

車両製造における 技術・技能伝承 支援装置の開発



浜田 和気*



鈴木 正毅**



四七 淳***



横山 信行*

わが国の多くの技術職場同様、JR東日本の車両製造職場やメンテナンス職場においても社員の世代交代が進んでおり、熟練した技術や技能の確実な伝承は早急に取組むべき課題の一つである。そこで、こうした技術・技能の伝承を効果的に行うことを目的に、訓練者が熟練者のノウハウを学ぶことを支援し、さらに学んだことを熟練者のノウハウをもとに評価するシステムの開発を行った。具体的には、伝承すべき技術・技能をデータ化し見える形で表現したコンテンツを持つ対話型のデータベースの構築と、訓練者の作業をモニタリングしてそれを熟練者のデータと比較し、定量的に訓練者と熟練者の違いを評価することができるトレーニングシミュレーターの開発を行った。

●キーワード：映像認識 画像伝送技術 データベース

1. はじめに

わが国の技術職場では各種の自動化が推進されてきたが、自動化が難しく、今でも多くの部分を熟練者の技術・技能に依存している工程もある。その技術・技能のほとんどは個人の感覚や感性によって培われ、徒弟制度などで伝承されてきたものであり、現実にはこれらが匠の技やノウハウとして企業を支えてきたと言える。

しかし、熟練者が大量に定年退職することにより、今まで企業の中で培われてきた技術・技能が伝承できずに失われ、結果として企業の競争力が失われる「2007年問題」が社会的に注目を集め、今後ますます技術伝承の問題がクローズアップされようとしている。また、少子化の進行による若手技術者の不足もある。こうした環境下で企業にとって技術・技能をいかに維持・伝承するかは緊急の課題となっている。

車両製造職場であるJR東日本新津車両製作所においても、社員の世代交代が進む中で、この問題は早急に取組むべき課題となっている。この課題を解決するために、各分野の技術・技能の伝承を進めているところだが、現状はそのほとんどを指導者による個々の教育に頼っているため、指導者がいなければ技術・技能を学ぶことが出来ず、また教育方法にも大きな差があるのが実態である。

そこで当社では、JR東日本研究開発センターと新津車両製作所を中心に、近年発展が著しいIT技術を活用して、車両製造に関する技術・技能を知的財産として効率よく

共有・活用するためのシステムの開発に取り組んだ。

2. 開発の概要

一般的に技術・技能の伝承のツールというと文書によるマニュアル作成が考えられる。しかし、マニュアルだけでは、頭では分かっているが十分に自分の身につけていないことから実際に使う際にうまくいかないことが多い。大事なことは、訓練者が頭と体の両方で学ぶことである。そこでこれを踏まえて、訓練者自らディスプレイから必要な情報を読み取ることができ、また自ら作業を実践してその結果を評価できる装置の開発に取り組むこととした。

具体的には、技術・技能データベースの構築、トレーニングシミュレーターの開発の2つに取り組んだ(図1)。

①技術・技能データベースの構築



②トレーニングシミュレーターの開発

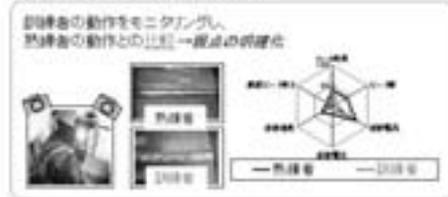


図1 具体的な取組みの全体図

* JR東日本研究開発センター テクニカルセンター
*** 新潟交通機械株式会社 (元 テクニカルセンター)

** JR東日本新津車両製作所 製造課

技術・技能データベースとは、伝承すべき技術・技能を電子データ化し、動画・静止画などを活用した対話型のデータベースのことである。これを開発することで、訓練者があらかじめ作業内容や要点を理解することができるようになり、教育をより効率的に行うことが可能になる。また、熟練者のノウハウを蓄積することもできると考えた。

トレーニングシミュレーターとは、訓練者が自分の動作をモニタリングし、熟練者の動作と自分の動作の違いを比較することにより、訓練者自身でどの部分が自分の弱点かを明確化するものである。この開発により、定量的に訓練者と熟練者との違いが確認できるようになるため、作業習熟のスピードアップが可能になると考えた。

3. 対象作業

先行事例として幾つかの作業を対象に上記2つの機能を開発できれば他作業への展開も容易と考え、本開発では対象とする作業を表1のとおりとした。台車組立作業と溶接作業を選定した理由は、台車組立作業については、形式、車種（先頭車、動力車、付随車）による組立部品数、工程の違いが複雑な作業であり、部品取り付け時のトルク管理などの重要ポイントが多い作業であることから、また溶接作業については、個人のセンスや能力による差が大きく、溶接速度や溶接電流といったさまざまなパラメータが品質に影響する作業であることなどからである。

表1 対象作業一覧

開発内容	対象作業
技術・技能データベースの構築	台車組立作業 溶接作業
トレーニングシミュレーターの開発	溶接作業

4. 技術・技能データベースの構築

4.1 基本的考え方

モノづくりにおける知識・ノウハウとして重要なポイントは、作業の手順を正しく理解することにあると考え、何故そのような手順を踏むのかという理由を含めて仕事のプロセスを見える化することに重点的に取り組んだ。そこで、各作業を第三者が理解しやすいフロー図でモデル化し、さらにそこへデジタル化したデータを獲得、編集、

蓄積できる仕組みとした。

台車組立作業については、まず従来から使用しているQC工程図や作業標準に沿ったフロー図を作成し、フロー図を大工程を示すマクロフローと詳細な作業手順を示すミクロフローに分けたのち、ミクロフローの中に文書や動画などを関連させて体系化していった（図2）。

溶接作業については、学科編と実技編の2部構成とした。学科編では、現在行っている溶接教育訓練の内容をフロー図化して、そこに通常の学科教育では見せることのできない実技の写真や動画、現場の写真、講義の際に使用した絵や熟練者の言葉を付加した。また実技編では、溶接条件、施工方法、後処理の順でフロー図を作成し、そこに作業のポイントや解説、熟練者の作業の動画や写真などを、また作業によっては失敗事例の動画や写真を付加した。

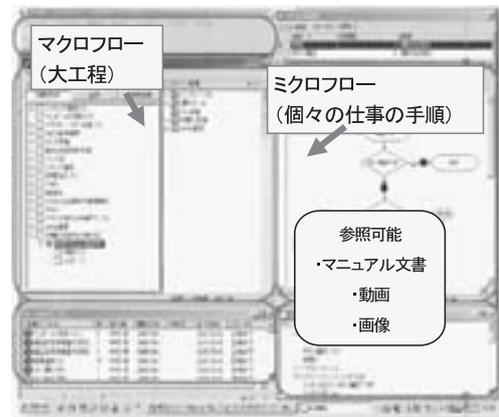


図2 工程フロー図

4.2 開発手順

開発手順は次のとおりである。まず、熟練者の持っている知識やノウハウを細かく分類して、図表や文章で表現したところへ、新たに撮影した作業風景の動画や関連情報などをフロー図に関連させてデータベースに取り込んだ。次に、こうして作成した初期のデータベースの内容に関して、熟練者と一緒にレビューを実施した（図3）。その後、レビューで判明した不足している情報をデータベースに追加したり、レビューでの意見をもとにした修正を行うことにより、データベースの内容を充実させていった。こうしたレビューと修正を繰り返すことにより、明示されていなかったノウハウや、今まで見える形で表現されなかった多くのものについて、映像や文書を使って見ることが可能になったと考える。



図3 知識レビュー風景

4.3 開発成果

本開発で対象作業とした台車組立作業と溶接作業について、実際に開発手順を踏み、技術・技能データベースを完成させた。以下に開発品の概要を示す。

4.3.1 台車組立作業

(1) 新津車両製作所の車両製作大工程表示

オープニング画面では、新津車両製作所の車両製作大工程の流れが表示される(図4)。ダイアログの大工程の箇所がボタンになっており、当該ボタンをクリックし、詳細な工程へと進みながら知識を得ることができる仕組みとなっている。

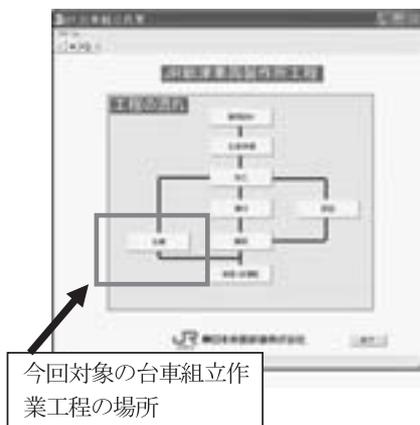


図4 台車組立作業オープニング画面

(2) QC工程図による詳細な工程表示

大工程より「台車」をクリックすると、台車製造の作業グループの選択画面が表示される。台車製造の作業グループは6つあり、ここから本開発の対象作業である台車組立作業を担当している「台車組入れグループ」を選択すると、台車形式の選択画面となる。台車形式には、「T台車」、「M台車」、「Tc台車」の3種類があり、学びたい台車形式を選択することにより、台車組立工程が詳細に示されているQC工程図が表示される(図5)。新津車両製作

所の車両製造作業はすべてQC工程図により管理されている。本データベースでは訓練者の理解を深めるためにQC工程図から各工程を選択することができるようにし、ここから各工程の知識を得る仕組みとした。

(3) 各工程の表示

QC工程図の各工程を選択すると、工程のトップメニュー画面が表示される。ここには、指導者が訓練者に知ってほしいことが書かれている。内容は、QC工程図における管理項目や台車工場レイアウト、台車の構造などである。中でも、台車構造について理解を深めるために、台車の仕組みの一般論や台車の図面、3D-CADデータの情報などを見ることができるようになっており、3D-CADデータは、画面上で拡大、縮小、回転させたり、部品名称を確認することもできる(図6)。



図5 QC工程図

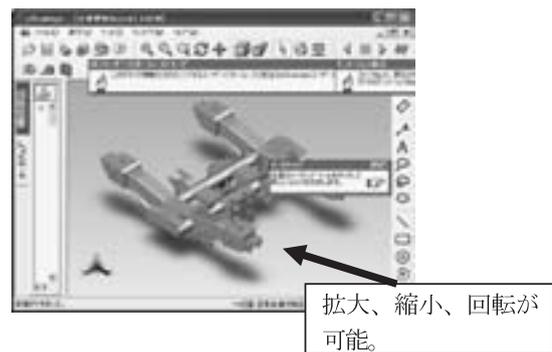


図6 台車図面参照例

工程のトップメニューの「スタート」ボタンを選択すると、順に各工程の作業が、図7に示すような形で表示される。ここで作業に必要な手順、使用する工具、関連する画像や動画、熟練者の知識・ノウハウが確認できる。分かりやすくするために、手順と知識・ノウハウの説明を区別する色分けを行い、文字だけでは説明できない箇所は、画像やポンチ絵を追加した。



図7 台車組立作業工程表示一例

また、動画再生中にも作業のポイントとなる知識・ノウハウが分かるようにテロップを表示させる機能を付加した（図8）。



図8 台車組立作業動画一例

(5) 解説の表示

各工程の画面では、使用する部品の役割や工具の使用方法についての解説を見ることができるボタンを設けた。これを選択すると、こうした内容が詳しく確認できるようになっている。一例として、パイプレンチの使い方の解説を図9に示す。



図9 工具使用方法一例

4.3.2 溶接作業

(1) 溶接作業オープニング画面表示

溶接作業のオープニング画面（図10）では、まず学科編と実技編の選択が求められる。このほかに付録として、熟練者の頭の中だけにあり表現されていなかった「べからず集」をまとめたものを見るための選択もできるようになっている。

但し、「べからず集」は本来、該当する作業項目で参照するため、主たる使い方は各作業項目の画面から選択する方法である。これについては後述することとする。



図10 溶接作業オープニング画面

(2) 学科編の表示

オープニング画面より学科編を選択すると、4編に分かれた学科の各項目の選択画面が表示される。そこで学びたい項目を選択すると、図11に示すような画面で溶接作業の解説が表示される。解説の内容は、溶接における基本的な知識、熟練者の知識・ノウハウなどである。ここでも、文字だけでは説明できない箇所には画像・動画やポンチ絵を追加したり、実際に講習で使用したホワイトボード上のメモや絵を取り入れるなどを追加した。また、訓練者が現場で初めて目にするような治具や工具などを画像で確認できるようになっている。

その他に、「教科書参照」というものがある。このボタンをクリックし画面を開くと溶接を勉強するのに必要なさまざまな項目について詳しく書かれたデータ化された教科書の該当ページを確認することができる。またそのページでは、重要な部分があらかじめマーキングされている。

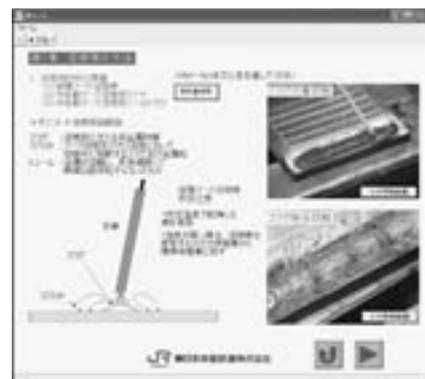


図11 溶接学科編

(3) 実技編の表示

オープニング画面より実技編を選択すると、図12に示すような画面が表示される。熟練者の作業が動画で確認できるようになっており、トーチの動きと溶融池の動きの2つの視点から見る事ができる仕組みとなっている。また、作業によっては失敗事例の画像や動画を参照できる仕組みも取り入れた。



図12 溶接実技編

(4) べからず集の表示

付録である「べからず集」の例を図13に示す。これを参照することにより訓練者は、溶接作業で注意すべき点や、やってはいけないことなど熟練者が知っている知識を確認することができる。各工程や項目に関係する「べからず集」の項目は、各項目の画面に設けてあるボタンをクリックすることにより開くことができる。

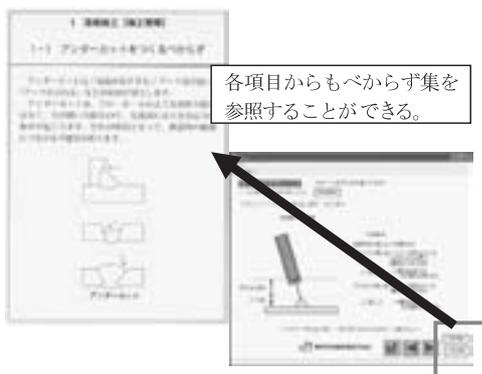


図13 べからず集の表示

5. トレーニングシミュレーターの開発

5.1 基本的な考え方

トレーニングシミュレーターは、メインとなる処理装置の他、4台のカメラ、1台のディスプレイという構成になっている (図14)。

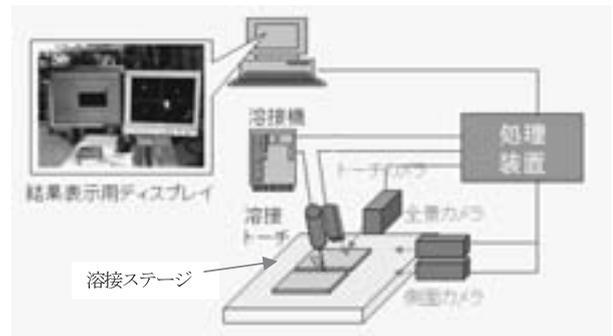


図14 トレーニングシミュレーター構成図

処理装置は、カメラから受信したデータより作業の特徴を抽出して保存し、スコア評価を行うためのデータ分析などを行う。4台のカメラはそれぞれ目的が異なり、全景カメラ、手元(トーチ)カメラ、側面上方カメラ、側面下方カメラとなる。全景カメラは訓練者の正面の離れた場所から溶接者全体の動きを撮影する。また、手元カメラは、トーチに取付けられた作業を極力妨げないようにしながら溶接部周囲の撮影を行う。側面上方カメラ、側面下方カメラは訓練者の側方(溶接者の手によって隠れない方向)から溶接者の手元周囲の撮影を行う。ディスプレイは、撮影した動画、データ分析後の結果などを表示する。トレーニングシミュレーターの全景を図15に示す。



図15 トレーニングシミュレーター全景

処理装置で抽出するデータは以下の10種とした。

- ・溶融池幅
- ・溶融池先行距離
- ・溶融速度
- ・ウイーピング幅
- ・ウイーピング周期
- ・チップ母材間距離
- ・トーチ狙い位置
- ・溶接電流
- ・溶接電圧
- ・ワイヤ送給速度

訓練者はこれらのデータを技能指標として波形、レーダチャートなどで表示させる。そして、あらかじめ登録されている熟練者の技能指標と比較することにより自分自身で劣っている部分を把握することができる。

5.2 開発成果

トレーニングシミュレーターは、以下の手順で使用される。まず、溶接ステージに据付けてある固定治具に溶接用試験片をセットする。次に処理装置側で、溶接姿勢、材料、パス（何層目溶接）、などの初期設定を行う。その後、図16に示すような画面が表示されるので、訓練者は、比較したい熟練者データを選択して、データ収集ボタンをクリックする。以上で事前の設定は終了である。ここまでの操作を行うと、CCDカメラによる撮影が開始されるので、訓練者はステージ上で溶接作業を開始する。

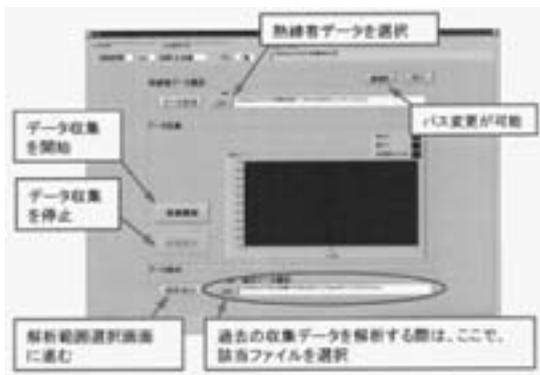


図16 トレーニングシミュレーター実行画面

溶接終了後、訓練者が図17の画面上で解析したい動画部分を選択し、解析実行をクリックするとパラメータ取得のための解析処理が始まる。

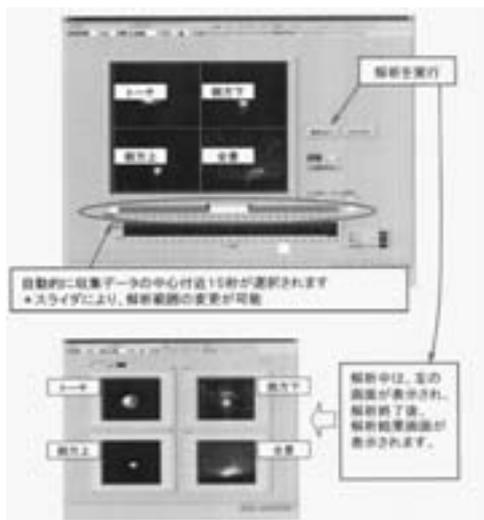


図17 解析処理実行画面

解析処理終了後、結果が図18に示すような画面で表示される。この画面では取得した訓練者のパラメータデータが、選択した熟練者のデータとともにグラフ化され表示されるので、訓練者は熟練者との違いがどこにあるのか確認する

ことができるわけである。また、撮影した動画と数値化された技能指標と一緒に記録、保存することができる。

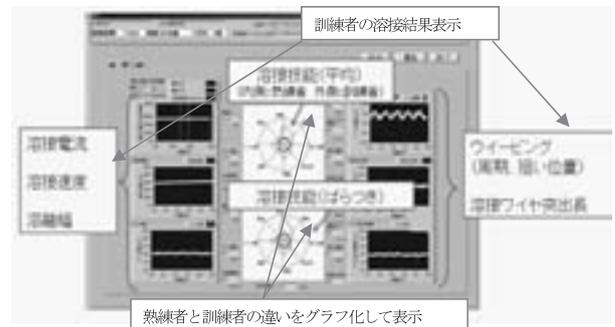


図18 技能指標レーダチャート

例として、溶接時のトーチ振幅について熟練者と訓練者の測定結果を図19に示す。トーチ振幅とは溶接作業時にトーチを溶接線に対して上下、左右に揺動（ウイービング）させながら進む動作をいう。これを一定にすることが品質の安定につながる。測定結果から、熟練者のトーチ振幅は一定であるが、訓練者の結果にはバラツキがあるのが一目で分かる。このようにして数値化およびビジュアル化された技能指標から、訓練者は熟練者との技術・技能の差を確認することができる。

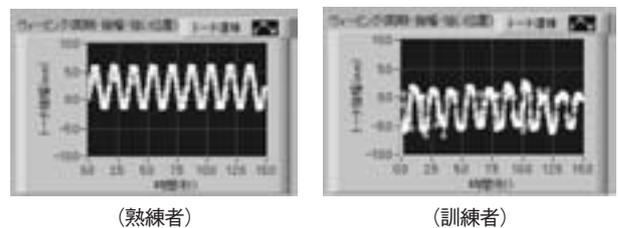


図19 熟練者と訓練者のトーチ振幅測定結果

6. まとめ

今回、一部の分野のみではあるものの、技術・技能伝承を効率的に行うためのツールを開発した。現在、JR東日本の新津車両製作所ではこれらをOJT教育、新入社員やJIS溶接検定新規受験者の溶接教育訓練に取り入れ、新入社員や新規配属の溶接訓練者への教育を効率的に行うための仕組みづくりを進めている。今後は、その効果を定量的に把握しつつ、更なるレベルアップを図るとともに、他作業、他分野への展開も進める予定である。