

成長戦略を支える設計・検証技術



竹野祥瑞*



山中康弘**

Design and Verification Technologies to Support Growth Strategy

Shouzui Takeno, Yasuhiro Yamanaka

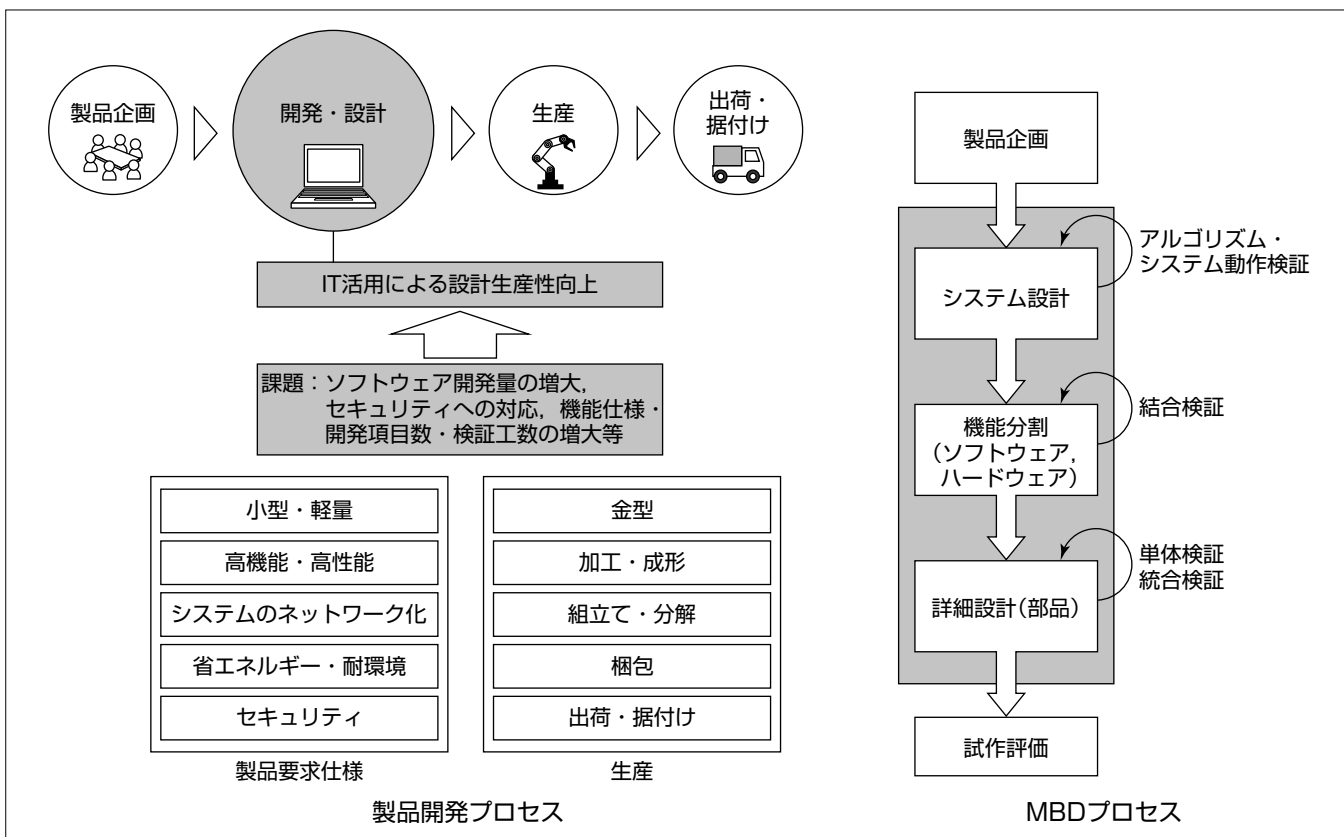
要 旨

IoT(Internet of Things)時代の製品開発では、機器の高機能・高性能に加え、システムのネットワーク化に伴うソフトウェア開発量の増大、セキュリティへの対応など開発課題が増大している。また、製品のグローバル展開に伴う使用環境、品質設計の多様化、国ごとの省エネルギー規制やリサイクル法に対応した改良型の派生機種数の増大、現地据付け・保守性、国際物流への対応など、設計者が考慮すべき製品の機能仕様や開発項目数、検証工数は増大の一途をたどっている。三菱電機では、高機能・大規模システム化する製品開発プロセスやグローバル化する開発環境の変化に対応し、もう一段高いレベルの成長を実現するため、ITの浸透による設計生産性向上を中核としたプロダ

クトとプロセスの改善活動に取り組んでいる。

特に、製品開発プロセスの中で上流に位置する“設計”では、製品モデルを用いて、システムレベルや部品レベル等の各階層でのモデルシミュレーションを重ね、素性の良い基本設計仕様を段階的に詳細化して精確に作り込んでいく“モデルベース開発(Model Based Development : MBD)プロセス”を導入して曖昧な部分や開発ボトルネックを早期に洗い出し、重要課題に開発リソースを集中させて、合理的に性能・品質の確保や作業効率化を実現している。

この特集号では、“ソフトウェア設計”“電子回路設計”“機械・構造設計”分野で、ITによる設計・検証シミュレーションを活用したモデルベース開発の適用事例を中心に述べる。



設計生産性向上の取組み

製品開発プロセスで、近年の開発・設計、生産への製品要求仕様からくる、ソフトウェア開発量の増大、セキュリティへの対応、機能仕様・開発項目・検証工数の増大等の課題に対し、MBDプロセスの適用等、ITを活用した設計・検証技術の高度化に取り組んでいる。

1. ま え が き

IoT時代の製品開発では、機器の高機能・高性能化への要求に加え、システムのネットワーク化に伴うソフトウェア開発量の増大、セキュリティへの対応など開発課題が増大している。また、製品のグローバル展開に伴う使用環境、品質設計の多様化、国ごとの省エネルギー規制やリサイクル法へ対応した改良型の派生機種数の増大、現地据付け・保守性、国際物流への対応など、設計者が考慮すべき製品の機能仕様や開発項目数、検証工数は増大の一途をたどっている。さらに、近年急増する海外拠点への現地化プロセスでは、“日本人同士の“あうんの呼吸”による従来型のものづくりチームワーク”や“職人的な暗黙知技術”の展開は期待できない。国内マザー工場に蓄積された設計情報・技術資産を、より明示的な共通言語であるデジタル製品定義(DPD: Digital Product Definition)や機能モデルを媒介にして正確に現地へ伝達し、海外拠点と国内マザー工場間で協調開発の効率化を図る必要がある。

当社では、高機能・大規模システム化する製品開発プロセス、グローバル化する開発環境の変化に対応し、もう一段高いレベルの成長を実現するため、ITの浸透による設計生産性向上(Digital Transformation)を中核とした、プロダクトとプロセスの改善活動に総合的に取り組んでいる。

2. 設計・検証技術の高度化

製品開発プロセス(図1)の中で最上流に位置する“設計”は、価値の高い製品設計、適正な原価企画を源流で創出するための製造業活動でのコアコンピテンシーであり生命線と言える。特に近年は、電子・機械・ソフトウェア制御が融合した高性能・大規模システムが急増し、限られた期間内に膨大な数の性能仕様・品質基準を低コストで具現化するため、量産開発のウエイトを上流化させるフロントローディング手法⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾の更なる進化・深化が求められている。

そこで、自然言語の仕様書や図面をベースとした従来法に対し、図式表現や動作レベルが記述された製品モデルを用いた仮想検証環境上で、実機試作を極力行わず設計上流段階からシステムレベルや部品レベル等の各階層でモデルシミュレーションを重ね、素性の良い基本設計仕様を段階的に詳細化して精確に作り込んでいくMBDが有効となる。MBD手法ではモデル記述言語や物理モデルで表現された製品モデルを用い、設計上流段階から電子・機械・ソフトウェア制御系の仮想検証を繰り返して曖昧な部分や開発ボトルネックを早期に洗い出し、重要課題に開発リソースを集中させて、合理的に性能・品質の確保や作業効率化を狙う(図2)。ただし、ITベースのMBD手法を活用して大きな経営効果に結びつけるには、開発現場における人間系を中心とした設計エンジニアリング活動の本質を理解した上

で、効果的にデジタル手法を埋め込み、地道にプロセスを改善していく現場活動との高度な融合が不可欠である。

この特集号では、グローバル競争の中で多様化・大規模システム化する製品開発で、“ソフトウェア設計”“電子回路設計”“機械・構造設計”分野で、ITを活用したMBDの適用事例を中心に述べる。

2.1 ソフトウェア分野の設計・検証技術

ソフトウェア設計・検証技術の高度化に向けた主な取組みとして、仕様の記載漏れを抑制する図式表現による仕様の明確化とソースコードの自動生成、派生や複雑化を抑止するソフトウェアの統合・再生・改造技術の構築、海外顧客に対応した国際標準プロセスに準拠したプロセス運用について述べる。

- (1) 図式表現による仕様の明確化とソースコードの自動生成
自然言語で記述した複雑な仕様が誤認識される問題、大規模化によってリソースが不足する問題に対して、図式表現を活用することで、ルールに基づいた記述による仕様の明確化、ソースコード自動生成による仕様展開の効率化に取り組んでいる。

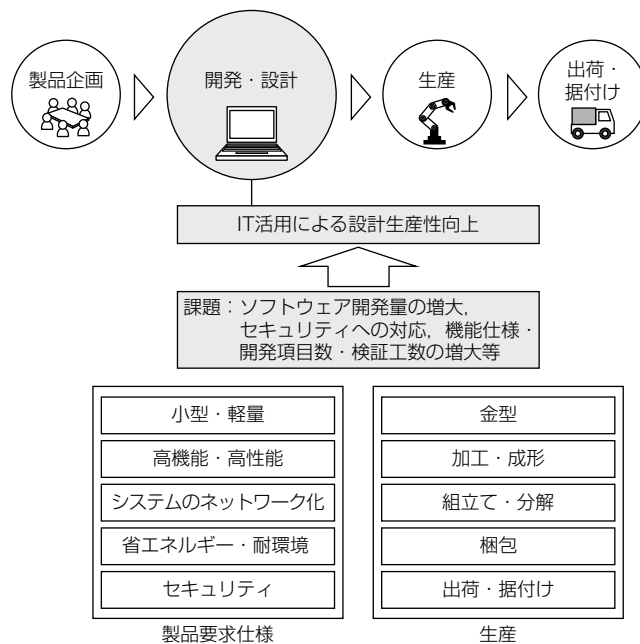


図1. 製品開発プロセス

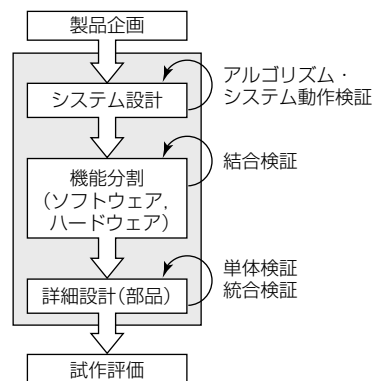


図2. MBDプロセス

自然言語で記述した仕様は曖昧が多く、仕様の複雑化によって、開発の際に仕様の記述漏れや仕様の誤認識が発生する。そこで、ソフトウェアの設計品質向上のため、仕様の記述ルールを定義した図式表現を用いて仕様の明確化を図っている。分散系ソフトウェアでは図式表現(Unified Modeling Language : UML^(注1))の記述を、制御系ソフトウェアではMATLAB/Simulink^(注2)の記述を推進している。さらに、図式表現は、ソフトウェアの大規模化に伴う設計リソース不足解消にも効果があり、従来は仕様書を見ながら人手で作成していたソースコードを自動生成することで実装工数を大幅に削減できる。ただし、UMLの記述が複雑になると仕様の認識に時間がかかってしまうため、その対策としてUMLを補完する位置付けで、ドメイン固有言語(Domain Specific Language : DSL)で記述した仕様書からのソースコードの自動生成手法を構築した(図3)。この特集号の論文“ドメイン固有言語を利用した設計手法”(p.7)で、大規模通信システムの開発にDSLを適用した事例について述べる。

(2) ソフトウェアの統合・再生・改造技術の構築

空調機器等では、システム化による既存機種間の接続、海外の向け先ごとの機種展開による流用開発が増加しており、繰り返し開発による派生や機能の複雑化による開発効率の低下が問題となっている。そこで、多機種に派生してしまったソフトウェアに対して再統合する技術の開発に取り組んでいる。派生したソフトウェアを構成する内部モ

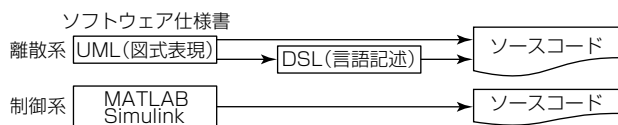


図3. 仕様書からソースコードの自動生成

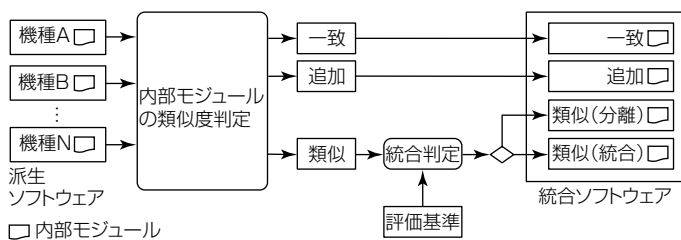


図4. ソフトウェアの統合技術

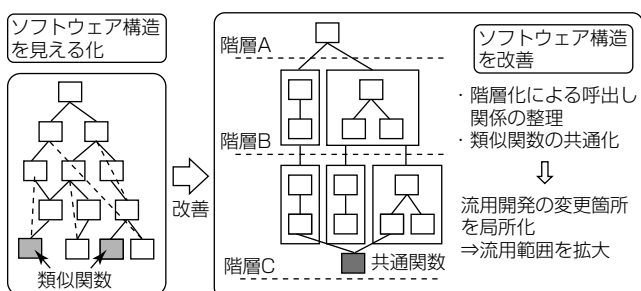


図5. ソフトウェアの再生技術

ジュールの類似度を数値化して評価基準を基に定量的に統合判定し、再統合することで、派生したソフトウェアを1つに集約する(図4)。これによって、仕様の修正漏れの防止、修正箇所集約による開発効率化を図った。

統合後は、複雑化したソフトウェア構造をシンプルな構造に見直すソフトウェア再生技術(図5)、シンプルなソフトウェア構造を維持するソフトウェア改造技術を適用する。

(3) 国際標準プロセスに準拠したプロセス運用

海外展開に伴い、開発プロセスが一定水準以上で運用されていることを示すため、国際標準プロセスに準拠する必要性が増えている。

車載機器等では、海外顧客が要求するプロセス能力水準の保有を証明するため、国際標準プロセス(Automotive SPICE^(注3))に準拠したプロセス運用に取り組んでいる。ソフトウェア開発のPDCA(Plan Do Check Action)サイクルを回すための支援として、現状のプロセスを診断して問題点を抽出し、開発プロセス改善計画の立案、改善の実行支援、規則化等のプロセス開発の定着支援を実施している(図6)。また、プロセス改善の定着化のため、プロセス改善技術者育成にも取り組んでいる。この特集号の論文“プロセス改善技術者育成コースの設計”(p.11)で、現場で直面する問題を解決するプロセス改善技術者を育成する事例について述べる。

(注1) UMLは、Object Management Group Inc. の登録商標である。
 (注2) MATLAB及びSimulinkは、The Math Works, Inc. の登録商標である。
 (注3) Automotive SPICEは、Verband der Automobilindustrie e.V. の登録商標である。

2.2 電子回路分野の設計・検証技術

電子回路の設計・検証技術の高度化に向けた主な取組みとして、LSI開発での高位設計動作モデル活用による設計効率化、アナログ機能検証の高度化による設計品質向上、仮想システム検証環境の構築によるソフトウェアの上流検証について(図7)、電子機器開発で複雑化するEMC(Electromagnetic Compatibility)課題に対し、開発初期段階から設計品質を作り込むEMC設計フロー構築について述べる。

(1) システムレベルの高位設計動作モデル活用

ソフトウェア、アナログ回路、デジタル回路の区別のないシステムレベルモデルから機能分割したデジタル回路のレジスタ転送レベルのHDL(Hardware Description Language)記述を自動生成するフローを構築し、さらに、回路削減手法等をルール化することでHDL記述の自動生成適用範囲を拡大した。この特集号の論文“高位LSI設計検証技術とその応用”(p.23)で、組み込みシステム設計への応用事例について述べる。

(2) アナログ機能検証の高度化

車載向けを中心としたセンサ応用機器がキー製品となっており、タイムリーな差別化機能の製品搭載のためにアナ

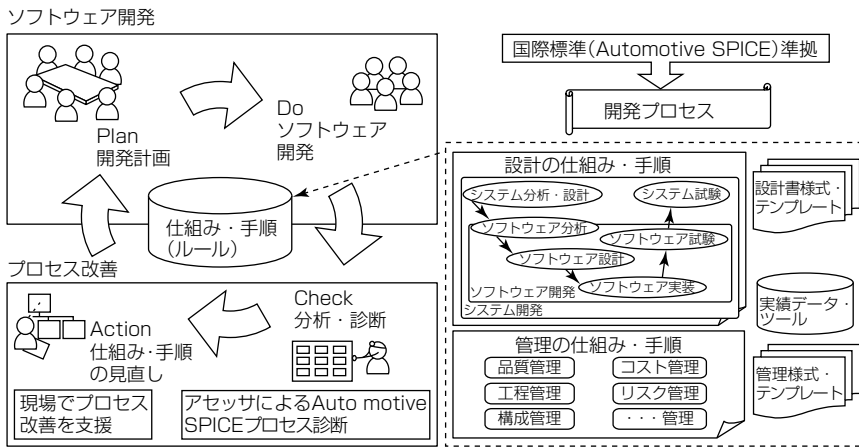


図6. ソフトウェア開発プロセスの改善手法

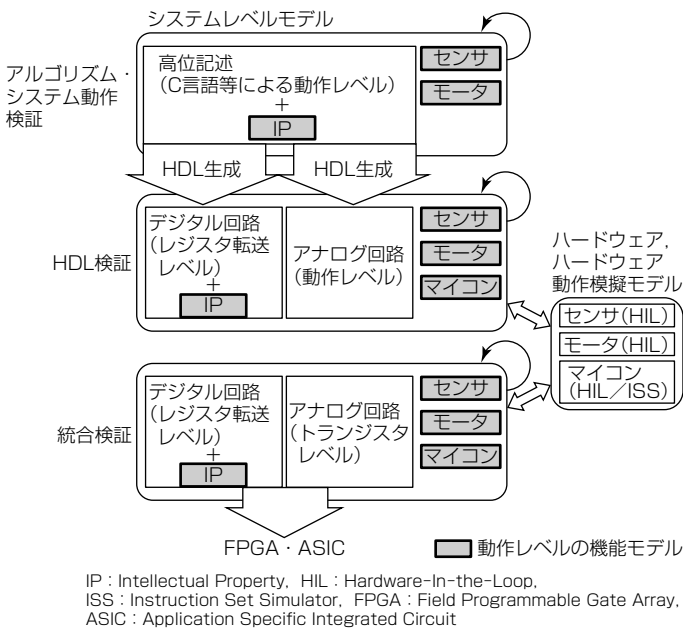


図7. MBDプロセスのLSI仮想システム検証環境

ログ設計上流での機能検証を実施することで設計手戻りの抑制を図っている。

アナログ機能検証で、検証対象をデジタル機能との協調設計に範囲を広げ、アナログとデジタルの機能分割から検証までを可能とした。さらに、検証モデルの改良、検証速度の向上等の改善に取り組んでいる。この特集号の論文“ADC回路におけるアナログ-デジタル回路協調設計技術”(p.27)で、アナログ回路とデジタル回路の統合検証の前段階のHDL検証でデジタル回路とアナログ回路の協調設計を行った事例について述べる。

(3) 仮想システム検証環境の構築

従来は、ハードウェア検証後にソフトウェアとの組合せ検証を行っていたが、組合せ検証からの手戻りロスや機能分割の適正化が課題であった。これらの対策にISSやHILを利用した仮想システム検証環境の構築によってハードウェア設計と並行した設計上流でのソフトウェア検証や、ソフトウェアの機能単位の性能評価でボトルネック抽出

を可能とし、設計期間の短縮、設計手戻りの抑制を実現した。この特集号の論文“仮想実行環境の構築容易化技術と応用”(p.31)で、ISSを利用した仮想システム検証環境の適用事例について述べる。

(4) EMC設計フロー構築

IoTの普及によるセンサや機器のネットワーク接続、電子機器の数十Gbps以上の伝送速度、信号の低電圧化に伴うEMCの課題が複雑化している。また、世界各国がEMC規制強化の方向にあり、グローバル展開のために各国のEMC規制への対応が必要な製品が増加している。

これらの要因に対し、設計段階でEMCリスクを抽出し、要素技術検討等を行うEMC設計フローを構築して製品設計品質の向上を図っている。この特集号の論文“幅広い分野の製品を支えるEMC技術”(p.35)で、開発初期段階から設計品質を作り込むEMC設計フロー、EMC要素技術等について述べる。

2.3 機械と構造の設計・検証技術

機械と構造の設計・検証技術の高度化に向けた主な取組みとして、空調用冷凍サイクル制御設計技術の構築による環境負荷低減、製造ばらつきを考慮した機構解析技術の構築による複雑化する製品構造の設計品質向上、設計の海外展開に向けた3Dデータの開発プロセスへの活用について述べる。

(1) 空調用冷凍サイクル制御設計技術の構築

冷熱・空調機器は、開発サイクルが短い中で、高い省エネルギー性能を達成する必要がある。従来、圧縮機や弁の動作制御を行う冷凍サイクル制御ソフトウェアの設計・デバッグを実機による運転検証試験で実施していたため、設計手戻りが発生していた。

今回、冷凍サイクル計算と制御ソフトウェアを統合して、パソコン上に仮想の運転検証試験の環境を構築して、設計上流段階で設計者による冷凍サイクル制御設計を可能とした。これによって、様々な外気温度・負荷条件の性能予測・冷媒制御設計を効率化し、設計・デバッグ期間を短縮した(図8)。この特集号の論文“空調用冷凍サイクル設計技術の高度化”(p.39)で、仮想の運転検証試験の環境を開発した事例について述べる。

(2) 製造ばらつきを考慮した機構解析技術の構築

従来、設計上流段階から設計者自身がCAEを活用して設計品質を検証することで設計手戻りを抑制し、対策時間と対策コストの低減を図ってきた。更なる設計品質の改善、設計効率化に向け、従来は解析の専門家が実施していた、製造ばらつきを考慮した機構動作部の設計品質

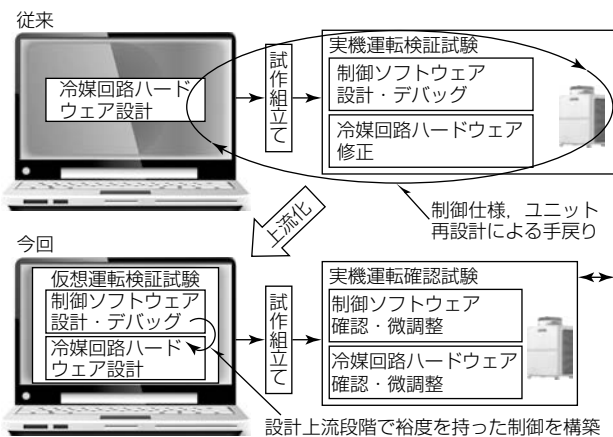


図8. 冷凍サイクル制御設計の流れ

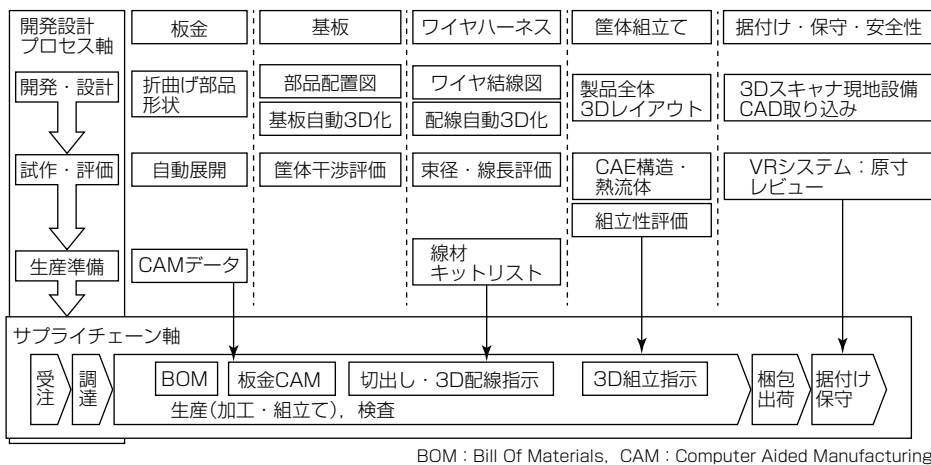


図9. 開発プロセス全体に3Dデータを活用する仕組み

確認を設計者が簡便に検証できる環境を構築した。

多数の部品を接続した機構部を持つ製品は、従来、簡略化した機構解析モデルを用い、影響の大きいと考えた代表パラメータを用いて動作特性を計算していた。そのため、製造ばらつきが製品機能に与える影響の定量化が困難であった。

今回、部品間のガタつき、摩擦等の製造ばらつきを考慮した機構解析モデルを構築した。さらに、設計上流段階で品質工学を適用して、製品ばらつきが製品機能に与える影響を効率的に検証する手法を構築し、製造ばらつきによる設計手戻りを抑制した。この特集号の論文“製造ばらつきを考慮した機構解析技術”(p.43)で、遮断器を対象にした製造ばらつきを抑制する設計技術の事例について述べる。

(3) 3Dデータの開発プロセスへの活用

これまで当社はベテラン設計者や熟練工のスキルを前提にした、ツールに頼らない開発プロセスを構築してきた。一方、海外メーカーは、設計・製造スキルに頼らない3Dをベースにした開発プロセスを構築しており現地設計・製造化の際、当社の開発プロセスを適用できない。グローバル化による機種展開の増加で生じる設計リソース不足に対応するには、海外拠点で現地仕様に合わせて設計する開発現地化を進める必要があり、現地で運用可能な開発プロセ

スの構築が必須である。

グローバル化に向け、海外拠点への展開を見据えて、まずは国内拠点を対象に、サプライチェーンマネジメントプロセスと開発設計プロセスの連携を明確にして、開発プロセス全体で3DデータによるIT活用の仕組み構築に取り組んでいる(図9)。開発設計プロセス改善の取組みとして、電気設計と機械設計の連携、設計と生産の連携を図り、設計から下流工程で3Dデータを活用できる仕組みを構築してきた。例えば、板金部品の3DデータからCAMデータを自動作成する仕組み、基板図面から3Dモデルを自動作成して筐体(きょうたい)との干渉チェックをする仕組み、3Dで配線指示する仕組み等を構築した。先進事業分野で構築したこれらの仕組みを他の事業分野に展開して底上げと定着化を図るとともに、据付け・保守・安全性評価のため3D

スカナ、VR(Virtual Reality)システムの活用に取り組んでいる。

さらに、最新技術を活用した、CAT(Computer Aided Testing)による検査業務の効率化、3D単独図の実用化、3Dデータを活用した仮想生産ラインによる生産準備業務の効率化に取り組んでいく。

この特集号の論文“3D測量データを活用した現地据付工事改善”(p.47)で、3Dスカナを活用した事例について述べる。

3. む す び

当社での設計・検証技術の高度化に向けて“ソフトウェア設計”“電子回路設計”“機械・構造設計”の各分野でITを活用して設計生産性を向上させた事例の概要、取組みビジョンについて述べた。今後、ますます高機能・大規模システム化が進む製品開発プロセスや、グローバル開発環境の変化に対応した設計プロセス革新を継続し、もう一段高いレベルの成長を実現していく。

参 考 文 献

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 中岡邦夫: 製品の設計初期段階で品質を作りこむ設計検証技術, 三菱電機技報, 87, No.4, 204~209 (2013)