自動車用統合スイッチと非統合スイッチの操作性比較*

村田厚生**, 森若 誠**, 王 曙光**

The aim of this study was to examine the effects of switch type and layer of display structure on the automobile usability. The effects were also compared between young and older adults. The layer of display structure did not affect the performance as long as the information was kept constant. The task completion time and the tracking error of older adults were about 2 times and 1.6~1.7 times of young adults, respectively. The subjective rating on visibility and usability of integrated switch was as a whole inferior to that of non-integrated switch. As for young adults, the switch type and its location affected the task completion time. The non-integrated switch arranged on the steering wheel led to the shortest task completion time and the shorter tracking error. It was verified that the integrated switch at its present form did not lead to shorter task completion time and smaller tracking error. Under the dual-task condition, the switch type and its location did not affect both task completion time and tracking error of older adults. This might be inferred that the workload is above the limit of older adults under such a condition.

本研究では、高齢者群と若年者群を対象に、非統合スイッチとの比較実験によって、統合スイッチの有効性を検討した。また、ディスプレイの階層化がスイッチ操作に及ぼす影響を明らかにした。高齢者のスイッチ操作の平均作業時間とトラッキング誤差は、それぞれ若年者の約2倍程度と約1.6~1.7倍程度であった。ディスプレイの階層化に関しては、両年齢群ともに、作業時間、正答率、トラッキング誤差への影響が認められなかった。見やすさ、操作しやすさの主観評価の観点からは、両年齢群ともに、統合スイッチの有効性は見出されなかった。若年者群の単独課題、二重課題および高齢者群の単独課題では、スイッチタイプと設置位置が作業時間に及ぼす影響が認められ、非統合スイッチをステアリング部に設置した場合の作業時間が有意に短く、省スペース効果がある統合スイッチのパフォーマンスは必ずしも高くならなかった。高齢者群の二重課題条件では、スイッチタイプと設置位置が作業時間に及ぼす影響は認められなかったことから、二重課題条件下ではいずれのスイッチタイプと設置位置の組み合わせ条件も能力の限界を超えた作業条件であり、ステアリング・スイッチの正の効果が認められなかったのではないかと推測された。(キーワード: 統合スイッチ, ステアリング・スイッチ, 設置位置, 階層ディスプレイ, 高齢者)

1. 序 論

近年、自動車技術の発展に伴い、自動車インターフェースが複雑になっている。カーナビゲーションシステムをはじめとする車載情報機器が普及し、今後ITS（高度道路交通システム）の進展により、運転席の周りの操作がさらに複雑化すると考えられる。カーナビなど車載情報機器の提示する情報（主に視覚情報）は運転に影響を及ぼす場合があり^{1,2)}、ドライバが運転中に情報機器操作を行うと操作機器に集中してしまい、前方に対する注意が散漫になる可能性が高い。従って、このような情報機器

を使うドライバの操作負担と認知負担を正しく評価し、安全性と効率性を満足する車載情報機器を開発することが重要な課題となっている。

安全な車載情報機器やコックピット・モジュールを設計していくためには、ドライバの視覚的行動や操作行動に関する知識が必要不可欠になる。自動車用コックピット・モジュールでの車載機器の操作によって視覚的負担や操作負担が増加することが示唆されている（Wirewille³⁾、Wickman⁴⁾）。自動車用コックピット・モジュール内には、ノブ、レバー、押しボタン、ロータリースイッチ、トグルスイッチなどの様々なコントロールが配置されている（McCormick⁵⁾）。これらのコントロール類は、主としてラジオ操作や車内温度調節のために利用されている。これらのコントロール類の操作性は、設置位置、使用頻度、区別のしやすさなどによって影響され（McCormick⁵⁾）、さらには表示装置との関連においてコントロール

* 受付：2008年9月25日 受理：2009年5月28日

** 岡山大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

を設置しなければならないことが示されている (Murataら⁶⁾, 森若ら⁷⁾). Murataら⁶⁾ は, location compatibilityを配慮し, 表示系と操作系をトータルなシステムとしてデザインすることによって, 特に高齢ドライバーに対する操作性が高くなることを明らかにした. 森若ら⁷⁾ は, 自動車用ディスプレイとコントロールの設置位置をどのように組み合わせれば運転中のスイッチ操作の効率がアップするかを明らかにした.

Dukicら⁸⁾ は, スイッチ (押しボタン式) の配置がドライバーの視覚行動に及ぼす影響を及ぼすかを調査した. 実際の道路での運転時のスイッチの配置 (正面を向いて運転しているときのアイポイントからの水平方向の離心率によって特徴づけを実施) と中心視から脇見に移した場合の脇見時間 (visual time off road) の関係を検討した. その結果, 離心率が高くなるにつれて, スイッチ押しに伴う脇見時間が長くなり, 安全性に対する主観評価が低くなることが示された. ただし, クラッチレバーの後ろに設置された (ドライバーの右側方に設置された (左ハンドル車の場合)) スイッチに関しては, 離心率が高いにもかかわらず, 脇見時間は離心率が最も小さい条件に次いで短くなった. BMW5シリーズのiDriveはほぼこの位置に設置されており, この結果から, Dukicら⁸⁾ は, 統合スイッチの設置位置としてドライバーの側方が望ましいのではないかと推測した.

Dukicら⁹⁾ は, 高齢者および若年者の2つの実験群に対してDukicら⁸⁾ とほぼ同様の実験を実施し, ボタン位置と年齢の交互作用は脇見時間に対しては, 認められず, 高齢者の脇見時間は約10%増加し, ステアリングの偏差は約20%大きくなることが示された. また, 離心率の増加とともに脇見時間が長くなり, ステアリングの偏差は大きくなったが, Dukicら⁸⁾ と同様に運転席側方の位置では, 離心率が高いにもかかわらず, 脇見時間は長くはならず, ステアリングの偏差も大きくならなかった. ただし, Dukicらの研究^{8,9)} では, Murataら⁶⁾ や森若ら⁷⁾ のように, 車内温度調整やラジオのチューニング等の操作ではなく, 設置されたスイッチを押すのみの作業であった.

以上の研究ではディスプレイの階層構造がスイッチ操作に及ぼす影響は検討されていない. by wire技術の進展により, BMWのiDriveなどに見られるようなダイヤル式統合スイッチも普及してきたが, Dukicら⁸⁾ によって, 統合スイッチの設置位置に関する推測 (統合スイッチは, BMW5シリーズのiDriveのようにドライバー側方に設置するのが望ましい) がされているものの, その有効性は十分に検証されていない. また, Murataら⁶⁾ や森若ら⁷⁾ の研究ではダイヤル式統合スイッチではなく, 左前方また

図1 実験で使ったスイッチ ((a) 非統合スイッチ, (b) 統合スイッチ)

Fig. 1 Switch system used in this experiment. ((a) non-integrated switch, (b) integrated switch)

はステアリング部に設置された非統合スイッチが用いられている (図1 (a) 参照). 統合スイッチは, 非統合スイッチよりも多くの機能を1つのスイッチで統合化できる省スペース効果があり, 今後の普及が期待されるため, その有効性の検証は, 有用な知識となり得る.

年齢とともに種々の感覚機能, 認知機能, 運動機能が低下していくことはよく知られている (Fiskら¹⁰⁾, Parkら¹¹⁾). 例えば, 石松ら¹²⁾ は高齢に伴い有効視野が狭くなることを示した. また, Murataら⁶⁾ やDukicら⁹⁾ によって高齢者の場合には, 若年者に比べて, それぞれ脇見時間が長くなる傾向と温度設定やラジオのチューニングに要する時間が長くなる傾向が示されている. 高齢ドライバーの数も増加し, 知覚・認知・運動機能が低下した高齢ドライバーにも優しい自動車用表示・操作系の設計が必要不可欠となった. 自動車用コックピットのディスプレイも複雑化し階層構造を有するディスプレイも数多く存在しており, 高齢者に対してこのような複雑な階層化ディスプレイは適切かどうか, さらに高齢者にとって現状の統合スイッチは満足できる水準にあるかについても慎重に検討しておく必要がある. 以上のように, コックピット・モジュールの設計においては, 若年者のみではなく高齢者に対する視覚的行動特性や操作行動特性に関する知識は必須であると考えられる.

本研究では, 高齢者群と若年者群を対象に, 非統合スイッチとの比較実験によって, (ダイヤル式) 統合スイッチの有効性を検討した. また, ディスプレイの階層化がスイッチ操作に及ぼす影響を及ぼすかを明らかにした. そしてこれらの結果を表示・操作系の設計にいかに関活用すべきかを考察した.

2. 実験方法

2-1. 被験者

被験者は健康な若年者10人（男性，20～25歳），高齢者10人（男性，65～73歳）とした。被験者は全員普通運転免許証を所持している者とし，視覚系および精神系に異常がない者とした。

2-2. 実験装置

森若ら⁷⁾と同様の実験装置を使用した。トラッキング制御および計測を行うためのパソコンとトラッキング作業画面を投影するプロジェクタ，スイッチ操作作業の提示および計測を行うパソコンとスイッチ操作作業の画面を表示する15インチCRT，実機から切り出した自動車の座席シート，ステアリングの角度計測のためのエンコーダ，外部電源を使用した。スイッチ操作作業画面を表示するディスプレイを被験者の正面（座面の中心から前方60 cmの位置）に設置し，トラッキング作業画面をスイッチ操作作業画面を表示するディスプレイよりもさらに前（座面の中心から前方300 cmの位置）に設置した。本実験では図1に示す2種類のスイッチ（統合スイッチ，非統合スイッチ）のいずれかを使用しスイッチ操作作業を行わせた。実験で使用したスイッチの詳細，操作方法，設置位置は「2-5-2. 使用スイッチと設置位置」で述べる。

2-3. 作業内容

本実験ではトラッキング作業（主作業）とスイッチ操作作業（副次作業）の2つの作業を被験者に課した。トラッキング作業，スイッチ操作作業をそれぞれ単独で実施した単独課題，トラッキング作業を行いながらスイッチ操作作業を実施した二重課題の2種類の作業条件で作業を実施した。なお，被験者にはできるだけ正面を向いたまま2種類の作業を行うように指示した。トラッキング作業およびスイッチ操作作業の詳細は以下のとおりである。

2-3-1. トラッキング作業

二重課題で作業を行う場合には，本作業を主作業として行うように被験者に指示した。この作業は，被験者の前方に投影されたトラッキング作業画面内に示された目標部の中心に，被験者の正面に設置されたステアリングを使用し左右方向に操作することのできる制御部の中心を追従させる作業である。トラッキング作業画面のステアリングの制御系（1次遅れ系），目標部の位置決定方法等は森若ら⁷⁾を参考にした。トラッキング作業では，原則として両手

でステアリングを操作するように指示した。ただし，運転者の左前方および左側方に設置されたスイッチを使用してスイッチ操作作業を行う場合には，右手でステアリング操作，左手でスイッチ操作を行うようにした。なお，スイッチ操作が終了し，次の作業課題が提示されるまでは両手でステアリング操作を行うように指示した。

2-3-2. スイッチ操作作業

二重課題で本作業は副次作業に相当する。この作業は空調の調整（例：暖房をつけ，温度を27度に設定してください），オーディオ機器の設定（例：CDをつけ，3曲目から聞けるようにしてください）といった自動車の車内で実際に行う可能性のある操作をスイッチを使用して行う作業である。最初の画面で機能（空調もしくはオーディオのどちらか）を選択し，次に温度，風量，選曲等の項目を選択し，これらの値を調整する。値の調整が終了したら「戻る」を選択し最初の画面に戻り，「作業終了」を選択することで1課題が終了する。1つの作業条件につき10課題を被験者に課し，提示させる課題はランダム化させたが，全作業を終えるまでに要するスイッチ押しの回数（作業の複雑さ）については全ての作業条件でほぼ同じになるように調整した。

2-4. 実験手順

被験者を自動車の実機から切り出した運転シートに座らせ，運転しやすい位置になるように座席の高さおよび座席位置を調整させた。座席の位置を固定させた段階で実験についての説明およびスイッチ操作作業，トラッキング作業の練習を行わせ，ある程度慣れたと実験者が判断した状態で実験を開始した。本研究では，被験者が作業内容を完全に理解し，5回連続して正しく作業が実施され，スイッチ操作作業1試行に要する時間がほぼ一定（最初の正試行の時間を基準として，後の4試行の作業時間が基準の±10%以内）になったときを慣れた状態と判断した。1つの作業条件が終了するごとに被験者にNASA-TLXによる作業負担評価，操作しやすさおよび見やすさについての主観評価を行わせた。なお，作業順序については被験者ごとにランダム化した。

2-5. 実験要因

本実験では，ディスプレイの階層数（2水準：1階層構造，2階層構造），スイッチのタイプとその設置位置の組み合わせ（4水準：統合スイッチを使用し運転者の左前方にスイッチを設置する場合，統合スイッチを使用し運転者の左側方にスイッチを設置する場合，非統合スイッチを使用しステアリング部にスイッチを設置する場合，非

図2 実験で使ったスイッチ操作作業画面（1階層構造）

Fig. 2 Display of switch operation task. (1-layered)

図3 実験で使ったスイッチ操作作業画面（2階層構造（上側は1層目の作業画面、下側は2層目の作業画面））

Fig. 3 Display of switch operation task. (2-layered (Upper: 1st layer, Lower: 2nd layer))

統合スイッチを使用し運転者の左前方にスイッチを設置する場合を被験者内要因とし、年齢（2水準：若年者、高齢者）を被験者間要因として実験を行った。ディスプレイの階層数およびスイッチのタイプとその設置位置の組み合わせの条件については以下に詳細を示す。

2-5-1. ディスプレイの階層構造

図2、図3に実験で用いた作業画面を示す。図2は1階層構造でのスイッチ操作作業画面であり、全ての情報が表示されている。図3は2階層構造としたときのスイッチ操作作業画面であり、最初の画面（図3上側）で操作したい機能を選択し、選んだ機能に応じて画面が切り替わる（図3下側）構造を有する。画面の中の選択肢が選ばれる確率を同じと仮定し、それぞれの作業画面について情報

量¹³⁾を求めた。なお、情報量 $H(X)$ は以下の式（1）で計算され、単位はビット（bit）である。ここで、 $P(X)$ は選択肢 X の出現確率である。

$$H(X) = -\sum P(X) \log_2(P(X)) \quad (1)$$

式（1）を用いて計算した結果、1階層構造のときの情報量は6.2 bit、2階層構造のときの情報量は5.9 bit（1階層目：1.5 bit、2階層目：4.4 bit）となり、情報量はほぼ同一となった。なお、作業内容については1階層構造、2階層構造ともに同一のものとした。

2-5-2. 使用スイッチと設置位置

本実験では最も普及して使われている非統合スイッチと統合スイッチの2種類のスイッチを使用し実験を行った（図1参照）。非統合スイッチは複数個のスイッチで構成さ

れたスイッチであり、1つのスイッチに1つの機能のみを割り当てて操作を行ったり、複数ある項目の中から状況に応じた項目を選択するというような操作もできる。本研究で用いた非統合スイッチは5個の数字キーと5個の矢印キーの合計10個のキーで構成されており、数字キーを押すことで機能および値を調整する項目を選択し、矢印キーの左右を押すことで値の調整、矢印キーの中央を押すことで動作の決定を行うようになっている。統合スイッチはスイッチを時計方向と反時計方向に回す機能とスイッチを押す機能の両方を持ったスイッチであり、複数ある項目の中から状況に応じた項目を選択するというような操作に使われており、非統合スイッチよりも省スペースで作業を行うことができるという特徴がある。本研究で用いた統合スイッチは、スイッチを時計方向か反時計方向に回すことで機能の選択、項目の選択、値の調整等を行い、スイッチを押すことで動作の決定を行うようになっている。いずれのスイッチも市販車の同種のスイッチ3種類程度を参考に試作した。

ステアリング部に非統合スイッチを配置する条件では、数字が書かれているキーをステアリングの左側に、矢印が書かれているキーをステアリングの右側に配置した。このスイッチは、被験者がステアリングを持ったときに把持位置を動かさなくても左右の親指でキーを押すことが可能な位置とした。統合スイッチを運転者の左側方に配置する条件では、座面中心から左に30 cm、前方に8 cmの位置にスイッチの中心が来るように配置した（図4参照）。運転者の左前方にスイッチを配置する条件では（統合スイッチ、非統合スイッチともに）、座面中心から左に27 cm、前方に62 cmの位置にスイッチの中心となるように配置した（図4参照）。ただし、座面の高さおよび前後位置は実験開始前に被験者が運転しやすい位置に調整するため、被験者により位置が多少異なっている。図4に示した位置は、座面の高さを一番低くし、座席の先端

図4 スwitchの設置位置

Fig. 4 Location of switches.

と土台の先端とを合わせたときを基準としたものである。

2-6. 評価項目

スイッチのタイプとディスプレイの階層化が操作性に及ぼす影響を評価するため、以下を用いた。

- ・スイッチ操作の正答率：課題で提示された内容を正しく行えた割合。正答数を課題数（10）で割った値となる。
- ・スイッチ操作の作業時間：スイッチ操作の1課題に要する作業時間の平均値を測定した。
- ・トラッキング作業の作業成績（誤差）：トラッキング操作部と目標部の偏差を0.02秒ごとに測定し、実験終了時における偏差の平均値を指標とした。
- ・作業負担度：NASA-TLXによるワークロード評価（WWL得点¹⁴⁾）を用いた。
- ・主観評価：「操作しやすさ」と「見やすさ」についての5段階評価のアンケート調査を各実験条件下で行った。数字が大きいほど操作しやすい、見やすいことを示す。

3. 実験結果

図5に正答率の結果（二重課題）を、図6に平均作業時間の結果（単独課題）を、図7に平均作業時間の結果（二重課題）を、図8にトラッキング誤差の結果（二重課題）を、図9にNASA-TLXによる主観評価（WWL得点）の結果（二重課題）を、図10に操作しやすさについての主観評価結果（二重課題）を、図11に見やすさについての主観評価結果（二重課題）を示す。

正答率の結果に対し年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造を要因とする3元配置の分散分析を行った結果、年齢の要因において有意差が確認された

図5 年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせでの正答率の比較（二重課題）

Fig. 5 Mean percentage correct as a function of age and combine of switch type and location (dual task).

図6 年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせでの作業時間の比較 (単独課題)

Fig. 6 Mean task completion time as a function of age and combine of switch type and location (single task).

図7 年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせでの作業時間の比較 (二重課題)

Fig. 7 Mean task completion time as a function of age and combine of switch type and location (dual task).

図8 年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせでのトラッキング誤差の比較 (二重課題)

Fig. 8 Tracking error degree as a function of age and combine of switch type and location (dual task).

図9 年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせでのNASA-TLX得点 (WWL得点) の比較 (二重課題)

Fig. 9 NASA-TLX score (WWL score) as a function of age and combine of switch type and location (dual task).

図10 年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせでの操作しやすさについての主観評価結果の比較 (二重課題)

Fig. 10 Mean usability score as a function of age and combine of switch type and location (dual task).

図11 年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせでの見やすさについての主観評価結果の比較 (二重課題)

Fig. 11 Mean visibility score as a function of age and combine of switch type and location (dual task).

($F(1,9)=6.088$, $p<0.05$). しかし、その他の要因および交互作用については有意差が確認されなかった。

若年者と高齢者群で正答率の結果に対しスイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造を要因とする2元配置の分散分析を行った結果、若年者、高齢者ともに、スイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造の主効果と交互作用に有意差が確認されなかった。

若年者群、高齢者群のそれぞれの正答率に対し、スイッチタイプと設置位置の組み合わせの水準間で多重比較 (FisherのPLSD) を実施した結果、高齢者において非統合スイッチを運転者の左前方に配置した条件と統合スイッチを運転者の側方に配置した条件の組み合わせについてのみ有意差 ($p<0.05$) が確認された。若年者に関しては水準間に有意差が確認されなかった。

単独課題として実施したときの平均作業時間に対し、年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造を要因とする3元配置の分散分析を行った結果、年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造、階層構造と年齢の交互作用において有意差が確認された：年齢 ($F(1,18)=43.742$, $p<0.01$)、スイッチタイプと設置位置の組み合わせ ($F(3,54)=6.156$, $p<0.01$)、階層構造 ($F(1,18)=4.736$, $p<0.05$)、階層構造と年齢の交互作用 ($F(1,18)=4.559$, $p<0.05$)。

若年者群と高齢者群で単独課題で実施したときの平均作業時間に対しスイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造を要因とする2元配置の分散分析を実施した結果、若年者群では、スイッチタイプと設置位置の組み合わせの要因で有意差が確認された ($F(3,27)=13.887$, $p<0.01$)。

若年者群、高齢者群のそれぞれの平均作業時間の単独課題の結果に対し、スイッチタイプと設置位置の組み合わせの水準間で多重比較 (FisherのPLSD) を実施した結果、若年者では以下の水準間で有意差 (全て $p<0.01$) が確認された (図6参照)：非統合スイッチを運転者の左前方に設置した条件と非統合スイッチをステアリング部に設置した条件、非統合スイッチをステアリング部に設置した条件と統合スイッチを運転者の左前方に設置した条件、非統合スイッチをステアリング部に設置した条件と統合スイッチを運転者の左側方に設置した条件。高齢者についても以下の水準間で有意差 (全て $p<0.05$) が確認された (図6参照)：非統合スイッチを運転者の左前方に配置した条件と非統合スイッチをステアリング部に配置した条件、非統合スイッチをステアリング部に配置した条件と統合スイッチを運転者の左前方に配置した条件。

二重課題で実施したときの平均作業時間に対し年齢、

スイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造を要因とした3元配置の分散分析を行った結果、年齢の要因において有意差が確認された ($F(1,9)=31.486$, $p<0.01$)。しかし、その他の要因および交互作用については有意差が確認されなかった。

若年者群と高齢者群で二重課題それぞれに対し、実施したときの平均作業時間に対しスイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造を要因とする2元配置の分散分析を行った結果、若年者群にはスイッチタイプと設置位置の組み合わせの要因で有意差が確認された ($F(3,9)=8.516$, $p<0.01$)。しかし、高齢者についてはスイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造の主効果と交互作用に有意差が確認されなかった。

若年者群、高齢者群のそれぞれの二重課題の平均作業時間に対し、スイッチタイプと設置位置の組み合わせの水準間で多重比較 (FisherのPLSD) を実施した結果、若年者では以下の水準間で有意差 (全て $p<0.01$) が確認された (図7参照)：非統合スイッチをステアリング部に設置した条件と非統合スイッチを運転者の左前方に設置した条件、非統合スイッチをステアリング部に設置した条件と統合スイッチを運転者の左前方に設置した条件、非統合スイッチをステアリング部に設置した条件と統合スイッチを運転者の左側方に設置した条件。しかし、高齢者については全ての水準間で有意差は確認されなかった。

単独課題で実施したときのトラッキング誤差に対し年齢を要因とする1元配置の分散分析を行った結果、有意差が確認された ($F(1,18)=14.020$, $p<0.01$)。二重課題でのトラッキング誤差の結果に対して、年齢、スイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造を要因とする3元配置の分散分析を実施した結果、年齢の要因でのみ有意差が確認され ($F(1,9)=9.267$, $p<0.05$)、その他の要因および交互作用では有意差が確認されなかった。

若年者群と高齢者群それぞれの二重課題でのトラッキング誤差の結果に対してスイッチタイプと設置位置の組み合わせ、階層構造を要因とした2元配置の分散分析を実施した結果、若年者ではスイッチタイプと設置位置の組み合わせの要因で有意差が確認された ($F(3,27)=4.729$, $p<0.01$)。しかし、高齢者については全ての主効果と交互作用に有意差は確認されなかった。

若年者群と高齢者群のそれぞれに対して、二重課題でのトラッキング誤差の結果に対して、スイッチタイプと設置位置の水準間で多重比較 (FisherのPLSD) を実施した。その結果、若年者では以下の水準間に有意差が確認された (図8参照)：非統合スイッチをステアリング部に設置した条件と非統合スイッチを運転者の左前方に設置

した条件 ($p < 0.01$), 非統合スイッチを運転者の左前方に設置した条件と統合スイッチを運転者の左前方に設置した条件 ($p < 0.01$), 非統合スイッチを運転者の左前方に設置した条件と統合スイッチを運転者の左側方に設置した条件 ($p < 0.01$). しかし, 高齢者についてはすべての水準間で有意差は確認されなかった.

NASA-TLX (WWL得点) の結果に対し年齢, スイッチタイプと設置位置の組み合わせを要因とするノンパラメトリック検定を実施した結果, 単独課題条件では年齢の条件にのみ有意差 ($p < 0.01$) が確認された. 二重課題における年齢, スイッチタイプと設置位置の要因については有意差が確認されなかった.

操作しやすさの主観評価結果に対し年齢, スイッチタイプと設置位置の組み合わせを要因とするノンパラメトリック検定を実施した結果, 単独課題では年齢, スイッチタイプと設置位置の組み合わせの両要因で有意差 ($p < 0.05$) が確認された. 二重課題条件においては, 年齢, スイッチタイプと設置位置の組み合わせの両要因ともに有意差が確認されなかった.

見やすさの主観評価結果に対し年齢, スイッチタイプと設置位置の組み合わせを要因とするノンパラメトリック検定を実施した結果, 単独課題, 二重課題ともに年齢, スイッチタイプと設置位置の組み合わせに有意差が確認されなかった.

NASA-TLX (WWL得点) および主観評価 (操作しやすさ, 見やすさ) の単独課題, 二重課題の結果に対し, 若年者群と高齢者群でスイッチタイプと設置位置の組み合わせの水準の中から2水準を抽出し, Mann-WhitneyのU検定を実施した結果, 二重課題条件において両年齢群ともに操作しやすさの主観評価結果における非統合スイッチをステアリング部に設置した条件と統合スイッチを運転者の左前方に設置した条件の組み合わせに有意差 ($p < 0.01$) が確認された (図10参照). 単独課題条件においては, 両年齢群ともに全ての水準間で有意差は確認されなかった.

4. 考 察

4-1. 年齢の影響

年齢は, 正答率, スイッチ操作の平均作業時間, トラッキング誤差に影響を及ぼした (図5~図8参照). 高齢者のスイッチ操作の平均作業時間とトラッキング誤差は, それぞれ若年者の約2倍程度と約1.6~1.7倍程度になった. 一方, NASA-TLXのWWL得点に関しては, 若年者と高齢者で有意差は確認されなかった (図9参照). これは,

両年齢群で感じる負担には大きな差は見られないものの, 高齢者の知覚・認知・運動機能低下^{10,11)} がパフォーマンスの低さ (平均作業時間の長さやトラッキング誤差の大きさ) に反映されたものと考えられる. この結果は, Dukicら⁹⁾の結果と同様に, 副次作業として運転時に実施されるCD操作などに伴うスイッチ押しの反応が高齢者は若年者に比べて劣ることを示している. ただし, Dukicら⁹⁾では, 若年者に比べて高齢者のパフォーマンスの低下は20%程度で, 本研究の結果ほどには, 高齢者と若年者の大きなパフォーマンスの差は認められなかった. この原因の一つは, Dukicら⁹⁾は単純なスイッチ押しであったが, 本研究ではスイッチ押しをしながら表示画面に従って, 実際の運転場面と同様に, CDやラジオ操作などのより複雑な作業を行わせたためと考えられる. 今後ますますの増加が予測される高齢ドライバーに対しては, 複雑化が進む現状の表示系, 操作系などのコックピット・モジュール設計の傾向は, 高齢者の知覚・認知・運動機能低下^{10,11)}を補うどころか, さらに使いづらくしているのではないかと判断される. すなわち, 本実験のデータは, 高齢者のこういった能力の低下によるパフォーマンス低下を補うインターフェースの設計が望まれることを示唆している.

4-2. 表示系の階層化の影響

両年齢群ともにディスプレイの階層化の影響は認められなかった. 1階層, 2階層ともに, 作業内容は同じで, 式 (1) に従って計算された情報量もほぼ同じ値であった. 本研究の範囲では, 同じ情報量を有する場合には, ディスプレイの階層化がパフォーマンスに及ぼす影響は認められないと推察される. ただし, 運転時のコックピット・モジュール操作に関連した適切な情報量を明らかにすることは重要であり, 今後の課題として, ディスプレイの情報量が, パフォーマンスに及ぼす影響を同定し, 自動車のディスプレイにおけるデザイナーが有効活用できる適切な情報量を提案していく必要がある.

4-3. スイッチタイプと設置位置のパフォーマンスへの影響—若年者の場合—

スイッチタイプと設置位置の影響について検討する. 本研究では, 市販車における状況を考慮して, 非統合型スイッチに関しては, ステアリング部と運転者の左前方に, ダイヤル式統合スイッチに関しては, 運転者の左側方と左前方に設置した. 若年者に関しては, 図6と図7に示されているように, 非統合スイッチをステアリング部に設置した場合に平均作業時間が最も短く, 非統合スイ

ッチを左前方に設置した場合、統合スイッチを左前方に設置した場合、統合スイッチを左側方に設置した場合では平均作業時間に差がなかった。このステアリング・スイッチが有効であるという結果は、Murataら⁶⁾や森若ら⁷⁾の結果と一致する。非統合スイッチの操作では、作業内容に応じてスイッチ押しを実施していく。一方、統合スイッチの操作は、ダイヤルの回転とスイッチ押しからなり、非統合スイッチよりも動作が複雑であるとみなされる。このため、統合スイッチは非統合スイッチよりもパフォーマンスが低くなったものと考えられる。

Dukicら⁸⁾は、実際の道路での運転時のスイッチ配置がドライバの脇見行動に及ぼす影響を調査し、水平方向の離心率が高くなるにつれて、スイッチ押しに伴う脇見時間が長くなることを示した。ただし、ドライバの右側方に設置されたスイッチに関しては、離心率が高いにもかかわらず、脇見時間は離心率が最も小さい条件に次いで短くなったことから、統合スイッチの設置位置としてドライバの側方が望ましいのではないかと推測した。Dukicら⁸⁾よりも、本研究のほうがスイッチ操作作業に関しては実際の運転環境に近い。本研究結果より、iDriveなどのようにドライバの側方に統合スイッチを設置することは妥当な理由があるとは判断できない。

本研究のダイヤル式統合スイッチは、市販車のダイヤル統合式スイッチを参考にして試作した。機械的に制御する(例えば、これまでのダッシュボード中央パネルに設置されているエアコン温度制御用のロータリースwitchなど)代わりに電気信号を用いて種々のコンポーネントを制御するのがby wire技術である。IBMのiDrive、普及が著しいステアリング・スイッチなどもby wire技術によって初めて可能になったものであり、この技術は種々のコンポーネントのコンピュータ制御を容易にする¹⁵⁾。電子制御によるby wire技術の普及は、スイッチ類の設置位置にバラエティーを持たせることを可能にする。コンピュータによる電子制御が容易になったため、スイッチ類も脇見を防止可能とされるステアリング部(例えば森若ら⁷⁾によって指摘されている)に設置される可能性が高くなると予想される。ステアリングスイッチの機能を統合化したダイヤル式統合スイッチは、省スペース性に優れているため、今後ますます普及してくる可能性がある。著者らの調べによれば、ダイヤル式統合スイッチは、運転者の左前方か左側方に設置される場合がほとんどである。今後の課題として、ダイヤル式統合スイッチをステアリング周りに設置した場合の有効性についても検討する必要がある(ただし、図1(b)をさらに改良する必要がある)。

4-4. スイッチタイプと設置位置のパフォーマンスへの影響—高齢者の場合—

高齢者に関しては、二重課題条件ではスイッチタイプと設置位置の組み合わせで、パフォーマンス(平均作業時間とトラッキング誤差)にほとんど差は認められなかった(図7、図8参照)。しかし、高齢者のスイッチ操作単独課題では図6に示すように非統合スイッチをステアリング部に設置した条件が最も有効であることが認められた。若年者と同様の操作上の理由で高齢者の場合も統合スイッチは非統合スイッチよりもパフォーマンスが低くなったのではないかと考えられる。

若年者(単独課題、二重課題)および高齢者(単独課題)で有効であった非統合スイッチをステアリング部に設置した条件では、高齢者(二重課題)に関してはこの傾向は認められなかった。この理由は、以下のように推察される。知覚・認知・運動機能の低下した高齢者に関しては、二重課題条件下ではいずれのスイッチタイプと設置位置の組み合わせ条件も能力の限界を超えた作業条件であり、ステアリング・スイッチの正の効果が認められなかったのではないかと考えられるが、この点に関しては、ディスプレイの情報量を低くした作業条件を設定した上で、スイッチタイプと設置位置の組み合わせで影響が認められるかどうかを明らかにしていく必要がある。

4-5. スイッチタイプと設置位置の操作しやすさの主観評価への影響

図10に示されているように、操作しやすさの主観評価に関しては、若年者群、高齢者群ともに、非統合スイッチをステアリング部に設置した条件のほうが、統合スイッチを左前方に設置した場合よりも評価が高いという結果が得られた。単独課題でも両年齢群ともに同様の結果が得られた。若年者は、平均作業時間の結果に一致して、非統合スイッチをステアリング部に設置した場合の使いやすさの評価が高かった。高齢者群でも、非統合スイッチをステアリング部に設置した場合に使いやすさが高いと評価したが、この感覚が二重課題条件下での実際の作業成績にはつながらなかった。これは、4.4でも述べたように、もう少しディスプレイの情報量を低く設定すれば、非統合スイッチをステアリング部に配置する条件では他の条件よりも実際の作業成績を改善する可能性があることを示唆している。主観評価の観点からも、本実験で用いた統合スイッチに関しては、非統合スイッチよりも評価が低く、さらなる操作方法等の改善が必要であると思われる。

5. 結 論

本研究では、自動車の表示・操作系に関する基礎研究として、高齢者群と若年者群を対象に、統合スイッチと非統合スイッチの操作性比較を行った。得られた結果を以下のようにまとめることができる。

1. 高齢者のスイッチ操作の平均作業時間とトラッキング誤差は、それぞれ若年者の約2倍程度と約1.6～1.7倍程度であった。
2. ディスプレイの階層化に関しては、両年齢群ともに、作業時間、正答率への影響が認められなかった。
3. 若年者群の単独課題、二重課題および高齢者群の単独課題条件では、スイッチタイプと設置位置が作業時間に及ぼす影響が認められ、非統合スイッチをステアリング部に設置した場合の作業時間が有意に短くなった。
4. 高齢者群の二重課題条件では、スイッチタイプと設置位置が作業時間に及ぼす影響は認められなかった。

統合スイッチに関しては、非統合スイッチよりもスイッチの数を減らして、スペースを省くことができる（図1に示されているように、スイッチを沢山配置する必要がない）という利点を有する。本研究の範囲では、統合スイッチは、両年齢群ともに設置位置の影響を受けなかったが、ディスプレイの設置位置は中央部のみであったため、ディスプレイの設置位置を左前方にした場合に、統合スイッチの設置位置による影響が認められるかどうかを確認していく必要がある。本研究の範囲では、統合スイッチは、省スペース化には寄与するが、時間短縮には寄与しないことが示された。このあたりのデータを認識した上で、デザイナーが省時間重視か省スペース重視であるかに応じて、非統合スイッチと統合スイッチを使い分けていく必要がある。

特に高齢者にとっては、本研究で課したような作業は高負担である可能性についても詳細に明らかにしていく必要がある。総合操作盤設計に際しては、よく用いられるドライバの側方の位置が最適であるという結果は得られなかったため、統合スイッチのステアリング部での実装やステアリング・スイッチのように親指だけで操作可能なより操作しやすい統合スイッチ（本研究の統合スイッチは、現在の市販車と同様にダイヤルの回転とスイッチ押しを組み合わせたもので、親指だけで操作できるものではない）への改良も必要不可欠になるのではないかと考えられる。

本研究では、作業時間、正答率、主観評価などに基づいて操作性評価を実施したが、スイッチのタイプ、設置位置が画面の注視時間、注視回数に影響することは十分に考えられるため、今後は画面の注視時間、注視回数も

評価指標として使いやすいスイッチの条件を明らかにしていきたい。また、統合スイッチの回転トルクなどが操作性に及ぼす影響についても明らかにし、望ましい回転トルクの条件を提案していきたい。

謝 辞

本研究の一部は文部科学省特定領域研究（770：平成16～18年度）「障害者・高齢者のコミュニケーション機能に関する基礎的研究」の援助の下で行われた。

参考文献

- 1) 江部和俊, 大桑政幸, 稲垣大：ドライバの視聴覚認知に伴う負担度評価, 豊田中央研究所R&Dレビュー, 34 (3), 55-62, 1999.
- 2) 関根道昭, 森田和元, 益子仁一, 岡田竹雄：自動車運転者の情報処理に関する研究（第3報）—視覚情報獲得量に及ぼす走行時の運転負荷の影響—, 交通安全環境研究所発表会講演概要集, 83-88, 2003.
- 3) W. W. Wirewille: Visual and manual demands of in-car controls and displays. In Automotive Ergonomics, B. Peacock and W. Karwowski (eds.), 299-321, 1993.
- 4) A. S. Wickman, T. Nieminen and H. Sammala: Driving experience and time-sharing during in-car tasks on road of different width, Ergonomics, 41 (3), 358-372, 1998.
- 5) E. J. McCormick and M. S. Sanders: Human Factors in Engineering and Design, McGrawHill, 1987.
- 6) A. Murata and M. Moriwaka: Applicability of location compatibility to the arrangement of display and control in human-vehicle systems: Comparison between young and older adults, Ergonomics, 50 (1), 1-13, 2007.
- 7) 森若誠, 村田厚生: ディスプレイとコントロールの設置位置を考慮したステアリング・スイッチの有効性検証, 人間工学, 40 (1), 12-20, 2004.
- 8) T. Dukic, L. Hanson, K. Holmqvist and C. Waternberg: Effect of button location on driver's visual behavior and safety perception, Ergonomics, 48 (5), 399-410, 2005.
- 9) T. Dukic, L. Hanson, and T. Falkmer: Effect of drivers' age and push button locations on visual time off road, steering wheel deviation and safety perception, Ergonomics, 49 (1), 78-92, 2006.
- 10) A. D. Fisk, W. A. Rogers, N. Charness, S. J. Czaja and J. Sharit: Designing for older adults, CRC Press, 2004.
- 11) D. Park and N. Schwarz: Cognitive aging, Psychology Press, 2000.
- 12) 石松一直, 三浦利章: 有効視野における加齢の影響: 交通安全性を中心として, 大阪大学大学院人間科学研究科紀要第28巻, 15-36, 2002.
- 13) 横尾英俊: 情報理論の基礎, 17-37, 共立出版, 2004.
- 14) 三宅晋司, 神代雅晴: メンタルワークロードの主観評価法—NASA-TLXとSWATの紹介および簡便法の提案—, 人間工学, 29 (6), 399-408, 1993.
- 15) 清水和夫: ITSの思想—持続可能なモビリティ社会を目指して—, 日本放送出版協会, 2005.