

車載情報機器によるドライバーの作業負担の増加と安全性

林 喜男* 長田ひろみ**
辛 承憲*** 世古恭俊****

最近、車の中にドライブ・コンピュータによる車の交差点における行先表示、車の目的地への地図情報表示、最短経路誘導表示といったCRTディスプレイによる車載情報機器が開発され、搭載されてきた。

これらの機器がドライバーに作業負担を増加させ、その結果として運転の安全性に大きな影響を与えかねない。したがってこれらの機器がドライバーにどの程度の作業負担増になるかを測定し、機器設計の指針を得ることを目的として、議論を展開する。

Increment of Driver's Workload on Car Information Instrument and its Safety

Yoshio HAYASHI* Hiromi OSADA**
Shin Sung-Keon*** Yasutoshi SEKO****

There have been many developments in today's automotive navigation instruments technology. These CRT displayed instruments include destination indicator (used when the car is at an intersection), map information display for provided destinations, and the guidance system indicating the shortest route available to any given destinations. Some of these instruments have already been installed onboard the currently marketed automobiles.

There are some concern, however, that these instruments may have negative effects on the driver's ability to drive safely; this speculation is made from the diversification of the driver's attention from increased number of instruments. Therefore the discussion will focus on the increase of driver's workload created by these instruments, evaluating the statistics to set a guide line in designing of these instruments in the future.

1. まえがき

近年乗用車に、商品性向上のため、ドライブコンピューター、すなわちCRTディスプレイを利用した情報システムが、搭載されて来た。また業務用車両を中心に、自動車電話、MCA無線データ通信等の移動体通信を軸とした車両の“MA化” (Mobile Auto-

mation)が進んできている¹⁾。しかしこれらのシステムはともすると表示項目が多くなり、操作が複雑になりがちのため、ドライバーの作業負担増加による安全性の低下が懸念されている。この典型的な例として、自動車電話をハンドフリー化して運転中の通話を可能にする計画があるが、これは安全性の観点から問題があるときれ、実現はされていない。

そこで今後ますます搭載が予想される各種の情報システムに対して、安全性の問題を早期に検討しておく必要があり、したがってドライバーの観点にわたっての車載情報機器のシステム評価が重要な問題となってきている。そこで本論文では、運転者の作業負担の少ない、操作性、視認性のよい車載情報システムを開発するために、道路状況別の作業負担、車載情報機器搭載によるドライバーの作業の負担の増

*慶應義塾大学理工学部管理工学科教授
Professor, Dept. of Administration, Keio University

**日本電気(株)中央研究所
Central Research Laboratories, NEC Co.

***啓明大学校産業工学科
Dept. of Industrial Engineering,
Keimyung University

****日産自動車車輛研究所
Nissan Motor Co., LTD.
原稿受理 1988年5月17日

加、また車両運転操作に及ぼす影響度合を測定し、システムの評価をしようとするものである。

人間の作業負担を測定した過去の研究を展望してみると、まず航空パイロットの作業負担を測定したCooper&Harperの考察によるパイロットレイテング尺度がある。これは主観的評価法で航空宇宙関係では広く用いられている手法である。一般作業者の作業負担を測定する方法としては、Time Line Analysis (T.L.A.) とよばれるタスク分析がある。この手法は、動作時間研究の系列に属する手法で、所与のタスクを最小単位に細分化し、細分化されたタスク所要時間 T_i ($i=1\sim n$)、タスク遂行に許容された時間を T としたとき作業負担の指数 (WLI) を、

$$WLI = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T} \times 100$$

で評価するものである。

また生理・心理的心身反応による評価法として、心拍数、血圧、呼吸数、皮膚電気反射、眼球運動、音声フォルマント、尿中含有物組成等がある。これ等の方法はいまだ完全に実験方法として定着してはおらずまだまだ多くの問題点をふくんでいる。そこで本論文では主作業 (車の運転) と同時に簡単な二次作業 (単純反応時間測定) を課し、二次作業の成績から主作業の作業負担を間接的に推定する二重課題法²⁾を用いた。この方法はSpyker, P. A. とStackhouse, S. P. ³⁾等のNASAにおける二重課題法の研究や、車の運転者の作業負担に関するBrown, I. D.⁴⁾、Knowls, W. B. ⁶⁾等の研究、その他^{7,8,9)}によって確立された方法である。

2. 実験の目的

最近新自動車交通情報システムと命名されたシステム、すなわち交通渋滞情報を交通管制センターより各自の自動車に搭載されているCRTディスプレイに送るシステムが計画されている。

これ等のシステムが車に搭載された場合の運転の安全性については、いまだ検討されていない。そこで今回の実験ではドライバーの作業負担の観点からドライバーが走行中に見る情報表示の形態が運転作業にどのように影響するかを調べるものである。

3. 実験の内容

車載情報機器と人間とのインターフェースであるCRTディスプレイ上の情報表示、例えば車の交差点

における行先表示、車の目的地までの経路を示す地図情報表示、最短経路誘導表示といったCRTディスプレイによる案内表示がドライバーの作業負担を増加させ、その結果運転の安全性に大きな影響を与えかねないので、まず車の運転によるドライバーの作業負担の測定法を開発し、その方法を用いて、実車による生活道路、一般道路、高速道路の走行時の運転の作業負担を測定する。この測定法の評価は、主観的評価法との相関によって行った。

車載情報機器を搭載した実車による道路走行実験は安全性の観点から問題があるので、これはシミュレータ実験で行った。このシミュレータは、車の運転席を模擬し、シート、ハンドルと2台のCRTディスプレイよりなる。実験はCRTディスプレイ上に走行する道路を模擬した道路にディスプレイの上の輝点 (車) をハンドル操作によって追従させることによって行われる。その時の被検者の作業負担を測定する。この際シミュレータ操作による作業負担は車載情報機器が搭載されてない場合の実車による道路走行における作業負担になるよう設定した。

ここで情報表示形態として、交差点における方向指示、目的地までの距離を示す数字、目的地までの地図をもう一つのCRTディスプレイ上に表示し、これによる被検者の作業負担の増加と道路はみだし回数による作業成績とを測定し三つの表示形態の評価を行った。

4. 実験方法

二重課題法は主作業と二次作業を同時に課して、二次作業の成績から主作業の作業負担を測定するものである。この二次作業には入力刺激として、音刺激と、光刺激によるものがある。ここでは、入力刺激として光刺激を用いた。

作業負担 (WL) は二次作業の単純反応時間 (RT) と見落としによるエラーの割合 (MR) とを測定して、主作業の作業負担WLを次式で算出するものである。

$$WL = \alpha \cdot RT + \beta \cdot MR \dots\dots\dots (1)$$

ここでRTは、あるエラー時間を決めて、その値を越えた場合はその時のエラー時間を反応時間として求めた平均反応時間であり、MRはエラー時間を越えた数を刺激数で割った値である。

車を運転している時の二次作業の反応時間分布は個人差が大きく、そのためエラー時間は個人ごとに

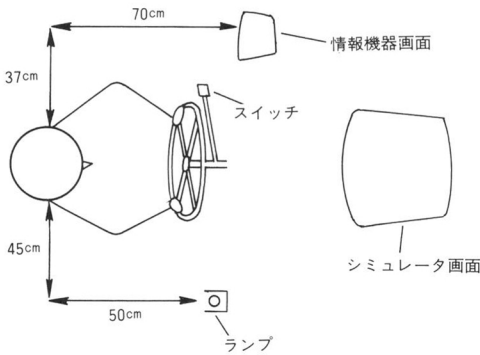


Fig.1 実験配置図
Sketch of experiment

求めることにした。

4-1 実車実験によるエラー時間と
 α 、 β の推定方法

車の運転中に二重課題法による実験を行うため、車のハンドル中央のダッシュボード上に直径約3mmのLEDランプを視線角が15°以内にあるように取り付け、このランプが点灯したら、ハンドル左側のワイパースイッチの先端につけた直径約5mmのマイクロスイッチ押しボタンを押して、ランプを消す操作を行う。

このような装置を装着した車で、実際の道路を運転してもらい、光刺激によるドライバーの反応時間分布を取り、個人差をなくすために、その時の反応時間を対数変換して反応時間分布を正規分布に近似させ、これを正規母集団と仮定し、80%タイルの点をエラー時間ETと設定した。このET時間より長い反応時間の場合はドライバーの見落としエラーとした。このときの光刺激の平均点灯間隔は20秒で、標準偏差10秒のランダムな点灯間隔を用いた。また点灯持続時間は5秒である。

更にパラメータ α 、 β を算定するため実験車に運転操作量すなわち、車の速度、ブレーキ、ウインカー、ハンドル、アクセル、シフト操作量が測定出来る装置を装着した。

被検者は車の熟練者8人で、実際の道路を走行し、RT、MRの二つの変数による二次平面と運転操作量よりなる10次超平面とで正準相関分析を行い、正準相関の値の大きな α と β の値を求めた(詳細は文献10を参照)。この結果、

$$WL = 1.546 \cdot RT + 3.536 \cdot MR \quad \dots\dots\dots (2)$$

という式を得た。

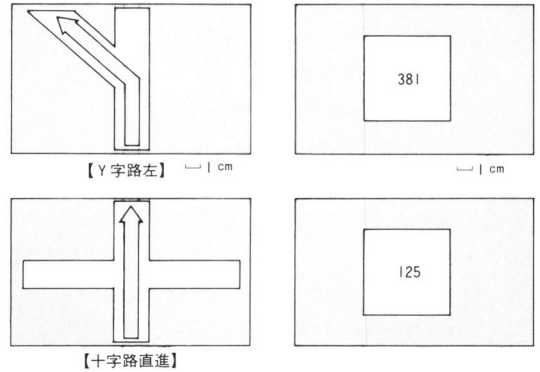


Fig.2 方向指示情報と数字情報
Direct lonal and numeric figures

したがって作業負担の指標として、

$$WLI = \frac{1.546 \cdot RT + 3.593 \cdot MR}{1.546 \cdot ET + 3.539} \quad \dots\dots\dots (3)$$

を用いる。

4-2 シミュレータによる実験¹¹⁾

実車に車載情報機器を搭載して実験の道路を走行するのは安全性の面から問題があるので、4-1の実験で行ったWLIの値の範囲内にあるようシミュレータ画面上にトラッキングコースを設定した。すなわち、シミュレータとしては14インチのCRTディスプレイ (NEC PC・KD551K) にパーソナルコンピュータ (NEC PC-9801UF) を用いてトラッキングコース (模擬道路) を設定する。このコースは手前前方に道路が流れるように設定した。実験の情報機器画面とシミュレータ画面の配置図をFig.1に示す。

被検者はシミュレータ画面上のコースにそって画面上の輝点をハンドル操作でコースを追跡する。コースは2種類で、Aはトラッキング操作量が5.2回転数/分 (WLIは約20)、Bは8.2回転/分 (WLIは約30) になるように設定した。

被検者の数は4-1の実験の場合の被検者と同一の者で8人である。

情報機器の画面は6インチのタイプのディスプレイにパーソナルコンピュータ (NEC PC-9810F) を用いて情報を表示した。

情報の種類はFig. 2に示されるような方向指示と数字、更に画面上に一定地区の地図をのせ、その上にランダムに赤点で示した現在地と緑点で示した目的地を表示する。被検者は表示された方向と数字は口頭で答え、地図情報は現在地に行くための最初

に通る交差点の名前を答える。

実験環境は

- ・室内水準照度（環境照度） 570L_x
 - ・シミュレータの視線方向照度 30L_x
 - ・シミュレータの平均表示輝度 21cd/cm²
 - ・情報機器用CRTの視線方向照度 120L_x
 - ・情報機器CRTの平均表示輝度 70cd/m²
- である。

二次作業の平均点灯間隔は1)の実験と同じく20秒(標準偏差10秒)、点灯持続時間は5秒である。また情報機器の情報表示の表示間隔は15秒と30秒である。その表示時間は被検者が応答するまで表示した。

〔実験手順〕一回の実験は15分で、最初の5分間トラッキングを行いながら情報読取りを行い、合図を与えてその後10分間二次作業を加えて作業負担指数WLIを求める。さらに、毎回の実験が終わった後、Fig. 3に示すJulie, H. S. 等の方法を改良した主観的評価尺度を用いて主作業を評価する。

被検者は前回の実験と同一人物で8人である。

5. 実験結果並びに考察

5-1 実車実験

実験コースとして作業負担の高い生活道路、中程度の一般道路、作業負担の低い高速道路をとった。また悪天候の日は除外した。この実験結果を Table 1 と Fig. 4 に示す。被検者 8 人の生活道路の平均WLIと分散は45.23±13.37、一般道路は35.74±10.74、高速道路は23.63±8.74であった。

また分散分析の結果を Table 2 に示す。これから分るようにWLIの値は道路間には有意差があるが、被検者間、交互作用には有意な差がなく、これは実

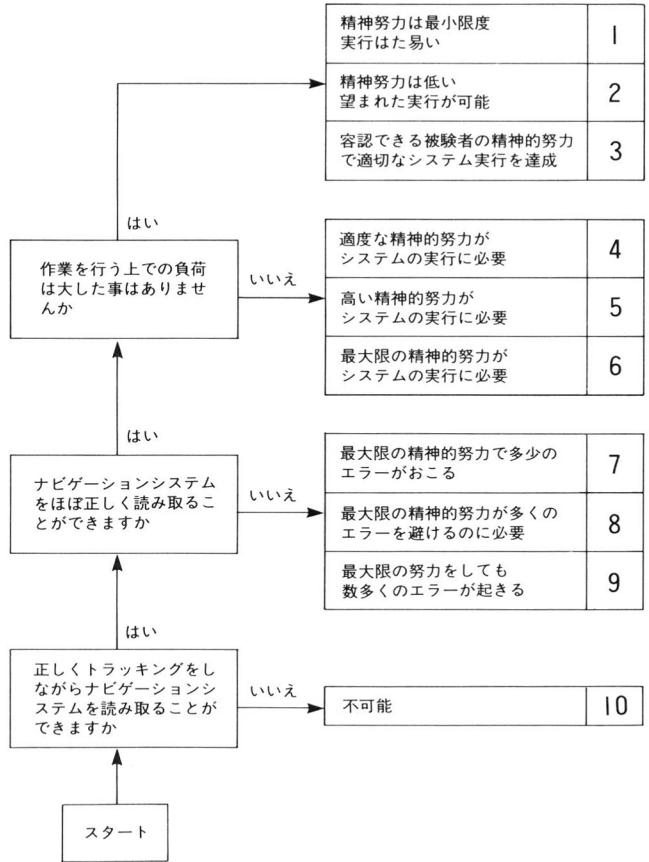


Fig.3 主観的評価尺度
Subjective rating

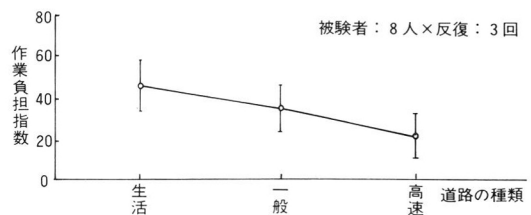


Fig.4 道路の種類と作業負担 (WLI)
Work-load indices in various roads

Table 1 道路の種類別の作業負担指数
Work-load indices in various roads

	A	B	C	D	E	F	G	H	
生活道路	47.22	56.75	68.25	32.10	59.94	51.18	70.19	37.03	45.23 ± 13.37
	28.72	38.75	16.08	47.97	28.65	65.19	45.72	39.15	
	58.27	45.44	30.61	45.00	46.19	30.29	48.67	48.11	
一般道路	38.77	41.85	39.30	47.54	50.13	39.82	37.00	34.62	35.74 ± 10.17
	22.01	33.98	33.54	24.78	39.77	53.95	29.43	16.98	
	28.96	31.79	38.46	30.91	52.11	14.62	29.32	48.11	
高速道路	30.31	17.60	15.82	16.62	23.36	12.87	22.10	19.39	23.69 ± 8.74
	40.76	16.86	18.87	31.42	22.24	33.13	18.03	24.76	
	48.64	18.41	33.31	14.88	15.44	29.46	18.20	26.01	

Table 2 道路間、被験者表における反応時間、エラー率、作業負担指数のF値とその確率
F-values and its probabilities of reacting times, error rates and work-load indices between roads and between subjects

	道路間		被験者間		交互作用	
	F値	p	F値	p	F値	p
反応時間平均	29.0	0.0000	3.0	0.0117	1.3	0.2677
RT	26.3	0.0000	8.3	0.0000	1.3	0.2423
MR	15.7	0.0000	0.2	0.9782	0.9	0.5331
WLI	22.3	0.0000	0.4	0.9107	1.0	0.5123

Table 3 トラッキング作業の習熟効果
Learning effect in tracking operation

	主作業なし (n=8)	トラッキングAのみ (n=8)	トラッキングBのみ (n=4)
実験前のWLI	15.38(±3.47)	21.84(±4.74)	30.29(±2.25)
実験後のWLI	13.78(±2.11)	24.22(±4.32)	26.17(±5.68)
実験前後間F値	0.76	1.40	1.00
F分布上側確率	0.4114	0.2748	0.3912

注) (±)の値は標準偏差

Table 4 情報機器による作業負担指数
Work-load indices in operation of simulator with various figures in CRT-Display

トラッキング	情報の種類	表示間隔	WLI	F値	pr(f>F)
トラッキングA (n=8)	—		23.03(±4.69)	—	—
	方向指示	30秒	28.12(±4.31)	10.69	0.0048
		15秒	31.47(±6.53)	24.48	0.0001
	数字	30秒	28.64(±6.08)	17.77	0.0007
		15秒	31.68(±5.53)	36.96	0.0000
	地図	30秒	36.26(±9.25)	23.15	0.0002
15秒		38.70(±12.32)	56.46	0.0000	
トラッキングB (n=4)	—		28.23(±4.79)	—	—
	地図	30秒	41.44(±8.38)	23.08	0.0013
		15秒	46.43(±16.49)	26.51	0.0009

注) (±)の値は標準偏差

験コースの設定や、WLIを決めるエラー時間、 α 、 β の設定がうまくいっていたことを示している。したがって次のシミュレータ実験のWLIの測定には(3)式を用いて行った。

5-2 シミュレータを用いた実験

シミュレータ実験では、なるべく道路上を実車で

走行している感じになるよう画面上のコースを作り出した。Table 3はトラッキング作業の習熟度を見るためにトラッキング作業の難易度の異なるAとBの実験後のWLIの値を求めたものである。この結果、習熟は見られなかった。トラッキング作業Aは高速道を運転する程度の作業負担でBは一般道を運転する程度になることがTable 2を比較することによって分った。

Table 4は情報機器搭載によるWLIの変化を示したものである。これをトラッキング作業Aのみを図示するとFig. 5のようになり、情報機器搭載によるWLIの増加はTable 4より有意となっている。この図から地図情報の読取りによる増加分は平均で約13から16ぐらいで、方向指示と数字読取りは約5~8ぐらいとなっている。表示間隔が15秒の場合でもトラッキング作業と地図情報の読取りの合計のWLIは平均38.7程度で、これは一般道を走行するときの作業負担の程度となる。しかしトラッキング作業Bの場合は表示間隔15秒の場合でWLIの値は46.43となり生活道路を走行している時の作業負担に近い。

これ等の結果より交差点情報である方向指示と現在位置と目的地までの距離を示す数字情報の作業負担増は約5~8程度でその主な原因は画面を見るための視線の移動によるものと考えられるので、実験における情報機器の画面の位置をハンドルの前の見やすい位置におけば、走行中でもほとんど車の操作性や安全性に問題は無いが、地図情報は作業負担が前者の二つに較べて2倍強となっているので、走行中での情報の読取りには多少の問題が残ると思われる。したがって、車載情報機器の設計指針として地図情報は停止中に、他の交差点情報や走行距離情報は走行中に表示されてもよいと思われる。

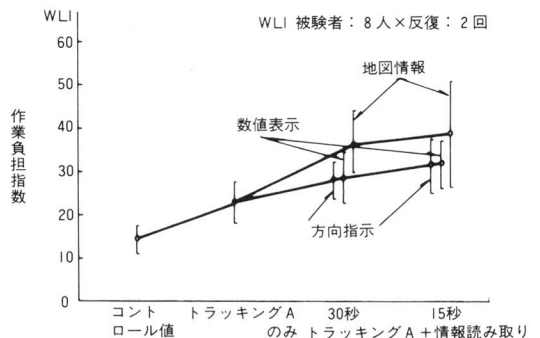


Fig. 5 情報種類別みたWLI
Work-load indices in simulators operation with various figures

Table 5 作業成績と作業負担との相関

**Correlation coefficient of performance and
work-load index**

	トラッキング はみだし回数	情報読み取り 誤答率	主観的評価値
情報読み取り 誤答率	0.15607 (0.1003)		
主観的評価値	0.36824 (0.0001)	0.29176 (0.0018)	
WL I	0.07294 (0.4447)	0.15131 (0.1113)	0.44789 (0.0001)

今後の課題としては、次のような問題が残る。すなわち、車載情報機器の運転者に与える作業負担を二重課題法を用いて評価したが、この実験には次の二つの点で、問題がある。その一つはこれがシミュレータによる評価であるという点である。実車実験と同じ感触となるようシミュレータのトラッキング経路とその速度を設定したが、シミュレータは臨場感に乏しく、また危険性に対する心理的影響が少ない点である。第2の点は二重課題法による作業負担は精神的負担を測っているより操作のいそがしさを測っているというきらいがある点である。

第1点に関しては車の安全性より情報機器の読取りを主に被検者が行動するのではないかといった点に問題があるが、これについては、Table 5に示すようにトラッキング作業で、経路からはみだした回数と作業負担との間の相関や、情報読取りのエラー率と作業負担との間の相関がなく、この結果は航空機パイロットのパフォーマンスと作業負担との関係で、熟練パイロットはある作業負担の値になるまで、パフォーマンスは一定になるということが知られており、この実験でもトラッキングはみだし回数（パフォーマンス）と作業負担との相関が有意でなかったことから、この実験ではそれ程問題にしまなくてもよいように推察される。

第2の点については同じく主観的評価値と作業負担との相関をとると有意となり、主観的評価値が精神的負担の尺度であるということからも、ここで用いた作業負担は精神的負担と操作のいそがしき、とを共に合せて測定されているといってよい。したがって上記の2点についての問題についてはあまり問題として取上げることはないと思われる。

最後に車載情報機器の交通情報、地図情報の表示方法や表示位置は見やすい位置、見やすい表示等につき、おおいに検討する余地があり、それにより実用化が促進されるものと思われる。

今後は作業負担を二重課題法でやるより、精神的

負担の尺度である心拍間隔の変動による方法で、表示形態による精神的負担の変化について実験をすすめたいと思っている。

参考文献

- 1) 岡本博之「新自動車交通情報通信システム (AMTICS)」『自動車技術』42(2)、pp. 153-157、1988年
- 2) George, D. O., Jerrold M. D. and Ellen J. E.: Measurement of Workload by secondary Task, Human Factors, 21(5), pp 529-548, 1979
- 3) Spyker, D. A., Stockhouse, S. P., Khalafalla, A. S. and McLane, R. C.: Development of Techniques for Measuring Pilot Workload; NASA CR 1886, 1971
- 4) Brown, I. D. and Pollution, E. C.: Measuring the Space Mental Capacity of Car Drivers by a Subsidiary Task; Ergonomics, 4(1), pp. 35-40, 1961
- 5) Brown, I. D.: Measuring the Space Mental Capacity of Car Drivers by a Subsidiary Task; Ergonomics, 5(1), pp. 247-250, 1962
- 6) Knowles, W. B.: Operator Loading Task; Human Factor, 5(2), pp. 155-161, 1963
- 7) Waleter, W. W., Mansour R. and John, G. G.: Evaluation of 16 Measures of Mental Work-Load using a Simulated Flight Task emphasizing Mediation Activity; Human Factors, 27(5), pp, 489-502, 1985
- 8) 岡部正典、田中敬司「航空機における人間—機械系の評価」『自動車技術』38(5)、pp. 561-570、1984年
- 9) 大山正「反応時間研究の歴史と現状」『人間工学 21』(2) pp. 57-64、1985年
- 10) 長田ひろみ「車載情報機器搭載時の自動車運転作業負荷の評価のための研究」(慶応大学理工学部管理工学専攻、修士論文) 1986年
- 11) George R. M., and Aaron, W. S.: Degradation of Force-loaded Pursuit Tracking Performance in a Dual Task Paradigm, Ergonomics, 29(5)pp. 639-647, 1986
- 12) Julie, H. S., Crystine, M. R. and Walter, W. W.: Evaluation of Decision-Tree Rating Scales for Mental Workload Estimation; Ergonomics, 21(5), pp. 529-548, 1979