

特集 車室内表示操作機器の操作性因子に関する研究*

A Study of Usability Factors in In-Vehicle Information Systems

森下 昌彦
Masahiko MORISHITA

石田 健二
Kenji ISHIDA

This paper aims to clarify usability factors of In-vehicle information systems. Our study involved three steps. First, a questionnaire investigation was implemented for ordinary daily drivers in order to narrow down the target system operations for the analysis. Second, engineers of human engineering answered questionnaires about the usability of various information systems after operating the systems during actual on-road driving in order to extract usability factors. Third, ordinary daily drivers perform both the system operations selected above and the subjective evaluation of the usability factors selected above to derive the degree of influence of the usability factors through analysis of the covariance structures of the principal factors.

Key words : Human engineering, Human machine interface, Driver behavior, Usability, Questionnaire form (C2)

1. はじめに

近年、車載情報システムの高度化に伴って自動車の操作系が複雑化している。車載情報システムは、ドライバの運転を支援する一方、運転中のこれらの操作は、視覚的、身体的負担を増大させるため、運転への悪影響の可能性が指摘されている^{1) 2)}。さらに、スマートフォンの普及で、携帯端末などの車への持ち込み増加が予想され、ドライバが意識する情報量の増加によって引き起こされる注意力低下（ディストラクション）が懸念されている³⁾。今後、自動車の車室内で 사용되는表示操作機器がドライバに与える影響などの操作性評価は、ますます重要になると考えられる。

こうした評価の例として、村田ら¹⁾は、ドライビングシミュレータ（以下DS）での仮想運転下で、数種類の表示操作機器を操作し、主観値、作業時間、正答率、視線移動などの計測を行い、表示操作機器と設置位置が操作性および視線の動きに及ぼす影響を評価している。また太田ら⁴⁾は、実車での実交通環境運転下で、数種類の表示操作機器を操作し、脇見時間と操舵角などの計測を行い、表示操作機器の視認・操作性を評価している。これらの研究では、表示操作機器の操作性を評価するために、様々な指標が計測されているが、各指標が操作性へどの程度影響しているかについては明らかにされていない。

これに対して、溝渕ら⁵⁾は、DSでの仮想運転下で、数種類の表示操作機器を操作し、操作性などの主観値、作業時間、エラー率、視認時間、操舵角などの計測を

行い、共分散構造分析を用いて操作性に影響する指標を明らかにしようとしているが、十分な解明には至っていない。

一方、DSでの仮想運転下と、実車での実交通環境下の環境の違いに関して、下山⁶⁾は、DS実験は「現実感が乏しく危険な操作をする人がいる」と指摘し、山田ら⁷⁾は、DS実験は実車に比べ、「安心感がある」、「かかった時間が大幅に異なる」ことを指摘している。このことから、操作性を左右する因子を解明するには、実車による評価が重要と考えられる。

本研究では、車室内表示操作機器の操作性について、実車による実交通環境下での評価を行い、操作性に影響する因子（以下操作性因子）の因果構造を解明することを目的とした。

2. 取り組み方法

本研究では、以下3つの取り組みを実施した。

取り組み1：機器操作の絞り込み

日常的に運転している一般ドライバに対して、運転中の車室内表示操作機器の操作しやすさに関するアンケート調査を実施し、使用頻度と操作しやすさの両側面から、分析対象とする機器操作を絞り込んだ。

取り組み2：操作性因子の抽出

人間工学研究者を実験参加者として、実車での実交通環境運転中に様々な機器操作を行ってもらい、操作機器のメリットやデメリットをインタビューおよびアンケートにより収集した。さらに、これらを集

*（社）自動車技術会の了解を得て、「2012年自動車技術全論文集」vol. 43, No. 8より一部加筆して転載

約し、操作性因子を抽出した。

取り組み3：操作性因子の影響度導出

日常的に運転している一般ドライバーに対して、停止中および実交通環境下運転中それぞれにおいて、取り組み1で決定した「機器操作」をしてもらい、取り組み2で決定した「操作性因子」に関する主観評価を実施した。さらに、得られた評価値を用いて操作性因子の共分散構造分析を行い、操作しやすさに対する操作性因子の影響度を導出した。

3. 機器操作の絞り込み

3.1 目的

日常的に運転している一般ドライバーに対して、運転中の車室内操作機器の操作しやすさに関するアンケート調査を実施し、使用頻度と操作しやすさの両側面から、分析対象とする機器操作を絞り込むことを目的とする。

3.2 方法

19～80歳の男女302名（平均43.2歳，男性169名，女性133名）の一般ドライバーに対して、郵送によるアンケート調査を行った。

調査対象者の運転状況は、運転目的が買い物・通勤・通学で、77%が毎日運転し、平均年間走行距離は10509kmと、運転頻度は比較的高いと考えられる。

日頃運転しているクルマの「エアコン，オーディオ，ナビ」の操作（Table 1に示す36項目）について、「必要度」「使用頻度」「操作しやすさ」をそれぞれ以下尺度により7段階評価してもらった。アンケートの回答用紙は匿名化し、個人が特定されないように配慮している。

「必要度」

- 1：全くいらない， 2：いらない， 3：あまりいらない，
- 4：どちらでもない， 5：やや欲しい， 6：欲しい，
- 7：たいへん欲しい

「使用頻度」

- 1：使用しない， 2：ほとんど使用しない，
- 3：あまり使用しない， 4：ときどき使用する，
- 5：使用する， 6：よく使用する， 7：かなり使用する

「操作しやすさ」

- 1：たいへん操作しにくい， 2：操作しにくい，
- 3：やや操作しにくい， 4：どちらでもない，
- 5：やや操作しやすい， 6：操作しやすい，
- 7：たいへん操作しやすい

Table 1 36 items for the operations of air conditioner, navigation system, and audio system

Air conditioner (10 items)	Temperature control, air volume control, air outlet setting, air conditioner ON, air conditioner OFF, circulation/open air setting, windshield defogging, rear window defogging, auto/manual switching, pollen removal/ionize setting
Audio system (11 items)	Sound volume/sound quality control, muting, listening to radio, recalling preset frequency, manual frequency setting, turning on traffic information, random replay, repetitive replay, jump forward/backward, music selection from list
Navigation system (15 items)	Map scrolling, wide/narrow map switching, destination setting by 50 syllables, destination setting by telephone number, destination setting on map, destination setting by other methods, route setting, route re-finding, guidance suspension, 2D/3D switching, enlarged guidance map cancelling, point registration/deregistration, peripheral area exploration, surrounding facilities information display, VICS information setting

3.3 結果

アンケートで得られた7段階評価値について、全実験参加者の平均値を計算し、使用頻度と操作しやすさの関係をFig. 1に示した。

エアコンとオーディオについて、使用頻度と操作しやすさの相関係数は0.88であり、使用頻度が増加するにつれて、操作しやすさの評価が高くなる傾向を示した。一方、ナビについては、使用頻度が増加しても、エアコンやオーディオに比べ、操作しやすさの評価が低い傾向を示した。

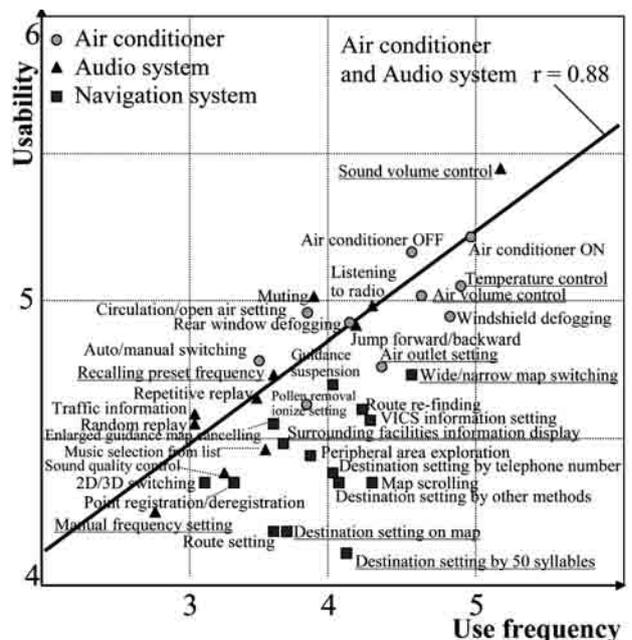


Fig. 1 Relation between Use Frequency and Usability

3.4. 分析対象とする機器操作の絞り込み

Fig. 1の結果に基づき、分析対象とする機器操作を、使用頻度および操作しやすさの両側面から偏りが生じないように、「風量・温度調整、吹出口の設定、音量調整、登録周波数選択、手動で周波数選択、50音入力で目的地、詳細・広域、地図上で経路地設定、周辺施設情報」の9項目 (Fig. 1の下線) に絞り込んだ。

4. 操作性因子の抽出

4.1 目的

停止中および実車運転中それぞれについて、様々な機器操作を行ってもらい、操作機器の操作性に関わるメリット、デメリットの自由回答を収集・集約して、操作性因子を抽出することを目的とする。

4.2 実験方法

実験参加者は、操作しやすさの多面的評価の経験がある人間工学研究者5名 (30~40代の男性) とし、文書によるインフォームドコンセントを得た。

評価は、停止中での評価 (以下停止評価) の後に、走行中での評価 (以下走行評価) を実施した。走行評価の走行ルートは、幹線道路・市街地道路・郊外道路を網羅する実交通環境1周約6.3kmで、片側1車線と片側2車線がそれぞれ約50%程度のコースを選定した。

停止評価では、停止状態でTable 1に記載の36機器操作をしてもらい、操作機器のメリット、デメリットを、口頭による自由発話および記述式アンケートで回答してもらった。

走行評価では、1周毎に停止状態で5分の休憩をとり、合計4周の間にTable 1に示す36機器操作をしてもらい、操作機器のメリット・デメリットを、走行中は口頭による自由発話で、走行後は記述式アンケートで回答してもらった。

4.3 結果

停止評価および走行評価で得られた操作性に関わるメリット・デメリット (151項目) の分類を実施した。分類時には、得られた項目を、日本人間工学会⁸⁾ が提案しているUD (ユニバーサルデザイン) マトリックスの「商品の3側面」および「UD原則」に基づき「1. 視線, 2. 心理, 3. わかりやすさ, 4. 身体, 5. 運転, 6. 操作」の6つに分類し、さらに同じ意味の項目をまとめて「操作性因子」とした。操作性因子を分類ごとにTable 2に示す。1. 視線に関する11項目, 2. 心理に関する7項目, 3. わかりやすさに関する10項目, 4. 身

体に関する4項目, 5. 運転に関する9項目, 6. 操作に関する18項目, 合計59項目の操作性因子 (Table 2) が抽出された。

Table 2 Usability Factors: 59 Items

(1)Eyes: 11 items Burden with the eyes movement to the screen display Eyes movement distance to the screen display Eyes gaze duration to the screen display Easiness of focal laying upon to the screen display A button of the screen display is hard to be small There are the place that it is easy to operate with the screen display and the place that it is hard to do There are the place that it is easy to look at of the screen display and the place that it is hard to look at Burden with the eyes movement to an operation apparatus Eyes movement distance to an operation apparatus Eyes gaze duration to an operation apparatus There are the place that it is easy to operate of the operation apparatus and the place that it is hard to do
(2)Psychology: 7 items Does not give a sense of discomfort. Irritates me. Pleasant/boring. Tiresome (complicated)/simple. Makes me feel easy (makes me casually place a hand on it). Can use as I like. Is nice to touch.
(3)Simplicity of understanding: 10 items A single display provides sufficient information. Easy to understand the meaning of each button (single display). Cannot understand how to use (two or more displays). Feeds the operation back to me (button being selected). Feeds the operation back to me (selected item). Consistency with favorite equipment. Simplicity of understanding letters and indications. Amount of information. Make a mistake in the operational position. Difficult to understand the instructions.
(4) Body: 4 items Unnecessary to change the driving posture. Stabilizes/destabilizes the driving posture.
Requires uncomfortable posture when using the information system. Feel uneasy when using the information system.
(5) Driving: 9 items Can/cannot concentrate on driving. It is difficult to pay attention to various points (driving and operations). Makes the driver drive carelessly (deterioration of driving performance). Causes driver to reduce the pressure on the accelerator pedal. Causes driver to steer the vehicle unstably (one-handed steering). Causes driver to fail to confirm safety around the vehicle. Causes driver to steer the vehicle slowly. Causes driver to feel danger (fear) in driving the vehicle. Can/cannot concentrate on using the equipment.
(6) Use: 18 items Easy to use. Can stop and restart the information system. Easy/difficult to stop and restart the information system. Requires delicate actions. Can/cannot act delicately. Imprecise actions are sufficient for use. Only a small number of operation cycles (short time) is necessary. Easy to become familiar with usage. Easy to use from the passenger's seat. Easy to use the equipment without looking at it. Cannot choose a target position. Driver often makes an operational mistake. Cannot use as I wish. Requires large force for use (difficult to move hands and fingers). Operational force Movable range for hand and fingers Requires a large operating area. Necessary/unnecessary to watch my left hand.

4.4 分析対象とする操作性因子の決定

得られた操作性因子 (Table 2) を意味的なまとまりを考慮してさらに集約して、次節の因果構造分析で分析対象とする操作性因子 (10項目) と総合評価を併せた評価項目 (11項目) を、以下のように決定した。なお、「心理項目」はUDマトリックス⁸⁾において「操作性」でなく「魅力性」として扱っているため、今回の解析対象から除外した。

「評価項目 (11項目)」

- 1: 大ざっぱに操作できる, 2: 操作ミスが起こりにくい,
- 3: 操作に「回数・時間・力」がいらぬ,
- 4: 操作したことがわかる,
- 5: 表示／ボタンの意味がわかる, 6: 運転に集中できる,
- 7: 腕や身体が安定する, 8: 腕や身体が楽,
- 9: 画面を注視しない, 10: 手元を注視しない,
- 11: 総合的に操作しやすい

5. 操作性因子の影響度導出

5.1 目的

停止中および走行中において、3.4節で絞り込んだ9つの機器操作をそれぞれ実施してもらい、4.4節で抽出した評価項目 (11項目) について主観評価を行い、得られた評価値を基に操作性因子の因果構造を導出することを目的とする。

5.2 実験方法

実験参加者は、日常的に運転している20～60代の一般ドライバー36名 (男性18名, 女性18名) とし、文書によるインフォームドコンセントを得た。車両は、ボタン、タッチパネル、および遠隔操作機器の操作機器を搭載した車両Aおよび車両Bの2車両とした。

停止中および走行中に、3.4節で絞り込んだ9項目について、各実車で操作可能な機器操作 (Table 3の○印で示す34の機器操作) を行ってもらい、機器操作ごとに4.4節で抽出した9つの操作性因子について、以下7段階の主観評価を口頭回答にて実施してもらった。

- 1: 全くそう思わない, 2: そう思わない,
- 3: あまりそう思わない, 4: どちらでもない,
- 5: ややそう思う, 6: そう思う, 7: たいへんそう思う

Table 3 34 Items for System Operation

No	System operation	Button				Touch panel		Remote controller	
		Stop	Run	Stop	Run	Stop	Run	Stop	Run
		CarA	CarB	CarA	CarB	CarA	CarB	CarA	CarB
1	Air conditioner Temperature/Air volume control	○	○					○	○
2	Air conditioner Air outlet setting	○	○					○	○
3	Audio Sound volume control	○	○	○	○				
4	Audio Recalling preset frequency			○	○	○	○	○	○
5	Audio Manual frequency setting			○	○				
6	Navi. Destination setting by 50 syllables					○		○	
7	Navi. Wide/narrow map switching					○	○	○	○
8	Navi. Destination setting on map					○	○	○	○
9	Navi. Surrounding facilities					○	○	○	○

走行ルートは、運転負荷が比較的少ない片側2～3車線の幹線道路1周6.8kmのコースを3周するルートとした。評価は停止評価の後に走行評価を実施し、実験参加者1人ずつで行った。走行評価の様子をFig. 2 (左上: 画面, 左下: 遠隔操作機器, 右上: 車両前方, 右下: ドライバ) に示す。

走行評価では、実験参加者には、できるだけ日常の運転をこころがけ、速度は40～50km/h程度で走行し、安全を最優先で走行するよう教示した。1周目に慣熟走行を実施し、2周目と3周目に、運転しながら機器操作を行ってもらい、1機器操作ごとに先述の7段階の主観評価値を口頭により回答してもらった。

1人あたりの全試行回数は、「機器操作 (34操作)」×「評価項目 (11項目)」= 374回で、36名の合計試行回数は「374回/人」×36名= 13464回である。

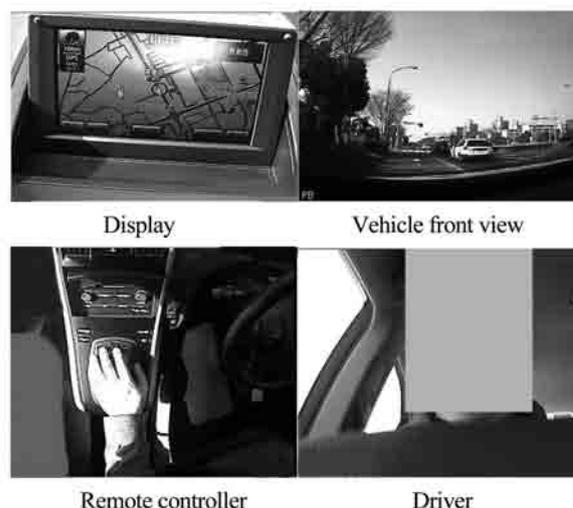


Fig. 2 Example of state of experiments

5.3 収集データの精査

評価項目（11項目）の全ての組み合わせについて相関係数を求めたところ、「腕や身体が安定する」と「腕や身体が楽」の相関関係が0.94と高かったため、次節で述べる仮説モデルが線形結合モデルであることを考慮し、「腕や身体が楽」の項目を分析対象から除いた。すなわち、10評価項目を分析対象とした。停止中については、「運転に集中できる」の項目がないため、9評価項目となる。

統計分析に供するデータ数は、停止中が18項目（Table 3の停止）×9評価項目×36名=5832データ、走行中が16項目（Fig. 2の走行）×10評価項目×36名=5760データである。

5.4 仮説モデルの構築

「操作しやすさ」が操作性因子（走行中9因子、停止中8因子）に対しそれぞれの程度影響しているかを分析するため、「総合的な操作しやすさ」という共通の原因が、観測できない潜在要因を経て、各因子へ影響をあたえる2つの仮説モデル（停止中：Fig. 3(a), 走行中：Fig. 3(b)）を構築した。

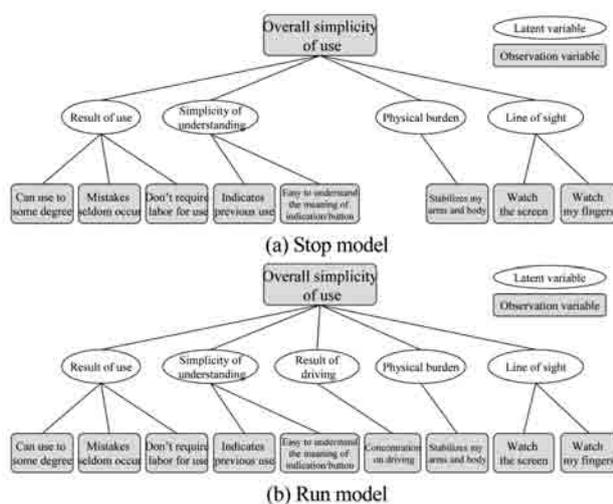


Fig. 3 Hypothesis Models

仮説モデルの中の観測できない潜在変数について述べる。「大ざっぱに操作できる」「操作ミスが起こりにくい」「操作に回数・時間・力がいらぬ」は、「操作成績がよい」という因子（潜在変数）で説明される。「操作したことがわかる」「表示／ボタンの意味がわかる」は、「操作がわかりやすい」という因子（潜在変数）で説明される。「運転に集中できる」は、「安全に運転できる」という因子（潜在変数）で説明される。「腕や身体が安定する」は、「身体負担がない」という因子（潜在変数）で説明される。「画面を注視しない」

「手元を注視しない」は、「視線負担がない」という因子（潜在変数）で説明される。

「操作成績がよい」「操作がわかりやすい」「安全に運転できる」「身体負担がない」「視線負担がない」の5つの因子は、「総合的な操作しやすさ」で説明される。

5.5 仮説モデルの検証

作成した仮説モデルの妥当性を検証するため、統計解析（共分散構造分析）を用いた検証を行った。各モデルの χ^2 乗検定結果（p値）をTable 4に示す。いずれのモデルも「仮説：構成されたモデルは正しい」は棄却されている。

しかし、朝野ら⁹⁾は、大標本（500以上）の場合、 χ^2 乗検定でたいていのモデルが棄却されるようになってくるので、適合度指標であてはまりを評価し、適合度指標のうち、GFI, AGFI, CFIは、0.90あるいは0.95より大きい場合があてはまりのよいモデルで、RMSEAは、0.05未満であれば非常に良好で、0.1以上であれば悪い、と述べている。

本研究では、停止中のサンプル数が648、走行中では576であることから、大標本であると考え、各種の適合度指標の値で適合度の評価を行うことにした。4つのモデルの適合度指標をTable 5に示す。停止モデルおよび走行モデルは、いずれの適合度指標の適合条件も満たしており、妥当なモデルであると考えられた。なお、得られたモデルは、操作系3種（ボタン、タッチパネル、遠隔操作機器）の範囲での汎用的なモデルであるといえる。

Table 4 Results of Chi-square Test

	Stop Model	Run Model
Chi-square test(p)	p<0.01	p<0.01

Table 5 Results of validity of fit test

	Stop Model	Run Model
GFI	0.987	0.986
AGFI	0.978	0.977
CFI	0.935	0.954
RMSEA	0.096	0.093

5.6 結果と考察

停止モデルと走行モデルの因果構造図をFig. 4に示す。「総合的な操作しやすさ」から各因子への影響度¹⁰⁾(Fig 4の括弧内の数値)を算出した。例えば、Fig. 4(a)の操作性因子「大ざっぱに操作できる」の影響度は、「総合的な操作しやすさ」から「操作成績がよい」へのパス係数0.84と、「操作成績がよい」から「大ざっぱに操作できる」へのパス係数0.80とを掛け合わせて2乗したもの $(0.84 \times 0.80)^2 = 0.45$ となる。

「総合的な操作しやすさ」からの影響が大きい操作性因子は、走行時が、順に「運転に集中できる」「操作に労力がいらぬ」「大ざっぱに操作できる」「操作ミスが起りにくい」であり、停止時が、順に「操作ミスが起りにくい」「大ざっぱに操作できる」「操作に労力がいらぬ」であった。走行の「運転に集中で

きる」を除き、操作性の因果構造は、走行時と停止中では同様であることが示唆された。

停止中のドライバーは、運転を行うことなく機器操作のみに集中できる。しかし走行時は、ドライバーにとって「運転に集中」が最優先となり、他の因子はこれに準じて停止中と同様になると考えられる。

以上のことから、車室内表示操作機器の「操作しやすさ」を評価する際には、走行状態において「運転への集中度合いが高い」ことを検証することが最も重要であり、続いて「操作回数・時間・力が少ないこと」「大ざっぱに操作できていること」「操作ミスが少ないこと」を検証することが望ましいと考えられる。

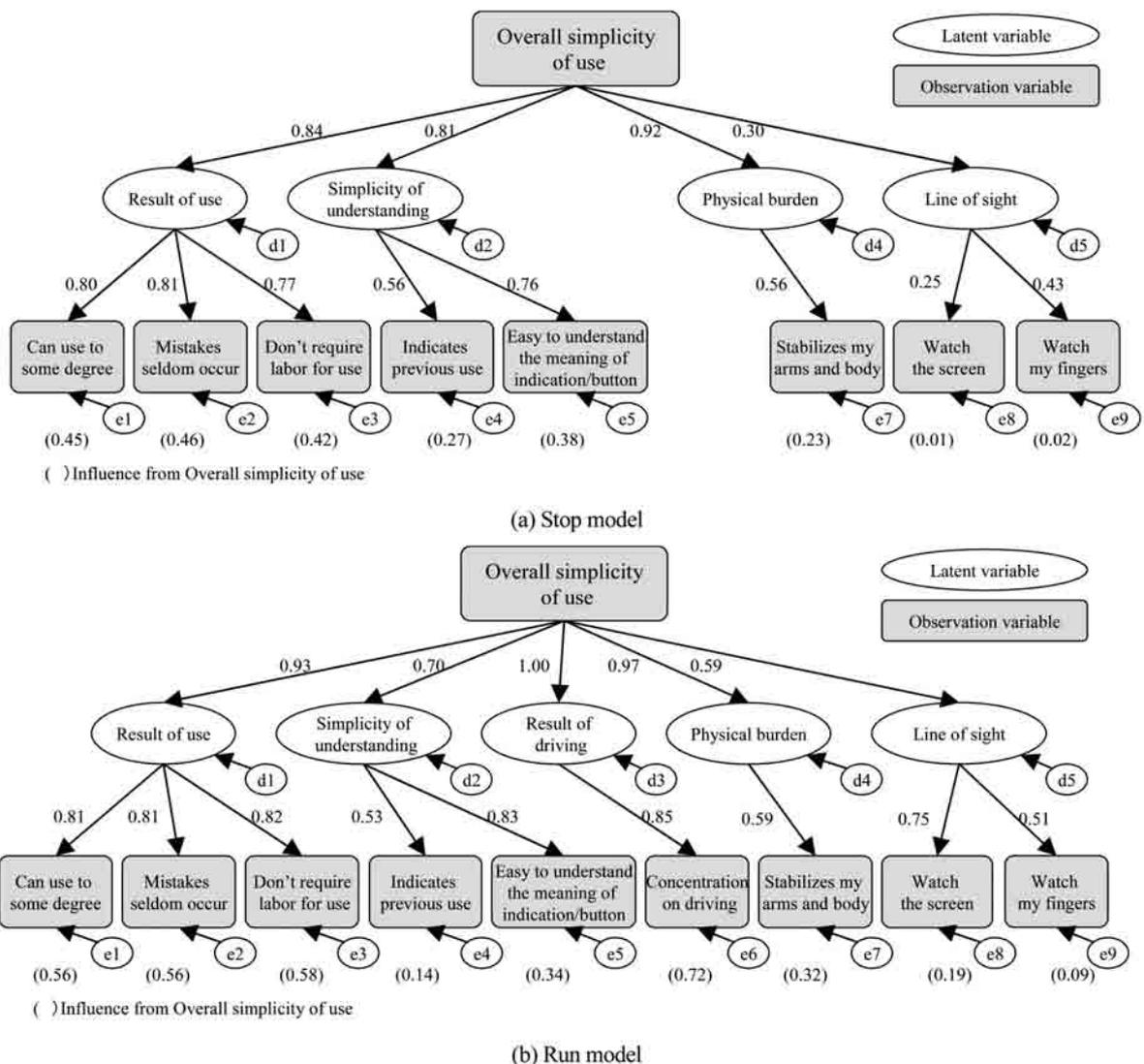


Fig. 4 Models of evaluation structure

6. まとめ

本研究では、車室内表示操作機器の操作性について、実交通環境下で、実車を用いた評価を行い、操作性因子の因果構造を分析・解明する取り組みを実施した。

日常的に運転する一般ドライバーに対して、運転中の操作機器の操作しやすさのアンケート調査を実施し、分析対象とする「機器操作」を絞り込んだ。次に、実交通環境下で、実車運転中の機器操作により、各操作機器のメリットおよびデメリットを収集・集約して、操作性因子を抽出した。更に、停止中および実交通環境下で、運転中に分析対象とする機器操作を行ってもらい、抽出した各操作性因子について主観評価を実施し、共分散構造分析により、操作性の因果構造を分析した。

一般ドライバーの実車評価結果より、以下知見を得た。

(1) 操作性評価の優先項目

車室内表示操作機器の操作性を評価する際の優先項目は、「運転に集中できる」、「操作に労力がいない」、「大ざっぱに操作できる」、「操作ミスが起こりにくい」の順であることが示された。

(2) 走行評価と停止評価の違い

走行中では「運転に集中できる」の重要度が最も高く、運転中に操作できる操作機器においては、その操作が運転を妨げていないかどうかの評価が最重要であることが示された。

今後は、優先順位の高い因子について、定量的に評価できる物理量（車室内表示操作機器の設計パラメータ）を特定し、物理量から操作性を推定できる技術を確立していく。これにより、毎回の実験参加者を用いた評価実験を行うことなく、物理量を計測することで、設計段階で短期に操作性評価のシミュレーションができるメリットが期待される。また、モデルの更なる信頼性向上のため、非線形モデルを含めた新たなモデルを検討していく。

<参考文献>

- 1) 村田厚生ほか：自動車用スイッチのタイプと設置位置が操作性と視線の動きに及ぼす影響，人間工学，Vol. 46，No. 6，p.373-388（2010）
- 2) Y.I.Noy：Human factors in modern traffic system, Ergonomics, Vol. 40-10, 1997, p.1016-1024（1997）
- 3) 福田勝之ほか：前庭動眼反射に着目したドライバーディストラクションの定量評価—周辺視野への注意配分とディストラクションの関係—，自動車技術会論文集，No. 40-03，p.913-918（2009）
- 4) 太田浩司ほか：脇見時間と操舵角情報による車載情報機器操作性の評価，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 100-11，p.19-22（2011）
- 5) 溝渕佐知ほか：表示操作系HMIの評価手法の研究（第四報）—デバイス操作性に対する評価構造の分析—，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 99-10，p.25-30（2010）
- 6) 下山修：ドライビングシミュレータの使い方，自動車技術会シンポジウムテキスト，p.65-66（2005）
- 7) 山田純嗣ほか：没入型ドライビングシミュレータを用いたドライバーの運転行動分析，ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集，p.229-234（2011）
- 8) 日本人間工学会編：ユニバーサルデザイン実践ガイドライン，東京，共立出版，p.33-44（2003）
- 9) 朝野熙彦ほか：入門共分散構造分析の実際，東京，講談社，p.118-122（2005）
- 10) 涌井良幸ほか：図解でわかる共分散構造分析，東京，日本実業出版社，p.112-117（2003）

< 著 者 >

森下 昌彦
(もりした まさひこ)
情報通信機器開発部
ドライバ特性, 車両用遠隔操作
デバイスの研究・開発に従事

石田 健二
(いしだ けんじ)
エレクトロニクス研究部
博士 (工学)
人間工学, 眠気表情の研究, 覚醒
アクチュエーションの研究に従事