

# Expert error in trouble-shooting: an exploratory study in electronics

Denis Besnard, Mireille Bastien-Toniazzo

*International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 50, pp. 391–405, 1999

## 1. Theory

### 1.1. EXPERTISE

- 専門知識 (Expertise) は文脈依存の知識形式 (e.g., スキーマ) により支えられている
  - 処理の自動化により、熟達者はワーキングメモリに余裕ができる (Baddeley, 1992)
  
- 専門知識は記憶能力に影響を及ぼす (Chase & Simon, 1973)
  - 構造が同じ状況なら熟達者は初学者に比べて多くの情報を貯蔵できる
  - 一方、状況構造の変化は熟達者の記憶貯蔵を妨害する (Barfield, 1986; Norman, Brooks & Allen, 1989; Frensch & Sternberg, manuscript)
    - > 知識構造と結びつかない情報 (e.g., ランダム配置のチェス盤面) なら、熟達者の再生成績は初学者と同等まで低下する (Chase & Simon, 1973)
  - 熟達者の処理は問題構造に、初学者の処理は形式に影響される (Hardiman, Dufresne & Mestre, 1989; Smith, 1992; Zajchowski & Martin, 1993)
  
- 問題解決における熟達者と初学者の違いは、表面的特徴の使い方にあると考えられる
  - 初学者 推論処理を活性化
  - 熟達者 課題特有の複雑な知識構造 (スキーマ) を活性化
  
- それぞれのスキーマは重要さ、起動する閾値が異なる
  - 直近で使われたスキーマ、頻繁に使われたスキーマは起動しやすい
  - 日常の典型的な状況では処理を高速化し、半自動モードに移行 (Konradt, 1995)
    - > 一方、既知の状況と似た表面的特徴を持つ未知の状況ではバイアスが生じる可能性あり

### 1.2. ERROR IN DIAGNOSIS

- 診断は同時に扱う仮説が多すぎるため、限られた資源で原因を特定することは困難
  - 観察可能な症状しか手がかりにできない (Reed & Johnson, 1993)
  - 診断に用いる情報の抽出に負荷がかかる (Sanderson & Murtagh, 1990)
  - 構造が複雑である
    - > 要素や関係性の増加に伴う成績低下 (Sanderson, 1990)
    - > 遭遇する状況の多様化 (Amerge & Mariné, 1992)
    - > 反動の遅延 (Das, Jones & Wong, 1990; Hoc, 1996)

- そのため、直観に従った方略 (Rouse, 1978) や自動処理に頼らざるを得ない
- 熟達者は特定のパターンを認識し、コンパイルルールと反応プランを用いて診断を行う (Gaba, 1991)
  - 本症状に関わる情報だけを素早く活性化する
- 一方、特定のパターンが認識できない場合、推論を綿々と繰り返す局所的方略 (Topographic strategy) へ移行しなければならない
- 熟達者が陥りやすい Fixation error
  - 状況の手がかりをもとにスキーマを起動
  - 手がかりが示すスキーマが顕著、または頻繁に同じスキーマが起動する場合、補完の手がかりは無視され、本来なら無関係なスキーマが起動する
  - 熟達者は活性化されたスキーマでやりきろうとし、他の原因を考慮しない
  - その結果、すでに活性化された知識に固着し、局所的方略へ移行できない
- 熟達者は構造変化に敏感であると言われている (Chase & Simon, 1973; Frensch & Sternberg, manuscript)
  - しかし本研究では、構造的特徴ではなく、表面的特徴が持つ重要な役目を明らかにする
- 仮説
  - 初学者が抽出する表面的特徴はスキーマを起動しないが、それが逆に不具合表象を形成し、熟達者に比べて推論から多様な仮説を導くだろう
    - > 不具合の診断時に、熟達者はスキーマを適用する一方、初学者は推論を行うだろう
  - 初学者は熟達者に比べ、少ない検査で不具合の原因を見つけるだろう
    - > 熟達者の硬直した知識は柔軟性を欠く

## 2. Method

- 初学者による診断の優れた点を明らかにするため、増幅回路の故障修理課題を作成
  - 特定すべき不具合 (ターゲット) は発生頻度が極めて低く、かつその症状は頻繁に起こる別の不具合とよく似ている

### 2.1. SUBJECTS

- 初学者 3 名 2 年間電子工学を勉強した専門学校生
- 熟達者 3 名 19~20 年の経験があるプロの電子工学技師

### 2.2. MATERIALS

- 参加者は標準的な工具 (マルチメータ, オシロスコープ) と、注入スキーマ・論理スキーマを使用

- 注入スキーマ (Figure 1)                    部品の名前が記載された回路の地理的表現
- 論理スキーマ (Figure 2)                    部品の接続と名前が記載された論理的表現

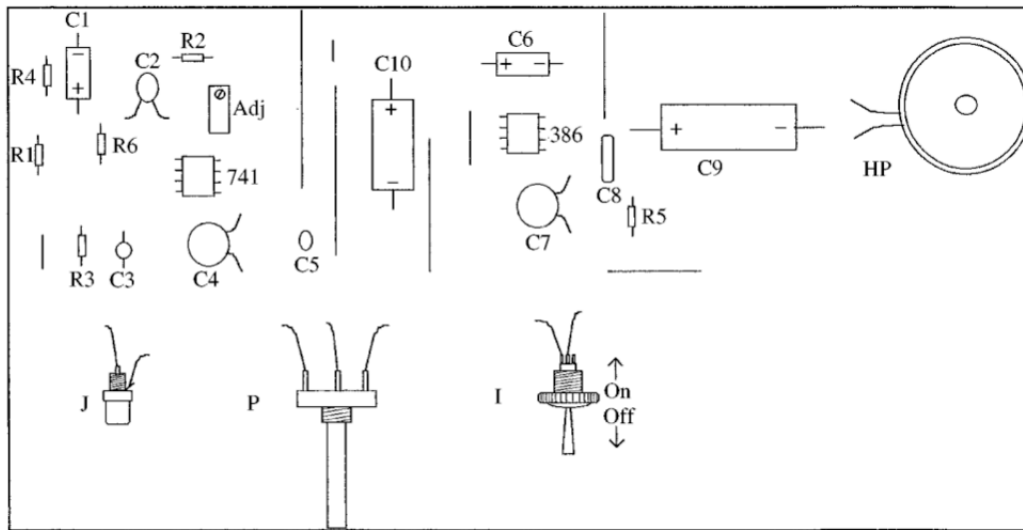


FIGURE 1. Implantation schema.

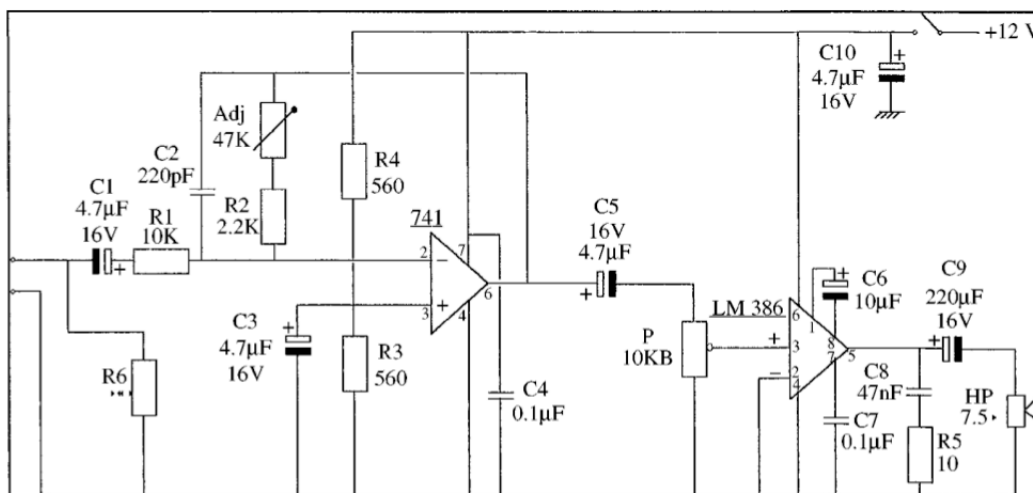


FIGURE 2. Theoretical schema.

### 2.3. APPARATUS

- 標準的なスキーマと部品で構成された単純な低周波増幅回路
  - 基盤から部品間の経路や接続を容易に思い浮かべることができた

### 2.4. FAULT DESCRIPTION

- ターゲット不具合は、C7 コンデンサの見えない細線溶接ワイヤの短絡 (Figure 3)
- 症状がよく似ており頻発する不具合として、IC386 の故障がある
  - C7 コンデンサが故障していれば、IC386 は出力なし
  - C7 コンデンサが故障していなければ、IC386 は出力あり

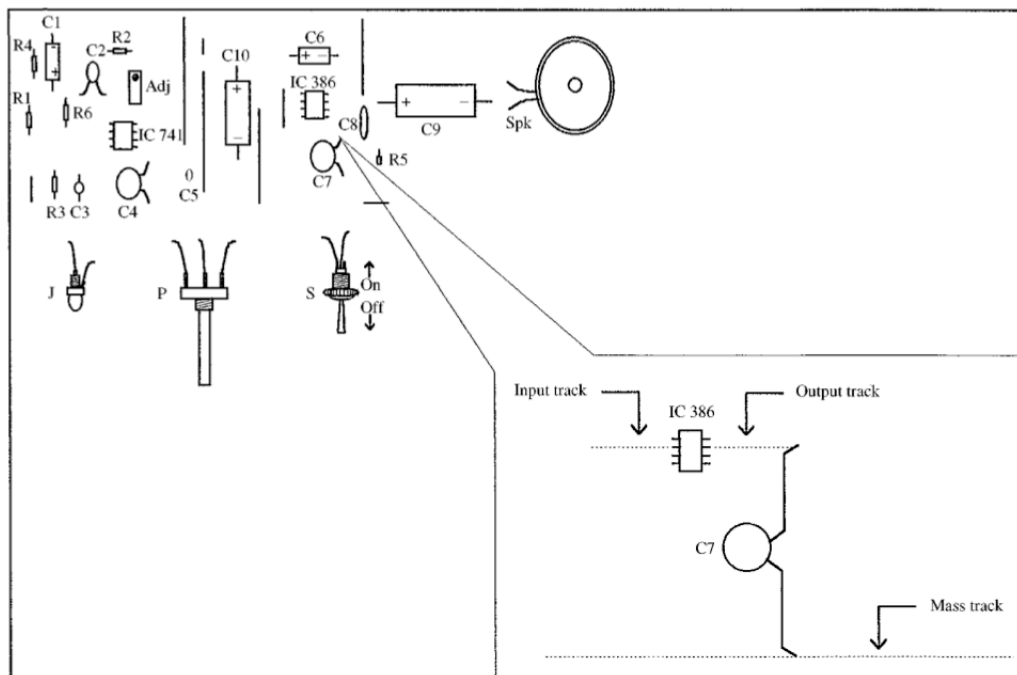


FIGURE 3. Fault description.

## 2.5. PROCEDURE

- 教示とシステムの説明を受けた後に修理課題を開始
  - 検査結果を記入できる表を配布
  - 部品交換可
  - 不具合の部品を特定できたら、または他のすべての可能性が排除されたら終了

### 2.5.1. Instructions

- 参加者は低周波増幅回路の故障修理を求められた
  - あらゆる工具を用いて、不具合の原因を特定すること
  - 注入スキーマと論理スキーマが使用できる
  - 部品の検査をする際には、その部品名を提示すること
  - 検査後は推論できたかどうか、何かしらを必ず報告すること
  - 診断中は考えていることを発話すること

## 2.6. PLAN OF EXPERIMENT AND VARIABLES

- 考察に用いる従属変数は、3つの補助変数から算出

### 2.6.1. Secondary dependent variables

*Number of tests of IC386.*

- IC386 の検査回数
  - 検査する部品を分割する単独検査と、分割しない連鎖検査がある



- DV 2: IC 初回検査時の進捗 初学者 > 熟達者
  - 熟達者はICが頻繁に故障することを知っているため
- DV 3: IC386 初回検査時の進捗 初学者 > 熟達者
  - 熟達者はICが頻繁に故障することを知っているため
- DV 4: IC386 連鎖検査回数 初学者 < 熟達者
  - 熟達者は起動したスキーマからIC386に固着するため

### 3.1. RESULTS

- 初学者1名のみ不具合原因の特定に至らなかったが、分析対象に含めた
- DV 1: IC386 検査割合 初学者 (15.38%) < 熟達者 (47.45%)
  - 経験によりシステムの表象に差が生じていた
- DV 2: IC 初回検査時の進捗 初学者 (23.07%) > 熟達者 (3.03%)
  - 熟達者は診断の初期でIC検査を実施していた
- DV 3: IC386 初回検査時の進捗 初学者 (35.38%) > 熟達者 (14.23%)
  - 熟達者は不具合の症状を説明できることの多いIC386を重要と捉えていた

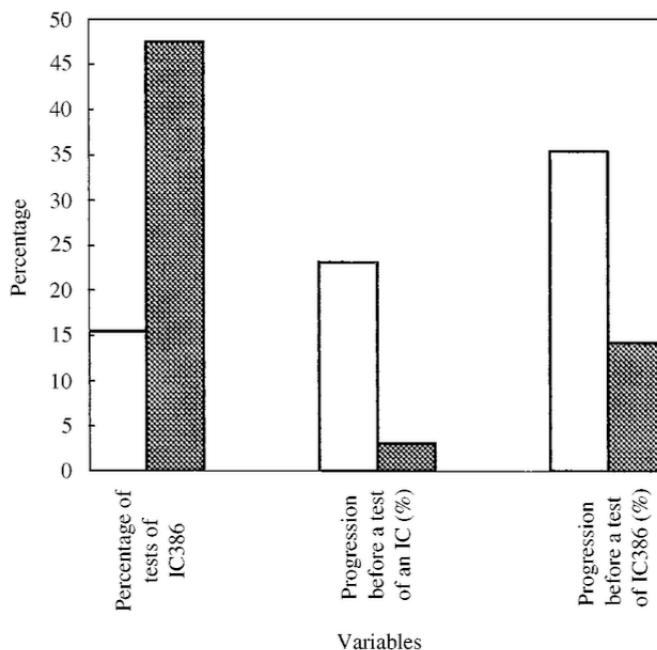


FIGURE 4. Percentage of tests of IC386 (DV 1), progression before a test of an IC (DV 2) and progression before a test of IC386 (DV 3) as a function of the level of expertise (percentages). □ Novices; ■ Experts.

- DV 5: 原因特定までの検査回数 初学者 (13) < 熟達者 (39.33)
  - うち IC386 検査回数 初学者 (2) < 熟達者 (18.66)
    - > うち DV4: 連鎖検査回数 初学者 (0) < 熟達者 (5.36)
- 熟達者はIC386に対して強固に固着していた

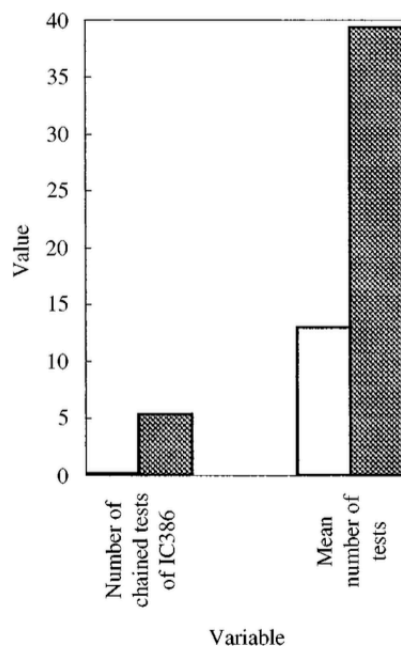


FIGURE 5. Number of chained tests of IC386 (DV 4) and mean number of tests (DV 5) as a function of the level of expertise. □ Novices; ■ Experts.

#### 4. Discussion

- 実験結果は仮説と矛盾しなかった
  - 熟達者は初学者に比べて多くの検査を行っていたが、その多くは IC を対象としていた
    - > 診断の初期段階から、かつ繰り返し実施していた
  - IC386 は重要な部品であるため、熟達者は真っ先に検査を行う
    - > 検査結果から出力がないことを知る
  - このとき、熟達者は IC386 に固着してしまう
    - > IC386 は中心的役割を持つ部品である一方、故障頻度が高いという知識を持っているため
    - > 頻度のヒューリスティックスが過剰に働くため、強固に固着してしまう
- IC386 検査割合は、熟達者が初学者に比べてはるかに高かった
  - 経験に基づく頻度ヒューリスティックスが働いたため
- 初学者が有する宣言的知識では症状から不具合に結びつけることができず、推論せざるを得ない
  - 複雑な課題、時間的制約の厳しい課題では欠点だが、頻度ヒューリスティックスが有効ではない課題では利点になる
  - 初学者にとっては部品に優先度はないか、少なくとも熟達者とは異なる基準を有している
- 課題の最後に、不具合について分かったことをインタビューした
  - 熟達者は、C7 コンデンサは信頼性が高く滅多に壊れないため、特定が困難だったと報告
    - > この困難さは、通常の行為の裏返しとして考えられるかもしれない

- > 熟達者が通常行う，電源供給部を調べた後に IC を検査することはほとんどの場合は経済的

## 5. Conclusion

- 初学者 部品の異常な挙動によって，原因特定と情報収集の手続きが活性化される
- 熟達者 症状と不具合の原因が自動的に結ばれ，部品交換の手続きが活性化される
  
- 熟達者の放射線技師が，研修医よりも診断精度で劣ることが示されている (Lesgold, Glaser, Rubinson, Klopfer, Feltovitch & Wang, 1988)
  - パフォーマンスレベルは経験の単調関数ではなく，上下変動すると考えられる
  
- 熟達者は構造的特徴に，初学者は表面的特徴に沿った問題解決を行うとされている (Hardiman et al., 1989; Smith, 1992; Zajkowski & Martin, 1993)
  - しかし本研究結果から，両者とも表面的手がかりを用いていることが分かった
    - > 初学者 表面的手がかりから推論を行う
    - > 熟達者 表面的手がかりから自動的処理を起動する