

東京工芸大学
学 長 殿

審査員主査 片上 大輔
審査委員 上倉 一人
審査委員 姜 有宣
審査委員 東本 崇仁
審査委員 平嶋 宗
審査委員 堀口 知也
審査委員









学位論文及び最終試験結果報告書

論文提出者氏名	相川 野々香	学位及び専攻分野の名称	博士（工学）
学 籍 番 号 ※課程博士	2285001	専 攻	電子情報工学 専 攻
論 文 題 目	情報構造の適応的な操作に基づく ILE (Interactive Learning Environment)の拡張		








審査結果	学位論文／最終試験	評 価
	学 位 論 文	合格
	最 終 試 験	合格

※ 審査結果の評価は、「合格」または「不合格」で記入。

最終試験の結果の要旨（課程博士）

報告番号	*甲第 62 号	論文提出者氏名	相川 野々香
	職 名	氏 名	
審査員主査	教授	片上 大輔	
審査委員	教授	上倉 一人	
審査委員	教授	姜 有宣	
審査委員	千葉工業大学教授	東本 崇仁	
審査委員	広島大学教授	平嶋 宗	
審査委員	神戸大学教授	堀口 知也	
審査委員			印
<p>審査の結果の要旨（300字程度）</p> <p>2025年1月17日に予備審査会を開催した。提出論文に関する口頭発表と詳細な質疑応答を通じて、論文内容ならびに専門分野に関する学識を確認した。その結果、審査委員会の設置の条件を十分満たしている事を確認した。</p> <p>2025年2月5日に公聴会を開催し、同日、最終審査会において、本提出論文「情報構造の適応的な操作に基づく ILE (Interactive Learning Environment) の拡張」の審査、学力確認のための諮問を実施した。研究内容に対して、研究上の現時点のリミテーションや潜在的なリミテーションについての質問や、効果の要因についての質問がなされ、論文提出者から適切な答えや今後の展望が示された。</p> <p>また、外国語の能力に関しては、筆頭著者として、査読付き英語論文1件、国際会議8件(うち共著2件)あり、本研究の遂行にあたり必要な国際論文を読解していることなどから、相当する学力があるものと判断した。</p> <p>以上の結果より、これまでに得られた業績、論文提出者の学識、提出論文の内容とも、博士（工学）の学位を受けるに十分なものであると審査員全員が認め、全員一致で最終試験を合格と判定した。</p>			

論文審査要旨（課程博士）

報告番号	*甲第 62 号	論文提出者氏名	相川 野々香
		職 名	氏 名
	審査員主査	教授	片上 大輔 
	審査委員	教授	上倉 一人 
	審査委員	教授	姜 有宣 
	審査委員	千葉工業大学教授	東本 崇仁 
	審査委員	広島大学教授	平嶋 宗 
	審査委員	神戸大学教授	堀口 知也 
	審査委員		

*教務課で記入

論文審査要旨（2000字程度）

本論文では、「情報構造の適応的な操作に基づく ILE (Interactive Learning Environment) の拡張」と題し、ICT による学習支援システムの一つである Interactive Learning Environment (ILE)における3つの課題に取り組み、ILE の構造の柔軟性の拡張および対象領域の拡張を検討している。本論文は全 IV 部 9 章で構成されている。

I 部 1 章では、ILE は直接操作や可視化機能を伴う ICT を用いた学習環境であり、学習者の入力を情報構造に基づいて取り込み、その情報構造を変換モデルに基づいて別のメディアに写像することで、学習者に写像された出力結果の観察を通じた発見的な学習を促すことを述べている。特に ILE の中でも、本論文は、学習者の誤りを契機とした学習支援である誤りの可視化に焦点を当てている。誤りの可視化では学習者に問題を解かせ、その解答の情報構造を別のメディアへと写像するが、この際、学習者の解答に誤りが含まれていた際には、誤りを含んだ情報構造はおかしな挙動として提示することを述べている。学習者は、おかしな挙動を修正するために解答の修正を行うことになるが、この設計において複雑な問題を対象とした際に、情報構造も複雑になってしまい学習者の理解が困難になってしまうという問題を提起した上で、この問題を次の3つの課題に細分化し、本論文が解決すべき課題を述べている。一つ目の課題は、ILE は実験を行うような体験的な学習活動を目指しているが、複雑で難しい問題を対象とした時に実験のような学習活動を行うことは困難であること、二つ目の課題は ILE では間接的な操作が必要な変数を観察することが困難であること、三つ目の課題は、ILE ではシミュレーションによる可視化が多く採用されているが、シミュレーションでは表現できない情報もあることである。本論文ではこれらの3つの課題について以降の II 部、III 部で解決することを述べている。また、2 章では本研究の位置づけとして従来の関連研究である ILE や EBS について整理し、既存研究の構造やフレームワーク、そしてそれらの問題点を整理した上で、本論文のフレームワークについて述べている。

論文提出者氏名	相川 野々香
---------	--------

論文審査要旨（続き）

3章では、本論文で解決すべき課題と、各課題に応じる各部・各章についての対応関係が整理されている。

Ⅱ部では、一つ目と二つ目の課題に対して、因果推論理論をベースにした補助問題提示の枠組みの設計を行なった研究について述べている。具体的には、一つ目の課題に対して、複雑な問題を学習者に適応的に単純化することで予測可能な部分から学習させる手法を提案している。さらに二つ目の課題に対して、問題の単純化の際に学習者が直接操作できない変数について、一時的に直接操作可能にするよう因果推論理論に基づき設計したことを述べている。これにより、学習者に予測に基づいた入力を促し、また間接操作変数を観察可能にして部分ごとに入力と出力の関係性を学習させる枠組みを実現したことを述べている。4章で上記の枠組みについて述べ、5章では中学校における授業実践とその結果を述べている。さらに6章では、設計した枠組みについて、補助問題とその遷移関係についてシステムによる自動生成を行う枠組みを設計した研究について述べている。4章の枠組みでは補助問題は手動で設計していたが、実際に運用するにあたって教授者がたくさんの補助問題を設計するのは負荷が高く、システムによる自動生成が望まれるという動機について説明した上で、補助問題とその遷移関係を自動生成するための枠組みを実現したことを述べている。

Ⅲ部では、三つ目の課題に対して、情報構造をシミュレーションではなく問題設定として写像してフィードバックを行う枠組みを設計の設計に取り組んでいる。具体的には、7章にて誤りの可視化において学習者の入力に基づいて「あなたの解答ではもとの問題ではなくこの問題を解いていることになる」という問題状況として可視化する枠組みを設計し、従来のシミュレーションと相補的な効果を得られることを述べている。

Ⅳ部では、8章にて本論文の貢献や一般化について得られた知見を述べた上で、9章で結論と今後の課題を述べている。

これらの成果は、査読付き学術論文4編（和文3編、英文1編）として発表された。

以上を要約すると、本論文では、ILEの拡張として、情報構造を因果関係に基づいて自動で単純化する枠組みと、シミュレーションによらない可視化を行う枠組みを実現し、同時に、シミュレーションによらない可視化の枠組みにおいても情報構造を単純化する可能性を示したものである。これらの成果は、複雑な情報構造を持つ問題を扱っても学習効果を発揮できるよう情報構造に適応的な操作を加えるための設計を行い、ILEの拡張へ寄与したといえる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分価値があるものと認められる。