

# シミュレーションの活用による携帯電話 端末のTTMの短縮

## Reducing TTM Development of Mobile Phones through Practical Simulation

あらまし

いつでも、どこでも、だれとでもコミュニケーションできる「ユビキタスネットワーク社会」は、PCや携帯電話端末、無線LAN、ICカード、セキュリティ技術など様々な技術開発の進展により着実に実現しつつある。一方、このユビキタスネットワーク社会で使用されるPCや携帯電話端末市場は成熟化が進み、今後の市場成長率はほぼ横ばいとなることが予測され、メーカー間の競争は一層激化する。このような市場環境の中で競争優位を確保するためには、デザインや機能を差別化するとともに、QCD { Quality (品質), Cost (コスト), Delivery (納期) } の作り込みによって製品開発サイクルを短縮し、タイムリにお客様の期待する価値や品質を提供していくことが非常に重要である。富士通は、シミュレーションを活用した科学的な開発アプローチ手法を導入し、開発上流の品質作り込みによるTTM (Time To Market) の短縮に取り組んできた。

本稿では、携帯電話端末の開発を例に、シミュレーションの活用例を紹介する。

### Abstract

Today's ubiquitous network society in which communication is possible anytime, anywhere, and with anyone is now witnessing wide-ranging technological development in the fields of PCs, mobile phone terminals, wireless LAN, IC cards, and security. Conversely, some of these markets, for example, PCs and mobile phone terminals, have matured and future growth is expected to be marginal at best, coupled with intensified competition among makers. To secure a dominant competitive position in such a market environment, Fujitsu must satisfy customer expectations in terms of demand by discriminating the design and functions of products, while shortening product development cycles through QCD (Quality, Cost, and Delivery) activities. Fujitsu has introduced a scientific approach to a development technique that utilizes simulation and taken efforts to reduce TTM (Time To Market) through upstream development targeting quality construction. This paper introduces an example of practical simulation to develop mobile phone terminals.



岩淵 敦(いわぶち あつし)  
モバイルフォン事業部第四技術部  
所属  
現在、携帯電話端末の装置開発、基  
板実装設計、シミュレーション技術  
開発に従事。



山岡伸嘉(やまおか のぶよし)  
開発革新センター物理シミュレ  
ーション技術グループ 所属  
現在、装置・ユニット実装、プロセ  
ス開発を支える物理シミュレー  
ション技術開発と製品設計適用推進に  
従事。



山口慎哉(やまぐち しんや)  
回路技術統括センター回路シミュ  
レーション技術グループ 所属  
現在、携帯電話の静電気やアンテ  
ナシミュレーションによる設計ソ  
リューション技術の開発に従事。

## ま え が き

情報をネットワークから自由に入手し、いつでも、どこでも、だれとでもコミュニケーションできる「ユビキタスネットワーク社会」は、PCや携帯電話端末、無線LAN、ICカード、セキュリティ技術などの進展により着実に実現しつつある。

一方、PCや携帯電話端末市場は市場成熟化が進み、代替需要を中心とした市場構造になりつつある。日本国内の2008年の需要予測は、PCが約1,110万台、携帯電話端末が約4,450万台であり、今後の市場成長率はほぼ横ばいとなる見込みである。

また、携帯電話端末は2005年には第3世代携帯電話(3G)需要が第2世代携帯電話(2G)需要を追い抜き、海外メーカの市場参入も加速するため、携帯電話端末メーカ間の競争はますます激化すると予測される<sup>(1)</sup>。

このような市場環境の中で競争優位を確保するためには、デザインや機能の差別化、お客様の期待する価値や品質の提供とともに、QCD { Quality (品質), Cost (コスト), Delivery (納期) } の作り込みによって製品開発サイクルを短縮し、タイムリにお客様の期待する価値や品質を提供していくことが非常に重要である。

富士通は、シミュレーションを活用した科学的な開発アプローチ手法を導入し、開発上流での品質の作り込みによるTTM (Time To Market) の短縮に取り組んできた。

本稿では、携帯電話端末開発を例に、TTMを短縮する開発への取り組みを紹介する。

## TTMを短縮する開発への取り組みの概要

シミュレーションを活用したTTMを短縮する開発への取り組みは2003年からスタートしたが、2004年に電気設計統合CADシステムEMAGINE<sup>(2)</sup>を携帯電話端末開発に導入し本格的な活動を開始した。

EMAGINEでは、これまでスタンドアロンで動作していた各種解析ツール群と回路情報や実装情報とのデータ連携機能を持つことにより、複雑な実機環境を解析ツール上で比較的簡単に作り込むことができるようになった。

これを機に、携帯電話開発において常に課題となるアンテナ、静電気、堅ろう性について解析WGを立上げ、以下のような活動を展開してきた。

### (1) アンテナ解析WG

2003年から電磁界解析ツールACCUFIELD<sup>(3)</sup>を使用してアンテナ単体のスペクトラムや放射パターンなどの解析を開始した。

さらに、EMAGINEとの連携により実機を模擬したモデルを作り込み、装置内に実装される各種部品の影響、基板パターンやアースの影響、装置内で発生するEMI (Electro Magnetic Interference: 電磁妨害) 影響の解析やシールド効果の予測分析など、幅広い応用技術を確認してきた。

### (2) 静電気対策WG

ACCUFIELDを活用し、静電気の放電ルートの解明や雑音発生メカニズムを解析してきた。これらの成果は、構想設計段階における構造検討やアース設計、部品配置や基板設計にフィードバックされ、静電気耐力の向上に寄与している。

### (3) 堅ろう性改善WG

LCD (Liquid Crystal Display) の圧迫耐力や落下衝撃耐力の向上のために、筐体や基板のたわみ解析を実施し、最近では、動解析も併用して筐体の解析手法を確立し、部品点数の削減や金型の納期確保に成果をあげている。

次章以降、それぞれの取り組みを代表的な事例を挙げながら解説する。

## アンテナシミュレーション

本章では、携帯電話におけるアンテナの性能向上を目指したシミュレーション事例を紹介する。

携帯電話のアンテナは広帯域性を要求されること、実装される筐体が小さく安定したグラウンドプレーン<sup>(注1)</sup>が得られにくいこと、電磁界結合しやすい電子回路やフレキシブル基板(以下、フレキ)・コネクタ類など同居することなどから、要求される利得や理想的な放射パターンが得られにくい。

とくに3G方式になって、広帯域化とともに筐体内蔵型のアンテナが主流となり、複雑な電磁界解析が必須となっている。そこで、3G端末開発が本格化した2003年から解析手法にモーメント法<sup>(注2)</sup>を採用

(注1) 電気素子を接地するために、プリント板上に設けられた広面積のアースパターン。

(注2) 電磁界解析において、電界分布や電流分布は微分方程式、または、積分方程式で定式化される。モーメント法とは、解析領域を要素に分割し、積分方程式を離散化して数値解析する手法である。

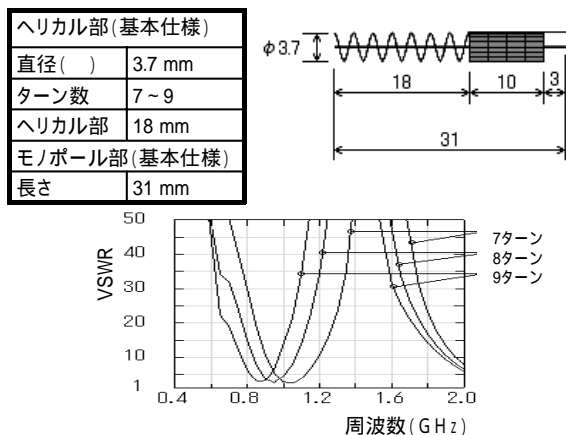


図-1 ヘリカルアンテナの特性シミュレーション  
Fig.1-Characteristic simulation of helical antenna.

用した電磁界解析ツールACCUFIELDを導入し、科学的な解析の推進と開発の効率化を図ってきた。

ACCUFIELDを活用したヘリカルアンテナの特性、共振によるアンテナ電流対策、VSWR<sup>(注3)</sup>特性と放射パターンへの影響、基板間フレキの共振対策、およびシールド効果のそれぞれのシミュレーション事例を以下に示す。

## (1) ヘリカルアンテナの特性シミュレーション

ヘリカルアンテナのシミュレーション結果を図-1に示す。ターン数を変化させたときのVSWR特性から最適なターン数を決定した。波形短縮率や誘電体モデルの導入で実測値との相関が得られた。

## (2) 共振によるアンテナ電流対策のシミュレーション

アンテナ特性は、アンテナを装置に実装したときの条件によっては、大きな変化を生じる。基板の側面に実装されたフレキに、共振によるアンテナ電流が流れる様子をシミュレーションしたものを図-2に示す。フレキ裏面のアースを基板アースに接続することで、このアンテナ電流の対策ができることを、シミュレーションで明らかにした。

## (3) VSWRと放射パターン影響のシミュレーション

このときのVSWRと放射パターンへの影響をシ

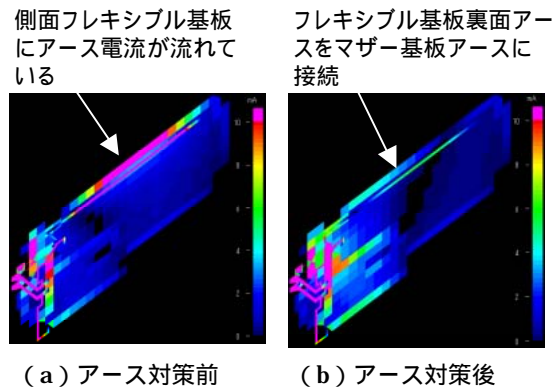


図-2 基板側面のフレキシブル基板影響  
Fig.2-Flexible substrate influence in substrate side.

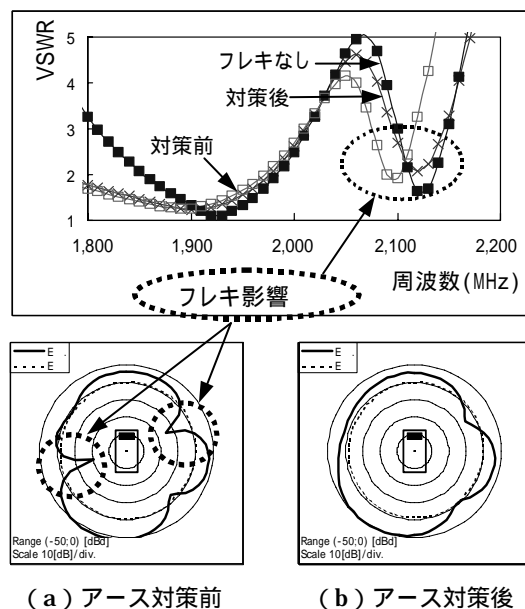


図-3 フレキシブル基板影響 (VSWRと指向性)  
Fig.3-VSWR and directivity.

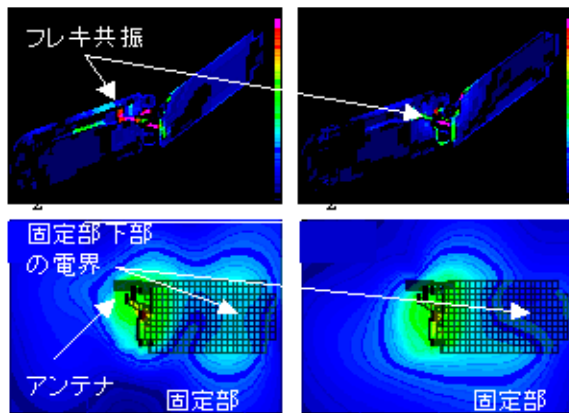
ミュレーションしたものを図-3に示す。共振電流の影響で周波数が低域側にシフトし、放射パターンにNULLポイントが発生するが、フレキ裏面アースを基板アースに接続すると影響を排除できることが分かる。

## (4) 基板間フレキの共振対策のシミュレーション

図-4は固定部と可動部をつなぐフレキの共振によって、装置を持つときに手で握る固定部下方に放射電界が集まり、人体影響が顕著にでる問題を解析した結果である。

対策後は、共振が弱まることによってアンテナに電界が集中し、固定部下部の電界分布が改善されて

(注3) Voltage Standing Wave Ratio (電圧定在波比) の略。アンテナの整合が取れていないと無線機から送り出された電波の全部が放射されずに、一部が戻ってくる。放射分と戻り分の数値比率で、HF帯では2.0以下、VHF帯以上では1.5以下で使用すれば実用上問題ないといわれている。



(a) 対策前 (b) 対策後  
図-4 フレキシブル基板の共振による人体影響  
Fig.4-Distribution of electric field.

いることが分かる。

#### (5) シールド効果のシミュレーション

ACCUFIELDは、シールド設計にも応用されている。携帯電話では、アンテナの間近にEMI放射源（ロジック回路、LCD、カメラなど）が配置されており、アンテナとの電磁界結合により雑音干渉が起きる。このため、放射源に対する適切なシールド設計が重要となる。

シールド効果のシミュレーション例を図-5に示す。アース接点改良後は、基板から放射される電界がシールドによって弱まっていることが分かる。

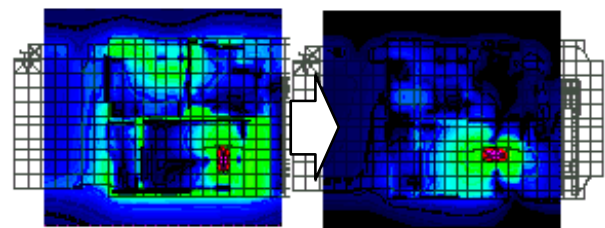
このようにACCUFIELDを活用することにより、アンテナ単体の特性シミュレーションだけでなく、装置内の構造物や電気回路などの影響を開発初期段階で予測することが可能になり、後工程でのトラブルを未然に防止できる。これにより、対策部品の削減やTTMを短縮する開発が可能となった。

#### 静電気シミュレーション

本章では、携帯電話端末における静電気の品質向上を目指したシミュレーション事例を紹介する。

従来、静電気の評価は、過去の経験やノウハウに基づき対策と試験を繰り返していた。静電気の放電現象（ESD：Electro Static Discharge）は目で追うことが難しく、場当たり的な対策になりやすい。そのため、対策のばらつきが大きい、試験での再現性が低いなどの問題があった。

そこで、富士通はこれらの問題を解決するため、電磁界シミュレータを応用したESDの可視化技術、



(a) アース接点改良前 (b) アース接点改良後

図-5 シールド効果の検証  
Fig.5-Verification of shield effect.

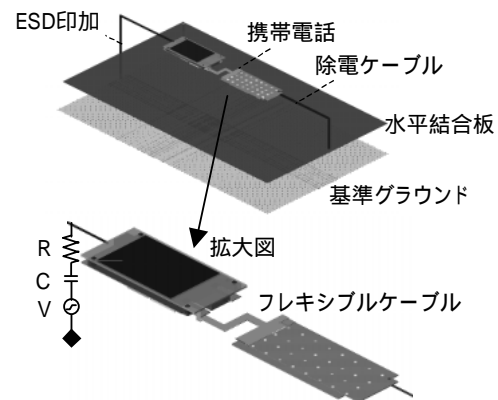


図-6 携帯電話端末のシミュレーションモデル  
Fig.6-Simulation model of mobile phone.

および対策の定量化技術を開発した。電磁界シミュレータには、富士通製Poynting<sup>(4)</sup>（FDTD法<sup>(注4)</sup>により、ESDの過渡特性を表現することが可能）を使用した。

携帯電話端末のシミュレーションモデルとそのモデルに基づく静電気シミュレーションについて、以下に示す。

#### (1) 携帯電話端末のシミュレーションモデル

携帯電話端末のシミュレーションモデルを図-6に示す。携帯電話端末の基板、フレキなどをモデル化

(注4) Finite-Difference Time-Domain Methodの略。電磁波の挙動を計算する手法の一種で、Maxwell方程式を時間と空間について差分法で解く手法で、過渡解あるいは周波数応答を直接求めることができる。アンテナの解析法にはモーメント法や有限要素法などがあるが、FDTD法はアルゴリズムが簡単であること、優れた精度を持つこと、複雑な物質の解析や材料定数の異なる物質の解析にも適していることなどが知られている。とくに誘電体の解析でも誘電率やタイムステップ数などの定数を変えるだけでよく、比較的簡単に解析ができる。アンテナの解析法としては解析時間がかかるという欠点を持つが、計算機の進化に伴って近年かなり注目されている方法である<sup>(5)・(7)</sup>

し、基準グランドや水平結合板などの試験環境を設定後、ESD波源を作成し、任意の位置へ印加する。

## (2) 静電気シミュレーション

静電気シミュレーションでは、ESDの印加時点からこれにより発生したノイズ電流が装置内部をどのように流れるか、また、LSIのピンに発生するノイズ電圧などを求めることができる。

### ・ESDによるノイズ電流の可視化

ESDによるノイズ電流を可視化したものを図-7に示す。対策前〔図-7(a)〕は基板に様の電流が流れているが、対策（基板上のグラウンドを分離）後〔図-7(b)〕は、誘導路が形成され、基板に流れる電流が減少していることが分かる。

ESDの可視化により、静電気の伝搬経路を正確に把握した上で、影響を受けやすいLSIをどこに配置すべきか、LSI回りのシールド構造はどうあるべきか、などを検討することが可能になった。

### ・ESDによるLSIピン発生ノイズ電圧の可視化

ESDによりLSIのピンに発生したノイズ電圧を図-8に示す。対策（フィルタ挿入）により電圧のピーク値が下がっていることが分かる。

対策前後での発生電圧の差分を調べたり、電圧がある閾値以下になるかを確認したりすることで、対策の効果を定量的に求めることが可能になった。

シミュレーション結果は、開発の初期段階に装置へ反映し、後付け対策部品の撲滅、対策工数の削減などに貢献している。このように、開発工程内での

シミュレーションは設計品質の向上に効果的であり、今後はほかの情報機器への適用拡大を推進していく。

## 堅ろう性検証構造シミュレーション

本章では、携帯電話における装置堅ろう性での信頼性向上を目指したシミュレーション事例を紹介する。

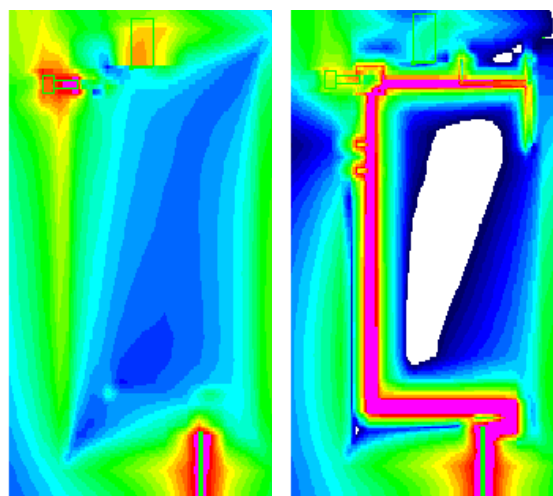
携帯電話の装置開発においては、多機能化、高機能化とともに、小型化、軽量化が要求され市場へのタイムリな製品供給が必須となる。機構技術開発では、試作を最小限に抑えながら堅ろう性に対する信頼性の向上が要求されるため、シミュレーションにおいてはフィールドにおける利用ケースを想定した荷重条件を網羅した実行が必要となる。

装置開発は、商品コンセプト、商品企画、基本設計（構造設計）、詳細設計、試作評価、量産評価という流れを経て出荷に至る。試作工数を抑えた装置開発に向けて、基本設計から詳細設計に至る過程で、設計課題を解決させ後工程での問題発生を抑え、デザインの大まかな指針を決め、詳細設計に結びつけるシミュレーションを実施させなくてはならない。

シミュレーションは、可動部はLCD回りの圧迫時のガラス耐力変形を中心に、基板部応力、カメラなど新規搭載部品への応力を、固定部は、全体の曲げ、キー圧迫、新規搭載部への応力を検証する<sup>(8)・(10)</sup>

また、開閉時の開閉回数保証のため、可動部・固定部を接続するヒンジやフレキの応力寿命検証にも取り組んでいる<sup>(11)</sup>

ユーザ利用時においてはとくに、落下など過渡的外荷重による装置信頼度の確保が求められ、装置の



(a) 対策前

(b) 対策後

図-7 ノイズ電流の可視化  
Fig.7-Visualization of noise current.

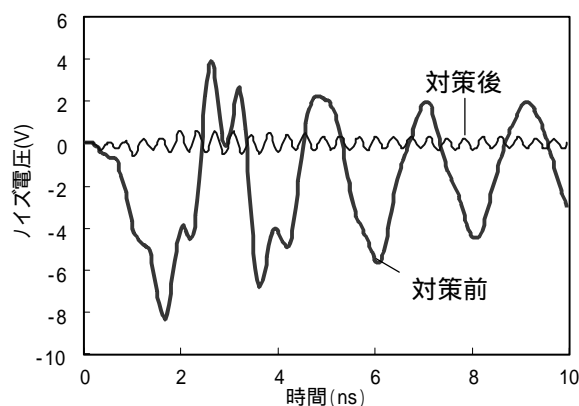


図-8 LSIピンに発生するノイズ電圧  
Fig.8-Noise voltage on LSI pin.

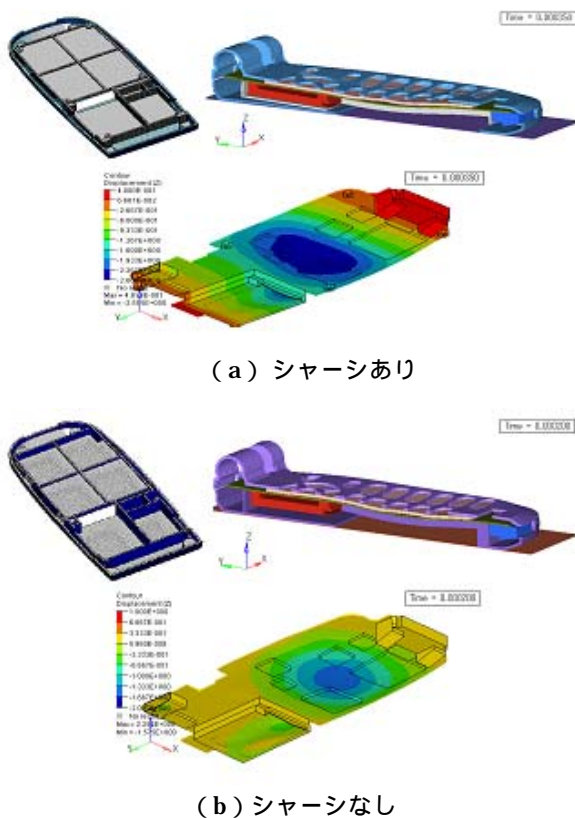


図-9 内部シャーシ有無によるプリント板歪みの比較  
Fig.9-Deformation on printed circuit board compared by frame equipped inner support with support-less.

様々な状態（オープン・クローズ）や落下角度を変えた条件など、複数条件のシミュレーションを同時に実行している。

落下時の衝撃によるプリント板への影響のシミュレーションと搭載部品全体の応力分布の検証・評価について、以下に示す。

## (1) 落下時の衝撃によるプリント板への影響のシミュレーション

携帯電話端末の固定側に内部シャーシをなくした装置開発の初期検討段階において、落下衝撃時におけるプリント板への影響を評価したシミュレーション結果の例を図-9に示す。

本構造検討においては、予想される問題点の早期洗い出しと早期解決によるフロントローディングの実行、高強度の筐体材料の適用を行った。シャーシをなくした構造{図-9(b)}はシャーシありの構造{図-9(a)}と比較し、基板上中央付近の最大変位が約4割低減されていることが分かる。

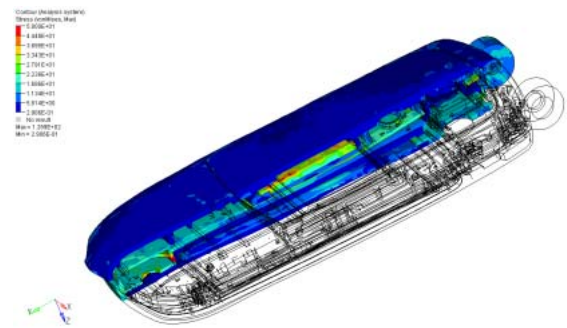


図-10 可動側の落下シミュレーションによる応力分布  
Fig.10-Stress distribution LCD frame at drop shock simulation.

## (2) 落下時の衝撃による搭載部品全体の応力分布の検証・評価

携帯電話端末の可動側の落下衝撃シミュレーションにより搭載部品全体の応力分布を可視化し、搭載部品へのダメージを検証評価した例を図-10に示す。

最大応力値はヒンジ付近のLCDガラスに現れるが、部品の耐力として問題ないと確認される。

詳細設計を完了する前に装置内全体の衝撃外力によるインパクトを見渡し、不具合点に対する対策、設計へと早急にフィードバックしている。

応力シミュレーションツールとしては、静的問題のみならず上記事例に示す動的問題において上記の検証を可能とする実用領域に達してきている。

なお、一層の高精度なシミュレーションの実現に向けて、非線形性の材料物性値を取得することと、実機との精度検証を積み上げることに努めている。

これらのシミュレーションをとおして、LCD圧迫耐力、落下衝撃耐力に着眼した設計手法が確立されてきた。最近の装置開発では、超薄型化を実現する新しい高密度実装構造や、多様化するヒンジ構造を技術的に確立し実用化させることにより、さらに進化するデザインへの要求に応じていくことが課題となっている。

開発機種ごとのシミュレーションをとおし、実機との整合を積み上げることにより、部品点数の削減、内部シャーシのないシンプルな機構構造の確立を図り、工数削減を図ってきた。また、シミュレーションを適用することで試作におけるCut&Tryを少なくし、装置開発期間の短縮を可能とした。

## 活 動 成 果

具体的な開発課題を抱える事業部門と、シミュレーション技術に関して高い専門知識を有する部門とが連携することで、中々定着しなかったシミュレーションによる科学的な開発アプローチがようやく定着化しつつある。開発の初期段階で、理論的な解析をもとにした設計や検証を行うことで、効率的で高品質な商品開発が実現でき、TTMを短縮する開発に結びついている。

また、シミュレーションによる開発が定着化してきた耐静電気設計では、品質の早期安定化により静電気対策にかかわる開発費用が、前年比で数分の一以下となるなど、大幅な費用の圧縮が可能となった。

堅ろう性改善の取り組みでは、開発上流でのシミュレーションを充実させることによって、フロントローディングの比率を高める活動を行ってきた。その結果、出荷初期段階から確実に堅ろう性を高めることができ、対策部品の削減やエンドユーザからのクレーム削減に大きな成果が現れている。

## む す び

本稿では、シミュレーションによる携帯電話端末のTTMを短縮する開発をアンテナ開発、静電気対策、堅ろう性改善の具体的な事例を紹介しながら解説した。

TTMを短縮する開発を実現するために重要なことは、開発計画どおりに着実に開発が進捗することであり、開発途中で想定外の不具合や調査が必要になると、TTMを短縮する開発は実現できなくなる。その意味で、想定される課題や問題を開発上流でつぶすことが非常に重要であり、バーチャルな環境を再現できるシミュレーションは、実機試作の代替手段として非常に有効である。

現状では、試作段階になって表面化した問題の後追い解析がまだかなりの割合を占める状況にある。

今後は、これまでの活動を通じて習得してきた「携帯電話に適した解析手法」に磨きをかけ、開発上流での活用定着化を推進していきたい。

## 参 考 文 献

- (1) 株式会社野村総合研究所 NEWS RELEASE .  
<http://www.nri.co.jp/news/2003/031120.html>
- (2) 山口高男ほか：ものづくり革新を支える統合設計環境．*FUJITSU* , Vol.56 , No.6 , p.573-579 ( 2005 ) .
- (3) ACCUFIELD製品ホームページ .  
<http://salesgroup.fujitsu.com/plm/eda/html/ACCUFIELD.html>
- (4) 汎用3次元電磁波解析ソフトウェア “ Poynting ” 製品ホームページ .  
<http://salesgroup.fujitsu.com/plm/Poynting/>
- (5) 並木武文：電子機器の開発現場における電磁波解析の取り組み：シミュレーション（日本シミュレーション学会誌）, Vol.23 , No.4 , p.48-49 ( 2004 ) .
- (6) K. S. Yee : Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media . *IEEE Trans. AP-14* , p.302-307 ( 1966 ) .
- (7) A. Taflovie : Computational Electrodynamics . MA , Artech House , 1995 .
- (8) 石川重雄ほか：携帯電話開発へのシミュレーションの適用．*FUJITSU* , Vol.51 , No.5 , p.335-340 ( 2000 ) .
- (9) 井門修ほか：携帯電話開発への数値シミュレーションの適用．エレクトロニクス実装学会誌 , Vol.4 , No.5 , p.412-415 ( 2001 ) .
- (10) 井門修ほか：携帯電話開発への数値シミュレーションの適用．エレクトロニクス実装学会 システム実装CAE研究会公開研究会資料 , 2001 , p.18-22 .
- (11) 伊東伸孝ほか：携帯電話カーブフレキシブル基板疲労寿命評価．M&M2003材料力学部門講演会講演論文集 .