

論文・解説

41

システムからハーネス設計まで一貫通貫した エレキシステム開発

Seamless Electric System Development from System Design to Harness Design

竹本 明*1 Akira Takemoto	安原 潤紀*2 Junki Yasuhara	高田 純司*3 Junshi Takata
戸手 孝則*4 Takanori Tode	戸井 隆史*5 Takashi Toi	

要約

マツダが目指すエレキシステム開発を実現するため、部門の垣根を越えてシステム設計からハーネス設計まで一貫通貫で行う開発プロセスを構築し、車一台の電気回路をモデル化した。新世代商品群から量産開発に適用した全社レベルでの取組内容と将来展望について報告する。

Summary

We established a seamless development process (from system design to harness design without the division of the department) and the electric circuit model for one vehicle with an eye to putting it into practical applications for the electric system. This article introduces the efforts we made in applying this development process to the mass-produced models, which started with new generation vehicles, and future prospects.

Key words : Vehicle Development, Computer-Aided Design (CAD)/Computer Aided Engineering, Tool/Design Modeling, Design Simulation/Design, Electronics And Control, Wiring Harness, Electric Circuit/Electronic Circuit, Model Based Development, Efficiency

1. はじめに

自動車業界は、高機能化によりエレキ部品の増加、複雑化の一途をたどっている。さらに近年では『CASE』（Connected：コネクティッド化，Autonomous：自動運転化，Shared & Service：シェア&サービス化，Electric：電動化）というキーワードで表される新たな変革期へ突入しようとしている。例えば、自動運転では自律した安全性を確保するために、車一台に搭載されるセンサやカメラは飛躍的に増え、また、電子制御に異常があった場合の電子制御機能の冗長化（二重系）が求められる。その結果、エレキ部品の増加や複雑化は更に加速することが予想される。このような環境下、従来どおりの開発を行っていても、リソース不足に陥り、高品質で安価で軽量なエレキ部品のタイムリーに商品化する事は困難である。

マツダでは、このような状況を回避するために、開発

の効率化をねらい、コモンアーキテクチャー開発に取り組んでいる。開発の効率化としては、部品共通化が一般的であるが、コモンアーキテクチャー開発は部品共通化とは異なり、特性の数理モデルを共通化する開発である。その理由は、車の設計から製造までの開発工数を俯瞰すると、個別に適合させるキャリブレーションの工数削減が最も重要と考えているからである。エレキ領域でのコモンアーキテクチャー開発の具体例として、EMC（ELECTRO MAGNETIC COMPATIBILITY）性能開発を取り上げて説明する。アーキテクチャー設計段階では、車として達成したいEMC性能に対し、必要な特性の数理モデル化を行い、その特性を各部品に適用できる状態にする。その後の工程となるシステムからハーネス開発段階において、特性レンジに合せた開発を行う（Fig. 1）。

この開発を実現するためには、量産開発工程の効率化を行い、リソースをアーキテクチャー開発へ移す必要がある。その最初のステップとして、量産開発段階で上流

*1~5 電子基盤開発部
Electronic Platform Development Dept.

工程がモデル化した電気回路情報を下流工程のハーネス設計が一通貫で活用できる開発基盤とプロセスの構築に取り組んだ (Fig. 1の赤囲)。

本稿では新世代商品群より量産適用したその取り組み内容と成果を紹介する。

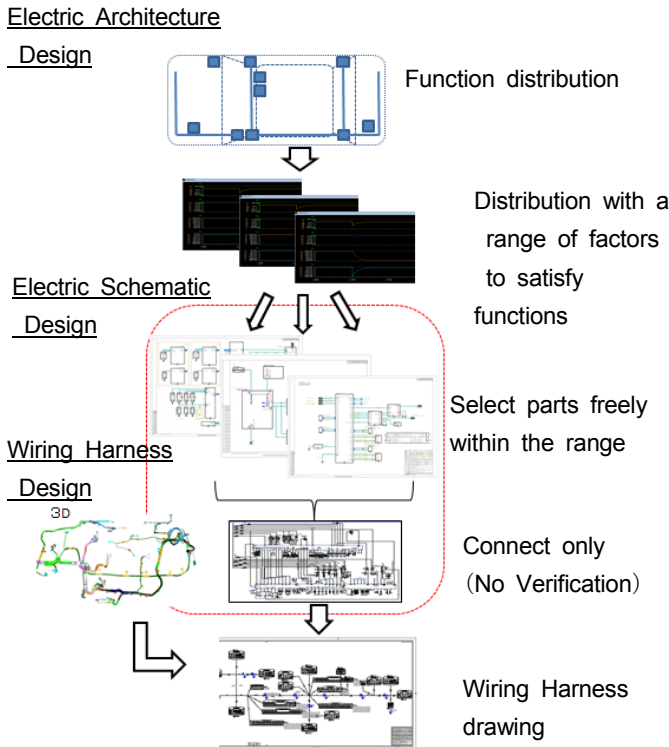


Fig. 1 Ideal Car Electronics Development Flow

2. 従来のエレキ開発プロセスと問題点

コモンアーキテクチャー開発を実現する手段として、マツダはMBD (Model based development) による開発を推進している。

エレキシステム開発のソフト領域では制御仕様をモデル化し、プラントモデルや環境モデルと連結したMBDが進んでいる。一方、ハード領域ではエレキシステム図という情報伝達媒体を用いた開発が行われていた。エレキシステム図とは、システム設計部門が、電気的な仕様や、接続情報、車種/仕向けごとの設定条件を自然言語 (各設計部門の文化や歴史的な背景から使用されている言語) を用いて作成し、関連する部門へ展開/共有するものである。システム図を受け取ったハーネス設計部門は、人海戦術により、約80種のエレキシステム図の間の整合取りを行いながら、数千に及ぶ回路をつなぎ合わせていた。そして、各機能と車種仕様ごとに回路の品質を保証するために、約30項目の電気的な性能検証を行っていた (Fig. 2)。

その結果、従来のエレキシステム開発は、量産開発工程において以下の慢性的な問題を抱えていた。

- (1) ハーネス設計部門は、システム設計部門が作成するエレキシステム図を理解する作業 (不明点確認), 特に設定条件の確認に多大な工数を要している。
- (2) 複数のエレキシステム図に登場する部品は、相互に不整合 (同じ部品なのに仕様が異なる) が生じ、整合取りに多大な工数を要している。
- (3) エレキシステム図の情報は、ハーネス設計用の別の媒体に転記が必要で、更にその確認に多大な工数を要している。
- (4) 回路をつなぎあわせる作業に多大な工数を要している。
- (5) 回路の電気的な性能検証に多大な工数を要している。

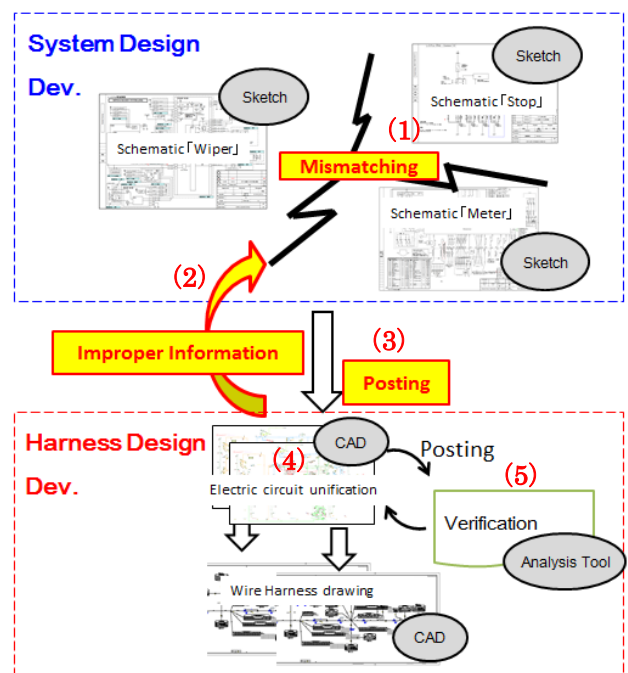


Fig. 2 Conventional Process and Problem

3. 問題点の分析と解決への課題

3.1 問題点の分析

2章で述べた (1) ~ (5) の各問題点に対して分析を行い、真因を以下のとおり特定した。

- (1) 設定条件の確認作業は、送り/受け取り側とも、これまでの慣習で業務の一部ととらえており、双方の問題認識が低く、表記方法が見直されていない。
- (2) 複数のエレキシステム図に登場するエレキ部品は、仕様の確定や更新時に、全てのエレキシステム図に情報を反映する必要がある。しかし、反映漏れや反映遅れにより、不整合が生じている。
- (3) エレキシステム図は紙面による情報伝達を想定しており、判読できれば良く、データ形式と作成手段に決まりがない。

(4) ツールの制約により車種仕様ごとに回路設計を行っており、マツダの理想とする全車種仕様を一括した車一台の回路が作れない。

(5) これまでの回路検証作業は、人海戦術に頼った手作業に近いツールで対応できていたが、回路数の指数関数的な増加に伴い、検証工数も指数関数的に増加している。

3.2 問題解決への課題

3.1の分析を踏まえ、各問題を解決するために取り組むべき課題を以下のとおり設定した。

- (1) エレキシステム図の表記統一、ルール化。
- (2) 抜け漏れ、不整合を抑制するエレキシステム図の作成環境構築。
- (3) システム設計からハーネス設計まで一貫通貫でモデルを運用するプロセス。
- (4) 車一台の回路をモデル化できる基盤構築。
- (5) 効率的な回路検証手段の構築。

4. 課題に対する施策

3章で述べた課題 (1) ~ (5) に対して4.1~4.5の施策を行った。

4.1 エレキシステム図の標準化

(1) ネーミングの統一

エレキシステム図には、図面名称をはじめ、エレキ部品(デバイス)やコネクタ等、種々の名称が使用される。各名称の命名ルールを作り、登録制としたことで、類似する名称を統一した(例 BONNET SW/HOOD SW, DOOR SW/AJAR SW等の名称を統一)。

(2) 部品の設定条件/表記方法のルール化

設定条件を、自然言語から社内公用語となる装備ディクショナリの名称を用いて表記するルールとした。

4.2 エレキシステム図の作成環境構築

(1) システム図のモデル化

エレキシステム図をモデル化するツールは、既にハーネス設計で実績があり、抜け漏れ、不整合を抑制する機能を有しているシーメンス社製『Capital』を選定した。そして、このツールを上流工程のシステム設計部門、及びエレキ部品設計部門へ導入した。

(2) 入力条件の設定

設定条件やデバイス名等の統一した名称を、全てツールの辞書に登録し、その名称のみエレキシステム図に記載できる仕組みを作った。

(3) 部品情報の一元管理

複数のエレキシステム図に登場するエレキ部品の情報一元化を、ツールの『共有』機能(マスター情報がアップデートされたら、自動的にシェアリング先の情報が更

新される仕組み)を活用した。

(4) 情報の資産化

作成したエレキ部品(モデル)を他プロジェクトへ継続して利用するために、『ライブラリ』機能を活用した。

4.3 一貫通貫プロセスの構築と運用

ツールによるモデル作成工数の極小化を念頭に置いたプロセスの構築を行った(Fig. 3)。

(1) マツダユニークなモデル化プロセス

エレキシステム図のモデルは、エレキ部品とその接続情報が重要となる。部品設計担当が複数のシステム図へ部品情報を転記することは煩雑なため、新たに部品情報を表す『デバイス図』を設定した。そして、全てのエレキ部品に対して最初にデバイス図を一品一様で作成し、『共有』の設定を行うこととした。デバイス図の完成後、システム設計担当は『共有』されたデバイスの中からエレキシステム図に記載したいデバイスを選択するだけでよく、その後、接続情報を入力し、完成させるプロセスとした。

(2) ライブラリ登録の簡易化

部品情報(デバイス図)は、情報をライブラリに登録することでモデル化が完了する。しかし、『ライブラリ』は全てのエレキシステム図に影響する重要なデータベースであるため、登録や更新に細心の注意が必要となる。また、ライブラリ作成工数は部品設計担当にとって負担となる懸念があったため、登録や更新を系統的にサポートできるプラグインソフトウェアを開発した。誤入力防止する機能を備えたエクセルシートに情報を入力すればデータがコンバートされ、ツールにインポートさせるソフトがその一例である。

なお、ライブラリへの登録は運営事務局が審査後に行うことで、ライブラリ健全性を担保した。

(3) 関係者への方向付け

統一ツールによる情報伝達を実現するには、システム設計部門及びエレキ部品設計部門に、エレキシステム図のモデル化を受け入れていただく必要がある。しかし、多くの部門では、慣れないツール(回路CAD)を使用する新しい取り組みに対しての不安があり、受け入れてもらうことの難易度が高かった。そこで、開発部門を横断した会議での発表や、各部門に出向いての紹介活動、実演を繰り返すことで、理解を深めて頂いた。

(4) 教育体制

各設計部門の担当者は、これまで回路CADに触れる機会がほとんどなかったため、運用に向けて半日~一日コースの教育カリキュラムを組み、数週間かけて社内関係者全員へ教育を実施した。なお、新たな担当者に対しては、定期的に集合教育を実施した。

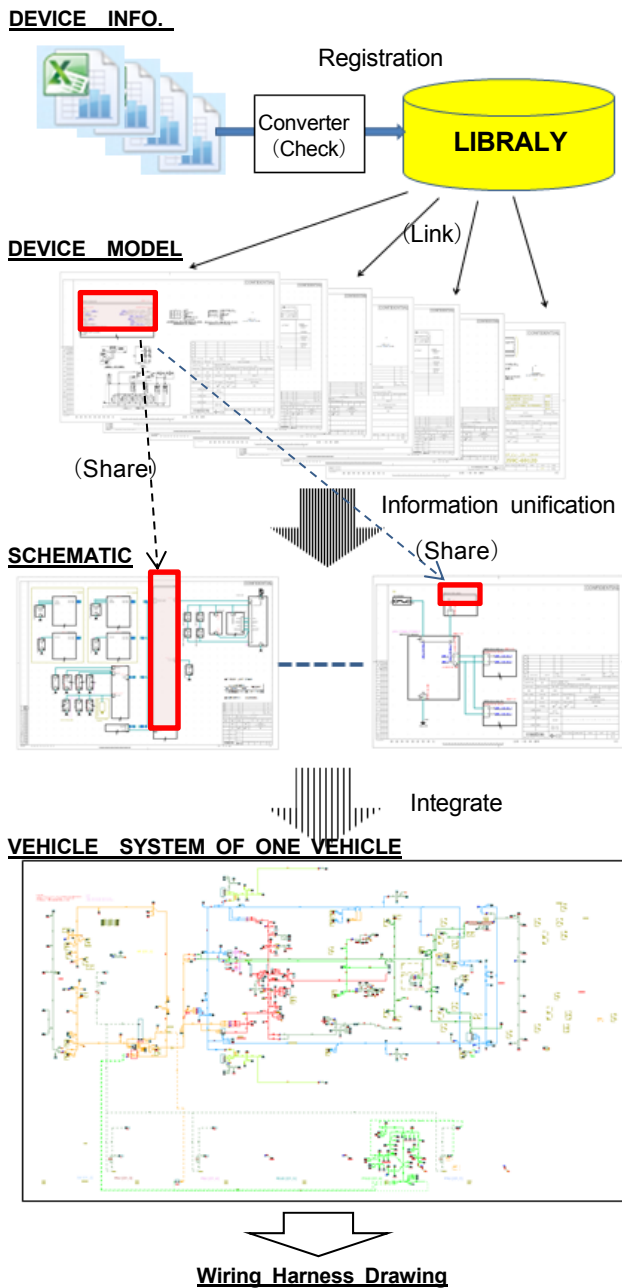


Fig. 3 Development Process Using Model

4.4 車一台の回路をモデル化できる基盤構築

システム設計部門でモデル化されたエレキシステム図を有効活用し、ハンドル位置やボディタイプ、エンジン、仕向け違い等による設定条件を包含した車一台の回路モデルが作成できる基盤構築を行った (Fig. 4)。代表的な施策を以下に記す。

(1) ツール機能の増強

設定条件を全て包含した車一台の回路モデルは、モデルの一元管理ができる反面、回路が複雑になり莫大なデータを取り扱うため、ツールの計算ロジックでは処理しきれない問題が発生した。この問題に対して、ツールベンダーに改善の必要性を理解していただくことで、大規模

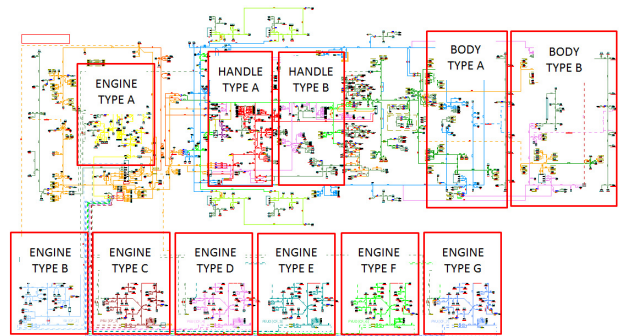


Fig. 4 Model of Circuit for One Vehicle

回路に対応可能な計算ロジックを作成し、標準機能としてツールへの実装を行った。また、回路モデルを作成する際の問題として、回路の複雑化から現状の計算ロジックでは設計者の意図どおりに回路作成できない問題が発生し、設計者のスキルに頼った検出と修正の作業が生じていた。そのため、原因となるモデル化の作成ルール/プロセスを見直すとともに、誤入力の防止/検出、入力作業を簡易化する約20個のプラグインソフトウェアを開発し、回路作成作業の簡易化を行った。

(2) 回路モデルのチェックツール開発

車一台の回路をモデル化できるツール基盤を構築したものの、その回路全てを自動でモデル化するまでには至っていないため、回路の接続ミスや漏れを防ぐ仕組みが必要となる。しかし、車の仕向けや装備仕様等による莫大な回路の組み合わせを人手によりチェックすることは不可能なため、自動でチェックできるツールを開発した。

Fig. 5にその概念を示す。対象とする車の仕様から必要となる回路をシステム図から抽出し、車一台の回路モデルとの比較を行うことで、回路の抜け漏れを自動でチェックする仕組みである。これは、部品の設定条件を社内公用語に統一し、社内のさまざまなデータベースと連携したことで実現できた。

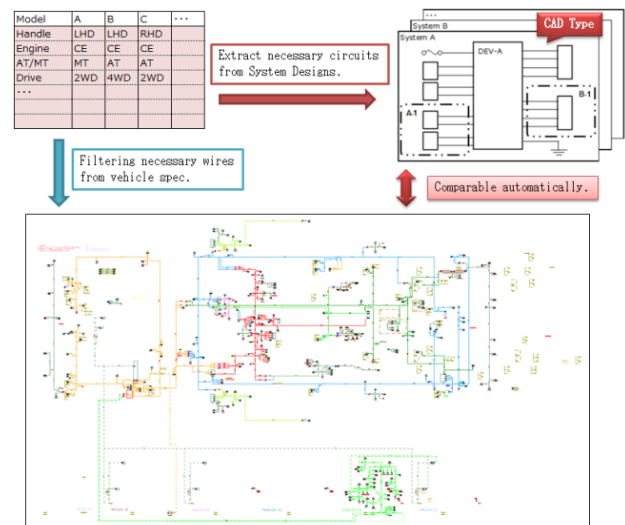


Fig. 5 Automatic Check Concept of Circuit

4.5 モデルによる回路検証プロセスの構築

カラクリの解明が既にできている電気回路の定常領域に限定し、モデルを活用した回路検証プロセスを構築した (Fig. 6)。その一例としてエレキ部品の電圧検証を紹介する。

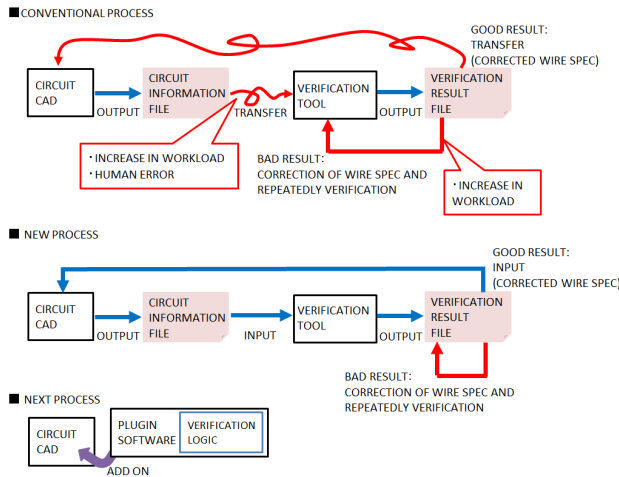


Fig. 6 Electrical Performance Verification Process

電圧検証の目的は、エレキ部品に必要な電圧レベルを設定した電線仕様で保証できるか確認することである。エレキ部品への印加電圧は以下の計算式で表される。

$$\text{「エレキ部品の電圧} = \text{電源電圧} - \text{電線電圧降下} \text{」}$$

また、この式は以下のように展開できる。

$$\text{「エレキ部品の電圧} = \text{電源電圧} - (\text{電線に流れる電流値} \times (\text{電線長} \times \text{単位長さあたり電線抵抗値})) \text{」}$$

単位長さあたりの電線抵抗値は、エレキ部品に接続される電線仕様 (電線種, 電線径, 端子サイズ) により異なる。この計算式を解くために、車一台の回路モデルが保有している電線接続, 電線仕様, 電線長, 電線に流れる電流値の情報を活用し, 上記計算式が組み込まれた検証ツールにデータをインポートすることで電線仕様の妥当性を判定している。

なお, 検証ツールから出力される検証結果のファイル (Fig. 7) に対して, 電線径を修正すれば再計算できる機能も持たせている。

5. 施策の効果

新世代商品群のリードビークル開発から, 全社レベルで新たなエレキ開発プロセスを導入して開発をスタートした。上流工程では, エレキ部品の最新情報が, 時間差なく関係のあるエレキシステム図へ反映でき, 役割分担も明確になったため, 作成/反映の作業効率が向上した。さらに, 下流工程はシステム図をそのまま取り込み, 車に実装する物理単位となる電線に直接変換することで, 人の手による介入を極小化した一気通貫のハーネス設計が可能となった (Fig. 8)。その結果, システム設計部門と

	RESISTANCE	CURRENT	VOLTAGE
BATT	0.15mΩ	36.18A	0.01V
FUSE_BFT_MAIN	0.46mΩ	36.18A	0.02V
BATT_P_MAIN	0.45mΩ	36.18A	0.02V
0A	0.16mΩ	36.18A	0.01V
RFBOX_BATT	1.08mΩ	36.18A	0.02V
T_O_BOX_1	0.92mΩ	36.18A	0.04V
9A	0.06mΩ	36.18A	0.03V
T_O_BOX_2	0.06mΩ	36.18A	0.04V
FUSE_ESVT_EX	0.81mΩ	18.00A	0.08V
FUSE_RELAY_BOX_2	0.00mΩ	18.00A	0.02V
42A	0.28mΩ	18.00A	0.05V
FUSE_RELAY_BOX_2	1.10mΩ	18.00A	0.02V
RLY_ESVT_EX	5.80mΩ	18.00A	0.10V
FUSE_RELAY_BOX_2	1.10mΩ	18.00A	0.02V
4376A21771	4.50mΩ	18.00A	0.08V
W0100203203	0.85mΩ	18.00A	0.01V
W0100202	0.00mΩ	18.00A	0.01V
4376A	1.25mΩ	1395mm	0.01V
ELEC_EX_SVT_G2[259]	0.00mΩ	18.00A	0.11V
SVT_G2_POWER_ESVT_RLY	5.30mΩ	18.00A	0.10V
ELEC_EX_SVT_G2[259]	1.00mΩ	18.00A	0.04V
921A	0.45mΩ	36.18A	0.02V
E020_1B[275]	0.28mΩ	36.18A	0.01V
EARTH_BODY_2	0.45mΩ	36.18A	0.02V
8990A	0.28mΩ	36.18A	0.01V
BATT_N3	0.45mΩ	36.18A	0.02V

Fig. 7 Verification Output File

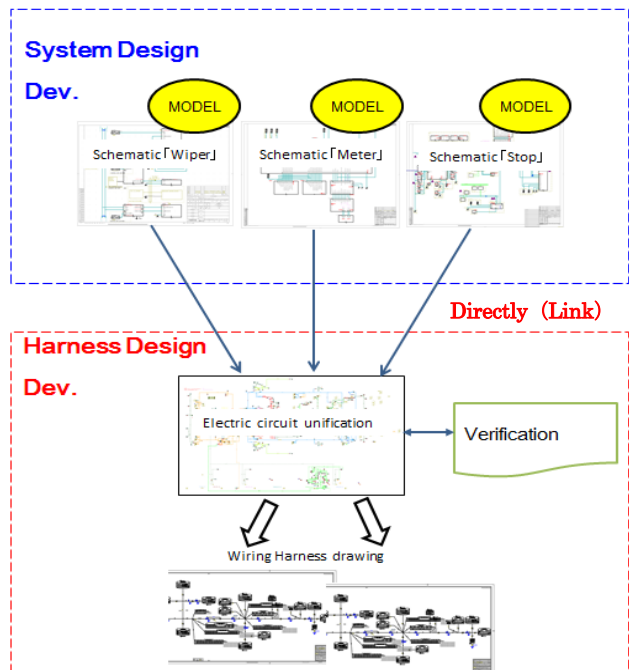


Fig. 8 New Electric System Development Process

ハーネス設計部門間でのエレキシステム図の内容に関わる不明点件数と問合せ確認工数は減少。ハーネス設計での転記工数は不要になるとともに, 試作車両製作時の回路不具合は従来から半減した。また, 車一台の回路モデルと回路検証のプロセスを構築できたことで, 主要ユニットの数と配置違いによるコスト及び質量の机上計算を容易に繰り返すことを可能とし, 回路検証における最適仕様算出工数を最小限に抑えることができた。

6. おわりに

今回の取り組みは, 理想のコモンアーキテクチャー開発に向けた最初のステップである。次のステップでは, 車一台を俯瞰できる電気回路モデルを活用し, 検証の領域を定常から時間軸を加えた領域に拡大させていく。最

最終的には過渡、EMC等の領域まで広げカククリ解明を行い、鍵となる電気的特性を見定め数理モデル化していく。そして、アーキテクチャー設計段階で部品に必要な電気的特性のレンジを定めることができる基盤とプロセスを構築していく。その実現に向けて取り組みを継続していく所存である。

参考文献

© 2019 Mentor Graphics Corporation.

Capital製品はMentor Graphics Corporationの登録商標です。

■ 著 者 ■



竹本 明



安原 潤紀



高田 純司



戸手 孝則



戸井 隆史