

The Role of the Air Traffic Controller in Future Air Traffic Management: An Empirical Study of Active Control versus Passive Monitoring

Metzger, U. & Parasuraman, R.

(2001). *Human Factors*, Vol. 43, No. 4, pp. 519-528.

Introduction

- 航空機使用の増加に伴い、航空管制に大きな負担が掛かっている
 - 航空管制システムを改善し、容量、効率、安全性を向上させる提案
(Eurocontrol, 1998; Federal Aviation Administration [FAA], 1997; Radio Technical Commission for Aeronautics [RTCA], 1995; Wickens, Mavor, Parasuraman, & McGee, 1998)
- RTCA(1995), Eurocontrol(1998)の提案
 - 航空管制官は、航空機間の間隔を確保する責任を負わない
 - ◇ 操縦士がその責任を負う
 - ◇ 緊急時にのみ、飛行誘導を行う
 - 緊急時以外は、Passive monitoring の役割
- FAA(1997), National Research Council(Wickens et al., 1998)の提案
 - 航空管制システムに自動化システムを導入して、航空管制官の支援を行う
 - ◇ 航空管制官が、飛行誘導を行う
 - ◇ 航空機間の間隔を確保する責任を負う
 - RTCA, Eurocontrol の提案よりは、Active な役割
- どの提案でも、航空管制官は、Active controllerからPassive monitorに役割を変更

- 航空管制官の Active control と Passive monitoring を比較した研究は少ない
 - どちらの方が、効率的に航空交通を管理できるか？
 - どちらの方が、飛行衝突の危機を検出できるか？
 - ◇ 検討する必要がある

- Vigilance(危険監視)に関する先行研究
 - ノイズシグナルからシグナルを識別
 - ◇ 時間の経過により、識別する量が減少
(Mackworth, 1948; Parasuraman, 1979; Teichner, 1974; Warm, 1984)
 - 監視課題は多大な認知負荷を与える
(Warm, Dember, & Hancock, 1996)
 - Thackray & Tochstone(1989)
 - ◇ 航空管制課題を手動で実施

- 飛行衝突の危機の検出を 1 時間で 50%増加させた
- 予想
 - Active control を行わずに緊急事態の監視のみ(Passive monitoring)を行う状況
 - ◇ 飛行衝突の危機に気づきにくく，多大な認知負荷を受ける
- Passive monitoring を行う状況
 - Endsley & Rodgers(1998)
 - ◇ 航空管制のパフォーマンスは低い
 - Endsley, Mogford, Allensdoerfer, Snyder, & Stein(1997)
 - ◇ 航空管制への関与が少ないほど，認知負荷，制御エラーが増加
 - Galster, Duley, Masalonis, & Parasuraman(2001)
 - ◇ 交通量が多い場合，航空管制のパフォーマンスが低下
 - Willems & Truitt(1999)
 - ◇ 交通量が多いほど，航空交通の状況認識が低く，反応時間が長い
- 検討を行う仮説
 - 人間は，他のエージェントの制御下では，状況や自動化システムの状態の変化に気づきにくい
 - ◇ Active control と Passive monitoring の比較
 - ◇ 交通量高と低の比較

Method

Participants

- 航空管制官 18 名
 - 内 4 名は分析から除外(経験の少なさ，課題システムの障害)

Apparatus

- PC を使用した航空管制システム
 - メイン画面
 - ◇ 航空機
 - ◇ 飛行高度
 - ◇ 飛行ルート
 - データリンク画面
 - ◇ 操縦士と航空管制官との情報交換
 - 心拍変動モニターを参加者に装着

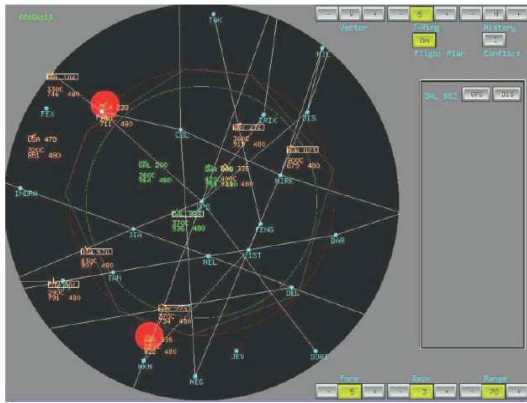


Figure 2. Primary visual display.

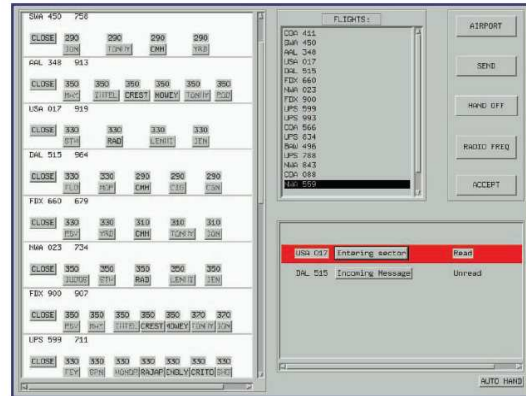


Figure 3. Data link display.

[Rovira, E., & Parasuraman, R. (2010). Transitioning to Future Air Traffic Management: Effects of Imperfect Automation on Controller Attention and Performance. *Human Factors*, Vol. 52, No. 3, pp. 411-425]

- 30 分のシナリオを 4 回実施
 - 交通量：高/低
 - ◇ 高：平均 17 機
 - ◇ 低：平均 11 機
 - 制御：Active/Passive
 - ◇ Passive：衝突の危機があれば，メイン画面の”Conflict”ボタンをクリック
 - ◇ Active：”Conflict”ボタンをクリック + 操縦士に指示を出すことができる
 - パイロットソフトウェアに指示を入力
 - 課題遂行中いつでも可能
- 各シナリオで衝突の危機が 6 回出現
 - 飛行機の衝突危機
 - ◇ 水平に 1852m，垂直に 305m 以内
 - 操縦士によって回避，実際に衝突
 - ◇ Active 条件において，衝突危機を予め回避する行動はほとんどとられなかった

Procedure

- 課題の練習 14 分
 - 認知負荷の測定(NASA-TLX を使用)
- 心拍変動の測定 5 分
 - ベースライン
- 30 分のシナリオを 4 回実施
 - 順序は参加者ごとにカウンターバランス
 - 各シナリオの後，認知負荷の測定(NASA-TLX を使用)

- 交通量・高
 - 課題の後に，課題終了時の状況を答えさせる
 - ◇ Active/Passive のどちらか一方でのみ実施

Independent Variables

- 2(交通量：高/低)×2(制御：Active/Passive)の参加者内要因計画

Dependent Variables

- 飛行衝突危機の検出
 - 検出ミスの確率
 - (操縦士が衝突を回避，実際に衝突する時間) – (“Conflict”ボタンを押した時間)
 - ◇ 値が大きいほど衝突の危機を素早く検出
- 受け渡し
 - “entering sector”とデータリンク画面に表示
 - ◇ メイン画面に飛行機が侵入するメッセージ
 - データリンク画面の“accept”ボタンをクリック
 - ◇ 受け入れ完了
 - “accept”のクリックミスの確率
 - “entering sector”の表示から，“accept”をクリックするまでの時間
 - メイン画面外に飛行機が移動
 - ◇ データリンク画面の“auto-hand”ボタンをクリック．引渡し完了
 - “auto-hand”のクリックミスの確率
- 記憶テスト
 - 課題終了時に表示されていた飛行機の位置について質問
 - ◇ 画面上の位置と高度
 - ◇ どの飛行機でも良い
- 認知負荷
 - NASA-TLX
 - 心拍変動
 - ◇ 認知負荷が高い場合，心拍変動は安定

Results

Performance: Detection of Potential Conflicts

- Table 1 は，飛行衝突危機の検出をミスした確率
 - 2(交通量：高/低)×2(制御：Active/Passive)×2(イベント：衝突の回避/実際に衝突)

の分散分析

- ◇ 交通量の主効果あり ($F(1, 13)=133.33, p<.001$)
 - 交通量：高(65.18%) > 低(14.73%)
- ◇ 制御の主効果なし
 - 制御：Active(41.07%) \simeq Passive(38.84%)
- ◇ イベントの主効果あり ($F(1, 13)=20.96, p<.001$)
 - イベント：衝突の回避(51.34%) > 実際に衝突(28.57%)
- ◇ 交互作用なし

TABLE 1: Mean Percentage (Standard Error) of Missed Events

	Moderate Traffic		High Traffic	
	Self-Separations	Conflicts	Self-Separations	Conflicts
Active	25.00 (6.42)	0.00 (0.00)	76.79 (1.79)	53.57 (8.23)
Monitoring	23.21 (5.54)	10.71 (5.69)	80.36 (5.96)	50.00 (9.08)

- 制御の主効果
 - ◇ 航空管制課題では、Active/Passiveのどちらも検出パフォーマンスは低い
- イベントの主効果
 - ◇ 飛行機が接近してから、操縦士が衝突を回避するよりも、実際に衝突するまでの方が、時間がかかる

● Table 2 は、飛行衝突危機の検出時間

- (操縦士が衝突を回避，実際に衝突する時間) – (“Conflict”ボタンを押した時間)
- 2(交通量：高/低) × 2(制御：Active/Passive) × 2(イベント：衝突の回避/実際に衝突)の分散分析
 - ◇ 交通量の主効果あり ($F(1, 13) = 17.41, p<.01$)
 - 交通量：高(189.99 秒) < 低(257.99 秒)
 - ◇ 制御の主効果なし ($F(1, 13)=8.86, p<.05$)
 - 制御：Active(250.85 秒) > Passive(197.12 秒)
 - ◇ イベントの主効果あり ($F(1, 13)=114.72, p<.001$)
 - イベント：衝突の回避(319.18 秒) > 実際に衝突(128.80 秒)

TABLE 2: Mean (Standard Error) Advanced Notification Times in Seconds

	Moderate Traffic		High Traffic	
	Self-Separations	Conflicts	Self-Separations	Conflicts
Active	364.31 (22.22)	141.62 (17.69)	329.82 (38.21)	167.66 (48.12)
Monitoring	382.64 (23.15)	143.38 (13.97)	199.93 (8.14)	62.53 (10.36)

- ◇ 制御と交通量の交互作用あり ($F(1, 13)=15.19, p<.01$) (Figure 1)
 - 交通量：低のとき
 - Active \approx Passive ($F(1, 13) < 1$)
 - 交通量：高のとき
 - Active $>$ Passive ($F(1, 13)=14.20, p<.01$)

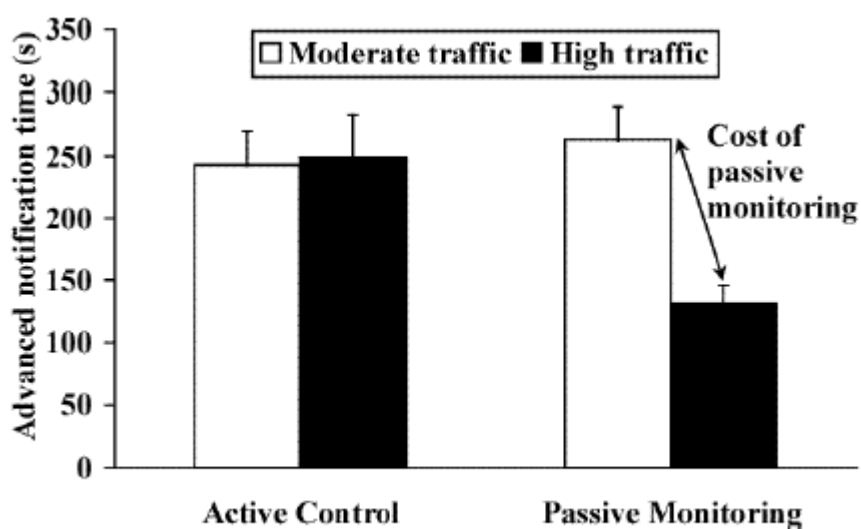


Figure 1. Mean advanced notification times (and standard errors) for conflicts and self-separations.

Accepting and Handing Off Aircraft

- “accept”に失敗した確率
 - 2(交通量：高/低)×2(制御：Active/Passive)の分散分析
 - ◇ 交通量の主効果あり ($F(1, 13)=5.03, p<.05$)
 - 交通量：高(2.64%) < 低(0.77%)
 - ◇ 制御の主効果, 交互作用なし

- “entering sector”表示から, “accept”をクリックするまでの時間
 - 2(交通量：高/低)×2(制御：Active/Passive)の分散分析
 - ◇ 交通量の主効果あり ($F(1, 13)=9.90, p<.01$)
 - 交通量：高(54.65 秒) > 低(37.86 秒)
 - ◇ 制御の主効果, 交互作用なし

- “auto-hand”に失敗した確率
 - 2(交通量：高/低)×2(制御：Active/Passive)の分散分析
 - ◇ 交通量の主効果に有意傾向($F(1, 13)=3.31, p=.09$)
 - 交通量：高(7.86%) > 低(2.61%)

- ◇ 制御の主効果, 交互作用なし

Memory

- Table 3 は, 記憶テストで, 飛行機の位置と高度を正しく答えた確率
 - 一要因の分散分析, Active と Passive の比較
 - ◇ 位置
 - 制御の主効果なし($F(1, 12) < 1$)
 - ◇ 高度
 - 制御の主効果に有意傾向($F(1, 12)=3.51, p=.09$)
 - 制御 : Active(16.67%) > Passive(6.25%)

TABLE 3: Mean Percentage (Standard Error) of Correct Aircraft Recalls

	Lateral Position Correctly Recalled	Altitude Correctly Recalled
Active (n = 6)	28.33 (5.11)	16.67 (4.77)
Monitoring (n = 8)	28.13 (7.44)	6.25 (3.24)
Total (N = 14)	28.21 (4.62)	10.71 (3.00)

- Active/Passiveの制御の違いによる影響は明確ではない

Mental Workload

- NASA-TLX
 - 2(交通量 : 高/低) × 2(制御 : Active/Passive)の分散分析
 - ◇ 交通量の主効果に有意傾向($F(1, 13)=39.82, p<.001$)
 - 交通量 : 高(69.08) > 低(51.76)
 - ◇ 制御の主効果, 交互作用なし
- 心拍変動
 - 一要因の分散分析, ベースラインと課題中の比較
 - ◇ 主効果なし($F(1,12)=2.60, p=.13$)
 - ベースライン(5.20) ≒ 課題中(5.50)
 - 2(交通量 : 高/低) × 2(制御 : Active/Passive)の分散分析
 - ◇ 交通量, 制御の主効果, 交互作用なし

Discussion

- 航空管制システム改善のための提案が出されてきた
(Eurocontrol, 1998; Federal Aviation Administration [FAA], 1997; Radio Technical

Commission for Aeronautics [RTCA], 1995; Wickens, Mavor, Parasuraman, & McGee, 1998)

- 航空管制官は、Active controllerからPassive monitorに役割を変更
- 今回の実験では、航空管制官のActive controllerとPassive monitoringを比較した

- Active controlとPassive monitoringに統計的な差はほとんどみられなかった
 - 交通量が多い場合、Passive monitoringは、Active controlよりも、衝突危機の検出時間がかかる
 - RTCA(1995), Eurocontrol(1998)の提案
 - ◇ 航空管制官は、航空機間の間隔を確保する責任を負わない
 - － 安全とはいえない

- 記憶テストで、Active controlとPassive monitoring に有意傾向がみられた
 - 先行研究では、記憶テストにおいて、Active controlの方が良いパフォーマンス (e.g., Endsley & Rogers, 1998; Gronlund et al., 1998)
 - 今回の実験では、記憶テストについては、課題前に説明しなかった
 - 交通量の高い状況でのみ記憶テストを行った
 - ◇ 認知負荷が高く、制御の違いが現れにくかった

- NASA-TLX, 心拍変動で、Active controlとPassive monitoringに差はみられなかった
 - どの条件でも、認知負荷が高かった可能性
 - ◇ 課題における情報が認知容量を超えていた(Norman & Bobrow, 1975)
 - ◇ 課題で使用した心拍変動モニターは、一定の心拍変動以上は測定できない (Aasman, Mulder, & Mulder, 1987)

- 航空管制のパフォーマンスは、学習や経験によって改善することができる (Hilburn & Parasuraman, 1997)

- 航空管制官が、航空機間の間隔を確保する責任を負う提案を支持する