

CADCEUS における協調設計支援機能

CADCEUS for Collaborative Design

笹 尾 忍, 青 沼 崇 生

要 約 「CAD/CAM システムが, 複数人での協調設計を支援するシステムへと脱皮すること」は, 製品開発システム高度化のキーの一つである. このため, 統合 CAD/CAM システム CADCEUS に, 協調設計支援機能である Shared Work Space を追加実装した.

本稿では, 協調設計支援が求められる背景を概観し, 必要となる CAD/CAM システムのフレームワーク機能を定義し, その中で最も基本的でありかつ中心となるべき「製品モデルを共有する協調分散型 DBMS」の一つの解として, 今回開発した機能について紹介する.

Abstract The “Evolution of a CAD/CAM system to support collaborative design” is one of the keys to more sophisticated product development systems. The Shared Work Space (SWS) feature, which offers collaborative design support, has been newly added to CADCEUS (integrated, next-generation CAD/CAM system). In this paper we survey the reasons behind the demands for a collaborative design support function. This paper also defines the basic framework functions of the CAD/CAM system required to for realizing collaborative design. From among these functions, we introduce the SWS function which was developed this time to achieve the basic and core requirement of a “collaborative distributed DBMS that enables model sharing”.

1. は じ め に

筆者らは, 統合 CAD/CAM システム CADCEUS (以下, CADCEUS) に対して, 協調設計を実現するためのフレームワークとして, シェアード・ワークスペース (以下, Shared WorkSpace, SWS) の機能追加を実施した.

本稿では, 協調設計を支える CAD/CAM システムのフレームワークに要求される機能を定義するとともに, 今回開発した SWS の機能について述べる.

まず, 2 章で協調設計が求められた背景について述べ, 次に 3 章で協調設計を支えるフレームワークの要件を定義する. 4 章では, 今回開発した SWS の機能を紹介し, 5 章で協調設計作業の実現について述べる. 6 章では今後の課題について触れる.

2. 協調設計の背景

製造業においては, 製品開発プロセス全体の期間短縮と上流工程での品質の折り込みが最重要課題であり, 今日まで, TQC (Total Quality Control) に代表される徹底した品質管理が実践されるとともに, 製品開発プロセス, 特に製品設計, 生産設計, 生産準備プロセスの同期化 (コンカレント・エンジニアリング) が模索され, 実践されてきた.

コンカレント・エンジニアリング実現の中核となるのは, プロセス間で流通するデータである. ここで, データとは, 一般に計算機上に展開された仮想の製品に設計知識, 生産知識を具備したもの (製品モデル) である. 現在, これをさらに進展させ,

設備などの環境もモデル化した、仮想生産を実現するためのデータ表現や、支援システム、利用技術が要求されている。

すなわち、製品開発システムの高度化の一つのキーはデジタル・プロセスの推進であると言える。

同時に、CAD システムを利用した設計対象は、単一の部品設計から、複数の組み付けられた部品群（アセンブリモデル）へと高度化してきている。ここでは、複数の設計者が、同時並行的に独自の作業を進めると共に、アセンブリモデル全体での整合性を維持・管理する必要性が生じてくる。すなわち、製品開発システムの高度化のもう一つのキーは、CAD/CAM システムの複数人での協調設計（Collaborative Design）支援システムへの脱皮であると言える。

複数の作業者が、同時並行的に処理を実行するためには、作業者間の情報の共有化が必須である。共有の対象となる情報には、単に形状を主体とする 3 次元モデルのみではなく、各種の設計諸元情報、一部の設計意図、作業手順、作業過程での判断基準、等の「作業過程における作業者の認識」も含まれる。そのためには、より現実感が高く変更に強い形状モデル表現、他者の変更に自動追従できる設計情報表現が求められる。

変更への自動整合の観点で、現在唯一利用可能な技術はパラメトリック技術であるが、この技術がソリッドモデルのみならず、形状特徴モデルや曲面モデルなど広い範囲で適用可能となることが求められる（図 1）。

言い換えれば、

「協調設計支援のためには、

- ① 製品モデル全般の管理機構
- ② 表現力、変形性、再利用可能性の高いモデリング
- ③ プロセスおよび作業者間の認識の共有

が重要な課題である。」

と言える。

3. CAD/CAM システムのフレームワークへの要求

前述したデジタル・プロセスの推進と、協調設計支援システムへの脱皮のためには、製品モデルを管理・共有することができるデータベース管理システム（DBMS）が必要となる。

また、モデリング・エンジンには、より表現力が高く、形状変形能力の高い、パラメトリック・モデリング・エンジンを装備することが不可欠となる。

さらに、複数人での作業を円滑に進めるために、作業者間の柔軟なコミュニケーション手段を提供すべきである。

1) 製品モデルを管理・共有する DBMS

全ての製品開発プロセスで論理的に 1 個のデータベースを維持・管理できることが要求される。この実現のためには、CAD/CAM システムを始めとした製品開発プロセスにつらなるシステムが、柔軟なデータ交換基盤システムの元に連携することが必要となる（図 2）。



図 1 パラメトリック技術を基盤としたハイブリッドモデラ

例えば、一個の部品を設計する際、隣接する他の部品形状を参照しながら作業を進めたり、あるいは、同時に部品の構成管理情報を参照・変更しながら作業を進める場合が考えられる。すなわち、CAD/CAM システムのフレームワークにとっては、独自のデータベース、外部のデータベースの区別を意識せず、自由にアクセスできるインタフェースを備えることが不可欠であるとともに、DBMS には、モデルに対してのセキュリティ管理や、排他制御機構も必要となる。また、個々のプロセスや作業者は、ある期間独立した作業を実施する。その際には、検討段階のデータ（生煮えデータ）等の共有の必要でないデータが存在する。これらを一時的に格納でき、他者から隠蔽できる機構も同時に要求される。また、共有しているモデルに対して実施した操作が、他プロセスや他の作業に対して通知され、それを認知できることも、協調設計の上では重要な要件の一つである。これから、協調分散型の DBMS が望まれる。

2) パラメトリックモデリングを実現するモデリング・エンジン

設計意図がモデルに盛り込めることは、複数のプロセスや複数の作業者にまたがって、使用されるモデルにとって必要不可欠な要件である。また、他の設計者

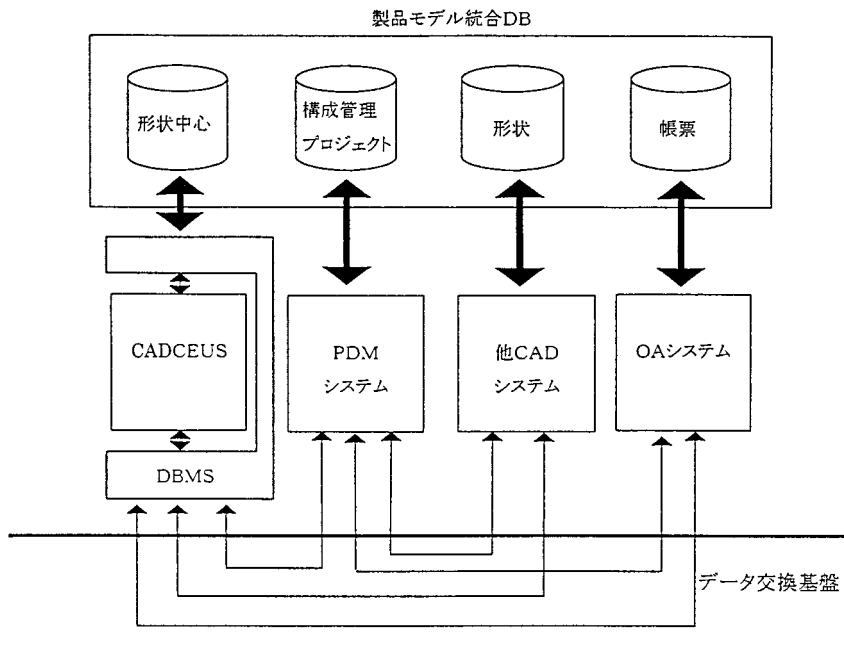


図2 PDMを含めた他APとの柔軟なインターフェースの提供による論理的製品モデルデータベースの保守・管理機構

や、上流工程の変更に対して整合性を保持しながら、自身のモデルに対して反映可能なことも、協調設計支援の必須要件である。

製造業における製品開発は、(ア)新規開発、(イ)全般あるいは部分的な変更・改訂に分類される。一般には、(ア)に比較し、(イ)の作業は多い。この状況から、モデリングそのものも新たにモデルを起こすのみではなく、既存のモデルを再利用できることも重要な課題となる。

また、個々の開発プロセスは、全く同一のモデルを扱うことは少なく、そのプロセスに合わせたモデルを必要とする。すなわち、基準となるモデルに対しての多重表現力も重要な課題である。

3) コミュニケーション手段の提供

作業者間やプロセス間において、認識を共有するためには、共有そのものの機構に加えて、同時並行での協調作業をより効率よく進めるためのコミュニケーション手段も重要である。

この分野の要求の一部も、CAD/CAM システムフレームワークへの要件となる。マルチメディア、インターネット、イントラネットの浸透に伴い、コミュニケーション機能は、今後とも益々の進歩が期待できる。協調作業をより効率よく進めるために、CAD/CAM システムのフレームワークとしては、これらの機能とのインタフェースを備えるとともに、これらをどう使うか、どのように作業者間のコミュニケーションに必要十分な情報と融合させるかがポイントとなる。

4. SharedWS

CADCEUS では今日までに、形状モデルを中核として、それに関係付けて製品構成、アセンブリ（部品間の幾何的構造）、FEM 解析、機構解析、加工などの情報を保持する製品モデルを既に実装した。また、サーフェスマデラー、ソリッドモデラーを完成するとともに、幾何拘束ソルバと、履歴再実行型のパラメトリック・エンジンを搭載することで、一設計者の占有作業領域上（ワークスペース、WS）でのパラメトリック・アセンブリモデリングを支援してきた。すなわち、前述した“3. CAD/CAM システムのフレームワークへの要求”のうち“1) 製品モデルを管理・共有する DBMS”の製品モデルの実装および、“2) パラメトリックモデリングを実現するモデリング・エンジン”の実装を完了している。今回、ワークスペースを複数の設計者の共有空間にまで拡張したシェアードワークスペース（SWS）の機能を開発した。これは、前述した“製品モデルを共有する協調分散型 DBMS”の要件を、CADCEUS に付加することで、協調設計支援システムへの脱皮の一步とするためである。

本章では、SWS の特徴的な機能について説明する。本題に入る前に、CADCEUS のデータモデルのデータとその構造に関し、その骨子を説明しておく。データの概念的階層は、

Work Space(WS)-Object(OBJ)-Group (GRP) -Entity (ENT)

からなる。

ここで、Entity とは幾何要素、位相要素、属性、設計意図、等の製品モデルを構成する最小単位 of データであり、Group とはそれらを任意に束ねたものである。Object は、一つの部品、1 枚の図面などに対応する概念であり、これを複数組み合わせ、任意の階層を構築することでアセンブリを表現する。Work Space とは論理モデル上の最上位概念であり、設計空間に対応する。一つの Work Space に任意個数の Object を含めることができる。なお、Work Space や Group は階層を持たない。

1) ワークスペースの共有

協調設計とは、「個々の設計者の独立性、最大限の設計効率を保証しながら、関連する複数の設計者間の共有空間を実現すること」である。この課題を実現するために、筆者等は WS を個人作業用の PWS (Private Work Space) と SWS とに分け、また、共有情報管理の目的のために、SWS, PWS 間のデータ移送を管理する共有情報マネージャ (Shared Information Manager : SIM) を開発した。SWS には、全ての設計者に共通する構想設計情報 (形状、設計拘束)、複数の設計者に跨る情報、個々の設計者が他の設計者用に開示した公開 OBJ などが格納される。個々の設計者は、SWS から構想設計情報および自分の設計に関与する他の設計者の OBJ を自分の作業空間に取り込んだ上で、独立した作業を実施する。SIM は、SWS 上の情報および、SWS 上の情報がどの設計者から参照されているかを監視する。他の設計者から参照されている SWS 上の OBJ が、SWS 上で更新されると、参照している設計者にその旨のメッセージを配信し更新を促す。全ての設計者が自分の担当分を設計終了して SWS 上に登録すると、全体の設計終了となる。(図 3)

この仕組みでは、SWS はどの設計者からも見えるが、PWS は他の設計者から

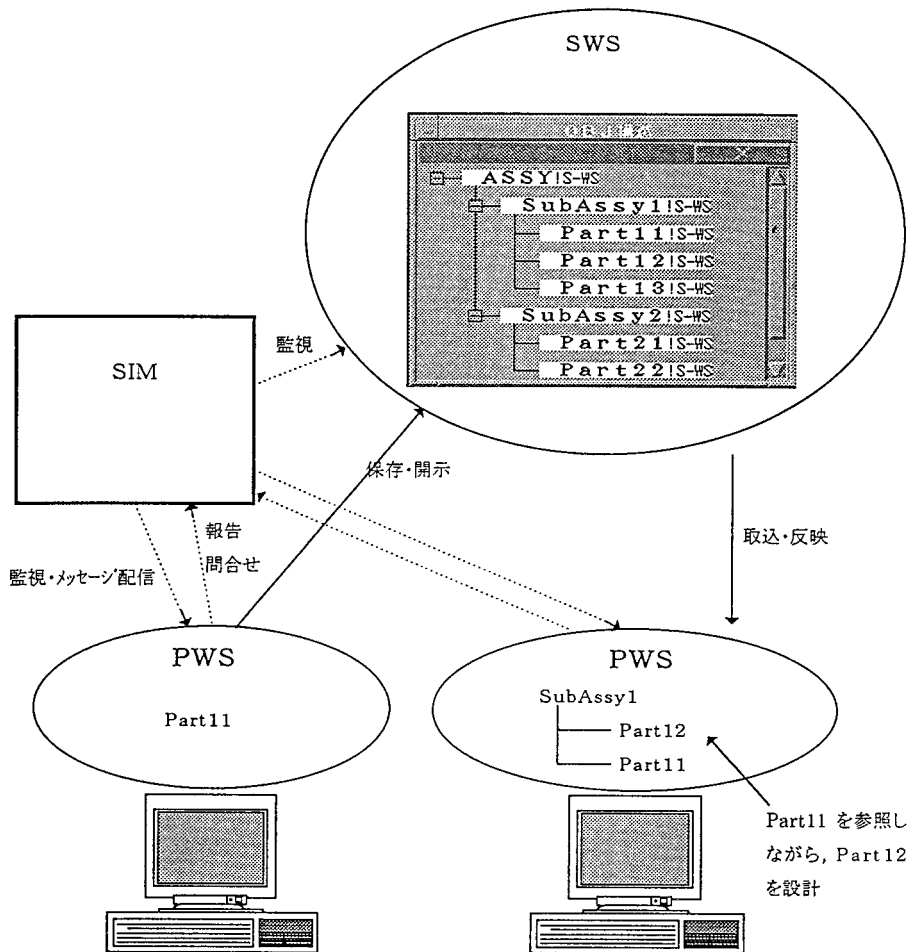


図3 ワークスペースの共有

隠蔽されているので、個々の設計者の独立性を満たす。

また、設計管理者が、個々の設計者の設計品質や、全体での整合性、進捗を確認するという観点では、設計者に一定サイクルで、設計中のOBJをSWSに登録させ、これを確認することができる。

2) オブジェクトの更新権制御

SWS上のOBJには、SIMを介して更新権を設定できる。設計者が更新権を有していないOBJは、PWSでの変更操作を行うことはできるが、SWSへ保存することはできない。更新権の変更は、OBJ単位に行う。

更新権の有無は、アセンブリ構造表上の表示色により、設計者が簡単に識別することができる。また、OBJの更新権をどの設計者が保持しているかは、SIMに問い合わせることで確認することができる。

3) 複数設計者間の整合性保持機構

他の設計者の最新状態（最後にSWSへ保存した状態）を参照する場合は、OBJの反映機能を使用する。反映機能は、SWS上に保存されている最新の状態を、

要求設計者の作業領域へ転送する機能である。このとき、転送された OBJ と作業領域上の OBJ 間に何等かの関係（配置関係、参照依存関係、等）が存在する場合、必要に応じてパラメトリック再生が必要という意味の更新マーク付け処理が自動的に行われる。その後、パラメトリック再生を実施することにより、他の設計者の変更結果と整合した自身の OBJ の自動再構築が行われる(図 4(a), (b), (c), (d), (e))。

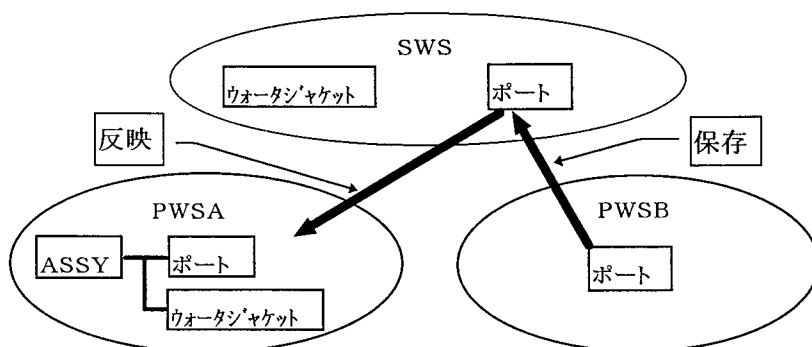


図 4(a) 複数設計者間の整合性保持機構

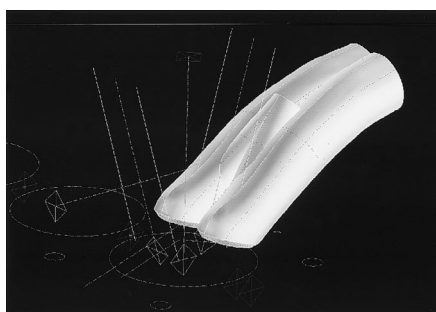


図 4(b) 設計変更前のポート

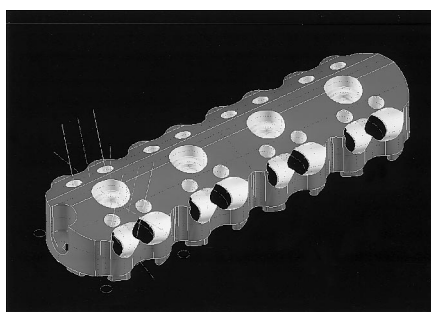


図 4(c) ポートを参照したウォータジャケット

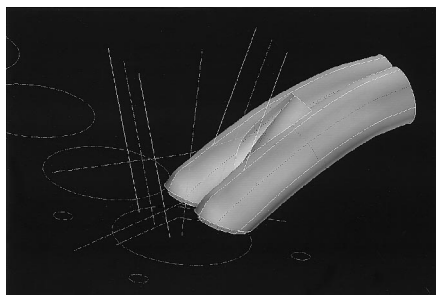


図 4(d) 設計変更したポート
(ポートの径を拡大)

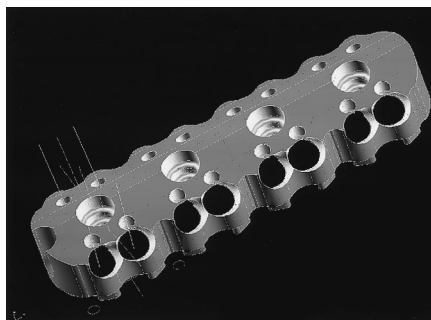


図 4(e) 変更後のポートを反映しパラメトリック再生による、自動的な設計の伝播
（ポート径の拡大により、穴開口部が広がっている）

4) 共有情報

オブジェクトが SWS へ保存されるごとに、共有情報と呼ぶメッセージが SIM を介して他の設計者の画面へ通知される(図 5)．これにより、「どの設計者が」、「どの OBJ に対して」、「何を実施したか」を、他の設計者は知ることができる．各設計者は、メッセージの内容により、自モデルへの影響を判断する．自モデルとの整合をとる必要があると判断した場合は、前述の反映機能を実行する．



図 5 共有情報

5) チェックイン・チェックアウト

一般に CAD/CAM システムを用いた設計期間（データの更新期間）は長い．すなわち、完成品でない状態でのデータの保管が DBMS に要求される．SWS は公開空間であるため、原則として公開可能な状態まで設計が進んだ OBJ しか SWS に登録されない．それに替わる保管場所として、PWS 上にチェックアウト保管庫(図 6)を用意している．これにより独自の検討段階のデータや他に見せたくないデータを、ある期間、独立した保管庫に保持することができ、他の設計者から隠蔽することができる．

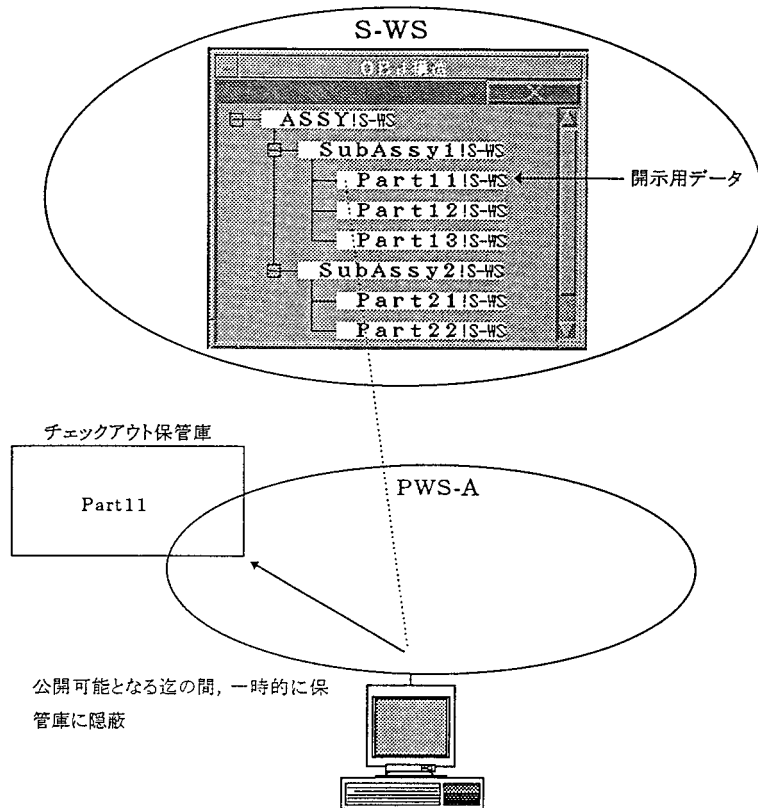


図 6 チェックアウト

6) グローバルパラメタ

ここでは、協調設計支援の観点で新規に導入したグローバルパラメタについて説明する。

グローバルパラメタとは、主に設計諸元（例えば、エンジン部品でのボア、ストローク、バルブ角度、等）を設計者間で共有するために用意されたユーザ定義可能なパラメタ群のことである。設計作業に共通する各種パラメタ値を、グローバルパラメタとして保持することで、設計諸元を共有しながら設計作業を進めることができる。また、このグローバルパラメタを変更し、関係する部品をパラメトリック再生することで、諸元値の変更を簡単に形状に反映することができるため、バリエーション設計などへの応用も可能である。

グローバルパラメタは、SWS 上に記憶されており、全ての設計者から参照可能である。各設計者は、グローバルパラメタを PWS 上に展開し、標準的に用意されている代数式定義機能を用いて自モデルのある寸法をグローバルパラメタと関係付けるなどの方法で、構想段階で既定された拘束と整合した設計を実施する(図 7)。

G L P 変数編集					
グローバルパラメータ名 : ENGINE3					
No.	変数名	変数値	変数属性		
6	BOLT_P2	43.75	ボルト位置	▲	変数・追加
7	CYL_P	87.50	シリンダ配置距離	△	変数・検索
8	VALVE_P	17.75	バルブ配置位置	▽	
9	CYL_TOP	115.00	シリンダトップ	▼	値セット・追加
10	IN1	112.40		■	保存終了

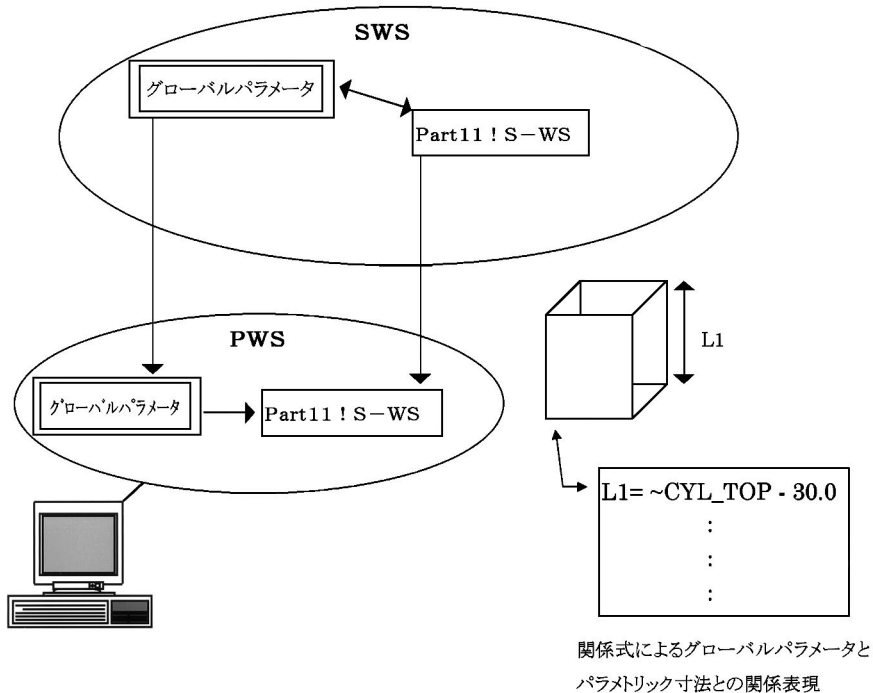


図 7 グローバルパラメータ

5. 協調設計作業の実現

前述した SWS およびパラメトリックアセンブリ機能を利用した協調設計作業（図 8）として、次の 2 種の作業を想定している。

- ① 一つの部品の設計を部位ごとに設計者を割り当て協調して進める作業
- ② 機能部品単位に設計者を割り当てたアセンブリ設計作業

①の例としては、自動車のエンジン部品の設計において、ポート設計者、燃焼室設計者、ウォータージャケット設計者等に分かれた作業を実施し、最終的に全体を一つの部品とする設計作業がある（図 9）。②の例としては、金型設計における上型、下型の設計を共通のモデルおよび他方のモデルを参照しながら設計する作業や、エンジン設計においてヘッド部品形状を参照しながらエキゾーストマニホールドを設計する作業があげられる（図 10）。

いずれの場合も、「個々の設計者の独立性、最大限の設計効率を保証しながら、関連する複数の設計者間での共有空間を実現すること」を目的として、SWS 機能を中心

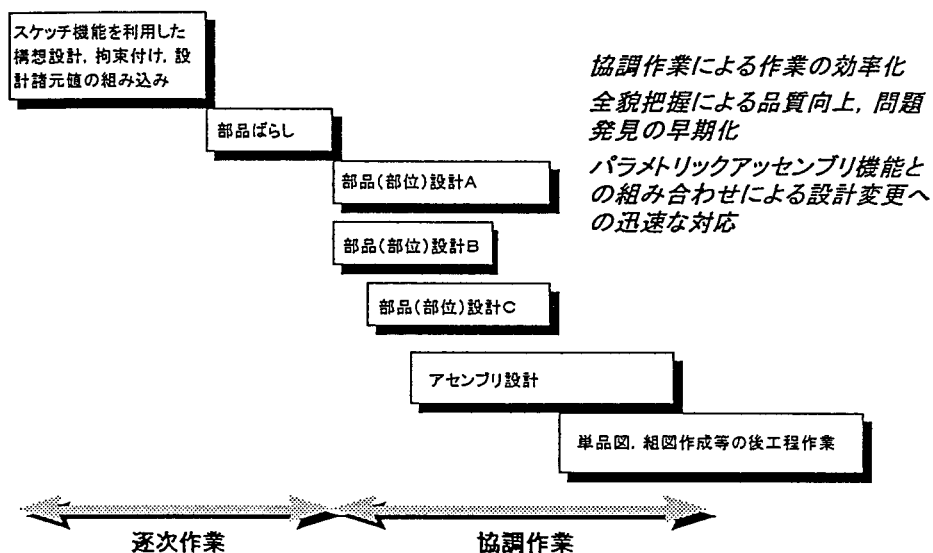


図 8 協調設計作業

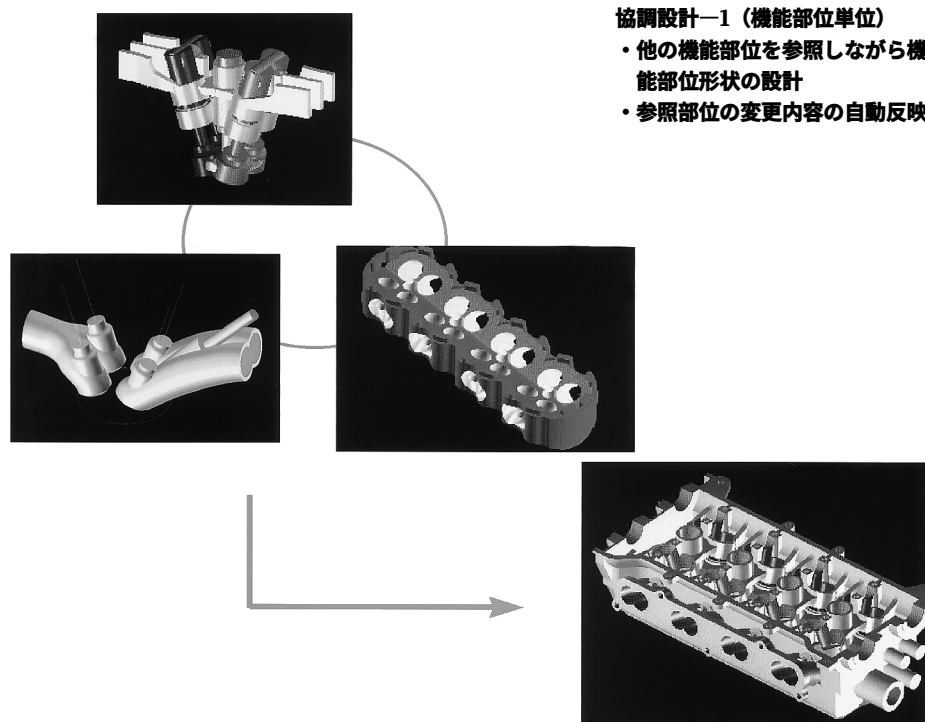
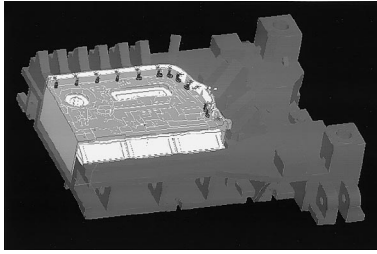
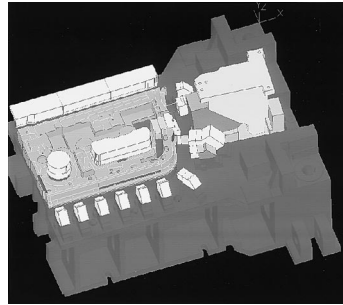


図 9 協調設計例 (1)



下型



上型

下型と上型を組み合わせたプレス型の全体図

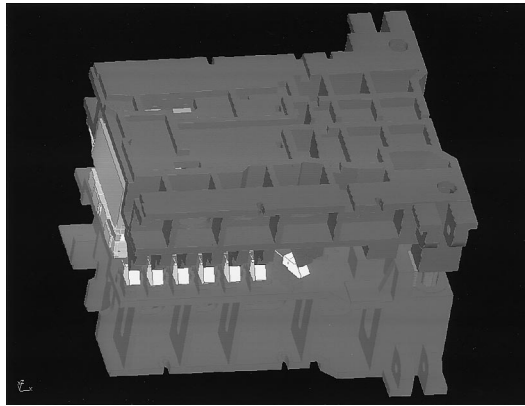


図 10 協調設計例 (2)

に、パラメトリックアセンブリ機能と密に連携し、駆動しながら設計作業をすすめる。

この手法により、従来型の設計方法に比較して、期間短縮をすることができる。部品（あるいは部位）の設計段階から、他の設計者と協調して設計を進めることが可能となり、また、設計管理者が、各部品（部位）設計者の作業を、全貌を把握しながら監視・確認・指導できる。即ち、より前工程からの品質の盛り込みが実現できることで、設計作業全体での工数削減もできる。また、同一部品を作業者ごとに保持する必要がないため、資源の有効利用という副次的効果も期待できる。

6. 今後の課題

今回の開発は、CAD/CAM システムのフレームワークに要求される機能のうち、1) モデルを共有する協調分散型 DBMS を主眼としたものである。3) コミュニケーション手段の提供が今後の課題の一つである。

SWS は主にパラメトリックアセンブリモデリングを実践するために開発されたが、これを従来型の設計に適用することも、今後の大きな課題である。例えば、従来手法での部品の図面詳細化を、複数作業者が同時並行的に進める際にも、SWS の考え方は適用できるものとする。

7. お わ り に

現在,さらなる製品開発プロセスの高度化のために, CAD/CAM システムには, 以下が望まれている.

- ① CG 等マルチメディア技術の取り込み
- ② 各種シミュレーション技術との連携
- ③ 徹底した再利用可能性の追求

もちろん,これらの基盤となる技術の一部は,現在の CADCEUS において実現しているものも含まれるが,これらを含めた 21 世紀型 CAD/CAM システムの構築に今後も努力したい.

参考文献

- [1] 吉川弘之・木村 文彦,「設計と CAD」朝倉書店, 1993.
- [2] 穂坂衛・佐田登志夫「統合化 CAD/CAM システム」オーム社, 1994.
- [3] 「仮想生産と迅速試作による高度に柔軟な生産システム構築のためのソフトウェア環境」(社)精密工学会産学協同研究協議会, 第 1 年次研究報告書.
- [4] 前川佳徳,「コンカレントエンジニアリングについての考察」型技術, Vol. 13, No. 2 1998.
- [5] 木村文彦,「生産の革新を実現する計算機支援技術」ユニシス技報, 通巻 37, Vol. 13, No. 1 pp. 3~25 1993.
- [6] 「デジタルファクトリ」日経メカニカル別冊, 1997.
- [7] 西山 茂・田中宏和・浜田由朗,「会社が生き返る」日本経済新聞社, 1998.

執筆者紹介 笹 尾 忍 (Shinobu Sasao)

1958 年生, 1981 年慶応義塾大学工学部数理工学科卒業, 同年日本ユニシス(株)入社. 同年より CAD/CAM の開発に従事. 現在, ビジネスソリューション三部エンジニアリングシステム開発室に所属.

青 沼 崇 生 (Takao Aonuma)

1964 年生, 1988 年東京電機大学工学部電気工学科卒業, 同年日本ユニシス(株)入社. 同年より CAD/CAM の開発に従事. 現在, ビジネスソリューション三部エンジニアリングシステム開発室に所属.