

巻頭論文

製品の設計初期段階で品質を作りこむ 設計検証技術



中岡邦夫*

Design and Verification Technologies to Build in Quality in Early Stages of Product Design

Kunio Nakaoka

要旨

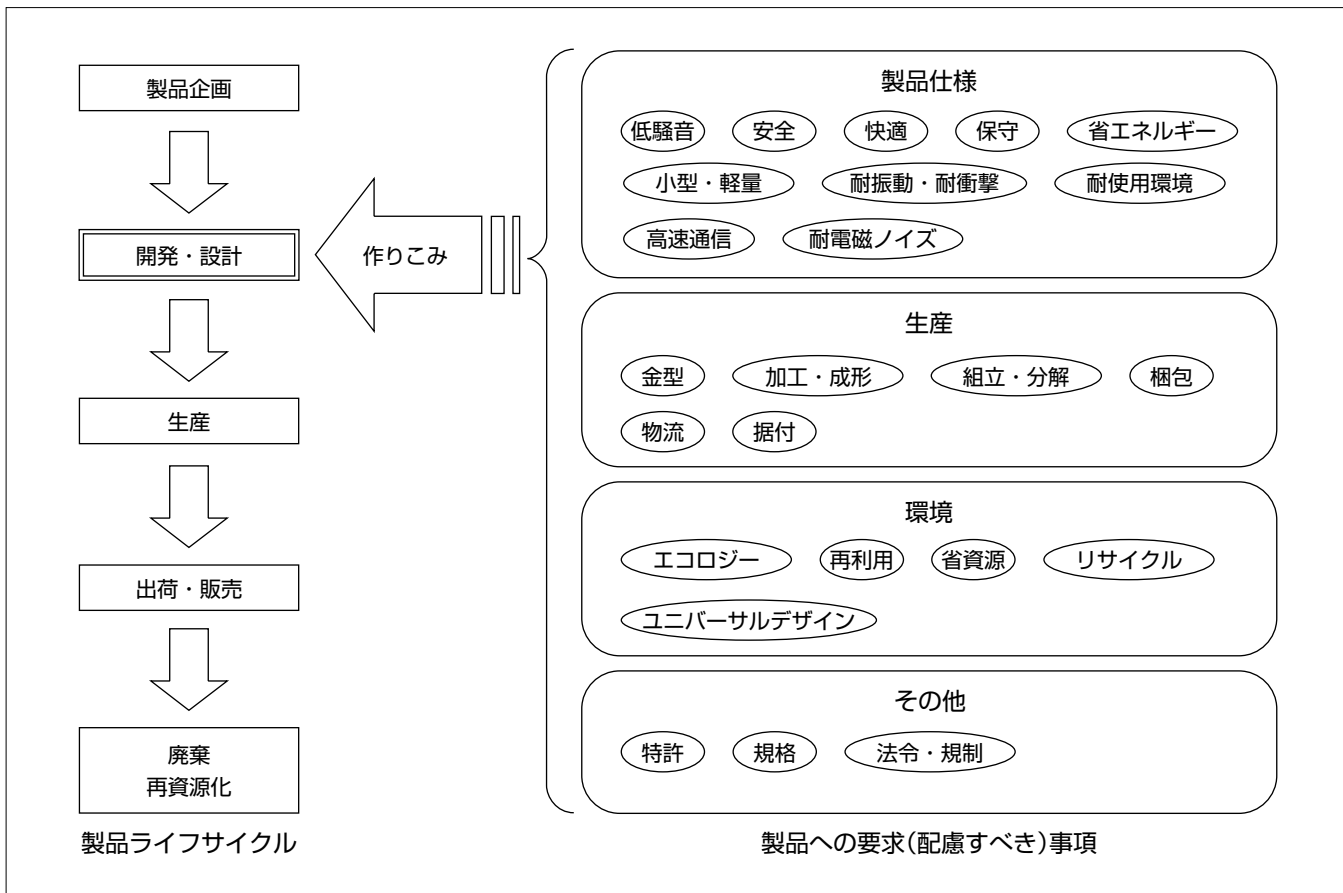
設計システム技術センターは、三菱電機における製品設計の生産性向上と品質向上を目的に、設計システム技術で事業部を牽引(けんいん)する技術者集団として1993年に設立された。設立当初から一貫して当社製品のQCD(Quality: 品質, Cost: 開発コスト, Delivery: 納期)改善を目的に設計業務の革新を推進してきた。設立20周年を迎えるにあたり、設立当初から現在までの設計業務革新の取組みについての変遷と最新設計検証技術について述べる。

製品ライフサイクルの中で最上位に位置する設計部門は、製品開発に必要な情報を作り出す発信源であり、製品コストの大半を決定することから設計の生産性向上と品質向上は極めて重要である。また、電子機器は半導体技術の進歩

によってシステムの大規模化や装置の小型化が目覚ましい進化を遂げており、製品への要求事項が多様化しつつある。

そこで、電子機器の機能・性能を左右する“ソフトウェア”“LSI”“ハードウェア”の3分野における最新設計技術の開発と実用化を行い、事業部の設計現場と一体となり設計プロセスの改善を図ってきた。

設立当初は、IT技術を駆使した“トップダウン協調設計”に取り組み、次のステップとして、機能設計を中心とした設計業務の効率化に取り組み、さらに設計段階で品質を作りこむ“設計フロントローディング型開発プロセス”を推進してきた。近年は、設計フロントローディング型開発で重要な設計検証技術のさらなる高度化に取り組んでいる。



製品への要求事項例

小型・軽量・高性能・高機能化をはじめ、生産面での要求事項、さらには環境負荷低減や各国の法令準拠等、設計段階で配慮すべき事項が多様化しつつある。

1. ま え が き

設計システム技術センターは、当社における製品設計の生産性向上と品質向上を目的に、設計システム技術で事業部を牽引する技術者集団として1993年に設立された。設立当初より一貫して当社製品のQCD改善を目的に設計業務の革新を推進してきた。

時代の変化とともに、設計段階で作りこむ事項は機能・性能だけでなく、環境への影響、各種規制への対応等にまで拡大した。この多様化した要求事項の相互関連性を考慮しながら、設計段階で確実に品質を作りこむためのプロセスを継続的に革新することが当センターの役割である。

設立20周年を迎えるにあたり、本稿では、設立当初から現在までの設計業務革新の取組みについての変遷と最新設計検証技術について述べる。

2. 設計システム技術センターの活動

2.1 トップダウン協調設計の推進⁽¹⁾

設立当初は、IT技術を駆使した“トップダウン協調設計”に取り組み、大規模化、複雑化するシステム設計の設計生産性向上を図った。電子系では、オブジェクト指向組み込みソフトウェア設計やプロセッサのソフトウェア化、大規模システムLSI化、大規模FPGA (Field Programmable Gate Array) 化に取り組んだ。機械系では、製品の三次元CAD (Computer Aided Design) データを用いたデザインレビューやラピッドプロトタイピング、金型設計、組立設計等が実施できる環境を整備した。これらの取組みによっ

て、製品ライフサイクルにかかわる部門間でコンカレントに設計業務が遂行できる環境を整備してきた(図1)。

2.2 設計フロントローディング型開発プロセスの推進⁽²⁾⁽³⁾

半導体の微細化は継続的に進展し、集積度と動作速度が増大し、システムの大規模化が進展してきた。それに伴い、開発の最終段階からの設計の見直しは事業に致命的な影響をもたらすようになってきた。

次のステップとして、機能設計を中心とした設計業務の効率化の取組みから、ソフトウェア開発、LSI開発、ハードウェア開発の設計初期段階で徹底的に機能検証を実施して、品質を作りこむ設計フロントローディング型開発プロセスを推進した(図2)。試験工程や部品加工、組立の後工程への不具合流出を防止し、手戻りの抑制や設計全体の効率化を図った。

ソフトウェア分野では、図式表現の適用によって仕様の見える化を実施し、要求仕様の定義段階でレビュー性を向

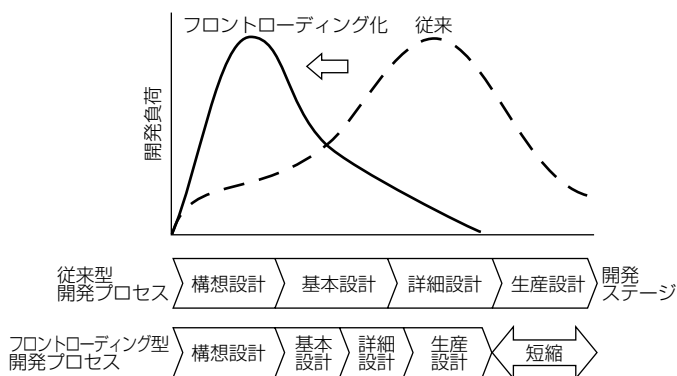
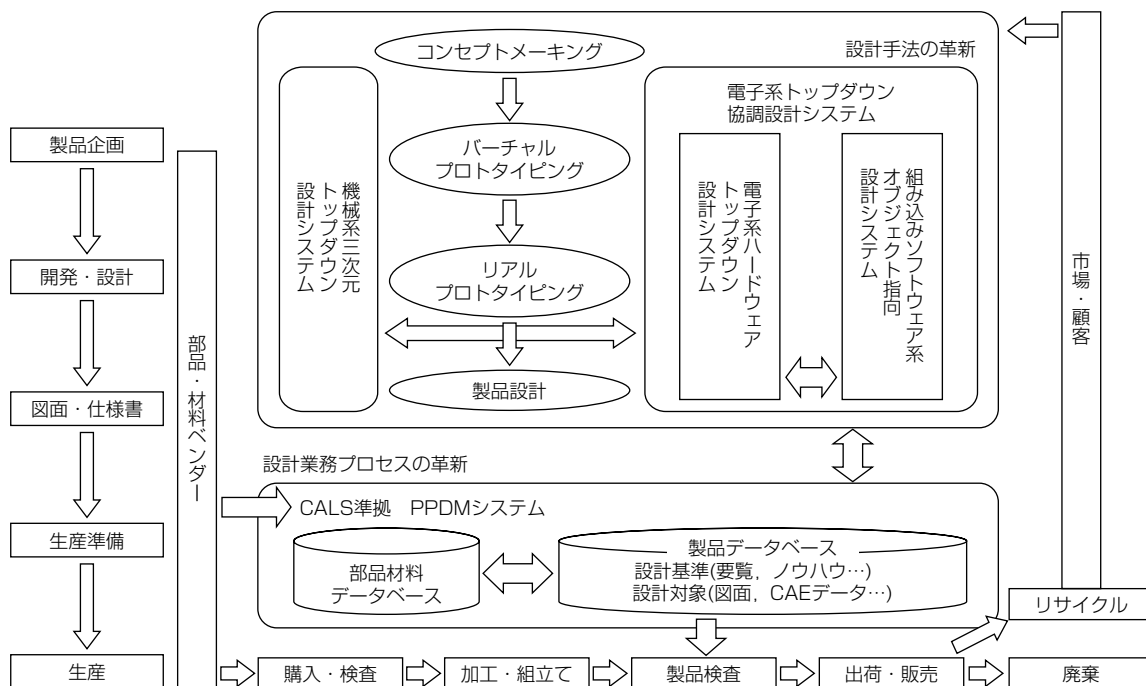


図2. 設計フロントローディング型開発



CALS : Continuous Acquisition and Life-cycle Support, PPDM : Process and Products Data Management

図1. トップダウン協調設計システム

上させた。

LSI分野では、ソフトウェア開発に用いられている図式表現を仕様設計に適用し機能可視化に活用した。また、アサーション検証手法を適用して機能検証漏れを防止した。

ハードウェア分野では、製品全体の三次元CADモデルを用いた配線性や組立性の検証方法の実用化や、大規模解析のモデル化技術の構築による製品丸ごとの冷却検証や構造強度検証を実用化した。

2.3 設計検証技術の高度化

近年、グローバル化、モバイル機器や車載機器の用途拡大に伴う使用環境の多様化、通信量の増大、ソフトウェア量の増大、リサイクルや省資源等の環境配慮、省エネルギー、耐震、国際物流等、設計で検証すべき事項が増大しており、製品に要求される品質は更に厳しくなっている(図3)。このため、設計フロントローディング型開発で重要な設計検証力の更なる高度化に取り組んでいる。

3. ソフトウェア分野の設計検証技術

近年、交通・通信システムに代表される社会インフラシステムから、冷蔵庫やルームエアコン等の家電製品にいたるまで、機能の高度化は著しく、製品のライフサイクルも非常に短くなっている。そのため、従来ハードウェアで実現されていた機能がソフトウェアで実現される傾向が大きくなり、ソフトウェアの重要性がますます高まっている。

このような状況の下、製品に対するユーザー要求にこたえるには、ソフトウェア開発でQCDを適切に計画し達成する必要がある。そのためには、ソフトウェアの開発プロセスの確立と製品開発における設計検証が最重要項目である。

当社では、ソフトウェア開発プロセス確立のためのプロ

セス改善技術と製品の設計検証のためのプロダクト製品改善技術の開発に継続的に取り組んでいる(図4)。

3.1 プロセス改善技術への取り組み

開発プロセス改善技術として、プロセス診断などの“ソフトウェアプロセス基盤技術”とプロジェクト管理などの“ソフトウェア開発管理技術”の開発に取り組んでいる。

(1) ソフトウェアプロセス基盤技術

2006年度まではCMMI(Capability Maturity Model Integration：能力成熟度モデル統合)を基にプロセス改善に取り組んで来たが、2007年度以降はCMMIに加えエンジニアリング分野に重点を置いたAutomotive SPICE^(注1)(Software Process Improvement and Capability dEtermination：SPICE)を基に標準プロセスを整備して、当社の各事業部に展開している。A-SPICEは設計から試験までの全プロセスを規定しているが、この特集号の論文“品質改善のためのプロセス診断技術”では、A-SPICE適用による設計段階のプロセス改善事例を中心に述べる。

(2) ソフトウェア開発管理技術

プロジェクト管理技術、及び計画品質確保のための定量的品質管理技術や計画コスト・開発進捗を監視・制御するための開発管理システム等の技術開発に継続的に取り組んでおり、基本開発は完了した。2011年度以降は定量的品質管理効率化のためのシステム開発を行い、実プロジェクトに適用している。この特集号の論文“定量的品質管理の効率化によるソフトウェア設計品質の向上”では、開発したシステムの概要と設計フェーズに適用した事例について述べる。

(注1) Automotive SPICEは、Verband der Automobilindustrie e.V.の登録商標である。

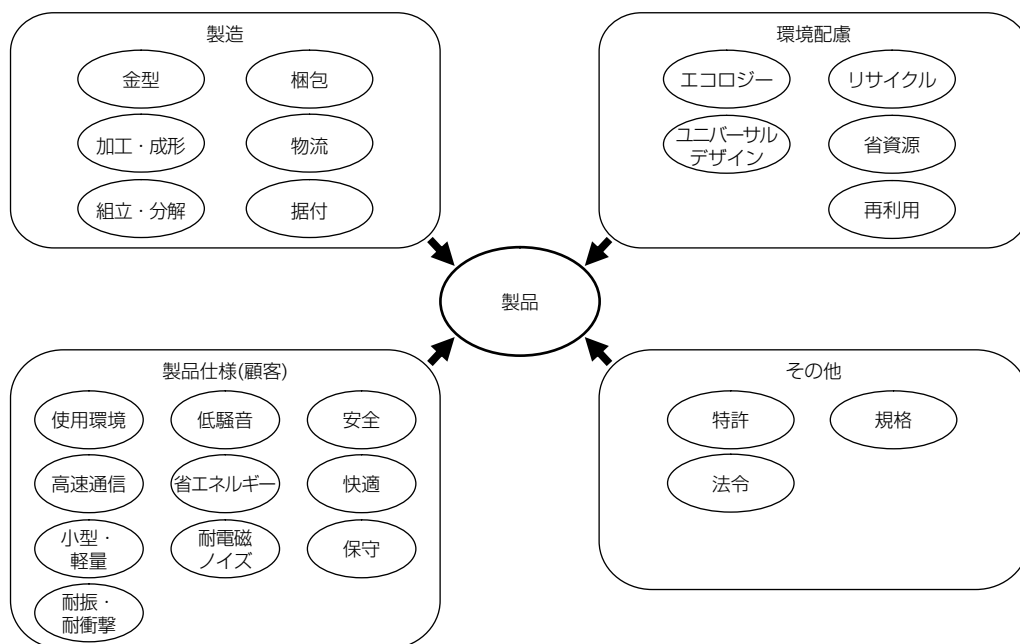


図3. 製品への要求事項

ソフトウェア設計検証技術		2005年度	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	2014年度
プロセス改善技術	ソフトウェアプロセス基盤技術	プロセス診断技術 (CMMI)	国際標準に基づいたソフトウェア開発プロセス診断技術 (Automotive SPICE)						安全設計診断技術 (ISO26262)		
	ソフトウェア開発管理技術		ソフトウェア定量的品質管理技術 (品質工学の導入)					定量的品質管理の効率化技術 (品質分析システム構築)			
			ソフトウェア・プロジェクト管理技術 (開発の見える化)								
			開発管理システム構築技術								
プロダクト(製品)改善技術	ソフトウェア設計技術	ソフトウェア・プロダクトライン技術 (フレームワークによる再利用)		ソフトウェア再生技術 (高品質ソースコード)	ソフトウェア基本構造評価技術	図式表現活用ソフトウェア開発技術 (モデルベース開発技術)					
			設計レビュー技術 (チェックリスト活用)	トレーサビリティ管理技術							
	ソフトウェア試験技術				ソフトウェア試験設計技術 (試験項目の漏れ防止)						
				ソフトウェア試験環境構築技術 (ハードウェア模擬, 通信ネットワーク模擬)							

図4. ソフトウェア設計検証技術のロードマップ

3.2 プロダクト(製品)改善技術への取組み

製品開発では、3.1節で述べた開発プロセスを効率的に実施し、製品に要求される品質を短期間で設計し確認する必要がある。プロダクト改善技術として、品質作りこみ段階の設計技術と品質確認段階の試験技術の開発に取り組んでいる。

(1) ソフトウェア設計技術

当社のソフトウェア開発は流用開発が大部分を占め、流用開発の品質向上と開発効率化が課題となっている。そのため、これまでソフトウェアフレームワーク再利用による品質確保やソフトウェア基本構造検証による開発効率化等に取り組んで来た。また近年のソフトウェア規模の増大に伴い、複数仕様書間のトレーサビリティ確保も新たな課題となっている。この特集号の論文“仕様書間のトレーサビリティ管理技術”では、多数の設計仕様書間のトレーサビリティを確保し、仕様変更などに伴う影響範囲を短時間で確認可能にして設計品質を改善した事例について述べる。

(2) ソフトウェア試験技術

当社では組み込み型ソフトウェア開発が主流であり、ハードウェアと組み合わせた環境で、設計段階で作った品質を早期に効率的に確認することが重要である。この特集号の論文“ハードウェア模擬環境を活用した開発上流におけるソフトウェア品質向上”ではハードウェア模擬によって、ハードウェア入手前に短期間で試験環境を構築し、効率的に試験を実施して品質を確保した事例について述べる。

4. LSI分野の設計検証技術

近年、LSIは製造プロセスの微細化によって開発費が高騰しており、サンプルLSI製造後に不具合が判明した場合、

大きなロスコストが発生する。また、FPGAは回路を書き換えできるため、設計品質低下を招きやすく製品評価が長期化するという問題が発生している。これらの問題に対処するためには、設計の上流で品質を向上させ、下流工程に設計不具合を流出させない設計フロントローディングの取組みが重要となっている。

当社では、LSI開発における設計品質の向上と設計効率化と低コスト化のため、設計フロントローディングを推進する設計検証技術の開発と整備に取り組んでいる(図5)。

4.1 デジタルLSI設計検証技術への取組み

デジタルLSIに関しては大規模化、複雑化に対応するために、設計上流で設計品質を向上させ、下流工程に機能漏れや不具合を流出させない設計手法の取組みが重要である。そのために設計の源流で図的表現を用いた仕様の可視化手法やテンプレートを用いたドキュメント標準化、開発プロセスの定量的管理手法等を開発し、実開発に適用することで開発工数の削減と工期短縮の成果を得た。

(1) 大規模LSIの機能可視化手法

設計上流での品質向上の施策として、ソフトウェアで利用されているUML^(注2)(Unified Modeling Language:統一モデリング言語)をLSIの仕様検討に適用し、仕様漏れや性能未達を防止した。この特集号の論文“大規模LSIの機能可視化手法”では、ソフトウェアの手法をLSI開発用に工夫した点を中心に述べる。

(2) FPGAの定量的開発プロセス管理手法

デジタル回路設計は言語ベース設計が主流となっており、ソフトウェアの開発に類似している。そのためソフトウェア分野で用いられている開発プロセス管理手法をLSI開発に適用した。この結果、上流の設計・検証段階における不

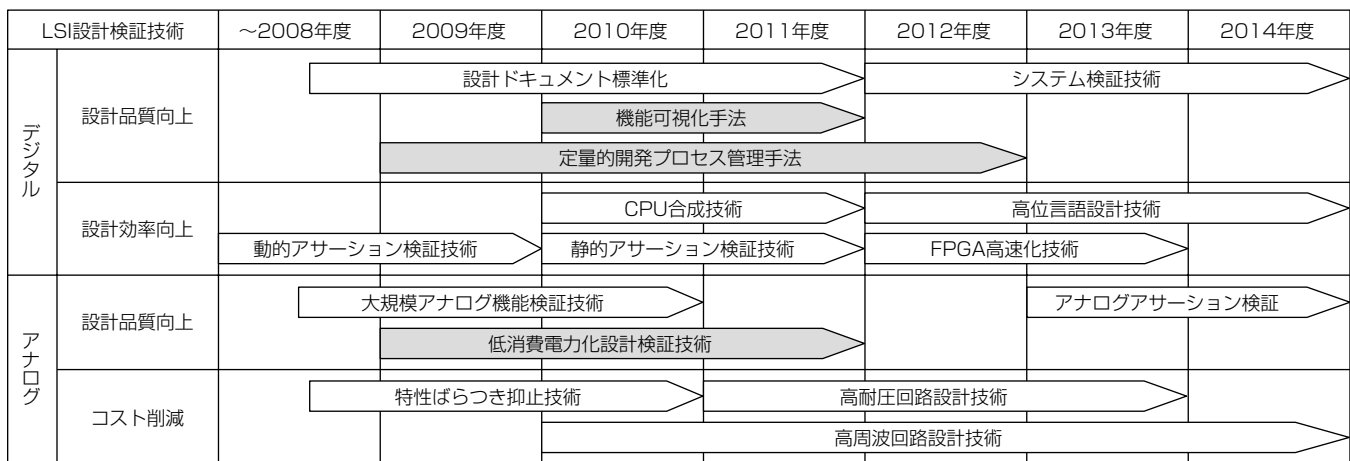


図5. LSI設計検証技術のロードマップ

具合の検出率が高まり、製品評価からの手戻りが削減し、開発工数削減と工期短縮の効果が得られた。この特集号の論文“FPGAの定量的開発プロセス管理手法”では、その適用事例について述べる。

(注2) UMLは、Object Management Group Inc. の登録商標である。

4.2 アナログLSI設計検証技術への取組み

アナログLSIに関しては、より安価なシリコン製造プロセスでアナログ性能を達成するために、2008年度から、次の設計フロントローディングの取組みを実施している。

(1) 大規模アナログ機能検証技術

アナログ回路はデジタル回路と混載してLSI化することによって、製品全体の低コスト化が可能となる。2009年にアナログHDL (Hardware Description Language)を用いてデジタル回路との混在検証に取り組み、デジタル回路とアナログ回路の仕様不整合を削減した。

(2) 高耐圧アナログ回路設計技術

アナログLSIは、製品の入出力機能に応じて多様な動作電圧が必要となる。5V以上の動作電圧に対応するためにLDMOS (Laterally Diffused Metal-Oxide-Semiconductor)を用いて高耐圧アナログ回路をLSIに集積化し、低コスト化を推進している。

(3) 低消費電力アナログLSI設計検証技術

携帯用無線機器などは、電池駆動のため低消費電力化が重要である。この特集号の論文“無線通信向け低消費電力アナログLSIの設計検証技術”では、トランジスタを弱反転領域で動作させることによって低消費電力化を行った事例について述べる。

5. ハードウェア分野の設計検証技術

設計は必要な機能の実現に向かって1から演繹(えんえき)法的に進められれば美しい。しかし、現実のハードウェア設計では、決定すべき事柄が多すぎて、そのすべてを論理的に1から導出していくことが非現実的である場合

が多い。例えば、筐体(きょうたい)の設計で、部品を結合・固定するための正確なねじ締結位置を計算式で割り出して寸法値決定している設計者はほとんどいないだろう。

ねじ締結位置の例では、構造全体の状況や制約事項を考慮して設計者の感覚で仮に位置を決め、後でその締結位置で強度や剛性に問題がないか“検証”して決定するのが普通の進め方である。つまり多くの設計は“仮決めと検証”という帰納法的アプローチで進められている。

このアプローチは設計という行為そのものであるが、その中の検証の部分だけを指して我々は“設計検証”と呼称し、より高い精度、高い信頼性をもって設計検証を行うために必要な技術を“設計検証技術”と呼称している。

図6にハードウェア設計検証技術への取組みロードマップを示す。この特集号の論文でこの中のいくつかの取組み事例を述べるが、技術分野ごとの取組みは

- (1) 急速に進歩、高速化する半導体・通信関連
- (2) 環境負荷低減への要求、事業環境悪化(低コスト化)
- (3) 自然災害の脅威
- (4) グローバル化に伴う物流の変化

等に駆動されて年々進化・高度化を余儀なくされている。

電子機器や通信機器の高速化は目覚しく、先端的機器は数十Gbps以上の伝送速度になってきている。こうした超高速な機器ではEMI (Electro-Magnetic Interference)やイミュニティが常に問題となり、信号電圧の低下に伴って電源ノイズが深刻な課題になっている。

また、事業のグローバル化に伴って物流路が伸び、物流のコスト低減が重要になってきている。さらに、環境負荷低減は企業の責務となってきており、包装材料を低環境負荷のものに切り換える、1台のトラックでより多くの製品が運べるようにする等に必要となる設計検証技術に取り組み、低コスト、低環境負荷の物流を目指してきた。環境視点では冷熱機器の省エネルギー化が常に求められ、使用者にとっての環境であるファン騒音低減も含め設計段階での熱

ハードウェア設計検証技術		2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度	
開発管理	開発期間短縮・不具合流出の防止								
	変更点管理：問題再発防止	→		変更影響分析：波及問題未然防止		→			
					機能安定性設計：問題未然防止				
技術分野別取組	製品電気設計	伝送の高速化							
		EMI	→		イミュニティ		→		
						電源ノイズ			
	製品熱流体設計	省エネルギー							
		部品冷却	→		放熱・断熱		→		ユーザー快適性
					低騒音化		→		
	製品構造設計	小型化・軽量化・省材料・少組立							
		静荷重強度	→		耐震・耐振		→		
					耐落下衝撃		→		耐衝突衝撃
	物流・包装設計	低コスト・低環境負荷							
		樹脂系緩衝材	→		紙系緩衝材		→		ユニットロード・リターナブル化

図 6. ハードウェア設計検証技術のロードマップ

流体に関する検証技術を継続的に構築している。

自然災害の脅威、とりわけ東日本大震災に代表されるように巨大地震に対する製品信頼性は重要となる。耐震設計の技術者は高齢化して年々減少しているが、当センターでは東日本大震災の数年前から耐震設計における設計検証技術の蓄積に注力してきている。

一方、当社製品はもちろんのこと、日本製品の重要なアピールポイントである“品質”は決して失うことができない要素である。品質については、“再発防止”から“未然防止”へと進化させるために、設計段階で機能の安定性を検証しておくことに取り組んでいる。

6. む す び

製品の設計初期段階で品質を作りこむ設計検証技術について述べた。今後は、設計フロントローディングを更に追求し、アイデア発想法などを適用した機能設計の革新にも取組みを拡大していく。

参 考 文 献

- (1) 藤井雅雄：設計業務を革新する設計システム技術，三菱電機技報，**73**，No. 9，613（1999）
- (2) 竹垣盛一，ほか：フロントローディング型開発設計への取り組み，三菱電機技報，**80**，No.10，636～638（2006）
- (3) 山下昭裕，ほか：設計プロセス革新による開発効率化，三菱電機技報，**84**，No.12，660～663（2010）