

特集：新世代商品群の生産技術

25

## マス・クラフツマンシップへの変革 Development of Mass Craftsmanship Production System

安達 範久\*1  
Norihisa Adachi

### 要 約

近年、自動運転やカーシェアリングなど、お客様のクルマの使い方と求める価値が急激に変化しており、その対応には、IT関連などのこれまでの自動車以外の技術と融合した大規模な技術開発が必要となってきた。この状況の中で、自動車メーカーとしてスモールプレーヤーであるマツダが生き残るためには、ブランド構築を核とした高付加価値&ニッチ戦略が必須であり、生産技術は、ビジネス効率 = 価値/コスト（以下“ $E = V / C$ ”）を向上させるために、機能的価値と意味的価値の同時進化を目指した「Mass Craftsmanship（職人技の量産化）」の実現に取り組んでいる。本稿では、この概念と具体的な取組みを紹介する。

### Summary

Car companies are required to execute extensive technology development with non-automotive industries such as IT companies, to meet drastic change of customers use and demand value, as typified by Autonomous driving and Car-sharing service. In this situation, to sustain as small-scale car company, Mazda is required high-added value and niche product based on brand building strategy. In the production engineering area, we, to improve “Business Efficiency = Value / Cost” ( $E=V/C$ ), are addressing to achieve “Mass Craftsmanship” production system pursuing concurrent evolution of functional & emotional value. We would like to introduce “Mass Craftsmanship” concept and approach in this report.

**Key words** : Production・Manufacture, CAD/CAM/CAE, Design, Paint, Machining, Material, CAE, Press Technology, Skill, Robust Quality Engineering

### 1. はじめに

マツダは、クルマを通じてお客様に人生の輝きを提供することを目指して、「魂動デザイン」「人馬一体」「燃費」を継続的に進化させたクルマの開発に取り組んでいる。近年は、IT技術の進化や交通インフラの発展を背景に、電動自動車、コネクテッド、自動運転、ライドシェアリング、カーシェアリングなどが急速に普及しつつあり、お客様のクルマとの接し方と使い方の変化に伴って、クルマに求められる機能と価値が急激に変化している。これに対応するには、従来の自動車関連以外のIT企業や電機メーカーなどと連携し、クルマのハードとソフトの両方を、多大な投資と期間をかけて開発することが必須となる。このような自動車の大きな変化の中で、スモールプレーヤーとして生き残るためには、他社とは異なる、商品とモノ造りへの変革が急務である。従来の

大量生産技術を超えて、ブランド構築を核とした高付加価値&ニッチ戦略が必須であり、自動車の機能の変革に伴う多大な投資を確保しつつ、モノとしてのオリジナリティと意味的価値を造り込んだクルマを創造することで、お客様に特別な企業であると認識されることが最重要課題である。モノ造りの中核である生産技術は、ビジネス効率 = 価値/コスト ( $E = V / C$ ) の向上を使命と認識し、これを実現する仕事のやり方への変革と技術開発を、モノ造りのプロ意識を持って愚直に推進している (Fig. 1)。

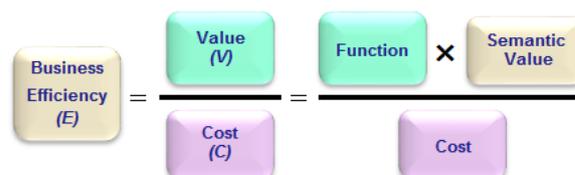


Fig. 1 Business Efficiency

\*1 技術本部  
Production Engineering Div.

## 2. マス・クラフツマンシップ

生産技術では、一般的に基準化されたQCDを中心とする目標を達成する生産システムを追求する。マツダは、「物を造る企業としての本業の強み」を生かし、機能的価値の高効率な造り込みに、モノ造りの意味的価値を加える新たな生産システムを構築して、クルマを所有する喜びを感じていただけるマツダプレミアムを適正な価格でお客様にお届けすることを目指している。

モノ造りの意味的価値は、クラフツマンシップを持つ匠や職人、複雑な工程や技術より、こだわりの手仕事で感じる感動やプレミアム性をモノに造り込むことと考えている。従来の大量生産は、技術で機械やロボットを使って、高精度で均一な製品を短時間・低コストで生産できるが、それだけではプレミアム性を感じていただくことは困難である。従って、ビジネス効率 $E = V / C$ の最大化をしながら顧客価値を創出するためには、クラフツマンシップとマスプロダクションの良い所取りをし、手仕事と技術を融合して職人技を量産化する生産システムの構築が必須である。この生産システムについての概念を、マス・クラフツマンシップ<sup>(1)</sup>と定義した (Fig. 2)。

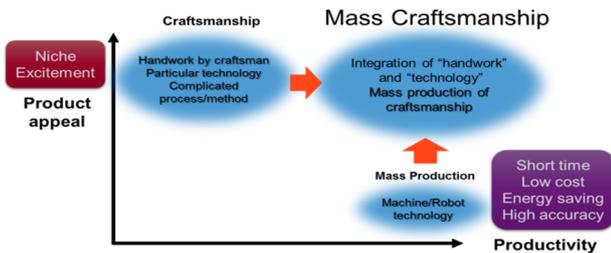


Fig. 2 Mass Craftsmanship

マス・クラフツマンシップを実現するには、従来の分業効率を重視した、デザインから生産までセグメント化された役割分担と責任分担の下で図面や基準を受け渡すことを基本とする仕事のやり方では不可能である。数値では表すことができない、デザイナーや匠が持つイメージやノウハウを、大量生産に関わる関係者全員が認識できる形に変換した上で、提供価値の共通目標に向けて協働する仕事のやり方に変える必要がある (Table 1)。

この実現には、発想の転換をベースとし、業務プロセスと技術の両方についての統合的な取り組みが必要であり、キーネーブラーは以下の3つと考える。

### 2.1 心のフロントローディングと統合的基準プロセス

大量生産に関わる多くの部門とお取引先様が、同一の提供価値の実現を目指す協働活動を進めるためには、統合的なプロセスアプローチによって、モノ造りの想いをデザインから生産までを貫く業務プロセスへの転換が必要である。そのためには、従来のコスト削減や手戻り防

Table1 Comparison of Mass Craftsmanship

従来 Conventional	マス・クラフツマンシップ Mass Craftsmanship
プロや専門家に任せる Rely on professionals & experts	自分もプロになり、プロを超える Be a professional, and surpass
コストや生産性を優先して設計を変更 Modify design for cost and productivity	提供価値を優先する生産技術開発 Develop technology for product value
相反のバランス取り Conflict balancing	基本機能でパラメータ設計 Parameter design for generic function
数値基準での役割分担 Role sharing by criteria	意図を共有して協働 Collaborate with mutual intent
各部門個別の活動 Individual activities in organization	お取引先様/部門を横断した統合的な活動 Integrated activities across related people
デザインを数値データで伝達 Hand over numerical design data	デザイン意図と意味的価値を共有 Share design intent and emotional value
提供価値を言葉で提示 Indicate product value with language	提供価値を物理特性に変換 Convert product value to physical property
既存材料の組み合わせ Combine existing materials	原材料の製造まで踏み込む Cut into raw material

止を主目的とした“生産性のフロントローディング”に、モノ造りの価値の織り込みを主目的としたクラフツマンシップの“心のフロントローディング”も加えることで、デザイナーや設計者の意図とモノ造りの意味的価値の統合、機能開発の課題に対する生産面からのサポート、材料や部品メーカー様との共創活動や共同技術開発などを、一貫したモノ造りの想いで推進する量産準備プロセスに変革する。

### 2.2 暗黙知の形式知への変換

クラフツマンシップの暗黙知を、関係者が共通理解できる形式知へ変換することが要件となる。そのために、デザイン領域では、工場や生産技術の技術者がデザイナーと直接対話をして、造形やカラーで表現したい感性を理解した上で、人間工学に基づいて可能な限り物理特性へ変換し、製品価値の目標を共有する。また、感性を具現化する匠や職人の手仕事を、科学的な解析に基づいて加工特性へ変換し、加工技術の開発目標を定める。ただし、これらの目標を共有して活動する上では、数値では暗黙知を完全に表現できないため、クラフツマンシップの暗黙知に立ち戻った価値判断を優先することを関係者で共通認識が必要である。

(注) ・暗黙知：簡単に説明できない知識

・形式知：図表・数値などで説明できる知識

### 2.3 低コスト/低投資の高精度材料と精密加工技術

クラフツマンシップの物理特性と加工特性の目標を大量生産で実現するためには、お客様にとっての価格対価値と、経営視点での費用対効果の両方を考慮したアフォーダブルコストでの製造技術が必須である。そのために、品質工学の概念を適用し、物質と加工の基本機能を定めた上で、そのSN比と感度を上げるための技術開発を行う。例えば、車体組立での多車種混流生産における設備・治具の極小化、アクアテック塗装<sup>(2)</sup>での工程短縮&統合などでは、基本機能を向上させた高精度材料や精密加工技術の開発によって、資源効率とエネルギー効率を向上させ、低コスト/低投資の生産システムを実現した。

### 3. 具体的な活動事例

#### 3.1 心のフロントローディングと統合的量準プロセス

クルマには、“より美しく”，”よりリニアな応答性”，“燃費とパワーの両立”などの領域で，多岐にわたりクラフツマンシップが存在する。ここでは「魂動デザイン」の実現に向けた事例を紹介する。

視覚的なブランドアイデンティティの要素である「魂動デザイン」は，外板パネルのビードに頼るのではなく，繊細なパネル曲面で反射する光の陰影で，造形のダイナミズムを表現するデザインである。この繊細な曲面をボディー全体で表現するためには，従来のパネル間のスキヤ段差の精度向上に加え，ボディー全体で統合した曲面の造り込みが必要であり，プレス金型～完成車組立までの全領域で，光の反射を造り込む量産準備活動を実践した。

まず，製造に関わる全ての関係者がクレイモデルを見ながら，デザイナーの表現したい造形の意図を聞いて提供価値の目標を共通理解する (Fig. 3)。



Fig. 3 Clay Model Presentation

次に，各領域の製品特性に合わせた光の反射の計測手法と単品部品の曲面精度を制御する製造技術を進化させる。具体例として，鉄板パネル部品では，実成型工程のビッグデータとCAEを活用して，プレス成型後に弾性で元に戻るスプリングバック現象を見込んだ金型形状の設計技術と，高精度の金型製作技術を開発することで，パネルの面精度を向上した (Fig. 4)。

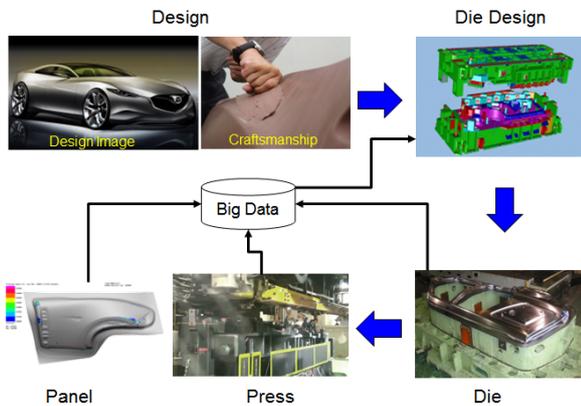


Fig. 4 Pursue KODO Design on Steel Panel Surface

またバンパー成形においては，高温射出から冷却までの樹脂流動と収縮を予測するCAEを進化させ，射出成形に伴う樹脂変形をキャンセルする金型設計により，柔らかく変形しやすい樹脂の面精度を向上した (Fig. 5)。

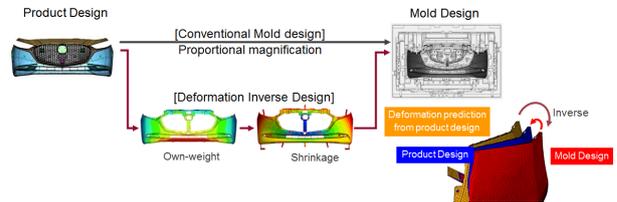


Fig. 5 Activity for Plastic Parts Surface

更に，ゼブラ状の光源の映り込み形状で，全部品曲面のつながりを関係者で確認し，擦り合わせることで，ボディー全体で一体感のある光の陰影を表現した (Fig. 6)。

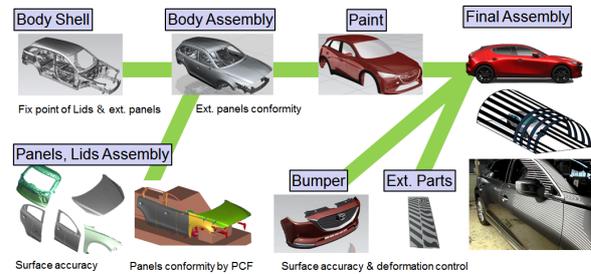


Fig. 6 Surface Adjustment on Body Exterior

また，ボディーカラーにも光の陰影へのこだわりを展開し，ソウルレッドクリスタルメタリックなどの高匠匠カラー開発では，従来の平面に近いパネルでのカラー評価ではなく，魂動デザインの躍動感を造り込むために進化させた金型製造技術で，魂動デザインのエッセンスを凝縮したデザインパネルを製作し (Fig. 7)，このパネル上での陰影表現をデザイナーと確認しながら，塗膜構造のファインチューニングを実施することで，造形の陰影を際立たせるカラーを実現した (Fig. 8)。



Fig. 7 KODO Project for Stamping Die

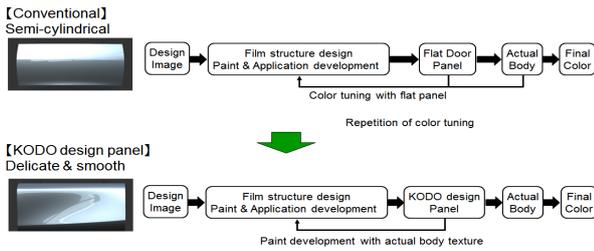


Fig. 8 Color Fine Tuning on KODO Panel

3.2 暗黙知の形式知への変換

具体例として、高意匠カラーのソウルレッドクリスタルメタリックの開発では、デザイナーが求める感性のキーワードは「宝石の深い赤」「潤い」「金属感」「マグマの躍動感」であった (Fig. 9)。これらの感性を、視神経の感度特性と脳の画像処理 (Fig. 10) を考察しながら、塗膜反射光の波長分布などの光学特性に変換し、塗膜構造を設計した (Fig. 11)。

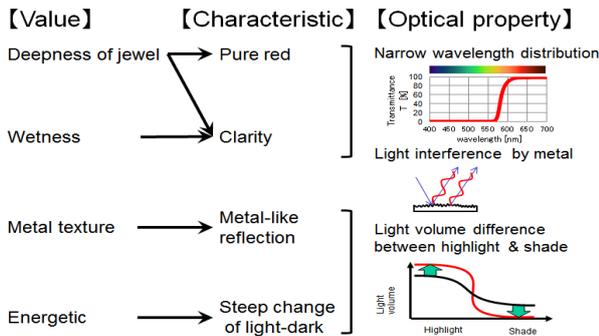


Fig. 9 Image Conversion to Optical Property

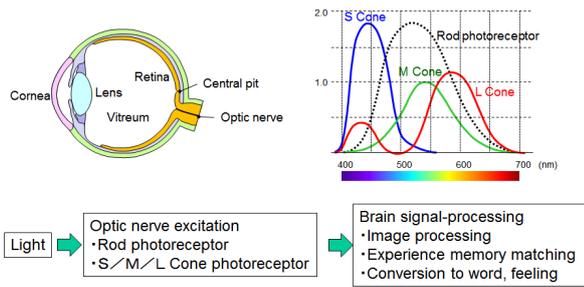


Fig. 10 Visual Perception

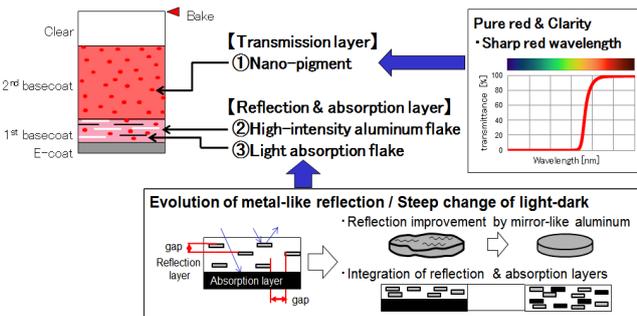


Fig. 11 Paint Film Design to Realize Optical Property

このカラーの塗膜構造の要件の1つは、 $10\mu\text{m}$ 以下の1ベース塗膜に含まれる円盤状アルミフレークによる反射光の強度を上げて反射方向を揃えることである。後述するアルミフレークの高精度材料の開発と、その塗膜内の配列を均一化する塗布工法が必要であった。また、塗布工法については、塗装の匠の、スプレーガンの距離や塗り重ねの時間間隔を調整しながらアルミフレークの配列を整える塗布動作を解析して、ロボット動作に変換し、塗料組成と塗装工法をセットで開発することによって、匠の技の量産化を実現した。

また、匠の技能の形式知への転換については、最先端の人間工学とIT技術を活用した取り組みも行っている。プレス金型表面の仕上げ加工では、モーションキャプチャ/アイトラッカ/筋骨格シミュレーションで、 $0.1\text{mm}$ を研削して磨くグラインダ作業などを計測し、単純な動きや力だけでは解明できない「コツ」を、可能な限り数値化して、体の使い方や注視ポイントなどについての課題を客観的に把握することで、初心者への早期習熟と匠の更なるスキルアップに活用している (Fig. 12)。

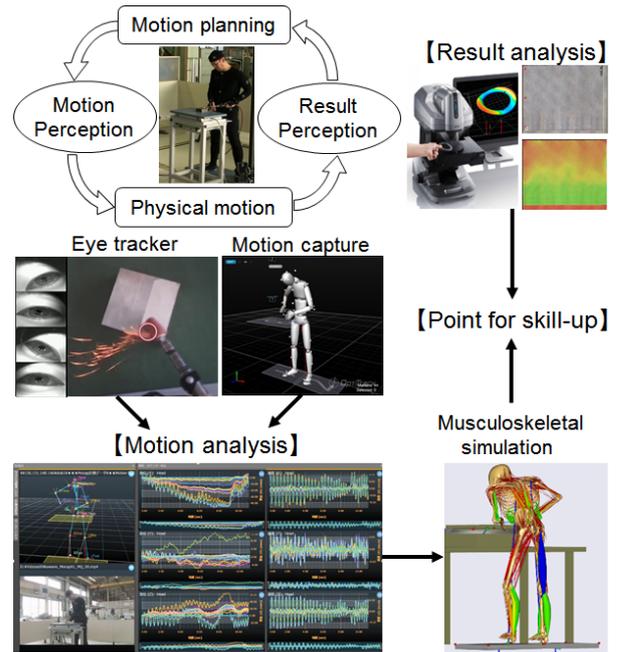


Fig. 12 Skill Measurement System

3.3 低コスト/低投資の高精度材料と精密加工技術

高精度材料の例として、高意匠カラーでは、塗料の原料の製造工程まで遡り、高輝度アルミフレークを開発した。この原料は、通常、アルミフレークメーカーの製品バリエーションから、塗料メーカーが選択するが、今回のカラー感性表現に求められる反射特性をもつ製品は量産化されていなかった。そこで、反射特性とフレーク形状の物理目標を、塗料メーカーを通じてアルミフレークメーカー様に提示し、製造工程に遡って3社での共同活動

を行うことで、従来の製造精度を超えた平滑な表面のアルミフレークの量産化を実現した (Fig. 13)。

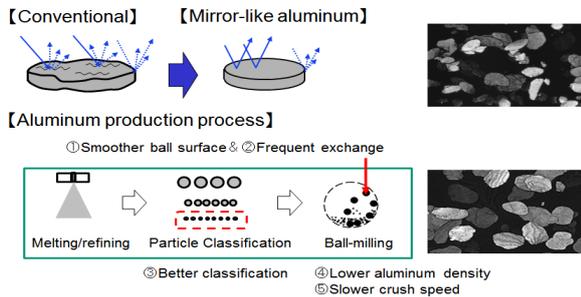


Fig. 13 Skill Measurement System

精密加工技術の例として、「人馬一体」と「燃費」を進化させたSKYACTIVエンジンを支える、高効率&高速アルミ切削加工技術<sup>(4)</sup>を開発した。マシニングセンターによる切削加工の加工点では、摩擦熱によるアルミ材と刃具の軟化/剪断/切粉排出の相反する事象が同時に起こるため、最大効率となる刃具の送り速度が存在するが、この速度は連続加工による刃具摩耗に伴い変化する (Fig. 14)。従来、加工中の刃具摩耗の検出が困難なため、バリや主軸装置破損の防止を優先し、余裕を持った一定の低速に設定していたが、主軸装置の必要強度と構造設計に踏み込むことで、加工中の応力を直接計測するセンサの組み込みに成功し、リアルタイムの刃具摩耗に基づいた送り速度制御による、刃具のパフォーマンスを使い切る高効率な切削加工システムを実現した (Fig. 15)。

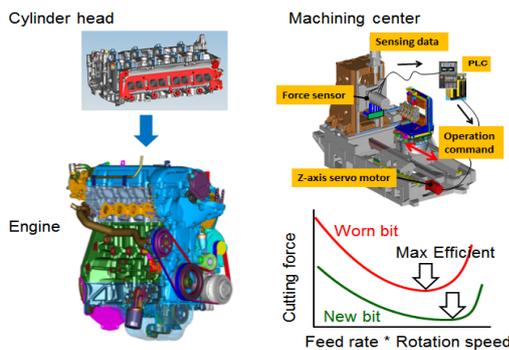


Fig. 14 Aluminum Cutting Work on Cylinder Head

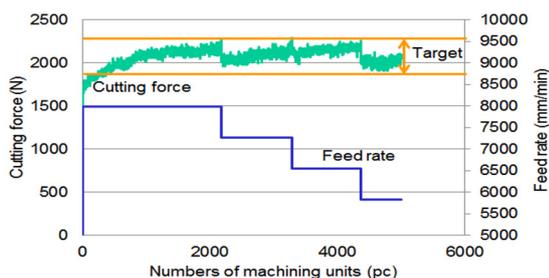


Fig. 15 Efficiency of Real-time Bit Feed Control

#### 4. おわりに

新型MAZDA3に展開したマス・クラフツマンシップの取り組みの事例を以下に示す (Fig. 16)。

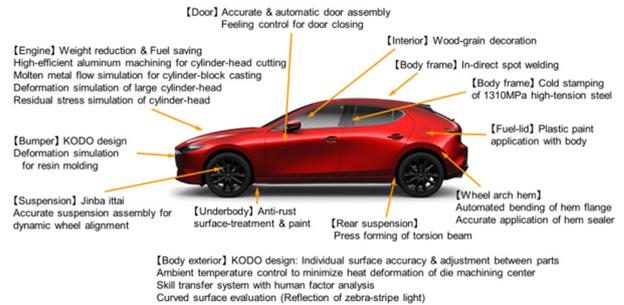


Fig. 16 Mass Craftsmanship on All-New Mazda3

お客様にモノ造りの意味的価値を感じていただくことは、モノ造りを担う人の根源的な責務であり、マス・クラフツマンシップは、これを大量生産の中で実行するための重要なアプローチであると考えている。ビジネス構造が激変する自動車業界の中で、モノ造りを行う企業として輝きを持った存在になるために、今後もマツダプレミアムの実現に向けて、高いお客様価値を生み出す生産システムを追求しつづける所存である。

#### 参考文献

- (1) Kentaro Nobeoka : ART THINKING BEYOND DESIGN THINKING MAZDA DESIGN: CAR AS ART, 2016 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, pp.2499 (2016)
- (2) 篠田ほか：VOCとCO2を同時削減する新塗装技術「アクアテック塗装」、自動車技術, Vol.70, No.6, pp77-82 (2016)
- (3) 榎本ほか：アルミ加工のための低コスト高効率加工技術～切削力センシング適応制御技術の開発～, 精密工学会誌, 85巻, 第2号, pp.133-136 (2019)

■ 著 者 ■



安達 範久