

# Effects of Adaptive Task Allocation on Monitoring of Automated Systems

Parasuraman, R., Mouloua, M., & Molloy, R.

*Human Factors*, Vol. 38, No. 4, pp. 665-679 (1996)

## Introduction

- 人間機械系において、人間は、複数の自動化サブシステムの監視制御を行う
  - 主にモニタリング、診断、活動のプランニング(Sheridan, 1970)
  
- モニタリングに関する問題
  - 環境に合ったVigilance(警戒)の制御を行わなければ、監視制御を上手くできない (Craig, 1984; Davies & Parasuraman, 1982; Parasuraman, 1986)
  - 人間が、自動化レベルの高いシステムをモニタリングする場合には問題が生じる (Chambers & Nagel, 1985; Parasuraman, 1987; Wickens, 1994; Wiener, 1988)
  - いくつかのモニタリングエラーは、自動化システムの過信によって生じる (Mosier, Skita, & Korte, 1994; Singh, Molloy, & Parasuraman, 1993)
  
- 自動操作と手動操作におけるモニタリングを比較した実験的検討は少ない
  - Parasuraman, Molloy, & Singh (1993)
    - ◇ 追従、燃料管理、エンジン管理の多重タスク
      - － エンジン状態の不具合の検出率
        - 全てのタスクを手動：72%
        - 追従、燃料管理を手動、エンジン管理を自動：32%
        - エンジン管理(単一タスク)を自動：95%
    - ◇ 単一のタスクよりも、多重タスクの場合、モニタリングパフォーマンスが低い
    - ◇ 全ての課題を手動で行うよりも、課題の一部が自動の場合、モニタリングパフォーマンスが低い
  - 自動化システムの性能が高いほど、モニタリングパフォーマンスの差は顕著になる (Parasuraman, Mouloua, Molloy, & Hilburn, 1996)
  
- Adaptive system(手動/自動の切り替え可能なシステム)について
  - 古典的な研究では、自動/手動の切り替えが生じない状況が想定されてきた (Fitts, 1951)
  - Adaptive systemを使用した場合、タスク全体のパフォーマンスが向上する
    - ◇ 航空機の検出課題 (Morris & Rouse, 1986)
    - ◇ 航空機操縦課題 (Hilburn, Parasuraman, & Mouloua, 1995)
    - ◇ 航空管制課題 (Hilburn, Jorna, & Parasuraman, 1993)

- “In the loop”と“Out of the loop”について
  - In the loop：自動/手動の切り替えを行うことができる状況
  - Out of the loop：自動/手動の切り替えを行うことができない状況
  - In the loopよりもOut of the loopにおいて、モニタリングパフォーマンスは低い (Parasuraman et al, 1993; Wickens & Kessel, 1979)
- Parasuraman et al. (1993)
  - 20分間、システムモニタリングを経験した参加者は、その後のOut of the loopモニタリングで、パフォーマンスの低下がみられた
    - ◇ 手動操作のモニタリング経験も同様に、その後のOut of the loopモニタリングに影響するのでは？

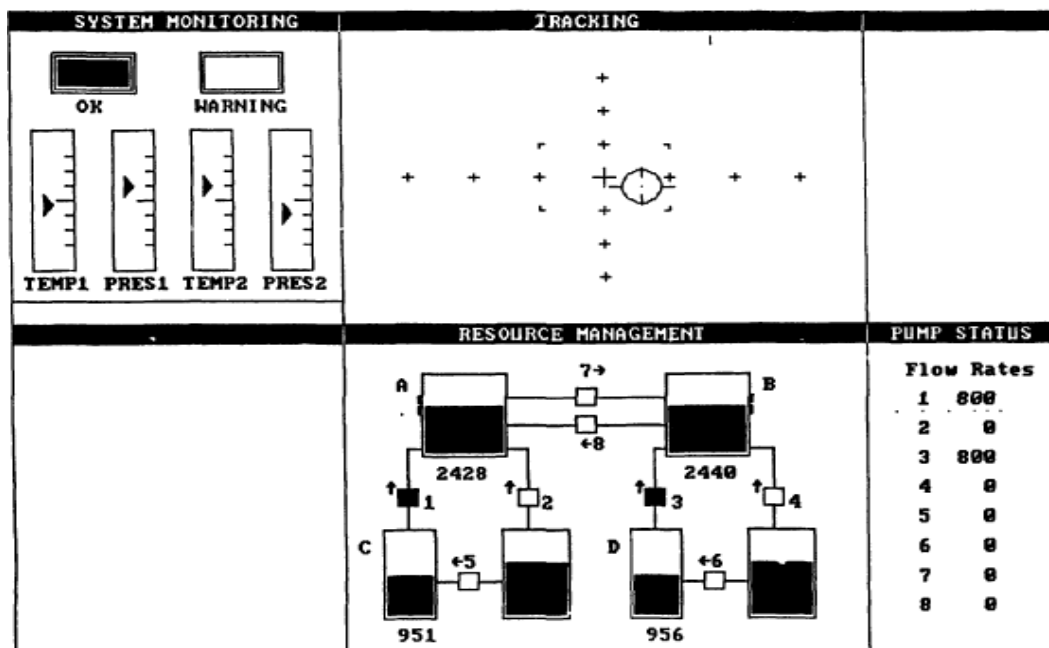
## Method

### Participants

- Flight simulation taskの経験がない27名
  - 男性13名、女性14名、18～28歳

### Flight simulation task

- 3つの課題
  - 追従，燃料管理，エンジン管理
    - ◇ 追従，燃料管理は手動で行う
    - ◇ エンジン管理で自動化システムを使用



[Parasuraman, R., Bahri, T., & Molloy, R. (1991). Adaptive Automation and Human Performance: 1. Multi-Task Performance Characteristics (Tech. Report CSL-N91-1). Washington, DC: Catholic University of America, Cognitive Science Lab.]

- 追従
  - 十字線をカーソルで追従
    - ◇ x軸, y軸に十字線が移動, ジョイスティックでカーソルを操作
  - パフォーマンス評価
    - ◇ 二乗平均平方根誤差(RMS error)を使用
    - ◇ 十字線とカーソル位置との誤差を1秒ごとに算出
    - ◇ 10分間の誤差平均を算出
  
- 燃料管理
  - A, Bのタンクの燃料を一定(2500gallons)に保つ
    - ◇ 6つのタンク, タンクをつなぐポンプ
    - ◇ ポンプの“on”, “off”によって燃料調整, キー押しで行う
    - ◇ 矢印: 燃料の移動方向, タンク下の数値: 移動している燃料の量
  - パフォーマンス評価
    - ◇ 二乗平均平方根誤差(RMS error)を使用
    - ◇ 2500gallonsと実際の燃料の量との誤差を30秒ごとに算出
    - ◇ 10分間の誤差平均を算出
  
- エンジン管理
  - TEMP (気温) 1, 2, PRES (気圧) 1, 2
  - いずれかに誤作動が生じた場合, 対応するキーを押す
    - ◇ 誤作動: ポインターが, 中央から1スケール以上, 上または下に位置している
    - ◇ 10分間に16回生じる
  - 自動化システム
    - ◇ 誤作動が生じた場合に“Warning”ランプを点灯
    - ◇ ポインターを中央へ移動
  - システムエラー
    - ◇ 誤作動が生じた場合に“Warning”ランプが点灯せず, ポインターが移動しない
    - ◇ 10分間に7回生じる
      - 特定のキーを押し, 手動操作に切り替え, ポインターを移動させる
  - エンジンの誤作動から10秒以内にキー押しできれば検出成功
    - ◇ できなければ, miss
    - ◇ 1スケール以上の上下がない場合にキー押しすれば, false alarm
  - パフォーマンス評価
    - ◇ エンジン誤作動の検出率
    - ◇ システムエラーの検出率
    - ◇ 検出時間

## Procedure

- トレーニング試行
  - 各タスクを4分間ずつ手動で実施
  - 各タスクのパフォーマンスをフィードバック
- 30分間のsessionを3回実施
  - 10分間のblockを9回
- 実験条件 (Figure 1)
  - Nonadaptive control group (6名)
    - ◇ システムモニタリングを行う
      - その他に、2つのcontrol group (各4名)
  - Model-based adaptive group (6名)
    - ◇ 強制的に自動/手動を割り当て
    - ◇ block5で、強制的にエンジン管理を手動に切り替え
  - Performance-based adaptive group (7名)
    - ◇ オペレータのモニタリングパフォーマンスによって、自動/手動を割り当て
    - ◇ block5の最初(?)におけるエンジン誤作動の検出率
      - 特定の基準(55%)に達している場合、エンジン管理を手動に切り替え
      - 基準に達していない場合、切り替えは起こらず、自動のまま課題を行う

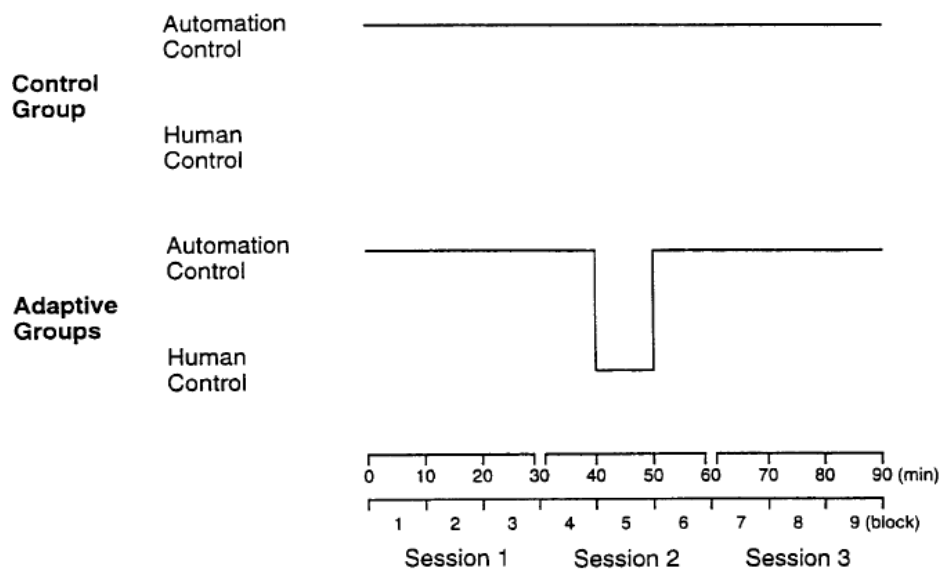


Figure 1. Timeline showing automated and manual conditions for the engine status task for the two adaptive groups and the control group. The engine status task was allocated to participants (human control) at the beginning of Block 5 for a fixed period of 10 min before being returned to automation (automation control). Each session consisted of three continuous 10-min blocks, with brief rests between sessions.

## Results

### Monitoring performance: Initial manual condition

- トレーニング試行におけるエンジン管理

- 誤作動の検出率
  - ◇ Model-based adaptive group : 71.4%
  - ◇ Performance-based adaptive group : 68.4%
  - ◇ Nonadaptive control group : 73.0%
  - 有意差なし( $F(2, 15) < 1$ )

### Monitoring performance: Automation condition

- Performance-based adaptive group
  - block1~4で、7名中6名の誤作動の検出率が55%を超えた
  - 6名のデータを分析(1名のデータを除外)
- エンジン管理におけるモニタリングパフォーマンス (Figure 2)
  - Nonadaptive control group
    - ◇ システムエラーの検出率
  - Model-based/ Performance-based adaptive group
    - ◇ システムエラーの検出率とblock5は、手動によるエンジン誤作動の検出率
  - 3(group)×9(block)の分散分析
    - ◇ blockの主効果あり ( $F(8, 120)=4.59, p<.0001$ )
    - ◇ groupとblockの交互作用あり ( $F(16, 120)=2.12, p<.02$ )
      - FisherのLSD検定
        - block5 : Model-based > Nonadaptive control ( $p<.05$ )

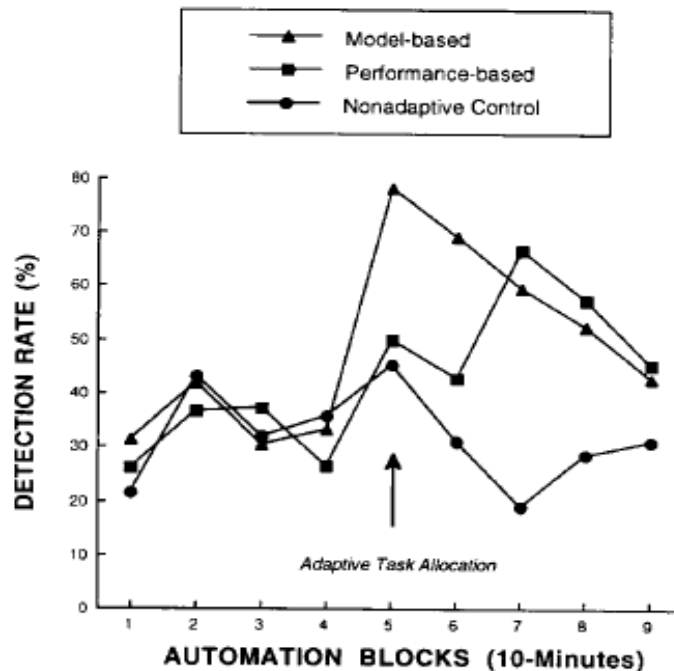


Figure 2. Effects of adaptive task allocation on monitoring performance. The detection rate refers to the rate of detection of automation failures in the automation blocks and to the rate of detection of engine malfunctions in the manual block. For the two adaptive groups, the engine status task was automated in Blocks 1-4, allocated to human control in Block 5, and returned to automation in Blocks 6-9. For the control group, the engine status task was automated throughout.

- システムエラーの検出率 (Figure 3)
  - block1~4(前半), block6~9(後半)
  - 3(group)×2(phase)の分散分析
    - ◇ phaseの主効果あり ( $F(1, 15)=11.68, p<.005$ )
    - ◇ groupとphaseの交互作用あり ( $F(2, 15)=6.23, p<.05$ )
      - FisherのLSD検定
        - Model-/ Performance-based adaptive group : 前半 < 後半 ( $p<.05$ )

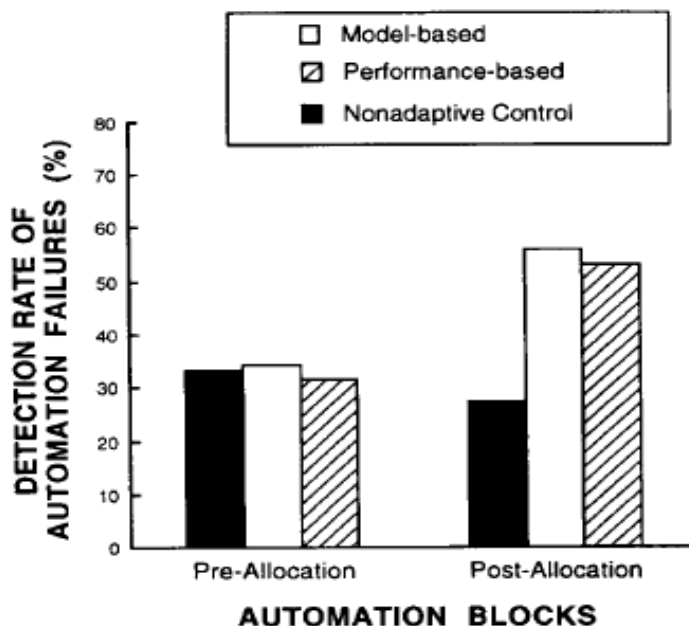


Figure 3. Mean effects of adaptive task allocation on monitoring performance (detection rate of automation failures) in the pre- and postallocation automation blocks for the model-based and performance-based adaptive groups.

- システムエラー/エンジン誤作動の検出時間 (Table 1)
  - 3(group)×9(block)の分散分析
    - ◇ 有意差なし

TABLE 1

Mean Reaction Times (s) for Detecting Automation Failures in Each 30-min Session for the Nonadaptive Control and the Two Adaptive Groups

Group	Session			Mean
	1	2	3	
Nonadaptive control	5.0	3.0	2.6	3.6
Model-based adaptive	5.2	4.1	3.9	4.4
Performance-based adaptive	4.6	3.8	4.7	4.3

### System (human + automation) monitoring performance

- 手動/自動操作におけるエンジン誤作動の検出率 (Figure 4)
  - block1~4(前半), block6~9(後半)
  - 3(group)×2(phase)の分散分析
    - ◇ phaseの主効果あり ( $F(1, 15)=11.68, p<.005$ )
    - ◇ groupとphaseの交互作用あり ( $F(2, 15)=6.23, p<.05$ )
  - システムエラーの検出率(Figure 3)と同様の傾向

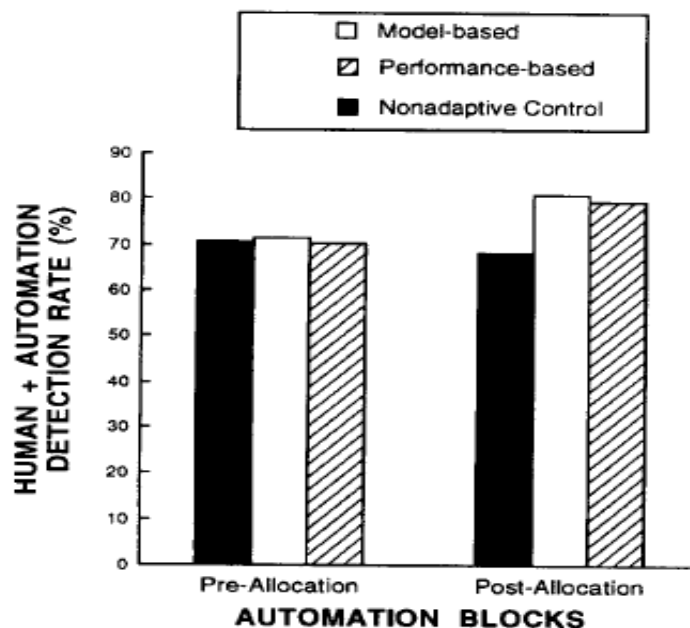


Figure 4. Mean effects of adaptive task allocation on system monitoring performance (human-plus-automation detection rate of engine malfunctions) in the pre- and postallocation automation blocks for the model-based and performance-based adaptive groups.

### Tracking

- 追従パフォーマンス (Table 2)
  - 二乗平均平方根誤差(RMS error)を使用
  - 十字線とカーソル位置との誤差を算出
    - ◇ 3(group)×3(session)の分散分析
      - 有意差なし

### Fuel management

- 燃料管理パフォーマンス (Table 2)
  - 二乗平均平方根誤差(RMS error)を使用
  - 2500gallonsと実際の燃料の量との誤差を30秒ごとに算出
    - ◇ 3(group)×3(session)の分散分析
      - 有意差なし

TABLE 2

Mean Integrated Root Mean Square Error on the Tracking and Fuel-Management Tasks (Arbitrary Units) in Each 30-min Session for the Nonadaptive Control and the Two Adaptive Groups

Group	Session			Mean
	1	2	3	
Tracking				
Nonadaptive control	141.2	125.7	127.0	131.3
Model-based adaptive	133.9	126.7	118.3	126.3
Performance-based adaptive	138.5	155.1	133.3	142.3
Fuel Management				
Nonadaptive control	85.2	55.5	306.4	149.0
Model-based adaptive	341.2	294.5	291.5	309.0
Performance-based adaptive	71.6	52.2	53.1	58.9

Additional control group results

- Model-/ Performance-based adaptive groupと違い, Nonadaptive control groupでは
  - エンジン管理のトレーニングセッションが10分短い
  - block5で, 自動から手動への切り替え合図として聴覚情報が与えられなかった
- 2つのcontrol group
  - Manual control group (4名) : トレーニングセッションが10分長い
  - Auditory control group (4名) : 聴覚情報を与える
- システムエラーの検出率 (Figure 5)
  - block1~4(前半), block6~9(後半)
    - ◇ 3(group)×2(phase)の分散分析
      - 有意差なし

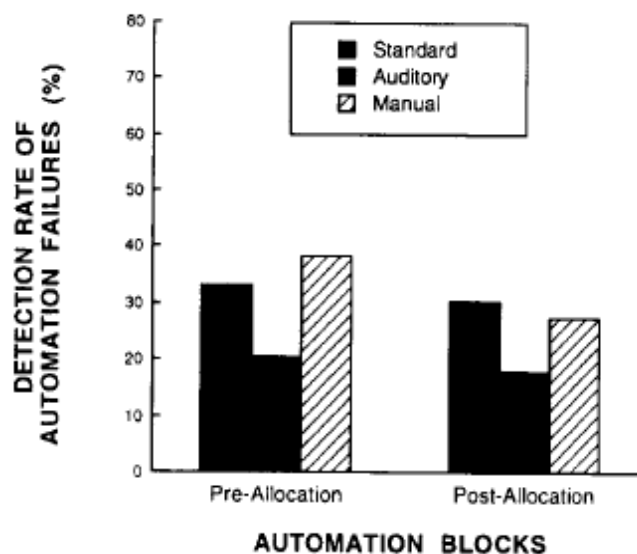


Figure 5. Monitoring performance of the standard, auditory, and manual practice control groups in the pre- and postallocation automation blocks.



## Discussion

- Adaptive groupは、短時間の手動操作の後に、システムモニタリングのパフォーマンスを向上させた
- Block5では、自動操作よりも、手動操作でエンジン誤作動の検出率が高い
  - Active human monitoringでは、モニタリングパフォーマンスが高い
    - ◇ 先行研究の結果と一致 (Parasuraman et al, 1993; Wickens & Kessel, 1981)
- 手動操作を行った効果は、自動操作に戻った後、少なくとも10~20分間持続
  
- Model-/ Performance-based adaptive groupにおけるシステムエラー検出の優位性
  - 自動/手動の切り替え合図がVigilanceに影響した可能性
    - ◇ Auditory control groupにおけるモニタリングパフォーマンスが低い
    - ◇ 切り替え合図による影響ではない
  - 手動操作の練習の影響
    - ◇ Manual control groupにおけるモニタリングパフォーマンスが低い
    - ◇ トレーニングセッションの影響ではない
  - モニタリング能力の影響
    - ◇ block1~4では、Adaptive groupとControl groupにおける検出率は同程度
    - ◇ 能力による影響ではない
- 可能性
  - 手動操作よりも、自動操作で、忘却の影響が強い
    - ◇ Adaptive systemでは
      - 課題に関するオペレータの記憶が更新される (Parasuraman et al, 1992)
      - 課題のメンタルモデルが更新される (Endsley & Kiris, 1994)
    - ◇ 長時間の自動化システム使用は、記憶、メンタルモデルの更新を低下させる
  - 情報処理資源の割り当て方略
    - ◇ 多重タスクにおいて、手動で行う課題には、情報処理資源が割り当てられる
      - 自動の場合、資源が割り当てられない
    - ◇ 資源の割り当ては、システムへの信用度によって異なる (Lee & Moray, 1992; Mosier et al, 1994; Riley, 1994; Singh et al, 1993)
      - 信用が高いほど、資源が割り当てられない
  
- Adaptive systemの使用は、状況認識を高め、手動操作スキルの劣化を低減し、モニタリングパフォーマンスを高めると考えられてきた (Hancock & Chignell, 1989; Rouse, 1988)
  - 必ずしもそうではない
  - 自動を使用し続けるよりも、手動の経験があった場合、パフォーマンスは向上