

CALS とコンカレント・エンジニアリング

宮西 洋太郎

1. はじめに

近年、産業界では市場の多様化と国際競争の激化に対応するために、製品の構想から市場までの開発・設計・生産期間の短縮、品質の向上、およびコストの低減を目標に、さまざまな改善努力が行なわれている。その活動の1つが今回特集として紹介する CALS (Continuous Acquisition and Life-cycle Support または Commerce At Light Speed) である [1]。CALS は米国国防総省 (Department of Defense, 以下 DoD と略する) から発生した考えであるが、この数年において、21 世紀の仮想事業体 (VE: Virtual Enterprise) 実現のための、情報技術適用の先進的モデルとして認識されつつある。

コンカレント・エンジニアリング (Concurrent Engineering, 以下 CE と略する) は、CALS を実現するための1つの要因でもあり、実現後の結果でもある。CE の目標は、できるだけ作業を並行して行ない、製品またはシステムの構想から市場投入までの全体時間 (time-to-market) を短縮しようとするものである。

米国において、製造業の国際競争力を高めるための生産性向上の調査と検討は、CALS の活動と前後して、学界、産業界協同行なわれた [2]。この調査は、米国における直列型の分業方式の弊害および日本の製造業の優れた点を分析し、分業型ではなく、関係者協同で設計、生産にあたることの必要性、参画意識の向上、従業員の教育の必要性などを強調したものであった。

この調査報告の全員参加的企業活動の考えを設計・生産・試験などにおいて、人的活動だけではなく、工学的手段で実現しようとするのが CE の考えといえる。

みやにし ようたろう 三菱電機(株) 情報システム製作所
〒141 品川区西五反田7-10-4 金剛ビル,
TEL: 03-5487-4601,
E-mail: miyanisi@sec1.w021.cow.melco.co.jp

本稿では CALS との関連において CE の定義、経緯、次に CE の動作メカニズム、CE の実現方法、CE の事例を紹介し、最後に今後の CE を展望してまとめとする。

2. CALS における CE の定義

CALS における CE の定義は IDA (Institute for Defense Analysis) Report R-338 (1988) においてなされた [3]。それによると、「CE は製品および製造、支援を含む関連するプロセスの統合された、並行的な設計に対する体系的なアプローチである。このアプローチでは、開発者が初期の段階から、構想から廃棄までの品質、コスト、工期および顧客要求を含んだ製品ライフサイクルのすべての要素を考慮することが意図されている。」とされている。最近では、この定義に加えて、チームワークの重要性を強調している [4]。

3. CALS における CE の経緯

DoD では、CE は CALS と同じ背景で発生してきた。その主な経緯を以下に記す [6]。

- (1) 米国における防衛システムが高コストで、長期間開発であることを Packard 委員会が指摘した。 (“A Quest for Excellence” 1986)
- (2) DoD の依頼で IDA が CE の可能性を 1986 年に調査開始し、1988 年に調査報告を出した。 (IDA report R-338, “The Role of Concurrent Engineering in Weapon System Acquisition” 1988)
- (3) 1986 年に DoD 内に CALS 事務局が設置された。
- (4) DoD は調達プロセスにおける CE に関する調達ガイダンス案を示した。 (1989)
- (5) DoD から (4) に関する指示が発行された。 (DoD Directive 5000.1 1991)
- (6) 1991 年頃空軍では、IPD (後述) 手法を開発した。一方、米国民間での CE 発生の経緯は 1979 年頃から自動車産業で発生しているようだが、最近における

CEの成功例としてクライスラー社のネオンの設計やボーイング社の777設計(後述)などが有名事例である。

4. CEの動作メカニズム

CEの動作メカニズムを考察する前に、従来の直列型作業工程の動作と時間要素を眺めてみる。従来の作業工程は、たとえば図1に示すように、

- ・基本的に直列の作業工程群および専任の作業担当部門から構成されている。
- ・作業担当部門の独立性は高く、定められた担当の作業工程を専門的に実施する。
- ・作業工程の間は主として紙による個別のインターフェース(仕様書、設計図、試験要領書、操作マニュアルなど)によって情報の伝達が行なわれる。
- ・デジタル情報による情報共有は不十分である。

直列型の作業工程では、実質作業時間以外に下記の時間要素が含まれている。

- ・作業順序待ち時間
- ・作業工程と作業工程間の情報伝達時間
(データ変換, ドキュメント理解, 意思疎通)
- ・不具合修正の手戻り再作業時間
専門部門による作業のため、視点が自部門主体となり、他部門から見て不具合を発生しがちである。たとえば図1において、運用段階で発見された仕様上の不具合は図の中の②の所に差し戻され、再度この不具合に関する一連の直列作業が行なわれる。
- ・市場(顧客)要求の変化に伴う仕様変更再作業時間
現在の一般的市場の傾向として製品の高度化、要求の多様化があるが、対象となる製品が高度になるほど不具合の率は増えるし、また要求が多様になるほど仕様変更の率は増えるであろう、したがって、従来の直

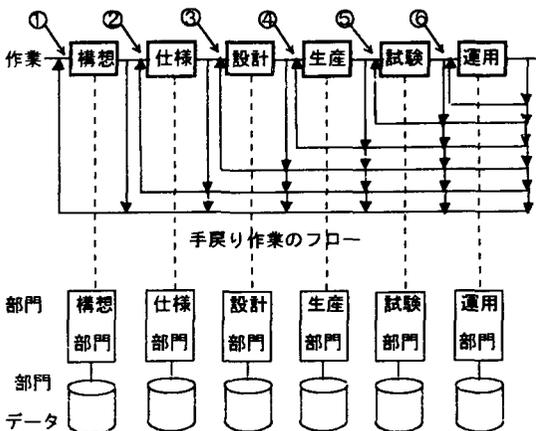


図1 従来型の直列型作業工程

列型では、対応が困難となることが懸念される。

さて、次にCEの動作メカニズムを考察する。CEによる作業工程の構成は模式的に表現すると、図2のようになる。CEの動作メカニズムは複数部門の専門家が同時に並行作業を行なえるようにするためのものであるが、要約すると、

- ・従来の作業工程をトータルライフサイクルの観点から見直し、無駄のない工程とする。(BPRの実施)
- ・作業が巨視的に同時進行しているように見えるが、微視的にはパイプライン的に次々と作業が後工程に流れるようにする。それには、従来の作業工程を細分化、明確化し、完了した部分ごとに後工程に渡す。これにより全体期間を短縮できる。
- ・トータルライフサイクルの観点から作業の質を高める。複数部門の専門家の協同作業とすることにより、さまざまな観点からのチェックが行なわれ、専門知識が集約され、当該作業の完成度が高まる。これにより手戻りを少なくして全体の時間を短縮できる。
- ・協同作業の効率をさらに向上する目的で、状況によってはCEチームを形成する。
- ・複数部門が使用するデータを共有し、作業を共有データの上で行なえるようにする。これにより工程間の情報伝達時間を短縮できるし、データの一貫性を維持できる。また後工程で発生した問題点を直ちに前工程に反映できる。この共有データは複数部門が作業に使用できるようにトータルライフサイクルに関わるすべての属性を具備している必要があり、製品データ(Product Data)と称される。これを適切に管理するという考えが製品データ管理(PDM:

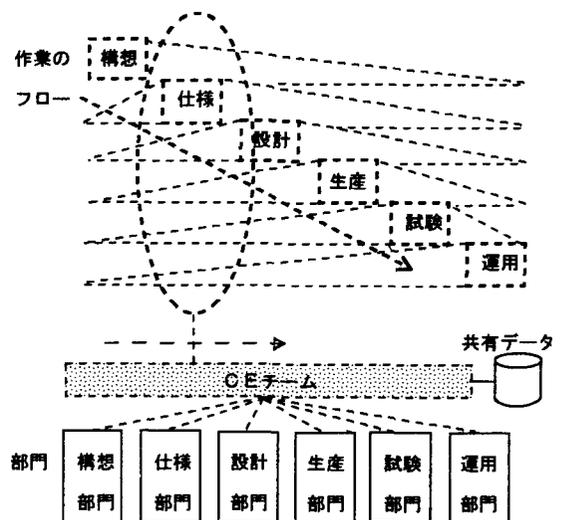


図2 CE型の並列型作業工程

Product Data Management) である。また、作業工程 (Process) との関連を強調し PPDM (Process and Product Data Management) とも称される。

- ・チームとして、目標などの上位情報を共有し、整然と分担して並行作業ができるようにする。
- ・チームメンバーの特長的専門知識、技術を向上する。
- ・製品概念、要件、チームの考えを明確にして、チームメンバーのベクトルをあわせる。

5. CE の実現技術

まず、CE 実現のための背景となっている技術を紹介し、CALC 実施ガイド標準 MIL-STD-59 B (1993 年案) (以下 59 B と略する) に記載された CE 実現技術、59 B 記載以外の技術、のいくつかを紹介する。

5.1 CE の背景技術

DoD の CALS における CE の背景技術は、米軍において従来から実施されているシステム工学手法である。前述のように CE 実現には、作業の明確化および製品構成の明確化が必要であり、その目的でシステム工学手法が用いられている。

- (1) エンジニアリング管理標準 (EM : Engineering Management, MIL-STD-499) : システム (製品) の調達、技術開発におけるシステム工学作業の定義、実施、管理、評価を支援するための、20 ページ程度のガイドライン的標準である (1969 制定)。管理上の観点および作業の概略内容が含まれている。契約者はシステム工学管理計画 (SEMP : System Engineering Management Plan) の提出を求められている。
- (2) 作業構造管理標準 (WBS : Work Breakdown Structures, MIL-STD-881) : システム (製品) に関わるハードウェア、ソフトウェア、サービス、データおよび設備の構成とそれに関連する作業構造を明確にするための標準である。20 ページ弱の文書で、WBS の上位 3 レイヤについて 8 種類の例および 20 数ページのユーザガイドからなる (1975 制定)。
- (3) 構成管理標準 (CM : Configuration Management, MIL-STD-973) : システム (製品) を構成アイテム (CI : configuration item) のライフサイクルにわたって管理するための 240 ページ程度の標準である (1992 制定)。

5.2 59 B 記載の CE 実現技術

DoD における CALS の実施は、59 B によって方向

づけられている。DoD の CALS は製品供給者に対してのユーザの立場での CALS であり、CE もその観点から、データ納入、データアクセスを中心に述べられている [5]。

59 B では、契約者は契約データ要求リスト (CDRL : Contract Data Requirements List) にもとづきデータを納入する。この納入データの代表例が示されている。この例の中に、仕様書、図面、技術データとともに前述の WBS, SEMP, CM 計画、さらに運用支援関係などが含まれている。この納入データの標準は、主に民間で用いられている標準を MIL 標準として指定したものである。納入後のデータのオンラインアクセス方法として、契約者統合技術情報サービス CITIS (Contractor Integrated Technical Information Services : MIL-STD-974) が述べられているが、まだ必須指定ではない。

59 B での主な CALS 標準を、作業の明確化と管理、データの共有化という CE の観点から眺めてみる。

- (1) MIL-STD-1840 :

CALS 特有の、データ交換全体の基本標準である。

- (2) MIL-D-28000 :

民間での IGES (Initial Graphics Exchange Specification : 米国機械学会 ASMEY 14.26 M'89) 標準を適用している。CAD/CAM システムおよびアプリケーション間の製品データ交換用のデジタル表現で、CAD システム間の図面データ交換として最もよく使用されている。CALS では次のクラスが含まれている。

クラス I : テクニカルイラスト

クラス II : エンジニアリング図面

クラス III : 電気電子用途

クラス IV : NC 製造用ジオメトリ

クラス V : 3 次元配管

- (3) MIL-M-28001 :

民間での SGML (Standard Generalized Markup Language:ISO-8879) を適用している。文書を DTD (Document Type Definition) にもとづき論理的に構造化したもので、互換性、再利用性がねらいである。

- (4) MIL-R-28002 :

民間でのグループ 4 (ITU-G 4) 標準を適用している。イメージ画像 (ラスタ) の圧縮方法の標準である。

- (5) MIL-D-28003 :

民間での CGM (Computer Graphic Metafile : ISO-8632) を適用している。

- (6) CITIS :

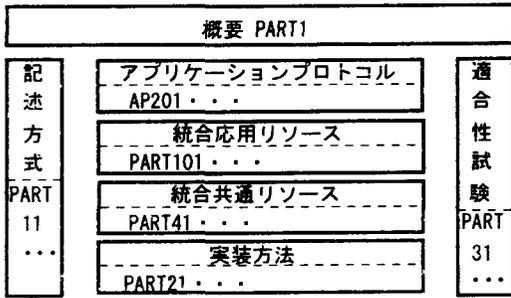


図3 (a) ISO 10303におけるSTEP体系の概要

CITISは製品のライフサイクルの大部分を占めるユーザの運用期間における、補給、修理、変更などの場合、製造者側の最新データを契約の範囲内でユーザ側から利用できるという考えである。ユーザが補給、修理、変更などの技術的活動を行なう際のデータ共有という意味ではCEと言える。

5.3 59 B 記載以外のCE実現技術

次に、59 B 記載以外のCE関連技術を紹介する。

(1) STEP: (Standard for the Exchange of Product Model Data: ISO-10303)

IGESは図面データが中心であり、トータルライフサイクルでの各作業用には属性が不足している。また製造用データとしてCAD間でデータ交換した場合に精度的に問題があるなどの意見が聞かれる。このような問題を解決するためにSTEPが検討されている。STEPは現在ISOにおいて開発途上の標準だが、製品データの共有を目的にした標準であり、将来のCE実現技術の中心になると考えられる。STEPのデータ属性にはライフサイクルのすべての技術情報(幾何学的寸法、寸法公差、表面あらさ、材質、他)を含ませ、さまざまな作業に共通に使用できることを目標としている。特に製作者メンバー間でのCE(たとえば、設計と数値解析の並行作業など)に有効と考えられる。

米国では非常利団体のPDES Inc.、日本ではSTEPセンターがSTEPの開発、普及を推進している。

図3 (a)にISOのSTEP体系の概要、(b)にPDES (Product Data Exchange using STEP)のSTEPソフトウェア構造の概要を示す。図3 (b)において、EXPRESSはSTEPでの製品データを記述する形式記述言語(PART 11)である。

(2) IDEF (Integrated Definition)

IDEFは1970年代米空軍のICAMプロジェクトから発生し、1981年に「ICAM機能定義モデル化手法(IDEF 0)」として確立された。ソフトウェア工学の

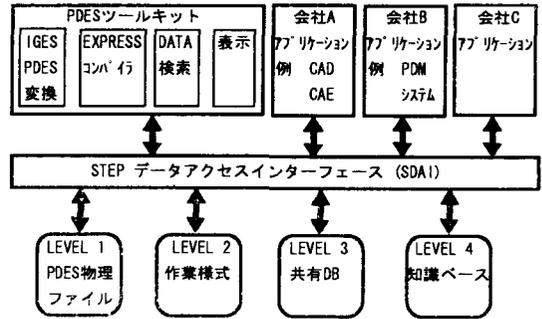


図3 (b) PDESのソフトウェアアーキテクチャ

SA (Structured Analysis), SADT (SA Design Technique)の考えを受け継いでいる[6]。CALDEXPO'94では、IDEFはBPRの手法として「BPRとIDEF」というチュートリアルが講演された[7]。その資料から紹介する。

IDEFとはビジネスそのものを組織的に表現する方法であり、IDEF 0, IDEF 1 X, IDEF 3がある。いずれもDoDの標準となっている。

IDEF 0は、機能モデルの標準であり、組織における機能またはアクティビティ(activity)が行なっていることを、それぞれの入力(Input)、制御(Control)、出力(Output)およびメカニズム(Mechanism)(ICOMと略)で把握し、高レベルの視点で表現する(図4(a))。実際の図は機能と機能の関連および階層について描かれ、概略から詳細までカバーされる。最上位の図はA-0と番号がつけられ、以下階層的につけられる。1つの階層は3から6までの機能に分割し、その機能から、または、その機能へのICOMの数はそれぞれ6に抑えるというルールを設けて視認性を維持している。

IDEF 1 Xは、データモデルの標準であり、ビジネスアクティビティにおけるデータをモデル化して、データの意味と相互の関係をエンティティ(entity)と関係(relation)という視点で定義する。そして物理的データベースの設計に用いる(図4(b))。

IDEF 3は、プロセスモデルの標準である。IDEF 1で表現されたアクティビティをどのように実現するか観点で作成する。アクティビティのタイミング、順序、判断論理を表現する。これにより本質的アクティビティを抽出し、不要なものを見つけるというBPRの実施を支援する。

この手法は、アクティビティすなわち作業工程の概要、フローまたはストックされるデータ、および作業工程の詳細についての表現方法を提示している。

(3) IPD (Integrated Product Development)

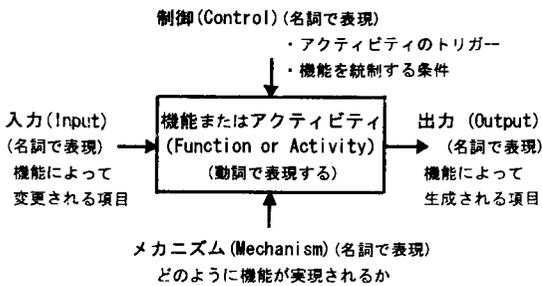


図4 (a) IDEF0ダイアグラム

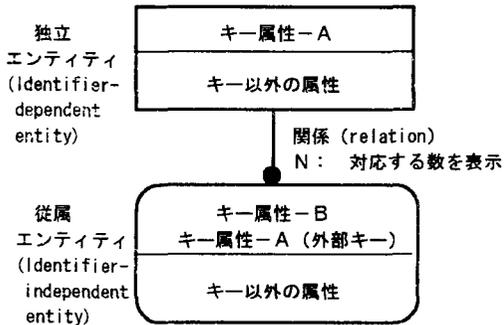


図4 (b) IDEF1ダイアグラム

最近、米空軍宇宙ミサイルシステムセンターにおける調達業務ではCEと同義語として、IPDという用語が用いられている。CALX EXPO'93におけるチュートリアルでは、IPDの定義は、「IPDは、顧客の要望を満たす効果的で効率的な製品を生み出す目的で、すべての必要なプロセスを統合し、並行して適用するために、機能的領域をシステムティックにチーム形成する哲学である」とされている[8]。これはCEとほとんど同じ定義である。

IPDの特徴として、

- ・製品指向：目標の製品に焦点を絞った管理哲学。
- ・機能横断的チーム：製品に関与するすべての部門が開発、管理に役割を分担し、IPT(Integrated Product Team)を形成する。
- ・権限移譲：IPTには権限と責任を与える。
- ・計画重視：ライフサイクルの初期段階に注力する。

IPDにおける業務の流れは図5に従って実施される。

IPDでは、従来のDoDのシステム工学の流れを強く受け継いでいる。その概略は、要件から開始し、WBS, SOW (Statement of Work) を作成し、それらの完了基準などを表にして統合マスター計画 (IMP: Integrated Master Plan) とする。さらに時間軸に割り当て、統合マスタースケジュール (IMS: Integrated Master Schedule) とする。そしてこの計

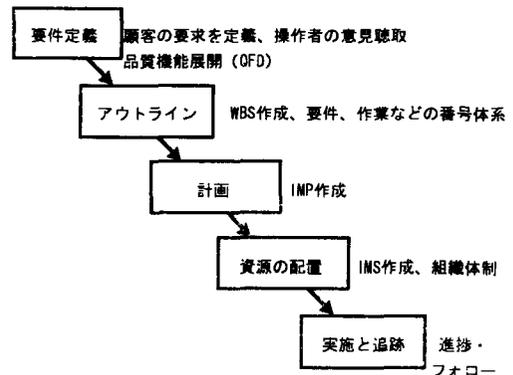


図5 IPDにおける業務の流れ

画を実行するチームIPTを部門横断的に形成し、このチームに権限と責任を与える。そしてこの計画を実行し、統合化されたツール群により進捗を追跡していく。IMS, IMPには作業完了のイベントを明示し、それにより進捗を判断する。

(4) グループウェア

コンピュータ支援によるチームの協調作業は、CSCW (Computer Supported Cooperative Work) と呼ばれている。CSCW などを含む協調作業支援を提供するシステムはグループウェアと呼ばれている[9]。この分野はネットワークとの関連でも、多くの研究が行なわれつつあるが、CEと関連づけられた議論は少ないように見受けられる。しかし、グループウェアの目的とCEの目的はどちらもチームとしての協同作業を効率化するという点で共通である。したがって将来、相互に研究結果が活用されるものと期待される。

6. CE 実現事例：ボーイング 777 の開発

米国ボーイング社は、1990年に着手したB777開発において、開発リスク分散と開発期間短縮のために日本の航空機製造会社との国際的協同開発を行なった。

ボーイング社が掲げた開発目標は「顧客満足度 (CS: Customer Satisfaction) の追求」であった。

CSはやはり機体価格であり、コスト低減が課題であった。過去の開発事例のコスト分析から、設計変更、設計ミスが大きいコスト要因であったので、複数部門でCEを実施することになった。CE実施のために、設計から、製造、整備マニュアルの作成までを一元的なデジタルデータを共有することにした。

データ管理は、CATIA(仏ダッソー社が開発したもので航空機CADのデファクト標準)が採用され、日米間を通信ネットワークを通して協同作業が行なわれた。

DBT (Design-Build Team) という CE チームを設計、工作、資材、品証、保守部門から形成し、設計とレビューを徹底的に行ない設計変更、設計ミスを減少させた。

紙の設計図は皆無とし、すべて CATIA のデジタルデータとした。このデータを用いて、模擬的組立を HVC (Hardware Variability Control) と呼ばれる手法で行ない、組立検証用のモックアップ製作を省略した。

このように、「データを一度作成し、共有し、何度も利用する」という CALS/CE の考えが実践された。

7. まとめ

CE を実現するには、対象となる製品 (システム) および作業 (工程) を明確に表現すること、それらのデータを共有する仕組みを整備すること、協同作業により複数分野の専門知識を結集することが必要である。

また間接的には、担当するメンバーの専門知識、技術を日常的に向上すること、メンバーの意識を目的に収束させるといった人間的側面も重要である。

データ共有の仕組みとして、現状では SGML, IGES などが利用されているが、将来は STEP の利用が有望と考えられる。作業工程および関連するデータの表現には、IDEF が利用可能となってきている。またチーム形成を含むプロジェクト推進の手法として IPD 手法がある。

将来の CE および CALS の課題として、

・柔軟性をもつ CE : 製品、作業の明確化が必須であるが、市場ニーズの変化に対する製品の仕様変更に対応できる柔軟性を CE が兼備すること。

・創造性を発揮できる CE : 専門家の知識を結集し、1 人でのレベルを越える構想、解析、方式、設計などの創造活動を、CE が支援すること。

・人材、技術の育成 : CE チームを構成できる人材を育成すること。CE が試行段階では、メンバーは適任の人材が選抜されるが、CE が一般的になるとき、誰でもがメンバーとして活躍できるように、専門技術と全体視野を保有しなければならない。また企業としては、仮想企業体の一員となるためには、特徴のある自社技術を育成することが重要である。

・VE における CE : CALS の将来像である仮想企業体を実現するために、グローバルネットワークの上で CE が動作できること。このためには、商法面の問題、知的財産権法面の問題があり、法律面とセキュリティ技術面の両面での検討が必要である。

・製造技術としての CALS : CALS は、従来運用支援からスタートしてデータ交換を主体に推進されてきているが、21 世紀の仮想企業体のインフラとして発展するためには、製造業内部の作業内容に一層関わっていくことが必要である。この意味でも従来から検討がなされているさまざまな活動との連携が重要となってくる。

・我が国の CALS : CALS はデータ交換の枠組みについては、ある程度明確になってきている。その枠組みをどのように使っていくか、多くの手法の中からどれを使いこなすかといった実践上の経験の積み上げが必要である。その経験をふまえ、国際的な相互運用性を考慮しつつ、わが国のビジネス慣行として CALS をどのように位置づけていくかが課題である。

ボーイング社の事例は、三菱重工業の宮崎皓太郎氏から情報をいただきました、お礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 後藤龍男 : 「CALS : 21 世紀における企業情報システムの国際標準確立と企業統合に向けて」、情報処理, 1995, 1 月号。
- [2] Dertouzos, M. L. ほか, MIT Commission on Industrial Productivity : "Made in America", MIT Press, 1989, 依田直也 訳 : 「Made in America」, 草思社, 1990 MIT 産業生産性調査委員会。
- [3] Carter D. E. ほか : "Concurrent Engineering The Product Development for the 1990 s", Mentor Graphics Corporation, 1991, 末次逸夫, 大久保浩 監訳 : 「コンカレントエンジニアリング」, 日本能率協会マネジメントセンター, 1992。
- [4] CALS JAPAN'94 TUTORIAL, "CONCURRENT ENGINEERING", JEIDA, 1994。
- [5] 日本電子工業振興協会 : 「CALS 関連 MIL 規格集」, 1994.1。
- [6] Douglas T. Ross, Structured Analysis(SA) : "A Language for Communicating Ideas", IEEE Trans. on Software Engineering January 1977。
- [7] CALS EXPO'94 TUTORIAL PROGRAM, "BUSINESS PROCESS REENGINEERING (BPR) AND IDEF MODELING"
- [8] CALS EXPO'93 TUTORIAL, "CONCURRENT ENGINEERING"
- [9] 松下温 編著 : 「グループウェア入門」, オーム社, 1991。