

機関番号：55101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500832

研究課題名（和文）技能者の経験的知識の形式化による「気づき」を促す機械設計技術者教育
 研究課題名（英文）Development of Machine Design Education to Make Aware Students of Viewpoints of Skillful Mechanic Technician by Transferring Technician's Tacit Knowledge to Explicit Knowledge

研究代表者

山口 顕司 (YAMAGUCHI KENJI)

米子工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：10220261

研究成果の概要（和文）：

機械系の開発・設計技術者をを目指す学生が、技能者の経験的知識を自ら発見できるような視点を持つことを促す教育手法を開発するために、学生が自分自身のもつ技能に対する視点を認識し、それが熟練技能者の視点とどのように違うかを自己発見できるようなデータベースの構築を考えた。本研究では、その基礎としてまず、種々の機械部品を加工する際に、技能レベルの違いと作業上の観点、注意点、作業手順、作業方法などの違いを明らかにすることをを行った。次に、それらによって得られた知見を設計製図授業へ導入することを試みた。

研究成果の概要（英文）：

An objective of this study is to develop and propose a new mechanical design education method, which make students have a viewpoint of skillful mechanic technician. We have attempted to construct a database to make aware students of the difference between their viewpoints and skillful technician's viewpoints by themselves. In this study, as a basis of developing effective educational methods for apprentice or low-skilled technicians and engineers, we experimentally investigated the decision-making processes of highly skilled technicians before and during machining. We have attempted to apply the results to the machine design education practicum.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：人文・社会

科研費の分科・細目：教育学・教育学

キーワード：教育工学，機械工作・生産工学，技術者教育，技能伝承

1. 研究開始当初の背景

機械部品の加工や組立などは熟練技能者の経験によって得られた技能に頼るところが大きい。特に、1/100 ミリメートルオーダー

以下の精密加工の実現には加工条件や加工方法の選択が極めて重要であり、それらの条件の決定には種々の要因を複合的に考慮する必要があるため、経験を積んだ技能者が必

須である。機械加工の方法や技能者がどのように加工を行うかといった事は、機械の開発・設計技術者にとって制約条件として作用する。機械の開発・設計にあたっては、必要な形状や精度を安価に製造できるように配慮する必要がある、機械設計技術者は機械加工技能に関する実践的な知識が不可欠である。

しかし、工学・工業系大学の機械工学系学科は、機械設計や研究開発を行う技術者の養成が目的であり、技能教育は重視されていないのが現状である。機械工学系学部であればどこでも機械工作実習などの授業が実施されているが、週3時間の実習を半期程度で行うことがほとんどであり、多くの学生は実際に機械部品を製作できるだけの基礎技能さえ身に付けるまでには至らない。このため工学・工業系大学出身の機械技術者は技能者の視点や考え方を認識できないまま実務に携わるようになることがほとんどである。

申請者が所属する工業高等専門学校は実習・実験を重視した教育を行う点で大学と異なっており、機械工作実習も週3時間の授業を3年間にわたって行っている。学生の多くは簡単な部品であれば自分で機械加工が行える程度までは基礎技能を修得する。しかし、機械の開発・設計と機械加工の技能とを関連付けて考えられるような視点を養うまでには至っていない。

これまででは、大学・高専などを卒業して実務に携わるようになった技術者は、各企業におけるOJTを通じて熟練技能者の経験的知識を学んできた側面があった。いわば各企業内での徒弟制度によって我が国のものづくり産業が支えられてきたといえる。

しかし、近年量産機械加工の大部分は数値制御工作機械によって行われるようになり、技能者の仕事の質が変化してきた。このため、従来は熟練技能者からハンズオン教育によって伝承されていた経験的知識が若手に継承されなくなりつつある。更に、いわゆる2007年問題といわれた熟練技能者世代の引退は、日本におけるものづくり技能の消失に拍車をかけている。

このような状況に危機感を持つ企業においては、若手技能者の養成手法の開発や、熟練技能者による技術教育などを積極的に行う取り組みが行われるようになってきた。また、学術界からも経験的知識を伝承する手法や、経験的知識の形式知化といった試みも行われている。しかし、それらの取り組みの多くは実務段階のものであり、大学・高専といった基礎教育段階まで普及していない。我が国のものづくりのレベルを世界最高水準に維持しつづけるためには、基礎教育段階において、技術者を目指そうとする学生に技能に対する尊敬と、技能者の経験的知識を自ら発

見して吸収しようとする視点を持つよう涵養することが重要である。

2. 研究の目的

本研究では、機械系の開発・設計技術者を目指す学生が、技能者の経験的知識を自ら発見できるような視点を持つことを促す教育手法を開発する。本研究は、熟練技能者、中堅技能者、学生といった様々な技能レベルにおける作業上の観点の違いを抽出することを試みる。それらを体系化することにより、熟練機械加工技能者の経験的暗黙知を形式知化することや、機械加工技能者の視点を持った機械設計・開発技術者を育成する教育手法を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

技能五輪の入賞経験を持ち、企業で20年以上の経験を持つ極めて高度な熟練技能者から、経験年数10年程度の中堅技能者、経験年数2～3年程度の初心者および、申請者が所属する高等専門学校機械工学科の学生までを対象として、種々の機械部品図面の読解および工程設計の過程を調査して、技能レベルによる視点・観点の違いを明確化することを試みた。具体的には、代表的な工作機械を用いて製作され、寸法・形状・精度などが異なるいくつかの機械部品の図面を用意して、上述の対象者による図面読解作業を依頼した。対象者には、視線追尾カメラを装着して、図面のどこを注視して読解を行っているかを調べた。また、読解作業終了後にはそれらの図面の製作上の注意点、加工手段、加工手順などをヒアリングした。また、高度熟練作業業者による加工作業をモニタリングして、その過程における作業者の着眼点や動作などについて記録、分析を行った。これらの作業を通じて、それぞれの技能レベルにおける思考プロセスを明らかにするとともに、技能レベルに応じた着眼点の相違を抽出した。

4. 研究成果

(1) 図面読解および工程設計に技能レベルが及ぼす影響

技能者の図面読解および工程設計プロセスは、その技能レベルによって異なることが明らかになった。

図面読解においては、技能レベルの高い技能者は加工上のポイントとなる部分を短時間で把握し、その部分を中心に図面を検討する。一方初心技能者は、図面全般をまんべんなく検討する傾向がある。技能レベルが上がるにつれて、図面の特定の部分を注視する傾向が高くなることがわかった。

工程設計においては、初心技能者は自分の技能レベルを考慮して、作り易さを重視する傾向があるのに対して、技能レベルが高くな

るほど部品に要求される仕様、精度などを考慮して決定することが明らかになった。

図1は、実験で用いた旋削加工用図面を示す。

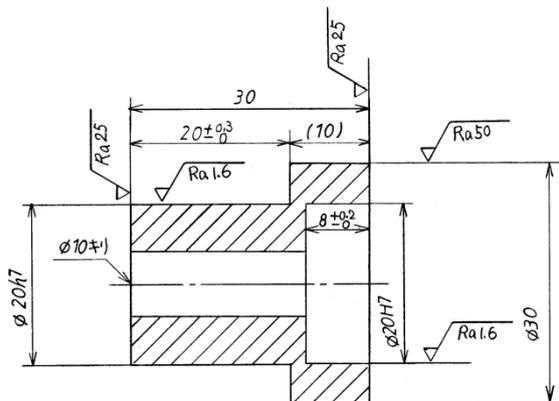
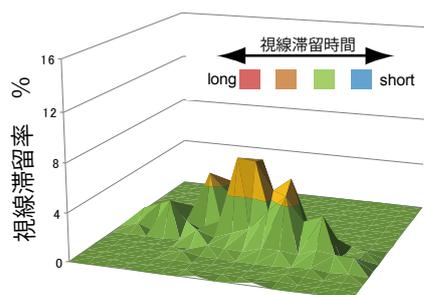


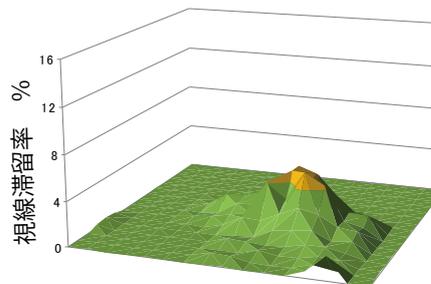
図1 実験に用いた旋削加工用図面

実験対象者は、熟練者から学生のような未経験者まで多岐にわたるため、本実験では比較的単純な形状とした。また、ハメアイ公差部や、仕上げ面粗さのなどの指定に対する反応を調べるため、適宜公差を入れている。

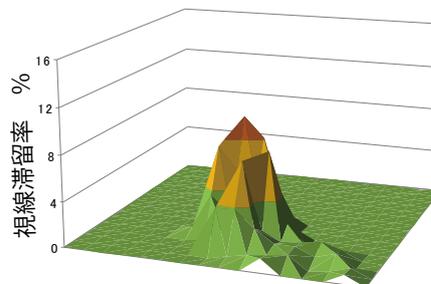
図2は、図面を初めて見てから1分間の視線の滞留率を示す。図1の図面を15×15の格子に分割し、それぞれの領域に視線が滞留していた時間の割合を表している。図2(a)～(c)は学生によるものである。このうち(a)は2年生の学生であり、旋盤作業、機械製図のいずれも授業で基礎事項を学んだ程度の経験レベルである。一方、(b)(c)は4年生の学生であり、NC工作機械を含む工作機械による機械加工実習を一通り修得し、簡単な形状の部品ならば独力で製作できる程度の技能を有している。また、渦巻きポンプなどある程度複雑な機械の設計・製図を演習している。なお、このうち(c)の学生は更に課外活動で高専ロボコンに取り組んでおり、ロボコンで使用する各種部品を設計した経験もあり、また実技においてもハメアイ公差を含むような高精度が要求される部品を加工できる能力を有している。また、図2(d)は、技能五輪の旋盤競技で入賞経験がある経験年数15年以上の高度熟練技能者の結果を示している。図2を見ると、技能レベルが比較的低い(a)(b)は、図面全体をまんべんなく見ているのに対して、技能レベルが高い(c)(d)については、視線が集中している箇所、すなわち特に注視している部分があることがわかる。これらの傾向は、他の学生の場合も同様であった。なお、視線が集中していた部分は(c)については $\phi 20 \text{H7}$ と $20 \pm 0.3 - 0$ の公差部であった。また、(d)については穴部の深さである $8 \pm 0.2 - 0$ の寸法公差部であった。このことは、



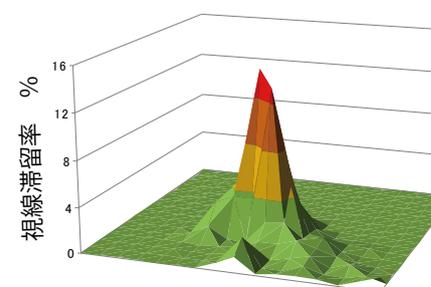
(a) 技能レベルの低い低学年（2年生）



(b) 技能レベルの低い高学年（4年生）



(c) 技能レベルの高い高学年（4年生）

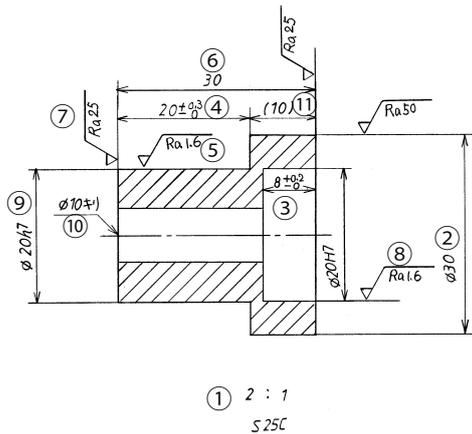


(d) 高度熟練技能者

図2 技能レベルが図面の視線滞留率に及ぼす影響

ある程度のレベルにある技能者は、図面のなかで加工上のポイントとなる部分を短時間で認識し、その部分の加工法などを集中的に検討していることを示唆している。また、加工上のポイントとなる部分は公差部など精度の要求が厳しい箇所であると考えられる。

図3は、図2(d)に示した高度熟練技能者について、図面を見始めてからの注視位置の推移を示す。技能者が図面をどのような順序で検討するかについては、現時点ではサンプル数が少ないため一般的に述べることは難し



秒	フレーム	注視位置
0	00	①スケールと材質
1	00	②外径寸法
1	11	③穴段付き部長さ
2	06	④外径段付き部長さ
2	12	⑤外径段付き部仕上げ面粗さ
4	06	⑥全長寸法
5	06	⑦端面部仕上げ面粗さ
5	15	⑧穴内面仕上げ面粗さ
6	05	③穴段付き部長さ
8	21	⑨段付き部外径寸法
9	00	⑩キリ穴寸法
9	13	⑤外径段付き部仕上げ面粗さ
11	12	⑪フランジ部長さ
11	21	⑥全長寸法
14	09	③穴段付き部長さ
17	27	⑤外径段付き部仕上げ面粗さ

図3 高度熟練技能者の注視位置の推移

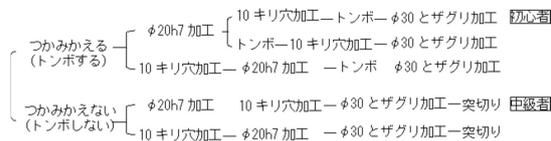


図4 技能レベルの違いによる工程設計の差異

いが、図3の結果を見ると、寸法を中心に検討しており、外径・全長といった全体的な寸法を確認した後に公差部を中心に検討しているように思われる。

図4は、被験者に対するインタビューによって、図1に示した部品の加工工程の構想を大別した結果を示す。素材の長さや直径、工具などを特定しない状態で工程を質問したため、まず工作物のつかみかえ（いわゆるトンボ）を行うか行わないかに分かれた。つかみかえを行うことにより芯がずれる可能性があるため、学生でも経験が豊富な4～5年生の多くはつかみかえを行わずに加工する方法を選択した。一方、φ20h7の外径部の仕上げを先に行った後につかみかえを行ってφ30部と穴部・ザグリ部を加工するという回答は1～3年生の学生や、上級生のうち工作実習授業以外での加工をあまり行っていない

い者に多かった。この方法は、φ20h7, Ra1.6の部分仕上げ後にその部分をチャッキングすることになるため、仕上げ面が傷つく可能性がある。

これらのことは、他の図面を用いた場合も同様に観察された。例えば、中央職業能力開発協会が実施している技能検定のうち、普通旋盤作業3級の実技試験課題（平成20年度）を用いて行った実験においても、熟練度が高くなるほど視点が集中する箇所が表れた。また、学生が考えた工程を検討したところ、加工経験を積んだ学生と、そうでない学生とで顕著な違いがあった。高学年や低学年でもある程度加工経験がある学生は、部品に要求される精度や材料のつかみ替えを含む全体の工程を考えて適切な作業手順を立案した。これに対して低学年や加工作業を苦手とするような学生は、自分の技能では加工が難しいと考えた部分を後回しにする傾向が見られた。

実験に用いた技能検定の実技試験問題は、部品AとBの二つから構成されている。普通旋盤作業3級の実技試験では、基本的な旋盤作業能力が問われるため、最も厳しいところで0.05mmの公差を有する外径加工、孔加工、テーパ加工などを行う必要がある。部品Aは片側(Side I)にテーパと普通公差およびRa25の粗さ指定がある平行部があり、反対側(Side II)には±0.05, -0.10~-0.05, ±0.1といった寸法公差やRa1.6の指定がある平行部を持つ。また、部品Bは部品Aに組み合わせることができる段付き穴を持つ部品で、内径40mmに対して0~+0.1の寸法公差とRa1.6の指定がある穴を有する側(Side III)と、内径30mmの普通公差でRa25の指定がある穴を有する側(Side IV)がある。これらのうち、部品Aについて加工工程をインタビュー調査した。

熟練度の低い学生は、テーパ部の加工が最も困難であると考えてる者が多く、それらの学生はテーパ部の加工を最後に行う工程を立案した。その結果、まず公差、仕上げ面粗さともに厳しい指定のあるSide II側から加工を開始し、その後工作物をつかみ替えて、テーパ部を有するSide I側の加工を行う作業手順となっていた。この方法でも加工することはできるが、つかみ替えの際に、公差と仕上げ面粗さの指定がある加工済みの平行部をチャックしなければならない。このため、チャックの爪に当て金をして、チャックの締め付け力に配慮しながら取付けを行う必要がある。

以上のように、工程設計の観点からは、技能レベルが比較的低い学生は、自分の技能を中心に考えて、自分にとって加工が容易となるような工程を選択する傾向があることが明らかとなった。一方、熟練技能者や、技能

レベルがある段階まで達した学生は、設計者の意図や、部品に要求される機能、精度など図面から読み取って、それらを総合的に検討して工程を設計するといえる。

これらの成果は、国内外の学会等で発表し、評価を得ている。特に熟練者と初心者で図面読解の際の注視域が異なることについては、高い関心が寄せられている。今後更にサンプル数を増やして体系化することにより、熟練技能者の技能を効率的に伝承する手法としても提案したいと考えている。

(2) 高度熟練技能者の工程設計

技能五輪大会で上位入賞経験があり、継続的に企業等で経験を積んでいるような極めて高度な技能者は、個々の部品ごとに工程を検討するのではなく、一連の加工全体を見わたして効率的な工程設計を行うことがわかった。その際には、工作物の取り付け・取り外し、粗加工・仕上げ加工といった点に特に注目して効率化を図っていることが明らかになった。

例えば、技能検定普通旋盤3級課題について、高度熟練技能者の加工工程を記録・分析したところ、一般的な作業手順とは異なる部分が見られた。普通旋盤3級課題は、2つの部品A、Bを2時間以内に加工することが要求される。一般的に推奨される加工手順は部品A、Bともに片側ずつ仕上げていくようにな

時間	部品	サイド	工程	時間	部品	サイド	工程		
0:00:00	A	I	取り付け	0:36:24	A	I	取り付け		
0:01:24			粗加工	0:37:17			芯出し		
0:03:10			粗加工	0:38:14			刃物台傾け		
0:03:23	取り外し	0:39:11	中仕上げ						
0:03:28	取り付け	0:39:32		長手寸法決め					
0:03:54	粗加工	0:41:05		中仕上げ					
0:04:11	B	III	粗加工	0:41:27			II	I	長手寸法決め
0:04:40			粗加工	0:42:33					中仕上げ
0:06:02			取り外し	0:43:28					仕上げ
0:06:35			取り付け	0:44:19					
0:06:57			芯出し	0:44:57	面取り				
0:07:52			IV	粗加工	0:46:01	センチもみ			
0:08:12	粗加工	0:46:49			取り外し				
0:08:44	A	II	粗加工	0:47:21	B	III			刃物台戻し
0:09:27			取り外し	0:48:35					面取り
0:09:45			取り付け	0:49:13					センチもみ
0:10:17			芯出し	0:49:58			取り外し		
0:11:28			粗加工	0:50:45			取り付け		
0:13:11			粗加工	0:51:08			芯出し		
0:13:26	取り外し	0:51:48	長手寸法						
0:13:34	バイト交換	0:53:58	中仕上げ						
0:14:58	取り付け	0:54:20	中仕上げ						
0:15:33	芯出し	0:54:35	仕上げ						
0:17:31	中仕上げ	0:55:22	長手寸法仕上げ						
0:17:43	仕上げ	0:56:05	仕上げ						
0:18:54	中仕上げ	0:57:15	長手寸法仕上げ						
0:21:47	B	III	仕上げ	0:57:25	IV	II	仕上げ		
0:22:38			仕上げ	0:59:05			長手寸法仕上げ		
0:22:50			仕上げ	0:59:23			面取り		
0:23:32			中仕上げ	0:59:44			センチもみ		
0:26:49			面取り	1:00:00			終了		
0:27:42			取り外し						
0:28:33	取り付け								
0:29:07	芯出し								
0:30:00	IV	IV	長手寸法決め						
0:33:27			中仕上げ						
0:33:39			仕上げ						
0:34:38			仕上げ						
0:35:17			面取り						
0:35:47			取り外し						

図5 高度熟練作業による技能検定普通旋盤3級課題の加工手順

っている。すなわち、部品AのSide I→Side II、部品BのSide III→Side IVの順で加工する。

図5は、高度熟練作業による部品加工の流れを経過時間と共に示す。高度熟練作業者は、部品毎に加工を行うのではなく、まずA、Bともに粗加工を行い、その後に中仕上げおよび仕上げ加工を行うような作業工程になっていた。これによって、バイト交換の時間ロスを最小にしている。また、粗加工工程ではまず部品Aのside Iを加工した後に、部品Bの加工を行い、その後部品Aのside IIを行うという順序になっている。はじめの2つの工程ではチャッキング部のワークの直径が60～56mm程度であるのに対して、部品Aのside IIを加工する際には部品Aの公差のない平行部をつかむためチャッキング部の直径は46mm程度と小さい。このため、チャックの爪の移動にかかる時間を考慮して、まず直径の大きい物から順に小さくしていくという工程をとっている。また、作業時間を少しでも短縮するために、刃物台に工具を取り付ける際には、最初に使う工具を最後に取り付けることによって、作業開始までの無駄時間を省くといった工夫がなされていた。

同様に技能検定フライス盤3級課題についても、高度熟練技能者の作業をモニタリングした。フライス盤による加工工程は多様に考えることができる。学生、あるいは初心技能者は部品ごとに加工を行い、まず6面体形状を作り、次に溝入れなどの加工を行う工程を選択する者が多かった。これに対して、本実験で対象とした高度熟練作業者は、2つの部品について、それぞれまず粗削りを行い、その後仕上げ削りを行うという工程であった。すなわち、まず素材に対して溝入れの粗削りを行った後、次に6面体加工を行うという手順をとっていた。これは、使用する工具の付け替えや、加工条件の設定などの効率を考えたことによる。また、最初に6面体の仕上げを行った後に、溝部の粗削りを行うと切りくずなどが既に仕上げた面を傷つける可能性も考慮されている。

以上のように、学生のような初心者レベルの技能者が部品ごとに作業工程を考えるのに対して、熟練技能者は全体の工程を検討し、作業効率が最大となるように作業を設計していることがわかった。

これらの成果は、これまであまり明文化されることのなかった高度熟練技能者の作業工程設計プロセスのひとつの考え方を明らかにしたものであり、学生や初心技能者が工程設計を行う上での指針となり得る。

(3) 学生の設計・製図教育への適用

経験が少なく、技能レベルも高くない学生が図面を読解し、工程を設計する視点と、高度技能者の視点との違いを抽出することができた。特に、図面読解においては熟練技能

者は部品に要求される機能や精度を理解して難加工部や寸法公差などを検討することがわかった。また、工程設計においては単品で考えるのではなく、一連の加工部品全体で効率や品質を考慮することがわかった。これらの結果を学生に伝えることで、学生が自ら行う設計作業のレベルアップを図ることを試みた。現在4年生を対象として行っている実習授業は、数種類が混在した多数の玉軸受を寸法毎に仕分けして、規定の間隔で整列させる自動機械を設計・製作させるものである。学生は8名程度のグループで、機械の構想から設計・製図、加工・組立までを行う。この授業では本研究から得られた知見を元に、加工者が図面をどのように読むか、どのような観点から工程を設計するかといったことを具体的に教授した上で設計・製図を行わせた。学生からは具体的な事例が示されたことにより、設計のポイントを絞ることができるといった感想を得ている。なお、本研究で得られた結果を授業に取り入れたことによる教育効果については、授業が終了した段階でアンケート等により調査し、検証することとしている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

①山口顕司, 山口貢, 近藤康雄, 坂本智, Analysis of Turning Process Relative to Machining Technician's Skills, 査読有, vols. 655-657, 2012, pp.2152-2155, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.655-657.2152

〔学会発表〕(計9件)

①神村大, 大塚光, 山口顕司, 旋盤加工者の技能レベルが工程設計プロセスに及ぼす影響, 日本機械学会中国四国学生会 第43回学生員卒業研究発表講演会, 平成25年3月7日, 高知工科大学

②山口顕司, 山口貢, 近藤康雄, 坂本智, Analysis of Turning Process Relative to Machining Technician's Skills, 3rd International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Processes, 平成24年12月23日, Beach Hotel Beihai (中華人民共和国)

③神村大, 大塚光, 山口顕司, 谷本明逸, 山脇貴士, 旋盤作業者の工程設計プロセスに関する研究, 2012年精密工学会中国四国支部島根地方学術講演会, 平成24年10月6日, 松江テルサ

④山口顕司, 谷本明逸, 山脇貴士, 山口貢, 近藤康雄, 坂本智, 機械加工技能者の視点を持たせる機械設計技術者教育手法の開発(旋盤作業者の技能レベルによる作業観念の検討), 2012年度精密工学会秋季大会学術講演

会, 平成24年9月15日, 九州工業大学
⑤山口顕司, 谷本明逸, 山脇貴士, 近藤康雄, 坂本智, 山口貢, An Experimental Analysis of Reading Process of Mechanical Blueprints Corresponding to Machinery Mechanic's Skills, 9th International Conference on History of Mechanical Technology and Mechanical Design, 平成24年3月24日, 国立成功大学(中華民国)

⑥山口顕司, 谷本明逸, 山脇貴士, 近藤康雄, 坂本智, 田淵洋, 田邊岳康, 機械加工技能者の視点を持たせる機械設計技術者教育手法の開発, 2012年度精密工学会春季大会学術講演会, 平成24年3月14日, 首都大学東京

⑦田淵洋, 田邊岳康, 山口顕司, 技能者のレベルによる機械図面読解プロセスの体系化, 日本機械学会中国四国学生会 第42回学生員卒業研究発表講演会, 平成24年3月7日, 広島大学

⑧山口顕司, 近藤康雄, 坂本智, 田淵洋, 田邊岳康, 加工者の技能レベルが機械図面の読解プロセスに及ぼす影響, 2011年精密工学会中国四国支部岡山地方学術講演会, 平成23年10月8日, 岡山大学

⑨山口顕司, 谷本明逸, 山脇貴士, 近藤康雄, 坂本智, 機械加工技能者の視点を持たせる機械設計技術者教育～技能者のレベルの差異による経験的暗黙知の形式知化の試み～, 日本工学教育協会第59回工学教育研究講演会, 平成23年9月10日, 北海道大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 顕司 (YAMAGUCHI KENJI)

米子工業高等専門学校・機械工学科・教授
研究者番号: 10220261