

## 調査・研究報告書の要約

|       |  |    |       |    |     |
|-------|--|----|-------|----|-----|
| 書名    | 平成 2 1 年度先端シミュレーション技術による機械構造設計の精度向上に関する調査研究報告書 |    |       |    |     |
| 発行機関名 | 社団法人 日本機械工業連合会・神鋼リサーチ 株式会社                     |    |       |    |     |
| 発行年月  | 平成 2 2 年 3 月                                   | 頁数 | 130 頁 | 判型 | A 4 |

## [目次]

序 (会長 伊藤 源嗣)

はしがき (代表取締役社長 大友 朗紀)

## 目次

## 1. 目的

## 2. シミュレーション技術の進展

## 2 - 1. HPC を用いたシミュレーション技術：国内の取り組み

## 2 - 1 - 1. 第 5 世代コンピュータ

## 2 - 1 - 2. 航空宇宙技術研究所の数値シミュレータ計画

## 2 - 1 - 3. Real World Computing

## 2 - 1 - 4. CP - PACS

## 2 - 1 - 5. 地球シミュレータ

## 2 - 1 - 6. NAREGI

## 2 - 1 - 7. TSUBAME

## 2 - 1 - 8. T2K スパコン

## 2 - 1 - 9. 長崎大学の GPU クラスタ

## 2 - 1 - 10. 神戸スパコン (次世代スパコン)

## 2 - 2. スーパーコンピュータを用いたシミュレーション技術：国外の取り組み

## 2 - 2 - 1. TOP500 にみる世界のスーパーコンピュータの普及状況

## 2 - 2 - 2. 米国におけるスーパーコンピュータの利用状況

## 2 - 2 - 3. 欧州におけるスーパーコンピュータの利用状況

## 2 - 2 - 4. アジア (中国、インド、韓国等) におけるスーパーコンピュータの利用状況

## 3. CAE およびその連携技術によるシミュレーション技術の動向

- 3 - 1 . 注目されているシミュレーション方法
  - 3 - 1 - 1 . 第一原理計算 (分子動力学)
  - 3 - 1 - 2 . メッシュレス/メッシュフリー有限要素法
  - 3 - 1 - 3 . 粒子法
- 3 - 2 . シミュレーションに関する技術
  - 3 - 2 - 1 . MBD (Model-based Development : モデルベース開発) 技術
  - 3 - 2 - 2 . RP (ラピッドプロトタイピング)
  - 3 - 2 - 3 . 3次元測定
- 3 - 3 . シミュレーションソフトについて
  - 3 - 3 - 1 . アドバンスソフト (国内)
  - 3 - 3 - 2 . アンシス (国外)
  - 3 - 3 - 3 . Nastran (国外)
- 4 . シミュレーションの適用分野
  - 4 - 1 . 広がるシミュレーション適用分野
  - 4 - 2 . 学問分野における適用事例
    - 4 - 2 - 1 . 東京大学 加藤教授、畑田教授
    - 4 - 2 - 2 . 神戸大学 羅教授
  - 4 - 3 . 機械産業分野の開発設計におけるシミュレーション適用事例
    - 4 - 3 - 1 . 建設機械関係 コベルコ建機 (開発生産本部)
    - 4 - 3 - 2 . 建設機械関係 日立建機 (実験解析評価センター)
    - 4 - 3 - 3 . 電機業界 三菱電機 (先端技術総合研究所 機械システム技術部)
    - 4 - 3 - 4 . 電機業界 A社 (X工場)
    - 4 - 3 - 5 . 電機業界 B社 (空調開発部門)
    - 4 - 3 - 6 . 造船業界 C社 (技術部門)
  - 4 - 4 . その他の産業分野の開発設計における適用事例
  - 4 - 5 . 営業分野へのシミュレーションの適用の広がり
  - 4 - 6 . シミュレーションの適用への問題 (シミュレーション技術者の確保・教育の必要性)
- 5 . 機械産業におけるシミュレーションの有用性
  - 5 - 1 . CAEによるシミュレーションの利用
  - 5 - 2 . シミュレーションによる設計の役割の変化
  - 5 - 3 . シミュレーションにより実現できる事

5 - 4 . 競争力の確保

6 . シミュレーションの将来像

6 - 1 . シミュレーションの位置づけ

6 - 2 . 機械産業におけるシミュレーションによる「ものづくり」の変革

7 . まとめ

添付資料

添付資料 1 .

添付資料 2 .

添付資料 3 .

#### [要 約]

機械装置や製品の複雑化、多様化、開発の迅速化、安全・信頼性の確保等に対応できる先端シミュレーション技術の現状とそれに対するニーズについて、シミュレーション技術を最先端のスーパーコンピュータ（HPC）を用いた大規模シミュレーション技術と研究、開発、設計、製造段階で活用できる CAE およびその連携技術の2つに大別して調査を行った。

まず、HPC を用いたシミュレーション技術の進展について、国内外の取り組みを調査した。国内の取り組みは、経済産業省と文部科学省の取り組みに分け、何を行おうとしたか、何が出来るか、どんな成果をあげたかを、機械構造設計への影響を含めて概観した。国外の取り組みは、TOP500 に見る HPC の普及状況から米国、欧州、アジアのそれぞれの地域の取り組みと傾向の分析と検討を行った結果、現在の日本の取り組みは、世界と比較して遅れつつあることが判った。

次に、シミュレーション技術の動向として、CAE 技術の流れと今後の動向と可能性について検討を行った。これまでの有限要素法（FEM）などとは異なるシミュレーション技術について紹介し、シミュレーション技術に関係の深い RPT、HILS などの試作レス化技術や実際の CAE ソフトとベンダについても調査した。

さらに、シミュレーションの適用分野の調査を行った。シミュレーション分野の広がりと共に計算能力の要求が増大していることが判った。シミュレーションに関係する研究者や実際に使用している企業ユーザを対象にヒアリング調査では、シミュレーションの課題として人づくりや教育の問題、現場の知恵やノウハウの DB 化、ソフトのライセンス費用の問題などが指摘された。シミュレーションの将来の適用や進化としては、アップフロントローディング、開発・設計のパラダイムシフト（設計工学の進化）や没入型設計などの意

見が得られた。また、文献調査などから、自動車業界がシミュレーションを活用し開発期間短縮等の効果を得ている事、建築業界でもビル風やエネルギーなどのシミュレーションを行っていることなどが判明した。シミュレーション技術の波及効果として、営業ツールとしての利用などが行われている。シミュレーション適用のためには、人材の確保と教育が問題になることが、シミュレーションに関する研究報告数の減少傾向から考えられる。

事例ヒアリングの結果から、シミュレーションに対する機械工業企業の評価と課題を総括した後、シミュレーションの有用性について検討を行った。なお、検討の背景として、シミュレーションの分野が、複数の現象（音、振動、熱、電磁波、流れ等）に及んでいること、機械構造設計の要求は機械全体としての解析や解析精度を求める方向に進んでいること、CAD と同時に CAE を活用することが挙げられる。

CAE によるシミュレーション利用には、教育レベルと設計者の資質が必要になる。このために、官には研究を促す仕組み、学には 4 力学に加えて計算工学というシミュレーションに関係する教育の充実を要望、産には OJT の更なる充実を求める。

実際にシミュレーションを設計に取り入れるため、設計のソフトに対する要望や設計業務の変化を予想し、現時点から自社の持つ解析や設計のノウハウを発展・継承する方向でシミュレーションに取り組みねばならないことを示した。また、シミュレーションにより実現できることから、日本のものづくりの優位性について検討、競争力確保の観点から、会社固有の設計を含めた現場の知恵をデータベースなどの形で継承しシミュレーションに反映する仕組みや設計チームの場所と時間の制限を無くせる没入型シミュレーションについて検討した。

これまでの調査を基に、シミュレーション技術を利用した開発の将来象を「シミュレーションの将来象」として検討した結果、シミュレーションにより、製品全体（製品の開発・生産・保守・廃棄・リサイクルから品質検討まで）を対象にした最適化を実現する様に変えていくため、アップフロントローディングやフロントローディングによる開発が望まれることが判った。アップフロントローディングの実現には、設計に使える TOOL の開発と設計の能力確保が重要である。設計能力確保のためのシミュレーションに関する教育の充実と研究については、学の側で対応しなければならない。設計能力確保のための設計者の個々の教育については、産業の側での OJT が重要である。官には、シミュレーションに関する研究への振興施策や設計に使える TOOL 開発のための基盤共通フォーマットの策定が必須となる。

検討結果から、以下の知見を得られた。我が国の機械産業でもシミュレーション活用へ

の取り組みが進んでいるが、世界的に見ればやや出遅れ感があり、この差が今後の競争力の差として我が国の機械産業のみならず、全産業に影響を与えてくる可能性が十分考えられる。

先端シミュレーションはコスト、スピード、品質面での競争力を生み出すものとなる。先端シミュレーションの利用方法としては、製品丸ごとシミュレーションであるとか、試作レス、未知現象の解明など、いろいろなことができると考えられている。中でも特に、注目されているのがシミュレーションによるアップフロントローディングやフロントローディングである。アップフロントローディングやフロントローディングの実現のためには、設計に使えるシミュレーション TOOL の開発と設計の能力確保が重要である。

設計が使う TOOL の開発（選択）は、設計者が使えるという基準で考える必要がある。設計の能力確保には、設計者の「質」の確保が重要になる。設計者の「質」の確保において、設計者の知識については、学の側での対応が望まれている。一方、設計者の有るべき姿については、産業の側での OJT が重要になる。官には、学の研究をサポートする意味から、先端シミュレーションに関する研究への振興施策が望まれる。

また、競争力確保の観点から、企業固有の設計を含めた現場の知恵を継承しシミュレーションに反映する仕組みを検討することも重要である。

## 1．目的

## 2．シミュレーション技術の進展

### 2 - 1．HPC を用いたシミュレーション技術：国内の取り組み

国内の経産省と文科省主導で行われたスパコン（HPC）を中心とするシミュレーション関係技術振興の取り組みを概観し示す。国内のシミュレーション技術に関連した取り組みを、何を行おうとしたか、何が出来るか、どんな成果をあげたかという観点を含めて示す。

#### 2 - 1 - 1．第5世代コンピュータ

外部の否定的な評価もあるが、21世紀のコンピュータ技術全般の基礎となりうる並列推論技術を実証的に確立した。

#### 2 - 1 - 2．航空宇宙技術研究所の数値シミュレータ計画

スパコンを導入して、計算流体力学に代表される数値シミュレーション技術を発展させ、理論、実験と並ぶ新たな道具を獲得し、航空機、宇宙機の開発に関する国際競争力強化を目指した。

#### 2 - 1 - 3．Real World Computing

21世紀において必要とされる新しい情報処理技術を開発するため、経済産業省によって

1992年にスタートし2002年3月に終了した研究開発プロジェクトで、実世界知能技術と並列分散コンピューティング技術からなる。実世界知能技術の方は、自律移動ロボット、筋電制御義手、オフィス案内ロボットなどが実用化された。

並列分散コンピューティング技術の方は、Linux用クラスタ計算機用超並列プログラム実行環境 Score を開発した。

#### 2 - 1 - 4 . CP - PACS

文部省科学研究費補助金を受け1995年度までの5年間にわたり筑波大学が日立製作所の協力を得て開発した。計算物理学に適した超並列計算機を開発製作し、それを用いて素粒子物理学、物性物理学、宇宙物理学分野における数値的研究の推進を図り、並列計算機工学の一層の発展を目指した。

#### 2 - 1 - 5 . 地球シミュレータ

地球変動予測研究のために、科学技術庁（現 文部科学省）が1998年から開発を開始したHPCを中心とした取り組み。非常に多くの成果をあげただけでなく、2007年からは産業界による成果専有型の有償利用も可能となっている。

#### 2 - 1 - 6 . NAREGI

NII(国立情報学研究所)が推進する最先端学術情報基盤(CSI: Cyber Science Infrastructure)整備の一つとして、文部科学省の委託研究として2003年度に開始され2008年3月に終了した産官学の連携プロジェクトで、世界標準による実運用に耐えうるグリッドシステムの構築を目指して進められた。

#### 2 - 1 - 7 . TSUBAME

コストパフォーマンスを革新的に上げるか、情報システムとしての利得をもたらして幅広い支持を得るか、外部連携との礎となって社会貢献するなどの従来にない複数の目標を掲げ、それを満たすマシンとしての姿が仕様化され導入された東工大のHPCである。

#### 2 - 1 - 8 . T2Kスパコン

3大学が共同で、調達すべきスパコンの仕様を決定し3大学共通仕様という購買パワーを活かすため、専用部品を用いたHPCではなく、出来るだけ汎用の部品を用いたHPCを調達しようとする取り組みである。

#### 2 - 1 - 9 . 長崎大学

汎用ではないが、3,800万円で開発されたHPCであり、GPUのような加速装置(アクセラレータ)の利用、メニーコアプロセッサ(大量のコアを並列にしたプロセッサ)の利用が性能面ならびに消費電力面から、今後必須になると考えられる。

#### 2 - 1 - 10 . 神戸スパコン(ペタコン)

神戸で建設中の 10 ペタフロップス級の処理能力をもつ HPC である。

## 2 - 2 . HPC を用いたシミュレーション技術：国外の取り組み

### 2 - 2 - 1 . TOP500 にみる世界のスパコンの普及状況

TOP500 より、種々のデータを引用しつつ、世界のスパコンの普及状況を分析、検討する。

### 2 - 2 - 2 . 米国におけるスパコンの利用状況

HPC の台数と処理能力が世界一である米国におけるスパコンの利用状況、利用傾向などを分析・検討する。半導体デバイス、自動車、航空機、エネルギー供給、通信等の産業分野でスパコンが活用されており、先端分野での競争力の源泉になっている。

### 2 - 2 - 3 . 欧州におけるスパコンの利用状況

HPC の台数と処理能力がヨーロッパにおけるスパコンの利用状況、利用傾向などを分析・検討する。銀行、流通、自動車、科学の分野でスパコンが活用されている。

### 2 - 2 - 4 . アジア（中国、インド、韓国等）におけるスパコンの利用状況

アジア諸国のスパコンの利用状況、利用傾向などを分析・検討する。Top500 以内のスパコンの数は、中国が 21 件(1380TFLOPS)、韓国が 2 件(300TFLOPS)、インドが 3 件(200TFLOPS)である。中国はすでに国産技術でくみ上げたスパコンが世界 5 位に入っているなど日本の 16 件(994PFLOPS)を質・量とも超えている。特に、産業用のスパコンのみで比較した場合、日本は Top500 以内に 1 件のみとなっており、日本のレベルは劣ってきている。

## 3 . シミュレーション技術の動向

シミュレーションは、計算科学の手段の一つである。計算科学は、理論、実験に続く、第 3 の科学として登場し、現在は、経済を支える「ものづくり」などの基盤を担う中核分野となっており、5～10 年後には、精度が飛躍的に向上すると言われている。

### 3 - 1 . 注目されているシミュレーション方法

第一原理計算、メッシュレス/メッシュフリー有限要素法、粒子法について概説する。第一原理は物質シミュレーション、メッシュレスは亀裂、粒子法については HPC に適したアルゴリズムという特色がある。

#### 3 - 1 - 1 . 第一原理計算

物質・材料の物性・機能を原子レベルで解明・予測するシミュレーションに用いられる。

#### 3 - 1 - 2 . メッシュレス/メッシュフリー有限要素法

従来の有限要素法（FEM）において必要であったメッシュ情報が不要であり、精度に関しても FEM と同等であると認識されている。

#### 3 - 1 - 2 . 粒子法

国産ソフトで注目されているシミュレーション方法であり、HPC に向いている。

### 3 - 2 . シミュレーションに関する技術

シミュレータ、短納期試作、形状測定などの現在のシミュレーションをサポートする技術について検討を行う。

#### 3 - 2 - 1 . MBD ( Model-based Development : モデルベース開発 ) 技術

従来の実験中心の開発から計算機シミュレーションを活用した開発への転換を目指し MBD 技術による開発効率改善が進められた。

#### 3 - 2 - 2 . RP ( ラピッドプロトタイピング )

意匠デザインから機械設計という広範囲の形状検討を目的として、3 次元モデルから 3 次元切削や光造形などで造形試作を行う

#### 3 - 2 - 3 . 3 次元測定

C MMA ( 3 次元測定機工業会 ) によると「いろいろな形状を持つ物体の寸法を測定するために、直角座標系を備えた装置の総称」で、リバースエンジニアリングなどのために用い、金型ノウハウの数値化などに効果が有る。

### 3 - 3 . シミュレーションソフトについて

ソフト会社の製品や取り組みについて調査した。

#### 3 - 3 - 1 . アドバンスソフト ( 国内 )

#### 3 - 3 - 2 . アンシス ( 国外 )

#### 3 - 3 - 3 . Nastran ( 国外 )

### 4 . シミュレーションの適用分野

#### 4 - 1 . 広がるシミュレーション適用分野

2009 年度のシミュレーション技術に関する報告例から適用範囲の拡大を具体的に示した。

#### 4 - 2 . 学問分野における適用事例

##### 4 - 2 - 1 . 東京大学 加藤教授、畑田教授

現状を踏まえつつ、シミュレーションに対する期待と課題、HPC ソフトとハードの動向と市場などについての知見を得た。

##### 4 - 2 - 2 . 神戸大学 羅教授

ロボット技術をキーとした健康産業の提案、シミュレーションの役割と適用予想などについての知見を得た。

#### 4 - 3 . 機械産業分野の開発設計におけるシミュレーション適用事例

シミュレーション技術を実際に用いている業界ユーザに、シミュレーション技術についてヒアリングを行い、夢や展望と実績などについて公開可能な範囲の回答を得た。実績の内、公開可能な内容のみを項目毎にまとめて整理して記した。



- 4 - 3 - 1 . 建設機械関係 コベルコ建機 ( 開発生産本部 )
- 4 - 3 - 2 . 建設機械関係 日立建機 ( 実験解析評価センター )
- 4 - 3 - 3 . 電機業界 三菱電機 ( 先端技術総合研究所 機械システム技術部 )
- 4 - 3 - 4 . 電機業界 A 社 ( X 工場 )
- 4 - 3 - 5 . 電機業界 B 社 ( 空調開発部門 )
- 4 - 3 - 6 . 造船業界 C 社 ( 技術部門 )
- 4 - 4 . その他の産業分野の開発設計における適用事例

自動車業界では、地球シミュレータによる「自動車丸ごとシミュレーション」などがある。土木、建築業界においては、建築 CG パース、建築ビル風シミュレーション、景観シミュレーションなどが実使用されている。

#### 4 - 5 . 営業分野へのシミュレーションの適用の広がり

日立金属とダイキンの営業ツールとしてシミュレーションを適用した事例を示す。

#### 4 - 6 . シミュレーションの適用への問題 ( シミュレーション技術者の確保・教育の必要性 )

シミュレーションに関する報告論文の減少傾向から、シミュレーションに関する人材の確保と教育の必要性について検討した。

### 5 . 機械産業におけるシミュレーションの有用性

4 章の総括としてシミュレーションに対する機械工業企業の評価と課題を総括した後、シミュレーションの有用性について検討を行った。

#### 5 - 1 . CAE によるシミュレーションの利用

CAE によるシミュレーション利用には、教育レベルと設計者の資質が必要になる。このために、官には研究を促す仕組み、学には 4 力学に加えて計算工学というシミュレーションに関係する教育の充実を要望、産には OJT の更なる充実を求める。

#### 5 - 2 . シミュレーションによる設計の役割の変化

現在の設計におけるシミュレーションソフトへの要望、将来の設計におけるシミュレーション利用による設計業務の変化などについて検討した。

#### 5 - 3 . シミュレーションにより実現できる事

ものづくりにおける日本の優位性について検討し、設計立国について検討した。

#### 5 - 4 . 競争力の確保

統一的なデータベースに基づいたシミュレーションと、ものづくりの現場力の DB 化についてと没入型シミュレーションの利用についての検討を行った。

### 6 . シミュレーションの将来像

## 6 - 1 . シミュレーションの位置づけ

シミュレーションの利用分野の拡大に伴うシミュレーションの位置付けの変化について概説した。

## 6 - 2 . 機械産業におけるシミュレーションによる「ものづくり」の変革

ものづくりの変革のために設計者が使う解析ツールとアップフロントローディング実現のための産・学・官それぞれに必要な取り組みについてまとめた。

## 7 . まとめ

シミュレーション技術への今後の取り組みの方向として、シミュレーションを中心にした開発・設計へと変えることが重要である。データベースに基づいたシミュレーションを行う事により競争力を確保する。また、シミュレーション技術を有効に使うための、設計者の知識については、学の側での対応が望まれている。設計者の有るべき姿については、産業の側での OJT が重要になる。官には、学の研究をサポートする意味から、シミュレーションに関する研究への振興施策が望まれる。

### 添付資料

#### 添付資料 1 .

地球シミュレータ産業戦略利用プログラム

#### 添付資料 2 .

『みんなのスパコン』TSUBAME によるペタスケールへの飛翔事業

#### 添付資料 3 .

先端的大規模計算シミュレーションプログラム



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>