

特集 「身体知の発展」

ものづくり産業における身体知

Embodied Cognition in the Manufacturing Industry

松浦 慶総
Yoshifusa Matsuura

横浜国立大学大学院工学研究科
Faculty of Engineering, Yokohama National University.

Matsuura-yosifusa-cr@ynu.ac.jp, http://er-web.jmk.ynu.ac.jp/html/MATSUURA_Yoshifusa/ja.html

Keywords: manufacturing industry, skill succession, skill education, skill information, information structure.

1. はじめに

本章では、現代のものづくり産業において、その重要性が増大している「技能」や「匠の技」に注目し、これらの身体知について考えていく。

日本の工業製品は、戦後の「安かろう、悪かろう」と海外から呼ばれた時代から、「メイドインジャパン」としてその高機能・高品質・高耐久性により非常に高い支持を受けるまでになっている。この評価の変化の一つの要因として、長年のたゆまない技術や技能の研さんが支えてきたといえる。資源をもたない日本として、高度な技術・技能の知識が極めて重要な資産であると考えられるが、近年の製造分野でのアウトソーシング化やグローバル化、労働人口減少の問題により、散逸、未継承される事態が問題視されている。そこで、2章では日本の行政機関やものづくり産業におけるこれまでの高度熟練技能の継承対策について、3章では熟練技能の身体知に関する研究動向について紹介する。最後に4章では従来研究では身体知の解析を主に身体の外側からアプローチしていたのを、身体の制御や判断プロセスといった内側からアプローチする著者の研究について紹介する。

2. ものづくり産業における高度熟練技能継承対策について

日本のものづくり産業において、1980年代後半から高度熟練技能の継承問題がクローズアップされてきた。その背景として、国際競争力低下に対処するためのものづくり産業のアウトソーシング化・グローバル化といった産業構造変化と、労働人口減少・2007年問題があげられる。ものづくり産業における身体知の探求とその継承を考えるうえで、これらの背景に対して日本の行政機関やものづくり産業界において、これまでどのような対策が行われてきたかについてまとめてみる。

2.1 ものづくり産業の構造変化

近年の日本のものづくり産業の課題として、コスト面での国際競争力の低下があげられる。これは、戦後の高度成長期から成熟期に移行したことによる国内の生産コスト上昇や、バブル崩壊、リーマンショックなどが要因となっている。したがって、多くの日本企業は早急にコスト削減を進める必要に迫られた。

日本のものづくり産業では、多くの企業のこれまでの努力により、製品の高機能・高品質・高耐久性を実現した「メイドインジャパン」ブランドを確立してきた。このブランド確立に大きく寄与してきたのは、大企業を頂点に、「系列」と呼ばれる中小企業で構成されたピラミッド型企業群による製品開発力・製造力といえる。大企業の開発力だけでなく、その高い製品要求に応えるために、中小企業が製造技術や品質管理技術を向上し、さらにこれらの情報をボトムアップすることで大企業側の開発力向上につながっていた。

ところが、大量生産可能な汎用製品を中心に国際的な価格競争が激しくなると、大企業は部品の標準化を進めて、同一性能であればコスト面で優位な調達先に変更し、また完成品の輸出から海外での部材・部品の現地調達による生産に変更するなど、グローバルサプライチェーンへ大きく変換した。さらに、製品開発・設計までを行い、製造は外注するアウトソーシング化も行われるようになった。この構造変革に伴い、中小企業もコスト削減のために、中国や東南アジアへ生産拠点を移転して国内で製造しなくなる、ものづくり産業の空洞化が懸念される事態となった[中小企業庁 98]。

このように従来の「系列」による大きな企業群によるものづくりから、国際分業型ものづくりに大きく構造変換したことにより、大企業ではこれまで暗黙的に行われてきた製造情報を明確化する必要に迫られた。また、海外企業に製造委託したときに製造トラブルが発生する事案が生じているが、これまでは系列企業側が製品開発の段階から情報共有をすることで、設計意図や最終製品における必要精度などを勘案して、部品製造時に微調整を行うことで品質を保持していた。しかし、これらの製造

時の“ノウハウ”が情報伝達時に欠落しているために不良品問題が生じたといえる。一方、中小企業は製造コスト削減のために製造拠点を海外に移転したが、現地採用した作業員のものづくりそのものに対する考え方や文化が大きく違っていたため、技術教育に大きな問題が生じた。したがって、これまで中小企業が蓄積した優れた製造技術による生産が計画的に行えなくなり、生産拠点の撤退も行われた。

これらの大企業側の対策としては、戦略的に重要な基盤技術や先行技術、工程・品質管理技術を国内製造拠点で開発し、海外拠点に水平展開するマザー機能化が急速に行われている[経済産業省 12]。また、中小企業側は得意分野で高機能、高品質製品を製造し、世界的シェアを獲得するグローバルニッチトップ企業や製造業ベンチャー企業という企業形態への変換が行われている[経済産業省 14]。最近のものづくり産業では、ドイツでの **Industrie 4.0** や米国のアドバンストマニファクチャリングといった、IoT (Internet of Things) 技術を応用した「次世代型製造業」への転換を図っている。

一方で、製品が高機能化・高品質化してくることで、熟練技能者の役割が大きくなっている。マザーマシンと呼ばれる機械を製作する工作機械や、最新部材の金型製作、品質検査を行う高精度計測装置自体の製作などでは、高精度、高品質の製品を大量に製造する機械のため、機械そのものの精度、品質を極力高くする必要がある。例えば、加工・計測の基準となる定盤面は極めて高精度でかつしゅう動時にスムーズに動くように平面加工する必要がある。すべての工程を機械加工することができないため、「きざぎ加工」と呼ばれる熟練技能者の手作業による研磨作業が行われている。また各製造工程に合わせた機械製作であるため、多様な設計要件のうえに生産数が少量であることからコスト上からも機械化が困難である。

これらの観点から、自動化することができない高度な技術・技能から新たな製品・技術を開発し、さらに持続的に保有・継承することが極めて重要になっている。

2.2 ものづくり産業における継承問題対策

前節のように、日本のものづくり産業は最近の20年ほどで大きく構造変換したが、さらに日本の人口減少に伴う生産年齢人口減少と、団塊世代の大量退社による2007年問題により、技術者・技能者の枯渇問題にも直面することになった。特に高度熟練技能者(機械では不可能な高精度の実現や機械にはない柔軟な対応を担うスーパー技能者[中村 14])の養成は、多くの時間、経験がかかるため、一度継承が途切れると該当技能の消失につながるおそれがある。

そこで、大企業ではベテラン技能者や再雇用した退職者を教師役とし、「ものづくり塾」などの技術・技能研修施設を企業内に設置することで、技術・技能教育を行っ

ている。このように人材と予算が確保できる大企業であれば対策が可能であるが、中小企業では単独での実施は困難である。「2016年度版中小企業白書」においても、景気維持による求人増加と新卒者の大企業志向により従業員過不足数DI値*1が製造業で-11.4%と人材不足が生じている[中小企業庁 16]。また「2012年度版中小企業白書」において技術競争力が低下している理由(複数回答)として69.6%で技術・技能承継がうまくいっていないというアンケート結果が出ている[中小企業庁 12]。

このような状況に対処するため、1997年度に労働省が「高度熟練技能活用促進事業」が創設された[中村 14]。また、技術者・技能者の育成や活用として、国や自治体による公共職業訓練を実施していた。これらは技能者の社会的評価向上と技能習得支援施策として効果を上げてきた。一方で、ものづくり産業を取り巻く環境が大きく変化し、ものづくり現場でのデジタル化、IT化が急速に展開する状況で、一般的な技術・技能の習得だけでは若者の就業意欲を向上させるだけの魅力や賃金を提示することは難しい。このような背景から、高度熟練技能活用促進事業では、①高度熟練技能(者)の認定、②高度熟練技能(者)に関する情報の収集、③高度熟練技能(者)による技能振興への寄与の促進、を主な事業として、中小企業のもつ高度熟練技能を広く社会に活用し、技能者の処遇改善、若手への継承を目指した。その後、1999年には「ものづくり基盤技術振興基本法」が成立し、2000年に「ものづくり基盤技術基本計画」が閣議決定された[中村 14]。その後、若年労働者の減少や2007年問題が社会的に大きく取り上げられるようになり、「若年者ものづくり人材育成促進事業」や「ものづくり立国」の推進事業により、工業高校や公共職業能力開発施設、中小企業、関連団体などに高度熟練技能者を派遣し、実技指導などを積極的に行った。2009年度までこれらの事業が続けられ、5540名が高度熟練技能者に認定された。現在は、2013年度に創設された若手技能者人材育成支援等事業(ものづくりマイスター制度)により、建設業および製造業に該当する職種(111職種)で認定した「ものづくりマイスター」が、中小企業や学校において若年技能者への実技指導を行うことで技能継承や後継者の育成を行っている[厚生労働省 HP]。

中村らによると[中村 14]、これらの「高度熟練技能活用促進事業」の成果として、認定した高度熟練技能者のプロフィールや活用状況のリストのほか、技能習得プロセスや高度熟練技能のポイントを中央職業能力開発協会のホームページに掲載した。しかし、高度熟練技能の分析研究については、技能内容や技能習得プロセスなどのごく一部を情報収集し、パンフレットやビデオで紹介する程度の利用に限定され、分析は行われなかった。さ

*1 今季の従業員の水準について、「過剰」と答えた企業の割合[%]
- 「不足」と答えた企業の割合 [%]

らに、認定された高度熟練技能者が所属することによる新たな仕事の獲得や、中小企業への再就職、講師依頼による実技指導による後継者育成については、ほとんど成果が上がっていない。現在のものづくりマイスター制度でも基本的には認定したものづくりマイスターの派遣による実技指導であり、指導内容・方法はマイスターに依存しているのが現状である。

3. ものづくり技能の身体知に関する従来研究

2章で述べたように、1990年代より国や自治体による高度熟練技能の継承の事業が実施されているが、ものづくりに関わる技能研究については、特に2007年問題が社会的に注目され始めた2000年頃から増加してきた。

ここでは、特に言語化やマニュアル化が難しい身体知に関する技能研究を対象として、計測方法や評価手法について研究動向をまとめる。文献調査により、まず研究対象となる身体技能について主なものをまとめると、ものづくり産業では溶接[藤田 06, 佐久間 06]、鋳造[綿貫 07, 綿貫 11]、きさげ[福田 06]、旋盤[武雄 13]、縫製[東 04]の各技能の研究が行われている。また、伝統工業分野では加工プロセスそのものが製品価値に含まれていると考えられるので、身体技能による加工プロセスが研究対象となっており、陶芸の菊練り作業[藤波 12]や漆工芸の研ぎ工程[毛 16]、和紙製造の刷毛さばき[吉川 16]、掛軸の増裏打ち作業[岡 16]の熟練に関する研究が行われている。中学校技術科課程では木材加工が実施されているため、刷毛塗り[岡村 02]、のこぎり[鶴澤 11]、かな作業[紅林 13]の技能に関する教育研究が行われている。ここで、身体技能に関する構成要素を、①技能者、②道具・機械、③加工法、④部材・製品、⑤場(環境)と考え、これらの状態の計測手法や、熟達度の評価手法、技能教育手法について研究動向の検討を行う。

3.1 技能者に関する計測手法

身体技能の習得では、「技は見て盗む」といわれるように技能者の所作や道具・機械を使う動作を直接観察することが重要とされてきた。したがって、技能研究においても、直接観察が可能である身体部位とその部位と道具・機械の関係に関する測定が行われている。以前は動画を教材として提示していたが、画角により隠れてしまう部位が生じる。そこで、三次元モーションキャプチャシステムやMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を応用したウェアラブルセンサ(加速度センサ、ジャイロセンサなど)を身体部位に装着して、三次元位置、加速度、角速度などの測定を行っている。最近では、ゲーム機として開発されたKINECTセンサ(Microsoft社製)が安価かつ操作の容易さから、解析に使われている[紅林 13]。また、視線測定装置のアイカメラで作業中の注視情報の測定[武雄 13]や道具や

機械を操作する手や腕の動作中の筋電位測定[松浦 12]、最近では技能動作中の脳活動をNIRS (Near-Infrared Spectroscopy: 近赤外分光分析法)による測定装置で計測するなど[侯 13]、生理情報による技能研究も行われている。

3.2 道具・機械に関する計測手法

ものづくり技能では技能者の道具や機械の操作が、製品の精度や品質に直接影響を及ぼすため、道具・機械を計測することが重要視されている。例えば溶接作業では、溶接品質に直接影響を及ぼすアーク状態を一定にするように溶接ホルダやトーチを操作する必要がある。そこで、モーションキャプチャや溶接状態を撮影するカメラをトーチに設置している[松浦 12, 佐久間 06]。また、切削加工の表面仕上げをきさげと呼ばれるのみ状の工具で研磨するきさげ作業の研究においては、きさげにかかる力と力の方向を力センサで測定している[福田 06]。また技能教育システムでは、加工時の状態が道具・機械から技能者にフィードバックされることが重要である。そこでVR技術の力覚提示装置を用いたり[藤田 06]、操作対象機器に力覚フィードバック機能を開発したりして[綿貫 11]、技能教育の効果向上を目指している。

3.3 技能評価手法および教育支援手法

技能評価手法については、多くの研究でまず対象とする技能の熟達者のデータを計測し、各評価項目の平均値とデータのばらつき評価として標準偏差を求める。次に学習者となる初・中級者の計測データを同様に解析した後、熟達者の解析データを比較する。この比較で、初・中級者のデータと大きく異なる熟達者のデータを熟達技能の特徴量と評価している。ただし、定量的に比較している計測データは、道具・機械を対象としたデータがほとんどであり、人体に関する計測データは、動画や三次元位置情報を可視化して定性評価している。

これらの計測データと評価を用いて、実際に技能を教育する支援システムの開発が行われている。福田らは身体知を暗黙知として捉え、この暗黙知から形式知の変換に関するSECI(共同化, 表出化, 連結化, 内面化)モデルで、遠隔地間で技能教育を支援するシステムを開発した[福田 06]。ここでは、教授者のきさげ作業の動画と、同期してきさげに掛かる力(大きさ, 方向)を提示し、学習者は力データの比較をすることで学習する。また、綿貫らは技能学習における「場」の重要性から、没入型VRシステムによる鋳造技能の教育支援技術により、鋳造現場をVRで再現することで熟達者の注目点やクレーン操作のこつを学習できるシステムを開発している[綿貫 11]。

4. 構造化した技能情報を用いた新たな技能教育支援手法

これまで述べたように、従来の身体技能に関する研究の多くは、加工に関係する道具・機械の挙動と操作する身体部位の位置や加速度、力といった情報を計測し、熟達者のデータから技能の特徴を定量的に解析していた。また熟達者のデータを基準に学習者のデータを統計的に比較し、熟達度を評価することを試みている。しかし、実際には複数の熟達者においても身体部位の位置や速度、動作方向が違う、または、道具を特定の角度で一定の速度で動かすと指示をされても、学習者は自分がどのように動作しているか、指示どおりにどのように身体を動かしたらよいか分からないという問題が生じる。さらに、これまで暗黙知として扱われているように、熟達者も自身がなぜこのような動作をしているかを説明することが難しい。著者も複数の高度技能者へのヒアリングにおいて、回答がほぼ同じという経験がある。このことを考察してみると、直接観察できる熟達者の所作をすべて模倣すれば、技能が上達できるという学習概念、いわゆる「形から入る」ことを重視していると考えられる。しかし、体格や筋力といった筋骨格は個人差が大きく、道具・機械を操作したときにフィードバックされる力などの情報を受容する体性感覚も違ってくる。製品加工の品質や精度は部材と道具・機械との関係に依存しており、安定して操作するために身体部位を制御することができれば、身体の「形」の模倣は実はあまり重要度は高くはないと考えることができる。すなわち、身体に関しては、その位置関係や動作方向ではなく、道具・機械を最適に動作させるために効果的な身体の動かし方が重要である。そこで著者は、技能の品質に関わる要素と全体構造が技能者教育に必要な要素と考える。この全体構造を学習者と教授者の両者が共有していることを前提として、評価・原因特定・改善策提案を行うことが極めて重要である。

4.1 技能教育における情報構造化の提案

著者は、これまで品質工学手法の一つである RT (Recognition Taguchi) 法 [立林 08] を用いた溶接技能動作の判定システムで、技能動作と筋活動、および熟達度との関係性について解析を行った [松浦 12]。しかし、これまでの研究では、測定した熟達者データを基準として、学習者の動作プロセスの評価をするだけであり、どのように道具・機械を操作する身体を動かしたらよいかという観点がない。これは技能を対象とした構造化情報がないためと考える。そこで著者は技能教育において、身体動作を伴う技能を構造化する技能情報構造化法を提案する [松浦 15, 松浦 16]。技能に関わる情報を部材・製品に対する加工を上位とし、それに関係する道具・機械、

操作する身体部位やその部位の姿勢制御に関わる身体部位、加工中の感覚といった情報を以下のように構造化する。

- (1) 直接要因：製品の品質に直接影響する要因。主に加工時の情報。
- (2) 間接要因：直接要因に対して影響を及ぼす要因。操作対象の機械や器具、道具類の状況を表し、技能により N 次の間接要因で構成される。
- (3) 身体要因：身体に関する要因。間接要因である道具・機械を操作する身体部位を上位身体要因とし、体幹に近づくほど、次数 N が大きくなるように定義する。
- (4) 体性感覚要因：身体の操作制御に関わる要因。重心位置や筋活動の活性化部位、どの部位に意識をして力を入れ、どの部位を弛緩させるかといった感覚である。
- (5) 視覚要因：注視点に関わる要因。

溶接技能教育において、これまでの文献やマルチメディア教材、実際の技能教育現場から技能教育に必要な情報を調査し、技能教育に必要な情報要素を解析する。これをもとに技能情報の構造化を行う。被覆アーク溶接技能を例とした情報構造は表 1 のようになる。

表 1 被覆アーク溶接技能情報構造例

要因	構成要素	評価項目
直接要因	溶融池	形状, 大きさ, スラッグ状態
	溶接ビード	幅, 余盛高さ
一次間接要因	アーク状態	長さ, 音, 形状
二次間接要因	溶接棒	角度, 運棒速度・加速度
一次身体要因	ホルダ保持	手握り方, 保持角度
	手首	位置, 角度, 速度
二次身体要因	肘部	位置, 角度, 速度
	肩部	位置, 角度, 速度
三次身体要因	頭部	位置, 角度
	胸部	角度
	腰部	角度
	足部	位置, 角度
体性感覚要因	重心	位置, 移動ベクトル
	力覚	筋活動, 部位
視覚要因	視線	注目点

4.2 技能情報構造の視覚化

品質工学手法の一つである特性要因図を応用して技能情報の各要因の関係を視覚化する。特性を技能品質とし、品質に影響を与える項目を主要因として明示する。ここで、技能品質への影響度を考慮し、直接要因から間接要因、身体要因の順で記載する。また、評価項目を要因の子要因として記載するが、定量的評価を四角、定性的評

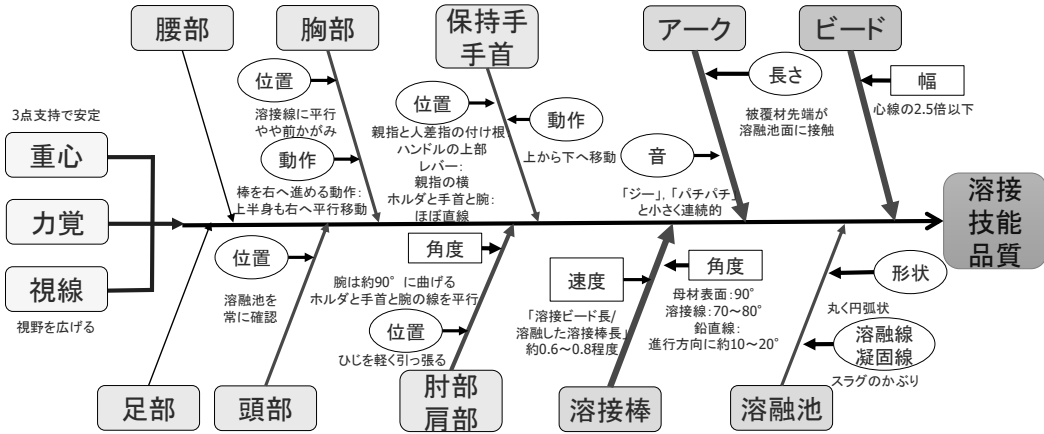


図1 溶接技能特性要因図例

価値を丸で描いて視覚的に表現する。また、身体をどのように動かしたらよいかという意識、体性感覚については主要因に直接影響するので、左端にまとめて記載する(図1)。

4.3 品質機能展開を利用した構造化手法

4.2節で技能情報の各要因の関係性について視覚化することはできたが、要因間の影響や関係性の定量化、技能教育における効果については考慮することはできていない。特に身体動作を伴う技能では、道具と身体部位との関係や身体部位間の連携、運動と体性感覚や意識といった各要因同士の関係性が重要である。さらに、学習の際にはすべての要因を同時に意識しながら修得することは困難であるので、上記の関係性の重要度を求めることで、重要度の高い要因から学習を行うといった学習計画の提案も必要である。例えば被覆アーク溶接において、従来の学習では溶接棒の角度と溶融池の状態に注意することを指導されるが、どのように身体を動かせば溶接棒を安定した角度で運棒できるかは全く指導がないので、修得に時間がかかる。したがって、安定した運棒実現のための新たな指導法の提案が重要となる。そこで、QFD (Quality Function Deployment) の手法を応用して技能

情報を構造化する手法を提案する(表2)。この技能展開表をもとに、道具・機械を操作することが身体部位のどのような動かし方にあるといった、これまでの指導方法より効果的な指導案の策定が可能となる。

5. ものづくり産業における今後の技能継承

本章ではものづくり産業において熟練技能の継承問題について、これまでの継承対策や身体知研究についてまとめた。今回、技能に関する研究の調査過程で、2010年頃から話題として少なくなってきていることに気付いた。実際に再雇用された団塊の世代による技術技能伝承が行われ、2007年問題があまり問題にならなかったとの意見もある[池上16]との意見もある。しかし、実際には熟練技能者の派遣や再雇用によるOJT (On-the-Job Training) に依存しており、このままでは高度熟練技能のノウハウをもった技能者が減少し、技能が消失することが十分考えられる。したがって、著者は技能継承問題がむしろ以前より悪化していると懸念している。最近のウェアラブルセンサ技術や生体計測技術の急速な発展から、新たなアプローチによる身体技能研究、技能教育支援システムの開発が望まれる。

表2 技能展開表 (一部)

技能要素展開表		間接要因										
		1次				2次						
		溶融池		アーク状態		溶接棒						
要求技能品質展開表	直接要因	項目	形状	大きさ	スラグ状態	長さ	音	形状	角度	運棒速度	加速度	
			溶接線通りか	3	5	2	1	1	1	3	2	2
			ビード幅は一定か	4	5	3	3	3	2	2	5	4
			ビード幅は規定内か	2	5	2	3	1	2	2	5	4
			余盛高さは一定か	5	4	4	4	3	4	3	5	4
余盛高さは規定内か	5	3	3	3	3	4	3	4	4			

◇ 参考文献 ◇

[東04] 東英男, 山口智治, 赤松幹之: 縫製技能向上支援技術に関する研究, 日本機械学会 2016年度年次大会講演論文集, Vo.40, 特別号, pp.558-559 (2004)

[中小企業庁98] 中小企業庁: 1997年版中小企業白書 (1998)

[中小企業庁12] 中小企業庁: 2012年版中小企業白書 (2012)

[中小企業庁16] 中小企業庁: 2016年版中小企業白書 (2016)

[藤田07] 藤田紀勝, 林敏浩, 山崎敏範: 溶接技能パラメータに基づく溶接訓練学習システム, 信学論 (D), Vol. J90-D, No. 9, pp. 2522-2529 (2007)

[藤波12] 藤波努, 松村耕平: 伝統技能におけるリズムミカルな動作, バイオメカニズム学会誌, Vol. 36, No. 2, pp. 92-96 (2012)

[福田06] 福田収一, 丹羽竜介: きさげ作業の遠隔技能伝承システムの構築, 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 72, No. 716, pp. 271-276 (2006)

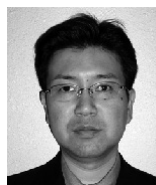
[侯13] 侯磊, 綿貫啓一: NIRSを用いた旋盤加工作業時における

- 脳賦活反応計測, 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 79, No. 800, pp. 228-237 (2013)
- [池上 16] 池上祐一, 伊藤和博, 中谷光良, 山本元道: 特集「グローバル人材の育成—アジア圏を中心として—」に寄せて, 溶接学会誌, Vol. 85, No. 1, pp. 12-13 (2016)
- [経済産業省 12] 経済産業省: 2012年版製造基盤白書 (2012)
- [経済産業省 14] 経済産業省: 2014年版製造基盤白書 (2014)
- [厚生労働省 HP] 厚生労働省: 若年技能者人材育成支援等事業 (ものづくりマイスター制度), http://www.mhlw.go.jp/bunya/nouryoku/monozukuri_master/
- [紅林 13] 紅林秀治, 小林健太, 高山大輝, 江口 啓, 兼宗 進: KINECT センサーを用いた簡易動作分析システムの開発, 日本産業技術教育学会誌, Vol. 55, No. 3, pp. 213-220 (2013)
- [松浦 12] 松浦慶総, 高田 一: 溶接技能における熟達度評価法の開発, 第 26 回人工知能学会全国大会 (2012)
- [松浦 15] 松浦慶総, 高田 一: 溶接技能教育における情報構造化手法の提案, 第 29 回人工知能学会全国大会 (2015)
- [松浦 16] 松浦慶総, 高田 一: 技能教育における学習効果を考慮した情報構造に関する研究, 第 30 回人工知能学会全国大会 (2016)
- [毛 16] 毛 凱, 遠藤淳司, 弓永久哲, 下出祐太郎, 陽 玉球, 濱田 泰以: 漆工芸の研ぎ工程における職人熟練度の違い, 日本機械学会 2016 年度年次大会講演論文集, No. 16-1 (2016)
- [中村 14] 中村 肇, 高野研一: 高度熟練技能継承制作に関する一考察, 社会技術研究論文集, Vol. 11, pp. 82-95 (2014)
- [岡 16] 岡 泰央, 高井由佳, 後藤彰彦, 岡興造: 増裏打ち作業の動作解析が貢献する技術習得, 日本機械学会 2016 年度年次大会講演論文集, No. 16-1 (2016)
- [岡村 02] 岡村吉永: 刷毛を用いた下塗り作業における経験の影響, 日本産業技術教育学会誌, Vol. 44, No. 2, pp. 85-90 (2002)
- [佐久間 06] 佐久間正剛, 浅井 知, 薄 正司: 溶接技能デジタル化システム Skill Digitizer™, 東芝レビュー, Vol. 61, No. 8, pp. 44-47 (2006)
- [武雄 13] 武雄 靖, 夏 恒: 普通旋盤加工の送り停止時における工具摩耗と加工面うねりにおよぼす作業者の技能習熟度の影響に関する研究, 砥粒加工学会誌, Vol. 57, No. 9, pp. 30-35 (2013)

- [立林 08] 立林和夫, 長谷川良子, 手島昌一: 入門 MT システム, 日科技連出版社 (2008)
- [鶴澤 11] 鶴澤 海, 野方健治, 藤本 登: 動作解析画像が中学生の技能向上に与える影響~木材加工におけるのこぎりびき作業を例として~, 日本産業技術教育学会九州支部論文集, Vol. 19, pp. 131-138 (2011)
- [綿貫 07] 綿貫啓一, 小島一恭: 没入型 VR システムによる製造方案の教育支援, 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 73, No. 725, pp. 44-54 (2007)
- [綿貫 11] 綿貫啓一, 楓 和憲, 佐藤勇一, 堀尾健一郎: バーチャルトレーニングと実習を融合したものづくり技術者の育成支援, 工学教育, Vol. 59, No. 6, pp. 104-111 (2011)
- [吉川 16] 吉川貴士, 松田光平, 野島伸司: 漆熟練工芸士の檀紙製造における刷毛さばきの手首の技, 日本機械学会 2016 年度年次大会講演論文集, No. 16-1 (2016)

2017年1月20日 受理

著者紹介



松浦 慶総 (正会員)

1992年東京都立科学技術大学工学部管理工学科卒業。1994年同大学院工学研究科修士課程修了。1996年同研究科博士課程中退。工学修士。1996年横浜国立大学大学院工学研究院システムの創生部門助手。2008年同部門特別研究教員。身体技能の立場から技能評価手法、技能教育支援手法の研究をしている。日本機械学会、日本設計工学会、日本産業技術教育学会、日本教育工学会各会員。