

On the Independence of Compliance and Reliance: Are Automation False Alarms Worse Than Misses?

Dixon, S. R., Wickens, C. D., & McCarely, J. S.

Human Factors, Vol. 49, No. 4, pp. 564-572 (2007)

Introduction

- 自動化システム
 - オペレータの作業負荷を軽減し、パフォーマンスを向上する
 - しかし全ての自動化システムが完璧ではない
 - ◇ 特に警報システムは、不完全な確率的情報に基づいて診断や予測を行う
(Wickens & Dixon, 2007)
 - False alarm(FA)や Miss が生じる
- Compliance と Reliance
 - 警報システムの FA と Miss は異なる影響をオペレータに与える (Meyer, 2001, 2004)
 - ◇ False alarm の増加は Compliance(従順性)を低下させる
 - Compliance : 警報に従う
 - その結果, 警報への反応が遅くなる
 - 極端な場合, 警報の無視(Cry-wolf effect)を招く
(Dixon & Wickens, 2006; Wickens, Dixon, Goh, & Hammer, 2005)
 - ◇ Miss の増加は Reliance(依存)を低下させる
 - Reliance : 警報システムの使用, 依存
 - オペレータは警報システムが監視している課題に注意を向ける
 - 同時に遂行している他の課題のパフォーマンス低下を招く
(Dixon & Wickens, 2006; Wickens & Cocombe, in press; Wickens, Dixon, Goh, et al., 2005)
- 先行研究
 - Dixon & Wickens (2006)
 - ◇ Miss は Compliance の指標に影響
 - ◇ FA は Compliance だけではなく, Reliance の指標にも影響
 - 統計的に有意ではない
 - Wickes, Dixon, Goh, et al. (2005)
 - ◇ 視線データを取得
 - FA が多い場合でも, 警報システムが監視している課題に視線が停留
 - Wickens, Dixon, & Johnson (2005)
 - ◇ FA の増加により, 同時に遂行している課題パフォーマンスが低下
 - まとめ

- ◇ 警報システムの Miss よりも FA の方が、同時に遂行している課題パフォーマンスを低下させるかもしれない
- 今回の研究
 - 課題
 - ◇ 追従課題(手動)と計測課題(自動)を使用
 - ◇ 警報システムは計測課題での課題のエラーを通知
 - 6つの仮説を検証
 - (a) 自動化システムが完璧であれば両課題のパフォーマンスは向上する
 - (b) 警報システムの Miss の増加は Reliacen を低下させる
 - 追従課題に注意を向けなくなる
 - 追従課題のパフォーマンス低下
 - (c) 警報システムの Miss の増加は Compliance には影響を与えない
 - (d) 警報システムの FA は Compliance を低下させる
 - 計測課題のパフォーマンス低下
 - (e) 警報システムの FA は Reliance も低下させる
 - 追従課題のパフォーマンスも低下
 - (f) FA が生じる警報システムを使用した場合、課題全体のパフォーマンスが低下

Method

- 参加者
 - 大学生 32 名
- 課題(Figure 1)
 - 追従課題(画面上の四角)
 - ◇ ジョイスティックを使用して十字でターゲット(ボール)を追従
 - 計測課題(画面下)
 - ◇ 自動化システムに任せる
 - 表示されるターゲットの数値(6000±900)に計測器を調整する
 - 円形に 10 個のドット
 - 計測器 1(円を描く線)：エンジンの 1,000 の単位を示す
 - 計測器 2(針)：エンジンの 100 の単位を示す
 - ◇ 自動化システムにエラーが生じる
 - ターゲットの数値内に計測器を調整しない
 - 警報システムが聴覚的にエラーを通知
 - オペレータはキーボードのスペースキーを押す

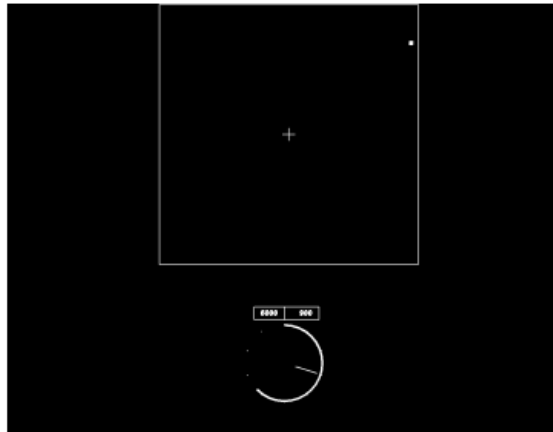


Figure 1. Sample screen shot of experimental display.

- 手順と実験デザイン
 - 30 秒を 100 試行実施
 - ◇ 試行ごとに計測課題のターゲットの数値は変化
 - ◇ 最初の 20 試行は練習(自動化システムのエラーが 10 回生じる)
 - ◇ 後半の 80 試行は本課題(自動化システムのエラーが 40 回生じる)
 - エラーの際に参加者はスペースキーを押す必要がある
 - 各試行の最後に参加者の反応が適切であったかどうかを表示
 - 実験条件
 - ◇ Baseline : 両課題を手動で行う
 - ◇ Auto100 : 本課題の 80 試行で, 40 hits, 0 FAs, 0 misses, 40 CRs
 - ◇ FA60 : 本課題の 80 試行で, 40 hits, 32 FAs, 0 misses, 8 CRs
 - ◇ Miss60 : 本課題の 80 試行で, 8 hits, 0 FAs, 32 misses, 40 CRs
 - 教示
 - ◇ 警報システムは, 完全に信頼できるか, 全く信頼できないかのどちらかです

Results

- 計画比較
 - 以下の条件間でパフォーマンスを比較
 - (a) Baseline と Auto100 のパフォーマンスを比較
 - (b) Baseline と FA60, Miss60 の両条件のパフォーマンスを比較
 - (c) FA60 と Miss60 のパフォーマンスを比較
- 追従課題のパフォーマンス (Figure 2)
 - エラー試行開始からエラー発生まで(5~12 秒間)におけるパフォーマンス(黒いバー)
 - ◇ 十字とターゲットとの距離の二乗平均平方根(RMS)について 4 水準の分散分析

- ◇ 主効果あり ($F(3, 27) = 6.64, p < .01$)
 - 計画比較の結果
 - Baseline > Auto100 ($t(14) = 1.53, p = .07$)
 - Baseline < FA60, Miss60 ($t(14) = 2.55, p = .01$)
 - FA60 \doteq Miss60 ($t(13) = 1.32, p > .10$)
- FAによる Reliance の低下を検証
 - ◇ エラーが生じなかった試行のパフォーマンス(斜線バー)
 - 主効果あり ($F(3, 27) = 5.09, p < .01$)
 - 計画比較の結果
 - FA60 > Auto100 ($t(14) = 3.78, p < .01$)
 - Reliance が低下して、計測課題に注意を向けていた

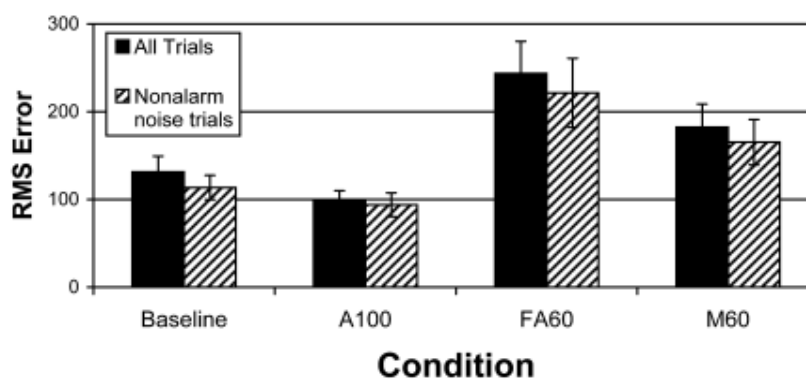


Figure 2. Tracking error as a function of condition. The solid black bars represent all trials in the experiment, and the striped bars represent only nonalarm noise trials. SE bars are included. RMS = root mean square.

- 自動化システムのエラー検出率
 - d プライム(検出の敏感さ)について 4 水準の分散分析
 - ◇ 主効果あり ($F(3, 27) = 8.84, p < .001$)
 - 計画比較の結果
 - Baseline \doteq Auto100 ($t(14) < 1.0$)
 - Baseline > FA60, Miss60 ($t(14) = 2.43, p = .01$)
 - FA60 < Miss60 ($t(13) = 3.08, p < .01$)
 - 詳細分析 (Table 1)
 - ◇ 警報が鳴り、自動化システムのエラーに反応した割合 (Signal の hit)
 - Miss60 より FA60 で適切に反応した割合は低い ($t(14) = 3.75, p < .01$)
 - FA60 では、警報が鳴り、エラーが発生していてもキーを押さない
 - Compliance の低下
 - ◇ 警報が鳴らず、自動化システムのエラーに反応しなかった割合 (Noise の CR)

- FA60 より Miss60 で適切に反応しなかった割合は低い ($t(13) = 2.14, p < .05$)
- Miss60 では、警報が鳴らず、エラーが発生していないときにキー押し
→ Reliance の低下

TABLE 1: Operator Response as a Function of Automation Accuracy

Condition	State of the World			
	Signal		Noise	
	Hit	Miss	FA	CR
FA60	.93	—	.35	.92
M60	1.00	.05	—	.82
A100	.96	—	—	.93

Note. Operator agreement rates are shown. The first and third columns tend to be measures of compliance, whereas the second and fourth columns tend to be measures of reliance. FA = false alarm, CR = correct rejections.

- 自動化システムのエラーへの反応時間 (Figure 3)
 - 課題全体の反応時間(黒いバー)について 4 水準の分散分析
 - ◇ 主効果あり ($F(3, 27) = 9.85, p < .001$)
 - 計画比較の結果
 - Baseline > Auto100 ($t(14) = 2.26, p < .05$)
 - Baseline < FA60, Miss60 ($t(14) = 2.48, p = .01$)
 - FA60 > Miss60 ($t(13) = 3.08, p < .01$)
 - Miss による Compliance の低下を検証
 - ◇ エラーが生じて警報が鳴った(hit)試行のみの反応時間 (斜線バー)
(Baseline の反応時間：他の条件の hit 試行に対応する試行における反応時間?)
 - 主効果あり ($F(3, 27) = 7.54, p < .01$)
 - 計画比較の結果
 - Miss60 \doteq Auto100 ($t(13) < 1.0$)
 - Miss60 < Baseline ($t(13) = 2.10, p < .05$)
 - Miss60 < FA60 ($t(14) = 3.53, p < .01$)
- Miss が増加しても Compliance は低下しない

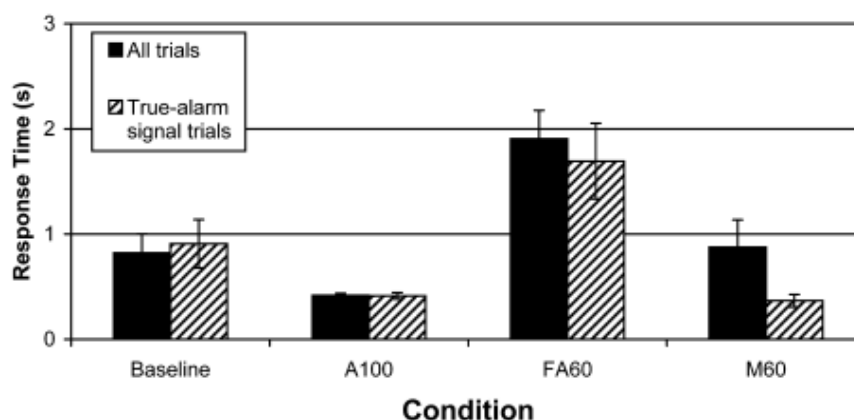


Figure 3. System failure (SF) response times as a function of condition. The solid black bars represent all trials in the experiment, and the striped bars represent only true alarm signal trials. SE bars are included.

Discussion

- 警報システムの False alarm と Miss がオペレータに与える影響を検討
- 仮説 a
 - 自動化システムが完璧であれば両課題のパフォーマンスは向上する
 - ◇ 追従課題のパフォーマンスでは、顕著な向上はみられなかった
 - Baseline のパフォーマンスが高かった
 - 追従課題の難易度を上げることによって、顕著な差がみられるだろう
- 仮説 b, c
 - Miss が生じる警報システムを使用
 - ◇ オペレータは追従課題に注意を向けなくなり、パフォーマンスは低下
 - 先行研究の結果と一致 (Dixon & Wickens, 2006)
 - ◇ オペレータの Compliance は低下しなかった
- 仮説 d
 - FA が生じる警報システムを使用
 - ◇ オペレータは警報を無視し、エラーへの反応が遅くなる
 - エラーの検出率は低く、反応時間は遅い
- 仮説 e
 - FA が生じる警報システムを使用
 - ◇ 警報システムの Reliance も低下
 - 追従課題のパフォーマンスは、完璧なシステムを使用した場合だけではなく、両課題を手動操作で行った場合よりも低い
 - Compliance と Reliance は完全に独立したものではないかもしれない
- 仮説 f

- FAが生じる警報システムを使用
 - ◇ Compliance と Reliance が低下し，課題全体のパフォーマンス低下
 - Missが生じる警報システムを使用した場合と比較
 - エラーの検出率は低く，反応時間は遅い
 - 追従課題のパフォーマンスは同程度
- Baseline よりも低い
- FA の影響
 - FA は，警報が鳴ったとき，鳴らなかったときに限らず，警報システム全体の信頼性を低下させた
 - ◇ FA は，知覚的に顕著なイベントであり，Miss よりも記憶に残りやすい (Madhavan, Wiegmann, & Lacson, 2006)
 - FA が広い範囲に影響する理由かもしれない
 - FA による追従課題のパフォーマンス低下
 - ◇ 今回の実験では，Miss60 よりも FA60 の方が hit の数が多かった
 - ◇ FA によって計測課題に注意を向ける機会が多かった
 - 注意が拡散して，追従課題のパフォーマンスが低下した可能性
- 今後 FA の影響について検討が必要
 - なぜ FA は Reliance を低下させるのか
 - Miss と FA は異なる認知プロセスに影響するのか，同じプロセスに影響するのか
 - ◇ 今回の結果からは，完全に異なるとはいえない