

自動車用ヘッドアップディスプレイにおける
視覚情報受容に関する研究

名古屋大学図書	
和	1144660

岡 林 繁

平成5年3月

報告番号 乙 第 4392 号

目次

目次	[1]
表目次	[10]
図目次	[12]
第1章 序論	1
1. 1 はじめに-----	1
1. 2 航空機用ヘッドアップディスプレイ-----	6
1. 3 研究の背景 -----	8
1. 3. 1 社会的要請-----	8
1. 3. 2 視覚光学的解釈-----	8
1. 4 用語の定義-----	10
1. 5 従来までの研究-----	13
1. 5. 1 ヘッドアップディスプレイの研究-----	14
1. 5. 2 関連する従来研究-----	20
1. 6 本研究の考え方-----	21
1. 6. 1 従来研究に対する考え方-----	21
1. 6. 2 本研究の基本的な考え方-----	22
1. 6. 3 本研究の目的-----	23
1. 6. 4 本論文の構成-----	23

2章 評価装置の開発	27
2.1 はじめに	21
2.2 評価装置開発の考え方	28
2.3 前景視標の呈示領域	28
2.3.1 呈示領域設定の考え方	28
2.3.2 視線移動範囲の確認実験	29
2.3.3 前景視標の呈示距離	31
2.4 前景背景地の明るさ	33
2.4.1 前景背景地の明るさ設定の考え方	33
2.4.2 路面輝度の計測	33
2.5 前景視標と表示像視標	35
2.5.1 視標設定の考え方	35
2.5.2 視標の設定	35
2.6 視標の呈示時間	39
2.6.1 視標の呈示時間の考え方	39
2.6.2 視標呈示タイミングの設定	40
2.7 評価装置の構成	40
2.8 正答率の定義	42
2.9 実験手順	45
2.9.1 準備	45
2.9.2 実験	45
2.10 評価尺度の精度	47
2.10.1 予備試験による試験時間の算出	47
2.10.2 実験データの精度	47
2.10.3 実際の計測例	48
2.11 実験車の試作	49
2.11.1 光学系の設定	49
2.11.2 実験車	49

2. 1 2	まとめ	52
第 3 章	表示像距離変数の効果	53
3. 1	はじめに	53
3. 2	実験の目的	54
3. 3	実験条件	54
3. 3. 1	評価装置の設定	54
3. 3. 2	被験者	55
3. 4	実験と結果	55
3. 4. 1	ヘッドダウンディスプレイとの比較	55
3. 4. 2	ヘッドアップディスプレイ表示像の認識特性	57
3. 4. 3	若年齢者層と高年齢者層	59
3. 4. 4	前景視標の位置による相違	61
3. 4. 5	視点停留時間計測	61
3. 5	考察	63
3. 5. 1	ヘッドアップディスプレイの有効性	63
3. 5. 2	ヘッドアップディスプレイの優位性のメカニズム	
3. 5. 3	良さの指数(Merit Index)	66
3. 6	まとめ	68
第 4 章	表示像俯角の最適領域	71
4. 1	はじめに	71
4. 2	実験の項目	72
4. 2. 1	実験の構成	72
4. 2. 2	実験の目的	72
4. 3	実験条件	73
4. 3. 1	評価装置の設定	73
4. 3. 2	被験者	75

4. 4	実験 I と結果	75
4. 4. 1	正答率の俯角依存	75
4. 4. 2	正答率全平均	79
4. 4. 3	前景視標の位置依存	81
4. 4. 4	各設計変数の効果	81
4. 5	実験 I I と結果	83
4. 5. 1	注視点移動分布 (予備実験)	83
4. 5. 2	確認実験	85
4. 5. 3	結果	85
4. 6	考察	87
4. 6. 1	最適俯角領域	87
4. 6. 2	ヘッドダウンディスプレイの限界	87
4. 6. 3	種々の道路状況に対する考え方	88
4. 6. 4	従来規格との整合性	88
4. 6. 5	最適設計の考え方	88
4. 6. 6	四種の改善率からみた最適設計	91
4. 7	まとめ	92

第 5 章	マイナプロセスでのヘッドアップディスプレイ	95
5. 1	はじめに	95
5. 2	実験の構成	96
5. 2. 1	視覚情報認識におけるタスクとプロセス	96
5. 2. 2	実験目的と項目	97
5. 2. 3	被験者	98
5. 3	実験条件	98
5. 3. 1	評価装置の設定	98
5. 3. 2	正答率	98
5. 4	実験手順	100

5.4.1	準備	100
5.4.2	メジャープロセス	100
5.4.3	マイナプロセス	100
5.5	実験結果	101
5.5.1	ヘッドダウンディスプレイとの比較	101
5.5.2	正答率 $\eta_{S \cdot H}$, η_H の表示像距離依存性	102
5.5.3	正答率 $\eta_{S H}$ の表示像距離依存性	103
5.5.4	正答率 $\eta_{S H}$ の俯角依存性	103
5.6	考察	111
5.6.1	ヘッドアップディスプレイの優位性	111
5.6.2	周辺視による探索の効果	111
5.6.3	固視点の設定	112
5.6.4	各因子の分散分析	113
5.7	まとめ	115

第6章 前景と表示像の重畳の効果 117

6.1	はじめに	117
6.2	実験条件の設定	119
6.2.1	中心視と周辺視の役割	119
6.2.2	前景の移動	119
6.2.3	前景の輝度	120
6.2.4	視標の設定	120
6.2.5	ヘッドアップディスプレイ表示像	121
6.2.6	充填率	121
6.2.7	視標の相対的移動速度	123
6.2.8	視標呈示タイムチャート	123
6.2.9	試行回数とデータの安定度	124
6.2.10	被験者	123

6. 3	評価実験装置	125
6. 4	中心視による視標認識実験 (ケース1)	125
6. 4. 1	実験手順	126
6. 4. 2	実験結果	127
6. 5	周辺視による知覚実験 (ケース2)	129
6. 5. 1	実験手順	129
6. 5. 2	実験結果	133
6. 6	考察	134
6. 6. 1	表示像輝度と表示像パターン	134
6. 6. 2	視標移動による改善メカニズム	135
6. 6. 3	表示像輝度の許容値推定	136
6. 6. 4	自動車での例	137
6. 6. 5	高輝度路面に対するデータの解釈	139
6. 7	まとめ	140

第7章	実車走行実験による検証と評価	141
7. 1	はじめに	141
7. 2	実験 1	143
7. 2. 1	実験方法	143
7. 2. 2	実験1の結果	147
7. 2. 3	被験者の内観報告	155
7. 2. 4	主成分分析	155
7. 3	実験 2	158
7. 3. 1	実験方法	159
7. 3. 2	実験2の結果	159
7. 4	考察	161
7. 4. 1	表示像距離と正答率 $\eta_{H S}$, η_S	161
7. 4. 2	第二主成分 (uncomfortability)	162

7. 4. 3	評点と正答率の意味-----	163
7. 5	まとめ-----	165
第8章	視覚光学モデル	167
8. 1	はじめに-----	167
8. 2	従来仮説による解釈-----	169
8. 3	焦点調節量と視線移動量の定量的な把握-----	169
8. 3. 1	焦点調節応答遅れと正答率-----	169
8. 3. 2	視線移動時間の推定-----	173
8. 4	従来仮説の問題点-----	173
8. 4. 1	実験結果の振り返り-----	173
8. 4. 2	遠方結像の優位性の説明-----	174
8. 4. 3	実車走行実験での結果-----	177
8. 4. 4	年齢者層別特性差の解釈-----	178
8. 5	視覚光学モデル-----	178
8. 5. 1	周辺視による情報受容の仮説-----	178
8. 5. 2	視覚光学モデル-----	179
8. 5. 3	実験のアプローチ-----	180
8. 5. 4	実験の構成-----	181
8. 6	実験 1 -----	182
8. 6. 1	実験装置と条件-----	182
8. 6. 2	実験結果-----	183
8. 7	実験 2 -----	183
8. 7. 1	実験装置-----	185
8. 7. 2	座標系の定義-----	187
8. 7. 3	視標-----	187
8. 7. 4	視標呈示条件-----	187
8. 7. 5	実験-----	189

8. 7. 6	実験結果-----	190
8. 8	考察-----	192
8. 8. 1	中心視野への注意-----	192
8. 8. 2	MTF特性-----	193
8. 8. 3	走行実験における視点停留時間の差-----	195
8. 9	まとめ-----	195
第9章	優位性のメカニズム	197
9. 1	はじめに-----	197
9. 2	実験系設定の考え方-----	199
9. 3	実験装置と手順-----	199
9. 3. 1	実験装置-----	199
9. 3. 2	手順-----	200
9. 3. 3	被験者-----	201
9. 4	実験結果-----	201
9. 4. 1	正答率の偏角依存-----	201
9. 4. 2	正答率の表示像距離依存-----	210
9. 5	考察-----	210
9. 5. 1	高年齢者層と若年齢者層の比較-----	210
9. 5. 2	散失情報量のダイヤグラム-----	211
9. 5. 3	中心視標の独立性-----	215
9. 5. 5	正答率の俯角依存性-----	210
9. 6	まとめ-----	219
第10章	自動車用ヘッドアップディスプレイの開発	221
10. 1	はじめに-----	221
10. 2	開発課題-----	222
10. 2. 1	プロジェクタ-----	222

10.2.2	コンバイナ	223
10.2.3	制御回路	223
10.3	構成と構造	225
10.3.1	プロジェクタ	225
10.3.2	コンバイナ	233
10.3.3	制御回路	236
10.4	搭載ヘッドアップディスプレイ	240
10.5	まとめ	240
第11章	結論	243
謝辞		249
参考文献		251
著者論文等目録		269

表目次

1.1	自動車環境と航空機環境との相違	18
2.1	測定道路のカテゴリ	30
2.2	測定場所の道路・交通の概要	32
2.3	評価装置の仕様	39
2.4	正答率と信頼区間（10,000回試行）	49
3.1	実験条件	56
3.2	被験者リスト	56
3.3	ヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイの正答率	58
3.4	正答率の改善率（ κ_1 ）	62
3.5	視点停留時間	63
3.6	良さの指数(Merit Index)	68
4.1	実験条件	74
4.2	被験者リスト	74
4.3	若年齢者層と高年齢者層のデータ分析	80
4.4	全データの分析	84

4.5	4種の改善率	90
5.1	表示装置の種類と表示像サイズ,正答率	102
5.2	全データの分析	114
6.1	被験者の特性データ	124
7.1	走行道路の条件	142
7.2	表示装置の条件	144
7.3	評価語と評点	144
7.4	被験者の内観報告	154
7.5	主成分と因子負荷	156
7.6	表示像情報認識時間	160
8.1	実験結果の概要と説明	175
8.2	被験者リスト	181
8.3	実験条件の組み合わせ	182
8.4	分散分析による有意差検定と寄与率	185
8.5	実験2の手順	190
9.1	被験者リスト (両目による特性)	202
9.2	表示像視標の条件	213
10.1	各ミラーの仕様	229
10.2	筐体内壁黒色処理面の特性	230
10.3	ウインドシールド法規適合性試験結果	238
10.4	ヘッドアップディスプレイ仕様概要	242

図目次

1.1	キュノー (Cugnot) の砲車 (動力は蒸気)	2
1.2	ベンツの三輪車 (動力はガソリン)	2
1.3	スタンレーのヒット車 (動力は蒸気)	4
1.4	液晶表示インスツルメントパネル	4
1.5	日産シルビア' 88モデルヘッドアップディスプレイ	5
1.6	航空機用ヘッドアップディスプレイの構造	7
1.7	表示像距離と俯角 (鉛直断面)	11
1.8	各種の試験視標	11
2.1	ドライバの視線の動き	30
2.2	ドライバの目の停留時間分布	32
2.3	路面輝度測定の構成	34
2.4	路面輝度と点灯率の関係	34
2.5	タイムチャート(メジャープロセス)	38
2.6	タイムチャート(マイナプロセス)	38
2.7	評価システムのブロックダイアグラム	39
2.8	実験系の構成	40

2.9	実験系被験者側 (写真)	40
2.10	実験系前景スクリーンと表示像側 (写真)	41
2.11	7種類の正答率	43
2.12	正答率と試行回数	46
2.13	一様乱数による正答率と試行回数のシミュレーション	46
2.14	ヘッドアップディスプレイの光学系	50
2.15	実験系 (車両インストルメント部光学系)	50
2.16	実験車両のインストルメント部 (写真)	51
3.1	正答率(若年者層平均)	58
3.2	正答率(高齢者層平均)	60
3.3	正答率(全平均)	60
3.4	CRTの位置による正答率	62
3.5	中心視と距離が異なる視標を周辺視で見るモデル	66
4.1	正答率の俯角依存特性(線幅; 2mrad, 若年齢者層)	76
4.2	正答率の俯角依存特性(線幅; 2mrad, 高年齢者層)	76
4.3	正答率の俯角依存特性(線幅; 3.5mrad, 若年齢者層)	77
4.4	正答率の俯角依存特性(線幅; 3.5mrad, 高年齢者層)	77
4.5	正答率の俯角依存特性(線幅; 6mrad, 若年齢者層)	78
4.6	正答率の俯角依存特性(線幅; 6mrad, 高年齢者層)	78
4.7	正答率の俯角依存特性(全平均)	80
4.8	前景CRT位置による正答率	82
4.9	視線分布の比較	84
4.10	正答率の俯角依存特性(線幅; 2mrad, 注視点移動時)	86
4.11	正答率の俯角依存特性(線幅; 3.5mrad, 注視点移動時)	86
5.1	正答率(η_s , $\eta_{s \cdot H}$)の表示像距離依存性(若年齢者層)	104

5.2	正答率($\eta_s, \eta_{s \cdot H}$)の表示像距離依存性(高年齢者層)	105
5.3	正答率($\eta_s, \eta_{s \cdot H}$)の表示像距離依存性(全平均)	105
5.4	正答率($\eta_{s H}$)の表示像距離依存性(若年齢者層)	106
5.5	正答率($\eta_{s H}$)の表示像距離依存性(高年齢者層)	107
5.6	正答率($\eta_{s H}$)の表示像距離依存性(全平均)	107
5.7	正答率($\eta_{s H}$)の表示像俯角依存性(若年齢者層)	108
5.8	正答率($\eta_{s H}$)の表示像俯角依存性(高年齢者層)	109
5.9	正答率($\eta_{s H}$)の表示像俯角依存性(全平均)	109
6.1	前景の移動(直進の場合)	118
6.2	左旋回した場合の前景の移動	118
6.3	HUD表示像(チェッカーパターン)	122
6.4	前景視標呈示タイムチャート(1試行)	122
6.5	各視標の配置	123
6.6	評価装置のブロックダイアグラム	126
6.7	正答率(η_s)のセグメントサイズへの依存性	128
6.8	正答率(η_s)の輝度指数Sへの依存性	128
6.9	正答率(η_s)の充填率依存性	130
6.10	正答率(η_s)の充填率依存性	130
6.11	前景視標の移動による正答率(η_s)の改善	131
6.12	前景視標移動による正答率の改善	131
6.13	正答率(η_T)の充填率依存性	132
6.14	前景視標の移動による正答率(η_T)の改善	132
6.15	2mrad線分と試験視標の配置例	138
7.1	実験車両インストルメント部光学系	142
7.2	実験手順(実験1)	146
7.3	”素早く読める”(X1)の評価	148

7.4	”違和感がある” (X2) の評価	148
7.5	”前景変化に気づきやすい” (X3) の評価	150
7.6	”前景が見にくい” (X4) の評価	150
7.7	”圧迫感がある” (X7) の評価 (昼間)	152
7.8	”圧迫感がある” (X7) の評価 (夜間)	152
7.9	”好ましい” (X8) の評価	153
7.10	”表示像と前景が区別しにくい” (X10) の評価	153
7.11	第一主成分得点(legibility)	157
7.12	第二主成分得点(uncomfortability)	157
7.13	第三主成分得点(visiblity)	158
7.14	実験手順(実験2)	160
7.15	系列間隔法による”素早く読める” の表示像距離依存性	163
8.1	ドライバの目の焦点調節と視線移動	168
8.2	実験装置	168
8.3	タイムチャート	170
8.4	正答率の表示像呈示時間依存	170
8.5	正答率の表示像呈示時間依存	172
8.6	各視標の配置	172
8.7	俯角の差による視線移動時間ヒストグラム	174
8.8	車速と認識時間	176
8.9	視覚光学モデルの概念図	180
8.10	周辺視での認識の効果	184
8.11	実験装置ブロックダイヤグラム	186
8.12	実験装置前面スクリーンと視標	186
8.13	評価装置と実験系	188
8.14	中心視視標と表示像視標	188
8.15	一回の試行のタイムチャート	189

8.16	正答率の偏角依存性 (方位角 $\psi = 90$ 度)	191
8.17	正答率の表示像距離依存性 (方位角 $\psi = 90$ 度)	191
8.18	眼光学系の M T F 特性	194
9.1	偏角と方位角による周辺視野	198
9.2	正答率の偏角依存性(方位角 $\psi = 0$ 度方向, 若年齢者層)	204
9.3	正答率の偏角依存性(方位角 $\psi = 90$ 度方向, 若年齢者層)	204
9.4	正答率の偏角依存性(方位角 $\psi = 0$ 度方向, 高年齢者層)	205
9.5	正答率の偏角依存性(方位角 $\psi = 90$ 度方向, 高年齢者層)	205
9.6	正答率の偏角依存性(方位角 $\psi = 0$ 度方向, 全平均)	206
9.7	正答率の偏角依存性(方位角 $\psi = 90$ 度方向, 全平均)	206
9.8	正答率の表示像距離依存性($\psi = 0$ 度, 若年齢者層)	207
9.9	正答率の表示像距離依存性($\psi = 90$ 度, 若年齢者層)	207
9.10	正答率の表示像距離依存性($\psi = 0$ 度, 高年齢者層)	208
9.11	正答率の表示像距離依存性($\psi = 90$ 度, 高年齢者層)	208
9.12	正答率の表示像距離依存性($\psi = 0$ 度, 全平均)	209
9.13	正答率の表示像距離依存性($\psi = 90$ 度, 全平均)	209
9.14	各条件における伝達情報量と散失情報量	212
9.15	俯角 θ によって決まる任意の ψ 方向の正答率の概算推定	216
9.16	俯角依存特性の計算	217
10.1	プロジェクタの断面構造	224
10.2	プロジェクタの外観写真	226
10.3	非球面ミラー曲面形状の座標の定義	228
10.4	拡散反射率の計測法	230
10.5	表示体寸法と開口径の関係	232
10.6	コンバイナ用膜の断面構造	232
10.7	コンバイナ反射特性の波長依存	234

10.8	コンバイナ透過特性の波長依存	234
10.9	STP (Super Thin Film Printing) 成膜装置	236
10.10	コンバイナ付きウインドシールド製作工程	237
10.11	コンバイナ付きウインドシールドの外観写真	238
10.12	表示像輝度の制御特性	239
10.13	制御回路ブロックダイアグラム	240
10.14	日産ブルーバード用ヘッドアップディスプレイ	241

第1章

序論

1. 1 はじめに

軌道によらない機械動力車の元祖と言われる最初の自動車は、18世紀末に発表されたキュノー（Cugnot；仏）の砲車⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾に遡る（図1.1）。蒸気自動車の登場である。しかし、この蒸気自動車も19世紀末に新しく登場したガソリン自動車に主役を譲る。

現在の自動車の原形と言われるガソリン自動車が登場したのは1886年と言われている⁽³⁾⁽⁴⁾。ダイムラ（Daimler；独）が製作した四輪車やベンツ（Benz；独）が製作した三輪車である（図1.2）。フランクフルトに近いマンハインの街を時速約15 km/hで走行したと記録されている。

これらの車両は馬車をモデルとして製作されており、現在のインストルメントパネルに相当する部分はなく、従ってメータ等の表示装置は無かった⁽¹⁾⁽²⁾。

インストルメントパネルの原形とも言うべきメータが登場したのは1900年の始めである⁽²⁾⁽³⁾（図1.3）。当時のメータ類は車速や燃料、油圧が表示されていたものの、メータ寸法も小さく、取付け位置も床部や助手席部等に装着されており、操作性や視認性の観点からもマンマシンインタフェースとしては劣悪であった。

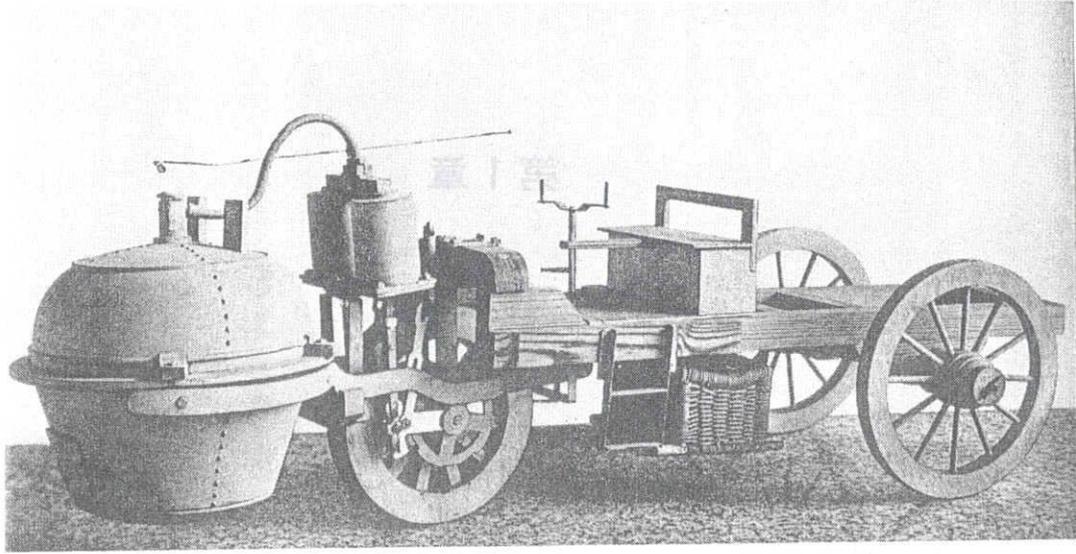


図1.1：キュノー（Cugnot）の砲車（動力は蒸気）

18世紀にナポレオンの部下であったキュノー（Cugnot）が大砲運搬用に考案したと言われる。（文献2から）。

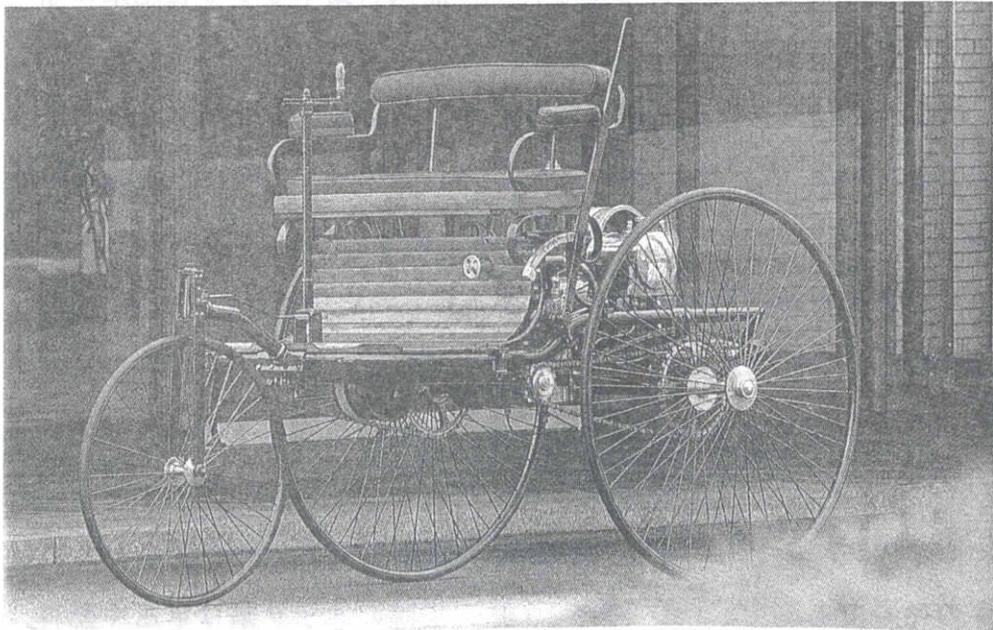


図1.2：ベンツの三輪車（動力はガソリン）

インストルメントに見当たらぬ。馬なし馬車の典型的なスタイル。（文献3から）

その後自動車関連技術が進歩するにつれ、表示装置についても配置やデザイン、夜間の視認性等にいくつかの改善が見られるようになってきた。T型フォードの登場以来、自動車は大量生産、大量販売の時代に入る。自動車の大衆化と共に造形デザインの良さや見やすさ、使い易さが一つのセールスポイントとなり、インストルメントパネル部の表示装置も自動車の顔として重要性が増してきた⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

1960年代後半に始まる自動車の電子化の流れはインストルメントパネル部も大いに変革した。各種の電子制御機器やセンサ類の登場と相俟って1980年代後半までに蛍光表示管や発光ダイオード、CRT、液晶等の電子表示デバイスを応用した電子表示インストルメントパネルを誕生させた^{(6)~(9)} (図1.4)。

自動車用表示装置の技術変遷の中で電子化は大きなエポックであった。しかしながら、表示位置は依然としてステアリングホイール裏面部のインストルメントクラスタ部に限られていたし、表示部のレイアウトもドライバの目から70cm程度の距離に二次元的にデザインされ、基本的には1900年初期のコンセプトを大きく変えるものではなかった。

今日、高度情報化社会や高齢化社会、高速移動社会等に代表される社会全体の変化が自動車の表示技術にも大きな影響を与え始めてきている^{(10)~(14)}。

ナビゲーションシステムや、ルートガイダンスシステムに代表される高度で複雑な大量の表示情報への対応の要請、視機能が低下した高齢者が使いやすい表示装置の要求、さらに第二東名高速道路に代表される高速移動に対応できる表示手段の必要性等、新しいコンセプトに基づく表示装置が望まれてきている。

1988年春、日産自動車(株)から世界で初めて自動車用ヘッドアップディスプレイが実用化された⁽¹⁵⁾ (図1.5)。表示項目はデジタル車速だけではあったが、本格的な自動車への応用の魁として自動車関連誌紙からも多くの注目を集めた^{(16)~(19)}。

ヘッドアップディスプレイは表示位置をインストルメントクラスタ部から

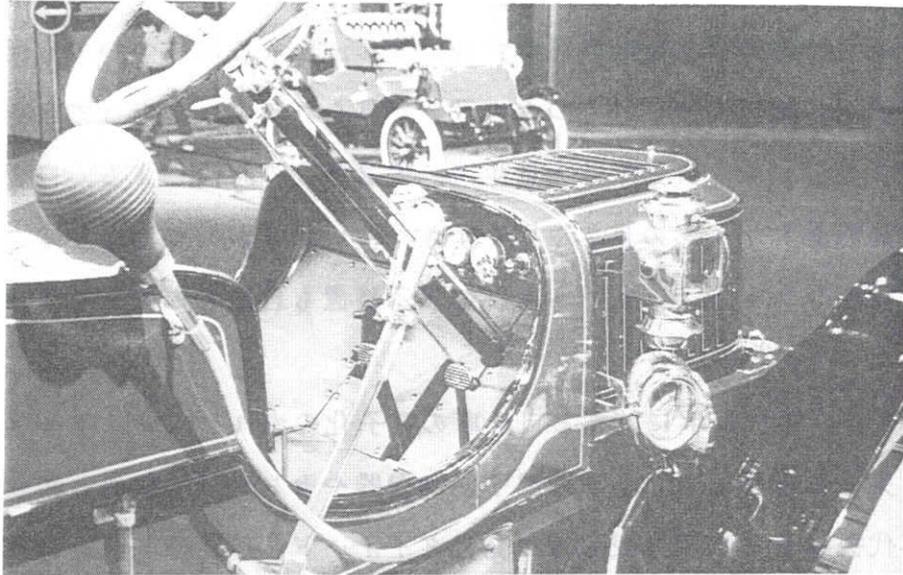


図1.3：スタンレーのヒット車（動力は蒸気）

インストルメントの相当する部分にメータ類が見られる．しかしドライバとのインタフェースは見るからに悪そうである．1910年頃まで他車も同様のデザインである（文献3から引用）．

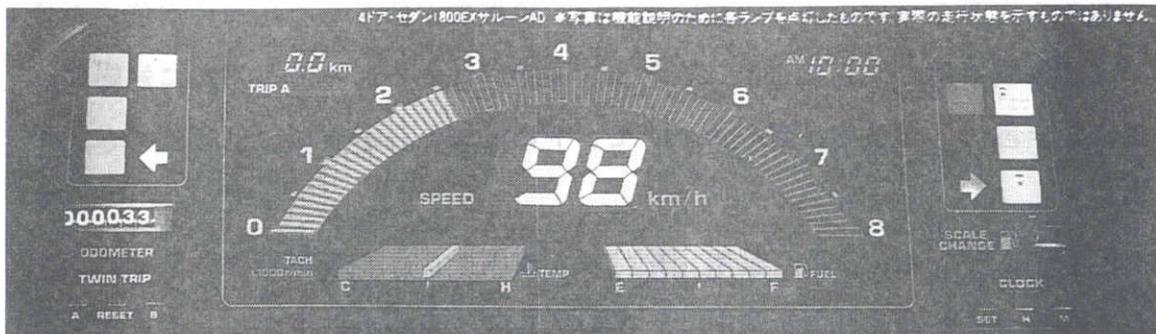
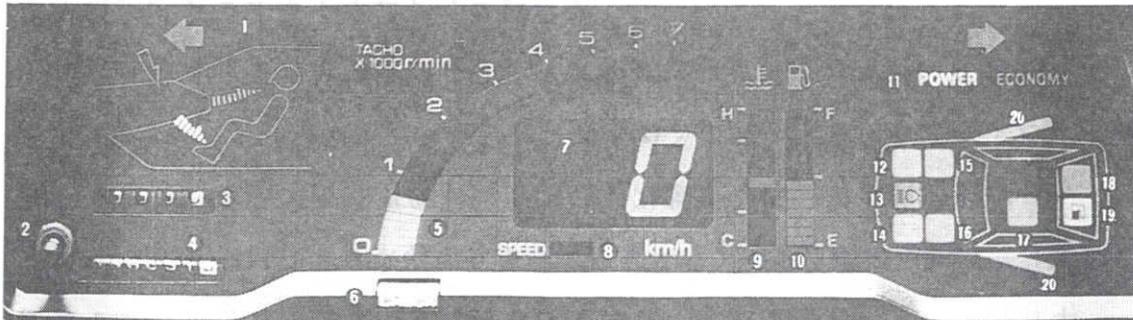


図1.4：液晶表示インストルメントパネル

上から三菱コルディア（'81年日本初搭載の液晶パネル），トヨタコロナ（'85年斬新なデザインのカラー液晶パネル）．

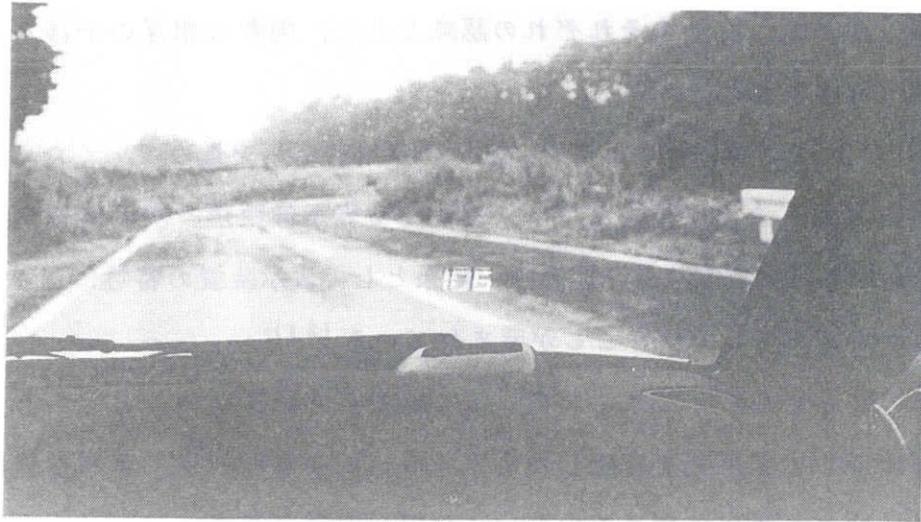


図1.5：日産シルビア' 88モデルヘッドアップディスプレイ
右下方向に三桁のデジタル車速が表示されている。量産車では世界で初めての
の実用化であった。

解き放ち、ウインドシールド部をも表示領域にできる。表示像もドライバーの目
から自由な距離に置き、表示像を二次元から三次元に配置可能にしデザイン自
由度を大幅に広げることができる。これらのデザイン自由度は待望される新し
い表示装置の鍵となる可能性を有している⁽²⁰⁾⁽²¹⁾。

航空機用ヘッドアップディスプレイの研究成果は、マンマシンインタフェ
ースの観点からも多くの具体的な利点を明かにしている⁽²²⁾。ヘッドアップデ
ィスプレイの航空機での利点が自動車でも期待できると仮定すると、自動車用
ヘッドアップディスプレイには単にデザイン自由度の高さや新規性の利点だけ
でなく、ドライバーと自動車とのマンマシンインタフェースの観点からも、時代
の要請に応えうる可能性がある⁽⁵⁾⁽¹⁴⁾⁽²¹⁾。

高齢者ドライバーや高負荷下のドライバーには、自動車用ヘッドアップデ
ィスプレイの高いデザイン自由度を的確に応用し、表示情報を素早く・正確に伝
達できるよう最適設計していく必要がある。

自動車走行ではドライバーは常に車外の前景情報を正しく認識できる必要がある。表示像が車外前景視対象に重畳されて表示されるヘッドアップディスプレイでは、表示像と前景のそれぞれの認識と共に、両者の相互の干渉という新たな問題も考慮する必要がある。

ヘッドアップディスプレイの自動車への本格的応用を進めていくためには、これらの諸課題を念頭に置きながら、後述する表示像距離や表示像俯角等の設計変数が人間の視覚機能にどう関わり、結果として表示装置の特性にどう関係・寄与するかを明かにしていくことが望まれている⁽²¹⁾。

自動車用ヘッドアップディスプレイは誕生して間もないこともあり、視覚情報処理機能や生理情報を考慮した最適設計に関する研究や、車外前景情報との干渉性に関する研究は極めて少ない。今後、自動車用ヘッドアップディスプレイを進歩・発展させ、より良いマンマシンインタフェースとして完成していくためには、これらの研究が重要かつ不可欠となって来ている。

本論文では自動車用ヘッドアップディスプレイについて視覚光学的観点から、まず表示装置としての優位性を検証し、次いで優位性を引き出すメカニズムを明らかにし、合わせて自動車用ヘッドアップディスプレイの設計変数の最適化の考え方を実験データに基づき考察した。

1. 2 航空機用ヘッドアップディスプレイ

ヘッドアップディスプレイの歴史は古く、第二次大戦中に戦闘機の武器用表示装置として開発され、ガンサイト(gunsight)と呼ばれ目標ターゲットの照準合わせに用いられた⁽²²⁾。50年代に入り英国の空軍研究所から、着陸時のパイロットの負荷を低減する目的でヘッドアップディスプレイとして登場したと言われる⁽²³⁾⁽²⁴⁾。電子工学や光学技術の進歩により、現在は速度や高度、姿勢、人工水平線等、表示項目も増加し戦闘機ばかりではなく旅客機や一部のヘリコプター等にも広く用いられている⁽²⁵⁾。

航空機用ヘッドアップディスプレイの構造を図1.6に示す。構成は、表示

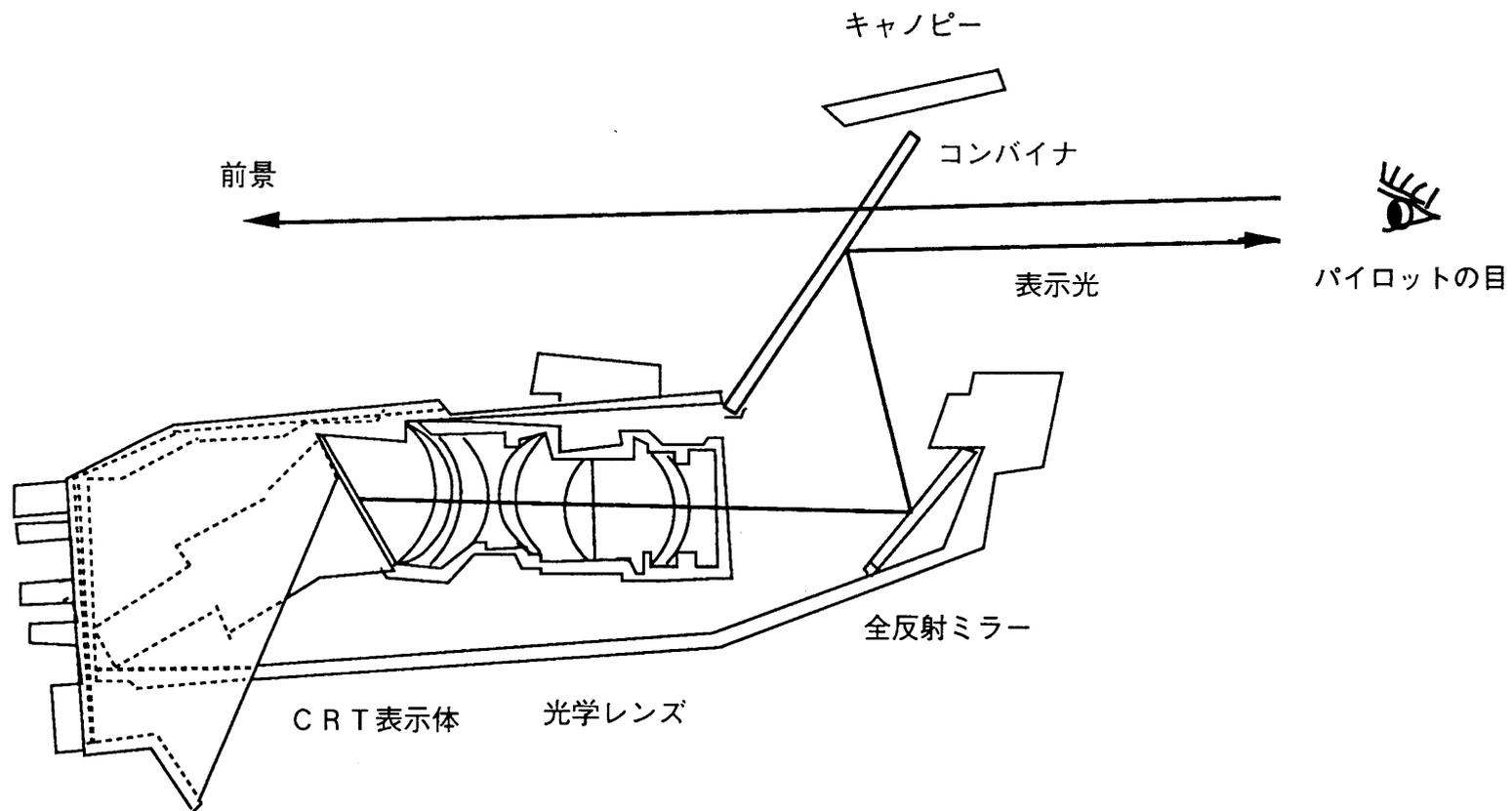


図 1.6：航空機用ヘッドアップディスプレイの構造

光を投射するプロジェクタ部と表示光を反射し虚像を形成するハーフミラー部からなる⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。プロジェクタは緑色高輝度CRTと表示像を無限遠方に拡大するレンズ系からなる。ハーフミラーは透過して見える前方の物体像（前景視対象）と表示像との結合（コンバイナ）像を作るので、コンバイナ（combiner）と呼ばれる。航空機の場合コンバイナはキャノピー（天蓋）とは別にパイロットの顔面前方数十センチの位置に設けられている。ヘッドアップディスプレイを用いると、飛行中パイロットは殆ど視線を大きく動かすことなく表示情報を読み取れると言われている⁽²³⁾⁽²⁸⁾。

1. 3 研究の背景

1. 3. 1 社会的要請

現在の自動車を取り巻く状況は”3高”と”3K”とも言われる。即ち、高度情報化社会、高齢化社会、高速移動社会（3高）に対応できる技術が望まれ、環境問題、エネルギーの効率化要請、人間の感性重視（3K）のトレンドへの対応が求められている。

特に”3高”に相当する高度情報化や高齢化、高速移動社会への対応は自動車用表示技術にも深く関わってくる。高度情報化社会では車速や燃料残量等の車内情報に加えて、ドライバは走行中でも交通情報やナビゲーション情報等の複雑で大量の車外情報にも接する機会が増加するだろう⁽¹²⁾⁽²⁹⁾。高齢化社会では高齢者の低下した視機能を補完し、高い運転安全性を確保できる表示装置が望まれるだろう⁽³⁰⁾⁽³¹⁾。また、自動車が高速化するとドライバの迅速な操作応答が必要になるため、より短い時間で認識が可能な情報伝達手段である新しい表示装置が望まれるであろう。

1. 3. 2 視覚光学的解釈

視覚光学的観点から”3高”と表示技術との関係について、若干詳しく述べる。

(1) 情報量の増加と瞬読性

Virginia工科大学のWalter Wieilleらによると、複雑で情報量が多い表示項目の認識には一回の視認時間が長くなるばかりでなく視認繰り返し回数も増加する⁽³²⁾。特に表示装置に調節・調整等の操作が存在する場合には、一回の操作のための累積認識時間は数秒から十数秒に及ぶと言われる⁽³³⁾。今後の高度情報化社会に対応していくためには、短時間に表示情報を素早く読み取れるという瞬読性が要求され、従来の表示装置に代わる新しい表示装置が望まれる。

(2) 加齢者の上下視野

元愛知医大の鈴木らによると、加齢者に多く見られる眼瞼下垂は上下方向の視野を狭窄するといわれる⁽³⁴⁾。これは高年齢層ドライバが、前景の前方を注視しているときは下方が、下方のメータを注視している時には前方が見にくいことを示唆している。高齢化社会に対応し、高年齢層ドライバでも前景と表示像の認識が両立できる新しい表示装置が望まれている

(3) 加齢による近点焦点の遠方化

近点焦点は加齢によって次第に延びる。50才代に入るとボケのない像を見るためには、少なくとも1m以上の視距離が必要であると言われる⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾。乗用車のインストルメントパネルのメータは、主としてスペースの制約により、ドライバの目から50cm～80cmの位置に設計されている。高齢化社会に対応し良好な視認性を得るためには、スペースの制約条件と両立でき、表示像を遠方に設けられる新しい表示装置が望まれている⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾。

(4) 高速走行における外界視野の狭搾

高速走行では、ドライバの周辺部の景色は正面前方の景色に比べて、より高速で移動するため周辺視野での視力(動体視力)が低下する⁽³⁴⁾。従って、見かけ上ドライバの視野が狭くなる⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾。結果的にドライバの視線は正面前方の進行方向に向けられる頻度が高くなり、表示情報はできるかぎり前方進行方向中心視野内に設けることが望ましいと考えられる。このドライバの特

性を考慮し、高速走行に対応できる新しい表示装置が望まれている⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾。

これらの視覚に関わるドライバの特性を考慮すると、今後、表示像の前方中央の視野内への配置や遠方結像等が可能であるヘッドアップディスプレイが、自動車の主要な表示装置として広く応用されるであろうことは議論を待たないように思える。

本論文ではこれらの諸条件を考慮し視機能・視覚情報処理と言う観点から自動車用ヘッドアップディスプレイを考察する。

1. 4 用語の定義

本論文で用いる主な用語と記号について以下に定義する。

【前景】 ドライバがウインドシールドを通して見る外部の景色。実際の自動車では歩行者や道路、建築物、信号、対向車、先行車等が含まれ、実験室ではこれらに相当するスクリーンやテスト視標を指す。

【ヘッドダウンディスプレイ】 インストルメントクラスタ内部にある従来型のメータ。本論文では俯角 θ (図 1.7) が約 12 度を超える表示装置とした。一般的にヘッドアップディスプレイ(Head-Up Display)を HUD と略記するように、ヘッドダウンディスプレイ(Head-Down Display)を HDD と略記する。

【表示像】 ヘッドアップディスプレイ (光学虚像) またはヘッドダウンディスプレイの表示像 (通常は実像) を総称して表示像と表現した。

【N点】 自動車が水平な直線道路を走行する場合、ドライバの目には前景が進行方向の中心点から放射状に移動 (オプティカルフロー; optical flow) するように見える⁽⁴³⁾。中心点は前方水平方向の無限遠点に位置し前景の不動点となる。実験室実験で被験者の正面に仮想平面を設けた場合、この不動点と被験者の目とを結ぶ直線と仮想平面との交点を N 点とした。従って、N 点の方向は直線走行時の前景のオプティカルフローの不動点の方向と一致する。

【表示像距離 (L)】 ヘッドアップディスプレイでの表示像はレンズや

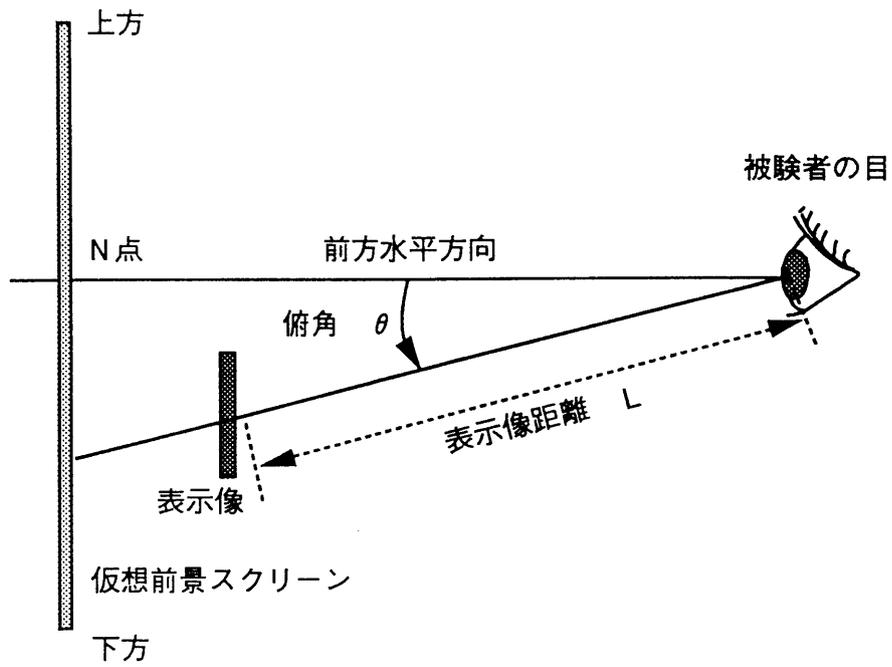


図 1.7 : 表示像距離と俯角 (鉛直断面)

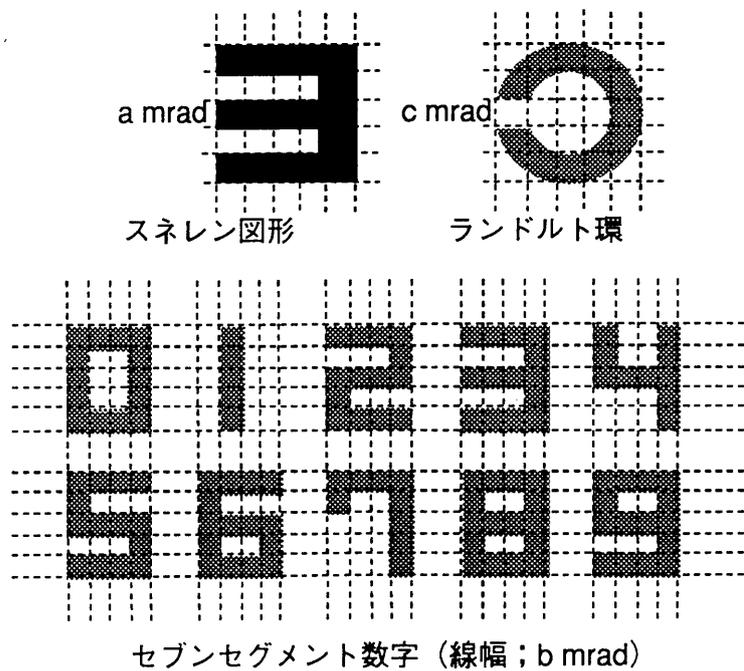


図 8 : 各種の試験視標

ミラー系を組み合わせ虚像表示される。表示像距離はドライバの目の位置から表示像が存在する位置までの距離。(図1.7)

【俯角 (θ)】 表示像の高さ位置 (elevation)。N点から表示像の中心位置までを測った見下ろし角度。下方に測って正とする。(図1.7)

【メインタスク】 ドライバやパイロットが第一に遂行しなければならないタスク。本論文でのドライバに相当する被験者では前景視標の認識がメインタスクである。

【サブタスク】 メインタスクに次いでドライバや被験者が遂行しなければならない二義的なタスク。本論文では表示像の認識がサブタスクである。

【スネレン図形】 スネレン (Snellen) が提唱した図形で、米国等で視力測定に用いられている⁽⁴⁴⁾。アルファベットEの形をしている(図1.8)。実験では、被験者がE型図形を90度毎に回転させてできる四種類の図形の開口方向、上下左右を答える。

【ランドルト環】 ランドルト (Landolt) が考案した図形。視力測定用視標として1909年国際眼科学会が指定している⁽⁴⁵⁾。ISO/TC 172/SC-7でも標準視標としてスネレン図形と共に推奨している⁽⁴⁶⁾。実験では開口方向が8方向のランドルト環を用いた(図1.8)。開口部間隙は、被験者から見た視角、 c mradで表現した。

【セブンセグメント数字】 七つのセグメントのオンオフで一桁のアラビア数字を表示する表示方式。自動車用デジタル表示やポケットカリキュレータ用表示に用いられている。実験では図1.8に示すセブンセグメント数字を用いた。

【視標サイズ】 各視標のサイズは構成するセグメントの幅を被験者の目の位置から視角で計測した大きさを表現した。単位はmrad。

- ・表示像視標線幅 (セブンセグメント数字) ; a mrad
- ・前景視標線幅 (スネレン図形) ; b mrad
- ・表示像線幅 (ランドルト環) ; c mrad

【輝度対比】 表示像の輝度値と背景地の輝度値との比⁽⁴⁷⁾⁽⁴⁸⁾。前

景の視標であるスネレン図形とヘッドアップディスプレイ表示像の輝度対比は次のように定義した。

【スネレン図形の輝度対比】

$$= \frac{\text{背景輝度} - \text{スネレン図形輝度}}{\text{背景輝度}} = \frac{\text{CRT白地面輝度} - \text{スネレン図形輝度}}{\text{CRT白地面輝度}}$$

【ヘッドアップディスプレイ表示像の輝度対比】

$$= \frac{\text{表示像のみかけの輝度}}{\text{前景輝度}} = \frac{\text{表示像輝度} + \text{前景輝度}}{\text{前景輝度}}$$

【推測法】 真の正答確率を p ，実測による見かけの正答確率 p' ，まぐれ当りで正答する確率を p'' （真の正答ではなく、且つ、当る場合）， M を呈示視標の種類の数とすると、次の手順で p を求める。

$$p' = p + p''$$

$$p'' = \frac{1}{M}(1 - p)$$

$$p = \frac{Mp' - 1}{M - 1} \quad (1-1)$$

1. 5 従来までの研究

ヘッドアップディスプレイに関する視覚光学的問題は結局のところ、重畳する二つの画像情報の分離・認識の問題と見ることもできる。この観点から従来の研究の動向をみると大別して二つに分けられる。一つは航空機用ヘッドアップディスプレイを中心にヘッドアップディスプレイの視認性や他の機器との操作性との関連を調べた報告で、ヘッドアップディスプレイそのものの視覚特

性を直接的に研究している。もう一つはVDT作業での外界写り込みや、表面反射のある文字の読み取り等、グレア光を伴う環境での視認性評価研究や、選択的注視に関する基礎的な心理学実験研究等で、ヘッドアップディスプレイの視覚光学的研究に間接的に関係する研究である。

特に本研究と関連が深いと思われるこの二つの分野の研究について、以下に概説する。

1. 5. 1 ヘッドアップディスプレイの研究

ヘッドアップディスプレイの誕生が戦闘機用表示装置であったため、視覚光学的研究の大半は航空機用ヘッドアップディスプレイに関連する研究である。航空機ではパイロット乗員数低減と安全確保という強い要請から、早くから表示装置の統合と最適化の研究が行われており⁽⁴⁹⁾⁽⁵⁰⁾、ヘッドアップディスプレイについてもNASA（米国航空宇宙局）や米国空軍研究所等を中心に1970年代後半から活発に行われた。航空機以外での研究では、最近になって自動車用途に関連して報告され始めている。

本節ではまず航空機用ヘッドアップディスプレイに関する従来研究を述べ、次いで自動車用ヘッドアップディスプレイに関する研究の現状、最後にヘッドアップディスプレイに関係する航空機と自動車との使用環境の違いをまとめる。

(1) 航空機での研究

1960年代にも散見される⁽⁵¹⁾が、1970年代後半から、NASA（米国宇宙航空局）や米国軍事関連研究機関、英国空軍研究所^{(52)~(69)}等を中心に活発に研究が行なわれた。軍事関連の研究機関以外では、San Jose大学、Michigan大学等のマンマシンインタフェース関連研究の大学機関での受託研究⁽⁷⁰⁾⁽⁷³⁾やFlight Dynamics やSmith Industries, Marconi Avionics, Boeing等の航空関連産業メーカーでの研究⁽²⁴⁾⁽²⁶⁾⁽⁷⁴⁾⁽⁷⁵⁾がある。

航空機でのヘッドアップディスプレイについては有効性を主張する研究と大きな効果はないと主張する研究がある。現在のところ前者が優勢ではある

が、効果あり、効果なしの両主張も航空機での使用環境に起因している部分が多い。

(a) 効果を支持する研究

研究の大半は大型航空機用シミュレータを用い飛行状況をできるだけ再現しながら各種の評価メジャーを設定し実験している。

(イ) 状況認識の正確さによる評価^{(52)~(57)}(73)

タキストスコープと前景を写すスライドプロジェクタとを組み合わせる航行を模擬させたり、フライトシミュレータを用いた模擬飛行による評価実験が主である。良好な視界条件ばかりでなく視界条件が悪い場合について、航行時の他の飛行機や着陸時の滑走路の画面等を前景情報として用いている。評価メジャーは機体の操作が確実にできたかの評価と、着陸空港名を答えさせたり、進入滑走路のゲートが開いているか否かを判断させたり、滑走路に他の航空機が存在したか否か等の前景情報に関する質問に正しく回答できたかの評価の二つを用いている。実験は現役パイロットを被験者として用いたり、着陸操作という極めて負荷の高いタスクをパイロットにかけたりする等より現実的な状況を想定し判定を行っている。

同様なシミュレータを用いて前景視対象や表示像情報の発見応答時間や、それらの情報に基づく判断応答時間を評価したEdith FischerやRichard Hainses, Toni Price等の研究報告⁽⁵³⁾(73)もある。表示像距離無限遠点のヘッドアップディスプレイと近距離ヘッドアップディスプレイでの発見応答時間差を求め0.1秒を計測した報告⁽⁷⁰⁾、航空機の姿勢異常、経路逸脱の発見や対応時間の比較等⁽⁷⁰⁾もある。

航空機離着陸の操作をシミュレートすると、水平方向、垂直方向とも経路のトラッキング特性はヘッドアップディスプレイを用いた方がヘッドダウンディスプレイを用いるより良かったとの報告もある⁽⁵²⁾。

これらの結果は総じて、ヘッドアップディスプレイの方が従来型のヘッドダウン型表示装置より優れているとして、ヘッドアップディスプレイを航空機に導入することを積極的に支持している。

(ロ) パイロットの視線分析

ヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイを使って、着陸動作時の表示情報上での視点停留時間を比較している。視点停留時間はヘッドアップディスプレイの方が短いと報告している⁽⁵⁴⁾。着陸過程での研究によると、低空になるに従いヘッドダウンディスプレイでは前景視認時間が増え、さらに低空になるとヘッドダウンディスプレイは殆どみられないがヘッドアップディスプレイでは適宜視認しており、着陸直前のように複雑な計器を数多く見る必要がある場合は、ヘッドアップディスプレイが有効であると報告している⁽⁵⁸⁾。また、ヘッドアップディスプレイのシンボロジー（表示パターン）の優劣についても報告されており、機体のピッチ表示や人工水平線表示の有効性が報告されている^{(52) (60) (62) (63)}。

(ハ) パイロットの官能評価

実際の航空機でヘッドアップディスプレイを使用し飛行したパイロットの報告や、パイロットの経験をまとめた、現場からの評価報告⁽⁶³⁾がある。フライトシミュレータを用いた実験でも、ヘッドアップディスプレイの全体的な良さを官能評価した⁽⁶⁸⁾研究もある。総じて従来型のヘッドダウンディスプレイに比較してヘッドアップディスプレイの評点は高い。

(b) 効果に否定的な研究

(イ) 状況認識の正確さによる評価

フライトシミュレータを用い飛行時に出現する予期しない物標や表示情報が正しく認識できるか否かを評価している。45度という角度の大きい着陸操作等比較的パイロットの負荷が高い状態で実験すると発見応答時間は従来型ヘッドダウンディスプレイより長くなるばかりか、何人かの被験者は予期しなかった物標や情報に気づきもしなかったという報告もある。後述する選択的注視におけるアテンショントンネリング (attention tunneling) に似ていることからヘッドアップディスプレイのように表示像を重畳する場合の問題として報告されている^{(53) (64) (73)}。

(ロ) 経路逸脱の程度や異常経路からの回復操縦性による評価

Weintraubらの研究では、俯角10度の位置に設けたヘッドダウンディスプレイとヘッドアップディスプレイとを用いて、着陸時指定経路からどの程度逸脱するかを評価した⁽⁷¹⁾。表示シンボルが同一であれば高度や水平方向の経路の逸脱は両ディスプレイとも大差は見られず、結論としてヘッドアップディスプレイの良さはシンボロジーの良さだと結論している。また、表示距離が無限遠点であるヘッドアップディスプレイと近点に表示するヘッドアップディスプレイでの表示認識応答時間差0.1秒は航空機ではそれほど大きな効果と言えないと結論している⁽⁷⁰⁾。

(ハ) パイロットの官能評価

Oppitekらがまとめたところによると、敵機の攻撃を受けた時や他の戦闘機との異常接近時等の緊急時では、過半数のパイロットがヘッドアップディスプレイを切っている⁽⁷⁶⁾と報告している。また、現役パイロットの中にはヘッドアップディスプレイ使用を拒否する者もいる⁽⁵²⁾のも事実である。

前景物標の配置や種類、前景物標と表示像との注意の比重、ユーザのプロフェシヨナリティ等、自動車走行・使用環境は航空機のそれと比較して大きく異なる。

例えば、航空機でのヘッドアップディスプレイの物標や表示情報の発見応答性のデータでは若く訓練を積んだ現役パイロットを対象としているが、広い年齢層のユーザを対象にする自動車の場合は若年齢者ドライバ同様高齢者ドライバの特性も重要となる⁽⁷⁷⁾。

また、航空機ではパイロットの頭部の移動量はドライバに比較して極めて少ない。航空機用ヘッドアップディスプレイは表示像と前景を完全に重ね合わせて用いる場合が多いので、パイロットの目の位置が決まればコンバイナの位置がほぼ自動的に決まる。従って表示像の高さ位置（俯角 θ ）は重要な設計変数にはならない。しかしながら、自動車では前景と表示像を完全に重ねて用いることは殆どなく、ドライバの俯角は寧ろ重要な設計変数となり、設計変数の最適化について新たな考察が必要である。

表 1.1 : 自動車環境と航空機環境との相違

	自動車	航空機
主たる情報	前景	表示像
物標視認距離	比較的近距离	遠距離
主な前景情報要件数	歩行者、車両、信号等 多い	空、雲、滑走路 少ない
使用者	幅広いユーザ	特殊訓練者
使用姿勢	大きな頭部移動	小さな頭部移動
使用条件	前景対象と非重畳	前景対象と重畳
メンテナンス	不要	厳重な保守
コスト	低コスト・大量生産	高コスト・小量生産
装着性	少スペース	比較的大きいスペース

さらに、通常の自動車運転では、戦闘機やそれに準じる航空機で存在する戦闘場面や異常接近のようなパイロットの負荷が極度に高まる環境は全くといっていいほどない。ヘッドアップディスプレイのスイッチを切るというパイロットの官能評価結果は、自動車にそのまま適応はできず、新たにドライバの官能評価を行なう必要がある。

また、飛行中や着陸時のパイロットの視線移動範囲や前景物標の出現範囲は自動車と航空機では異なる⁽⁶⁹⁾⁽⁷⁸⁾。望ましい前方視界に関しても航空機は広くとられるが、自動車では寧ろ広い視界は走行時の恐怖感や不快感を誘発するため航空機に較べれば狭くとることが多い⁽⁷⁹⁾。

その他、航空機と自動車での視覚環境の差は多々挙げることができるが、最も大きな相違点としては、HeintzやHaller, Bouisも指摘しているように⁽⁸⁰⁾、大抵の場合、自動車では前景情報の認識が常にメインタスクであるのに対して、航空機では表示情報の認識の方がメインタスクである場合が多いことであろう。即ち、自動車では第一に前景情報の認識を考える必要があり、表示情報の取り込みのため前景情報の認識が疎かになることは致命的な問題につながる可能性

があるため、表示情報に対する考え方や評価が航空機の場合と異なってくる
ことが予想される。

航空機での実験条件が、現実の航空機航行条件を模擬しようと意図している
ため、前景視標や表示視標に実際の空港や機外の航空機、ゲートの開閉記号
等を用いている。このため対象としている航空機用ヘッドアップディスプレイ
については、十分な知見・結果を導出していると言えるが、各視標の認識度合
いを一般化しにくく、ヘッドアップディスプレイの優位性のメカニズムを解明
する研究には至っておらず、自動車用ヘッドアップディスプレイへの敷衍化は
困難と思われる。このため、新たに自動車の走行環境に基づいた自動車用ヘッ
ドアップディスプレイについての研究を進める必要がある。

ヘッドアップディスプレイに関するドライバ（または、パイロット）の視
覚環境という観点から自動車と航空機との主な相違を表1.1に示す。

（2）自動車用ヘッドアップディスプレイの研究

各種のモータショウや展示会で出品したヘッドアップディスプレイ搭載車
両のコンセプト解説や、将来のデザイントレンドに関する解説文献が多く⁽⁵⁾
⁽⁶⁾⁽¹²⁾⁽²⁹⁾⁽⁸¹⁾、自動車用ヘッドアップディスプレイが登場して間もない
こともあって視覚光学的研究は極めて少ない。

発表されている研究の大半は実際の走行による比較や、運転操作の特性も
含めた車両走行特性の比較の研究である。ヘッドアップディスプレイを用いた場
合と従来メータの場合の経路逸脱量の評価からヘッドアップディスプレイの有効
性を論じたもの⁽⁸²⁾~⁽⁸⁴⁾、やヘッドアップディスプレイ表示像の適正輝度を求
めた実験⁽⁸⁵⁾~⁽⁸⁹⁾、ウインドシールドの歪みの影響を調べた報告⁽⁹⁰⁾があ
る。航空機での研究との関連では、ヘッドアップディスプレイを搭載した自動
車走行実験ではアテンションネリング現象がなかったというSojourner等の
報告等がある⁽⁹¹⁾。その他ホログラム応用の一つとして、主としてハードウエ
アの観点から述べたもの⁽⁹²⁾~⁽⁹⁴⁾も見られる。

しかしながら、ドライバの運転挙動をも含めた車両全体の特性を論じてい
るため、人間の視覚機能とヘッドアップディスプレイの優位性の関連や、自動車

の視覚環境を考慮した設計変数の最適化の考え方を解明していく研究は殆ど見られない。

僅かに適正輝度に関する報告のみが最適化設計を意識している研究^{(82)~(94)}といえよう。

将来のヘッドアップディスプレイの自動車への応用をも考慮し、設計変数の最適化に対する考え方やアプローチを明かにし、ヘッドアップディスプレイの表示装置としての優位性のメカニズムを視覚光学的に解明する新たな研究が必要と考えられる。

1. 5. 2 関連する従来研究

代表的な関連研究は、Cornel大学のナイサー (Ulric Neisser) やベックレム (Becklem) 等による選択的注視に関する心理学実験^{(95) (96)}である。同一画面に二重写しした二種のビデオゲームの一方の内容を被験者が選択的に認識できるという実験である。

ベックレム等はこの実験で注視しない他のゲームに予期しない事象を発生させた時、多くの被験者が殆ど見過ごすとも報告している。これをアテンショントンネリング (attention tunneling) と呼んだ。

二種のビデオゲームの画像が、同一距離にある画面に表示される点や、表示色に差がないこと等、航空機でのヘッドアップディスプレイの条件と必ずしも一致しているわけではないが、航空機用ヘッドアップディスプレイで起こる負荷が極めて高い時のパイロットの前景物標の見過ごしをベックレム等の実験のアテンショントンネリングと類似した現象であると報告する研究もある⁽⁵³⁾。

VDT作業での画面の不要反射の実験^{(97)~(99)}やグレアのある紙面の文字の読みの実験^{(100) (101)}も、二重写りの一方の情報を捉えると言う観点ではヘッドアップディスプレイの視覚光学的研究に関連があると言える。これらの研究はグレアの許容レベルを求め照明や紙質の改善を目的としている。実験では多くの場合不要反射像光源として市松模様のパターンを用い、官能評価に

よって不要反射像の許容限界（表示像の輝度の50%）を求めている。近年、OA化の進展と共にVDT作業に関する研究も多く報告されている。作業の環境や注意の比重、視線の動き、認識時間等自動車用ヘッドアップディスプレイとは異なる点も多く、自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚光学特性の研究には、直接繋がりにくいですが、関連する知見も見られるので適宜これらの結果を参照していきたい。

1. 6 本研究の考え方

1. 6. 1 従来研究に対する考え方

前節で述べたヘッドアップディスプレイに関する従来の研究について、本研究では以下のように考える。

(1) 航空機用ヘッドアップディスプレイの研究では、航空機と自動車での使用環境や視覚環境が異なり、かつ航空機での特殊性が高いため自動車用途にまで普遍化しにくい。ヘッドアップディスプレイの表示装置としての優位性を説明する視覚メカニズムの解明に関する研究も航空機での使用環境での特殊解でしかなく自動車使用環境での研究が必要とされる。当然のことながら、自動車用ヘッドアップディスプレイ設計変数の最適化の思想も見いだせない。これらの従来研究は有効な点も多いが、自動車の視覚環境を考慮しつつ、新たにヘッドアップディスプレイの優位性のメカニズムを解明し設計変数の最適解を探る必要がある。

(2) 自動車でのヘッドアップディスプレイ研究は始まったばかりの感があり、実際の車両走行による総合評価に重点がおかれヘッドアップディスプレイの表示装置としての優位性のメカニズムに迫るものはない。唯一視覚光学的実験報告も適性輝度に関する官能評価実験で、表示像や前景情報の認識に関する報告は少ない。ヘッドアップディスプレイの自動車での本格的な応用を促進するためには、自動車の視覚環境を考慮し、ヘッドアップディスプレイの設計

変数の最適化や視覚メカニズムの解明のための研究アプローチが必要と考えられる。

(3) 選択的注視に関する心理実験は二つの表示情報の重畳時の情報受容について基礎的概念を与える。またVDT作業における外界の写り込みに関する実験等についても重畳するノイズとなる画像との関係はヘッドアップディスプレイに類似してはいるが、画面や作業面の視野の大きさや表示像とノイズ画像との距離差等、自動車運転の視覚環境とは大きく異なる。これらの研究の知見は、自動車の視覚環境を考慮した研究を積み上げるためのむしろ参照すべき基礎的な知見として位置づけられる。

1. 6. 2 本研究の基本的な考え方

(1) 中心視と周辺視 自動車走行では運転のために必要な情報の80%以上を視覚に依存していると言われる⁽¹⁰²⁾。本論文では自動車運転での視覚情報受容の大きな特徴⁽¹⁰³⁾⁽¹⁰⁴⁾である中心視と周辺視での認識の両方を念頭に置き、前景と表示像情報の認識・知覚の程度を実験評価する方針を採った。

(2) 表示装置の良さ 前景情報と表示情報をほぼ同時かつ短時間で受容処理する必要のある通常運転環境を想定したドライバの視覚情報処理過程を、前景からの情報受容をメインタスク、表示情報の受容をサブタスクと考えたダブルタスクの試行の組み合わせと見做した。本論文では理想的な表示装置を実現するという事は、メインタスクである前景の視認性には影響を与えることなく、サブタスクである表示情報をできるだけ正しく視認できるシステムを実現することと考え最適な自動車用ヘッドアップディスプレイ設計条件を探った。

(3) 最適化のアプローチ 設計変数の最適化を図るためには、ヘッドアップディスプレイ搭載車の走行評価による総合的な実験だけではなく、ヘッドアップディスプレイの優位性に関する視覚メカニズムを分析的に解明する必要がある。このため本研究では自動車走行条件の視覚環境条件のエッセンスをできる限り簡単な視覚評価系として構成させ、視覚光学モデルを導出し得られ

た知見を実際の車両走行実験で確認・検証するアプローチを採った。

(4) 評価尺度 自動車用表示装置の評価手法としてはレーンキーピング⁽¹⁰⁵⁾法等に代表されるドライバの操作運転の挙動を評価の尺度に採る場合が多い。しかしながら、本論文では、前景情報や表示情報はドライバの視覚に受容されて初めて適切な運転や操作の動作に繋がると考え、これらの視覚情報が見えたか否かまたは、認識できたか否かを評価することを根本的な評価尺度として位置づけた。

1. 6. 3 本研究の目的

本研究の目的は自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚光学特性に関する次の四つの項目を明らかにし、将来の自動車用ヘッドアップディスプレイの本格的な応用に向けて最適設計のガイドラインを提案することである。

(1) 従来メータであるヘッドダウンディスプレイに比較した時、視覚情報受容の特性において自動車用ヘッドアップディスプレイはどの程度優位なのかを明らかにする。

(2) ヘッドアップディスプレイを広く自動車に応用するにあたり、従来メータの設計では考慮する必要がなかった新たな留意点・課題を抽出し、その解決指標を明らかにする。

(3) 自動車用ヘッドアップディスプレイの主要設計変数である表示像距離や俯角等について、最適設計のための指標や考え方を明らかにする。

(4) 自動車用ヘッドアップディスプレイの表示装置としての優位性のメカニズムを人間の視覚情報処理機能や視覚光学の観点から明らかにする。

1. 6. 4 本論文の構成

まず、自動車走行という特殊環境下の視覚環境をシミュレートする評価系を構築した。ドライバの視覚情報受容過程を前景情報認識と表示像情報認識と

のダブルタスクと見做し、短時間視標呈示による正答率を評価尺度として表示装置の良否と各設計変数との関係を明らかにした。前景情報認識のタスクでは通常の運転におけるドライバの視覚情報受容過程を考慮して、前景視対象の検索（探す）・認知（存在に気づく）・認識（内容がわかる）の過程をシミュレートした。安全面でも視認性の点でも市場実績がある従来のヘッドダウンディスプレイとの相対比較を基本に、ヘッドアップディスプレイの優位性のメカニズムを、構築した視覚光学モデルを用いて説明した。最後に実験結果を実車走行実験で検証し、視覚光学の観点からヘッドアップディスプレイ設計変数最適化に迫ると言う方針を採った。

第2章では、まず自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚光学的特性を評価するために運転時の視覚環境条件に基づき開発した評価装置について述べた。前景に相当する領域、前景の明るさ、前景視標、表示像視標、評価アルゴリズム等についても述べた。

第3章では、開発した評価装置を用いヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイそれぞれの表示像認識タスクの有無が前景情報認識タスクの達成度にどのような影響を与えるか、また表示像距離が表示像認識タスクの達成度にどう影響するかを調べた。通常の運転条件ではヘッドアップディスプレイがヘッドダウンディスプレイより優れていることを示し、設計変数、表示像距離と表示像線幅の関係を明らかにした。

第4章では、同様に評価装置を用いて、もう一つの設計変数である表示像俯角の最適領域を明らかにした。結果として現行の自動車前方視界に関する規格と俯角最適領域との両立の可能性を示した。また、表示像距離や表示像線幅、俯角の主要設計変数の間には、1%有意の交互作用が存在し、最適設計にはそれぞれの変数の最適化と同時に変数の組合わせの最適化が重要であるという設計指標について述べた。

第5章では通常の運転条件と異なる緊急突発的な運転条件について考察した。メインタスクが先行する通常のプロセス（メジャープロセス）に加え、サブタスクが先行する緊急突発的なプロセス（マイナプロセス）についてヘッド

アップディスプレイと従来のヘッドダウンディスプレイとを比較評価した。

緊急時等突発的なプロセスでの課題とは、表示像情報を受容しているときに、緊急突発的に前景が変化する場合にドライバが前景認識をどの程度追従して行えるかと言う問題と考えた。本章では、このような状態でも、従来型メータに比較してヘッドアップディスプレイが優れていることや、その理由として周辺視能力が重要な機能を担っていることも述べた。

第6章では、自動車走行での最悪ケースと考えられるヘッドアップディスプレイ表示像が前景視対象に完全に重畳する場合の前景認識について、中心視と周辺視の機能の両面から述べた。表示像の輝度ばかりでなく、表示パターンの複雑さが前景の認識特性に影響を与えることや、車両の移動により前景と表示像の認識分離特性が改善する効果について述べた。さらに、この僅かの車両移動により前景の知覚・認識分離特性が改善する効果をTalbot-Plateau則と関連付けて考察した。

第7章では、実験室実験結果の検証のため、実際の道路の実車走行実験によりヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイを評価した。

S D (semantic differential) 法⁽¹⁰⁶⁾⁽¹⁰⁷⁾を適用して官能評価を行ない、主成分分析により設計変数最適化のパラメータ因子を抽出した。また併せて、ヘッドアップディスプレイ搭載車で実際の道路を運転走行し、表示像情報認識時間の計測結果からヘッドアップディスプレイの優位性を定量的に評価した。

第8章では、自動車用ヘッドアップディスプレイの表示装置としての優位性がどのような視覚のメカニズムによるのかを実験・考察した。従来、航空機用ヘッドアップディスプレイで言われていた優位性説明の論拠が実験結果の説明には不十分であることを示し、新たな視覚光学モデルの必要性を論じた。この章では、前章までの実験結果と補足実験により周辺視による表示像情報の受容機能に着目した視覚光学モデルを提案した。

第9章では、このモデルの妥当性を実験により検証し、提案した視覚光学モデルを用いてあらためて7章までの実験室実験と実車走行実験の結果を考察した。

最後に、第10章では1988年5月、著者らが世界で始めて実用化した自動車用ヘッドアップディスプレイ（日産シルビア'88年モデル搭載）と後続車種であるブルーバード用ヘッドアップディスプレイの研究開発について主としてハードウェアの観点から述べた。

第11章は最終章として本論文の研究全体をまとめると共に、シンボロジーの最適化研究や疲労状態のドライバに対する研究等、自動車用ヘッドアップディスプレイに関する今後の研究課題について概述した。

2 章

評価装置の開発

2. 1 はじめに

自動車走行中ドライバは、前景から種々の情報を取り入れると同時に、車内の表示装置からも短時間に情報を取り込んでいる。表示装置の良否をマンマシンインタフェースの観点から見ると、短時間で表示情報を正しく視認できるばかりでなく、表示情報の取り込みにより前景の認識が疎かにならないことが、安全で快適な運転を実現するために必要不可欠な条件と言える。

前景情報と表示像情報を、ほぼ同時かつ短時間で受容・処理する必要のある運転環境を想定した場合、ドライバの視覚情報処理過程は、前景からの情報受容をメインタスクと考え、表示情報の受容をサブタスクと考えたダブルタスクの試行と見做される。運転のために必要な情報の80%以上を視覚に依存している⁽¹⁰²⁾と言われる自動車走行において理想的な表示装置を実現することは、メインタスクである前景の認識には影響を与えることなく、サブタスクである表示像情報を正しく認識できるシステムを実現することと言える。

本章では、自動車走行時の視覚環境をシミュレートし前景と表示情報の認識というダブルタスクの達成度合いを定量的に且つ再現性良く評価するために開発した評価装置について述べる。実験室実験の結果を検証するための実車実験評価のため、表示像距離可変ヘッドアップディスプレイを搭載した実験車

両を試作した。併せて実験車両の主な仕様についても述べる。

2. 2 評価装置開発の考え方

つぎのような基本的な考え方に立ち評価装置を開発した。

(1) 実験室実験として自動車の視覚環境条件をモデル化しエッセンスのみをシミュレートし、実験の再現性や解析のしやすさを優先する。

(2) 評価装置での実験では、ヘッドアップディスプレイの表示情報受容のメカニズム解明や各設計変数の寄与度の解析を中心に行ない、評価装置による実験結果の検証やヘッドアップディスプレイ全体としての総合的評価は、後述する実験車両を用いて実際の走行実験によって行なう。

(3) 前景と表示像の情報受容を定量的に評価するための評価尺度として、それぞれの視標の短時間呈示による正答率（被験者が正しく認識し答えられる割合）を用いる。

(4) 実験条件は、通常の自動車走行での前景認識に関する最悪視覚環境を想定し実験結果の一般化ができるように配慮する。

(5) ヘッドアップディスプレイの主要な設計変数である表示像距離 L 、表示像俯角 θ 、表示像サイズ b 等が可変設定できる構造にする。

また自動車の視覚環境条件に関わる基礎データや試験標準等は、関連する他分野で既に収集されているものを極力利用し、適宜確認実験を行ない評価条件設定に用いた。

以上の基本的な考え方に沿って、前景の領域や明るさ、各視標の形状や輝度対比、呈示時間等の条件を定め評価装置を構築した。

2. 3 前景視標の呈示領域

2. 3. 1 呈示領域設定の考え方

自動車走行中ドライバが、認識しなければならない視対象は前景内の色々な位置に存在する。理論的には後方側方や車体で隠れる死角領域にも対象物体は存在する可能性はある。しかしながら、ドライバが表示像情報を認識しようとする場合は、ドライバにはある種の余裕が存在する時⁽¹⁰⁸⁾と考えられ、後方側方や死角領域の物体を確認するときのような状態ではないと考えるのが自然であろう。従って、評価用視対象（視標）の存在領域としては、通常運転時のドライバの視線移動範囲の90%以上がカバーされていれば十分と考えた。

ここで言う通常の運転とは、三浦が前景情報取り込みに関する自動車走行実験に用いた四種類の運転環境⁽¹⁰⁹⁾⁽¹¹⁰⁾を想定した。崩れ姿勢による運転や視線移動が特異な動きをする発進時や旋回、追い越し、衝突事故時等は除いた。

視標の存在領域の決定には、全運転条件、全道路走行等を考慮することは理論的にも不可能であるため、岩元等の日本自動車研究所研究報告⁽¹¹¹⁾や米国NHTSA（National Highway Traffic Safety Administration）の報告⁽¹¹²⁾を基に確認実験を実施し決定した。

2. 3. 2 視線移動範囲の確認実験

四種類の道路走行条件（表2.1）低混雑一般路、中混雑一般路、高混雑一般路、高速道路を選び、ドライバの視線移動・視点停留分布を計測した。被験者は30代の男子ベテランドライバ4名で、顔面にアイマークカメラ（竹井機器製TKK938）、頭部に小型CCDカメラを装着し走行した。ウインドシールド中央とエンジンフード先端部にそれぞれマーカを貼付し、再生映像での二つのマーカの相対的ずれ量から走行中のドライバの頭部の動きを判断し、発進時や右左折時等ドライバの頭部が大きく移動する場合はデータから除いた。

それぞれの道路走行条件での視線移動・視点停留分布は、撮影VTRを33 msec毎コマ送り再生し求めた。分解能左右上下共、±1度の範囲に視点が二

表 2.1：測定道路のカテゴリ

No.	カテゴリ	車速(km/h)	走行場所
I	停車	0	
II	低混雑高速一般路	40-50	横須賀市郊外等片側 2 車線
III	中混雑中速一般路	30-40	横浜市郊外等片側 1 車線
IV	高混雑低速一般路	20-30	横浜環状線等片側 1 車線
V	低混雑高速道路	80-100	横浜横須賀道路等片側 2 車線

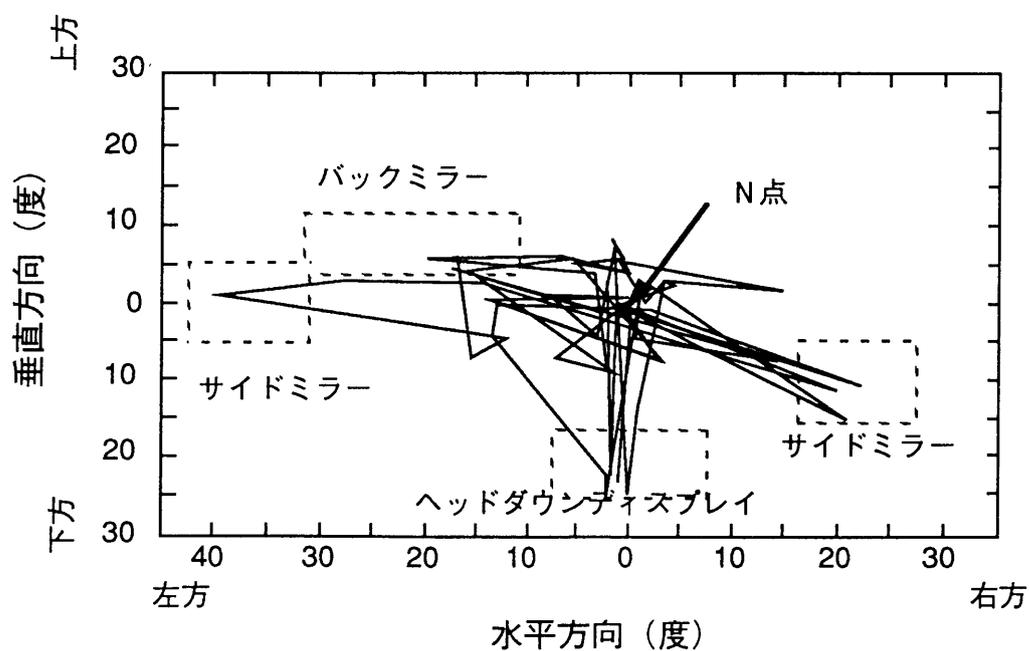


図 2.1：ドライバの視線の動き

コマ以上存在する場合を停留と見做し、各走行中のデータを累積した。図 2.1 に代表的な視線移動領域（中混雑一般路での 3 分間のサンプリングデータ）を示す。図中の N 点は原点（0, 0）である。明確に区別できる程の差は見られないが、視点が最も頻繁に停留する領域は、低混雑一般路から、中混雑一般路、高混雑一般路、高速道路になるに従い N 点に集中する傾向が見られた。

ドライバ 4 名の平均視点停留時間分布を四種類の道路について全て合計し、視点停留時間を三次元的にヒストグラムとして図 2.2 に示した。図では全体の形状を掴むため 1% 以下の停留点は除いて表示した。

実験結果から、視点停留分布の 90% 以上は N 点を中心にしておよそ左右 ±15 度上下 ±5 度内にあることが分かった。これは既に報告されている岩元等のデータ⁽¹¹¹⁾⁽¹¹²⁾ とほぼ一致していた。

また、発進時や右左折時等ドライバの頭部が大きく移動する場合を除くと視点停留分布特性は N 点を中心とする半値幅視角 2～3 度の狭い領域にピークを持つ分布になり、塩坂等の計測データ⁽¹¹³⁾ と同様の傾向を示した。

これらのデータを元に、次のような考え方に立ち評価装置の前景スクリーンの条件を定めた。

(1) 評価装置の前景の視野（前景用スクリーン）の大きさは、視角で前方左右 ±15 度上下 ±5 度の範囲に定めた。

(2) N 点近傍を通常運転の安定な視点停留点と考え、実験では実験開始時の固視点とした。

(3) 前景視対象の出現確率は一様に分布していると考え、前景視標は前景の視野の上下左右と中央の計 9 箇所ランダムに一様な生起確率で出現するモデルと考えた。

2. 3. 3 前景視標の呈示距離

呈示される前景視標までの距離は、一般的な視力測定で使われる視標まで

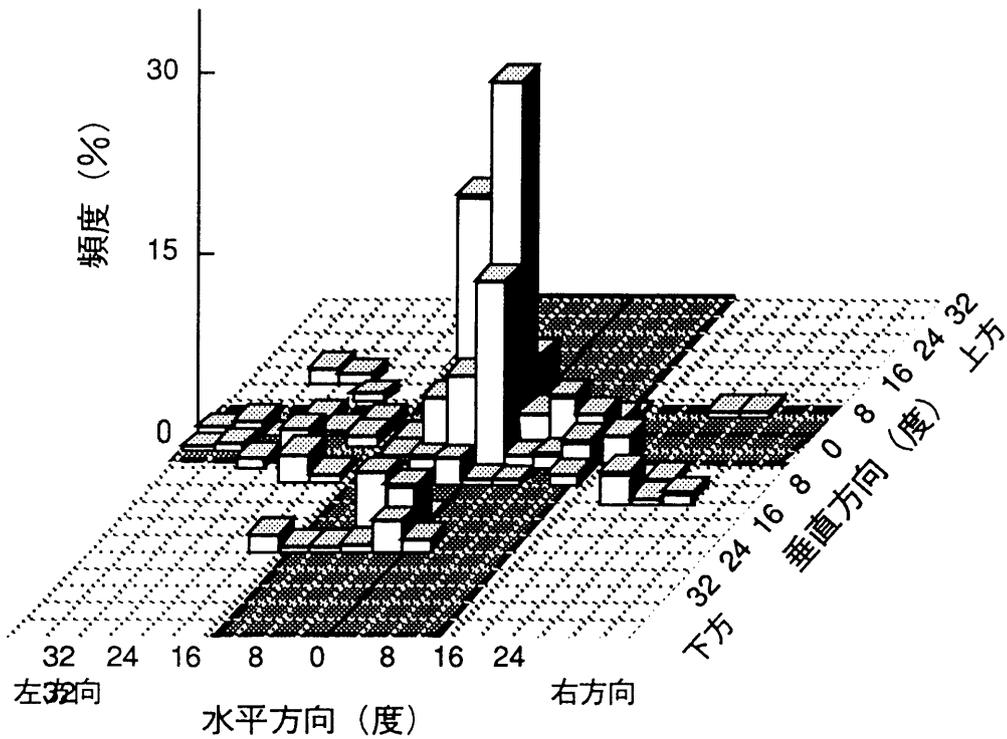


図 2.2：ドライバーの目の停留時間分布

表 2.2：測定場所の道路・交通の概要

測定場所	車線数	分離帯	対向車のグ レア	方位	注
1 郊外	2	なし	影響あり	南	a
2 郊外	4	あり	影響なし	南	b
3 市街地	4	なし	影響小	南	c
4 市街地	2	なし	影響あり	北	d
5 自動車専用道路	4	あり	影響なし	南	e
6 市街地	2	なし	影響あり	北	d'

注)

- a)横浜市金沢区、住宅街
- b)横須賀市馬堀海岸、住宅街、中央分離帯に植樹あり
- c)国道16号線
- d)横須賀市追浜、市街地
- e)横浜横須賀道路、中央分離帯に植樹あり
- d')横須賀市追浜、市街地、雨天

の距離 5メートル⁽⁴⁶⁾を用いた。

視覚生理による代表的な距離判別機能は、調節、輻輳、両眼視差の三つであると言われる⁽¹¹⁴⁾。調節 (accommodation) 機能では約 2メートルまで判別でき、輻輳 (convergence) 機能では約 5～10メートルまで、両眼視差では数十メートルまで奥行き距離の判別能力があると言われる⁽¹¹⁵⁾⁽¹¹⁶⁾。

自動車での走行状態を考えると、理論的には前景視標までの距離は、無限遠点をもカバーするように評価装置を設定するのが望ましいが、装置自体の大きさや複雑さ等とトレードオフし、調節と輻輳の機能にできる限り対応できる距離とした。視標までの距離がさらに長くなった場合については、実際の車両による走行実験での結果で確認可能と考えた。

2. 4 前景背景地の明るさ

2. 4. 1 前景背景地の明るさ設定の考え方

自動車用ヘッドアップディスプレイ表示像は、多くの場合前方の道路面を背景地として表示される。通常の自動車走行条件でヘッドアップディスプレイ表示像の背景地が最も暗くなるケースを前照灯点灯直前時と考え、薄暮時の前照灯点灯直前の路面輝度を計測した。

池田等の研究によると、順応輝度が高くなるに従い視力値も高くなる。また同一視力で認識できる視標の輝度対比の下限値は、順応輝度が高い方が低く、順応輝度が低くなると高くなる⁽¹¹⁷⁾。従って、前照灯点灯直前の路面輝度の条件は、ドライバーがメインタスクである前景情報を認識するのに最も厳しい前景の明るさの条件であると考えることができる。

2. 4. 2 路面輝度の計測

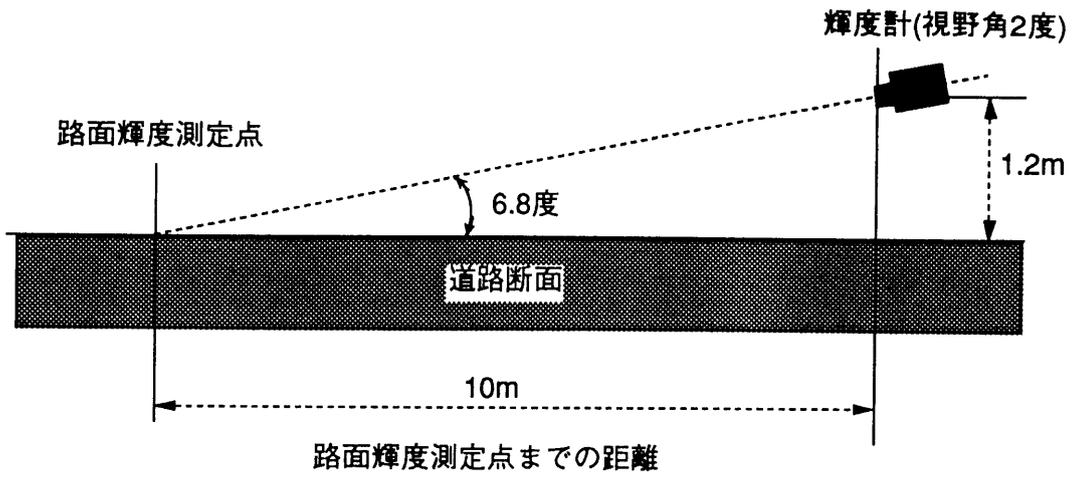


図 2.3：路面輝度測定構成

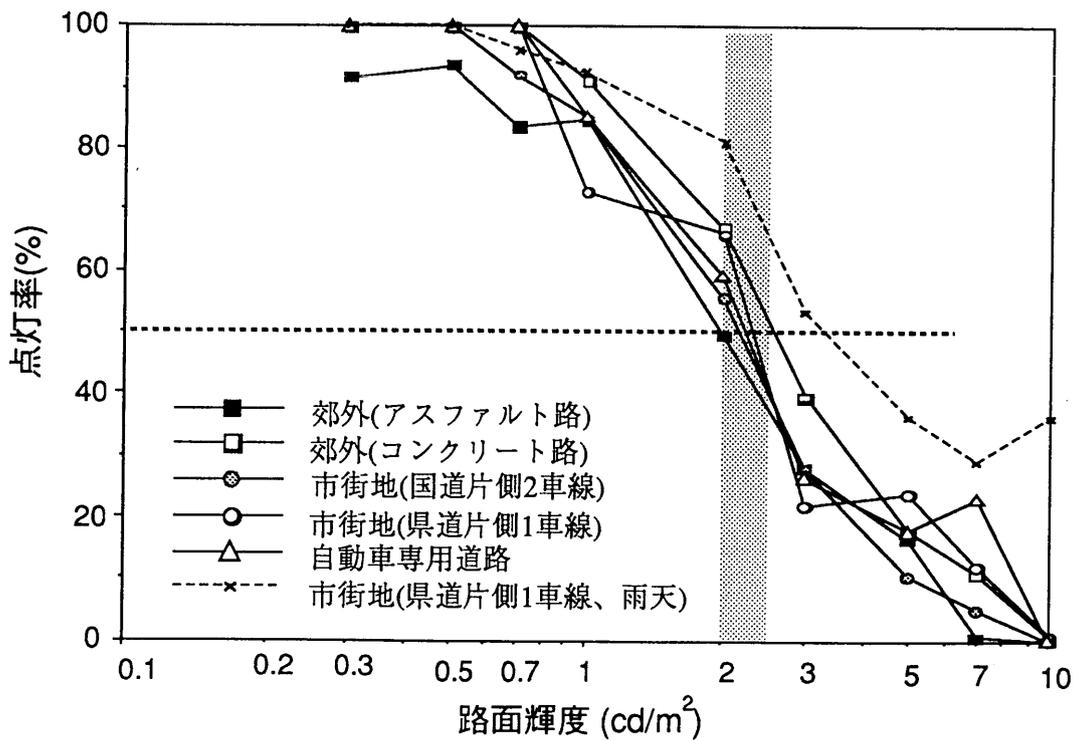


図 2.4：路面輝度と点灯率の関係

六種の道路（表2.2）で街灯の影響を受けにくい二地点をそれぞれ選び、走行車両の過半数が前照燈を点灯する平均的な路面輝度を日を変えて7回ずつ計測した。計測地点は路面に水膜等が存在せず街路灯等の影響を受けないアスファルト路面を選んだ。参考のため一地点のみコンクリート路面を入れた。

計測系はJIS道路照明基準⁽¹¹⁸⁾を考慮し、図2.3に示す構成で平均路面輝度を測定した。各道路条件での平均路面輝度と走行車両の前照燈平均点灯率の時間的推移を図2.4に示す。地点や計測日等により若干の変動はあるもののバラツキはむしろ小さく、過半数の車両が前照燈を点灯する平均的な路面輝度は約 2 cd/m^2 であった。この値は関西地区で計測した野口等のデータ⁽¹¹⁹⁾とはほぼ同じ値であった。

評価装置では、前景背景地に相当する前景スクリーンの明るさは平均輝度 2 cd/m^2 に設定した。

2.5 前景視標と表示像視標

2.5.1 視標設定の考え方

自動車運転におけるドライバーの前景情報受容には、前方の視対象の探索、視対象の存在に気づき（視標の存在の認知・知覚）、次いでその視対象が何であるかを認識する（視標の認識）と言う三つの動作が含まれていると言われる⁽¹⁰³⁾⁽¹²⁰⁾。評価装置による実験での前景視標では、探索と認知、認識の三つを定量的に計測評価できる特性が必要である。

2.5.2 視標の設定

本研究では前景スクリーン視野内の九箇所中の前景視標が呈示されているどれか一箇所を探することで探索過程を実現している。前景視標は自動車用前照燈評価実験で用いられている灰黒色の正方形視標（CIE 1982）⁽¹¹¹⁾（視標の

認知・知覚評価)と同様の形状で、かつ視力定量評価に広く用いられているスネレン図形(視標の認識評価)を用いた(図1.8)。視標の知覚や認識度合いの定量的な評価のためには、短時間視標呈示でのスネレン図形の開口方向認識の正答率を用いた。

スネレン図形は15インチカラーCRT(0.37mmドットピッチ)上に、白色背景地に黒色で表示した。白地背景地に対するスネレン図形の輝度対比は、視力測定用視標⁽⁴⁴⁾に準ずる0.80以上とした。実験手順の項で述べるように表示像のセグメント線幅(図1.8中のa)は、被験者によって予め正答率80%に基準化し被験者個人の視機能のバラツキの影響をできるかぎり低減した。

表示像視標については、自動車でのデジタル表示として最も広く使用されている⁽¹²¹⁾7セグメント数字表示を14インチ緑色CRT(0.34mmドットピッチ)上に作成し用いた(図1.8)。表示色は航空機や自動車のヘッドアップディスプレイで用いられている緑色⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾とし、表示像の輝度対比は表示像輝度適正領域に入る⁽⁸⁹⁾⁽¹²²⁾⁽¹²³⁾1.2~1.5の範囲に設定した。

前景視標と表示像視標の文字数は、被験者の短期記憶の容量⁽¹²⁴⁾を考え、それぞれ二桁とした。

2.6 視標の呈示時間

2.6.1 視標の呈示時間の考え方

ドライバの目が運転中に前景視対象や表示像上に停留する時間の計測結果については、既に多くの報告がある^{(125)~(130)}。車速計の読み取りでは0.4秒から0.7秒が代表値であり、道路標識等簡単な文字や記号の認識では0.5秒から1秒程度である。視標の呈示時間の設定ではまずこれらの結果を考慮した。

各視標認識の正答率の飽和を避けるため、呈示時間は出来るだけ短く取る

必要がある。実験手順で後述するように、固視点Nに視点が停留している間に被験者が表示像を見てしまうことを避ける時間（眼球運動の潜時）⁽¹³¹⁾も必要となる。

以上の点を考慮して、本実験ではスネレン図形呈示時間を0.8秒、表示像呈示時間を0.5秒に設定した。

2.6.2 視標呈示タイミングの設定

メインタスクがサブタスクに先行する第3章と第4章での実験では、図2.5に示すタイミングチャートを用いた。1試行は、ブザー音で開始され、1秒後スネレン図形を呈示、0.3秒遅れてヘッドアップディスプレイ表示像が、0.5秒表示される。最初の1秒は、被験者の瞬目を避けるためと注意力の統制のためで、次の0.3秒は、前景視標の検索のための視点停留時間内に、ヘッドアップディスプレイ表示像を被験者が見ないようにするためである⁽¹³¹⁾。

サブタスクがメインタスクに先行する第5章での実験では、図2.6に示すタイミングチャートを用いたが、第3章や第4章との結果と比較が可能なように各視標の呈示時間は同一にしつつ、サブタスクが先行して認識できるよう配慮した。タイムチャートについては、各章での実験手順で再度詳しく述べたい。

2.7 評価装置の構成

前節までの検討結果を折り込み、評価装置を以下のように構成した。評価装置は図2.7のブロックダイヤグラムに示すように6つの部分から成る。

- (1) 前景（前景視標を表示する9台のカラーCRTと白色スクリーン）
- (2) ヘッドアップディスプレイ用緑単色CRT
- (3) 表示像の距離や俯角を変化させる移動台と全反射ミラー
- (4) 片面無反射ハーフミラー
- (5) 色度計や輝度計等の計測系

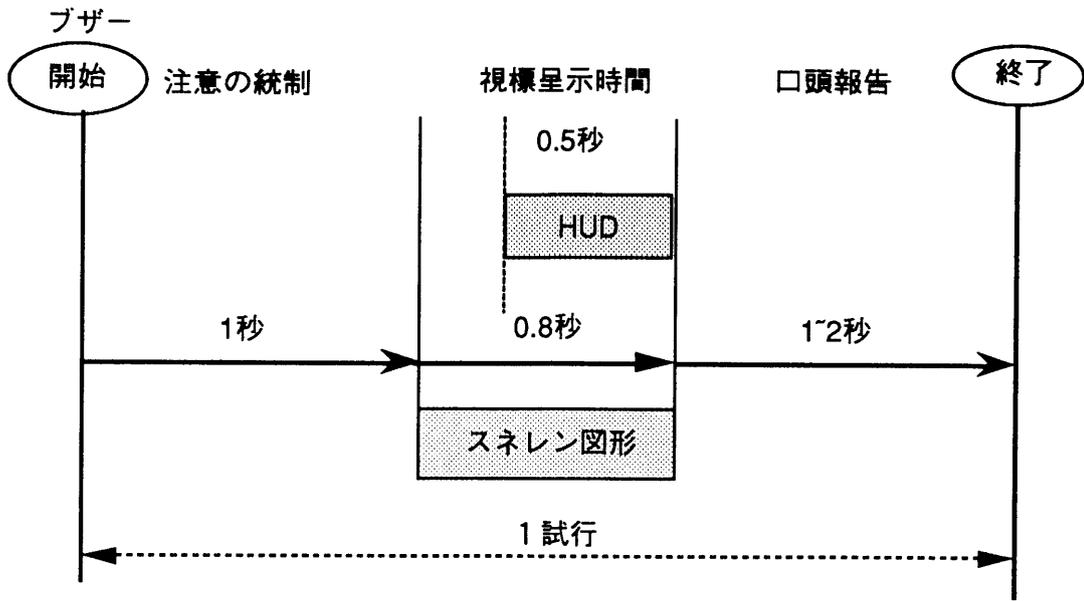


図 2.5：タイムチャート(メジャープロセス)

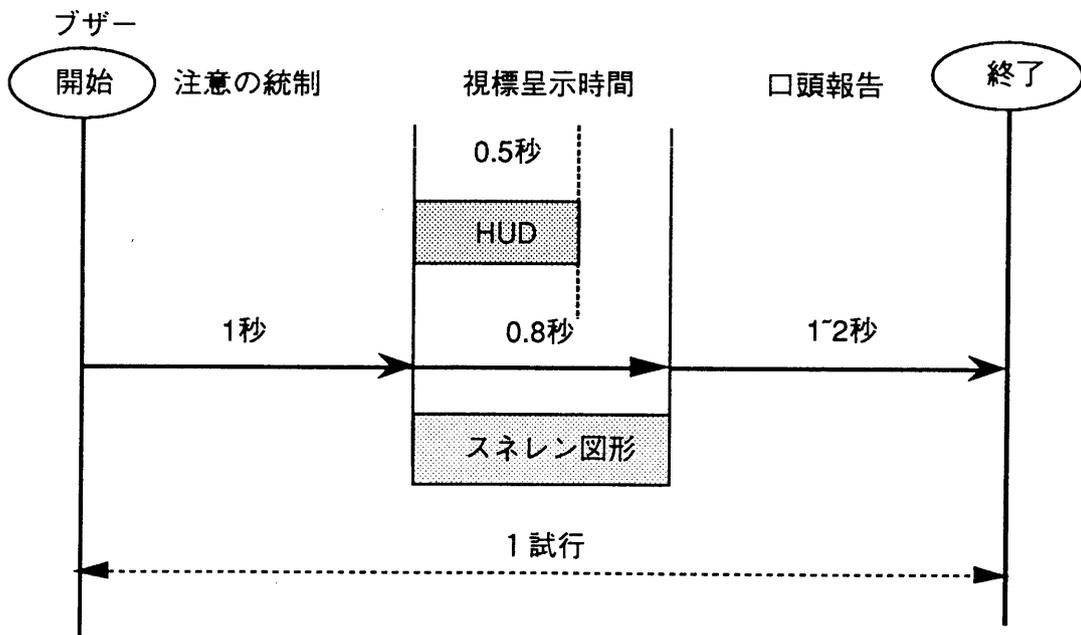


図 2.6：タイムチャート(マイナプロセス)

注；各図の” HUD” はヘッドアップディスプレイ表示像視標の呈示時間，” スネレン図形” は前景視標の呈示時間。

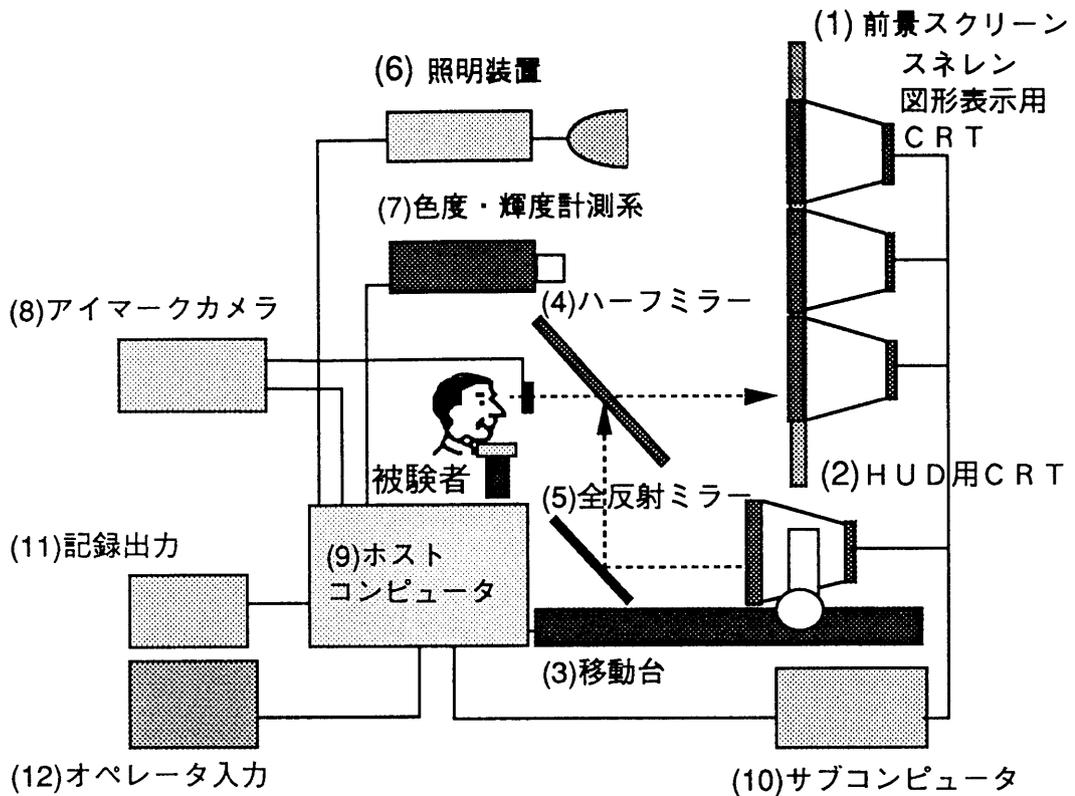


図 2.7：評価システムのブロックダイアグラム

表 2.3：評価装置の仕様

構成品	主な仕様
* 前景 CRT スクリーン	左右15度、上下5度以上、平均輝度 2cd/m^2 9台、15インチCRT 白色スクリーン5m(CRT;背景白地との色差; $\Delta E_{ab}^* \leq 1.0$)
* コンピュータ	ホストコンピュータ (16ビット;HP9000) サブコンピュータ (16ビット NEC PC98)
* 表示像	14インチCRT像の虚像(0.34mmスポット径モノクロ緑色)
* 移動台	表示像距離:0.7~5 m
* 表面鏡	俯角:0~20度
* 計測系	輝度計(Spectra1980) 照度計(Minolta) 色差計(Topcon;BM5) 照明器
* ハーフミラー	片面無反射加工(表面反射像と裏面反射像の輝度比 $\leq 1/15$)、傾斜角可変

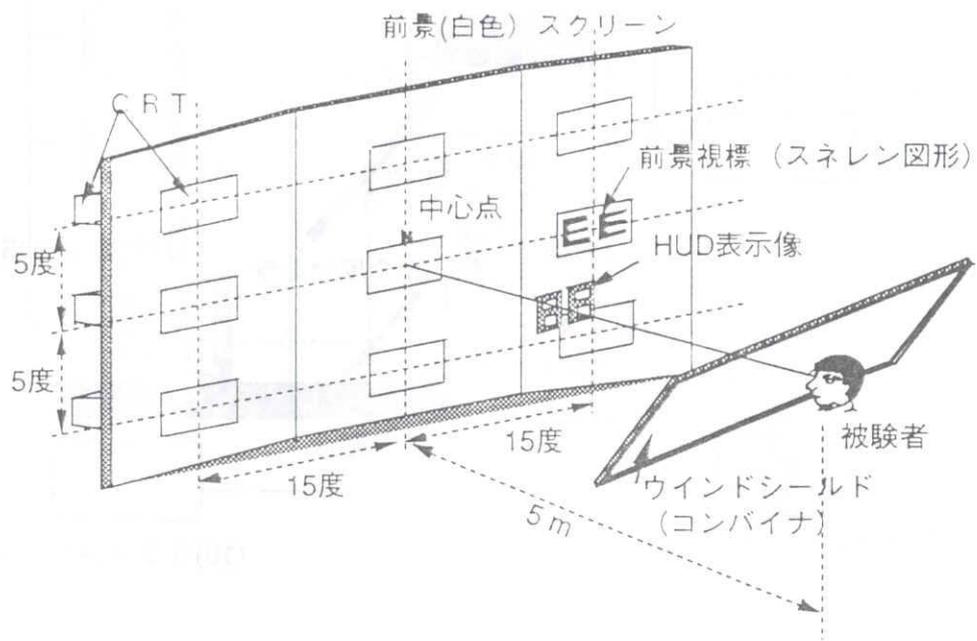


図 2.8 : 実験系の構成

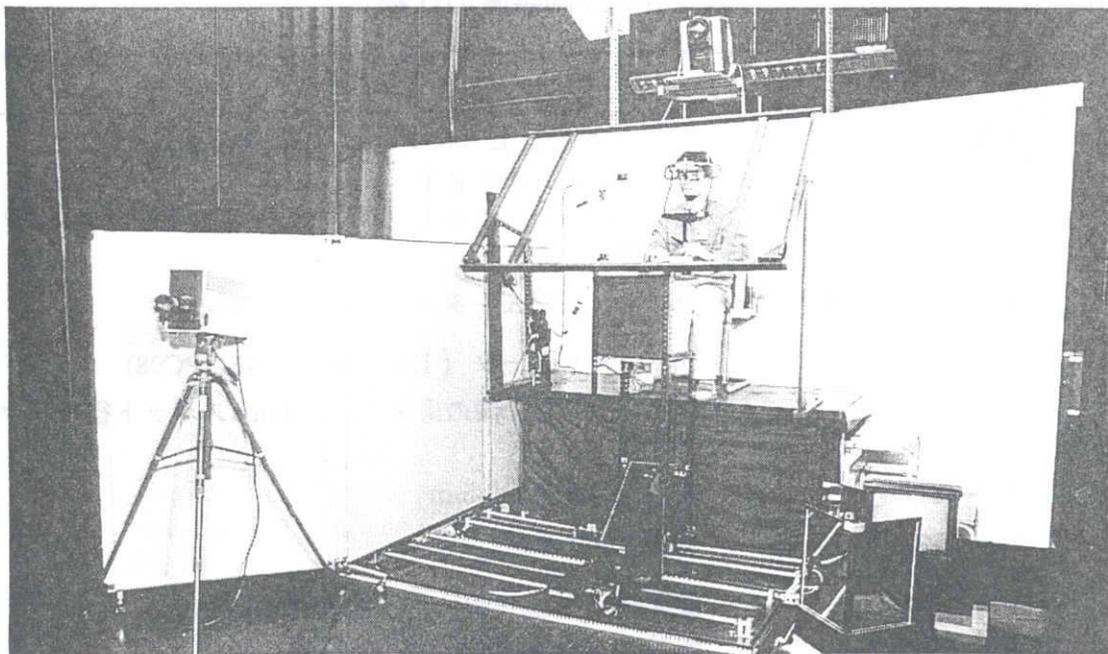


図2.9：実験系被験者側（写真）

(ハーフミラー越しにアイマークカメラ装着時の被験者側を見る)

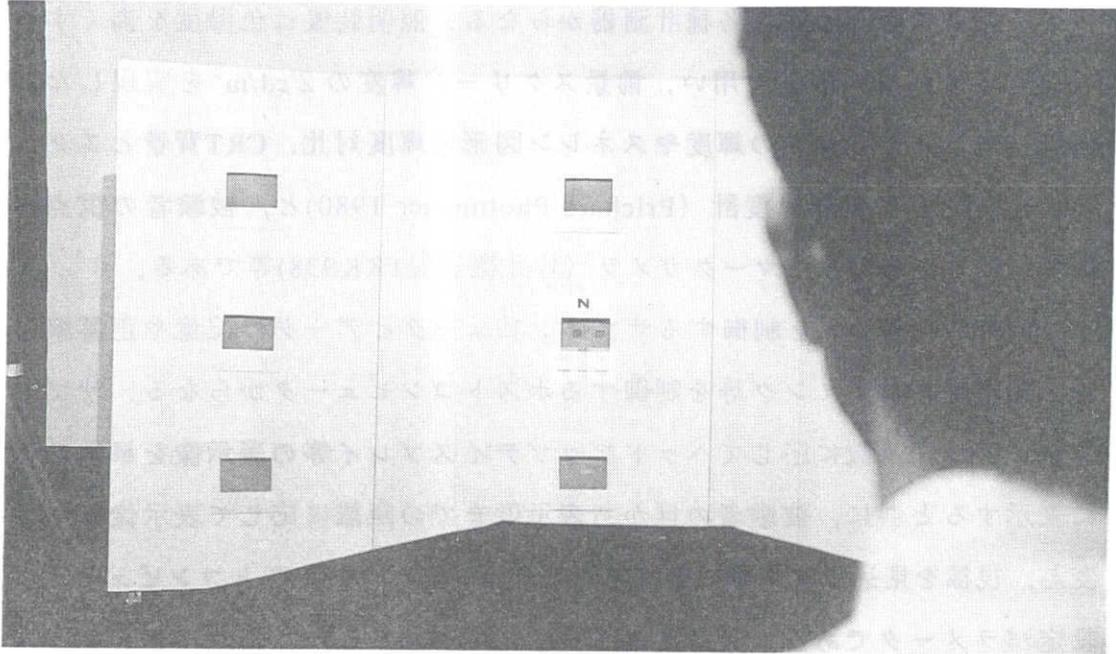


図2.10：実験系前景スクリーンと表示像側（写真）
（被験者からハーフミラー越しに前景スクリーンを見る）

（6）システムを制御するコンピュータ

九台のCRTは白色スクリーンに内蔵され、前景視標はどれか一台のCRTに表示される。スネレン図形の背景は白地で、周囲のスクリーンとの色差を最小 ($\Delta E^* a b \leq 1.0$) に設定した (図2.8)。

ヘッドアップディスプレイ表示用CRTに表示された緑色の表示像は、全反射ミラーで反射された後、ハーフミラーで再度反射されて被験者の目に入る。

被験者は、CRT表示像の虚像を見ることになる。移動台の上のCRTを移動させることにより、表示像距離Lを0.7mから5mまで任意に調節した。

また、全反射ミラーの位置と角度とを調節することにより表示像の俯角を調節し、種々の俯角を有するヘッドアップディスプレイや俯角の大きいヘッドダウンディスプレイを実現した。二重像を防止するために、ハーフミラーは裏面に反射防止膜のコーティングを施し、全反射ミラーは表面反射鏡を用いた。全体の系として、裏面反射像輝度対表面反射像輝度比は1/15以下を得た。

計測系は照明装置と各種計測器からなる。照明装置は色温度を高くするためカラー撮影用白熱球を用い、前景スクリーン輝度の 2 cd/m^2 を実現した。計測器は前景スクリーンの輝度やスネレン図形の輝度対比、CRT背景とスクリーンの色差計測に色彩輝度計 (Prichard Photometer 1980) と、被験者の視点停留時間計測のためのアイマークカメラ (竹井機器製TKK938) 等である。

制御系は表示系を制御するサブコンピュータとデータの記憶や正答率の計算、視標呈示タイミング等を制御するホストコンピュータからなる。サブコンピュータは、乱数に応じてヘッドアップディスプレイ等の表示像を単色CRTに表示すると共に、被験者の目から表示像までの距離に応じて表示像サイズを変え、視標を見込む視角が一定になるように制御した。ホストコンピュータは、設定パラメータである前景輝度 (CRTとスクリーン)、色差 (CRTとスクリーン)、スネレン図形の輝度対比、表示像距離、被験者の条件、正答率結果を記憶・処理すると共に、スネレン図形を呈示する九台のCRTの選択と図形の開口部の方向を一様乱数により制御する。

評価装置は光学暗室に設置し、被験者から見てスクリーン部以外の光輝物は除くと共に周囲を黒色暗幕にし周囲からの干渉を避けた。構成品の主な仕様を表 2.3 に示す。

図 2.9 は、前景スクリーンの方向から、ハーフミラー (コンバイナ) を通して被験者側を見た写真で、図 2.10 は被験者の方向から、ハーフミラーを通して前景スクリーン部を見た写真である。中央部のCRTに一对のスネレン図形が表示されており、その近傍にヘッドアップディスプレイ表示像の 2 桁数字と実験開始時に注視する N 点が見える。

2. 8 正答率の定義

前景視標の認識が確実に行なわれ、かつヘッドアップディスプレイ表示像の情報を正確に認識できる度合いを評価するため、評価パラメータとして、次の 7 種類の正答率を定義し表示特性を評価した。

(1) η_{s0} ヘッドアップディスプレイの表示像がない場合の前景視標（スネレン図形）のみの正答率。各実験では、初期値として80%になるようスネレン図形のサイズを基準化した。

(2) η_{H0} スネレン図形の表示がない場合のヘッドアップディスプレイ表示像のみの正答率。表示像サイズが十分大きいため、各被験者ともほぼ100%であった。

(3) $\eta_{s \cdot H}$ ヘッドアップディスプレイとスネレン図形の両方が呈示されたとき、両方共正答する率。

(4) η_s ヘッドアップディスプレイとスネレン図形の両方が呈示されたとき、スネレン図形のみに着目した正答率。

(5) η_H ヘッドアップディスプレイとスネレン図形の両方が呈示されたとき、ヘッドアップディスプレイ表示像のみに着目した正答率。

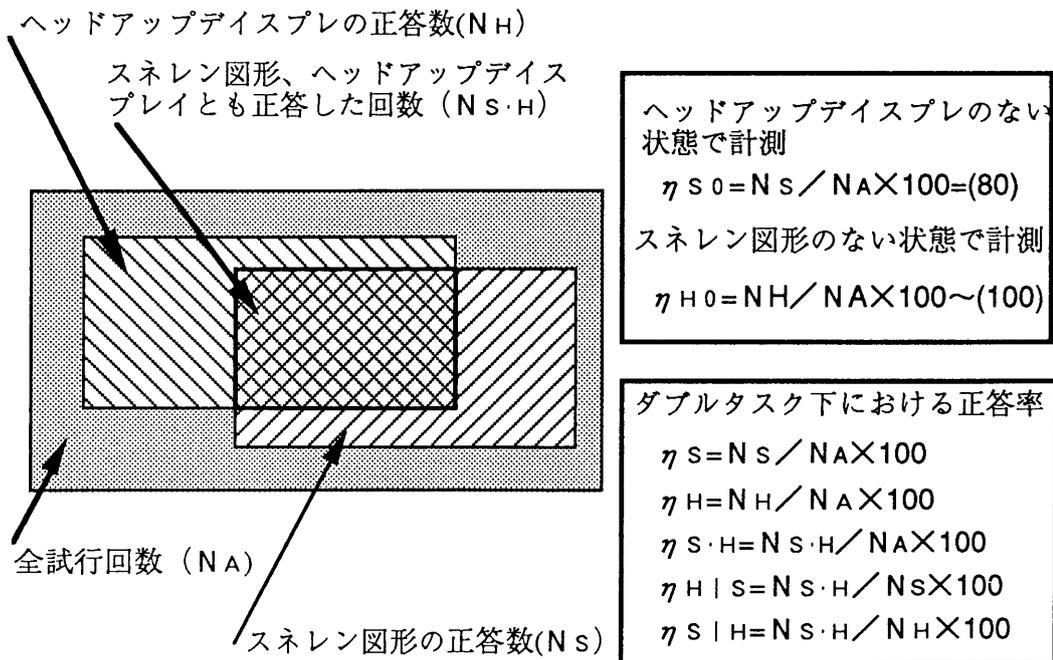


図 2.11：7種類の正答率

(6) $\eta_{H|S}$ ヘッドアップディスプレイとスネレン図形の両方が呈示されたとき、スネレン図形について正答した内でヘッドアップディスプレイ表示像に対して正答した割合。前景を視認するという負荷が存在するときのヘッドアップディスプレイの見やすさの尺度を与えると考えられる。実験では、前景視標の正答率を80%に基準化しているが、メインタスクがサブタスクに先行する通常走行の条件では、前景視標を完全に認識することが要求されるケースであり、ヘッドアップディスプレイの認識特性（正答率）は、 $\eta_{H|S}$ そのものの値で表現されると考えられる。

サブタスクがメインタスクに先行する場合には、この値が低い時は被験者がインストラクションを守らず先にスネレン図形を見てしまったケースと考えられるが実験では極めて高い値に維持されていた。

(7) $\eta_{S|H}$ ヘッドアップディスプレイとスネレン図形の両方が呈示されたとき、ヘッドアップディスプレイ表示像について正答した内でスネレン図形に対して正答する割合。メインタスクがサブタスクに先行する場合には、この値が低いことは、被験者がインストラクションを守らなかったり、ヘッドアップディスプレイの表示像が先に見えてしまったケースと考えられるが、本実験では、極めて高い値に維持されていた。サブタスクがメインタスクに先行する場合には、この値が、突発的または緊急に変化した前景にどの程度対応できるかを示す目安を与えると考えられる。

それぞれの正答率の包含関係を図2.11に示す。図から明らかなように、条件付き確率の公式を用いれば、 $\eta_{S|H}$ や、 $\eta_{H|S}$ は、 η_S や、 $\eta_{H \cdot S}$ 、 η_H を用いて、次式のようにで表される。従って、全ての正答率は、 η_{S0} 、 η_{H0} 、 $\eta_{S \cdot H}$ 、 η_S 、 η_H の5つの値を求めれば分かる。

$$\eta_{S|H} = \frac{\eta_{SH}}{\eta_H} \times 100 \quad (2-1)$$

$$\eta_{H|S} = \frac{\eta_{SH}}{\eta_S} \times 100 \quad (2-2)$$

2. 9 実験手順

2. 9. 1 準備

(1) 前景輝度や色差，スネレン図形とヘッドアップディスプレイ表示像の輝度対比等の評価装置のパラメータを設定する

(2) オートレフラクトメータにより屈折状態を含めた被験者の視機能（視力等）を計測する。

(3) 被験者の目を環境に順応させる（約十分間）

(4) 計測に慣れるため，50～100回の反応練習の正答率をチェックして，安定度を調べる。（被験者は中心点Nを注視し，ブザの合図後，スネレン図形の方角を口頭で答える。）

(5) 各被験者の視機能データから，2種類のスネレン図形を選択する。

(6) 選択したスネレン図形をそれぞれ100回ずつ呈示し，正答率が80%になるスネレン図形サイズを内挿法により求める。

(7) 求めたスネレン図形サイズで正答率80%を確認する。

2. 9. 2 実験

(1) 被験者は，表示像にも慣れるため25～50回の練習を本実験に先行して行なう。（被験者は中心点Nを注視し，メインタスクがサブタスクに先行する場合には，ブザーの合図でまずスネレン図形を，次いで表示像を見，口頭で二つのスネレン図形の方角，二桁の数字の読みを答える。サブタスクがメインタスクに先行する場合には，ブザの合図でまず表示像を，次いでスネレン図形を見，口頭で二つのスネレン図形の方角，二桁の数字の読みを答える。）

(2) 表示像の条件を種々に変化させ，各種の正答率を計測，評価する。各条件での正答率は，100回以上の試行に基づいてデータとして記録する。

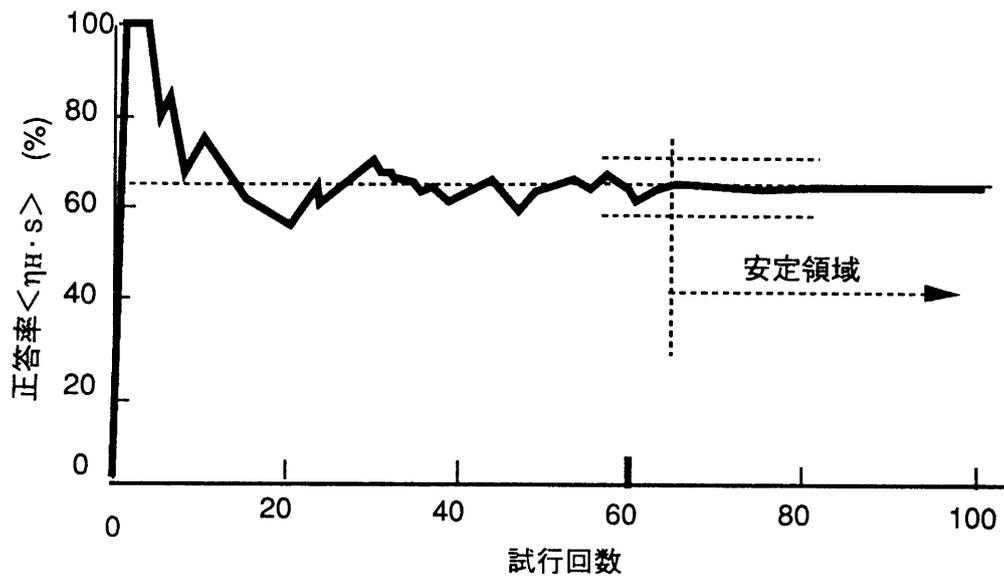


図 2.12：正答率と試行回数

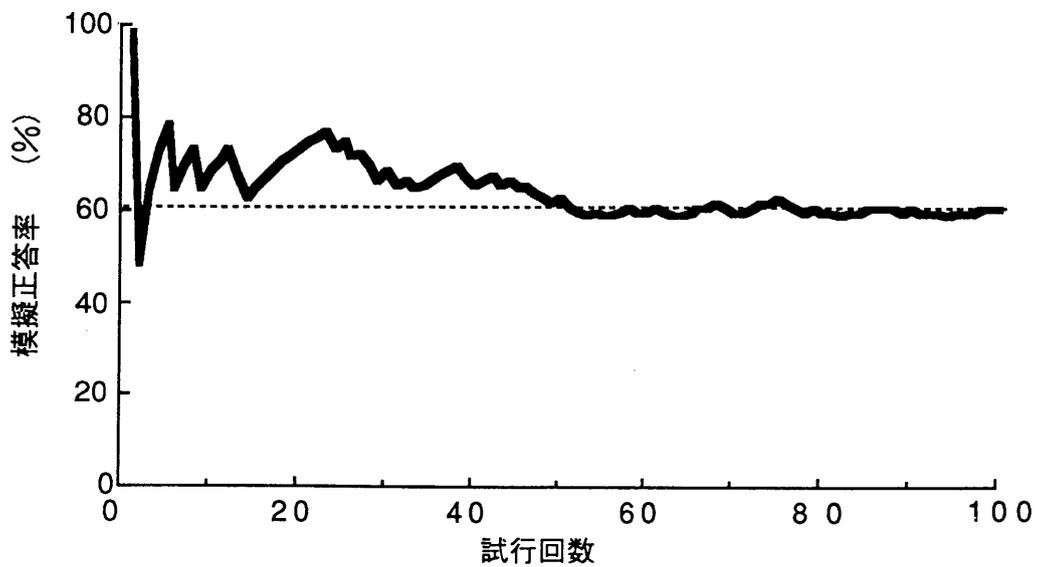


図2.13：一様乱数による正答率と試行回数のシミュレーション

2. 1 0 評価尺度の精度

2. 1 0. 1 予備試験による試験時間の算出

上記の実験手順に沿ってメインタスクがサブタスクに先行する場合について、五種の正答率 η_{S0} , η_{H0} , $\eta_{S \cdot H}$, η_S , η_H を被験者3名で測定した。試行回数と正答比率の代表例として、正答率 $\eta_{S \cdot H}$ と試行回数との関係を図 2. 1 2 に示す。数十回を越えた時点で正答率 $\eta_{S \cdot H}$ は安定し始める。本研究では特に指定がないかぎり試行回数は100回とした。

また、各実験では被験者の疲労の効果を除くため、各100試行毎に2～3分の休憩を取るとともに、正答率曲線を常時モニタし、正答率の±5%変動を目処に安定データとした。100試行からなる1データの取得時間は被験者の休憩時間も含め14分から18分であった。

2. 1 0. 2 実験データの精度

前節で示した試行と正答率の関係はベルヌーイ試行の多数回の繰り返しと見做せるため、M回の試行でのX回正答する確率は二項分布に従うであろう。

図 2. 1 3 に代表的な例として、一様乱数から作ったベルヌーイ試行の試行回数と正答率（ここでは二桁乱数が00～59になる率として求めている）の変化を示した。図 2. 1 2 の実測データと極めて良い対応を見ることができる。

正答確率を p とし、100試行中 x 回正答する確率は次の式で表現できる。

$$\Pr(x) = {}_{100}C_x p^x (1-p)^{100-x} \quad (2-3)$$

$$m = 100 \times p \quad (2-4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{p(1-p)}{100}} \quad (2-5)$$

ここで m は正答回数の平均値、 σ は標準偏差である。一般的に二項分布で、 Mp が 5 以上となる大きな標本では正規分布で近似できることが知られている⁽¹³²⁾。試行回数が本実験のように大きい場合、(2-3) 式の二項分布は平均値 m 標準偏差 σ の正規分布で近似できる。

危険率 $\alpha\%$ で正答確率 p の信頼区間を与える式は (2-6) のように記せる。

$$\Pr(p_1 \leq p \leq p_2) = 1 - \alpha \quad (2-6)$$

ここで p_1 , p_2 は信頼限界を与える正答確率の上限値と下限値で、次の式で与えられる。

$$p_1 = \frac{p + \frac{z_{\alpha/2}^2}{2M} + \frac{z_{\alpha/2}}{\sqrt{M}} \sqrt{p(1-p) + \frac{z_{\alpha/2}^2}{4M}}}{1 + \frac{z_{\alpha/2}^2}{M}}$$

$$p_2 = \frac{p + \frac{z_{\alpha/2}^2}{2M} - \frac{z_{\alpha/2}}{\sqrt{M}} \sqrt{p(1-p) + \frac{z_{\alpha/2}^2}{4M}}}{1 + \frac{z_{\alpha/2}^2}{M}}$$

但し $z_{\alpha/2}$ は標準正規分布の片側 ($\alpha/2$) % 点である。

(2-5) 式では p が 0 から 1 までの値を取るとき、 σ は 0 から最大 5 までの値をとる。最大の σ の値である 0.05 を用いて、危険率 10% で信頼区間を算出すると、正答確率は約 0.08 となる。従って、最も精度が悪化した状態を考えても、実験データで取り扱う正答率の信頼区間は危険率 10% で約 8% になることが分かる。

2. 10. 3 実際の計測例

4 名の被験者 (20 歳代男子) を用いて被験者の体調や疲労度に注意をし

て、一万回の試行での正答率 $\eta_{S \cdot H}$ を計測した。全試行を 1000 回毎に区切り、1000 データの正答率 $\eta_{S \cdot H}$ を得た。

1000 データの分布を正規分布と仮定して χ^2 検定すると、各被験者とも危険率 5% で正規分布することが示された。

1000 データの標本を十分大きいとして母集団に近いと見做し、危険率 10% での正答率の信頼区間を表 2.4 に算出した。いずれも前節で述べた 8% より小さいことが分かる。

1 データの試行回数を増せば危険率や信頼区間を向上することは理論的には可能ではあるが、被験者の疲労や注意力の散漫等や、実験日毎の被験者の体調等の変動により、現実にはベルヌーイの試行の仮定自体が崩れ、逆にデータの信頼性が低下する恐れもある。本研究で扱おうとしている定量的ではあるが従来表示装置との相対的な評価では前節で述べた信頼区間で十分な結論が引き出せると考えた。

表2.4：正答率と信頼区間（10,000回試行）

被験者（年齢）	平均正答率（ $\eta_{S \cdot H}$ %）	信頼区間（10%危険率）
T.I (20)	29.0	±4.8
Y.N (25)	48.9	±6.4
Y.M (21)	79.1	±4.5
J.B (22)	82.6	±3.9

2. 1 1 実験車の試作

2. 1 1. 1 光学系の設定

実験車に搭載したヘッドアップディスプレイは、プロジェクタとコンバイナ（表示光の反射と前景の透過視認を行なうハーフミラー）から構成される。プロジェクタは表示体（高輝度蛍光表示管）と凸レンズ（焦点距離 800 mm、

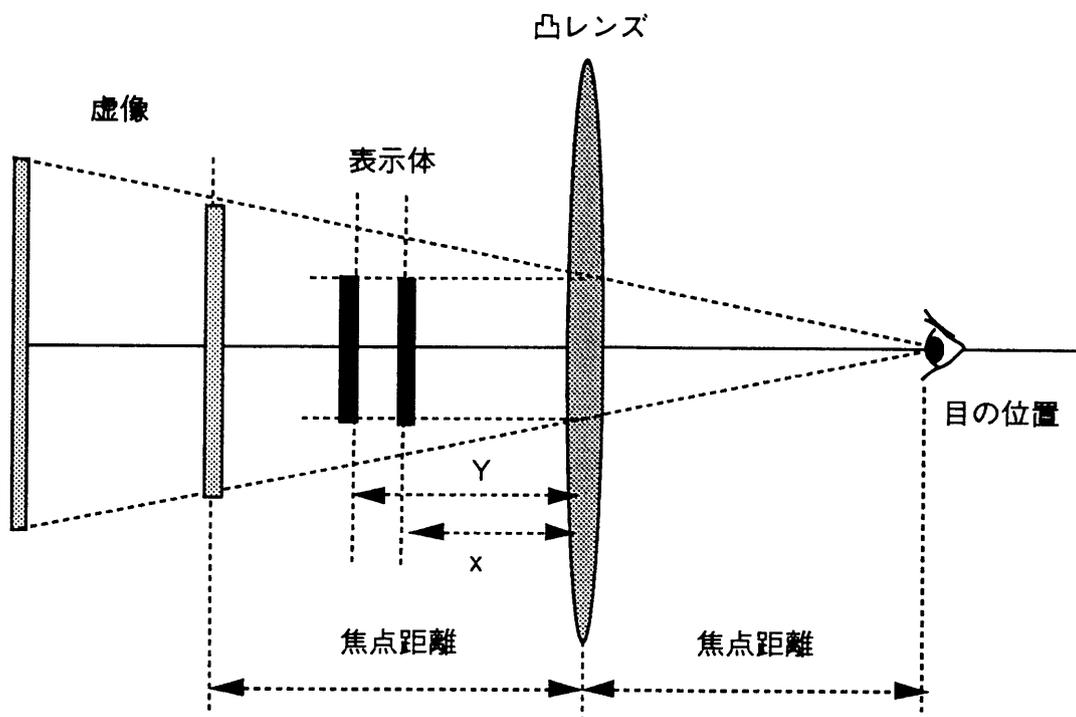


図 2.14：ヘッドアップディスプレイの光学系

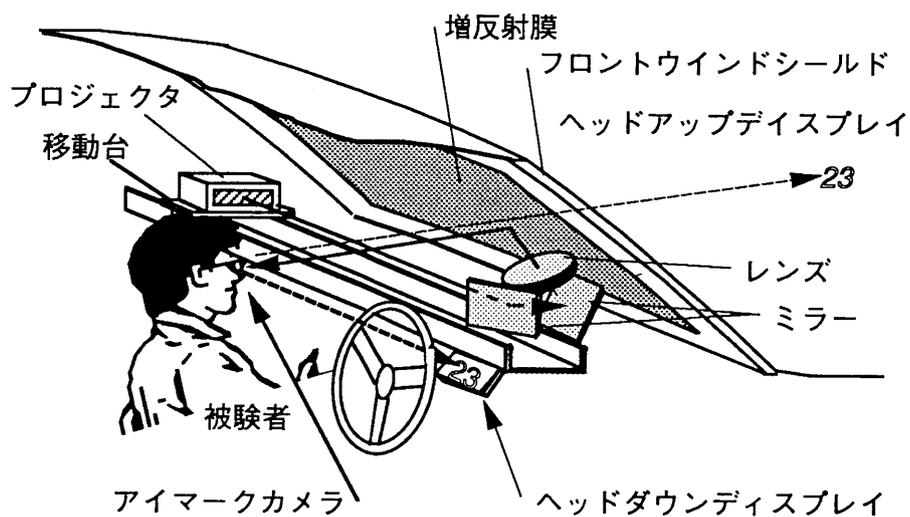


図2.15：実験系（車両インストルメント部光学系）

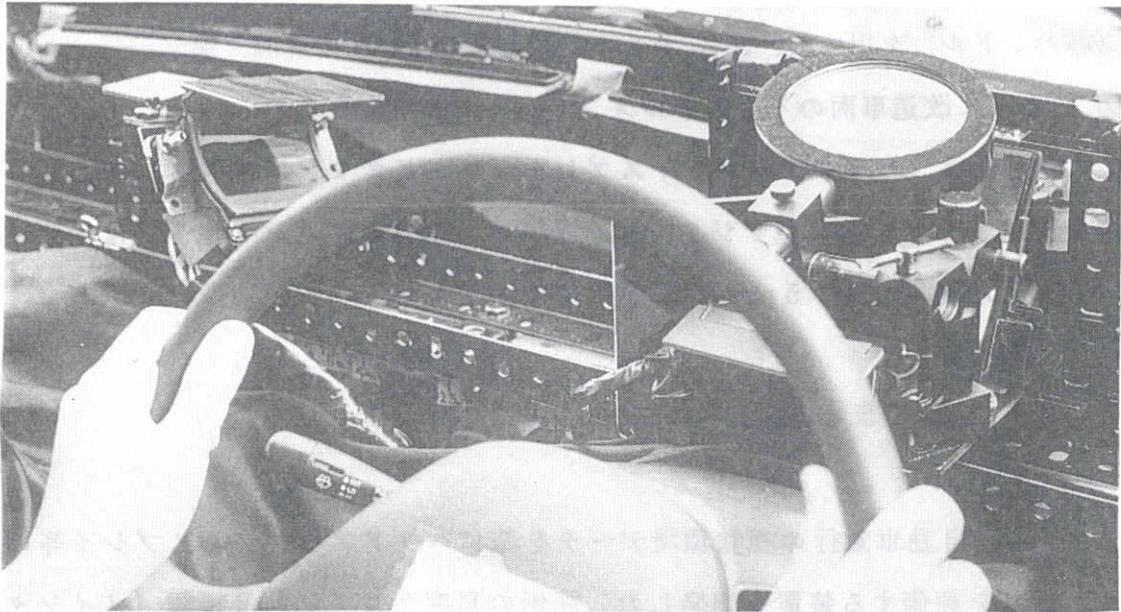


図2.16：実験車両のインストルメント部（写真）

口径120 mm)、平面表面鏡からなり、コンバイナに用いたウインドシールドは、二重反射像を防ぐため反射率が緑色光のみ高くなるよう増反射膜を車室内面全面にコートした(裏面反射像輝度対表面反射像輝度比を1/10以下)。ヘッドアップディスプレイ表示像の俯角は約5度、表示像距離は1.5 mから5 mまで可変できる構造にした。図2.14に表示像を見込む視角を一定にし、表示像距離を可変にする搭載した光学系の構成を示す。レンズの焦点位置とドライバの目の位置を一致させて配置し、表示体(蛍光表示管)と凸レンズとの間隔を変化することにより、表示像を見込む視角を一定にしたまま表示像距離を変化させる構造を実現した。

ドライバの両眼で表示像を見ることができる領域(アイレンジ)は左右8 cm以上確保した。

また、比較のため同一の表示像サイズのヘッドダウンディスプレイ(表示像距離0.7 m, 俯角20度)も搭載した。

2.11.2 実験車

実験車両にはインストルメントパネル部を改造した'89年型日産ブルーバード

(右ハンドル)を用いた。図2.15に実験車両の光学系の構成を模式的に示し、図2.16に改造車両のインストルメントパネル部写真を示す。

表示像は、ヘッドアップディスプレイ、ヘッドダウンディスプレイとも二桁のセブンセグメント型デジタル車速表示で、表示セグメントサイズはドライバから見た視角で3.5 mrad、表示色は緑色である。

2.12 まとめ

(1) 自動車走行の視覚環境データを基にヘッドアップディスプレイ等の表示装置を評価する装置を開発した。評価の尺度として、前景視認（メインタスク）と表示像視認（サブタスク）からなるダブルタスクの達成度合いを用いることにより、定量的評価が評価を可能にした。

(2) 構造の簡素化や、各種の制御をコンピュータ化することにより、十数分と短い時間で1データの収集を可能とし、被験者の負担が軽い定量評価系を構築することができた。

(3) データの精度や再現性に関連する試験回数⁽⁵³⁾⁽⁷²⁾に関しては、従来検討された航空機用ヘッドアップディスプレイの評価実験と同等以上の特性が得られた。

(4) 実際の道路走行評価実験用として、表示像距離を1.5 mから5 mまで可変できるヘッドアップディスプレイを搭載した実験車を試作した。

第3章

表示像距離変数の効果⁽¹³³⁾ (134)

3.1 はじめに

インストルメントクラスタ内に装着されているヘッドダウンディスプレイを最適設計する場合には、表示像（体）の寸法や明るさ、輝度対比等が主な設計変数になる⁽¹³⁵⁾。ヘッドアップディスプレイの設計では、これらに加え、新たに表示像距離や表示像の俯角等が表示装置の特性を左右する重要な設計変数となる。

特に序章で述べたように、高年齢者層の近点視力値を考慮すると、表示像距離は表示像の認識に大きな影響を与えることが予測される。

第2章では、自動車走行の視覚環境データに基づいて開発した評価装置について述べた。本章では評価装置を用いメインタスク（前景認識）がサブタスクに先行する通常の運転条件を想定して、まず、ヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイを比較し、前景と表示像の認識の両面からヘッドアップディスプレイの表示装置としての優位性を論じた。

次に、ヘッドアップディスプレイの設計変数の中で重要と考えられる表示像距離と表示像のサイズ（微細さ）が、前景と表示像の認識にどのような影響を与えるかを評価した。

最後に、前景と表示像上の視点停留時間をヘッドアップディスプレイとヘ

ッドダウンディスプレイについて計測し、それぞれの表示装置での表示像情報受容のプロセスを考察した。

また、各評価実験では、高年齢者層と若年齢者層の被験者を用いて、ヘッドアップディスプレイやヘッドダウンディスプレイの表示特性の年齢による相違をも評価・考察した。

3. 2 実験の目的

本章での実験・評価の主な目的は次の6項目を明らかにすることである。

(1) ヘッドアップディスプレイ表示像の存在が前景認識に影響を与えるか否か。

(2) 前景と表示像の認識特性において、ヘッドアップディスプレイがヘッドダウンディスプレイに比較してどの程度優れているか。

(3) ヘッドアップディスプレイで表示像距離を変化させたとき、前景と表示像の認識特性にどんな影響があるか。

(4) 表示像距離の変化によるヘッドアップディスプレイの前景と表示像の認識特性が、表示像のサイズ(微細さ)にどう関連するか。

(5) 高年齢者層と若年齢者層とで、上記の諸特性に特徴的な相違が存在するか。

(6) ヘッドアップディスプレイやヘッドダウンディスプレイの表示情報を認識する時間を計測し、表示情報受容のメカニズムを推定する。

実験手順は第2章で述べた手順に従った。

3. 3 実験条件

3. 3. 1 評価装置の設定

本章での実験では、図2.7で述べた評価装置の全反射ミラー(5)の角度

と表示像用 CRT (2) の位置を変化させ、俯角 0 度で表示像距離が 0.7 m から 5 m まで可変のヘッドアップディスプレイと、俯角 20 度で表示像距離が 0.7 m のヘッドダウンディスプレイを設定できるようにした。

表示像のサイズ (図 1.8 の b mrad) は、実用化されているヘッドアップディスプレイの表示像サイズ、3.5 mrad を含めて、1.0, 2.0, 3.5, 6.0 mrad の四種類を用いた。ヘッドアップディスプレイの場合には、表示像距離が変化しても、被験者から見た表示像の視角が変わらないようにサブコンピュータ (8) で制御した。

視点停留時間計測では、表示像サイズ 3.5 mrad のヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイについてのみ、顔面を顎台で軽く固定した被験者にアイマークカメラ (11) を装着させ、記録 VTR のコマ送り再生画像から前景視標と表示像上の視点停留時間を求めた。表 3.1 に全体の実験条件をまとめて示す。

3.3.2 被験者

被験者は、運転免許を有する両眼視力 0.7 以上の男子、10 名。半数の 5 名は 20 代から 30 代前半の若年齢者層、残りの 5 名は 40 代後半から 50 代の高年齢者層の二つのグループに分けた。表 3.2 に被験者の年齢、視力、前景視標スネレン図形の基準化サイズを示した。

3.4 実験と結果

3.4.1 ヘッドダウンディスプレイとの比較

表示像距離 L が共に 0.7 m であるヘッドアップディスプレイ (俯角 $\theta = 0$ 度) とヘッドダウンディスプレイ (俯角 $\theta = 20$ 度) について、第 2 章で定義した各正答率を表示像サイズを変化させて計測した。正答率 η_s と $\eta_{H|S}$ の若年

表 3.1：実験条件

項目		実験条件
前景	前景視標	スネレン図形対
	表示位置	被験者から5m 9箇所(左右15度、上下5度、中央)
	スネレン図形の輝度対比	0.80~0.85
	前景輝度	1~2 cd/m ²
	表示像輝度	0.2 cd/m ² (平均)
	表示色	白地黒色
	表示像サイズ	被験者に応じて正規化
表示	表示像	2桁7セグメント数字
	表示像の距離	被験者の目から0.7~5m
	表示装置の種類	ヘッドアップディスプレイ(俯角0度) ヘッドダウンディスプレイ(俯角20度)
	表示像輝度	0.8 cd/m ² (平均)
	表示色	緑色(色度座標 x=0.26, y=0.62)
	表示像サイズ	セグメント線幅で1.0,2.0,3.5,6.0 mradの4種

表 3.2：被験者リスト

*眼鏡による矯正視力

	被験者名	年齢	視力(右/左)	スネレンサイズ (a mrad)
高年齢者層のグループ	K.S.	61	0.7/0.7	1.16
	M.T.	50	1.0/1.0	0.48
	I.K.	48	1.0/1.0	0.60
	B.S.	45	1.0/1.0	0.64
	S.A.	45	0.8/0.8	0.72
若年齢者層のグループ	M.F.	34	1.0/1.0	0.60
	S.H.	26	1.2/1.2	0.60
	K.T.	25	1.2/1.2	0.48
	Y.N.	24	1.0/0.8 *	0.60
	H.S.	21	1.5/1.5	0.44

年齢層平均，高年齢者層平均および全平均をそれぞれ表3.3に示す。

正答率 η_s は，表示装置の種類や，表示像サイズによらず基準値 η_{s0} (= 80%) と同じ値を維持している。これは，ヘッドアップディスプレイの表示像情報認識でも，ヘッドダウンディスプレイと同様に表示像の認識（サブタスク）が前景認識（メインタスク達成）に影響を与えないことを示唆している。

表示像の認識の程度（サブタスク達成度）に相当する正答率 η_{HIS} は，表示装置がヘッドアップディスプレイかヘッドダウンディスプレイかや，表示像サイズの大小に大きく依存する。全般的にヘッドアップディスプレイはヘッドダウンディスプレイより正答率 η_{HIS} が高く，ヘッドアップディスプレイが表示像の認識特性で優れていることを示している。表示像サイズについては，当然のことながら，線幅が広くなるに従い正答率 η_{HIS} は高くなる。

これらの結果は年齢層にかかわらず同様の傾向を示すが，正答率 η_{HIS} そのものの値は，高年齢者層が若年齢者層より全般的に低い。原因として，高年齢者での視標探索応答の遅れ⁽¹³⁶⁾ や運動機能の低下⁽³⁴⁾ 等に加え，後章で論ずる周辺視機能の低下等が予想される。

3.4.2 ヘッドアップディスプレイ表示像の認識特性

ヘッドアップディスプレイの表示像距離 L と表示像サイズ（線幅 b mrad）を変化させ，前景と表示像の正答率 η_s と η_{HIS} を計測した。

結果を図3.1から図3.3に示す。年齢層間の特徴的相違点を見るために，若年齢者層，高年齢者層および全平均について記した。パラメータは表示像サイズ（線幅 b mrad）をとった。若年齢者層と高年齢者層の図（図3.1，図3.2）では，各被験者ごとの正答率データのバラツキが掴めるよう各正答率の値をX印等の記号を用いて各平均値データの曲線に重ねて表示した。

いずれの場合もドライバ（被験者）は，メインタスク（前景の認識）の正答率 η_s を，基準値 η_{s0} から低下させることなく表示情報を受容していることが分かる。

表 3.3：ヘッドアップディスプレイと
ヘッドダウンディスプレイの正答率

表示の種類 (俯角 θ 度)	表示像サイズ(線幅)			
	1.0mrad	2.0mrad	3.5mrad	6.0mrad
ヘッドダウンディスプレイ				
(俯角 20度) 若年齢者層	0.2 / 78	3.6 / 79	10.0 / 78	18.0 / 77
高年齢者層	0 / 80	0 / 76	0.4 / 81	3.2 / 76
全平均	0.1 / 79	1.8 / 77	5.2 / 79	11.0 / 76

ヘッドアップディスプレイ				
(俯角 0度) 若年齢者層	2.2 / 81	13.2 / 77	23.4 / 74	31 / 76
高年齢者層	0 / 80	0.6 / 78	2.6 / 74	6.4 / 75
全平均	1.1 / 80	6.9 / 77	13.0 / 74	18.7 / 75

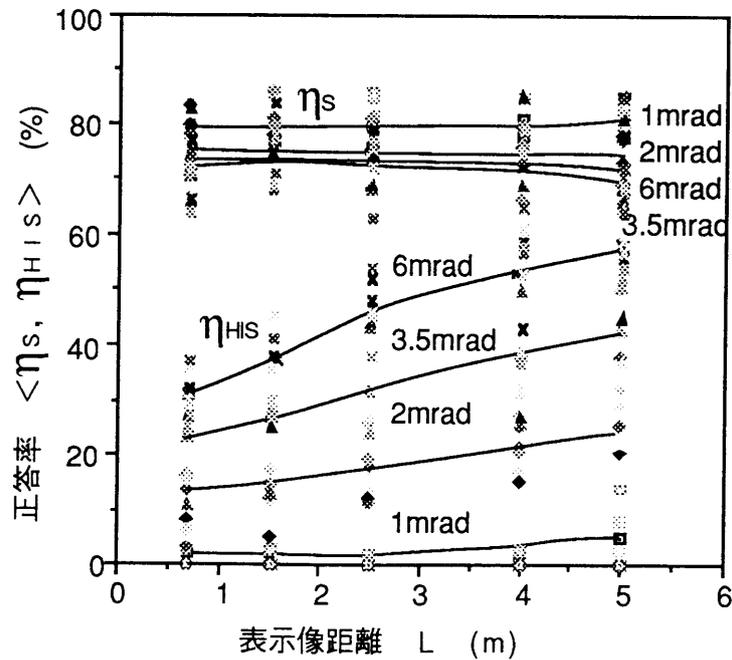


図 3.1：正答率(若年者層平均)

ヘッドアップディスプレイの表示情報を正しく認識できる目安を与える η_{HIS} は、表示像サイズが大きいほど（表示パターンが粗いほど）、また表示像距離 L が長くなるほど、即ち、表示像が前景に近づくほど高くなる。

表示像の認識特性は、ヘッドダウンディスプレイより俯角が0度であるヘッドアップディスプレイの方が優れており、ヘッドアップディスプレイの中でも、表示像距離 L が遠方にあるヘッドアップディスプレイが前景認識（メインタスク）、表示像認識（サブタスク）共にすぐれていることが分かる。

3. 4. 3 若年齢者層と高年齢者層

正答率 η_S と η_{HIS} について若年齢者層と高年齢者層とを比較すると η_S は、両者に差はみられないが、 η_{HIS} は、それぞれ異なった特性を示す。大まかに言って、若年齢者層では η_{HIS} 自体が高い値を示し、表示像距離 L への依存性は小さい。高年齢者層では逆に η_{HIS} 自体が低い値を示し、表示像距離 L への依存性は大きい。

表示像距離 L が0.7mでの η_{HIS} の値に対する、表示像距離 L を5mにしたときの改善の程度を、改善率 ($\kappa_1 = \Delta \eta_{HIS} / \eta_{HIS(0.7m)}$) と定義すると、改善率 κ_1 は表示像距離を遠方にすることが表示像の認識特性にどの程度効くかと言う、影響の程度を示す指標を与えると考えられる。各表示像サイズごとに、若年齢者層と高年齢者層の改善率 κ_1 を算出し表3.4に示す。

高年齢者層での改善率 κ_1 が若年齢者層に比較して高く、ヘッドアップディスプレイで表示像距離を遠方に設定することは、高年齢者ドライバでより有利に作用することを示唆している。

表示像サイズ（線幅）が1mrad.のようにあまりに微細過ぎると、表示像を遠方に設けることによる正答率の改善の効果は少なくなり、また、表示像の線幅が6mrad.のように十分に広く大きい場合にも、同様にこの効果は少なくなる。

即ち、適当な線幅の領域では、表示像を遠方に設ける遠方結像型ヘッドアップディスプレイの効果が高いが、極端に大きく粗い（または、小さく微細な）

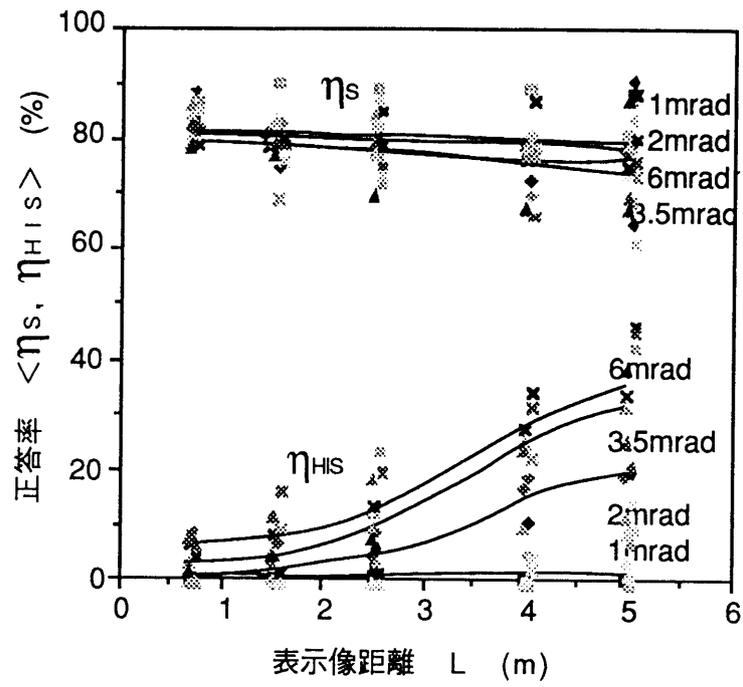


图 3.2 : 正答率(高齢者層平均)

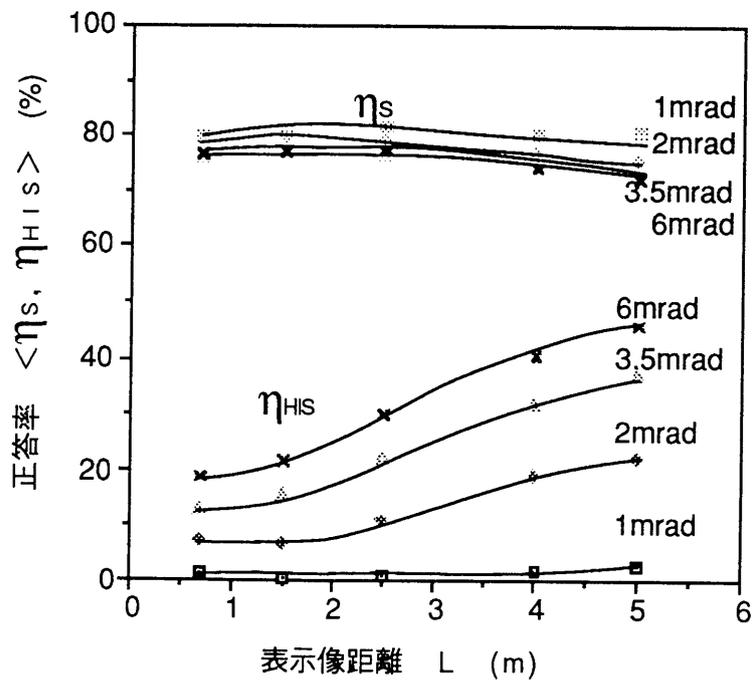


图 3.3 : 正答率(全平均)

表示像パターンでは、表示像までの距離が第一義的な設計パラメータにはならないことを示唆している。

3. 4. 4 前景視標の位置による相違

表示像距離 L が 5 m で、表示像サイズ（線幅）が市販されている自動車用ヘッドアップディスプレイ（デジタル車速表示）⁽¹⁵⁾ に相当する 3. 5 mrad の表示像の場合について、9 つの前景視標位置で各正答率（全被験者平均） η_s 、 η_{HIS} を算出し、図 3. 4 に三次元的に表現した。 η_s の値は前景視標位置にほとんど依存しないが、 η_{HIS} については N 点に近い位置の正答率は高いが、N 点から離れるに従い正答率は低下してくる。このデータについては次章表示像俯角が大きい表示像でのデータと比較し再度論じたい。

3. 4. 5 視点停留時間計測

前景視標と表示像視標の認識時間を視標上の視点停留時間と見做して、つぎの 2 つのケースについて各々の認識時間を計測した。

(1) ケース 1 ; 表示像サイズ（線幅 b ）が 3. 5 mrad, 表示像距離 (L) が 5 m, 俯角 (θ) が 0 度のヘッドアップディスプレイ。

(2) ケース 2 ; 表示像サイズ（線幅 b ）が 3. 5 mrad, 表示像の距離 (L) が 0. 7 m, 俯角 (θ) が 20 度のヘッドダウンディスプレイ。

視点停留時間は被験者が着けたアイマークカメラの記録画面を、一コマ 33 msec としてコマ数読み取りにより計測した。前景視標上の視点停留時間 T_s は、スネレン図形が正答したときのみカウントし、表示像視標上の視点停留時間 T_H は、スネレン図形と表示像数字ともに正答したときのみカウントした。

若年年齢者層と高年齢者層とで有意な差が見られなかったので、前景視標と表示像上の視点停留時間、 T_s と T_H の全被験者の平均値を表 3. 5 に示した。

ケース 1 とケース 2 は、目の焦点調節量と視線移動量の大小と言う観点か

表 3.4 : 正答率の改善率 ($\kappa 1$)

表示像サイズ 線幅 b (mrad)	全平均	若年齢者層	高年齢者層
6.0	1.4	0.87	3.7
3.5	1.8	0.86	7.2
2.0	2.5	0.92	8.0
1.0	0.75	0.66	1.0

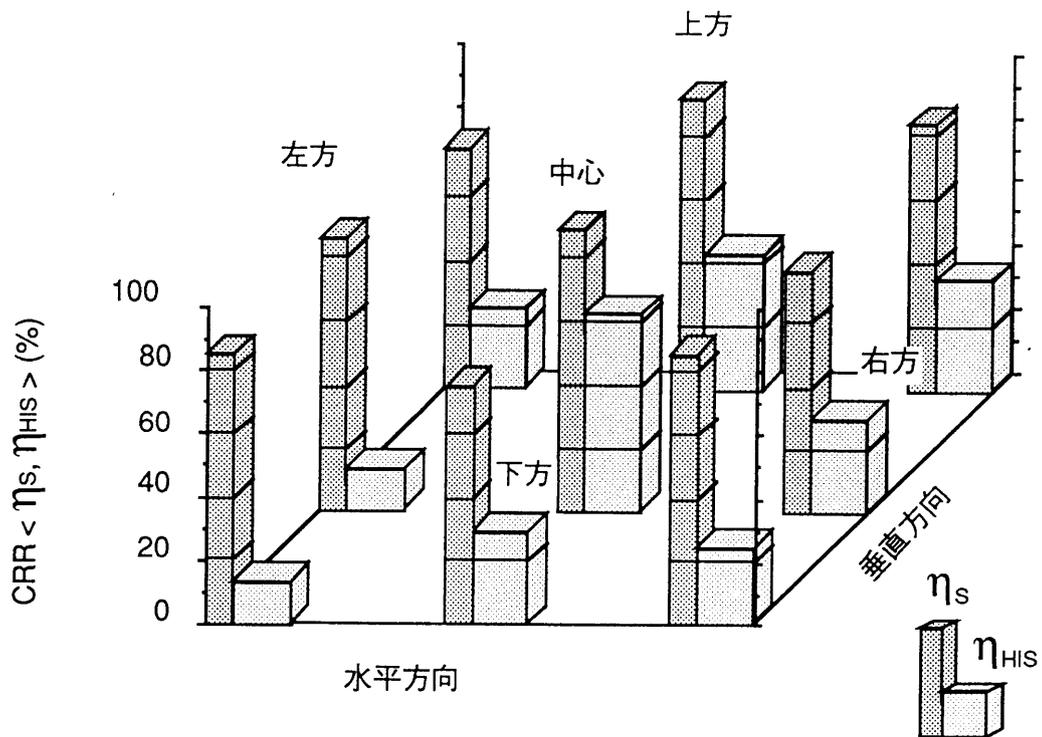


図 3.4 : CRTの位置による正答率
($a=3.5\text{mrad}, L=5\text{m}, \theta=0\text{deg.}$)

表 3.5：視点停留時間

()内は標準偏差

ケース 表示装置の種類	視点停留時間<秒>	
	T _s 前景視標	T _H 表示像視標
ヘッドアップディスプレイ <b=3.5mrad.,距離5m,俯角0度>	0.39 (0.06)	0.15 (0.05)
ヘッドダウンディスプレイ <b=3.5mrad.,距離0.7m,俯角20度>	0.36 (0.05)	0.14 (0.06)

らすると、最も負荷の軽いタスクと最も重いタスクと考えられるが、結果は両方とも T_s が約 0.37 秒、T_H が約 0.15 秒と、タスクの軽重に関わらず視点停留時間には大きな差は認められなかった。

3.5 考察

3.5.1 ヘッドアップディスプレイの有効性

ヘッドアップディスプレイの表示像の存在は、従来型のヘッドダウンディスプレイと同様に前景の認識には影響を与えないことが分かった。また、表示像を前景位置と同程度の遠方に設けることにより、表示像の認識特性が向上することも分かった。

表示像距離を遠方にすることによる表示像の認識特性の改善率は、若年齢者層に比較して高年齢者層で大きい。このことは表示像を遠方に結像させたヘッドアップディスプレイが、高年齢者や疲労状態にあるドライバで、より効力を発揮する表示装置であるといえる。

全平均のデータで改善率 κ_1 を見ると、表示像サイズが 2 mrad の線幅で最

も高い。これは、表示像距離を前景に近付けることによる表示装置としての”良さ”が表示像サイズが2 mradの線幅で最も顕著に現われることと解釈でき、表示像線幅の最適化設計での目安を与える。

3. 5. 2 ヘッドアップディスプレイの優位性のメカニズム

スネレン図形は9つの前景視標位置に一様の生起確率分布で出現する。スネレン図形と表示像間の平均の距離を視角（偏角）で表現すると、平均距離はヘッドアップディスプレイで約11.4度、ヘッドダウンディスプレイで約22.8度となる。ドライバが前景視標を中心視で捕えたとき、ヘッドアップディスプレイ表示像はヘッドダウンディスプレイ表示像に較べてより中心視視点に近い周辺視野にある。

また、図3.4で示したように前景視標位置と表示像との間の距離（偏角）が大きい場合には、正答率（ η_{HIS} ）は低く小さい場合には高い。このことは、前景視標位置と表示像と距離（偏角）の大小、即ちドライバが前景視標を中心視で捕えたとき表示像がどの程度の周辺視野に存在するかが、表示像の認識に大きな影響を与えている可能性を示している。

最も軽いサブタスクであるヘッドアップディスプレイ（ケース1）と最も重いサブタスクであるヘッドダウンディスプレイ（ケース2）とでは、正答率に大きな差があるにもかかわらず、正答した場合の視点停留時間に殆ど差は見られない。この実験でのタスクの軽重は視線移動量と表示像距離の差である。

視点停留時間計測の実験では表示像サイズは十分大きい視標を用いた。従って、表示像視標を中心視で捕えた時発生する目の調節応答遅れによる”ボケ像”の効果だけでは正答率に大きな差はないであろう。タスクの軽重にも拘わらず、視点停留時間はほぼ等しいが正答率は大きく異なるということは、前景視標を中心視で注視しているとき周辺視野に存在する表示像視標からどれだけの情報を得ているかが、正答率の高低に寄与している可能性がある。データの中には表示像上の視点停留時間が零（正確には33 msec.以下）でも正答する場

合も見られることもこの周辺視による認識の役割りを支持しているように見える。

自動車走行では、認識すべき要件数が増加するに従い探索のためのドライバの有効視野が狭くなると言われている⁽¹⁰⁸⁾⁽¹⁰⁹⁾。ヘッドアップディスプレイの認識特性がヘッドダウンディスプレイに比較して優れている理由が、運転中のドライバが前景視標を探索・注視しているとき、有効視野内に存在する表示像を周辺視の機能によりある程度認識しているためと考え、認識すべき要件数が多い複雑な現実の運転環境では、ヘッドアップディスプレイが極めて有効な表示装置になり得ることを示唆している。

ヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイの比較の結果や前景視標の正答率の結果を考えると、一つの視覚光学モデルが仮定できる。

まず、前景視標を中心視で捕える時、または捉え終わる時、予め表示位置が予測できるヘッドアップディスプレイ表示像を周辺視で捉え始める。この時、完全でないにしても、ある程度の情報を目は認識し始めている。次に視点がヘッドアップディスプレイ表示像上に移動した後、情報は確実に認識される。前者の情報の認識の程度が正答率に寄与していると言うモデルである。第8章と第9章で詳しく論じたい。

周辺視視力は、中心から周辺に行くほど急激に低下する⁽⁴⁵⁾⁽¹³⁶⁾⁽¹³⁷⁾。通常の自動車走行の場合、ヘッドアップディスプレイの表示像は前景視標と異なる距離にある。目の焦点が中心視で前景視標に合っている時、周辺の視標であるヘッドアップディスプレイ表示像の認識には、周辺視視力による認識能力の低下に加え、焦点の違いから起こる”ボケ像”により認識能力が低下するという二つ目の因子が作用する。前景とヘッドアップディスプレイ表示像とを同一の距離に設定すれば、前者の因子のみの認識能力低下を考慮すればよいため、第二の因子による認識能力低下の分だけ正答率が向上することになる。

図3.5に概念図を示す。目は中心視で距離 L_0 にある中心の視標を注視している。図中の四角い平面上の文字が、認識できる限界の視標サイズを表しているとすると、周辺(偏角 ϕ が大)に行くに従い、あるいは前景視標からの距離が

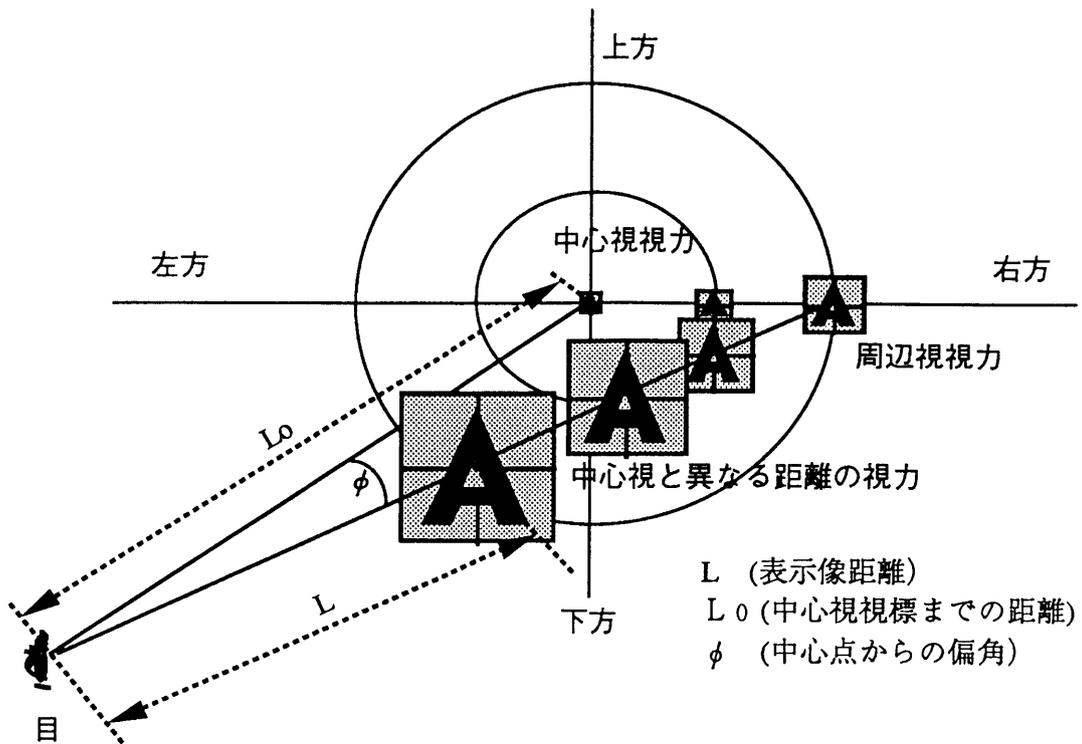


図 3.5：中心視と距離が異なる視標を周辺視で見るモデル

くなると網膜上の像が”ボケ像”になる)に従い、この文字の大きさが大きくなる。最小可読サイズを示す四角形は三次元の配置をとることになる。

即ち、短時間呈示の正答率が視力値と密接な関係がある⁽¹³⁸⁾とすると、前景視標に近い視野内に存在するヘッドアップディスプレイ表示像の正答率は、中心からの偏角 ϕ と、目からの表示像距離 L の二つの要素で決定される三次元配置図と同様の形状を示すと考えられ、前景視標とヘッドアップディスプレイでの正答率の変化の様子が定性的に説明できる可能性がある。

この視覚光学モデルについては検証実験も含め第8章と第9章で論ずる。また、表示像と前景視標が完全に重なった場合については第6章で論じる。

3.5.3 良さの指数(Merit Index)

ヘッドアップディスプレイの良さを評価するため、つぎのような考えから良さの指数を定義した。まず、前景情報とヘッドアップディスプレイの情報の両方が正しく認識できることが、基本的には、表示装置の良否を決めると考えるのが自然である（情報受容の相互作用）。また、ヘッドアップディスプレイ表示像が存在しなかった時と同じ程度に前景情報を正しく視認できれば、優れた表示装置と考えられる。同様に、前景情報を取り込んでも、前景の情報を認識する必要がない時と同程度にヘッドアップディスプレイ表示情報を正しく視認できれば、優れた表示装置と考えられる。

一方、同じ表示情報を伝えるならば、表示エリアが大きい表示像の方が、表示情報は正しく視認できるはずである（表示条件の許容範囲）。したがって、表示エリアの効果を除いて表示装置の良否を論ずるためには、ドライバの目から見て、表示エリアに対して同一の立体角当たりの表示情報量で正規化して比較する必要がある。これらの点を総合すると、最も優れた表示装置とは、前景情報の認識に影響を与えることなく、最小の表示エリア内に最大の表示情報を、瞬時に正しく伝達できるシステムであると解釈するのが自然であろう。

以上の考え方に立って、表示装置の良さの指数（Merit Index）を、次の式で表現してみる。表示情報量を Q 、ドライバの目から見た表示エリアが張る立体角を Ω とすると、

$$\text{Merit Index} = \frac{Q}{\Omega} \frac{\eta_{SH}}{(W_1 + W_2)} \left(W_1 \frac{\eta_S}{\eta_{S_0}} + W_2 \frac{\eta_H}{\eta_{H_0}} \right) \quad (3-1)$$

但し、 W_1 、 W_2 は、走行状態や表示内容によって決まる重み定数である。

図3.3に示した正答率の値から、代表的なヘッドアップディスプレイの良さの指数を求めてみる。

仮に $W_1 = W_2 = 1$ とする。表示情報は全て同一なので相対値のみの比較ならば、 Q は便宜上1と置いても一般性を損なわない。表示像の線幅の二乗が表示エリアに比例する本実験で用いた表示像のような例では、 Ω が表示像の線幅の二乗に比例する。表3.6に各Merit Indexの概算値を計算した。表示像の線幅

が 2 mrad で設計された遠方結像型ヘッドアップディスプレイが、最も”良さの指数”は大きい。前述した改善率 κ_1 が同じ表示像の線幅の 2 mrad で最大になることを考慮すると、”良さの指数” Merit Index が最大となる表示装置では表示像距離の効果の寄与が大きいことが分かる。関数の形や重み係数 W_1 , W_2 については、詳細な官能評価結果を待たねばならないが、文字サイズと表示像距離のトレードオフにおける一つの尺度を与える可能性がある。

定性的に言えば、小さい表示像や微細な表示像は単位面積当たりの表示情報量は大きいですが、正答率に見られる”正しく表示像の情報を伝達する”という情報伝達効率が低くなる。逆に、大きく粗い表示像は情報伝達効率は高いが、表示像の面積は大きくなりスペース効率を低下させる。この情報伝達効率を改善する最も有効な方法が表示像を遠方に設けることと解釈される。

表 3.6：良さの指数(Merit Index)

表示像の種類 (表示像の距離)	文字線幅 (b)			
	1.0 mrad	2.0 mrad	3.5 mrad	6.0 mrad
ヘッドダウンディスプレイ				
0.7 m	82	38	35	27
ヘッドアップディスプレイ				
0.7 m	89	140	87	44
2.5 m	57	230	150	75
5.0 m	220	500	270	130

3.6 まとめ

(1) 前景情報と表示像情報の認識をダブルタスクと見做し、この二つのタスクの達成度を評価することにより、自動車の視覚環境でもヘッドアップデ

ディスプレイがヘッドダウンディスプレイに比べて優れている。

(2) ヘッドアップディスプレイでは、表示像情報の受容により前景情報の認識特性はほとんど影響されない。加えて、ヘッドダウンディスプレイに比較して表示像情報をより正確に認識できる。これは、ヘッドアップディスプレイが、表示像情報受容の負荷が存在しないときと同程度に前景情報を正しく認識できて、且つ表示像情報を十分読み取れるマンマシンインタフェースの実現手段となる可能性を示唆している。

(3) 前景情報と表示像情報とを正しくドライバに伝達できる程度は、ヘッドアップディスプレイ表示像距離を長く採り、表示像位置をより前景に近く設定した方が優れている。表示像距離を長くすることによる表示像情報認識特性（正答率）改善の効果は、高齢者層ドライバでより顕著である。

(4) 表示像の遠方結像や俯角を小さくすることにより表示像情報認識特性が改善するのは、ドライバが前景視対象を検索・認知・認識するときに、ほぼ同時に表示像を周辺視野内で捉えるためと推測される。

第 4 章

表示像俯角の最適領域⁽¹³⁹⁾

4. 1 はじめに

第 3 章では，自動車用ヘッドアップディスプレイの重要な設計変数である表示像距離が表示特性にどのような影響があるかを論じた。

ヘッドアップディスプレイでは，従来のインストルメントクラスタ内のヘッドダウンディスプレイ⁽¹⁴⁰⁾と異なり，表示像位置がウインドシールドの領域にまで拡大できる．表示像距離と並んで，表示像位置の高さを最適に決定すると言うことは，造形デザインの観点からばかりでなく視覚光学的にも重要な課題である⁽²¹⁾．

ヘッドアップディスプレイの表示情報の認識のみを重視するならば表示像位置の高さ (elevation) は，ドライバの真正面位置に設定すれば良いであろうが，前景認識という観点からはむしろより低く設定すべきようにも思われる．

航空機ではパイロットの頭部移動量も少なく，追撃する他の戦闘機や滑走路ガイドライン等にヘッドアップディスプレイ表示像の照準を重ね合わせて用いることが多いため⁽²⁸⁾，表示像の高さ位置 (俯角) はむしろ自動的に決められる場合が多い．しかしながら，前景の物体に表示像を重ねて用いる必然性がない自動車では，表示像の高さ位置 (俯角) は自動的に決定されず，逆に最適設計上重要なパラメータとなる．

本章では主として使用環境の差から、航空機用ヘッドアップディスプレイではあまり論じられなかった⁽²⁸⁾表示像の高さ位置（俯角）について、第2章で述べた評価装置を用いて、メインタスクがサブタスクに先行する通常運転の条件で評価実験を行った。高さ位置（俯角）に関する最適解を探ると共に、第3章で論じた表示像距離との関連についても言及し、各設計変数の関連性を考察し表示装置を最適設計する場合の考え方についても述べる。

4.2 実験の項目

4.2.1 実験の構成

本章での実験は実験Iと実験IIの二つの実験項目からなる。

(1) 実験 I；前景と表示像の認識特性の俯角依存性の計測

メインタスクがサブタスクに先行する通常の運転条件を想定した場合に、表示像の高さ位置（俯角）の変化が前景と表示像の認識度合いにどのような影響があるかを、第2章で述べた評価装置を用い正答率で評価する。

(2) 実験 II：前方注視点の移動による俯角依存性への影響の評価

後述するように混雑した道路の走行や、夜間走行では第2章で述べたドライバの前方注視点の中心点が水平前方方向のN点より僅かに下方に移動することが観測される。中心点が移動しても(1)項の実験結果が一般性を損なわないか否かを確認する。

4.2.2 実験の目的

本章での実験・評価の主な目的は次の6つの項目を明らかにすることである。

(1) 前景と表示像の認識特性が、ヘッドアップディスプレイ表示像の俯角にどの程度依存するか。依存性があるとすると、最適な表示像の俯角の領域

はどこか。

(2) 前景と表示像の認識特性の俯角依存性が、表示像サイズ（微細さ）にどう関連するか。

(3) 前景と表示像の認識特性の俯角依存性が、表示像距離とどう関連するか。

(4) 表示像の俯角や表示像距離、表示像サイズ等の設計変数を最適化することが、ヘッドアップディスプレイの表示装置として”良さ”の実現にそれぞれの程度寄与するのか。

(5) 運転時のドライバの注視点の中心点が、N点から僅かに下方に移動した場合は、前景と表示像の認識特性の俯角依存性に影響があるか。

(6) 高年齢者層と若年齢者層とで、上記の諸特性に特徴的な相違が存在するか。

実験手順は第2章で述べた手順に従った。

4. 3 実験条件

4. 3. 1 評価装置の設定

実験 I, II とも、表示像俯角 θ を 0 度から 20 度まで変化させるため、図 2.7 で述べた評価装置の全反射ミラー (5) の角度と表示像用 CRT (2) の位置を連続的に変化させた。表示像距離 L は、第 3 章と同様に移動台 (3) を用いて、0.7 m から 5 m まで設定できるようにした。

また、被験者の座高長や姿勢による表示像の俯角の設定誤差を避けるため被験者の顔面を顎台で軽く固定した。

前景視標、表示像視標とも第 3 章と同様のスネレン図形対と 7 セグメント 2 桁数字を用いた。スネレン図形対のサイズ（セグメント線幅 a ）は被験者に応じて定め、表示像のサイズ（図 1.8 の b mrad）は 2 mrad, 3.5 mrad, 6 mrad の 3 種類を選択した。

表 4.1：実験条件

項目	実験条件
前景	スネレン図形対
表示位置	被験者から 5m
スネレン図形の輝度対比	9 箇所(左右15度、上下5度、中央) 0.80~0.85
前景輝度	1~2 cd/m ²
表示像輝度	0.2 cd/m ² (平均)
表示色	白地黒色
表示像サイズ	被験者に応じて80%に基準化
表示	
表示像視標	2桁7セグメント数字
表示像距離	被験者の目から0.7~5m
俯角	0度~20度可変
表示像輝度	0.8 cd/m ² (平均)
表示色	緑色(色度座標 x=0.26, y=0.62)
表示像サイズ	セグメント線幅で2.0, 3.5, 6.0 mradの4種
固視点	
実験 I	N点固定
実験 I I	N点から1.5度下方 (F点) 半値幅1.5度で正規分布で生起

表 4.2：被験者リスト

	被験者	年齢	視力 (右/左)	スネレン図形サイズ (a,mrad)
高年齢者層 グループ	Y.S	51	1.2/1.2	0.94
	H.N	55	0.7/0.7	0.94
	N.K	50	1.5/1.5	0.72
	H.I	49	0.7/1.2	0.65
	T.H	56	1.0/1.0	0.79
若年齢者層 グループ	Y.M*	21	1.0/1.0	0.50
	M.F*	35	1.0/1.0	0.65
	Y.N*	25	1.0/1.0**	0.65
	M.B*	21	1.2/1.2**	0.50
	H.F*	24	10./1.0**	0.79

*は注視点移動確認実験での被験者、**は眼鏡による矯正視力。

実験 I での固視点は N 点と一致させ第 3 章と同様に前景スクリーンのほぼ中心に固定したが，実験 I I では，新たに設けた液晶プロジェクタを用いて固視点（以下 F 点と呼ぶ）を表示させて計測条件に従い N 点から移動させた（4.5 節）。

実験変数として表示像の俯角 θ を加えたことと実験 I I での F 点移動以外は，前景の明るさや視標の呈示タイミング，視標の輝度対比等の実験の条件はすべて第 3 章と同条件に設定した。実験条件を簡単に表 4.1 にまとめる。

4. 3. 2 被験者

被験者は，運転免許を有する両眼視力 0.7 以上の男子 10 名。表 4.2 に示すように半数は 20 歳代と 30 歳代からなる若年齢者層で半数は 40 歳代と 50 歳代からなる高年齢者層の 2 グループに分け実験を行った。表には被験者に応じて基準化したスネレン図形のサイズ（線幅 a ）も付記した。

4. 4 実験 I と結果

4. 4. 1 正答率の俯角依存

表示像サイズ b と表示像距離 L をパラメータとして，2 種類の正答率 η_s と η_{HIS} の俯角依存性を調べた。若年齢者層グループと高年齢者層グループのそれぞれの結果を図 4.1 から図 4.6 に示す。各図では各被験者のバラツキが分かるように平均値だけでなく各データも x 等の各種記号のドット類で示した。

前景の認識に関わる評価尺度である正答率 η_s は，第 3 章と同様に若年齢者層，高年齢者層共に，表示情報の受容状態（ η_{HIS} の大小）や俯角 θ の大小にほとんど依存せず，最初に基準化した η_{s0} の値である 80% 近傍の値を保持している。

表示像情報の認識に関わる評価尺度である正答率 η_{HIS} は，高年齢者層，若

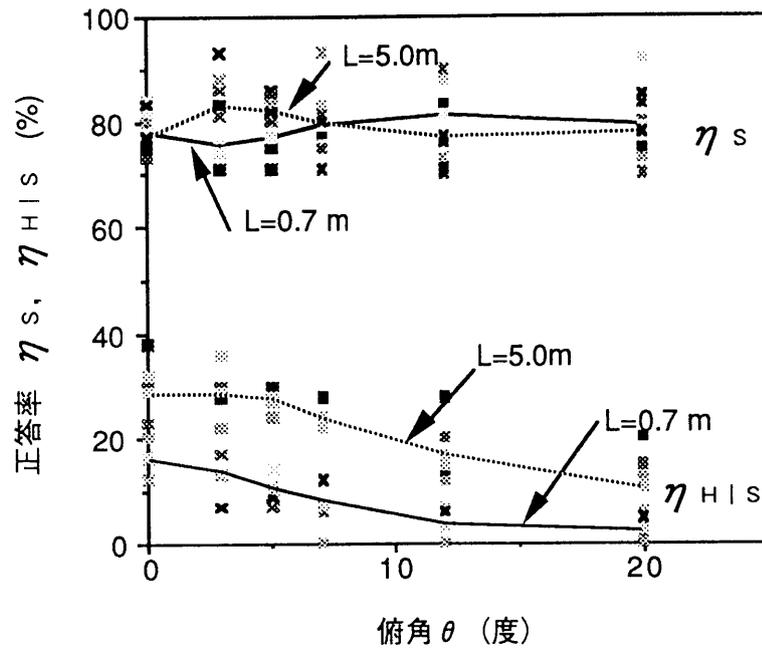


図 4.1：正答率の俯角依存特性(線幅；2mrad,若年齢者層)

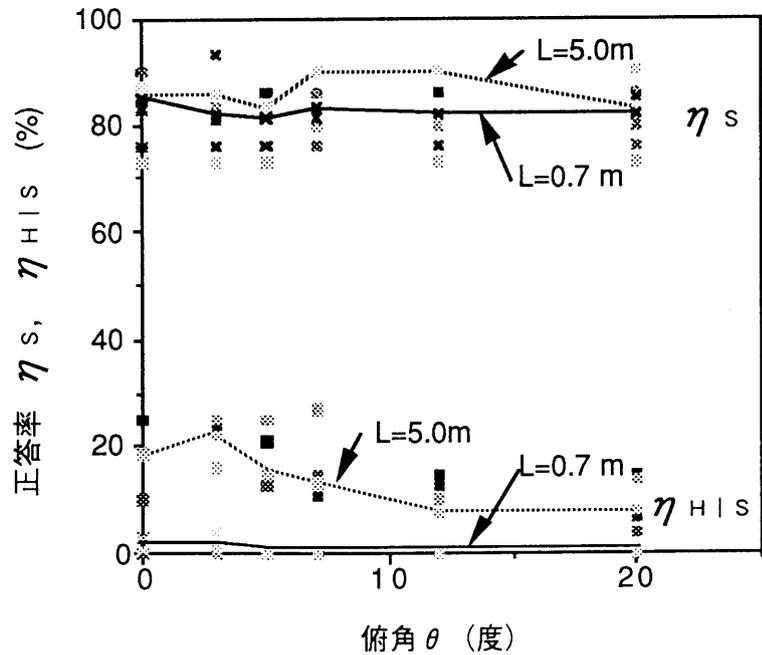


図 4.2：正答率の俯角依存特性(線幅；2mrad,高年齢者層)

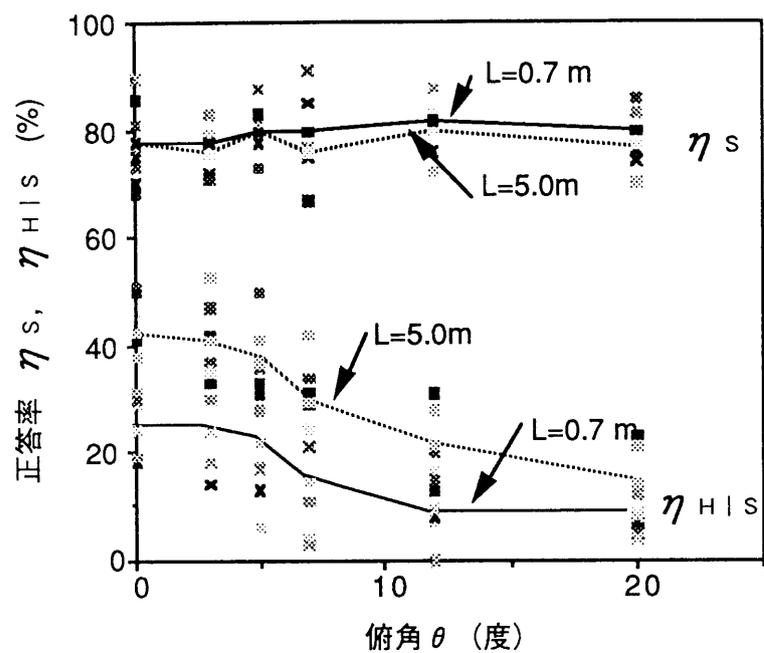


図 4.3 : 正答率の俯角依存特性(線幅; 3.5mrad, 若年齢者層)

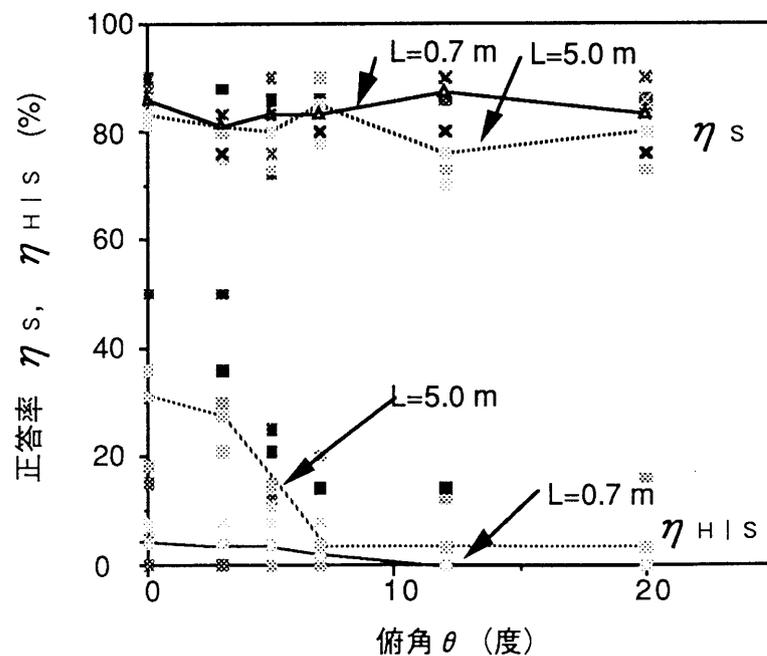


図 4.4 : 正答率の俯角依存特性(線幅; 3.5mrad, 高年齢者層)

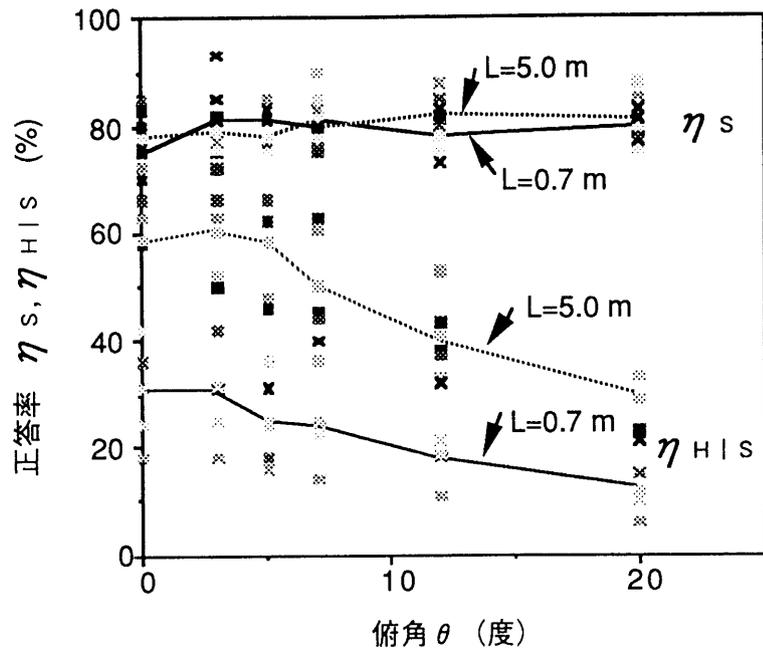


図 4.5：正答率の俯角依存特性(線幅；6mrad,若年齢者層)

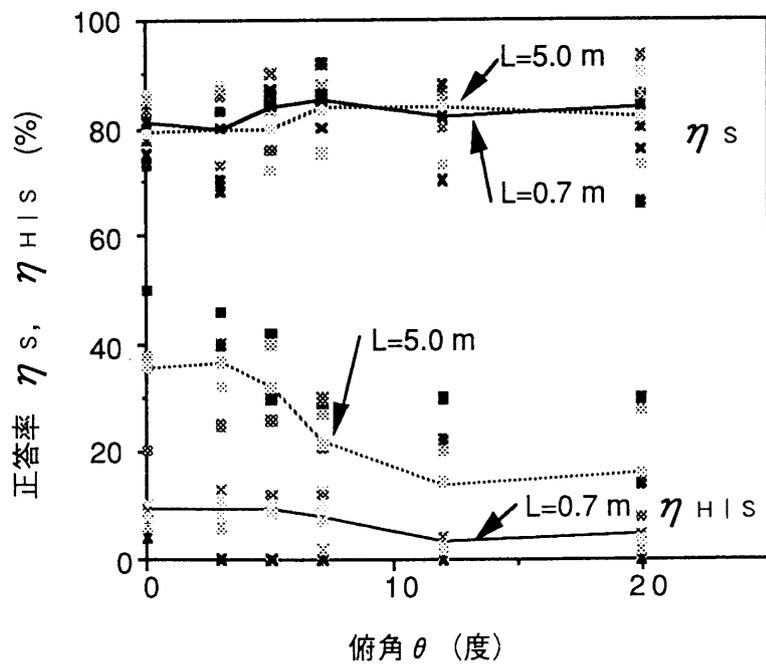


図 4.6：正答率の俯角依存特性(線幅；6mrad,高年齢者層)

年齢者層の別なく，またどの線幅サイズの表示像でも，俯角 θ が小さいとき最大となり俯角が大きくなるに従い低下の傾向を示す．

表示像距離が遠いほど η_{HIS} は高く，当然のことながらヘッドアップディスプレイ表示像のサイズが大きいほど η_{HIS} は高い．

また，高年齢者層では若年齢者層に比較すると，全体的に η_{HIS} が低い．これは前景視標探索や応答遅れ等の視機能の低下が要因になっていると推測され，第9章で再度論じたい．

通常の乗用車を考えると，俯角 θ が0度から12度辺りまでは表示像がウインドシールドの領域に存在し（ヘッドアップディスプレイ），12度を越えるとインストルメントクラスタ内（ヘッドダウンディスプレイ）に位置する⁽¹⁴¹⁾⁽¹⁴²⁾．俯角 θ の小さい領域で正答率 η_{HIS} が大きいことは，前景情報，表示情報ともに正しく認識する必要のある自動車運転でヘッドアップディスプレイが優れた表示装置であることを示している．

4. 4. 2 正答率全平均

被験者全体の平均正答率 η_S ， η_{HIS} の俯角依存特性曲線を図4.7に示す．正答率 η_S はほぼ平坦な直線様の特性を示すが，正答率 η_{HIS} の各曲線はほぼ逆S字曲線をしている．

逆S字曲線に着目すると，正答率 η_{HIS} の俯角依存特性は3つの領域に分類できる．即ち俯角0度から第1の変曲点の5度近くまでの俯角依存が殆ど見られない領域（第1の領域）と，俯角5度近傍から第2の変曲点の12度近傍までの俯角依存性が大きい領域（第2の領域），俯角が12度を越え再び俯角依存小さくなる領域（第3の領域）の3つである．図にはこれら3つの領域とヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイの領域を破線で示した．

この逆S時特性は，各曲線の変曲点位置の若干の差異を無視すれば図4.1から図4.6のデータに共通に見られる傾向である．即ち，平均正答率俯角依存特性曲線に見られる逆S字特性は年齢層に依らない共通の特性と考えられる．

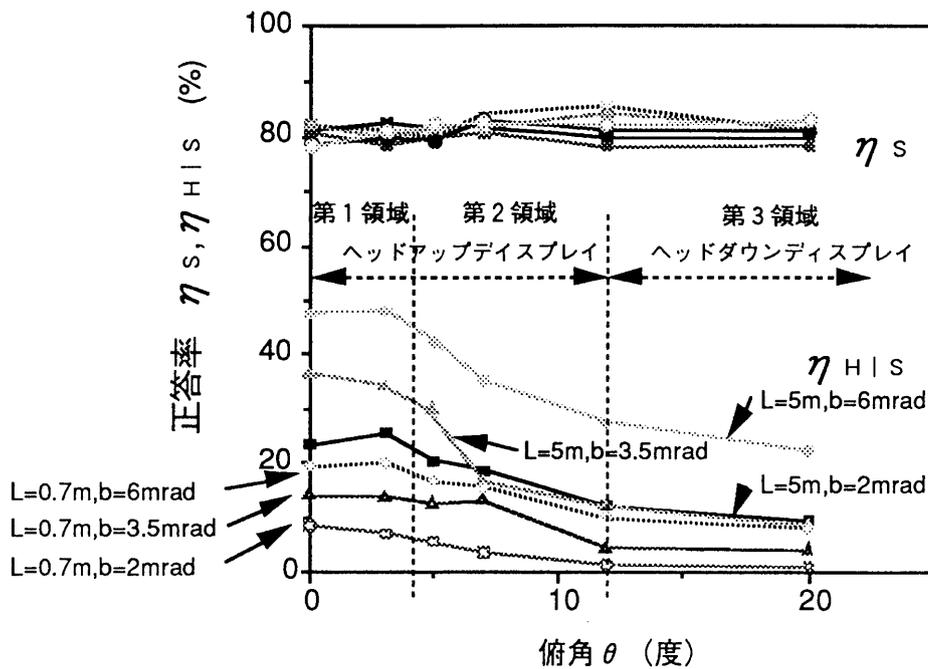


図 4.7：正答率の俯角依存特性(全平均)

表 4.3：若年齢者層と高年齢者層のデータ分析

**1%有意

要因 (パラメータ)	若年齢者層		高年齢者層	
	分散比	各変動の比率 (%)	分散比	各変動の比率 (%)
表示像距離 (L)	199.7**	28.5	142.8**	35.2
表示像線幅 (b)	88.49**	25.2	16.87**	8.3
俯角 (θ)	30.61**	21.8	11.57**	14.3
誤差		24.4		42.2

4. 4. 3 前景視標の位置依存

表示像距離 L が 5 m, 表示像サイズ (線幅) は既に市販されている自動車用ヘッドアップディスプレイ装置の表示像サイズ (デジタル車速表示) に相当する 3.5 mrad として, 俯角 θ が 20 度の場合について 9 つの CRT の位置による η_s , η_{HIS} を調べた. 第 3 章の結果と比較するため, 図 4.8 に俯角 θ 20 度の場合の結果を示すと共に図 3.4 を再録した.

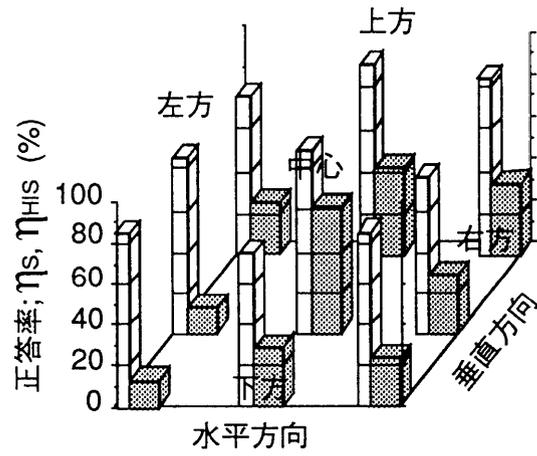
両者とも前景視標の正答率 η_s は前景視標の位置によらず, ほぼ基準値 η_{s_0} の 80% を保持していることが分かる.

俯角 0 度の結果では注視点に近い位置の正答率 η_{HIS} は高く, 注視点から離れるに従い低下する傾向はあるが, 前景の位置全体に渡り正答率は平均化されている. 俯角 20 度では, 中心下方での正答率 η_{HIS} が最も高く, 上方 3 方向や水平左右方向では大きく低下している. これは前景と表示情報の探索の過程で, 俯角 θ の小さいヘッドアップディスプレイが, 前景の広い領域に渡って良好な情報受容特性を示していることと解釈でき, ヘッドアップディスプレイが単に前景と表示像の正答率が高いと言うだけでなく, 広い領域の前景を認識しながら表示情報を取り込めることを示している.

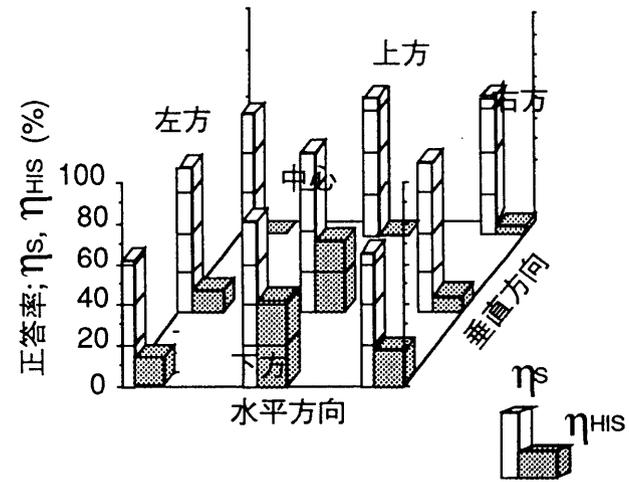
4. 4. 4 各設計変数の効果

被験者の年齢層グループ毎に表示像距離 L , 俯角 θ , ヘッドアップディスプレイ表示像サイズ b の 3 つのパラメータについて分散分析を行った (表 4.3). 各設計変数はすべて 1% 有意であった.

高年齢者層グループでは表示像距離の効果は極めて高く, 若年齢者層グループでは俯角と表示像サイズの効果は同等に高い. これは, 高年齢者層では現在用いられている程度の表示像サイズなら単に俯角を小さくするだけではヘッドアップディスプレイとして大きな効果を引き出すのは困難で, 表示像距離が



($b = 3.5\text{mrad}, L = 5\text{m}, \theta = 0^\circ$)



($b = 3.5\text{mrad}, L = 5\text{m}, \theta = 20^\circ$)

図 4.8 : 前景CRT位置による正答率

重要な最適設計のパラメータであることを示している。

若年齢者層では俯角を小さくするだけでも表示像認識の改善がかなり可能になるにも拘わらず、高年齢者層では表示像距離が遠方にならないと表示像認識が困難であるのは、目の調節力応答やそれに関わる第3章で述べた周辺視機能が低下しているためであろうと考えられ、この周辺視機能については第8章と第9章で論じたい。

全被験者のデータについては、各年齢者層間の級間変動、パラメータ間の交互作用についても併せて分散分析を行った(表4.4)。年齢層間の差も1%有意で、各設計変数も複雑に関連し合っており、大半の設計変数間に1%有意の交互作用が存在することが分かった。4.6節で結果を詳細に考察する。

4.5 実験IIと結果

4.5.1 注視点移動分布(予備実験)

実験Iでは、被験者が1試行毎に注視する固視点はN点に固定した。N点は、表2.3に示すカテゴリの道路を走行した場合の視線分析結果から求めた視線分布の平均の位置にもなる。

発進時や右左折時等ドライバの頭部が大きく移動する場合を除いて、垂直方向の視線分布を調べると、各カテゴリの平均としての分布の中心点はほぼ原点(N点)となるが、道路条件で若干分布の中心点や半値幅は異なる。

高速道路(カテゴリV)では中心点は原点(N点)位置になる。しかし、高混雑道路(カテゴリIV)では分布の中心点は原点(N点)よりやや下方の約1度~1.5度にずれる傾向にあり、他のカテゴリはそれらの中間的な特性を示す(図4.9)。

カテゴリ全体として見ると、垂直方向の視線分布は、半値幅約2度弱の上方向にやや狭く下方向にやや広い正規分布に似た吊り鐘型分布となっている。これは基本的には塩坂等が計測したデータ⁽¹¹³⁾とほぼ同じ値であった。塩坂

表 4.4 : 全データの分析

**1%有意

要因 (パラメータ)	分散比	各変動の比率(%)
表示像距離 (L)	368.47**	24.7
表示像線幅 (b)	96.63**	12.9
俯角 (θ)	42.10**	14.1
年齢層間(Y)	302.56**	20.2
L b	10.6**	1.4
L θ	6.22**	2.1
θ b	1.29	(0.9)
Y b	15.48**	2.1
L Y	1.76	(0.1)
θ Y	3.10**	1.0
L Y θ	1.64	(0.5)
L b θ	0.42	(0.3)
L b Y	0.64	(0.1)
Y b θ	0.34	(0.2)
L b θ Y	0.11	(0.1)
誤差		20.6

()は誤差変動の比率の内数

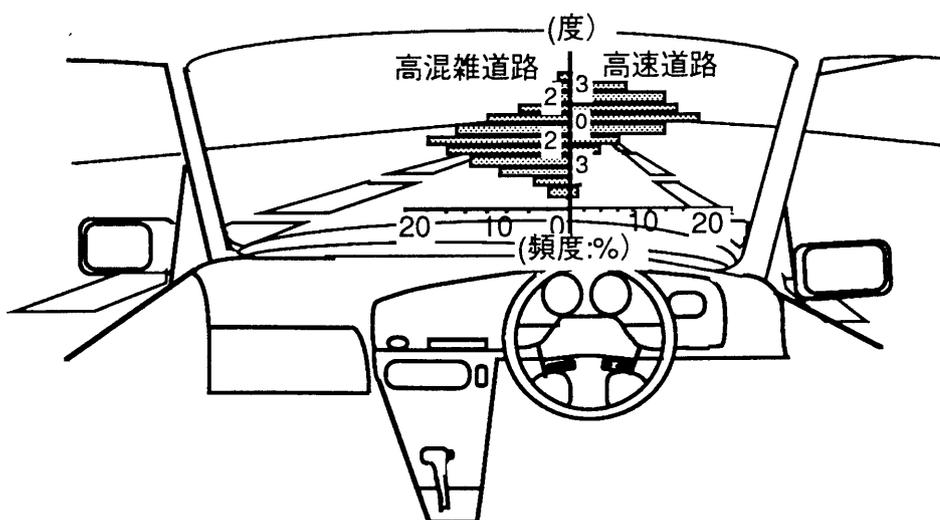


図4.9 : 視線分布の比較

等はさらに夜間のデータも調査しているが、これによるとドライバのアイポジションの高い大型トラックでは昼間に比較して差があるが、乗用車では差が認められないとしている。何れにしても、自動車走行での大半の視線分布が集中する原点（N点）付近の分布を見ると注視点は±2度～3度程度の領域に局在し、道路条件によっては視線移動の平均的な位置である中心点は原点から若干下方に移動することがある。

実験Ⅰではこれらの分布の中心点を原点（N点）で代表させたが、中心点が移動すると正答率の俯角依存特性の逆S字曲線に見られる第1変曲点の位置が変化する可能性もある。

本節では評価システムに新たに付設した注視点移動用液晶プロジェクタを用いてF点を投射し、F点が原点（N点）から移動したとき正答率俯角依存特性の逆S字曲線に見られる第1変曲点が変わるか否かを確認実験した。

4. 5. 2 確認実験

新たに付設した注視点移動用液晶プロジェクタは評価システムのコンピュータにより制御し、注視点分布は各試行毎に原点から約1.5度下に中心点がある標準偏差1度の正規分布で近似させた（高混雑道路を想定）。生起確率は正規乱数で制御し各試行毎に注視点位置を移動させた。他の条件や実験手順は前章と同一とした。被験者は特性が安定している若年齢者層の5名（表4.2の*印）を選び表示像線幅2 mradと3.5 mradの二つの場合について正答率を評価した。

4. 5. 3 結果

注視点を移動させた場合について、被験者5名の正答率俯角依存特性を図4.10と図4.11に示す。それぞれ図4.1，図4.3に比較すると、若干の差異はあるが2 mrad，3.5 mradのいずれについても、二つの場合に有意性は認

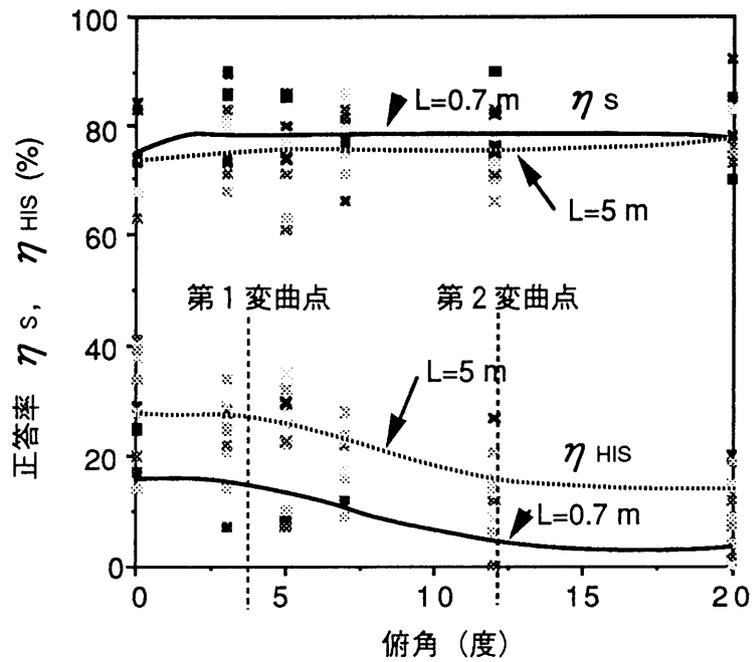


図 4.10：正答率の俯角依存特性(線幅；2mrad,注視点移動時)

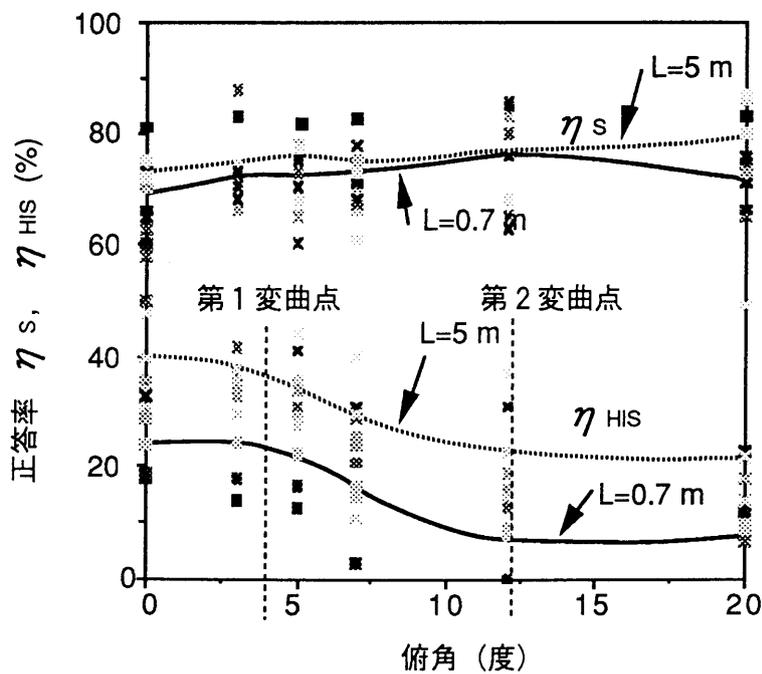


図4.11：正答率の俯角依存特性(線幅；3.5mrad,注視点移動時)

められなかった。

これは前景情報の認識をメインタスク、表示情報の認識をサブタスクとしたダブルタスクと見做せる自動車走行では、種々の走行条件で原点から僅かにずれる注視点位置の差が正答率俯角依存特性に殆ど影響しないことを示している。

4. 6 考察

4. 6. 1 最適俯角領域

表示情報の認識のみに着目すれば表示像は俯角0度の位置である通常運転の進行方向の正面水平方向（原点）が望ましいと考えられる。しかしながら、運転時の煩わしさや表示像と前景との分離のしやすさを考えると、むしろ俯角は大きい方が望ましい。

図4.1から図4.7の実験結果に総じて共通に見られるS字型曲線の最初の変曲点は、多少の誤差を許容して求めるとおよそ4～5度の位置にあることが分かる（図4.7の破線の示す俯角）。これは自動車用ヘッドアップディスプレイ表示像の高さ位置（elevation）に関する最適解は俯角0度の一点だけではなく、俯角がある範囲の領域で規定されることを意味している。この領域を仮に最適俯角領域と呼ぶことにすると、この領域は0度～約4乃至5度であることを示している。従って自動車用ヘッドアップディスプレイを設計する場合俯角を徒に小さく設定する必要はなく、最適俯角領域に設定しさえすれば俯角0度と殆ど同一の効果と機能が引き出せる可能性を示唆している。

4. 6. 2 ヘッドダウンディスプレイの限界

S字曲線の第2の変曲点は12度～15度になる。これより大きい俯角範囲の表示像の高さはヘッドダウンディスプレイに相当するが、この領域では、

俯角を数度変化させても正答率に大きい変化はない。即ち自動車のインストルメントパネルの中のデザインで動かせる程度の俯角変化では実質的な視認性改善には繋がりにくいことを示唆している。

4. 6. 3 種々の道路状況に対する考え方

高混雑道路や中混雑道路で注視点分布の空間的平均値が垂直方向下方にずれることは、ドライバが視対象としている前景の物体の生起確率分布が他の道路条件に比較して下方にずれることを意味している。これは、実験で用いた前景視標の配置全体が1～2度下方にずれることと等価になる。実際の運転環境ではこの程度のずれは、ドライバがわずかにうつ向くことにより十分調節可能な範囲と考えられるため、前景の配置全体が1～2度下方にずれることは、ヘッドアップディスプレイの表示像にとっては逆S字曲線の第1の変曲点をより下方に移動させる効果があり、結果的に第1の領域を広げると考えられる。これは原点位置を避けてかつ原点と同等な特性を得るという表示像俯角最適設定の観点からはむしろ歓迎すべき結果と考えられる。

4. 6. 4 従来規格との整合性

JIS規格に定められている視界基準の厳しいウインドシールドの試験領域A⁽¹⁴³⁾の下端位置を、標準体形のドライバが着座した⁽¹⁴⁰⁾⁽¹⁴¹⁾と考えて俯角の値で換算すると、およそ3.5度弱になる。従って、試験領域Aを避けて表示像位置の高さの設定をしなければならないとしても、最適俯角領域として有限の俯角領域が確保できることが分かる。このことはウインドシールドの視界要件に関する他の規格との整合性を考慮する上で有効な知見と言えよう。

4. 6. 5 最適設計の考え方

高年齢者層の正答率 η_{HIS} は若年齢者層に比較して低い。分散分析の結果（表 4.4）を見ても年齢層間の級間の変動は 1% 有意である。高年齢者層での表示像距離の効果は極めて大きい。これは、視機能の低下した高年齢者層のドライバにとっては文字サイズを多少変化させたり、俯角を変化させたりするより表示像距離を遠方に設定することが最も有効であることを示唆している。

視機能が高い若年齢者層ドライバでは、表示像サイズや俯角を変化させることが表示像距離と同等に有効な手段となっている。自動車が高年齢者層を含む広い年齢者層をユーザとしていることを考慮すると、自動車用ヘッドアップディスプレイでは表示像距離が最適設計をする上で最も重要な変数であることが分かる。

高年齢者層で、表示像サイズ（線幅）の効果がさほど大きくないのは全般的に正答率 η_{HIS} 自体が低いため正答率の分散が小さくなる傾向がでるためと考えられる。

表 4.4 の分散分析結果で、1% 有意のパラメータ組は 4 組ある。表示像サイズと年齢、俯角と表示像距離、表示像距離と表示像サイズ、俯角と年齢の 4 組である。表示像サイズと年齢との交互作用⁽¹⁴⁴⁾はある意味で当然ではあるが、俯角と表示像距離にも 1% 有意で交互作用が存在する。これは図 4.1 から図 4.7 に見られるように、俯角が大きいときに表示像距離を遠方に設定するより、俯角が小さいときに表示像距離を遠方にする方が、表示像の認識特性向上への効果は大きいことが有意であることを示している。実際の車両レイアウトではいくつかの妥協を図らねばならないのも事実ではあるが、より良い自動車用ヘッドアップディスプレイを実現するには、表示像距離と俯角が不可分の設計変数として取り扱う必要があることを示唆している。

これは第 3 章で提案した 3 次元的な周辺視野の視覚光学モデルを用いて、俯角が比較的小さいときは、前景視標認識時にある程度周辺視野で表示情報を周辺視機能で捉えることができるためと解釈すれば、俯角最適領域で表示像距離の効果が大きく寄与することが定性的に説明ができる可能性がある。第 8 章と第 9 章で論じる。

表 4.5：4種の改善率

(a) 改善率の定義

κ	改善率の定義
κ_1	俯角を0度のまま表示像距離のみ0.7mから5mへ変化させる。
κ_2	表示像距離を0.7mのまま俯角のみ20度から0度へ変化させる。
κ_3	俯角を20度のまま表示像距離のみ0.7mから5mへ変化させる。
κ_4	表示像距離を5mのまま俯角のみ20度から0度へ変化させる。

(b) 改善率の計算値

b	被験者	κ_1	κ_2	κ_3	κ_4
2.0mrad	若年齢者層	0.91	5.67	3.58	1.63
	高年齢者層	8.2	0.0*	0.0*	1.25
	被験者全体	2.77	6.08	6.91	1.47
3.5mrad	若年齢者層	0.76	1.93	0.71	2.01
	高年齢者層	6.75	0.0*	0.0*	8.69
	被験者全体	1.81	2.42	1.1	3.26
6.0mrad	若年齢者層	0.89	1.69	1.48	1.05
	高年齢者層	3.74	1.17	3.57	1.25
	被験者全体	1.45	1.57	1.97	1.12

*分子分母共に小さいため便宜上ゼロとした

表示像サイズと表示像距離についての交互作用は、表示像距離の効果が表示像サイズに依存することを示している。第3章で表示像サイズ（線幅）が2 mrad近傍の時、正答率の改善率 κ_1 が最も大きくなることを示した。表示像距離の正答率への寄与が表示像サイズに依存していることが有意であることを考えれば、線幅2 mrad近傍に表示像距離の効果を最大にできる最適解が存在することを示唆している。これは表示像の線幅決定に関する一つの設計指標を与え

てくれる。

俯角と年齢の交互作用は若年齢者層では、俯角が小さくなるだけで正答率が大きく向上することによる効果であろう。年齢層間での差異は加齢による視線移動応答の遅れや第3章で論じた視覚光学モデルの周辺視機能の低下によるものと推測される。

4. 6. 6 四種の改善率からみた最適設計

第3章では、表示像距離 L が0.7mでの η_{HIS} の値に対する表示像距離 L を遠方5mに設けることによる η_{HIS} の改善の程度を改善率、 κ_1 ($\Delta \eta_{HIS} / \eta_{HIS(0.7m-5m, \theta=0)}$) で表現した。

俯角の変化についても同様な改善率 κ_2 , κ_3 , κ_4 を定義し、 κ_1 も含め4種の改善率をそれぞれ求め表4.5に示す。

俯角0度のヘッドアップディスプレイについては、表示像距離を長くすることによる改善率 κ_1 が、線幅2 mradで最大値をとることは既に示した。他の改善率 κ_2 , κ_3 , κ_4 についても表示像線幅毎に比較すると、総じて2 mradで最大値を示す傾向がある。これらは表示像のサイズが十分大きい場合には、像がボケていてもある程度の情報は取り込めるので、俯角や表示像距離を変化させても正答率は大きくは改善しない。また、逆に、表示像のサイズが余りにも微細過ぎると、俯角や表示像距離を変化させても正答率が極めて低くて大きな改善は見られない。ある領域の線幅の表示像サイズではこれらの設計変数が極めて有効に機能することを示している。

できる限り微細な線幅で多くの情報を表示伝達するという表示装置の本来的な経済性や効率を考え、ヘッドアップディスプレイ設計変数の効果を十分生かそうとすると、2 mrad近傍の線幅の表示像サイズを用いるのが望ましいことを示唆している。

各パラメータの効果の大きさや交互作用の効果に関する分散分析の結果や4種の改善率を考慮すると、自動車用ヘッドアップディスプレイを最適設計する

場合の考え方は、つぎのようになろう。

基本的には 2 mrad 近傍の表示像サイズ（線幅）を用い、表示像距離を遠方に設定し俯角を数度以内に設定するのが望ましい。しかしながら、現実にはレイアウト上の問題やスペース、他の機器との干渉、造形デザインとの整合性等の制約が存在するため、これらの制約条件とヘッドアップディスプレイ設計パラメータとの間で、ある種の妥協を含む最適化をすることとなる。

手順としては、表示像サイズ（線幅）が十分大きい場合は、まず俯角を小さく設定する。この場合表示像距離は余り重要視しないでもよい。次ぎに線幅で 2 mrad に近い程微細になるのならば、まずレイアウト上許せる限り優先的に表示像を遠方に設定し、その後他の条件が許せるかぎり表示像の俯角を小さくしていくのが良い。また、小さくしていく俯角の目標値は 5 度近傍で、それ以下に俯角を小さくする必要は視覚光学的観点からはない。

4. 7 まとめ

(1) 前景情報認識をメインタスク、表示像情報認識をサブタスクと見做したとき、ヘッドアップディスプレイ表示像の高さ位置（elevation）によってメインタスクの達成度は変化しない。表示像位置の高さが高くなると表示像情報認識の達成度が向上する。

(2) 高年齢者層では若年齢者層に較べて、全体的に表示像情報認識の達成度が低い。若年齢者層では表示像の高さ位置と表示像距離が同程度に表示情報認識の達成度には大きく寄与するが、高年齢者層では表示像の高さ位置より表示像距離を長くする方がはるかに有効である。

(3) 前景情報と表示像情報とを正しくドライバに伝達できる程度は、表示像の俯角が 5 度以内であればほぼ同程度に良好である。、俯角が 15 度を越えると低い状態で飽和の傾向を示す。これは、インストルメントクラスタ内で俯角を変化させても表示像情報認識特性の改善には繋がりにくく限界があることを示唆している。

(4) 表示像の高さ位置や表示像の距離，表示像文字サイズのパラメータは互いに関連し合っており，理想的なヘッドアップディスプレイ実現のためにはこれらのパラメータの互いに関連する組み合わせを考慮して最適設計をする必要がある。

第5章

マイナプロセスでのヘッドアップディスプレイ⁽¹⁴⁵⁾

5.1 はじめに

警視庁の調査⁽¹⁴⁶⁾によれば高速道路での重大事故の7割以上がドライバーの前方不注意によると言われている。一般道路での歩行者との事故事例調査⁽¹⁴⁷⁾によくと不注意による脇見や車載音響機器等の操作に気を取られての前方不注意事故も60%に達すると言われる。HeintzやHaller, Bouisも指摘しているように⁽⁸⁰⁾、自動車では前景情報の認識が常にメインタスクである。換言すれば、ドライバーにとって前景の情報は何らかの形で常に認識され続けられなければならないことを意味している。

第4章までは、自動車用ヘッドアップディスプレイを最適設計する場合、主要な設計変数である表示像距離や表示像俯角、表示像サイズをどのように設定していくのが良いのかを論じてきた。これらの評価実験は、メインタスク（前景認識）が常にサブタスク（表示像認識）に先行する通常運転の条件を想定してきた。

通常運転ではドライバーが表示像情報を取り込む時、前景の変化を予測したり周辺視で前景を大雑把に捉えたりして前方の安全性を確保しながら、視点を表示像上に移動し表示像を認識する。即ち、認識能力が高い中心視の視点が前景から短い時間離れても十分安全性（前景の認識）が維持できる状態で、表示

像情報を取り込むと考えられる。この過程は前章までで述べたように、メインタスク（前景認識）が常にサブタスク（表示像認識）に先行するプロセスである。

しかしながら、一方で何らかの理由で表示像に（中心視の）視点停留が長くなり過ぎて、前景の変化がドライバには認識されにくいこともある。表示像への視点停留が長くなくても前景の変化が突発的で緊急を要する場合⁽¹⁴⁸⁾も同様のことが考えられる。この過程は、サブタスク（表示像認識）がメインタスク（前景認識）に先行するプロセスに相当すると考えられる。

本章では、このような前景認識に相当するプロセスを想定し、前章までに明らかにしてきたヘッドアップディスプレイの表示装置としての優位性が、突発的で緊急的な前景変化の条件ではどう影響されるかを実験評価した。

5. 2 実験の構成

5. 2. 1 視覚情報認識におけるタスクとプロセス

自動車走行中ドライバは、適宜視点を移動させながらウインドシールドを通して車室外の前景情報と車室内の表示像情報を認識している。この時、前景情報の認識のタスクと表示像情報の認識のタスクの組み合わせを考えると二通りの組み合わせが考えられる。

一つは、メインタスクである前景情報を認識した後、表示像情報を認識するという組み合わせである。表示像上に極めて短い時間視点が停留している間の前景情報は、一瞬前の前景情報認識時の情報による予測と周辺視による情報認識で十分確保される場合である。通常運転では大半がこの組み合わせに属していると考えられるので、これを仮にメジャープロセスと呼ぶことにする。

一方、まれな場合であるが何らかの理由で表示像情報に注意を払い過ぎたり、表示像情報認識中に前景が急変して、慌てて前景に視点を戻すような前景の認識が、表示像の認識より後になる場合もある。前景視対象への視点移動が

表示像情報認識の後に来る場合である。この組み合わせでは、もはやメジャープロセスに見られた前景情報の予測が困難となり、周辺視の一部の機能のみが前景情報の手掛かりになろう。

表示像情報の判読時間中に何らかが飛び出したり、今まで気づかなかった障害物が眼前に現われたり、疲労運転や散漫運転等のように無意識に注意が表示像情報に集中し過ぎた場合がこの場合である。これを仮にマイナプロセスと呼ぶことにする。

実際の運転での視覚情報認識のプロセスは、多くのメジャープロセスと少数のマイナプロセスの結合で構成されていると考えられる。

5. 2. 2 実験目的と項目

本章での実験の目的は、前章までに論じてきたメジャープロセスでのヘッドアップディスプレイの表示像と前景の認識特性が、マイナプロセスではどのようなようになるのかを明かにすることである。

主な実験項目は、つぎの5項目である。実験は、第2章で述べた評価装置を用いて各種正答率により評価した。

(1) マイナプロセスにおいて、ヘッドアップディスプレイはヘッドダウンディスプレイに比較して、前景と表示像の認識特性が優れているか。

(2) 表示像距離を変化させたとき、マイナプロセスでは前景と表示像の認識にどんな影響が生じるか。

(3) ヘッドアップディスプレイの俯角（表示像の高さ位置）を変化させると、マイナプロセスでは前景と表示像の認識にどのような影響が生じるか。

(4) 高年齢者層と若年齢者層とで上記の諸特性の特徴的な相違が存在するか。

(5) マイナプロセスで、表示像距離や俯角、表示像サイズ等の変化が、ヘッドアップディスプレイの前景と表示像の認識特性にどのように影響・寄与するか。

5. 2. 3 被験者

被験者は、第3章と同じ運転免許を有する両眼視力0.7以上の男子10名。5名は20代と30代前半の若年齢者層グループで残りの5名は40代と50代の高年齢者層グループを選んだ(表3.2)。

5. 3 実験条件

5. 3. 1 評価装置の設定

評価装置は第2章で述べた構成と基本的には同じである。スネレン図形と7セグメント数字の提示時間はメジャープロセスとの比較ができるよう、それぞれ0.8秒、0.5秒に設定した。視標提示のタイムチャートは図2.6に示した。メジャープロセスの実験では、前景視標の検索時間中にヘッドアップディスプレイ表示像を見ないようにするため、提示時間0.8秒と0.5秒の差0.3秒は表示像提示の前に設けたが、マイナプロセスでは、表示像の認識を前景認識に先行させるためにヘッドアップディスプレイ表示像提示の後に設けた。

メジャープロセスと同様に、マイナプロセスでもブザー音から口頭での応答までを試行と定義し、100回の試行の正答率でタスク達成度を評価した。

前景視標と表示像視標は第2章で述べたスネレン図形対と7セグメント構成の2桁数字を用いた。表示像サイズ(線幅) b は、被験者の目から見て、視角 2.0, 3.5, 6.0 mrad. の三種類を選んだ。

5. 3. 2 正答率

正答率は第2章で定義した7種類の正答率を用いているが、マイナプロセ

スでの正答率の意味について若干説明を補足する。

(1) η_s ヘッドアップディスプレイとスネレン図形の両方が呈示されたとき、スネレン図形のみに着目した正答率。マイナプロセスでは突発的な前景変化に対応できる目安を与える重要な尺度と考えられる。実験ではスネレン図形が正答されるときは、殆どヘッドアップディスプレイ表示像が正答されていた。即ち、 $\eta_{H|S} = 100$ を式(2-2)に代入すると $\eta_s = \eta_{s \cdot H}$ が得られる。

(2) η_H ヘッドアップディスプレイとスネレン図形の両方が呈示されたとき、ヘッドアップディスプレイ表示像のみに着目した正答率。サブタスクが先行するため、基本的には高い値となる筈であるが、マイナプロセスであっても、自動車の走行環境を想定すると前景視標の認識が第一義的であることは変わらないので、 η_H には表示像認識の難易度が直接的に現われると考えられる。

(3) $\eta_{H|S}$ ヘッドアップディスプレイとスネレン図形の両方が呈示されたとき、スネレン図形について正答した内でヘッドアップディスプレイ表示像に対して正答した割合。

マイナプロセスではこの値が低い時は被験者がインストイラクションを守らず先にスネレン図形を見てしまったケースと考えられるが実験では極めて高い値($\eta_{H|S} = 100$)に維持されていた。

(4) $\eta_{S|H}$ ヘッドアップディスプレイとスネレン図形の両方が呈示されたとき、ヘッドアップディスプレイ表示像について正答した内でスネレン図形に対して正答した割合。 $\eta_{S|H}$ は、表示像の認識が行なわれた上で、前景が正しく認識される率を示すので、マイナプロセスでは、緊急突発的な前景変化に対応できる表示装置の能力(優位性)と考えられる。但し、 η_H や η_s が極めて低い領域では誤差が大きくなるので注意が必要である。

(5) $\eta_{s \cdot H}$ ヘッドアップディスプレイとスネレン図形の両方が呈示されたとき両方が正答する割合で、(1)で述べたように η_s に等しい。

5. 4 実験手順

実験の手順は基本的には第2章ので述べた通りであるが，メジャープロセスとマイナプロセスの比較を容易にするため以下に再度示す．

5. 4. 1 準備

- (1) スネレン図形やヘッドアップディスプレイの輝度対比，前景輝度等の設定．
- (2) 被験者の視力等の計測．
- (3) 環境への順応（約十分間）
- (4) 50～100回の試行による反応練習．（被験者は中心点Nを注視し，ブザーの合図後，スネレン図形の方角を口頭で答える．）
- (5) 各被験者視力データから，2種類のスネレン図形の選択．
- (6) スネレン図形サイズの基準化；選択したスネレン図形をそれぞれ100回ずつ呈示し正答率が80%になるスネレン図形サイズを内挿法により求める（メジャープロセス，マイナプロセス共，基準化されたサイズを用いる）．

5. 4. 2 メジャープロセス

- (1) 25～50回の試行の練習．（被験者はN点を注視しブザーの合図で，まずスネレン図形を，次いでヘッドアップディスプレイ表示像を見，口頭で二つのスネレン図形の方角，二桁の数字の読みを答える．）
- (2) 表示像の条件を種々に変化させ，各種の正答率を計測．

5. 4. 3 マイナプロセス

- (1) 25～50回の試行の練習．（被験者は，N点を注視し，ブザーの

合図でまずヘッドアップディスプレイ表示像を、次いでスネレン図形を見、口頭でスネレン図形の方向、二桁の数字の読みを答える。）

(2) 表示像の条件を変化させ、各種の正答率を計測。

5.5 実験結果

5.5.1 ヘッドダウンディスプレイとの比較

表示像距離 L が共に0.7mであるヘッドアップディスプレイ（俯角 $\theta = 0$ 度）とヘッドダウンディスプレイ（俯角 $\theta = 20$ 度）について、表示像サイズを変化させて正答率を計測した。 $\eta_{S \cdot H}$ と η_H 、 $\eta_{S|H}$ の三種の正答率について、若年齢者層と、高年齢者層、全被験者の各平均を表5.1に表示像サイズごとに示した。

正答率 $\eta_{S \cdot H}$ （ $= \eta_S$ ）は、ヘッドアップディスプレイがヘッドダウンディスプレイより高く、緊急突発的な前景の変化に対して、ヘッドアップディスプレイが良好な前景の認識特性を示すことが分かる。また、表示像サイズが小さくなると、即ち、表示像が認識しにくくなるに従い正答率 $\eta_{S \cdot H}$ は低下する。

正答率 η_H は、メジャプロセスに比較して全体的に高くなってはいるが、表示像が小さくなると低下する。表示像サイズが同一でも、ヘッドアップディスプレイの方がヘッドダウンディスプレイに比較して正答率 η_H は高い。これは、同一の表示像サイズ（従ってこの場合は同一の表示エリア）でもヘッドアップディスプレイはヘッドダウンディスプレイより多くの情報を伝達できることを示している。前景認識と言う第一義的タスクが存在するときの表示像認識でも、ヘッドアップディスプレイは良好な特性を示すことが分かる。

正答率 $\eta_{S|H}$ については、 η_H が極めて低い領域を除けば、ヘッドアップディスプレイがヘッドダウンディスプレイより高くなっている。これは、ヘッドアップディスプレイが表示像を認識した上で、前景の緊急突発的変化にも対応できる表示装置であることを示唆している。

表 5.1：表示装置の種類と表示像サイズ,正答率

表示装置の種類	表示像サイズ 線幅 b (mrad)	正答率(%)		
		$\eta_{S \cdot H}$	η_H	$\eta_{S H}$
若年齢者層				
ヘッドアップディスプレイ	6.0	72	97	74
	3.5	62	98	63
	2.0	39	87	45
ヘッドダウンディスプレイ	6.0	37	96	39
	3.5	32	91	35
	2.0	21	69	18
高年齢者層				
ヘッドアップディスプレイ	6.0	19	93	21
	3.5	6	61	10
	2.0	2	21	10
ヘッドダウンディスプレイ	6.0	8	86	9
	3.5	2	20	10
	2.0	2	5	40

全平均				
ヘッドアップディスプレイ	6.0	48	96	50
	3.5	31	82	37
	2.0	22	58	38
ヘッドダウンディスプレイ	6.0	25	92	27
	3.5	17	82	21
	2.0	12	58	10

また、それぞれの正答率で、高年齢者層が若年齢者層より低くなっている。第3章や第4章での高年齢者層の各正答率の傾向にも見られるが、加齢による目の調節応答性や周辺視機能の低下等からくる共通の傾向と考えられる。

5. 5. 2 正答率 $\eta_{S \cdot H}$, η_H の表示像距離依存性

表示像サイズ (b mrad) をパラメータとし、表示像距離 L を変化させヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイで正答率 $\eta_{S \cdot H}$, η_H の表示

像距離依存性を計測した。

全平均、高年齢者層および若年齢者層の正答率表示像距離依存性を図 5.1 から図 5.3 にそれぞれ示す。

各図中、実線はヘッドアップディスプレイで、破線はヘッドダウンディスプレイを表している。

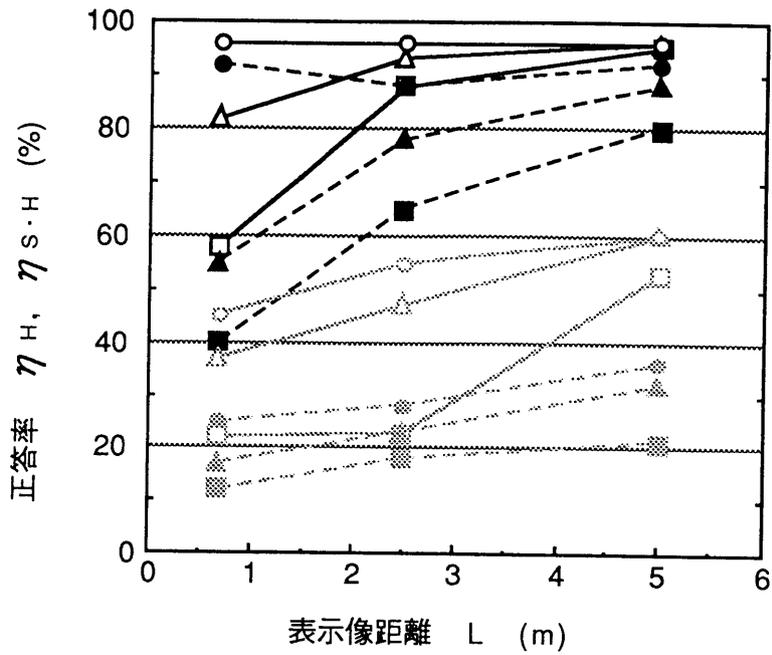
正答率 η_H に現われる表示像の認識特性については、ヘッドアップディスプレイ、ヘッドダウンディスプレイ共に表示像距離 L が長くなるに従い向上する。

ヘッドアップディスプレイはヘッドダウンディスプレイに比較して良好な表示像の認識特性を示すことが分かる。また、若年齢者層の方が高年齢者層より正答率 η_H が高いことや、表示像サイズ（線幅）が大きいほど、表示像の認識特性は良いこと等も、第 3 章や第 4 章でのメジャープロセスでの結果と同じ傾向を示すことが分かる。

マイナプロセスでは、正答率 $\eta_S (= \eta_{S.H})$ に現われる前景の認識特性が表示像距離等の設計変数の変化により変わる。ヘッドダウンディスプレイよりヘッドアップディスプレイの方が、また、表示像距離 L が長く、表示像サイズが大きい方が、前景の認識特性（正答率 η_S ）は向上する。これは、ドライバが表示像を認識しているとき、前景が緊急突発的に変化してもヘッドアップディスプレイはヘッドダウンディスプレイより良好に対応できることを示している。特に、表示像距離 L が長く表示像を遠方に設定したヘッドアップディスプレイでは、前景の緊急突発的に変化に対応できる能力が高く、自動車走行の安全性が向上することを示している。

正答率 η_H と正答率 $\eta_S (= \eta_{S.H})$ の関連を考えると、前景の認識特性（正答率 η_S ）を上げる（前方の運転時の安全性を上げる）ためには、表示像情報の認識特性（正答率 η_H ）を上げてやることが有効であり、以上の結果はヘッドアップディスプレイがその一つの解になることを示唆している。

5. 5. 3 正答率 $\eta_{S|H}$ の表示像距離依存性



表示装置の種類	正答率	b(mrad)	正答率	b(mrad)
ヘッドアップディスプレイ				
	—□— η _H	2	—□— η _{S·H}	2
	—△— η _H	3.5	—△— η _{S·H}	3.5
	—○— η _H	6	—○— η _{S·H}	6
ヘッドダウンディスプレイ				
	- - ■ - - η _H	2	- - ■ - - η _{S·H}	2
	- - ▲ - - η _H	3.5	- - ▲ - - η _{S·H}	3.5
	- - ● - - η _H	6	- - ● - - η _{S·H}	6

図 5.1 : 正答率(η_s , $\eta_{s \cdot H}$)の表示像距離依存性(全平均)

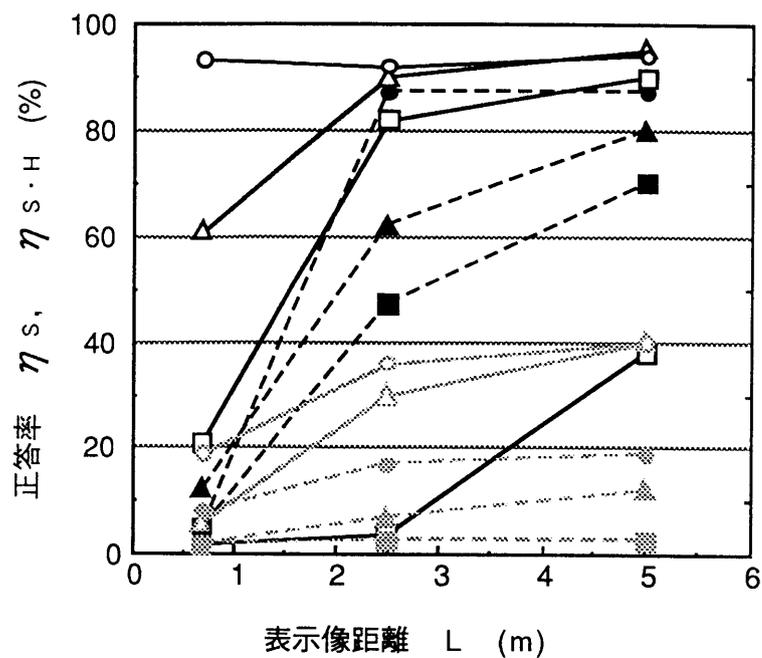


図 5.2 : 正答率(η_s , $\eta_{s \cdot H}$)の表示像距離依存性(高年齢者層)

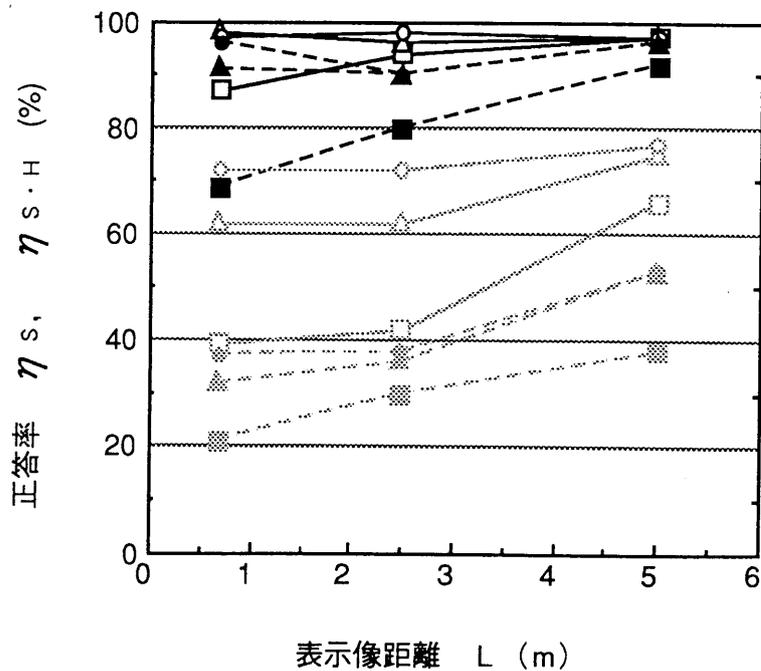
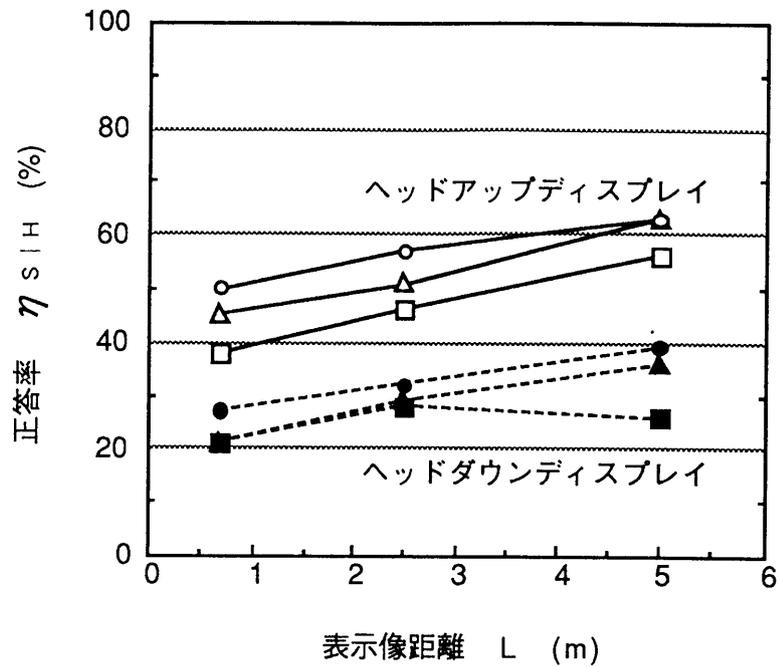


図 5.3 : 正答率(η_s , $\eta_{s \cdot H}$)の表示像距離依存性(若年齢者層)



L=0.7m	b	L=5.0m	b
---■---	2 mrad	—□—	2 mrad
---▲---	3.5mrad	—△—	3.5mrad
---●---	6 mrad	—○—	6 mrad

図 5.4 : 正答率(η_{sIH})の表示像距離依存性(全平均)

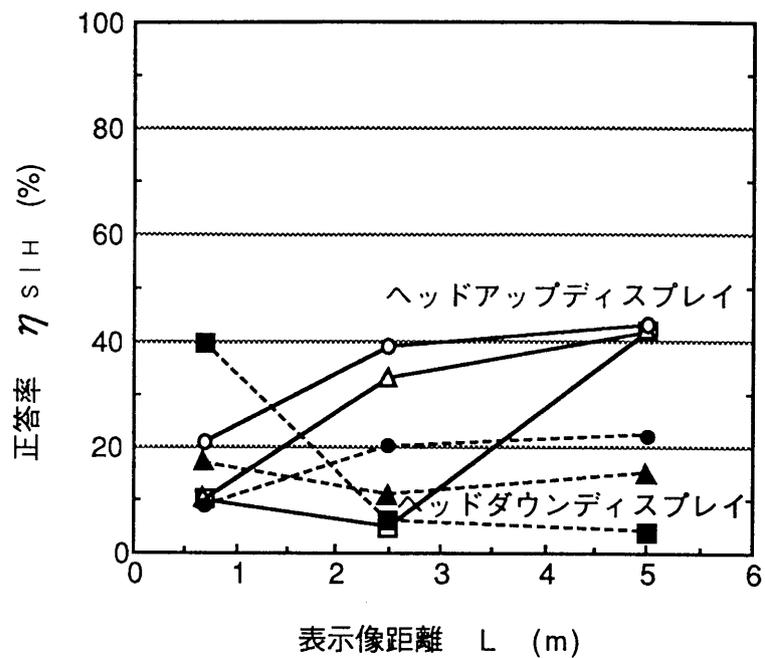


図 5.5 : 正答率(η_{sIH})の表示像距離依存性(高年齢者層)

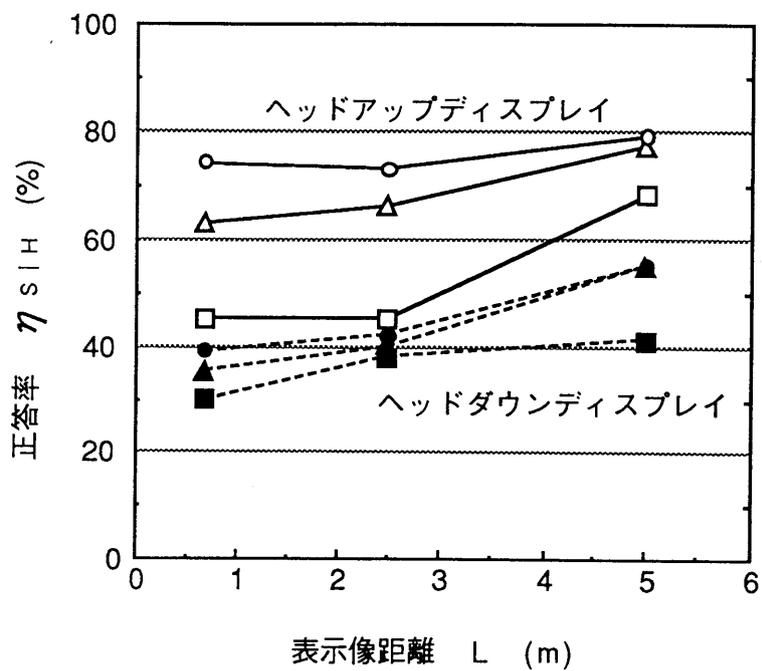
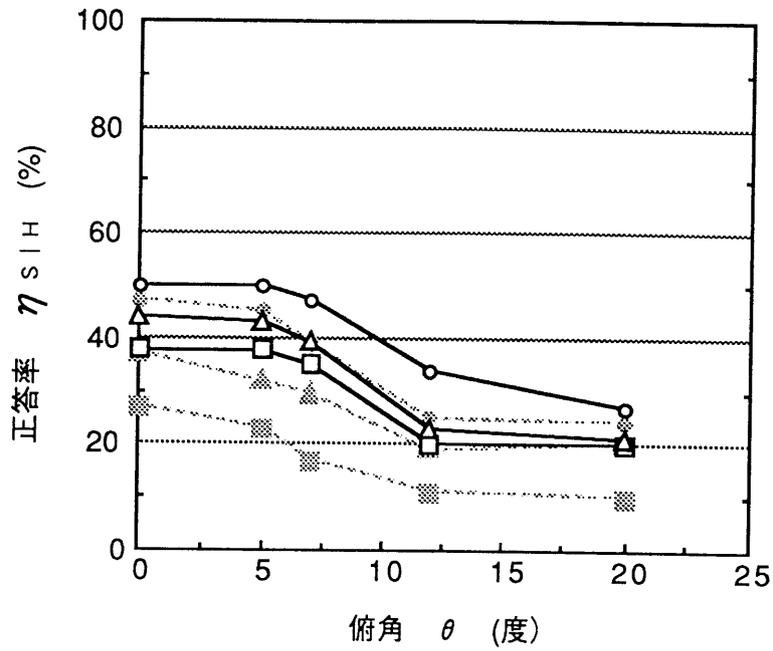


図 5.6 : 正答率(η_{sIH})の表示像距離依存性(若年齢者層)



L=0.7m		b	L=5.0m		b
.....	■	—	□	—
		2 mrad			2 mrad
.....	▲	—	△	—
		3.5 mrad			3.5 mrad
.....	●	—	○	—
		6 mrad			6 mrad

図 5.7：正答率($\eta_{s|H}$)の表示像俯角依存性(全平均)

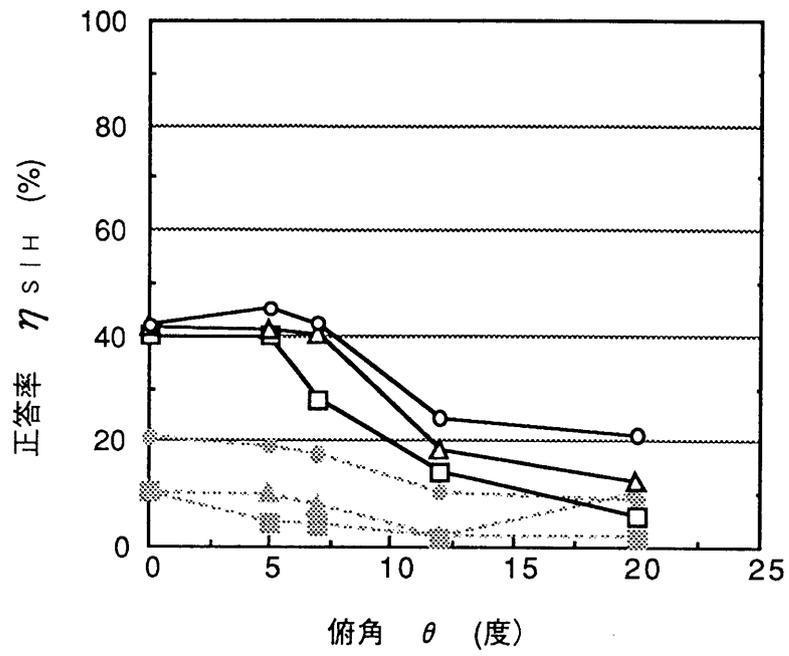


図 5.8 : 正答率($\eta_{s|H}$)の表示像俯角依存性(高年齢者層)

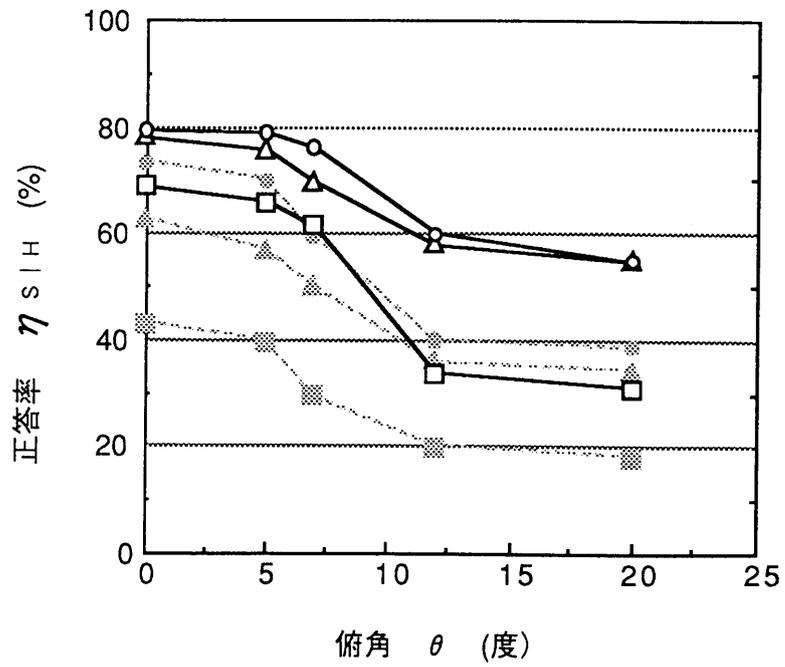


図 5.9 : 正答率($\eta_{s|H}$)の表示像俯角依存性(若年齢者層)

正答率 $\eta_{s|H}$ は、緊急突発的な前景変化に対するヘッドアップディスプレイの優れている度合いを示す尺度と考えられるので、マイナプロセスでは特に重要なパラメータである。

図 5.4 から図 5.6 に、表示像距離を変化させたときの全被験者、高年齢者層、若年齢者層それぞれの平均正答率 $\eta_{s|H}$ を示した。 η_H が極めて低くなる高年齢者層の一部のデータを除くと、前節で述べた遠方結像型ヘッドアップディスプレイが各年齢者層を通じて良好な特性を示すことが分かる。

5.5.4 正答率 $\eta_{s|H}$ の俯角依存性

表示像サイズ b と表示像距離 L をパラメータとして、正答率 $\eta_{s|H}$ の俯角依存性を計測した。俯角 θ を変化させた場合の、全平均と高年齢者層、若年齢者層の正答率 $\eta_{s|H}$ を図 5.7 から図 5.9 に示す。

全体の傾向として、正答率 $\eta_{s|H}$ は俯角 θ が小さいとき高く、俯角 θ が大きくなるに従い低下の傾向を示す。

表示像距離 L が遠いほど $\eta_{s|H}$ は高く、ヘッドアップディスプレイ表示像サイズが大きいほど $\eta_{s|H}$ は高い。

前景の認識特性を上げる（前方の運転時の安全性を上げる）ためには、表示像情報の認識特性を上げてやることを考慮すれば、表示像距離を長くすることや、俯角を小さくすること、表示像サイズを大きくすることが有効といえる。

俯角 θ の小さい領域で正答率 $\eta_{s|H}$ が高いことは、前景情報、表示像情報ともに正しく認識する必要がある自動車運転でヘッドアップディスプレイがマイナプロセスでも優れた表示装置であることを示している。

また、高年齢者層グループと若年齢者層グループを比較すると、前者では全体的に $\eta_{s|H}$ が低い。前景視標探索や応答調節遅れ等、高年齢者層での視機能の低下が要因の一つと推測される。

メジャープロセスでの正答率俯角依存特性曲線と同様に、マイナプロセス

でも各曲線はほぼ逆S字曲線を示している。俯角の設定では重要な第一の領域と第二の領域との境界（変曲点）は、俯角 θ が5, 6度になり、メジャープロセスでの第一の領域と第二の領域との変曲点の値に近いことが分かる。

5. 6 考察

5. 6. 1 ヘッドアップディスプレイの優位性

マイナプロセスでは、ヘッドアップディスプレイ表示像距離が前景に近くなると η_H は増加し100%に近くなる。 $\eta_{S.H}$ も同様に増加し被験者全平均では60%に近くなり、高年齢者層でも40%に近接する。これは俯角が小さく表示距離が遠いヘッドアップディスプレイでは表示像情報を100%近く正しく認識していても尚、前景の急な変化への対応が良好になされることを意味している。表示像距離が近い時は表示像線幅によって $\eta_{S.H}$ に差があるが、表示像距離が5mになると表示像線幅による差は減少傾向を示す。

表示像距離が5mで、線幅が3.5mrad以上では若年齢層の $\eta_{S.H}$ が70%を越え、基準化した正答率($\eta_{S.H} = \eta_S = 80%$)に近い。これは表示像情報認識を示す η_H がほぼ100%であることを考えると、ヘッドアップディスプレイが表示像情報認識の点だけでなく突発的な前景の変化や、判読に時間を要するやや複雑な表示にも前景認識という点で対応できる素地を有していることを示唆している。

また、サブタスクである表示像情報認識のタスクを重くすると（表示像を近くに置いたり、俯角を大きくとる）、 η_H ばかりでなく $\eta_{S.H}$ ($= \eta_S$)も低くなる。このことはマイナプロセスでは前方の運転時の安全性を向上するという観点から、表示像距離や俯角、表示像線幅等の表示装置の仕様を十分に注意して設定する必要があることを示している。

5. 6. 2 周辺視による探索の効果

メジャープロセスとマイナプロセスは、ダブルタスクの順序を入れ替えたものと見做せる。順序の入れ替えによるそれぞれのタスク達成度合いを比較すると、ヘッドアップディスプレイの場合、全般的にマイナプロセスの方が高い傾向がある。例えば図5.1のデータで $\eta_{s \cdot H}$ が70%近傍（従って η_s が70%近傍）にある時（表示像サイズ b が6, 3.5 mrad, 表示像距離 L が2.5 m, 5 m）の η_H の値と、第3章の図3.3の η_s が80%近傍の η_H の値を比較する（メジャープロセスでは、 $\eta_{s|H}$ がほぼ100であることに注意して、 $\eta_H = \eta_{s \cdot H} = \eta_{H|s} \cdot \eta_s$ から求める）と、メジャープロセスでは η_H が40~50%、マイナプロセスでは η_H は80~90%と、マイナプロセスの η_H の方が約40%高くなる。これはメジャープロセスでは、視標呈示時間内にまず前景（スネレン図形）の探索を行い、次いでヘッドアップディスプレイ表示像を認識するわけであるが、マイナプロセスの場合ヘッドアップディスプレイ表示像が前景と近くかつ視角差（偏角）が小さいために、表示像情報を認識している間に、周辺視による前景の探索が行われやすく、結果的に正答率が高くなるためと考えられる。

突発的な前景変化に対応しやすい自動車用表示装置を実現するためには、ヘッドアップディスプレイの如く表示像距離を遠方に設け、俯角を小さくし周辺視の機能を最大限活用することが重要なポイントとなることを示唆している。

5.6.3 固視点の設定

マイナプロセスでの試行は、最初被験者が前景スクリーン上の固視点を注視している（図2.8）。従って被験者の目の焦点調節は、前景上に存在すると考えられる。次に表示像を認識して、再度前景上に戻る。表示像上の視点停留時間は視標呈示時間の0.5秒以下であるので、目の調節応答での潜時を0.35~0.45秒⁽¹⁴⁹⁾とすると、表示像の上に視点が停留している間も、目の焦点調節は前景視対象上にあると見做せる。

WierwilleやLuoma, 谷島等が計測した報告⁽³²⁾⁽¹²⁷⁾⁽¹⁵⁰⁾によると, 実際の自動車運転では, 表示装置に視点が停留する時間は, 通常極めて短く車速計で約0.5秒程度である. 時速100 km/hで走行した場合, 1秒間に約27 m走行することを考えれば, 前方から視点を長く離せないことは容易に想像がつく.

本実験では, 前景認識が第一義的なタスクであるという前提に立って, 前景を見ていたドライバーが, 表示像を認識している間に前景が突発緊急的に変化した場合を想定しており, 表示像上の視点停留を0.5秒程度に採っている.

しかしながら, Wierwille等は, まれなケースとしてナビゲーションシステム等の操作をする場合には, 表示像上の視点停留時間が2秒近くに達することもあると報告している. 表示像上の視点停留時間が長く, 目の焦点調節が完全に表示像上にあっている場合にはどうであろうか.

表示像上の視点停留時間が1秒を越えるようなケースでは, ドライバの目の焦点調節は表示像に合っていると考えられる. そのため, 基本的には表示像距離が遠いか近いかで表示像の認識特性は変わらないと考えられ, 正答率 η_H は, 表示像距離にほとんど依存しない特性となろう.

目の焦点調節が表示像に合っていると, 表示像距離が近いヘッドダウンディスプレイでは遠方に存在する前景視標の認識特性(正答率 η_S や $\eta_{S.H}$ に相当)は低下するであろう. 一方, 表示像距離が前景近傍にあるヘッドアップディスプレイでは逆に認識特性は良好であろう.

また, 高年齢者で最近点が長くなる点を考慮すると⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾, 表示像サイズが小さくなると表示像距離を長くしたヘッドアップディスプレイの方が表示像の認識特性(正答率 η_H)が良くなると考えられる.

従って, 表示像上の視点停留時間が目の調節応答の潜時より十分長い場合についても, 遠方結像型ヘッドアップディスプレイの優位性は変わらないばかりか, むしろより強調される特性が得られることが予想できることになる.

5. 6. 4 各因子の分散分析

表 5.2：全データの分析

**1% 有意

因子	$\eta_{S \cdot H}$		η_H		$\eta_{S H}$	
	分散比	F	分散比	F	分散比	F
表示像距離 (L)	34.4**		96.8**		26.0**	
表示像サイズ (b)	26.5**		29.6**		16.7**	
俯角 (θ)	38.1**		18.3**		24.9**	
年齢層 (Y)	352.4**		152.2**		321.3**	
L b	0.7		6.8**		2.0	
L θ	2.9**		6.1**		4.8**	
L Y	1.5		43.9**		1.2	
θ b	0.7		10.4**		4.3	
Y b	0.8		15.4**		0.8	
θ Y	1.5		4.0		1.1	
L b θ	1.5		6.5**		2.9**	
L b Y	0.3		4.5**		0.3	
L Y θ	0.8		0.8		0.8	
Y b θ	0.3		3.3**		0.3	
L b θ Y	0.5		2.0**		0.3	

三種類の正答率， $\eta_{S \cdot H}$ ， η_H ， $\eta_{S | H}$ について分散分析を行い，各設計変数とそれぞれの交互作用も含め1%の有意差検定を行った⁽¹⁴⁴⁾⁽¹⁵¹⁾。結果を表5.2に示す。

表示像距離や線幅，俯角，年齢層のそれぞれについて1%有意であった。俯角と表示像距離にはいずれの正答率にも1%有意の相互作用が存在することが分かった。表示像の見やすさ（ η_H に相当）では設計変数のほとんどの間で相互作用が存在し，前景の変化の気づきやすさ（ $\eta_{S \cdot H}$ に相当）は俯角と表示像距離にのみ1%有意の相互作用が存在した。

マイナプロセスでの評価結果は，メジャープロセスと同じように表示像距離が長く，俯角が小さいヘッドアップディスプレイが，表示像情報の良好な認識ばかりでなく，緊急突発的に出現する前景物体（視対象）の認識にも有効であることを示している。

5.7 まとめ

(1) マイナプロセスでも表示像距離が長く、俯角が小さいヘッドアップディスプレイはヘッドダウンディスプレイより表示像情報の認識特性が優れている。また、正答率の表示像距離依存性や俯角依存性、年齢層間の特性は、メジャープロセスと基本的には同じ傾向を示す。

(2) 表示像情報の認識中に発生した緊急突発的な前景変化には、ヘッドアップディスプレイを用いた場合ドライバは良好に対応できる。特に、表示像距離が長く、俯角が小さいヘッドアップディスプレイでは顕著である。

(3) メジャープロセスと同じように、マイナプロセスでも表示像距離や、俯角、表示像サイズの認識特性への寄与効果は、それぞれが統計的に有意である。また、表示像距離と俯角との間には強い交互作用が見られる。

第6章

前景と表示像の重畳の効果⁽¹⁵²⁾⁽¹⁵³⁾

6.1 はじめに

第3章から第5章までは、表示像と前景視標が完全には重畳しない場合について、短時間視標呈示法によりヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイの評価を行なってきた。前景と表示像の認識と言う観点から、ヘッドアップディスプレイはヘッドダウンディスプレイより優れていることを述べた。

現在のところヘッドアップディスプレイの自動車への応用は、まだ車速表示や簡単な警報表示に限られてはいるが、前景視認が常に要求される運転環境を考慮すると、ナビゲーション表示やルートガイダンス表示等への応用が予想され、将来は表示パターンがより複雑化・大型化する可能性がある⁽⁵⁾⁽¹⁴⁾。

表示パターンがより複雑化・大型化した自動車用ヘッドアップディスプレイでは、時として、運転に必要な前景視対象に表示像が完全に重畳する可能性がある。このような条件下でも前景の認識特性が表示像の存在によって損なわれたり、安全で快適な運転に致命的な影響があってはならない。

前景に対して表示像の輝度が低ければ、判読が難しくなるし、明るすぎると不快感や前景の認識特性に影響がでることは経験的に予測できる⁽¹³⁵⁾⁽¹⁵⁴⁾⁽¹⁵⁵⁾。前景の輝度と表示像の適正輝度の関係については、官能評価実験結

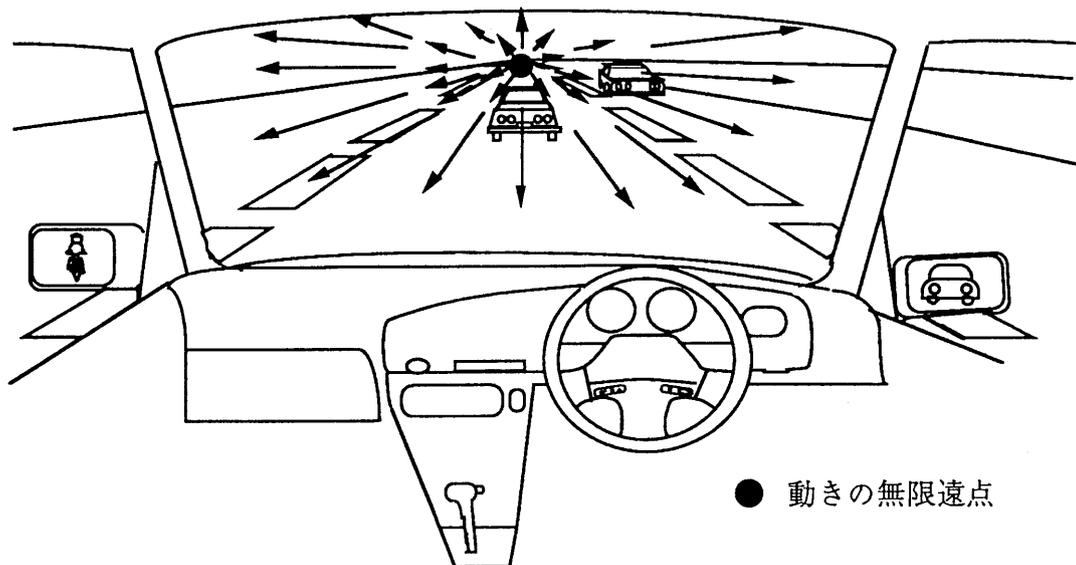


図 6.1：前景の移動(直進の場合)

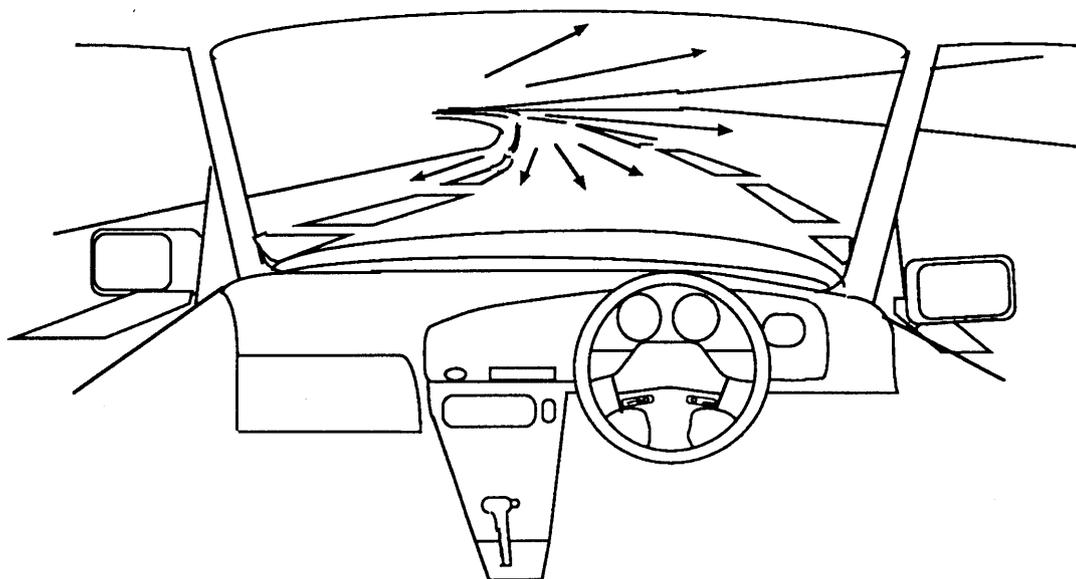


図 6.2：左旋回した場合の前景の移動

果としていくつかの報告がなされている^{(82)(85)~(89)}。しかしながら、これらの報告は、実車評価実験であったり、特定の表示パターンについての評価であったりして、表示像と前景の視対象との干渉について詳しく論じられてはいない。

本章では、自動車用ヘッドアップディスプレイ表示像が大型化・複雑化した場合を想定し、表示像と前景視対象とが完全に重畳した場合、表示像の存在が前景情報の認識にどのような影響を及ぼすかをより定量的に評価し、この影響を低減するための現実的な対応について視覚光学的な観点から考察した。

6. 2 実験条件の設定

6. 2. 1 中心視と周辺視の役割

自動車運転中ドライバは通常適宜視線を掃引しながら、周辺視野では前景中の物標（視標）の存在を知覚し、中心視野では視標の認識・判読をしていると考えられる⁽¹⁰⁴⁾⁽¹²⁴⁾⁽¹²⁵⁾。

この中心視野と周辺視野での機能を考慮すると、ヘッドアップディスプレイ表示像が前景視標と重なる状況には二つのケースがあろう。

(1) ケース1；中心視で前景視標を認識・判読する場合。

(2) ケース2；周辺視で前景視標を知覚・認知する場合。

本章では、この二つのケースについて、ヘッドアップディスプレイ表示像による前景情報認識への影響を評価した。

6. 2. 2 前景の移動

自動車の移動に伴って、前景は車両に対して相対的に移動する。車両が左右に旋回する場合、前景は右左に移動し直進時にはドライバの真正面、前方無限遠点を中心に放射状の移動をするように見える⁽¹²⁸⁾（図6.1，図6.2）。

車両がZ軸方向に直進する場合、ドライバの目の位置（正確には両眼の中心点）を原点として、上記の無限遠点方向（N点方向）と視対象の方向とが成す角度（偏角）を ϕ （度），視標までの距離 r （m），車速 v （km/h），時間 t （秒）とし，ラジアン/度，時間/秒等の変換を行なえば，原点から見た視対象移動速度 ω （度/秒）は，式（6-1）のように表せる．

$$\omega = \frac{180}{\pi} \frac{10^3}{60 \times 60} \frac{\Delta Z \sin \phi}{r \Delta t} = \frac{180}{\pi} \frac{10^3}{60 \times 60} \frac{V \sin \phi}{r} = 15.9 \frac{V}{r} \sin \phi$$

（度/秒）（6-1）

10 km/h程度の低い車速で直進すると，車両前端の路面上の視対象（ $r = 10$ m， $\phi = 10$ 度）は1秒間に約2.8度移動する．また，道路交通法の徐行⁽¹⁵⁶⁾に相当するゆっくりとした旋回（10 km/h以下）を想定すると， ω （度/秒）は約3度/秒となる．実験ではヘッドアップディスプレイ表示像と前景視標が重なりながら相対的に低速で移動する場合を想定して，視標認識の程度を短時間呈示時の正答率で評価した．

6. 2. 3 前景の輝度

自動車の走行時ドライバにとって前景がもっとも見にくい条件は，前照燈を点灯する直前と考えられ，前章までの条件と同様に，本実験でも2 cd/m²を前景輝度とした．

6. 2. 4 視標の設定

前景視標は前章と同様，前照燈評価で用いられている灰黒色正方形視標（CIE 1982;車両を後方から見たときのタイヤ部を想定）と同様の形状で，かつ視力の定量評価に広く用いられている白地に灰黒色表示のスネレン図形を用い

た。ケース1ではスネレン図形の輝度対比を約0.82に設定し、図形のサイズ（図1.8中の線幅aで規定）を被験者の視認能力に応じて変化させ、ケース2では輝度対比も被験者に応じて変化した。（詳細は6.4節実験手順参照）

6.2.5 ヘッドアップディスプレイ表示像

前景視標への注意配分の安定性（表示図形の無意味性）や表示像のランダム性（図形の不偏性）、スネレン図形との干渉性（認識の妨害）等を考え、ヘッドアップディスプレイ表示像には図6.3に示すようなチェッカーパターンを用いた。表示エリアは視角で約 $35\text{ mrad} \times 140\text{ mrad}$ （約2度×約8度）でチェッカーパターンのセグメントの幅は視角bで表現した。またヘッドアップディスプレイ表示像の明るさには前景の明るさが見かけ上加算されるため、実質的な明るさを表す値として、式（6-2）に示す輝度指数Sを用いた。

$$S = \frac{(\text{表示像の見かけの輝度}) - (\text{前景輝度})}{\text{前景輝度}} \times 100 (\%) \quad (6-2)$$

また前景視標とヘッドアップディスプレイ表示像は、表示像距離の設定値によらずセグメントを見込む視角が一定の条件で実験した。

6.2.6 充填率

表示像パターンの複雑さや妨害度に関わるパラメータとして、充填率（Fファクタ）を用いた。充填率はチェッカーパターンがスネレン図形対に重なる領域で定義する。数式的には式（6-3）のように表現できる。

$$F = \frac{N_{\text{on}}}{N_{\text{on}} + N_{\text{off}}} \times 100 (\%) \quad (6-3)$$

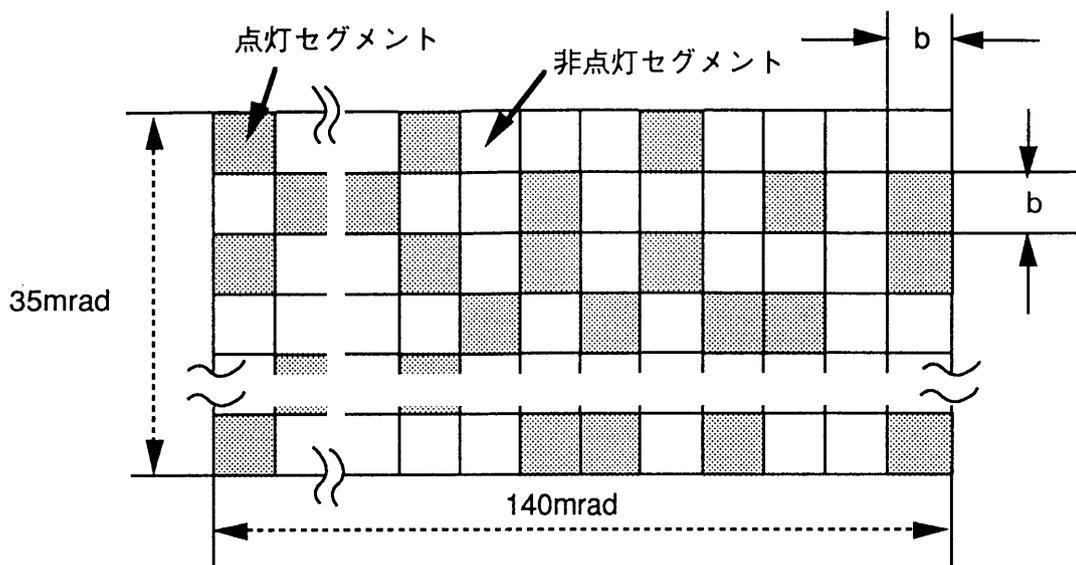


図 6.3 : HUD表示像(チェッカーボードパターン)

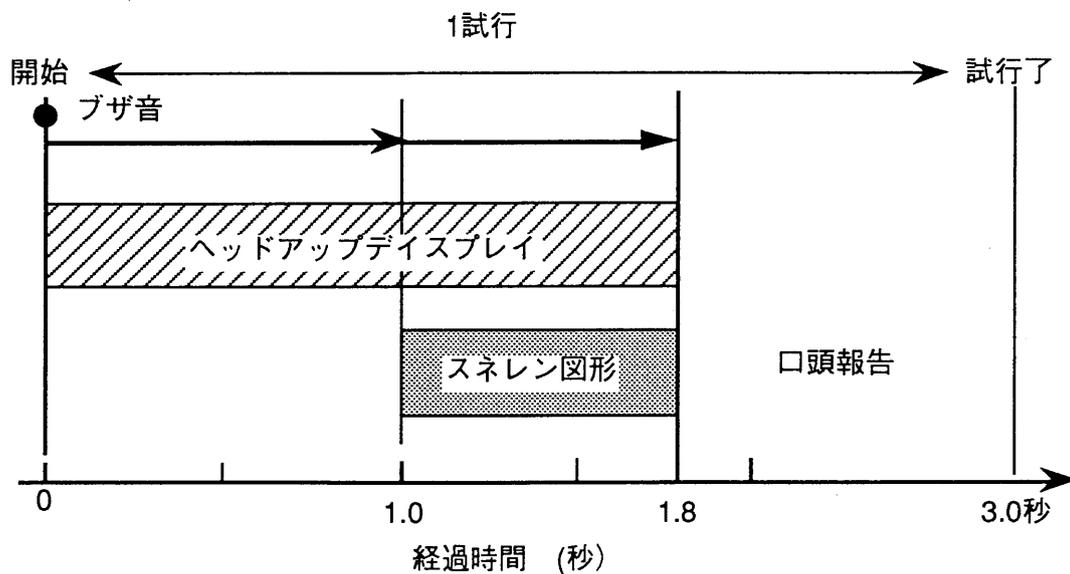


図 6.4 : 前景視標呈示タイムチャート(1試行)

但し、 N_{ON} は、ONセグメントの数、 N_{OFF} はOFFセグメントの数である。

6. 2. 7 視標の相対的移動速度

移動速度 ω （度/秒）は被験者の目から計測した視角で表現し、0度/秒から約2度/秒まで変化させた。後述する視標移動による前景視標の正答率改善度合いは、予備実験で水平・垂直両方向について調べたが大きな差が見られなかったため、以下すべて水平方向で評価した。

6. 2. 8 視標呈示タイムチャート

前景視標の呈示時間は前章までの実験条件と同様に0.8秒とした。図6.4に示すように1回の試行は約3秒からなる。最初の1秒は被験者の瞬目を避けるために設けてある。被験者は最初左15度に設けられた注視点を注視し、ブザー音の1秒後に注視点が消滅（または変化）すると同時に、ほぼ中央位置にある前景視標を見てスネレン図形の開口部方向を答える（図6.5）。

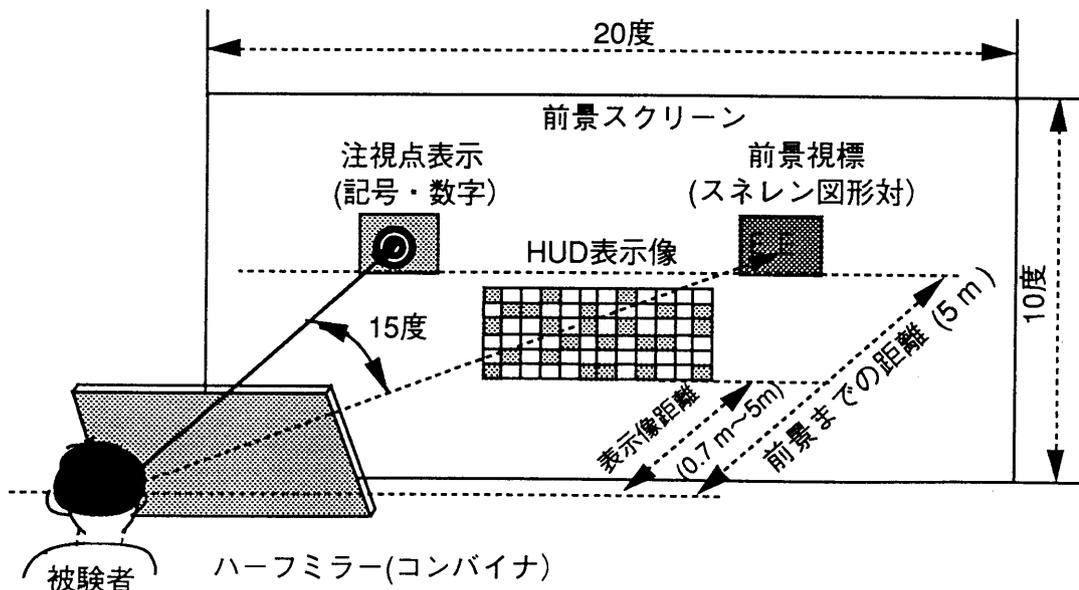


図 6.5：各視標の配置

走行中のドライバの視点の大半は、N点付近にある⁽¹²⁵⁾⁽¹²⁶⁾。本実験における15度はこのN点から視野周辺部（ウインドシールド<車両の前窓硝子部分>の周辺部）に出現した視標までの視角差を想定して設定した。

6.2.9 試行回数とデータの安定度

各条件での試行回数は前章同様100回以上とした。被験者の疲労度合いや正答率の安定度（±5%を目安）をモニタしながらデータとした。

6.2.10 被験者

被験者は表6.1に示す運転免許を有する20歳代から30歳代の男子7名を用いた。

表 6.1：被験者の特性データ

*眼鏡による矯正視力

被験者	年齢	視力 (右/左)	スネレン図形	
			基準化サイズ (a mrad)	基準化輝度対比
Y.N*	25	0.8/0.8	.58	0.58
N.O*	21	1.0/1.0	.58	0.56
M.F	35	1.0/1.0	.60	0.52
T.Y	21	1.0/1.0	.60	0.50
S.H	26	1.5/1.5	.48	0.41
T.T	24	1.5/1.5	.41	0.41
J.B*	21	1.0/1.0	.54	0.54

6. 3 評価実験装置

評価実験装置のブロックダイアグラムを図6.6に示す。装置はつぎの6つの部分から構成される。

(1) 前景；白色スクリーン，注視点表示用CRT，前景視標用CRT，同移動台からなる。被験者の目から約5mに設置。通常運転時の視線移動領域²²⁾の90%以上（左右15度上下5度）と試験中の視点移動範囲の均一性を考慮してスクリーンの視野は左20度，右15度，上下5度とした。注視点用CRTから右15度の位置に前景視標用CRTを設置しスネレン図形対を表示した。またCRTの白地とスクリーン色は色差最小（ $\Delta E^*_{ab} \leq 1.0$ ）に調整した。

(2) ヘッドアップディスプレイ表示系；緑色表示CRTと表示距離可変台からなる。ハーフミラーでCRT画像（チェッカーボードパターン）を虚像表示する。表示距離可変台は表示像の距離を0.7mから5mの間に任意に設定できる。

(3) ミラー系；二重像防止のため裏面無反射コーティングのハーフミラー（表面反射像対裏面反射像輝度比1.5以上）と表面ミラー構造の全反射ミラーを用いた。

(4) 制御系；注視点のオンオフやチェッカーボードパターンの種類やサイズ，輝度対比，スネレン図形開口部の方向，視標移動速度等の制御を行う。

(5) モニタ系；眼球運動観察用カメラ，輝度計測器，照明装置等からなる。実験中被験者の頭部は顎台で軽く固定し，頭部・顔面の移動による前景視標の誤認を避けると共に，眼球の運動を赤外線カメラで常時モニタしデータ取捨の参考にした。

(6) 暗室；被験者を含むすべてのシステムは大きさ $5^W \times 6^D \times 5^H$ mの暗室に設置。室内は一部は暗幕，天井・壁面は黒色塗装を施してある。

6. 4 中心視による視標認識実験（ケース1）

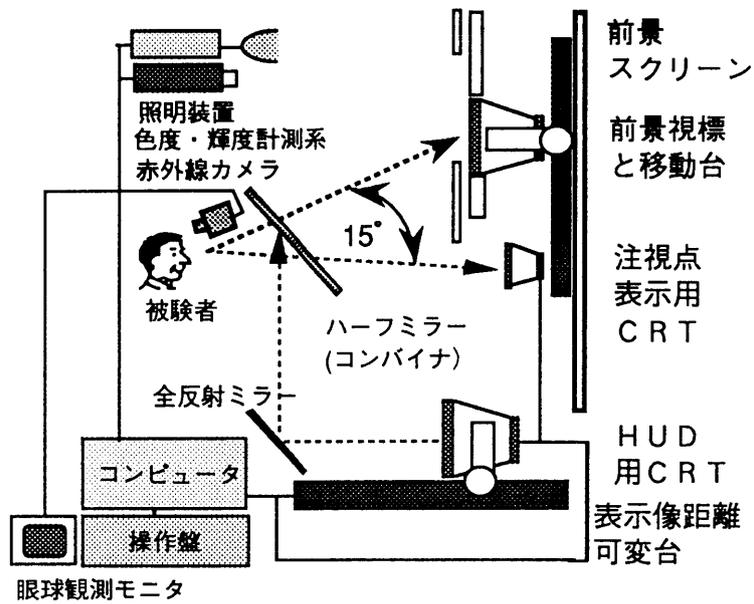


図 6.6：評価装置のブロックダイヤグラム

6. 4. 1 実験手順

(1) 正答率 η_s

同一条件で前景視標を 100 回以上呈示しスネレン図形対の開口部方向を被験者に口頭報告させた（不明応答は許さない）。評価尺度である正答率 η_s は次のように定義した。

$$\eta_s = \frac{\text{呈示視標の開口部方向を正しく答えた回数}}{\text{全視標呈示回数}} \times 100 (\%) \quad (6-4)$$

(2) 手順

- (a) 評価装置の調整・設定；前景輝度，前景視標輝度対比等
- (b) 屈折力（視力等）の測定
- (c) 被験者の目の順応（10 分間）

(d) 約100回の試行による予備練習；被験者はヘッドアップディスプレイ表示像がない状態で図6.3に示すように、注視点表示用CRTを注視し、CRT上の視標が消えると同時に視線を移動して約15度右に離れたスネレン図形を注視し、開口部方向を口頭報告する。

(e) 前景視標サイズの基準化；2種類のスネレン図形を呈示し正答率が80%になる図形寸法（線幅 a ）を内挿法で定める。

(f) ヘッドアップディスプレイ表示像の距離や充填率、輝度指数、前景視標の移動速度等を変化させ、スネレン図形の正答率を評価する。

6.4.2 実験結果

(1) ヘッドアップディスプレイ表示像セグメントサイズの決定

予備実験で応答の安定していた中から3名の被験者（M・F，Y・N，N・O）を選び正答率のセグメントサイズ依存を調べた。実験条件として充填率50%，輝度指数50，表示像距離は5m（前景と同じ）と0.7m（通常のメータであるヘッドダウンディスプレイに相当）の2条件を調べた。

スネレン図形セグメントサイズに対するチェッカーパターンセグメントサイズの比（ a/b ）と正答率の関係を図6.7に示す。正答率はチェッカーパターンのセグメントサイズに大きくは依存しないことが分かった。以下の実験ではチェッカーパターンのセグメントサイズとスネレン図形のセグメントサイズを同一（ $a/b=1$ ）にした。表示距離によって正答率 η_s が異なるのは、両眼の位置の差によりヘッドアップディスプレイ表示像とスネレン図形との重なり具合が異なるための効果と考えられる。

(2) 輝度指数と充填率の影響

表示距離0.7mと5mについて、それぞれヘッドアップディスプレイの輝度指数 S をパラメータに正答率の充填率依存性を調べた。充填率100%での表示像輝度指数 S と7名の平均正答率、 η_s の関係を図6.8に示す。表示像距離による依存は殆ど見られないが輝度指数 S が上昇するに伴い正答率は低下

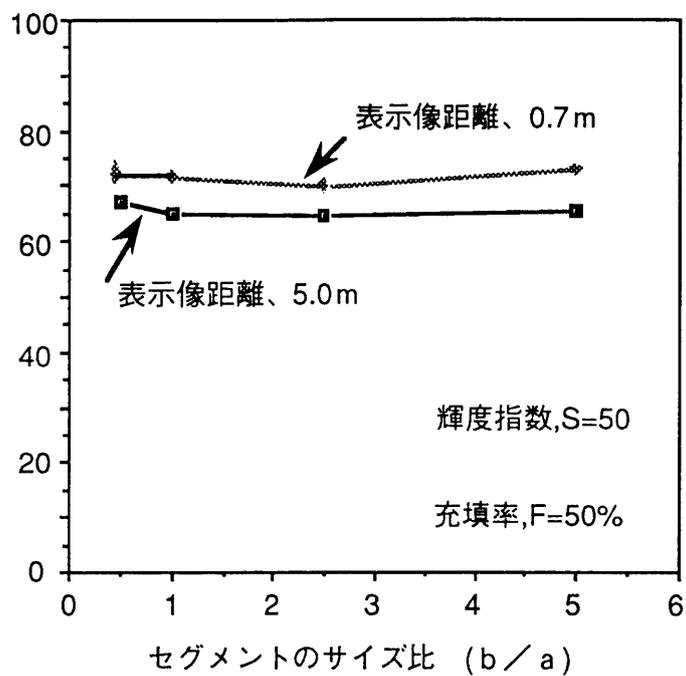


図 6.7：正答率 $\langle \eta_s \rangle$ のセグメントのサイズへの依存性

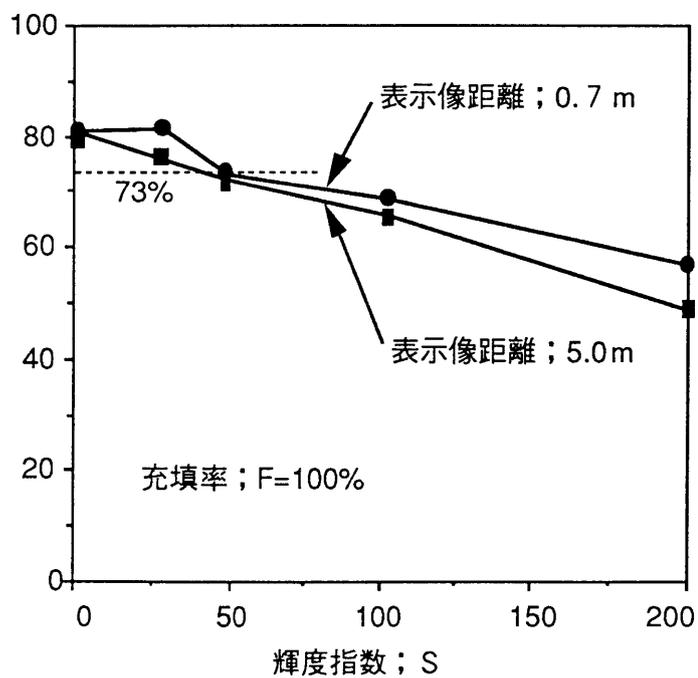


図 6.8：正答率 $\langle \eta_s \rangle$ の輝度指数 S への依存性

傾向を示す。次に充填率 F と正答率 η_s の関係を図 6.9, 図 6.10 に示す。表示距離や輝度指数の大小によって若干の差異はあるが、充填率が上昇するに従い正答率が低下し充填率が 50~60% で正答率が最小になる。さらに充填率を増加すると正答率は再び上昇する下に凸の曲線になる。

(3) 前景視標の移動の効果

スネレン図形の移動が正答率に与える影響を調べた。充填率は各輝度指数で正答率が最小になる 50% とし、表示像距離は 0.7 m と 5 m の 2 通りに設定した。7 名の被験者の平均正答率、 η_s と移動速度 ω の関係を図 6.11, 図 6.12 に示す。表示像距離や輝度指数の大小によらず、角速度 ω が増加すると正答率は上昇する。正答率の上昇度合いは、 ω が 0.5 度/秒まで急峻でそれ以降は飽和の傾向が見られる。例えば輝度指数 S が 100, 表示像距離 5 m では、 ω が 1.5 度/秒以上になると正答率 η_s は、 ω が 0 度/秒の状態に対して 40% 以上も改善し、その後飽和することが分かる。表示像輝度指数 S が 100 以下では、ヘッドアップディスプレイ表示像が存在しない時の正答率である基準値の 80% 近くまで改善する。

6.5 周辺視による知覚実験 (ケース 2)

6.5.1 実験手順

(1) 正答率 η_T

次の 4 点以外は中心視による評価実験と同一である。

(a) 図 6.4 に示すタイムチャートでブザー音の 1 秒後注視点◎が 1 桁数字に変わる。

(b) 被験者は実験中視点を注視点から動かさない。

(c) 被験者は呈示された 1 対のスネレン図形が存在するか否かを答える。

(d) 正答率が 80% になるようスネレン図形の輝度対比を被験者に応じて基準化する。

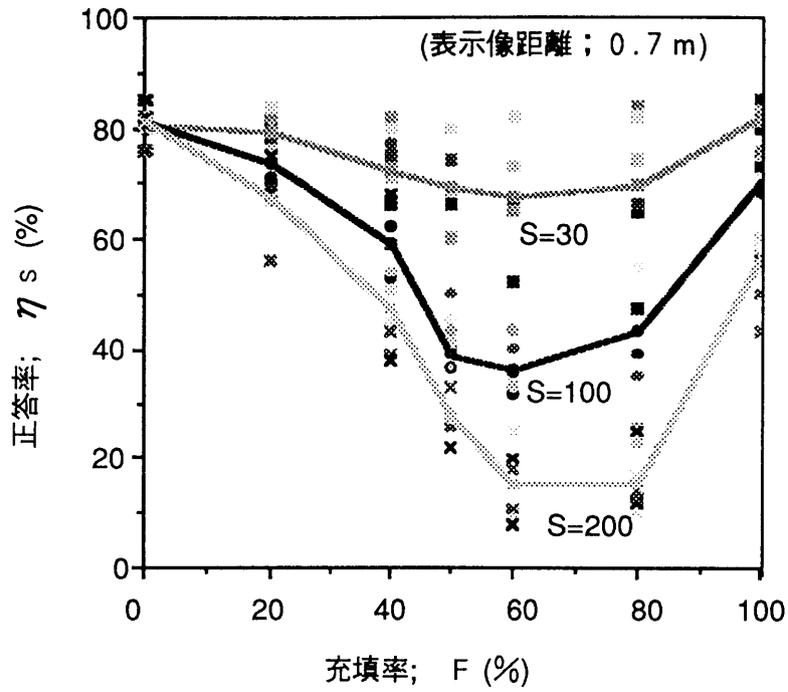


図 6.9 : 正答率(η_s)の充填率依存性

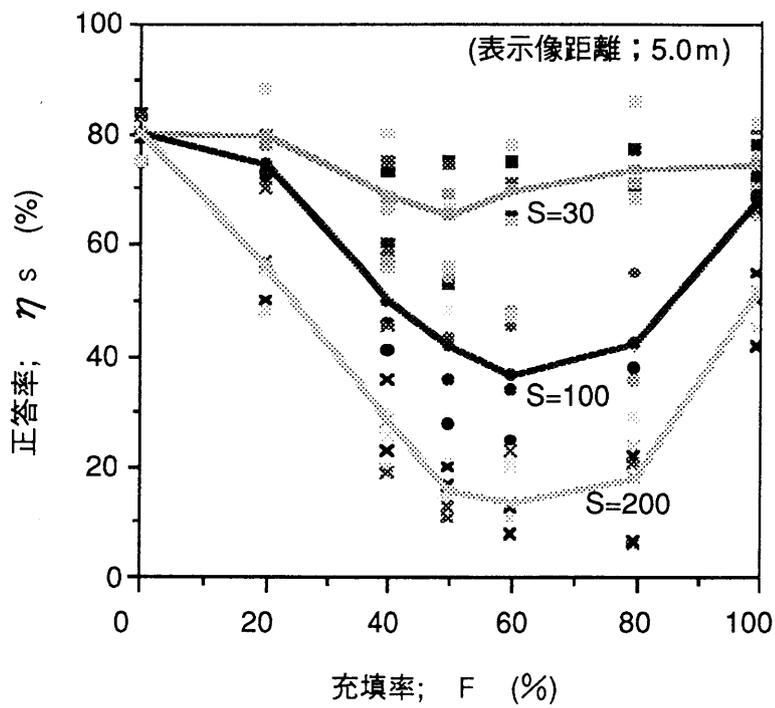


図 6.10 : 正答率(η_s)の充填率依存性

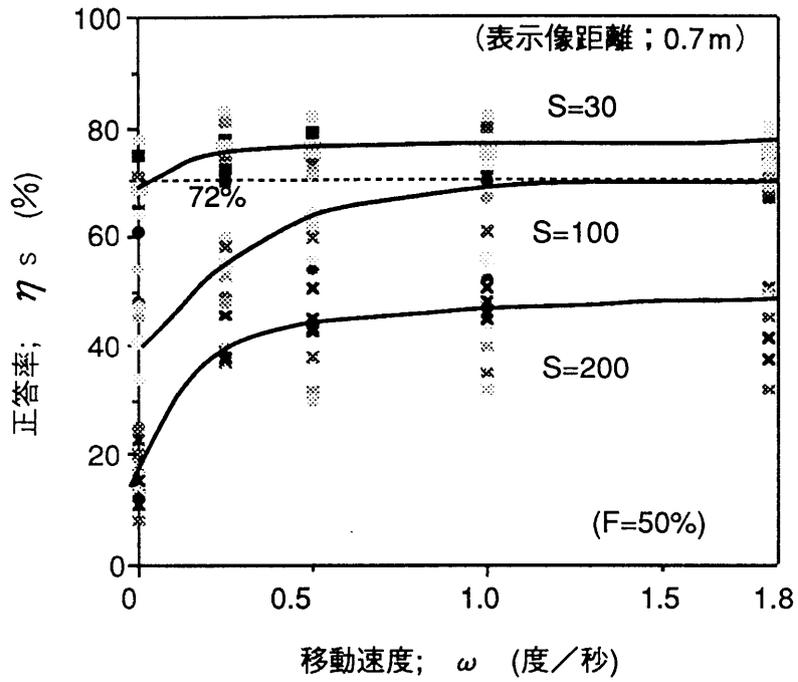


図 6.11 : 前景視標の移動による正答率(η_s)の改善

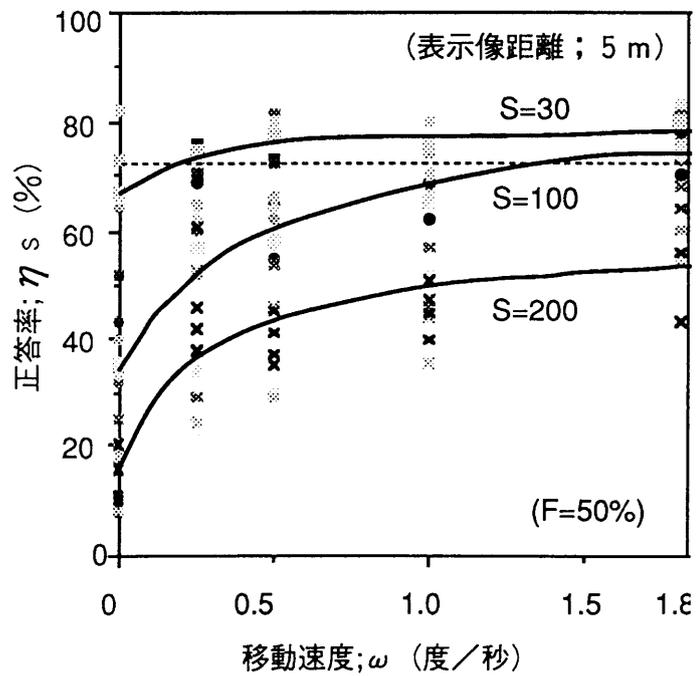


図6.12:前景視標移動による正答率の改善

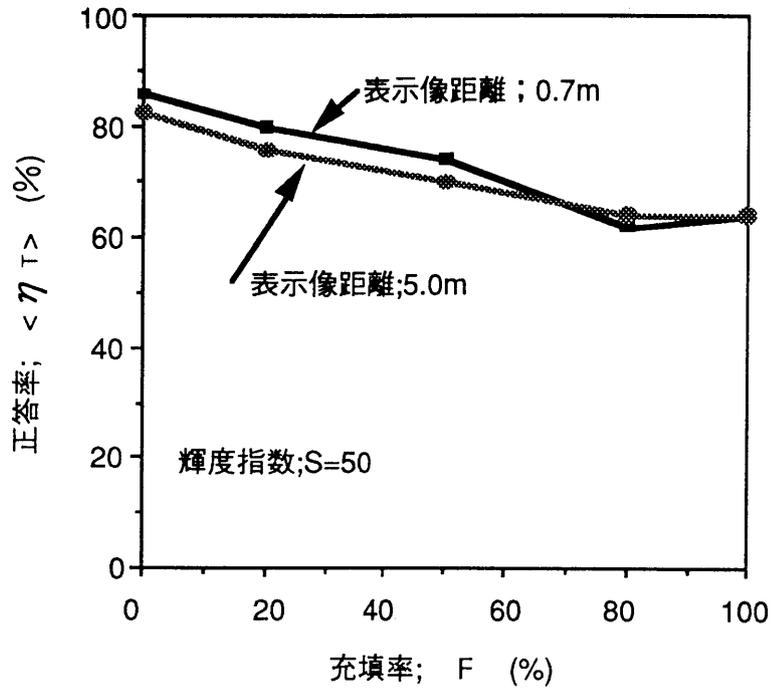


図 6.13 : 正答率 $\langle \eta_T \rangle$ の充填率依存性

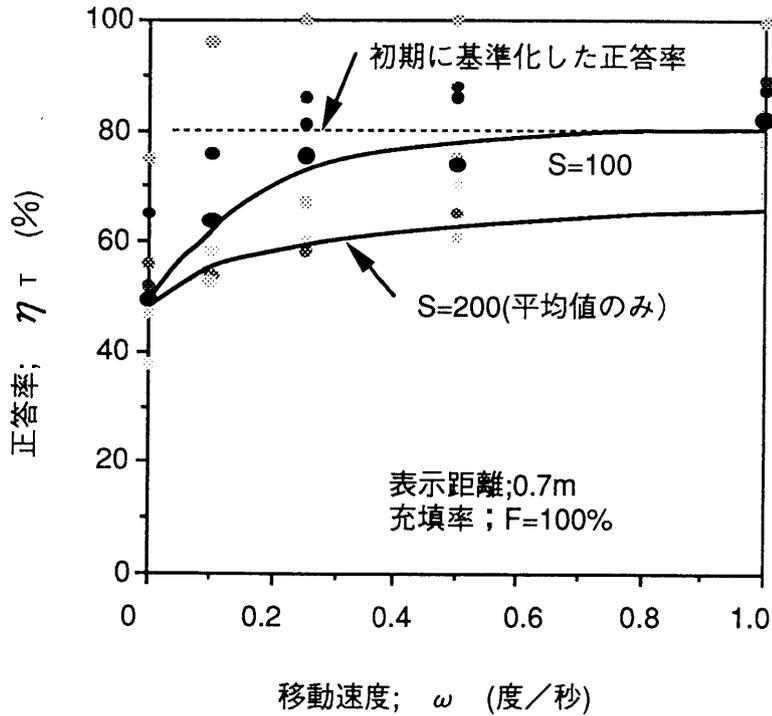


図 6.14 : 前景視標の移動による正答率 (η_T) の改善

(e) スネレン図形呈示回数約100回の半数は実際には図形を呈示しない。
ケース2での正答率 η_T は次のように定義した*。

$$\eta_T = \frac{\text{呈示視標の有無を正しく答えた回数}}{\text{全試行回数}} \times 100 (\%) \quad (6-5)$$

(2) 手順

(a) 実験系の調整・設定；前景輝度，前景視標輝度対比等

(b) 被験者の目の順応（10分間）

(c) 約100回の試行による予備練習；注視点を注視し続けながら，右15度の位置の1対のスネレン図形の有無を口頭で答える。

(d) 前景視標輝度対比の基準化；ヘッドアップディスプレイ表示像のない状態で輝度対比を変化させ正答率80%の値を内挿法により求める（視標の大きさはケース1で定められたサイズ）。

(e) 前景視標スネレン図形にヘッドアップディスプレイ表示像を重畳し，表示像の輝度指数 S と移動速度 ω を変え正答率を計測する。ケース1と同様，試行回数は100回以上取り，正答率の安定度をモニタしながらデータとする。

6. 5. 2 実験結果

(1) 表示像輝度指数と充填率の影響

表示距離0.7mと5mについて，それぞれ輝度指数 S を50に設定し正答率 η_T と充填率の関係を調べた。結果を図6.13に示す。充填率が上昇するに従い正答率 η_T が低下し充填率が80%～100%で正答率が最小になる単調減少の傾向を示す。正答率 η_T の表示像距離依存は充填率が高くなるに従い小さくなり充填率100%では二つの曲線はほぼ一致した。また図6.12での $S=50$ ，後述する図6.14での $S=100, 200$ の各正答率 η_T の値から，輝度指数 S が大きくなると正答率は低下する傾向を有することが分かる。

*視標が存在するのに，“無し”と答える誤りと，視標が存在しないのに，“有り”と答える誤りがある。自動車走行では両方とも重大な過誤になると考え，ここでは両方の誤りを同等に扱った。

(2) 前景視標の移動の効果

ケース1と同じように前景視標の移動が正答率 η_T に与える影響を調べた。充填率は各輝度指数で正答率 η_T が最小になる100%とし表示像距離は0.7mに設定した。7名の被験者の平均正答率、 η_T と移動速度の関係を図6.14に示す。輝度指数の大小によらず、角速度 ω が増加すると正答率 η_T は上昇する。正答率 η_T の上昇割合は、 ω が0.2度/秒まで急峻でそれ以降はなだらかになる。例えば輝度指数Sが100では ω が0.5度/秒以上になると正答率 η_T は約30%改善する。輝度指数Sが高くなると正答率 η_T は低下する傾向があることを考慮すると、Sが100以下なら ω が1.0度/秒程度になると、ヘッドアップディスプレイ表示像が存在しない時の基準正答率である80%近くまで正答率の改善が見込まれることが予測できる。

6.6 考察

6.6.1 表示像輝度と表示像パターン

ヘッドアップディスプレイ表示像輝度が高くなると前景視標の認識・知覚特性に影響がでる場合がある。これは中心視と周辺視とも基本的には同じ傾向である。輝度が高くなるに従い前景視標の正答率が低下するのは、視標の等価的な輝度対比が相対的に低下するためと考えられる。

ヘッドアップディスプレイ表示像の輝度値が同一でもパターンの複雑さによって前景視標の認識・知覚特性に影響がでる。この影響は中心視と周辺視とは異なり、中心視では表示パターンの充填率Fが50%から60%で最も大きく、周辺視では80%から100%で最も大きい。

充填率Fが0%や100%なら点灯セグメントと非点灯セグメントとの境界線は存在しないがその中間の充填率Fでは境界線が発生し、(点灯セグメントのランダム性を考慮すると)充填率Fが50%前後で境界線(境界線分)の数は最大となる。充填率Fが50%前後で正答率 η_S が低くなるのは、前景視

標で重要な情報を有する箇所（実験では”E”の切れ目部分）にヘッドアップディスプレイ表示像（チェッカーパターン）の境界線が存在する確率が最も高くなり、境界線の効果によって前景情報（開口部方向）が見誤り易いためと考えられる。

この結果は表示エリアの大きいヘッドアップディスプレイでは表示パターンをできる限り単純図形（充填率Fが大かまたは小）にするのが有利であることを示唆している。

6. 6. 2 視標移動による改善メカニズム

チェッカーパターンを通して低速で移動する前景視標を注視すると、被験者の目にはチェッカーパターンが前景視標とは逆方向に移動しパターンに応じてON/OFFする信号が見える。十分速い速度でチェッカーパターンが移動すれば、ON/OFFするセグメントの明滅が融合され平均的な明るさの表示像（充填率100%に相当）に見えると考えられる⁽¹⁵⁷⁾。一般的に明滅が融合したときの平均的明るさはTalbot-Plateauの法則⁽¹⁵⁸⁾に従い等価的な見かけの輝度 B_A は、 B_{ON} 、 B_{OFF} をそれぞれON、OFF時の輝度として次式で与えられる⁽¹⁵⁹⁾。

$$B_A = \frac{t_1 B_{on} + t_2 B_{off}}{t_1 + t_2} \quad (6-6)$$

但し、 t_1 、 t_2 はそれぞれON時間、OFF時間。充填率がF%で各セグメントがランダムにON/OFFしているセグメント像の移動はデューティ比F%でON/OFFする明滅信号と見做せよう。充填率Fから等価的な平均の明るさ B_A を求めると式(6-7)のようになる。

$$B_A = \frac{t_1 \times B_s}{t_1 + t_2} = \frac{F B_s}{100} \quad (6-7)$$

但し B_s はチェッカーカードパターンセグメントの輝度である。即ち Talbot-Plateau の法則によると、充填率 F 、輝度 B_s のヘッドアップディスプレイ表示像は車両の移動によって輝度 B_A 、充填率 100% の表示像と同等の前景視認特性を有することを示唆している。

実際、充填率 F が 50%、輝度指数 S が 100、視標移動速度 ω が 1.8 度/秒の正答率（図 6.11 で $\eta_s \sim 72\%$ ）が、 $F = 100\%$ 、 $S = 50$ 、 $\omega = 0$ 度/秒の正答率の値（図 6.8 で $\eta_s \sim 73\%$ ）と比較的よい一致を見る。充填率 100% での輝度指数対正答率の関係を予め知っておけば、車両移動時の任意の充填率の正答率を式（6-7）で予測できることを示している。

充填率 F が 50% のチェッカーカードパターンの移動によって生ずる点滅のフリッカ周波数を F_L Hz とすると、 F_L は ω と表示像の線幅 b とで次のように記せる。

$$F_L = \frac{10^3 \pi \omega}{180 \times 2b} = \frac{17.45 \omega}{2b} \quad (6-8)$$

代表的なスネレン図形サイズ a が 0.5 mrad（約 0.029 度）と図 6.10、図 6.11 で正答率が飽和し安定したと思われる ω が約 2 度/秒の値を式（8）に代入すると、 F_L は約 34 Hz となり臨界フリッカ周波数⁽¹⁵⁸⁾に近いことが分かり、ON/OFF する表示像パターンの臨界フリッカによる融合を示唆している。

6.6.3 表示像輝度の許容値推定

被験者 3 人を選び正答率 η_s の分布を求めた。内挿法により求めた正答率 80% のスネレンサイズを用い、被験者の疲労状態に注意しながら、それぞれ 20 試行を 500 回（100 試行 100 回に相当）取った。データのヒストグラムを χ^2 検定（危険率 5%）するとそれぞれは正規分布と推定された。それぞれのヒストグラムから母集団の標準偏差 σ_{s_0} を推定すると 3 人の間の差は余

りなく6～9%になった。正答率の標準偏差は人間の注意力の変動や心理状態、口頭応答までに至る過程で起こる情報処理の誤り等によって起こるばらつきを意味していよう。

本実験の正答率 (η_s ; 100回試行の正答確率) は5つの20試行の平均値と考えられる。100試行で基準正答率80%に近い正答率 m_x を得たとすると、 $\Delta = (80 - m_x)$ として(9)式のZは標準正規分布をとることが知られている⁽¹⁶⁰⁾。

$$Z = \frac{\Delta}{\sqrt{\frac{\sigma_{80}^2}{5} + \frac{\sigma_x^2}{5}}} \quad (6-9)$$

正答率80%近傍は近似的に $\sigma_{(80)} = \sigma_x$ とおける(正答率 $\eta_s = 50\%$ 近傍で100データを取り標準偏差を求めると正答率80%の時より20%程度大きくなる。 m_x が80%に近いことを考えるとこの近似は可能と考えられる。)ので、 m_x が80%と有意な差が認められない領域は危険率5%で8～12%と推定される。

80%からの低下が約8%内を基準正答率と同等と見做し、図6.11、図6.12で基準正答率から8%ダウンのラインを引くと、停車時に輝度指数30の許容幅が、車両移動時には輝度指数100強まで拡大することが分かる。この値は官能評価で求めた⁽⁶⁶⁾⁽¹³²⁾⁽¹⁶¹⁾表示像輝度上限値(前景輝度の約1倍)にも近い。

周辺視での正答率 η_T の改善データも合わせて考えると、自動車が停車している時にはヘッドアップディスプレイ表示像がない場合と同程度に前景が認識できる表示像許容輝度は、前景輝度の30%増し程度である。しかし自動車が僅かに移動すると表示像許容輝度は3～4倍に上昇することが結論される。

6.6.4 自動車での例

実際の自動車でのヘッドアップディスプレイとの関連をより明確にするた

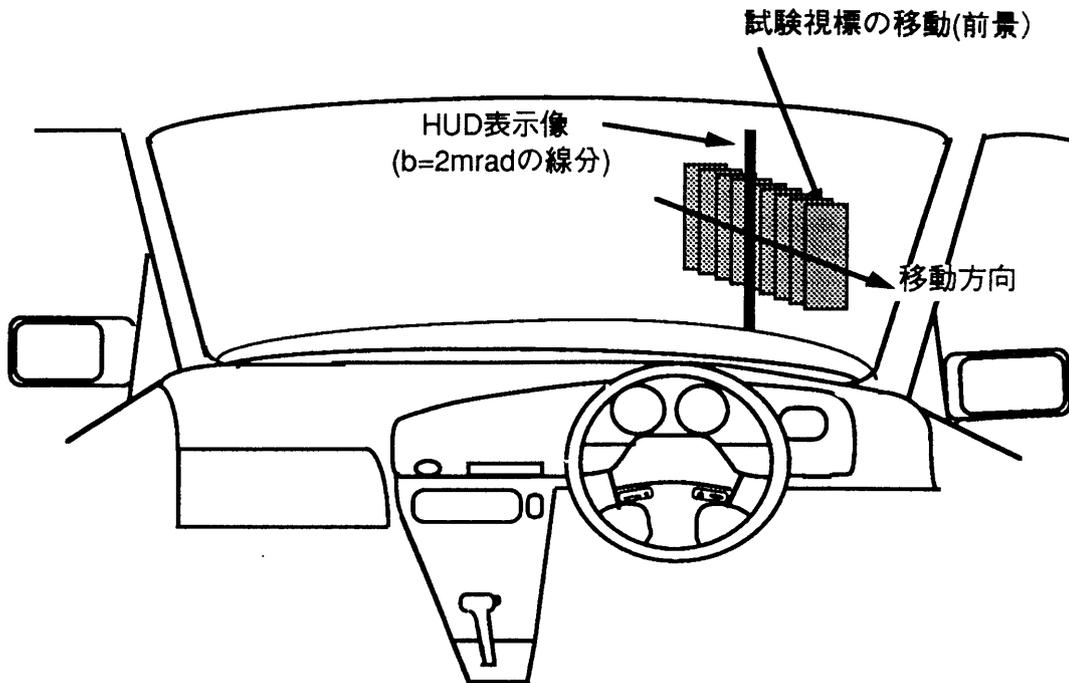


図 6.15 : 2mrad線分と試験視標の配置例

め最も単純な例を計算する。CIEで前照燈性能試験用視標の一つとして用いられている0.4m×1.5mの灰黒色の視標（着衣した人を想定）⁽¹¹¹⁾の認識とヘッドアップディスプレイ表示像の輝度の関係を考える。表示像は最も望ましい線幅として推薦した2mrad（約0.11度）の線分が図6.15のように表示されているとする。時速40km/hの市街地直進走行で右方向5度の場所に試験視標が有る場合を考える。安全停止距離⁽¹⁵⁶⁾25mを考慮し(6-1)式から視標の相対速度 Ω は次のように記せる。

$$\Omega = \frac{15.9 \sin(5) \times 40}{25} \sim 2.2 \text{ 度/秒} \quad (6-10)$$

視標が張る水平方向の視角 Θ は

$$\Theta = 0.4/25 \times \cos(5) = 15.9 \text{ mrad (約0.91度)}$$

表示像は経過時間、 Θ / Ω （ ~ 0.4 ；認識時間は0.4～0.7秒の報

告があり⁽¹¹⁵⁾、この例の0.4秒は妥当な範囲)秒で前景をよぎる。実際は視標の一部さえ見れば視標の認識はできると思われるが、ここではより厳しい条件として視標全体を見て始めて認識ができると考えると、水平方向の視角 θ の内、表示セグメントの存在する視角の比率から充填率Fは、 $100 \times 2 / 15.9$ となる。式(6-7)から等価的な表示像輝度(B_A)は停車時のヘッドアップディスプレイ表示像輝度 B_S で次のように記せる

$$B_A = \frac{2B_S}{15.9} = \frac{B_S}{8} \quad (6-11)$$

B_A は B_S の8分の1になり、ヘッドアップディスプレイ表示像の輝度は停車時に許容される輝度の8倍(輝度指数約240)まで高くできる。表示像認識の輝度指数の下限が約10であること⁽⁶⁶⁾⁽¹³²⁾⁽¹⁶¹⁾を考慮すると、この例では表示像輝度の適正領域は約14 dB有る。この例はいくつかの近似をしているが、低い充填率が適正領域を広げていることが分かる。

6.6.5 高輝度路面に対するデータの解釈

池田等の報告によれば⁽¹¹⁷⁾、順応輝度が高くなると同一視力値を得るに必要な輝度対比は低くなる。

短時間視標呈示における正答率が視力値と密接な関係がある点を考慮し、かつ運転における路面輝度を順応輝度と見做すと、高輝度路面では最も暗い路面条件に相当する 2 cd/m^2 より低い輝度対比の前景視標でも正しく認識できると解釈できる。

ヘッドアップディスプレイ表示像が前景視標に重畳した場合の視認性低下の原因は、表示像重畳による等価的な輝度対比低下と考えられるため、路面輝度が 2 cd/m^2 より高い場合では、同程度の前景の視認性を得るなら、より高い輝度指数のヘッドアップディスプレイ表示像が許容されることを意味する。

この意味で路面輝度 2 cd/m^2 での本実験のデータや傾向は高路面輝度

の，ワーストケースの輝度指数許容値を与えると推測される。

6.7 まとめ

(1) 表示像が前景視対象に完全に重畳する場合には，表示像の輝度が高くなると中心視，周辺視共に前景視対象の認識・認知特性が低下する。この低下の程度は表示像距離にも依存する。

(2) 表示像輝度が同一であっても，中心視では表示像パターンが複雑になると前景の認識特性が低下し，周辺視では表示像パターンが全面一様輝度面に近くなるに従い認知特性は低下する。

(3) 車両が僅かでも移動すると中心視，周辺視共に，前景視対象の認識・認知特性は大きく改善する。改善のメカニズムにはTalbot-Plateauの法則から求められる見かけの表示像輝度条件で近似ができる可能性がある。

(4) 車両移動により前景視対象の認識・認知特性が改善すると，前景視対象の認識・認知特性の表示像距離への依存性はなくなる。

第7章

実車走行実験による検証と評価⁽¹⁶²⁾

7.1 はじめに

第6章までは、開発した評価装置を用いてヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイを実験室で評価し、表示像距離や表示像俯角等の設計変数と、前景や表示像の認識特性との関係を考察・評価してきた。

実験室実験の結果として、自動車用ヘッドアップディスプレイでは表示像距離が特に重要な設計変数であり、表示像距離の遠方設定が最適設計を行う上で重要であることを述べた。

ドライバが運転するとき、目は数十メートル遠方を見ていると言う報告⁽¹⁶³⁾⁽¹⁶⁴⁾もある。第4章で表示像俯角には最適な有限の領域が存在することを示したが、表示像距離については、実験室実験の結果をそのまま解釈すると数十メートルや無限遠点に設定すべきなのであろうか。

運転中のドライバの頭部移動量はパイロットに比較して格段に大きい⁽²⁸⁾⁽⁶⁹⁾⁽¹⁴³⁾⁽¹⁶⁵⁾。大きな頭部移動量と表示像の遠方結像を両立しようとする必然的にヘッドアップディスプレイ筐体のサイズが極めて大きくなり⁽¹⁶¹⁾、車載性や装着性が低下する。航空機用ヘッドアップディスプレイでの表示像距離は通常無限遠点に設定される⁽²⁸⁾。若し車載性や装着性を無視できるとしたら自動車用ヘッドアップディスプレイの表示像距離は航空機と同じように考え

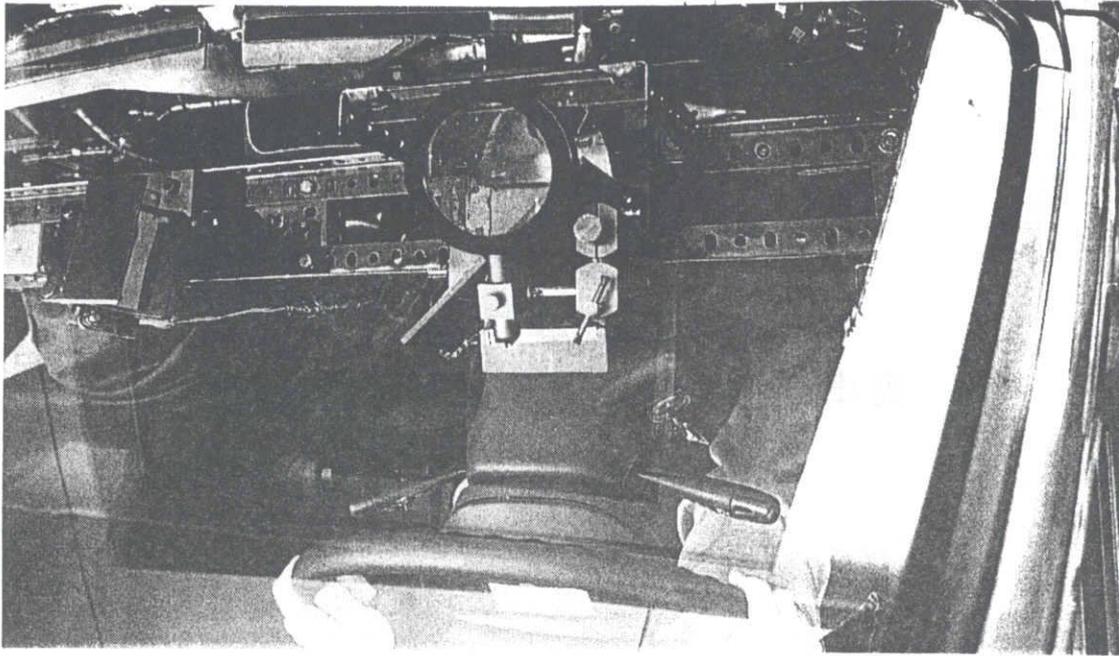


図7.1：実験車両改造インストルメントパネル部
 (上面のカバーを取り除いて上方から見た写真)

表 7.1：走行道路の条件

ケース No.	走行道路条件		車速 (k m/h)
1 市街地走行相当	低・中混雑 低速走行	片側一車線・歩行者・対 向車あり	10~40
2 高速道路走行相当	低混雑高 速走行	片側二車線以上、対向車 あり、歩行者なし	80~100
3 市街地走行相当	低・中混雑 中速走行	片側一車線・歩行者・対 向車あり	60~70
4 市街地走行相当 (曲線路のみ)	低・中混雑 低速走行	片側一車線・歩行者・対 向車なし (30~80 R)	30~40
5 市街地走行相当 (曲線路のみ)	低・中混雑 中速走行	片側一車線・歩行者・対 向車なし (60~150 R)	60~70

られるのであろうか。

前景物標の配置や種類等パイロットとドライバとの視環境の相違を考慮すると、自動車用ヘッドアップディスプレイの表示像距離が航空機用ヘッドアップディスプレイと同じ考え方で決定されると考えるのには若干無理があるようにも思われる。

本章では、第2章で述べたヘッドアップディスプレイ搭載実験車を用いて、実際の自動車走行実験で、ヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイを比較評価すると共に、表示像距離最適化に際して考慮すべきファクタについて考察した。

実験1では表示像距離の長短が、ドライバに感覚的にどのように受け取られているかを官能評価した。結果を主成分分析し、表示像距離最適設計には実験室実験で考慮した前景と表示像との認識に関わる成分に加え、実際の自動車走行環境では第三の成分をも考慮すべきであることを示した。実験2ではヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイの表示像情報認識時間を計測し、定量的にヘッドアップディスプレイの優位性を明かにし、追突事故低減と言う観点からヘッドアップディスプレイの効果について若干の考察を行なった。

7. 2 実験 1

7. 2. 1 実験方法

(1) 実験車両 走行実験は第2章で述べた実験車両を用いた。図7.1にヘッドアップディスプレイを搭載した実験車両（'89年型日産ブルーバード）のインストルメントパネル主要構造部の写真を示す。

ヘッドアップディスプレイの光学系は、表示光を放射するプロジェクタとコンバイナ（表示光の反射と前景の透過視認を行なうーフミラー）から構成される。

表 7.2：表示装置の条件

タイプ	表示像距離(L)	俯角(θ)	種類
A	1.5m	5度	ヘッドアップディスプレイ ↑
B	2.5m	5度	
C	4.0m	5度	
D	5.0m	5度	
E	0.7m	20度	ヘッドダウンディスプレイ

7セグメント数字表示 表示色；緑色 セグメントの線幅 視角；3.5 mrad

表 7.3：評価語と評点

変数	評価語(対)	備考
X 1	表示像を	素早く読める (読むのに時間がかかる)*
X 2	表示像の存在に	違和感がある (違和感がない)
X 3	表示像を見た直後	前景の変化に気づきやす (前景の変化に気づきにくい)
X 4	表示像の近傍で	(前景が見やすい) 前景が見にくい
X 5	表示像を	読むのに楽である (読むのに苦勞する)
X 6	表示像の存在に	疲労感がある (疲労感がない)
X 7	表示像の存在に	(圧迫感がない) 圧迫感がある
X 8	表示装置は	好ましい (嫌いである)
X 9	表示像の存在に	抵抗感がある (抵抗感がない)
X 1 0	表示像と前景の	(区別が付きやすい) 区別が付きにくい

評点

1	2	3	4	5
基 準 と	同 じ に	僅 か に	や や り	非 常 に

* ()の評価語は予備実験で"2"以上に該当するの評点がなかったので実験Iでは省略している。

コンバイナに用いたウインドシールドは、二重反射像を防ぐため反射率が緑色光のみ高くなるように増反射膜を車室側全面にコートした（裏面反射像輝度対表面反射像輝度比1/10以下。'88年型日産シルビア用ヘッドアップディスプレイ同等特性⁽¹⁶¹⁾）。

プロジェクタは表示体（高輝度蛍光表示管）と凸レンズ（焦点距離800mm、口径120mm）、平面表面鏡からなり、表示体と凸レンズとの間隔を変化させることにより表示像距離を調節した。ドライバの目の位置にレンズの焦点位置を一致させ、表示像距離を変化させても表示像のサイズ（視角で表したセグメント線幅）が変わらないようにした（図2.14）。

実験走行中の前景路面に対する表示像の輝度対比を1.13～1.75の範囲に入るよう実験毎に表示像の輝度を調節した。

（2）実験条件 道路走行条件は、表7.1に示すケース1（低・中混雑低速走行）とケース2（低混雑高速走行）の二条件⁽¹⁰⁸⁾⁽¹⁰⁸⁾を選んだ。道路はすべてアスファルト路面。各条件での一回の走行時間は約5分。

環境条件は、周囲の明るさによる影響を考慮して昼間と夜間（日没後、前照燈点灯走行）の二条件とした。天候は曇りからうす晴れ。路面輝度は、昼間はおおよそ1,000から3,000cd/m²、夜間は（ヘッドアップディスプレイ表示像近傍の前景路面で）1から2cd/m²であった。

表示装置の条件は、表7.2に示す4種類のヘッドアップディスプレイと比較評価の基準となるヘッドダウンディスプレイの5種類。

全実験条件は、道路と環境、表示装置の三種類の条件の組み合わせからなる計20種類である。一つの実験条件で二度（被験者の要求があるときのみ三度）走行した。

（3）被験者 被験者は累積走行距離50,000km以上の経験を有する若年齢者層（20～32歳の男子）10名と、高年齢者層（37～52歳の男子）11名。

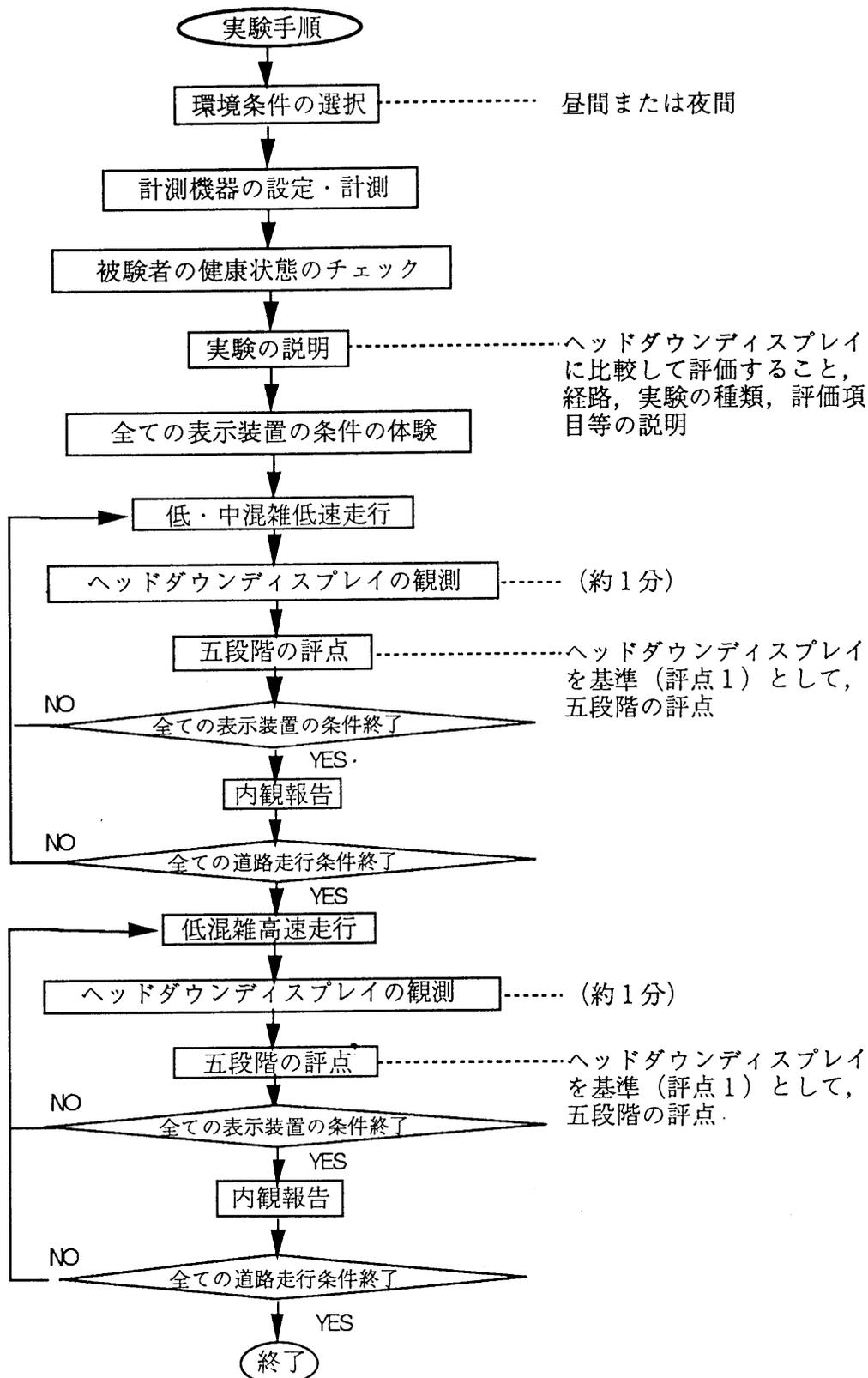


図 7.2：実験手順(実験1)

(4) 予備実験 予備実験では若年齢者層 5 名が全実験条件を走行し評価語を定めた⁽¹⁰⁶⁾⁽¹⁰⁷⁾⁽¹⁶⁶⁾。表示状態や前景に関する評価語を抽出し、互いに反対の意味を表現する 28 の評価対語（従って 56 の評価語）を選定した。

つぎに評価語にそれぞれ五段階の単極尺度を取り、実際に評点を付けた。評点が見つからない項目や抽象度の高い語等は整理し、さらに評点間の相関が強い語をまとめ最終的に 10 個の評価語を選定した。各評価語と評価尺度⁽¹⁰⁶⁾⁽¹⁶⁷⁾を表 7.3 に示す。

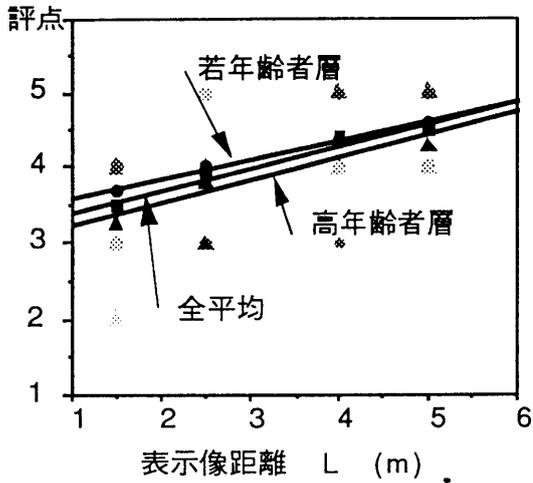
(5) 実験の手順 被験者は運転席に座り後席には走行状態のチェックや突発的な事象の有無を確認するため、オペレータが同乗した。実験の手順を図 7.2 のフローチャートに示す。

7. 2. 2 実験 1 の結果

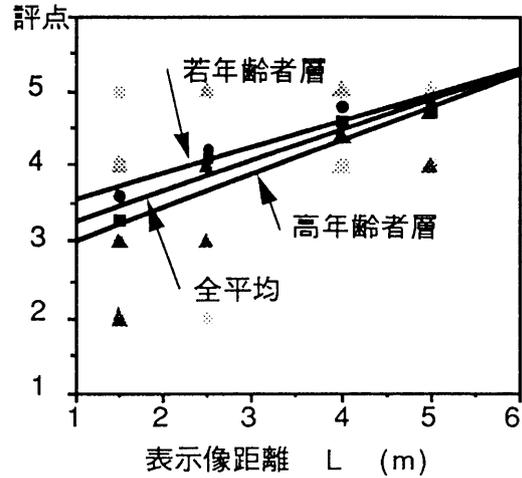
(1) 結果の表記 実験結果は各条件について、表示像距離 L を横軸に、各評価語の評点を縦軸にとり表記した。データの散らばりの程度を示すために、全被験者の評点データをドット類で示し、年齢層別平均と全平均を求め、それぞれ回帰直線を付記した。

(2) 結果 全般的に昼間・夜間の差がほとんど見られなかったもので、以下特に断らない限り昼間のみの結果を示す。

(a) X 1”表示が素早く読める” (図 7.3) 若年齢者層も高年齢者層とも、二つのケースでヘッドダウンディスプレイ (評点 1) に比較してヘッドアップディスプレイが高い評点を得ており、実験室実験の結果 (ヘッドアップディスプレイの優位性) と一致する。表示像距離 L が長くなると評点は高くなる傾向がある。これも実験室実験の結果と一致している。

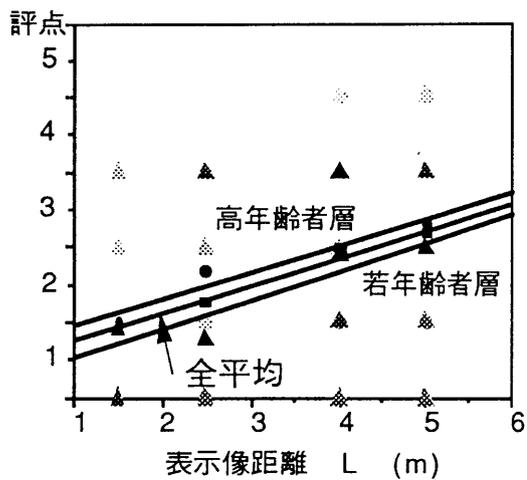
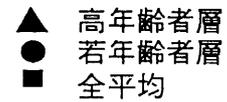


(a) ケース1 道路走行条件

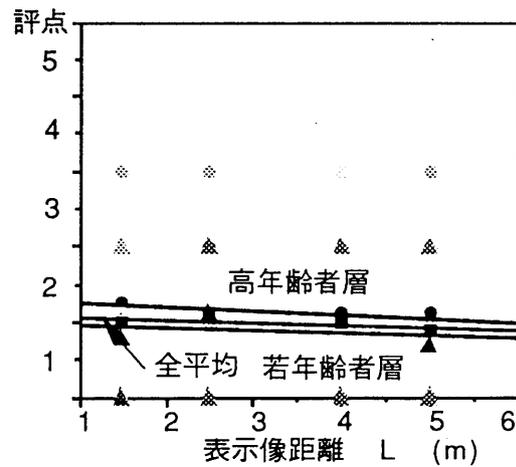


(b) ケース2 道路走行条件

図 7.3 : ”素早く読める” (X1) の評価

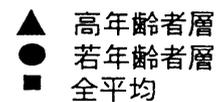


(a) ケース1 道路走行条件



(b) ケース2 道路走行条件

図 7.4 : ”違和感がある” (X2) の評価



(b) X 2 ”違和感がある” (図 7.4) ケース 1 では高年齢者層も若年齢者層とも、表示像距離 L が長くなると評点は高くなり違和感が増す。

ケース 2 では高年齢者層も若年齢者層とも、表示像距離を長くしても評点は殆ど影響を受けず、やや低下の傾向さえ見られる。このことはヘッドアップディスプレイが高速走行に適していることを示唆している。

(c) X 3 ”前景の変化に気づきやすい” (図 7.5)

全体的にヘッドダウンディスプレイより高い評点を得ており、ヘッドアップディスプレイが、突発的に変化する前景に良好に対応できることを示唆している。

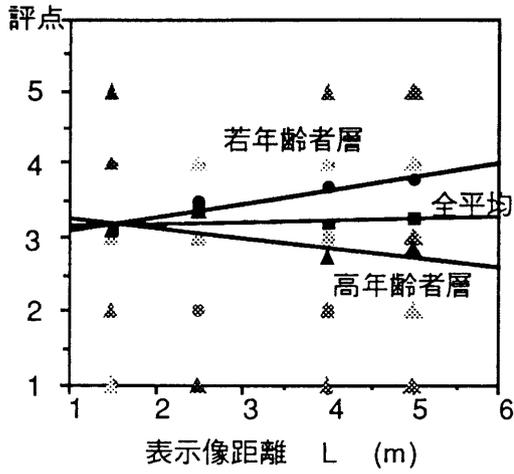
ケース 1, ケース 2 とも若年齢者層の評点平均の方が高年齢者層より高い傾向を示す。

ケース 2 では高年齢者層, 若年齢者層とも表示像距離が長くなると評点は高くなる傾向を示す。両者の回帰直線の勾配を見ると、若年齢者層では大きいが高年齢者層では小さい。前節の X 1 (後述の X 5 も) の場合には、高年齢者層と若年齢者層の回帰直線の勾配は余り変わらなかった。表示像と前景間の距離差短縮だけを考えれば、X 1 の傾向と X 3 の傾向とは一見矛盾するように見える。

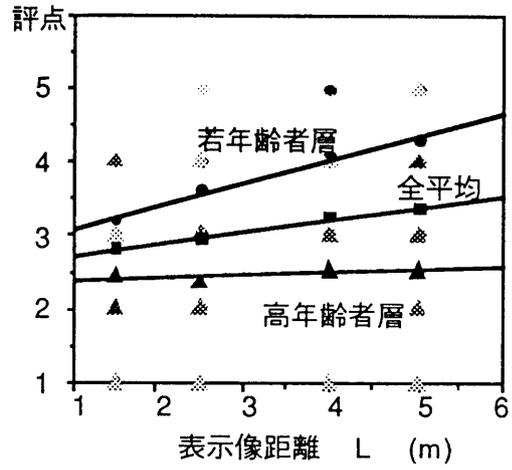
これは、X 1 では表示像の位置が予め特定できるが、X 3 では前景変化の位置がどこか特定できないので、ドライバーには前景内で変化する目標ターゲットを検索・発見することが必要となり、高年齢者層では探索・発見に時間がかかる⁽⁷⁹⁾ ためと説明できよう。即ち、X 3 の場合には高年齢者層での探索・発見応答遅れが、X 1 で見られた表示像と前景間の距離差短縮の効果を結果的にマスキングされるためと考えられる。

ケース 1 の若年齢者層では平均値の直線勾配が緩やかになるものの、ケース 2 と同様の傾向を示す。しかし高年齢者層では表示像距離が長くなると評点が低下する。これは次のように解釈できよう。ケース 1 (低・中混雑低速走行) ではドライバーの前景内視対象はより近くになる頻度が高くなる⁽¹⁶³⁾⁽¹⁶⁴⁾。

後述する被験者の内観報告の一つである”表示像が前景に埋まって見える”



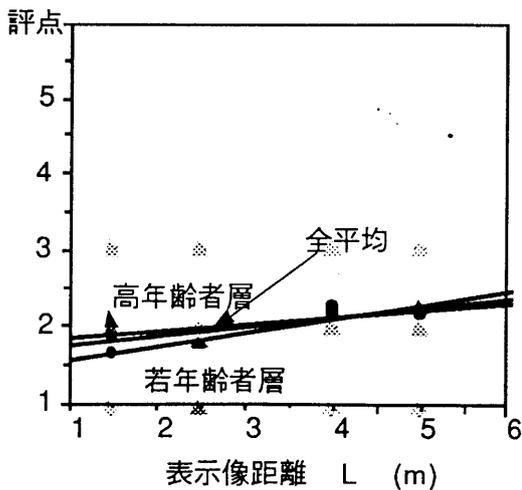
(a) ケース1 道路走行条件



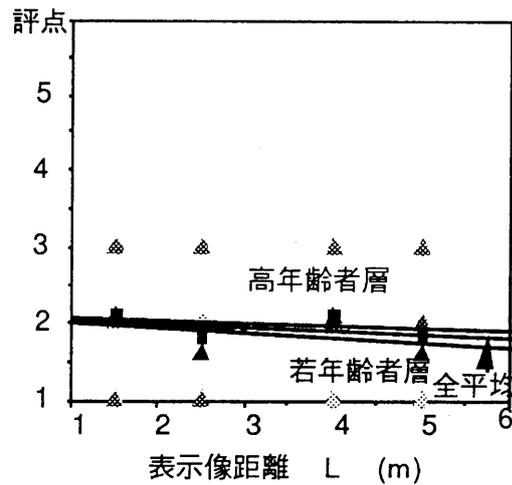
(b) ケース2 道路走行条件

▲ 高年齢者層
● 若年齢者層
■ 全平均

図 7.5 : ” 前景変化に気づきやすい” (X3) の評価



(a) ケース1 道路走行条件



(b) ケース2 道路走行条件

▲ 高年齢者層
● 若年齢者層
■ 全平均

図 7.6 : ” 前景が見にくい” (X4) の評価

に代表されるように、一般的に前景が表示像の近くに有り、視覚要件が増加する

と前景内の視対象の認識がしにくくなる傾向がある⁽¹⁵²⁾⁽¹⁵³⁾。これに加え、高年齢者層では前述した前景内の目標ターゲットの探索・発見が遅れるため、全体としての評点が低下すると言う解釈である。

(d) X 4 ” 前景が見にくい ” (図 7.6) 総じて評点は低く、ヘッドアップディスプレイによる前景認識への妨害は少ないことを示している。

評点の表示像距離への依存性は、ケース 1 で表示像距離が長くなると評点が高くなるが、ケース 2 では殆ど変化はしない。

実験室実験で表示像と前景視標を重畳させ前景の認識度合いを評価すると、表示像が前景視標に近接すると前景が認識しにくくなる⁽¹⁵³⁾。ケース 1 では比較的前景の視対象が表示像の近くに存在することを考え合わせると、図 6 の傾向はこの重畳の効果が評点に現われている可能性がある。

高年齢者層と若年齢者層の差はケース 1，ケース 2 ともほとんど見られない。これは、X 3 で考慮しなければならなかった前景内の目標ターゲットの探索・発見のプロセスがなく、高年齢者層での応答遅れを X 4 では考慮する必要がないためと解釈できる。

(e) X 5 ” 表示を読むのが楽である ” X 1 と同様の傾向なので省略する。

(f) X 6 ” 疲労感がある ” と X 7 ” 圧迫感がある ”

両者ともほぼ同じ特性を示す。夜間での評点が昼間より若干上昇する。昼夜の差が比較的大きい X 7 で結果を代表させた (図 7.7，図 7.8) 。

昼夜の比較をすると、後者ではやや評点のバラツキが大きくなり (標準偏差の最大値が約 0.6 から約 1.7 になる)，平均値も若干高く (約 0.5 高) なる。

評点が全体に低いことはヘッドアップディスプレイが疲労感や圧迫感 (後述する X 9 (抵抗感) も) の点で、ヘッドダウンディスプレイと余り差がないことを示している。

昼夜に関係なくケース 1，ケース 2 とも、表示像距離が長くなると評点は

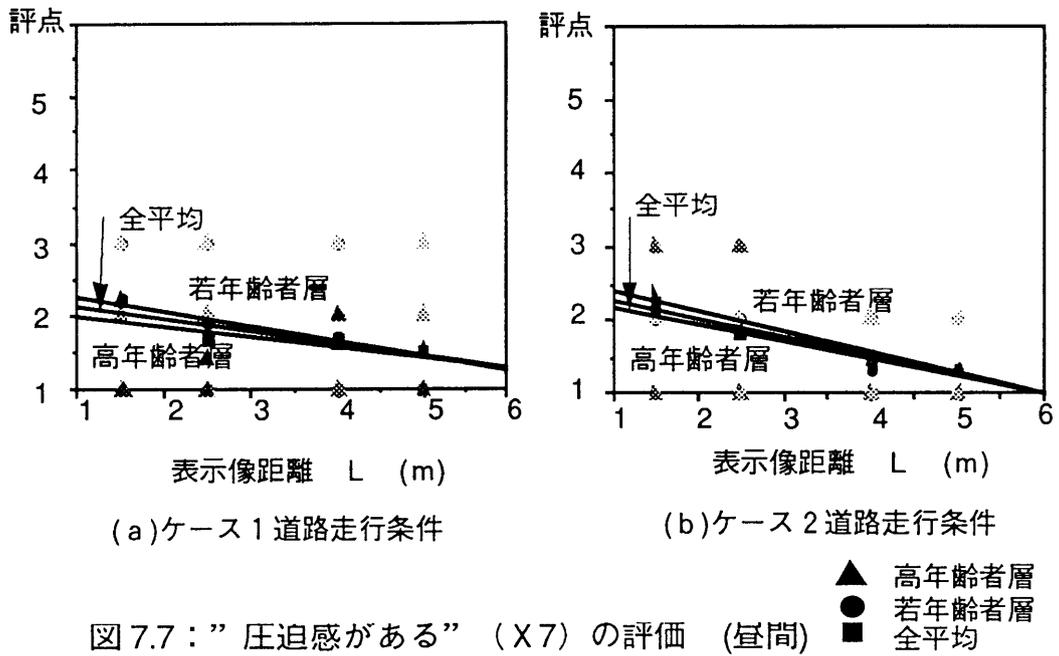


図 7.7: ” 圧迫感がある ” (X 7) の評価 (昼間)

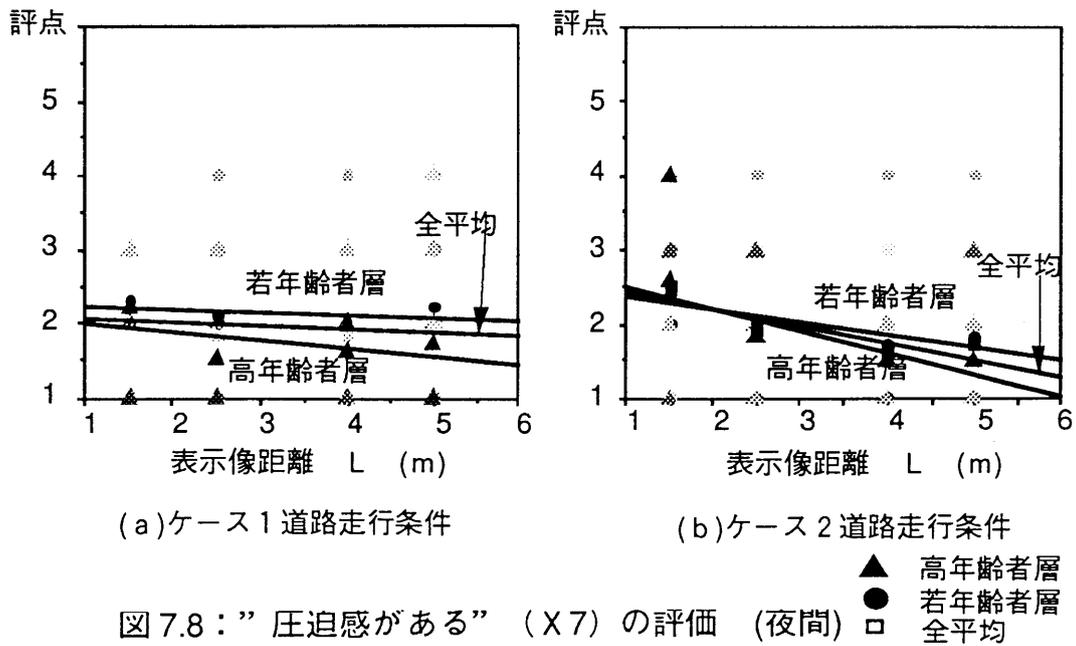


図 7.8: ” 圧迫感がある ” (X 7) の評価 (夜間)

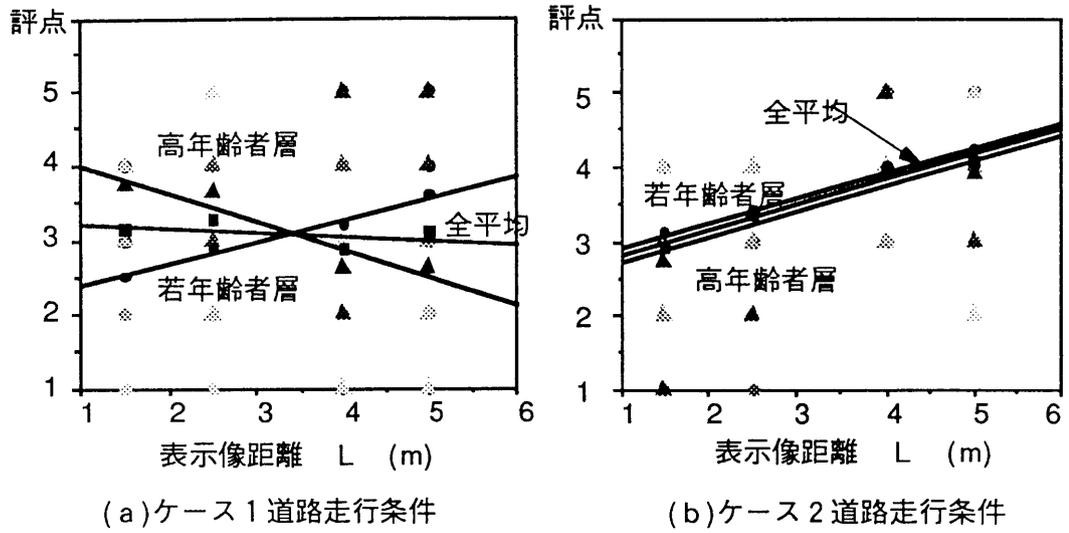


図 7.9: ” 好ましい ” (X8) の評価

- ▲ 高年齢者層
- 若年齢者層
- 全平均

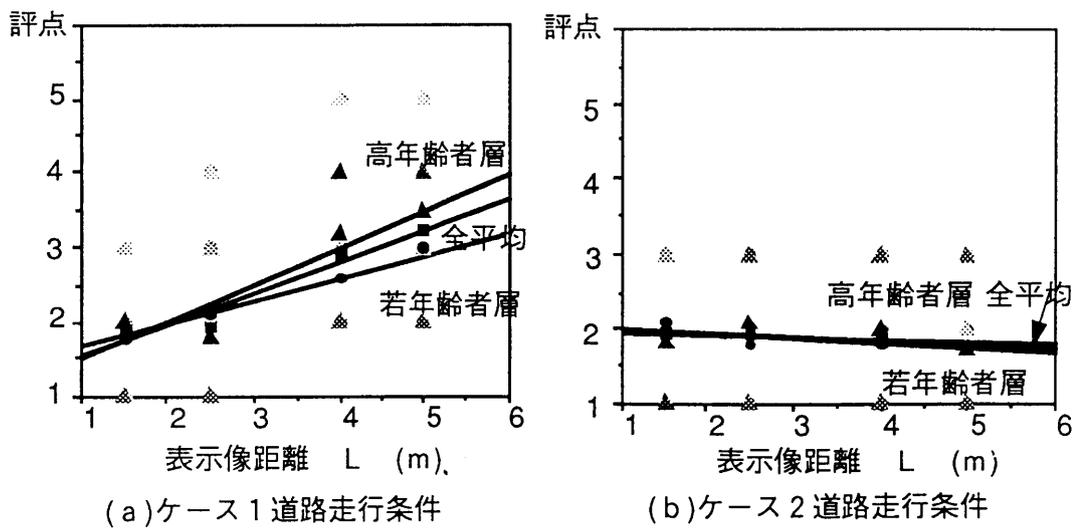


図 7.10: ” 表示像と前景が区別しにくい ” (X10) の評価

- ▲ 高年齢者層
- 若年齢者層
- 全平均

低下する傾向を示す。圧迫感の低下等は、前景より手前に存在する表示像が遠方に移動することを考えれば直感的にも理解できる。

(g) X 8 ” 好ましい ” (図 7.9) ケース 2 では表示像距離 L が長くなると高年齢者層も若年齢者層とも評点が高くなる。ケース 1 では表示像距離が長くなると高年齢者層での評点は低くなるが、若年齢者層では逆に高くなる。これはケース 2 では表示像距離を長くすると、どの評価語の評点も望ましい方向にシフトするのに比べて、ケース 1 では高年齢者層で表示距離を長くすると、前景視標の検索・発見が困難になったり (X 3 の効果)、表示像と前景の区別がしにくくなる (後述の X 10 の効果) 等の影響がで始めるためと考えられる。

(h) X 9 ” 抵抗感がある ” X 6 や X 7 とほぼ同じであるので省略。

(i) X 10 ” 表示像と前景が区別しにくい ” (図 7.10)。ケース 1 では高年齢者層も若年齢者層も表示像距離 L が遠くなると表示像と前景が区別しにくくなる。ケース 2 では表示像距離を長くしても評点は殆ど影響を受けず低下の傾向さえある。

表 7.4：被験者の内観報告

報告内容	関連する評価語
・ 前景が比較的近い時旋回すると表示像と前景が周辺視野でうまくマッチングしない。(車体から出た透明な長い棒の先に表示像がついている感じ)	X 2, X 8
・ 自動車フード近辺が違和感少ない。	X 2
・ 遠方結像の場合前景と表示像の区別が尽きにくい(背景に表示像が埋まった感じ)。	X 10, X 4, X 5
・ 遠方結像時表示像の俯角が大きくなった気がして気になる。	X 2
・ 曲線路では視点は曲がる先方向を見るので表示像は周辺視野に入る。	X 1
・ 高速時の遠方結像は予想以上に読みやすい	X 1、X 5、X 8
・ 路上の白線と表示像が重なった時見にくい。	X 1
・ 前景認識には(表示像の存在が)余り気にならない。	X 4, X 6, X 7, X 9

(4) 結果のまとめ

(a) ヘッドアップディスプレイはヘッドダウンディスプレイより概ね好感が持たれており、高速走行でより評価が高い。

(b) 表示像距離を長くすると、ヘッドアップディスプレイの”良さ”に関わる評点は全般的に高くなるが、低速市街地道路の一部で”わるさ”に関わる評点が高くなる（即ち悪化する）。

(c) (b) 項の特性は、最適化設計する上で、ヘッドアップディスプレイの”良さ”を実現するためには長く採る必要がある表示像距離に制約ファクタが存在することを示唆している。

7. 2. 3 被験者の内観報告

主な内観報告を表 7.4 にまとめた。表示像の認識に関連する報告にかぎりヘッドアップディスプレイの遠方結像については総じて良好で実験室実験の結果を裏付けている。

違和感 (X 2) や区別のしにくさ (X 1 0) 等の表示像と前景とのインターラクションに関連しそうな項目では、自動車が曲線路を旋回する時や、視対象となる前景が比較的近い距離⁽¹⁶³⁾⁽¹⁶⁴⁾になっている時、前景に視点があつて周辺視野内に表示像がある時等に起こりやすい。

7. 2. 4 主成分分析

SAS Institute社の主成分分析プログラム (S A S) を用い、評価データの主成分分析を行い、固有値が1以上になる3つの成分を抽出した⁽¹⁰⁶⁾⁽¹⁶⁶⁾ (表 7.5)。

各評価語因子の因子負荷の大きさから、表 7.5 の I, II, III の成分をそれぞれ仮に legibility, uncomfortablty, visibility と呼ぶことにする。表示像距離 L と各主成分得点との関係をそれぞれ図 7.11, 図 7.12, 図 7.13 に示す。

表 7.5：主成分と因子負荷

(3 因子でバリマックス回転後の因子負荷量)

変数	factor			変数の意味
	I	II	III	
X 1	<u>0.98</u>	0.85	0.05	素早く読める
X 2	0.31	<u>0.96</u>	0.20	違和感がある
X 3	0.58	- 0.49	- <u>0.80</u>	前景変化に気づく
X 4	- 0.05	<u>0.94</u>	<u>0.34</u>	前景見にくい
X 5	<u>0.86</u>	- 0.68	0.31	読むのに楽
X 6	- <u>0.86</u>	0.81	<u>0.45</u>	疲労感
X 7	- <u>0.95</u>	- 0.17	0.05	圧迫感
X 8	0.82	- 0.52	- 0.13	好ましい
X 9	- 0.05	<u>0.95</u>	0.15	抵抗感
X10	0.38	<u>0.98</u>	<u>0.31</u>	区別つきにくい
固有値	4.82	3.21	1.00	
寄与率	0.48	0.32	0.08	(累積寄与率89%)

(1) legibility ヘッドアップディスプレイ表示情報の認識・判読がヘッドダウンディスプレイに比較して優れているか劣っているかを示す成分と考えられる。表示像距離Lを長くすると改善される。この傾向は実験室実験で表示情報の認識度合いを示す尺度であった正答率 $\eta_{H|S}$ の表示像距離依存性の傾向と一致している。

表示像距離が長い領域ではケース2の方がケース1より優れており、遠方結像型ヘッドアップディスプレイが高速走行でよりlegibility評価が高いことを示している。

(2) uncomfortablity 表示像の存在と周囲の視環境との整合性や干渉性、表示装置を全体的に捉えた時の受容性等を表す成分と考えられる。表示像距離Lが長くなると、ケース1では評点上昇が大きい、ケース2では余り変わらない。

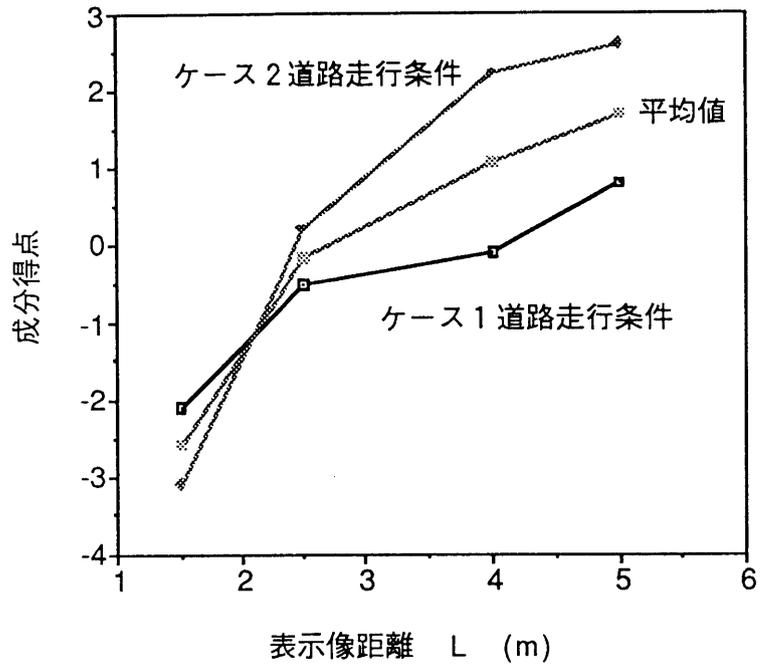


図 7.11：第一主成分得点(legibility)

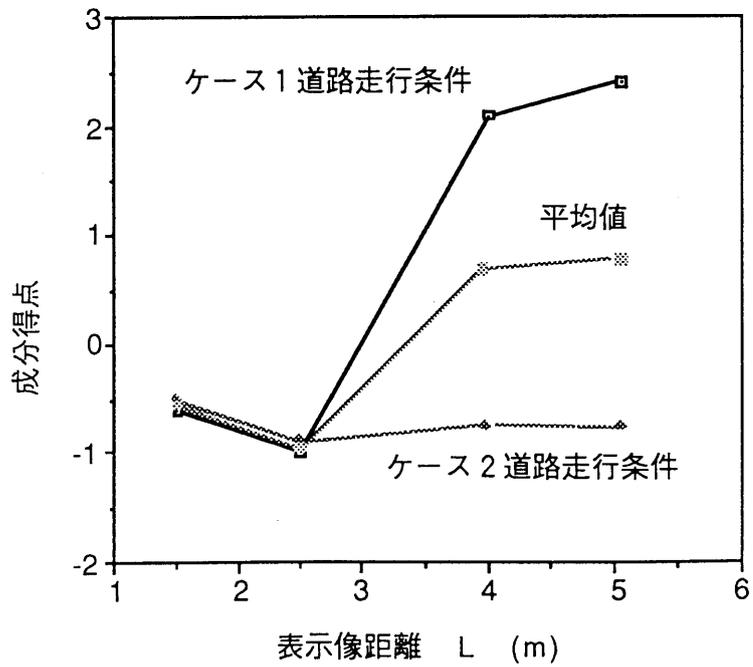


図 7.12：第二主成分得点(uncomfortability)

内観報告でも見られるようにuncomfortabilityは自動車の移動，運転に伴い発生する項目と考えられ，移動する前景と表示像との整合性の良否を示していると考えられる．実験室実験データには，この成分は明確には現われてはいなかった．

(3) visibility 前景の捉えやすさ，前景の見やすさ等，前景情報の認識のしやすさを表す成分と考えられる．成分得点は殆ど表示像距離に依存しない．実験室実験での正答率 η_s の値に相当している成分と考えられ，実験室データと良い一致を示している．

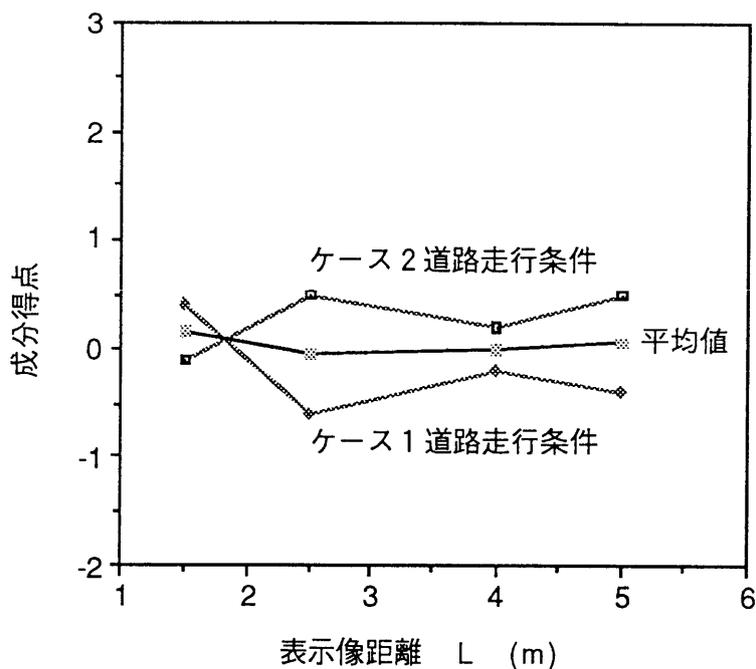


図 7.13：第三主成分得点(visibility)

7.3 実験 2

表示像情報認識時間をヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイで計測比較した．表示像情報認識時間は表示像上にドライバの視点が停留する時間として求めた．

通常の自動車走行では一般路走行が高速走行に比較して多いと考えられるので、実験2での車載ヘッドアップディスプレイは、ケース1での結果をより重視しuncomfortabilityを低く抑えつつlegibilityを高くとると言う考え方で表示像距離を2.5 m (タイプB) に定めた。

7. 3. 1 実験方法

(1) 実験条件 走行道路は実験1での2条件に、表7.1に示すケース3, 4, 5の三つのケースを新たに加えた。天候は曇りからうす晴れの昼間で、道路はアスファルト路面。路面輝度はおよそ1,000から3,000 cd/m^2 。被験者は20代と30代の4名の男子ベテランドライバ。

(2) 実験手順 実験の手順を図7.14のフロチャートに示す。実験では各被験者にアイマークカメラを装着させ、ブザー音を合図に表示像情報を認識させ数字を口頭報告させた。

表示像情報認識時間はアイマークカメラのVTR再生画像を33 msec毎のコマ送りにより、表示像の数字を正答した時のみ求めた。

7. 3. 2 実験2の結果

結果を表7.6に示す。全ての道路走行条件で、ヘッドアップディスプレイの方がヘッドダウンディスプレイより表示像情報認識時間は短縮されており、ヘッドアップディスプレイが表示像情報受容特性において優れていることを定量的に示している。

両者の差は、ケース2 (低混雑高速走行) では約0.2秒、ケース5 (曲率が高い曲線路) ではわずかに0.08秒であった。即ち、曲線路でのヘッドアップディスプレイの優位性は余り認められないが、直線路でかつ車速が速くなると優位性が顕著になることを示している。

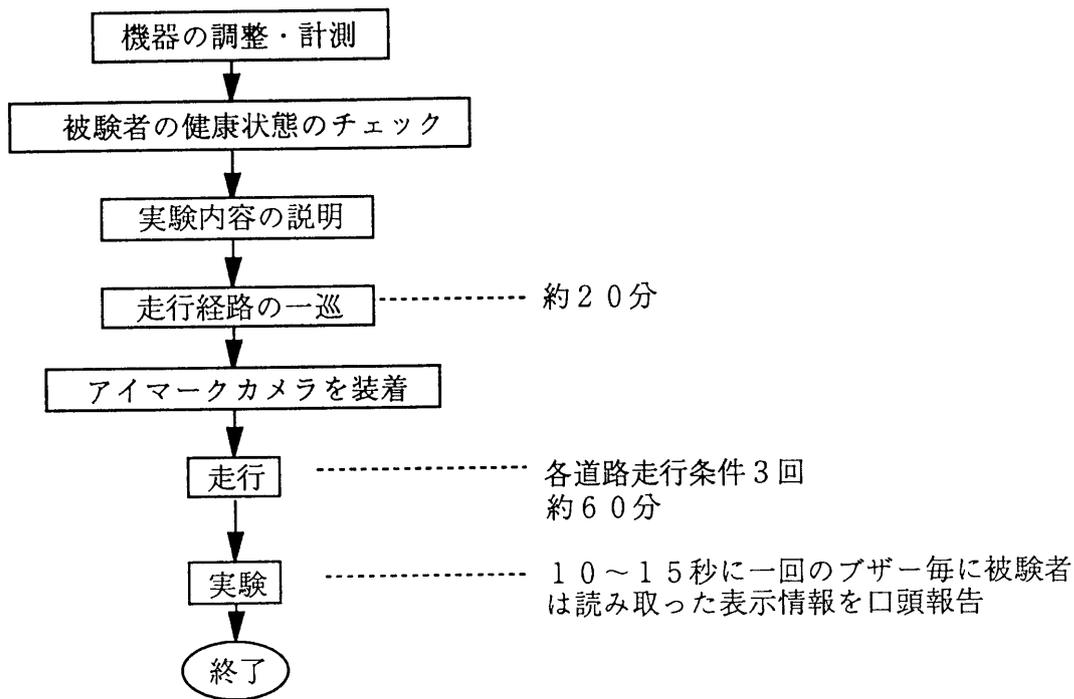


図 7.14：実験手順(実験 2)

表 7.6：表示像情報認識時間(秒)

±は標準偏差値

種類	道路走行条件 ケース No.				
	1	2	3	4	5
ヘッドダウンディスプレイ	0.47 ±0.08	0.48 ±0.07	0.45 ±0.02	0.48 ±0.08	0.44 ±0.02
ヘッドアップディスプレイ	0.34 ±0.08	0.30 ±0.07	0.31 ±0.02	0.37 ±0.08	0.35 ±0.02
差	0.13	0.18	0.14	0.11	0.08

7. 4 考察

7. 4. 1 表示像距離と正答率 η_{HIS} 、 η_S

実験室実験では、表示像距離 L を長くすると表示情報の認識度合いを示す正答率 η_{HIS} は高くなるが、前景情報の認識度合いを示す正答率 η_S は殆ど変化しなかった。実車走行実験による官能評価の結果も表示像距離 L を長くすると、表示情報の認識度合いに関連する $X1$ （表示が素早く読める）や $X5$ （読むのに楽である）等の評点平均値は高くなる。一方、前景情報の認識度合いに関連する $X3$ （前景の変化に気づきやすい）や $X4$ （前景が見にくい）の評点平均値は表示像距離 L に大きく依存しなかった。

この傾向は、主成分分析の結果である第一主成分（legibility）と第三主成分（visiblity）の表示像距離の依存性を見るともっと明らかである。

これらの事実は、自動車走行での視覚情報受容のプロセスをダブルタスクと見做し、短時間視標呈示の手法で表示像距離について評価した実験室実験の結果が、実際の走行条件でのドライバの感覚的な評価に極めて良く一致していることを示しており、実験室実験の評価系が実車走行環境を良くシミュレートしていることを示唆している。

7. 4. 2 第二主成分（uncomfortability）

違和感や前景と表示像の区別のつきにくさ等 uncomfortability に関連する内観報告があったのは次のような場合に多かった。

- (1) 自動車が移動する場合。
- (2) 前景視対象がドライバの目から比較的近い低速混雑道路走行の場合。
- (3) 曲線路を旋回する場合。
- (4) 表示像が中心視野に近い周辺視野に存在する場合。
- (5) 前景視対象を注視し表示像は漠然と見る場合。

表示像距離 L が約 2.5 m で *uncomfortability* の平均得点が最小値を示すことや、フード上端で違和感が少ないという内観報告等から、*uncomfortability* 発生の大きな要因として、車体が存在しない前景（とドライバが思っている）空間を表示像が車両と一体となって移動するように見えることが一つの要因として考えられる。

自動車の運転では、実際には見えない車体の端がどの辺りにあるかと言う空間位置を予測しなければならないことがある。この予測能力は理論的と言うより寧ろ感覚的であり、安全運転には必要な感覚⁽¹⁶⁸⁾の一つと言われる。この感覚は自分（車両）の領域か自分以外の領域（外部）かの空間認知の感覚の一種とも考えられ、車両が存在する（と思う）領域の中に存在する物体は自己の座標の領域に存在すると感じ、その領域の外にある物体は外部座標の領域に存在すると認識する感覚とも解釈できる。

uncomfortability について、次のような仮説を立てれば違和感や抵抗感等の説明が可能である。遠方に結像した表示像はドライバにとっては、本来外部の座標領域に存在すると感じている。しかしながら、実際は自己の座標領域に存在する（車体と一体で移動する）ため、認識に一種の不整合が発生する。車両前端のフード近傍に表示像を設けるとこの不整合は少なくなり、表示像距離を長くするとこの不整合は大きくなると思われる。

勿論、これらの仮説の根拠を明確にするためには、更に詳細な確認実験が必要とされる。また、極めて遠方に結像したヘッドアップディスプレイ搭載車を運転するドライバにとって、この感覚が一種の学習効果で徐々に変化し環境順応する可能性もなくはない。

しかしながら、全ての自動車にヘッドアップディスプレイが装着されるとは限らないので、車両を乗り換えたり、他人の車を運転することを考えると、依然として *uncomfortability* が考慮すべき重要な一つの設計変数になることには変わりはないであろう。

表示情報認識（*legibility*）と言う観点からは遠方結像が望ましい。自動車用ヘッドアップディスプレイの表示像距離を最適設計する場合、考慮されなけ

ればならない視覚パラメータuncomfortabilityの成分が表示像距離を有限にする制約を与えると考えられる。

7. 4. 3 評点と正答率の意味

系列間隔法⁽¹⁰⁶⁾⁽¹⁰⁷⁾を用い実験1での評点間の心理尺度を求めた。表示像情報認識の速さを意味すると考えられるX1(表示が素早く読める)について、心理尺度を用いて表示像距離と評点の関係を書き直すと、ヘッドアップディスプレイ(タイプB)とヘッドダウンディスプレイ(タイプE)での差は、心理尺度上で4.2~4.6の間隔で表せる(図7.15)。

実験2の表示情報認識時間計測の結果を用いると、ヘッドアップディスプレイ(タイプB)とヘッドダウンディスプレイ(タイプE)での表示像情報認識の速さの差は凡そ0.1秒~0.2秒となる。

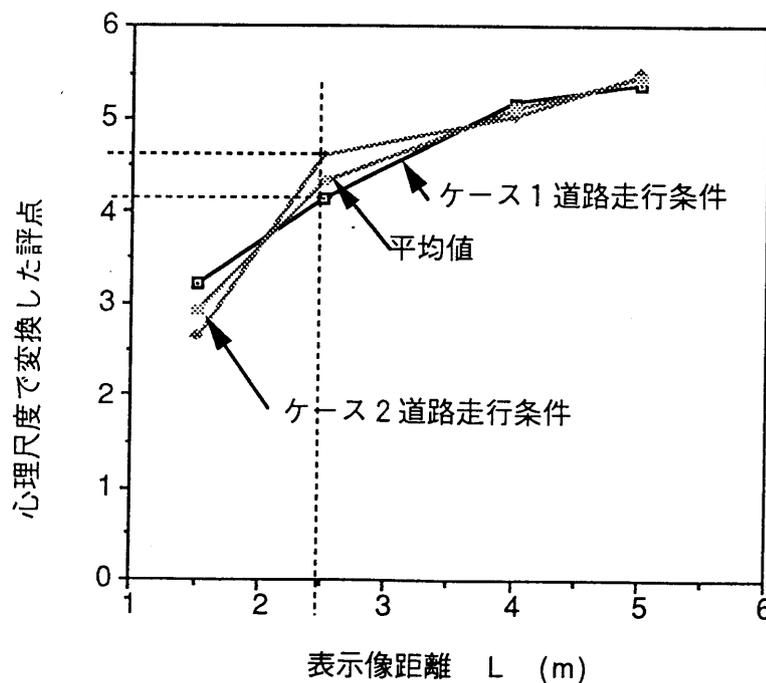


図 7.15：系列間隔法による“素早く読める”の表示像距離依存性

第1章で述べた実験室実験の結果を用いると、ヘッドアップディスプレイ（タイプB）とヘッドダウンディスプレイ（タイプE）の正答率 η_{HIS} の差は約17%になる。

従って、タイプBとEのヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイの例では、心理尺度間隔4.2~4.6や、正答率 η_{HIS} の差17%が実際の自動車走行で0.1秒（曲線路）~0.2秒（高速直線路）の認識時間差に相当すると考えられる。

H. MetzlerやK. Enkeらは種々の自動車衝突事故を分析し、ドライバがどのくらい速めに応答すれば事故がどの程度低減できるかを報告している⁽¹⁶⁹⁾(170)。

被害の大きい高速道路での追突事故を考えると、約0.2秒速く応答すれば事故の約30%、0.5秒で60%が低減できることを報告している。

タイプBのヘッドアップディスプレイを例にとると、高速走行では認識応答時間は約0.2秒ヘッドダウンディスプレイより速くなる。即ち、表示像から素早く目を離し、前景内の障害物を約0.2秒だけ速く発見できる。実験1と実験2の結果とH. MetzlerやK. Enkeらのモデルから概算推定すると、本実験で用いたタイプBのヘッドアップディスプレイでの心理尺度間隔4.6や、正答率 η_{HIS} の差17%は、（表示情報認識の遅れにより起こる）追突事故を30%低減できる効果に対応していると言える。

タイプBの仕様は現在市販されている自動車用ヘッドアップディスプレイに近い⁽¹⁵⁾(88)(98)。以上の概算推定を用いれば、現在実用化されている自動車用ヘッドアップディスプレイの優位性を事故低減と言う観点からも予測することができよう。

7.5 まとめ

(1) 実車走行実験によるヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイの比較評価や、表示像距離に関する表示像と前景情報の認識特性評価

結果は実験室実験の結果とよく一致する。

(2) ヘッドアップディスプレイの表示像距離を規定するファクタには、”表示像と前景の情報認識”に関わる因子に加え、前景との整合性に関わる因子がある。この因子は自動車が移動することにより発生し、表示像距離を長くすると評価は悪くなる傾向を示す。

(3) 曲線路や低速路での走行より高速直線路での走行の方が、ヘッドアップディスプレイの視覚情報受容における優位性は顕著である。

(4) 表示像距離 2, 5 m のヘッドアップディスプレイでは、ヘッドダウンディスプレイより表示情報認識の正答率が 17%, 官能評価における心理尺度間隔差が 4.6 ポイント良好である。これは、概算で表示装置の認識が原因と考えられる追突事故の約 30% 低減の効果に相当する。

第 8 章

視覚光学モデル⁽¹⁷¹⁾

8. 1 はじめに

前章までに述べてきたように，自動車用途でもヘッドアップディスプレイはヘッドダウンディスプレイに比較して，前景と表示像の情報認識特性が優れている．

本章と次章では，これらの結果がどのような視覚メカニズムや視覚情報処理機能によるのかを実験・考察する．

航空機用ヘッドアップディスプレイの研究報告によると，視覚情報受容に関するヘッドアップディスプレイの表示装置としての優位性は，前景視対象（雲や空や遠方の飛翔体等）と表示像とを交互に見る場合，パイロットの目の焦点調節量と視線の移動量が少なくすむためであると説明されている⁽²¹⁾．

前景認識がプライマリタスクである自動車視覚環境で用いられるヘッドアップディスプレイの優位性も，航空機と同様に目の焦点調節量と視線移動量が少ないことだけによるのであろうか．

本章ではまず，前章までに述べてきた実験結果の中で目の焦点調節量と視線移動量が少ないことで説明がつきにくい現象に着目し考察を加えた．次に従来の説明とは異なる，周辺視による表示像情報の受容を考慮した視覚光学モデルを提案しその妥当性について実験・検証した．

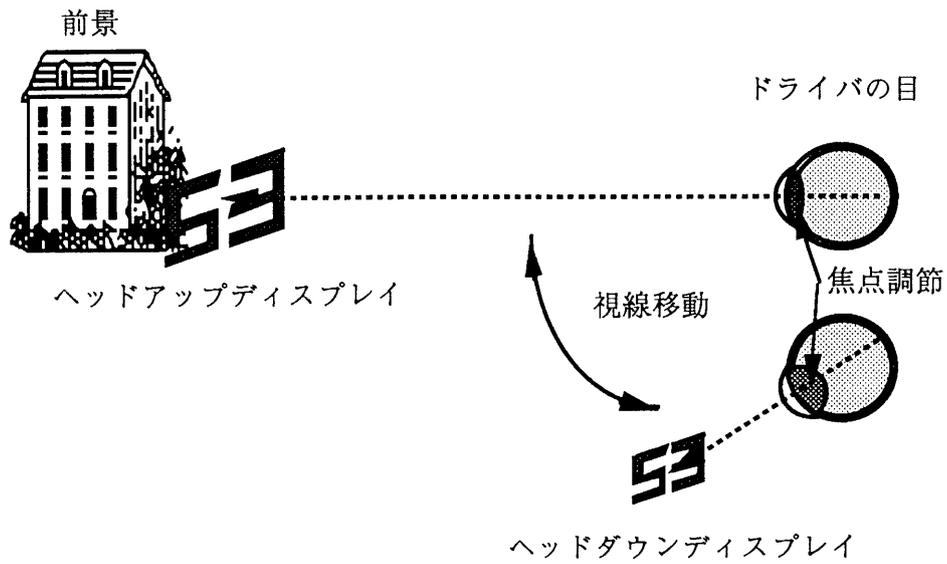


図 8.1：ドライバの目の焦点調節と視線移動

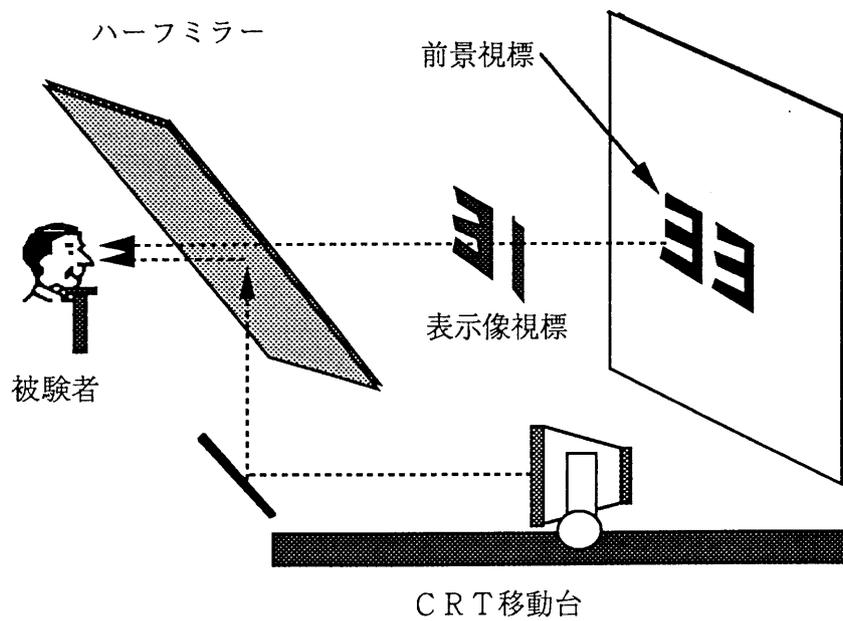


図 8.2：実験装置

8. 2 従来仮説による解釈

ヘッドアップディスプレイの表示像情報受容に関する優位性が、ドライバの目の焦点調節量と視線移動量が少ないことだけによると仮定すると、前景と表示像の認識タスクの遂行は次のように考えられる（図8.1）。

(1) 第一のタスクである前景の認識；最も視力の高い中心視野付近で前景視対象を認識する。理論的にはドライバの目の焦点調節（accommodation）位置は、前景の視対象の位置にある。前景の視対象が十分遠いので、ドライバの目は調節休止状態（最遠点調節状態）となるであろう。

(2) 第二のタスクである表示像への視線移動；前景の視対象から表示像位置に視線を素早く移動し表示像を認識する。ドライバは表示像の位置を予め知っているため、視線移動は意識的サッケード⁽¹⁷²⁾と考えられ、極めて速い（～300度/秒）。視線の移動時間には表示像の俯角の差によりヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイでは数十msecの差がある。

(3) 第三のタスクである表示像の認識；表示像上に視線が移動した後、若干の応答遅れ（0.35秒～0.45秒の潜時⁽¹⁴⁹⁾）があって、目は表示像位置付近に焦点調節される。調節応答遅れが生じている間、表示像は網膜上にボケ像として受容されるため、遠方結像型のヘッドアップディスプレイと通常の近接結像型のヘッドダウンディスプレイでは表示像の認識特性に差が生じるであろう。

8. 3 焦点調節量と視線移動量の定量的な把握

8. 3. 1 焦点調節応答遅れと正答率

目の焦点調節応答遅れが表示像の認識にどのような影響があるのかを、図8.2の実験装置を用いて評価した。前景視標と表示像視標を短時間で交互に切

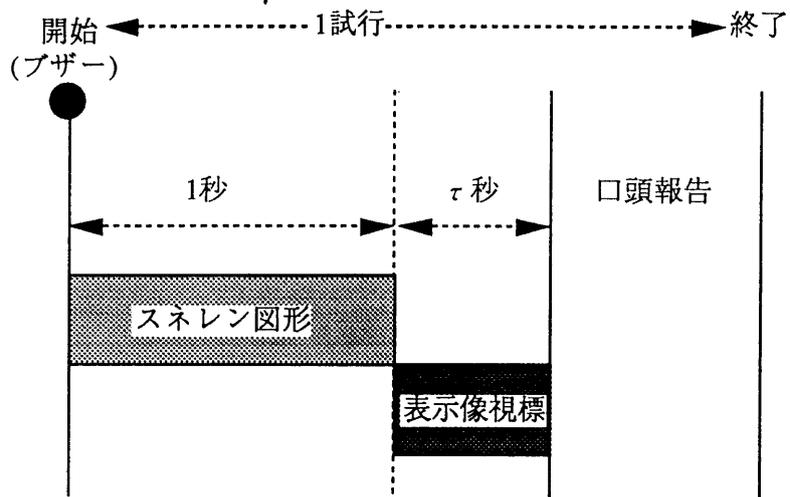


図 8.3: タイムチャート

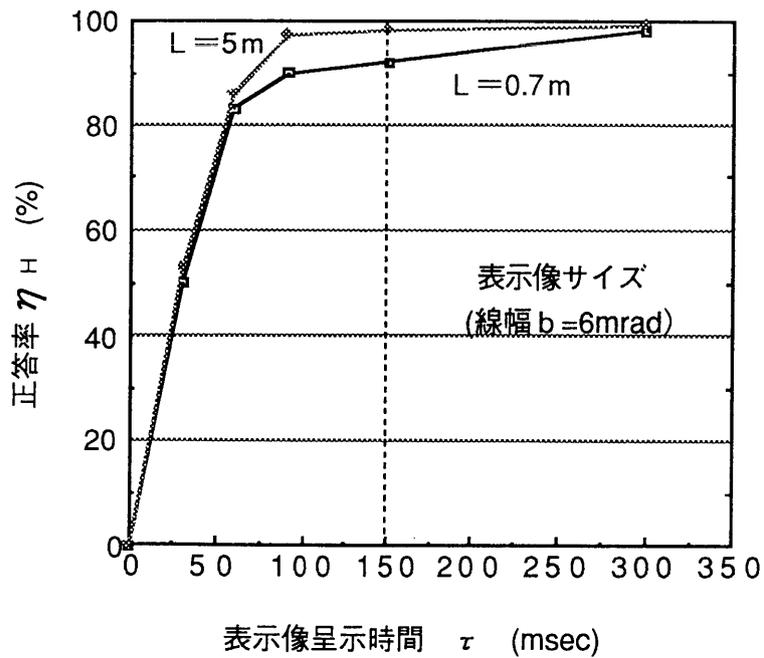


図 8.4: 正答率の表示像呈示時間依存

り替え，表示像視標の正答率が前景視標位置との距離差によりどの程度変化するかを比較的大きなサイズの表示像を用いて評価した。

第2章の評価装置と同じように，前景視標にはスネレン図形を，表示像視標には二桁数字を用いた。視標タイムチャートを図8.3に示す。被験者は顎台で軽く顔面を固定し，ブザー音後1秒間，ハーフミラーを通して前景視標である一対のスネレン図形を注視する（前景への焦点調節）。次に1秒後，スネレン図形が消滅すると同時に， τ 秒間表示像視標が呈示される。被験者は表示像視標を見て数字を読み取り口頭報告する。実験装置では被験者から見て表示像視標とスネレン図形は重なり合うよう設定しているため，両者の切り替えによる視線の移動時間は無視できる。表示像視標の呈示時間 τ は30 msecから200 msecまで変化させた。

表示像距離 L は被験者の目から5 mと0.7 mの二種類，表示像サイズは線幅で3.5 mradと6 mradの二種類。試行回数は第3章と同じく100回，前景の明るさや各視標の輝度対比等は第2章と基本的に同一条件にした。被験者は，若年齢者層5名と，高年齢者層5名の計10名を用いた（表3.2）。

全被験者の表示像視標の平均正答率 η_H を τ を変化させ図8.4，図8.5に示す。用いた表示像サイズが被験者の視力値を考慮すれば十分大きいので，表示像視標の呈示時間 τ が長くなれば，正答率 η_H は当然100%に飽和するであろう。実験データは最小 τ が30 msecまでであるが， τ が0に近づけば正答率 η_H は当然ゼロになる。

目の焦点調節の遅れから予測できるように，表示像距離 L を前景の距離と同一にした方が正答率 η_H は高い。表示像サイズが小さい（ b が3.5 mrad）方が表示像サイズが大きい（ b が6 mrad）より差は大きいことは，細かい表示像を認識するには目の焦点調節が重要であることを示している。 τ が短くなると正答率は低下してくるが表示像距離 L の差は小さくなる。

しかしながら，表示像サイズ6 mradでは表示像距離 L の長短による正答率 η_H の差は僅か8%，表示像サイズ3.5 mradでも14%程度である。

これは目の焦点調節の遅れが存在しても第3章や第4章で用いた十分大き

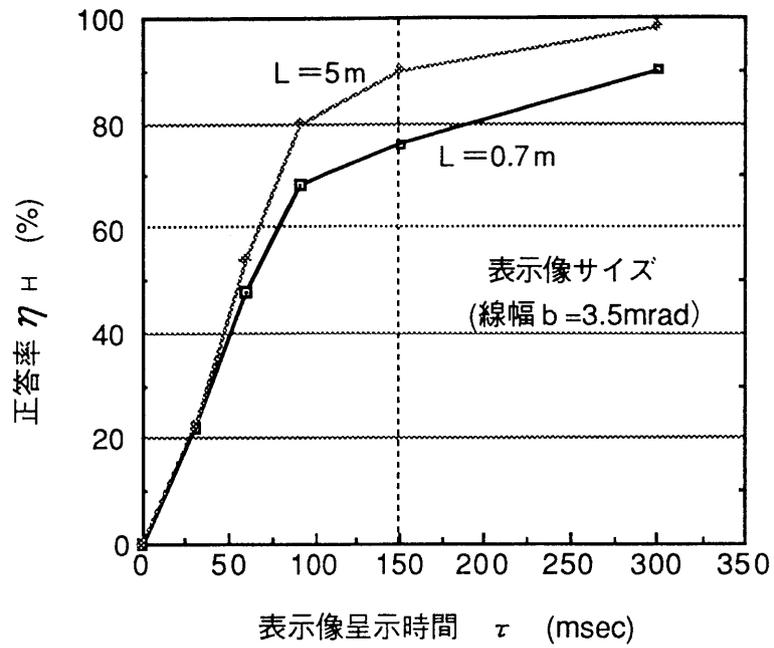


図 8.5：正答率の表示像呈示時間依存

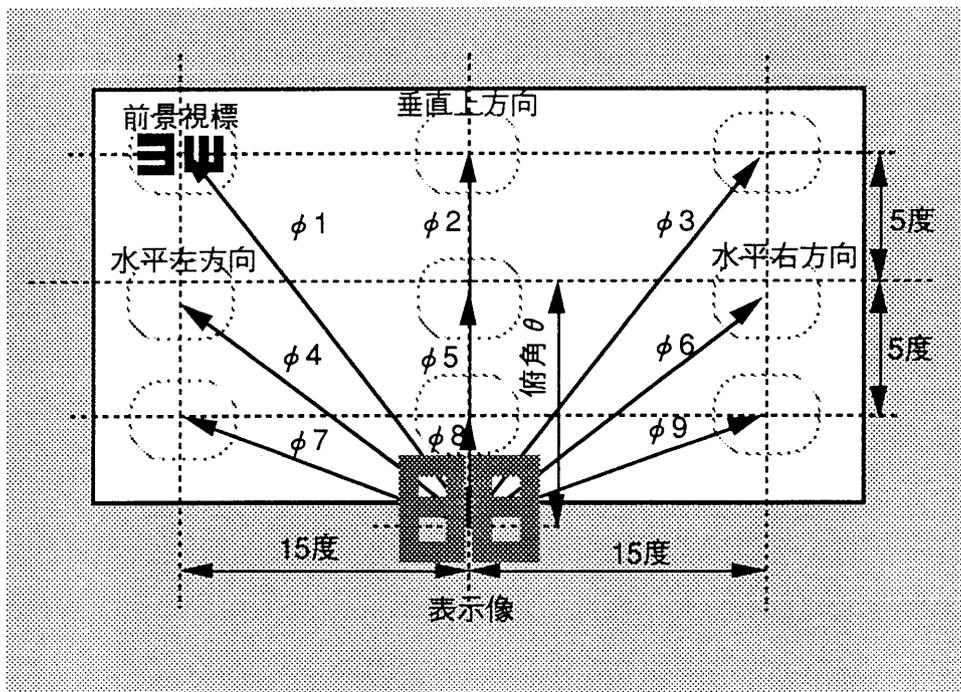


図 8.6：各視標の配置

い表示像は認識可能であることを示している。

8. 3. 2 視線移動時間の推定

前景視標の認識から表示像位置へ視線を移動させる挙動は、サッケード（saccadic movement）であると考えられる。これは第3章の視点停留時間計測実験で、各視標の全呈示時間と、N点や前景視標、表示像視標への視点停留時間を比較すると視線移動時間が極めて短いと言う結果からも推測できる。

サッケードによる視線の移動速度は移動する距離にも依存するが、実験での前景視標と表示像位置間での偏角を考慮すると、300度/秒程度と見てよい⁽¹⁷²⁾。

図8.6は前景スクリーン上の前景視標の配置を示している。九つの前景視標位置と俯角 θ の表示像位置との間の偏角を ϕ_i (i は1から9まで)とすると、 ϕ_i は俯角 θ の関数で表せ、サッケードによる視線移動速度から前景視標と俯角 θ の表示像間の視線移動時間が算出できる。

視標呈示回数を100回として全試行の視線移動時間を、俯角 $\theta = 0$ 度と20度について求めた。結果を視線移動時間ヒストグラムとして図8.7に示す。俯角 $\theta = 0$ 度と20度とでは平均で約50 msecの差があることが分かる。

8. 4 従来仮説の問題点

8. 4. 1 実験結果の振り返り

前章までの実験結果の中で、ヘッドアップディスプレイの視覚情報受容に関連する結果を5つのカテゴリーに分類し表8.1に示す。各項目毎に現象を説明するのに、(1)目の焦点調節量の低減による効果と、(2)視線移動量の低減による効果のどの効果が支配的であるかも試みに記した。

基本的には、表示像距離 L が長くなると正答率 η_{HIS} が向上する傾向は(I

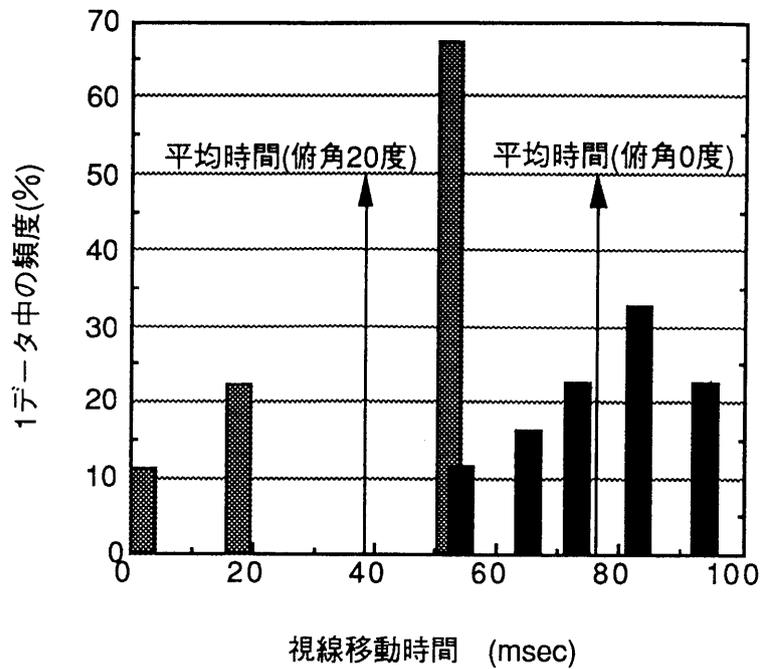


図 8.7：俯角の差による視線移動時間ヒストグラム

項) , ドライバの目の焦点調節の応答遅れによる網膜上のボケの低減に関連し, 小さい俯角領域や表示像と前景視標との間の偏角が小さい場合の正答率 η_{HIS} が向上する傾向は (II項やIII項) , 前景視標から表示像位置までの視線移動量が少ないことと関連すると考えられる.

しかしながら, 表 8.1 にも ? 印で示したように定性的にも定量的にも (1) や (2) の理由だけで説明が難しい項目も見られる. 以下に考察する.

8. 4. 2 遠方結像の優位性の説明

第 3 章の結果から, 表示像の俯角 θ が 0 度の条件で, 表示像距離 L が 0.7 m と 5 m の場合の正答率 η_{HIS} を比較すると, 表示像サイズ (線幅 b) が 6 mrad では約 28% (η_H に換算して約 23%), 表示像サイズ (線幅 b) が 3.5 mrad では約 25% (η_H に換算して約 20%) の差がある (図 3.3). この実験では表示像距離の長短に拘わらず, 前景視標から表示像視標までの視線移

表8.1：実験結果の概要とその説明

カテゴリー	項目	概要	予想される視覚メカニズム
I表示像距離	遠方結像の優位性 (メジャー、マイナプロセス)	<ul style="list-style-type: none"> 表示像情報の認識特性は表示像の位置をより遠方に設けた方が優れている 前景の突発緊急的な変化にも表示像距離が長いヘッドアップディスプレイが良好に対応できる 	(1) & (2) (1) ?
	legibilityの表示像距離依存	<ul style="list-style-type: none"> 表示像距離は長い方が表示像認識がしやすい 	(1)
II俯角	微小俯角の優位性 (メジャー、マイナプロセス)	<ul style="list-style-type: none"> 表示像俯角が小さいほうが、表示情報の認識特性は向上する 前景の突発緊急的な変化にも俯角が小さいヘッドアップディスプレイが良好に対応できる 	(2) ? ?
	逆S字特性	<ul style="list-style-type: none"> 表示像の俯角が5度以内であればほぼ同程度の特性が得られる 	(2) ?
III前景の位置	正答率の依存性	<ul style="list-style-type: none"> 大きな偏角（表示像と前景視標とが作る視角）では表示像認識特性が低下 	(2)
IV認識時間	実車走行での特性	<ul style="list-style-type: none"> 表示情報認識時間はヘッドアップディスプレイが短い 官能評価でもヘッドアップディスプレイが表示像の認識はしやすい 	(1) ? (1) & (2)
	道路走行条件への依存	<ul style="list-style-type: none"> 直線路走行での視点停留時間の方が曲線路走行より短い。直線路走行では車速が大きいほど、また曲線路では道路曲率が小さいほど視点停留時間は短い 	?
V年齢層間	年齢層間の相違	<ul style="list-style-type: none"> 高齢者層は表示情報の正答率が低い 	(1) & (2) ?

動量は同一と見做せるので、正答率 $\eta_{H|S}$ の差は目の焦点調節量の差のみと考えられる。しかしながら、図 8.2 での目の焦点調節遅れによる正答率 η_H の結果を考慮すると、表示像視標上の視点停留時間（図 8.4，図 8.5 の結果では視標呈示時間 τ に相当）が種々の値をとったとしても、これらの正答率の差は高高 8%～14% で、目の焦点調節の効果だけでは大きな正答率の差を説明するのは難しいことになる。

第 4 章では、正答率 $\eta_{H|S}$ の俯角依存特性を調べた。表示像距離 L が 5 m の場合、表示像サイズ（線幅 b ）が 6 mrad で、表示像の俯角 θ が 0 度と 20 度の条件では、正答率 $\eta_{H|S}$ が 30% 強の差があった。表示像サイズ（線幅 b ）が 3.5 mrad でも、俯角 θ が 0 度と 20 度とで正答率 $\eta_{H|S}$ は 20% 強の差があった。

前景視標と表示像視標は同一の距離に存在するわけだから、目の焦点調節遅れの効果は無視してよい。この結果に見られる表示像の俯角 0 度と 20 度の条件での正答率の差は、僅かに平均で 50 msec の視線移動量の差だけで説明が可能であろうか。

第 3 章では、ヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイで視点の停留時間の分析を行なった。ヘッドアップディスプレイ、ヘッドダウンデ

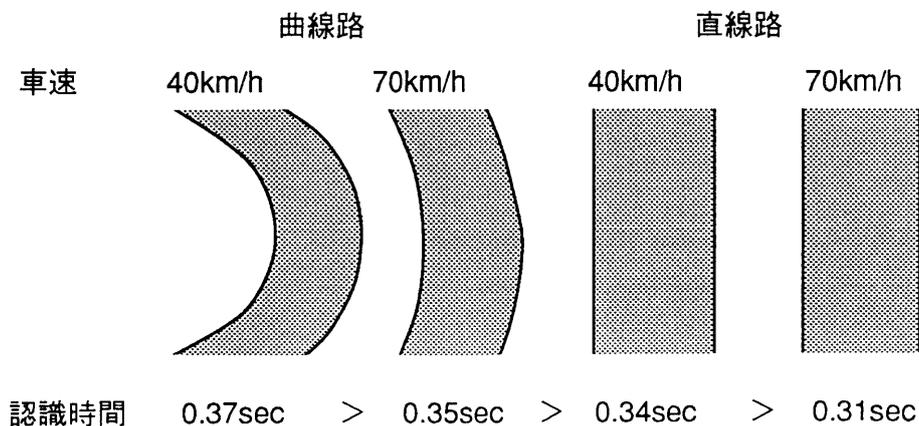


図 8.8：車速と認識時間

ディスプレイに拘わらず，表示像上の平均視点停留時間は約 150 msecであったが，表示像の上に視点が停留しないにも拘わらず正答する場合が見られた。

これは明かに俯角 $\theta = 0$ 度と 20 度の視線移動時間差の長短だけで説明するには無理があるように思える。

マイナプロセスで周辺視が前景視標の探索で有効に機能しており，ヘッドアップディスプレイが前景の突発緊急的な変化にも対応が良好であることを第 5 章で論じた。表示像視標の認識でも周辺視での情報受容機能はある役割を果たすのではなからうか。

8. 4. 3 実車走行実験での結果

図 8.8 にヘッドアップディスプレイ搭載車による実車走行実験での視点停留時間計測の結果を再整理し示した。表示像距離 L が同一条件 ($L = 2.5$ m) でも，曲線路では直線路より視点停留時間が長くなっている。曲線路でも曲率半径が小さい程，視点停留時間は長くなっている。直線路では車速が早くなるほど視点停留時間は短くなっている。表示像距離が同一であることや，前景が（表示像距離に比べて）十分遠方であること，表示像上の視点停留時間のみを計測していることを考えると，この結果を焦点調節量や視線移動量の大小だけで説明するのは難しい。

直線路を高速で走行する場合，ドライバの視線方向は低速直線路走行時に較べて，より N 点に集中する傾向がある⁽³⁹⁾⁽¹⁵⁶⁾。また，自動車が曲線路を走行するときは，ドライバの平均的な視線方向は N 点方向から，旋回方向に僅かに移動した位置に動く⁽¹⁷³⁾。即ち，高速直線路走行ではドライバの視線方向が表示像を認識する直前には N 点にある確率が高くなり，曲線路走行では，ドライバの視線方向が表示像を認識する直前には N 点から左右いずれかの位置に移動して，平均的な視線方向は N 点から離れることになる。

これは，表示像を認識する直前，中心視野で前景視対象を捉えている時，表示像がどのくらい離れた周辺視野に存在するか（前景視対象と表示像位置と

の間の偏角) が表示像上の視点停留時間差となって現われていることを示唆している。

8. 4. 4 年齢者層別特性差の解釈

高年齢者層では若年齢者層より、総じて正答率 η_{HIS} が低い。これは単に目の焦点調節の応答遅れによるだけであろうか。焦点調節の応答の潜時は若年齢者層でも 0.35～0.45 秒と長いことを考慮すると、焦点調節応答遅れによっては実質的に高年齢者層と若年齢者層との間に大きな正答率の差異が生じないことになる。表示像距離を長くすることによる正答率 η_{HIS} の向上率は高年齢者層の方が大きいことの説明も難しい。

高年齢者層と若年齢者層の正答率 η_{HIS} の差異を単に高年齢者層の目の焦点調節の応答遅れだけで説明するには無理があるように思える。具体的に高年齢者層のどんな視覚特性が若年齢者層の正答率 η_{HIS} より低い値になる原因になっているのであろうか必ずしも明かにはなっていないように思える

8. 5 視覚光学モデル

8. 5. 1 周辺視による情報受容の仮説

福田等は周辺視でも視標形状の認識ができることを報告⁽¹⁷⁴⁾⁽¹⁷⁵⁾しており、永野は数十度以内の周辺視で認識した視標の情報が、視点を移動して中心視で視標を再認識した情報に影響を与えることを報告⁽¹⁷⁶⁾⁽¹⁷⁷⁾している。

また、Engelや熊田、菊池らはアテンションの方向に周辺視での認識能力が拡大することを報告⁽¹⁷⁸⁾⁽¹⁷⁹⁾している。

走行中ドライバは、自分が持っている座標系の中で車両の機器類がどの位置に存在するのかが分かっていると思われる。走行中ドライバが表示情報を取り込もうとするときは、意識的に表示像の存在する方向にアテンションがか

けられていると解釈すると、中心視視標に相当する前景視対象に対して周辺視視標である表示像の情報を周辺視で取り込んでいる可能性が十分考えられる。

即ち、予め位置座標が予測できる表示像の認識では、周辺視によって表示像からどれだけの情報を得ているかが、正答率の高低に寄与している可能性が考えられる。

中心視視標から周辺視視標までの距離を視角で表し、偏角 ϕ として表現すると、実験室実験でのヘッドアップディスプレイは各前景視標から計った偏角 ϕ の平均値（11.4度）がヘッドダウンディスプレイ（22.8度）より小さい。

一般的に周辺視の能力は偏角が大きくなると低下すると言われる⁽¹⁴⁹⁾。周辺視で表示像を（ある程度）認識すると仮定すると、ヘッドアップディスプレイの方がヘッドダウンディスプレイより正答率 η_{HIS} は高くなることが説明できる。

また、ヘッドアップディスプレイ表示像は前景とほぼ同じ距離に存在し、ヘッドダウンディスプレイ表示像は前景とは異なった（ドライバの目に近い）距離に存在する。従って、中心視で前景視標を注視しているときは、目の焦点調節は前景の距離に合っているのでヘッドダウンディスプレイの表示像は網膜上に光学的にはボケた結像系を構成することになる。これは偏角 ϕ が同一であっても表示像距離によって認識の正答率に差が生じる現象を説明できる可能性を示している。

8. 5. 2 視覚光学モデル

以上のことからヘッドアップディスプレイの表示像認識の優位性メカニズムの説明として、以下に示す一つの視覚光学モデルが仮定できる（図8.9）。

(1) 前景視対象を注視しているとき、表示像の情報は周辺視で、ある程度取り込まれ結果的に表示像認識の程度に影響を与える（周辺視による表示像認識）。

(2) 表示像が前景視対象と同一距離にある場合は、表示像の位置が前景

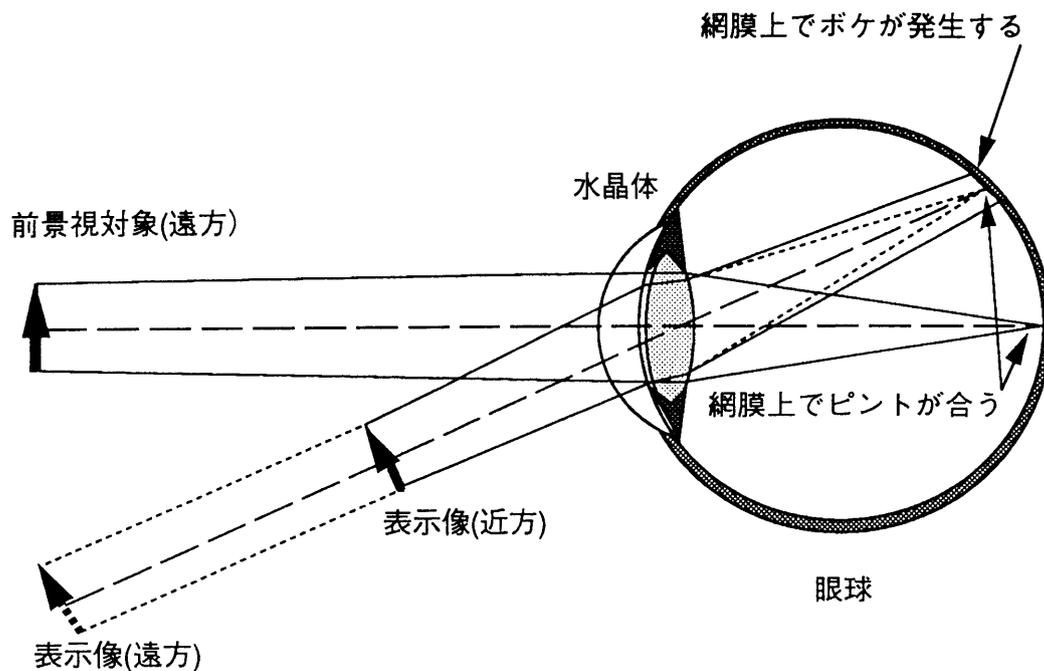


図 8.9：視覚光学モデルの概念図

視対象から周辺へ遠ざかるに従い，認識の程度は低下する。（周辺視機能の偏角依存）

（3）表示像が前景視対象と異なる距離にある場合は，距離の差だけ網膜上の像がボケ，結果的に（2）で得られた情報量が更に低下する。（周辺視野でのボケ像の認識）

8. 5. 3 実験のアプローチ

まず，第3章や第4章での実験で周辺視での情報受容機能を遮断した場合，正答率にどのような影響が生じるのかを実験評価した。次に周辺視が中心視点からの偏角に依存してどのように情報量を受容できるのか，またその機能は，中心視視標と距離が異なる表示像視標に対しては，視覚光学モデルで言うよう

に有意な受容情報の劣化を招くのか、さらには前景視対象への注意（アテンション）の強弱によって周辺視の情報受容機能はどのような影響を受けるのかを、それぞれ単眼で若年齢者層の被験者を用いて実験評価した。両眼での計測評価と年齢者層間の相違については次章で検討した。

8. 5. 4 実験の構成

具体的な実験の構成は以下の項目である。

(1) 実験1 (周辺視認識の効果に関する実験) 第2章で述べた評価装置を用い、周辺視での表示像情報受容の有無によって、前景視標と表示像視標の認識特性がどう影響されるかを評価する。

(2) 実験2 (周辺視の認識機能に関する実験) 中心視で視標を認識すると同時に、周辺視野にあって、中心視視標とは距離が異なる位置に存在する表示像視標の情報をどの程度認識できるかを評価する。

実験1, 実験2とも、被験者は表8.2に示すようにいずれも20代と30代前半の運転免許を有する男子5名を用いた。

表 8.2：被験者リスト

被験者	年齢	視力 (左/右)	実験 1		実験 2
			スネレン図形 片目 (a m rad)	ランドルト環 (c m rad)	スネレン図形 両目(a mrad)
A. K	23	1.0 / 1.0	0.56	3.84	0.68
K. M	20	0.9 / 0.9	0.52	3.12	0.64
M. F	35	0.9 / 0.9	0.68	3.26	0.72
H. O	22	1.0 / 1.0	0.59	2.10	0.64
Y. O	22	0.8 / 0.8	0.72	2.67	0.64

8.6 実験 1

8.6.1 実験装置と条件

実験1での基本的実験条件は第3章、第4章と同じである。唯一の変更点は、周辺視による表示像情報の受容機能を遮断するための制御機能を付加したことである。周辺視による表示像情報の受容機能を遮断する場合は、アイマークカメラからの信号を利用して、表示像近傍（上下左右±3度内）に被験者の視点が移動したときだけ表示像を呈示する機構にし、表示像上に視点が移動して始めて表示像を被験者が認識できる条件を作った。

従って、視標呈示タイムチャートは、周辺視による表示像情報の受容機能を遮断しない場合は第3章や第4章と同じであるが、周辺視による表示像情報の受容機能を遮断する場合は、視点が表示像上（±3度以内）に移動し始めて

表示像が呈示されるので表示像呈示時間は0.5秒より短くなる。

表示像距離 L や表示像サイズ（表示像セグメント線幅 b をmradで表す）、俯角、周辺視の情報受容機能の遮断の有無等の実験条件の組み合わせを表8.3にまとめて示す。

表 8.3：実験条件の組み合わせ

表示像距離 (L m)	俯角 (θ 度)	表示像サイズ (線幅; b mrad)
0.7 ↑	0	3.5
	0	6.0
	20	3.5
	20	6.0

5.0 ↑	0	3.5
	0	6.0
	20	3.5
	20	6.0

$\theta = 20$ 度はヘッドダウンディスプレイ、 $b=3.5$ mradは現行の車速表示用ヘッドアップディスプレイに相当するサイズ。

8. 6. 2 実験結果

(1) 正答率評価結果

各条件での被験者5名の平均正答率， η_s と η_{HIS} を図8.10に示した。

前景認識に関する正答率 η_s は俯角や表示像距離等の条件が変化しても，ほとんど変わらず基準値の80%近傍の値を維持している。しかしながら，表示像の認識特性に関わる正答率 η_{HIS} は，周辺視の認識機能を遮断しない場合の方が，遮断した場合より高くなっており，周辺視での表示像情報の取り込みの事実を示している。

俯角が小さいヘッドアップディスプレイの方が，また表示像距離が長い遠方結像の方が，周辺視の認識による正答率への寄与度は大きい。即ち，ヘッドアップディスプレイの”良さ”が大いに認められる条件で，周辺視による表示像情報の受容の機能が顕著に現われると言える。

(2) 有意差の検定と寄与度

俯角や表示像距離，表示像のサイズ，周辺視の認識機能の遮断の有無等について分散分析を行なった。結果を表8.4に示す。表示像距離 L や俯角 θ ，周辺視の認識機能の有無は危険率1%で，表示像サイズ b は危険率5%で共に有意差が認められた。周辺視の認識機能の有無と，表示像距離，俯角との間にそれぞれ交互作用があり危険率1%で有意であった。これは周辺視の認識機能の有無が，表示像距離が長く，俯角が小さいヘッドアップディスプレイで正答率改善に統計的に有意に寄与していることを示している。

全変動に対する各要因の変動を百分率で表し，寄与率とすると，周辺視の認識機能の有無に関わる寄与率の合計（表8.4下線部）は20%弱に達し，目の焦点調節量や視線移動量に直接関わる表示像距離や俯角による寄与率に匹敵することが分かる。

8. 7 実験 2

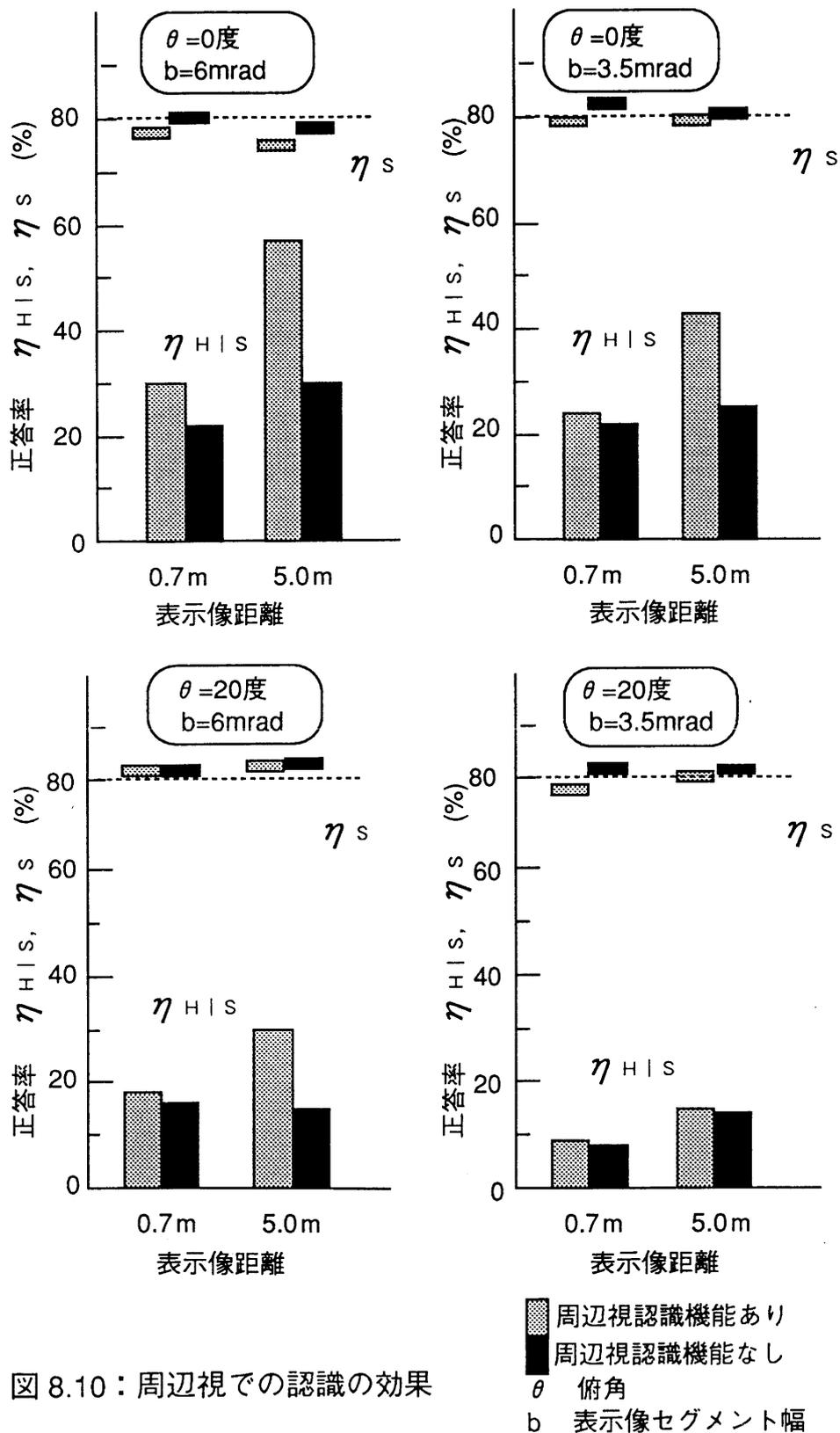


図 8.10：周辺視での認識の効果

表 8.4：分散分析による有意差検定と寄与率

要因	不偏分散	寄与率 (%)
L	16.8**	10.9**
b	7.1*	4.1*
θ	35.5**	24.5**
周辺視(有無)	7.7**	4.9**
L×b	1.9	0.6
L× θ	2.2	1.3
L×周辺視(有無)	7.4**	4.7**
b× θ	1.1	0.7
b×周辺視(有無)	4.7*	3.1*
θ ×周辺視(有無)	7.5**	4.8**
3要因の交互作用	2.7	1.4
誤差		51

*5% **1%危険率で有意差が存在する。

8. 7. 1 実験装置

実験装置のブロック図を図 8.1 1 に示す。前景スクリーンは被験者から 5 m の位置に設け、スクリーン表面輝度は 2 cd/m^2 に設定した。前面と背面の液晶プロジェクタは被験者の姿勢や体型の違いによる表示像位置の相対的なずれを補正・微調整するための、位置較正用座標軸の呈示と中心視視標の呈示に用いた。

ヘッドアップディスプレイ表示像は緑色 CRT 画像をハーフミラーで反射させ作成した。表面と裏面での二重像を防止するためハーフミラーは片面無反射コーティングを施した。ハーフミラーの傾斜角や、複数の表面反射鏡を組み合わせ、表示像を空間的に任意の位置に配置できる構造にした。

被験者の眼球運動をモニタするために、アイマークカメラ（竹井製）を用いた。実験中の被験者の視点方向信号から、視点が中心視視標位置から上下右 1 度以上移動した場合データはキャンセルした。被験者を含む全ての実験系

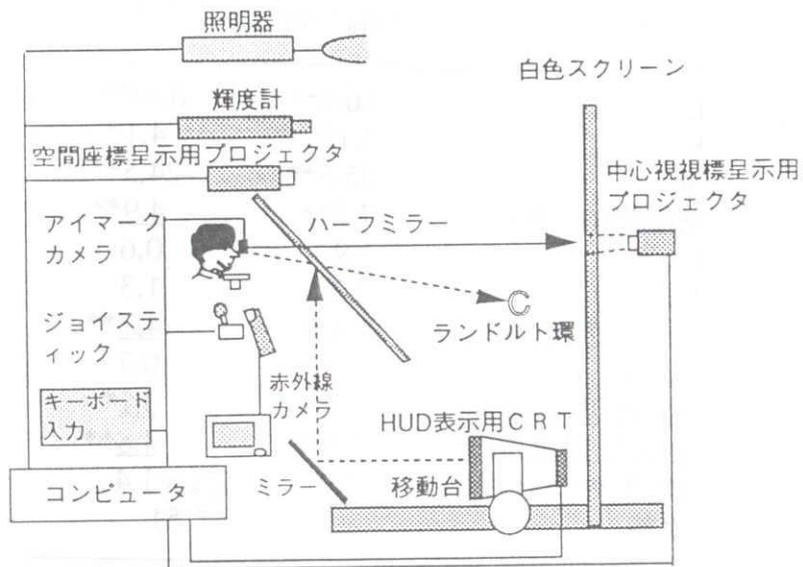


図 8.11：実験装置ブロックダイヤグラム

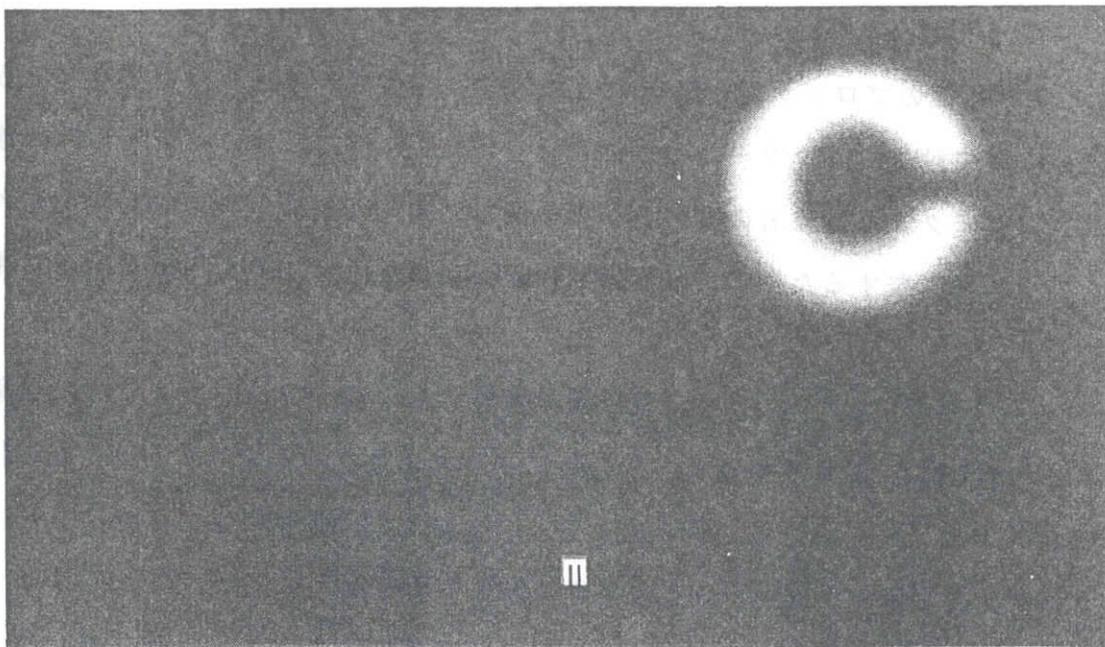


図8.12：実験装置前面スクリーンと視標
 (下方にスネレン図形がピントが合って見える。ランドルト環はボケて見える)

は、壁面・天井・床面とも黒暗色の暗室（ $5^H\text{m} \times 5^W\text{m} \times 6^D\text{m}$ ）に配置した。また被験者の目には各視標とスクリーン以外の光輝物は入らないようにした（図 8.12）。

8.7.2 座標系の定義

実験 2 での座標系を図 8.13 に示す。表示像の位置座標は偏角（ ϕ ）と方位角（ ψ ），表示像距離（ L ）で表現した。偏角（ ϕ ）は中心視視標呈示点と被験者の目を結ぶ軸から表示像までの角度で，方位角（ ψ ）は，前景スクリーン上で中心点から右水平方向の軸から右周りに計った角度である。表示像距離（ L ）は被験者の目の位置から表示像位置までの距離である。方位角（ ψ ）が 90 度での偏角（ ϕ ）の方向は表示像の俯角（ θ ）と同一方向になる。

8.7.3 視標

中心視視標はスネレン図形と，図形高がスネレン図形と同一の円図形の二種を用いた（図 1.8）。スネレン図形のサイズ（線幅 a を mrad で表す）は開口部の方向の正答率が 80% になるよう予め被験者の視機能に応じて基準化した。

表示像視標は認識の単純性と空間的な位置の規定しやすさを考慮し，広く視機能検査に用いられているランドルト環図形を用いた。開口方向は八方向。

ランドルト環のサイズ（間隙 c を mrad で表す）も被験者の視機能に応じて，視標が中心視視標と同じ位置に単独で存在する時，正答率が 95% （十分 100% に近いが飽和していない限界値）になるよう予め基準化した。

表示色は中心視視標，周辺視視標とも自動車用ヘッドアップディスプレイとして最も使われている緑色とした。図 8.14 に被験者から見た各視標呈示状況の例を示す。ここでは視標位置較正用座標軸 ϕ も同時に呈示している。

8.7.4 視標呈示条件

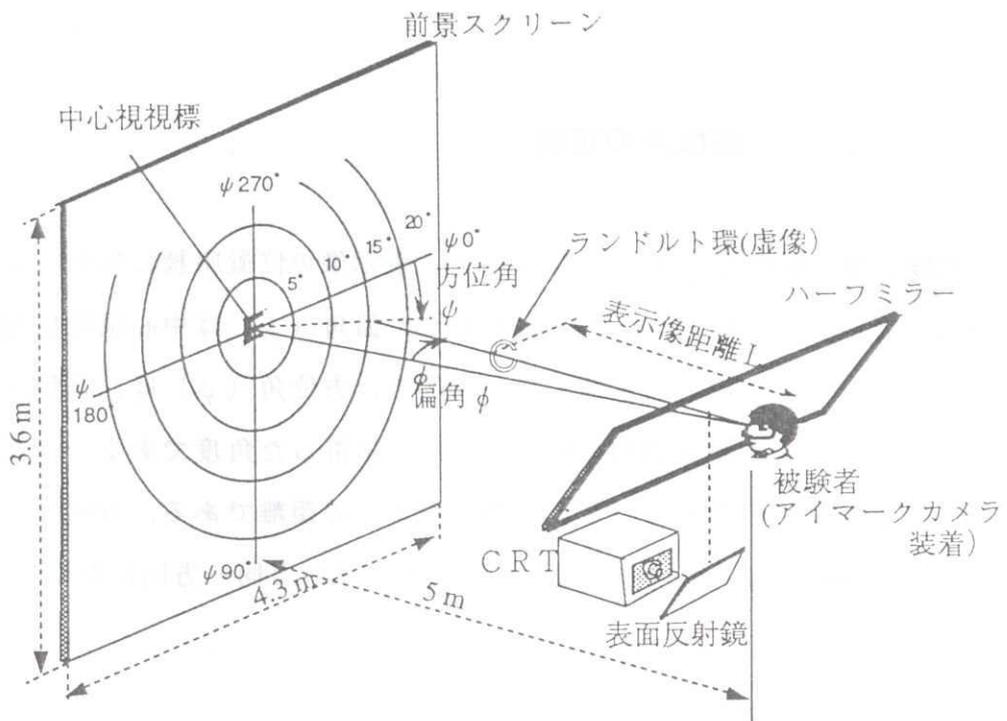


図 8.13：実験系と座標系

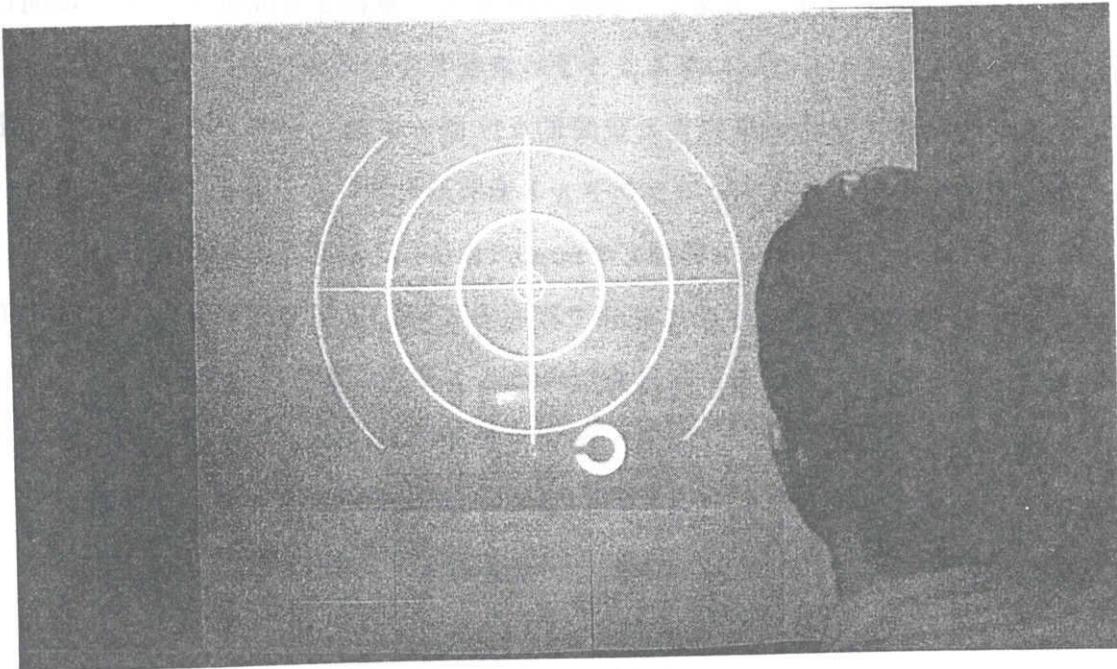


図814：視標と座標（被験者側から）

視標の呈示時間は、走行中ドライバがインストルメントパネル表示像上に視点を停留する時間に基づき第2章や第3章での表示像視標呈示時間と同一条件の0.5秒にし、各視標の開口方向は乱数により制御した。

各視標の呈示タイムチャートを図8.15に示す。1試行は注意を統制するためのブザー音で始まり、表示像視標と二度目に呈示される中心視標のジョイスティック入力応答信号で終了する。

正答率を算出するための試行回数は安定性と精度を考慮して、一つの条件で160回。ランドルト環の8方向それぞれ20回ずつ呈示されるよう制御した。正答率の算出にはすべて推測法を用いた。

なお、実験中は被験者の疲労状態を考慮して各試行毎に適宜数分の休憩を取った。

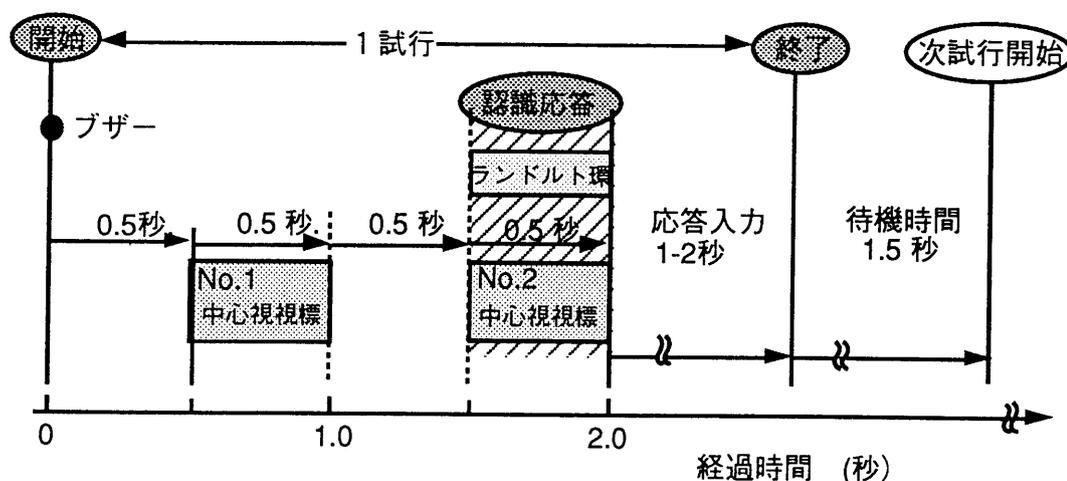


図 8.15：一回の試行のタイムチャート

8.7.5 実験

本実験での応答入力方法は被験者の負担をできるだけ軽くするため予備実験での検討結果を考慮し、口頭報告に代えてジョイスティック入力方式を用いた。実験手順を表8.5に示す。実験は全て被験者の効き目（全員右目）のみの片眼

で行なった。被験者は認識した各視標の開口方向を中心視視標（スネレン図形の場合のみ），表示像視標（ランドルト環）の順序でジョイスティック入力する。

表 8.5：実験 2 の手順

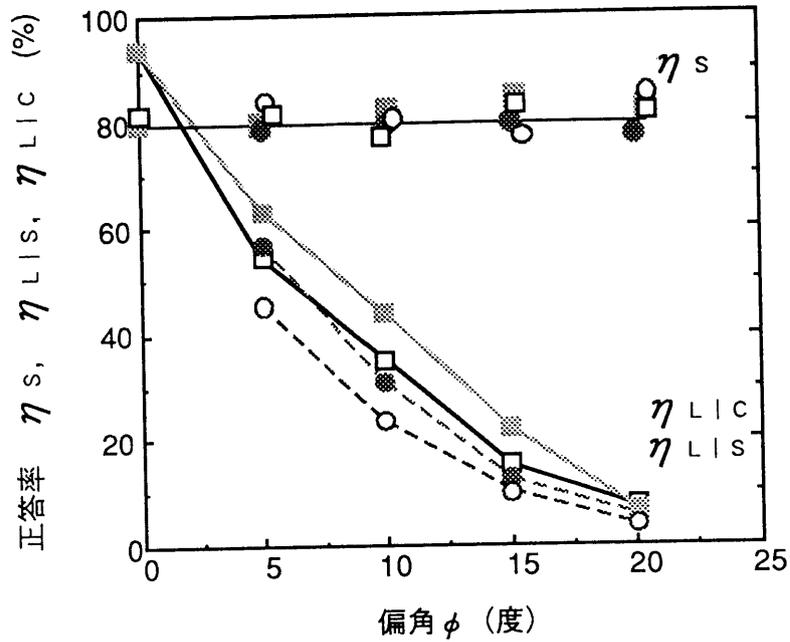
No.	手順
(1)	輝度等の計測調整
(2)	被験者の体調・視力等の調査・計測
(3)	目の順応（十分）
(4)	入力操作の練習
(5)	スネレン図形サイズの基準化
(6)	ランドルト環サイズの基準化
(7)	実験の説明と応答練習 40～50回の練習
(8)	実験

8. 7. 6 実験結果

(1) 正答率の偏角依存

視標の正答率は三種類定義される。ランドルト環（ヘッドアップディスプレイ表示像）が呈示されたときの中心視視標であるスネレン図形（前景視標）の正答率（ヘッドアップディスプレイ表示像が呈示されたときの前景視標の正答率に相当するので η_s の記号で表現する）。中心視視標としてスネレン図形が呈示されたときのランドルト環の正答率 $\eta_{L|S}$ と，中心視視標として円図形が呈示されたときの正答率 $\eta_{L|C}$ の三種類である。

図 8.16 に方位角 ψ が 90 度の場合について，正答率 η_s ， $\eta_{L|S}$ ， $\eta_{L|C}$ の偏角 ϕ の依存特性を示す。表示像距離 L は 0.7 m（ヘッドダウンディスプレイの表示像距離に相当）と 5 m（前景と同じ距離）である。方位角 ψ が 0 度の場合についても同様に偏角 ϕ が 10 度まで評価したが，同様の傾向であった



中心視視標円図形 η_{LIC} 中心視視標スネレン図形 η_{LIS}

- - ● - - L=0.7
 - - ○ - - L=0.7m
 - - □ - - L=5m
 - - ○ - - L=0.7m

図 8.16 : 正答率の偏角依存性 (方位角 $\psi = 90$ 度)

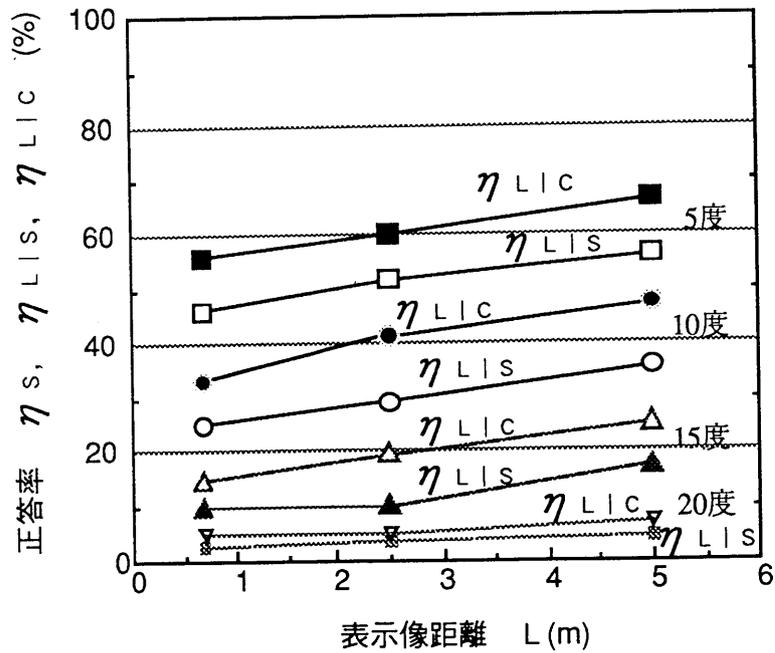


図 8.17 : 正答率の表示像距離依存性 (方位角 $\psi = 90$ 度)

のでここでは方位角 ψ が 90 度の場合についてのみの結果を示す。

中心視視標の正答率 η_s は偏角 ϕ に殆ど依存せず、ほぼ基準の値を維持しながら、周辺視視標の情報をかなりの部分取り込んでいることが分かる。偏角 ϕ が大きくなったり、表示像距離が 0.7 m になると周辺視視標から取り込める情報は少なくなり正答率 η_{LIS} 、 η_{LIC} は低下する。周辺視視標の情報をかなりの部分取り込んでいることや偏角 ϕ が大きくなったり、表示像距離が 0.7 m になると周辺視視標から取り込める情報が少なくなることは、視覚光学モデルを実験データとして支持していると考えられる。

中心視視標がスネレン図形の場合、被験者は開口部の方向を判読しなければならない。これは中心視野への注意が強いケースと考えられる。正答率 η_{LIC} は常に η_{LIS} より高い。これは中心視での注意の強弱が周辺視視標の情報取り込みに大きな影響を与えていることを示唆している。

(2) 表示像距離依存

図 8.17 に、方位角 ψ が 90 度の場合について、正答率 η_{LIS} 、 η_{LIC} の表示像距離 L への依存性を示す。偏角 ϕ は 5 度、10 度、15 度、20 度を採った。

周辺視視標の正答率 η_{LIS} 、 η_{LIC} は、表示像距離 L の増加に対して偏角 ϕ や方位角 ψ によらず単調増加曲線になる。

表示像距離 L が長くなると、従って表示像が前景に近づくと、正答率 η_{LIS} 、 η_{LIC} が大きく改善することは、“周辺視野で、表示像の網膜上のボケが正答率に十分影響を与える” という視覚光学モデルを実験的に支持すると考えられる。このことは、8.4 節で述べた表示像距離が異なる二つのヘッドアップディスプレイの大きな正答率差の理由に定性的な説明を与える。

正答率 η_{LIC} が、常に正答率 η_{LIS} より高いことは、偏角や、方位角、表示像距離によらず三次元空間全体に亘って、中心視視標の注意の強弱が周辺視視標の情報取り込みに大きな影響を与えていることを示唆している。

8.8 考察

8. 8. 1 中心視野への注意

中心視視標への注意の強さを比較するため、若年齢者層の被験者の中から4名を選び周辺視視標の発見応答性を調べた。中心視視標には実験で用いたスネレン図形と円図形を用いた。

周辺視視標は、白色円図形（視角0.5度の円図形、輝度対比1.5）を用いた。これは、前景視対象への注意の深さを調べるため、三浦ら⁽¹⁸⁰⁾が種々の道路条件の実車走行実験で、20歳代の被験者を用いて周辺視野の視標の発見応答性を計測した視標と同等のもので、偏角 ϕ が5度から15度、方位角 ψ は0度から360度までの全領域に周辺視視標はランダムに呈示した。

被験者は中心視視標を注視し周辺視視標を発見したら応答する。周辺視視標の呈示開始から被験者の応答までの時間を計測した。

まず白色円形の視標を中心視野に呈示し、実験入力系での被験者の応答性を計測し、つぎにスネレン図形、円図形での応答時間を計測した。スネレン図形では平均応答時間約0.42秒、円図形では0.36秒を得た。各応答時間には危険率1%で有意差が存在した。

道路の明るさや被験者が異なるため、三浦等の実験結果をそのまま適用することは正確さを欠くが、敢て大雑把に比較すると、本実験で用いたスネレン図形への注意の強さは、低混雑一般道路ないしは低混雑高速道路で、道路遠方や先行車等をドライバが見ている条件（0.4～0.45秒）に近い。今回の実験で用いた中心視野のスネレン図形への注意の程度の設定は、大雑把に見て実際の走行を想定しても妥当な範囲にあると考えられる。

8. 8. 2 M T F 特性

Gullstrandの精密模型眼⁽⁴⁵⁾に基づき、中心視視標位置と表示像位置でのM T F (Modulation Transfer Function) 特性をCODE V (Optical Research

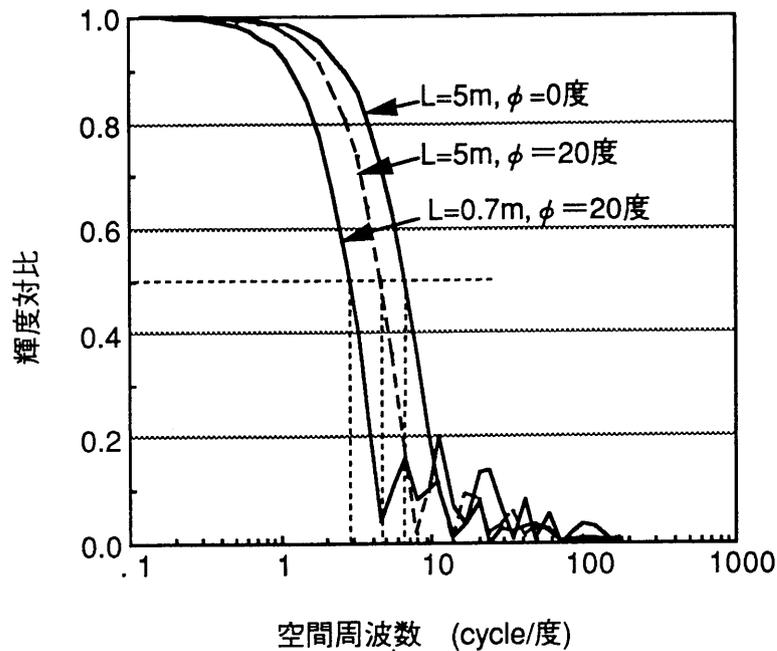


図 8.18：眼光学系のMTF特性
(Gullstrandの精密模型眼による)

Associates社製) を用いて計算した。目の焦点調節状態は 5 m 遠方の中心視視標に合わせた。図 8.18 に結果を示す。眼球光学系だけでも、中心視野での高域遮断周波数は、約 7 cycle/度から、偏角 20 度で、表示像が中心視視標と同一の距離にある場合で約 5 cycle/度、表示像が従来メータの位置である 0.7 m にある場合では約 3 cycle/度に低下することが分かる。

空間周波数対数軸上でそれぞれの曲線は、輝度対比が低い領域ではほぼ平行となっていることに着目すると、(前景の明るさから求められるコントラスト感度は低いこと⁽⁴⁵⁾⁽¹⁸¹⁾を念頭におけば、偏角 20 度の周辺視野でのコントラスト感度の絶対値によらず) 偏角 20 度では表示像距離を遠方に設定し、網膜上のボケを低減することにより、認識できる表示像パターンの線幅間隙をおよそ 3/5 に細くできることが推測される。

従って表示像のエリアは (単純には線幅の二乗となるので) 約 9/25,

およそ0.4に縮小できることになる。これは、小さい表示エリアで同一の情報を伝えたい自動車用ヘッドアップディスプレイでは、表示像距離を遠方化することによる大きな効果と言えよう。

本論文では論じられなかった網膜周辺視野のMTF特性をも含めた空間周波数特性の解析については別途、実験・考察していく必要がある。

8. 8. 3 走行実験における視点停留時間の差

8. 4. 3節でも述べたように、曲線路走行時のドライバの視線方向は、車両が曲がる方向に集中しがちであることや、高速直線路では水平前方方向に集中することが多いと言われる。一方ヘッドアップディスプレイ表示像の位置はN点の近傍、俯角5度以内である。これらを考慮すると、曲線路走行ではヘッドアップディスプレイ表示像とドライバの視線方向が作る偏角が平均的に大きくなり、周辺視で認識できる表示像の情報量が低下し、結果的に表示像上の視点停留時間認識が長くなる。高速直線路走行では逆に、偏角が平均的に小さくなり視点停留時間認識が短縮されると説明ができる。

中心視での目の焦点調節の遅れや視線移動量の大小では説明が難しいが、周辺視による視覚光学モデルで定性的ではあるが説明が可能であることは、実車実験の観点からも視覚光学モデルを支持していると考えられる。

8. 9 まとめ

(1) 自動車用ヘッドアップディスプレイでは、中心視で外界の視対象を認識しているとき、目は周辺視野に存在する表示像の情報を比較的多く取り込むことができる。

(2) ドライバの目の焦点調節が（中心視で）遠方の外界視対象に合っているとき、周辺視で認識する表示像が近方にあると網膜上にボケた像を形成する。網膜周辺視野での認識能力の低下に加え、このボケ量は周辺視での表示像

の認識度合いに大きな影響を与える。

(3) 実車実験の結果や表示像距離の異なるヘッドアップディスプレイ表示像の認識特性の実験結果等は、視覚光学モデルを用いて定性的に説明できる。

第9章

優位性のメカニズム⁽¹⁸²⁾

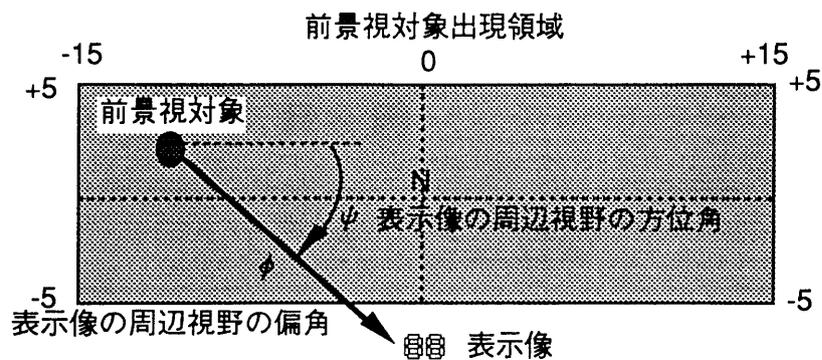
9.1 はじめに

前章では周辺視による情報受容機能が自動車用ヘッドアップディスプレイの表示像の認識特性に大きな役割りを果たすことを述べた。周辺視による情報受容機能を遮断すると、ヘッドアップディスプレイでは表示像の認識特性が大きく低下することや、周辺視での情報受容が実際に行なわれていることを片眼だけに着目して受容情報の程度を計測評価し、提案した視覚光学モデルの妥当性を示した。

本章では、ドライバの通常の運転条件を想定し、両眼で前景と表示像の情報を受容する場合に周辺視による情報受容がどのような作用や効果を有するかを評価した。

また、中心視視標への注意（アテンション）の強さに周辺視の情報受容特性が依存することを示すと共に、若年齢者層に比較して高年齢者層では注意の強弱への依存が大きいことを示した。この結果から、第3章や第4章、第5章の結果で特徴的であった、高年齢者層での表示像正答率の低下の要因として”中心視への注意（アテンション）の程度”が挙げられることを論じた。

最後に、第4章の実験結果で説明が不十分であった逆S字特性に代表される表示像正答率の俯角依存特性を、周辺視による情報受容と言う観点から考察



表示像の存在する周辺視野の偏角と方位角の領域

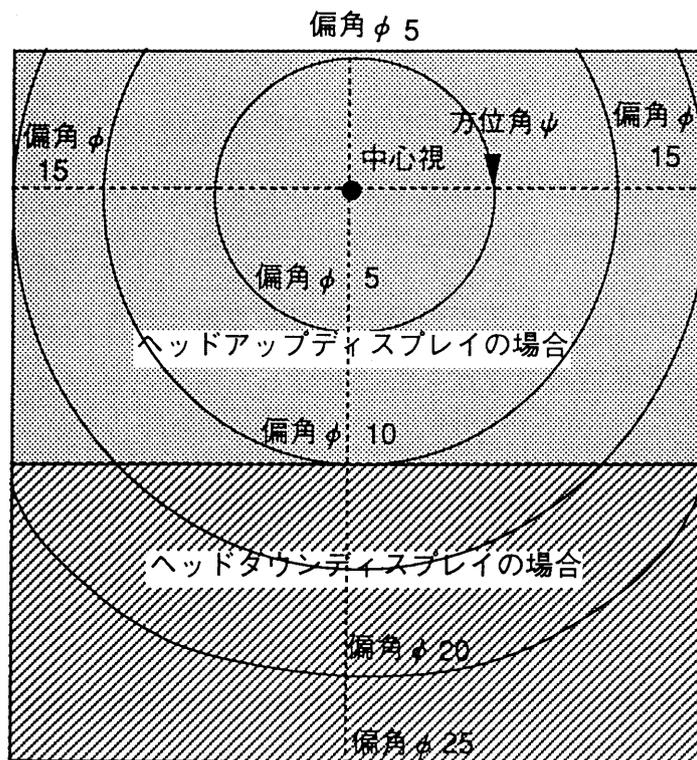


図9.1：偏角と方位角による周辺視野

した。

9. 2 実験系設定の考え方

第2章では、通常運転時のドライバの視線移動の90%以上は、N点を中心に左右±15度、上下±5度程度の領域に存在することを述べた。この領域に出現する前景視対象を、ドライバが中心視で注視しているときを想定すると、周辺視野の中で表示像は図9.1に示す領域に存在する。図では、俯角 θ がゼロから10度近傍までのヘッドアップディスプレイの場合と、俯角 θ が10度から20度までのヘッドダウンディスプレイの場合を中心視（前景視対象）からの偏角 ϕ と方位角 ψ で表現した。

図から分かるように、中心視の視点を原点におくと、左右15度、上方5度、下方に25度程度の領域になるので、この領域を考慮すれば前景視野の90%をカバーする前景視対象の出現時の表示像の周辺視野を実現できる。

本章での実験では、この周辺視野の領域を念頭におき、各実験パラメータである偏角 ϕ と方位角 ψ の領域を設定した、

9. 3 実験装置と手順

9. 3. 1 実験装置

実験装置は基本的には第8章と同じである。前景スクリーンの中心に中心視視標を呈示している。前節の検討結果を考慮し、表示像が出現する位置は偏角で左右15度、上方向5度、下方向20度までとした。また、後述するように本章での実験では、被験者に眼鏡使用者をも加えた。眼鏡使用者ではアイマークカメラでの眼球の移動モニタの精度が低下するので、新たに赤外線CCDカメラ（浜松ホトニクス社製）を追加し被験者の眼球移動の有無をチェックした。

本実験での応答入力方法は第8章実験2と同様に、被験者の負担をできる

だけ軽くするため、口頭報告に代えてジョイスティック入力方式を用いた。

1 試行は注意を統制するためのブザー音で始まり、中心視視標とそれに同期する表示像視標のジョイスティック入力信号で終了する。1 試行の時間はジョイスティックの応答時間に個人差があるため被験者により若干変わるが5秒から6秒の範囲であった（図8.15）。

スネレン図形とランドルト環の開口方向は乱数により制御した。正答率を算出するための試行回数は正答率の安定性と精度を考慮して、一つの条件で160回とした。

また、同一条件の全160回試行では、ランドルト環の開口方向が8方向それぞれ20回ずつ呈示されるよう制御した。

9. 3. 2 手順

実験の手順も基本的には第8章での手順と同じであるが、一部の変更点を含め以下に示す。

- (1) 輝度等の計測調整
- (2) 被験者の体調・視力等の調査・計測
- (3) 順応（十分）
- (4) 入力操作の説明と練習

被験者は両眼で呈示図形を認識し、スネレン図形の開口方向等の結果をジョイスティックを用いて応答する。

- (5) スネレン図形サイズの基準化

各被験者の視力値を参考に2種類のサイズのスネレン図形を選び100回呈示する。それぞれの正答率から内挿法により正答率が80%になるサイズを求め基準サイズとする。

中心視視標が円図形の場合は円の直径が基準化されたスネレン図形の高さに等しくなるようにした。

- (6) ランドルト環サイズの基準化

各被験者の視力値を参考に2種類のサイズのランドルト環を選び、それぞれ100回、中心点（中心視視標呈示位置）に呈示し二つの正答率から内挿法を用い正答率が100%を僅かに下回る95%になる基準サイズを求める。

（7）実験の説明と応答練習

実験の説明．被験者はアイマークカメラを着装し、中心視視標から目を動かさずに周辺視視標を認識し、ジョイスティックによりスネレン図形、ランドルト環の順序で入力する（40～50回の練習）。

（8）実験

呈示された視標の認識結果を中心視視標（スネレン図形または円図形）、表示像視標（ランドルト環）の順序でジョイスティックにより入力する．同一条件でスネレン図形について実験した後、円図形で同様の実験を行なう。

なお実験中は被験者の疲労状態を考慮して各試行毎に適宜数分の休憩を取った。

9. 3. 3 被験者

被験者は運転免許を有する20代の男子7名（若年齢者層）と比較のため50代後半～60代前半の男子3名（高年齢者層）の計10名を用いた．表9.1に各被験者の視力値、基準化したスネレン図形のサイズ、基準化したランドルト環サイズをそれぞれ示す。

9. 4 実験結果

9. 4. 1 正答率の偏角依存

三種類の正答率 η_S , η_{LIS} , η_{LIC} の定義は第8章と同じである．中心視視標のスネレン図形が呈示されたときの正答率 η_S ．中心視視標としてスネレン図形が呈示されたときのランドルト環の正答率 η_{LIS} と、中心視視標として

表9.1：被験者リスト（両目による特性）

被験者	年齢	視力 (左/右)	スネレン図形 (a m rad)	ランドルト環 (c m rad)
若年齢者層				
A.K	23	1.0 /1.0	0.48	3.72
M.S	26	0.7 /0.7	0.44	2.52
Y.O	21	1.0 /1.0	0.36	1.92
K.M	20	0.9 /0.9	0.40	2.67
Y.N*	26	0.9 /0.9	0.56	2.67
H.O	22	1.0 /1.0	0.44	1.80
Y.O*	22	0.8 /0.8	0.68	2.40

高年齢者層				
M.T	58	0.8 /0.8	0.44	1.80
H.O	57	0.7 /0.8	0.77	3.00
I.S	64	0.5 /0.7	0.92	3.00

注) *は眼鏡による矯正視力

円図形が呈示されたときの正答率 η_{LIC} の三種類である。

本実験で対象としている15度から20度程度の周辺視機能については、左右方向の対称性を仮定しても大きな問題はないと考えられるので⁽¹⁸³⁾、方位角 ψ を0度の場合と90度の場合を選び、正答率 η_S 、 η_{LIS} 、 η_{LIC} の偏角 ϕ への依存特性を評価した。

表示像距離 L はヘッドダウンディスプレイに相当する0.7mと、前景と同じ距離である5mを採った。

図9.2と図9.3に若年齢者層被験者7名の平均正答率 η_S 、 η_{LIS} 、 η_{LIC} を、図9.4と図9.5に高年齢者層被験者3名の平均正答率 η_S 、 η_{LIS} 、 η_{LIC} を示す。各個人のデータバラツキが掴めるよう各被験者のデータを図中に記号類で平均値に重ねて記した。全被験者の平均正答率 η_S 、 η_{LIS} 、 η_{LIC} は、図9.6と図9.7に示した。

中心視視標の正答率 η_S は偏角 ϕ に殆ど依存せず、ほぼ基準の値(80%)を維持しながら、周辺視視標の情報をかなりの部分取り込んでいるが分かる。

偏角 ϕ が大きくなったり、表示像距離 L が5mから0.7mになると、正答率 η_{LIS} 、 η_{LIC} は低下し、周辺視視標から取り込める情報は少なくなることを示している。

周辺視視標の情報をかなりの部分取り込んでいることや偏角 ϕ が大きくなったり、表示像距離が0.7mになると周辺視視標から取り込める情報は少なくなることは、第8章の片眼データの傾向同様、両眼での表示像情報認識でも視覚光学モデルを裏付けている。

周辺視視標の正答率 η_{LIS} 、 η_{LIC} は、偏角 ϕ の増加に対して方位角 ψ が0度か90度かによらず単調減少曲線になるが、方位角 ψ が0度の方が ψ が90度(俯角方向)よりやや高くなる。これは両眼での周辺視の視野範囲が垂直方向より水平方向で広がる⁽¹⁸⁴⁾ことによると考えられる。

また、正答率 η_{LIC} (図中実線)は常に η_{LIS} (図中破線)より高い。これは中心視視標への注意(アテンション)の強弱が周辺視視標の情報取り込みに大きな影響を与えていることを示しており、9.4節で若干の考察をする。

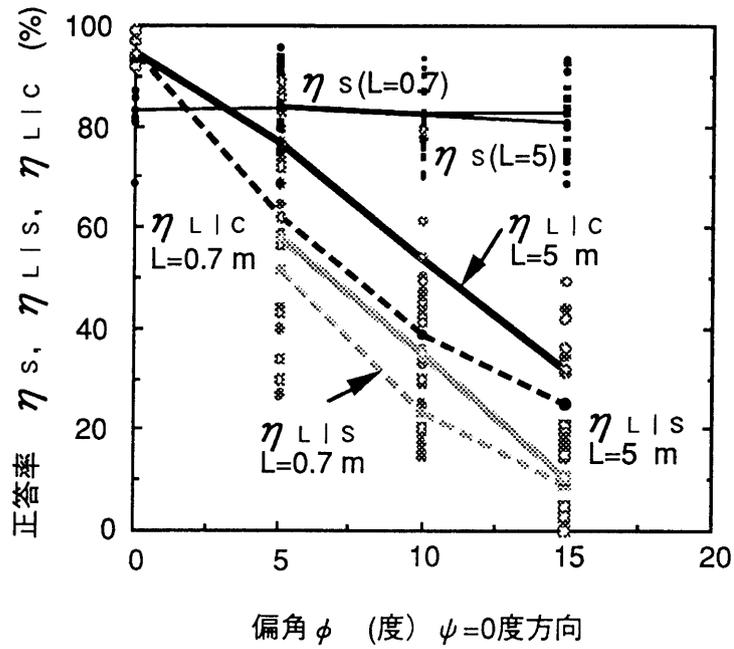


図 9.2：正答率の偏角依存性
(方位角 $\psi = 0$ 度方向, 若年齢者層)

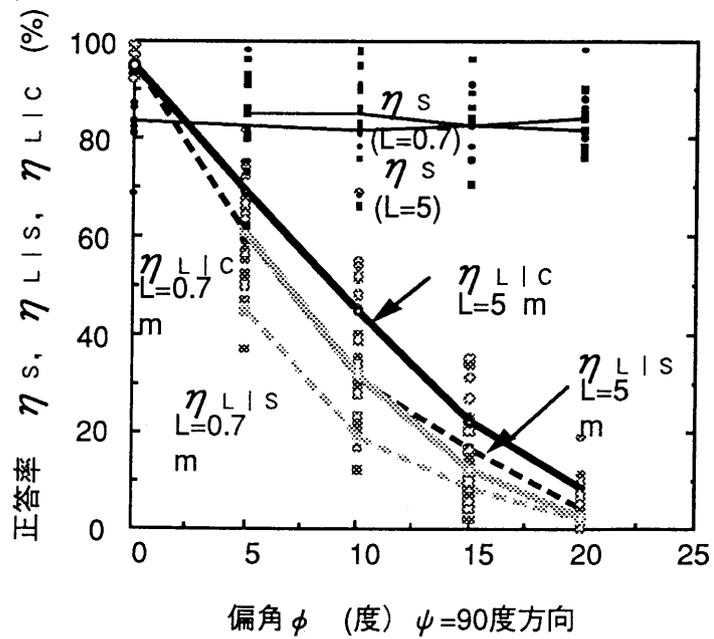


図 9.3：正答率の偏角依存性
(方位角 $\psi = 90$ 度方向, 若年齢者層)

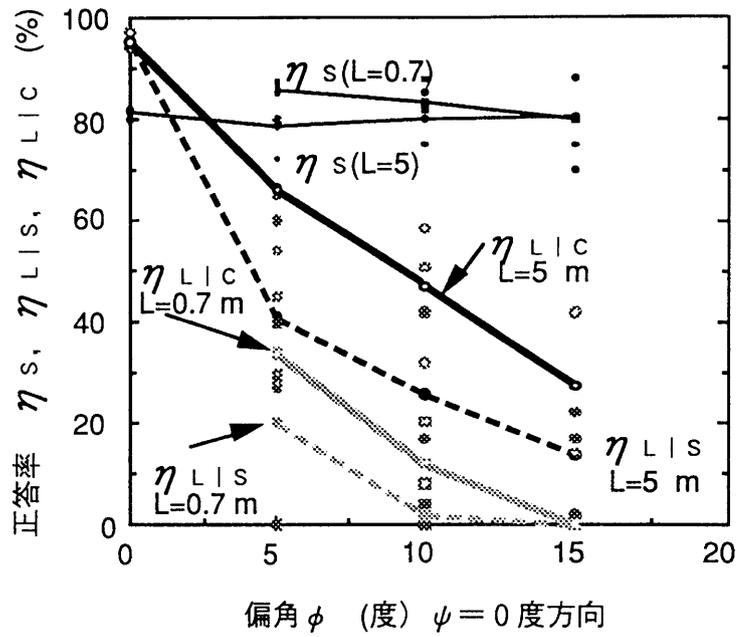


図 9.4 : 正答率の偏角依存性
(方位角 $\psi = 0$ 度方向, 高年齢者層)

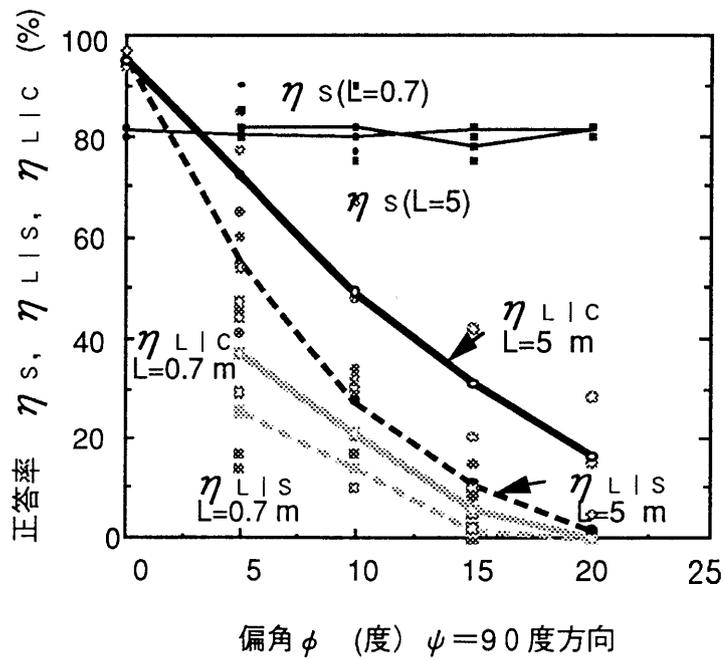


図 9.5 : 正答率の偏角依存性
(方位角 $\psi = 90$ 度方向, 高年齢者層)

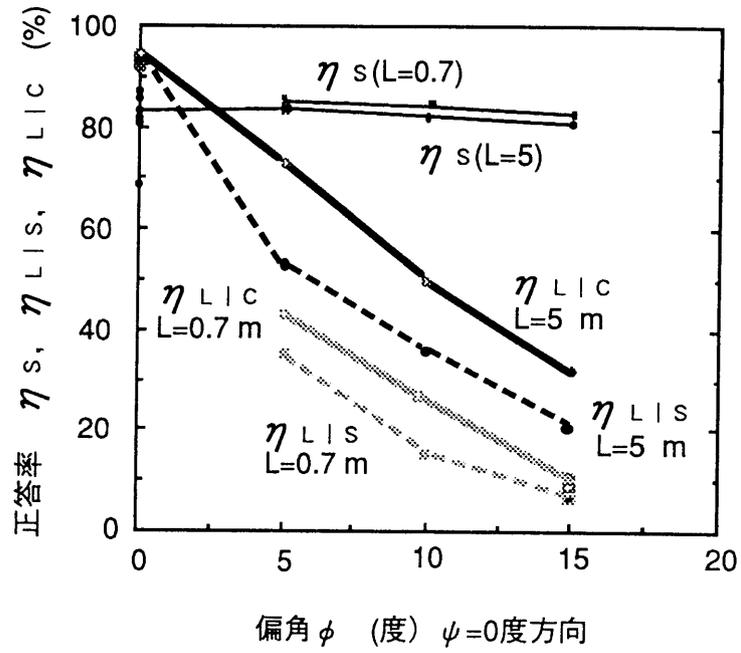


図 9.6：正答率の偏角依存性
(方位角 $\psi = 0$ 度方向, 全平均)

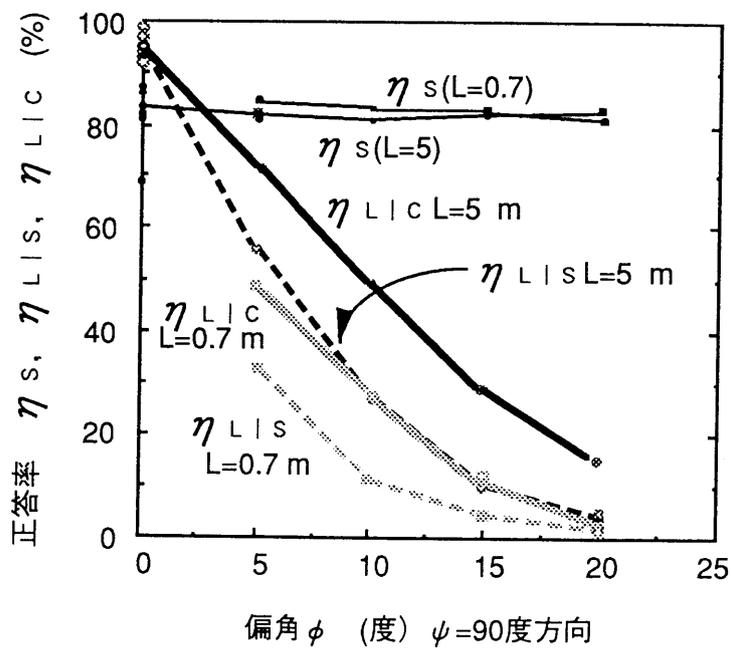


図 9.7：正答率の偏角依存性
(方位角 $\psi = 90$ 度方向, 全平均)

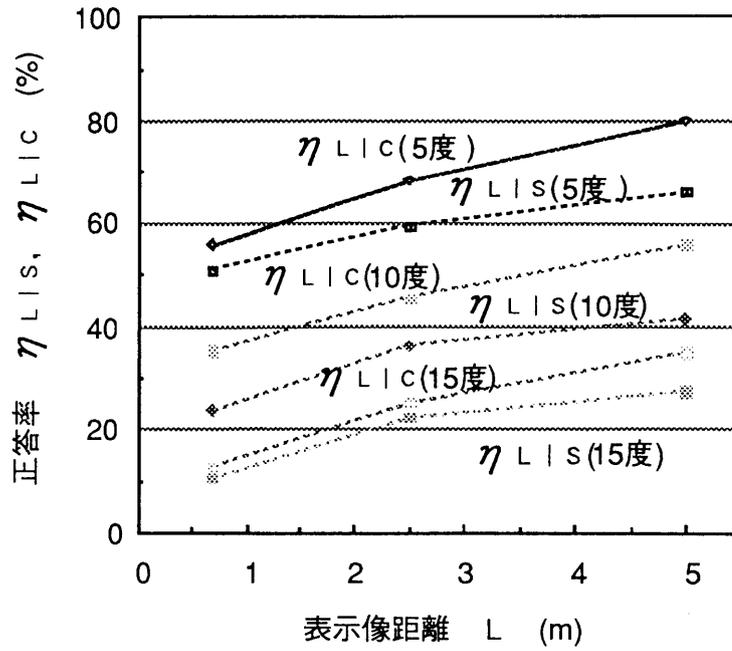


図 9.8 : 正答率の表示像距離依存性
($\psi = 0$ 度, 若年齢者層)

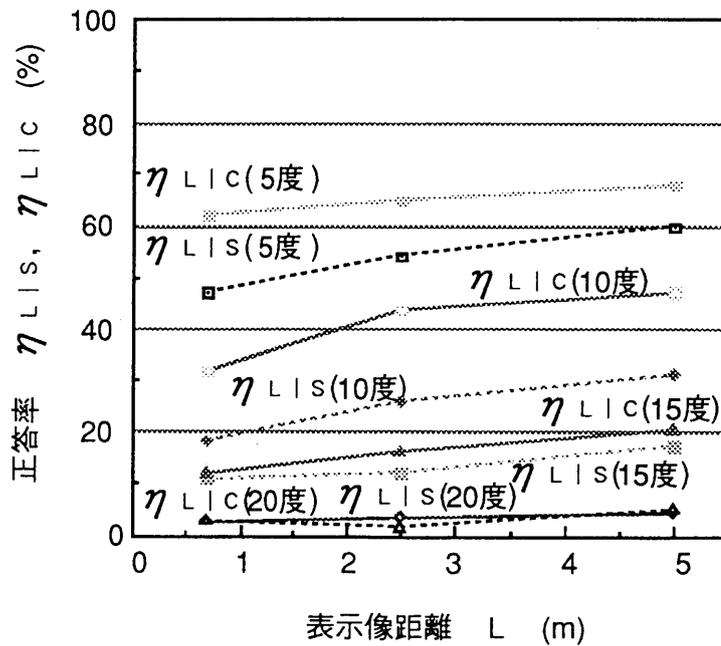


図 9.9 : 正答率の表示像距離依存性
($\psi = 90$ 度, 若年齢者層)

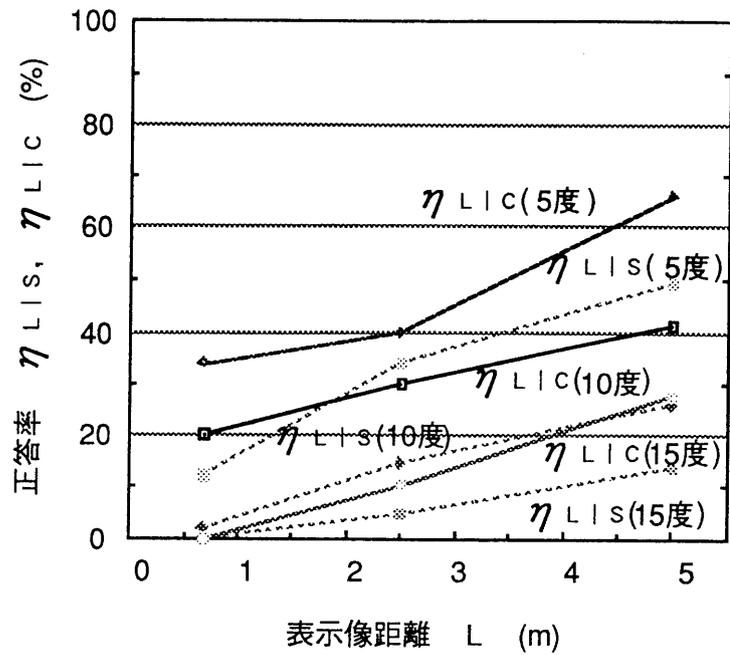


図 9.10：正答率の表示像距離依存性
($\psi = 0$ 度, 高年齢者層)

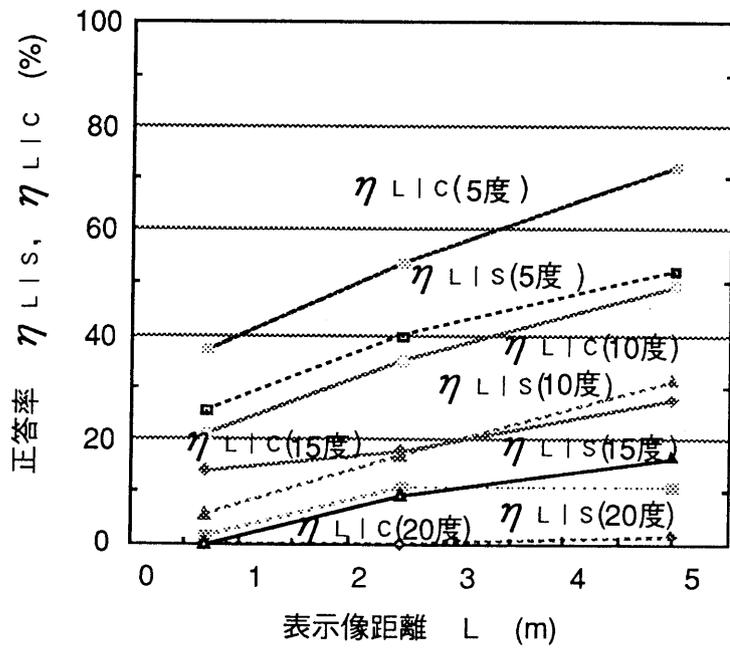


図 9.11：正答率の表示像距離依存性
($\psi = 90$ 度, 高年齢者層)

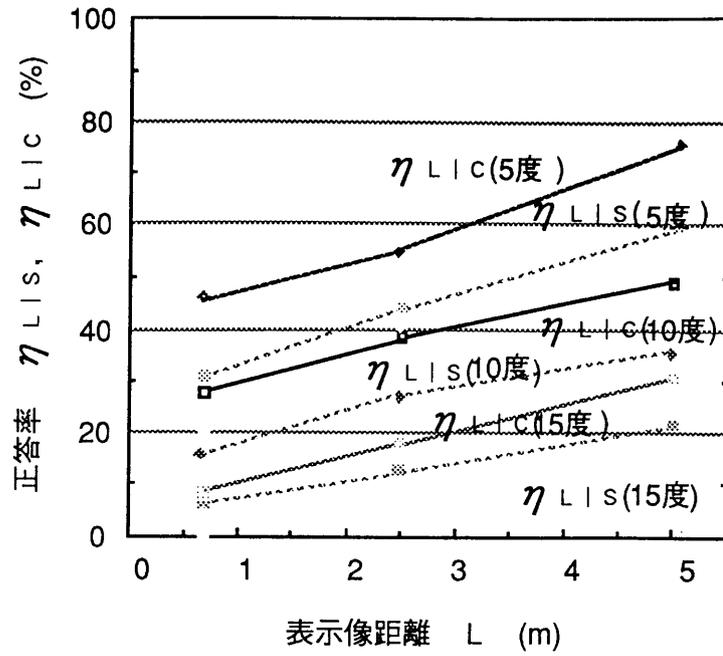


図 9.12 : 正答率の表示像距離依存性
($\psi = 0$ 度, 全平均)

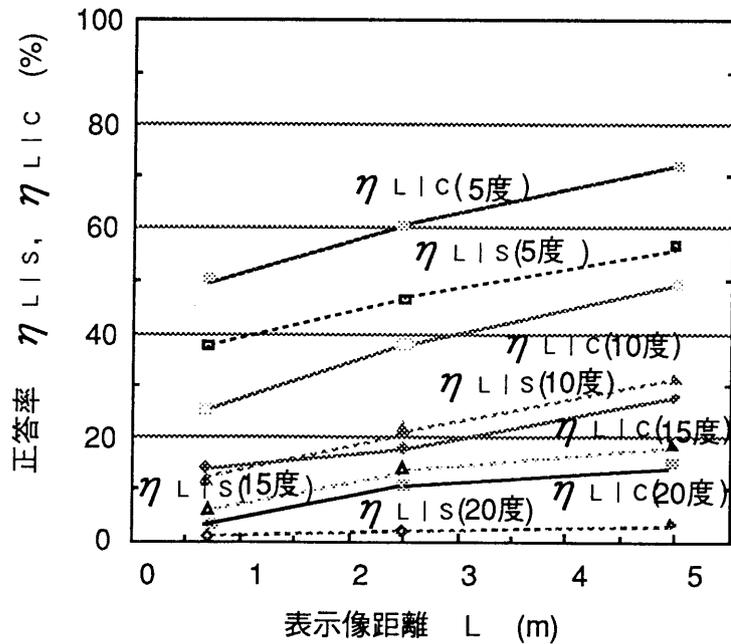


図 9.13 : 正答率の表示像距離依存性
($\psi = 90$ 度, 全平均)

9. 4. 2 正答率の表示像距離依存

方位角 ψ が 0 度の場合と 90 度の場合について、正答率 $\eta_{L|S}$, $\eta_{L|C}$ の表示像距離 L への依存性を評価した。パラメータとして偏角 ϕ が 5 度, 10 度, 15 度と, 方位角 90 度のみ 20 度も採った。図 9.8 と図 9.9 に若年齢者層被験者 7 名の平均正答率を, 図 9.10 と図 9.11 に高年齢者層被験者 3 名の平均正答率を示す。図 9.12 と図 9.13 には全平均を示す。

周辺視視標の正答率 $\eta_{L|S}$, $\eta_{L|C}$ は, 表示像距離 L の増加に対して偏角 ϕ や方位角 ψ によらず単調増加曲線になる。偏角や方位角, 中心視視標への注意 (アテンション) の強弱によらず, 表示像距離が前景に近づくに従い正答率 $\eta_{L|S}$, $\eta_{L|C}$ が大きく改善することは, 第 8 章で述べた”焦点があわないことによる周辺視野でのボケが, 正答率に十分影響を与える” という視覚光学モデルを実験データとして支持していることを示している。

また, 偏角 ϕ や方位角 ψ , 表示像距離 L によらず, 正答率 $\eta_{L|C}$ が常に正答率 $\eta_{L|S}$ より高い。これは偏角や方位角, 表示像距離の変化によってカバーされる空間全体に亘って, 中心視視標への注意 (アテンション) の強弱が周辺視視標の情報取り込みに大きな影響を与えていることを示唆している。

9. 5 考察

9. 5. 1 高年齢者層と若年齢者層の比較

図 9.2 から図 9.13 に見られる各データで, 若年齢者層と高年齢者層の各正答率の特性を比較すると, 大きく三つの特徴的な結論が引き出せる。

第一には視力値や, 基準化したスネレン図形, ランドルト環サイズには高年齢者層と若年齢者層との間に大きな差が見られない。

第二には, アテンションが弱い中心視視標 (円図形) での周辺視視標認識

能力 (η_{LIC}) には、年齢層間で大きな差は見られないにも拘わらず、中心視視標のアテンションが強くなると、高年齢者層では周辺視視標認識能力 (η_{LIS}) が大きく低下する。

第三には、二つの正答率 η_{LIS} 、 η_{LIC} の表示像距離依存性は、高年齢者では大きく若年齢者層では小さい。

これらは、高年齢者層では視力や普通の周辺視での認識能力（中心視視標と周辺視視標が同一距離にある場合の周辺視認識能力）に衰えが見られなくても、運転中、一つの視対象を（強いアテンションで）注視し続けたり、表示像距離が短い場合には、周辺視で情報を取り込む能力が低下することを示している。

この特徴を表示装置設計と言う観点から考えると、表示像の偏角 ϕ を小さくしたり、表示像距離 L を前景近く設けることが、周辺視で情報を取り込む能力の低下を極力少なくする効果を有していると解釈できる。即ち、第3章等で述べた”高年齢者層でヘッドアップディスプレイが有利である”ことが、周辺視での情報受容機能と言う観点から説明できることになる。

9. 5. 2 散失情報量のダイヤグラム

被験者の応答は、ランドルト環情報の呈示と言う入力に対する視覚情報系の出力と見做せる。視覚情報系で情報の散失がなければ、入力情報は100%出力端（被験者の応答）に伝達されるが、途中で情報の散失があると出力端には入力情報の一部しか伝わらない。

中心視野で100%近く認識できた表示情報が周辺視野で情報がどれだけ散失するかを調べるのは直感的に視覚モデルを理解する上で有効である。

ランドルト環の開口方向に1から8までの番号をふり、それぞれ X_i ($i=1\sim 8$) で表すと、視覚情報系を通った出力 Y_j ($j=1\sim 8$) は表示像距離 L や偏角 ϕ 、方位角 ψ 、アテンションの強弱の条件によって変化する。各入力に対する出力の関係は、 8×8 の64通り存在するので、この関係を条件付き確率 p_{ij} (i の

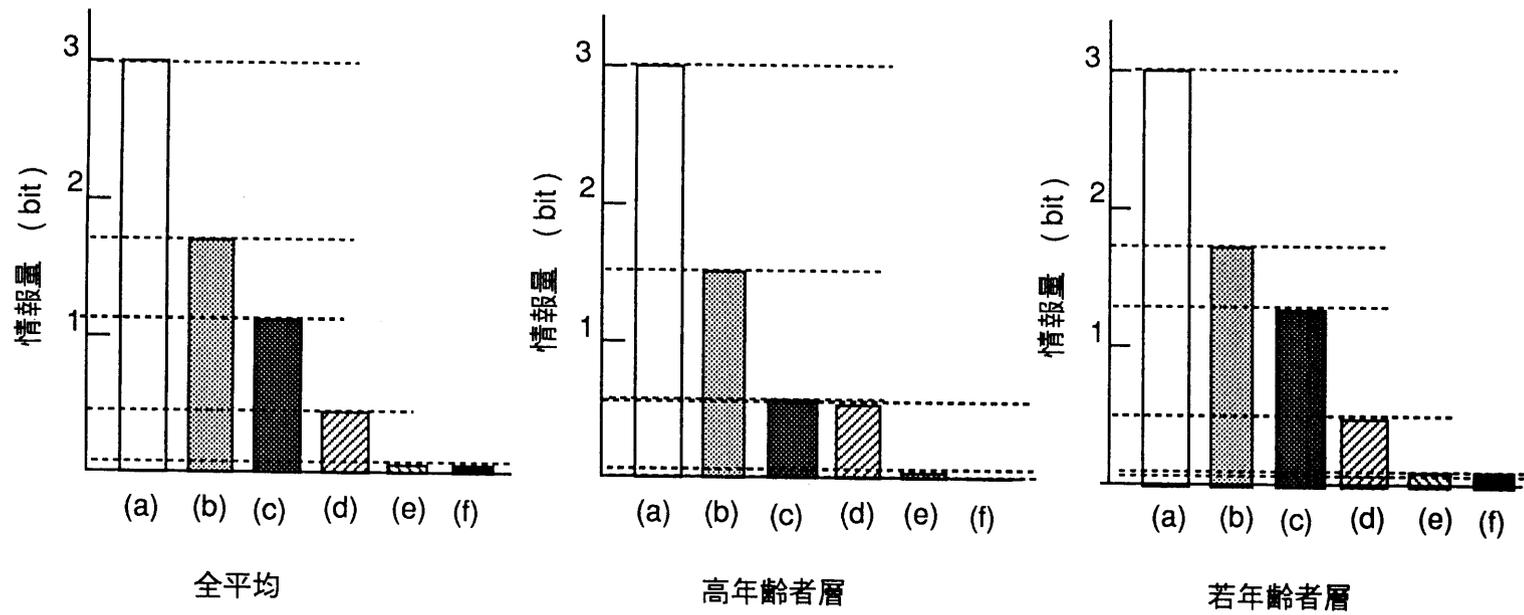


図9.14：各条件における伝達情報量と散失情報量

表9.2： 表示像視標の条件

記号	条件			
(a)	中心視野に刺激情報（ランドルト環）を呈示			
	偏角 ϕ (度)	方位角 ψ (度)	表示像距離 L (m)	中心視視標
(b)	5	0	5	円図形
(c)	5	0	5	スネレン図形
(d)	15	0	5	円図形
(e)	15	0	0.7	円図形
(f)	15	0	0.7	スネレン図形

開口方向のランドルト環呈示の対してjの開口方向と応答する確率) で表現すると、それぞれの値は行列Pのように記せる。

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{18} \\ p_{21} & & & & \vdots \\ \vdots & & p_{ij} & & \vdots \\ \vdots & & & & \vdots \\ p_{81} & \dots & \dots & \dots & p_{88} \end{pmatrix}$$

正答率 η_{LIS} や η_{LIC} に相当する成分は対角成分に出現するが、正答率 η_{LIS} や η_{LIC} が等しくても行列Pは必ずしも等しくならないことを考えると、行列Pは視覚情報系に関して正答率 η_{LIS} や η_{LIC} が有する情報以外の情報をも含んでいると考えられる。

情報伝達に関する情報理論から系の伝達情報量 $T(X, Y)$ は入力情報量 $I_{IN}(X)$ ，出力情報量 $I_{OUT}(Y)$ ，入力刺激と出力反応の同時生起の情報量 $H(X, Y)$ で式(9-1)のように記せる⁽¹⁰⁶⁾。全て単位はbit。

$$T(X, Y) = I_{IN}(X) + I_{OUT}(Y) - H(X, Y) \quad (9-1)$$

ランドルト環の八つの開口方向の生起確率は全て等しく $1/8$ であるので入力情報量は I_{IN} は $\log_2 8 (= 3 \text{ bit})$ である。

出力情報量 I_{OUT} は、 $Y=j$ の出力確率が行列 P の行方向の和で表現できるとに注意すると、行列 P の成分を用いて式 (9-2) のように表現される。

$$I_{out}(Y) = \sum_j (\sum_k p_{kj} \log_2 (\frac{1}{\sum_k p_{kj}})) \quad (9-2)$$

同時生起の情報量 $H(x, y)$ は同様に行列 P の成分を用いて式 (9-3) のように表現される。

$$H(X, Y) = \sum_{ij} p_{ij} \log_2 (\frac{1}{p_{ij}}) \quad (8-3)$$

従って、 $I_{IN}(x)$ の入力情報があるとき、視覚情報系での伝達情報量、 $T(X, Y)$ は結局、式 (9-4) のように記せる。

$$T(X, Y) = 3 + \sum_j (\sum_k p_{kj} \log_2 (\frac{1}{\sum_k p_{kj}})) - \sum_{ij} p_{ij} \log_2 (\frac{1}{p_{ij}}) \quad (9-4)$$

散失情報量を Δ で表すと、伝達情報量 $T(X, Y)$ と散失情報量 Δ との関係は式 (9-5) のように求められる。

$$T(X, Y) + \Delta = I_{IN}(X) \quad (9-5)$$

行列 P の各成分は実験で求めた $X=i$ のランドルト環に対する $Y=j$ の応答結果の平均値から求められる。表 9.2 に示す代表的な条件について、伝達情報量と情報散失量を求め、図 9.14 に示した。表示像が周辺視野に位置するに従い、

徐々に伝達情報量が減少し累積の散失情報量が大きくなっていくことが分かる。

高年齢者層で中心視視標へのアテンションの強弱が、伝達情報量に大きく影響することが直感的に捉えられる。

9. 5. 3 中心視標の独立性

中心視標として用いたスネレン図形の認識タスクと周辺視視標の認識タスクとの関係について若干考察する。各条件での中心視視標であるスネレン図形の正答確率を $R(S)$ ($= 100 \times \eta_s$)，周辺視視標であるランドルト環の正答確率を $R(L)$ ($= 100 \times \eta_L$) とするとき， $R(S \cdot L)$ を両方が正答する確率とすると，それぞれが独立の事象である条件は式 (9-6) のように記せる⁽¹⁸⁵⁾。

$$R(S \cdot L) = R(L | S) \times R(S) = R(L) \times R(S) \quad (9-6)$$

但し $R(L | S)$ はスネレン図形が正答した条件で，ランドルト環が正答する条件付き確率である。

(9-6) 式の右辺， $R(L) \times R(S)$ と，左辺の $R(S \cdot L)$ をそれぞれ実験データから直接求め比較する。

今，式 (9-7) で定義される X^2 の関数を用いると統計学で知られているように⁽¹⁸⁶⁾，もし $R(L)$ と $R(S)$ が独立であれば χ^2 分布に従うことが分かっているので， X^2 を用いて χ^2 検定する。

$$X^2 = \sum \frac{(NR(S)R(L) - R(S \cdot L))^2}{NR(S)R(L)} \quad (9-7)$$

但し， Σ は全条件について和をとり， N は全試行回数である。結果は，もつとも関数の値が大きくなる被験者でも $X^2 = 5.95 \leq \chi^2(0.01) = 29.14$ となり，危険率 1% で全ての被験者で独立性が示された。

中心視視標の認識と周辺視視標の認識とが独立の事象であるということは、それぞれの視標の情報認識に互いにインターラクションが見られないことを示しており、時間的に同時並行して行なわれる並列的信息処理であることを示唆している。

実際の自動車の運転状態や航空機での飛行状態では、ドライバやパイロットの視覚受容プロセスは視点を走査し逐次視覚情報を取り込む直列的な情報受容と、時間的に同時並行して行なわれる並列的信息受容から成り立っているとされる⁽¹⁰⁸⁾⁽¹¹⁰⁾。

ヘッドアップディスプレイの視覚情報受容の優位性が、周辺視による表示像情報の受容機能に負うところが多いことを考慮すると、ヘッドアップディスプレイは、視覚情報系の並列的な情報処理の機能を極めて良く活用した表示装置であると言える。

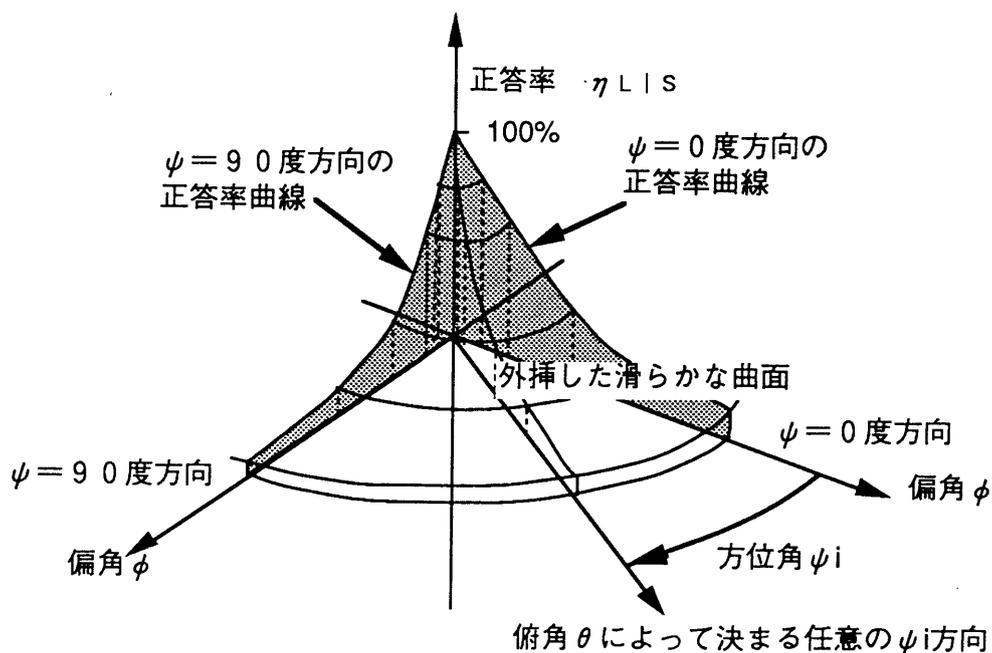


図9.15：俯角 θ によって決まる任意の ψ 方向の正答率の概算値推定

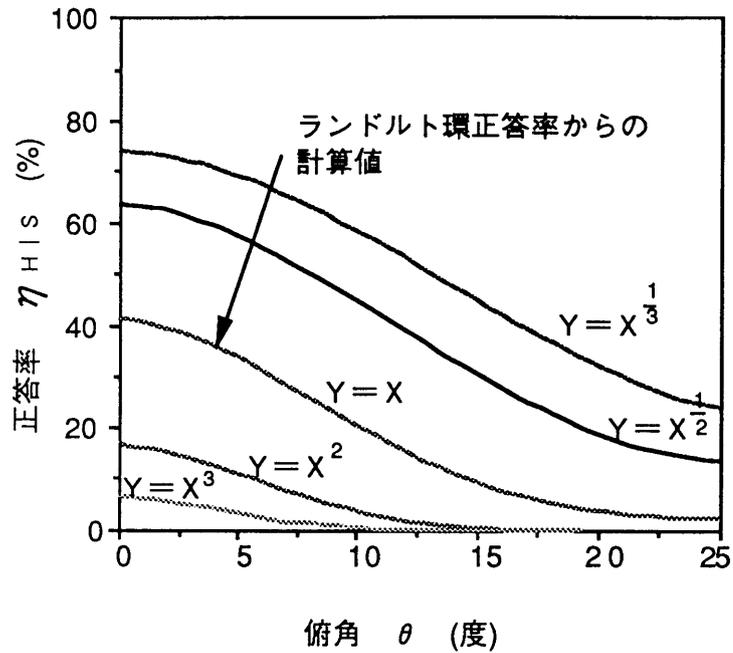


図 9.16：俯角依存特性の計算

9. 5. 5 正答率の俯角依存性

実験結果から、ヘッドアップディスプレイでは中心視視標を見ているとき周辺視野に存在する表示像視標の情報を周辺視でかなり取り込んでいることが分かった。この特性は表示像距離 L や中心視のアテンションの程度により変わるが、偏角 ϕ が増加するに従い低下するという傾向は同じである。

第 2 章の評価装置を用いたとき、俯角 θ を用いて九つのスネレン図形位置の偏角 $\phi_i (i=1 \sim 9)$ が表現できることを第 8 章で示した。

今、 i の位置の前景視標を注視している時、周辺視による情報受容機能で得られる正答率を $\eta_{H|S(i)}$ とする。簡単のために、 $\eta_{H|S(i)}$ を同じ偏角 ϕ_i でのランドルト環の正答率 $\eta_{L|S(i)}$ で近似する。また、方位角 ψ が 0 度から 180 度での任意の値での正答率が、図 9.15 に示すように $\psi = 0$ 度と 90 度での正答率曲線から滑らかな曲面として内挿できる程、十分等方的であると仮定すると、

各偏角 ϕ_i に応じて正答率 $\eta_{H|S(i)}$ が求められる。

正答率 $\eta_{H|S}$ は個々の前景視標位置での正答率 $\eta_{H|S(i)}$ の平均値として与えられるので、任意の俯角 θ での正答率 $\eta_{H|S}$ は式 (9-9) のように表現できる。

$$\eta_{H|S}(\theta) = \frac{1}{9} \sum_i \eta_{H|S(i)} = \frac{1}{9} \sum_i F(\phi_i, \psi_i) \quad (9-9)$$

但し $F(\phi_i, \psi_i)$ は偏角 ϕ_i 、方位角 ψ_i (図 8-13) から算出される正答率である。正答率 $\eta_{L|S}$ の実験データから、(9-9) 式を用いて $\eta_{H|S}(\theta)$ を数値計算をすると、正答率の俯角依存特性は図 9.16 のようになる。

θ の増加に対して $\eta_{H|S}(\theta)$ はしばらく高原状の値をとり、 θ が大きくなると再び高原状の値を採る逆 S 字特性をとることが分かる。

最初の高原状の値は θ の増加に対して全偏角の増加率が小さいことによる効果で、次の高原状の値は $F(\phi_i, \psi_i)$ が ϕ_i に対して殆ど変化がないことによる効果と考えられる。

この結果は第 4 章での実測データの傾向と同一で、視覚光学モデルを用いて実験室実験での正答率の俯角依存性を定性的に説明できる。

周辺視野で視力低下が大きい周辺視視力特性との類似性を考えると、表示像サイズが大きいほど、周辺視で多くの視標情報を取り込めるはずである。これは、表示像サイズが大きい場合には周辺視による情報受容の効果が大きく現われ、従って図 9.16 に示す逆 S 字特性が現われやすく、逆に表示像サイズが小さいと周辺視では視標の情報を取り込み難くなり、逆 S 字特性が薄れてくることが推測される。これは第 4 章の実験結果と傾向は符合する。

この例では、 $\eta_{H|S(i)}$ を同じ偏角 ϕ_i でのランドルト環の正答率 $\eta_{L|S(i)}$ で近似した。

しかしながら、ランドルト環の正答率は表示位置が同一ならばサイズによって一意的に定まるが、より一般的な形状の実際の表示像では正答率が像のサイズだけで規定されない。表示パターンの複雑さや理解のしにくさ等が大きな要因になってくる。

これらの一般的な表示パターンをランドルト環の正答率の値を比較基準にして大括りに捉えると、図9.17に模式的に示す上に凸の特性（極めて単純な文字等でランドルト環正答率が僅かに上昇する程度に文字を拡大または呈示時間増加すると正答率が急激に上昇する特性）と下に凸の特性（ランドルト環正答率が僅かに上昇する程度の文字拡大または呈示時間増加では殆ど正答率が上昇しない特性）を示す表示パターン群に分けられよう⁽¹⁸⁷⁾。

それぞれの表示パターンの正答率（Y軸）がランドルト環正答率（X軸）のある関数で表現できたとすると、その表示パターンの正答率俯角依存性の概略が計算できる。図9.16にはこれらの曲線の値、表示パターンの正答率（Y軸）がランドルト環正答率（X軸）のべきで表現した場合を併記した。いずれも逆S字特性を有しており、逆S字の俯角依存特性が一般的な表示パターンへも拡張できる可能性を暗示している。

セマンティックな認識も含めより厳密な意味での一般化は、さらの詳細な表示パターンについて実験・考察する必要がある。

9.6 まとめ

(1) ドライバは両眼の中心視で外界視対象を認識しているときも、目は周辺視野に存在する表示像の情報をかなりの程度正確に認識することができる。

(2) 正答率の俯角依存性に見られる逆S字特性は、周辺視の機能を考慮した視覚光学モデルにより定性的に説明できる。前項も含めたこれらの実験結果はヘッドアップディスプレイの表示装置としての優位性の根拠として提案した視覚光学モデルの妥当性を支持する。

(3) 中心視視標へのアテンションが強かったり、表示像が近接して配置された場合には、視力値のような表面的な視機能に差がなくても、高年齢者層では若年齢者層に比較して表示像の周辺視認識能力が大きく低下する。ヘッドアップディスプレイは、この低下に対する改善解になる可能性がある。

(4) ヘッドアップディスプレイ表示像の認識では、並列的な視覚情報処

理の比重が高く、これが情報受容の優位性の要因となっている可能性がある。

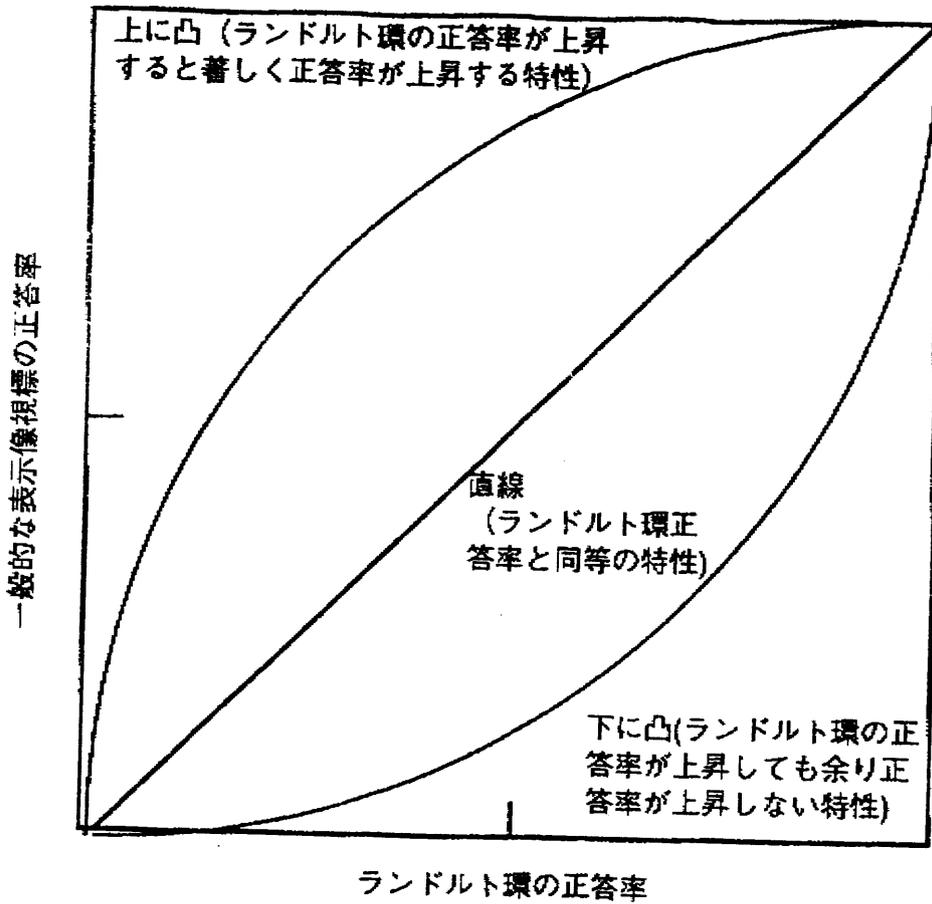


図9.17：ランドルト環正答率の一般化の概念図

第10章

自動車用ヘッドアップディスプレイの開発⁽¹⁸⁸⁾

10.1 はじめに

筆者等は1988年5月、世界で初めて量産車（日産シルビア'88年モデル）にヘッドアップディスプレイを搭載し実用化した^{(15)~(19)}⁽⁸⁸⁾。その後、ヘッドアップディスプレイ搭載車は日産マキシマ、カトラス（'88年；ゼネラルモトース）、トヨタクラウン（'91年；トヨタ自動車）、日産ブルーバード等と車種は拡大しつつあり、今後さらに搭載車種は増加すると思われる。

現在実用化されているヘッドアップディスプレイの表示項目は車速や警報等に限定されており、視覚光学的に見ても必ずしも理想的な設計とは言えない点も多い。しかしながら、表示像を従来メータの定位置であるインストルメントクラスタの中からウインドシールドの領域まで引き出したことによる造形デザインの革新や、関連する従来法規との整合と量産性との両立と言う面で、自動車用表示装置の歴史の中で大きなインパクトを与えたと言える^{(16)~(19)}。

近未来車のコンセプトに与えた影響も大きく、各種のモータショウの出品車を始め、1988年から建設省の主導で行なわれたRACS (Road Automobile Communication System)プロジェクトでは、ヘッドアップディスプレイを応用したナビゲーション表示のコンセプトが大きな注目を集めた⁽¹⁸⁹⁾。

第1章でも述べたように、ヘッドアップディスプレイは最初、戦闘機用表示装置として開発された。その後、民生品として旅客用航空機にも応用が広がったが、価格は数千万円すると言われ、自動車等の民生品市場とは生産形態や価格体系は異なっている。例えば、現在の自動車の価格が数百万円であることを考えると航空機用ヘッドアップディスプレイを自動車に直接適用するのは不可能といえる。

航空機でのヘッドアップディスプレイと自動車用ヘッドアップディスプレイの間には表1.1のような相違に加え、ハードウェアとしても装置の小型化や、低コスト化、量産性、装着性の向上等の新たな技術が必要となる。

本章では'88年に実用化した日産シルビア用ヘッドアップディスプレイとそれに続く日産ブルーバード用ヘッドアップディスプレイについて、主として開発したハードウェアに関する技術について述べる。

10.2 開発課題

自動車用ヘッドアップディスプレイは三つの部分から構成される。表示光を照射するプロジェクタ部と表示光を反射して虚像を作るコンバイナ部、表示像輝度や表示情報を制御する制御回路部である。この節では自動車用ヘッドアップディスプレイを実用化する上での主な開発課題を述べる。

10.2.1 プロジェクタ

自動車のインストルメントパネルの裏側部は、ベンチレーションやエアコンディショナダクト用パイプ類や、各種のハーネスを配策するため、新たに大きなスペースは確保が難しい部分である。特に日本で大多数を占めるサブコンパクトカー以下の車両では、インストルメントパネルの裏側部のスペース自体が狭く、ヘッドアップディスプレイプロジェクタ用スペースの確保は至難の技と言える。これらの状況を考えると、プロジェクタ開発では小型軽量化を計る

ことが最重要課題である。

表示像を遠方に設けたり，ドライバの頭部の大きな動き（アイレンジ）に対しても表示像が十分見えるようにしようとするプロジェクタが必然的に大型化する．遠方結像や広いアイレンジ確保とプロジェクタの小型軽量化の両立を計るためには，内蔵される光学系の最適な設計技術が鍵となる．

また，昼間でも明るい表示像を得るためには表示体の高輝度化が必要となる．当然のことながら，環境信頼性の高い低コストのプロジェクタをも実現していかなければならない．

10.2.2 コンバイナ

コンバイナは良好な品質の表示像を作るために重要な役割を果たす．前景認識に影響がなくて，且つ明るい表示像を得るためには，前景に対して高い光透過率を，表示光に対して高い反射率を実現する必要がある．この相矛盾する特性をできる限り低コストで実現することが最大の課題である．

航空機用ヘッドアップディスプレイで用いられているコンバイナでは，透明硝子板の上に数十層の誘電体膜をコーティングして表示光のみ高い反射率を示す光波長選択性を持たせる．この製法や構造は自動車部品と言う観点からは大きなコストプッシュ要因になる．

光波長選択性も使用する表示体の発光スペクトルとの整合性を考慮しなければならない．自動車用ヘッドアップディスプレイでは，これらの点を考慮した低コストのなコンバイナ製作技術の開発も重要な開発課題である．

10.2.3 制御回路

表示像の駆動制御は従来メータ用回路から信号線を並列接続すれば良く技術的な課題は少ない．最も重要な課題は表示体の輝度制御回路部の設計である．本章では，日産シルビア搭載用（Aタイプ），日産ブルーバード搭載品（Bタ

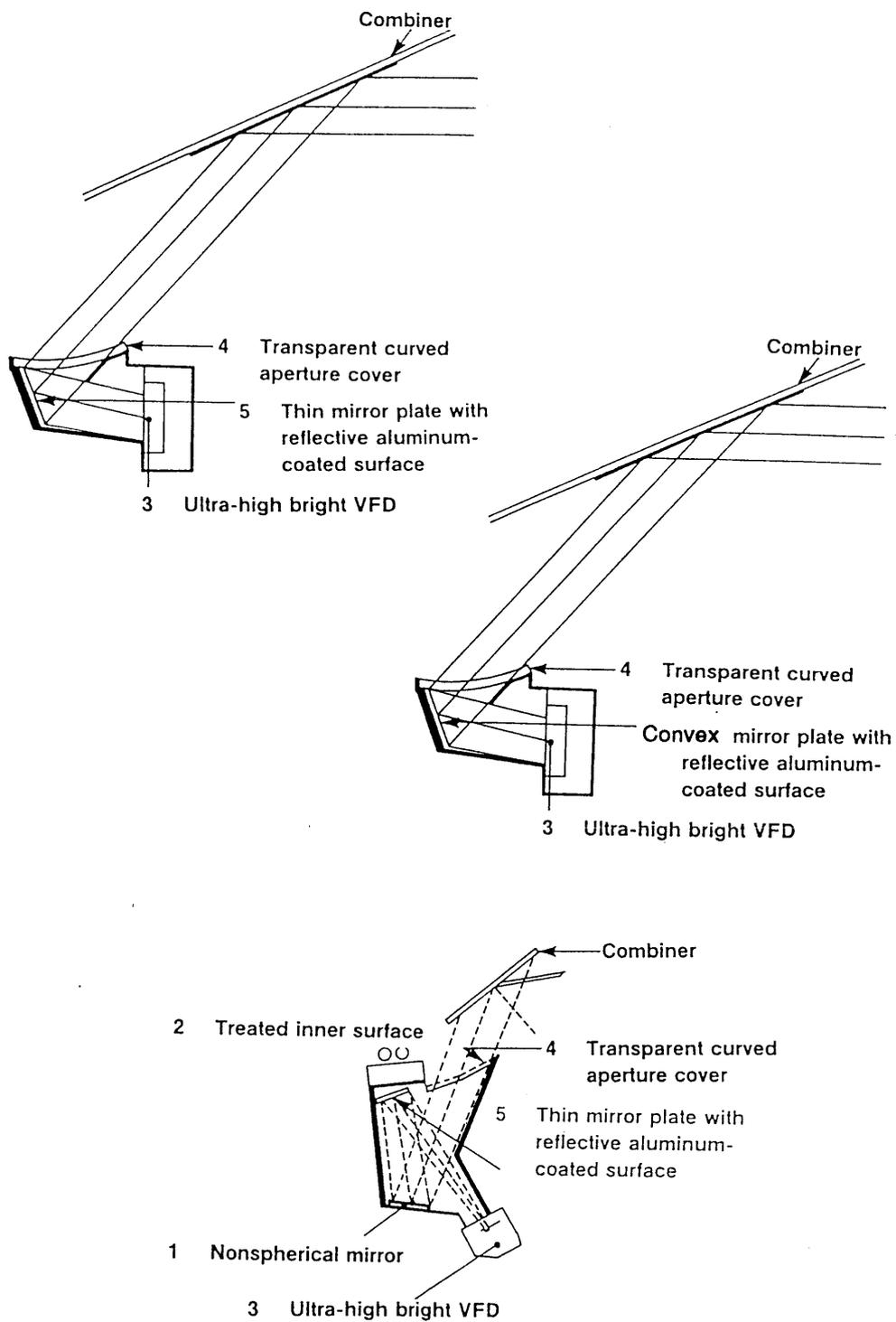


図10.1：プロジェクタの断面構造（上からA，B，Cタイプ）

イブ), 先行開発品 (Cタイプ) それぞれに開発した三種類の輝度制御回路について述べる。

10.3 構成と構造

10.3.1 プロジェクタ

各タイプの主な相違点は表示像距離Lである。Aタイプのプロジェクタは表示像距離が近距離型 (L=1.1m), Bタイプは中距離型 (1.3m), Cタイプは遠距離型 (L=2.5m) である。

プロジェクタは表示体, 筐体, 光学系, 開口蓋から構成される。表示体は各タイプともグリッドのメッシュ部での光量減衰がない平面グリッド型の高輝度蛍光表示管 (双葉電子製) を用いている⁽¹⁹⁰⁾。光学系はスペース効率を挙げるために鏡系を用いた。開口蓋は円筒型安全強化ガラスを用いた。各タイプの断面構造を図10.1に, 外観写真を図10.2に示す。

(1) 表示体の輝度値

表示体の輝度を B_0 , ヘッドアップディスプレイの表示像輝度を B_D とすると, B_D は B_0 とコンバイナの反射率 r で式(10-1)のように表せる。

$$B_D = rB_0 \quad (10-1)$$

ウインドシールドの透過率を t とし, 前景の輝度 B_B とすると, ヘッドアップディスプレイ表示像の輝度対比 C は式(10-2)のように表せる。

$$C = \frac{B_D + B_B}{tB_B} = 1 + \frac{r B_0}{t B_B} \quad (10-2)$$

前景の最大輝度を $30,000 \text{ cd/m}^2$ (晴天の雪路相当) と見て, ウインドシールド透過率は国内法規基準から $t=0.7$, $r=0.3$ を代入し, 必要な輝

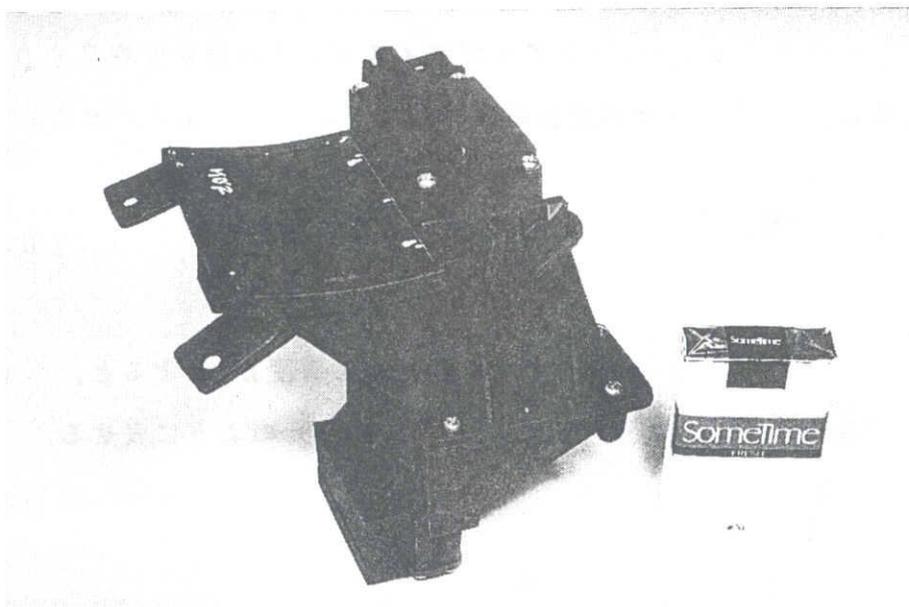
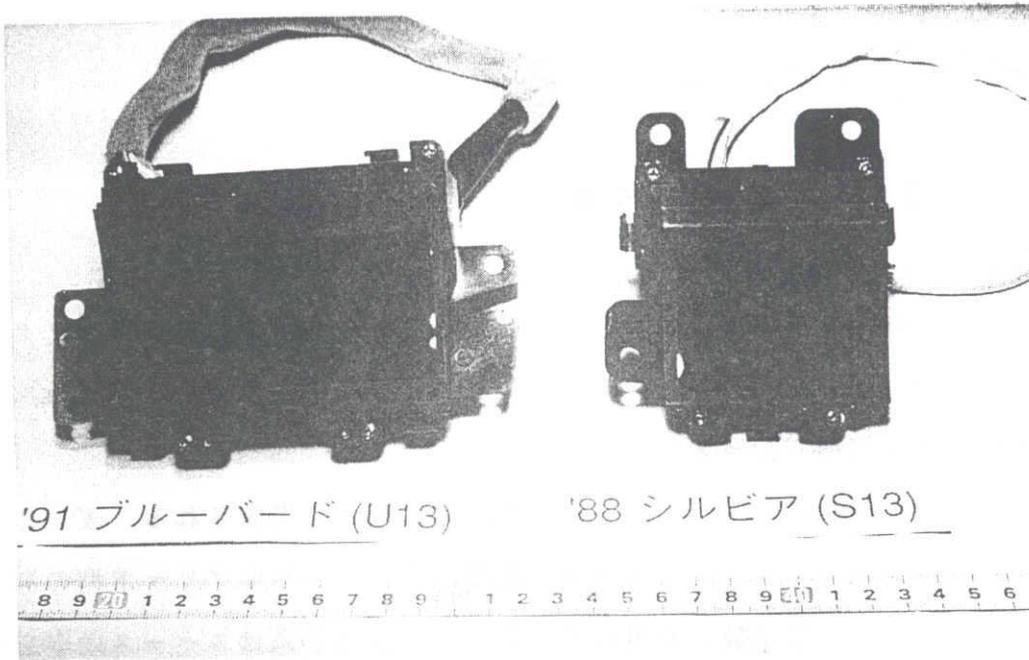


図10.2：プロジェクタの外観写真（上はA、Bタイプ、下はCタイプ）

度対比の下限值 1.1 を用いて表示体の必要輝度値を求める。表示体に要求される輝度 B_0 は $7,000 \text{ cd/m}^2$ となる。

本開発で用いた高輝度蛍光表示管はグリッド板による発光光量の減衰を防ぐため、従来発光面の前面に設けられていたグリッド板を発光セグメント周辺部に移している。この構造をとることにより前面グリッド板による表示セグメント間のクロストーク（点灯セグメントの表示光が非点灯セグメントに漏れ薄明るく見える不具合）量も従来品より約 $1/10$ に低減できた。

（2）光学系

表示像を遠方に設けるため、鏡による光路の折り返し構造を採った。表面反射と裏面反射による二重像を防止するため、全ての鏡は表面鏡を用いた。

Aタイプでは、一枚の平面鏡、Bタイプでは一枚の凹球面鏡、Cタイプでは一枚の平面鏡と一枚の非球面鏡を用いた。B、C両タイプでは鏡に像拡大効果を持たせた。

通常の光学系で論じられている結像歪やボケの他に、プロジェクタでは次のような特殊な表示像歪やボケを考慮しなければならない。

BタイプやCタイプでは凹面鏡の軸が系の光軸に対して傾斜させる必要があるため、球欠光線による表示像の歪が発生する⁽¹⁹¹⁾。さらに、ドライバの両眼がそれぞれ光学系の光軸から必然的にオフセットすることにより両眼視差が発生する。また、コンバイナに相当するウインドシールドの表面が平面でないことによる歪やボケも発生する。

これらの表示像の歪やボケは、表示像を遠方に置けば置くほど（凹面鏡の像倍率を大きくすればするほど）、ドライバの頭部の移動量の許容領域（アイレンジ）を大きく採るほど、大きくなり表示像の品質は低下する。

これらの歪やボケの低減と、車両スペースとのトレードオフのためには、ORA社のCODEVプログラムによるコンピュータシミュレーションを行なうとともに、シミュレーション結果から得られたスポットダイヤグラム図をステレオグラム⁽¹¹⁴⁾を用い、両眼で歪を官能検定するアプローチを採った。

BやCタイプでは凹面鏡の光軸に対する傾き角を25度に設定した。Bタ

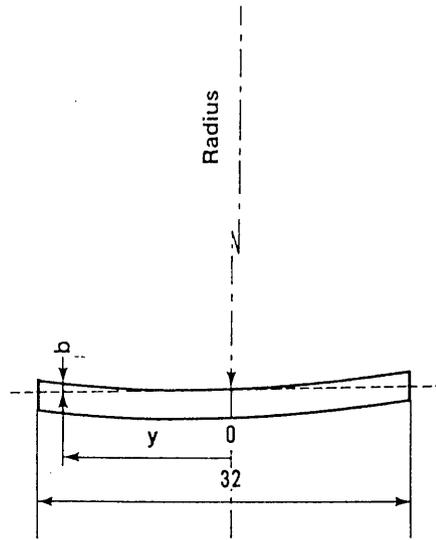


図10.3：非球面ミラー曲面形状の座標の定義

イプでは表示像距離をやや近距離にし、球面鏡の製造工程歩留まりを優先させた。また、Cタイプでは、式(10-3)で示される二次曲面の最適解として軸外し回転放物面鏡を用いた。

cとkを定数として、xを図10.3に示す中心軸からの変位置量、yを垂直方向の変位置量とする。

$$y = \frac{cy^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2y^2}} \quad (10-3)$$

但し、 $c = 0.001424$ 、 $k = 0.754758$ である。

それぞれのタイプのミラーの仕様概要を表10.1に示す。

(3) 低拡散反射光内壁

表示体の発光輝度が高くなったり、プロジェクタサイズが小さくなると筐

表10.1：各ミラーの仕様

	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ
サイズ (mmxmm)	60×80	35×93	34×80
曲率半径 (mm)	∞	200	498, 738
表示体までの距離 (mm)	50	50	70
種類	表面反射鏡 凹面鏡	表面反射鏡 平面鏡	表面反射鏡 非球面鏡
処理	アルミニウム薄膜蒸着／シリコンコート		

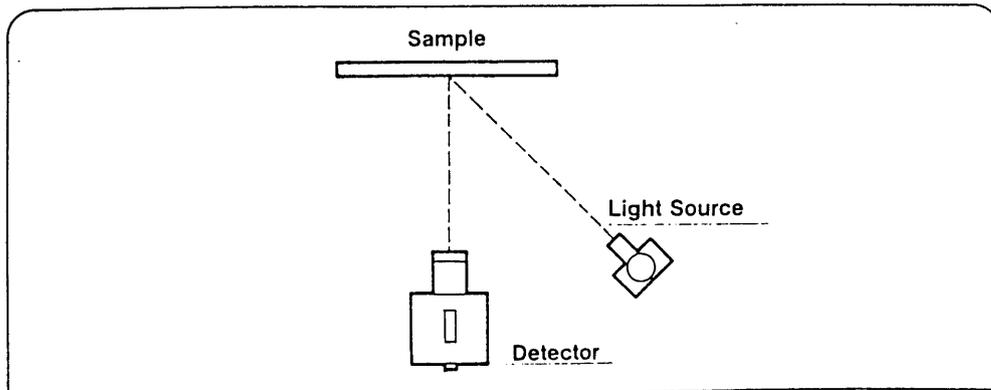
体内壁の拡散反射光量が増える。表示体として用いた蛍光表示管は発光部が酸化亜鉛（ZnO:Zn）で非発光時白色⁽¹⁹⁰⁾で筐体内壁の拡散反射光に照射されると薄明るく光って見える場合（クロストーク）があり表示品質を低下させる。筐体内壁の拡散反射率の目標を一眼レフ高級カメラ相当⁽¹⁹²⁾（表10.2 サンプルF）に設定し種々の塗装処理面について量産性やコストも合わせて評価した。

光学的評価は、正反射率、拡散反射率を図10.4に示す方法で測定評価した。拡散反射率は白色酸化マグネシウム板での値を100とした相対値で表した。量産性や信頼性、コスト等を考慮しサンプルEを選択した。

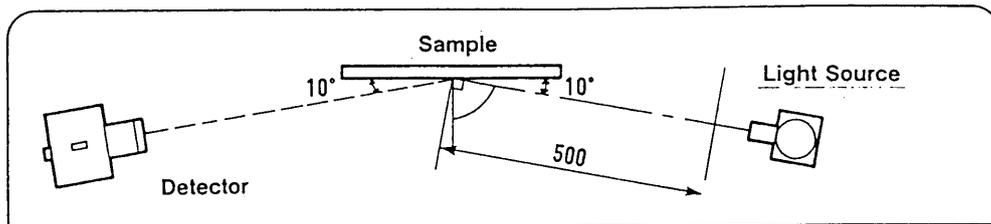
（4）開口蓋

開口部の設計においては、視域⁽¹⁴³⁾（ドライバの目が移動しても表示像が完全に見える領域；アイレンジ）の制約の有無や、表示光のボケや歪みが少ないこと、高光透過率、外来光の表面正反射光が目に入らない構造、衝突時の安全性、耐久性（特に耐磨耗性）の六つのファクタを重視した。

視域と開口径は密接に関連しており幾何学的に求められる（図10.5）。



SCATTERING REFLECTANCE



ORDINARY REFLECTANCE

図10.4：拡散反射率の計測法

表10.2：筐体内壁黒色処理面の特性

サンプル	拡散反射率 (指数)	正反射率
標準値 (マグネシア)	100	
A	4.11	15.9×10^{-2}
B	3.07	7.07×10^{-3}
C	0.40	1.86×10^{-3}
D	1.22	1.68×10^{-3}
E	2.66	2.50×10^{-2}
F	3.42	6.18×10^{-2}
G	4.59	6.80×10^{-2}

Lを表示像距離，Iを表示像の大きさ，Aを開口部の径，uをドライバの目とウインドシールドとの距離とすると，水平方向両眼の視域D，単眼の視域D + 2dは式(10-4)と(10-5)でそれぞれ表せる。

$$D = \frac{A - u \frac{I}{L}}{1 - \frac{I}{L}} \quad (10-4)$$

$$D + 2d = \frac{A + u \frac{I}{L}}{1 - \frac{I}{L}} \quad (10-5)$$

また垂直方向は目の位置は一箇所となるので，単眼同様になる。それぞれの変数に'を付けて表すと式(10-6)のように表せる。

$$D' + 2d' = \frac{A' + u \frac{I'}{L}}{1 - \frac{I'}{L}} \quad (10-6)$$

視域を大きく取ろうとすると，Aを大きくするか，uやI/L，Lを小さくするかのどちらかである。uの値が自動車のレイアウトではほぼ自動的に定まると考えると，AやI/L，Lは他の機器との干渉等考慮しながら，できるだけ表示像距離Lが最大になるよう決定しなければならない。視域の大きさとしてはJISD0021に見られるアイレンジ(eye range)規格⁽¹⁴³⁾との整合性をも考慮して決定する必要がある。

開発品では以上の諸点を考慮してアイレンジ90パーセントailsを確保しながら，I(またはI')を決定し設計した。

開口蓋の材料選定は，表示像のボケや歪み，光の透過率，耐磨耗性，安全性等を考慮して自動車で実績がある厚さ5mmの安全強化ガラスを用いた。表面での外来光正反射を避けるため，車両レイアウトデータをもとに，半径約15cmの円筒状の形状に加工した。

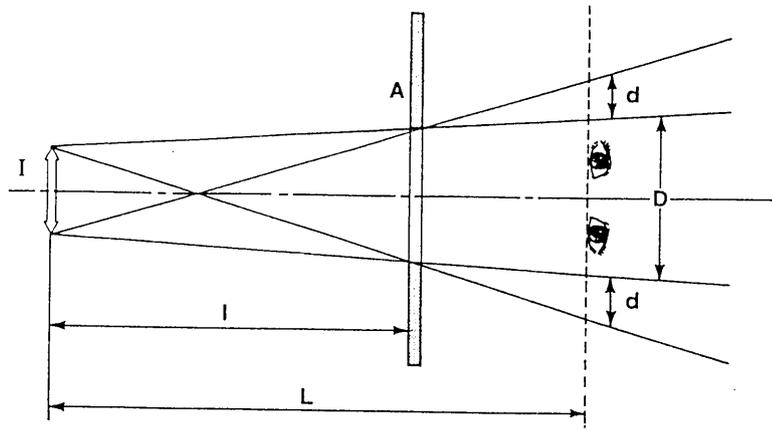


図10.5：表示体寸法と開口径の関係

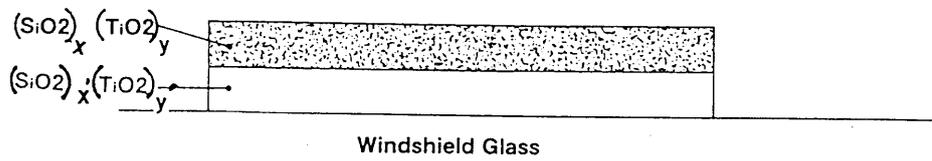


図10.6：コンバイナ用膜の断面構造

(5) その他

環境温度や湿度の変化による光学系の結露を防ぐため、鏡類は極力薄い(0.6mm以下)ガラスを用い支持材等は熱容量の小さいプラスチック材を用いた。また筐体内部に水蒸気が籠りにくい準密閉構造とした。各プロジェクタはJASO D001-87の温湿度環境試験⁽¹⁹³⁾を行ない異常が発生しないことを確認した。

10.3.2 コンバイナ

(1) 構造

航空機用ヘッドアップディスプレイではキャノピー(天蓋)とは別体でコンバイナ部を設けるが、自動車用途にはメンテナンスやレイアウトのしやすさ、装着性の良さ、部品点数を少なくする等の面からウインドシールドの一部をコンバイナとして用いる方針を採った。

コンバイナでは、前景に対して高い光透過率を、表示光に対して高い光反射率を達成するという相矛盾した特性を実現する必要がある。

ウインドシールドにはいくつかの法規準があり、その一つである透過率基準は垂直光に対して70%以上の透過率が要求される⁽¹⁹⁴⁾⁽¹⁹⁵⁾。航空機用ヘッドアップディスプレイでのコンバイナは誘電体多層膜により、表示用高輝度CRTの輝線スペクトラム(蛍光体C34等による緑色)⁽²⁸⁾に合わせた波長選択性でこの特性を実現している。しかしながら、自動車用ヘッドアップディスプレイで表示体として用いる蛍光表示管の発光スペクトラムは約530nmに最大ピークを有するものの、スペクトルムの半値幅は100nm以上あり広い。サイズの大きいウインドシールドハンドリングの困難さや誘電体多層膜製作コストの高さに加え、鋭い光波長選択特性を持つ航空機用ヘッドアップディスプレイの多層膜コーティングによるコンバイナ特性では蛍光表示管の発光光束を有効に反射できない。

本開発では、スペクトル幅が広い蛍光表示管の特性と成膜工程の簡便さ、

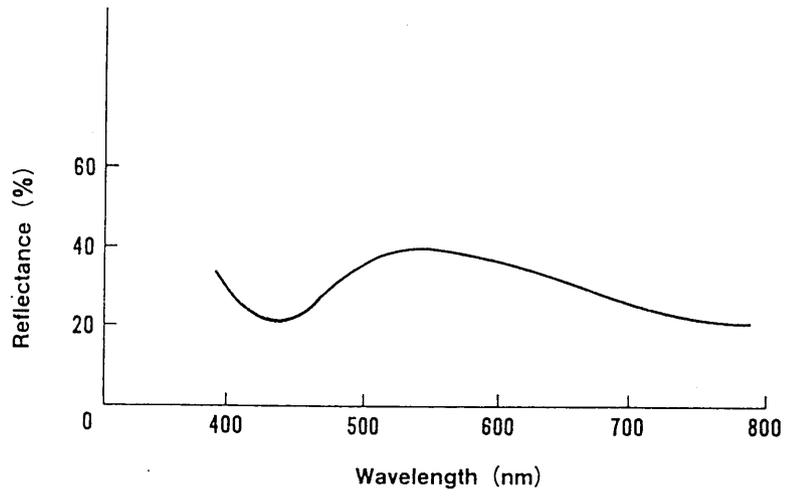


図10.7：コンバイナ反射特性の波長依存

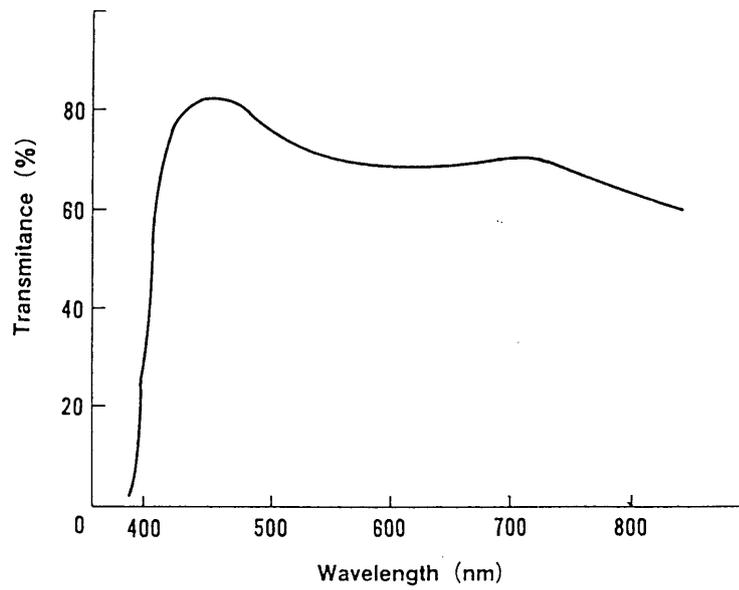


図10.8：コンバイナ透過特性の波長依存

後述する耐磨耗性の確保等を考慮して、後述するようにウインドシールド車室内側の一部に二層の誘電体膜を印刷する工程を新たに開発した。屈折率と膜厚の最適化は垂直透過率が70%以上で、最大反射率の値をコンピュータシミュレーションし、薄膜屈折率2.0, 2.4, 膜厚230 nmを得た⁽¹⁹⁶⁾。

(2) 薄膜の物理的特性

図10.6に膜の断面図構造を模式的に示した。膜厚、屈折率は蛍光表示管の発光スペクトラムピーク波長と比視感度曲線の最大値を考慮して505 nmにピーク波長が来るよう設計した。表示光は車両のレイアウト上、約66度で入射するため多層膜の厚さと屈折率には傾斜角の補正を行なった⁽¹⁹⁶⁾。

図10.7はコンバイナ部の66度で入射する光の反射特性の実測値である。波長505 nm近傍に最大ピークを有する半値幅の広い波長選択性が得られていることが分かる。

図10.8にはコンバイナの垂直入射での光透過率の実測値を示した。可視光波長領域400 nm～800 nmで平均光透過率は71.6%となり、法規の透過率基準を満足している。

米国の基準であるANSI Z26-1(American National Standards)等の規格である耐磨耗性⁽¹⁹⁵⁾も重要な基準である。本開発では後述するように成膜過程で薄膜の基盤であるウインドシールドガラスを高温焼成する温度の最適化によって基準を達成した。

(3) 成膜工程

膜の耐候性や膜屈折率の制御のしやすさから、薄膜材料として酸化シリコンと酸化チタンの混合材料を用いた。ウインドシールドが大型であること、成膜部がウインドシールドの一部のみであること、工程が簡便であること、また従来工程であるウインドシールド曲げ加工工程との整合性等を検討し、ゾル・ゲル成膜法⁽¹⁹⁶⁾を改良し適用を計った。

ゾル・ゲル成膜法はシリコンとチタンの酸化物を溶かした溶液にウインドシールドガラスを浸し、引き上げ速度と温度を制御し薄膜を形成するが、ウインドシールドが大型であること、成膜部がウインドシールドの一部のみである

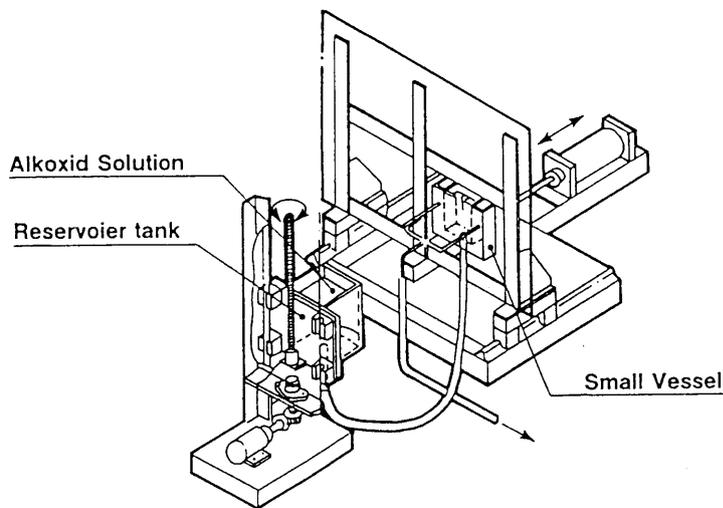


図10.9：STP（Super Thin Film Printing）成膜装置

ので、図10.9に示すような連通管で繋がれた可動タンクを応用し従来のゾル・ゲル成膜法ではハンドリングしにくかった点を改良した。

従来のウインドシールドガラス曲げ加工との整合性も計った。コンバイナ製作全工程を図10.10に示す。薄膜形成部が新規開発の装置を用いた部分で、加熱工程、合わせ加工工程部が膜質の堅牢化と従来工程との整合を計った部分である。

法規準に基づき自動車用ウインドシールドに課せられる試験項目⁽¹⁹⁵⁾達成結果を表10.3に示す。全ての項目で法規に適合していることが分かる。

図10.11にコンバイナ外観写真（'88年型シルビア用）を示す。

10.3.3 制御回路

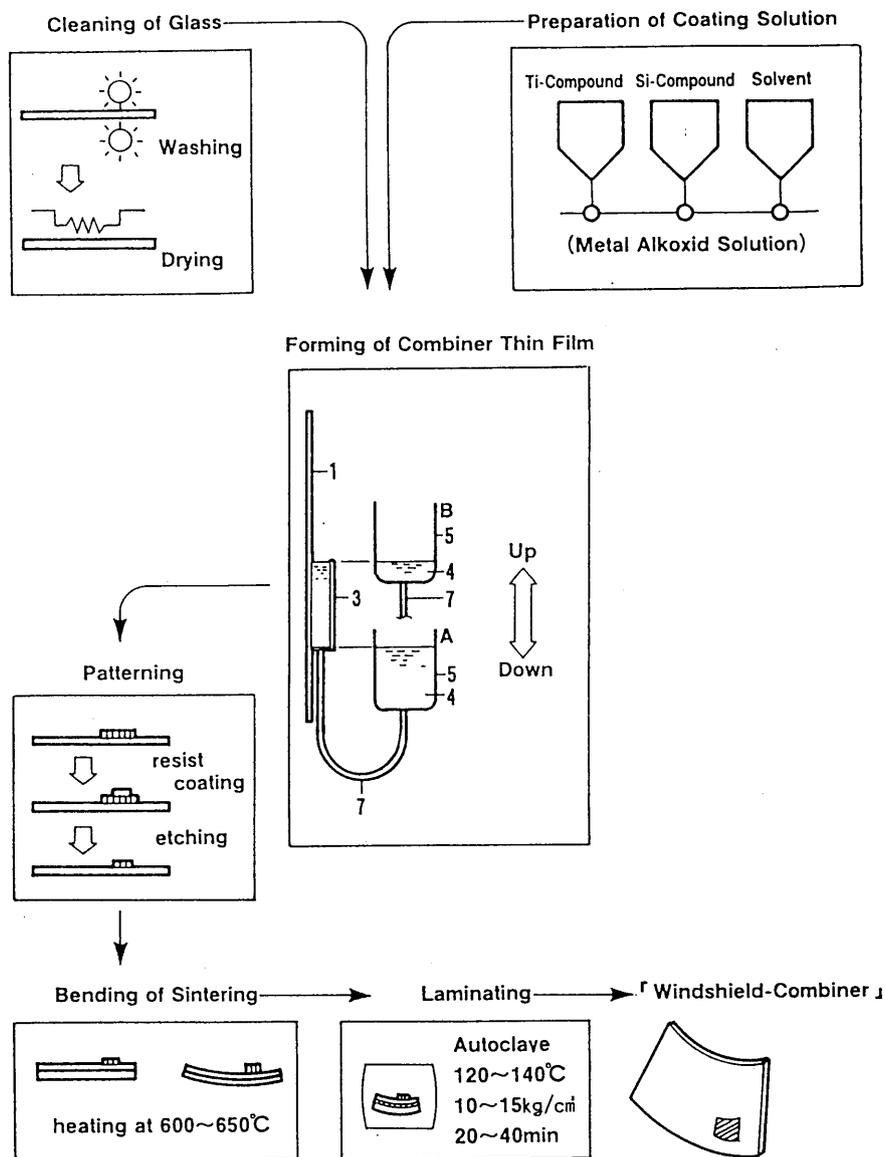


図10.10：コンバイナ付きウインドシールド製作全工程

表10.3：ウインドシールド法規適合性試験結果

Tests	Remarks
1-Light Stability 2-Luminous Transmittance 3-Humidity 4-Boil 9-Impact, Dart, 30 Feet 12-Impact, Ball, 30 Feet 15-Deviation and Distortion 17-Abrasion Resistance 18-Abrasion Resistance 26-Penetration Resistance 28-Resistance to Temperature Change	Complies 

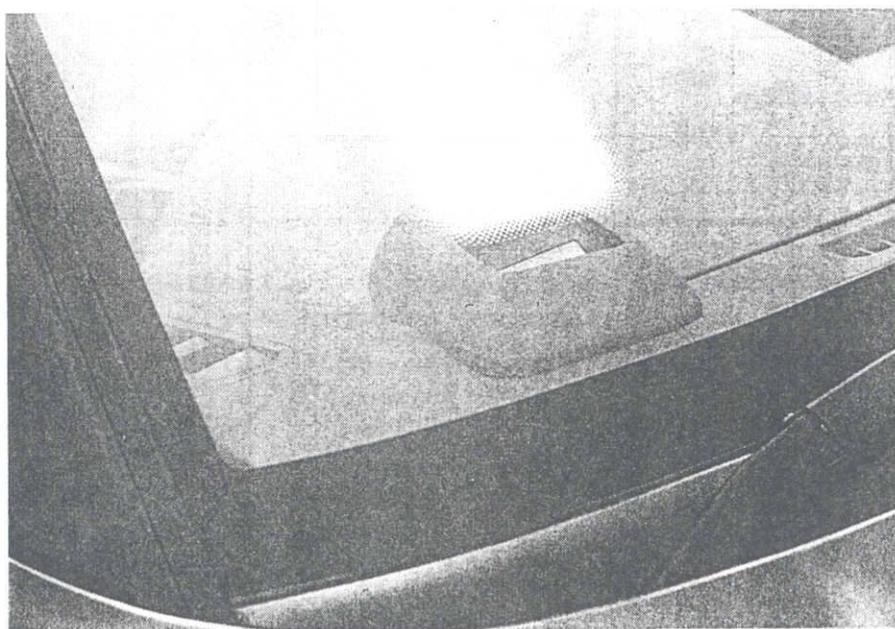


図10.11：コンバイナ付きウインドシールドの外観写真

ヘッドアップディスプレイの駆動信号は、基本的には従来のメータ（ヘッドダウンディスプレイ）の駆動制御回路から並列に入力されている。デジタル車速，方向指示表示，警報表示等は全てメータ用 I C から並列に回路接続されている。

表示像輝度制御については，新たに回路部を設けた。Aタイプは最も簡単で，ヘッドランプの ON/OFF に応じて二段階に表示像輝度を変化させ，微妙な調節のにはマニュアル輝度調節ダイヤルを設けた。

Bタイプではヘッドランプ，車幅灯それぞれの ON/OFF に応じて表示像輝度を三段階に変化させ，Aタイプ同様マニュアル輝度調節ダイヤルを設けた。Cタイプでは，インストルメントパネル上端に装着された照度センサ（ヘッドランプ自動点消灯装置用シリコンフォトセンサと共用）の信号により表示像輝度を変化させた。個人差による調節代としてマニュアル輝度調節ダイヤルも併用した。図 10.12 に照度と輝度制御領域の関係を示した。A，Bタイプの制御回路ブロックダイヤグラムを図 10.13 に示す。

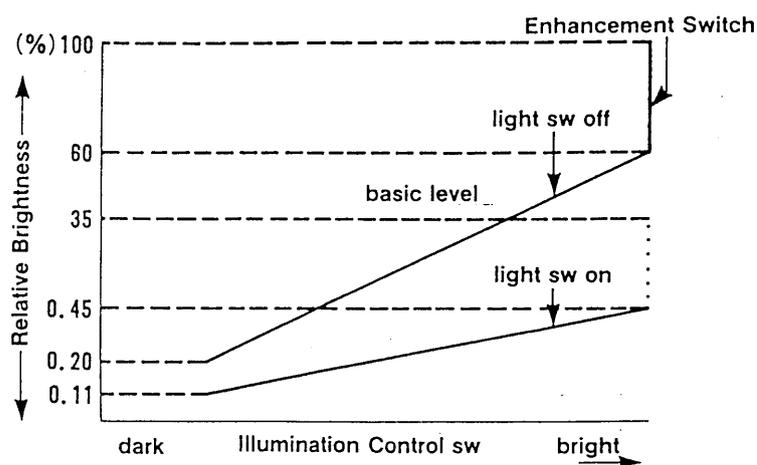


図10.12：表示像輝度の制御特性

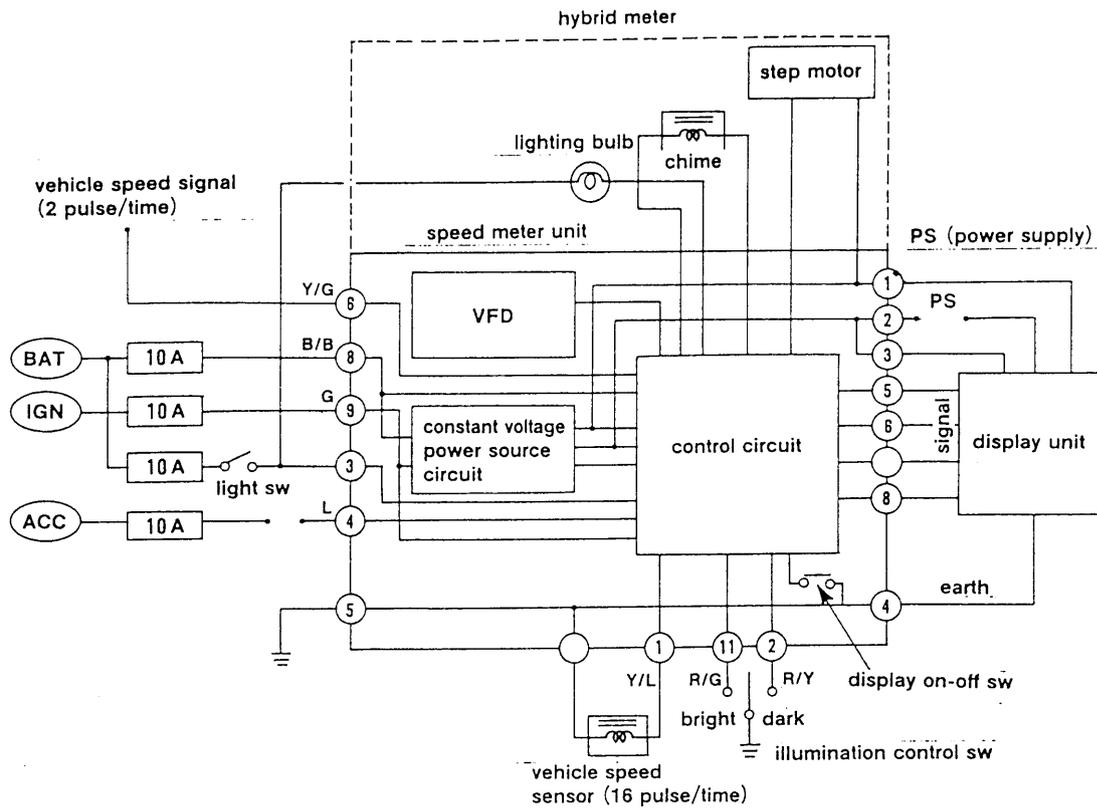


図10.13：制御回路ブロックダイヤグラム

10.4 搭載ヘッドアップディスプレイ

図1.5に日産シルビアに搭載したヘッドアップディスプレイを、図10.14に日産ブルーバードに搭載したヘッドアップディスプレイを示す。図10.14では車速の他に方向指示や警報項目が表示されている。それぞれの仕様概要を表10.4に示す。

10.5 まとめ

(1) ゼル・ゲル成膜法による薄膜コーティングを応用し、ウインドシールド一体型コンバイナと鏡系を応用した光学系等により、廉価で表示品質に優れた自動車用ヘッドアップディスプレイを世界に先駆けて実用化した。

(2) 開発したヘッドアップディスプレイは全車種合わせて、月に約一万台市場に流れており拡大基調にある。現在の所、表示項目や表示エリアは限られているが、従来インストルメントクラスタの中だけに存在した表示像を、ウインドシールドの領域まで引き出しドライバの目の負担軽減や、良好な瞬読性の確保等を達成し、将来の自動車用表示装置の魁としての意義は大きい。



図10.14：日産ブルーバード用ヘッドアップディスプレイ

表10.4：ヘッドアップディスプレイ仕様概要

	Aタイプ	Bタイプ	Cタイプ
プロジェクタ			
開口径	46x32mm	93x41mm	50x40mm
外形概寸	83x60x75mm	80x60x105mm	85x75x115mm
重さ	約175g	約200g	約280 g
コンバイナ			
サイズ	115x75mm	120x85mm	120x85mm
表示像			
表示像距離	1.1m	1.3m	2.5m
最低輝度対比	1.1	1.1	1.1
表示位置	俯角7度, 右11度	俯角7度, 右11度	俯角7度, 右11度
視角	1.9x0.9度	2.2x1.2度	2.0x1.0度
表示項目	デジタル車速	デジタル車速 集中警報, 方向指示	デジタル車速
アイレンジ	SAE90パーセントイル		
輝度領域	2.2~2,000cd/m		
表示色	緑色		

第 1 1 章

結論

本論文は新しいヒューマンインタフェースとして期待されている自動車用ヘッドアップディスプレイに関して、ドライバの視覚情報受容の観点から実験考察した研究成果をまとめたものである。

本研究の背景には、3高（高度情報化、高齢化、高速移動社会）と3K（効率、環境、感性）に対応できる可能性のある自動車用ヘッドアップディスプレイへの期待と疑問のより具体的な解析解明と言う社会的要請が存在する。即ち、単に新しい時代に対応できる情報伝達手段と言う側面だけではなく、走行安全性の確保、向上という側面からも、この新しいデバイスを評価・分析・検証する必要がある。

ヘッドアップディスプレイはもともと戦闘機の武器用途として開発された特殊な表示装置である。航空機用ヘッドアップディスプレイでのパイロットの視覚情報受容特性については、軍事機関や宇宙関連研究所で多くの研究がなされ現在も研究は続けられている。しかしながら、周囲の外界視対象の種類や配置、ユーザの操作姿勢や熟練度等、自動車での仕様環境は航空機での場合と大きく異なり、航空機用ヘッドアップディスプレイの研究成果を直接自動車に適用するのは危険である。

本研究では自動車の運転視覚環境を念頭に置き、自動車でヘッドアップディスプレイが用いられた場合に、ドライバの視覚情報受容プロセスにはどのよ

うな問題点と利点があるのか、またヘッドアップディスプレイの主要な設計変数がどのような効果と密接に関連づけられているのか、さらにはそれらの特性が視覚情報処理と言う観点からどう説明されるのかを解明した。

この目標を達成するために、本研究ではドライバの視覚情報受容プロセスを、前景視対象の検索、存在の知覚、認識と言う前景に関連する一連のタスクと、表示像の認識のタスクの二つのタスクからなるダブルタスクプロセスと見做し、メインタスクである前者の達成度合いがサブタスクである後者の達成度合いによりどのように影響されるかを評価する手法をとった。

表示装置の”良さ”とは表示像情報の認識が良好にできるだけではなく、前景視対象に関する一連のタスク達成度が表示像が存在しなかったときと同程度であることが重要な評価ファクタであることに着目した。全実験は実験室実験と実車走行実験とに分けられる。実験室実験では実験の再現性や解析の容易さを考え、走行条件を計測したデータに基づき評価装置を開発した。評価は前景の認識についてワーストケースの条件を想定した。実車走行実験では、官能評価と認識時間計測等の定量評価により実験室実験の確認検証を行なった。ヘッドアップディスプレイの優位性や最も影響が大きい表示像距離の効果、それぞれの特性の年齢差による相違等について述べた。最後に、自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚情報受容の過程を従来航空機で言われていた説明と異なる周辺視による情報受容機能からなる視覚光学モデルを立てその妥当性を示すと共に実験結果に説明を与えた。

本論文では以上の研究成果を10章に分けて述べた。第1章から第9章までは自動車用ヘッドアップディスプレイに関して視覚光学の観点から実験による知見を整理し論じた。最後の第10章では若干視点を変え1988年に世界初として実用化した自動車用ヘッドアップディスプレイについて述べた。

第1章では、本研究の背景と目的、研究の基本的方針について述べた。まず、自動車用表示装置の過去と現在について、ヒューマンインタフェースの観点から振り返ると共に、新しいヒューマンインタフェースである自動車用ヘッドアップディスプレイへの社会の大きな期待と視覚光学に関する研究の現状

について述べた。特に、視覚情報受容と言う観点から、航空機用ヘッドアップディスプレイでの研究成果を振り返り、自動車用ヘッドアップディスプレイとの相違点を分析した。これらの結果を踏まえ、前景認識と表示像認識の二つに着目した本研究の方針を述べた。

第2章では、ヘッドアップディスプレイやヘッドダウンディスプレイの視覚情報受容の特性を評価するため、通常の自動車走行時の視覚環境を実験室実験で実現する評価装置を構築した。ドライバの視覚情報受容のプロセスを、前景視対象の探索・知覚・認識のタスクと表示像情報の認識のタスクからなるダブルタスクプロセスと見做し、それぞれのタスク達成度合いをより定量的に扱うため七種類の正答率を定義した。また、実験室実験の結果を検証するため試作した実車実験用車両についても述べた。

第3章では、実験室実験の評価装置を用いて、ヘッドアップディスプレイと従来のメータであるヘッドダウンディスプレイとの視覚情報受容の特性を比較した。また、ヘッドアップディスプレイでは新しい設計変数である表示像距離の長短が前述のタスク達成度にどのような影響があるかを評価した。それぞれの評価実験では、現実の広い自動車ユーザー層を念頭に置き、高年齢者層と若年齢者層の被験者を用いることにより加齢の効果をも考察した。

結果としてヘッドアップディスプレイが優れていることや、ヘッドアップディスプレイで表示像距離を長くすることが視覚情報受容の特性改善に大きな効果があることを述べ、特に高年齢者層で顕著であることを述べた。

第4章では、航空機では余り論じられなかった表示像の俯角について実験室実験で評価した。結果では、表示像の認識タスクの達成度合いの俯角依存性が逆S字特性を示すことを示し、俯角の最適領域が数度の範囲で有限な領域で存在することを明らかにした。さらに、前章との結果も踏まえ、ドライバの年齢に拘わらず自動車用ヘッドアップディスプレイの設計変数の中では、表示像距離が最も重要なパラメータであることも示した。

第5章では、表示像の認識中に前景が緊急突発的に変化した場合を想定して、ヘッドアップディスプレイとヘッドダウンディスプレイの視覚情報受容の

特性を比較評価した。実験結果として、表示像距離が長く俯角が小さいヘッドアップディスプレイが優位であることを示した。ここでも高年齢者層でのヘッドアップディスプレイの優位性が顕著であった。この章では、前景変化への対応が周辺視機能による可能性についても言及した。

第6章では、表示エリアが大きな将来の自動車用ヘッドアップディスプレイを考えたとき、前景視対象の認識の条件で最悪ケースと考えられる表示像と前景視対象が完全に重畳した場合を想定して、視覚情報受容の特性を評価した。実験結果として、従来言われている表示像の輝度値の他に、表示像パターンが重要な特性決定因子になることを示した。また、表示像が重畳した前景視対象の認識特性は自動車の移動により改善することを明らかにした。この改善率は表示パターン形状から算出される充填率とTalbot-Plateauの法則とを用いて近似的に予測できることも示した。

第7章は、実験室実験の結果を検証するために実車実験によりヘッドアップディスプレイの視覚情報受容の特性を評価した。高速路走行と市街値走行について、表示像距離の変化によるドライバの官能評価を行ない、実験室実験での評価ファクタであった前景認識表示像認識に加えて、第三のファクタが存在することを主成分分析により明らかにした。また、実験車を用いて、種々の道路走行条件で表示情報認識時間を計測することによりヘッドアップディスプレイが実際の走行でも優位であることを定量的に示した。

第8章では、前章までで明らかになった自動車用ヘッドアップディスプレイでの視覚情報受容の特性の優位性がどのような視覚光学モデルで説明できるのかを論じた。

いくつかの実験結果は、航空機用ヘッドアップディスプレイの視覚情報受容特性の優位性の理由として従来報告されていた目の焦点調節量と視線移動量の低減による効果の二つの要因だけでは説明が困難であることを論じた。このためこの章では新たな視覚光学モデルの必要性を述べた。短時間視標呈示実験による焦点調節応答の効果の計測実験の結果や、周辺視による情報受容機能を遮断するとヘッドアップディスプレイでの優位性が著しく低下すること等から、

周辺視による表示像情報受容のモデルを提案し片眼でこの機能を確認した。

第9章では、周辺視での情報受容機能を高年齢者層と若年齢者層の被験者の両眼を用いて、提案した視覚光学モデルの妥当性を実験評価した。視力や応答が若年齢者層と変わらなくても、高年齢者層で表示像認識特性が低下する原因の一つとして、中心視視標での注意（アテンション）の程度により周辺視での情報受容機能が大きく低下することを示した。また、表示像の認識特性の俯角依存性（逆S字特性）等、前章までで説明がつきにくかった実験結果について、定性的に視覚光学モデルを用いて説明した。

第10章では、1988年5月、世界で始めて量産車（日産シルビア'88年モデル）で実用化した自動車用ヘッドアップディスプレイについて開発課題と開発技術を述べ、自動車に搭載した実際のハードウェア技術にも言及した。

第10章でも論じたように、現在実用化されている自動車用ヘッドアップディスプレイは、まだ”副”表示装置の域を出ていない。表示項目も少なく、表示エリアも狭い。ヘッドアップディスプレイを必要不可欠な部品として位置づけて車両設計をするというより、従来の設計車両のスペースレイアウトに、ある種の妥協をして装着した感は拭えない。したがって、これらのヘッドアップディスプレイは、多くの場合、必ずしも視覚光学実験での知見を全て網羅・実現しているわけではない。

しかしながら、高度情報化社会や高齢化社会等の大きなトレンドの中で、ヘッドアップディスプレイの設計技術にも少しずつ変化が見え始めている。例えば、新型車種でのヘッドアップディスプレイでは、本研究で論じた表示像距離の最適領域である2.5mの光学系がすでに登場⁽⁸²⁾⁽⁹²⁾している。ナビゲーション装置の表示装置として、ヘッドアップディスプレイの応用については、色々な分野の人達がドライバの視覚特性重視と言う観点から活発な論議が始まっている⁽¹⁸⁹⁾⁽¹⁹⁷⁾⁽¹⁹⁸⁾⁽¹⁹⁹⁾。

今後、これらナビゲーション装置やルートガイダンス装置等への本格的応用に伴い、従来と異なる内容の表示項目が登場するだろうし、表示エリアも拡

大するであろう。一部のマニアックなユーザだけでなく、広いユーザ層にも、これらの装置は普及するであろう。自動車用ヘッドアップディスプレイは、当に緒についたばかりと言える。

本研究は今後の応用の広がりを予測して、自動車用ヘッドアップディスプレイについてドライバの効果的な視覚情報受容の在り方とそのメカニズムについて論じた。近い将来、自動車でもますますヒューマンインタフェースの重要性が高まり、基本的に高いパフォーマンスを有する自動車用ヘッドアップディスプレイの果たす役割は増大し、本研究の知見がより広く活用されると考えられる。

本研究では述べられなかったが、自動車用途での表示像パターンシンボロジーの最適化に関する研究や、表示体技術の進歩に伴い実用化されると考えられる多色表示像と情報受容特性に関する研究、高齢者層や障害のあるユーザによるヘッドアップディスプレイの諸特性の研究、疲労とヘッドアップディスプレイ表示像認識特性の関係の研究等は、今後さらに研究・解明されていく必要がある。また、視覚光学の分野の研究だけでなく、任意の表示像パターンや広い表示エリアに対応できるヘッドアップディスプレイのハードウェア技術の研究も必要である。

本研究は自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚光学研究の端緒と位置付けられ、今後の研究課題に対する基礎・基盤的研究知見として大いに活用・利用されると期待される。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、技術的御指導・御助言ばかりでなく、精神的な励ましや、被験者としての実験協力等々、数多くの方々に御協力・御援助を頂いた。全ての方々を網羅することはできないが、特にお世話になった方々のお名前だけを列記させて頂きその他の方々も含めて心から深く謝意を表したい。

名古屋大学 杉江 昇教授には本論文作成当初から、技術的御指導や御助言、論文申請の手続き等でのお世話をして頂いたばかりでなく、ともすると遅れがちになる筆に温かい激励を頂いた。

名古屋大学 鳥脇純一郎教授と名古屋大学 大西 昇助教授には本論文作成にあたり、温かく丁寧な技術的御指導・御助言を頂いた。

東京工芸大学 畑田豊彦教授には、本研究の最初の機会を与えて頂いたばかりでなく、今日まで多くの研究者を御紹介頂き有益な討議の機会を与えて頂き、各学会投稿論文の共同著者として御指導御討議頂いた。

愛知工業大学 赤尾保夫教授には著者が名古屋大学在学時代学部大学院を通じて御指導頂き、その後も学位論文作成を薦めて頂いた。卒業研究で視覚細胞のファイバモデルの調査研究をやらせて頂いたのが本研究の遠因となったと思われてならない。

豊橋科学技術大学 宮崎保光教授には著者が名古屋大学在学時代御指導を頂いた。

電気通信大学 鈴木務教授には多くの学会での講演発表の機会を作って頂いた。

大阪大学 三浦利章助教授には自動車走行時のドライバの心理と言う観点から有

益な御助言を頂いた。

日産自動車（株）副社長丸茂長幸氏には、氏が総合研究所所長時代に著者の自動車用ヘッドアップディスプレイの研究提案の有効性に理解を示し研究実行の決済をして頂いた。

日産自動車（株）総合研究所元特別研究員黒田裕博士には会社として学位論文作成を薦めてくださった。

日産自動車（株）元電子研究所所長青野重男氏と現所長広田幸嗣氏には本研究を温かく見守って頂いた。

セントラル硝子（株）技術部主席技術員橋本力氏には種々の実験機材を快く提供して頂いた。

日産自動車（株）電子研究所坂田雅男氏には共著者として、日常での有効な討議に加わって頂いた。同 深野純一氏には自動車用ヘッドアップディスプレイ実用化開発で共同開発者として多大な御協力を頂いた。

日産自動車（株）電子研究所古川政光氏と西義雄氏には実験遂行とデータの整理等に献身的な御協力を頂いた。

その他個々の御名前は省かせていただくが、日産自動車（株）総合研究所、電子研究所の多くの方々には並々ならぬお世話を頂いた。

最後に、末筆ながら諸学会・諸研究会等での御討議と温かい励ましを頂いた諸先生諸先輩には心から深く感謝を致したい。

参考文献

第1章

- (1) 自動車技術会 (編) ; 新編自動車工学ハンドブック (第一編, 第三章) , 図書出版, 1-1~1-13 (1970)
- (2) 朝日新聞社 ; 世界の自動車' 69, 15~20 (1969)
- (3) 五十嵐平達 (監修) ; TOYOTA AUTOMOBILE MUSEUM, 22~26
- (4) 得田与和 ; 未来カーの開発現場から, PHP研究所, 一章, 4章 (1987)
- (5) Wilelm, R.V. ; The Automotive Instrumentation Exposition ; Growth, Challenges, and Partnership, (Key Note Address) 1987 International Symposium Digest of Technical Papers Vol. XVII (1987)
- (6) 岡林 繁 ; 電子表示インストルメントパネルデザインの動向 ; 自動車技術 (自動車技術会) Vol.34, No. 9, 1980 pp912~917
- (7) Miyazaki, T. and Suehiro, J. ; Analog Display using Fluorescent Indicator Panel Technology, SAE International Congress and Exposition 800351 (1980)
- (8) Horikiri, K. and Ando, T. ; Large Area Liquid Crystal Display for Automobile, SAE International Congress and Exposition 800235 (1980)
- (9) Okabayashi, S., Nomura, H., Adachi, M., Kawata, M., and Tanimoto, S. ; New Automotive Applications for Liquid Crystal Displays ; SAE International Congress and Exposition 8402144 Feb./March 1984 (Detroit, USA)
- (10) 荒井宏 ; 自動車表示装置の技術展望, テレビジョン学会誌 Vol. 44, No. 5 507~512 (1990)
- (11) 小林実 ; 高齢ドライバを考える, 軽自動車情報 9月号, No.457, 9~

- 13 (1990)
- (1 2) 青野重夫 (編) ; 自動車エレクトロニクス, 工業調査会, 第5章,
145~186
- (1 3) 安全運転センター調査; 増える高齢者ドライバ, 毎日新聞 (夕刊)
1987.8.14.
- (1 4) J.D.Rivard; The Automobile in 1997, IEEE SPECTRUM Vol. 24,
No. 10, (Oct., 1987) 67-71
- (1 5) 岡林 繁; ヘッドアップディスプレイ (HUD)の自動車への応用; 日
産技報 Vol.25-7,1989 pp65~72
- (1 6) NHKテレビニュース報道 (午後7時ニュース), 1988.5.20
- (1 7) 岡林 繁, 深野純一; ヘッドアップディスプレイの誕生; 情熱と独創
の物語 (日産自動車株式会社中央研究所) (1989) pp160~164
- (1 8) 1982.10.15. (朝刊) 朝日新聞, 毎日新聞, 産経新聞, 日刊工業新聞他
- (1 9) モータファン (別冊), 6月 7~9 (1988)
- (2 0) Okabayashi, S. and Chiba, M ; Recent Trend in Electronic Displays
for Automobiles, Proceedings of 6th International Display Research
Conference (1986) 1.2
- (2 1) Stokes, A., Wickens, C. and Kite, K. ; Display Technology, SAE Inc.
(1990) Chapter 2, 1~2, Chapter 8, 87~98
- (2 2) Phaneuf, R.J. and O'Brien, J.E. ; Head-Up Display in Commercial
Aviation, AIAA Aircraft Systems & Technology Meeting (1977) 77-1241
- (2 3) Eagan, D.E. and Goodson, J.E. ; Human Factors Engineering for
Head-Up Displays; A Review of Military Specifications and
Recommendations for Research, Naval Aerospace Medical Research
Laboratory Monograph-23 (1978)
- (2 4) Kyle, W. ; Head-Up Displays for General Aviation, SAE General
Aviation Aircraft Meeting and Exposition (1985) 850902
- (2 5) 江畑謙介; 未来の戦闘機用コクピット, Aireview, October (1988) 68

~77

- (2 6) Vallence, C.H. ; The Approach to Optical Sysytem Designs for Aircraft Head-Up Displays, 15~25
- (2 7) Poole, H. (森田敬太郎訳) ; 電子ディスプレイ・システム, 日本経営出版会, 1 4 章232~236, 1 5 章, 249~250
- (2 8) Cohn,D.B. ; Introduction to Head-Up Displays,SPIE' Short Corse Notes 33rd Annual International Technical Symposium on Optical & Optoelectronic Applied Science & Engineering (1989) 28~40
- (2 9) 岡本博之;新自動車交通情報通信システム (AMTICS) , 自動車技術 (自動車技術会) Vol.42,No. 2, (1988) 153~157
- (3 0) Poynter, D. ; The Effects of Aging on Perception of Visual Dospital, SAE Feb/March (1988) 881754
- (3 1) Yanik, A. ; Vehicle Design Considerations for Older Drivers, SAE Feb/March (1988) 885090
- (3 2) Wierwille, W.W., Antin, J.F., Dingus, T.A. and Huse, M.C. ; Visial Attention Dand of an In-Car Navigation Display System, Vision in Vehicles II, 307~316 (1988)
- (3 3) Zwahlen, H.T., Adams Jr., C.Cand Schwartz, P., J. ; Safthy Aspects of Cellar Telephones in Automobiles, ISATA 18th Internaational Sympodium on Automotive Technology & Automation (1988) 88058
- (3 4) トヨタ自動車 (株) 編;ミドルドライバーの安全運転能力 (第三章) , 5 節, 16~17
- (3 5) 石原 忍, 日本人の眼の調節河本記念論文日眼PP23-203, 1912
- (3 6) Charman, W. ; Visual Optics and Instrumentation, Vol.1, 263
- (3 7) 岡林 繁;視覚光学から見た自動車用ヘッドアップディスプレイ;光技術コンタクト (日本オプトメカトロニクス協会) Vol.29,4月号, 1991 pp20-27
- (3 8) 岡林 繁;自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚光学特性; 3 D

- 映像（3次元映像のフォーラム）Vol.5, No. 3(1991) pp19~25
- (39) 運輸省航空局編；速度上昇に伴う動体視野の狭さく，航空照明，pp.76 (1986)
- (40) 久松正和，大頭仁；周辺視における時空間特性，日本眼光学会誌 119~123 (1989)
- (41) 岡林 繁；自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚光学特性；電波航法研究会 9月19日(1991)
- (42) ニューガラス産業対策調査研究報告書，（社）ニューガラスフォーラム，第6章，97~123 (1990)
- (43) 谷内田正彦；ロボットビジョン，昭晃堂，9章 228~230(1990)
- (44) 大頭仁；視力標準化の動き，眼科，第24巻 第9号 (1982)
- (45) 西信元嗣；眼光学の基礎，V章 金原出版
- (46) ISO；Optics and optical instruments-Visual acuity testing-Standard optotype and its presentation, ISO/DIS 8596 (1986)
- (47) 照明学会編；照明用語事典，オーム社 (1990)
- (48) 和田正信，柴田幸男（訳）Luxenberg, H.R. and Kuehen, R. L.；ディスプレイ工学，近代科学社，129~134
- (49) 渡辺浩一郎；航空機における電子機器の変遷について，電波航法研究会，9月 (1991)
- (50) Roe, G.；The design of Future Cockpits for High Performance Fighter Aircraft, Aeronautical Journal April 159~166 (1978)
- (51) Naish, J.M.；Combination of Information in Superposed Visual Fields, Nature, 202, 604~649 (1964)
- (52) J.K.Lauber and R.S. Bray；An Evaluation of Head-Up Displays in Civil Transport Operations, NASA Conference Publication, No. NASA-CP-2170-1, pp197-199,(1981)
- (53) Fischer, E. and Price, A.；Cognitive Issue in Head-Up Displays, NASA Contractor Report 1711, (1980)

- (5 4) Harris, R.I. and Spady, A.A. ; Visual Scanning Behavior, Proceedings of the 1985 National Aerospace and Electronics Conference IEEE,1032~1039 (1985)
- (5 5) Lovering,P.B. and Andes, W.S. ; The HUD as a Primery Flight Instrument, SAE General Aviation Aircraft Meeting and Exposition (1984) 841453
- (5 6) Sinacori,J., Stepleford, L., Jewell, W. and Lebman, J. ; Resercher Guide to the NASA Ames Fight Simulator for Advanced Aircraft, NASA Contractr Report CR-2875 (1977)
- (5 7) Short, D.C ; The Head-Up Display in Operation , 29th International Air Safety Seminer(1976) 194~207
- (5 8) Hainnes, R.F., Fischer, E. and Price, T. ; Head-Up Transition Behavior of Pilots with and without Head-Up Dispaly in Simulated Low Visibility Approaches, NASA Technical Report 1720, (1980)
- (5 9) Koonce, J. and Moroze, M. ; The Effects of Stress on Processing Abstract Information, SAE 9~11 821349 (1982)
- (6 0) Newman, R.L. ; Improvemnt of Head-Up Display Standards Evaliation of Head-Up Displays to Enhance Usual Attitude Recovery, Airforce Aerspace Nautical Laboratories Technical Report AFAWALTR-87-3055 (1987)
- (6 1) Newman, R. L. ; Operational Problems Associated with Head-Up Displays During Instrument Flight, Airforce Aerspace Medical Research Medical Research Laboratory Technical Report AFAMRLTR-80-116 (1980)
- (6 2) Andre, A.D. ; Quantative Layout Analysis for Cockpit Display Systems, SID 1992 International Symposium Digest of Technical Papers Vol. XXIII 647~650 (1992)
- (6 3) Statler, I. C. ; Military Pilot Ergonomics, Proceedings, AGARD Aerospace Medical Panel Sympodium on Human Factors Consuderations in High Performance Aircraft. North Atlantic treaty Organization, 2-1~2~13

- (1984)
- (6 4) Iavecchia, J.H., Iavecchia, J.P. and Roscoe, S.N. ; Eye Accommodation to Head-Up Virtual Images, HUMAN FACTORS, 30(6), 689 ~702 (1988)
- (6 5) Sheehy, J.B. and Gish, K.W. ; Virtual Image Displays ; Is Redesign Really Necessary?, SID 1991 International Symposium Digest of Technical Papers Vol. XXII 308~312 (1991)
- (6 6) Allen, R.W., Clement, W.F. and Jex, H.R. ; Research on Display Scanning, sampling, and Reconstruction using separate main and secondary Tracking Tasks, NASA Contract Report, CR-1569 (1970)
- (6 7) Shorrock, M.A. ; Problems with Displays in Modern Military Aircraft, Electronic Display '80 (1980)27 ~36
- (6 8) Taylor, R.M. ; Some Effects of Display Format Variables on the Perception of Aircraft Spatial orientation, Proceedings, AGARD Aerospace Medical Panel Symposium on Human Factors Considerations in High Performance Aircraft. North Atlantic treaty Organization, 14-1~ 14-14 (1984)
- (6 9) Lyons, J.W. and Roe, G. ; The Influence of Visual Requirements on the Design of Military Cockpits, AGARD graph, North Atlantic treaty Organization, No. 255 (1980)
- (7 0) Weintraub,D., Haines, R. and Randele, R. ; Utility of Head Up Display , Proceeding of the Human Factors Society 28th Annual Meeting 529~533 (1984)
- (7 1) Weintraub,D., Haines, R. and Randele, R. ; Head Up Display Utility II, Proceeding of the Human Factors Society 29th Annual Meeting 615~619 (1985)
- (7 2) E.Fischer ; The Role of Cognitive Switching un Head-Up Displays, NASA Contractor Report 3137, (1979)

- (7 3) Larish, I.A. and Wickens, C.D. ; Attention and HUDs ; Flying in the Dark?, SID 1991 International Symposium Digest of Technical Papers Vol. XXII 461~465 (1991)
- (7 4) Chorley, R.A. ; Requirements for Aiorbone Electronic Displays, DISPLAYS, Oct. 159~161 (1979)
- (7 5) Qualy, J. and Buck, S. ; Some Perceptual Effects of Differential Luminance Induced by the Use of a Monocular Head-Up Display, PROCEEDINGS of the HUMAN FACTORS SOCIETY, 25th Annual Meeting, 64~68 (1981)
- (7 6) Oppitek, E. W. ; Head-Up Display Study, Airforce Avionics Laboratory(AFAL-TR73-215) Air Force Command (1973)
- (7 7) Instrumentation & Display ; Efects of Age on panel performance studied, Automotive Electronics Journal Monday, March 26, 1990
- (7 8) 岩元貞雄, 石田敏郎, 塩坂行雄, 麻生勤, 中島和子 ; 直接視界の研究, 昭和 6 0 年度自工会受託研究報告 (自動車研究所) , (1985)
- (7 9) 影山克三 ; 視界と操縦性, 自動車技術 Vol.39, No. 5 507~512 (1985)
- (8 0) Heintz,F., Haller,R. and Bouis,D. ; Safer Trip Computer by Human Factor Designs, SAE International Congress and Exposition Feb/March 820105 (1982)
- (8 1) 岡林繁 ; 自動車用計器, 電子技術, Vol.30, No.12 (1 9 8 8) 4 8 ~ 5 3
- (8 2) Weihrauch, M., Meloeny, G. and Goesch, T. ; The First Head Up Display Introduced by General Motors, SAE International Congress and Exposition (1989) 890288
- (8 3) Kiefer, R.J. ; Effects of a Head-Up Versus Head-Down Digital Speedmeter on Vusual Sampling Behavior and Speed Control Performance Diring Daytime Automobile Driving, SAE International Congress and Exposition Feb/March (1991) 910111

- (8 4) Swift, D.W. and Freeman, M.H. ; The Application of Head-Up Display to Cars, Vision in Vehicles, 2449~255 (1986)
- (8 5) K.Hori and Ueda et al. A Head Up Display for Automotive Use. Proceeding of 6th International Display Research Conference, Sep. 1986
- (8 6) Sakata, M., Okabayashi, S., Fukano, J., Hirose, S. and Ozono, M. ; ; Contribution of Head-Up-Displays (HUDs) to Safe Driving ; The 11th International Technical Conference on Experimental Safty Vehicles May , 1987 (Washington D.C., USA))
- (8 7) Inuzuka, Y., Osumi, Y. and Shinkai, H. ; Visiblity of Head Up Display for Automobiles, Proceeding of the Human Factors Society 35th Annual Meeting, Vol 2 (1991)
- (8 8) Okabayashi, S., Sakata, M., Daidoji, T., Fukano., J. Hashimoto, T. and Ishikawa., T. ; Development of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application ; SAE International Congress and Exposition 890559 Feb./March 1989 (Detroit, USA).
- (8 9) 堀切賢治, 上田文男, 熊谷直武, 嵯峨征雄 ; 自動車用ヘッドアップディスプレイ, 電子通信学会技術研究報告 EID-86-15, 25~28 (1986)
- (9 0) T.Iino and T.Otuka et al. Development of Heads-Up Display for a Motor Vehicle, SAE, Feb/March 1988
- (9 1) Sojourner, R.J. and Antin, J.F. ; The Effects of a Simulated Head-Up Display Speedometer on Perceptual Task performance, HUMAN FACTORS, 32(3) 329~339 (1990)
- (9 2) Kato, H., Ito, H, Shima, J., Imaizumi, M. and Shibata, H. ; Development of hologram Head-Up Display, SAE International Congress and Exposition Feb/March (1992) 920600
- (9 3) Sugita, M. and Suzuki, M. ; Head-Up Display using Hologram as an Optical Element, SAE International Congress and Exposition Feb/March (1992) 920741

- (94) 岡林 繁；ホログラムと応用技術の動向；フォトポリマ研究会（フォトポリマ懇話会）1991 pp1-28
- (95) U. Neisser and R. Becklen Selective looking Cognitive Psychology 5, 1975, 480~494
- (96) Becklen, R. and Cervone, D. ; Selective Looking and the Noticing of Unexpected Events, Memory & Cognition, 11(6), 601~608 (1983)
- (97) 相沢好治；V D T 作業者の自覚症状調査自覚症状に影響を与える因子の抽出，日本眼科学会 V D T 研究班昭和 6 2 年度研究業績集，日本の眼科 59；8号，29~32 (1988)
- (98) 窪田悟；V D T スクリーン上の映り込みが視作業のパフォーマンスに及ぼす影響，人間工学 第 2 4 卷，特別号 75~76 (1988)
- (99) 窪田悟，高橋誠；C R T ディスプレイ上の高原の反射像の許容輝度，照明学会誌 Vol. 73 No. 6 36~41 (1988)
- (100) 田淵義彦，松島公嗣，野口透；反射 G Y レア 高原の許容輝度の主観評価，平成元年照明学会全国大会，73, 80~81 (1989)
- (101) 向健二，金佑根，佐藤隆二，樽崎正也；反射像の大きさがもとの見え方に及ぼす影響，平成三年照明学会全国大会，96 136 (1991)
- (102) Hills, B. ; Vision, Visibility and Perception in Driving, Perception Vol. 9 (1980) p183~216
- (103) 大山正，一目で何個のものが見えるか，サイエンス 9月号 (1978) 23~33
- (104) 神作博；視界と運転，人間工学，Vol.16, No.5 221~228 (1980)
- (105) Snyder, H.L., Monty, R., W. ; A Methodology for Road Evaluation of Automobile Display, Vision in Vehicles, 227~232 (1986)
- (106) 増山英太郎，小林茂雄；センサリエバリュエーション，垣内出版(1990) 17~23, 182~191
- (107) 佐藤新；統計的官能検査法，日科技連 (1985) 21章

第2章

- (108) Miura, T. ; Coping with Situational Damands ; A Study of Eye Movements and Vision Performance, Vision in Vehicles, 206~216 (1986)
- (109) 三浦利章 ; 高速走行における視野の問題, 交通科学研究会資料 第26集 (1985) 201~204
- (110) .三浦利章; 外界情報の獲得における眼球運動と有効視野の動き, 昭和62年電気・情報関連学会連合大会予稿集, 21-4 (1987) 3-151~3-154
- (111) 岩元貞雄, 横井清和, 谷口実, 神峰雄; 前照灯の性能基準に関する研究, 昭和58年度自工会受託研究報告(自動車研究所), (1984)
- (112) Forbes, L.M. ; Field of View Form Aitomotive Vehicles, SAE, SP-381 (1979)
- (113) 塩坂行雄, 谷口実; 高速道路での大型トラック運転時の視線方向, 自動車研究 第4巻第7号 28~31(1982)
- (114) 大越孝敬; 三次元画像工学, 第3章, 産業図書 (1972)
- (115) 長田昌次郎; 視角の奥行き距離情報とその奥行き感度, テレビジョン学会誌 第31巻第8号 649~655(1977)
- (116) 畑田豊彦; 生理光学 14, Oplus E, No.10 108~118 (1985)
- (117) 池田紘一, 野田貢次, 山口昌一郎; ランドルト環視標の輝度対比および順応輝度と視力との関係, 照明学会論文号 Vol. 67, 45~51(1983)
- (118) JIS Z9111; 道路照明基準(1988)
- (119) 野口透, 伊吹順章, 成定康平, 松村晋, 西村武, 江島義道; 薄暮時における路面輝度の変化と自動車燈火の点灯状況, 照明学会論文Vol.75(1991)16~20
- (120) 神作博 ; 視力, 感覚知覚ハンドブック, 和田, 大山, 今井, 誠信書房 (昭和56年) 259
- (121) 自動車技術会編; 自動車工学便覧, 自動車技術会, 第7編, 第1章 1-57 (1984)
- (122) Okabayashi, S., Sakata, M., Furukawa, M. and Hatada, T. ; How HUDs Affects

Recognition of Objects in Foreward view in Automobile Use ; 31th SPIE Annual Conference August, 1989 (San Diego CA, USA)

(1 2 3) Okabayashi, S., Sakata, M., Furukawa, M. and Hatada, T. A Heads-up Display Performance in Automotive Use, Proceedings of the Society for Information Display Vol. 31 No. 3 (1990) pp255-261

(1 2 4) 大山正 ; 心理学, 第 5 章 NHK出版 (1985)

(1 2 5) 村田隆裕, 中村良夫 ; 自動車運転者の注視点, 交通工学 Vol. 5, No.5 (1970) 3~12

(1 2 6) 黒木康之, 麻生勤 ; 運転中のドライバ注視線測定の一方法, 自動車技術, Vol.31, No.7 (1977) 625

(1 2 7) Luoma, J. ; Driver's Eye Fixations and Perceptions, Vision in Vehicles II, 231~237 (1988)

(1 2 8) Klamer, U. and Nculau, M. ; Driver's Display, Eye-Movements and Steering Behaviour ; Visual Baisis of Car Driving, Vision in Vehicles , 185~194 (1986)

(1 2 9) Hughes, P. and Cole, B. ; The Effect of Attentional Damand on Eye Movement Behavior Whwn Driving, Vision in Vehicle II 221~230 (1988)

(1 3 0) 三浦利章 ; 実走行時にどのように見ているか, 自動車管理 1 3 (4) 12 ~17 (1986)

(1 3 1) 笠井健 ; 眼球運動の制御機構, 計測と制御 Vol. 19, No. 8 (1980) 12~23

(1 3 2) 蓑谷千風彦 ; 推定と検定のはなし, 第 4 章, 東京図書, 128~138

第 3 章

(1 3 3) Okabayashi, S., Sakata, M. and Hatada, T. How an Automotive Head-up Display Affects a Driver's Ability to Recognize the Forward View, Proceedings of the Society for Information Display Vol. 32 No. 1 (1991) pp31-38

(1 3 4) 岡林繁, 古川政光, 坂田雅男, 畑田豊彦自動車用ヘッドアップディスプレイ

スプレイにおける前景情報と表示情報の認識について, 照明学会論文号
Vol. 75 June (1991)

- (1 3 5) Simmonds, G.,W., Galer, M. and Baines, A. ; Ergonomics of Electronic Displays, SAE International Congress and Exposition Feb/March (1981)
810826
- (1 3 6) Izuka,H., Yabuta, K., Tsuda, H. Seko, Y. and Saito, T. ; Visual Performance Characteristics in vehicles, 11th ESV conference, May 1987
- (1 3 7) Saarinen, J. ; The Effect of Exposure Duration on the Analysis of Spatial Structure in Eccentric Vision, Spatial Vision Vol.3, No.1, P1~7 (1988)
- (1 3 8) 伊藤郁男;一点を凝視したときのランダムな視標の発見確率について, 人間工学 Vol.14, No. 3 149~153 (1978)

第 4 章

- (1 3 9) 岡林繁, 坂田雅男, 畑田豊彦;自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景情報と表示情報の認識について II, 照明学会論文号 Vol. 76 Feb.(1992)
- (1 4 0) Greene, E.S. and Sendelbach, D.R. ; Definition of Driver Information Instrumentation Features, SAE International Congress and Exposition Feb/March (1980) 800353
- (1 4 1) 樋口健治;自動車の運転視界, 人間工学 Vol.16, No.5 229~235 (1980)
- (1 4 2) 吉野良治, 須藤直照;自動車の視界について, いすゞ技報 第 5 3 号 13~22 (1984)
- (1 4 3) JIS D0021自動車の運転アイレンジ (1984)
- (1 4 4) 藤沢偉作;実験計画法, 現代数学社, 第 5 章 97~112

第5章

- (1 4 5) 岡林繁, 畑田豊彦; 自動車用ヘッドアップディスプレイの前景視認特性, 自動車技術会論文誌 Vol.24 No.1 (1993.1 T.B.P.)
- (1 4 6) 全日本トラック協会; 高速道路における追突事故防止に関する調査研究, 昭和62年度 1~30 (1987)
- (1 4 7) 日本自動車研究所; 歩行者保護に関する研究, 昭和63年度自工会受託研究報告 95~212 (1988)
- (1 4 8) 日本交通心理学会編; 安全運転の心理学, 企業開発センタ交通問題研究室, 第3章 220~256
- (1 4 9) 応用物理学会編; 生理光学, 浅倉書店, 第5章 127~129
- (1 5 0) 谷島一嘉; 最近の車の全面パネルの人間工学的検討, 人間工学 Vol. 21, No. 1 43~46 (1985)
- (1 5 1) Wadsworth, H.M.; Handbook of Statistical Methods for Engineering and Scientists, Part 3, 14-68~14-123 (1989)

第6章

- (1 5 2) 岡林繁, 坂田雅男, 畑田豊彦; 自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景視認について, 計測自動制御学会第6回 Human Interface Symposium, 109-112 (1990)
- (1 5 3) 岡林繁, 畑田豊彦; 自動車用ヘッドアップディスプレイの前景視認特性—表示像と前景が重畳する場合—, テレビジョン学会誌 V1.46, No. 4, (1992) 508~517
- (1 5 4) 照明学会編; やさしい明視論; 第6章 光源によるグレア, 71~76 (1984)
- (1 5 5) Okabayashi, S., Sakata, M., Furukawa, M. and Hatada, T.; A Head Up Display Performance in Automotive Use; Proceedings of 9th International Display Research

Conference October, 272-275 (1989) (Kyoto, Japan)

- (1 5 6) 警察庁交通局監修；交通の教則， pp46-48(1986))
- (1 5 7) 福田忠彦； C F F で示される中心視と周辺視の感度差， テレビジョン学会誌 第 3 2 卷 第 3 号 210~216 (1978)
- (1 5 8) 田崎京二， 大山正， 樋渡涓二（編）；視覚情報処理， 第 2 章 129~132
- (1 5 9) テレビジョン学会編；テレビジョン画像工学ハンドブック， pp35, オーム社(12月， 1980)
- (1 6 0) 肥田野直， 瀬谷正敏， 大川信明；統計学， 第 2 章， 倍風館 60~65
- (1 6 1)) 岡林 繁；視覚光学から見た自動車用ヘッドアップディスプレイ；光技術コンタクト（日本オプトメカトロニクス協会） Vol.29,4月号， 1991 pp20-27

第 7 章

- (1 6 2) 岡林繁， 坂田雅男， 古川政光， 畑田豊彦；自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景情報と表示情報の認識について III， 照明学会論文号（受理）
- (1 6 3) 山中旭；運転視界と環境， 自動車技術 Vol.27, No. 27 520~528 (1973)
- (1 6 4) 萩原亨， 加来照俊；運転者の視点に関する研究， 自動車技術会学術講演会前刷集901 1990-5 (1991)
- (1 6 5) Enderby, C.M. and Wood, S. T. ; Head-Up Display in Automotive /Aircraft Applications, SAE International Congress and Exposition 800351 (1980) 920740
- (1 6 6) 有馬哲， 石村貞夫；多変量解析のはなし， 第三章， 東京図書（1991）
- (1 6 7) 杉原美範， 渡部勲， 吉田千秋；主幹的空間周波数と画質評価関数II -臨場観に関する画質評価関数-， テレビジョン学会誌 Vol. 41 No 12 (1987)

1177~1181

- (168) 齊藤友子, 落合清史; 車両感覚のつかみやすさと距離感覚, 日産技報 26, 1989, 86~91
- (169) Hans-Georg Metzler, Computer Vision Applied to Vehicle Operation, SAE 1988 Future Transportation Technology Conference and Exposition 881167 (1988)
- (170) Kurt Enke; Possibilities for Improving Safety Within the Driver Vehicle Environment Control Loop, Proceeding of the ESV Conference (1979) 789~802

第8章

- (171) 岡林繁, 古川政光, 畑田豊彦; 自動車用ヘッドアップディスプレイにおける視覚情報受容の優位性, テレビジョン学会誌 (審査中)
- (172) 稲垣達也, 大森賢, 高橋良文, 海老沢嘉伸, 南谷晴之; 意識的サッカーと視覚誘発サッカーの特性解析, 電子情報通信学会論文誌 D-II, No. 1 79~86 (1991)
- (173) Merstere, D. and Pailhous, J.; Rotation and transition of Vehicles; Some Aspects of Their Dissociation, Vision in Vehicles II 35~44 (1988)
- (174) お阪直行; 周辺視機能の精神物理学的研究, 第8章 風間書房, 143~150 (1983)
- (175) 福田忠彦; 図形知覚における中心視と周辺視の機能差, テレビジョン学会誌 第32巻 第6号 492~498 (1978)
- (176) 永野俊; 周辺視情報の中心視への影響, 電子通信情報学会研究会 (MBE85-113) 275~282(1985)
- (177) 永野俊; 視覚における周辺視の一情報処理機能, 電子通信情報学会論文誌 (A) Vol.68, No.1, 46~53(1985)
- (178) Engel, L.; Visual Conspicuity, Directed Attention and Retinal

Locus, Vision Research No. 11, 563~576(1971)

(179) 熊田孝恒, 菊地正; 視知覚における注意研究の動向, Tsukuba Psychological Research No. 10, 17~25(1988)

(180) T.Miura; Visual Search in Intersections -An Underlying Mechanism-, IATSS Research Vol. 16 No. 1, (1992)

(181) Kelly, D.,H.; Visual Processing of Moving Stimuli, Journal of Optical Society of America, Vol.2, No.2, February (1985)

第9章

(182) 岡林繁, 畑田豊彦; 自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景情報と表示情報の認識について IV, 照明学会論文号 (審査中)

(183) 畑田豊彦; 続・生理光学 7, Oplus E 9月, 128~129 (1989)

(184) 照明学会編; ライティングハンドブック, オーム社, 第3章 32~38 (1987)

(185) Hoel, P. (訳; 浅井晃, 村上正康); 入門数理統計学, 倍風館, 第2章 14~20 (1988)

(186) George, W. and Bryan, J.; 確率/統計の理論と応用, 帝人株式会社訳, プレイン図書出版 349~350(1986)

(187) 小江啓司; 漢字の構成成分による複雑さの定量化, VISION, 冬期視覚研究会 (日本光学会視覚研究会) Vol.3, No.1, 56(1991)

第10章

(188) Okabayashi, S., Sakata, M., Fukano, J., Daidoji, S., Hashimoto, T. and Ishikawa, T.; Development of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application, SAE Transactions Vol.98 Journal of Passenger Cars (1989) Section 6 638~647

- (189) 柴田正雄；路車間情報システム(RACS)について，国際交通安全学会誌 Vol.17, No. 2, 79~86 June(1991)
- (190) 岸野隆雄；蛍光表示管，産業図書 5章，55~57 (1990)
- (191) 松居吉哉；結像光学入門，第3章 啓学出版 70~84 (1990)
- (192) JIS Z 8722 (1982)
- (193) JASO D 001-87；自動車用電子機器の環境試験方法通則
- (194) FEDERAL MOTOR VEHICLE SAFETY STANDERD No.205
- (195) ANSI Z26.1 (1977)&(補則1983)
- (196) Hattori, A., Makita, K. and Okabayashi, S. ; Development of HUD combiner for Automotive Windshield application, 1989 Proceedings Reprint Current Developments in Optical Engineering and Comercial Optics SPIE Vol. 1168 pp272~282

第 1 1 章

- (197) 自動車走行電子技術協会；自動車における情報処理・通信システムに関する国際調査，第3章 (1989)
- (198) 機械システム振興協会；スパースマートヴィークルシステムに関する調査研究報告，第5章 (1992)
- (199) 道路新産業開発機構；個別通信部会最終報告，2章 (1990)

著者論文等目録

論文

- (1) Okabayashi, S., Sakata, M., Daidoji, T., Fukano, J., Hashimoto, T. and Ishikawa, T.
Development of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application, SAE
1989 TRANSACTIONS Vol.98 1989 pp638-647
- (2) Okabayashi, S., Sakata, M., Furukawa, M. and Hatada, T. ; How HUDs Affects
Recognition of Objects in Foreward view in Automobile Use ; 1989 Proceedings
Reprint Current Developments in Optical Engineering and Comercial Optics SPIE Vol.
1168 pp283-295
- (3) Okabayashi, S., Sakata, M., Furukawa, M. and Hatada, T. A Heads-up Display
Performance in Automotive Use, Proceedings of the Society for Information Display
Vol. 31 No. 3 (1990) pp255-261
- (4) Okabayashi, S., Sakata, M. and Hatada, T. How an Automotive Head-up Display
Affects a Driver's Ability to Recognize the Forward View, Proceedings of the Society for
Information Display Vol. 32 No. 1 (1991) pp31-38
- (5) 岡林繁, 古川政光, 坂田雅男, 畑田豊彦 ; 自動車用ヘッドアップディスプレイ
における前景情報と表示情報の認識について, 照明学会論文号 Vol. 75 No. 6
(1991)
- (6) 岡林繁, 坂田雅男, 畑田豊彦 ; 自動車用ヘッドアップディスプレイによる前
景情報と表示情報の認識について II, 照明学会論文号 Vol. 76 No.2 (1992)
- (7) 岡林繁, 畑田豊彦 ; 自動車用ヘッドアップディスプレイの前景視認特性, 一
表示像と前景が重畳する場合一, テレビジョン学会誌 Vol. 46 No.4 (1992)
- (8) 岡林繁, 畑田豊彦 ; 自動車用ヘッドアップディスプレイの前景視認特性, 自
動車技術会論文誌 Vol.24, No.1 (1993)
- (9) 岡林繁, 坂田雅男, 古川政光, 畑田豊彦 ; 自動車用ヘッドアップディスプレ
イによる前景情報と表示情報の認識について III, 照明学会論文号 Vol. 77

Vol.6 (1993)

- (10) 岡林繁, 畑田豊彦自動車用ヘッドアップディスプレイによる前景情報と表示情報の認識について IV, 照明学会論文号 (審査中)
- (11) 岡林繁, 古川政光, 畑田豊彦; 自動車用ヘッドアップディスプレイにおける視覚情報受容の優位性, テレビジョン学会誌 Vol. 47 No.5 (1993 T.B.P.)
- (12) Okabayashi, S., Sakata, M., Furukawa, M. and Hatada, T.; Driver's Ability to Recognize the Forward View and head-Up Display Image for Automobiles, Journal of Light & Visual Environment (1993.6. T.B.P.)

国際会議

- (1) Okabayashi, S., Nomura, H., Adachi, M., Kawata, M., and Tanimoto, S.; New Automotive Applications for Liquid Crystal Displays; SAE International Congress and Exposition 8402144 Feb./March 1984 (Detroit, USA)
- (2) Okabayashi, S. and Chiba, M.; Recent trend in Electronic Displays for Automobiles; Proceedings of 6th International Display Research Conference, Sept. 1986 (Tokyo, Japan)
- (3) Okabayashi, S., Sakata, M., Daidoji, T., Fukano, J., Hashimoto, T. and Ishikawa, T.; Development of Practical Heads-Up Display for Production Vehicle Application; SAE International Congress and Exposition 890559 Feb./March 1989 (Detroit, USA).
- (4) Okabayashi, S., Sakata, M., Furukawa, M. and Hatada, T.; How HUDs Affects Recognition of Objects in Foreward view in Automobile Use; 31th SPIE Annual Conference August, 1989 (San Diego CA, USA)
- (5) Okabayashi, S., Sakata, M., Furukawa, M. and Hatada, T.; A Head Up Display Performance in Automotive Use; Proceedings of 9th International Display Research Conference October, 1989 pp 272-275 (Kyoto, Japan)
- (6) Okabayashi, S., Sakata, M., Furukawa, M. and Hatada, T.; How a HUD Affects a Driver's Ability to Recognize the Foreground Objects in Automobile Use; SID 1990 International Symposium Digest of Technical Papers Vol. XXI May, 1990

pp122-125(Las Vegas, USA)

- (7) Okabayashi, S., Sakata, M., and Hatada, T. ; Driver's Ability to Recognize Objects in the Forward View with Superimposition of Head-up Display Images ; SID 1991 International Symposium Digest of Technical Papers Vol. XXII May, 1991 pp465-469(Anahaim, USA)
- (8) Okabayashi, S. and Hatada, T. ; Experimental Study on Superiority of Automotive HUDs in Vision Optics, Proceedings of 12th International Display Research Conference October,1992 pp 272-275 (Hiroshima, Japan)

研究会・大会講演

- (1) 岡林 繁；1987 SID国際シンポジウムオートマテブセッションに参加して；電子情報通信学会技術研究報告（電子情報通信学会） EID87-37 pp29～32
- (2) 岡林 繁，坂田雅男，深野純一；自動車におけるヘッドアップディスプレイの表示視認性と安全について；第30回日本産業・労働・交通眼科学会大会予稿集（日本交通眼科学会）1988.11.26. pp34～37
- (3) 岡林 繁；ホログラムとその応用技術；1989年度印刷・情報記録研究会（高分子学会）1990.2.21.～22. pp13～19
- (4) 岡林 繁；1990 SID 国際シンポジウム報告；電子情報通信学会技術研究報告（電子情報通信学会） EID90-20-31 pp23～28
- (5) 岡林 繁，坂田雅男，畑田豊彦；自動車用ヘッドアップディスプレイにおける視覚光学特性に関する考察（第一報）；第23回照明学会全国大会（照明学会）予稿集 pp97～98
- (6) 岡林 繁，坂田雅男，畑田豊彦；自動車用ヘッドアップディスプレイにおける前景視認について；第6回ヒューマンインタフェイスシンポジウム（計測・自動制御学会）1990.10.24.～26. pp109～112
- (7) 岡林 繁；ホログラムと応用技術の動向；フォトポリマ研究会（フォトポリマ懇話会）1991 pp1-28

- (8) 岡林 繁；1991 SID国際シンポジウム報告；電子情報通信学会技術研究報告
(電子情報通信学会) EID91-1-15 pp13～18
- (9) 岡林 繁；自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚光学特性；3D映像
(3次元映像のフォーラム) Vol.5, No. 3(1991) pp19～25
- (10) 岡林 繁；自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚光学特性；電波航法
研究会 9月19日(1991)
- (11) 岡林 繁, 古川政光, 坂田雅男, 畑田豊彦；自動車用ヘッドアップディス
プレイ (HUD) における前景と表示像の視認特性に与える俯角と表示像距離の
影響；自動車技術会'91年秋季学術講演会 Vol. 3 912308 (自動車技術会)
1991.10.2.～4. pp285～288
- (12) 岡林 繁；自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚光学特性；照明学会
道路と照明に関する研究会 (1991.12.13)
- (13) 岡林 繁；自動車用ヘッドアップディスプレイとヒューマンファクタ；23
回画像工学コンファレンス, 電気四学会他 (1992.12.9～11)
- (14) 岡林 繁；車載表示システムの動向(1)；第1回液晶ディスプレイセミ
ナ, セッションJ 日経BP社 (1993.4.21～23)

雑誌・刊行物

- (1) 岡林 繁；電子表示インストルメントパネルデザインの動向；自動車技術
(自動車技術会) Vol.34, No. 9, 1980 pp912～917
- (2) 岡林 繁；自動車用ディスプレイ装置の概要；自動車用ディスプレイデバ
イス研究 세미나 (第一インタナショナル (株)) 1986.3.7. pp1～14
- (3) 岡林 繁；自動車計器；電子技術 Vol.30, No.12, 1988 pp48～53
- (4) 岡林 繁；ヘッドアップディスプレイ (HUD)の自動車への応用；日産技報
Vol.25-7, 1989 pp65～72
- (5) 岡林 繁；自動車用ヘッドアップディスプレイ；自動車用ディスプレイセミ
ナ (技研情報センタ) 1990. 1.26.
- (6) 岡林 繁；新しい電子表示の動向－視覚光学から見た自動車用ヘッドアップ

- ディスプレイ；自動車技術（自動車技術会）Vol.44, No. 9, 1990 pp16～21
- (7) 岡林 繁；ホログラムとその応用技術；日産技報 Vol.27-6, 1990 pp165～176
- (8) 岡林 繁, 深野純一；ヘッドアップディスプレイの誕生；情熱と独創の物語
（日産自動車株式会社中央研究所）1989 pp160～164
- (9) 岡林 繁；視覚光学から見た自動車用ヘッドアップディスプレイ；光技術コ
ンタクト（日本オプトメカトロニクス協会）Vol.29, 4月号, 1991 pp20～27
- (10) 岡林 繁；ホログラフィと自動車技術；HODIC CIRCULAR ホログラフィ研
究会（応用物理学会）1991 Vol.11 No.4 pp1～2
- (11) 岡林 繁；ディスプレイホログラムの自動車への応用；写真工業 Vol.51
No.4 1993 pp101～105

著作・ハンドブック

- (1) 岡林 繁；3次元ディスプレイ；応用光エレクトロニクスハンドブック；野
田健一, 大越孝敬, 昭晃堂（1989）pp859～868
- (2) 岡林 繁；ディスプレイ技術；自動車の最新技術事典；井口雅一, 山川新二
他編；朝倉書店（1993）編集中
- (3) 岡林 繁；自動車用ヘッドアップディスプレイの視覚光学特性；三次元画像
技術ハンドブック；浜崎譲二, 畑田豊彦他編；朝倉書店（1993. 6. T.B.P.）

受賞等

- (1) 第40回自動車技術会技術開発賞（1990年5月）自動車技術会
- (2) 平成4年度日本照明学会論文賞（1992年4月）日本照明学会 対象論文（5）
- (3) 第12回Japan Display '92 Successive Presentation Award（1992年 10月）テレビ
ジョン学会・SID共催 対象国際会議（8）