

## 熟練技能継承のためのナレッジマネジメント

塩瀬 隆之<sup>†a)</sup> 川上 浩司<sup>†</sup> 片井 修<sup>†</sup>

Knowledge Management for Proficient Skill-Transfer

Takayuki SHIOSE<sup>†a)</sup>, Hiroshi KAWAKAMI<sup>†</sup>, and Osamu KATAI<sup>†</sup>

**Abstract.** ナレッジマネジメント研究は、組織としての知をいかに残すかに傾注している。これを技能継承支援に生かすには、それをとりまく「人」に着目し、属人的な要素への取り扱いに傾注しなければならない。筆者らは、属人的な要素に配慮した技能継承を「技能継承の技術化スキーム」の提案により、伝統産業や近代産業における師匠-弟子間の徒弟制で交わされる技能継承コミュニケーションを分析した。これにより、機械学習をはじめとする知識工学・ナレッジマネジメントを技能継承支援に生かすための研究視点について紹介する。

**Keywords.** 熟練技能継承, ナレッジマネジメント, 機械学習

### 1. まえがき

ものづくり現場において熟練者が保有する技能がうまく次の世代に継承されていないことが問題視されている。特に困境世代の技術者が定年を迎える 2007 年問題は深刻に受け止められつつも、効果的な策を講じることができていない。近年この熟練技能・知識に関する研究分野として注目を集めるナレッジマネジメントにおいては、1) 情報システムを駆使して技能ノウハウをデジタル技術化する、あるいは 2) ノウフー情報のようなアナログナレッジの共有システムを構築する、などが考えられている。筆者らはこの 2 つの視点、「人から機械」、「人から人」への継承に加え、3) 熟練者の再評価や継承教育の組織における見直しという「組織の中での継承」という視点の必要性を説き、3 つの視点から技能継承に取り組む「技能継承の技術化スキーム」を提唱している。この 3 つの視点から様々な技能継承コミュニケーションを分析している中で、知識工学やナレッジマネジメントの応用先や新しい手法の提案などを探っている。

本稿では、技能継承の困難を説明する理論的背景として採用している生態心理学について概説し、次に筆者らが取り組んできたエージェントアプローチによる技能継承支援研究の二つについてその概略と課題を紹介する。

### 2. 技能に内在する主観的なモノの見方

炭素鋼に別の元素を 1 種類以上添加された特殊鋼に、実際に微量成分が仕様どおり含有されているかどうかを、グラインダで削ったときに出る火花の形、大きさ、色を見て分析する火花検査士という職人がいる。火花を見て、モリブデンが 3.0%、タングステンが 0.5% など、0.1% オーダーで分析できる。教育訓練マニュアルでは、火花の流線が根元、中央、先端の 3 段階に分類され、それぞれで観察可能な元素が異なる。そして、その角度や色、明暗、長さ、破裂の有無などが詳細に分類されている。しかし、その分類表の最後の項目には、「明るい」「やや暗い」「太い」「少ない」など、形容詞がとどまる。工学研究の対象としては、主観的意味合いの強い形容詞というのは計算機表現と相性が悪く、できる限り避けて通りたい。この主観的な表現、熟練者ごとの癖とも呼べるような認知過程の個性性を避けて通れないのが熟練技能継承の課題である。

熟練技能と言えば、高度に洗練された行為の集合というのが自然に連想される。正確な行為が幾度となく繰り返されたとしても、その精度に狂いが生じないものと期待され、また新たな状況に遭遇しても柔軟に対応できることが期待される。しかし表層的な行為そのものが正確に再現される必要はなく、むしろ湿度や温度といった外環境の状況は日々、時々刻々に違い、自身の体調など内環境の状況もまた異なるため、「同じ」ように再現されることは必ずしも意味をなさない。む

<sup>†</sup> 京都大学大学院情報学研究所, 〒 606-8501 京都市左京区吉田本町  
a) E-mail: shiose@i.kyoto-u.ac.jp

しろ、技能に内在する主観的なモノの見方、すなわち認知における個性こそが、熟練技能の柔軟さを支えているのではないかという仮説を立てることがむしろ説明を容易にする。そこで、この主体ごとの「個性」というものに着目する理論的背景の整備と、計算機表現とのギャップをいかに埋めていくかが熟練技能継承を支援する工学的研究において重要となる。

### 3. 認知過程の個性性に迫る理論的背景

#### 3.1 生態心理学の視点

認知を物理的・生理的な側面からのみでなく、より広く行為主体と環境との力動的な相互依存関係に注目し E. Brunswik は、刺激や記号がそれ自身、大きな意味を固定的に持ち続けるとは見えず、それら刺激や記号に付随すると思われる価値や意味が行為主体と環境との相互依存関係の中で創発されるものと考えた [1]。E. Brunswik は、手がかり（近刺激）と環境（遠刺激）との関係について体系的・描写的な研究を行った先駆者であり、特に重要な点は環境と判断の関係を、その手がかりを中心とした対称構造によって説明し、「手がかりの生態学的妥当性」と「手がかり利用の妥当性」とを明確に区別したことである。このモデルは、とくに手がかりを中心として環境と判断を対称に位置づけることからレンズモデルと呼ばれている（図 1）。

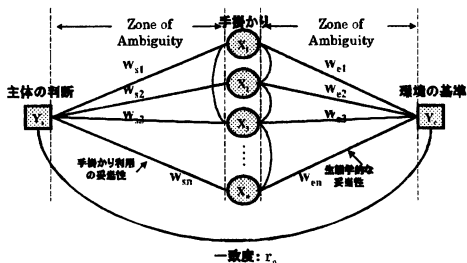


図 1 E. Brunswik のレンズモデル

前者は、行為主体にとって手がかり（cues）と環境の基準（criteria）との関係が実際にどの程度強く特定されるか、その潜在的な妥当性（ecological validity）を指している。後者は、その手がかりがどれほど行為主体の認知判断（judgment）にとって有効であるか、その個別の妥当性（cue utilization validity）を指している。E. Brunswik はこの分類によって、人間の認知過程が個人ごとに異なると多義的であると言われる認

知科学上の問題に一つの回答を示し、手がかり集合が行為主体と環境との相互依存関係の中に埋め込まれていることを簡潔に説明している [1]。

熟練技能を情報技術によって体系化する試みは、技能のデータベース化を図ったエキスパートシステムを中心として研究されてきたが、そこでの技能抽出の困難をレンズモデルによる判断の説明とを照らし合わせれば、

- (1) 人間は自分の判断を記述するのが得意でない
- (2) 判断過程は非常に単純になりがち
- (3) 経験による個人差が大きい
- (4) それ自身、一貫しない傾向がある

と整理することができる。熟練者自身が自分の技能を知識として整理していない、あるいはできないことにまつわる抽出の困難さや、たとえ知識として体系化されていたとしてもその量が膨大であり、抽出の作業そのものが熟練者にとって負担となることなどが原因として考えられる。実際に熟練者からアンケートなどを通じて技能について説明を求めても、曖昧な表現での回答や、実際の行動と食い違う説明などが少なからず見受けられる。

#### 3.2 技能継承の困難

図 1 に示すレンズモデルは、判断と基準の双方から手がかり集合の妥当性を調べるため、double system design と呼ばれる。一方、二つの判断主体と共通の基準に対して手がかり集合の妥当性を調べる triple system design（図 2）では、二人の判断主体における共同の認知過程分析に用いられる。

仮に「その広がりが大きくなったら」、「あそこが赤いので」、などのように言語表記としては手がかりを特定したかのように説明されたとしても、「広がり」や「大きい」、「赤い」などの主観的表現までが分解の限界点となっている。熟練者が身に付けている技能の多くが、このように極めて属人的で個性が高いため、仮に技能が抽出できたとしても、これを被継承者に対して直接に押し付けることができない。すなわち、受け手にとってこの主観的表現が同様の意味で受け取られるとは限らない。これに対して試行錯誤による実習を通して、被継承者自身が自らに体現化するほかないが、技能が体現化されるまでには多くの実践的取り組みを要し、これをサポートすること自体もまた熟練者の負担となる。結局、1) 熟練者からの技能抽出の困難と、2) 見習い技術者自身の技能体現化の困難、いずれにおいても、認知過程の個性性が大きく関与している。

### 3.3 対話としての技能継承

環境の基準と、二つの判断主体という三方向から手がかり集合の妥当性を限定しているという意味で拡張されたこの分析モデルは、複数の判断主体が共通の手がかり集合を介して対話しながら共同的に判断するプロセスを説明する。たとえば師匠-弟子という二者関係で構成される徒弟制度と呼ばれる熟練技能継承の実践においては、師匠（教師役）は弟子（学習者役）に対して明示的な教授を行わない積極的な秘匿をすることが知られている。これは、弟子（学習者）からの積極的な意味づけ、能動的な学習を促し、自らが手がかり利用の妥当性を獲得するための体系化された構造であるとも解釈することができる。このようなプロセスを機械学習をはじめとするエージェントベースアプローチで計算機表現するために、レンズモデルを異なる二者の判断主体に拡張した triple system design を参考とした。次章以降では、著者らが取り組んだ二つのエージェントベースアプローチについて概説する。

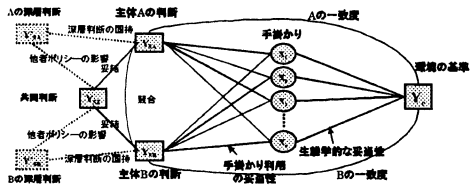


図2 異なる二者の判断主体に拡張された triple system design

## 4. 対話型メンテナンス技能の継承支援エージェントの設計

### 4.1 保全作業における技能継承

本章では、工場の生産ラインを流れる製品群の中から良品/不良品の判別を自動化する FA 用画像処理センサのパラメータチューニングに関する技能継承支援を指向したシステムについて紹介する。保全作業は、利益に直結し難いために業務改善計画の中でもあまり評価されず、これまで積極的に体系化される機会が少なかった。また、事前条件を整備しやすい製造工程と異なって、故障や環境条件の変化が突発的に発生したり、故障ごとに対処の内容がまちまちであるなど極めて状況固有性が高く、体系化そのものに適していなかった。画像センサの検査枠の位置・サイズを変更し（以下、オペレーションと呼ぶ）、ある製品について結

果として特定された検査枠が、良品と不良品とを分かちつ不良箇所を適切に取り囲むことができれば、画像センサはラインを次々と流れてくる製品群の中から良品/不良品をそれぞれ自動的に判別することができるようになる（図3）。

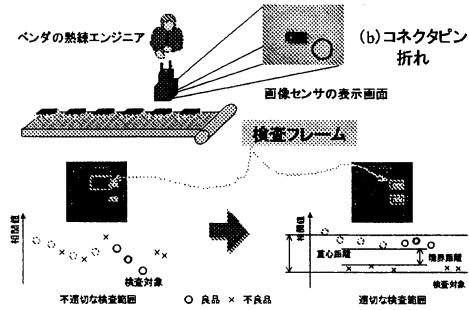


図3 対象となるセンサチューニング作業

ここで「適切に取り囲む」とは、囲んだ範囲の部分画像の相関値が、良品と不良品とを分かちつのに有意な値になることを指す。例えば図4に示すようなICに見つかるピン折れ不良の場合、3本ほどのピンを囲むくらいの大きさで囲むことが適切なサイズとされていて、これよりも大きすぎても、小さすぎてもうまく不良品を検出できなくなる。不良箇所の種別や発生場所、

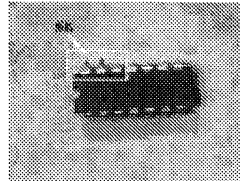


図4 不良品検出の事例：ICピンの折れ

照明など考慮すべき状況因子はさまざまであり、さらに顧客ごとに取り扱う検査対象が異なるため、ある特定の検査対象にしか通用しない固有の検査枠を逐一記憶していくことは適切ではない。

### 4.2 エージェントとの対話による検査枠設定

まず、図5(a)に示すように、熟練者とエージェントとが対話的にある検査枠設定タスクを進めていくものとする。これは熟練者からの技能抽出のフェーズを想定しているが、熟練者はエージェントが提案するシステム操作の代替案を適宜確認・修正しながら作業を進めることのみを要求されることから、実際のシステム

作業と比較して特別に技能継承のために負担が増えるということはない。ここでエージェントの操作代替案の提案候補は一般的な機械学習のアルゴリズムであるクラシファイアシステムを対話型学習システムとして用いることでルール化される（詳細は、文献[4]に譲る）。次に図5(b)に示すように、継承者に熟練者の育てたエージェント（インタラクションを通じて学習したエージェントをこう呼ぶ）と対話的な作業に取り組んでもらう。継承者はエージェントの提案を参考にできるため、熟練者の手を借りることなく継承者が単独でも十分にチューニング作業に取り組めるという設定である。ここで継承者が単にエージェントのルールに倣うだけでなく、エージェントの側も提案をしながら継承者の受諾/拒否の反応をルールに反映させていくようなフィードバック構造としているため、triple system designの相互学習で指摘されるような継承者とエージェントの間で調停をとるような妥結点でルールが獲得される。このような仕組みにより、継承者が単独で技能の体現化に取り組めるだけでなく、取り出された熟練者の技能を盲目的に押し付けられるのでもない、手がかり利用の妥当性を継承者自身が試行錯誤的に獲得しながら技能を体現化することが可能となる。

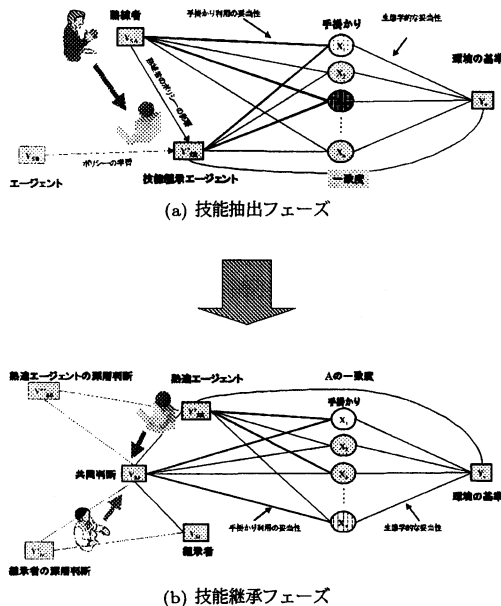


図5 Triple system designに基づく技能継承プロセスの理解

#### 4.3 システムの概観

提案するエージェントとインタラクションするため、図4.3に示すようなユーザインタフェースを設計した。このインタフェースは主に3つのコンポーネント、すなわち検査対象を映し出す画像提示部、ユーザに提案操作を提示するオペレーション提示部、提案オペレーションの自信の程度を表示する表情アイコン提示部とからなる。エージェントは、画像提示部より得た検査対象の画像情報を入力に、その状況で適切と思われるオペレーションの提案を出力とするようなCSルールを学習機構として備えることとする。

画像提示部は、ユーザに検査対象画像を提示するだけでなく、エージェントにコード化された画像情報を伝達する役割をもつ。エージェントへの入力情報としては、画像センサ内のある任意の検査範囲を便宜上9分割し、各領域内の輝度を3段階（暗・中間・明）に区別した9次元のベクトルとしてコード化され、CSルールの前件部となる。次にユーザが検査範囲を特定するプロセスを以下に示す通りの単位オペレーションに分解し、CSルールの後件部とした。オペレーションの候補は、検査枠の移動（上下左右：UM,DM,LM,RM）・サイズの変更（上下左右それぞれに広げる・狭める：UW,DW,LW,RW,UN,DN,LN,RN）の計12種類とする。各CSルールの強化値は、ユーザの受諾/拒否に応じて変動する。エージェントはチューニング作業の過程で、その状況下で適合する前件部を持つCSルールのうち、最も自信のある（強化値の高い）ルールを発火し、後件部に保持されるオペレーションをユーザに代替案として提示する。ある状況で、既存のルールの中に適合する前件部を持つものが見つからない場合には、新規状況として新たな前件部に任意のオペレーションを付与したルールをメモリに追加するミシガンアプローチを採用する。このようなルールの更新は、ユーザが適切な検査枠を特定したと判断して作業を終了する時点まで繰り返される。提案オペレーションの自信の程度は曖昧さや直感性を損なわない情報提示として期待される表情アイコンを採用した。

#### 4.4 実験結果—二つの一貫性

熟練者（FA用画像処理センサの商品開発に15年従事したベテラン）と未熟練者（工学部大学生）という二人の被験者に対して、3種類の製品（(a)名刺、(b)コネクタ、(c)IC）を検査対象とし、それぞれ用意された製品群の中から不良品を画像センサによって判別できるように検査枠を適切に設定するチューニング作

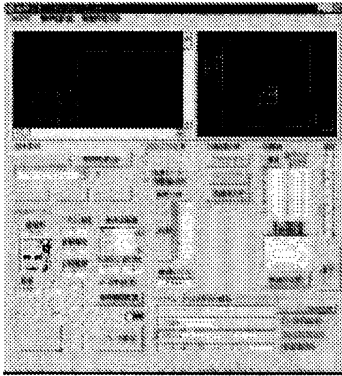


図 6 An image of crossing the driveway

業を本システムとインタラクションしながら取り組んでもらった。実験結果の分析指標としては、判断の一貫性 (consistency) と判断の整合性 (cognitive control) と呼ばれる、判断の適切さを評価するレンズモデルの二つの指標を採用した [2]。Consistency とは、あるユーザが同一の手がかりに対して一貫して同じ判断が下せるかどうかを表し、cognitive control とは、ポリシーと呼ばれる自らの体得した判断のための方策にどこまで忠実な判断が実際に行えているかを表すもので、以前に経験した同一の手がかりに対してのみでなく、一般化が行えているか否かをも数量化することを狙いとしている。この指標もまた熟練者と未熟練者の技能習熟度を知る上で顕著な差異が現れる一つとされている。

ここで consistency は、本研究で扱うシステムに対応づけるならば、CS ルールの強化値によって知ることができる。これは、ユーザが同じ状況下で同じ判断を下すほど高い強化値を持つようになる対話型クラシファイアシステムを採用したためであり、ユーザの選択に一貫性がなければ各 CS ルールの強化値はばらつき、結果として低い強化値 (提案信頼度) に留まる。そこで図 7 に、熟練者とインタラクションしたエージェント、未熟練者とインタラクションしたエージェント、それぞれについてエージェントの提案信頼度 (CS ルールの強化値) がどのように推移するかを記録し、表 1 にそのプロセスを通じて提案信頼度を平均したものを整理した。

	熟練者	未熟練者
提案信頼度の平均	79.634	63.5

表 1 判断の一貫性に着目した熟練者と未熟練者との差異

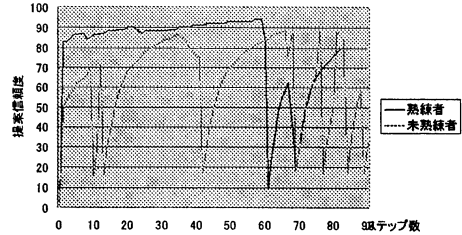


図 7 提案信頼度の推移 (熟練者と未熟練者)

図 7 と表 1 から、熟練者とインタラクションしたエージェントにおいて提案信頼度がより高く、consistency の高い判断を下すことができていることが分かる。このことは R.Cooksey [2] らの議論とも整合し、線形モデルの代替として本研究で採用したような対話型クラシファイアシステムを採用したとしても、熟練者と未熟練者の差異についてその表現力が損なわれることがないことが分かる。

一方、この判断が自身のポリシーに一貫した判断を下すことができているかは、獲得ルール数に着目することで評価することができる。表 2 に、熟練者とインタラクションしたエージェント、未熟練者とインタラクションしたエージェント、のそれぞれについて提案信頼度の平均と獲得ルール数の平均をまとめる。

	熟練者	未熟練者
提案信頼度の平均	76.032	61.026
獲得ルール数	26	136

表 2 判断の整合性に着目した熟練者と未熟練者との差異

ここでは、異なる検査対象を連続的に検査しようとする実験であったため、検査対象ごとに新たなルールが生成されるであろうことは容易に想像される。しかし、実際には表 2 から分かる通り、熟練者とインタラクションしたエージェントが獲得したルール数 (26 個) に対して、未熟練者とインタラクションしたエージェントが獲得したのはその 5 倍以上のルール数 (136 個) というように、熟練者と未熟練者において顕著な差異がみられた。ここで熟練者とインタラクションしたエージェントにおいて、その獲得ルール数が少なく、かつ提案信頼度の平均が高いということは、対象の特徴からは独立で汎用的な手がかり集合が獲得されたと見え、このルール数の比較により cognitive control を推し量ることができることが分かる。

#### 4.5 課題とシステムの拡張

これらの考察をあわせると、本研究で採用した対話型技能継承支援システムがレンズモデルで議論される二つの一貫性 (consistency, cognitive control) について、熟練者と未熟練者との差異を適切に説明できていることが分かる。本研究で対象とするようなチューニング作業の熟練技能継承に関しては、1) 環境の基準が逐一は得られないこと、2) 技能の段階的変化を表現できないこと、の二つの理由から線形モデルの代わりに対話型クラシファイアシステムを用いたが、熟練技能についてその表現力を損なうことなく代替できていることが分かる。しかし、これらはクラシファイアシステムの前件部 (条件節) の一般化を行った結果であり、過不足のない状態表現とはなっていない。冗長な状態分割と同時に、不十分な状態分割とが並存させたままオペレータ提示を連続させているに過ぎず、オペレーション同士の連鎖に特定の関係がない場合には、同様のシステムを用いることができない。これらの結果は、判断についての線形回帰によってポリシーを推定する従来の手法に比して、クラシファイアシステムをはじめとする機械学習手法を用いることで非線形モデルによって回帰できる可能性を示唆するものではあるが、空間軸あるいは時間軸のいずれかに抽出可能な種の傾向が内在していることを前提としている。すなわち技能を抽出したというよりは、「機械学習アルゴリズムで抽出可能な技能」を抽出したに過ぎないという根本課題を越えることができないため、学習アルゴリズムをあてがう初期の見通しに技能抽出の成否が強く依存してしまうことは避けられない。

#### 5. 対話型形状デザイン支援システムの設計

次に、形状デザインにおける感性的な作業に関わる熟練技能の継承を指向したデザイン支援システムについて紹介する (詳細は、文献 Shiose02 に譲る)。工業デザインにおいては、ニーズの調査、概念化、予備改善など、デザイン過程の特に初期段階が製品の質を左右すると重視されているが、特に計算機支援が苦手とする分野である。そこで、対話型進化計算をベースに、評価関数の統合システムを組み込んだ設計支援システムにより、携帯電話や自動車の形状デザインを想定した自由形状デザインを研究の対象とした。

##### 5.1 対話型デザイン支援

筆者らは、設計の初期段階で見られる「概念化」を、設計過程で動的に変化するイメージに対応して評価基

準を調整すること、として定義した。しかし、設計者が利用するであろう評価基準をすべて予め計算機内に列挙しておくのは現実的でない。そこで、筆者らは対話型進化計算を用いてこの評価基準の絞込み作業の一部を計算機に負担させることで、設計者の負担を軽減することを指向したシステムを開発した。一般に対話型進化計算は次の手順を踏む。

(1) 設計者はいくつかの形状候補から、気に入った形状を選択する。

(2) 対話型進化計算は、設計者が選択した形状候補から、次なる形状候補を選出する

筆者らのシステムでは、次に示す2つのサブシステムを組み込むことで、拡張された。AES (評価関数獲得システム) とEFS (評価関数統合システム) の二つである。AESは、設計者が選んだ形状候補を正確に説明し得る評価関数 (木構造で個体表現される) ほどより高評価を得るようなサブシステムであり、EFSは得られた評価関数を統合し、新たな評価関数の候補をつくるサブシステムである。すなわち、直接に次世代の形状候補をシステムユーザに提供するのではなく、一度AESによって評価関数を推定してから形状候補を提供し、さらにEFSによって新しい評価関数を生成する。

##### 5.2 システムアーキテクチャ

システムインターフェースはC言語とオープンGLで開発され、サンプルフィールドとプレゼンテーションフィールドの二つのウィンドウを備える。プレゼンテーションフィールドには12の小窓があり、それぞれの小窓ごとに一つの評価関数が対応する。当該小窓には、その評価関数の最も高評価を得た形状を表示する。システムユーザは、各小窓の形状をマウスにより自由な角度から閲覧することが可能となる。システムユーザは、12の形状候補から気に入った少なくとも4つの形状をサンプルフィールドへドラッグ&ドロップすることを要請される。システムは、形状のみならずその小窓に割り当てられた評価関数も同時にサンプルフィールドへ移送する。

##### 5.3 実験

本来であれば、自由形状デザインを研究対象とするところであるが、システムの妥当性を検証するため、ここでは意図的に二つの目標形状を与えた。自動車の形状デザインを想定し、前半は形状(a)を、後半は形状(b)というように作業の途中で目標形状を変更し、システムがそれに追従できるかどうかを問うた。比較

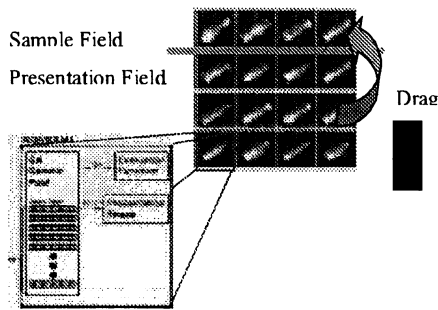


図 8 An appearance of the system

実験として、次の3つの実験条件を想定した。まず提案プログラム (Case C)、それから拡張なしの対話型進化計算の (Case A)、EFSを持たない (Case B) である。Case Bは評価関数統合システムをもたずに、評価関数獲得システム AES だけを備えた対話型進化計算である。

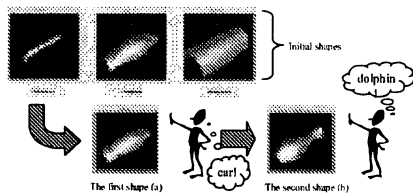


図 9 The target shapes for experiments

Population (N1)	120	Population (N2)	50
Crossover rate	0.7	Crossover rate	0.8
Mutation rate	0.5	Mutation rate	0.6
Invasion rate	0.5		
Max Depth	25		

図 10 Definition of all parameters for AES and SFS

システムユーザは、デザインの最中にはいずれのCaseのシステムと対話型設計しているかについては知らされない。各選択フェーズでは、システムから提供された12の形状候補の中から多くとも4つの形状を選択し、サンプルフィールドにドラッグ&ドロップする操作を繰り返す。ただし、5回目の選択時には目標形状を (a) から (b) へと変更することを要請される。

#### 5.4 実験結果

拡張なしの対話型進化計算では、設計途上での目標形状の変更には対応できず、目標形状変更後には評価の低い形状しか提示できなくなってしまう結果を得た。これらはシステムがシステムユーザの目標形状イメージをどれほど忠実に評価関数として反映できるか、についての指標となり、たとえば図 5.4 に示すようにシステムユーザのドラッグ回数へと反映される。提案手法では、目標形状を変更した後にすみやかにドラッグ回数が減少しており、システムがユーザの目標形状変更に対応した形状候補の生成に成功していることをうかがわせる。

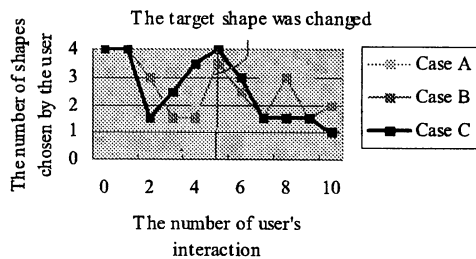


図 11 The number of shapes chosen by designers

#### 5.5 課題とシステムの拡張

本研究の目標は、明確に言語表記される以前の設計者の曖昧なイメージを共創的に作り上げる計算機支援であった。「もっとここをまるく」や「このシュッとした細身をもっと強調して」といった形容詞表現に対する計算機支援の有り様を探る試みである。しかし、システムの中で保持しうる構成変数は、いずれも具体的な物体形状の構成変数を抛り所としており、対象物体と独立に「まるい」や「シュツとした」といった表現を計算機内に蓄積することが困難である。逆に、万一これら形容詞表現が構成変数と独立に抽出できたと仮定しても、それが意義あるものかどうか判断することは難しい。熟練技能継承に関する現場での調査からは、熟練者が表現しようとする対象領域そのものになりに変動があり、表現とシステム境界とが相互依存的に決定されているように類推されるが、このような相互依存的な決定プロセスをモデル化する適切な計算機表現をわれわれは持ち得ない。

## 6. ま と め

本稿では、筆者らが取り組んできた技能継承支援研究について概説し、知識工学やナレッジマネジメント手法を応用する際に遭遇するであろう課題について紹介した。熟練技能に関して計算機支援を探る研究では、「暗黙知」と呼ばれる語りえぬものをまず形式知に変換することが要求される。盲目的な形式化が必ずしも有効でないことは認識されているが、「暗黙知」と呼ぶことで安心してしまい、それ以後の議論が停止してしまうことも危惧される。たとえば暗黙知をより詳細にとらえるならば、これまでに

- (1) 形式化できなかったもの
- (2) 形式化しようと試みてこなかったもの
- (3) 意図的に形式化してこなかったもの

の3つが挙げられる。1)については、センサやコンピュータの性能向上にともなって形式化できる範囲が増えているし、形式化技術の革新により2)についても検討範囲が増している。しかし、盲目的な形式化が必ずしも技能継承支援において有効でないことは、3)についての配慮が等閑にされているためにこれまではあまり表面化することすらなかった。熟練技能継承に対する計算機支援研究においては、形式化手法の探求もさることながら、知識観・技能観のパラダイムシフトが最大のテーマである。技能継承の困難を説明する理論的背景として筆者らが採用した生態心理学は、工学分野では誤解された援用も多いが、従来の伝統的な認知心理学に比して異なる研究視点を提供してくれるという意味では非常に示唆に富み、今後これら技能継承支援研究の分野に寄与すると期待できる。しかし、これを実現するには技能継承の課題を抱えている現場での実践活動と理論研究との共存が今まで以上に重要となるため、新たな研究手法の確立が急務とされる。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金若手研究(B)（「技能継承の技術化スキームに基づく技術教育の新展開に関する研究」：課題番号 16700540）の支援により実現された。ここに深謝する。

## 文 献

- [1] Brunswik, E.: *Perception and the representative design of psychological experiments.*; Berkeley, CA: University of California Press, 1956.
- [2] Cooksey, R.W.: *JUDGMENT ANALYSIS -Theory, Methods, and Applications-*, Academic Press, Inc., 1996.
- [3] Takayuki Shiose, Ryohei Ishida, Yoshihito Nakayama

and Toshiharu Taura, Alleviation of Design Loads by Synthesizing Evaluation Function, SICE Annual conference 02, SICE02-0309, 2002

- [4] Takayuki Shiose, Tetsuo Sawaragi, Akira Nakajima, Hideshi Ishihara: Design of Interactive Skill-Transfer Agent from a Viewpoint of Ecological Psychology, International Journal of Human-Computer Interaction, 17(1), pp.69-86, 2004.