

C A Aによる「外装設計機能」の開発



製造・流通システム事業部
PLMソリューションセンター

青木 潔

Kiyoshi Aoki



製造・流通システム事業部
PLMソリューションセンター

井上 和重

Kazushige Inoue



製造・流通システム事業部
PLMソリューションセンター

葭井 浩一

Hirokazu Yoshii



ダッソーシステムズ株式会社
ビジネスディベロップメント・E&E業界担当
ディレクター

堀田 邦彦

Horita Kunihiko

近年、日本の製造業では「ものづくり」現場の改革を実現する手段として、設計自動化の要求高まり、3次元CADシステムの導入が推進されている。

一方で、既存の3次元CADシステムの導入後、解決困難な諸問題も浮かび上がってきている。

本文では、主に家電・精密機械業界における「ものづくりプロセス」のボトルネックと目される‘外装設計機能’の自社開発事例を紹介する。

1. はじめに

当社は、N K Kの情報システム部門が分離独立し設立された。鉄鋼、造船、橋梁という製造業を出身母体とする情報システム会社であることが当社の特徴であり、常に「ものづくり」の見地からコンピュータソフトウェアの開発を行ってきた。

1988年に国産3次元C A D (Computer Aided Design) システムの自社開発が決定された。造船や橋梁における3次元C A Dシステムを用いた設計経験と研究開発ノウハウを基に、製造業全般のお客様を支援する3次元システムを提供することを目的とした。高度な幾何処理技術、最先端のコンピュータプログラミング技術を駆使し、コードネーム「C I D A S 2 1 (サイダス21)」として1993年に初期システムの開発が完了した。1996年からは「Design Spinnaker (デザインスピナーカー)」という商品名称で市場に本格投入し、以来数多くのユーザーに活用頂いてきた。

13年に渡る3次元C A Dシステムの開発・販売の経験から、家電・精密分野 (Electric & Electronics分野：以下、E & E分野と称する) にフォーカスした設計支援システムが一般に少ないのではないかという印象を強くしている。これは、3次元C A Dシステムの発祥が、もともと自動車や航空機の設計支援システムとして開発されてきたという事、現在でも3次元C A Dシステムの大規模ユーザは、自動車や航空機メーカーであるという背景による。表1に自動車・航空機分野とE & E分野の「ものづくり」の差異を概観する。当社は、E & E分野のデザイン・設計プロセスに着目し、そのプロセスを抜本的に効率化する機能として「外装設計機能」を開発してきた。

3次元C A Dシステムに関して、当社では2001年1月から新しいビジネス方向を取る事に決定し、フランスに本社を置くダッソーシステムズ社 (以下、D S社と称する) と開発提携契約を結んだ。この契約に基づき、D S社が開発した Component Application Architecture (以下、C A Aと称する) と呼ばれる3次元C A Dシステムのソフトウェア・フレームワーク上で機能開発を進めることとなり、デザインスピナーカー商品開発で蓄積された技術、ノウハウを「外装設計機能」としてC A A上に移植し新規開発を進めている。

本報は、外装設計機能の開発に関わる要件、機能、構造を報告するとともに、当社の新たなビジネス方向における

位置付けを説明する。

表1 自動車・航空機分野とE & E分野の「ものづくり」の差異

	自動車・航空機型	家電商品型
代表的な製造業	自動車、航空機、産業機械、医療器械	家電、情報家電、カメラ
製品パーツ数	数千点から30万点	150点から300点
製品のモデルチェンジサイクル	2年から10年	2ヶ月から1年以内
設計上の特徴	1) 意匠も重要であるが、機能やメカニズムが重要な要素である。 2) 大規模な部品の管理、調達との連携、ワークフロー管理が重要。 3) 製品サイクルが長い為、要員の教育、新システムのトライアルなどを積極的に行うことができる。	1) 意匠性 (デザイン) が売れる商品のための重要な要素であること 2) コア面と内部機構部品の取り合いが精密であること 3) 製品単価が安く、製品サイクルが短い。 4) プロジェクト人員が少なく、教育立上げのための工数配分が難しい。
必要とされる情報システム	・CAE (機構解析、強度解析) ・大規模アセンブリ ・PDM (製品データ管理) ・ERPとの接続	・キャビコア設計機能 ・ファイル管理機能 ・図面作成機能
企業のノウハウの蓄積方法	・データ化・コンピュータ化による。	専門家の育成による。 設計クラフトマン)

2. 外装設計の定義

2.1. E & E分野における「ものづくり」の特徴

新製品の基礎技術がE & E分野各社の研究所で完成し、企画部門から新製品出荷のスケジュールが提示された段階からデザイン、設計作業が開始される。E & E分野の製品は、卒業／入学シーズン、クリスマス商戦などの販売タイミングにジャストミートし、かつ、競合他社よりも優れたテクノロジーを持つ製品を提供するために、デザイン・設計段階に着手する直前まで研究、企画検討が行われる。したがって、デザイン・設計作業に残された時間は、一般には6ヶ月 (最短で3ヶ月) 程度しかない。この短い期間に、消費者の購買意欲をそそる意匠デザインを考案して、コンパクトな製品外観になるように詳細設計をとりまとめ、その射出成型金型を作成し、量産体制を立ち上げなければならない。

E & E分野における「ものづくり」は、短納期、多品種対応を実現するために比較的少人数のグループによって同時並行的に行われる。一般に、自動車分野において約2年をかけて、デザイン・設計・詳細設計が数多くの設計者によって段階的に (ウォーターフォールモデル) 開発されていくことと対照的である。自動車分野における同時並行設計の考え方はコンカレントエンジニアリングと呼ばれ、各社が目標として掲げているが、E & E分野では既にこのコンカレントエンジニアリングが実現されているといっても過言ではない。

E & E分野における同時並行的なデザイン、設計業務において中心的役割を担うのが外装設計部門である。外装設

計部門の設計者は、一方ではデザインのアピールポイントをデザイナーと協議し、他方では成型するための型割位置を金型設計担当者と協議している。さらには、機構設計の変更への対応、プロトタイプの評価、強度の検討、金型加工性の評価などを各部門とコミュニケーションしながら設計を進めなくてはならない。図1に、典型的な組織関連図を示す。外装設計部門がモノづくりの中心的役割であることがわかる。

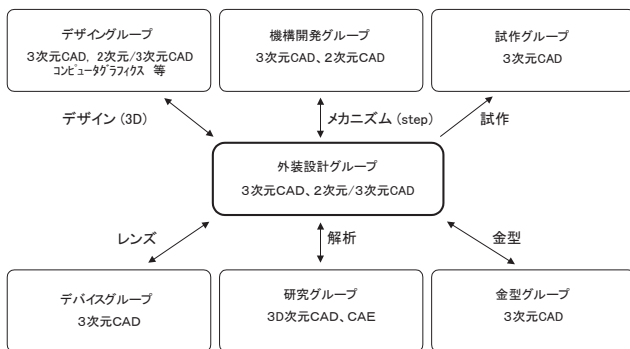


図1 E & E分野における組織関連の事例¹⁾

2.2. 設計作業3次元化のボトルネック

前節で述べたように外装設計業務は広い範囲に及ぶが、基本的な設計の流れは、

- (1) 設計部門とデザイン部門とのやりとりを通じて製品外観形状（キャビ面）を決定する作業
- (2) 内部部品とコア面との取り合いを調整して製品内部形状を決定する作業
- (3) ボスやリブを設定してコア面形状を決定する作業となる。一般的なE & E分野における製品の断面は図2に示すように内部機構部と外装筐体部から成る。外装筐体部はキャビティ面と呼ばれる外側の面とコア面と呼ばれる内側の面を持つ。キャビティ面の担当はデザイン部門であり、コア面の担当は外装設計部門となる。したがって、狭義の外装設計業務とは製品外装部のコア面を作成する業務であると言える。

さて、コア面を作成する際に、従来は製品外装部のさまざまな断面形状を図面上にセクション図として表現し、その図面をもとに、金型メーカーがコア形状を予測しながら加工するという手法がとられてきた。図面は数多くの断面図から構成され非常に複雑になるため、図面を作成する設計者、渡された図面を解読する金型メーカーともに熟練技術と

時間が必要となる。

近年、3次元CADの発展に伴い外装設計作業を3次元化する試みがなされているが、図面作成と比べて設計時間が短縮されたという事例はあまりない。これは、3次元CADの機能が不十分なためである。コア面を作成するために3次元CADの機能の一つであるシェル機能が用いられる。シェル機能とは、ソリッドを指定しある厚みを残した薄皮のような形状を作成する機能である。たとえば掃除機本体の設計を取れば、まず外から見える形状（意匠面）を中が詰まった固体（ソリッド）として作成する。次に、製造できるようにこの形状をスイカ割のように分割する。切断面からスプーンでくり貫くようにある厚みのある皮（殻）を作成する。その空洞にモータなどの部品を配置するといった作業になる。この一連の作業におけるくり貫き機能がシェル機能（シェル抜き）である。

実際には、ほとんどの製品形状に対してシェル機能は適用できない。すなわち、シェル機能はまったく動作しない。このためユーザは、意匠面を構成するサーフェスを一枚、一枚オフセットし、交差面をトリムしてコア面を作成せざるを得ない。シェル抜き機能を効率良く行うことは、外装設計業務の効率化に直接つながり、ひいては、E & Eの「ものづくり」プロセスのボトルネックを解消して全体効率化を実現することができると考えられる。

ところで、筆者らはこれらの「ものづくり」を分析する過程で、外装設計と一対一に対応する英語表記が存在しないことに気がついた。これは、外装設計部門の位置付け、広くはE & Eの「ものづくり」が日本から発生したことを示しているのだろうか。筆者らはコア面の作成が重点である外装設計作業であることに着目し、外装設計の英語表記をInner Shape Design（以下、ISDと称する）とした。

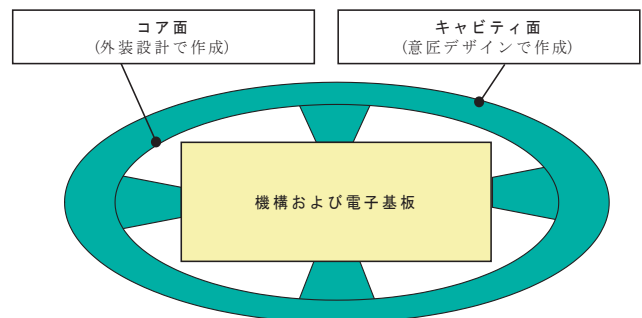


図2 E & E製品の断面形状

3. 外装設計機能の要件

3.1. ケーススタディ

外装設計機能の要件を明確にするために、E & E分野を代表するメーカーで外装設計に携わっている方々にヒアリングを実施しケーススタディを行った。共通する代表的な要望は以下の通りであった。

- ・ 「コア面を自動的に作成してほしい。計算時間が10時間かかってもかまわない。」
- ・ 「自動的に作成できない場合でも、最小限の手間でコア面を作成したい。
自動作成に失敗した場合は、どこをどう直せばいいのかシステムから教えてほしい。」
- ・ 「コア面を作成するときに、キャビティ面を変更しなくてよいようにしてほしい。」
- ・ 「シェル化を意識せずにデザインできるようにしてほしい。」

外装設計業務においてソリッドによる3次元設計のメリットを十分に引き出すためには、シェル化だけが問題ではない。しかし、シェル化が使えるレベルになるまでは、ソリッドによる3次元設計をE & E分野の設計に利用することはできない。逆に、この部分が解決されれば、ソリッドによる3次元設計で従来手法を越えるメリットを出すことが可能になる。

次に、具体的なシェル抜きの問題点を2つの事例によって説明する。図3は、デジタルカメラの裏蓋形状を示す。意匠デザインの下部に半径が可変するフィレット面が作成されている。シェル形状の肉厚が先のフィレットの最大半径値より小さく、最小半径値より大きい場合、コア面においてフィレット面は2つに分割され、その間は半径がゼロのエッジで繋がれることとなる（丸で囲んだ部分）。このようなトポロジ（幾何処理の位相）が異なる形状は、従来の3次元システムでは処理が困難であり、シェル抜きに失敗する。その場合、デザイン面を肉厚分ひとつひとつオフセットし、重なり合う箇所をトリムしたりギャップのある箇所を埋めたりしながら、すべてのコア面形状を手作業によって作成するしかない。

図4は、2つの円柱をつなぐフィレット形状である。小さい円柱の上部のフィレットは凸形状であるが、円柱間のフィレットは凹形状である。このようなソリッド形状にシェル抜きを行うと、凸形状のフィレット半径は縮小し、

凹形状のフィレット半径は拡大する。したがって、その間を接続するコーナーフィレットの形状は幾何学的矛盾を持つ。ここにおいても従来の3次元システムでは処理が困難であり、手作業でコア面を作成するしかない。

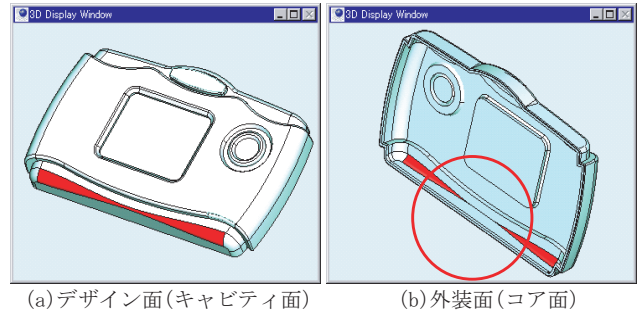


図3 外装設計事例その1

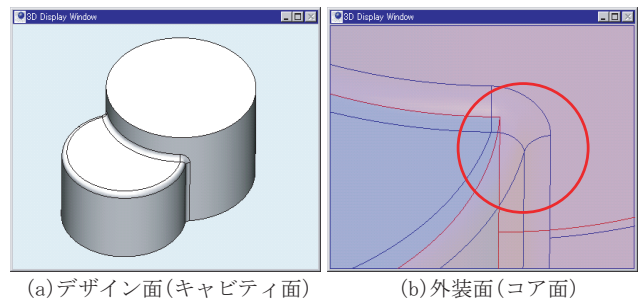


図4 外装設計事例その2

3.2. 要求定義

E & E分野の外装設計部門からの要望を分析し以下の要求を定義した。

- (1) シェル抜き形状を確実に作成したい。（シェル化に失敗しても外装設計を効率的に継続作業したいので、途中結果を出力して欲しいなど。）
- (2) 複数サーフェースから厚みを持った形状を作成したい。（ソリッドからの削り抜きだけでなく、サーフェースから厚みをつけて薄肉形状を作成する。）
- (3) シェル化実行前に問題を引き起こす箇所を検出、修復したい。（微小なサーフェースや微小なソリッドなど。）
- (4) シェル化実行後の形状がソリッドとなるように効率的に修正したい。（自己干渉やグローバル干渉などの検出を行いたい。）

4. 外装設計機能の外部仕様

サーフェースベース系の3次元CADにおける外装設計

は意匠面のオフセット面作成、およびその編集により行なわれていた。ソリッドベース系でのそれは、意匠面を外周とするソリッド形状からある厚みを残したくり貫き（シェル機能）により作成される。

内部処理的にはサーフェースベース系と同様、オフセット面の生成とその編集機能から構成されている。つまりシェル機能とは、オフセット面の生成・編集を自動的に一括にしたものと言える。本機能はコマンドレベルで単一機能であり、機械設計上重要な要素を含んでいるとは考えにくいかも知れない。現実には幾何学的精度上の問題、位相変化の問題など多くの問題を抱えており、このすべてを解決して始めてシェル機能は完結するが、既存の3次元CADでこの問題の成功率は、おそらく80～90%程度と思われる。このレベルに到達するのに15年以上を要しており、今後も100%へ近づくのに相応に期間を要するであろう。

このわずか10%程度の失敗するケースが、外装設計のソリッドベースでの適用のネックとなる。失敗するケースはサーフェース系の処理で対処するしかなく、結局はソリッド系、サーフェース系の2系統のCADを導入して運用することになる。これはユーザにとっては非常に辛い。

問題を解決するため、当社はかねてよりハイブリッド（サーフェース、ソリッド混合型）系の3次元CADによりこれを解決しようと試みていた。今回、CAA上にこのハイブリッドの処理方式を採用し、シェル機能ならびに周辺機能を開発した。

機能内容はシェル化形状機能群、シェルの成功率を高めるための補助機能（プリプロセス機能）群、シェル抜きが失敗した後の不正形状検出・修復機能群からなる（表2参照）。

表2 外装設計機能の機能構成

機能ブロック	機能	サブ機能
シェル化形状作成機能ブロック	シェル化機能	なし
	オフセットソリッド作成機能	なし
事前問題形状検出修復機能ブロック（プリプロセス機能）	事前問題形状検出機能	微小エッジ検出機能 微小フェース検出機能 異常フェース検出機能 自己干渉フェース検出機能 フェースギャップ検出機能
	事前問題形状修復機能	微小エッジ修復機能 微小フェース修復機能 異常フェース修復機能
事後不正形状検出機能ブロック（ポストプロセス機能）	事後不正形状検出機能	UV空間でのフェース自己干渉検出機能 3次元空間でのフェース自己干渉検出機能 他干渉検出機能
	事後不正形状修復機能	UV空間でのフェース自己干渉修復機能 3次元空間でのフェース自己干渉修復機能

4.1. プリプロセス機能群

前述したようにデザイン面そのものが、元来さまざまな幾何学的問題を含んでいる。プリプロセス機能はこのような問題形状を事前に探索・表示し、さらに、簡単な問題個所ならば自動的に修復する機能も持っている。ユーザは、問題箇所を事前に既存3次元機能を用いて修正することにより、元のデザイン面に含まれる問題点を取り去ることができ、その結果、次ステップであるシェル化作成機能の成功率が高まる。

4.2. シェル化形状作成機能群

シェル化機能とオフセットソリッド作成機能からなる。くり貫く対象面、肉厚をそれぞれ定義できる。オフセットソリッド作成機能はシェル化機能がソリッドを入力するのに対し、サーフェース群を入力とする。仕様はシェル化機能と同様である。

シェル化形状作成機能が成功した場合は、その結果がそのままソリッドとして残る。失敗した場合は出来たところまでを残す。デザイン面からのオフセット面の作成は高い確度で成功する。

4.3. ポストプロセス機能群

シェル化形状作成機能で完結したソリッドが作成できなかった場合、修正すべき個所の明示あるいは正常終了したシェル化の結果を検証し不良箇所を明示する。単純ケースは修復することも出来る。複雑なケースはCATIAバージョン5（以下、CATIA V5と称する）の既存機能を用いて編集し、正常なソリッド化ができるまで編集する。

4.4. ユーザインターフェース

本機能の操作方法はCATIA V5の標準インターフェースにあわせるため、CATIA V5の3次元データの一つであるメカニカルパートを編集する基盤のワークベンチを基盤とし、ツールバー上に対話型コマンドを実装した。これは、CAAエルゴノミックスと呼ばれるCAA V5アプリケーションユーザインターフェース仕様に合致している。

5. 外装設計機能の実装方法

5.1. 課題と解決策

CAAは、コンポーネントオブジェクトモデル（以下、COMと称する）をベースに構築された開発環境であり、特徴の一つは、入出力属性を持つ仕様を決め、その仕様をインスタンス化したフィーチャから結果を取り出す方法で結果形状を作成することになる。

ISD開発を行う上で、解決すべき課題となったものは下記の3点である。

（１）ハイブリッド的手法を実現するために、一つのコマンドから場合に応じてソリッド用フィーチャまたはサーフェース用フィーチャを作成することが可能かどうか。

（２）開発期間短縮、工数低減のために従来当社で独自開発してきたシェル機能関数群を再利用できるか。

（３）シェル機能関数群を再利用する場合には、データからのデータ変換が必要になるが、十分な精度が満たすことが可能かどうか。

（１）に関しては、プロトタイプを作成し検証した結果、下記の方法で実現可能なことが判明した。

- ・ シェルコマンドコマンドで作成するシェルフィーチャは、図5に示すように、ソリッドフィーチャを継承し

た3次元CADソリッドコンテキストフィーチャを継承したものである。

- ・ シェルコマンドが、結果としてソリッドを作成した場合においても、サーフセットを作成した場合においても、CATIA V5の仕様ツリー上に作成されるのは、ソリッドフィーチャを継承した当社のシェルフィーチャとする。

- ・ ただし、結果がソリッドではなく複数のサーフェースから構成される場合（以下、サーフセットと称する）は、作成されたコア面のみを仕様を持たないデータフィーチャとして別途作成することとした。この場合、仕様ツリー上に作成されるシェルフィーチャからさされる結果ソリッドは、シェル実行前のものと同等になる。

本方法を採用したことで、ハイブリッドなシェル機能を実現しただけではなく、結果形状に関係なく、仕様ツリー上を再定義する事が可能になり、CATIA V5上のパラメトリック的な形状変形にも対応可能となった。

（２）に関しては以下の手順で、既存シェル関数群をCAA環境に取り込み開発の効率化を行った。

- ・ シェル機能の一部に残っていた既存3次元カーネルのデータベースアクセス部分をなくし、ソリッドデータを全て幾何情報と面の接続関係を持つシェル構造体上に展開し、シェル構造体の必要なデータからシェル化に必要なコア面を作成するように修正を行った（図6参照）。

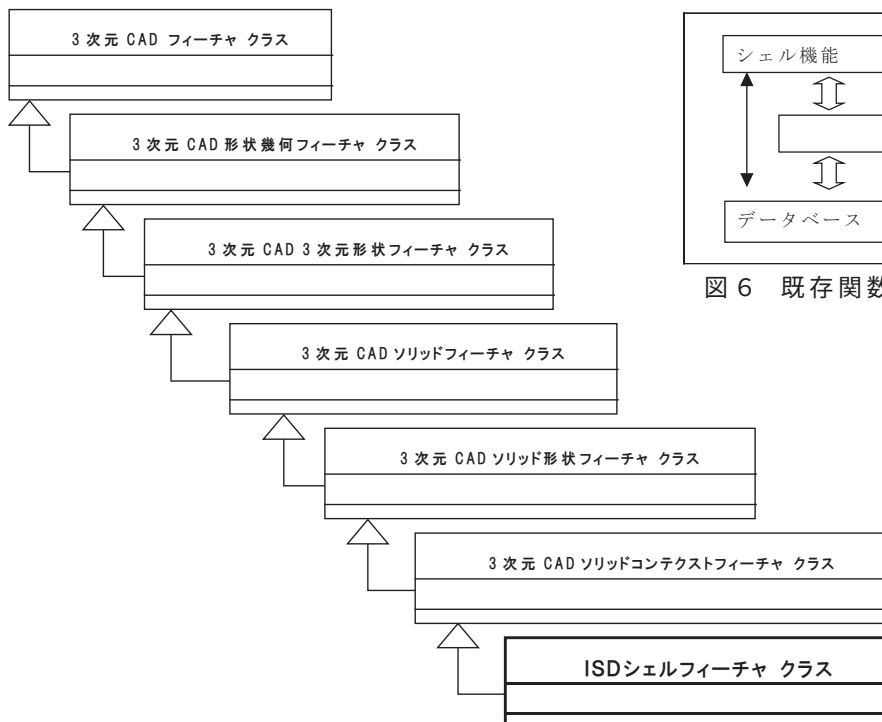


図5 シェルフィーチャの継承関係

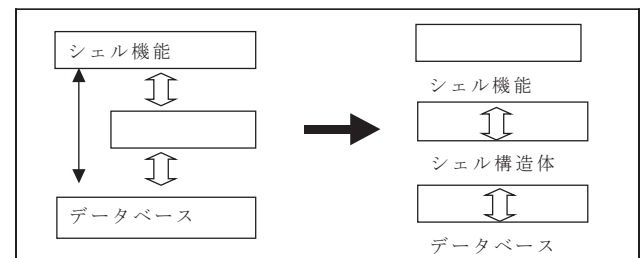


図6 既存関数データベースアクセス部の変更

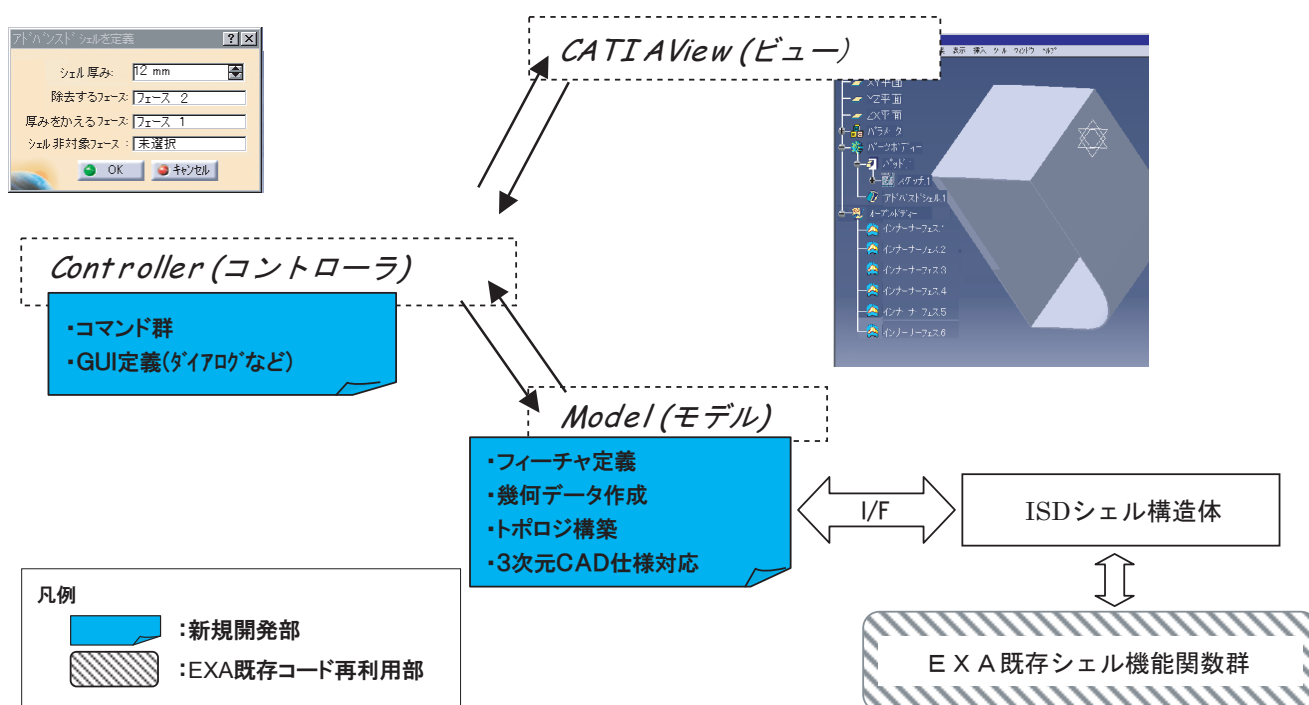


図7 ISDの全体構成 (MVC図)

・ シェル構造体／シェル機能関数群を、CAA環境に取り込み、CATIA V5上のソリッド形状からシェル構造体を作成するインターフェース、およびシェル構造体からCATIA V5上のソリッド形状を作成するインターフェース部分を開発することにより、コア面作成の主要関数群を取り込むことが可能となった。シェルコマンドにおいて全体の開発機能と既存機能関数群の関係を図7に示す。

(3) データ変化における誤差に関して

本問題に関しては、CATIA V5データのサーフェース面データの取り出し、そのサーフェース面データからオフセット面データの取り出し、コア面の作成、作成面のCATIA V5データへの変換といった3段階の変換が行われるので精度的な問題が懸念された。しかし、CATIA V5ではNURBS面をサポートしているため、作成されたコア面からCATIA V5上のNURBS面へ変換する場合にはほとんど誤差が発生しないこと、CATIA V5上でNURBS面でないサーフェースはオフセットしてからNURBS面に変換し変換の回数を1回減らすことにより、問題にならないレベルまで変換誤差を低減することができた。

5.2. 基本構造

CAA環境は、図7で示したように、MVCモデルで構築されており、当社が作成するのはコントローラ部分に対応するコマンド部分と、モデル部分に対応するデータコンポーネント部分である。ビューの部分は作成しない。コントローラ部分は、入力制御とファクトリを通じたフィーチャのインスタンス化を果たす部分であり、モデル部分は、一つのフィーチャを一つのコンポーネントとして、編集機能、結果の取り出し、結果表示など、それぞれCAAが提供するインターフェース (CATIEdit, CATIBuild, CATIVisuなど) をインプリメントしていくことで、機能拡張していくことが可能となる。

5.3. データフロー

ISDはCATIA V5のフィーチャベースモデリング機能を継承している。すなわち、ISDの機能によって作成する各フィーチャは、ISD処理前の元形状 (中実ソリッドやサーフェース) に付加されることによって、元形状に対する形状特徴や形状情報として出現する。たとえば、

シェル化機能の場合、中実ソリッドに対してISDシェルフィーチャを追加して、形状的にソリッド薄肉化として結果出力する。そして、元形状に付加される形状特徴や形状情報の最終形がシェル化ソリッドである。

操作者からみた場合、CATIA V5の標準機能と同じように、並列にISDの各機能を利用し、1つの元形状（中実ソリッドやサーフェース）から、シェル化ソリッドを作成することができる。このとき、元形状がCATIA V5で作成されたものであっても、STEPやIGESなどのトランスレータで読み込まれたものであってもかまわない。

図8に示すコラボレーション図は、元データの中実ソリッドがシェル化ソリッドになるまでのデータの流れを、ISDシステムおよびCATIA V5システムの関連で示したものである。

6. おわりに

2001年1月から、当社では新しいビジネス方向を策定した。その結果、自社で3次元システムを開発・販売する「ソフトウェアベンダ型」ビジネスから、サービスを提供する「サービスプロバイダ型」ビジネスへ転換した。こ

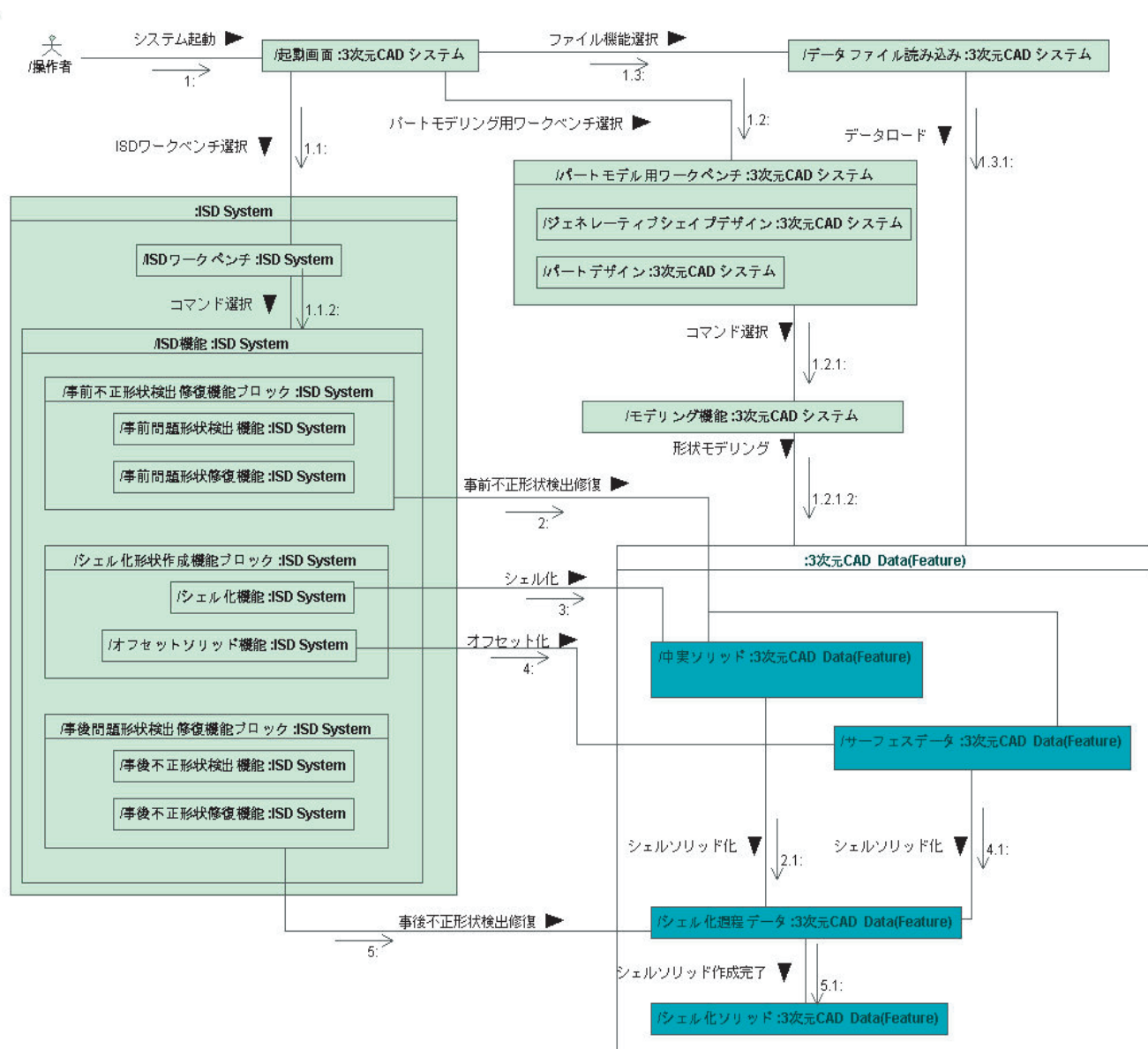


図8 データの流れ

のビジネス方針においては、3次元システムやPDMシステムは「コンポーネント、あるいは部品」とし、これらのコンポーネントを組み合わせることで製造業のお客様に最適なソリューションを提供していく。具体的には、高度なコンサルティング、インテグレーション、保守・サポートをお客様に提供する。

本報で紹介した外装設計機能は、CATIA V5上のオプション機能として商品化される。2002年2月にベータ版が完成し、2002年4月には商品版が完成する予定である。

現在、商品としての外装設計機能の販売、マーケティングに向けて社内体制の整備を推進している（図9参照）。

前述した当社の新しいビジネスモデルにおいては、外装設計機能はコンポーネントの位置付けとなる。すなわち、外装設計機能を利用したコンサルティング・サービスを提供し、製造業であるお客様の競争力向上を支援することが我々のビジョンである（図10参照）。

CAA開発ノウハウは、CATIA V4からV5へのアプリケーション移行やCATIA V5におけるカスタ

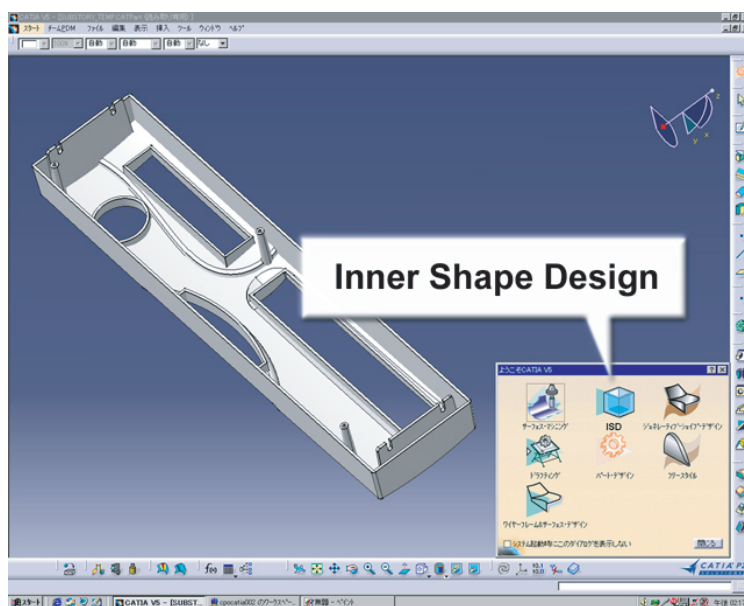


図9 I S D機能の商品化

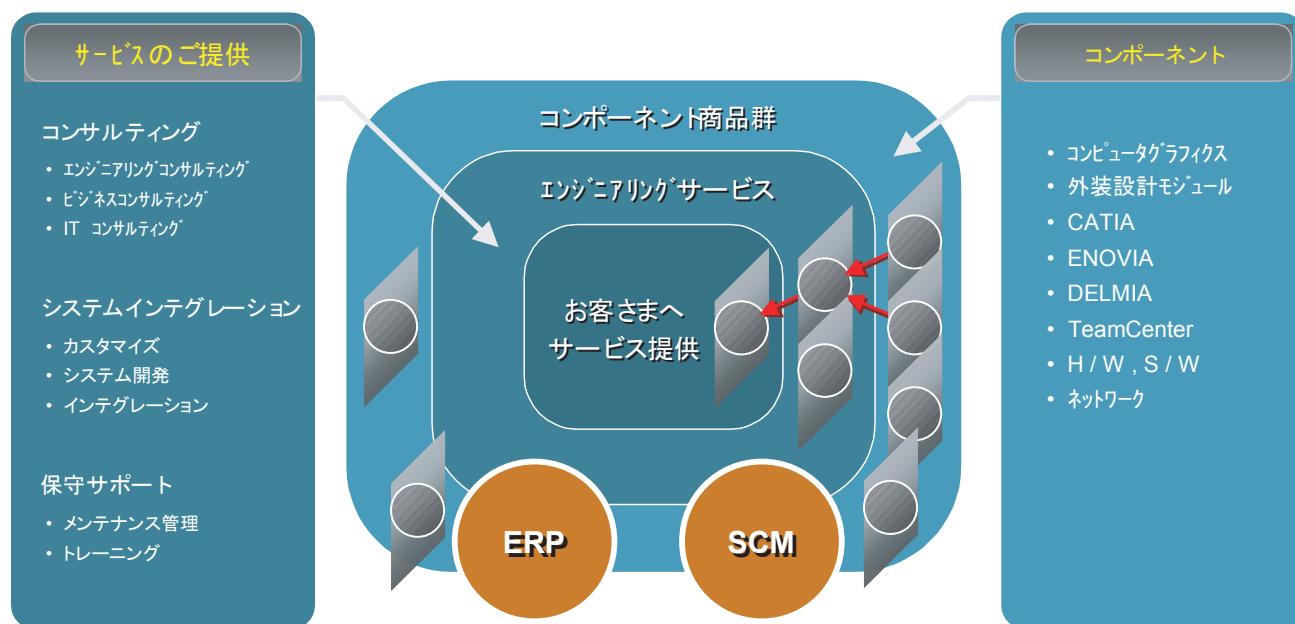


図10 当社の新しい方向

マイズ機能開発にも生かされる。今後、お客様に積極的に提案していきたい。

外装設計機能は、数多くのお客様ならびに提携各社の支援をもとに分析され、開発された。協力を頂いた関係各位へ心から謝意を申し上げる。

参考文献

- 1) 日経メカニカル552号、2000年9月号

<問い合わせ先>

製造・流通システム事業部

PLMソリューションセンター

Tel. 044-540-2170 青木 潔

E-mail : kiyoshi-aoki@exa-corp.co.jp