

# Information presentation and troubleshooting in electrical circuits

Liesbeth Kester, Paul A. Kirschner, and Jeroen J. G. van Merriënboer

## Introduction

産業革命以来、西欧諸国では“カイゼン”に焦点

- ・ 工業、医学、教育などで、最適化、革新のために多くのお金と時間を費やす
- ・ 日本、アメリカによる新しい概念
  - **Just-in-time** 方式（カンバン方式）の導入
    - ◇ 1970年代半ばにトヨタ自動車が確立した生産管理方式。必要なときに必要な量だけ生産することで、在庫の徹底的削減をめざす。
- ・ キーコンセプト：**Demand-pull**
  - 需用に応じた、適切な量、時間を目指すことが重要

“カイゼン”は工場レベルだけではなく、従業員レベルにも適用

- ・ 急速な技術革新：伝統的なクラスルームのアプローチは捨てられつつある
  - 工場の従業員
    - ◇ “**just-in-time learning**”が好まれるように
    - ◇ タイムラグの存在：知識獲得が遅れる
      - 複雑な技能を身につけるには要求（時間）に合わせた訓練が必要
  - 日常の教育現場
    - ◇ 必ずしも **Just-in-time** である必要はないが、適切な時に教える必要性がある

本研究の焦点：科学教育における複雑な技能の獲得

疑問点：いつ情報を提示すればよいのか？（'just in time'はいつ？）情報の種類による違いはあるのだろうか？

- ・ 様々なタイプの情報と、提示するタイミング
  - コンピュータベースの学習環境はそれらを簡単に操作できる（例。オンラインヘルプ、ポップアップバルーン、ハイパーリンク...）
- ・ コンピュータベースのシミュレーション学習環境の優位性
  - 時間とコスト
    - ◇ 科学的探究の体験（データの解析、統合、評価など）：コストがかかる
    - ◇ 低コスト、安全
  - トラブルシューティングシミュレーション
    - ◇ 複雑な技能の獲得に適している
      - 間違った解法から速く、安全に学び、発展させることができる

複雑な技能：2つのタイプが存在（Fisk and Gallini 1989, van Merriënboer 1997）

- ・ 可変技能（より一般的な技能）
  - ある状況からある状況へ変化させられる技能
  - 例. フローチャート図：フローチャート図を描く技能は一定だが、応用により様々な結果を導く
- ・ 一貫した技能
  - どのような状況に対しても事実上同じことを行う技能
  - 例. IF-THEN ルール：いつも同じ結果を導く
- ・ 本研究の課題（電気回路のトラブルシューティング）では...
  - 可変技能
    - ◇ 直列，並列つなぎの違いとそれに対応する電流の流れの違い
  - 一貫した技能
    - ◇ 電圧計は測定したい素子と並列に繋ぐ

可変技能を身につけるには、繰り返し練習を行い一貫した技能を身につける間に、長期記憶にある抽象的なスキーマを慎重に構築することが必要

スキーマ構築とスキーマの自動化

- ・ スキーマ構築とスキーマ自動化には異なる情報が必要
  - スキーマ構築
    - ◇ 長期記憶にすでに存在する認知構造と新しい情報の漸進的な統合(Mayer, 1980)
    - ◇ supportive information が必要
      - どのように領域が構成されているかに関する情報（宣言的知識？）
        - 本研究における例. 電気回路の構成に関する知識，直列回路，並列回路の働きの違い
  - スキーマの自動化
    - ◇ 手続き化により達成 (Anderson, 1982, 1996)
    - ◇ procedural information が必要（手続き的知識？）
      - タスク固有の情報
        - 本研究における例. 電流計は測定する素子と直列に繋ぐ

Demand-pull 規則に戻ると...

- ・ Kester ら(2001)
  - 複雑な技能の獲得には，supportive information を練習の前に，procedural information を練習中に提示するのが良い.
  - ◇ Cognitive load theory に基づく (Chandler and Sweller 1991, Sweller 1998)

Cognitive Load Theory

- ・ 理論の中心：Working memory の制限 (Miller 1956)
  - 技能獲得において慎重に認知負荷をマネジメントしなければならない
- ・ 取り除かなければならない認知負荷
  - extraneous cognitive load

- ◇ 教材そのものが原因となる負荷で、直接学習に繋がらないもの
  - 例. 不必要な情報の探索, 異なる種類の情報の統合... (図とそれを説明するテキストの位置が離れているなど)
- ◇ これに基づくと、全ての情報を同時に出せばいいということになるが、それはオーバーロードを導くため、intrinsic cognitive load の考慮が必要
- intrinsic cognitive load
  - ◇ 課題中における双方向性の程度により決定される負荷
    - 高い双方向性が必要となる
      - 複数の要素を同時に処理→高負荷
    - 双方向性があまり必要とならない
      - 連続的なプロセスで少数の要素の処理→低負荷
  - ◇ (注: 学習者の熟達により高負荷だったものも低負荷になる)

以上に基づき、本研究におけるこれら 2 つの情報を分類 (Appendix 1)

- supportive information
  - 複数の要素を含み高い双方向性
    - ◇ 例. 電流の流れの概念の理解に、セントラルヒーティングシステムの類推による説明
- procedural information
  - 少数の要素を含み低い双方向性
    - ◇ 例. 電圧計のシンボルと使い方の説明

結局のところ...

課題中に容易にオーバーロードを起こすような原因となる supportive information は課題の前に提示し、procedural information は課題中に提示するのが効果的(van Merriënboer et al., 2003)

本研究の試み

- Demand-pull 規則, Cognitive load theory に基づき、最も良い情報のフォーマット, 提示のタイミングを見つける
- 条件: 2 種類の情報 (Supportive, Procedural) と 2 種類のタイミング (練習の前, 練習中)
  - 全ての情報を初め (練習の前) に
  - 全ての情報を練習中に
  - Supportive を練習の前に, Procedural を練習中に. またその逆
- 仮説
  - Supportive を練習の前に, Procedural を練習中に受けた条件は, Mental effort が低く, 探索行動が少なく, よい成績を収める

## Method

### Participants

- オランダの 88 名の中学 3 年生 (男性 37 名, 女性 51 名, 平均年齢 14 才)
  - 物理は 3 年生で学ぶが, シミュレーションコースは全員初めてであった

## *Materials: the physics course*

- Crocodile Physics® (シミュレーションプログラム) を使用
  - イントロダクションと電気回路に関する 10 問のトラブルシューティング問題, 10 問のテスト問題から構成

### イントロダクションの内容

- 何をすべきか
  - 問題の数, 制限時間, どのように回路のスイッチをオン, オフするかなど
- アプリケーションの使用法
- 実験のルール
  - 個人で行うこと, 回路の変更はできないこと, ノートはとってはいけない, スクリーンの大きさは変えられないなど

### トラブルシューティングタスク (図. 1)

- 異常な電気回路から構成
  - 左側に問題点, 右側に異常な回路が提示
  - 情報ボックス (提示される場合) は右下に
  - 異常な回路において取り返しのつかないダメージ (例. 爆発) を 1 回提示
- タスク内容
  - 問題は何で, どうすれば問題を解決できるかを回答
  - 回路の要素: トグルスイッチ, ランプ, バッテリー, 抵抗, 電圧計, 電流計の 6 要素

### 情報ボックスに提示される情報

- 電気回路の専門家によりタスク分析し 2 種類の情報に分類 (Appendix 1)
  - supportive な情報
    - ◇ スキーマ構築を目的とし, 素材との高い双方向性を必要とする情報
    - ◇ 直接的に問題解決には影響しない情報
      - 例. どのように電流は流れるのか?
  - procedural な情報
    - ◇ スキーマの自動化を目的とし, 素材との低い双方向性を必要とする情報
    - ◇ 直接問題解決に関連する情報
      - 例. 電圧計の使用法 (測定したい要素と並列につなぐ)

## *Information presentation*

情報の種類(supportive, procedural), 提示時間(before, during)により次の 4 条件に分類

- SupB-ProcB(22 名)
- SupD-ProcD(22 名)
- SupB-ProcD(23 名)
- SupD-ProcB(21 名)

### *Log tool*

ログツール：参加者が新しいウィンドウを開くごとにスクリーンショットを保存  
→参加者のルートを追跡

### *Practice problems*

問題内容：電気回路のトラブルシューティング問題 10 問

#### 採点方法

- ・ 最大 49 点
  - 正しい記述に対し各 1 点
    - ◇ 例. ランプが爆発した場合  
→バッテリーが強すぎた, 弱いバッテリーに交換する, さらにランプを挿入する, 抵抗を挿入するなど
  - 問題により 4~8 点が満点

### *Transfer test*

10 問の練習問題に続き, 要素が追加された 10 問のトラブルシューティング問題

#### 練習問題との相異

- ・ 情報ブロックはなし
- ・ 要素の追加
  - 可変抵抗, ヒューズ, 押しボタン, ブザー, LED, モータ, ギア
- ・ 最大 39 点

### *Mental effort measurement*

練習問題, 転移問題中の Mental effort を 9 段階で評定(very low mental effort → very high mental effort)

目的: 問題解決中の mental load の測定

- ・ 20 回測定
  - 練習問題: 10 回
  - 転移問題: 10 回

### *Procedure*

- ・ 口頭によるイントロダクション
  - 一人で行うこと, 時間を厳守すること, まじめにすること, 質問はできないことを教示
- ・ 2 時間以内で自分のペースで練習問題, 転移問題を行う
  - 転移問題に移ると, 練習問題には戻れない
  - サーチ行動 (以前に提示された情報ブロックの再訪問) を記録

## Results

### Information searching behavior

情報ブロックに提示された以前の情報を再訪する回数の分析  
(ただし、以前の情報が無い SupD-ProcD 条件は除く)

結果：図 2, 表 1

**Table 1. Summary of the mean re-visiting behaviour data.**

<i>Procedural Information</i>	<i>Supportive information</i>					
	<i>Before</i>			<i>During</i>		
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>
Before	5.86	4.64	22	7.62	6.06	21
During	1.61	2.48	23	–	–	–

- Kruskal-Wallis 検定の結果
  - 条件間に有意差： $H(2) = 17.82, p < 0.001$
  - SupB-ProcD 条件が他の 2 条件よりも有意に少ない

### *Time on task*

練習問題に掛けていた時間の分析 (“before” 情報ブロックの時間も含む)

結果：表 2

**Table 2. Mean total time (min) spent on the practice problems and the ‘before’ information block.**

<i>Procedural information</i>	<i>Supportive information</i>					
	<i>Before</i>			<i>During</i>		
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>
Before	40.21	10.61	22	51.53	16.28	19
During	54.95	17.91	22	49.96	13.75	22

- Procedural 情報のタイミングの主効果： $F(1,81) = 4.17, p < 0.05$ 
  - Procedural が先に提示されるとタスクに掛ける時間が少ない
- Supportive-Procedural 間にインタラクション： $F(1,81) = 6.39, p < .05$ 
  - 事後検定の結果：SubB-ProcB – SupB-ProcD 条件間に有意差 ( $p < .001$ )
  - SubB-ProcB が短い

### *Practice scores*

練習課題の結果：表 3

**Table 3. Summary of the practice performance data<sup>a</sup>.**

<i>Procedural information</i>	<i>Supportive information</i>					
	<i>Before</i>			<i>During</i>		
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>
Before	7.50	3.42	22	7.10	4.62	21
During	8.52	5.07	23	7.32	5.19	22

<sup>a</sup> Maximum = 49.

- 全条件において非常に低く，統計的な差はなし
- ただ，SupB-ProcD の平均値が一番高いよね

**Transfer test**

転移課題の結果：表 4

**Table 4. Summary of the transfer test data<sup>a</sup>.**

<i>Procedural information</i>	<i>Supportive information</i>					
	<i>Before</i>			<i>During</i>		
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>
Before	7.14	3.82	22	6.43	3.63	21
During	6.04	4.51	23	5.77	3.87	22

<sup>a</sup> Maximum = 36.

- 練習課題と同様に全条件非常に低く，統計的な差はなし

**Mental effort**

全ての参加者が表を埋めている訳ではなかったために，60%以上埋めていた参加者のデータを分析  
 (練習問題：78名，転移課題：77名)

埋められていないデータは，SPSS Missing Value Analysis により補完

結果：表 5

**Table 5. Summary of the mean mental effort data during practice and transfer test<sup>a</sup>.**

<i>Procedural information</i>	<i>Supportive information</i>					
	<i>Before</i>			<i>During</i>		
	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>
Practice						
Before	5.63	1.02	21	6.26	0.95	18
During	6.63	1.12	19	6.32	1.29	20
Transfer test						
Before	5.35	1.11	21	5.44	0.99	17
During	5.82	1.73	19	5.86	1.44	20

<sup>a</sup> Maximum = 9.

- ・ 練習問題における procedural 情報の主効果 :  $F(1,78) = 4.51, p < .05$ 
  - post hoc な検定の結果 SupB-SupB - SupD-SupD 間に有意差 ( $p < .05$ )
- ・ 転移課題においては、主効果、交互作用共になし

## Discussion

科学において、問題を解き、実験データを解析すること、他の状況への知識・技能の使用は最も一般的な目標である(Kirschner and Meester, 1993).

本研究のリサーチクエスション

- ・ この目的に対し、どのような情報提示、タイミングが最も良いデザインなのだろうか？
- ・ 仮説
  - supportive な情報を練習より前に、procedural な情報を練習中に
- ・ 結果
  - 情報検索活動：仮説を支持
    - ◇ より少ない情報探索活動
  - パフォーマンス：インストラクションによる差はなし
    - ◇ 練習課題：SupB-ProcD がややよかったが十分に学ばれたわけではない
    - ◇ 転移課題：全体的に低成績
      - 複雑な技能を身につけるには学習時間が短すぎたのだろう
  - time-on-task, Mental effort : SupB-ProcB が有効だろう
    - ◇ SupB-ProcB が最も time-on-task, Mental effort が小さい
    - ◇ 有効であるように思えるが...
      - パフォーマンスと繋がっておらず、これらについての判断は困難

なんでパフォーマンスが悪かったのだろうか？今後に向けて

- ・ 適切な時に適切な情報が提示されても、同時に回路を操作し、自身にメリットを得るところまでいくのはチャレンジングすぎたのだろう...
- ・ 素材の簡素化、学習者の初期レベルを慎重に考慮しないとね

結論

- ・ supportive な情報、procedural な情報という分類は有用なものである
- ・ supportive な情報を練習前、procedural な情報を練習中に提示することでより少ない探索活動を導く
- ・ パフォーマンスは確認できなかった、これは bottom effect によるものだろう