

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560385

研究課題名(和文) 人間の熟練過程モデルを考慮した創発的問題解決の方法論

研究課題名(英文) Emergent Systems Approach for Problem Solving Considering Skill Acquisition Process

研究代表者

玉置 久 (TAMAKI HISASHI)

神戸大学・大学院システム情報学研究科・教授

研究者番号：10227267

研究成果の概要(和文)：

人間と計算機の協業による問題解決・意思決定支援を図ることを目的とし、(1) 人間の熟練過程モデルの構築、(2) 創発的インタラクション・モデルの再構築、(3) 知能・技能ハイブリッド型問題解決支援の方法論の開発をサブテーマに設定して研究を進めた。その結果、熟練度合いをパラメータとする問題解決モデルが構築されるとともに、知能・技能ハイブリッド型問題解決のプロトタイプ(計画系に対する数理計画モデル、制御・運用系に対するエージェントモデル)が試作された。

研究成果の概要(英文)：

In this research project, in order to design and implement the framework of decision-making based on human-machine interaction, the following research sub-topics have been arranged: (1) to design an agent of experienced personnel and also that of unskillful personnel, (2) to (re)construct a computational model for emergent interaction, and (3) to develop a problem-solving model for such systems in which both intelligence and skill are concerned. As a result, a computational framework considering the degree of skillfulness and intelligence has been designed, and some prototypes based on this framework are implemented.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：システム工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：創発的方法論，問題解決，熟練過程，シミュレーション，意思決定支援

1. 研究開始当初の背景

人間が関わるシステムの設計・計画・運用等を対象とした工学的問題解決について、典

型的には、(a) 意思決定主体としての人間による問題の認識・抽出過程、(b) 問題解決の対象となるシステム環境や人間の選好等を考慮したモデリング過程、および (c) 最適化

手法等を利用した求解過程，のように段階的にアプローチされることが多い。研究代表者は，(a) や (b) を与件とするスナップショット（静的最適化）としての問題解決に対する創発的計算アプローチについて，これまでも，進化型計算法を用いたアプローチによる工学的最適化という枠組みで，モデリング方法およびアルゴリズム構成方法に関する研究を進めてきた。いずれも，人間あるいは計算機が解候補を評価する過程を順方向写像に，一方，制約や選好などの要件を満たす解候補を見出す過程を逆方向写像にそれぞれ対応させることによって，創発的問題解決の枠組みを構築するものであり，人間の選好が何らかの形で定量化されている場合の意思決定支援に関しては一定の成果が得られている。

さらに，大規模化・複雑化するシステムの設計や計画・運用を対象とする場合，システムの環境や意思決定者の選好等を事前にはモデリングしきれない状況下においても，効果的に問題を抽出・モデリングすると同時に解候補を提示していくことができる枠組みが肝要である。この点に関して，インタラクションの場としての「情報場」の概念を導入・定義し，求解過程において解くべき問題（考慮すべき制約や意思決定者の選好など）を対話的・適応的に引き出し得る双方向インタラクションを内在化した創発的アプローチを展開してきている。これまでも，作り込まれたインタラクション（特に計算機（モデル）相互間）による適応的な問題解決の枠組みがほぼ実現され，生産システムや社会システムの事例に対して一定の成果が得られている。同時に，これらの研究を通して，インタラクションそのものが創発的に形成・進化し得る（すなわち情報場が適応的に変化し得る）方法論の重要性が示唆される結果となった。この点を踏まえて，情報論的な視点から，問題解決・意思決定に肝要な情報を獲得・共有するための双方向インタラクションを形式化・モデル化するとともに，これまでの創発的アプローチを発展させる形で，適応的な情報場の形成を可能とする創発的インタラクションの枠組み構築を目指して研究を進めつつある。

2. 研究の目的

スナップショット（静的最適化）としての問題解決に対する創発的アプローチについては，ある一定レベルの成果が得られている（あるいは見込まれる）状況ではあるが，実際にシステムを運用・制御することを考えた場合，知能的側面としての決定だけではなく，操作媒体としての人間（作業員等）を陽に扱い，技能的側面をも考慮する必要がある。す

なわち，人間と計算機の協業によるシステムの運用を相互作用による動的過程として捉え，問題解決・意思決定支援を図ることが肝要である。本研究課題においては，このような問題解決・意思決定支援を可能とする計算モデルおよび方法論の構築・開発を目的とする。

3. 研究の方法

研究目的の達成に向け，以下の三点に焦点を絞って研究を進める。

- (1) 人間の熟練過程モデルの構築：人間の認識・判断・操作の過程を必要な精度で再現できる数理モデル（特に熟練の過程を記述可能なモデル）を構築する。この際，認知科学的あるいは情報工学的なアプローチのみではなく，それぞれのエッセンスをうまく融合する形で，独自のフレームを定めたモデル構築を目的とする。
- (2) 創発的インタラクション・モデルの再構築：動的に問題解決・意思決定支援を実現し得る枠組み・方法論について，人間-計算機・機械系を智能レベルだけではなく技能レベルにおいても協業させるという観点から，従来の創発的インタラクション・モデルの有効利活用を図る。具体的には，人間の技能化（熟練）過程および計算機の知能化過程を通して動的な問題解決・意思決定支援を実現し得る枠組み・方法論について検討するとともに，その計算モデルを構築する。
- (3) 知能・技能ハイブリッド型問題解決支援の方法論の開発：上記(1)と(2)を統合し，知能・技能ハイブリッド型創発的問題解決の方法論を完成させる。また，プロトタイプを用いた実証実験を行い，方法論の可能性・有効性を検証する。

4. 研究成果

まず，研究方法に記した研究サブテーマのそれぞれについて，研究成果を概観する。

- (1) 人間の熟練過程モデルの構築：情報論的な立場から問題解決・意思決定に肝要な情報を認識・処理するための計算モデルがどのような形で形式化されるのか，また，熟練過程モデルの試案を行った。
- (2) 創発的インタラクション・モデルの再構築：人間-計算機・機械系の効果的な協調メカニズム，および情報共有や相互作用の理想的形態を試案するとともに，これを實現・達成するために必要とされるインタラクションの形成・進化メカニズムについて検討した。

(3) 知能・技能ハイブリッド型問題解決支援の方法論の開発: 問題解決の対象 (例題)として、生産システムにおけるスケジューリングの問題 (計画系)、およびレーシングカートの操縦支援問題 (制御・運用系)を取り上げ、ハードウェアの作製、ダイナミクスのシミュレータの開発を進めた。これらをもとに、実際的な人間・機械系のダイナミクスを含む問題解決の例題に対して、熟練度合いをパラメータとする問題解決モデルのプロトタイプ (計画系に対する数理計画モデル、制御・運用系に対するエージェントモデル) を構築した。プロトタイプを用いたシミュレーションを通して、方法論・モデルの有用性を確認した。

次に、上記 (3) でのプロトタイプについてまとめておく。

(1) 計画系に対する数理計画モデル (数理計画モデルによる熟練者エージェントへの接近 - 段取り時間に不確実性を有するスケジューリング問題を対象として -)

製鋼工程 (転炉-連続铸造) におけるスケジュール作成問題を対象とする。ここでは、キャスト間に段取り時間が存在するため、段取り時間の短縮が生産性向上のために重要である。しかしながら、計画段階でキャスト間の標準段取り時間が予め与えられるものの、生産実施段階においてキャストの抜けや変更によって標準段取りとは異なる段取りが発生することもあり、段取り時間に不確実性が存在することになる。ここで、熟練者は、非熟練者に比べて状況認識が適切であり、不確実な段取りに関する予測がシャープであるとする。本研究では、このような状況認識および予測ができていものとし、その結果に基づいて意思決定を行う (スケジュールを作成する) 過程に焦点を当てた数理計画モデルを考える。すなわち、認識結果として段取り時間の確率分布予測が与えられるものとし、この段取り時間の分布に関するメイクスパンの平均値が最小となるスケジュールを求めることを目的とする。この際、熟練者は段取り時間の分布を計画対象期間の状況に合わせる (絞り込む) ことによって、よりロバストなスケジュールを生成することが期待される。

例題として、10 仕事、2 工程、4 機械の単純化された問題を 3 種類 (I, II, III) 用意した。仕事は 5 種類に分かれており、各工程において異なる種類の仕事を処理する際に段取り時間が必要となる。各例題に対して、非熟練者モデルおよび熟練者モデルを用いてスケジュールを作成し、それぞれについて生産実施のシミュレーションを 100 回行った。その結果より、計画段階においては、非熟練者によるスケジュールの方がメイクスパン

が小さくなっていることが確認できた。これは計画段階における段取り替えに不確実性が無いことによる。一方、実施段階になると、段取り替え時間の不確実性を考慮した熟練者のほうがメイクスパンが小さくなっていることが確認できた。これは、熟練者が実施段階の不確実性を適切に予測し、計画段階においても不確実性を考慮したスケジュールを立案していることによるものと捉えられる。

(2) 制御・運用系に対するエージェントモデル I (目標速度追従運転における運転者モデルと熟練過程)

自動車の運転において、運転操作の支援に関する研究については数多く報告されているが、運転者自身の熟練支援を目的とした研究はほとんどない。このような支援を実現するためには、運転者の内部状態を把握でき、さらには熟練過程を再現できるエージェント (運転者モデル) の構築が不可欠である。従来の運転者モデルは、入出力に焦点を当てたものが多く、運転者の内部状態を解釈することは難しい。

そこで、本研究では熟練度合いを、走行結果の良さおよび環境に対する適応の速さによって決まるものとし、これらが運転者の意思決定にどのように影響するのかを解釈可能な運転者モデルを構築した。運転者モデルを認識・判断・操作というモジュール構造によって構成し、さらに、目標速度や車両などの環境が意思決定にどのように作用するのか、目標速度修正モデルおよび加速特性モデルによって表現した。また、運転技術・環境に対する慣れに相当するパラメータを設定することで運転者の熟練度合いを再現できるような枠組みを提案した。提案する運転者モデルと車両シミュレータを組み合わせることにより、目標速度追従運転を対象としたシミュレーションを行いモデルの有効性・可能性を確認した。

シミュレーション結果より、人間モデルを含んだ追従系においても、目標速度追従という目的を達成できることが確認された。また、熟練度合いに相当するパラメータを変化させることで追従性能の差を表現し、熟練過程を再現できる可能性があることが示された。

(3) 制御・運用系に対するエージェントモデル II (レーシングカートの操縦支援に関する研究)

本研究では、レーシングカート操縦問題を定義し、操縦支援・操縦者支援に向けたアプローチとして操縦モデルについて議論・試案する。システムの運用・制御に関し、人間の知能のみならず技能も関連するような課題が重要視される中で、レーシングカートの操

縦問題を知能・技能両者が関連する比較的単純な例題として位置付けるものである。

まず、レーシングカートの操縦に関する事項を整理・定義し、操縦に対して評価を与える枠組みを整理・構築し、レーシングカート操縦問題として定義した。このカート操縦問題に対して、最適解ないし近似最適解を与えるような操縦モデルを考える。操縦モデルとして、人間の操縦における情報処理をある粒度で表現すること、操縦を特徴付けるような要因を含めて表現することを考慮し、4つのモジュールと、それらの特徴付けるパラメータの形でモデルの構造を示した。その基本的な考え方は、操縦者内部で処理される情報として、現在から将来までの状態に関する目標と、それらに従って決定される現在の操作量に関する目標、それらを決定する材料となるカート・コースに関する情報の3つの情報を考え、それらのもと操作量を決定するといったものである。

一方、実機による熟練者・非熟練者の走行データを整備し、両者の走行データの比較を通して、走行および操作量のレベルで明確な差が現れていることを確認した。ここでの知見に基づいて、操縦支援のあり方、ならびに支援の形式について考察・整理した。

さらに、カート・コースといったカートの操縦における物理法則に従う部分をモデル化し、計算機上でカートの走行を再現できる環境を整え、初等的ではあるが、操縦モデルを実装した走行シミュレーションを行った。何パターンかの操縦について、走行シミュレーションを行い、その走行結果の比較を通して、技能の差が走行結果に現れることを追認するとともに、モデルをベースとする操縦支援・操縦者支援の可能性を示した。

5. 主な発表論文等（研究代表者に下線）

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- (1) 玉置 久・杉川 智, 数理計画モデルによる熟練者エージェントへの接近 - 段階取り時間に不確実性を有するスケジューリング問題を対象として -, 鉄と鋼, 査読有, 97 巻 6 号, 2011, 印刷中.

〔学会発表〕（計 3 件）

- (1) 柳原智哉・戸谷洋輔・松本卓也・玉置 久, レーシングカートの操縦者支援に関する基礎的考察, 第 38 回計測自動制御学会知能システムシンポジウム, 2011 年 3 月 17 日, 神戸.
- (2) 田村一起・松本卓也・玉置 久・梅井一英, 目標速度追従運転における運転者モデルと熟練過程, 計測自動制御学会関西支部若手研究特別発表会, 2011 年 1 月 18 日, 大阪.
- (3) 戸谷洋輔・柳原智哉・松本卓也・玉置 久, レーシングカートの操縦支援に関する研究, 計測自動制御学会関西支部若手研究特別発表会, 2011 年 1 月 18 日, 大阪.

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
玉置 久 (TAMAKI HISASHI)
神戸大学・システム情報学研究科・教授
研究者番号: 10227267
- (2) 研究分担者
なし
- (3) 連携研究者
なし