

特集：新世代商品群の生産技術

27

「魂動デザイン」を支える技能者の育成 Nurturing of Craftsmen to Support “KODO Design”

久保 祐貴*1 Yuki Kubo	須賀 実*2 Minoru Suga	大谷 卓史*3 Takushi Ohtani
加藤 康裕*4 Yasuhiro Kato	江草 秀幸*5 Hideyuki Egusa	大田 敦史*6 Atsushi Ohta

要 約

マツダは、クルマ造りに想いを込めている。クルマに命を宿す「魂動デザイン」は、随所にデザイナーの想いを込めている。その想いを実現していくことがマツダブランドの構築に重要である。マツダの金型製作部門では、この「魂動デザイン」を実現するために、Mass Craftsmanship（職人技の量産化）を積極的に取り組んでいる。長年かけて培われる匠技をもつ技能者の動作をモーションキャプチャーで計測し、眼球運動と筋骨格運動を併せて分析することで匠技の見える化に取り組んでいる。更に、技能カルテを用いて、定量的に技能を比較し、技能者の早期育成を進めている。本稿では、「魂動デザイン」を支える金型製作部門の新たな技能伝承の取り組みについて紹介する。

Summary

Mazda is committed to developing and manufacturing vehicles with its whole heart. Mazda designers' aspiration appears everywhere throughout the “KODO Design - Breathing Life into the Car”. We believe that even reproducing such aspiration is important for establishing Mazda brand. Mazda's Tool & Die Production Department is aggressively proceeding with “Mass Craftsmanship” which is essential in realizing the “KODO Design”. By measuring the motions of craftsmen, which had been cultivated over the years, with a motion capture system and analyzing them along with their eye movements and musculoskeletal motions, we worked on visualization of the know-how of craftsmen. Furthermore, we implemented quantitative comparisons with skill medical record and proceed to develop craftsmen early. This article introduces new efforts to pass down the skills and techniques to sustain the “KODO Design” by Tool & Die Production Department.

Key words : Production・Manufacture, Die/Mold, Press/Resin (Plastics), Engineering, Behavior Observation, Musculoskeletal System, Fatigue/Burden

1. はじめに

マツダは、お客様へ人生の輝きを提供するクルマ造りを目指している。これを実現する上で重要なお客様への提供価値の一つとして「魂動デザイン」がある。美しいフォルムをまとった「魂動デザイン」は、クルマに命を与え、生命感を伝えたいデザイナーの想いが込められており、こだわり抜いて造り上げられている。いわば、1つの芸術作品、アートともいえるものである。その美しいデザインを高い精度で量産車にて実現することが生産技術の使命である。そこで、生産技術領域では、技能による造り込み（希少性・感動）と生産性の高さ（高速・高

精度）を高次元で両立させるMass Craftsmanship（職人技の量産化）に取り組んでいる。マツダの金型製作部門も、お客様へ「魂動デザイン」をお届けすることにこだわり、Mass Craftsmanshipに向けた取り組みを行っている。金型製作は、多くの技術とともに、高度な技能が組み合わさり成り立っている。その“技能による造り込み”，すなわち職人技は、金型製作のプロセスの随所に存在し、これにより、繊細な「魂動デザイン」を支えている。しかし、金型製作における職人技を習得し、匠とよばれる技能者になるには、20年以上もの長い歳月を要しており、職人技を高い効率で受け継いでいく必要がある。

*1～6 ツーリング製作部
Tool & Die Production Dept.

本稿では、金型製作における技能者の仕上げ動作を計測し、匠技の見える化と技能構築の重要因子解析、更に、技能カルテを用いた技能者の早期育成に取り組んだ事例について紹介する。

2. 技能伝承の目指す姿と課題

金型製作における技能育成は、通常、グラインダー作業、溶接などの基礎技能教育や安全作業の手順指導は行いが、匠技は、明文化することが難しい。そのため、これまでは熟練技能者の動きや判断を見ながら、技能者自身が失敗を重ねながら体感、習得していく経験学習が主流であった。進化し続ける「魂動デザイン」を最高の効率で実現するためには、従来の経験学習ベースの技能伝承から、自己の技能を定量的に認知して育成ポイントを明確にし、短期かつ達成感のある技能伝承に変革する必要がある。以下4項目を重点課題として取り組んできたので詳細に述べていく。

- ① 技能の見える化（定量化）
- ② 技能階級の定義（目標、実力把握）
- ③ 技能のメカニズム解明
- ④ 技能指導の定量化

3. 技能の見える化

現在、マツダの金型製作部門では、技能伝承・育成期間に応じた5階級（初級、中級、準上級、上級、匠級）に区分した技能階級を設定している。技能育成の目標は、各階級への到達期間を半減、つまり、初級から匠級になるために、従来20年を要していた期間を10年にすることを目指している（Fig. 1）。

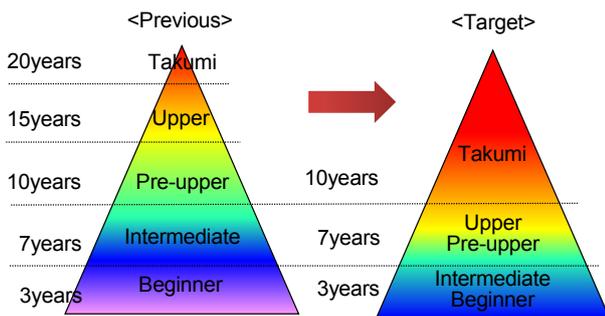


Fig. 1 Target of Skill Tradition

技能育成の早期化に向けては、技能を定量化し、技能者自身が達成目標レベルと技能向上課題を定量的に認知でき、同時に、技能者自身が成長を実感し自信と誇りを持って自己研鑽することで、働きがいのある職場作りにもつながる仕組みの開発が必要と考えた。金型製作には高度な技能を必要とする作業がある。その中でも、最終的に「魂動デザイン」を造り上げる磨き作業の基礎であるグラインダーによる研削作業（以下グラインダー作業）

の技能の定量化から始めた。

モノ造りにおいて「技能」は、「人の動き」となって表現される。その「人の動き」を定量化するには、外見として表れる身体動作と、その基となる判断や身体内部の筋骨格の情報までも可視化していくことが重要であると考えた。そこで、技能者が判断し動作を行う一連の行動情報となる、眼球運動、身体動作と筋活動量の計測・推定を行い、更にグラインダー作業の結果である被削材寸法精度と併せて分析・評価・指導ができる技能計測システムを開発した（Fig. 2）。

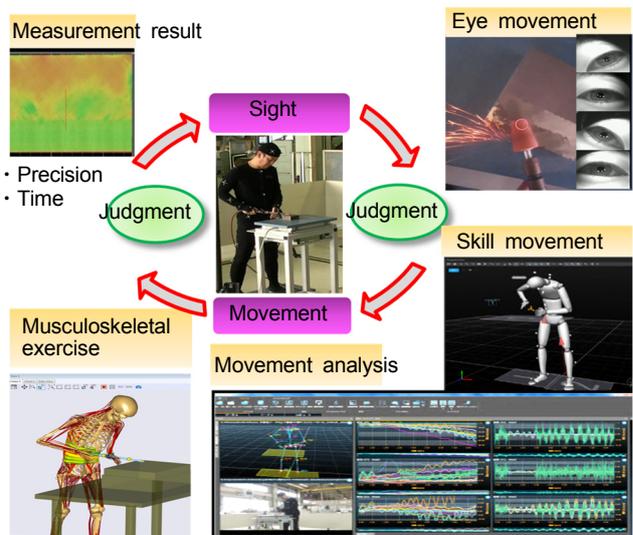


Fig. 2 Skill Measurement System

眼球運動は、視線計測器を用いて技能者の注視点座標を計測可能とした。また、身体の動作情報は、カメラ8台で構成された光学式モーションキャプチャーを採用し、4m×4m×2mの範囲における身体に取り付けた複数マーカーの三次元座標を計測可能とした。反射体となるマーカーは技能者の身体に41個、グラインダーに3個取り付けた。更に、左右の足元と作業台の3箇所にフォースプレートを設置し、床面反力を計測可能とした。また、作業中の筋活動量は、モーションキャプチャーで計測した関節角度などの身体動作情報と、フォースプレートで計測した身体に作用する外力情報を基に、筋骨格モデリングシミュレーションを用いて推定を可能にした。被削材寸法精度は、3D形状測定機にて計測した。このような膨大な行動情報と被削材寸法精度の情報を基に分析することで評価・指導につなげる。

4. 技能階級の定義

技能計測システムの結果から、匠技の分析をする必要がある。そこで、技能レベルが最も高い匠級の技能者を基に匠技の分析をすることにした。しかし、3章で述べた

5階級設定では、初級から上級までの4階級は、国家技能検定の取得や経験年数によって定めているが、匠級は、上級の中でも20年以上の業務経験を持ち、指導・育成の経験したことがある「だれもが認める技能の優れた人」という周囲の官能評価で定められていた。そのため、まずは、技能階級の定義を明確にすることから始めた。

そこで、当部門に所属する金型仕上げ技能者全員に対して、グラインダー作業試験を実施し、技能計測システムによって一連の行動情報を計測した。試験は、あらかじめ被削材中央に0.1mm凹の基準面を設けた100mm×100mm×35mmの一般構造用圧延鋼材（SS材）を用いて、グラインダーで基準面と同一高さになるまで均一に研削する内容とした（Fig. 3）。

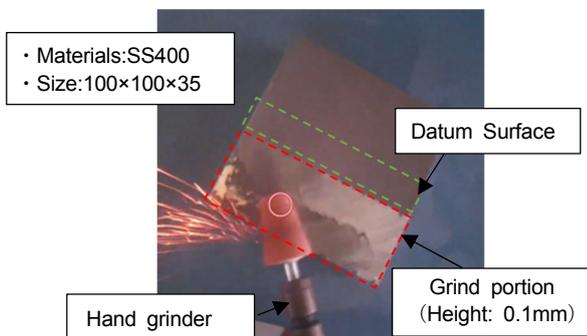


Fig. 3 Materials of Rank Examination

グラインダー作業試験の被削材寸法精度と研削時間から算出した平均値と標準偏差を基に各階級の設定を行った。「魂動デザイン」を造り込む上で必要な寸法精度と研削時間を両立できる5名を匠級と定義し、各階級の精度・時間の閾値をTable 1にまとめた。この試験によって、技能者の定量的な技能階級を定義することができた。また、新旧の階級の人数分布を比較し、大きな乖離がないことも確認した。この定量的な技能階級の定義によって、自身の立ち位置と閾値が明確になり、上の階級に挑戦するための目標を設定しやすくなった。

Table 1 Accuracy and Time in Each Rank

Class	Precision [mm]	Time [min]
Class5 : Takumi	≤0.03	≤10
Class4 : Upper	≤0.04	≤14
Class3 : Pre-upper	≤0.05	≤18
Class2 : Intermediate	≤0.07	≤26
Class1 : Beginner	≤0.09	≤34

5. 技能のメカニズム解明

5.1 技能の解明トライアル

技能階級を定義し、目標が明確になれば、目標達成に向けてどのポイントを伸ばしていくかの確に指導することが重要になる。そのため、技能計測した結果から、指導につなげるトライアルを行った。そこで、4章で階級設定した匠級と初級の技能者各1名を比較した。

以下、眼球運動・身体動作・筋活動量の3要素におけるデータ処理方法と判明したことを述べる。

(1) 眼球運動の分析

視線計測器から得たXYZの注視点座標から、まばたき等で発生するエラー値を除去し、注視点の分析を行った。その中でも、匠級技能者と初級技能者で注視点座標の分散値に差があることが分かった（Fig. 4）。匠級技能者は視線移動が少ない。一方、初級技能者は視線移動が多い。このことから、初級技能者は見るべき部位が定まらず、情報探しや判断遅れによって時間を費やしていると考えられる。更に、少ない視線移動が、頭部の変位量を少なくし作業姿勢が安定することから、寸法精度にも影響が出ると考える。このように、無意識・無自覚に行っている視線移動からも行動情報を得ることができた。

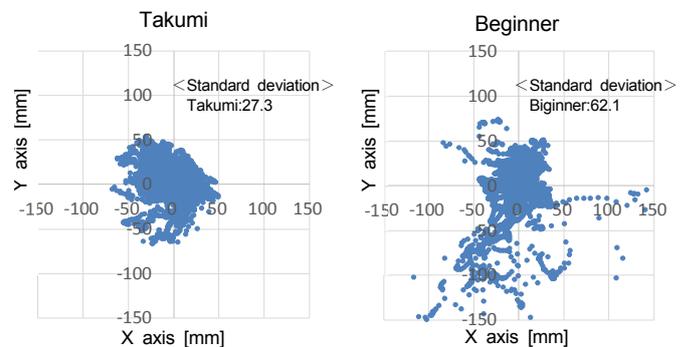


Fig. 4 Comparison of Eye Movement

(2) 身体動作の分析

モーションキャプチャーで得られる44個のマーカークの位置情報と3個のフォースプレートの床面反力の計測結果を分析した。身体動作は、41個のマーカークの位置情報を基に、19個の身体部位（頭・首・胸・左右肩・左右上腕・左右前腕・左右手・腰・尻・左右腸骨・左右膝・左右足）の重心位置を得ることができる。グラインダーも同様に3個のマーカークから重心位置を得た。この合計20箇所の重心位置を分析した。両者の動作の特徴をFig. 5に示す。匠級技能者は体幹の動きが小さく、Fig. 5左に示すようにグラインダーと前腕の左右への動きが同調している。それに対して、初級技能者は、Fig. 5右に示すようにグラインダーと体幹を含む全身の動きが同調して

いることが分かった。

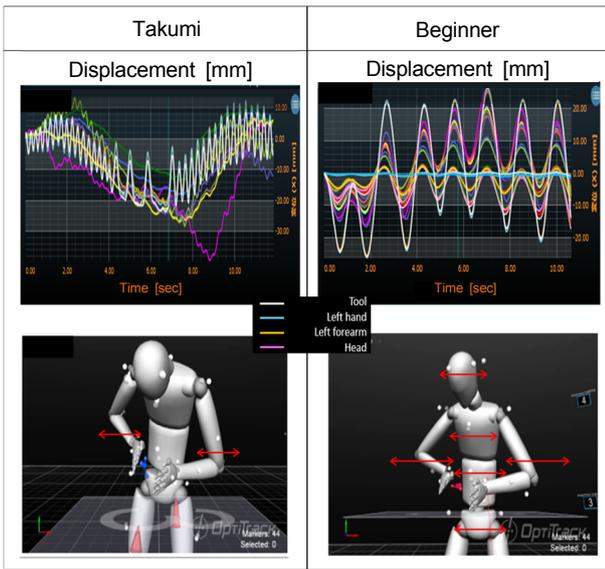


Fig. 5 Comparison of Movement

(3) 筋活動量の分析

筋骨格モデルリングシミュレーションから得られる筋活動量は約820部位ある。筋活動量は、最大可能筋力 $F_{max}[N]$ に対する筋力 $F[N]$ の割合であり、単位は[%]で表される。約820部位のデータは、体幹・右上肢・左上肢・右下肢・左下肢の5部位に集計し比較した。

匠級技能者の筋活動量の特徴は、姿勢維持のため体幹の使用割合が高く、左右の下肢の差が少なくなっている (Table 2)。

Table 2 Comparison of Musculoskeletal Exercise

		Takumi	Beginner
Muscle active mass [%]	Trunk	1.4	1.0
	Left arm	1.3	1.5
	Right arm	1.2	1.0
	Left foot	0.6	1.5
	Right foot	0.6	0.6
Total		5.1	5.6
Tool reaction force[N]		8.2	2.1

また、少ない総筋活動量で、グラインダーに反力を与えている。このことから、匠級技能者は、初級技能者よりも、作業中の身体の軸がしっかりしており、左右へのずれが少ない。更に、自身が発した力をグラインダーへ効率良く伝達していることが分かる。すなわち、匠級技能者は伝達効率の高い作業を行っていると考えられる。

以上のことから、匠級技能者と初級技能者を比較し分析することで、グラインダー作業における技能のポイントが分かった。しかしながら、この技能動作の分析方法

では、個人ごとの比較を必要とするため、分析に工数を費やしてしまう。よって、計測した大量の技能データから、グラインダー作業の技能動作の特徴を抽出する解析が必要と考えた。

5.2 多変量解析を活用した技能動作メカニズム推定

技能動作の特徴を抽出するための解析手法として、多変量解析の一つである主成分分析を活用した。技能計測システムから得られるTable 3に示す69種の説明変数に対し、相関行列の主成分分析を行った。

Table 3 Explanation Variable

Item	Details	Quantity
Center of gravity of body	Center of gravity of 19 portions of each body Displacement, Velocity, Acceleration of XYZ axes	57
Center of gravity of tool	Displacement, Velocity, Acceleration of XYZ axes	3
Force	With 3 force plates X axis component, Y axis component, Z axis component	9

匠級技能者5名に対し分析を行い、累積寄与率が70%以上となる第6主成分までのデータで評価を行った。匠級の中の個人では無く、匠級としての技能動作の特徴を抽出するため、第1主成分から第6主成分までの固有ベクトルを、匠級技能者5名で合成した。更に、第1主成分から第6主成分のそれぞれに強く寄与している変数を確認し、各主成分の意味付けを行った。新たに設定した主成分は、第1主成分から順に「ツール把持部変位」「回転速度」「腰加速度」「左足荷重」「踏み込み動作」「右足荷重」と表現し、主成分スコアを計算した (Fig. 6)。

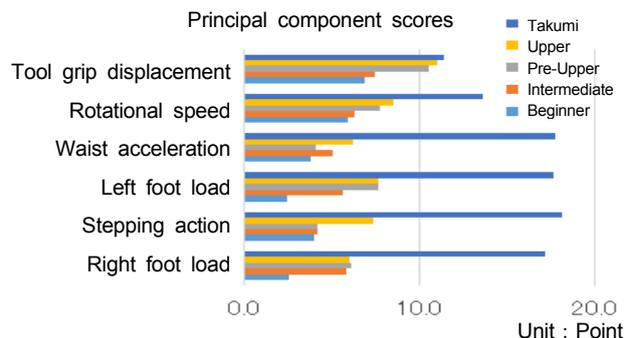


Fig. 6 Principal Component Scores

主成分スコアは、上位階級の方が高い傾向になっており、グラインダー作業における技能動作の特徴量を6つの変数で定量的に表現できていると考えられる。

この主成分スコアは、訓練者と匠級を比較し評価に活用する。また、この分析手法は、グラインダー作業に限

らず、金型製作における磨き作業や溶接など、その他の技能動作の特徴を特定できる可能性があると考えている。

6. 技能指導の定量化

6.1 技能カルテによる定量評価

4章で述べた階級判定試験の際に技能計測システムから得た一連の行動情報を基に、従事者の技能カルテを作成した。例をFig. 7に示す。

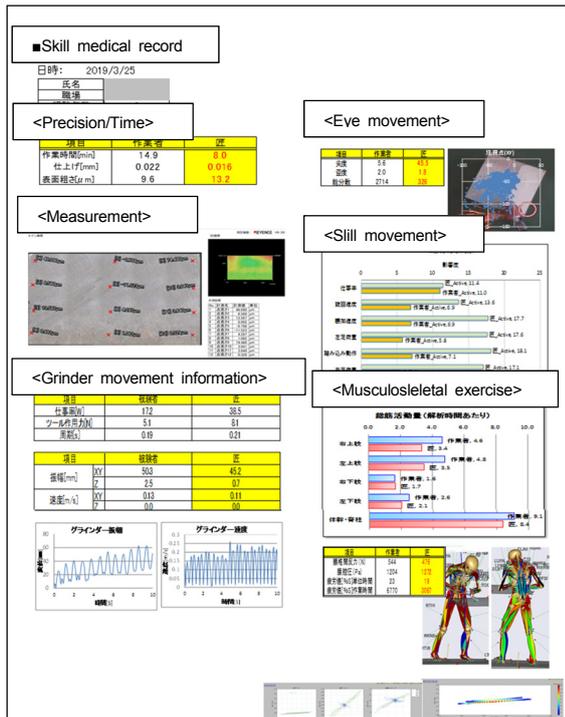


Fig. 7 Example of Skill Medical Record

この技能カルテに記載した行動情報は、項目ごとに訓練者と匠級を並べて表示しており、技能をより定量的に比較・評価できる。更に、訓練者の長所と短所を細かく評価できる。また、5章の分析手法から得た特徴量を多く含んでおり、本人が理解し動作につなげやすい「グラインダー動作情報」を技能カルテの評価項目に追加した。この技能カルテを指導前後に作成することで、技能の変化を定量的に把握でき、成長に向けた指導ができる。

また、筋骨格モデルリングシミュレーションからは、技能動作の疲労度[%S]（疲労度[%S]=総筋活動量[%]×作業時間[S]）や腰椎間反力[N]を求めることができる。これらの情報を技能カルテで管理することで、作業中の身体負荷が評価でき、体にやさしい作業姿勢を伝えることができる。このように、技能面だけでなく、身体負荷の影響も評価できる技能カルテを作成した。

6.2 治具・センサーを活用した定量指導

技能カルテを基に指導と訓練を行う。まずは、訓練者

の技能カルテと作業中の動画を使って、訓練者と匠級の特徴と違いを説明する。その後、Fig. 8に示すグラインダー動作「左右の振幅[mm]」「動作速度[m/s]」「ツール反力[N]」が匠級の基準値に近づくように、実際にグラインダー作業をしながら訓練を行う。

	Trainee	Takumi
Tool Amplitude[mm]	50.3	45.2
Velocity[m/s]	0.13	0.11
Frequency[S]	0.19	0.21
Tool Force[N]	5.1	8.1

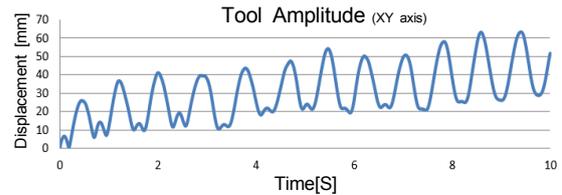


Fig. 8 Grinder Movement Information

効率的な成長につなげるには、動作中に指摘し、補正しながら体で感覚をつかんでいくことが重要である。しかし、技能カルテは、データ分析に若干の時間がかかる。

そこで、匠級の基準値を設定した指導治具と指導センサーを用いて定量的に伝えることができる環境を整えた。

グラインダーの「左右の振幅[mm]」は、匠級の基準値である振幅に切ったマグネットを被削材に貼り付けて動作の目安にした。「動作速度[m/s]」は、グラインダーを振る周期に換算し、匠級の基準値の周期で音が鳴るように、メトロノームを設定した。「ツール反力[N]」は、FSRセンサーを用いて匠級の基準値の加圧力で音が鳴る圧力センサーを設計製作した (Fig. 9)。

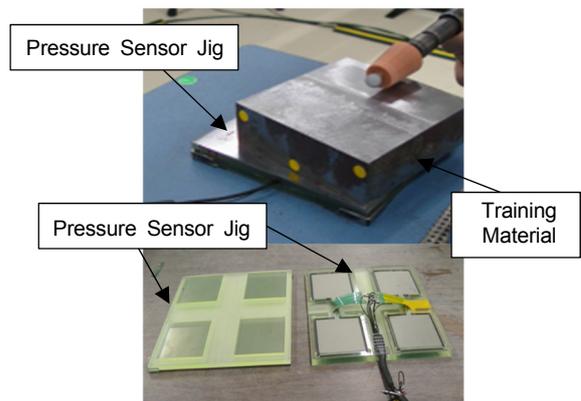


Fig. 9 Pressure Sensor Jig (in-house production)

以上のように、匠級の基準値をセンサーや治具へ設定し定量的な指導が可能となった。そして、指導中に技能者が自らの気づき・発見に変換すると同時に、ツール動作を身体動作へ習得していくことが可能となる。更に、

この治具を用いることで、技能計測システムを活用した大掛かりな計測を行わずとも、簡易的にグラインダー作業の訓練ができる方法を確立した。

7. 技能育成の効果

技能計測システムにて、4か月で12名の指導を行った結果を紹介する。一人あたりの指導回数は、毎週2時間の計4回とし、4回目に、階級判定試験を行って成長の確認をした。対象12名の指導前後の階級分布をFig. 10に示す。

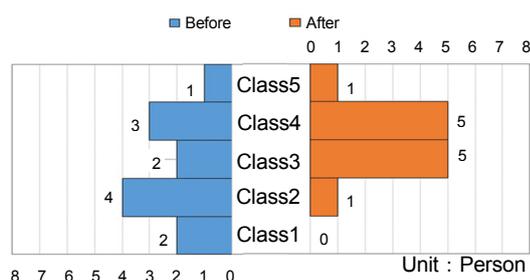


Fig. 10 Rank Change Before and After Instruction

7名が階級上昇した。また、寸法精度と研削時間は、12名中11名が向上し、基準面に対する研削面の平均誤差である寸法精度は66%向上（指導前0.033mm，指導後0.011mm），研削時間は26%向上した（指導前18.0min，指導後13.4min）。なかでも成長が著しかった中級から上級へ昇格した技能者の結果をFig. 11に示す。

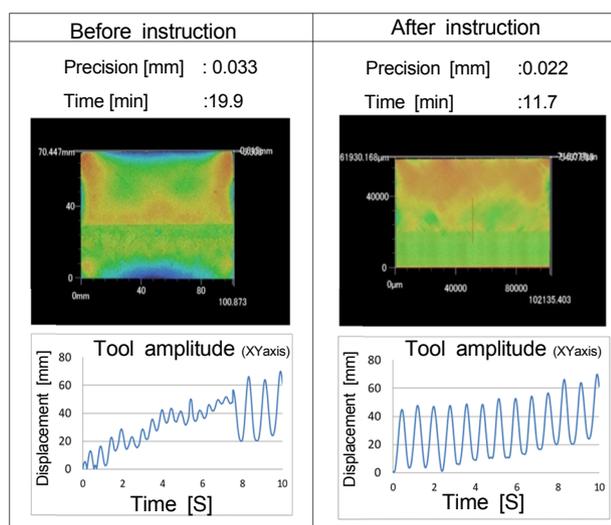


Fig. 11 Medical Record Change Before and After Instruction

「左右の振幅[mm]」や「ツール反力[N]」など、各項目が匠級の基準値に近づいた。結果、無駄な動作が少なくなり寸法精度・研削時間の向上につながったと考える。

また、従来の階級基準であれば15年かかる上級に経験年数7年で早期に到達できた。技能者自身も成長を実感することができ、働き甲斐のある職場造りに一歩つながったと考える。技能計測システムを適用することで初級・中級は、容易に階級上昇できる見通しが立った。一方、準上級・上級は、同階級内での若干の成長に留まり、階級上昇にまでは至らなかった。今後は準上級・上級の技能者を匠級に成長させるための技能の解明及び指導方法を見出していく。

8. おわりに

本取り組みによって、従来の経験学習から定量的な技能伝承を行う仕組みができた。今後も進化し続ける「魂動デザイン」実現に向けて金型製作におけるMass Craftsmanshipを加速させていく。そして、お客様へ「魂動デザイン」をお届けすることにこだわり、人生の輝きに貢献できるクルマを提供していきたい。

参考文献

- (1) 長澄ほか：「魂動デザイン」実現に向けたプレス成型安定化の技術開発, [マツダ技報, No.35, pp.106-111 \(2018\)](#)
- (2) 西本ほか：「魂動」デザインの再現に向けたこだわりのモノづくり～プレス金型製作編～, [マツダ技報, No.34, pp.81-86 \(2017\)](#)

■ 著 者 ■

