手動制御系における視覚情報提示による技能習熟支援

○舟越 敬介¹, 壁屋 暁², 末長 修²

¹静岡大学大学院理工学研究科, ²静岡大学工学部

Skill learning aid system by displaying visual information in manual control system

Keisuke Funakoshi¹, Akira Kabeya² and Osamu Suenaga²

¹ Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University, ² Faculty of Engineering, Shizuoka University

1. はじめに

先の研究¹⁾において, 目標地点まで制御対象を移動させる手動制御系における人間の学習過程として, 「目標地点までの経路形成に対する方策」を習得した後, 「その経路追従のための制御対象の制御技能」を習得するといった段階的な学習過程を明らかにした. そこで本研究においては, これらの結果を踏まえて, 「目標地点までの経路の予見教示」を行った後, 「制御対象の予測教示」を行うという視覚支援情報提示による技能習熟支援を提案し, その有用性について実験的考察を行った.

2. 実験装置

図 1 に実験システムを示す. 操作器には Microsoft 社製のステアリングホイール (外径約 25cm) を用いた. 制御対象 $G(s)$ は次式により定義した.

$$G(s) = \frac{K}{(2s+1)^2} e^{-Ls} \quad (1)$$

本伝達関数は操作量 (ステアリング角) に対する制御対象の進行方向を表している. その進行方向に対して, 自動車シミュレータのように, 一定速度 (6 km/s) で制御対象が走行する環境を 3 次元グラフィックス・ライブラリ OpenGL により作成した. なお, 制御対象は 1/60 秒のサンプリング周期で離散化し, パーソナルコンピュータにより模擬した. ただし, $K=0.0045$, $L=1(s)$ と設定した. また, 経路計画の難しさを被訓練者に要求するため, 後述する動的障害物を導入した.

3. 理論

3.1 目標経路の予見表示

本実験における制御作業は, 動的障害物を回避しながら, 目標地点まで制御対象を移動させることである. そのため本実験における目標経路は, 制御対象から目標地点までの経

路, 動的障害物を回避するための回避経路, そして動的障害物回避後の目標地点までの経路の 3 つの経路から成る.

各経路は, 次式により近似し, 教示する (図 1 参照).

$$x = c_3 z^3 + c_2 z^2 + c_1 z + c_0 \quad (2)$$

3.2 制御対象の予測表示

操作量を保持したと仮定した場合の, 制御量の予測値 (制御対象の予測走行経路) を表示する. 本実験においては, 1.0 秒分の予測量を表示する.

3.3 回避支援システム

動的障害物を回避するための回避支援システムを構築し, これに基づいて生成される経路を表示する. 図 2 に回避支援システムの概略を示す. 図 2 に示すように, 動的障害物を中心とした半径 r_a 内に制御対象が入った時, その地点における制御対象の目標経路が同半径 r_b 内を通り抜けるような状況にあれば点 β を通過する回避経路を式 (2) に基づいて生成する.

図 1 実験システム

図2 回避支援システム

図3 電動カートと動的障害物

4. 実験方法

前述のように本研究においては、制御対象を z 軸（図1, 3参照）に漸近するように原点（目標地点）まで走行させることを作業課題とする。さらに図3に示すように、動的障害物を5個一直線上に等間隔で配置し、 z 軸に対してある一定角度で制御対象に向けて並進させた。

実験は、動的障害物の移動方向が5通り、制御対象の初期位置が5通りの、計25パターン（これを1セットとする）について測定を行った。被験者は、20代前半の大学生10名であり、これを無作為に5名ずつの2グループ（A, B群）に分けた。被験者A群では、第1セットは目標経路表示のみ、第2セットは制御対象の予測表示のみを常時提示し、第3セットは何も支援を受けず、制御対象の直接操作を行う。また、被験者B群においては、第1セット、第2セットとも、被訓練者の要求に従い、目標経路あるいは制御対象の予測経路、

図4 被験者A群

図5 被験者B群

もしくは両経路とも表示するニーズ適応型支援を行った。ただし、各経路の表示は操作器付随の押しボタン（図1参照）を押すことによって行われた。第3セットは、被験者A群と同様に制御対象の直接操作を行う。

各被験者の学習過程を定量的に評価するため、目標経路と制御対象の走行経路との誤差面積 J を求めた。

5. 結果および考察

各被験者群における J の平均値と標準偏差の推移をそれぞれ図4, 5に示す。

第3セット（試行回数51~75回の25試行）における被験者群間の誤差面積 J について、 t 検定を行った結果、被験者群に統計的有意差が認められ、人間の学習過程に基づいた本支援方法の有用性が確認された。

6. むすび

本研究で提案した支援方法により、被訓練者の技能は効率的に習熟することを明らかにすることができた。ニーズ適応型支援方法では被訓練者に「ボタンを押す」という作業が必要であったため、これが制御負担となったと考えられる。今後の課題として、本支援法における支援のバランス（各経路の表示により支援する試行回数）を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 末長修：手動制御系における視覚支援情報提示による技能習熟特性の基礎解析，人間工学，40(5)，272-275，2004