへて、現在は製品開発プロセス改革の中核技術として、その地位を確立している。

例えばCATIA V5に代表される現在主流の3次元CADは、パラメーターを介した寸法拘束により、初期検討や設計変更時の形状処理、または再処理を容易にしているが、それに加え、設計に伴う様々な熟練ノウハウも、形状に連動させることが可能になっている。

筆者の所属するグループでは、PLM(Product Lifecycle Management)関連サービスの一環として、それら3次元CADを利用し、「CADテンプレート」と称した設計ノウハウ折り込みのCADアプリケーション・システムを開発支援しているが、今までは、ユーザー要件を確実に吸い上げ、それに見合った品質のシステムを提供することが幾分困難であった。その理由の一つとして、システム開発者側における対象製品知識の欠如が挙げられることが多いが、ユーザー側においても、技術伝承が経営課題の一つとしてとらえられている通り、必ずしもシステム開発者側だけのクリティカルな問題ではないように思われる。むしろシステム開発者が、対象製品の表層的な設計手順に注力し過ぎるあまり、大局的な設計の本質を見落としているところに問題がありそうである。

一方で、ソフトウェア・エンジニアリングの分野に目を向けてみると、1980年代以降30年にわたり、人工物設計における知識表現の研究が続けられており、

提出日：2005年8月16日 再提出日：2006年6月7日

AI(Artificial Intelligence)ブームが去った後も,人工知能学会や精密工学会などを中心として,より実用的な取り組みがなされている.筆者らは,それらの知見をかみ砕くことで,上記問題を解決する糸口を見つけ,CADアプリケーション・システムに,より高度な設計ノウハウを実装することが可能になると考えた.

本論文では設計知識表現研究の歩みを振り返りながら,自動車,航空機,船舶などの機械設計プロセスの特徴を定義し,その記述書式として新たにUML(Unified Modeling Language)の適用を提案する.さらに「CADテンプレート」の品質向上を目指したCADアプリケーション・システム開発プロセス,およびそれらPLM関連サービス・アセットの構築状況についても言及する.

2. 設計知識表現研究の歩み

人工物設計には,目的とする機能を実現する属性(形状・構造・材質など)を総合するプロセス(Synthesis)と,考案した人工物が実現する挙動を解析して確認するプロセス(Analysis)とが含まれる[1][2]. 1980年代から90年代前半においては,人工知能研究の成果を受けて,設計知識のプロダクション・ルールによる「if-then」記述から始まり,物理理論的アプローチに基づく「定性推論」や,属性のハンドリングにより対象品質を作り込む「属性モデリング」などが研究されてきたが,そこでは形状処理と知識表現とを独立させて論じる傾向が強かった.これは当時の3次元CADの能力限界もあり,両者を一体化して実装することが困難であったという事情も影響している.

もちろんその後のCAD技術の進歩を予想し,製品データ交換国際規格STEP(Standard for the Exchange of Product Model Data)の提唱もあったが,90年代以降においても,推論手法を中心とした研究(事例ベース,エージェントなど[3]),知識体系を中心とした研究(フレーム,オントロジーなど[4]),形状処理を中心とした研究(フィーチャー,コンポーネント設計など[5])に分かれて議論が展開されている.ただ最近では,研究者の興味が,推論手法や形状処理よりはむしろ,熟練設計者の深い知識(暗黙知)や情報をいかに有効に抽出,体系化,管理するかに移りつつあるように感じる.

人工物設計は人間の極めて知的な活動の一つであり,IT化における最後で最大の難問とも言われている.従って,今後もさらにこの領域の研究は進むであろうが,現在までの研究成果を踏まえることで,少なくともシステム開発者の負荷を軽減させることは可能であろう.以下の章では一般機械設計問題を例にとり,その知識表現の効率的なあり方について論ずる.

3. 機械設計プロセスの特徴

人工物,特に自動車,航空機,船舶などの機械製品における設計プロセスを図式化してみると,図1のようになる.

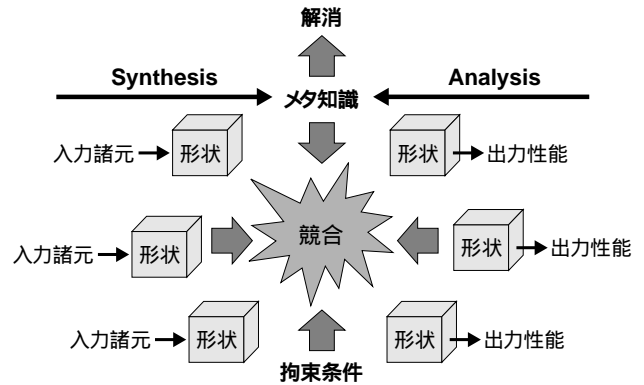


図1. 機械製品の設計プロセス

一般的に機械設計は,アドホック(本論文では仮説検証型と解釈する)な問題解消プロセスを内包しており,一部のルーチン作業を除き,フローチャートなどの単純な図式で表現することが困難になっている.図1は,要求仕様・デザインなどの「入力諸元」から形状を作り込む前向き推論のプロセス(Synthesis)と,事例研究,または解析・実験を通して得られた,品質・能力などの「出力性能」から形状を検証する後ろ向き推論のプロセス(Analysis)とで表現されているが,これらの推論手法に関しては本論文では触れない.これら二つのプロセスを納期・コスト・工法などの「拘束条件」の下で競合させながら,経験・勘・度胸などの「メタ知識」を使って解消していくのが機械設計プロセスであると言える.システム開発者には,このプロセスを「CADテンプレート」などのCADアプリケーション・システムを開発する過程において,的確に表現していくことが要求されている.

4. 機械設計知識表現におけるUMLの適用

4.1 「CADテンプレート」開発上の問題

「CADテンプレート」とは形状作成履歴付きパラメトリック寸法拘束型3次元CADモデルに,対象物の設計ノウハウを織り込んだCADアプリケーション・システム(実体はひな形となる3次元CADモデル)を示す. CATIA V5の例では,その実装段階でナレッジ支援機能群(式・ルール・チェックなど)を利用し開発されることが多い.システム開発者は,まず熟練設計者から対象物の設計方案を抽出し(要件定義),対象物の設計知識構造を整理し,論理モデルを構築する必要がある(外部設計).

この際、論理モデルの表現において、従来からフローチャートやIPO(Input-Process-Output)シートなどをドキュメント書式として用いてきた。図2にIPOシートの例を示すが、この書式は基本的に対象プロセスがシーケンシャルに記述できることを前提としており、例えば設計方案から抽出された手順・ノウハウを整理して、無理にシーケンス表現しようとする、記述が複雑になり、関係者に十分意図が伝わらないという問題がおこる。従って一般に形状オブジェクトの遷移だけにとどめ、形状オブジェクト間の関係とその構造、および設計方案などは別のドキュメントに記述することになる。

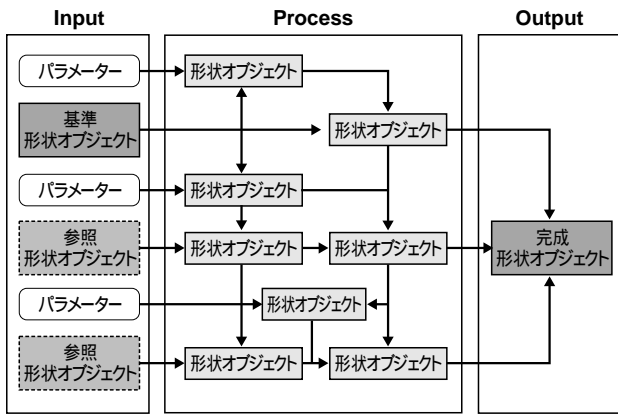


図2. IPOシートの記述例

しかし根本的な問題は、書式そのものより、システム開発者が機械設計というものを一方向からしかとらえていないところにある。すなわち、機械設計特有の静的(Static)構造と、動的(Dynamic)プロセスとを二つの視点で見ながら、人間のアドホックな試行錯誤業務(Real-Operation)と、「CADテンプレート」で実現すべき支援機能(Virtual-Function)とを分離して考えることが重要なのである。図3に機械設計における4象限の視点を示す。基本的に「CADテンプレート」は、人間の指示に対して、ロジカルに決まった回答を返すだけで、支援機能自体は決して複雑なものではないことに注意すべきである。

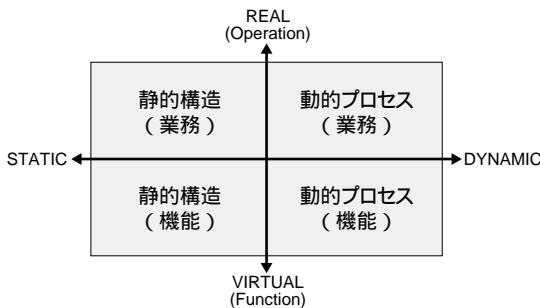


図3. 機械設計における4象限の視点

人間の業務と「CADテンプレート」の機能とを分離して考えるには、システム開発者の教育も必要ではあるが、まずはドキュメントの書式を見直し、機械設計の実体に合致した表現方法を工夫することが先決である。

4.2 機械設計の知識表現

知識表現研究の歴史の中に、ミンスキー(Marvin Minsky)のフレーム理論 [6] を発展させた、フレームモデルの考え方がある。事象をいくつかのフレーム(枠)に当てはめ、分類・整理していくアプローチは、その後の知識表現の方法論に大きな影響を与えた。

一方で、機械製品を構成する各コンポーネントに目を向けてみると、ボルト・ナットのような機械要素から構成されるアセンブリ品も、リブ・穴などの部位から構成される単体部品も、それぞれのコンポーネントが独立した機能属性を持ち、他のコンポーネントと相互に関係し合いながら、全体として性能を発揮していることがわかる。これら機械製品の静的構造の表現にはフレームモデルの利用が適しており、その性能を発揮するための動的プロセスも、対象物の静的構造に合わせて定義されるべきであろう。

図4には、多段階成型を要する熱間型鍛造品の静的構造をフレームモデルで表現した例を示している [7] [8]。

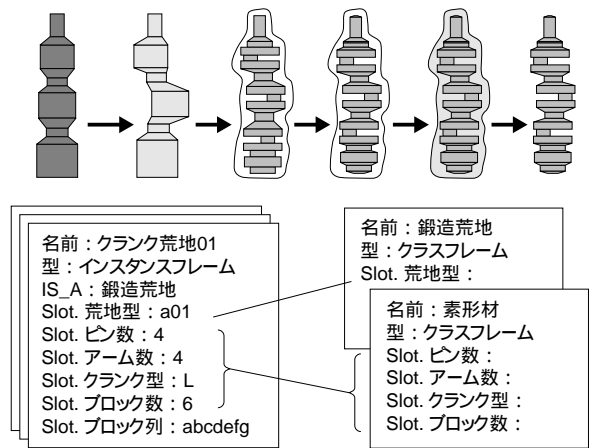


図4. 熱間型鍛造品のフレームモデル

出典: 型鍛造品設計におけるエキスパートシステム [7 p.388] の図12を基に加筆修正

なお、フレームモデルのフレーム、およびスロットやデーモンの概念は、オブジェクト指向で言うところのオブジェクト、およびカプセル化要素としての、データやメソッドにそれぞれ対応している。従って機械設計問題には、オブジェクト指向的なアプローチに基づく知識表現が適していることがわかる。

表1. UMLを採用した「CADテンプレート」開発プロセス

| 局面 | 作業工程名 | 内 容 | 作成物 | |
|------|-------|------------------|---------------------------------------|-----------|
| 要件定義 | 要・① | 要件ヒヤリング | 対象業務プロセス,対象物構造などをヒヤリングし,要件を抽出する | |
| | 要・② | ヒヤリング記録書作成 | 要件ヒヤリング結果を記録書に記入する | ヒヤリング記録書 |
| | 要・③ | 詳細要件調査 | 図面・CADモデル・設計方案などを詳細調査する | |
| | 要・④ | 概略ユースケース図作成 | 調査結果から概略の対象設計プロセスを整理する | 概略ユースケース図 |
| | 要・⑤ | 概略クラス図作成 | 調査結果から概略の対象物構造を整理する | 概略クラス図 |
| | 要・⑥ | 要件定義書作成 | 入力要件・機能要件・出力要件を整理した要件定義書を作成する | 要件定義書 |
| | 要・⑦ | 要件定義レビュー | 要件定義書のレビューを行う | |
| 外部設計 | 外・① | 論理モデル構造検討 | 概略ユースケース図,概略クラス図から論理モデルを検討する | |
| | 外・② | クラス図編集 | 仮想クラスを含むクラス図を完成させる | クラス図 |
| | 外・③ | クラス仕様書作成 | 各クラスごとに仕様書を作成する | クラス仕様書 |
| | 外・④ | ユースケース図編集 | クラス図との整合性をとりながらユースケース図を完成させる | ユースケース図 |
| | 外・⑤ | チェックリスト作成 | 満たすべき要件をチェックリストの項目に記入する | チェックリスト |
| | 外・⑥ | 外部設計レビュー | 外部設計で作成した仕様書のレビューを行う | |
| 内部設計 | 内・① | 物理モデル構造検討 | クラス図からCADテンプレート構造への変換検討を行う(実機試行含む) | |
| | 内・② | モデル構造図作成 | CADテンプレート構造図を作成する | モデル構造図 |
| | 内・③ | 論理構造 / 物理構造整合性確認 | クラス図とCADテンプレート構造図との整合性を再確認する | |
| | 内・④ | パラメータ定義書作成 | 参照関係に注目し,ナレッジ付与に必要なパラメータを定義する | パラメータ定義書 |
| | 内・⑤ | モデリング戦略検討 | モデリング手順の大項目を検討する(実機試行含む) | |
| | 内・⑥ | 内部設計レビュー | 内部設計で作成した仕様書のレビューを行う | |
| 実装 | 実・① | 形状モデリング | 各種仕様書,およびモデリング基準に従いCADモデリングを行なう | |
| | 実・② | ナレッジ付与 | 各種仕様書に基づきCADモデルにナレッジ付与,またはプログラミングを行なう | |
| | 実・③ | テスト | テスト方案を検討し,機能確認,および耐久性テストを行なう | CADテンプレート |
| | 実・④ | モデリング記録書作成 | モデリング履歴を記録書に記入する | モデリング記録書 |
| | 実・⑤ | チェックリスト確認 | モデリング基準準拠,および要件の実装可否をチェックする | チェックリスト |
| | 実・⑥ | デモンストレーション | デモンストリオを検討し,デモンストレーションを行なう | |
| | 実・⑦ | メンテナンス | CADテンプレート,および各種仕様書のメンテナンスを行う | |
| | 実・⑧ | 納品 / 完了報告 | 操作仕様書を作成し,完了報告を行う | 操作仕様書 |

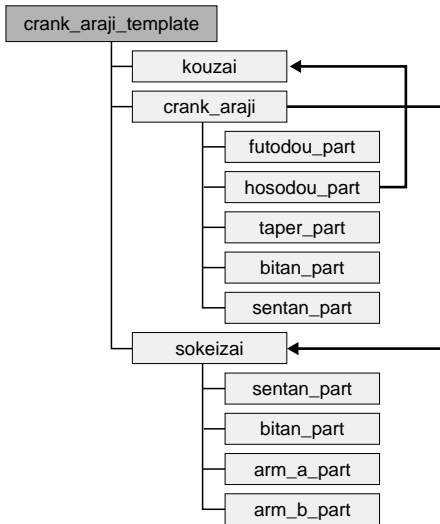


図7. 熱間型鍛造品設計の物理モデル

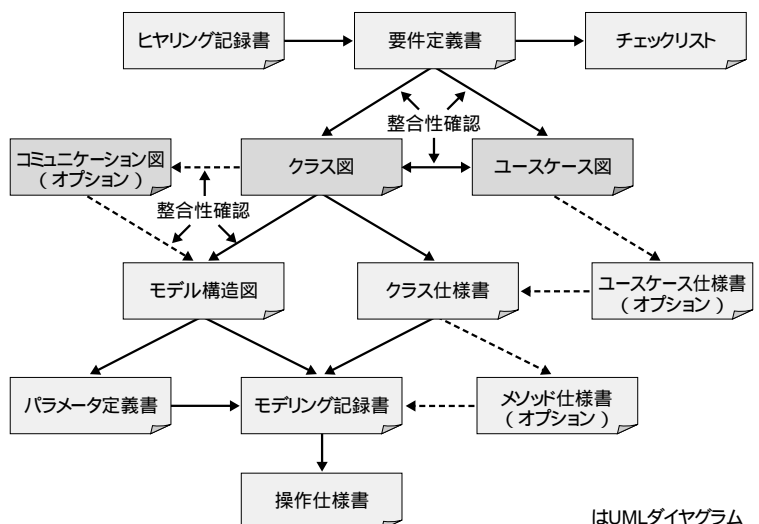


図8. 「CADテンプレート」ドキュメント体系

このUMLベースの工程表において特記すべき点が二つある。1点目は,上記箇所で,ユースケース図とクラス図との整合性を取りながら,人間の業務と,「CADテンプレート」の機能とを分離するところである。さらにここでは要件定義書を参考にしながら,「CADテンプレート」の静的構造に沿って,動的プロセスをデータとメソッドとに分解定義していく。

そして2点目は,内部設計局面において,「CADテ

ンプレート」の論理モデルを,CADネイティブな物理モデルに展開し,整合性を確認するところである(内-①,内-②,内-③)。例として,図6を基に展開された「CADテンプレート」の物理モデルを図7に示すが,この論理モデルと物理モデルの関係は,MDA(Model Driven Architecture)のPIM(Platform Independent Model)とPSM(Platform Specific Model)との関係に対応している。属性を基にして展開される論理設計と,

実体を基にして展開される物理設計との整合性をとる作業は一般に難しい課題ではあるが、ここでは一部実機試行を加えながら解決している。なおCATIA V5は、設計プロセスを考慮したオブジェクト指向型アーキテクチャで構築されているため、論理モデルと物理モデルとの間に大きなギャップは生じない。

上記2点は、図8のようにドキュメント体系に沿って展開・検証され、システムの品質維持に寄与すると同時に、要件定義から実装にいたる仕様ブレイクダウン・プロセスの追跡可能性(traceability),および説明責任(accountability)を満足することになる。

ちなみに「UMLはシステム開発者向けの書式であり、ユーザーには理解が難しく、レビュー資料として使えない」という批判があるが、筆者の経験では、Java™ / VB.NETなどのコードに展開されるソフトウェア開発仕様書として使う場合はともかく、「CADテンプレート」の分析・設計作業で利用する場合は、決してそのようなことはなかった。実際いくつかのプロジェクトでは、ユーザー自身による適用事例も報告されており、表記ルールを説明し、レビューを重ねていけば、容易に取得できると確信している。特にクラス図は、対象機械製品の構造に従った表記をするので、従来書式より理解しやすいと考えている。

6. 今後の展開

本論文では、人工物設計における知識表現の研究成果を基に、今までのプロセス重視の「CADテンプレート」分析・設計作業に対して、構造を見る視点を示し、さらに人間の業務と「CADテンプレート」との機能とを分離して考える視点も示した。また知識表現書式としてUMLを適用することで、見通しの良いドキュメントの記述方法と、オブジェクト指向に基づく「CADテンプレート」開発プロセスとを提案した。

しかし、今後UMLによるオブジェクト指向型「CADテンプレート」開発手法を実務展開するためには、以下の課題が残されている。

- (1) 開発用プラットフォームの整備
- (2) アセット化へのブラッシュアップ

(1)に関しては、一般ビジネス・アプリケーション・システム開発の領域で、既に整備が進みつつある。Rationalの提供するSoftware Development Platformなどはその代表例であり、オブジェクト指向型ソフトウェア開発プロジェクトを支える総合的なプラットフォームになっている。これをCADアプリケーション・システム開発に適用する場合、まずはUMLエディターとしての利用が考えられるが、プロジェクト全体を通し

たプラットフォームにまで発展させるためには、形状モデリングとの連動をとる機能も必要になってくる。

3次元CADをはじめとするPLM関連IT設備群は、ビジネス・プロセスへの直接適用を前提にして構築されているものが多いが、SOA(Service Oriented Architecture)を構成するコンポーネントとして見た場合、一つ一つの機能レンジが多少広過ぎる。今後はそれらを機能分割した上で、開発用プラットフォームと連動したモジュールとして再構成することも必要だろう。

一方(2)に関しては、本手法を汎用性・メンテナンス性に優れたアセット(知的資産)として再構成し、活用の幅を広げていく必要がある。アセット化においては、IBMの標準開発手法の集合体であるGS Method(IBM Global Services Method)のエンゲージメント・モデルが参考になる[13]。ここではアセットを、標準成果物を示す「WP(Work Product)」、標準実施工程を示す「WBS(Work Breakdown Structure)」、およびそれらを補完する技法を示す「TR(Technique Paper)」とで表現している。

アセット化の参考に、筆者らのグループが整備したPLM関連サービス・アセットの体系(本論文の「CADテンプレート」開発手法も含む)を図9に示す。上記3種類のドキュメント群に、初期検討レベルでの活用を想定した「SS(Service Summary)」を加えた四つで体系を構成しているのが特徴である。

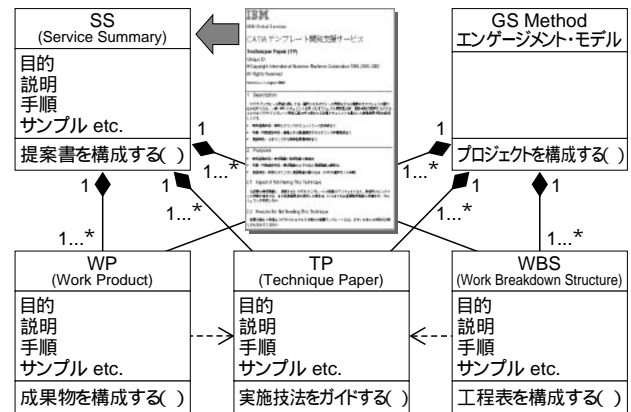


図9. PLM関連サービス・アセット体系

7. おわりに

現在は機械製品のライフサイクルや、設計・製造関連技術の変化が早く、時間をかけて知識の抽出や整理をすることが難しくなってきた。今後は早期に知識体系を把握し、熟練設計者の深い知識(暗黙知)の扱いを検討した上で、IT支援による技術伝承のシナリオを構築していくべきであろう[14]。

知識抽出の困難さを解消する一手段として、自然言語処理を実装した事例ベースの研究も進んでいる。また既存の過去トラブル台帳や設計方案データベースを、3次元CADと外部連携させるアプローチも今後は無視できないだろう。時間とともに変化する設計ノウハウは極力、外部に独立させておき、CADアプリケーション・システムでのメンテナンスは最小限にしていく工夫も必要である。

成長するシステムは、その内部に循環系を有している。「CADテンプレート」においても、実施 検証 知識補正 実施の循環系を構築した上で、知識を枯らすことなく技術伝承していくための仕掛け作りが望まれる。

謝辞

本論文執筆にあたり、日本IBMのPLM関連サービス・アセット化活動メンバーをはじめ、多くの方々から貴重なアドバイスをいただきました。あらためて深謝いたします。

参考文献

- [1]吉川弘之他：設計とCAD，朝倉書店，ISBN4-254-23075-3(1993)。
- [2]村上存他：“設計と人工知能：設計シンポジウムの20年の歩みから”，人工知能学会誌，Vol.17，No.1，pp.84-90(2002)。
- [3]仲谷善雄：“事例ベース推論の動向”，人工知能学会誌，Vol.17，No.1，pp.28-33(2002)。
- [4]溝口理一郎他：“対象モデリングの視点から見た知識表現”，人工知能学会誌，Vol.18，No.2，pp.183-192(2003)。
- [5]松木則夫他：“形状処理のコンポーネント化によるパラメトリックデータの共有化”，精密工学会誌，Vol.69，No.9，pp.1253-1258(2003)。
- [6]Marvin Minsky: *The Society of Mind*, Simon & Schuster, New York, ISBN0-6716-0740-5(1987)。
- [7]矢部稔他：“型鍛造品設計におけるエキスパートシステム”，塑性と加工，Vol.34，No.387，pp.384-390(1993)。
- [8]矢部稔他：“型鍛造品設計における3次元CADの適用”，技術誌住友金属，Vol.48，No.4，pp.96-102(1996)。
- [9]西村崇他：“UMLの極意”，日経コンピュータ，2003年12月1日号，pp.50-77(2003)。
- [10]児玉公信：UMLモデリングの本質，日経BP社，ISBN4-822-22118-0(2004)。
- [11]長谷川一彦他：“ビルドタイム/ランタイム・アプローチによる設計プロセスの革新”，PROVISION，No.39 Fall，pp.42-50(2003)。
- [12]中山裕美子：“要求定義の方法論を知る”，日経ITプロフェッショナル，2004年1月号，pp.32-39(2004)。
- [13]内藤裕史：“IBM Global Services Method概要”，PROVISION，No.34 Fall，pp.38-41(2004)。
- [14]中村肇史：“製造現場の技能伝承”，精密工学会誌，Vol.68，No.10，pp.1273-1276(2002)。



日本アイ・ビー・エム株式会社
 グローバル・ビジネス・サービス事業
 アプリケーション・サービス
 PLMソリューション 第一PLMサービス
 アソシエイトITアーキテクト

矢部 稔 Minoru Yabe

[プロフィール]

鉄鋼メーカーをへて、2002年、日本IBM入社。現在ITアーキテクトとして、PLM関連のシステム企画・開発プロジェクトに参画。モノづくりのプロセスを構造的に表現する手法の開発に興味をもつ。
 maybe@jp.ibm.com