

メカニクス・構造研究連絡委員会

計算力学専門委員会報告

「ものづくり」実用ソフトウェア開発支援の構想

平成17年6月23日

日本学術会議メカニクス・構造研究連絡委員会

計算力学専門委員会

この報告は、第 19 期日本学術会議メカニクス・構造研究連絡委員会計算力学専門委員会の審議結果を取りまとめ発表するものである。

#### 計算力学専門委員会

委員長 大坪英臣 日本学術会議第 5 部会員、法政大学教授、東京大学名誉教授  
幹事 矢部 孝 東京工業大学大学院工学研究科教授  
上谷宏二 京都大学大学院工学系研究科教授  
川原睦人 中央大学工学部教授  
武田 洋 法政大学工学部教授

#### 計算力学専門委員会計算力学の将来像小委員会

委員長 大坪英臣 日本学術会議第 5 部会員、法政大学教授、東京大学名誉教授  
幹事 矢部 孝 東京工業大学大学院工学研究科教授  
上谷宏二 京都大学大学院工学系研究科教授  
川原睦人 中央大学工学部教授  
武田 洋 法政大学工学部教授  
土井正男 東京大学大学院工学系研究科教授  
中橋和博 東北大学大学院工学研究科教授  
萩原一郎 東京工業大学大学院工学系研究科教授  
矢川元基 東洋大学工学部教授、東京大学名誉教授

## 要 旨

### 1．報告の名称

「ものづくり」実用ソフトウェア開発支援の構想

### 2．内容

#### (1) 作成の背景

計算科学技術は科学技術プロセスを統合するものであり、産業・サイエンスにおける共通基礎技術としてその重要性は一層増大している。産業競争力の強化、安全安心な社会の実現のためには製造業の振興が必要不可欠であるが、製造業においては設計・生産プロセスの短時間化・高度化が競争力の要であり、シミュレーションなどの計算科学技術は製造業の基幹技術となっている。しかしながら、現在、我が国の産業界で使われている応用ソフトウェアのほとんどは欧米製である。「ものづくり」における基幹技術が外国製に依存していることはその競争力にある種の脆弱性を有していることになる。欧米では産業における有力ソフトウェアの開発を国家的戦略と位置づけ国を挙げて取り組んでいる。我が国も科学技術の共通基盤的実用ソフトウェア(戦略的基盤ソフトウェア)の開発を飛躍的に強化し、応用ソフトウェアの欧米への依存状況を早急に解消する必要がある。

しかしながら、高性能コンピュータの世代代わりが進んでいる現時点は、新世代のコンピュータに対応するソフトウェアの開発を進めることによって新たに国産ソフトウェアを世界標準とする好機である。現在広く用いられている欧米製の有力ソフトウェアの開発は古くは30年以上前であり、現在の最新ハードウェアの高性能化の基となっている並列コンピューティングとネットワークコンピューティングを利用する仕組みになっていない。日本が現在地球シミュレーターのような最新マシンを有していることは、次世代のソフトウェアを開発できるチャンスと捉えることができる。

日本において実用ソフトウェアが育たない理由はいくつかの日本固有の理由があるが、それらの問題点を解決する方策を検討し、そのための体制作りを提言する。

## (2) 現状と問題点

計算科学技術は我が国の科学技術政策の重点項目のひとつと位置づけられているが、欧米に比べ研究開発資金、研究開発体制、研究開発戦略の点で大きな差がある。特に、我が国独自の産業界で広く用いられるような、いわゆる、「ものづくり」のための実用ソフトウェア開発のためには、以下のような問題点を解決する必要がある。

### シミュレーション関係へ研究開発資金の増加の必要性

直接の正確な比較は困難であるが、公的研究開発資金を米国と比べてみる。情報科学技術関係全体の予算が米国では毎年数千億、日本は千数百億円であり、それほど遜色があるとは思えないが、実用ソフト開発に関係するシミュレーション関係予算になると、米国が毎年約1千億円の予算を出しているのに対して、日本は数十億円の規模である。我が国では実用ソフトウェア開発の予算は非常に限られていると言わざるを得ない。

### 設計・生産のための応用ソフトウェア開発の強化と戦略的展開の必要性

計算科学技術の振興のためには、ハードウェア(OS等の基本ソフトを含む)、応用ソフトウェア、ネットワークの三位一体の展開が必要である。しかしながら、我が国はこれまで、相対的に実用的な応用ソフトウェアの開発が弱体であり、しかも、個々のプロジェクトが相互に関連なく推進されており、国としての戦略的視点が欠けた広く浅い支援となっていた。これが産業界で広く用いられるような実用ソフトウェアが生まれない原因のひとつとなっている。

### 萌芽的レベルのソフトウェアを実用レベルにまで引き上げる公的支援の必要性

萌芽的レベルのソフトウェアを実用レベルまで育て上げるまでには、公的な支援が必要となる。いわゆる「死の谷」の克服である。米国は基礎研究から実用化・商用化にいたる一連のフェーズを戦略的に一貫して支援している。これに対し、我が国の計算科学技術用応用ソフトウェアの研究開発は広く用いられるための実用化の視点を欠いており、産業界で広く用いられるような実用ソフトウェアの開発支援はほとんどなされてこなかった。これが応用ソフトウェアの開発で我が国が立ち遅れている大きな原因である。

### 国で開発したソフトウェアの普及の必要性

ソフトウェアが総合的に管理されていないために、萌芽期のソフトウェアが知的財産として蓄積されずに放置されている現実がある。開発されたソフトウェアに関する情報が広く共有されていないために、同じようなソフトウェアを原点から開発するという無駄な投資が行われている。

### 3．改善策、提案の内容

上記のような状況を踏まえて、計算科学技術用の実用ソフトウェア開発においても我が国が競争力を回復するために、下記の施策を推進することを提案する。

- (1) ソフトウェア技術の将来戦略の策定
- (2) ソフトウェア技術開発の促進
- (3) ソフトウェアの実証化の促進
- (4) 実用ソフトウェアの管理・ライブラリ化

一製造企業における実用ソフトウェアの開発・保守、特に保守には膨大な経費がかかること、また、一ソフトウェア会社による新世代コンピュータに対応する新ソフトウェア技術に基づく実用ソフトウェアの開発には投資としてのリスクが大きすぎることなどにより、上記の事業推進には積極的な公的な支援が不可欠である。上記の4項目を実現するための産・官・学が一体となった全国共通組織の「ものづくり」実用ソフトウェア開発機構を設置することを提案する。

## 目 次

1 . はじめに .....	1
2 . 我が国の計算科学技術の現状 .....	1
3 . 日本製「ものづくり」実用ソフトウェア開発の施策 .....	4
3 . 1 ソフトウェア技術の将来戦略の策定 .....	5
3 . 2 ソフトウェア技術開発の促進 .....	5
3 . 3 ソフトウェアの実証化の促進 .....	6
3 . 4 実用ソフトウェアのライブラリ化 .....	6
4 . 公的支援体制の在り方：「ものづくり」実用ソフトウェア開発機構 の構想 .....	7
5 . 結び .....	7
参考文献 .....	8
付録 .....	9

## 1．はじめに

計算科学技術は科学技術プロセスを統合するものであり、科学・産業の発展に、さらには国民の安全・安心確保においてますます重要となる技術である。計算科学技術すなわちシミュレーション技術が進めば、例えば宇宙ロケット開発における実験の比重はますます小さくなり、短時間に高性能・高信頼のロケットを設計・生産できることになる。バイオ技術においても実験による試行錯誤を減らせることにより薬品開発が容易となる。ナノ技術による新材料の開発もシミュレーション技術の発展により、今後容易になっていくと考えられる。薄膜技術におけるシミュレーション技術の発展は、記憶容量の飛躍的に高い素子や LSI の微細化を可能にしていく。防災の観点からも、リアルタイムの倒壊・火災・津波などによる損害シミュレーションの結果に基づく最適対応策の策定を可能にしていく。このように計算科学技術の強化が日本における科学技術・産業の発展と社会の安全性向上に直結していく。以上の例に挙げたように、「第2期科学技術基本計画」にも謳われているライフサイエンス分野、情報・通信分野、環境分野、ナノテクノロジー・材料分野の重点4分野をはじめ、科学技術のあらゆる分野において計算科学技術の支援なしではその推進が困難である。製造業においては設計・生産プロセスの短時間化・高度化が競争力の要であり、シミュレーションなどの計算科学技術は製造業の基幹技術となっている。しかしながら、現在、我が国の産業界で使われている応用ソフトウェア、いわゆる「ものづくり」の基礎となる実用ソフトウェアのほとんどは欧米製であり、国家的見地からすると科学技術の脆弱性がそこに見られる。我が国が科学技術分野で諸外国に先んじるために、現状の問題点を洗い出し、その解決策を検討した。コンピュータのハードウェアが急激に高性能化しつつある現時点は、国産ソフトウェアが新たに世界の標準となる好機であり、国としての積極的な対応が望まれる。

## 2．我が国の計算科学技術の現状

計算科学技術の振興はハードウェア(OS等の基本ソフトを含む)、応用ソフトウェア、ネットワークの三位一体の展開が必要であるが、我が国では産業界へ直接インパクトのある応用ソフトウェアの開発に本格的に取り組んでは来なかった。その一つの結果が、産業界で用いられている主要な応用ソフトが欧米製で占められている

ことである。付録 1 に自動車産業において日常的に用いられている応用ソフトウェアの実状を示す。他の産業においても使われているソフトウェアは共通するものが多く、自動車産業と状況は大同小異である。

我が国が主要な実用ソフトウェアを提供できなかった理由は欧米に比べ研究開発資金、研究開発体制、研究開発戦略の点で大きな差があったためである。

しかしながら、高性能コンピュータの世代代わりが進んでいる現時点は、新世代のコンピュータに対応するソフトウェアの開発を進めることによって新たに国産ソフトウェアを世界標準とする好機である。現在広く用いられている欧米製の有力ソフトウェアの開発は古くは 30 年以上前であり、32 ビットマシン上で用いられるシステムである。現在の最新ハードウェアは 64 ビットマシンであり、並列コンピューティングとネットワークコンピューティングがその高性能化を推し進めている。そのため、現在の有力ソフトウェアは根本的に作り変えないと最新マシン、例えば地球シミュレーターの上では走らせることができない。日本が現在地球シミュレーターのような最新マシンを有していることは、次世代のソフトウェアを開発できるチャンスと捉えることができる。さらに、日本は 10 年後を目指して高性能マシンの開発計画がある。

また、並列コンピューティングとネットワークコンピューティングに基づく最新ハードウェアシステム上で動かせるソフトウェアに作り変えるだけでなく、ハードウェアの十分な性能を引き出すためには、ソフトウェアのコンセプトも基本的に考え直さなければならない。例えば、テラフロップス級のコンピュータの完成により、巨大計算は可能となったが、取り扱うデータが膨大になり、前処理、後処理のためのソフトウェア整備がなされていないため利用に限られるという問題が指摘されている。自動車産業では、製品全体を、静解析、動解析、騒音解析、衝突解析などを行い最適設計することが求められているが、従来の汎用ソフトウェアのアルゴリズムの延長では実製品からの入力データを直接取り扱うことができず、新しいソフトウェアの開発が求められている。また、1 ペタフロップスの計算性能をもった計算機が現れると、流体解析では今までの方法と違うダイレクトシミュレーションによる解析が可能となり、新たなアルゴリズムが必要となる。また、対応する前後処理技術も必要である。また、多くの計算技術科学の分野では、さまざまな手法のシミ

ュレーションを組み合わせることで問題を解くことが求められているが、個々に開発されたプログラムを統合化する仕組みがないため、ユーザにとって非常に使いにくいものになっている。現在、個々のソフトウェアの統合化の技術開発が始まっている。

このような状況では新たな革新的技術を取り入れたソフトウェアが旧来のものを席巻できる好機と考えられる。我が国が新技術に裏付けられたソフトウェアを提供できる時、日本製の商用ソフトウェアが「ものづくり」の場で主要なソフトウェアとなる可能性は大である。

このように今後日本がソフトウェア開発で世界をリードしていく好機であるが、これを国として生かしていくためには、以下のような問題点を解決する必要がある。

ここでは我が国独自の産業界で広く用いられるような、いわゆる、「ものづくり」のための商用ソフトウェア開発を考えていく。

#### (1) ソフトウェアの開発のための公的投資の不足

日本では、地球シミュレーターの開発に見るようにハードウェアの開発には研究投資をかなりしてきた。しかし、ハードウェア開発費用の数倍以上にソフトウェア開発費用をかけなければ、ハードウェアの性能を有効利用することはできないといわれている。欧米においては実用的応用ソフトウェアを国家的戦略プロダクトと位置づけ、その開発に多くの公的支援をしているのとは対極的である。このような反省から、最近ではソフトウェアにも研究投資がなされるようになってきている。実際、地球フロンティア(海洋研究開発機構(JAMSTEC))、未来開拓推進事業計算科学(日本学術振興会(JSPS))、戦略的基盤ソフトウェア(文部科学省)あるいは新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における各種計算科学支援事業など昨今のソフトウェアへの投資には大幅な改善が見られる。しかしながら、ソフトウェアに対する投資は増えているとはいえ、その額は欧米と比べると桁違いに少ない。情報科学技術関係全体の国家予算が米国では毎年数千億、日本は千数百億円であり、それほど遜色があるとは思えないが、商用ソフト開発に関するシミュレーション関係予算を見てみると、米国が毎年約1千億円の予算を出しているのに対して、日本

は数十億円の規模である。我が国では実用ソフトウェア開発の予算は非常に限られていると言わざるを得ない。

#### (2) 萌芽レベルから実証レベルまでの公的支援の不足

開発されたソフトウェアが有効利用されるためには、ソフトウェア自身の性能だけでなく、産業側からの積極的な実証性の検証が必要である。また、継続的な保守・改良が必要不可欠である。これらをサポートする仕組みがないため、個々のプロジェクトで開発された萌芽期レベルのソフトウェアがたなざらしになっていることが多く、実用レベルに至らないため膨大な人的・資金的な損失となっている。我が国において、多くの小規模ソフトウェアが開発されているにもかかわらず、それが実際に広く用いられる形に整備されていないといえる。

#### (3) 国としてのソフトウェア開発の戦略の欠如

現在は、幾つかのプロジェクトでばらばらにソフトウェア開発支援が行われているが、国としての大きな方針が見られない。いわゆる広く浅い公的支援となっており、長期的視点に基づいて重要開発項目を選びそれに集中支援することの重要性が認識されていない。また、製造業におけるインパクトの大きさという視点が欠如しているように思われる。また、プロジェクトにおける成果に対する評価が十分行われていると思われない。

#### (4) ソフトウェアの知的資産としての蓄積・管理体制の不備

開発された計算科学ソフトウェアの保守を行う機関がないため、ソフトウェアが知的資産として形成されていかない。多くの資金が投入されて開発されたプログラムであっても、再利用されることなく、消えていったり、散逸したりしている。また、作ったソフトウェアを公開し、利用してもらいたいと考えている研究者はかなりいるが、公開のためのコストを考えてほとんどの場合、二の足を踏むのが現状である。そのため、ソフトウェアを作成すること、あるいは公開することのメリットがなく、このことが計算科学における論文偏重主義の一因になっている。

### 3. 日本製「ものづくり」実用ソフトウェア開発の施策

現状の問題点を解決し、日本製の実用「ものづくり」ソフトウェアの開発を実現するためにするために下記の項目を推進する必要がある。

- (1) ソフトウェア技術の将来戦略の策定
  - (2) ソフトウェア技術開発の促進
  - (3) ソフトウェアの実証化の促進
  - (4) 実用ソフトウェアのライブラリ化
- 以下、各項目に関して説明する。

### 3.1 ソフトウェア技術の将来戦略の策定

産業における重点分野において必要とされるソフトウェアの開発計画を立案すると同時に、将来のあるべきソフトウェア技術を予測し、日本としての戦略を立て、我が国のソフトウェア開発全体のコーディネートを行う。

さらに、長期視点に立ったソフトウェア文化を育てることである。これまでの、ソフトウェア開発プロジェクトでは、多くの場合、短期間での実証性を示すことが強く要求され、既存技術を改良する提案に予算を出す傾向があった。また、ある種の平等主義から小型のプロジェクトに予算をばら撒く形が多かった。このような状況を改め、将来戦略を達成できるようなソフトウェア開発を奨励するため、革新的・冒険的なプロジェクトの採用を公募し、新規アルゴリズムの提案等の可能性に対する評価を高くする。また、作業経費を支払うのではなく出てきた成果に対して懸賞あるいは賞金的な報酬を支払う方式を取るなどが考えられる。

### 3.2 ソフトウェア技術開発の促進

ハードウェアの急激な発達に応じた応用ソフトウェア技術の開発促進をする。現在、2010年を目指して1ペタフロップスを目指したハードウェアの開発計画が検討されている。このようなハードウェアが有効利用されるためには、応用ソフトウェアの整備が不可欠である。現在の実用ソフトの多くは20から30年以上の歴史を持つものが少なくないが、その時代のハードウェアに対応したシステムをつぎはぎ作業で改良されてきている。ハードウェアのアーキテクチャの根本的改革のときにあたり、応用ソフトウェアの在り方も根本的に変更する時期に来ている。

### 3.3 ソフトウェアの実証化の促進

全体計画にしたがって選ばれたソフトウェアを産業界で広く用いられることを実証するレベルまでの開発をおこなう。ソフトウェアには萌芽的なレベルから商用レベルまで大きな差がある。萌芽的レベルのソフトウェアを実用レベルまで育て上げるまでには、そのための連続的なサポートが必要となる。これにはソフトウェア開発者のみでなく産業側からの積極的な参加が不可欠となる。欧米製のソフトウェアが席卷している理由の一つに、国のサポート体制の違いにある。欧米においては、新たなソフトウェアの開発と同時に、その実証化を促進するために産業界と共同で活動している大きな研究所（サンディア国立研究所（米国）、リバモア国立研究所（米国）、フランホーハー・システム・イノベーション研究所（ドイツ））が存在し、巨額な国家資金が注入されている。例えば、ソフトウェアの有用性を調べるためには、広い科学技術分野での、特に広い産業分野での実証が必要となるが、米国ではこれらを連続する公的プロジェクトを起こしてサポートしている。産業界からのポテンシャルユーザーがこの段階で深く関与している。ソフトウェア開発者と産業界の先端的技術者が共同作業をおこない、現状の設計・生産環境を超えてソフトウェアの実用の可能性を検討し、実証化テストをおこなっている。そこでの開発をベースにスピアウトした研究者により商用ソフトウェアが作られ成功を収めている。このためには、実用化の可能性を有するソフトウェアを選択し、さらに実用化のために必要なプロセスを検討し、実行することが必要である。

### 3.4 実用ソフトウェアのライブラリ化

ソフトウェアに関する情報の集約をおこなう。ナショナルライブラリーとして位置づけられるレベルまでの一元管理されていることが理想である。過去のプロジェクトでは終了した後は、その成果は外に殆ど広がらない。ソフトウェアとドキュメントを国として管理する機能がない。このため、過去の財産が生かされない。さらに、多くのソフトウェアの複合的な利用を可能とする手続きをさだめ、これに従い、融合化、システム化を促進する。公的機関で技術ソフトウェアの情報を集約し、優良なソフトについては、公的資金のもとで管理し、公開するなら、著作物としてのソフトウェアの評価が上がり、優秀なソフトが集積する効果が期待できる。また、

ソフトウェア情報を公的に集約し、検索サービスの提供をすれば、利用者にもメリットがあり、開発者のほうもソフトウェアの開発動向を知ることができるというメリットがある。

#### 4．公的支援体制の在り方：「ものづくり」実用ソフトウェア開発機構の構想

第3期科学技術基本計画が練られている現在、日本製の有力な実用技術ソフトが殆どない現状を反省し、これまでのソフトウェアの開発体制や評価法を基本的に検討しなおす必要がある。技術ソフトウェアにおいても我が国が競争力を回復するためには、下記の技術項目を推進することが重要であるとの結論に達する。

- (1) ソフトウェア技術の国としての将来戦略を恒常的に、また統合的に研究し、その結果を発信する。
- (2) ハードウェアの発達に対応するソフトウェア技術開発を推進する。
- (3) 国内で開発されたソフトウェアのうち、産業やサイエンスに大きな影響を与える可能性のあるものを選び、対外的競争力のある実用ソフトウェアの実現のため実証化推進をおこなう。
- (4) 実用ソフトウェアを管理し、情報を提供する。

一製造企業における実用ソフトウェアの開発・保守、特に保守には膨大な経費がかかることが問題になっており、また、多くのカスタマーを有することで保守に関する経費を軽減できるソフトウェア会社においても新世代コンピュータに対応する新ソフトウェア技術に基づく実用ソフトウェアの最初からの開発には投資としてのリスクが大きすぎるなどにより、上記の事業推進には積極的な公的な支援が不可欠である。産・官・学一体となった組織「ものづくり」実用ソフトウェア開発機構の設立を提案する。付録2にその組織と大まかな規模を示す。研究者・技術者は他機関との間の流動性を重視したものとなる。

#### 5．結び

日本における科学技術用の実用ソフトウェア開発の問題点を解決するための検討を行い、科学技術用の実用ソフトウェアの開発には公的支援が不可欠であるとの結

論に達した。このような施策を実施する組織として「ものづくり」実用ソフトウェア開発機構の設立を提案する。この機構は欧米の研究所のように、産官学の人材が融合した組織とすべきであり、恒久的なものとすべきである。この機構は、日本においてすでに開発されたソフトウェアに関する情報を集約するとともにその使用に便宜を与える。また、長期的戦略に従って重点分野の実用ソフトの開発を促進するものである。

#### 参考文献

1. 第3回「戦略的基盤ソフトウェアの開発」シンポジウム予稿集、平成16年12月
2. 21世紀の産業革命 コンピュータ・シミュレーション、戦略的基盤ソフトウェア産業応用推進協議会、平成17年3月
3. ナノテクノロジープログラム(ナノマテリアル・プロセス技術)ナノ機能合成プロジェクト ナノ機能材料のシミュレーション技術に関する調査研究 報告書、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)、平成15年3月

付録 1：産業における応用ソフトウェアの使用状況（自動車産業を例として）

総合産業である自動車を例にすると、図 1 に示すように、これまでのクレイモデル 試作車 実験の物ベースの開発スタイルから、3次元CAD プリサイズモデル 解析シミュレーション、のデジタルな開発スタイルの変革により、40 か月から 60 か月の開発期間は 15 か月から 20 か月に短縮している。このデジタル設計のインフラである CAD、解析シミュレーション、プリポスト・プロセッサの各ソフトは表 1 に示すように殆どが欧米製である。このように日本は最高の物を作ってはいるがその基盤ソフトは欧米製と大変偏った状況にある。このようなソフト開発には相当の費用が必要なことから日本は世界のインフラに相応の貢献をしていないと言わざるを得ない。「ものづくり」の根幹である CAD ソフトが欧米製であることは、いずれ日本の強みである「ものづくり」のノウハウも全て欧米に吸い取られて行くことは必定である。

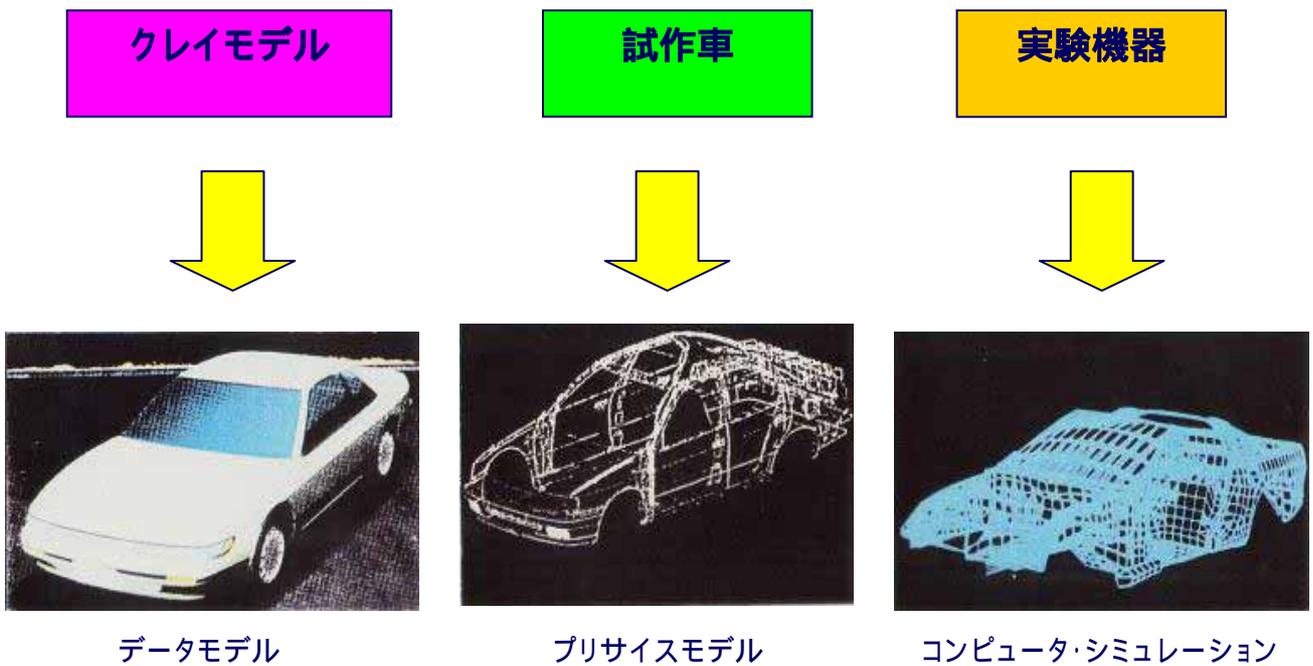
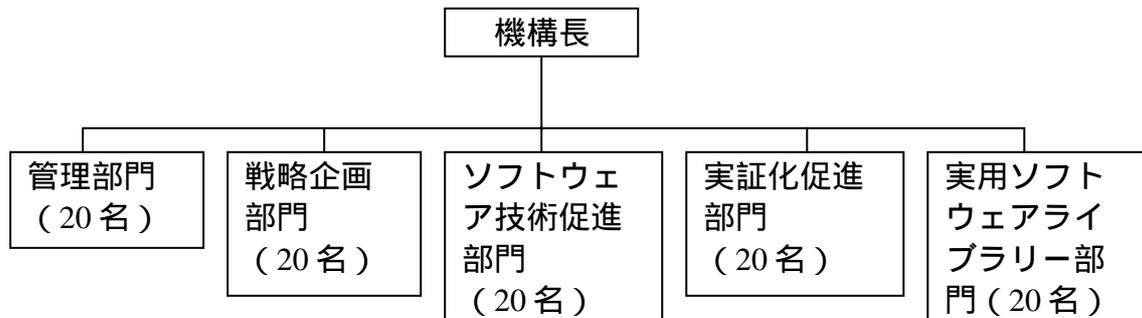


図 1 自動車開発を例にしたデジタル設計への変革の様子

表 1 : 自動車産業で広く用いられている応用ソフト

解析ソフト名	解析対象	開発国	特徴
CATIA	CAD	フランス	ハイエンド CAD
Pro-Engineer	CAD	米国	ハイエンド CAD
Uni-Graphics	CAD	米国	ハイエンド CAD
HYPERMESH	メッシュ生成	米国	プリポスト
ANSA	メッシュ生成	ギリシャ	プリポスト
MARC	材料非線形、幾何学的非線形	米国	有限要素法
ABAQUS	材料非線形、幾何学的非線形	米国	有限要素法
MSC/NASTRAN	強度・剛性・振動騒音	米国	有限要素法
ANSYS	強度・剛性・振動騒音	米国	有限要素法
SYSNOISE	騒音	ベルギー	境界要素法
PAM/CRASH	衝突	フランス	有限要素法
RADIOSS	衝突	フランス	有限要素法
LS・DYNA	衝突	米国	有限要素法
MADYMO	衝突	オランダ	有限要素法
ADINA	衝突	米国	有限要素法
FLUENT	熱流体	米国	有限体積法
STAR-CD	熱流体	英国	有限体積法
PHOENICS	熱流体	英国	有限体積法
ADAMS	動力学	米国	機構解析
MOLDFLOW	加工	米国	樹脂流動
iSIGHT	PIDO	米国	最適化
modeFRONTIER	PIDO	イタリア	最適化

付録 2：「ものづくり」実用ソフトウェア開発機構の概念図



想定人員規模：研究者・技術者 80名、管理部門 20名

図 2 機構の組織図

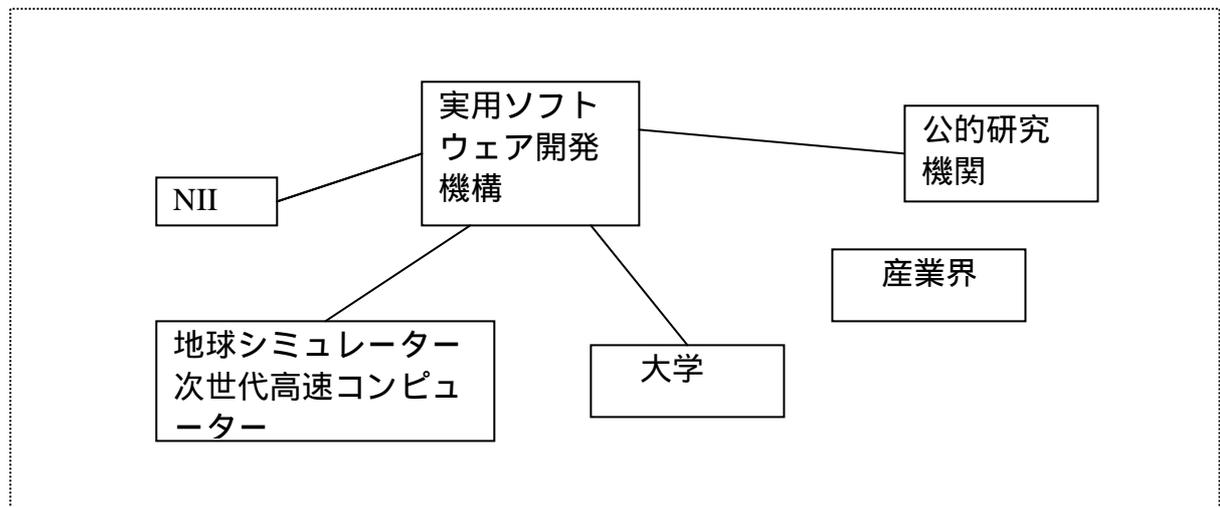


図 3：機構と他機関とのネットワーク