

Effects of process-oriented worked examples on troubleshooting transfer performance

Tamara van gog, Fred Paas, Jeroen J.G. van Merriënboer

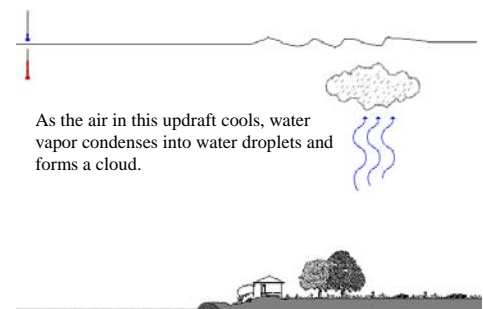
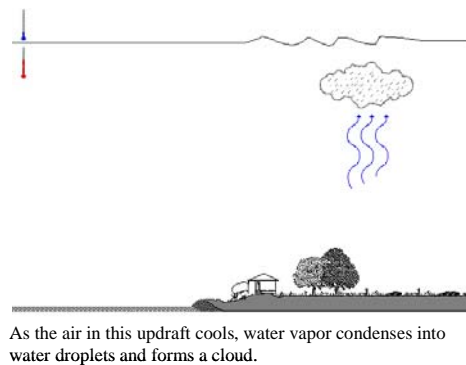
Introduction

- トラブルシューティングとは?
 - ✓ テクニカルシステムの欠陥診断と修理：多くの技術者にとって、とても大切なもの
 - ✧ 故障診断：複雑な認知スキルであり、習得も困難(Gott, et al., 1993, Schaafstal, et al., 2000)
 - ✓ 本研究の目的
 - ✧ 効果的なトラブルシューティングインストラクションは、初期スキルの獲得を促進するのか?と
いうことを検討すること

- Cognitive Load Theory(Sweller, 1988, その他多数)による 3つの負荷
 - ✓ Intrinsic cognitive load
 - ✧ 課題の複雑さ、学習活動中に必要とされる素材との相互作用に起因するもの（課題の性質に関わる物であり、教授側でコントロールはしにくい）
 - 情報の関連付け、ワーキングメモリへの情報の保持など
 - trouble shooting task：複雑な課題であり、多くの情報を処理しなければならない：負荷大

✓ Extraneous(ineffective) cognitive load

- ✧ 教材のデザインに起因するものであり、学習を阻害し、低減しなければならない負荷（教授者のデザインが原因となり、コントロールされるもの）
 - 例. 図とテキストにより説明を行う際に、図とテキストの配置は近い方が良い



✓ Germane cognitive load

- ✧ 学習を促進する負荷
 - 例. Self-explanation

- **トラブルシューティング課題**
 - ✓ **intrinsic cognitive load** が高い, 複雑な課題
 - ◇ 与えられたシステム情報, システムに対する知識, 領域知識, 戦略的知識の相互的な使用が必要
 - ◇ 熟練した人にとっても複雑な課題であるが, 経験が大きなアドバンテージとなる
 - 熟達者が持つスキーマ
 - 初心者と比較し, 量・質ともに異なるものである(e.g., Chi., et al., 1989)
 - 精通している問題に対する対応
 - ◇ 過去の経験を使用した **case-base** の問題解決
 - 未知の問題に対する対応
 - ◇ スキーマをベースとした知識が問題解決を促進
- **経験 (case-base の知識) も効果的なスキーマも持たない初心者**
 - ✓ 全ての情報を頭の中に入れようとして一杯一杯になる: **Extraneous cognitive load** の増加
 - ✓ 一方, **Worked example** による学習は解法が示されているために, 容易に学習可能: **Extraneous cognitive load** が小さくなる
 - ◇ 空いた認知容量を **germane cognitive load** に費やすことができる
 - 例. **Self-explanation** による学習の促進(Chi et al, 1989, Renkl, 1997)
- **なぜ self-explanation が必要か?**
 - ✓ これまで用いられてきた **Worked example** は, 解法は示されているが, その解法を用いる理論的説明 (問題解決のプロセス) は含まれていない: **product oriented** と呼ぶ(Van Gog et al.,2004)
 - それらを補完する意味で **self-explanation** が必要
 - 問題解決のプロセスの例
 - なぜそのステップが選ばれたのか(例. 戦略的知識):How
 - なぜそのステップが適切なのか (例. 領域知識) :Why
 - これらの情報は, 解法に対する理解を促進し, 転移(特に, **far transfer**)を促進するはずである
- **本研究:Van gog らによる提唱を検討する**
 - ✓ **process** 情報を含む **worked example** は学習を促進するのか?
 - ✓ 電気回路を対象とした, コンピュータシミュレーション実験による検討
 - ◇ **Worked example** 条件 対 従来の問題解決方法
 - + プロセス情報を含む 対 プロセス情報を含まない
 - **with(without) worked example** 条件×**with(without)process information** 条件の 4 条件
 - ✓ **Cognitive Load Theory** に基づく先行研究からの仮説
 - ◇ **Worked example effect**
 - 転移テスト (特に **far transfer**) での成績向上
 - 短い学習時間であり, 低負荷な学習

◇ Process 情報の効果

- プロセス情報の付加により，高負荷な学習に
 - プロセスあり worked example はプロセスなし worked example より，far transfer で好成績
 - ◇ ここでの高負荷は **germane load** である
 - プロセスありの従来の問題解決法は，プロセスなしの従来の問題解決法と同程度か成績が低下
 - ◇ はじめから **Extraneous** が大きく，そのような状況下では，プロセス情報を学習の促進のためにつかえないだろう

1. Method

1.1. Participants

- ・ 3校の職業訓練校から 61名が参加（謝礼 7.50ユーロ，元は 68名だったが実験時に 7名がこなかった）
 - ✓ 全員男子：平均年齢 17.04
 - ✓ 実験実施の 4.5ヶ月前に，学校のカリキュラムとして，実験で行う電気工学の基礎知識は習得
 - ◇ 領域の基礎知識（電源，電圧計，電流計，抵抗，オームの法則，キルヒホッフの法則）は学習済み
 - ◇ トラブルシューティングの経験はなし

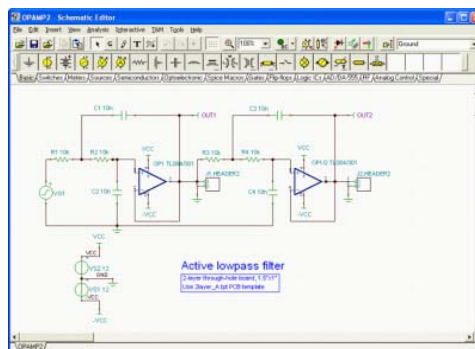
1.2. Design

- ・ 2（'solution worked-out'(no/yes)）×2（'process information given'(no/yes)）の実験計画
 - ✓ 条件
 - ◇ CP：解法，プロセス共に提示されない
 - ◇ PCP：解法は提示されないが，プロセス情報は提示される
 - ◇ WE：解法は提示されるが，プロセス情報は提示されない
 - ◇ PWE：解法，プロセス情報共に提示
- ※) P: Process, C: Conventional Problem Solving, WE: Worked Example

1.3. Materials

1.3.1. Training and test tasks

- ・ 実験ソフトウェア TINA(Toolkit for Interactive Network Analysis)を使用
 - ✓ 1つ，または2つの欠陥がある直流電気回路のシミュレーションが可能なソフトウェア



参考. TINA のスクリーンショット

・ Training (学習フェーズに相当)

- ✓ ソフトウェアの使い方を紙面上で教示し、その後実際にソフトを使用し、練習課題に取り組む
 - ◇ メニューのどこに電圧計があり、どのように使用するのか、回路上の素子をどのように変更するのかなどのソフトウェアの使用法を学ぶ

- ✓ Training : 6 種類の問題を条件に分かれて取り組む
 - ◇ 欠陥の内容
 - (a) 抵抗が開放されている (きちんと接続されていない)
 - (b) 抵抗が短絡している (間違った接続がされている)
 - (c) 抵抗が大き (小さ) すぎる
 - ◇ 問題内容 : 単一の並列回路 (Appendix A の図)
 - 前半の 3 問 : 単一の原因の問題
 - 後半の 3 問 : 2 つの原因が絡み合っている問題
 - ※ (a)~(c) がそれぞれ 3 回出てくるように構成されている
 - ◇ 条件の詳細
 - CP: Appendix A
 - 問題点とゴール, 回路図のみが提示される
 - PCP: Appendix B のボード部, ボールドイタリック部のみが提示
 - 問題点とゴール, 回路図 + 解法を含まないプロセス情報の提示
 - WE: Appendix B のボード部以外が提示
 - 問題点とゴール, 回路図 + 解法の提示
 - PWE: Appendix B のすべてが表示
 - 問題点とゴール, 回路図 + 解法 + プロセス情報の提示

・ 転移テスト

- ✓ Near transfer test : 3 問
 - ◇ Training 時と同様の問題 (単一の並列回路)
 - 1 問が単一の欠陥の問題
 - 2 問が 2 つの欠陥が絡み合っている問題
- ✓ Far transfer test : 3 問
 - ◇ 新しい欠陥の追加 : 電源部の欠陥
 - ◇ 回路構造の変化 : 直並列回路 (欠陥は training 時と同様)
 - ※) 各問題は, 1 欠陥の問題

1.3.2. Performance

- ・ 各課題において, あらかじめ印刷されたシートにどの要素が欠陥で, 何が原因なのかを記述
 - ✓ the component(ここ) (a)“is open”,(b)“is shorted”,(c)“has changed value from ... (given in diagram) to ... (c 選択時はここ)”, or (d)“I don't know”
 - ✓ “worked-out solution”条件は答えが載っているが, 解答する
→タスクにかけた時間への影響を考慮 : 記述をしなかったために時間が短くなったということを避けたい

1.3.3. Mental effort

- ・ タスク毎に、9点法で mental effort を採点(Paas, 1992; Paas, et al., 2003)
 - ✓ 1:very, very low effort …… 9:very, very high effort
 - ※) cognitive load の指標

1.3.4. Time-on-task

- ・ GazeTracker (ソフトウェア) (Lankford, 2000)を使用し、課題を終了するまでにかかった時間 (秒) を計測
 - 実際には、ボタンのクリックによって時間を計測している模様

1.4. Procedure

- ・ 各条件の人数
 - ✓ CP, PWE:16
 - ✓ PCP:15
 - ✓ WE:14
 - ※) 先述したように、実験時に不参加者がいたためにこのような人数分布に

- ・ 実験の流れ (集団実験か?)
 - ✓ 練習課題
 - ◇ ソフトウェアの使用法を練習
 - ◇ 全員が練習を終了し、質問がなくなったら実際の課題に
 - ✓ トレーニングフェーズ
 - ◇ 前述の課題を解いていく
 - それぞれの課題に対し制限時間は3分、自分のペースで学習が進められるが、速く終了しても次の課題に行くことはできない
 - できたと判断したら Submit ボタンを押す：課題にかけていた時間を測定するため
 - 課題終了後、問題点の指摘と Mental effort の評定
 - ✓ 転移テスト
 - ◇ トレーニングフェーズ終了後転移テストに
 - 採点基準
 - 要素に対して1点、欠陥内容に対して1点を配点 (cにおいて、値が違っていた場合は1/2点)
 - ◇ Near transfer
 - 満点：10点
 - 1欠陥問題：2点
 - 2欠陥問題：4点×2
 - ◇ Far transfer
 - 満点：6点
 - 各問題2点満点

2. Results

2.1. Training data

- 以降全て、2 ('solution worked-out'(no/yes)) × 2('process information given'(no/yes))の分散分析を行う
 - ✓ 有意差が認められた点についてのみを記述

- 課題にかけていた時間の結果：表 1 最上段
 - ✓ 分散分析の結果
 - ◇ 'solution worked-out'の主効果($p < .01$)
 - worked-out solution あり条件(WE,PWE)は、worked-out solution なし条件(CP,PCP)よりも時間が短い
 - ◇ 'process information given'の主効果($p < .05$)
 - process information あり条件 (PCP,PWE) は process information なし条件(CP,WE)よりも時間が長い
 - ◇ 交互作用($p < .05$)：図 1
 - worked-out solution は、プロセス情報なしの時に限り、時間が短くなる
 - product-oriented worked example (プロセスなし worked example) 条件(WE)の時間が短い

- Mental effort の結果：表 1 最上段
 - ✓ 分散分析の結果
 - ◇ 'solution worked out'の主効果($p < .05$)
 - worked-out solution あり条件(WE,PWE)は、worked-out solution なし条件(CP,PCP)よりも低い労力
 - ◇ 'process information given' の主効果($p < .05$)
 - process information あり条件 (PCP,PWE) は process information なし条件(CP,WE)よりも高い労力

2.2. Test data

- Near transfer の成績：表 1 中段
 - ✓ 2 ('solution worked-out'(no/yes)) × 2('process information given'(no/yes))の分散分析の結果
 - ◇ 'solution worked-out'の主効果($p < .01$)
 - worked-out solution あり条件(WE,PWE)は、worked-out solution なし条件(CP,PCP)よりも好成績
 - 課題にかけていた時間は、worked-out solution あり条件(WE,PWE)の方が、worked-out solution なし条件(CP,PCP)より長かった($p < .01$)
 - ◇ worked-out solution あり条件の好成績を説明か
 - ◇ 'process information given'の主効果($p < .05$)
 - process information あり条件 (PCP,PWE) は process information なし条件(CP,WE)よりも時間が長い
 - ◇ 交互作用($p < .05$)
 - worked-out solution は、プロセス情報なしの時に限り、時間が短くなる

- product-oriented worked example (プロセスなし worked example) 条件(WE)の時間が短い

- Near transfer の Mental effort 結果：表 1 最上段

- ✓ 2 ('solution worked-out'(no/yes)) × 2('process information given'(no/yes))の分散分析の結果
 - ◇ 'process information given' の主効果($p < .05$)
 - process information あり条件 (PCP,PWE) は process information なし条件(CP,WE)よりも高い労力を必要とした

- Far transfer の成績：表 1 下段

- ✓ 2 ('solution worked-out'(no/yes)) × 2('process information given'(no/yes))の分散分析の結果
 - ◇ 'solution worked-out'の主効果($p < .01$)
 - worked-out solution あり条件(WE,PWE)は, worked-out solution なし条件(CP,PCP)よりも好成績
 - 課題にかけていた時間は差なし

- Far transfer の Mental effort 結果：表 1 最上段

- ✓ 2 ('solution worked-out'(no/yes)) × 2('process information given'(no/yes))の分散分析の結果
 - ◇ 'process information given' の主効果($p < .05$)
 - process information あり条件 (PCP,PWE) は process information なし条件(CP,WE)よりも高い労力

3. Discussion

- 結果の考察

- ✓ worked-out example による学習
 - ◇ 仮説：問題解決型の学習に対し, 短い学習時間, 低い労力で, 転移テスト(near, far 双方)においてよい成績を示す
 - ◇ 結果
 - worked-out solution あり条件は転移テストで好成績, トレーニング時間の短縮, (トレーニング時に) 低い労力：仮説を支持
 - テストにかけていた時間は, worked-out solution あり条件の方が長い：好成績を説明か
- ✓ process 情報の付加
 - ◇ 仮説：process 情報の付加により, 高負荷での学習となる。その結果は, worked example には効果的であるが, 問題解決型には不向き
 - ◇ 結果
 - トレーニング時, 転移テスト時双方において, プロセス情報の追加により, プロセス情報なし条件と比較し, 高負荷であった：仮説を支持
 - トレーニング時間も長くなる：'why','how'情報を処理するため

- 転移テストへの効果はなし：仮説を指示せず
 - 原因は?
 - ◇ 1つめの可能性：Extraneous load
 - ‘split-attention effect’：注意の分散
 - 図とそれを説明するテキストの配置が離れていると、それぞれの対応を記憶する必要があり負荷となる
 - ◇ **integrated format** が推奨：近い位置への配置，テキストではなくナレーション
 - 本研究のシステム
 - 図とテキストの配置が悪かったのではないか
 - ◇ 2つめの可能性：Intrinsic load
 - **Intrinsic load**：本来は課題固有のものであり固定されている
 - プロセス情報の追加は **germane load** となると思われたが，課題の性質を変えてしまい，**intrinsic load** を増加させていたのだろう
 - ◇ **AppendixB ゴールドイタリック部**：他の情報との相互のやり取りが多く必要とされる→負荷大となっていたのだろう
 - 初心者には難しかったのかもしれない
 - ◇ 複雑さを処理しきれなかったか

・ 結果のまとめ

- ✓ process 情報の追加は我々の被験者には，**intrinsic load** が高すぎたのだろう
- ✓ future works
 - ◇ novice と advanced learner の比較
 - ◇ プロトコル分析
 - 予備実験でプロトコルを取ったら，認知的にも動機的にも困難を感じており，プロトコルの量，質ともに貧相であった．しかしこれらの情報は重要になるのかもしれないね
- ✓ 本研究の意義
 - ◇ トラブルシューティングタスクの初心者に対し，**worked example** の効果を確認
 - ◇ どのようにプロセス情報を付加すれば効果的になるのかは，さらなる検討が必要ですね

Table 1

Means and standard deviations of time-on-task and mental effort during training and test, and test performance as a function of experimental condition

Dependent variables	Experimental condition							
	Solution worked out				Solution not worked out			
	Process		No process		Process		No process	
	<i>M</i>	SD	<i>M</i>	SD	<i>M</i>	SD	<i>M</i>	SD
Training								
Time-on-task (s)	159.19	17.18	128.51	35.76	163.06	20.13	162.04	14.83
Mental effort (1–9)	5.10	1.93	4.01	1.82	5.98	1.85	5.22	1.56
Test: near transfer								
Performance (0–3½)	1.98	.66	2.25	.74	1.68	.54	1.70	.68
Time-on-task (s)	247.60	99.00	212.58	77.24	172.49	44.70	135.46	60.19
Mental effort (1–9)	6.27	1.43	4.62	1.57	5.71	1.80	4.73	1.68
Test: far transfer								
Performance (0–2)	1.21	.44	1.40	.35	1.13	.37	1.02	.28
Time-on-task (s)	133.07	64.10	151.64	71.95	134.09	49.58	125.56	74.28
Mental effort (1–9)	5.90	1.62	4.81	1.66	6.02	1.40	5.21	1.78

reported here. Cohen’s *f* is provided as a measure of effect size, with $f = .10$ corresponding to a small effect, $f = .25$ to a medium, and $f = .40$ to a large effect (Cohen, 1988).

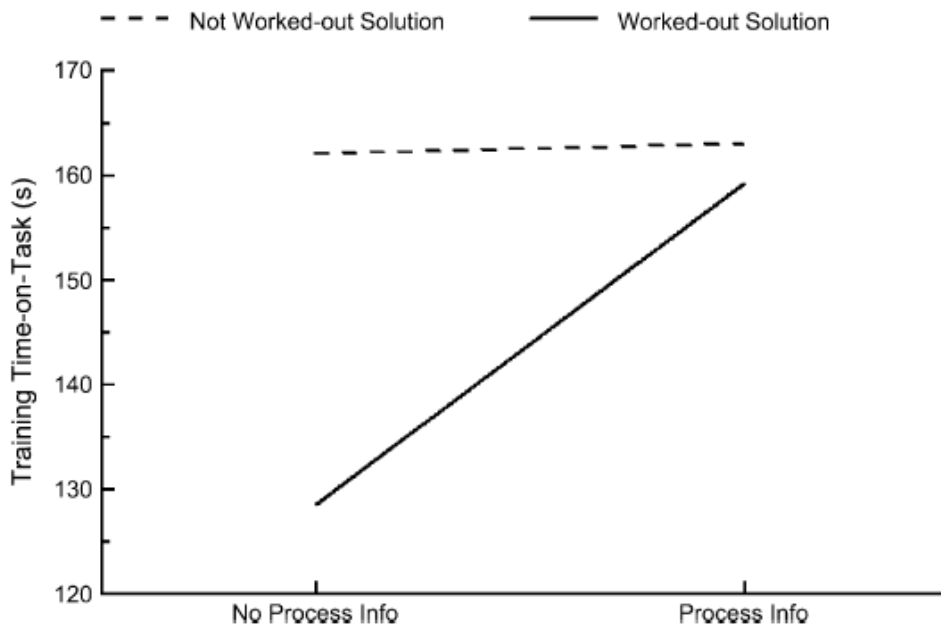
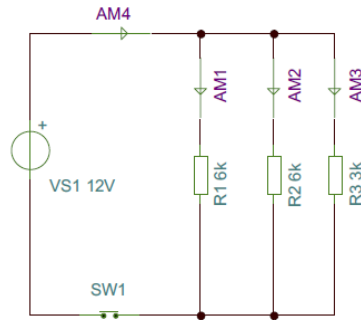


Fig. 1. Interaction between the factors ‘solution worked out’ and ‘process information given’ on training time-on-task.

Appendix A. A training task (conventional problem)

This circuit is not functioning correctly.
Find the fault(s) and repair the circuit so that it does function correctly.



Note: SW = switch, VS = voltage source, R = resistor, AM = ampère measurement point. The value of the voltage source and resistors is given after the component label (V = Volt, k = kilo [Ohm]).

Appendix B

Process-information (strategic in bold and principled in bold and italics) and the worked-out solution (normal print) of the problem shown in Appendix A.

1. **Determine how this circuit *should* function, using Ohm's law (so what the current is that you *should* measure at the different measurement points)**
In parallel circuits, the total current equals the sum of the currents in the parallel branches.
 The total current should be $I_t = I_1 + I_2 + I_3$, or $I_t = U_1/R_1 + U_2/R_2 + U_3/R_3$, or $I_t = 12\text{ V}/6\text{ kOhm} + 12\text{ V}/6\text{ kOhm} + 12\text{ V}/3\text{ kOhm} = 2\text{ mA} + 2\text{ mA} + 4\text{ mA} = 8\text{ mA}$.
 You should measure:
 AM1 = 2 mA
 AM2 = 2 mA
 AM3 = 4 mA
 AM4 = 8 mA
2. **Measure how it *actually* functions, using the Multimeter (so what the current is that you *actually* measure at the different measurement points)**
 Go to T&M > Multimeter and measure the current at AM1, AM2, AM3, and AM4. You get:
 AM1 = 2 mA
 AM2 = 2 mA
 AM3 = 12 nA
 AM4 = 4 mA
3. **Compare the outcomes of 1 and 2**
 They do not correspond, something is wrong.
4. **Determine which component is faulty and what the fault in that component is, using the principles given below.**
If the total current is lower than you would expect, the resistance in one or more of the parallel branches is too high (the same voltage [U] divided by a higher resistance [R] results in a lower current [I]).
If the total current is higher than you would expect, the resistance in one or more of the parallel branches is too low (the same voltage [U] divided by a lower resistance [R] results in a higher current [I]).
Infinitely low current in a parallel branch means that there is infinitely high resistance in that branch; very likely the resistor is open, but it can also be another component or the wire that is open.
No or infinitely low current in the entire circuit (in all branches) indicates that there is infinitely high resistance somewhere outside the branches; possibly the voltage source, the switch, or the wire outside the branches is open.
Infinitely high current in a parallel branch plus infinitely high total current indicates that the resistance is infinitely low; very likely the resistor in that one branch is shorted.
 $I_3 = 12\text{ nA}$. Conclusion: R3 = open.
5. **Repair the component**
 Repair R3.
6. **Measure again**
 Go to T&M > Multimeter and measure the current at AM1, AM2, AM3, and AM4. You get:
 AM1 = 2 mA
 AM2 = 2 mA
 AM3 = 4 mA
 AM4 = 8 mA
7. **Determine if the measures correspond to those you determined at step 1. If so, the circuit now functions correctly. If not, start over again at step 4.**
 The circuit now functions correctly.