自動車生産のデジタルエンジニアリング*

Digital Engineering of Automotive Production

龍田康登**

Yasuto TATSUTA

Key words

digital engineering, production preparation, virtual manufacturing, offline teaching, process verification

1. はじめに

自動車のように、成熟した市場においては顧客のニーズが多様化し、需要が横ばいの中、車種数は年々増加し、1車種あたりの生産台数は減少し、製品のライフサイクルはここ10年間で半減する時代になっている。このため、製品が企画・開発されて市場に出るまでの開発リードタイム・コストを削減し、生産設備の投資回収期間を短くする必要がある。また、品質においても単に製造品質だけでなく、機能品質すなわち使いやすさ、顧客の利益につながる機能、顧客が手に触れ目にするサーフェースの品質に一層の重点が置かれるようになってきている。このため、デザインから見栄え、パワフルでスムーズな走りや静粛性などの性能、快適性や利便性といった商品性を「お客様評価結果」を徹底解析・検証し、すばやく次期商品にフィードバックすることが重要となっている。自動車製造業はかつての、“標準部品を可能な限り大量にかつ長期間にわたり生産する”という大量生産から、“顧客の開発プロセスへの統合～”顧客の視点に立った製品の開発・生産”という方向にシフトしてきた。すなわち、「市場は予測できないほど急激にかつ不連続に変化する」ということを肯定した上で、いかに早く柔軟に顧客ニーズを満足する商品を提供する企業であるかが、企業の競争力となってきている。そして、生産システムは、その対象範囲が需要量の変動に無駄なく、効率よく対応していくための生産工程、生産の仕組みから開発を含めた製造のプロセス全体を対象を拡大して考える必要がある。

“モノづくり”の軸には図1に示すように、製品企画、商品開発・設計、試作、実験、生産準備の開発軸と受注、

調達、製造、販売・サービスと顧客につながる生産軸があり、両方の軸に対する生産システムの革新が求められている。まさに、生産システムを製品の企画から販売に至る一連の生産活動を行うための体系と捉え、その領域を大きく拡大していく必要があると考える。

図1 “モノづくり”の軸

本稿では“モノづくり”の商品開発軸に焦点を当て、IT技術の進歩により可能になりつつある3次元モデル利用を中核とした、生産技術におけるデジタルエンジニアリングプロセスについて紹介する。

2. 生産準備プロセスのデジタルエンジニアリング

従来、商品企画から量産に至る過程は、製品開発と生産技術の間に設計図面を介してシリアルに行われてきた。IT技術の急速な進歩とともに製品データの3次元モデル化が可能となり、また、CAE、生産技術領域でのITツールの進歩により、共有の3次元製品モデルを核とした製品設計/生産設計の平行検討のフローが整ってきた。製品開発エンジニアがCAEをベースに製品機能・性能など、基本仕様を満足する製品の基本設計を行い、生産技術エンジニアが並行的に生産設計、生産要件のフロントローディン

*原稿受付 平成17年11月24日

**マツダ（株）技術本部（広島県安芸郡府中町新地3-1）

龍田康登

1972年大阪大学大学院光学研究科精密工学専攻修士課程修了。同年東洋工業（株）に入社。現在、マツダ（株）執行役員技術本部長。

図2 生産準備業務プロセスの狙い

グを行い、生産工程ごとに仮想的シミュレーションを加えながら生産設計を行い、3次元製品モデルを完成するパラレルなプロセス構築が可能な環境となってきた。3次元製品モデルを共通データとして、これを完成させる真の意味でのコンカレントエンジニアリングが可能となった。

生産準備を担当する部門の業務プロセスの狙いは、図2に示すように次の2つである。1つは、製品開発における確な目標を設定・共有できる仕組みを作り、実際の工場（Physical Factory）をDigital Factoryで机上検証し、“手戻り”のない効率的な仕事ができるプロセスづくりにある。“手戻り”とは業務プロセスのまずさや、予測困難な不具合によって発生する業務のやり直しであり、生産工程起因の設計変更、工程・要具・設備設計のまずさによる不具合修正などがこれに該当する。つぎに、机上検証に基づいた開発部門とのコンカレントエンジニアリングを通して、生産要件のフロントローディングを行い、組立て易い、加工し易い、コストの安い製品仕様を実現するとともに、源流指向でプロセスの前倒しを行うことにある。

要約すると、生産技術の業務プロセスをデジタルエンジニアリングにより、

・図面になってからの生産技術→図面になる前の生産技術
・物を作ってから生産技術→物を作る前の生産技術
へ脱皮を図り、より効率的かつスピーディなプロセスに変えることにある。

3. デジタルエンジニアリングへのアプローチ

デジタルエンジニアリングの基本は、3次元製品データとともに生産工程に関わる全ての要具、設備、作業者などのResourceをその属性を含めて全て3次元定義すること

にはじまり、その結果、生産工程は3次元表現されたものとしてとすることができる。これをここでは、“3次元工程データ”と呼ぶ。そして生産技術の基本的機能である工程・要具・設備作りを“デジタル試作”、“バーチャルマニファクチャリング”を通して、検証していく方法である。

“デジタル試作”は3次元製品（部品）データを組付け手順・工程手順に従って、組付け基準あるいは接合面に忠実に部品をコンピュータ上で組付けていく方法であり、ここで、製品データの良し悪し、部品同士の干渉/隙などが見映え、生産工程の幾何学的成立性、例えば組立工具と部品の干渉、溶接ガンと部品の干渉などが評価される。“バーチャルマニファクチャリング”は工程の机上検証を指す。実際の生産状況をコンピュータ上で、工程内での作業動作も含めた作業内容、エルゴノミクス、作業動作内での干渉、変形・たわみなど、工程の仮想的なシミュレーションにより工程検証が行われる。

Digital Factoryにおける工程検証の基本的考え方を図3に示す。各工程データは組付け手順・工程手順、3次元製品データおよび3次元Resourceデータ（要具、設備などのデータ）により生成される。バーチャルマニファクチャリングは“手戻り”の真因分析結果から得られた“評価体系”にもとづき何を、どのプロセス段階で、どのように検証するのかが決められ、工程単位で検証が行われる。バーチャルマニファクチャリングを経て検証された結果は“3次元工程データ”として保管され、生産準備における、要具設計、設備設計などの各プロセスの共有データとして用いられる。また、この共有データである“3次元工程データ”をもとに設備設計、要具（治具、工具）設計、制御設計、作業設計など各プロセスの生産準備は並列的に進めら

図3 工程検証

図4 生産準備プロセス概要

れる。ここでは、各設計業務の中で設計の不備の修正も含めた設計とバーチャルマニファクチャリングによる検証が同時に行われる。各プロセスの進行とともに“3次元工程データ”はバーチャルマニファクチャリングの検証により更新され、進化してゆく。図4に業務プロセス全体の概念図としての車体組立生産準備プロセスの一例を示す。

最後に、実際の生産ラインの状態をデジタルで具現化し生産ライン全体のツーリングトライアルを行う。これら一連の活動を行うことにより、生産設備の稼働を早期に立ち上げ、工程設計から実稼働までのリードタイムを短縮することができる。

4. 生産準備プロセスの実際

以下に実際の生産工程の量産準備における、“3次元工程データ”、バーチャルマニファクチャリングについて車体組立領域の生産準備プロセスの事例を紹介する。

図5はボディサイドOUTとレインフォース面との組付け/隙・干渉の検証事例を示す。まず3次元製品データと連動した部品構成から部品の投入順序が決められ、これに基づいて組付け手順・工程が決められる。ここで、デジタル試作が行われ、部品の隙・干渉が検証される。不具合が発生した場合、この結果は製品データにフィードバックされ適切な修正が行われる。

図5 車体組立 隙・干渉の検証事例

図6 溶接ガンの挿入性検討事例

図7 加工基準の設定事例

図8 治具設計の事例

図6は溶接打点設定の事例を示す。3次元 Resource データから溶接ガン情報が選択され、溶接ガンの挿入性検討、打点配分の設定を行う。

図7は加工基準の設定事例を示したもので、FEM (Finite Element Method) を用いて組付け状態における

変異を解析し、適切な加工基準が設定される。

これらの結果はすべて、工程ごとに“3次元工程データ”として保管される。

治具の設計もこの“3次元工程データ”を用いて並行的に行なわれる。図8にその事例を示す。ここに示したのは、

図9 3次元工程データの生成

図10 Digital ツーリングトライアウト

治具の構成要素のたわみ解析，これらの構成要素を組付けたときの公差解析，クランプ動作時の干渉検証，ワーク挿入時の治具との干渉検証である。このほか，作業者を含めた作業性・エルゴノミクス，製品組付け時の精度，ロボットの据付位置，サイクルタイム，ロボット動作中の干渉等の検証を経て，図9に示すような最終の“3次元工程データ”が工程ごとに生成される。

このように全ての工程でバーチャルマニュファクチャリングによる検証が完了した“3次元工程データ”を基に，最終の検証として図10に示すように Digital TT (Tooling Tryout) が行なわれる。ここでは，設備・要具同士の干渉，工程サイクルタイム，制御シーケンスなどが検証され，また，ここで修正の行われたロボット動作データはオフティーチングプログラミングデータとして使われる。

このように，Digital TT による Digital Factory における検証が実施された後，要具/設備の製作が開始され，Physical Factory での工程・要具・設備トライアルにおける修正は極小化することができる。

5. おわりに

これらの業務プロセスは実際の製品開発業務に適用を開始している。このプロセスの適用により，生産技術要件の早期フロントローディング，“手戻り”のない生産準備が可能になり，その質も大幅に向上するとともに，生産準備期間の短縮を実現できた。これは単に IT 技術の活用の効果だけではなく，IT 技術をツールとして，実業務に従事するエンジニアが業務プロセスそのものに改善を加えたことが効果を上げたと考えられる。