

Acquisition of troubleshooting skills in a computer simulation: Worked example vs. conventional problem solving instructional strategies

A. Aubteen Darabi, David W. Nelson, & Srinivas Palanki

Computers in Human Behavior, Vol. 23, pp. 1809–1819, 2007

1. Acquisition of troubleshooting skills in a computer simulation: worked examples vs. conventional problem solving instructional strategies

- 認知は内的文脈・外的文脈で起こる
 - 内的文脈 その人がもともと持つ知識など
 - 外的文脈 物理的・社会的環境など (Ceci, Rosenblum, & DeBruyn, 1998)
- このフレームワークは、学習者が思考を可視化する課題の認知的実習 (Cognitive apprenticeship) 環境を提供する (Brown, Collins, & Duguid, 1989; Collins, Brown, & Holum, 1991)
- 障害対処などの複雑な環境における学習が困難になる要因 (Van Merriënboer, Clark, & de Croock, 2002)
 - 知識・技能・態度の統合
 - 質的に異なる個々の技能の調整
 - スキーマベース処理の使用
- 複雑な学習環境における技能を獲得する教育的方略として、問題解決方略が用いられてきた
 - 問題解決方略はそのシステムの背後にある原則に注目させ、成績向上や転移に必要な技能の統合・調整に役立つ
 - 別の問題状況への転移する前段階 (Van Merriënboer, 1997)
 - 熟達者は経験を用いて認知的負荷を軽減する
- しかし問題解決方略は、初心者にとってスキーマの構築・自動化を妨げることもある (Kalyuga, Chandler, Tuovinen, & Sweller, 2001)
 - 手段-目的方略は、同時に考慮すべきこと (初期状態・目標状態・操作子など) が多く、初心者には認知的負荷が大きい
- 別の教育的方略として、事例 (Worked examples) を用いる方略がある (e.g., Kalyuga et al., 2001; Van Gog, Paas, & van Merriënboer, 2004; Van Merriënboer et al. (2002), Van Gog et al. (2004))
 - 過程志向事例 (Process-oriented worked examples)
 - > どのように解くかだけでなく、なぜその操作をしたかを説明
 - 成果志向事例 (Product-oriented worked examples)
 - > 学習者に初期状態・目標状態と解決までのステップを提示

- 実例方略は問題解決方略より成績を向上させることもある (Atkinson, Derry, Renkl, & Wortham, 2000; Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998)
 - その記述的性質から、問題の表層的特徴に注目させ、課題構成や解決ステップの同定に役立つ
 - 初心者にとっては認知容量をスキーマ構築と自動化に割り当てられるため (Paas, Renkl, & Sweller, 2003, 2004; Sweller et al., 1998), 単純な練習中は負荷を軽減できる
- しかし実例方略にも負の側面がある
 - 実際の遂行や技能の転移には大きな負荷がかかる
 - 熟達者にとっては、既存のスキーマと干渉し負荷がかかることがある
 - > 熟達反転効果 (Expertise reversal effect) (Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003)
- 実例と問題解決を対応づけた検討は一般的に行われている (e.g., Carrol, 1994; Cooper & Sweller, 1987; Paas & van Merriënboer, 1994a; Sweller & Cooper, 1985; Zhu & Simon, 1987)
- 本研究では、実例方略単独であっても、転移課題において問題解決方略より成績が高くなるかを検証
 - 障害対処課題における、初心者・熟達者の転移成績から、2つの実例 (過程志向・成果志向) と問題解決方略の効果を検証
- 仮説 1
 - 問題解決方略を用いる学習者は、技能の調整・統合を能動的に行うため,
 - > a. 転移課題の成績は、実例を用いた学習者より高いだろう
 - > b. 転移課題実施時の認知的負荷は、実例を用いた学習者より低いだろう
- 仮説 2
 - 熟達者のうち、問題解決方略を用いた学習者は、熟達反転効果によって,
 - > a. 転移課題の成績は、実例を用いた学習者より高いだろう
 - > b. 転移課題実施時の認知的負荷は、実例を用いた学習者より低いだろう
- 仮説 3
 - 初心者のうち、実例を用いた学習者は、熟達反転効果によって,
 - > a. 転移課題の成績は、問題解決方略を用いた学習者より高いだろう
 - > b. 転移課題実施時の認知的負荷は、問題解決方略を用いた学習者より低いだろう

2. Method

2.1. Participants

- 工学部の学生 67 名
 - 初心者 工学入門コース受講生
 - 熟達者 蒸留を扱う化学工業の応用デザインコース受講生

2.2. Setting

- 水-アルコール蒸留工場のコンピュータシミュレーション

2.3. Instructional materials

2.3.1. Simulation

- DISTILLER-I (De Croock & Betlem, 1999) を改良した PC-Distiller 1.0 (Fig. 1)
 - 忠実に再現された工場オペレータの学習環境
 - サブシステムがすべて正常なら、オペレータは自動操作の様子を観察していれば良い
 - 部品が徐々に劣化し様々な障害が発生するため、オペレータは診断を通して、できるだけ迅速・効率的に修理することが求められる

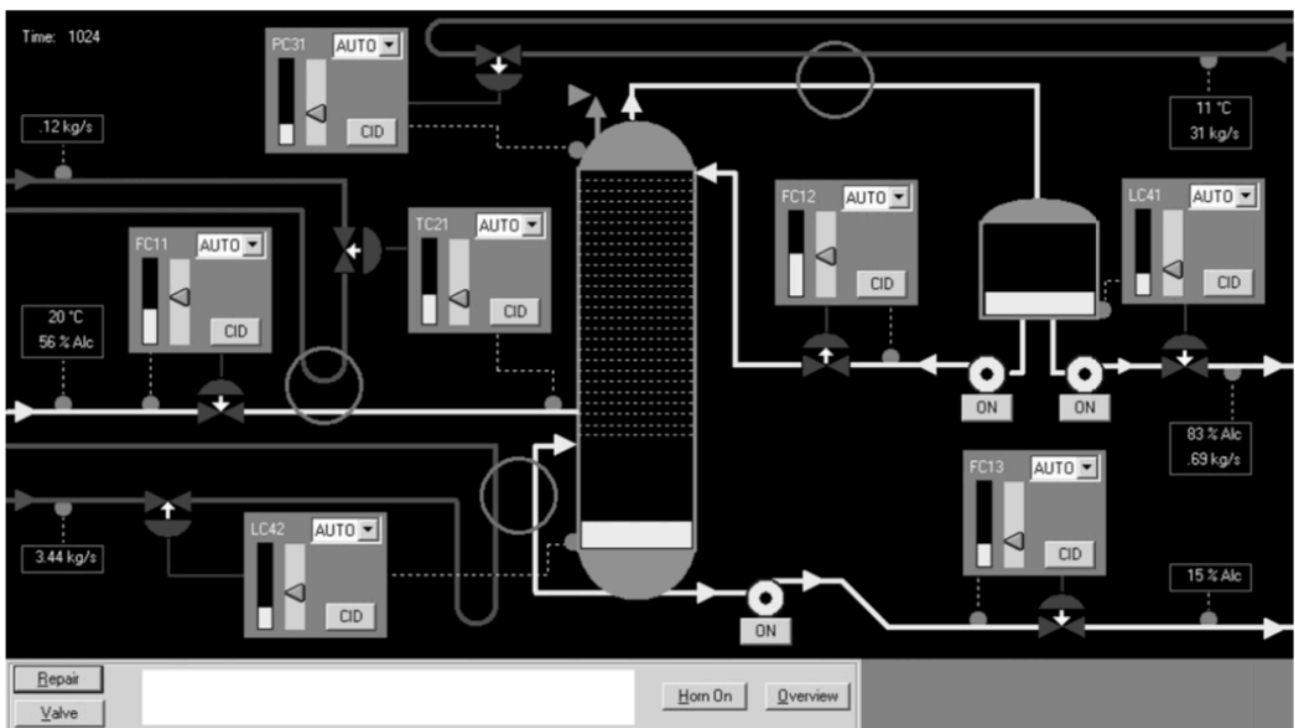


Fig. 1. Representation of the PC-Distiller overview screen.

2.3.2. General instruction

- 3条件共通
 - 構成部品・特徴・障害対処手順を教示
 - 停止状態のシステムで操作の練習

2.3.3. Instructional strategies

- 3条件のいずれかに割り振り
- 過程志向実例条件 (PC)

- 4つの障害それぞれの分析と、問題の診断の手順を教示
 - > あるステップがなぜ行われ、最も可能性の高い障害にどのように絞るかを含む
- 成果志向実例条件 (PD)
 - 4つの障害それぞれにおける、問題解決の5ステップを教示
 - > (1) 障害制御ループを特定
 - > (2) その前後の制御ループを確認
 - > (3) 障害制御ループの部品を特定
 - > (4) 障害制御ループの各部品を検査
 - * 障害の原因ではない部品を特定する3サブステップを含む
 - > (5) 診断結果を報告
- 問題解決方略条件 (PB)
 - 4つの障害それぞれを、特に情報が与えられないまま、全機能実装状態で対処

2.4. Design and procedures

- 実験は、教示フェーズ・対処フェーズ・転移フェーズで構成
 - 教示フェーズ・対処フェーズは1つのセッションで実施
 - 転移フェーズは7~12日後に実施

2.4.1. Instruction phase

- PC-Distiller にログイン後、各自で教示を確認
 - 約1時間の教示フェーズ終了後、以下の対処フェーズを実施

2.4.2. Process group (PC)

- 対処フェーズで、4つの障害に関する過程志向実例から学習
 - どのように問題解決するか、なぜそのような判断をし、その行動を取ったか

2.4.3. Product group (PD)

- 対処フェーズで、4つの障害に関する成果志向実例から学習
 - どのように問題解決するかのみ (なぜそのステップを行うかは教示なし)

2.4.4. Problem group (PB)

- 対処フェーズで、4つの障害に全機能実装状態で実際に対処しながら学習
 - 教示フェーズ終了直後すぐに、実例なしで問題解決に取り組む

2.4.5. *Transfer performance phase*

- 転移フェーズでは、8つの障害を全機能実装状態で診断
 - 対処フェーズで観察した障害とは異なる
 - 1障害につき12分
- 教示
 - 障害をできる限り迅速に診断
 - 誤った診断をできる限り最少化

2.5. *Instruments and measures*

2.5.1. *Transfer performance measures*

- 転移フェーズにおいて、制限時間内に障害の原因を正しく診断できた数、そのときの診断時間
- 転移フェーズにおいて、障害の原因を誤って診断した数、そのときの診断時間

2.5.2. *Mental effort scale*

- 心的負荷尺度 (Paas & van Merriënboer, 1994b)
 - 各障害の診断終了直後に9件法で実施

3. **Data analysis and results**

- 転移フェーズにおける正診断数について、3条件間でオムニバス検定を実施 (仮説 1a)
 - 3条件間で有意差あり ($F(2, 64) = 5.22, p = .008$)
 - > 問題解決 (PB: $M = 7.32, SD = 0.78$) > 実例 (PC: $M = 6.91, SD = 0.90$; PD: $M = 6.41, SD = 1.09$)
(PB-PC, PB-PD: $t(64) = 2.70, p < .01$; PC-PD: $t(64) = 1.81, p = .08$)
- 転移フェーズにおける心的負荷について、3条件間でオムニバス検定を実施 (仮説 1b)
 - 3条件間で有意差あり ($F(2, 64) = 5.25, p = .008$)
 - > 問題解決 (PB: $M = 4.84, SD = 0.89$) < 実例 (PC: $M = 5.78, SD = 1.36$; PD: $M = 5.81, SD = 1.11$)
(PB-PC, PB-PD: $t(64) = -3.24, p < .01$; PC-PD: $t(64) = -0.104, p = .92$)
- 以降、仮説 2・3 の検証では、事前知識に基づき参加者を初心者・熟達者に分けて分析
- 熟達者の正診断数について、3条件間でオムニバス検定を実施 (仮説 2a)
 - 3条件間で有意差はなかったが、問題解決のほうが実例より高い傾向
 - > 問題解決 (PB: $M = 7.17, SD = 0.84$) \geq 実例 (PC: $M = 6.92, SD = 1.00$; PD: $M = 6.75, SD = 0.97$)
- 熟達者の心的負荷について、3条件間でオムニバス検定を実施 (仮説 2b)
 - 3条件間で有意差なし

- > 問題解決 (PB: $M = 5.05, SD = 0.86$) \approx 実例 (PC: $M = 5.54, SD = 1.40$; PD: $M = 5.85, SD = 1.11$)
- 初心者の正診断数について、3条件間でオムニバス検定を実施 (仮説 3a)
 - 3条件間で有意差あり ($F(2, 28) = 6.84, p = .004$)
 - > 問題解決 (PB: $M = 7.50, SD = 0.71$) > 実例 (PC: $M = 6.91, SD = 0.83$; PD: $M = 6.00, SD = 1.15$)
(PB-PC, PB-PD: $t(28) = 2.98, p < .01$)
 - > 過程志向実例 (PC: $M = 6.91, SD = 0.83$) > 成果志向実例 (PD: $M = 6.00, SD = 1.15$)
(PC-PD: $t(28) = 2.28, p = .03$)
- 初心者の心的負荷について、3条件間でオムニバス検定を実施 (仮説 3b)
 - 3条件間で有意差あり ($F(2, 28) = 4.68, p = .02$)
 - > 問題解決 (PB: $M = 4.58, SD = 0.87$) < 実例 (PC: $M = 6.03, SD = 1.34$; PD: $M = 5.76, SD = 1.17$)

Table 1
Descriptive statistics for transfer performance and invested mental effort by experience level and instructional strategy

	Transfer performance					Mental effort				
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	Minimum	Maximum	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	Minimum	Maximum
<i>All participants</i>	67	6.88	0.99	4	8	67	5.48	1.21	2.75	8.38
PB	22	7.32	0.78	6	8	22	4.84	0.89	3.25	6.25
PC	23	6.91	0.90	5	8	23	5.78	1.36	2.75	8.38
PD	22	6.41	1.09	4	8	22	5.81	1.11	3.63	8.00
<i>More experienced</i>	36	6.94	0.92	5	8	36	5.48	1.16	2.75	8.00
PB	12	7.17	0.84	6	8	12	5.05	0.86	3.63	6.25
PC	12	6.92	1.00	5	8	12	5.54	1.40	2.75	7.00
PD	12	6.75	0.97	5	8	12	5.85	1.11	4.38	8.00
<i>Less experienced</i>	31	6.81	1.08	4	8	31	5.48	1.28	3.25	8.38
PB	10	7.50	0.71	6	8	10	4.58	0.87	3.25	5.75
PC	11	6.91	0.83	6	8	11	6.03	1.34	4.00	8.38
PD	10	6.00	1.15	4	8	10	5.76	1.17	3.63	7.13

Note. PB, conventional problem solving; PC, process oriented worked examples; PD, product-oriented worked examples.

4. Discussion

- 本研究では、問題解決方略または実例方略を用いた後における学習者の転移成績に着目した
- 領域知識の有無で分けずに、転移成績と心的負荷への影響を検証 (仮説 1)
 - 仮説 1 を支持する結果が得られた
 - > ヒューリスティックスを必要とする複雑な課題において、実例の使用した場合は成績が低く、心的負荷が高かったため、教育的方略としては不十分であった
 - > 2種類の実例の間には、成績・心的負荷ともに差は見られなかった
 - 問題解決方略の優位性については先行研究と一致

- > 複雑な課題の再帰的側面を自動化し、非再帰的側面に認知容量を割り当てた (Van Merriënboer, Kirschner, & Kester 2003)
- 熟達者においても、問題解決方略の優位性が見られるかを検証 (仮説 2)
 - 仮説 2 は支持されなかったが、その傾向は見られた
 - > 成績・心的負荷ともに、実例を使用した条件との間に有意差は見られなかったが、仮説 1 と同じ傾向は見られた
 - * 熟達反転効果と一致 (Kalyuga et al., 2003, 2001)
- 初心者においては、実例方略の優位性が見られかを検証 (仮説 3)
 - 仮説 3 は支持されず、むしろ逆の結果が得られた
 - > 問題解決方略のほうが実例使用よりも成績が高く、心的負荷が小さかった
 - * 熟達反転効果に反する結果
 - > 2 種類の実例の間に、成績に関して差が見られた
 - * 過程志向実例に関する先行研究 (Van Gog et al., 2004) と一致
- この予想に反した結果は、システム操作に関する初期情報が、学習者による実例の解釈と後々競合するスキーマを作り出していたことが原因かもしれない
 - もしくは、練習を伴わない実例学習は頑健なスキーマを形成するほど十分ではないため、初心者では比較的単純な正の転移しか起こさなかったかもしれない
- 領域知識の有無を問わず、成績・心的負荷において問題解決方略が総合的に優位であった
 - 練習を伴わない実例学習は、学習者の既存のスキーマと競合する可能性がある
 - 一方、現実さながらの練習は、学習者の内的・外的分脈の統合に不可欠
- 複雑な認知技能習得において、実例学習単独では教育的方略として不十分であることが分かった
 - 教育方法をデザインする上では、実例あり・なしで問題解決を実施させるべきである
- これらの背後にある要因を検証するため、言語プロトコル分析 (Ericsson & Simon, 1997) が必要かもしれない