

車載情報機器システムにおける情報流の視点からの マルチモーダルインタラクションの設計

南 正名^{†,†††} 渡邊 光章[†] 齊藤 望[†]
田森 裕邦^{††} 藤城 卓己^{††} 竹林 洋一^{†††}

情報の流れに着目して車載ナビ装置の使い勝手を検証した。はじめに情報の流れをシステム全体として捉えるためのマルチモーダルヒューマンマシンインタラクション (HMI) モデルを定義して情報の流れを可視化・定量化する事を行い、次に机上実験と走行実験により、2種類のナビ装置の情報視点での使い勝手評価を行った。評価を行う際に考案した「操舵角累積曲線」はドライバーの情報処理能力を客観的に評価する手段として有効で、実験結果より設計にフィードバック可能な知見が得られた。

Multimodal Interaction Design for On-board Information Equipments from the Viewpoint of Information Exchange

Masana Minami,^{†,†††} Mitsuaki Watanabe,[†] Nozomu Saito,[†]
Hirokuni Tamori,^{††} Takumi Fujishiro^{††} and Yoichi Takebayashi^{†††}

The usability of the vehicle navigation systems has been checked by focusing on the information flow of the systems, where usability is supported by multimodal interaction. Firstly, we defined the Human-Machine Interaction (HMI) Model, in order to capture the information flow as a whole, and made it possible to visualize and quantize information exchange in the system. Then, by doing both static and on-board dynamic experiments, we evaluated two types of commercially available navigation systems. By using specially developed "Accumulated Handle-Angle Variation Curve" system, we showed that driver's information processing capacity is to be evaluated objectively.

The results of the experiments showed that they could be feed backed to improve usability design of the actual navigation systems.

1. はじめに

従来、機器のHI設計では人間工学的な配慮や物理的な形状の設計が重視されていたが、「情報」も使い勝手を決める要素と考えられる。聴覚や視覚的情報を含む情報が、必要なだけ、必要なタイミングでユーザーに提供される様に設計されたマルチモーダル機器を使用している時は、快感さえ覚えるものである。^{2)~6)}

情報の流れ方が、システムの動きを規定する機器を相手にする時代には、機器を構成する要素間の「情報交換のスムーズさ」をHI設計の評価基準と考えた方が、より本質的な使い勝手設計に繋がる。また情報は、

ユーザーが操作する端末機器とユーザーとの間でのみ、やりとりされる訳ではなく、機器の置かれている環境からも各種の情報がユーザーに到達して、ユーザーの情報処理条件に影響を与える。

従って、ユーザーが直接相手にする機器の機能特性は変わらなくても、環境条件の変化により時々刻々使い勝手が変わるため、新たなマルチモーダルヒューマンインタフェース設計基準が必要になると言えよう。

本論文ではシステム内での情報の流れに着目した場合の使い勝手を、実験を交えて検討する。

2. 「情報視点」のHIと新たな「HIモデル」の提案

システム機器構成が複雑になると共にシステムのアーキテクチャ・挙動を理解した上での構成要素設計最適化の為に「トップダウン設計」の考え方が必須になる。システム全体の挙動を「実時間」で表現し、設計者や設計評価者にシステム全体の動作を実感させ

[†] アルパイン株式会社

ALPINE Electronics, Inc.

^{††} 静岡大学大学院情報学研究科

Graduate School of Informatics, Shizuoka University

^{†††} 静岡大学大学院電子科学研究所

Graduate School of Electronic Science And Technology, Shizuoka University

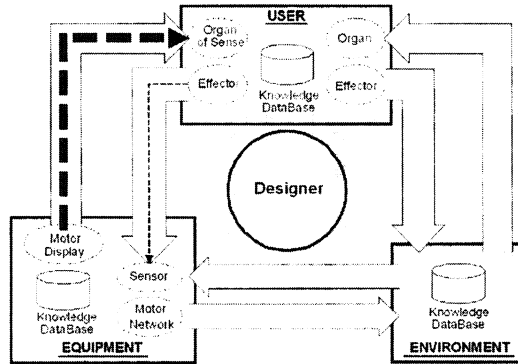


図1 マルチモーダル Human Machine Interaction (HMI) モデル

てくれる「動的アプローチ」が必要である。

情報の使い勝手を検討する上での検討課題は、情報が抽象的存在である為、情報関連の知識・現象を必ずしも他人と完全には共有出来ない、従来、情報の使い勝手も主観的に評価されており、客観的な評価が難しい、各種の情報が多重にシステム内を流れる時、情報の到着タイミングや情報量の多寡でその意味が変わる場合があるが、種々のタイミングや情報量の変化に対するシステム使い勝手変化を事前に予測して設計に反映するのが困難、環境条件の変化に応じた情報の使い勝手変化は単純には予測出来ない、等である。これらの課題解決には、「情報の流れ」を可視化しシステム全体の動作を逐次把握できるようにすることが必要である。特に複雑なシステムや機器の開発を進める上で大いに役に立つ。この可視化の為のツールをここでは「マルチモーダルHMI（ヒューマンマシンインタラクション）モデル」と呼ぶ事にする¹⁾。情報の流れに関するシステム仕様に基づいてデータを入力すれば、情報の流れのタイミングや情報量の時間推移を視覚化してくれる一種のシミュレーションツールである。

マルチモーダルHMIモデルで扱うモデル要素は「ユーザー」と使用する「機器」、それにユーザーや機器が置かれている「環境」で、各要素は往路・復路の二つの「情報チャンネル」で繋がれている(図1)。ここで、例えばユーザーが使用する機器は複数であっても、簡単な為に、直接使用する機器以外は環境の一部と考える。つまり、「環境」はその他すべてと言う形に一般化されている。このモデルを用いると、システム内の各種情報交換プロセスが表現できる。「環境」は複数のセンサー(ビデオカメラ、レーダー、マイクロフォン等)で検出した信号により把握可能で、図に示すように機器の仕様が定まっていれば、種々のマルチ

モーダル情報を伴う機器操作が時系列で表現出来、操作に伴って各モデル要素に集まる情報量がわかる。情報流の速度や加速度、それに各モデル要素に到達するタイミングなど逐次変化も含めて可視化される。

例えばナビシステムを操作する場合、目的地検索や経路設定などのタスク毎に、ユーザーと機器の間で数ステップの情報のやりとりが行われるのが普通である。情報は「チャンク(意味のある情報の塊)」単位でカウントされる。タスクは複数のステップで構成されるが、各ステップは機器に対するユーザの指示により始まり、目的達成で完了する。

3. 実験

情報のやり取りに不具合が生じると、ユーザーの操作ミスや、運動動作への影響が発生することが考えられる。情報のやり取りがどのようになった場合に、使い勝手が良く/悪くなるのかを明らかにするために、2種類の実験を実施した。情報のやり取りに関するパラメータは、量、情報提示タイミング、伝達時間など多様であるが、まず情報の量と提示タイミングに関する実験を実施した。

実験(1)操作ミスと、マルチモーダルHMIモデルにより抽出される情報の量との関係を求める机上実験

実験(2)ハンドルの振れと、情報の提示タイミング・時間の関係を求める走行実験

3.1 実験(1): 操作ミスと情報量の関係の抽出

人と人とのコミュニケーションにおいては、例えば、メールの連絡を怠った結果、トラブルが発生することがよくある。メールに情報を書き漏らしたことによるトラブルも、またよく聞かれる。言い換えれば、お互いの情報不足によりコミュニケーションの問題が発生するといえる。もちろん、お互いを熟知していれば、多少情報が不足した場合でも、内容を補完した上で正

確な理解が可能である。しかし、お互いを熟知できていない一般的なコミュニケーションの状況においては、このような問題が現れやすい。

この状況を人と機器とのコミュニケーションに当てはめてみる。人と機器との関係では、コミュニケーションの問題は、“操作ミス”となってあらわれる。そして、人と人とのコミュニケーション同様、機器を熟知していないユーザや、ある程度の期間使用経験があつ場合でも、普段使い慣れない機能を使おうとした場合に操作ミスが発生しやすいことは、周知の事実である。

ここで、その原因について、人と人とのコミュニケーションを元に考えてみると、人と機器の間でやり取りされる情報が不足する、つまり少ないことが、操作ミスの原因と考えることができる。もし、情報の量の増減を観察することにより、操作ミスが予測できるのであれば、ユーザに実際に操作してもらつ評価無しに、機器の問題点の発見も可能になるはずである。

我々は、この「ユーザと機器の間でやり取りされる情報の量が少ないほど、やり取りがスムーズではなくなり、操作ミスが発生する」との仮説の検証する実験を行い、独自の評価手法を構築した。

3.1.1 実験手順

あるカーナビゲーションシステムについて、マルチモーダル HMI モデルを用いた情報の量の抽出と、ユーザビリティテストによる操作ミスの測定をそれぞれ実施し、それらの比較を行い、情報の量の変化と操作ミスの発生との関係を求めた。

1) 対象機種・タスク

一般的なカー用品店で市販されているカーナビゲーションシステム 2 機種（機種 A、機種 B、共に日本製）を用いた。タスクは、最初にジャンルを選択して目的地（東京ディズニーランド）を設定するタスクとした。

2) マルチモーダル HMI モデルによる情報量の抽出

実際の機器設計への応用を念頭に置き、1) 画面遷移仕様、2) 各画面で表示するデザイン画、3) 音声案内仕様から情報の抽出を行った。

3) 操作ミスの測定手順

ユーザビリティテストを実施した⁹⁾。被験者は合計 8 名。カーナビの使用経験（3 年～5 年のユーザ、カーナビを所有していないユーザの 2 水準）、および性別の 2 つの条件で分類した。各条件で 2 水準ずつであるので、計 4 分類に 8 名の被験者を均等に振り分けた。

実験環境は、停車中に車中で機器を操作する状況を想定し、テーブル上に一般的な乗用車でダッシュボード上にカーナビゲーションシステムを設置する高さに

各機種を設置し、右ハンドル車を想定し、ドライバーシート位置にイスを配置した。

3.1.2 結果：情報量と操作ミスの対応

情報量の抽出結果とユーザビリティテストにより得られた操作ミスの状況を図にまとめたものを、図 2、図 3 に示す。折れ線グラフが、マルチモーダル HMI モデルにより求めた情報量のうち、機器からユーザへの情報量に特化して、その変化を示したものである（指標は図の右側に示されている）。棒グラフは、ユーザビリティテストより得られた操作を誤ったユーザの数である（指標は図の左側に示されている）。

これらの図より、図 2、3 共に、情報量が少ないステップは、操作を誤る被験者が多いことがわかる。つまり、「ユーザと機器の間でやり取りされる情報の量が少ないほど、やり取りがスムーズではなくなり、操作ミスが発生する」という仮説の正しさをあらわしていると考ええる。

図 2 のステップ 1、図 3 のステップ 1 のように、情報の量が多い際に、多くの被験者が操作を誤っている共通のステップも見られる。操作の 1 ステップ目は、基本的に事前情報がない状況である。一方、最終ステップでは、第 1 ステップとほぼ同じ情報量であるにもかかわらず、操作ミスが少ない。以上から、経験の浅いユーザの場合、事前知識も少ないことから、提示された情報でもまだ少なく、操作ミスが発生し、最終ステップでは、それまでのステップで得られた情報が事前情報として活用されたため、外部から提供されるべき情報量が少なくすんでいられると考えられる。つまり、操作ミスの発生しない情報量の下限は、操作初期ステップでは多く、操作が進むにつれ少なくなることが予測される。この情報量の下限に関しては、現在検討中である。

3.2 実験 (2)：運転動作への影響と情報提示タイミング・時間の関係の抽出

車載機器は、運転中に操作を行うことも想定される。運転中という状況は、ユーザの視点から見た場合、運転操作と機器操作の 2 タスクを実施している。つまり、ユーザが車載機と自動車の 2 要素と情報のやり取りを行っていることとなる。また、運転に際しては、歩行者や他車の動き、信号などにも目を配る必要があり、それらから随時変化する情報を受け取っていることとなる。このように複数の要素間で、情報のやり取りが行われる状況では、情報の量だけではなく、他の情報のやり取りパラメータが、使い勝手の良し悪しに影響を与えることが予想される。

例えば、交差点を曲がっている時は、機器操作も情

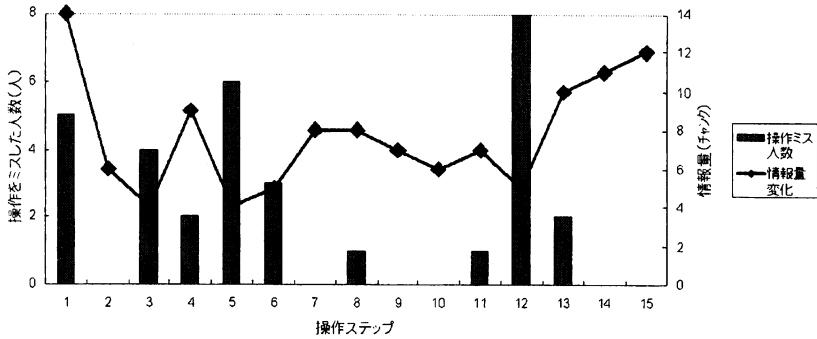


図2 機器 A の操作ステップ毎の情報量と操作ミス

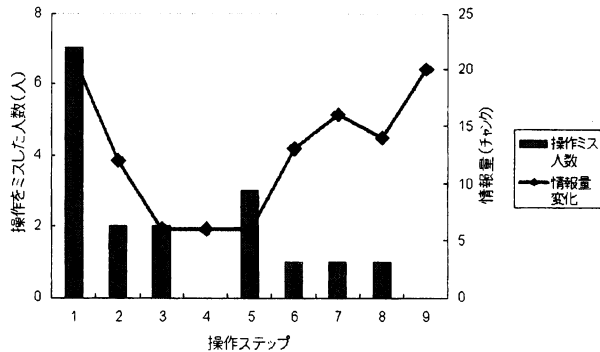


図3 機器 B の操作ステップ毎の情報量と操作ミス

報提示も困難なのは容易に想像できる。このように、ユーザがマルチタスクを行っていることを考えれば、ユーザへ情報が流れ込むタイミングが、使い勝手に影響を与えることが予想できる。我々は、走行中の使い勝手に関係するパラメータとして、情報の提示タイミングに着目し、情報提示タイミングと使い勝手の関係を求める実験を行った。

3.2.1 実験手順

1) 対象機種・タスク

机上実験で用いた市販のカーナビゲーションシステム1機種（機種B）と、車両純正のカーナビゲーションシステム1機種を用いた。タスクは、自宅へ帰るルートを設定するタスク（初期状態としては、何もルートが引かれていない状態とした）と、走行ルートの条件を、高速道路を通らないルートに変更するタスク（初期状態として、高速道路を通るルートを設定した）の2つのタスクを実施した。

2) ハンドル舵角変化、情報提示タイミング・時間の測定手順

被験者は6名。カーナビ経験が2年～の男性のみとした。年齢は、20台3名、30～40台前半3名である。ユーザが機器を取り付けた車両を運転しながら、機器操作を行う実験を実施した。安全に配慮し、実験はアルパイン（株）いわき事業所敷地内にあるテストコースを用いた。

実験車両へは、合計5台のカメラを設置し、ユーザの挙動を記録した。5台のカメラはそれぞれ、1) ユーザの視線、2) ユーザの手の動き、3) 車両前方の状況、4) ハンドルの舵角、5) カーナビの画面を撮影した。

また、被験者には、あらかじめ停車状態でタスクを実行してもらい操作手順を完全に覚えてもらう習熟訓練を実施した。さらに、テストコースの中央を一定速度35kmで走るように指示し、習熟訓練を行った。

3.2.2 結果：運転動作への影響と情報提示タイミング・時間の関係の抽出

ハンドル舵角のデータ抽出（サンプリング間隔を0.5sec）を行った。結果の代表例を図4に示す。上段が無負荷での走行時、中段が機種Bの操作時、下段が

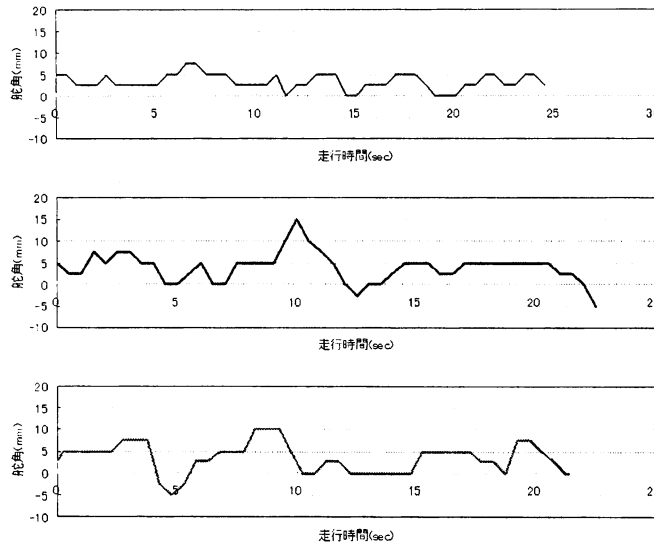


図4 ハンドル舵角の変化

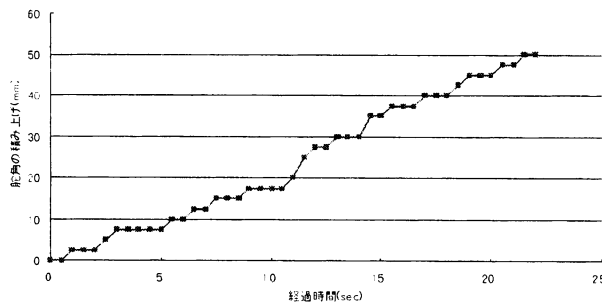


図5 経過時間と舵角の積み上げ $S_{\Delta L}(N)$: 無負荷走行時

機種 C の操作時の結果である。

直進時のハンドル操作のため、明らかな周期波としては現れておらず、差分が判別しにくいいため、データの加工を行った。あるサンプリングタイミング n での舵角を $L(n)$ とした場合、サンプリング毎の変化量 $\Delta L(n) = L(n) - L(n-1)$ を求める。さらに $\Delta L(n)$ の絶対値 $|\Delta L(n)|$ を求め、次式にて、各サンプリングタイミング N での舵角変化量の積み上げ値 $S_{\Delta L}(N)$ を求めた。

$$S_{\Delta L}(N) = \sum_{n=0}^N |\Delta L(n)|$$

図4の無負荷走行時のデータの $S_{\Delta L}(N)$ を求めたグラフを図5に示す。無負荷走行時は、 $S_{\Delta L}(N)$ がほぼ比例式で近似できることがわかる。被験者によって、 $S_{\Delta L}(N)$ の傾きは異なる。

図6に被験者 No.2、図7に被験者 No.6の機器を視認している間の $S_{\Delta L}(N)$ の変化を示す（前方を見て運転している区間のデータは間引いてある）。図より機器操作時の機器注視行動によって、ハンドル操作に影響が出ることが確認できる。また、影響は、被験者によって、無負荷時に比べてハンドル操作が大きくなる場合（例えば、被験者 No.2）と、逆にハンドル操作が少なくなる場合（被験者 No.6）に大きく2分類できることもわかる。

さらに、 $S_{\Delta L}(N)$ の変化と、機器からの情報の提示タイミング・時間との関係を見るために、 $S_{\Delta L}(N)$ の時間微分値を求めたものを図8、9に示す。図中で網掛けになっている部分は、機器がユーザーからの入力を処理中で、応答が途絶えている時間をあらわす。図より、機器からの情報が途絶えると、無負荷時に比べ

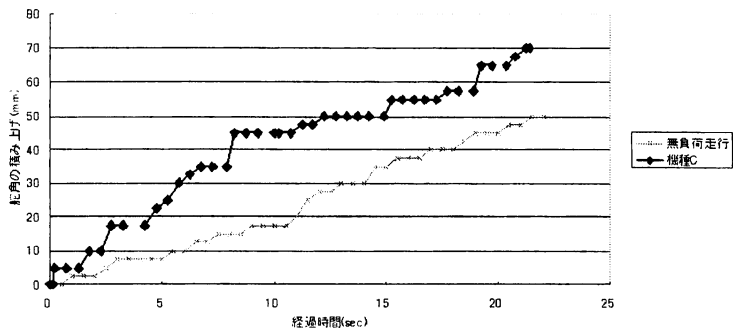
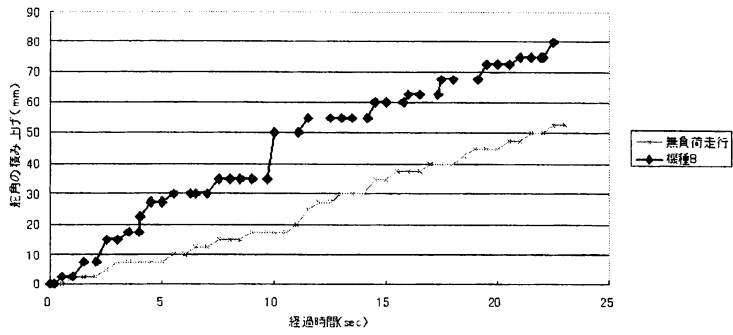


図6 被験者 No.2 の機器操作時の舵角変化 (mm/s)

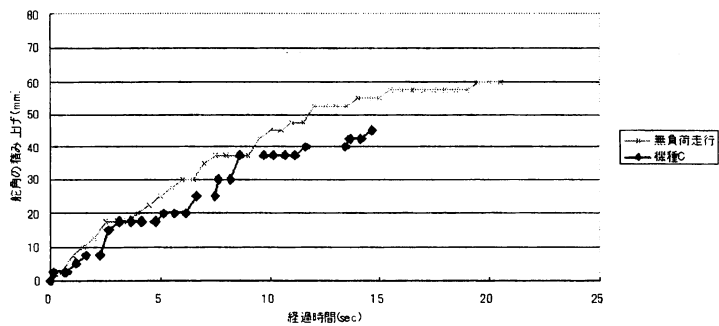
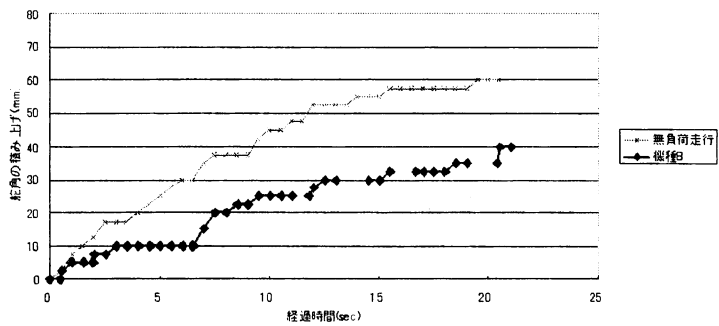


図7 被験者 No.6 の機器操作時の舵角変化 (mm/s)

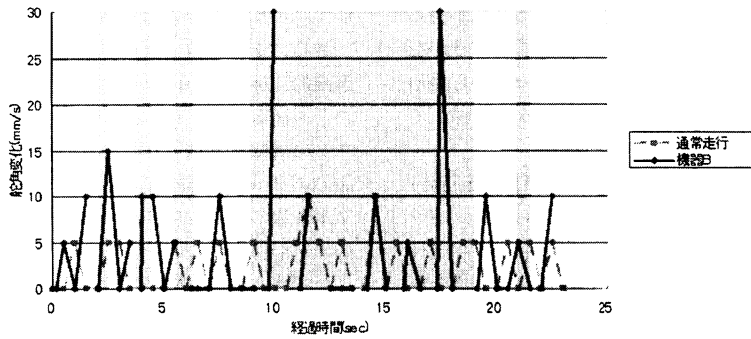


図 8 被験者 No.2 が機器 B 操作時の舵角変化 (mm/s)

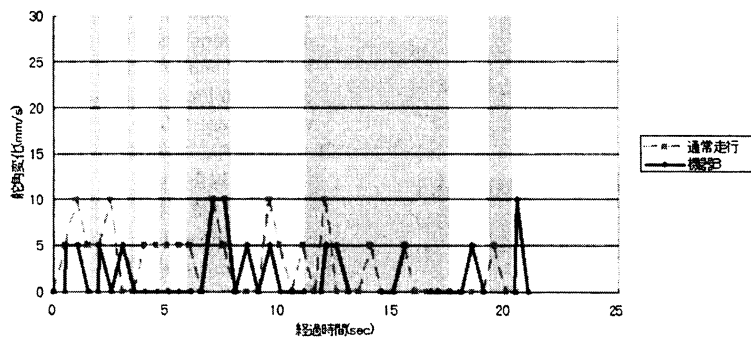


図 9 被験者 No.6 が機器 B 操作時の舵角変化 (mm/s)

て、 $S_{\Delta L}(N)$ の時間微分値に明らかな変化が生じている様子がわかる。図 8 では、ハンドル操作が増加しており、図 9 では、逆にハンドル操作が減っている。つまり、機器とユーザー間の情報流の停滞が、運転動作へも影響を与えていることがわかる。

4. 考 察

4.1 情報量と、認知誤りによる操作ミスとの関係

従来の使い勝手評価で欲行われているユーザビリティテスト法による実験では、タスク実施上、どのプロセスでミスが起きるかは特定できるが、その理由については主観的アンケートに頼るか、実験を観察するしか検証の方法が無かった。どのような結果が得られるかを事前に予測することは困難で、結果を得るまでに数日から数週間の時間が必要であった。

今回の実験結果を普遍的に正しいとするには若干データ不足と言わざるを得ないが、両方のナビシステム操作実験において、ユーザーに提供された情報量とミスの発生に一定の傾向（ミスが起こるのは情報が少ない時、もしくは多すぎる時）が見られたことは、

注目に値する。社会におけるチーム作業の際にも、情報が少なすぎて事故が起きたり、情報過多が混乱を起こすのと事情は同様であり、この結果の正しさは是認出来よう。

将来この実験を発展させて、情報の見積もり方などを精緻化させれば、設計仕様データさえあればミスの起こりそうな部分を事前に予測したり、候補部分の絞り込みが可能になって、設計へのフィードバック時間も大幅に短縮されよう。このことを可能にするために、前記マルチモーダルHMIモデルを用いた情報量見積もりが役立っている。

なお、図 2, 3 において、相対的に情報量が少ないにも拘わらずミスが発生していないステップも見られるが、これには人間の類推学習能力や、事前に各ユーザーが備えている予備知識の活用などの影響も有ると思われる。さらに条件を変えて実験を行うことが必要と思われる。

4.2 情報の提示タイミングとドライバーの情報処理能力の関係

2 番目の走行実験では、情報の処理能力やこれと関

係した情報提示タイミングの適否に関わる知見が得られる。処理能力がオーバーフローしているかどうかをドライバーの主観に頼ることなく客観データから得るために、走行時のハンドル舵角変化データを記録しておき、平滑化処理を施して傾向を見た。

その結果、ナビ装置操作時と非操作（無負荷走行時）とで、個人差はあるが明らかな差異がみられた。ドライバーは、ハンドルを微妙に左右に動かしながら走行するのが普通であるが、ナビ装置を操作し始めると非操作時に比べて動かし方が減り続けたり、増え続けたりする。前者は装置の方に意識が向きすぎてハンドル操作がおろそかになる場合であり、後者は途中で意識を頻繁にハンドル操作へ戻すものの、制御過剰に成ってまた修正が必要になる結果であると推測できる。いずれもドライバーの情報処理能力のオーバーフロー傾向を表していると言えよう。無負荷走行時と類似の曲線をたどる場合は、処理能力に余裕があると判断して良いであろう。

さらに詳しく言えば、無負荷走行時と同様の曲線をたどる場合も、ステップの変わり目毎に明らかにひげ状の変化が現れており、何らかの負荷がドライバーに加えられている様子が見て取れる。

これらの中、どちらの傾向を取るかは個人により類似傾向が見られるが、ナビ装置の違い（A.B）によって類似の傾向が現れる場合もある。初期的な検討によれば、これらの無負荷走行時との操舵角累積曲線の違いが大きい部分で、各ステップのドライバーに及ぼす負荷も、機器からの応答が遅く、何もフィードバックがない場合、ドライバーの意識及び視線がナビ画面上へ向かっている、ナビ画面上に紛らわしい類似文章で判断をドライバーに課している、環境情報を得ようと言う意志が働いて、意識がハンドルから離れているなど、数パターンに分類できる事が判っている。

反対に、事前に予測したような「情報量と視認に必要な時間との相関」は小さく、また、「ドライバーがミスをしたあとの装置注視時間増加」の傾向は見られなかった。

5. 結 び

マルチモーダル情報の流れが車載機器の使い勝手に及ぼす影響を調べるために、机上実験と走行実験をまじえて検討を行った。情報量を定義し、関係者が事情を共有化するためにマルチモーダル HMI モデルを利用することが有用性を検証できた。

机上実験では、情報量とユーザーの処理能力との関係で操作ミスの発生条件を検証し、仕様データから操

作ミスの出やすい部分を絞り込む可能性を指摘した。

さらに走行実験では、ドライバーの情報処理能力を客観的に捉える手段として操舵角累積曲線を利用することを提案し、マルチモーダル HMI モデルを用いたタスクの情報量見積もりと組み合わせて操作ミス発生原因のパターン分類を行った。これにより、マルチモーダル情報の流れに着目したシステム機器の使い勝手評価の可能性を示すことが出来た。

今後は、実走行時の評価データを設計にフィードバックして、この手法の効果を実証したい。

参 考 文 献

- 1) Masana Minami, Nozomu Saito, Mitsuaki Watanabe and Yoichi Takebayashi: A Quantitative Usability Evaluation Tool for Multimodal Human Machine Interfaces and Its Application to Vehicle-Navigation System, in Proc. HCI International 2003, Crete University Press. (2003)
- 2) 田森 裕邦, 坂根 裕, 萩川 友宏, 竹林 洋一: 運転者の位置を反映するミラーによる安全運転の支援, 第3回情報科学技術フォーラム講演論文集 第3分冊 pp.451-452.(2004)
- 3) 海保 博之, 田辺 文也: ヒューマン・エラー, 新曜社 (1996)
- 4) (財) 原子力発電技術機構ヒューマンファクターセンター: ヒューマンシステムインターフェース評価手法電子ハンドブック HIBISCUS (1998)
- 5) 石橋 明: ハイテク機コックピットにおける安全と安心, ヒューマンインタフェース学会論文誌 Vol.5 No.1 pp.19~26. (2003)
- 6) 日本人間工学会・アーゴデザイン部会 スクリーンデザイン研究会: G U I デザイン・ガイドブック, 海文堂 (1995)
- 7) Mark T. Maybury 他, Intelligent Multimedia Interfaces, Mit Pr (1993)
- 8) 池本 浩幸: 状態遷移図を用いたユーザビリティ評価, 第14回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp7-12 (1998)
- 9) 黒須 正明 編: ユーザビリティテストング, 共立出版 (2003)
- 10) 中山 沖彦, 二見徹, 中村友一, アーウィン ボア: 運転者負荷定量手法「ステアリングエントロピー法」の開発, 自動車技術会'99年春季学術講演会前刷集, No.45-99 pp.5-8 (1999)