基礎能力開発手法を用いた New OJT システムによる高度技能者教育*

早 田 岳 史** 清 水 達 也*** 井 原 透†

High-skill Workers Education by New OJT System using Technique Developed Fundamental Faculties

Takeshi HAYATA, Tatsuya SHIMIZU and Tohru IHARA

A support method for introducing skill education in individuals using New OJT system via remote e-learning has been developed. This method is proved to be effective for the education to raise workers' skill higher. However, it is not suitable for gaining fundamental knowledge, and the efficiency of acquisition of fundamental knowledge by a learner remains low. To increase this efficiency, we propose a new method that provides complimentary education for learners who do not have adequate fundamental knowledge. We predict a learner's fundamental knowledge from paper-based tests and operation data obtained from an NC machine using a Bayesian network. As the result of experiments, our system raised the efficiency of learner's acquirement of fundamental knowledge and high-level skills.

Key words: skill education, New OJT system, fundamental knowledge, NC machine, Bayesian network

1. 緒 言

日本の製造業の産業形態は従来、国内工場で加工した製品を輸出する加工貿易型が主流であったが、人件費の圧縮、円高による収益性の低下といった要因により、現在では海外に工場を設置する海外投資型の産業形態へと移り変わっている。その結果、海外工場でも国内工場と同様の製品品質や生産効率を維持するために、現地の労働力である若者に対する技能教育の必要性が高まり、実際に実施してきている。そこでは、国内の技能教育で有効とされる OJT (On the Job Training) による、実際の仕事を通した対面教育が行われていた。ところが、近年同様の OJT を企画/計画しても、団塊世代の大量退職による指導者役となる熟練技能者数の減少、工場が遠距離である海外に散在していることなどから、従前通りの実施が困難となりつつあり問題視されている。この問題に必要なとされる解決策は、技能教育に要する人員の削減、時間や場所といった概念に縛られない e-learning の利用、指導者にかかる負担の軽減が可能となる新しい技能教育手法の開発であると考えられる。

そこで本研究では従来の OJT に代わり、上述した解決策を有する技能教育手法として、指導者役の熟練技能者と教育を受ける技能者とが遠隔地にいる New OJT システムの利用を提案している¹⁾。同システムは未だ国内での実施実験しか行われていないが、高レベル技能を有する技能者を育成できる割合は比較的高い²⁾。しかしながら、日本では高度なレベルを有する技能とは、新しい機械の導入・新しい手順の工夫を行うことができる技能者をとされ、技的スキルだけではなく知的スキルが必要とされる。そのため、ある一定のレベルの知識を有することが条件となる。ところが同システムでは、そうした知識を有すると判断される技能者数は前述の実験では約 23%と少数に留まってしまっている²⁾。

そこで本論文では、一定レベルの知識を獲得させるために、学習の初期における基礎的知識の習得に着目した教育ソフトを新たに開発し提案する。同ソフトを用いた結果、基礎的知識の習得率の向上と、その波及効果としての高レベル技能習得率の向上を図ることを目的とする。

2. New OJT システムの概要と開発経緯

これまで日本が製造業大国として躍進してきた大きな要因の一つとして、現場における技能者の優秀さを挙げることができる³⁾。我国の技能者は技能と共に一定レベル以上の知識を有しており、技能と知識を合わせた経験が新たな技術開発や問題解決能力の向上へとつながっている。

本研究で対象とする「NC 工作機械による加工作業」において使用される技能を調査した結果、表 1 に示すように技能は技的スキルと知的スキルの二要素に分けて定義された。なお、レベルは数値が大きくなるほど高くなる。

図 1 に本研究で開発した New OJT システムのハードの概要を図示する。特徴は工場の他エリアで変種変量生産を支援する移動型アームロボットが遠距離にいる指導者の代わりに技的な模範実技を披露する点と教育内容に依存して指導者と学習者とでネットワークを介したビデオチャットが可能となる点である¹⁾。図 2 に同システムのソフトの概要および開発経緯を示す。

Table1 Details of Skill Level

Skill Level	Type	Details
1	Technique skill	Simple operation of equipment Simple work with assistance
2	Intellectual skill	Recognizing of quality trouble Recognizing and correction of equipment trouble
3		Guess the cause of the quality trouble Guess the cause of equipment trouble
4		Design of measures of quality and equipment trouble Creation of new facilities and means

* 原稿受付 平成 24 年 2 月 24 日

** 学生会員 中央大学大学院 (東京都文京区春日 1-13-27)

*** 中央大学大学院

† 正 会 員 中央大学

Fig.1 Structure of New OJT system

Fig.2 Process of New OJT software

New OJT による技能教育は全五回の学習からなり、後述する内容をソフトの改良によりシステムに組み込んできた。

技能教育は NC 工作機械についての基本的な操作法と知識を身に付ける為に、NC 工作機械の一連作業を学習する。学習一回目の初めに従来の OJT における熟練技能者の代替として、移動型アームロボットによる模範実演を体験してもらう。当初のシステムではこの学習の繰り返しだけであったが学習内容が記憶に残りにくく、高レベル技能者が育たなかったため、記憶強化を企てる目的でミス・トラブル経験をさせる手法⁴⁾を開発した。

ミス・トラブル経験を導入した手法は、学習三回目において学習一、二回目と同様に一連作業を行った後に、作業中 NC 工作機械の操作間違いをしてしまった場合の対処法の学習を行う。学習四回目は、加工異常トラブルの対処法及び再加工作法を学習する。また、高度な知的技能を高める目的で作業終了後に、加工異常の発生原因と対策についての発想訓練⁴⁾を行う。最後の、学習五回目は加工精度の学習を行い、具体的な加工環境下での加工精度が良くなる条件を予め予測して記し、加工終了後に、実際の製品精度不足に関する原因と対策について原因発想訓練を行うといったことを行う。この手法により高レベル技能者が育つようになった。ところが、高レベル技能者数が非常にわずかであったので、高レベル技能者になれなかった学習者の原因を探るべく個人対応教育を実施する手法を開発した。

個人対応教育では学習一、二回目の学習データをもとに個人毎の苦手作業を予測して、学習者には公言せずに苦手作業に対する指導を開始する。また、学習四、五回目の学習者に「発生し得る異常現象とその原因・対策」「加工精度向上のための加工条件の選定および選定理由」を事前に記述してもらい、テキストマイニングツールによって文章評価して、学習者に不足している観点の指摘を行う²⁾。本手

法により高レベル技能者数は増加した。ところが、以上の New OJT システムでは学習者毎に知識量にばらつきが生じ、高レベル技能を習得できる人数が限られてしまうという弊害が見つかった。すなわち、低レベルに留まってしまった技能者は基礎的知識が不足している為に、高レベルな知的技能教育を施しても消化不良を起こし、低レベルに留まってしまっていると推測された。

基礎的知識不足の原因は、「従来の個人対応教育により指導者から受ける指示が多くなってしまった為、基礎的知識を習得するための集中力が低下してしまった」「学習の初期段階において技術的技能に着目した教育を実施したため、知識に関する教育が不十分となった」ことが考えられる。そのため、これらの問題点を解決し基礎的知識の習得が容易となるシステムが必要であると考えられる。

そこで、本論文では初期段階において知識の有無を新たに判定し、知識が不足していると判定されたならば補習教育を行うという基礎的知識に対する個人対応教育法を開発することにした。

3. New OJT システムにおける基礎的知識の習得支援

3.1 基礎的知識習得システムについて

本研究では、初期段階における知識の有無の判定に Bayesian network を用いる。複数のデータの因果関係を有向グラフによるネットワークで表しグラフの経路に従い確率推論を行うことで、複雑な因果関係の発生確率を定量的に表すことができる Bayesian network を採用した。後述するが、Bayesian network の「ネットワークを用いた推論」機能を利用して、学習者の持つ基礎的知識が十分か否かを予測推論する。

3.2 Bayesian network について

Bayesian network とは条件付き確率、ベイズ確率を基礎に、現象の因果性及び関連性を計算的に推論する技術であり、Bayesian network の機能としては「ネットワークの学習」と「ネットワークを用いた推論」の二つがある⁵⁾。「ネットワークの学習」とは、複数のデータを用いて Bayesian network の構造と条件付き確率表を作成することであり、「ネットワークを用いた推論」とは、あるデータが得られたときに学習された Bayesian network にそのデータを入力することによって、ネットワークを構成するノードの確率を更新し、未知の事象の因果推論を行うことである。

E は子ノード、F は親ノードのデータを表し、ベイズの定理より、 $F_1, F_2, \dots, F_k$ が互いに素である集合で、条件付き確率 $P(E|F)$ を所与したとき、E が観測された時の F の条件付き確率 $P(F_i|E)$ が式(1)のように推論できる。

$$P(F_i|E) = \frac{P(E|F_i)P(F_i)}{\sum_k P(E|F_k)P(F_k)} \quad (1)$$

また、ネットワークの確率更新は式(2)によって行われ、子ノード Y からノード X への確率伝搬は式(3)、親ノード Z からノード X への確率伝搬は式(4)で行われるものとする。ただし、式(3)における $w_1, w_2, \dots, w_k$ は Y の X 以外の親ノードを表す。また、 Π は $(F_i|E)$ の親の確率変数の集合を表し、 λ が尤度、 π が確率更新後の事後確率、Bel は確信度 (belief) を表す。

$$Bel(x_i) = \lambda(x_i)\pi(x_i) \quad (2)$$

$$\lambda_y(x) \equiv \sum_y \left[\sum_{w_1, w_2, \dots, w_k} \left(P(y | x, w_1, w_2, \dots, w_k) \prod_{i=1}^k \pi_y(w_i) \right) \right] \lambda(y) \quad (3)$$

$$\pi_x(z) \equiv \pi(z) \prod_{U \in \text{ChildZ} - \{x\}} \lambda_U(z) \quad (4)$$

3.3 Bayesian network を用いた基礎的知識の習得予測

本研究に用いる Bayesian network の構成図を図 3 に示す。なお, Bayesian network は過去に New OJT における技能教育を行った際のデータをもとに構築している。ネットワークを構成するノードは, 前項に記載した「ネットワークの学習」機能を用いて構造が簡潔な割に効果的な出力が得られる要素を選択し, その結果, New OJT における各作業に要した作業時間, 作業区分 (同様の性質を持つ作業を「ワーク取扱」「クーラント調整」「機械内清掃」「ボタン操作効率」の四項目に区分した) の習熟度, 及び基礎的知識の有無とした。習熟度とは作業区分を構成する各作業に要する時間と, 知識力テストにおいて各作業項目に関連する問題の正答率とから判断した値で, 習熟度が高いものから high→middle→low と三つの値に分けた。

以上のことから, Bayesian network への入力データは学習者が New OJT における各作業に要した作業時間のみと単純化された。作業毎に学習者の作業時間を熟練者の作業時間で割った NE 比を算出し, NE 比の値が小さいものから順に A~D のランク付けした値を作業時間ノードに入力する。同入力を用いて Bayesian network は作業区分の習熟度及び基礎的知識の有無の予測を行い, 最終的に予測判断をする教育者側の支援をする。

3.4 基礎的知識の習得支援ソフト

Bayesian network による基礎的知識の習得予測結果から基礎的知識が不十分と予測された学習者に対しては, 個別に補足教育を受講させ基礎的知識を身に付けてもらう。各作業区分の習熟度において middle あるいは low と予測された作業に関する補足教育は図 4 に示す教示画面を用いて行う。

教示画面は Jakob Nielsen の 10 カ条のヒューリスティックス⁹⁾を用いており, 特に操作性と効率性を重視して設計を行った。教示画面には作業毎に, 作業方法や作業理由, 作業上の注意点等が記載されており, 個々に不足している知識を抽出して閲覧する形式となっている。

Fig.3 Structure of Bayesian network

Fig.4 Window of Educational tool

4. 遠隔地技能教育実験

4.1 実験内容

前章で述べた基礎的知識の習得支援システムを適用した New OJT システムを用いて遠隔地技能教育を行い, 各技能レベルの習得判定実験を行う。教育は前述した全五回の学習から構成されており, NC 工作機械について操作経験や知識の少なく, また, 従前の New OJT システムの学習者とは異なる学生全 10 名を対象として, NC 工作機械によるアルミ合金の溝加工の教育を行った。

学習の初期段階である学習二回目と三回目に各々の時間データを使用して本報記載の開発ソフトを用いて Bayesian network による基礎的知識の習得予測を行った。その際, 基礎的知識が不足していると予測された学習者に対しては前節で述べた基礎的知識の習得支援を受けてもらうこととした。

4.2 実験評価方法

本システムの評価は各技能レベルについて以下の方法で習得判定を行い, その結果を従前のシステムと比較することによって行った。

技能レベル 1 の判定は NEM 評価⁷⁾を用いて行う。NEM 評価とは初心者作業時間と熟練者の作業時間との比である NE 比を求め, その大きさから問題となる作業を見つける手法である。NEM 評価では一般的に NE 比が 4.5 以上の操作に重要な問題があるとされているため, 今回の実験でも NE 比 4.5 を合格基準とし, 全作業において NE 比 4.5 を超える作業がなければ, 技能レベル 1 を満たしていると判定する。

技能レベル 2 の判定は Bayesian network による基礎的知識習得予測, 及び実技テストを実施して行う。実技テストでは不具合が起きた際, 現実的に問題なく対処することができることを合格基準とする。テスト内容は「加工中に異常が起きた場合による非常停止後の対処」とした。基礎的知識の習得予測と実技テストの両方を合格した場合, 技能レベル 2 を満たしていると判定する。また Bayesian network の有用性を確認する為, 二, 三回目の学習後に知識を測るペーパーテストを受けてもらった。ペーパーテストの合格基準は正答率 9 割とする。

技能レベル 3 の判定では, 「加工中の異常現象, 及びそれに対する原因推察・対策考案」「表面粗さの精度不足に対する原因推察・対策考案」を, 技能レベル 4 では「製品の精度を保ったままで, 加工作業における作業効率を上げる為

の解決策」をそれぞれ文章に書き出してもらい、その文章を図 5 に示すテキストマイニングを用いて評価する。テキストマイニングでは、入力文章の品詞を解明し、高レベル技能者がよく使う品詞ほど得点が高くなるように各品詞に配点を行って、入力文章を採点する。また、文章中に頻出する単語の中で、特に他の単語に影響をもつものを視点単語として、視点単語の数を算出する。各課題に対する合格基準は過去の原因発想訓練のデータを基に、「加工中の異常現象、及びそれに対する原因推察・対策考案」では視点数 6・得点 70 以上、「表面粗さの精度不足に対する原因推察・対策考案」では視点数 10・得点 80 以上を合格基準とした。また、技能レベル 4 の課題「製品の精度を保ったままで、加工作業における作業効率を上げる為の解決策」は、回答の自由度が高く視点単語を抽出することが困難なことから、発想力と意見の質を、指導者が判断して発想と質が良ければ有効意見として数えることにし、有効意見数とテキストマイニングで評価した得点から、技能レベル 4 の習得判定を行う。合格基準は意見数 3・得点 25 と設定した。

Fig.5 Text mining tool

4.3 技能レベル習得判定結果

新ソフトを用いた New OJT システムによる技能教育を行った際の全作業項目の内、NE 比がボーダーラインである 4.5 以下の値となり、合格とされた作業の割合を表 2 に示す。同表より一回目の学習では 10 名中 7 名が、二回目の学習では残りの 3 名の内 2 名、三回目の学習までには全員が技能レベル 1 を習得することのできたことが分かる。

技能レベル 2 では、実技テストについては全員が問題なく不具合の対処を行うことができた。基礎的知識の習得予測は表 3 に示す結果となった。学習二回目には 10 名中 5 名が基礎的知識を十分有していると判定され、残りの 5 名に補足教育を施した後の学習三回目では学習者 G を除いて基礎的知識を十分に有していると判定された。従来の技能レベル 2 習得者が約 23%であったことにに対し、本システムでは 90%の学習者が習得できている。これは Bayesian network によって基礎的知識の補足教育を行うべき作業区分が的確に予測できたことが大きいと考えられる。実際、Bayesian network の予測結果とペーパーテストの可否とを比較した結果を図 6 に示すが、一致率は学習二回目で 80%，学習三回目では 100%となり Bayesian network による予測は技能レベル 2 の合格者を増やすという目的に対して的確であり有用であると考えられる。したがって、第 2 章で述べたように、学習二回目が学習三回目に比べて一致率が低いのは、NC 工作機械への慣れが不十分なため学習者の作業が安定しなかったことに起因したと考えられる。

技能レベル 3, 4 の習得判定結果を表 4, 及び図 7, 図 8 に示す。

技能レベル 3 に関する課題のテキストマイニングによる文章評価の結果、前述した 10 名中 9 名の学習者から、「加工中の異常現象、及びそれに対する原因推察・対策考案」、「表面粗さの精度不足に対する原因推察・対策考案」両方の課題に対する合格基準を満たす回答が得られた。そのため、この 9 名を技能レベル 3 の習得者と判定した。技能レベル 4 では合格基準を満たす学習者は 10 名中 7 名であり、最終的に 10 名中 7 名を、技能レベル 4 を有する技能者に育成することができ、高いパフォーマンスを上げた。

Table2 Result of skill level 1

Learner	Time		
	1 st	2 nd	3 rd
A	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	1.00
C	1.00	1.00	1.00
D	0.96	1.00	1.00
E	0.96	1.00	1.00
F	1.00	1.00	1.00
G	0.91	0.96	1.00
H	1.00	1.00	1.00
I	1.00	1.00	1.00
J	1.00	1.00	1.00

Table3 Result of prediction by Bayesian network

Learner	Time	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		○	×	○	×	×	○	×	×	○	○
	3 rd	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○

○ : pass × : failure

Fig.6 Comparison of Bayesian network and paper examination

Fig.7 Result of Skill level 3 training

Fig.8 Result of Skill level 4 training

Table4 Evaluation by Text mining tool

Learner	Skill level 3				Skill level 4	
	Equipment troubles		Quality troubles		Idea of new production system	
	Score	Number of viewpoints	Score	Number of viewpoints	Score	Number of opinions
A	116.1	11	115.0	12	33.1	4
B	80.2	9	86.7	14	9.1	3
C	129.4	13	117.4	15	31.6	4
D	72.6	8	100.9	13	26.7	4
E	132.2	11	90.8	12	26.6	3
F	88.2	9	91.8	14	26.3	4
G	49.3	8	51.8	10	16.8	4
H	73.1	7	85.7	10	6.2	2
I	90.5	9	87.7	13	35.8	4
J	118.0	10	149.2	12	38.5	3

4.4 従来システムとの比較

本論文で提案したシステムと、過去のミス・トラブル経験を利用したシステム及び個人対応支援を行ったシステムにおける技能レベルの習得結果を比較して図 9 に示す。同図より、本システムで教育を行った場合は技能レベル 2 における落ち込みが少なく、技能レベル 3、4 とともに習得率が高い水準となったことが分かる。これは、基礎的知識を十分と備えることで、新たな知識の獲得や問題解決能力が高まり、低レベルに留まってしまった技能者が減少したためだと考えられ、本システムの優位性を示す結果となった。

Fig.9 Comparison of learner's Skill level

5. 結 言

- (1) New OJT システムに、Bayesian network を用いて作業時間のみの入力から学習者の基礎的知識の有無を予測するソフトを組み込むことで、基礎的知識の習得支援を行う技能教育システムを提案した。
- (2) 同システムにより、技能レベル 2 にあたる基礎的知識の習得率を 23%から 90%に増加させ、その波及効果で技能レベル 3、4 の習得率を約 20%増加させることができた。

参 考 文 献

- 1) 高橋秀俊, 小尾昭裕, 板本悠一, スックサワット バンディット, 平岡弘之, 井原透, 技能教育を支援する New OJT システムの開発, 精密工学会誌, **72**, 11 (2006) 1429.
- 2) 浅沼悠, 四元崇裕, 早田岳史, 井原透, New OJT システムによる個人対応遠隔技能教育法, 精密工学会誌, **77**, 12 (2011) 1325.
- 3) 中村肇, 製造現場の技能伝承, 精密工学会誌, **68**, 10 (2002) 1273.
- 4) 小尾昭裕, 四元崇裕, 井原透, ミス・トラブル経験を利用する技能レベル向上策, 精密工学会誌, **74**, 12 (2008) 1325.
- 5) 岡本敏雄, 香山瑞恵, 人工知能と教育工学, オーム社, 東京 (2008).
- 6) 樽本哲也, ユーザビリティエンジニアリング, オーム社, 東京 (2005).
- 7) 鱗原晴彦, 龍淵信, 佐藤大輔, 古田一義, 定量的ユーザビリティ評価手法: NEM による操作性の評価事例およびツール開発の報告 (2001).