

システム技術開発調査研究
14 - R - 21

MEMS 設計・解析支援シミュレーション
システムに関する調査研究
報告書

————— 要旨 —————

平成15年6月

財団法人 機械システム振興協会
委託先 財団法人マイクロマシンセンター



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、経済産業省のご指導のもとに、機械システムの開発等に関する補助事業、新機械システム普及促進補助事業等を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長 放送大学 教授 中島尚正 氏）を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を民間の調査機関等の協力を得て実施しております。

この「MEMS設計・解析支援シミュレーションシステムに関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が財団法人マイクロマシンセンターに委託して実施した調査研究の成果であります。

今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として役立てば幸いです。

平成15年6月

財団法人機械システム振興協会

はじめに

半導体微細加工を利用してミクロンオーダーの三次元構造をつくり、それをナノメートルの精度で駆動制御する MEMS 技術は 21 世紀を支える基盤技術と考えられている。この技術は 80 年代後半に飛躍的な発展をとげ、現在に至るまで急速な成長を続けている。関連する国際会議も、基礎技術を取り扱うものから特定の応用システムに関するものまで数多く開催されるようになり、研究成果の報告件数も増加の一途をたどっている。実用化も次第に活発になり、多くのセンサー・アクチュエーターシステム (MEMS) を初め光通信用コンポーネント (MOEMS)、無線通信用デバイス (RF-MEMS)、バイオチップ (Bio-MEMS)、マイクロ化学システム (μ -TAS) 等の商品化が進んでいる。

現代社会を支えている半導体産業 (マイクロエレクトロニクス) を筆頭に、機械産業、ロボット・メカトロ産業、光産業などの分野は日本の得意分野として国内の産業の発展に多大の貢献をしてきたが、この分野にも産業の空洞化が押し寄せ、憂慮に耐えない。MEMS 産業は、高付加価値で高機能の製品を実現する知識集約的な産業であり、日本の製造業の救世主となる大きな可能性を持っている。

我々は MEMS 産業のすそ野を広げ、その発展を促進する鍵となるのは、MEMS 設計製造インフラストラクチャの構築と整備であるとの認識に立ち、昨年度はファンドリーサービスネットワークを対象に調査を行い、国家施策として結実させることが出来た。今年度は、ファンドリーと対になって MEMS 産業化を加速する設計支援ソフトウェアを対象を移し、MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムを検討した。現状では、このようなシステムは米国を中心する外国製品しか存在せず、高価格、サポートや更新にあたっての遅延、設計と解析範囲の限定など、様々な問題がある。また、MEMS 設計の高度な知識がシステムに付随するデータベースに集約されていくため、我が国での製品開発に伴う新規な知見が国外に蓄積される結果となり、今後の技術開発の空洞化を招くことが懸念される。

本調査研究委員会ではこのような危機感から基盤の必要性の調査 (第 2 章)、国内外の実態調査として既存ソフトウェアの調査とユーザーへのアンケート/ヒアリング調査 (第 3 章) を行った。その結果を解析してわが国の実情に合った「MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステム」について検討を行い、理想的なソフトウェア (第 4 章) と最優先で実現すべきシステムの概念設計 (第 5 章) をとりまとめた。これに基づき、第 6 章で今後の推進方法について提言を行った。

この調査研究の成果が関係各方面において広くご利用頂ければ幸いである。

平成 15 年 6 月

財団法人マイクロマシンセンター

目次

序

はじめに

1 . 調査研究の目的	1
2 . 調査研究の実施方法	2
2 - 1 調査研究の内容・範囲	2
2 - 2 実施体制	3
3 . 調査研究結果の概要	8
3 - 1 MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの必要性	8
3 - 2 既存ソフトウェアの現状	9
(1) MEMS 用既存ソフトウェア	9
(2) MEMS 設計・解析ソフトウェアに関する実態調査アンケート調査	11
(3) ヒアリング調査	12
(4) まとめ	12
3 - 3 求められる MEMS 設計・解析ソフトウェアの内容	15
3 - 4 MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの概念設計	19
3 - 5 まとめと提言	25

1. 調査研究の目的

我が国のマイクロマシン・MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)・MST (Micro System Technology) 技術は国際的にも高く評価されているが、実際の産業へ応用されている例は自動車用の加速度センサーやインクジェットプリンターヘッドなどの大量生産品がほとんどであり、広く応用が進んでいるとは言えない。広い分野で産業化を進めていくためには、大量生産品のみではなく多品種少量でも必要なものを低コストで供給できることが望ましい。そのためには、共同で利用する試作設備やファンドリーの利用が不可欠となる。平成 13 年度の (財) 機械システム振興協会の委託調査事業では、マイクロ・ナノ技術を産業化するための基盤整備として、ファンドリーネットワークの整備とシステム化の必要性を指摘し、そのネットワーク概念についてケーススタディを行い国内システムを構築するためのシナリオを明らかにした。

本事業は、マイクロ・ナノ製造技術を支える MEMS において、デザイン部門の効率化と円滑化を図るため、我が国が得意とする微細加工技術を考慮し、かつプロセス解析との統合への発展性のある MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムに対する基本的な要求を明確にして概念設計を構築することを目的とする。

MEMS 用の設計・解析ツールは、MEMS を含むマイクロ・ナノ製造技術の知的財産とも言うべき部分であり、既存のものより高機能で、より広い材料系や様々な微細加工技術に対応可能なものを我が国独自で開発することが、国際競争力を維持するために必要である。また、同時に、より広いユーザーが手軽に利用できるユーザーフレンドリーなツールの開発も必要である。ユーザーフレンドリーな設計・解析支援シミュレーションシステムができれば、ナノ材料などこの分野が専門でない研究者も手軽に利用できるようになり、より広い応用に向けた研究開発が進展することが期待される。

2 . 調査研究の実施方法

2 - 1 調査研究の内容・範囲

MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムに関する調査研究を行う。

(1) MEMS 設計・解析支援ツールに関する調査

設計・解析ツールを構築するための基礎資料を得ることを目的として次の調査を行う。

- ・ 想定されるユーザーニーズの調査
- ・ 機能レベルでの必要項目の抽出
- ・ 既存（海外）の MEMS 設計・解析ツールの調査

(2) ユーザーフレンドリーな支援システムについての基本仕様の検討

想定される以下のユーザーを見据えた本システムの基本仕様を検討する。

- ・ 大学のポスドクなど MEMS エキスパート向けの実用システム
- ・ 中小企業 / 非専門家向けシステム
- ・ 学生（学部・大学院）などの初心者向け教育システム

(3) 実効的なシステム運用の検討

本システムを実際に運用するために整備しなければならない周辺的环境などについて検討を行う。

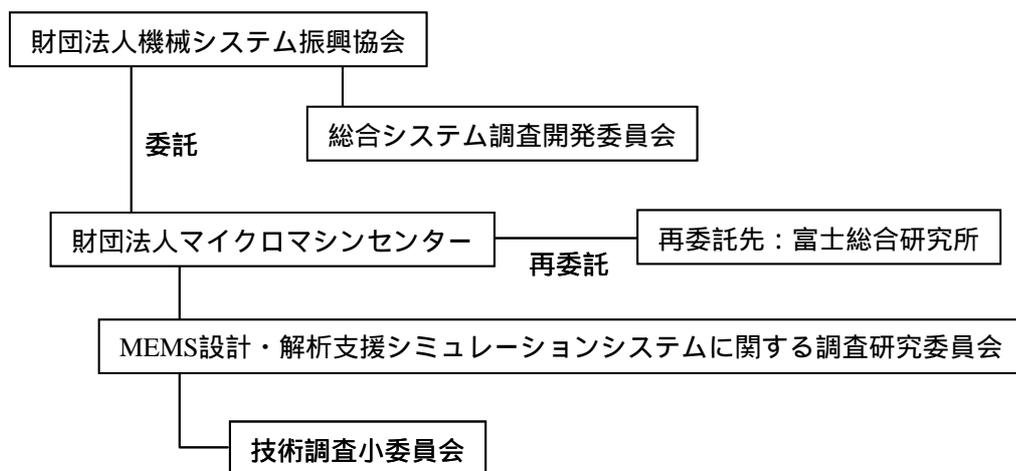
- ・ ファンドリーサービスユーザーマニュアル
- ・ サービスに必要なインフラ

2 - 2 実施体制

(1) 実施体制

本調査研究の実施にあたっては、学識経験者や MEMS / マイクロマシン研究者、ファブリー技術者による調査研究委員会をマイクロマシンセンター内に設置し、委員会での討議、指導を得て、各小委員会にて成果報告書作成等の具体的作業を行った。また本調査研究の一部をソフトウェアベンダーである富士総合研究所に再委託した。

実施体制とその役割分担を下図に示す。



(2) 業務分担

MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムに関する調査研究委員会

- ・必要とされる MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステム概念の明確化
- ・本調査研究事業の進め方や技術小委員会における調査内容の検討
- ・小委員会における調査結果の検討

技術調査小委員会

- ・ユーザーニーズのヒアリング、もしくはアンケート調査を行い、設計・解析ツールに関するニーズを検討する。
- ・設計・解析ツールのニーズ分析
- ・既存の設計・解析ツールに関する調査

再委託先：富士総合研究所

- ・ニーズの評価・分析
- ・システムの概念設計

総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	放送大学 教養学部 教授	中島尚正
委員	政策研究大学院大学 政策研究科 教授	藤正巖
委員	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 教授	廣田薫
委員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤岡健彦
委員	独立行政法人産業技術総合研究所 つくば中央第2事業所 管理監	太田公廣

平成15年度 MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステム調査研究委員会委員

(順不同、敬称略)

委員長	藤田 博之	東京大学 生産技術研究所 マイクロメカトロニクス国際研究センター センター長 教授
委員	山沢 清人	信州大学 工学部 電気電子工学科 教授
	池田 恭一	東京農工大学 工学部 機械システム工学科 教授
	羽根 一博	東北大学大学院 大学院 工学研究科 機械電子工学専攻 教授
	生田 幸士	名古屋大学大学院 大学院 工学研究科 マイクロシステム工学 教授
	佐藤 一雄	名古屋大学大学院 大学院工学研究科 マイクロシステム工学専攻 教授
	田畑 修	立命館大学 理工学部 機械工学科 マイクロ・ナノプロセス研究室 教授
	庄子 習一	早稲田大学 理工学部 電子・情報通信学科 教授
	手塚 明	産業技術総合研究所 計算科学研究部門 連続体モデリング研究グループ グループリーダー
	鈴木 義彦	大阪府立産業技術総合研究所 次長
	池上 尚克	沖電気工業株式会社 研究本部 新技術研究開発部 主任技術者
	前田 雅之	オムロン株式会社 エレクトロニクス コンポーネンツビジネスカンパニー セミコンダクター事業部 シリコンデバイス営業部 主査
	三原 孝士	オリンパス光学工業株式会社 研究開発センター MEMS 開発本部 MEMS 開発部 先端技術担当部長
	光岡 靖幸	セイコーインスツルメンツ株式会社 技術本部 マイクロナノセンター
	牧野 拓也	ソニー株式会社 コアテクノロジー&ネットワークカンパニー CT開発本部 ナノエレクトロニクス開発部 MICRO-CPJ 係長
澤田 廉士	日本電信電話株式会社 NTTマイクロシステムインテグレーション研究部 ネットワーク装置インテグレーション研究部 主幹研究員	
小出 晃	株式会社日立製作所 機械研究所 パワー先端メカトロニクスセンタ	

		MEMS・シミュレーションプロジェクト 主任研究員
滝沢	功	株式会社フジクラ 電子デバイス研究所 課長
三橋	利玄	株式会社富士総合研究所 産業安全解析研究室 室長
毛野	拓治	松下電工株式会社 融合技術研究所 nBT開発部 高度MEMS技術開発チーム 主幹技師
石井	伸也	三菱重工業株式会社 先進技術研究センター 情報電子グループ 主席
番	政広	三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 センシング技術部 MEMS設計グループ グループマネージャー
力田	直樹	三菱マテリアル株式会社 総合研究所 大宮研究センター 材料・プロセス研究部 副主任研究員
渡辺	哲也	横河電機株式会社 先行技術開発センター MEMS研究室 室長

**平成15年度「MEMS設計・解析支援シミュレーションシステムに関する調査研究」
技術調査小委員会委員**

(順不同、敬称略)

委員長	三原 孝士	オリンパス光学工業株式会社 研究開発センター MEMS開発本部 MEMS開発部 先端技術担当部長
委員	安田 隆	九州工業大学大学院 大学院 生命体工学研究科 生命機能専攻 生体機能システム講座 助教授
	大井 健	東京大学 工学系研究科 産業機械工学専攻 中尾研究室 助手
	竹内 昌治	東京大学 生産技術研究所 マイクロメカトロニクス国際研究センター 講師
	式田 光宏	名古屋大学 難処理人工物研究センター 講師
	磯野 吉正	立命館大学 理工学部 機械工学科 マイクロ・ナノメカニクス研究室 助教授
	池上 尚克	沖電気工業株式会社 研究本部 新技術研究開発部 主任技術者
	増田 貴弘	オムロン株式会社 京阪奈イノベーションセンタ D研MEMS

小出 晃 株式会社日立製作所 機械研究所
パワー先端メカトロニクスセンタ
MEMS・シミュレーションプロジェクト 主任研究員
三橋 利玄 株式会社富士総合研究所 産業安全解析研究室 室長
山本 政博 松下電工株式会社 融合技術研究所 半導体開発センター
主任

事務局 平野 隆之 (財)マイクロマシンセンター専務理事
矢田 恒二 (財)マイクロマシンセンター 調査部長 (平成15年3月まで)
織田 誠 (財)マイクロマシンセンター 業務部長
福島 徳近 (財)マイクロマシンセンター 調査研究部 研究開発課長
(平成15年3月まで、現：オリンパス光学工業株式会社 研究開発センター
研究開発本部基礎技術部技術3グループ 主任研究員)
柿本 正也 (財)マイクロマシンセンター 調査研究部 調査課長
(平成15年5月まで、現：住友電気工業株式会社 大阪研究所 主査)

3 . 調査研究結果の概要

3 - 1 MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの必要性

MEMS の製品が市販されるようになり、今後も多くの分野で産業が発展すると考えられる。特に将来有望な分野として、光通信ネットワーク用デバイスや光センサなどの光学応用、プリンタ・ディスプレイ・データ記録装置などの情報機器応用、マイクロ・ナノ化学システムとナノバイオ技術応用、走査プローブ顕微鏡などのナノテクノロジー応用などが挙げられる。

これら多様な応用分野において、MEMS の産業化を推進するには、設計・解析シミュレータを充実し、これまで蓄積した知識や経験を広く再利用可能とし、各応用分野での機能を容易に検証できるようにすることが必要である。シミュレータの開発と新機能の充実を行う過程で、ユーザーとの密接なコミュニケーションにより、種々の知識と経験 (IP) を蓄積することが戦略的に重要である。IP として加工プロセスのノウハウ、センサ要素、アクチュエータ要素などが豊富に提供されれば、これらを組み合わせるだけで MEMS が設計できることになり、更に、MEMS 実用化へのバリアが下がることになる。またシミュレータとデータベースのデファクト標準化の推進と、高級な設計技術者を養成することが戦略的に重要である。

設計解析シミュレータの効果として、設計の短期効率化、応用対象の多様化および横展開の促進、IP の蓄積と設計支援データベース構築、設計技術者の養成、設計の支援や代行による新規参入の促進、設計技術者の養成、大学・研究機関の最新成果の産業化支援などが列挙できる。しかし、日本の現状では、設計解析シミュレータは未発達である。上記のような幅広い効果をもつ仕組みとして、この開発と普及に努める必要がある。

3 - 2 既存ソフトウェアの現状

3 - 2 (本編第3章)では、現在のMEMS設計・解析ツールの課題と要望、あるべき姿を誘導するために、既存の(主として海外製の)MEMS設計・解析ツールの現状の構成や仕様と、実際のMEMS研究開発現場での利用実態、さらにユーザの要望を整理した。

(1) MEMS用既存ソフトウェア

「MEMS設計・解析支援シミュレーションシステムに関する調査研究」の技術調査小委員会のメンバーで分担して調査した結果は、本編第3章3 - 1節に詳細に記述している。

この中でも世界標準として利用されている米国のCoventor Ware、InelliSuite、欧州のMEMS Pro + ANSYS + L-Editの複合体に関しては、表3-2-1に概要の比較表で示した。基本的な構成としては、構造体をマスクと基準プロセスを用いて考慮して構築するデザインツール、材料パラメータデータベース(DB)部、連成解析を含む解析部を中心に構成されていて、各ソフトに構成上の大きな違いは見当たらない。特長としては、Coventor Wareは豊富な解析モジュールが準備されていることとArchitectと言う機能解析モジュールを持つこと、InelliSuiteはシリコンのウェットエッチングシミュレータを持つこと、MEMS ProはL-Editと言う半導体で良く利用されていたレイアウトツールを使ったり、ANSYSと言う標準的な機械系解析ツールが使える等の特長を有している。すなわち、基本的な機能は同じでも、ユーザの利便性のフォーカスポイントが異なっている。また表3-2-2は設計デザイン、解析等の各機能モジュールの特長を比較したものである。これらの結果を総合的に纏めると以下ようになる。

既存ソフトはライセンス料が極めて高価である。

基本はANSYSやABAQUSの機械系解析ツール、MEMSに特化させた機械系解析ソフトを原型とする。

MEMS解析特有の静電 応力、接触、熱 弾性等の連成解析を中心としたデバイス開発ソフトは、かなり充実しており有効に使われている。

Coventor Ware等の従来設計ツールには、極めて多くの機能解析モジュールを保有している。

機能ブロック統合解析や電子デバイスとの統合化に関しては、Coventor WareのArchitectに見られるように非常に進んでいる。

プロセスシミュレータは一部を除いて殆ど進んでいない。

表 3-2-1 既存の代表的な MEMS 設計ツールの概要と構成

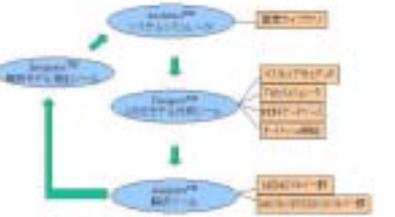
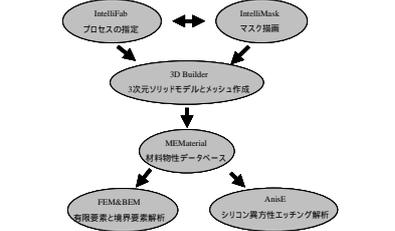
	概要	構成図	補足説明
CoventorWare™	<p>MEMS解析総合システム、高いシェア、MEMS特有の物理現象に対する解析ツールを数多く提供、データの互換性を持たせて他社ソフトで補う方針；構成は</p> <ul style="list-style-type: none"> • Designer™ • Analyzer™ • Architect™ / Integrator™ 		<p>米国Coventor社、丸紅ソリューション；世界で240本（日本40本）2000-3000万円</p> <p>MEMSデバイス固有の現象に対応した解析ソルバを多く備え世界中で利用者が多い。3次元モデルによるFEM解析とライブラリーを利用した集中定数回路法による解析Architectとを併用することで時間短縮化を図る。</p>
IntelliSuite™	<p>MEMS設計専用CAD、2次元マスクの描画、プロセスに基づく3次元ソリッドモデルの作成からFEM・BEM解析まで一連の設計が可能、IntelliMask, IntelliFab, 3D Builder MEMaterial, FEM and BEM AnalysisとAnisEと呼ばれる5つのソフトウェアから構成される。</p>		<p>米国IntelliSense社、Corning社の子会社、ファブリー事業併用；FEM解析はすべて汎用解析ソフトABAQUS(Karlsson & Sorensen, Inc)のライセンス供与、AnisEと言うシリコンの異方性エッチング用シミュレータを持つことが特長。</p>
MEMSPro + ANSYS + L-Edit	<p>汎用の有限要素解析ツール”ANSYS”とのインターフェイスを有し、レイアウト設計、デバイス解析からシステム解析までのトータル設計が実現、レイアウトエディタ”L-Edit”を中心とし、回路図エディタである”S-Edit”、回路シミュレータである”T-SPICE”を統合したソフトウェア</p>		<p>MEMSCap社（フランス）、ファブリー事業併用、代理店サイバネットシステムIC設計CADシステムとして定評があるレイアウトエディタ”L-Edit”や汎用で多くの機械設計ユーザを持つ有限要素解析ツール”ANSYS”を統合化した設計ツール、MEMSに特化して使い易い。</p>

表 3-2-2 代表的な既存 MEMS 設計ツールの内容と特長のまとめ

	構造設定・デザイン	解析	その他
CoventorWare™	Designer™ ; マスクから単純なプロセスを設定してMEMS構造を作成する。 ・マスクレイアウトエディタ ・プロセスエミュレータ ・材料特性データベース ・3Dモデル生成 ・3Dモデルビジュアライザ ・オートメッシュ機能	Analyzer™ ; 作成した3次元モデルをもとにMEMSデバイスの特性を解析する。結果はポストプロセッサにて3次元表示、 ・MEMS解析ツール(解析ソルバ群) ・Micro Fluidics解析ツール(流体専用) ・シミュレーションマネージ ・オートメッシュ機能 各種連成解析等の多数のモジュールを備えている。 ABAQUSを基本としている。	Architect™ ; 要素ライブラリーから等価回路を作成し集中定数にてデバイスの動作特性を解析する。強力な機能 ・ライブラリー ・回路図キャプチャエンジン ・シミュレーション・モジュールとタイミングアナライザ ・レイアウトジェネレータ
IntelliSuite™	・IntelliMask ; マスク描画、通常のLSI設計と同様のGDSIIファイル ・IntelliFab ; Process Tableによるデボやエッチング等のプロセス条件を組み合わせてプロセス条件の指定 ・3D Builder ; 3次元モデルや数値解析用メッシュの作成 ・MEMaterial ; 材料のデータベース提供、文献値の出典も参照可能、想定する温度環境等がデータベースの範囲外にある場合は、外挿法等を用いて物性値を推定可能	3D Builder による3次元ソリッドモデルとMEMaterial による材料物性を用いてFEM解析やBEM解析が実行できる。5種類の解析をサポート、 ・Electrostatic Analysis : 静電場解析、 ・Electro-Mechanical Analysis : 静電場と弾性の連成解析、 ・Thermo-Mechanical Analysis : 熱弾性解析、 ・Piezoelectric Analysis : 圧電解析、 ・Micro-Fluidic Analysis : マイクロ流体解析である。 ABAQUSを基本としている。	AnisE シリコンの異方性エッチング用シミュレータ、汎用性が高いCellular Automaton モデル利用、KOH等エッチストップ情報、代表的な結晶方位、異方性エッチング後のシリコン形状を視覚的に表現
MEMSPro + ANSYS + L-Edit	MEMSPro内臓L-Editは、Tanner社のL-Editをコアに、MEMSCAP 社でMEMS設計用に機能を追加した製品で、パネ等をパラメトリックに生成できる作画機能、3Dモデル、SAT出力、ANSYSインターフェイスなどの機能が備わっている。汎用の有限要素解析ツール"ANSYS"とのインターフェイスを有し、レイアウト設計、デバイス解析からシステム解析までのトータル設計が実現	機械系解析ソフトとして一般的なANSYSは、構造、伝熱、電磁場、圧電、熱流体などの幅広い解析機能と、それらを組み合わせた連成解析機能を持っている。異分野の最新技術が融合されたMEMSに有効なツール、構造変形に従う静電場要素の極端な変形を精度良く追従させるために、モーフィングメッシュやアダプティブ静電場要素を採用、場の特性を簡素化し、計算時間を縮小させるための要素(トランスデューサ要素)を用意している。	ANSYSは1995年4月に有限要素法プログラムで世界初のISO 9001規格に認定、QAエラー・レポートをユーザーに通知するシステムを有限要素法ソフトウェア業界で最初に始めるなどユーザーに高品質なプログラムを提供する事に積極的である。

(2) MEMS 設計・解析ソフトウェアに関する実態調査アンケート調査

(財) マイクロマシンセンターのホームページ上に本調査研究の調査研究委員会、および技術調査小委員会で検討して作成したアンケートを掲載して実施した。本アンケートは、MEMS に関係する日本国内の企業・大学・研究機関等に所属する個人を対象として約1ヶ月間実施し、その間の有効回答数は147件であった。回答集計結果の概略を以下にまとめる。回答者は、企業が82%、大学が10%で、その他に国公立研究機関や団体などの方であり、大部分はMEMSの研究開発に携わっている方々であった。

1) MEMS 機構設計におけるシミュレータについて

MEMS 機構設計に従事する技術者、研究・開発者にとって、シミュレータの使用率は95%と高く、その必要性は非常に高い。その利用対象は構造体の応力 - ひずみ問題を筆頭に構造体の耐性や運動機構に関するものとなっている。このように利用されている状況においても、ユーザビリティや解析精度に係わる物性パラメータに問題点が多いと認識されている。

2) MEMS 加工プロセス設計におけるシミュレータについて

MEMS 加工プロセス設計に従事する技術者等のシミュレータ使用率は機構解析に比べてまだ低く 40%強であり、ユーザビリティや解析精度の問題が導入を規制している可能性がある。解析精度は物性パラメータに負う部分が多いと認識されており、また、装置依存性が物性パラメータの問題であるとの認識がある。

3) 設計・開発支援シミュレータの必要性と有効利用に関する意見

日本の実情に適合した日本独自の MEMS 設計・開発支援シミュレータの開発必要性については 50%を超える支持が得られた。MEMS 開発のスピード向上等の企業競争力が向上するのであれば積極的に利用したいとの考えからと思われる。しかしながら、コストパフォーマンスの向上、低価格といった導入に対する意見もあり、現状に対する機能拡張、その他の項目を含めて現在のシミュレータよりも機能が優れている有用なシミュレータを創出することが重要との認識である。

また、MEMS 設計・開発支援シミュレータの開発は約 60%の意見が産官学の共同体制を望んでいる。設計・開発支援以外の有効利用方法として、人材育成と教育指導が挙げられ、シミュレータを使用し MEMS 設計・開発支援シミュレータは MEMS 産業の基盤拡大、ひいては競争力の強化につなげていくことが求められている。

(3) ヒアリング調査

アンケート調査に加えて、実際に MEMS の研究開発や事業に関わっているエンジニア、研究者、事業企画担当の生の声を聞くために、ヒアリング調査を実施した。調査を実施したのは、平成 15 年 2 月～3 月であって実施対象機関は民間企業 6 社と 1 大学である。その総括を以下に示す。

企業においては、重要な開発課題に関しては、既に多くの独自のノウハウが蓄積されている。

既存ツールは高価であるため、何処もライセンス数は少ない。低価格で、初心者が利用できる設計・解析ツールが望まれる。

研究者が開発する MEMS に最適なツールを選んでいる。

材料 DB に関しては、本当に必要な(特性を決める)パラメータは実測や合わせ込みを行なっている。しかし一般的には費用対効果の点からシミュレータによる解析の精度よりも、傾向を捕らえるために使っているケースが多い。

バグや簡単な改良で済むような改良でも、十分作成元が対応してもらえない場合がある。

接合や信頼性といった製造の基本となるシミュレータが強く求められている。

(現在は良い設計ツールは存在しない)

複数のプロセスにまたがるシミュレータの必要性が高い。
加工形状からマスクパターンの推測や、標準的なプロセスを想定した場合の最終的な MEMS 構造からのプロセス設計の推測のような逆問題の設計ツールに対する要求が強い。

(4) まとめ

以上の既存ソフトの調査結果、アンケート結果、ヒアリング結果を整理して、また有識者の委員会での議論も合わせて、MEMS 産業活性化という目的を達成するための課題を、設計・解析ツールの利用と言う側面から整理すると、以下の3点に絞られる。

- (ア) 日本における MEMS 経験者の絶対数が少ない。当然 MEMS の設計可能な研究者・技術者も少ない。MEMS は機械・電子・(光学・流体)等の融合領域の技術が必要であるため、育成に時間が掛かる。
- (イ) 新規な MEMS 開発では、従来にない加工やプロセス、更に材料の組み合わせを利用して試作する場合が多く、試行錯誤の積み重ねによって行なわれるため、開発に時間を要する。更に評価や信頼性の保証に関しても多大な時間が掛かる。このため設計ツールの充実や利用の拡大が求められるが、現状は高価で、かつ専門家向けに作られているため、初心者や学生は容易に利用できない。
- (ウ) 開発効率を上げるには、設計・解析ツールの解析結果と試作評価結果との差、すなわち精度が重要であるが現状では傾向を見るために使う程度であって、精度が良くない。これは材料パラメータを論文や設計ツールのデフォルト値に頼っているためである。MEMS の製造設備や製造条件によって、材料パラメータは大きく変化する。

この課題に基づいて、ユーザの要求項目を整理すると以下ようになる。

基本的な機能として以下の要素をもつこと。

- () MEMS 設計者を増やすために、企業の初心者から、大学院生が利用できる基本的な要素を持ち、極めて低価格で利用し易い設計・解析ツールが望まれる。またユーザからの要求がタイムリーに反映されること。
- () 拡張性や他のシステムとのリンクが容易であって、自由に有用なモジュールと組み

合わせることで、設計・研究開発・プロセスから人材育成まで適用可能であること。また設計から製造に到る日本に蓄積されるべき多くのノウハウが蓄積され、継続利用可能であること。

これらの基本的な機能の他に、日本独自のツールには、日本の MEMS 製造を加速させ、圧倒的な競争力を持つために以下の独自の機能を持つこと。

- () 設計・解析ツールの精度を向上させるために、MEMS で用いる各種材料の機械的物性パラメータを取得しデータベース化を行なう。この時、装置依存性や成膜条件依存性も合わせて取得し、プロセス設計とのリンク付けを行なう。
- () 日本の得意な加工精度の向上による MEMS の高機能化、高性能化に貢献するために、製造技術や信頼性に関わる解析やプロセスシミュレータを強化する。例えば、複数のプロセスフローにおける形状、物性の変化を追うマルチステップシミュレータ、ウェハー接合や実装時における形状やストレス、変位等をシミュレートする接合・実装解析ソフト、疲労等の信頼性を解析する信頼性シミュレータ、加工形状からマスクレイアウト図やプロセスステップを割り出すプロセス逆問題シミュレータ等。

この4つの要求を満たすような設計・解析ツールは現在存在しない。この内()()は基本的な機能を持ちながら、低価格で多くの学生・初心者から本格的な研究開発者が使えるための条件であって、MEMS 人口の増大と底上げを目指す。また()()は従来にない日本発でかつ日本が最も得意とする精密な製造技術を強化・支援する設計・解析ツールを供するものであって、完成すれば世界のデファクトスタンダードを目標とするものである。

3 - 3 求められる MEMS 設計・解析ソフトウェアの内容

様々な科学技術分野において、数値シミュレーションは必要不可欠なものとなり、もの研究開発、設計から製造、量産化まで、数値シミュレーションなしには成り立たなくなっているといっても過言ではない。数値シミュレーションの核となるのは、構造解析シミュレータ、流体解析シミュレータ、半導体設計解析シミュレータといった、いわゆるシミュレータであり、数値シミュレーションに先だって、まず、解決したい問題（解析対象）に適したシミュレータが選定される。次に、解析対象のモデル化、シミュレータに対応した解析対象の数値モデル化（格子分割や要素分割など）、解析パラメータや境界条件などの条件設定を経て、数値シミュレーションが行われる。数値シミュレーションが終了すると可視化・表計算・統計処理などのためのソフトウェアを利用して、解析結果の評価が行われ、結果が良いと判断されれば、解きたい問題に対する数値シミュレーションは完了する。一方、悪いと判断されれば、モデル化や条件を見直して、良いと判断されるまで、数値シミュレーションが繰り返される。これら一連の解析フローで、各種シミュレータと、モデラー、格子ジェネレータ、可視化ソフトウェアなどのソフトウェアや各種データベースが必要であり、シミュレータや様々なソフトウェア、データベースをひとまとめにして、システム化したものがシミュレーションシステムである。

MEMS 開発でも、このようなシミュレーションシステムが必要なことは、第 2 章と第 3 章でも述べた。図 3-3-1 に、MEMS 開発の流れと、開発の各工程での支援として利用されている CAD ツール、解析ツール、シミュレータなどの MEMS 設計・解析ツールの関連を示す。MEMS 開発は、ニーズ・アイデア出しから、設計、設計検証、試作、評価を何回か繰り返して、信頼性確保を行い、量産へと至る。各工程において、CAD ツール、解析ツール、シミュレータが機能確認、性能評価、設計・試作支援などのために利用される。これら MEMS 設計・解析ツールは、統合化・体系化されていれば、使い易いものになるであろうし、また、これらをひとつのソフトウェアとして扱い易くするためには、GUI を活用したマンマシンインターフェイスが必要となる。さらに、MEMS 設計・解析ツールでは、何らかの材料データ、設計データ、モデルデータが使われており、これらデータをデータベースとして、統一的に利用できる環境であれば、より利用し易いものとなる。これら要件を満たすために、ひとつのソフトウェアとして組み上げると、図 3-3-2 のようなものが必要となる。利用者は、コンピュータから、マンマシンインターフェイスを介して、必要な入力を行い、マンマシンインターフェイスは必要に応じて、材料・知識データベースからデータを取得する。入力データがセットされれば、解析シミュレータから必要なシミュレータが起動され、解析が実施される。解析が終了したら、利用者は、マンマシンインターフェイスを介して、解析結果の表示・可視化・結果評価を行い、入力・解析・出力の一連の解析フローが終了する。これを、解析の流れと入出力操作の関連で示した例が、図 3-3-3 である。利用者が、仮マスク図面、プロセス仮条件、プロセスレシピなどの入力条件を、マンマシンイ

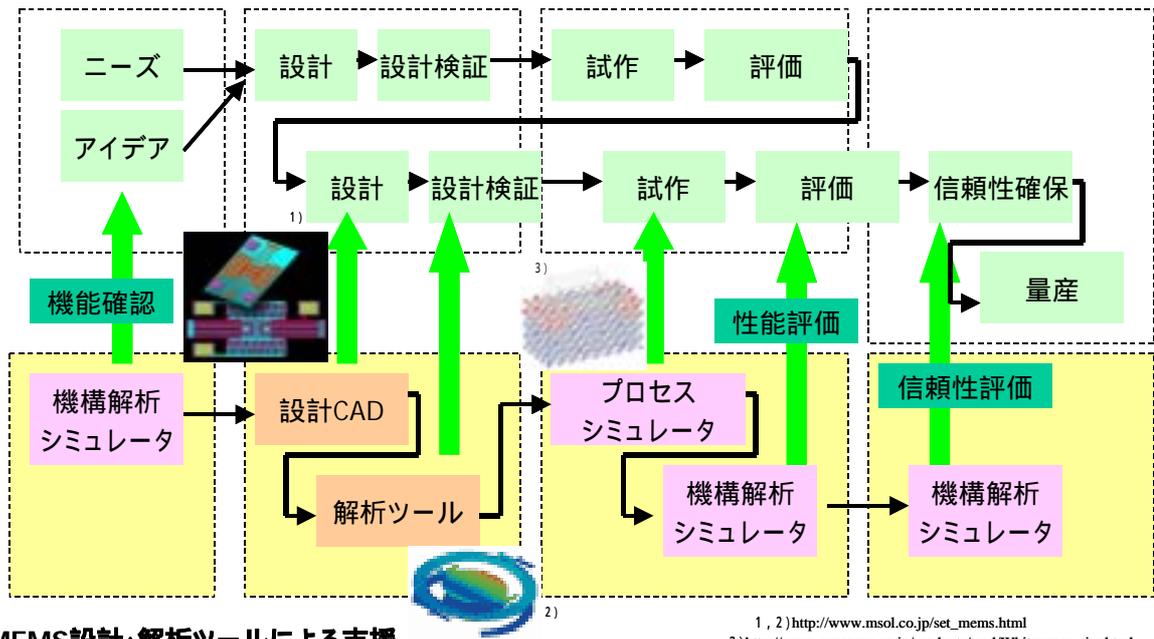
ンターフェイスを介して与え、加工プロセス解析、機構解析を行い、解析結果が目標の性能を達していれば、解析は終了し、そうでなければ、プロセス条件などの入力条件を再設定して、解析を繰り返す。解析に際し、材料・知識データベースより、必要なデータを取得したり、解析に必要なノウハウや最適な選択を受けたりする。

図3-3-2と図3-3-3のソフトウェアの理想型として、具体的に示したのが、図3-3-4のMEMS設計・解析ソフトウェア（理想型）のシステム構成案である。わが国のMEMS設計・解析ソフトウェア（以下、単にシミュレータともいう）として、必要なシミュレータの要件は次のとおりである。

- (1) 「設計・試作支援」、「研究開発支援」、「製品最適化・量産化支援」、「人材育成・教育支援」などに利用できるもの。
- (2) 企業の初心者から、大学院生が利用できる基本的な要素を持つもの。
- (3) システムの柔軟性・拡張性に富むもの。
- (4) ユーザ独自のソフトウェア、既存のソフトウェア、CAD システムなどの他のシステムとのリンクが容易なもの。
- (5) 解析機能として、加工プロセス解析、機構解析、システム動特性解析を有し、かつ、「従来の機能を高度化し、かつ、様々な知見を取り入れた高速解析機能」と「将来を見据えた他に類のない詳細解析機能」といったユーザニーズに応じた機能を有するもの。
- (6) マンマシンインターフェイスについては、使い易さや柔軟性・拡張性を重視し、開発・製造フローとリンクできる仕組みを有するもの。
- (7) シミュレータにおいて、材料データがキーとなる。設計・解析ツールの精度を向上させるために、MEMS で用いる各種材料の機械的物性パラメータがデータベース化され、さらに、この時、装置依存性や成膜条件依存性も合わせてプロセス設計とのリンク付けを行なわれている必要がある(材料データベース)。
- (8) シミュレータを有効に活用するためには、設計から製造に至るに多くのノウハウや知識が活かせるものでなければ成らない。これらノウハウや知識をデータベース化して活かすためにも、理想として必要なデータベースシステムは、データ・情報の蓄積管理から、データの知識情報化、データマイニングによる新しい知識情報の創造まで可能なものである(知識データベース)。また、知識データベースは、シミュレータや開発・製造フローのリンクとなじみ易くしなければならない。

以上を満足するシミュレーションシステムとして実現するために、要求される機構解析、加工プロセス解析、システム動特性解析、マンマシンインターフェイス、材料・知識データベースの機能について以下の節で述べる。

MEMS開発の流れ



MEMS設計・解析ツールによる支援

1, 2) http://www.msol.co.jp/set_memes.html
 3) http://www.synopsys.co.jp/products/cad/Whitepaper_sim.html

図 3-3-1 MEMS 開発の流れと MEMS 設計・解析ツールの関連

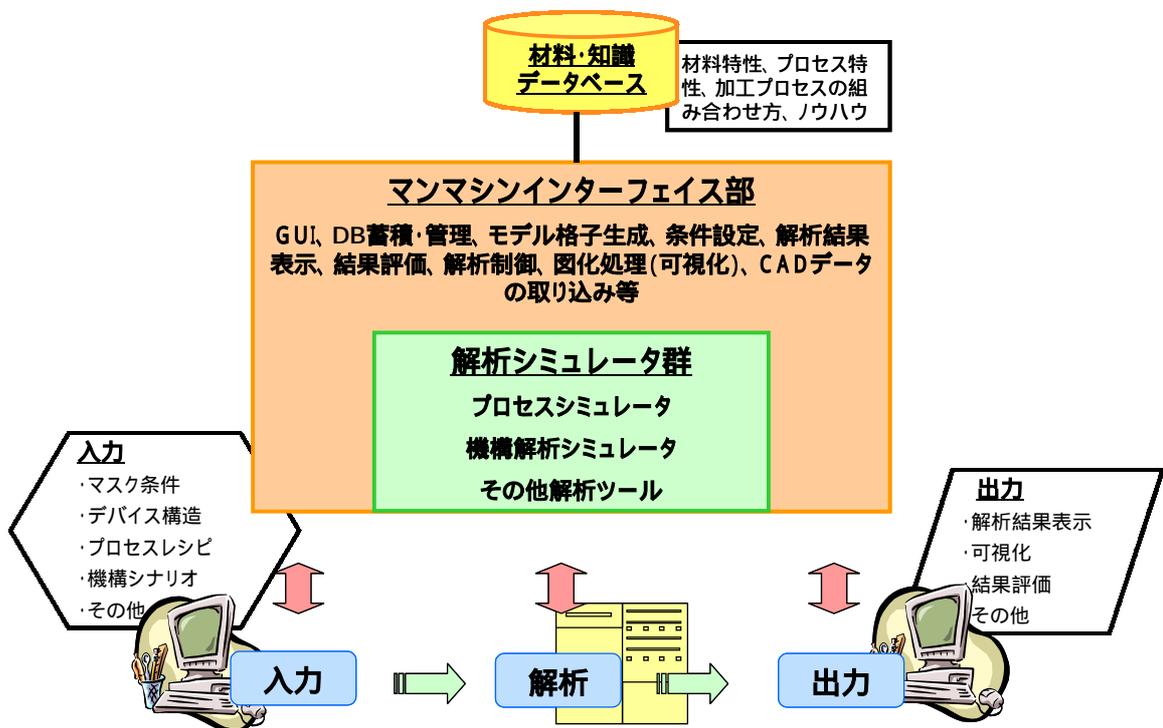


図 3-3-2 MEMS 設計・解析ソフトウェアの概略

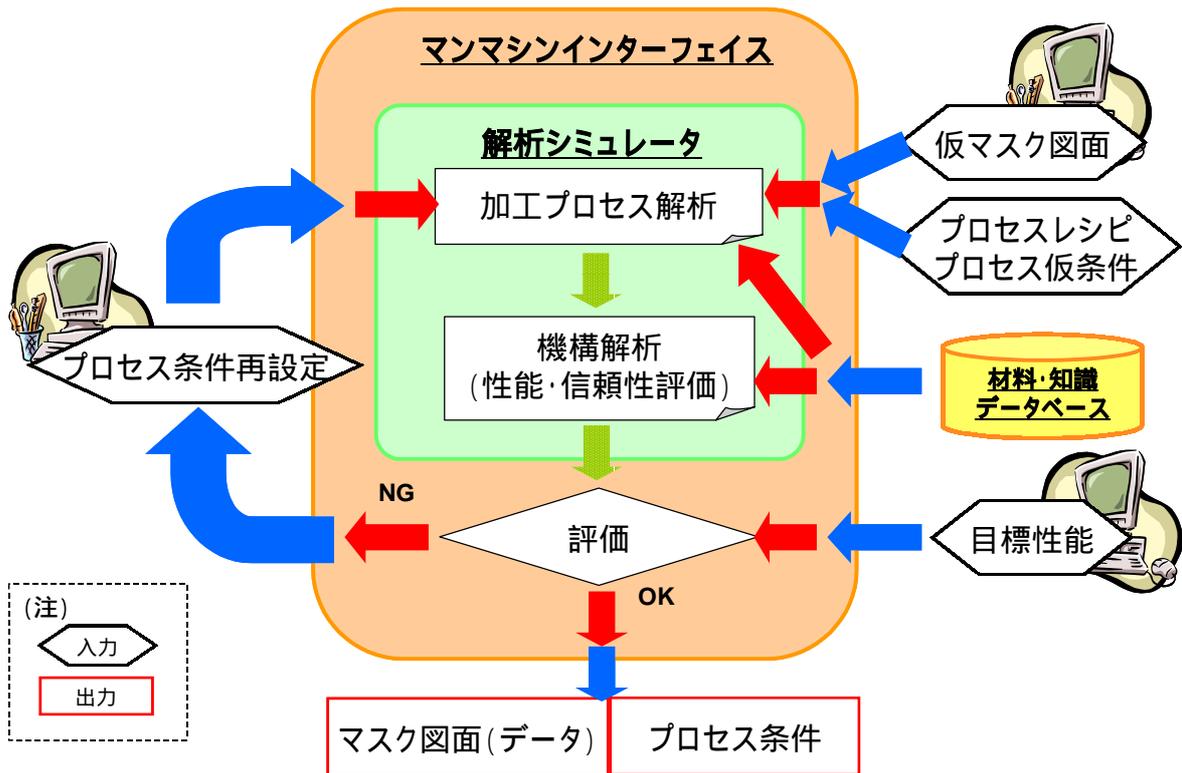


図 3-3-3 MEMS 設計・解析ソフトウェアと解析の流れ・入出力操作の関連

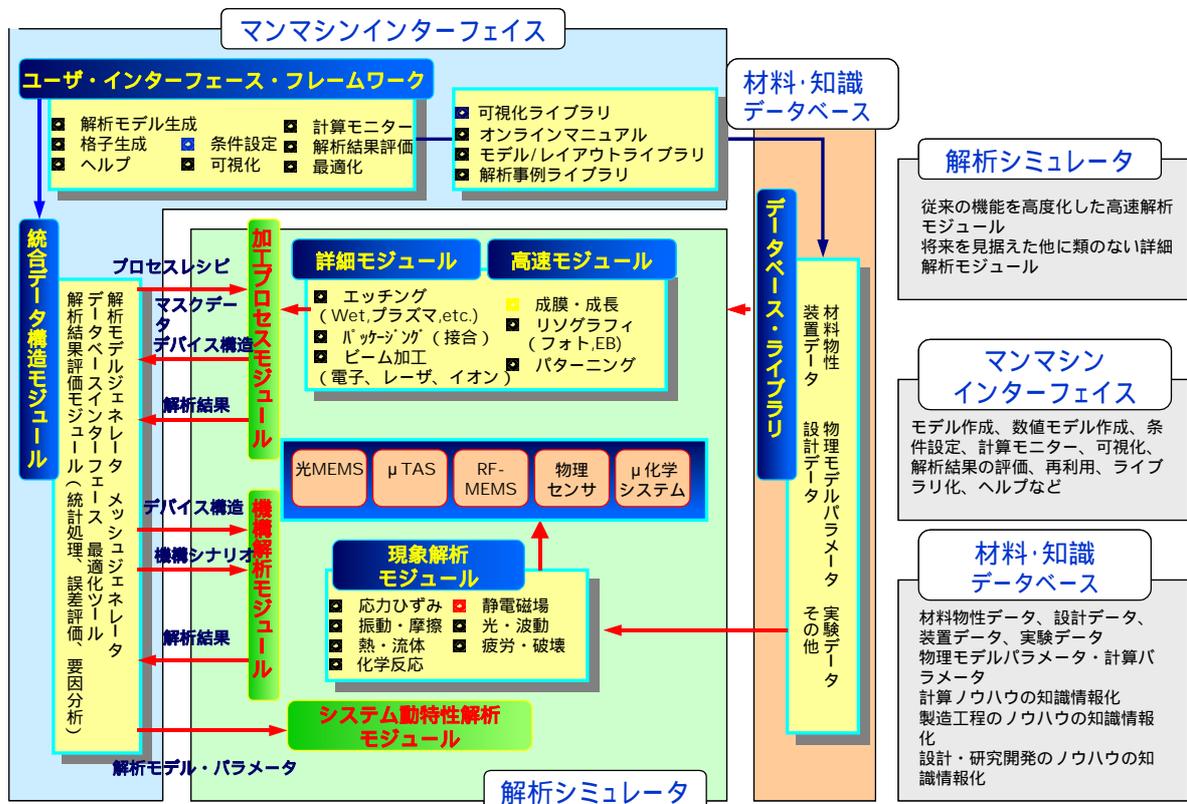


図 3-3-4 求められる MEMS 設計・解析ソフトウェア (理想型) システム構成案

3 - 4 MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの概念設計

3 - 3 (本編第4章)では、MEMS 設計にとって必要な理想的な設計・解析ツールを考察した。この理想的な設計・解析ツールには、より使い易いユーザインターフェースと必要な解析モジュール、特に既存のソフトでは不十分であった各種プロセスシミュレータ、解析の精度を飛躍的に高めるための精緻な材料 DB、使い易く初心者でも利用できるようにする知識 DB 等の多くのモジュールが複雑に連携しあったものであった。

このような海外の設計・解析ツールを包含し、凌駕する理想的な MEMS 設計・解析ツールの実現には、多大な工数と予算が必要である。しかし、実際には開発費用や研究者の数、ソフト開発の企業の数から言って限界がある。よって既に現存する Coventor Ware 等の MEMS 解析ツールの存在や利用を前提として、限りある資源にて最も効率的に日本の MEMS 産業推進に貢献できる MEMS 設計解説ツールインフラを構成するためには、徹底した集中投資の必要があると考えられる。

このため、現実性があり費用対効果の高い日本独自の設計・解析ツールを提案する必要がある。本項(本編第5章)では、課題と現状のニーズを基に、機能を絞り込んだ今必要とされる MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムを提案する。以下に、MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの目的・課題の整理と日本が取り組むための絞り込み結果について述べる。

現状の課題認識とユーザニーズ調査結果は、3 - 2 に詳細に述べられている。全体の流れを鳥瞰するために、図 3-4-1 により一般的な課題として整理した図を示す。設計・解析ツール構築の目的は、日本の MEMS 産業の強化であって、海外に比較して少ないと言われる MEMS 人口の増加、設計・製造のノウハウの蓄積、融合領域の開発力の強化、また、ファンドリーと産官学連携によるインフラ整備、プロセスや材料・設計手法の標準化も求められる。事実関係を明確にするために有識者による委員会活動、アンケート結果、ヒアリングを通じて課題や要求項目を整理した結果、材料パラメータの信頼性の低さから来る精度の不十分さの問題、ユーザの不満、プロセス解析ツール等の機能のなさ、拡張性のなさ等が浮き彫りになった。

より具体的には、求められる設計ツールには設計・解析ツールとしての基本的な機能と、独自の取組みに分類できた。基本的な機能としては、

- () MEMS 設計者を増やすために、企業の初心者から、大学院生が利用できる基本的な要素を持ち、極めて低価格で利用でき、ユーザからの要求がタイムリーに反映されること。
- () 拡張性や他のシステムとのリンクが容易であって、自由に有用なモジュールと組み合わせることで、設計・研究開発・プロセスから人材育成まで適用可能であること。

独自の機能としては、

- () 設計・解析ツールの精度を向上させるために、MEMS で用いる（装置依存性や成膜条件依存性も含めて）各種材料の機械的物性パラメータを取得しデータベース化を行う。
- () 日本の得意な製造技術や信頼性に関わる解析やプロセスシミュレータを強化する。例えば、複数のプロセスフローをまたぐマルチステップシミュレータ、ウェハ接合・実装解析ソフト、疲労等の信頼性を解析する信頼性シミュレータ、加工形状からマスクレイアウト図やプロセスステップを割り出すプロセス逆問題シミュレータ等、であった。

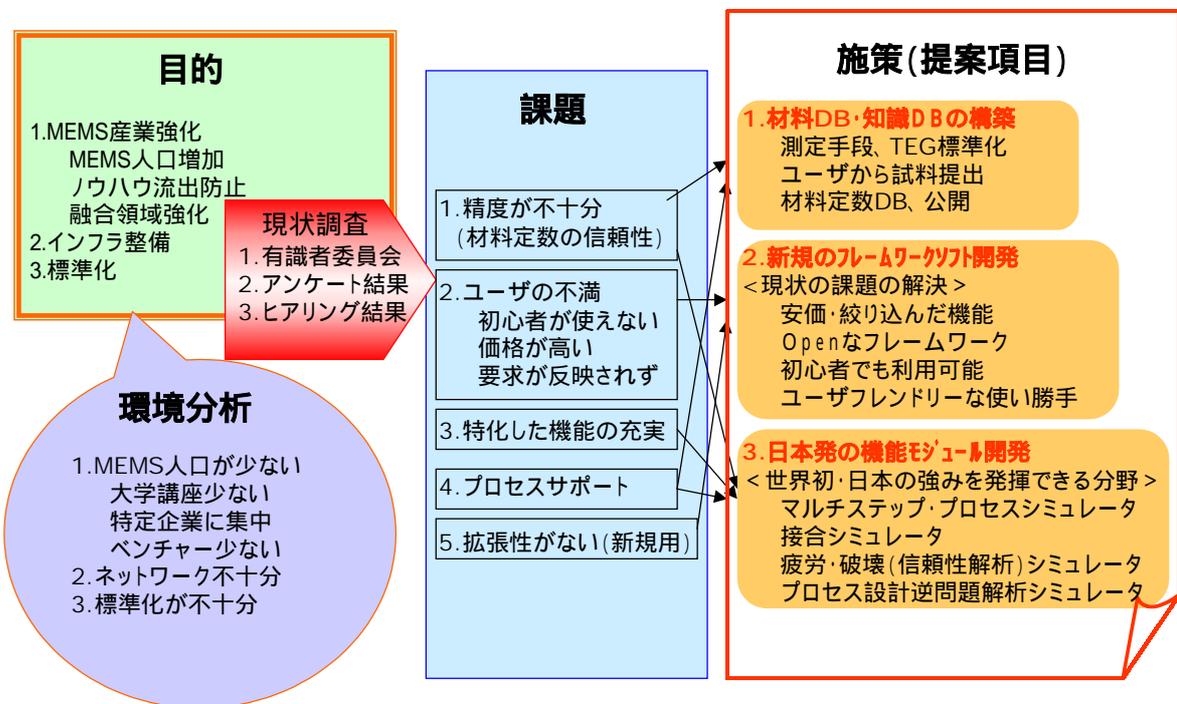


図 3-4-1 MEMS の産業推進上の課題と MEMS 設計・解析支援
シミュレーションシステムとしての展開すべき施策

前述したように、3 - 3 に理想的な設計・解析ツールを議論してきたが、日本における課題を解決し、かつ、世界に飛躍するために機能を絞り込んだ設計・解析ツールが必要であると考えた。この時のキーワードは「MEMS 人口の増大」と「精度向上」さらに日本の得意な「製造技術の強化」である。そのような絞り込みの結果、日本がなすべきことは、以下の大きな三つの柱であると結論つけた。

信頼性の高い材料データベースの開発（材料・知識データベース）

多くの開発研究者が利用できる安価で使い易い設計ツールの開発（フレームワークソフト）

日本の MEMS の国際競争力を後押しする日本独自の機能モジュールの開発（機能強化ソフト）

上記3項目における必要性、概要および特長を以下に述べる。

1) 信頼性の高い材料データベースの開発

設計・解析の精度に関しては多くの設計者、開発者はあまり当てにしていない。要因は材料パラメータの抽出精度の不足にある。多くの場合は論文値、デフォルト値、合わせ込み値を利用しているのが現状である。また、製造条件依存性や温度依存性等の精緻な材料パラメータデータの取得とDB化が望まれている。費用対効果の点から企業では十分にデータを取ることは困難である。そのため、材料・知識データベースの開発が必要である。

2) 多くの開発研究者が利用できる安価で使い易い設計ツールの開発

海外製の既存設計ツールのライセンス料が高価であるため、MEMS 開発における設計ツール、解析ツールは日常的には使われていないのが現状である。特に、大学の学生や企業の初心者が様々なアイデアを検証するような使い方が出来ていない。これらを改善するためには、基本的な機能をもつ安価で利用し易いフレームワークソフトが必要となる。このフレームワークソフトは多くの機関に開放され、必要な機能を追加することが可能なものである。MEMS の設計人口を増やすことやプロセス開発者が簡単な検証に使うことを可能にする。

3) 日本の MEMS の国際競争力を後押しする日本独自の機能モジュールの開発

海外の設計ツールは、MEMS 研究者や機械系解析ツールを MEMS 用に特化させた設計ソフトから派生しているため、特定の MEMS に対する設計・解析や静電・応力、熱・弾性等のモジュールに関しては優れたものが多い。これに対抗し、凌駕する MEMS 設計・解析ツールを構築することは容易でない。ユーザ調査やヒアリング、有識者の議論において、加工精度の向上や製造上の課題を解決する手段として幾つかのプロセスシミュレータが重要である事が判明した。要求の強いものは（ ）加工、成膜から熱プロセスによる影響を考慮にいれて解析可能なマルチステップ間を統合化するプロセスシミュレータ、（ ）コスト的に大きなウエートを占め、かつ MEMS の特長である接合・実装のシミュレータ、（ ）実用化において最も重要な項目にも関わらず、従来はほとんど進展がなかった信頼性を解析可能なソフト、（ ）バルク型 MEMS の性能を決定する構造体の形状からマスクを特定化・

予想する逆問題を解くソフト等の機能強化ソフトであった。これらの解析機能モジュールソフトは海外でも実用化の例はなく、今後重点的に開発する必要性がある。

以上から、材料・知識データベース、フレームワークソフト、機能強化ソフトの3点の強化ポイントを中心に開発することを念頭において概念設計を行った。図 3-4-2 と図 3-4-3 に MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの全体像とシステム構成を示す。3点の開発内容の概要は次のとおりである。

(1) 材料・知識データベース

- ・各種材料特性や各種ノウハウなど情報を蓄積・分析管理する DB システム
- ・機械・熱・力学等の材料特性、プロセス特性、装置データ、モデルパラメータ
- ・設計ノウハウ、製造工程ノウハウ、計算ノウハウ
- ・フレームワークソフト用の普及版と機能強化ソフト用の詳細版の2種類を用意

(2) フレームワークソフト

ユーザーインターフェイス・フレームワーク

- ・GUIによるユーザーフレンドリーな使い勝手と拡張性・柔軟性の高いフレームワーク
- ・モデル格子生成、条件設定、可視化、解析結果表示等のマンマシンインターフェイス部
- ・材料・知識データベースとのインターフェイス
- ・CoventorWareTM等の既存 MEMS ソフトウェアや CAD ツールなどの他システムとのデータ交換が可能

製造工程フレームワーク

- ・初心者でも利用可能な設計ツールの実現のために用意
- ・複数の製造工程の項目（製造プロセス名、工程の入出力情報、材料パラメータ情報、評価情報等）を入力し、ユーザーインターフェイス・フレームワークの操作メニュー群に変換する機能

フレームワーク解析ソフト

- ・プロセス解析シミュレータ群と機構解析シミュレータ群から成る

(3) 機能強化ソフト

マルチステップ・プロセスシミュレータ

- ・チップやデバイスの作製における様々な加工プロセスを一貫して解析できるように、各種 MEMS プロセスシミュレーション技術を開発して統合化したマルチステップ・プロセスシミュレータを開発
- ・ウェットエッチング（異方性エッチング）、リソグラフィ（光、電子線、X線）、プラズマエッチング、電鍍、イオン注入、拡散、酸化、デポジション、エピタキシャル成長等の

半導体加工プロセスの解析技術を活用し、MEMS 用に特化・高度化した解析技術を開発
(詳細版)

- ・ 構造系のシミュレータとの関係や知識データベースの活用
接合・実装シミュレータ
- ・ 異種材料が、直接接触する場合や、接着材で接合する場合の接合界面での応力特異性と、
接合界面に亀裂が存在する場合の亀裂進展のシミュレーション技術を開発
- ・ 有限要素法解析機能をベースとして、界面端部・亀裂先端特異要素、界面における破壊
靱性評価、接着層・薄膜の破壊基準、界面における亀裂進展速度等の技術開発を行い、
シミュレータを構築
疲労・破壊 (信頼性解析) シミュレータ
- ・ 応力・温度変化や衝撃に対して、平滑材における応力特異性分布から疲労・亀裂を評価
するシミュレーション技術の開発
- ・ 応力・温度変化や衝撃に対して、亀裂が存在する材料における亀裂進展を評価するシミュ
レーション技術の開発
- ・ 有限要素法解析機能をベースとして、応力・熱応力サイクル解析、疲労亀裂進展評価、
破壊評価等の技術開発を行い、シミュレータを構築
プロセス逆問題解析シミュレータ
- ・ 従来のマスク形状とプロセスレシピから加工形状を求める方法を逆問題として捉え、加
工形状を入力してマスク形状やプロセスレシピを逆に求めるシミュレーション技術を開
発
- ・ マルチステップ・プロセスシミュレータとの関係
- ・ 知識データベースの活用による最適選択手法の開発

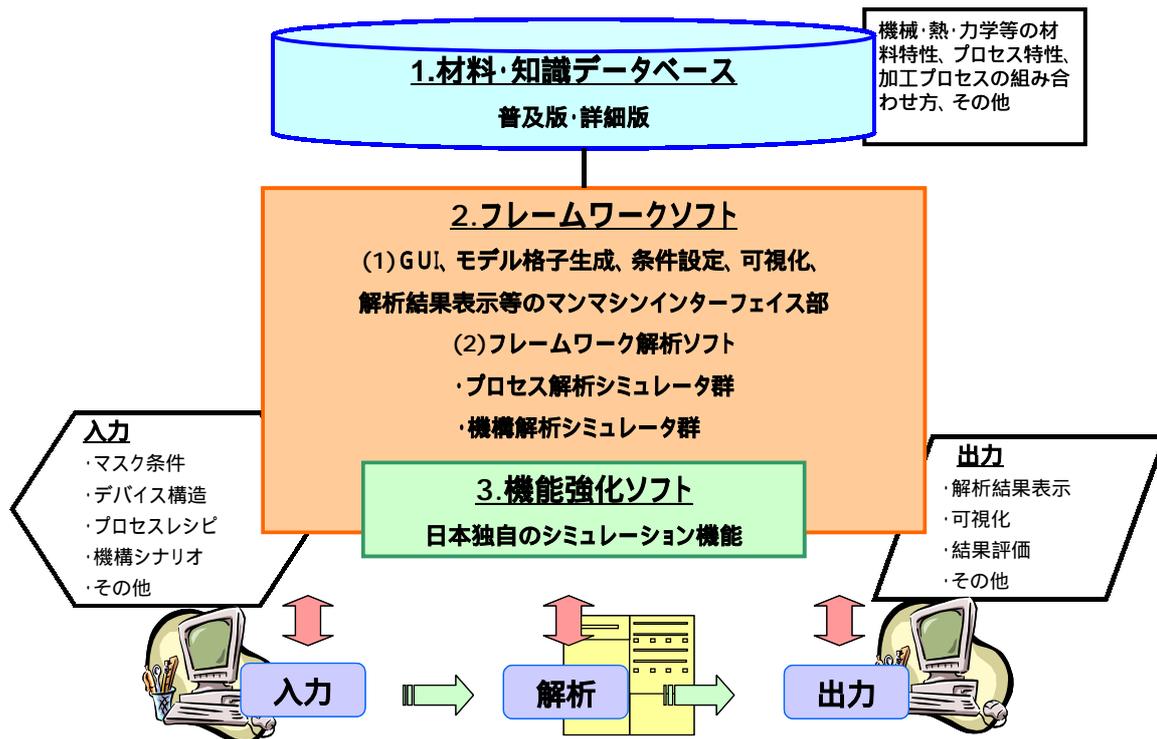


図 3-4-2 MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの全体像

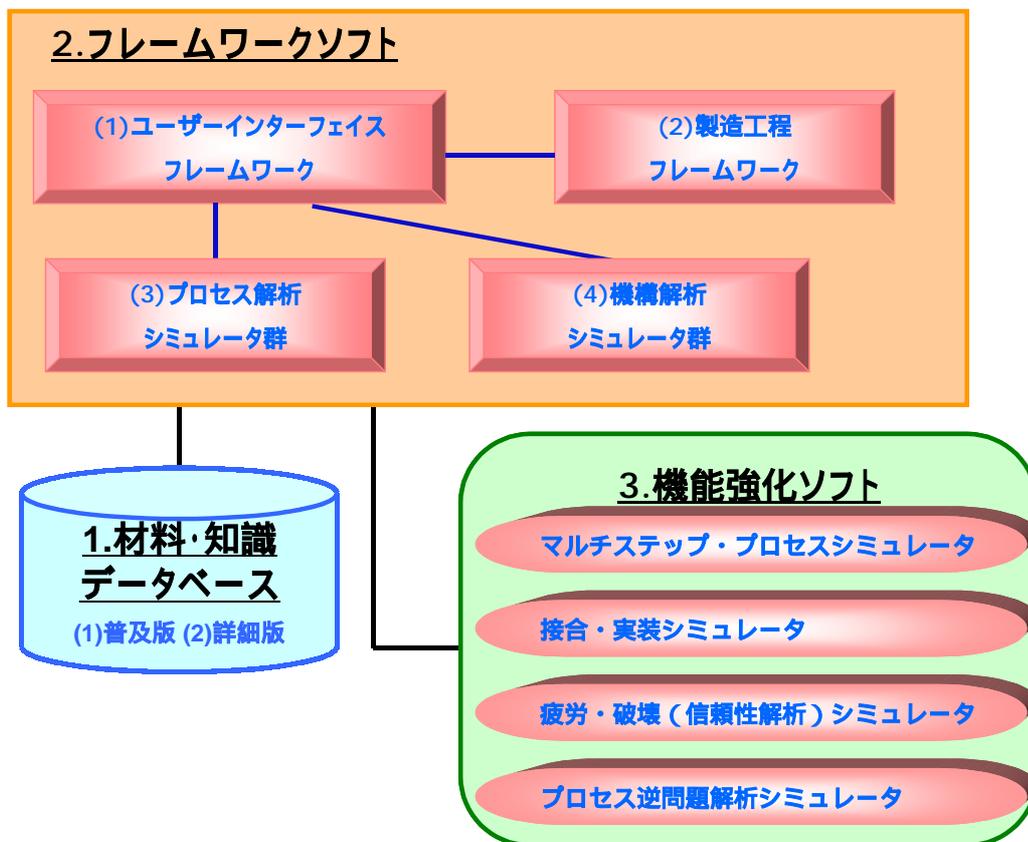


図 3-4-3 MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムのシステム構成

3 - 5 まとめと提言

本報告書では日本が推進すべき MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの考察を、3 - 1 に必要性の議論、3 - 2 に現状認識とユーザ調査、3 - 3 に理想的な姿の構想、3 - 4 により現実的な提案を具体的・詳細に述べてきた。本項（3 - 5）では、この調査研究の成果を全体として整理すると共に、産官学の役割と連携、実効的なシステム運用に関する提言を行って、この「MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムに関する調査研究」の総括としたい。

（1）予想される効果と産業貢献

この日本発の MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの目的が、MEMS 産業の産業推進であって、現状の課題からユーザニーズに基づいて施策を決定したものである。従って、予想される効果や産業貢献は、このモデルが正しいとすれば絶大であると考えられる。

- （ ）材料 DB および知識 DB：実際の製造プロセスに基づいた信頼性のある材料データベース、更に経験に基づいた知識データベースを構築することで、設計精度の大幅向上、MEMS の試作回数の低減が図れる。またファンドリーサービス企業が材料 DB を提供することで、MEMS ファンドリーサービスの質的向上が予測される。
- （ ）フレームワークソフトの開発：MEMS 開発に必要な絞り込んだ機能を集約させることで安価に提供でき、初心者にも利用可能なユーザフレンドリーで、オープンなフレームワークソフトを開発する。またユーザに広く使ってもらうことで、企業の初心者、これから MEMS 開発を始める技術者、大学院生等に広げて MEMS 人口を大幅に増加することが可能となる。また共有のインターフェースによって拡張性が優れており、様々な機能を追加可能である。
- （ ）製造力を強化する機能モジュールの開発：従来にないマルチプロセスシミュレータ、接合シミュレータ、信頼性解析ツール、プロセス設計逆問題解析ツール等を開発することで、MEMS の製造技術や品質向上、信頼性を大幅にアップ可能である。すなわち製造される MEMS の国際競争力を強める。

以上のような予想される効果と産業貢献を一言で言うならば、「設計精度の大幅向上」「MEMS 人口の増加」「製造力の強化」である。このような望ましい姿とともに、起こりうるリスクと、その影響の検討やそれに対応する事前の準備等も考察しておく必要がある。

現状の海外製設計・解析ツールが、本施策の刺激を受けて、安価で使い易くなる。：この場合は、MEMS ユーザに取っては朗報であって、MEMS 産業を後押しする貢献は大

きい。また製造力を強化する機能モジュールは従来の設計ツールには無いものであって、世界中の研究者、開発者が利用する可能性も高い。

MEMS 以外の方法で作られたマイクロコンポーネントが発展して、MEMS の重要性が失われる場合：この場合 MEMS は高度なナノ技術を用いた NEMS (Nano-Electro-Micro Systems) に移行すると考えられる。そのようは環境では、さらに設計ツール、特に精度の向上、製造とのリンクが重要になって、益々本設計・解析ツールが重要になる。また NEMS は MEMS との組み合わせで初めて実用化されるため、MEMS の設計ツールの必要性が無くなるとは考え辛い。

MEMS に必要な複合領域 (電子、機械、光学、流体) を習得する研究者、開発者の供給が十分に出来ない場合：これが最も可能性が高く、深刻な問題である。特に日本の大学では複合領域の教育が弱い。高度専門教育の課題として捕らえる必要がある。しかしこの場合も、豊富な知識データベースを持った安価で利用し易いフレームワークソフトを用いてセミナー等を精力的に開催することで、MEMS 人口を増やすことが可能である。

以上のように想定されるリスクも、本 MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムによって MEMS 産業の育成・推進に多大な貢献があると予測される。これらは、日本の MEMS 産業ばかりでなく、世界の MEMS 産業にも大きな影響を及ぼす。

残された課題として、従来困難と言われてきた MEMS の製造プロセスの標準化による設計ツールの一般化や、疲労を含む信頼性の評価方法の確立や標準化がある。これらは時間を掛けて進める必要があり継続的な努力が必要となる。

(2) 実現に向けて産官学の役割と連携

ここでは、MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムを開発する場合の産官学の役割分担とその連携に関して述べる。このシステムは、材料・ソフト開発・検証を日本の科学技術の総力を結集して進めるものであって、大学の知恵、公的研究所の計測技術、MEMS 企業のニーズと MEMS 蓄積ノウハウやサンプル提供、ソフト企業の研究開発、及びそれらの連携と言う、かつてない規模の産官学連携と分担体制が求められる。

このような要望を受けて産官学による提案する開発体制を図 3-5-1 に図式化した。この図は、ソフト開発会社、MEMS 開発企業や MEMS ファンドリー企業、公的研究所、大学、管理法人を想定して産官学連携を考察するものである。このプロジェクト (研究開発事業) は、国からの支援を受けて、プロジェクトリーダーのマネージメントの下でプロジェクト管理機関とソフト開発総括機関において実行される。なお、本事業が完成した場合の貢献度は日本の大学、研究所、企業、MEMS ユーザ、ソフト企業と多岐・広範に渡ることや、異種分野の研究機関や企業からの人材やノウハウ投入により達成されること、単一企業ではリスクが大きすぎること、計測方法やデータベース構築において標準化作業が入ること、

中長期的な投資が必要なこと、長期的な管理運営が必要であること、等を理由にして国の全面的な支援、例えば 100%の受託事業が望ましい。補助金事業になった場合は、大学や研究所の支援が受けられないばかりか、各企業にとって必要な個別モジュールの研究開発に終わってしまって、産官学の連携による意味は全くなく、しかも完成されたシステムの統合化が出来ないため、単なる予算ばら撒きで終わってしまう可能性が強い。

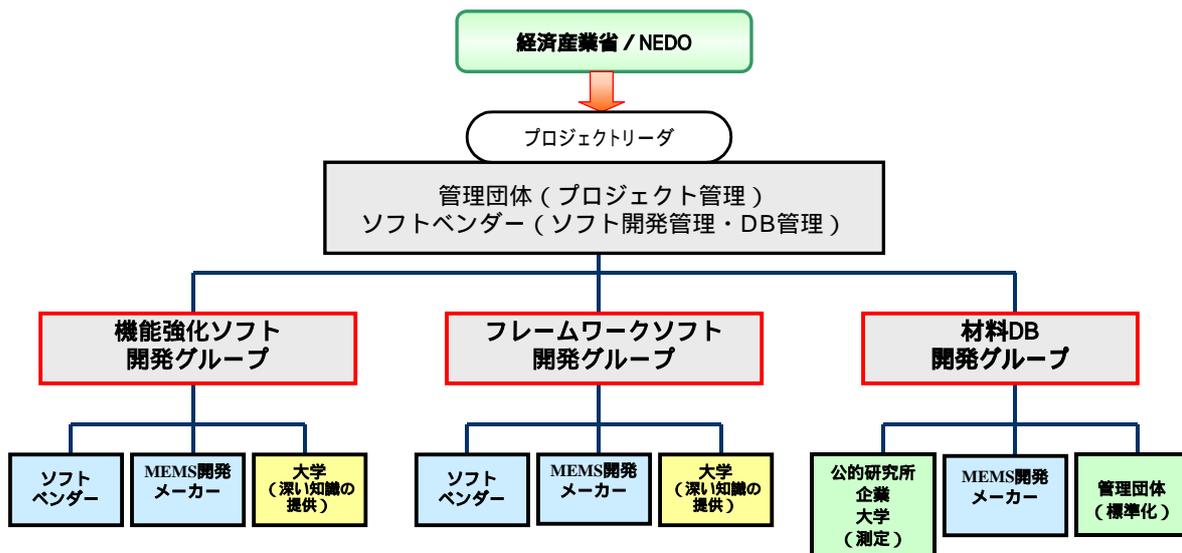


図 3-5-1 MEMS 設計解析シミュレーションシステムの開発体制・進め方

本研究開発は次の 3 つの研究開発グループによって実施される。

() 材料データベース開発グループ

研究開発施設は、材料の機械・力学特性の計測技術を有し、かつ MEMS 研究開発の実績の高い、公的研究所からグループリーダーを立てて推進する。産官学の役割分担としては、公的研究所は「測定方法の検討と決定、サンプル形状・構造の決定、実際の測定、パラメータ抽出」、大学では「測定手段や測定結果の信頼性に関して理論的根拠の検討」、MEMS 開発メーカーや MEMS ファンドリーメーカーは、「サンプル試作・提供」、管理団体としては「測定手段の標準化のための運営、データベースの管理運営、更新」が挙げられる。

() フレームワークソフト開発グループ

研究開発施設は機械系設計・解析ツールや電子系、プロセス系の設計・解析ツールで開発・販売実績のあるソフトベンダーにグループリーダーを立てて推進する。産官学の役割分担としては、ソフト開発ベンダは「システムの概念設計、詳細設計、実際のソフト開発、基本機能の検証」、MEMS 開発メーカーや MEMS ファンドリーメー

力は「 開発するソフトの仕様検討、 実際の MEMS 開発場面での検証、また大学では、「利用される計算アルゴリズムでの理論的根拠の検討」が挙げられる。

() 機能強化ソフト開発グループ

研究開発施設は機械系設計・解析ツールや電子系、プロセス系の設計・解析ツールで開発・販売実績のあるソフトベンダーにグループリーダーを立てて推進する。産官学の役割分担としては、ソフト開発ベンダーは「 システムの概念設計、詳細設計、 実際のソフト開発、 基本機能の検証」、MEMS 開発メーカーや MEMS ファンドリーメーカーは担当する機能シミュレータツールに関して「 基本的な要素技術、 アルゴリズムの検討と検証、 詳細な仕様検討、 物性パラメータの測定、抽出、取得、 実際の MEMS 開発での検証、詳細評価」

また大学では、「利用される非常に高度な計算アルゴリズムでの理論的根拠の検討」が挙げられる

これらの基本概念の元に展開した、産官学分担の詳細を、表 3-5-1 に示す。ここで列は機関名であって、行は項目を挙げている。機関名では産業界としてはソフトベンダー、MEMS ファンドリーサービス企業、ユーザ企業 (MEMS 開発企業) とした。また官として公的研究所を示し、団体は管理団体 (または組合) としてこの分野で実績のあるものを想定した。

材料 DB の構築としては、ソフトベンダーは DB の開発やフォーマット決定、MEMS ファンドリーや MEMS 開発企業はサンプルの提供、公的研究所は測定サンプル、測定手段の標準化やインフラ作り、実際の測定が主な役割になる。また完成後の管理団体による保守も欠かせない。ここで MEMS ファンドリー企業が、実際にファンドリーサービスに適用するプロセスや各種 MEMS 材料のサンプルを提供して、その DB を可能な範囲で公開したりフレームワークソフトで活用することが、MEMS ファンドリーを使うユーザにとって非常に重要になる。また知識 DB に関しては、MEMS ファンドリー企業はある程度の標準的なプロセスを呈示する必要があるが、詳細に関しては企業からノウハウを含めて提出することは困難であるので、大学に蓄積された実験結果やノウハウが重要となる。

設計プラットフォームに関しては、産業界ではソフトベンダー企業がフレームワークソフトでのインターフェースの決定や出力結果の表示方法、可視化方法、使い易いシステム、標準製造プロセスとのリンク等を開発する必要がある。ここで MEMS 関連企業は仕様決定と、完成したソフトの検証を担当する。

機能シミュレータに関しては、ソフトベンダーと MEMS 開発企業が一体になって、両者の技術蓄積やノウハウをフル動員して開発する必要がある。計算方法やアルゴリズムの検討は、解析のアイデアを持つ MEMS 企業内の研究者が主体的に行い、個別機能シミュレータに必要なデータ取得や、その評価・検証を各企業が十分な時間を掛けて行なう必要がある。特に機能シミュレータの機能は、世界最先端の製造技術に関する技術であるためその

物性解析やパラメータ取得、さらに機能シミュレータモジュールの検証においても新規な計測手段を構築する必要があって MEMS 開発企業に依存する場合が多い。この機能シミュレータ開発では研究開発の初期において、中心になって研究開発する企業の研究者が要素技術開発やアイデア、アルゴリズムの検証を既存のツールを組み合わせながら行なって、その後ソフトベンダー企業と協力してフレームワークソフトとのインターフェースを取って入力から出力への統一的な手段によって、シミュレータを完成させる。

表 3-5-1 産官学連携の役割分担の詳細

	産（企業）			官（産総研）	学（大学）	管理団体
	ソフトベンダー	ファンドリー	ユーザー			
材料DB構築	DBエンジン・システムの開発・提供 システム改良	標準サンプルの作成 物性データの提供 DB開発の支援	標準サンプルの作成 物性データの提供 DB開発の支援	測定手段、TEG標準化 サンプルの物性測定		標準化の推進 データベース 利用促進 議論の場提供 プロジェクト 推進
フレームワークソフト開発	フレームワーク開発 深い知識の提供（大学） をソフトへ反映 教育用バージョン開発 高速エンジン開発	要求仕様の検討・決定 ソフトウェアの試用・ 実証	要求仕様の検討・決定 ソフトウェアの試用・ 実証	要求仕様の検討・決定 ソフトウェアの試用・実証 教育用バージョンの開発支援 ・標準測定 ・プロセス設計（適合性、組合せ方） ・プロセス基礎 （プロセスパラメータと物性の関係） ・標準デバイス（寸法と性能の定式化）		要望の集約 議論の場提供 プロジェクト 推進
世界初シミュレータの開発	マルチステッププロセス シミュレータ	ソフトウェア開発 改良検討	装置メーカーとの協業 によるシミュレータ開発 ソフトウェアの試用・ 実証		シミュレーション研究 個別の要求仕様決定・ 協業による開発 ソフトウェアの試用・ 実証	要望の集約 議論の場提供 プロジェクト 推進
	接合 シミュレータ	同上	同上		同上	
	疲労・破壊 シミュレータ （信頼性解析）	同上	同上		同上	
	プロセス設計 逆問題 シミュレータ	同上	同上		同上	

(3) MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの運用

産官学連携によって戦略的・組織的に開発される MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムは当初の狙いとおりにユーザ利用され、浸透していく必要がある。その場合、単なるパッケージソフトの販売と違って、幾つかの課題がある。

- 1) 初心者や学生に利用し易いように常時使い勝手、ユーザの要求を聞いて改良する必要がある。
- 2) 材料データベースや知識データベースは、産官学の連携によって常に最新状態にメンテナンスされている必要がある。
- 3) フレームワークソフトはオープンであって、研究者等に新規な機能モジュールの技術開発を促す必要がある。

このような特長を背景として、MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの管理運用を行なうためには、図 3-5-2 に示すような運用者側の管理・運用と利用をスムーズにするための運営を考察した。

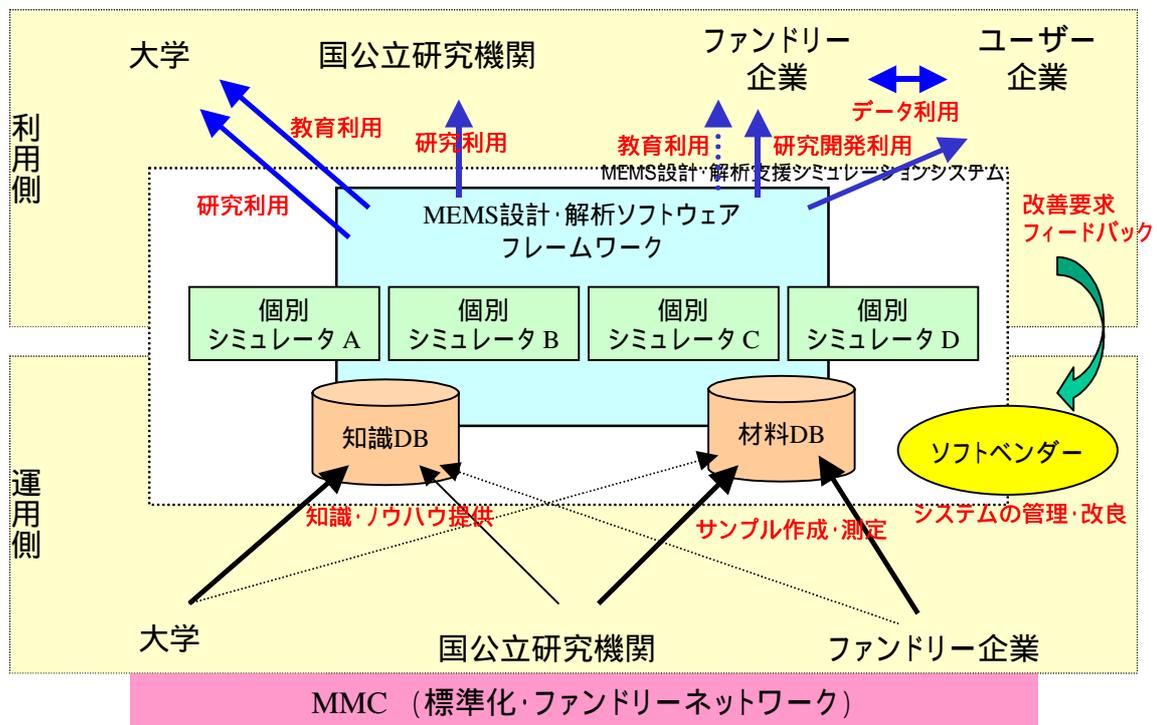


図 3-5-2 MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムの運用と産官学の役割

- 禁 無 断 転 載 -

1 4 R 2 1

MEMS 設計・解析支援シミュレーションシステムに関する
調査研究報告書 要旨
(Study report on the simulation system for MEMS design / analysis, Abstract)

平成 1 5 年 6 月

作 成 財団法人 機械システム振興協会
東京都港区三田 1 丁目 4 番 2 8 号
TEL03(3454)1311 (代)

委託先 財団法人マイクロマシンセンター
東京都千代田区神田佐久間河岸 6 7
TEL03(5835)1870 (代)

印刷 タカラ印刷紙工株式会社