原著論文

簡易テレグジスタンスを導入したラジコンカー操作時の感性評価

井手口 健*, 矢崎 裕二**

* 東海大学産業工学部, ** 九州ネットワークケーブル(株)

Sensibility Evaluation when Operating Radio-controlled Toy Car Adopting Simple Tele-existence

Tsuyoshi IDEGUCHI* and Yuji YAZAKI**

* Tokai University, 9-1-1 Toroku, Kumamoto-shi, Kumamoto 862-8652, Japan

** Kyusyu Netwok Cable Co., Ltd., Kosa-machi Kamimashiki-gun, Kumamoto 861-3241, Japan

Abstract : We have evaluated variations in sensibility when we operate a radio-controlled toy car using controllers with variable level of tele-existence. We installed a wireless camera and a microphone on a radio-controlled toy car and developed two simple tele-existence controllers to operate the car. The operator can watch the scenery and hear the sound at the car either on a head-mount display (HMD) and a headphone set or on a large-size regular display and a speaker. Using controllers with those two tele-existence systems and without, we evaluated variations of psychological and sensibility conditions through several subjectivity evaluation experiments. First, we found that the level of feeling of force, reality and interest is higher with the case of simple tele-existence system using HMD than both the tele-existence system using the large-sized display and no tele-existence cases. Next, various sound effects such as the engine sound and music and vibration effects based on the engine sound were added to the tele-existence controllers and their effects were studied. The factor analysis of the data from the case with HMD resulted in the following five main factors: the impact factor, comfort factor, pleasure factor, good-feeling factor and tightening factor. The impact factor increased when both the sound effect such as the engine sound and music and vibration based on the engine sound are added. The good-feeling factor increased when operating the car while listening to music only. Finally, we found that the feelings of fear and of shock were generated when operators caused collisions while they drove the toy car using HMD. This suggests that the operation of a radio-controlled toy car with the simple tele-existence using HMD can induce a psychological state similar to that at the time of traffic accidents.

Keywords : Tele-existence, Radio-controlled toy car, Sensibility evaluation, objective evaluation

1. はじめに

遠隔地に置いたロボットを自分の分身として利用することで、自宅にいながらにして、あたかもその遠隔地にいるかのような臨場感を持って作業やコミュニケーションを行うテレグジスタンスという概念が館等によって提唱されている[1]。すなわち、遠隔ロボットの視覚、聴覚、触覚等の知覚情報を無線通信等の手段により受けながら、このロボットを制御することにより、遠隔における作業やコミュニケーションを実行するといった技術がテレグジスタンスを可能としている。遠隔手術等の医療分野、危険な場所での作業などの建設分野、旅行など様々な分野への展開が目指されている。現時点では、テレグジスタンスを実現するための要素技術とその統合技術に関する研究事例は数多く見られるが、人の感性に及ぼす影響という観点からの研究は少ないように思われる[2]。

一方、アミューズメントの領域においてもこのテレグジスタンスの概念を導入した玩具が出始めている。無線カメラとマイクを搭載したラジコンカーやラジコンヘリコプターを遠隔地で据え置きディスプレイやヘッドマウントディスプレイ（以降HMDと記述する）を見ながら操作する手法などである。これらは視覚と聴覚のみを対象とした限定的なテレグジスタンスであり、本論文では、これを簡

易テレグジスタンスと呼ぶ。しかし、限定的とはいえ、アミューズメントを対象にしているこれらの玩具に簡易テレグジスタンスを導入した場合の感性評価は大変重要である。しかし、このようなアミューズメント技術の提案と提供はなされているが[3]、その技術的根拠となる感性評価およびその評価結果に基づく設計指針についての研究はほとんどなされておらず、市本等によりラジコンカーを用いた遠隔現実について、移動のし易さという観点での調査実験が行われているに過ぎない[4]。

ラジコンカーやラジコンヘリコプターのように人体と比べてスケールの小さな玩具でテレグジスタンスを実現しようとする場合、聴覚や触覚や体制感覚については現地でセンシングされる情報を再現させること自体に無理があることなどが推察される。その点で、医療分野や危険な場所での作業分野などで導入される本格的なテレグジスタンスとは一線を画す。このような観点も考慮し、今後の簡易テレグジスタンスを導入した玩具開発に反映するためにも感性評価データの蓄積が望まれる。

本研究は、玩具のラジコンカーに簡易テレグジスタンスを導入する場合の設計に反映することを目的に、簡易テレグジスタンスを導入したラジコンカーの操作中に受ける心理や印象の変化の抽出を主観評価実験により試み、問題点の抽出と対応策を検討することとする。

具体的に検討する内容は、i) 簡易トレイグジスタンスを取り入れることによる、迫力、スピード感、面白さ、操作性への影響と問題点の抽出、および問題点への対処方法の検討、ii) 人体に比べてスケールの小さな玩具に簡易トレイグジスタンスを適用した場合の、音と触覚刺激が感性面に与える影響の評価とこれらの刺激の効果的な付与方法の検討、iii) 実体験できない事故などでの心理を探るシミュレーターとしての可能性の把握、である。

2. 簡易トレイグジスタンスを導入したラジコンカーの運転

本研究では、ラジコンカーにマイクロホン付き無線カメラを取り付け、その映像と音をHMDとヘッドホンに無線電波で送り、そのHMDとヘッドホンを装着した操作者がラジコンカーを操作する環境を構成した。このような環境で操作者がコントローラーでラジコンカーを動かすと、あたかもラジコンカーの運転席に乗って運転しているような状況、すなわち簡易トレイグジスタンスを体験できる。

図1に、ラジコンカーにマイクロホン付き無線カメラを取り付けた状態、操作者がHMDとヘッドホンを介して見ている映像例、および操作者がHMDを装着してラジコンカーを操作している状態を示している。実験で用いたラジコンカーは、モーターをリヤに搭載した後輪2輪駆動タイプであり、遠隔操作をする無線周波数は27MHz帯である。ラジコンカーに搭載した無線カメラは、型式812C（イメージセンサー：1/3 OmniVision CMOS、有効画素数：NTSC 510×492 レンズの画角：左右54°）であり、無線周波数は2.4GHz、

(1) ラジコンカーの前方に無線カメラを取り付けた状態

(2) 無線カメラによる撮影映像

(3) HMD を装着して操作している状態

図1 簡易トレイグジスタンスによるラジコンカーの操作

送信距離は500m～600mである。無線カメラはラジコンカーのボンネットの先端に、高さ6cm、仰角-10°で取り付けた。無線カメラで撮影した映像は無線カメラ用のReceiver and Digital Recorder (2.4G Wireless PAR) を介してHMDに出力した。HMDはグラストロン（SONY 製、PLM A-35）である。HMDを装着した時に、両眼の脇が開いていると外部の景色が漏れて見え、画面への没入感が損なわれるため、黒い発泡スチロールをHMDの淵に装着した。ただし、今回の実験ではHMDにはトラッキング機能が付いていないため、常にカメラ正面の映像を視覚するという限定的なものである。

3. 簡易トレイグジスタンスによるラジコンカー操作時の感性評価

本章では、ラジコンカーを遠方から直視しながらリモート操作する従来の操作方法に対して、据え置きディスプレイとHMDを用いた簡易トレイグジスタンスによりラジコンカーを操作する方法が各々感性面でどのような魅力を有しているのか、そして問題がどこにあるのかを主観評価実験により抽出した。

3.1 実験方法

評価するラジコンカーの操作方法是図2に示す3種類とした。i) ラジコンカーを直視してリモート操作する方法、ii) ラジコンカーに搭載した無線カメラからの映像を42インチプラズマディスプレイに映し、その映像を見ながらラジコンカーをリモート操作する方法、iii) ラジコンカーに搭載した無線カメラからの映像をHMDに映し、その映像を見ながらラジコンカーをリモート操作する方法、である。なお、本実験では、ii) と iii) は両方ともヘッドホンは装着せず、映像のみを見ながらラジコンのリモート操作を行っている。

図2 ラジコンの操作スタイル

簡易トレイグジスタンスを導入したラジコンカー操作時の感性評価

それぞれの操作方法で、実験室に設置した全長17mのコースを一周してもらい、迫力感、スピード感、面白さ、操作性の評価を、シェッフェの一対比較法を用いて実施した。シェッフェの一対比較法はカテゴリー判断を取り入れたものであり、対にして呈示される刺激を比べてどちらがどれだけ魅力があるか等の判断を求めるものである[3]。さらに被験者が判断した評価点を序数尺度のまま統計的検定を行うものである。

これらの3種類の操作方法の各組み合わせ対に対して、どちらの方法が迫力感があるのか、スピード感があるのか、面白いのか、操作し易いのかの判断を7段階評価で行い、各々の印象について各操作方法の順位マップを求めた。一般に、視聴覚刺激を時系列で呈示する場合は順序効果が大きいことが知られている。従って、本実験ではA→B、B→Aの両方の順序を取り入れて、6通りの組み合わせで判定する「浦の変法」を用いた[5]。被験者は20才前後の8人である。

3.2 実験結果

図3は、各聴取方法の平均迫力感、平均スピード感、平均面白さ、平均操作性を数直線上に配置したものである。本図において各プロット点の有意差検定を行った結果を以下に示す。なお、以下の文中において、 $A < B$ という記述は、99%の信頼度でAよりBのほうが大きいことを意味し、 $A \sim B$ という記述は、AとBの間には99%の信頼度で差がないことを意味している。

i) 迫力感

まず、分散分析を行い、主効果、順序効果は1%で有意であるという結果が得られた。主効果が有意であったため、どの聴取方法間に有意差があるのかを確かめた。計算して得られた1%有意水準のヤードスティック $Y_{0.01} = 0.680$ を用いて、99%信頼区間を求めた結果、3つの操作方法の全ての間には有意差があり、直視 < モニター < HMDとなっている。

ii) スピード感

分散分析の結果、主効果、順序効果が1%で有意であった。1%有意水準のヤードスティックを計算すると、 $Y_{0.01} = 0.586$ となり、その値を用いて99%信頼区間を求めた結果、直視 < モニター < HMDとなっている。

図3 シェッフェの一対比較法による各操作方法の評価結果

iii) 面白さ

i), ii)と同様、分散分析の結果、主効果、順序効果が1%で有意であった。1%有意水準のヤードスティックを計算すると、 $Y_{0.01} = 0.586$ となり、その値を用いて99%信頼区間を求めた結果、直視 < モニター < HMDとなっている。

iv) 操作性

分散分析の結果、主効果、順序効果が1%で有意であった。1%有意水準のヤードスティックを計算すると、 $Y_{0.01} = 0.706$ となり、その値を用いて99%信頼区間を求めた結果、モニター < HMD < 直視となった。

実験結果から、簡易トレイグジスタンスによる操作は直視に比べて、「迫力」「スピード感」「面白さ」において平均スコアがすべて高く、さらに簡易トレイグジスタンスでもモニターに比べHMDのほうがこれらの感性スコアが大きくなることがわかった。このことから、HMDを介したカメラ目線でのラジコン操作が実際ラジコンカーに乗って運転している感覚を提示しており、そのことが迫力感や臨場感、面白さの増大に寄与していると言える。しかし操作性の面においては、直視のほうが圧倒的に操作しやすいという結果になった。これは直視の場合、走行路の鳥瞰的な認識が操作をやり易くしているためだと考えられる。実際、被験者からは本実験によるカメラ目線では走行路の位置取りに幾分困難を感じたとの感想が多かった。

4. 無線カメラの装着位置を変えた場合のラジコン操作時の感性評価

前章で、簡易トレイグジスタンスによるラジコンカーの運転には操作性に難があるとの結果が出た。そこでラジコンカーへの無線カメラの装着位置を変更することにより操作性の改善が図れるかどうかを主観評価実験により確認した。

4.1 実験方法

筆者等は図4に示すように、ラジコンカーのボンネットの先端がカメラ目線で見えるように無線カメラを設置した。設置場所はラジコンカーの荷台で高さ20cm、仰角-20°とした。自動車を運転する場合、自分が乗っている自動車の一部を視野に入れることにより道路の走行位置を確認しながら運転している状況を考慮したものである。この現象を取り入れるこ

(1) カメラ設置

(2) HMDを介した映像

図4 ラジコンカーのボンネットの前方が見えるようにカメラを設置した状態

とで簡易トレイグジスタンスによるラジコンカーの操作性を上げることができるのではないかと考えた。

前節の実験と同様、評価するラジコンカーの操作方法は、i) ラジコンカーを直視してリモート操作する方法、ii) ラジコンカーに搭載した無線カメラからの映像を42インチプラズマディスプレイに映し、その映像を見ながらラジコンカーをリモート操作する方法、iii) ラジコンカーに搭載した無線カメラからの映像をHMDに映し、その映像を見ながらラジコンカーをリモート操作する方法、の3種類である。前節の実験と同様、ヘッドフォンは装着していない。評価項目も同様に、迫力感、スピード感、面白さ、操作性とし、シェッフェの一对比較法を用いた。

4.2 実験結果

図5は、各聴取方法の平均迫力感、平均スピード感、平均面白さ、平均操作性を数直線上に配置したものである。本図において各プロット点の有意差検定を行った結果、「迫力」「スピード」「面白さ」「操作性」の4種類の評価項目ともに、主効果、順序効果が1%で有意であった。そこで、1%有意水準のヤードスティックをそれぞれ求めてそれぞれの操作方法間の有意差検定を行った。

迫力感の1%有意水準のヤードスティックは、 $Y_{0.01}=0.710$ となり、直視<モニター~HMDとなった。スピード感の1%有意水準のヤードスティックは、 $Y_{0.01}=0.886$ となり、直視<HMD~モニターとなった。面白さの1%有意水準のヤードスティックは、 $Y_{0.01}=0.867$ となり、直視<モニター~HMDとなった。さらに操作性の1%有意水準のヤードスティックは、 $Y_{0.01}=1.097$ となり、直視~HMD<モニターとなった。

3節の実験結果と比べると、ばらつきが大きくなっており、迫力感、スピード感、面白さは直視に比べて準トレイグジスタンスの平均スコアは大きくなっているが、HMDとモニターの差は無くなっている。一方、操作性の面においては、3節の実験では直視のほうが準トレイグジスタンスに比べて操作し易かったのに対し、今回の実験では、直視とHMDによる簡易トレイグジスタンスの差は無くなっており、モニターによる準トレイグジスタンスが操作しやすいという結果になった。

図5 シェッフェの一对比較法による各操作方法の評価結果

これらのことから、簡易トレイグジスタンスであっても視点の工夫で操作性を向上できることが分かった。その工夫の一つとして、自分が乗っている自動車のボンネットの先端を視野に入れることにより操作性が向上することが確認できた。なお、HMDによる簡易トレイグジスタンスとモニターによる簡易トレイグジスタンスの感性面での違いはカメラ位置（高さ、仰角、画角）に依存しているように思われるが、今回の実験ではその依存性は分析できていない。

5. 音と振動触覚刺激を加えた場合の感性評価

本章では、人体に比べてスケールの小さな玩具に簡易トレイグジスタンスを適用した場合の、音と触覚刺激が感性面に与える影響の評価とこれらの刺激の効果的な付与方法の検討を行った。

まず、簡易トレイグジスタンスによるラジコンカーの操作は、どのような印象構造を持つのかをSD法による主観評価により明らかにした。次に、これらの印象の増幅度合いがマイクロホンで拾ったラジコンカー走行音や効果音、効果振動触覚付与によってどのように変化するのかを実験し、音や触覚刺激の効果的な付与方法を検討した。

5.1 実験方法

図6に示すように、被験者にはボディーソニックに座ってもらい、HMDとヘッドホン装着してラジコンカーを操作してもらうこととした。ボディーソニックは、いすに座って音楽を聴きながら、その振動をも全身に伝えて心身をリラックスさせる体感音響装置である[6]。ベッドのユニットにスピーカーと音振動変換トランスデューサーが組み込まれている。振動を感じる部位は、腰、肩、太もも、ふくらはぎにあり、被験者は全身的な振動を感じる。

本実験では、ヘッドマウントディスプレイによる視覚に加え、無線カメラに取り付けたマイクロホンで拾うラジコンカー走行音、自動車の走行音の録音データ（フリー）を用いた効果音、音楽を用いた効果音、およびその音源の低周波成分から取り出した振動を刺激として与えることとした。振動

図6 効果音と振動触覚を加えたラジコン操作

簡易トレイグジスタンスを導入したラジコンカー操作時の感性評価

刺激はボディーソニックを用い、音は別途密閉型ヘッドホンで与えることとした。なお、自動車の走行音を用いた効果音、音楽を用いた効果音、効果振動触覚はラジコンカーの操作時に一律に付与しており、リモコンカーの動きと同期させてはいない。

HMDを装着した準トレイグジスタンスによるラジコンカーの操作方法を下記の8種類とした。

①音と振動を付与しない操作、②振動を付与した操作、③実際の音を付与した操作、④音楽を付与した操作、⑤自動車走行音を付与した操作、⑥振動および実際の音を付与した操作、⑦振動および音楽を付与した操作、⑧振動および自動車走行音を付与した操作である。そしてその際の印象をSD法による主観評価実験により求めた[7]。実験に用いた印象語対は、岩宮等が音と映像によるマルチメディアコミュニケーションの評価に用いた印象語対とした[8]。すなわち、「早いー遅い」、「軽いー重い」、「涼しいー暑い」、「臨場感があるー臨場感がない」、「心地よいー不快」、「楽しいーつまらない」、「明るいー暗い」、「疲れるー疲れしない」、「ノリがいいーノリが悪い」、「迫力があるー迫力がない」、「力強いー貧弱」、「白熱したー淡々とした」、「好きー嫌い」、「ユニークなーつまらない」、「派手なー地味な」、「印象深いー印象薄い」、「幻想的なー現実的な」、「陽気なー陰気な」、「単調なー多様な」、「引き締まったーたるんだ」の20種類である。各印象語対に対して7段階の評定を行った。本検討では、この7段階のカテゴリー間には近似的に心理的等間隔性が成り立っているものとして間隔尺度として扱っている。被験者は20歳前後の男性10人である。

5.2 実験結果

実験より得られたデータから20種類の印象語対間の相関関係を見出し、それらの背後にある共通因子を探るために因子分析を行った[5]。因子抽出には反復主因子法を用いた。印象語対間の相関係数を求めるに当たっては、ラジコン操作方法8種類×10名の計80サンプルの全評定スコアを用いた。因子負荷量の計算にあたっては、相関行列に対する固有値が0.8以上となる固有値を採り上げることとし、共通因子数を4とした。第1因子が固有値5.86、寄与率が29.3%、第2因子が固有値3.11、寄与率15.6%、第3因子が固有値1.19、寄与率5.9%、第4因子が固有値0.86、寄与率4.3%となり、累積寄与率が55.1%である。共通性の初期値は相関行列の各列の最大値とし、共通性の反復推定により収束した因子負荷量を算出している。

次にバリマックスの直交回転を行い、因子負荷量の絶対値が0.50以上の評価語対をグルーピングした因子負荷量表を求めた。その結果が表1である。抽出された4つの因子の命名は次のようにして行った。各因子において、因子負荷量の絶対値が0.7を超えるような印象語対を対象とし、因子負荷量が正の場合は左側の印象語を、負の場合は右側の印象語を考慮して命名した。その結果、第1因子は、「派手な」、「力強い」、「迫力がある」、「白熱した」という印象語の因子

表1 ラジコンカー操作時の感性因子分析結果

	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子
派手な	0.81	0.19	-0.04	0.02
力強い	0.79	0.09	-0.05	0.08
迫力がある	0.74	0.19	0.00	0.03
白熱した	0.72	0.32	0.15	0.00
明るい	0.67	0.21	0.19	-0.34
ユニークな	0.62	0.46	0.14	0.29
印象深い	0.55	0.40	0.10	0.14
涼しい	-0.68	0.24	0.36	-0.03
楽しい	0.30	0.82	0.13	0.04
ノリがいい	0.42	0.77	0.14	0.06
速い	0.02	0.67	0.08	-0.15
好き	0.27	0.20	0.90	0.10
心地よい	-0.04	0.50	0.63	-0.06
軽い	-0.10	0.23	0.52	-0.16
引き締まった	0.02	-0.03	0.24	0.68
臨場感がある	0.32	0.28	-0.05	-0.36
疲れる	0.41	-0.23	-0.49	-0.20
幻想的な	-0.01	-0.12	0.43	0.10
陽気な	0.48	-0.02	-0.21	-0.03
単調な	0.10	0.05	-0.21	0.29

負荷量が+0.7より大きいことからインパクト因子と名付けた。第2因子は、「楽しい」、「乗りがよい」という印象語の因子負荷量が+0.7より大きいことから楽しさ因子、第3因子は、「好きな」という印象語の因子負荷量が+0.7より大きいことから好感因子、第4因子は、「引き締まった」という印象語の因子負荷量が+0.68より大きいことから引き締まり感因子と名付けた。すなわち、音や振動触覚を付与しながらHMDでラジコンカーの前方を見てラジコンカーを操作する準トレイグジスタンスにおいて、被験者が感じる共通因子として、「インパクト因子」、「楽しさ因子」、「好感因子」、「引き締まり因子」が抽出できた。

次に、8種類のラジコンカー操作方法（属性）において各属性別に、被験者10人の因子得点を求めた。因子得点は回帰推定法により求めている。図7に、縦軸がインパクト因子得点、横軸が好感因子得点のそれぞれの平均値をプロットしている。

ここで、比較の基準をHMDを装着して音と振動触覚を付与しない場合にとると、以下の結果が得られている。インパクト因子が大きくなるのは、効果音と振動触覚を付与した場合であり、特に自動車走行効果音とそれに伴う振動触覚を付

図7 各ラジコン操作方法の因子得点平均値

与したときが最も大きくなっている。また、好感因子が大きくなるのは、振動有りなしに関わらず音楽を聴きながら操作する場合である。

自動車走行効果音とそれに基づく振動触覚は、実際に自動車を運転しているドライバーが現場で知覚するものである。簡易トレイグジスタンスにおいては、現場で知覚する刺激を付与することがインパクト感を誘発するのに有効であることは予測できたことであるが、聴覚刺激と触覚刺激の一つが欠けるとインパクト感は減る結果となっている。

また、マイクロホンから拾った音を付加する条件は、簡易トレイグジスタンスとしては、視覚とともに聴覚もラジコン操作者に感じさせるという意味でインパクト感が増加しているが、好感因子は著しく低下している。これは、ラジコン走行音が必ずしも魅力のあるものではなかったことに起因すると思われる。すなわち、好感因子やインパクト因子は必ずしも現場での知覚条件を満たせば得られるというものではないとの結果になっている。それよりも、実際の自動車のエンジン音や音楽で脚色された音や振動刺激を付与する方が魅力的であることを示唆している。また、実際の音と効果振動を付与した実験は、効果振動と音に関連性がないためにインパクト因子、好感因子ともに低いスコアになっている。今回の実験では、付与した聴覚、触覚刺激が限られたものであるため、感性増幅に向けて一般化できる知見を得るためには、視覚、聴覚、触覚刺激条件を更に精細に調査する必要がある。

6. 衝突時の心理評価

実際の自動車の衝突事故や、路側からの落下事故など不測事態時の運転手の心理状態は実験で把握することはできない。本章では、ラジコンカーの衝突事故を発生させ、通常のラジコン操作時と簡易トレイグジスタンス時に感じる恐怖感や衝撃感の違いを把握し、実体験できない事故などでの心理を探るシミュレーターとしての可能であるかどうかを検討した。

6.1 実験方法

ラジコンカーでコースを走行中に不意に他のラジコンカーを脇からコースに侵入させ、衝突させる状況を設定した。図8のように正面衝突する際に生ずる恐怖感と衝撃感を主観評価した。i) ラジコンカーを直視してリモート操作する方法、ii) ラジコンカーに搭載した無線カメラからの映像を

図8 ラジコンカー同士を正面衝突させた後の状態

42インチプラズマディスプレイに映し、その映像を見ながらラジコンカーをリモート操作する方法、iii) ラジコンカーに搭載した無線カメラからの映像をHMDに映し、その映像を見ながらラジコンカーをリモート操作する方法、の3種類の操作方法について、恐怖感と衝撃感をシェッフェの一対比較法で比較した。なお、本実験では音や振動を伴わない視覚のみによる実験とした。これらの3種類の操作方法の各組み合わせ対に対して、どちらの方法が恐怖感があるのか、衝撃感があるのかの判断を7段階評価で行い、各々の印象について各操作方法の順位マップを求めた。被験者は20歳前半の男性8名である。

6.2 実験結果

図9は、各聴取方法の平均恐怖感、平均衝撃感を数直線上に配置したものである。本図において各プロット点の有意差検定を行った結果、恐怖感、衝撃感ともに、主効果、順序効果が1%で有意であった。そこで、1%有意水準のヤードスティックをそれぞれ求めてそれぞれの操作方法間の有意差検定を行った。恐怖感の1%の有意水準のヤードスティックは、 $Y_{0.01}=0.672$ となり、直視<モニター<HMDとなった。衝撃感の5%の優位水準のヤードスティックは、 $Y_{0.05}=0.852$ となり、直視~モニター<HMDとなった。恐怖感と衝撃感ともにHMDを装着した準トレイグジスタンス時に大きく感じられる結果となっている。同じ簡易トレイグジスタンスであっても、プラズマディスプレイによるモニターよりHMD装着時の方がはるかに大きな恐怖感と衝撃感を感じさせているのは、後者の方が画面への没入感が大きく、そのことが恐怖感と衝撃感をさらに増幅するためだと考えられる。直視では、鳥瞰視点により衝突対象車との衝突を予測できるため、恐怖感も衝撃感も感じなかったと考えられる。本実験結果から、普段体験できない事故における心理状態を、HMDを装着した視覚のみによる簡易トレイグジスタンスで体験することができることが示唆される。

7. ま と め

ラジコンカーに無線カメラを搭載し、その映像を大型モニターやHMDで見ながらラジコンカーを操作するという簡易トレイグジスタンスの状況を作り出し、ラジコン操作中に受ける心理や印象の変化の抽出を主観評価実験により試みた。

図9 シェッフェの一対比較法による各操作方法の評価結果

簡易トレイグジスタンスを導入したラジコンカー操作時の感性評価

被験者が20歳代前半の男女10名前後、被験操作方法の種類などが限定的な条件での評価実験であったが、下記の結果が得られた。

- i) HMDによる簡易トレイグジスタンスは、大型モニターによる簡易トレイグジスタンスや直接ラジコンカーを見ながら操作する状態に比べ、迫力感や臨場感、面白さが増大する。逆に簡易トレイグジスタンスでは操作のし易さが損なわれる。
- ii) 簡易トレイグジスタンスによるラジコンカーの操作性については、視界にボンネットの一部を見せるなど視点の工夫で操作性を向上できる。
- iii) HMDを装着した簡易トレイグジスタンスによるラジコンカー操作時に人が感じる独立な共通因子として、インパクト因子、楽しさ因子、好感因子、引き締まり因子を抽出した。さらに、エンジン音や音楽といった効果音、およびエンジン音に基づく効果振動を付与するとインパクト因子が増大する。また、振動付与の有無に関わらず効果音楽を付与すると好感因子が増幅される。このように人体よりはるかに小さいラジコンカーなどの玩具に対しては、マイクロホンで実際に拾う音や振動より、音楽や効果音、効果振動がインパクト感や好感因子を増幅するのに有効である。
- iv) ラジコンカー同士の衝突実験において、恐怖感と衝撃感ともに、HMDを装着した簡易トレイグジスタンス時に大きく感じられる。簡易な方法であっても、実体験できないシチュエーションでの心理を探るアプリケーションの提供も可能であることを示唆している。

今後の課題は、ラジコンカーの動きと同期した効果音や効果触覚刺激を付与した場合の感性評価である。今回の結果は、限定的な条件での、簡易トレイグジスタンスに基づくラジコン操作を対象にしたものであるが、今後アミューズメントの領域で玩具に簡易トレイグジスタンスを導入する場合の設計指針に反映しうるものと考ええる。

謝 辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（基盤研究C：20500197）の助成を受けて行われた。ここに深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- [1] S. Tachi, K. Tanie, K. Komoriya, M. Kaneko: Tele-existence (I): Design and Evaluation of a Visual Display with Sensation of Presence, RoManSy 84 The Fifth CISM-IFTToMM Symposium 1984, pp.206-215.
- [2] 柳田康幸：トレイグジスタンス視覚系の最近の研究動向，システム／制御／情報，Vol.46, No.12, pp.745-750, 2002.
- [3] John Mouton 著，金井哲夫訳：バーチャルリアリティで操作するラジコンバハバギー，Make: Technology on your time (発行 オライリージャパン)，Vol.05, pp.94-105, 2008.
- [4] 市本圭，細谷多門：ラジコンカーを用いた遠隔現実の調査実験（第二報），第13回日本感性工学会大会（第二報），G46, 2011.
- [5] 新版官能検査ハンドブック，日科技連，1973.
- [6] T. Wigram and C. Dileo (著)，小松明(訳)：振動音響療法音楽療法への医療工学的アプローチ，人間と歴史社，2003.
- [7] 岩下豊彦：SD法によるイメージの測定，川島書店，pp.43-129, 1996.
- [8] 岩宮眞一郎：音楽と映像のマルチモーダル・コミュニケーション，九州大学出版会，pp.19-49, 2000.

井手口 健 (正会員)

1971年 九州大学工学部通信工学科卒業。同年日本電信電話公社（現NTT）入社。1996年 九州東海大学工学部電子情報工学科教授に転職。現在、東海大学産業工学部電子知能システム工学科教授。この間、電磁環境の評価・対策技術の研究および感性工学の研究に従事。博士(工学)。IEEE EMCソサエティ（シニア会員）、電子情報通信学会、日本感性工学会会員。

矢崎 裕二 (非会員)

2010年 東海大学産業工学部電子知能システム工学科卒業。同年九州ネットワークケーブル株式会社に入社。在学中、感性工学の研究に従事。