

サイエンティフィック・システム研究会
HPCミーティング 2001

コンピュータ開発におけるCAE技術の現状

2001年11月2日
富士通 (株) 生産システム本部
山本 治彦

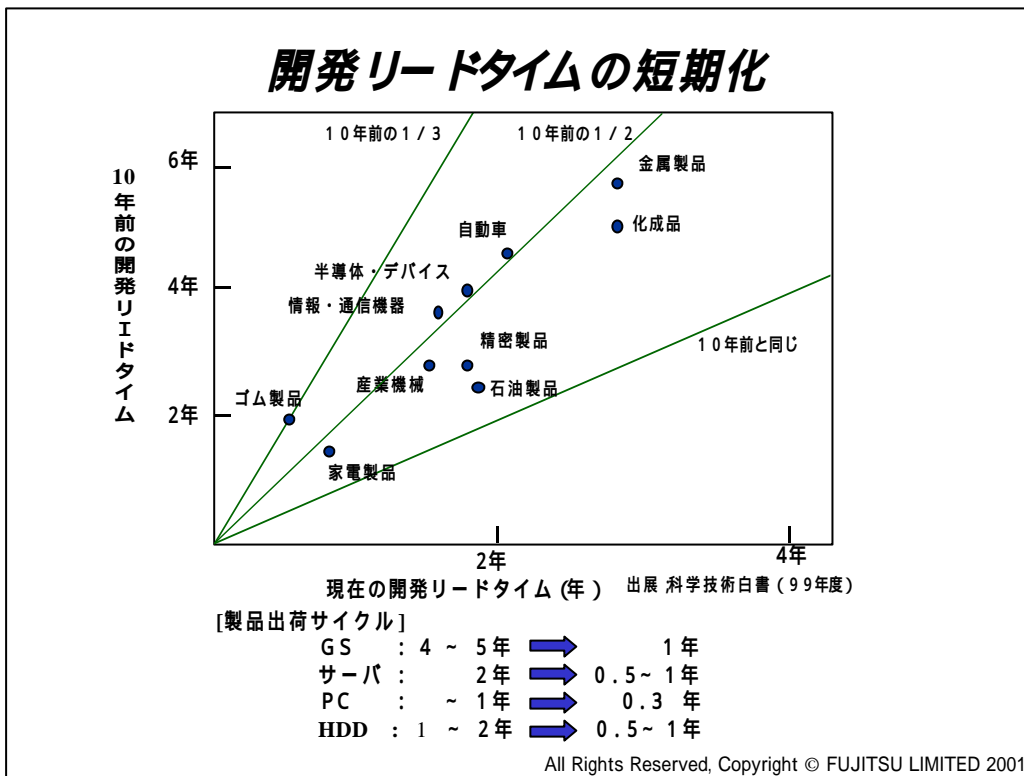
All Rights Reserved, Copyright © FUJITSU LIMITED 2001

サイエンティフィック・システム研究会には主に大学および研究所の方が参加されていると伺っています。本日は、みなさまのアカデミーでのHPC利用に対し、インダストリーではどのようなHPC利用を行っているか、すなわちコンピュータ開発におけるCAE技術の現状をお話ししたいと思います。

まず初めに、電子産業における製品開発の現状と富士通における開発業務プロセスへのCAE技術の組込についてお話しします。

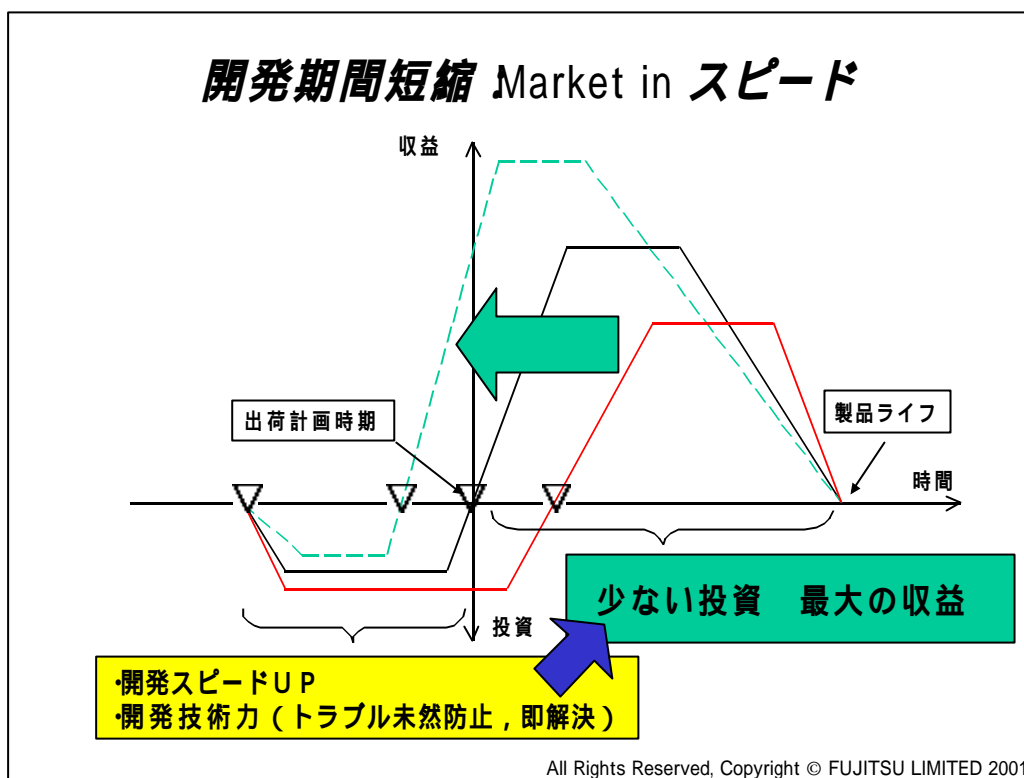
つぎにグローバルサーバ、サーバ、パソコン、磁気ディスク、プリンタ、携帯電話などの開発に使われているCAE技術の事例をご紹介します。また、高度な利用法として、マルチフィジックスの解析システムと実験計画法による最適化システムをご紹介します。

最後に、製品開発に使われる解析が大規模化してきたこと、高速計算機、並列処理の必要性についてお話しします。



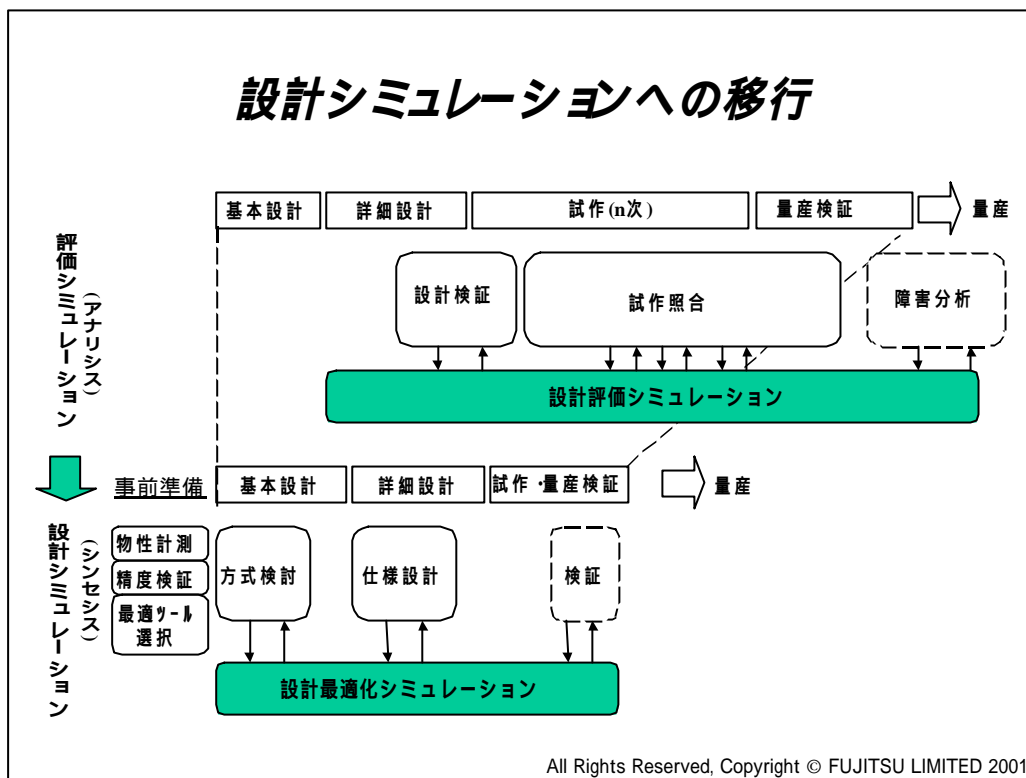
近年、国際化の進展により企業間の製品開発競争は激化し、開発リードタイムの短期化が進展しています。このグラフは科学技術白書が出展ですが、すべての産業で、現在の開発リードタイムは、10年前の開発リードタイムより短くなっています。特に、自動車産業、半導体・デバイス産業では4年の開発リードタイムを半分の2年に短縮しています。

富士通が属する情報・通信機器産業でも、自動車産業、半導体・デバイス産業と同様に競争が激しく、ほぼ同じ推移をしています。細かく製品別にその出荷サイクルを見ますと、グローバルサーバ(GS)では4~5年から1年へ、サーバでは2年から0.5~1年へ、パソコン(PC)では1年から0.3年へ、磁気ディスク(HDD)では1~2年から0.5年~1年へと短くなっています。



企業間の製品販売競争は激しく、製品を他社に先駆けて市場投入しなくては収益は挙げられません。また、先行者利益の出る期間を長くし、利益を大きくするためには、開発期間を短縮する必要があります。

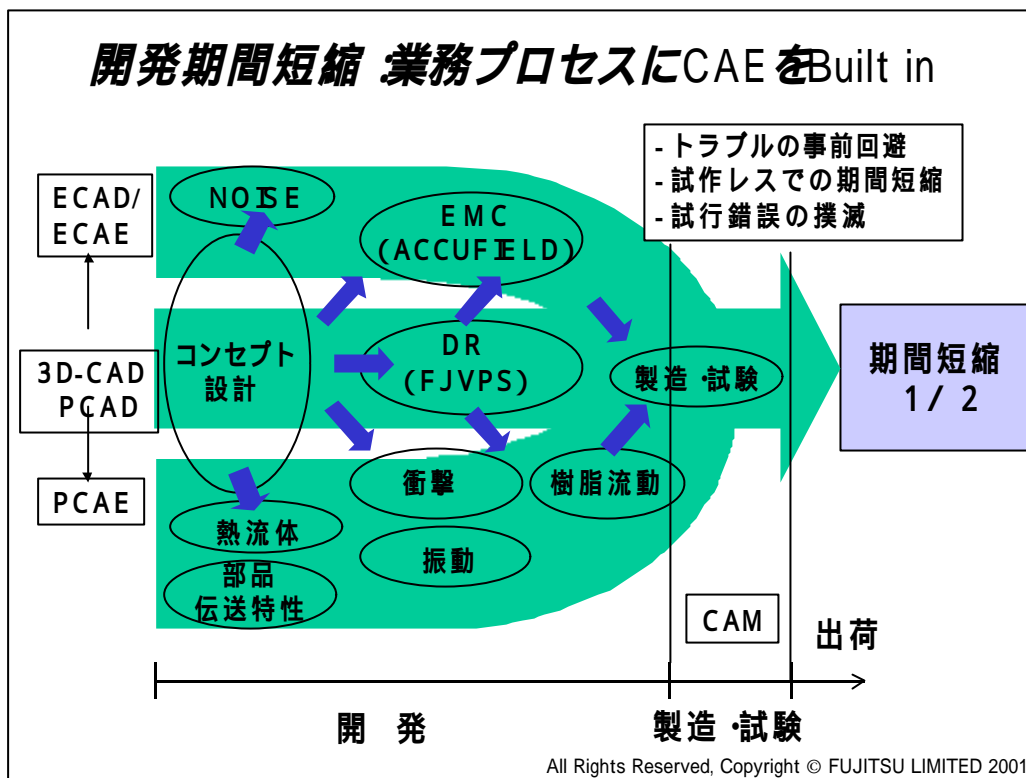
開発期間の短縮のため、試作回数の削減、トラブルの未然防止、迅速な解決が求められ、CAE技術は製品開発に必要不可欠です。



開発期間の短縮化に対応するため、CAE技術は進化発展し、従来の評価シミュレーションから設計シミュレーションへ移行した。つまり分析(アナリシス)から統合(シンセシス)へのツールに変化した。

従来の評価シミュレーションの時代、開発は基本設計、詳細設計、試作、量産検証のプロセスで行われ、CAE技術は設計検証、試作照合、障害の分析に利用された。今の時代、設計シミュレーションは必須であり、CAE技術は方式検討、仕様設計に利用され、開発のプロセスは基本設計、詳細設計、試作・量産検証に変わった。試作回数の削減により期間短縮を実現している。

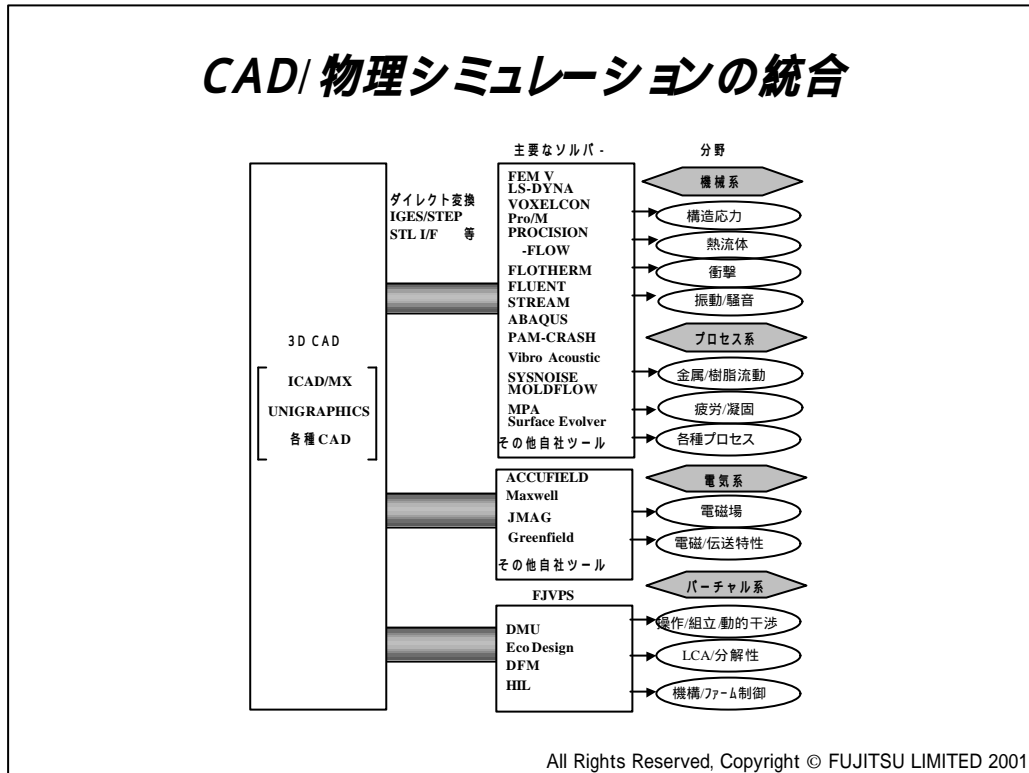
設計シミュレーションの実現のために、物性の計測・解析の精度検証・最適なシミュレーションツールの選択を事前に行っている。



富士通ではCAE技術による開発期間の半減に取り組んでいます。実現のため、CAE技術を開発の業務プロセスに組み込み、トラブルの事前回避、試作レス、試行錯誤の撲滅を図っています。組み込みにあたって、電子機器開発に必要なCAD、CAE、CAMの連携を強化した。特に、三次元CAD(3D-CAD、PCAD)を中心に、電気系のECAD/ECAE、機械系のPCAЕ、CAMへの連携です。

三次元CADを用いてコンセプト設計を行い、それを元に回路のノイズ、電磁波の放射(ACCFIELD:当社開発アプリ)のシミュレーションを行います。また、熱流体(冷却設計)、衝撃・振動(構造設計)、伝送特性(部品設計)、樹脂流動(製造検証)のシミュレーションを行います。

FJVPS(当社開発アプリ)は、三次元CADと連携し、開発の節目で行われるデザインレビュー(DR)で効果を発揮しています。



富士通では3次元CAD (ICAD/MX、UNIGRAPHICS)と物理シミュレーション (CAE技術)、バーチャルシミュレーションを統合して活用しています。物理シミュレーションには構造応力、熱流体、衝撃、振動/騒音の機械系と金属/樹脂流動、疲労/凝固のプロセス系と電磁場、電磁/伝送特性の電気系があります。また、操作/組立/動作干渉、LCA/分解性、機構ファーム制御のバーチャル系があります。

機械系、プロセス系、電気系シミュレーションには市販のソルバーを主に利用しており、一部は自社で開発しています。バーチャル系にはFJVP Sを用いています。FJVP Sの機能には、操作性検証のためのデジタルモックアップ (DMU)、環境ためのエコデザイン (EcoDesign)、製造性設計のためのDFM (Design for Manufacturing)、機構ファーム制御のためのHILがあります。

統合は、直接変換インターフェイス、IGES/STEP、STLインターフェイスを用いて、実現しています。

コンピュータ製品開発の解析事例

- | | |
|---------|-----------------|
| 1 電磁解析 | プリント板・ノートPC |
| 2 熱流体解析 | ノートPC・冷却ファン・サーバ |
| 3 衝撃解析 | 携帯電話 |
| 4 粉体解析 | プリンタ |
| 5 振動解析 | ディスク |

All Rights Reserved, Copyright © FUJITSU LIMITED 2001

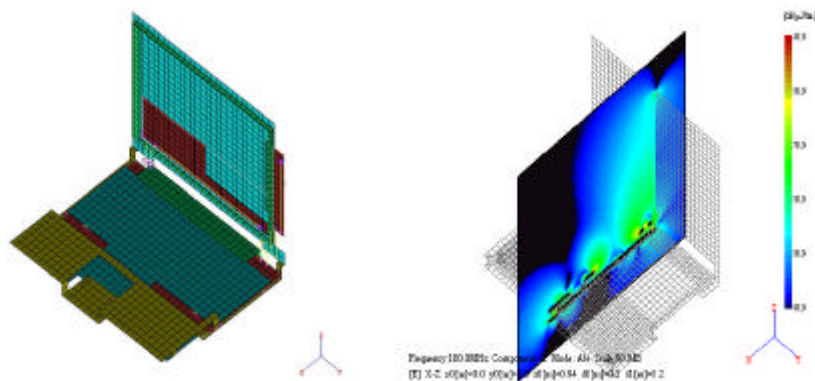
電子機器の開発で利用している解析は電磁気解析、熱流体解析、衝撃解析、粉体解析、振動解析などです。富士通で開発している電子機器にはグローバルサーバ、サーバ、パソコン、磁気ディスク、プリンタ、携帯電話など数多くあります。

それぞれの解析は各種装置の開発に使われておりますが、その中で、最も多く使われている電子機器への適用事例を紹介します。

- 電磁気解析では、プリント板やノートPCに適用した事例
- 熱流体解析では、ノートPCや冷却ファンやサーバに適用した事例
- 衝撃解析では、携帯電話に適用した事例
- 粉体解析では、プリンタに適用した事例
- 振動解析では、磁気ディスクに適用した事例 です。

ノートPC電磁解析

ACCUFIELD モーメント法 機器全体の電磁波解析を実現



金属部をモデル化

クロックパターンからの電波放射が問題

基板-筐体接続強化、筐体シールド強化

All Rights Reserved, Copyright © FUJITSU LIMITED 2001

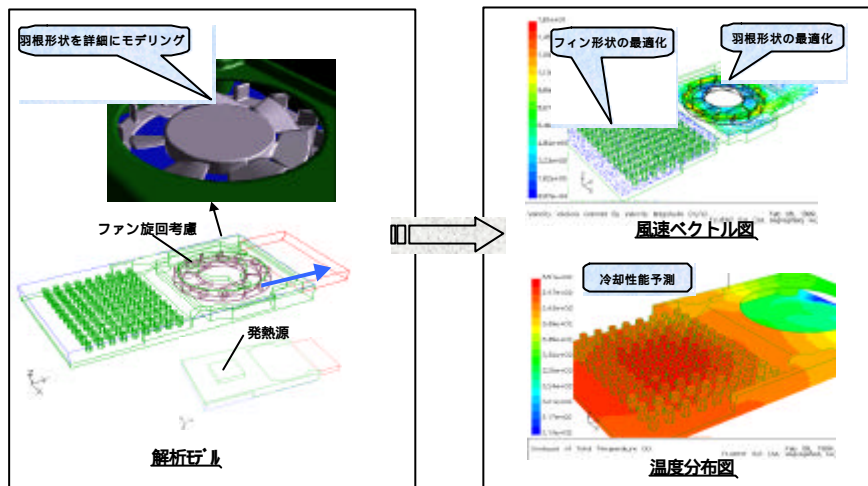
これはノートPCから放射される電波のシミュレーションです。当社開発のモーメント法を用いたソルバACCUFIELDを用い、機器全体をシミュレーションしました。

シミュレーションのため、電流の流れる金属部（筐体、プリント基板、液晶ディスプレイ）をモデル化します。右の電波放射の強度分布を見ますとデジタル回路を同期化するための、クロックを伝送するプリント基板の配線パターンが放射源だとわかります。放射電波を減らすため、筐体とプリント基板との電気接続の強化、筐体シールドの強化を行いました。

ファンユニットの熱流体解析

ファン旋回流を考慮した解析により、下記の設計課題を分析し**設計提案**します。

- ・CPU許容温度を満足するファンユニットの開発
- ・羽根形状最適化による高性能（大風量）化
- ・フィン形状最適化による高冷却性能化



All Rights Reserved, Copyright © FUJITSU LIMITED 2001

これはノートPCのCPU冷却に使われるファン付きヒートシンクの熱流体シミュレーションです。多数のピンからなるヒートシンクは発熱源のCPUに取り付けられます。格子状に並んだピン（ピンフィン）の間を、空気がファンにより引っ張られ、冷却が行われます。

羽根の形状による空気の流れ、つまり旋回流をシミュレーションすることで、限られたファン寸法におけるファン性能の最大化を実現しています。またフィン形状、フィン個数、フィン配置を変化させ、空気抵抗、冷却性能のシミュレーションを行い、ヒートシンク形状の最適化も行っています。

ノートPCに使われるCPUの発熱量はますます増大していますが、シミュレーションを用い、冷却用ファン付きヒートシンクを開発して対応しています。

携帯電話機解析モデル(衝撃解析他)

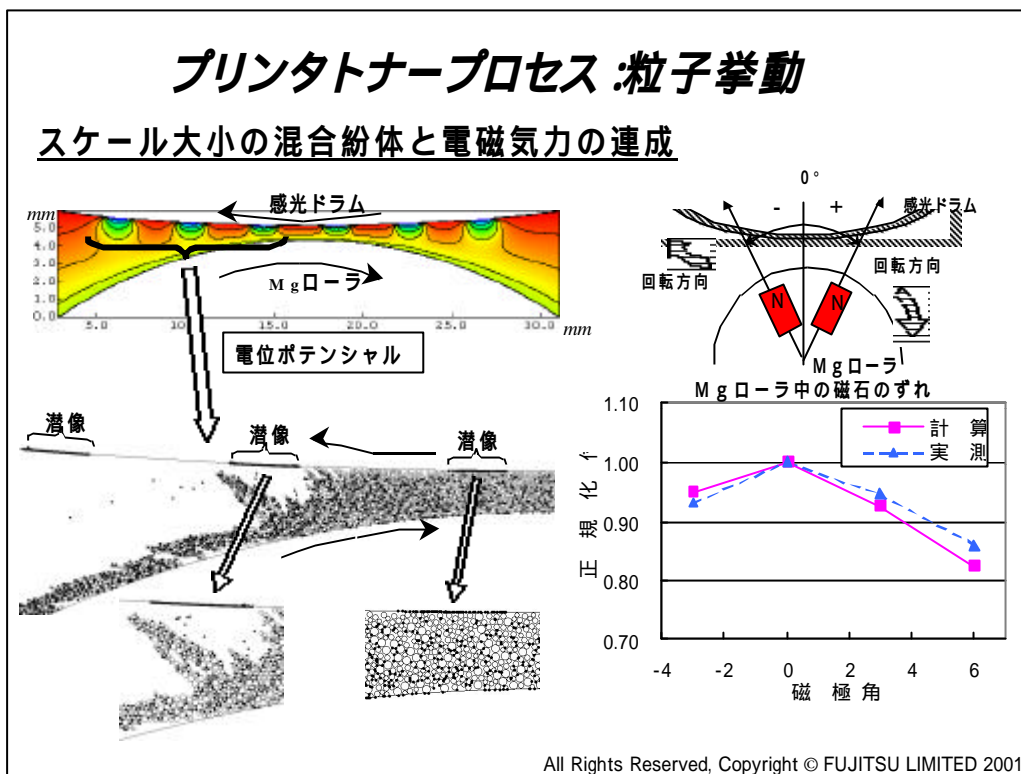


All Rights Reserved, Copyright © FUJITSU LIMITED 2001

これは携帯電話全体のシミュレーションモデルです。携帯して使われるため、落下させる機会も多く、耐衝撃性を非常に要求される機器です。

新たに2つ折りの携帯電話が普及しており、ジョイントの強度設計が重要になっています。2つ折りを振り開きする利用者もあり、強固なジョイントの設計が必須です。また携帯電話はポケットに入れて持ち運びされることも多く、ケースが擦じられたり、曲げられたりします。そのようにケースに力が加わり、ケースが変形した時でも、電極のクリアランスを取る必要があります。これら設計のため、構造シミュレーションを使っています。

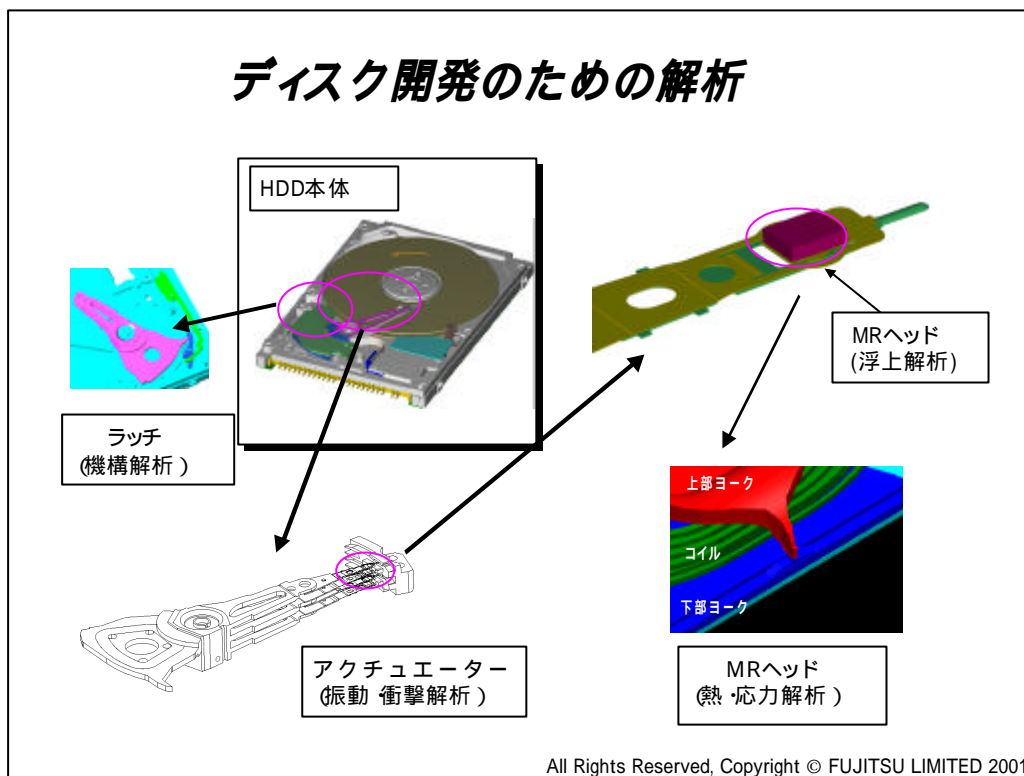
携帯電話は歩きながら使われることも多く、ノートPCと比べ高いところから落下することが多い。そのため地面に衝突した時、非常に大きな衝撃がケースに加わります。この衝撃を緩衝し、液晶表示が壊れないような構造を設計するため、衝撃シミュレーションを行います。また衝撃は内部に伝わり実装されているプリント基板を大きく変形し、LSIパッケージとプリント基板の半田接合に大きな歪みを発生させます。この衝撃によるプリント基板の変形で、半田接合が破壊しないように、衝撃シミュレーションを用い、実装設計を行います。



これはプリンタの現像シミュレーションです。プリンタの機能は感光ドラムの上への印刷像の形成、磁気ローラ (Mgローラ) による現像、用紙上への転写からなっております。まず、右回りに回転している感光ドラムに、レーザー照射で電位ポテンシャルの印刷像 (潜像) を形成する。その像の上を右回りに回転する磁気ローラで運ばれてきた磁気ブラシで現像する、この磁気ブラシには電荷を持ったトナーが付着しており、それが電位ポテンシャルに引き寄せられ現像されます。

磁気ブラシは磁気を帯びた鉄のキャリア (大きい粒子) からできており、磁石で砂鉄を付けたときの現象と同じで、図のように尖った形が磁気ローラ上にできます。磁気ブラシに付着していた有機材料でできたトナー (小さい粒子) が潜像に向かって飛んでいるのが分かります。

トナーの現像効率は磁気ローラ内にある永久磁石と感光ドラムの角度により変化し、最適な条件を見つけるには現場で数多くの実験を必要とします。短期間で最適な条件を出すため、プログラムを開発しシミュレーションを行いました。角度をパラメータにトナーの付着量を計算し、実験での付着量との比較をグラフにしました。計算と実験で最適な角度が完全に一致しており、最適な設計ができていることが確認されました。



ここに磁気ディスク開発で利用されているシミュレーションの例を示します。磁気ディスク(HDD)装置はデータを記録するディスクとデータの読み書き用アクチュエータからなっています。

アクチュエータの先端にはディスク上へデータを読み書きするためのMR(磁気抵抗)ヘッドが付いています。アクチュエータはボイスコイルモータにより制御され、ヘッドはディスク上のデータ読み書き位置へ移動されます。アクチュエータを振動なく高速に移動するため、アクチュエータの固有値計算が行われます。また、持ち運び可能なノートPCに使われる磁気ディスクでは、耐衝撃強度が要求されるため、衝撃シミュレーションが行われます。

アクチュエータの根元には、非動作時にアクチュエータを固定するためのラッチがあり、機構シミュレーションが使われます。また先端のヘッドはディスク上を極低空で滑空しており、姿勢を保つための浮上シミュレーションが行われます。

またMRヘッドは電流をコイルに流し、発生した磁界を使いデータを読み取ります。電流により熱が発生しヘッドの温度が上昇し、ヘッドには熱応力が発生します。熱応力によりヘッドが寿命低下しないようシミュレーションを使っています。

COSS- マルチフィジクス (複合物理現象) 解析-

(Component Object Simulation System)

市販解析ソフトでは不可能な連成解析を実現

< 開発済み機能と適用事例 >

- ・電磁場/熱伝導連成 :MRヘッド磁気特性解析
MRヘッド磁性薄膜形成解析
- ・電場/流体連成 :LSI配線メッキ
プリント基板VIAエッチング

電場
磁場
熱伝導
流体
etc

連成解析システム
COSS

ソリッドモデラー
(開発中)

メッシュ生成
(開発中)

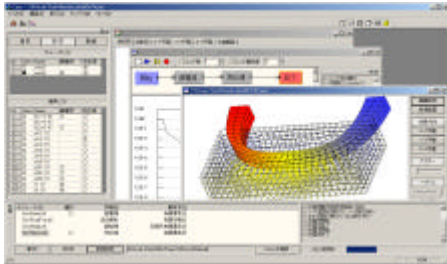
解析条件設定

連成解析制御

結果可視化

< 効果 >

GMRヘッド電磁特性評価	
試作評価	COSSで解析評価
2ヶ月	4H



All Rights Reserved, Copyright © FUJITSU LIMITED 2001

シミュレーションを更に役立てるため、富士通ではマルチフィジクス (COSS) と最適設計 (CAOS) のシステム開発に取り組んでいます。市販のソフトでは不可能なマルチフィジクス (複合物理現象) のシミュレーションをCOSSで実行します。

このCOSSは現在開発中のソリッドモデラー、メッシュ生成と条件設定、連成解析制御、結果可視化のプログラムからなるシステムです。電場、磁場、熱伝導、流体を連成解析できます。

電磁場/熱伝導連成はMRヘッド磁気特性解析、MRヘッド磁性薄膜形成解析に、電場/流体連成はLSI配線メッキ解析、プリント基板VIAエッチングに利用しました。

GMR (Giant MR) ヘッドの電磁特性評価において、実際にGMRを試作し評価すると2ヶ月要するところ、COSSを用い4時間で評価することができました。

CAOS最適設計支援ツール

(Computer Aided Optimization System)

バーチャル実験室 (実験計画法)最適化と開発期間短縮

< 適用事例 >

- ・FAN形状最適設計 :ファン流量の最大化

< 効果 >

- ・FAN形状最適化事例 27ケース-> 9ケース
- 全ケースを一括並列計算し、最適解を表示
- 開発期間 1/10

最適化システム
CAOS

実験計画法

↓


解析ソルバ
インタフェース

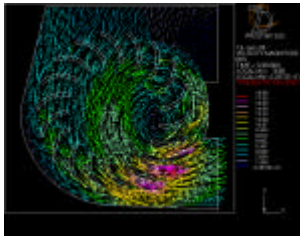
↓

解析実行制御

↓

数理計画法
(高次曲線による
最適化計算)





流速分布



流量とファン寸法の関係

All Rights Reserved, Copyright © FUJITSU LIMITED 2001

CAOS最適設計支援ツールは実験計画法を用いて、開発期間の短縮を図るソフトです。解析パラメータを設定のための実験計画法プログラム、解析ソルバーインタフェース、解析実行制御、高次曲線により最適値を求めるための数理計画法のプログラムからなるシステムです。

ファン流量の最大化を行なうため、ファン形状の最適化にCAOSを用いた例を示します。ファンの回転数は固定し、ファンの内径、ファン・ケース偏心量、ファン・ケース間隙をパラメータにしました。各パラメータを3水準取ると合計27ケースを解析する必要がありますが、実験計画法を用いることにより9ケースを解析すれば十分です。この9ケースを並列に計算し、最適なファンを1/10の期間で開発できました。

真ん中の流速分布に示されるように、最適形状では淀みと逆流のない、綺麗な流れになっています。また流量とファン寸法の関係に示されるように、流量がピークのパラメータ値が存在し、最適な形状を求めることができました。

現状

<u>分野</u>	<u>アプリ</u>	<u>規模</u>	<u>時間</u>	<u>マシン</u>
電磁波解析	ACCUFIELD	5100元	1時間	GP7000/8並列
熱流体解析	FLOTHERM	70万要素	8時間	Celsius600
衝撃解析	LS/DYNA	1万要素	2時間	GP400
	ABAQUS-EX	1万要素	16時間	VPP300
疲労寿命解析	ABAQUS-ST	2万要素	72時間	Celsius400
粉体解析	自主開発	1.5万粒子	25時間	VPP300



モデル簡略化により短時間で実施

All Rights Reserved, Copyright © FUJITSU LIMITED 2001

解析の分野別に、現在のモデル規模と計算時間をまとめた表を示します。ノートPCの電磁波解析では5100円で1時間、ノートPCの熱流体解析では70万要素で8時間、携帯電話の衝撃解析では1万要素で8時間、磁気ディスクの衝撃解析では1万要素で16時間、BGAの熱疲労解析では2万要素で72時間です。またプリンタの粉体解析では1万5千粒子で25時間かかります。異なる計算機による計算時間ですので、その時間の比較は意味ありませんが、実際に使われている長時間計算の例だと見て下さい。

シミュレーションを開発期間短縮に使うには、計算時間を短くし、結果を迅速に得る必要があります。高速な計算機の利用を行っていますが、特に時間のかかるシミュレーションにおいては、モデルを簡略化し、計算時間が短くなるように運用しています。

将来 長時間ジョブ

<u>分野</u>	<u>アプリ</u>	<u>規模</u>	<u>時間</u>	<u>マシン</u>
衝撃解析	LS/DYNA	10万要素	336時間	GP400
	ABAQUS-EX	5万要素	168時間	VPP300
疲労寿命解析	ABAQUS-ST	5万要素	288時間	Celsius400



設計シミュレーションには
TAT 12時間以内が必須

All Rights Reserved, Copyright © FUJITSU LIMITED 2001

現在、携帯電話 磁気ディスクの衝撃解析では高精度化が求められており 将来、メッシュサイズを更に細かくする必要があります。また現在、BGAの微細化も続いており 将来、端子数が更に増加すると考えられます。

現在の計算機の使用をこのまま続けると、すぐ、携帯電話の衝撃解析では10万要素で336時間、磁気ディスクの衝撃解析では5万要素で168時間になることが予想されます。またBGAの熱疲労寿命解析では、端子増加により5万要素で288時間になることが予想されます。

しかしながら、シミュレーションを設計に活用するには、TAT (Turn Around Time)は半日の12時間が限度であり、クロックの速い、並列処理可能な計算機の導入が必須です。

まとめ

CAE技術

各種製品の開発にHPCを駆使

・開発期間短縮

・最適設計

HPC設計に活用

次期マシン

クロックアップ、並列化による性能向上

All Rights Reserved, Copyright © FUJITSU LIMITED 2001

高性能計算技術 (HPC) を使い、パソコン、磁気ディスク、プリンタ、携帯電話などの解析を実施し、製品の開発期間短縮と最適設計を実現しました。当然ながら、HPCマシンの開発でも、解析を実施し、効果をあげています。

次期HPCマシンはクロックアップによる高速化、並列処理機能の充実により、性能向上されます。我々はこのマシンを使い、CAE技術を更に発展させ、新たな製品の開発に役立てていきたいと考えています。