

人の移動に関わる情報科学的支援の研究

林 政喜

2013年 5月

目次

第 1 章	はじめに	1
第 I 部	情報科学技術を用いた歩行支援に関わる研究	3
第 2 章	序章	4
2.1	歩行するための靴	4
2.1.1	適合しない靴による弊害	5
2.1.2	足に適合する靴	5
2.1.3	足サイズ計測の必要性	5
2.1.4	手計測による足サイズ計測の難しさ（精度）	6
2.2	変形性膝関節症	7
2.3	第 I 部の目的と構成	8
第 3 章	足サイズ計測方法	9
3.1	足サイズ計測用語の定義	9
3.2	足サイズの手計測法と問題点	11
3.3	既存の足サイズ機械計測法	13
3.3.1	2次元計測方式	14
3.3.2	3次元計測方式	14
3.3.3	足サイズ計測の問題点	15
3.4	足底面撮影方式足サイズ計測器	16
3.4.1	既開発の足底面撮影方式足サイズ計測器の問題点	18
第 4 章	キャリブレーション手法の開発	19
4.1	キャリブレーションプレート	21
4.2	補正および較正方法	22
4.3	実装	24
4.4	較正精度の検証	25

4.5	まとめ	27
第5章	足サイズ計測基準線の自動決定方法の開発	28
5.1	自動的な計測基準線決定手法	29
5.1.1	踵部と爪先部の識別	29
5.1.2	第2趾尖点と踵骨尖点の決定	30
5.2	開発	31
5.3	計測実験	33
5.3.1	実験結果	33
5.3.2	考察	34
5.4	まとめ	36
第6章	足背高計測法の開発	37
6.1	カメラ画像による足サイズ計測器の方式	37
6.2	足背高較正方法	39
6.2.1	足背高計測用キャリブレーションプレート	39
6.2.2	較正方法	40
6.3	計測方法	41
6.4	開発	42
6.5	計測実験	44
6.6	精密型手計測器具の作成	45
6.6.1	実験結果	45
6.6.2	考察	46
6.7	まとめ	47
第7章	膝スクリーホームムーブメント計測システムの開発	48
7.1	解析方法	49
7.2	開発	51
7.2.1	計測プログラム	51
7.2.2	解析プログラム	51
7.2.3	検証実験	54
7.2.4	結果	55
7.2.5	考察	56
7.3	まとめ	56
第8章	結論	57

8.1	キャリブレーションシステムの開発	57
8.2	足サイズ計測基準線の自動決定法	57
8.3	足背高計測法の開発	58
8.4	膝スクリーホームムーブメント計測システムの開発	58
8.5	第 I 部まとめ	58
第 II 部 情報科学技術を用いた自動車の安全運転支援に関わる研究		59
第 9 章 序論		60
9.1	自動車への輸送の依存度	60
9.2	社会基盤としての自動車交通の問題点	63
9.3	これまでの安全運転システムの開発・研究	64
9.4	安全運転支援システムの問題点	66
9.5	安全運転支援システムの普及を困難にする要因	67
9.6	第 II 部の目的と構成	68
第 10 章 安全運転の考え方と教育方法		69
10.1	追突事故防止	70
10.2	停止距離の突発的な延長の発生要因	72
10.3	交差点での出会い頭衝突事故の防止	73
10.4	運転者の先急ぎ衝動	75
10.5	安全運転教育方法	75
第 11 章 安全運転管理・教育システム ASSIST		77
11.1	設計	77
11.2	ASSIST を利用した管理・教育内容	79
11.3	車載装置	80
11.4	ソフトウェア構成	80
第 12 章 運転者の意識改善のための実態調査		83
12.1	旅行時間と不安全割合の関係についての分析	84
12.1.1	長距離トラックの走行データ解析	84
12.2	実車走行による先急ぎ運転の損失分析	87
12.2.1	移動効率観に関する質問調査	88
12.2.2	先急ぎ運転の得失分析システム	90
12.2.3	先急ぎ運転の得失評価条件	90

12.2.4	実車による測定のための装置	91
12.2.5	先急ぎ運転行動分析ソフトウェアの開発	92
12.2.6	実車による先急ぎ運転に関する実験	93
12.2.7	考察	102
12.3	まとめ	103
第 13 章	運転行動データの解析	105
13.1	CPI による不安全運転行動解析	105
13.1.1	不安全運転行動解析ソフトウェア開発のための予備的な解析	105
13.1.2	不安全運転行動解析ソフトウェアの開発	107
13.1.3	検索実験	108
13.2	一時停止規制交差点での不安全運転行動の解析	110
13.2.1	一時停止位置情報データベース構築	110
13.2.2	一時停止行動解析ソフトウェア設計	111
13.2.3	一時停止行動解析機能の実装	112
13.2.4	ASSIST における運転後の一時停止教育用ソフトウェア	113
13.2.5	一時停止行動解析機能実装結果の検証	113
13.3	運転行動データ解析まとめ	117
第 14 章	Web システムを用いた管理者・運転者のための安全運転管理・教育システムの開発	118
14.1	設計	119
14.2	実装	121
14.2.1	ソフトウェア開発	121
14.2.2	Web ページ開発	122
14.3	まとめ	126
第 15 章	結論	127
15.1	運転者の意識改善のための実態調査	127
15.1.1	旅行時間と不安全割合の関係についての分析	127
15.1.2	実車による先急ぎ運転の損失分析	128
15.2	運転行動データの解析	128
15.2.1	CPI による不安全運転行動解析	128
15.2.2	一時停止規制交差点での不安全行動の解析	129
15.3	Web システムを用いた管理者・運転者のための安全運転管理・教育システムの開発	129

15.4 第 II 部まとめ	130
第 III 部 まとめ	131
第 16 章 おわりに	132
参考文献	135

図目次

図 3.1	足サイズ計測における計測点	10
図 3.2	中足点と尖点	10
図 3.3	スクライバーを用いた足輪郭描画	12
図 3.4	計測基準線	12
図 3.5	足サイズ計測線	13
図 3.6	カメラ撮影方式 2 次元足サイズ計測器の概要	14
図 3.7	スキャン方式 3 次元足サイズ計測器の概要	15
図 3.8	既開発の足サイズ計測器本体の全体構成	17
図 3.9	足サイズ計測器利用での計測手順	17
図 4.1	従来の画像較正	20
図 4.2	キャリブレーションプレート	21
図 4.3	キャリブレーションプレート撮影画像	22
図 4.4	キャリブレーションプレートと画像におけるピクセル数の対応付け	23
図 4.5	歪み補正結果	25
図 4.6	較正精度の検証に用いた既知の長さの物体	26
図 5.1	同一足画像に対して 5 回基準線を描画した時のぶれ	29
図 5.2	2 種の最長線	30
図 5.3	基準線決定手順	31
図 5.4	青色覆いと赤色フィルタ	32
図 5.5	足底面撮影画像	32
図 5.6	暫定踵骨尖点から求めた暫定の第 2 趾周辺までの長さの算出結果例	33
図 5.7	本研究における手動描画での足長ヒストグラム	34
図 5.8	計測基準線の自動決定失敗の例	35
図 5.9	足長最大誤差発生要因	35
図 5.10	足幅最大誤差発生要因	35
図 6.1	足底面と足側面の同時撮影装置の構造図	38

図 6.2	足底面と足側面の同時撮影画像	38
図 6.3	足背高計測用キャリブレーションプレート	39
図 6.4	足背高計測用キャリブレーションプレートの撮影画像と底面位置と鏡面 高の関係	40
図 6.5	較正データからの新たな較正データの推定概念	41
図 6.6	足のアーチ構造	42
図 6.7	縦方向順序付けアルゴリズム	43
図 6.8	キャリブレーションプレート設置位置による写りの変化	43
図 6.9	足背高の計測結果例	44
図 6.10	石膏足の例	44
図 6.11	本研究のために作製した手計測用器具	45
図 7.1	センサ取り付け位置	50
図 7.2	解析基準時点特定イメージ	50
図 7.3	センサ 1Y とセンサ 3Y 間の距離	52
図 7.4	立脚中期点の同期	53
図 7.5	実験環境	54
図 7.6	解析結果表示例 (健全者・男性)	55
図 7.7	解析結果表示例 (健全者・女性)	56
図 9.1	日本における自動車保有率	61
図 9.2	貨物輸送における各輸送機関の分担率 (重量当たり)	61
図 9.3	貨物輸送における各輸送機関の分担率 (トンキロ)	62
図 9.4	人の輸送における各輸送機関の分担率 (人数)	62
図 9.5	人の輸送における各輸送機関の分担率 (人・キロ)	62
図 9.6	交通事故統計	63
図 9.7	交通事故による損失額の推定	64
図 10.1	法令違反別交通事故件数の推移	70
図 10.2	車両相互における交通事故類型 (平成 22 年中)	70
図 10.3	追突事故発生条件	72
図 10.4	進行方向空間距離, 停止距離, 空走距離, および制動距離	73
図 10.5	歩行者や自転車等との衝突回避のための 1 段階目の停止	74
図 10.6	自動車等との衝突回避のための 2 段階目の停止	74
図 11.1	ASSIST の基本構成	78

図 11.2 ASSIST を利用した安全運転の管理・教育方法	79
図 11.3 車載装置	80
図 11.4 ソフトウェア構成	81
図 11.5 実時間管理ソフトウェアによる表示	82
図 11.6 運転行動再生ソフトウェアによる表示	82
図 12.1 運転者の損得勘定	84
図 12.2 T 運送会社の 1 乗務	85
図 12.3 速度ごとの不安全割合	87
図 12.4 提示コース	89
図 12.5 制限速度有無による予想旅行時間	90
図 12.6 心電記録装置を追加した車載システムの構成	92
図 12.7 先急ぎ運転行動分析ソフトウェア	93
図 12.8 移動効率実験コース	95
図 12.9 コース 1 における安全運転と先急ぎ運転での旅行時間と不安全割合	97
図 12.10 コース 2 における安全運転と先急ぎ運転での旅行時間と不安全割合	97
図 12.11 旅行時間差最大および最少の走行における旅行時間と信号停止回数 (コース 1)	98
図 12.12 旅行時間差最大および最少の走行における旅行時間と信号停止回数 (コース 2)	100
図 12.13 安全運転と先急ぎ運転での心拍変化率	100
図 12.14 安全運転と先急ぎ運転での心拍数ヒストグラム	101
図 12.15 疲労感や早着感などに関する調査結果	101
図 13.1 追越し時の CPI 変動 (急減)	106
図 13.2 割込み時の CPI 変動 (急増)	106
図 13.3 運転行動再生ソフトウェア	107
図 13.4 不安全運転行動解析ソフトウェアによる 1 乗務集計および検索画面	108
図 13.5 交差点の判定方法	111
図 13.6 交差点検索実装画面	112
図 13.7 交差点情報表示機能を追加した運転行動再生ソフトウェア	113
図 13.8 交差点通過時における停止時間ごとの件数	115
図 13.9 交差点通過時における徐行時間ごとの件数	116
図 13.10 交差点通過時における最低速度ごとの件数	116
図 14.1 運転者識別インタフェース	120

図 14.2 Web 版ソフトウェア構成	120
図 14.3 画面遷移	121
図 14.4 車両状況一覧画面	122
図 14.5 実時間車両状況管理画面	123
図 14.6 走行状況確認画面	124
図 14.7 走行評価ダイアログ	125
図 14.8 衝突不安全一覧	125
図 14.9 交差点不安全一覧	125
図 14.10 不安全走行状況表示画面	125
図 14.11 検索画面	126

表目次

表 2.1	シューフitter 7 人が同一者を計測した場合の計測値の違い	7
表 3.1	各種方式の特徴	13
表 4.1	曲尺の実長と画像計測での長さとその誤差	26
表 5.1	手動描画と自動描画での計測値の差	34
表 6.1	55% 位置足背高の計測結果	46
表 9.1	日本における ITS 道路交通の安全性向上の目標	66
表 12.1	1 乗務における相関係数	86
表 12.2	1 乗務 (一般道路) における各相関係数	86
表 12.3	スイスでの安全運転と先急ぎ運転実験の結果	88
表 12.4	実験参加者情報	89
表 12.5	移動効率実験コースの概要	94
表 12.6	質問紙調査質問内容	102
表 13.1	検索評価の結果	109

第 1 章

はじめに

人は動くことなしでは生存し続けることのできない生物である。生存条件を高めるには、より高い速度かつ長い距離の移動が必要な場合がある。基本的な移動手段は歩行であり、動力機械が発明された後は、より早く、より遠くに移動しようとするときは、動力機械によって移動あるいは物の運搬を行っている。しかし、動力機械による移動が可能となった現代においても、自力での歩行なしの生存は困難である。

歩行は人の基本的な移動手段であり、快適な生活を行う上で欠かすことができない動作である。また、歩行は健康の維持や増進において重要な役割を果たしており、快適な歩行を行うためには、足の健康の維持が必要である。近年では、歩行機能を阻害する要因として、外反母趾や変形性膝関節症が多くの人に認知されてきた。外反母趾の要因として、足に合わない靴を履き続けることがあげられる。外反母趾を予防するためには、足に適合する靴を履くことが重要であるが、足に適合する靴を履いている人は多くない。これは、自らの正確な足サイズを把握していないことが原因と考えられる。そのために、誰もが簡単に自らの足サイズを計測することが可能なシステムの開発が望まれている。また、変形性膝関節症は発症すると膝関節に疼痛や可動域制限などが生じ、歩行が困難となる疾患である。日本国内において変形性膝関節症の自覚症状を有する者は約 1,000 万人、潜在的な患者は約 3,000 万人と推定されており、これの予防は快適な歩行を維持する上で大きな課題である。変形性膝関節症の発症要因として、歩行時における膝関節の軟骨摩耗があると考えられている。この変形性膝関節症の予防する方法を考案するためには、まず、歩行時における膝関節の動きを計測する必要がある。

現代社会において、人や物の輸送は自動車に大きく依存している。道路が整備された場所であれば、多量の人や物をどこにでも移動や輸送することができる自動車の発明によって、人の暮らしはより豊かになったといえる。その一方で、自動車の需要が高くなるにともない、自動車による交通事故の増加が社会問題となってきた。日本国内において、平成 23 年中の交通事故による死傷者数は約 86 万人にのぼり、交通事故の防止は現代社会における重

要な課題である。そのために、近年では情報技術を用いた交通事故防止や安全運転支援の研究が盛んである。しかし、自動車による交通事故を防止するためには、運転者自身が安全運転についての正しい知識を持ち、それを積極的に実行する意識が重要である。しかし、このような意識を持った運転者は多くない。これらのことより、自動車による交通事故防止のためには、運転者への安全運転教育が必要である。

人の移動に関わるこれらの問題を情報科学技術によって解決することによって、現代社会における人のより豊かな暮らしを支援することが本論の目的である。本論は「情報科学技術を用いた歩行支援に関わる研究」と「情報科学技術を用いた自動車の安全運転支援に関わる研究」からなっている。第 I 部では、人の快適な歩行機能を情報科学的立場から支援することによって、健康の維持や増進に貢献することを目的とする。これを実現するために、足に適合する靴製造および靴選択の支援を目的とした、高精度な足サイズ計測システムの研究、変形性膝関節症の防止機能を持つ靴の性能評価の研究、および歩行時における膝関節の回旋運動計測システムの研究を行った。第 II 部では、自動車における安全運転教育を情報科学的立場から支援することによって、自動車による交通事故を防止することを目的とする。危険な運転の非効率性を明らかにし、遠隔地から複数の運転者を効率的に安全運転について管理および教育支援可能なシステムの研究を行った。そして、第 III 部では、全体の総括を行った。

第1部

情報科学技術を用いた 歩行支援に関する研究

第2章

序章

人間が歩行することは生きていく上での必要な動作であるといえる。足は心臓より低い位置にあり、血液が溜まる場所であり、歩行することでふくらはぎが伸縮しポンプの役割を果たしている [1]。一方、近年の交通機関の発達により、人の1日の歩数は減少した。この歩数減少による運動不足から、生活習慣病の危険性も認知されてきた [2]。これらを背景に、歩行は健康の維持・増進を図ることや、生活習慣病の予防法としても注目されている [3]。内閣府の平成18年8月の調査によると、1年間に行った運動・スポーツの種目でもウォーキング（歩け歩け運動、散歩などを含む）が48.2%で最も高く、今後行ってみたい運動・スポーツの種目もウォーキングが50.8%で最も高かった [4]。この調査結果からも歩行への関心が高いことが分かる。

このように、歩行は生活や健康の維持や増進のために重要であるが、足の疾患により歩行が困難になる場合がある。近年では、外反母趾や変形性膝関節症による歩行への障害が認知されてきた [5][6]。鹿子木による女子看護大学生を対象とした足の実態調査によると、半数以上の足に何らかの問題があると報告されている [7]。また、米国における足の障害の大部分は靴に起因するともいわれており [8]、足の健康を維持するためには自らの足に適合した靴を履くことが重要であるといえる。

2.1 歩行するための靴

現代では道路など舗装された道が多く、路面は固くなっている。さらに路面は熱が籠り真夏では表面温度が60度に達することもある [9]。また、路面にガラス片などの突起物が落ちていることも多く、裸足で歩くには危険なこともある。外を歩く上では靴を履くことは必須であるといえる。

日本において洋式の靴が履かれるようになったのは、明治時代の初期の頃であるといわれている [10]。全日本履物団体協議会によると、平成22年における靴市場は国内生産約

7,300万足，輸入約62,000万足，合計約69,000万足の履物が市場に流通していることから，靴は生活必需品だといえる [11]。

2.1.1 適合しない靴による弊害

初期においては，靴は職人が個人の足に合わせて手作業で製造していた．その後，産業革命により，機械による靴製造に変化し，一定の型に合わせた汎用靴が普及した．しかし，足の形は千差万別であり，靴選びは主観的であるので，足に適合しない靴を選択し，履く場合がある．そのことにより，靴を履くことによる弊害があらわれてきた．代表的な例としては，外反母趾，ハンマートゥ，靴ずれなどである．外反母趾は，第1趾が変形して，大きく内側に曲がり，重度になると脱臼する恐れもある疾患である．外反母趾は女性に多く見られ，この原因の1つとして，ハイヒールなど爪先端が狭くなっている靴を履くことによる足趾の圧迫により，第1趾が変形することがあげられている．ハンマートゥはハンマーのように足趾が曲がった状態から戻らなくなる病変である．ハンマートゥの原因の1つとして，足よりも小さな靴を履くことがあげられる．靴が足より小さいために，靴の中で足の指は曲がった状態となり，その状態が長く続くことで関節が固まり，曲がった状態から戻らなくなる．靴ずれは，歩行時などに足と靴が擦れ，摩擦により皮むけや水疱が発生した状態をさしている．この原因の1つとして，靴と足の形状およびサイズが一致しないことがあげられる．これらは足に適合しない靴を履くことにより患う可能性のある疾患であると考えられる [12]．

2.1.2 足に適合する靴

靴と足の適合性を高めるために，靴と足のサイズを合わせることや甲の押さえで確実に足を固定すること，足趾などの関節の動きを靴が阻害しないことが重要だといわれている [13]．靴と足のサイズを合わせることや甲の押さえで確実に足を固定することにより，足の前方への滑りの低減や靴が脱げることを防止できる．また，足趾などの関節の動きを靴が阻害しないことが，歩行するときの足の負担を低くするには重要となる．

2.1.3 足サイズ計測の必要性

靴製造において最も重要なものが靴製造用靴型（ラスト）である．ラストの作製は靴製造段階の最も初期の段階であり，このラストで靴の形状や履きやすさが決定されるといわれている．ラストは足のサイズや形状を基に作成され，職人の技術や知識により狭くしたり広くしたり等の調整を行うことにより，履きやすさの調整がなされている．オーダーメイドを行う際には，注文者の足サイズを計測するが，汎用靴の場合は多くの人を計測し汎用的な形を求めなければならない．多くの人に，より適合する靴を製造するためには，大勢の足サイズ

を計測する必要がある。

一方、消費者は数ある靴の中から自分の好みのデザインの物を選び、試し履きを行い履き心地を確認し、購入を行っている。試し履きにより、消費者は、自分の靴のサイズ（自己決定サイズ）を決定する。しかし、靴メーカーの従業員においても、自己決定サイズと足に適合する靴のサイズに差異があることが報告されている [14]。よって、一般消費者においても多くの場合、自己決定サイズと足に適合する靴のサイズには差異があると考えられる。また、足は人体の最も下方に位置することから血液が溜まりやすい。そのために、足のむくみによって大きさの変化が起こり、1日の間において最も変化する部位となっている [15]。このことから、自身の足により適合する靴の選択はできていない場合が多いのではないかと考えられる。このようなことから、自身の足により適合する靴を選択するためには、足サイズ計測を行う必要があると考えられる。

このように、より多くの人に適合する靴製造のためには多くの人の足サイズを計測することが重要であり、靴選択時においてはその個人の足サイズを計測することが重要であるといえる。

2.1.4 手計測による足サイズ計測の難しさ（精度）

足サイズの手計測においては、一定の計測法を習得した者（シューフィッター）が計測するのが望ましい。シューフィッターは、足に関する知識と靴合わせの技能を有する者であり、足の計測や靴選びに対して、一定の訓練を受けている。しかし、足を手で計測する場合、人間の皮膚は軟体であるので、計測器具の押しつけ具合により足の形は変化する。また、足の置き方や姿勢によっても足の形は変化する。そのために、一定の計測法を取得したシューフィッターであっても計測値に差が生じると考えられる。さらに、計測点の決め方などにも個人差があり、足サイズを計測する人によって計測値が大きく異なることも考えられる。

表 2.1 は手計測の精度を確認するために、7人のシューフィッターが同一者に対して足長、足幅および足囲の3項目について計測実験を行った結果を示したものである。足長においては最大値と最小値において7 mmの差があった。また、足囲は10mm、足幅においては4 mmの差であった。日本の靴のサイズ表示は、1983年に日本工業規格（JIS S 5037：靴のサイズ）によって定められている [16]。靴のサイズ表示は足長とそれに対する足幅の割合を示す記号である A～F の組み合わせで表示される。JIS においては靴の長さは5 mm 間隔で製造されていることから、7 mmの差は無視できない値と考えられる。靴の足幅表示記号は足囲が約6 mm または足幅が約2 mm の間隔で変化することから、足幅と足囲についても計測者による差は無視できないといえる。このことから、手計測による足サイズ計測には解決の困難な問題があるといえる。また、手計測による足サイズ計測は静止状態で行う必要がある。そのため、子供など長時間静止状態を維持することが難しい人の足サイズを手

計測によって計測することは困難である。子供の足は骨の成長にともなうの変形が生じやすく、この時期の靴選びは重要である [17]。

表 2.1 シューフィッター 7 人が同一者を計測した場合の計測値の違い

計測者	左			右		
	足長	足囲	足幅	足長	足囲	足幅
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
A	274.0	256.0	103.0	271.0	262.0	106.0
B	269.0	256.0	102.5	268.0	259.0	103.5
C	270.0	266.0	106.0	270.0	259.0	103.0
D	268.5	263.0	103.5	267.5	264.0	103.5
E	270.0	256.0	104.0	268.5	255.5	104.5
F	270.0	260.0	104.0	270.0	259.0	102.0
G	267.0	266.0	110.0	266.0	268.0	105.0
平均値	269.8	260.4	104.7	268.7	260.9	103.9
最大値-最小値	7.0	10.0	7.5	5.0	12.5	4.0

2.2 変形性膝関節症

膝関節は歩行において重要な役割を果たしており、膝関節に障害が生じると歩行することが困難となる場合がある。膝関節の疾患の 1 つに変形性膝関節症があり、平成 20 年の厚生労働省の報告では、変形性膝関節症にともなう自覚症状を有する者は約 1,000 万人、潜在的な患者は約 3,000 万人と推定されている [18]。変形性膝関節症による自覚症状として、疼痛、可動域制限などがあり、症状があらわれると歩行に支障が生じる [19]。さらに、症状の悪化によって膝関節に変形が生じることもあり、歩行そのものが困難となる場合も多い。変形性膝関節症の後天的な発症要因の 1 つとして、膝関節の軟骨摩耗があげられる。これは膝関節への力学的ストレスによる摩耗によっても生じることもあり、靴の機能によって歩行時における膝関節の軟骨摩耗を防止する試みがある [20]。このような靴の機能を評価するためには、歩行時において最も膝関節に荷重がかかる時点の膝関節の動きを計測する必要がある。

2.3 第 I 部の目的と構成

健康維持のためには歩行は重要な運動であり、靴は人が歩行するために必須の道具といえる。歩行の支援を行うことは、人の健康の維持・増進にも繋がると考えられる。第 I 部では、人の歩行を情報科学的立場から支援することを目的に、高精度な足サイズ計測システムの研究開発（第 3 章から第 6 章）および歩行時における膝関節の回旋運動計測システムの研究開発（第 7 章）について述べる。

第 3 章から第 6 章では、足サイズ計測上の問題を解決した、足サイズを早く正確に計測できる簡便なシステムの研究について述べる。足に適合しない靴を履くことによって足に弊害が生じる場合があり、足の健康のためには自らの足に適合した靴を履くことが重要である。現在流通している靴の多くは、一定の型に合わせた汎用的な靴である。汎用の靴を製造するためには、大勢の足サイズを計測して汎用のラストを作成する必要がある。しかし、人の手により足サイズを計測するのは、専門知識を有する人であっても時間がかかり、また、計測する人によって差が生じる。さらに、子供など静止状態を維持することが難しい人の足サイズ計測は困難であった。そのために、靴型製造の職人は少数の足サイズをもとにラストを製造している。このために、自分の足の形状に合う靴を探し当てるのが困難な人も少なくない。このようなことから、多くの人に適合する汎用的なラストを製造するためには、多くの足サイズが必要であると考えられる。また、個人が自らの足に適合する靴を選択するためにも、正確な足サイズを計測することが望ましい。このようなことから、汎用靴製造や靴選択において足サイズを早く正確に計測できる簡便なシステムの開発が必要とされていた。第 3 章では既存の足サイズの計測法を概観し足サイズ計測の問題点を明らかにする。第 4 章では限られた大きさの空間と光源でのカメラキャリブレーション法の問題解決を行う。第 5 章では足サイズ計測における基準線決定問題の解決法を示す。第 6 章では現存する足背高計測システムの問題点を述べ、新たな足背高計測システムの開発について述べる。

第 7 章では膝関節の回旋運動計測システムの研究について述べる。膝は人の体重を支え、歩行時においては衝撃を吸収する役割を果たしている。膝関節の疾患の 1 つに変形性膝関節症がある。前述のように、変形性膝関節症の発症要因の 1 つとして、膝関節の軟骨摩耗があげられ、歩行時において靴の機能によってこれを防止する試みがある。このような靴の機能を評価するためには、歩行時において最も膝関節に荷重がかかる時点の膝関節の動きを計測する必要がある。そこで、歩行時の膝関節の回旋角度を高精度で計測し、また、歩行時において膝関節に最も荷重がかかる時点を特定することで、膝関節にかかる負担の評価を支援するシステムの研究を行った。

第 8 章では第 I 部により得られた結果を総括する。

第3章

足サイズ計測方法

より適合する靴を製造するためには、当該人の足サイズを計測する必要がある。また、既製靴の選択時においても、その個人の足サイズを計測することが重要である。そこで本章では、従来から行われてきている手計測法と機械計測法による足サイズ計測について説明し、それぞれの計測手法の問題点を述べる。

3.1 足サイズ計測用語の定義

足の名称は「足と靴と健康協議会のシューフィッター養成講座テキスト」を参考に本論と関係ある部のみ説明する [21]。

1. 足趾

足の指のことを足趾と呼ぶ。内側から順に第1趾、第2趾、第3趾、第4趾、第5趾と呼ぶ。また、第1趾を母趾、第5趾を小趾とも呼ぶ。

2. 足先尖点

足先尖点は踵骨尖点から最も遠い箇所にある趾の最先端の点である。足先尖点は第1趾、または第2趾にある(図3.1)。

3. 足背

足背は足を横から見たときの足の甲である。

4. 足高点

足高点は足背部の第2楔状骨遠位における床面からの最も高い点である(図3.1)。

5. 脛側中足点

脛側中足点は直立した際に、第1中足骨骨頭のうちで、最も脛側に突出する点である(図3.2)。

6. 腓側中足点

腓側中足点は直立した際に、第5中足骨骨頭のうちで、最も腓側に突出する点である

(図 3.2).

7. 第 1 趾脛側尖点

第 1 趾脛側尖点は直立した際に、第 1 趾の最も脛側に突出する点である (図 3.2).

8. 第 5 趾腓側尖点

第 5 趾腓側尖点は直立した際に、第 5 趾の最も腓側に突出する点である (図 3.2).

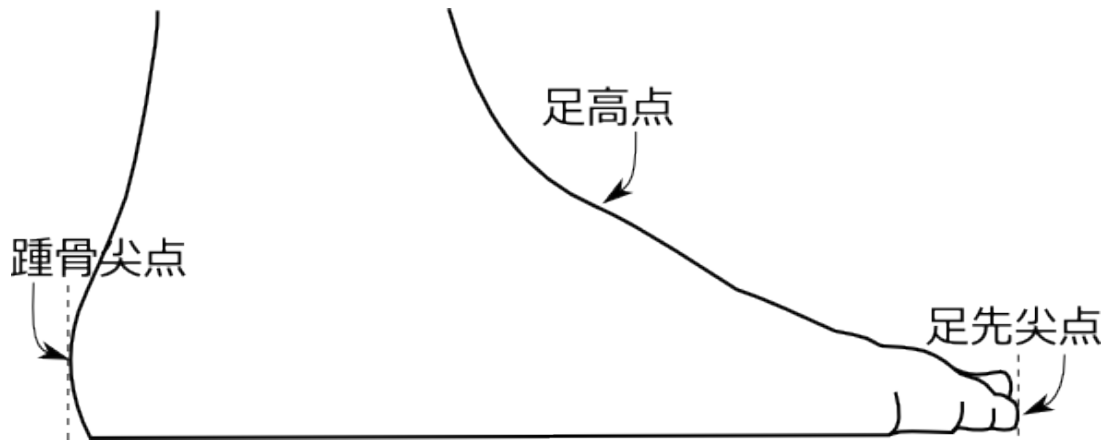


図 3.1 足サイズ計測における計測点

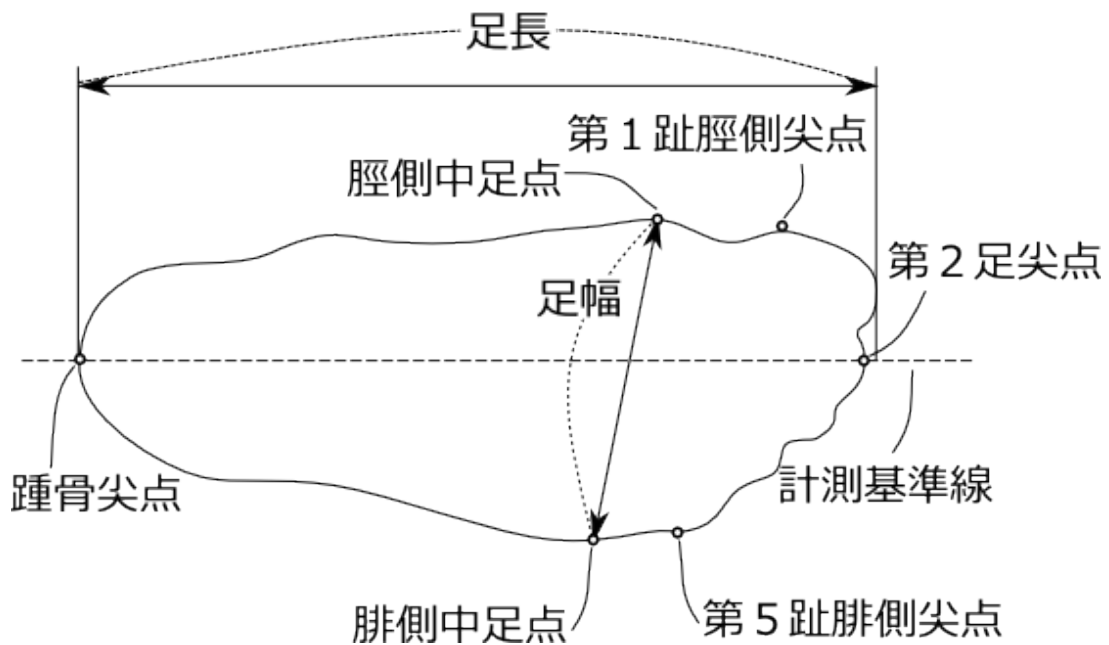


図 3.2 中足点と尖点

3.2 足サイズの手計測法と問題点

足サイズの手計測用具としては直尺，巻尺，スクライバー，ハイトゲージ，分度器を用いる．スクライバーとは，接触している位置と床面の描画位置が一致しており，動かすことで接触している物体の輪郭を描くことができる器具である．ハイトゲージは上下方向に自由に動かすことのできる突起があり床からの高さの計測を行える器具である．足サイズの計測にあたっては，足を紙の上に載せ，スクライバーを用いて足部輪郭を描画する（図 3.3）．次に，足部輪郭線において，足長，足幅，踵幅，第 1 趾角度，第 5 趾角度の計測を行う．すべての計測は，踵骨尖点と第 2 趾尖点を結ぶ直線（計測基準線）を基に行う（図 3.4）．

足長は足先尖点が第 2 趾の場合は，踵骨尖点から第 2 趾尖点間の長さである（図 3.4）．足先尖点が第 1 趾の場合，第 1 趾尖点から計測基準線に垂直な線を降ろし，計測基準線と交差する点と踵骨先端間の長さとする（図 3.4）．足幅は脛側中足点と腓側中足点間の長さである（図 3.5）．第 1 趾側角度は脛側中足点を通り計測基準線に平行な直線と，脛側中足点と第 1 趾脛側尖点を結ぶ直線がなす角度である．また，第 5 趾側角度は腓側中足点を通り計測基準線に平行な直線と，腓側中足点と第 5 趾腓側尖点を結ぶ直線がなす角度である．最後にハイトゲージを用いて，脛側から足高点の高さ（甲高）を計測する．

足サイズの手計測においては，足サイズ計測に関する知識と計測技術を有する者でなければ，計測を行うことは困難である．このような知識と技術を有する者を認定する制度として，靴と健康協議会と日本靴小売商連盟が認定するシューフィッターの資格制度がある．しかし，日本国内におけるシューフィッターは約 7,700 人（2012 年 12 月 1 日現在：足と靴と健康協議会 3,216 人，日本靴小売商連盟約 4,500 人）が認定されてはいるが，日本総人口に対しては十分ではない [28][29]．また，計測にやや長い時間を必要とすること，軟体である足の正確な計測が困難であること，計測者による差が生じやすいことから，正確な足サイズの計測はシューフィッターでも困難である．

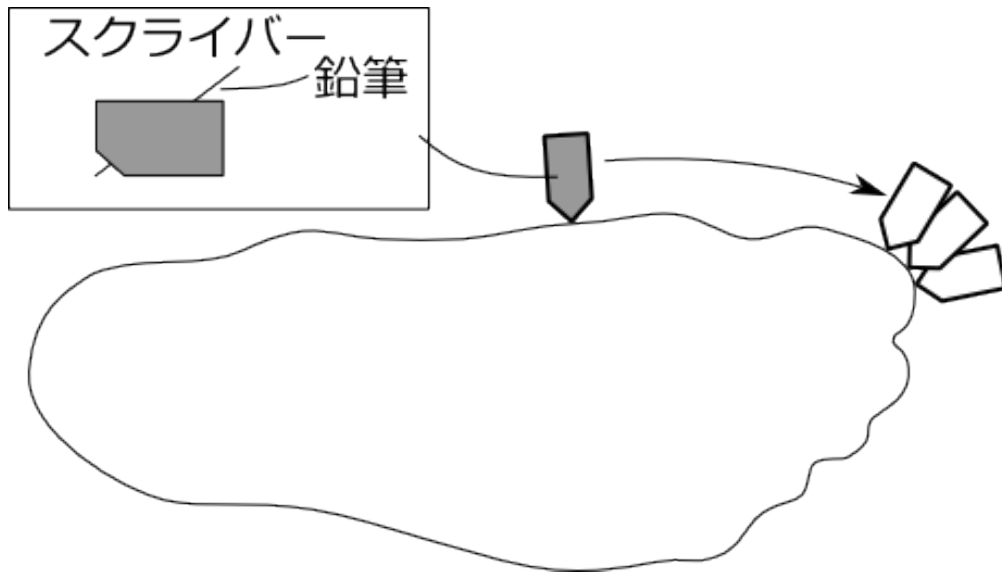


図 3.3 スクライバーを用いた足輪郭描画

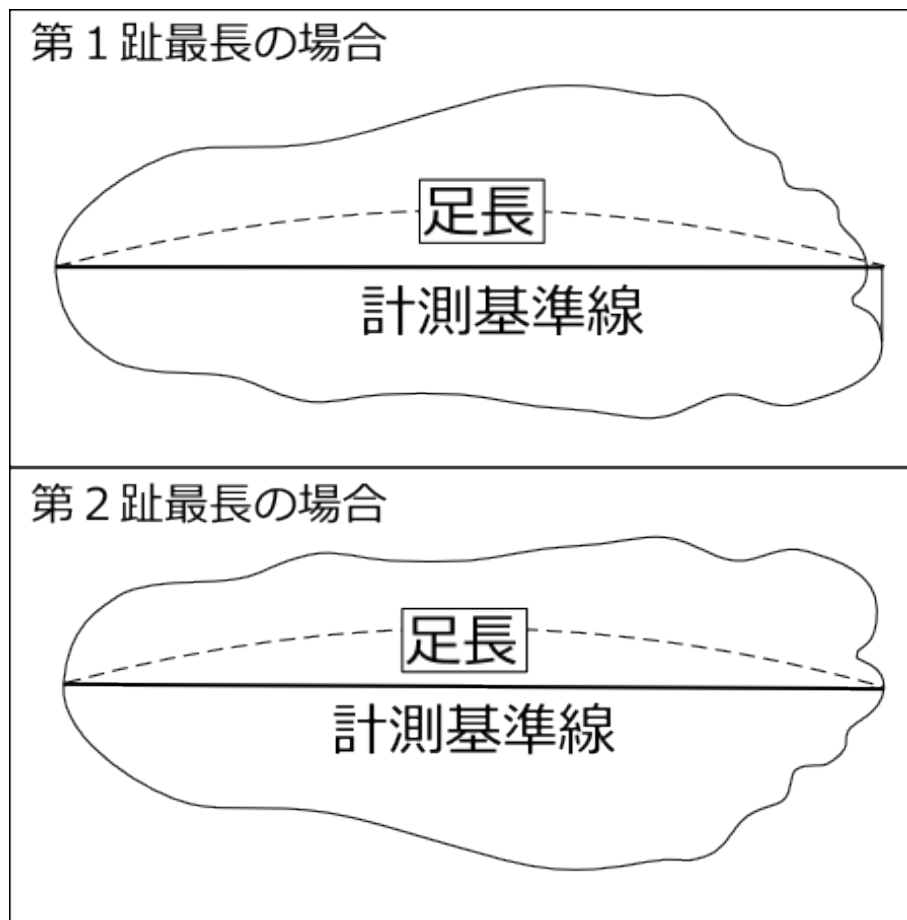


図 3.4 計測基準線

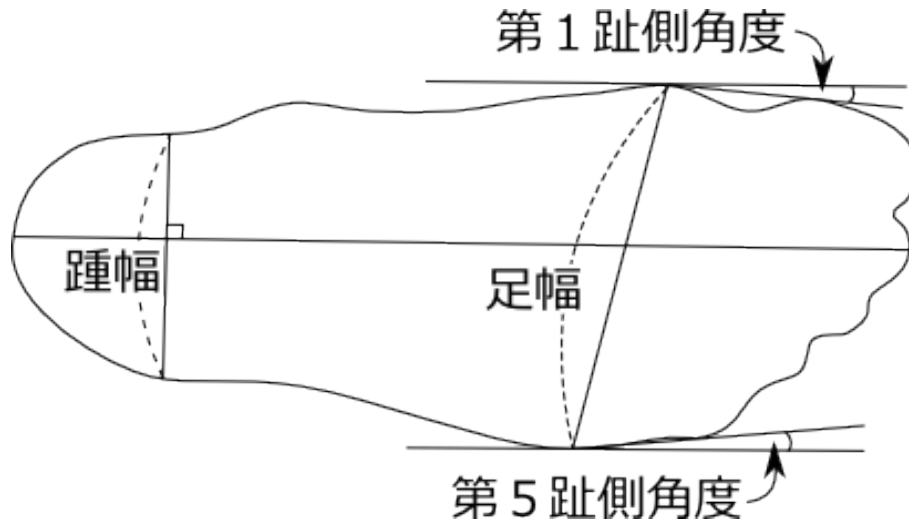


図 3.5 足サイズ計測線

3.3 既存の足サイズ機械計測法

足サイズの機械計測法としては、主に足サイズを上面または底面から計測する2次元計測と立体的に計測する3次元計測に分類できる。さらに、カメラで足を撮影し撮影画像から計測するカメラ撮影方式とスキャナで足裏を走査し計測を行うスキャナ方式が開発されている。表 3.1 は各種方式の特徴を示したものである。

表 3.1 各種方式の特徴

手法	2次元		3次元
	足上先面の画像撮影	スキャナ	スキャン
計測時間	1/15 秒	約 10 秒	約 15 秒
体動ありの精度	高	中	低
計測項目	足長, 足幅	足長, 足幅 接地率など	足モデルの生成 マーカにより計 測項目の増加
価格	安価	安価	高価
両足同時計測	可能	可能	片足のみ

3.3.1 2次元計測方式

足サイズの2次元計測の例としては、既定の位置に足を設置し、足先上面をカメラで撮影し足長・足幅を計測する手法(図3.6)や、スキャナによって足裏底面を走査した後に、そのデータから足サイズを解析する手法がある[22][23]。カメラによる足サイズ計測は簡便であり、画像取得時間が短いので、体動の多い子供などでも計測が可能である。しかし、計測可能な項目は足長、足幅のみであり、足サイズ計測としては十分な機能とはいえない。また、足を既定の位置に置く必要があり、そのために自然な姿勢でないことや、足の設置位置による計測誤差が発生するという問題がある。スキャナによる足サイズ計測器では足長、足幅に加え足趾の角度、荷重分布などの計測が可能である。しかし、足の走査完了までに15秒程度の時間が必要である。そのために、体動による計測誤差があると考えられる[24][25]。このことから、子供など体動の多い人の計測が困難という問題点がある。

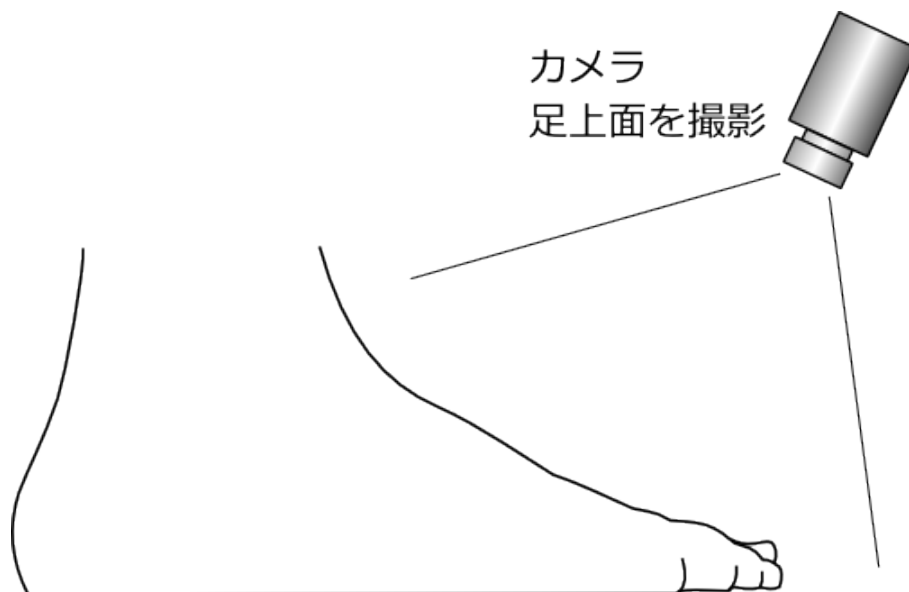


図 3.6 カメラ撮影方式 2次元足サイズ計測器の概要

3.3.2 3次元計測方式

3次元計測の例としては、スリット光を照射しスリットの歪みを読み取ることにより、足の形状を認識する光切断法や、スキャナを利用して足裏画像を取得し、その色成分から距離を計測し、足裏の形状を生成する試みがある[26]。スリット光式計測器は足の周囲に画像撮影用のカメラとスリット光を照射するレーザを設置し、足の全周囲を走査して足の形状を3Dモデルとして生成する(図3.7)。3次元計測は足の周囲を走査する必要があるため、両

足同時計測には不向きであるが、足の 3D モデルの生成が可能である。また、3次元計測ポイントにマーカを貼り付けることにより、計測項目を増やすことが可能といった特徴がある。その一方、CCD カメラ 8 台、レーザプロジェクタ 4 台を使用したシステムでも約 10 秒の撮影時間を必要とする [27]。また、片足ずつしか計測できないことや、計測器の操作が難しいこと、高価であるといった問題点がある。

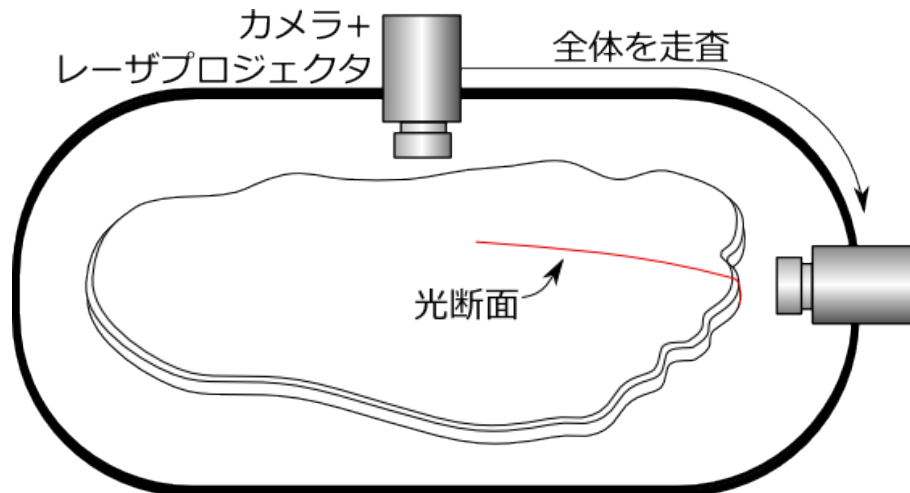


図 3.7 スキャン方式 3 次元足サイズ計測器の概要

3.3.3 足サイズ計測の問題点

子供など体動の多い人であっても計測可能であり、靴製造および靴選択時に必要な項目をすべて高精度で計測可能な足サイズ計測器は未だ開発されていない。手計測による高精度な足サイズ計測は困難であることから、誰でも正確にかつ短時間に計測可能なシステムの開発が期待されている。

3次元の足サイズ計測やスキャナによる2次元の足サイズ計測は体動の多い人の計測を行うことができない。これに対して、足をカメラによって撮影し計測する方法は、撮影する瞬間にのみ静止できていれば良いため、体動の多い人であっても計測可能である。しかし、足上面からの撮影方式では、足長と足幅以外の計測が困難である。足底面からの撮影方式では、計測基準線を手動で決定する必要があるため、十分な精度が得られない場合があるといった問題があった。しかし、これらの問題を解決することができれば、靴製造および靴選択時に必要な項目をすべて高精度で計測可能になると考えられる。

3.4 足底面撮影方式足サイズ計測器

足底面撮影方式での本足サイズ計測器は、計測器本体とプリンタと画像解析用 PC (PC : パーソナルコンピュータ) によって構成される。この方式はカメラを用いて足底面を撮影し、撮影画像に対して画像処理を行うことで、足を 2 次元的にサイズ計測する方式である。足底面撮影方式の足サイズ計測器においては、被計測者はカメラ撮影を行う瞬間に静止できていれば良いことや、足裏画像を複数枚撮影し、最適な画像を用いて計測することにより、体動の多い子供や乳児であっても正確な足サイズの計測が可能となる。

計測器本体の構造を図 3.8 に示す。覆い蓋は環境光を遮断するための物であり、人体の持たない青色の伸縮する素材で作成されている。この覆い蓋には足を挿入するためのスリットが入れられており、伸縮する素材であるために自然な姿勢で直立することが可能である。カメラ撮影を行った時に緑色 LED が写るように被計測者が立つ強化ガラスの四隅にサイズ較正用の緑色 LED が 4 つ設置されている。足サイズ計測器内部の光源として強化ガラス周囲に蛍光灯が設置されている。また、足サイズ計測器の高さを低くするために強化ガラスの下に斜めに鏡を取り付け、その鏡を通して足底面画像をカメラで撮影するようになっている。

足底面撮影方式の足サイズ計測器の計測項目は、足長、足幅、踵幅、土踏まず幅、接地率、足の内外側角度、第 1 趾角度および第 5 趾角度である。また、計測項目を足長、足幅に限定した場合には、靴下やストッキングを履いた状態での足サイズ計測が可能である。

本足サイズ計測器は画像計測方式である。画像計測を行うには、実寸と画像 1 pixel の大きさを対応付けする必要がある。そのために、サイズ較正用 LED は、既知の間隔で設置されている。画像計測では、この 4 つのサイズ較正用 LED を画像認識し、実寸と画像上の大きさの対応付けを行い、長さを計測する。また、本足サイズ計測器は足裏の接地率の計測を可能にするために、強化ガラスの内部が全反射光で満ちるようにガラスの全周囲には足照明用光源が設置されている。人間の皮膚がガラスに接地すると接地面では光反射の臨界角が小さくなるので、全反射していた光はガラスの外に出て行き、その光が皮膚面で乱反射を起こし足の接地面が明るく光る。このために、ガラスに接しているこの足底面画像の輝度は高くなる。

計測用ソフトウェアには、カメラ画像取得機能、画像解析機能、画像修正機能、解析結果表示機能、解析結果印刷機能、解析結果集計機能および足輪郭出力機能がある。計測者は画像撮影、基準線描画および被計測者情報入力を行うのみで計測が可能である。解析結果集計機能を用いることで、顧客の年齢層、靴のサイズの傾向などを知り販促に使用することも可能である。また、足輪郭出力機能を使用することにより、複数の足輪郭を重ね合わせ、靴製造に用いることも可能である。

計測方法は、初めに被計測者が強化ガラス上に自然な姿勢で立ち、計測者がカメラ画像取

得ボタンを用いて足裏画像を取得する。次に画像解析用 PC により、取得画像の歪み補正を行い、マウスを使用し、足サイズ計測基準線の描画を行う。そして、被計測者情報を入力後に、計測ボタンを押すことで足サイズの各計測項目に対して自動的に解析を行い、解析結果（計測結果）の表示を行う（図 3.9）。

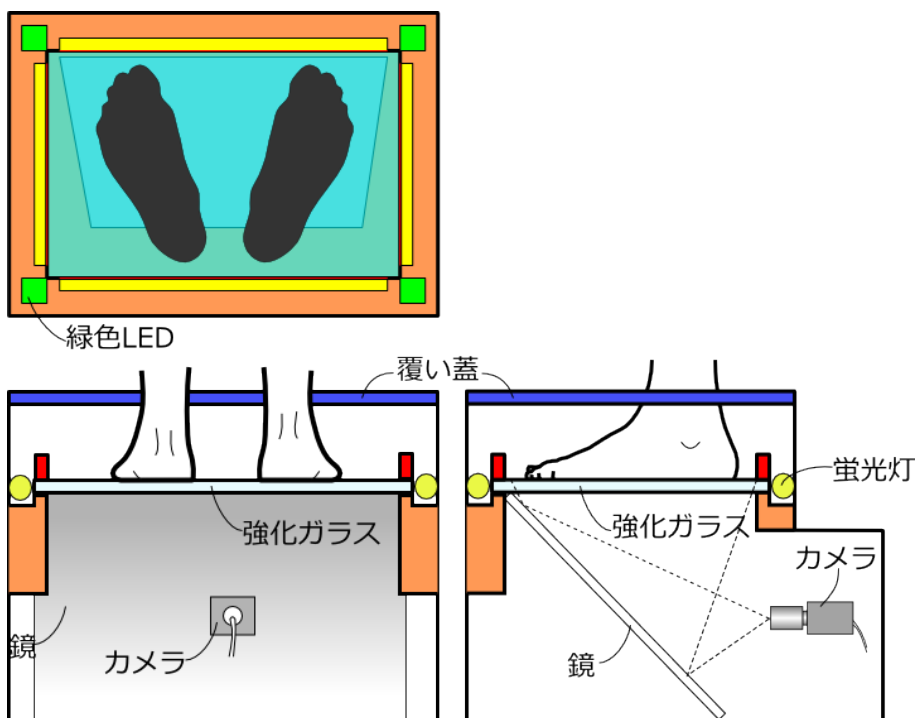


図 3.8 既開発の足サイズ計測器本体の全体構成

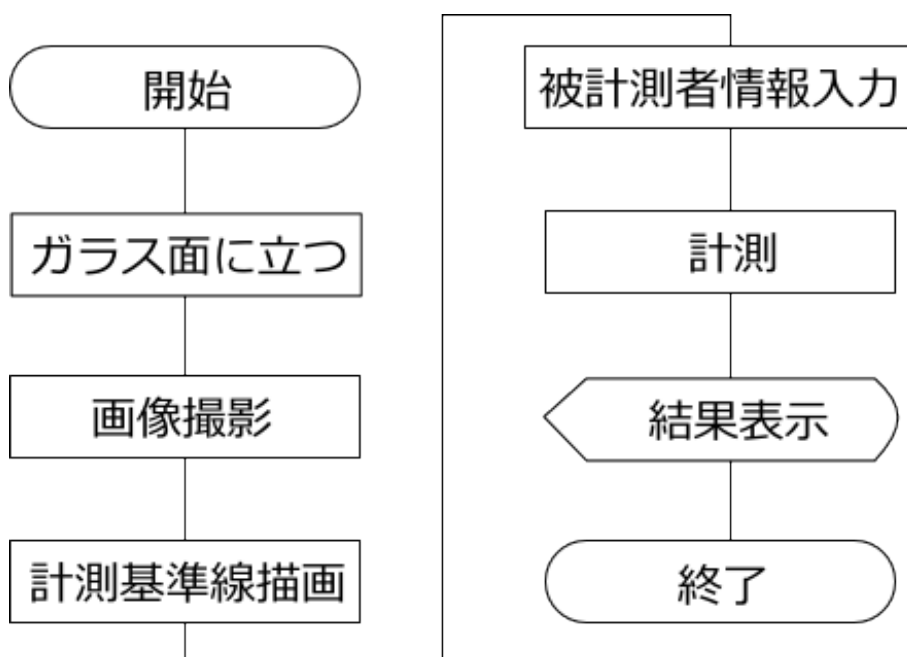


図 3.9 足サイズ計測器利用での計測手順

3.4.1 既開発の足底面撮影方式足サイズ計測器の問題点

靴製造上または靴選択上の足サイズ計測において、簡便であり、誰もが計測可能な高精度の足サイズ計測システムを開発するためには、計測精度の問題と計測基準線の描画位置が計測者によって異なることにより発生する誤差の問題を解決し、足背高が計測できる必要がある。

1. 計測精度の問題

本計測器において、実寸と画像上の長さの対応と射影歪みの補正を行うために強化ガラスの角近辺の4つLEDを用いて較正を行っている。4点での補正であるので、レンズの歪みは十分に補正できていないと考えられる。さらには、LEDを正確な位置関係で設置することは困難である。そのために、足サイズ計測の精度に問題があった。精度の向上を図るために、新たなキャリブレーション手法の開発を行うことにした。

2. 計測基準線を目測で描画することにより発生する誤差の問題

本計測器における足サイズ計測では、計測者が目視で輪郭を確認しマウスを利用して足サイズ計測基準線の描画を行っていることから、計測者における目測誤差が発生した。また、計測基準線についての知識が必要なため誰もが正確な計測基準線の描画はできなかった。そのために、この計測基準線の描画を自動的に決定できる手法の開発を行う必要があった。

3. 足背高の計測

足と靴の適合性をより高めるためには、足背高の情報が必要である。しかし、本計測器では下方から足底面を撮影する方式であるので高さ情報を得ることができない。そこで、既開発の足サイズ計測器の基本構成を基に足背高を計測可能な手法の開発を行う必要があった。

第 4 章

キャリブレーション手法の開発

カメラのレンズを通した画像には糸巻き歪みや樽型歪みなどのレンズの光学歪みが存在することや、対象に対してカメラの光軸が垂直でないために、射影歪みが存在する。画像からの足サイズの計測のためには、この光学歪みを修正する必要がある。さらに、画像上で足サイズ計測を行うためには、実寸と画像上の長さとの対応付けを行い、1pixel が何 mm に相当するかの長さの較正を行う必要がある。

この2つの要因を解決するために、本足サイズ計測器では計測器内のガラス四隅に較正用 LED を設置し、撮影画像において変形した四角形を実物と同じ割合の長さの辺となるように補正する手法を取っていた。しかし、四隅の較正用 LED のみでは射影歪みの較正しか行えず、レンズの光学歪み補正について十分でない。また、較正用 LED の正確な位置への設置が困難であり、このことも誤差の要因となっていた (図 4.1)。

カメラ画像から精度の高い計測を行うには、カメラとレンズの内部標定要素と環境による外部標定要素を評価し、修正する手法がある。Brown は内部標定要素をパラメータとして、歪みを式 4.1 としてモデル化した [30]。

$$x' = x + \bar{x}(K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6 + \dots) + \{P_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2P_2 \bar{x} \bar{y}\}(1 + P_3 r^2 + \dots) \quad (4.1)$$

ただし、

$$\bar{x} = x - x_p$$

$$\bar{y} = y - y_p$$

$$\bar{r} = \{(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2\}^{\frac{1}{2}}$$

x, y : 画像座標, x_p, y_p : 主点座標, K_1, K_2, K_3 : 放射方向歪み補正係数, P_1, P_2, P_3 : 接線方向歪み補正係数とする。

内部標定要素の補正を行うには、焦点距離、主点位置のずれ、放射方向のレンズ歪み係数、接線方向のレンズ歪み係数を計測する必要がある。外部標定要素の補正には対象とカメラの角度および距離を計測する必要がある。しかし、内部標定要素のパラメータを計測するのは

困難である。また、外部標定要素による歪みにおいても、足サイズ計測器本体の個体差があるため、較正用の計測を行うのは容易ではない。

他の手法として、既知である形状の物体を写し、画像座標系との対応関係を表す変換マップを作成し、補正する手法がある。宮崎らはコード化ドットパターンを用いた画像歪み補正を行っている [31]。これは、タブレットなどのフラットディスプレイにドットパターンを表示し、点パターンを認識し補正を行う手法である。また、高辻らは、グレイコードパターンを利用して補正する手法を提案している [32]。その手法はフラットディスプレイにグレイコードパターンを表示し、ディスプレイ座標系とカメラ画像座標系との対応関係を表す変換マップを作成する手法である。この方法を用いることで、レンズ歪みと射影歪みどちらも同時に解決することが可能である。ただし、これらはいずれもパターン投影装置に自己発光する媒体 (LCD など) を使用しており、カメラに写る LCD の面積のみ、較正を行うことが可能である。

しかし、足サイズ計測器内部のガラス面の面積と同じ LCD は存在しない。また、紙に印刷して LCD の代用にも可能であるが、本計測器内部は足裏を下方から撮影する方法を取っており、ガラスにカメラの写り込みを防止するために、足下からの光は限りなく無くしている。そのために光量不足となり、較正用パターンの認識を行うことは困難であった。そこで本章では、LCD の代わりに、光源として足サイズ計測器の強化ガラス周囲に設置されている蛍光灯を光源とした独自の自己発光型のキャリブレーションプレートによる新たなキャリブレーション手法について述べる。

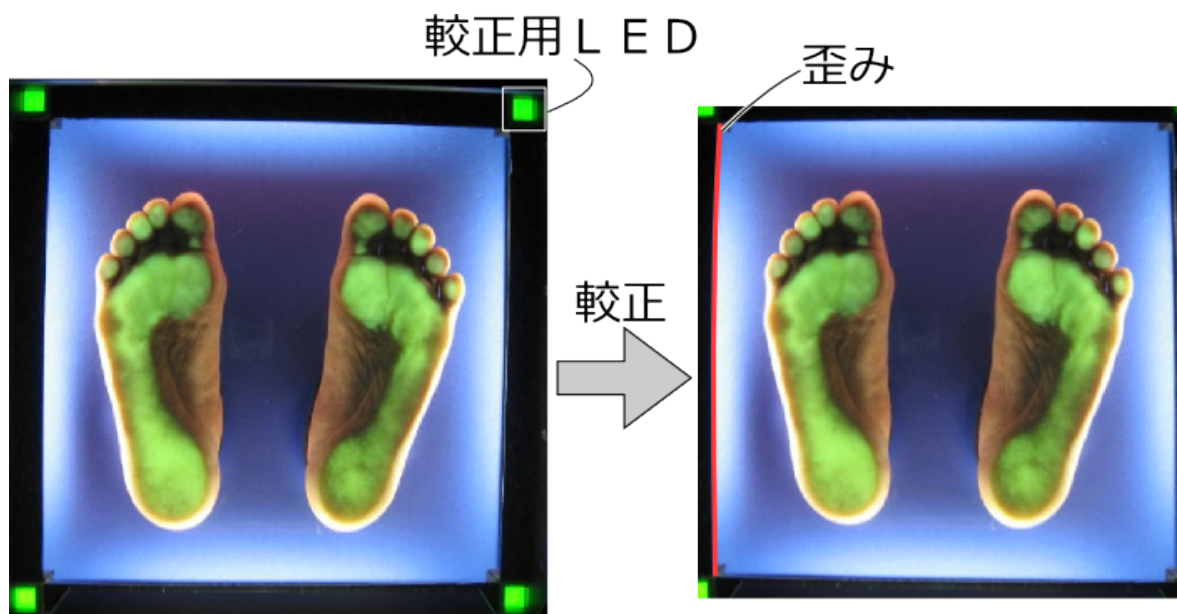


図 4.1 従来の画像較正

4.1 キャリブレーションプレート

周囲から光を取り入れるために、キャリブレーションプレートの素材としては厚さ 5 mm の透明なアクリル板を用いた。キャリブレーションプレートを強化ガラス面に置くと、周囲の蛍光灯からの光によりキャリブレーションプレート内部は全反射光で満たされる。このキャリブレーションプレートに穴をあけると、全反射光は穴から溢れ、穴のみが光って写る(図 4.2)。また、キャリブレーションプレートの傷による発光を無くすために下面を黒く塗装した。キャリブレーションパターンとしては等間隔な穴の配置とした。キャリブレーションパターンはガラス面全体に収まるように、直径 3 mm の穴を縦 14 個、横 19 個、それぞれ 24mm の間隔で、CAD データ使用可能な機械で透明アクリル板に穴を正確にあけた。図 4.3 はキャリブレーションプレートを足サイズ計測器のガラス面において撮影した画像である。白く光っている部分がキャリブレーションプレートの穴である。

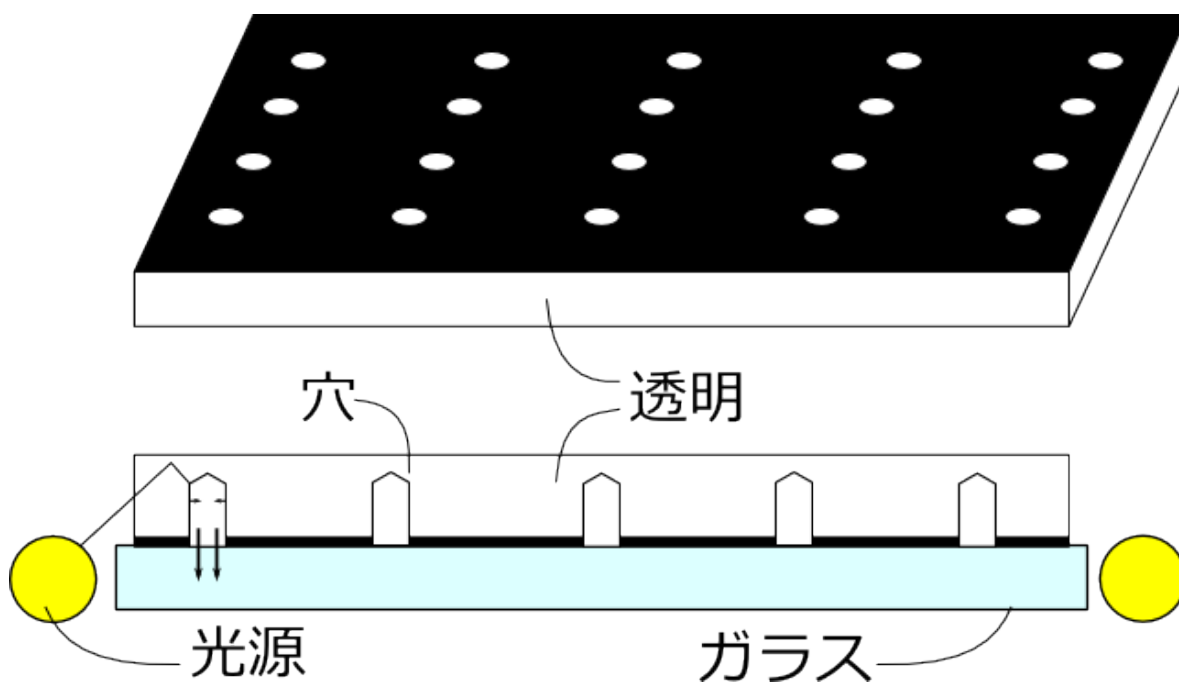


図 4.2 キャリブレーションプレート

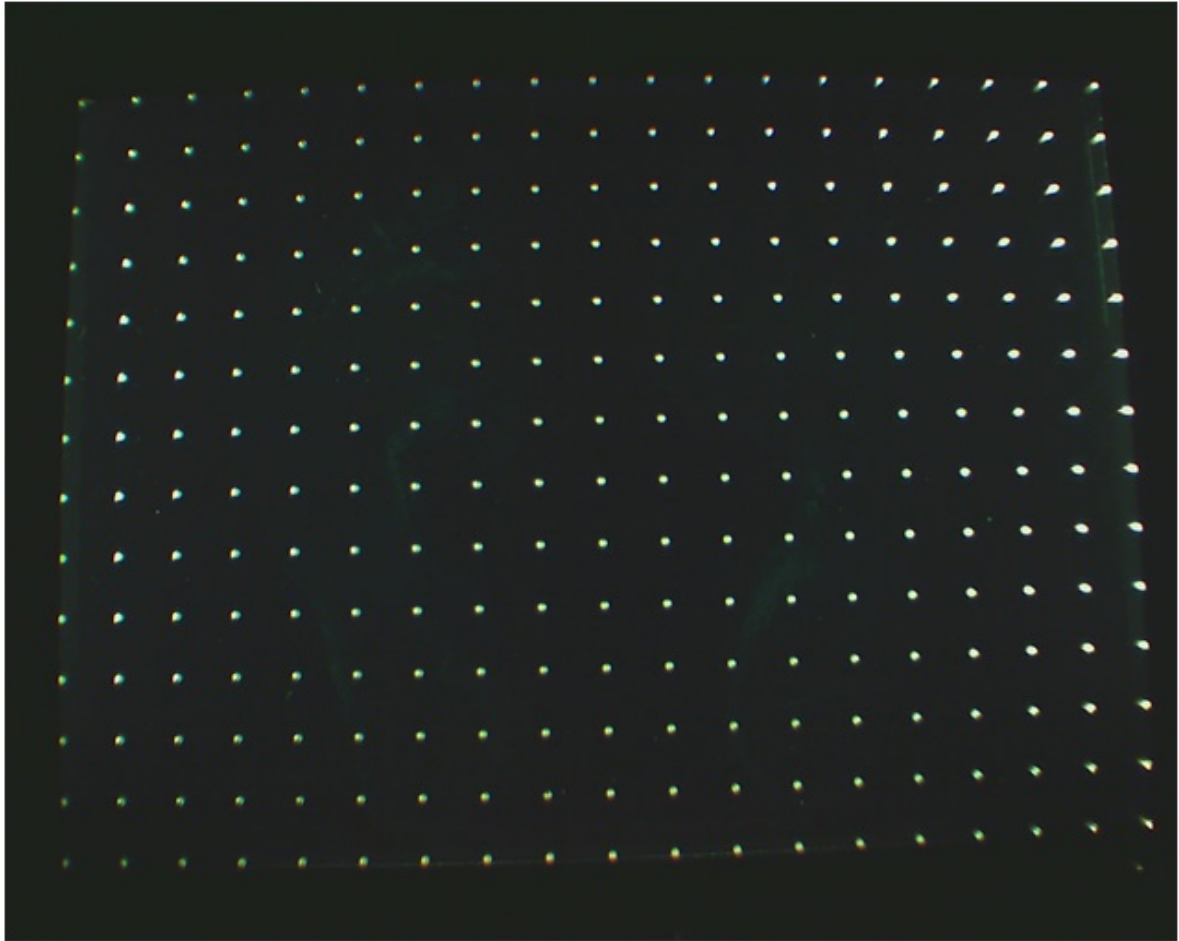


図 4.3 キャリブレーションプレート撮影画像

4.2 補正および較正方法

キャリブレーションプレートの穴はある大きさで発光しており，その光の中心点を1点として扱う．キャリブレーションプレートの点は，縦 24mm，横 24mm の間隔で並んでおり，近傍の点 4 つを繋げると正方形になるように作成した．この正方形となるものをカメラで撮影を行うと，光学歪みによって画像上では正方形は凸四角形となる．このことから，計測のためには，画像上で凸四角形に変更した画像を現実と同じ正方形に補正する必要がある（変換処理）．画像はピクセルデータの集合体であるので変換処理はピクセル単位で行う．このような画像変換は，ピクセルデータの抜けを防止するためにキャリブレーションプレートに対応した画素のピクセル座標から撮影画像のピクセル座標を求めることにより行う．

撮影画像上のキャリブレーションパターンは，歪みがあるために実物と同じ比率の配置とはならない．このために，ピクセル座標を比率で算出することにした．画像は 2 次元データであるために，求める補正後のピクセル座標はキャリブレーションパターンを構成する 1 つ

の方形に対して各辺の割合 (辺 ab・X%, 辺 ac・Y%) と表すことができる (図 4.4). 撮影画像の各ピクセル座標はベクトルを用いると式 4.2 と表すことができる.

$$\vec{src} = ((\vec{b} - \vec{a})Y - (\vec{c} - \vec{a})X + \vec{b} + \vec{a})X + (\vec{c} - \vec{a})Y \quad (4.2)$$

また, キャリブレーションプレートの隣り合う穴が形成する形状は図 4.4 に示すように正方形であるので, 辺 ac, 辺 bd は同じ長さである. よって, キャリブレーションプレートに対応する各ピクセル座標はベクトルを用いると式 4.3 と表すことが可能である.

$$\vec{dst} = (\vec{b} - \vec{a})X + (\vec{c} - \vec{a})Y \quad (4.3)$$

実際のキャリブレーションパターンは, 縦 24mm, 横 24mm の間隔で並んでいるので, キャリブレーションパターンの画像における点で形成される四角形の縦, 横のピクセル数と実寸の比率を求めることが可能である. 座標 a(x,y) と b(x,y) 間の距離の実寸への換算式は, 式 4.4 で表すことができる. w を横 1 ピクセルあたりの実寸 mm, h を縦 1 ピクセルあたりの実寸 mm とし, 三平方の定理を用いて距離を求めることが可能である.

$$Length = \{(a_x - b_x)^2 w^2 + (a_y - b_y)^2 h^2\}^{\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

ただし, $Length$: 実寸, w : 横ピクセル比, h : 縦ピクセル比とする.

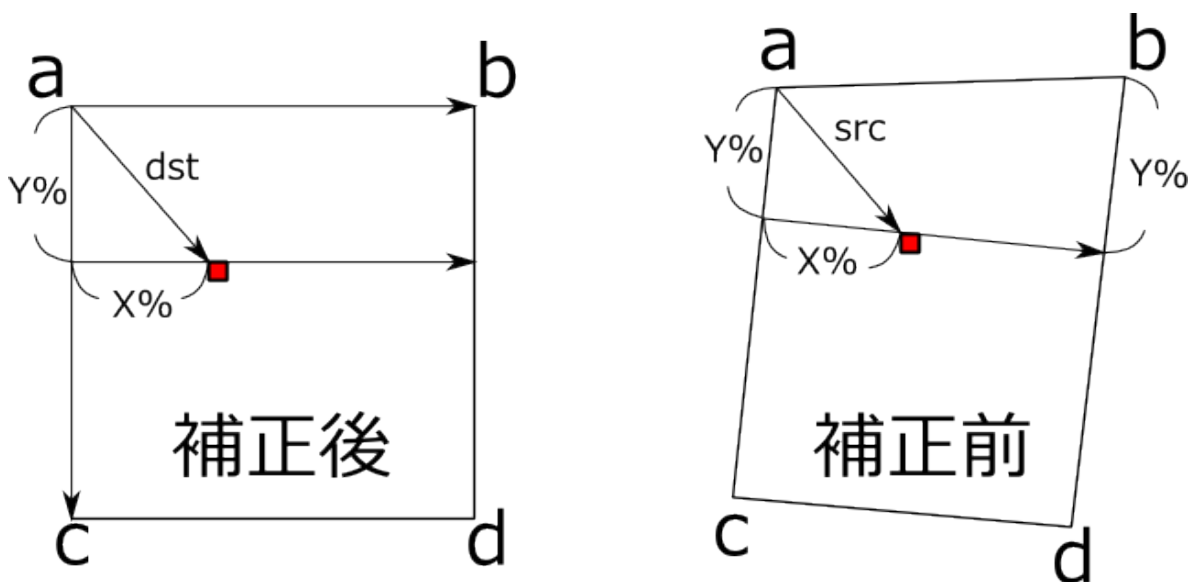


図 4.4 キャリブレーションプレートと画像におけるピクセル数の対応付け

4.3 実装

開発環境は Windows7, VisualStudio2010 を使用した。また, 実装言語には C# を用いた。キャリブレーションパターン (パターン) を得るために, 画像の上から順に左から右へ走査する。輝度が閾値以上であるピクセルを発見するとそのピクセルの座標を起点とし, ペイントルーチンを用いてそのピクセルに隣接する閾値以上であるピクセルを閾値より小さい輝度値に変更すると同時に, 変更する前の輝度値と座標を記録する。次に記録した輝度と座標のデータを利用し式 4.5, 式 4.6 を用いて重心を求め, キャリブレーションパターンの 1 つの点とした。このとき, 変更したピクセルの数が一定の個数未満の時には埃などによるノイズとして除外した。

$$X_g = \frac{B_0 X_0 + B_1 X_1 + \dots + B_n X_n}{B_0 + B_1 + \dots + B_n} \quad (4.5)$$

$$Y_g = \frac{B_0 Y_0 + B_1 Y_1 + \dots + B_n Y_n}{B_0 + B_1 + \dots + B_n} \quad (4.6)$$

ただし, X_g, Y_g : 重心, B : 輝度, X : 画像上の X 座標, Y : 画像上の Y 座標とする。

補正前のパターンは, 歪んでいるので検出順では認識することはできない。そこで, パターンの X 座標と Y 座標を並び替えることでパターンの認識を行った。まず, 点の Y 座標を用いて昇順ソートを行った。次に既知であるパターンの横の穴数ごとに, X 座標を用いて昇順に並び替えを行った。パターンの 2 点間の長さはレンズ歪みと射影歪みがあるので等間隔ではない。レンズの歪みは画像の中央が最も少ないと考えることができるので, パターンの中央の正方形一辺の長さを基準として, 補正後の正方形の一辺の長さとした。そして, それぞれの正方形に対応するパターンの正方形に対して式 4.2 と式 4.3 を使用して座標変換マップを作成した。図 4.5 に補正結果を示す。図 4.5 の赤い丸で示した箇所は認識されたキャリブレーションの点である。補正前画像において, 各点を繋いだ線は歪みがある。しかし, 補正後画像は各点が均等に並び, 正しく補正されている。

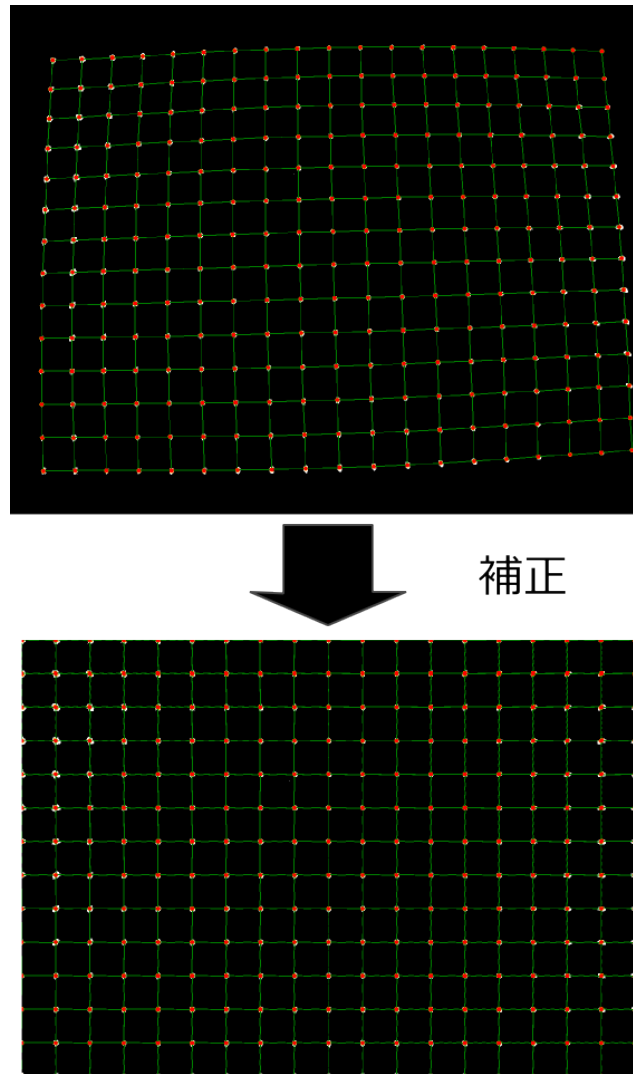


図 4.5 歪み補正結果

4.4 較正精度の検証

較正精度が足サイズ計測において十分な精度であるかの検証を行うことを目的として、足サイズ計測器のガラス面に既知の長さの物体を置き、撮影した。そして、歪み補正後に、画像上で目視により物体長さ計測を行った。検証に使用した物体として曲尺を用いた。曲尺の角は直角であり、外側の長さは 320mm と 160mm、内側の長さは 305mm と 145mm であった（図 4.6）。ガラスの有効撮影範囲は縦 312mm、横 432mm であったので、縦には 160mm、145mm の部分を、横には 320mm と 305mm の長さの部分を利用した。また、使用したデジタルカメラの仕様は、画素数：130 万画素（1280 × 1024）、撮影素子のサイズ：1/2inch、画素のサイズ：5.2 × 5.2 μ m であった。曲尺は画像上の上下左右、また左上か

ら右下へ傾けて置いた。また、実寸と縦ピクセル比率は 0.3593 (mm/pixel), 横ピクセル比率は 0.3590 (mm/pixel) であった。

検証結果を表 4.1 に示す。最大の誤差は 0.98mm (2.7pixel), 平均誤差は 0.61mm (1.6pixel), 標準偏差は 0.26 であった。JIS による靴のサイズ表示は、足長は 5 mm , 足幅は 2 mm から 3 mm の間隔で変化するので、十分な精度であると考えられる。より高い精度が必要な場合には、物体に焦点をより正確に合わせることで、カメラの分解能を上げること、あるいは、物体との距離を近くすることが効果的であると考えられる。

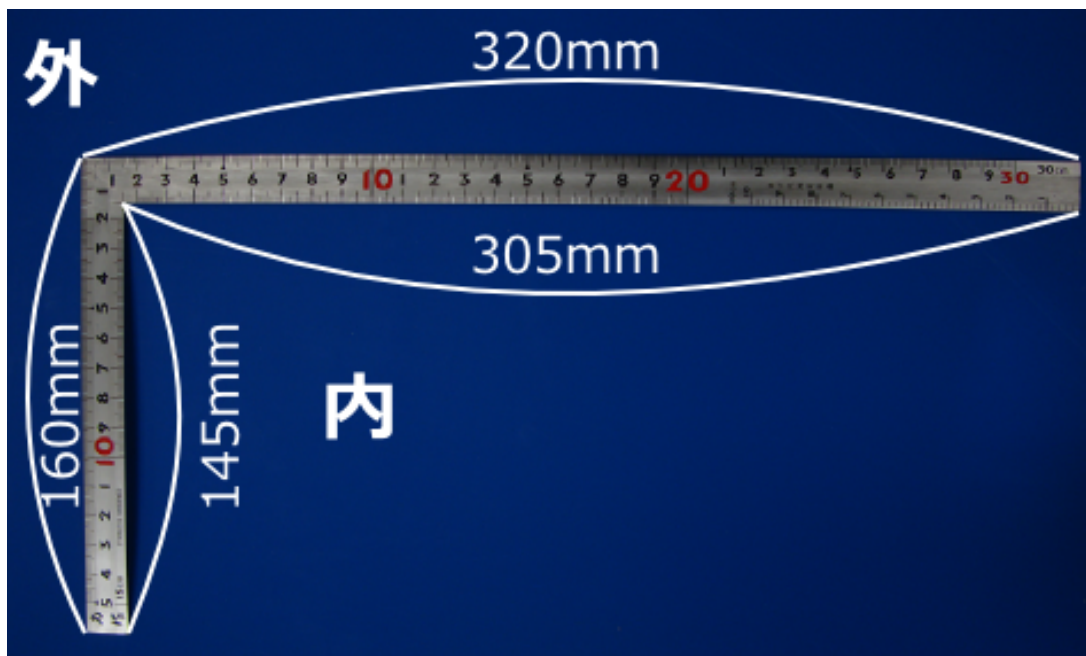


図 4.6 較正精度の検証に用いた既知の長さの物体

表 4.1 曲尺の実長と画像計測での長さとその誤差

接地 位置	305mm			320mm			145mm		160mm	
	上	下	斜め	上	下	斜め	左	右	左	右
長さ [mm]	305.8	305.5	305.9	320.6	320.8	319.8	145.7	144.8	160.5	160.5
誤差 [mm]	0.80	0.55	0.98	0.67	0.88	-0.19	0.77	-0.13	0.57	0.58

4.5 まとめ

光量が少ない場所で、かつ限られた空間で一定面を較正可能なキャリブレーションシステムの開発を行った。既知のキャリブレーション手法では、このような空間においての正確なキャリブレーションが困難であった。そこで、光源として足サイズ計測器の強化ガラス周囲に設置されている蛍光灯を用いた独自の自己発光型のキャリブレーションプレートの開発を行った。透明なキャリブレーションプレートに等間隔に穴をあけ、キャリブレーションプレートの側面から光を入れることで、穴が発光する。これにより、光量が少ない場所でも穴の認識を行うことが可能となった。また、キャリブレーションプレートの大きさを変更することで、様々な空間で一定面を較正することが可能となった。

本足サイズ計測器において、本キャリブレーションシステムによる較正精度が足サイズ計測において十分なものであるかの検証実験を行った。実験に使用したデジタルカメラの性能は、130万画素(1280 × 1024)、撮像素子 1/2inch、画素サイズ 5.2 × 5.2 μ m で、縦ピクセル比は 0.3593(mm/pixel)、横ピクセル比は 0.3590(mm/pixel)であった。この設定での計測誤差は最大 0.98mm、平均 0.61mm、標準偏差は 0.26であった。JISによる靴のサイズ表示は、足長 5 mm、足幅 2 mm から 3 mm の間隔で変化するので、足サイズ計測においては十分な精度といえる。

第5章

足サイズ計測基準線の自動決定方法 の開発

足サイズ計測を行うには、足サイズ計測基準線（基準線）を決定する必要がある。基準線は、3.2節で述べたように、踵骨尖点と第2趾尖点を通過する線としている。足サイズ計測では、この基準線を基に足幅、足長および踵幅などの計測を行う。基準線の決定には、手計測の場合では足輪郭を目視で確認し、直尺を使用し決定を行う方法がある。また、機械計測ではPCの足裏画像上でマウスを使用し決定する方法 [23]、あるいは、あらかじめ引かれた基準線上に、足を合わせて画像を撮影する方法がある [33]。基準線を直尺、またはマウスを用いて決定する方法は、計測者が目視で確認し、手作業で決定を行うために、計測者によって基準線の位置に差が生じ、そのことにより計測誤差が発生すると考えられる。また、あらかじめ引かれた基準線上に足を合わせる方法においても、足の置き方にばらつきが生じる。そこで、予備実験として、マウスを使用して基準線を決定する場合において、どの程度のばらつきが生じるのかを検証した。実験は、ディスプレイに足裏画像を表示し、同一の足裏画像に対して、実験参加者に基準線の描画を5回試行させた。試行ごとに描画した基準線を削除し、実験参加者には10秒程度目を閉じてもらった。また、マウス操作によって基準線の端点を足の輪郭線上に一致させるのは困難であるので、描画した基準線は自動的に足の輪郭線上に一致させる。その結果から、マウスを使用して基準線を描画（決定）する場合の、決定位置の試行によるばらつきの大きさを確認する。実験参加者は、基準線の決定方法を十分に理解している者3名であった。

図5.1は実験参加者が描画した基準線を重ねた結果である。参加者Aは、踵骨尖点の決定位置の差が他の実験参加者より小さい。一方、第2趾尖点は踵骨尖点よりも変動していることが分かる。すべての実験参加者が決定した位置を重ね合わせると、第2趾尖点では最大6.10mm、踵骨尖点では最大8.69mmであった。このことから、同一計測者が同じ画像に対して基準線を描画した場合でも基準線の決定位置は変化する可能性があり、このことにより

誤差が生じると考えられる．このようなことから，人の手による足サイズ計測基準線の決定は困難であり，足サイズ計測基準線はシステムによって自動的に決定する必要があると考えられる．そこで本章では，足サイズ計測基準線を自動的に決定可能な手法について述べる．

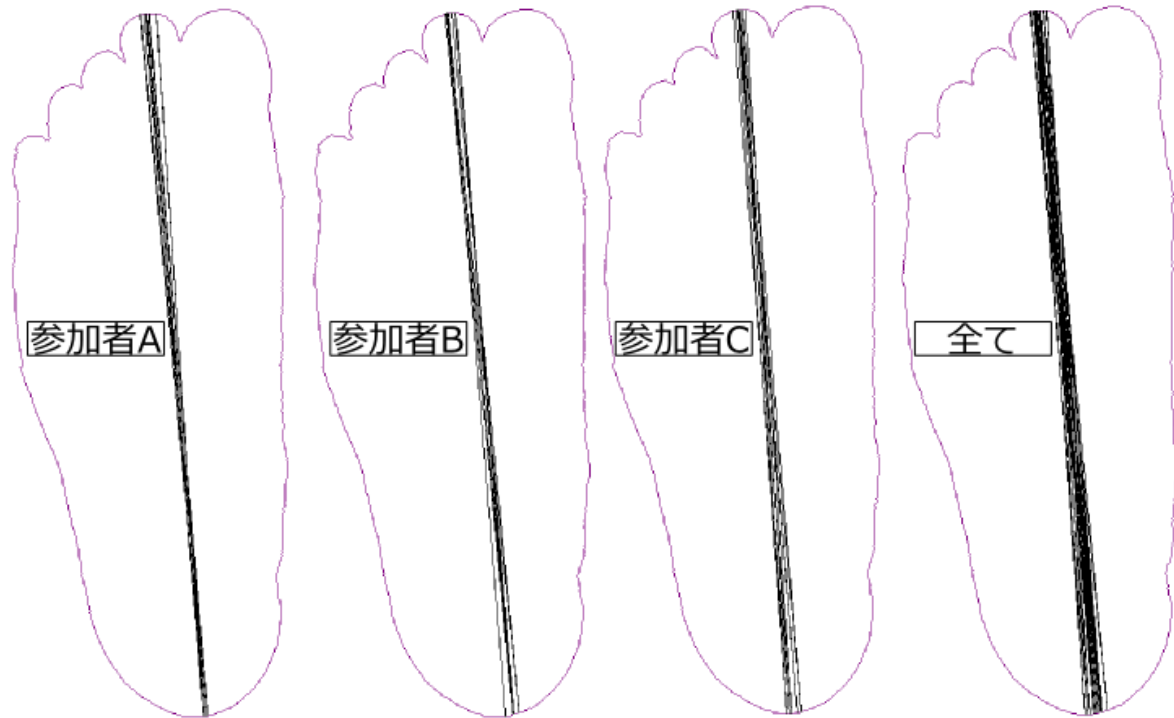


図 5.1 同一足画像に対して 5 回基準線を描画した時のぶれ

5.1 自動的な計測基準線決定手法

本研究において採用した計測方式においては，計測時にはガラス板状に自由な足位置で立つことが可能である．それゆえ，ガラス板上の足は様々な角度となるので，足輪郭から踵骨，第 2 趾の位置を単純に特定するのは困難である．足の形状を認識するためには，爪先部と踵部を認識する必要がある．そして，第 2 趾尖点と踵骨尖点を決定する必要がある．

5.1.1 踵部と爪先部の識別

本計測器においては，ガラス板上の足は様々な角度となるので，足輪郭から踵骨，第 2 趾の場所を単純に特定するのは困難である．足の形状を認識するためには，爪先部と踵部を認識する必要がある．そこで，足は幅よりも長さが長いことから足輪郭上における 2 点間が最も長い線を求めることで爪先部と踵部の認識が可能と考えた．そこで，88 枚 (176 件) の足底面画像に対して輪郭を求め，輪郭上の 2 点間が最長となる線を求めた．その結果，最長線

は必ず踵骨尖点から第1趾,または第2趾尖点の間であることが確認できた(図5.2). 左右の足底面画像において,踵骨尖点と第1趾の間が最長線となる確率は70.5%(124件),第2趾との間が最長線になる足の形状の確率は29.5%(52種類)であった.このことから,第2趾尖点を特定できないが,最長線によって爪先部と踵部の位置は特定することは可能である.

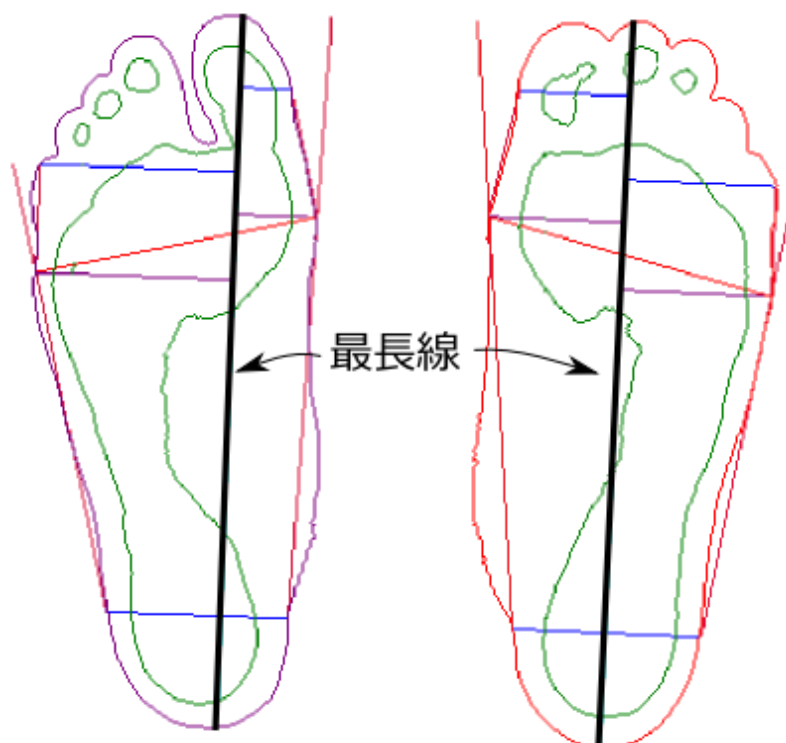


図 5.2 2種の最長線

5.1.2 第2趾尖点と踵骨尖点の決定

基準線決定は,最長線の両端は踵骨尖点および第2趾尖点の位置であると仮定し,爪先形状の変化量から第2趾尖点,踵骨尖点を交互に求める方法によって行った.初めに,足底撮影画像から対象となる足の輪郭の検出を行う.次に足の形状の特徴から,最長となる線は踵骨尖点から第1趾または第2趾へ結ばれることから,踵部輪郭線上の最長線位置の点を暫定の踵骨尖点とした.次に暫定の踵骨尖点から爪先部への長さを算出することにより爪先形状を数値的に認識する.仮の踵骨尖点から爪先方向の輪郭線上の点と結ぶ線の長さの変化量から第2趾を特定し,第2趾尖点の決定をする.最後に第2趾尖点から暫定の踵骨尖点周辺までの長さを算出し,第2趾尖点からの最長点を(真の)踵骨尖点とする.図5.3に基準線決定の手順を示す.

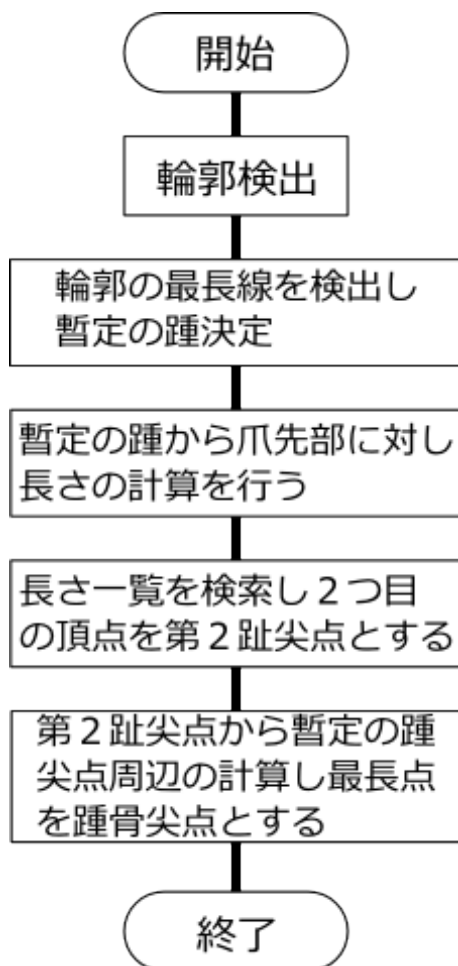


図 5.3 基準線決定手順

5.2 開発

開発環境として Windows7, VisualStudio2010 を使用し, 実装言語として C# を用いた。足底面の取得画像においては画像上部に左足, 下部に右足が写り, 画像左方が踵, 画像右方は爪先が写る設定とする。

対象領域を認識するために, 足底面取得画像の二値化を行った。足サイズ計測器は足部とそれ以外を分離可能とするために, 足背景に人体が持たない青色の覆いと, 足部に人体の血液の色である赤みを増加させるために, 赤色フィルタを通した光を周囲から照射している (図 5.4, 図 5.5)。まず, 足底面画像と背景画像から背景差分を求める。さらに, 人間の血液である赤色部分とそれ以外を分離するために, 色空間に人間の色知覚に基づく HSV 色空間の色相を用いて特定の赤色部を取り出し二値化した。次に二値化画像において, 上から順に左から右へピクセルを走査する。走査において足底部を発見すると, 発見した座標を起点に

輪郭追跡を画像表示において反時計回りに行い、輪郭を記録した。輪郭追跡においては輪郭追跡法を用いた。

次に足の輪郭に対して最長線を求め、 x 座標の小さいものを暫定の踵骨尖点、他方を爪先部とした。そして、暫定の踵骨尖点から爪先部へ長さを求めた。図5.6は暫定の踵骨尖点から爪先部へ長さを求め描画したものである。第1趾方向に極大点を確認できなければ最長線の爪先部は第1趾であり、そうでなければ第2趾であるとみなすことができる。現在の位置を確認後、第1趾である場合は第2趾方向に極大点を数えることにより第2趾尖点を決定した。次に第2趾尖点から暫定の踵骨尖点周囲までの長さが最長となる点を踵骨尖点とし、基準線を決定した。

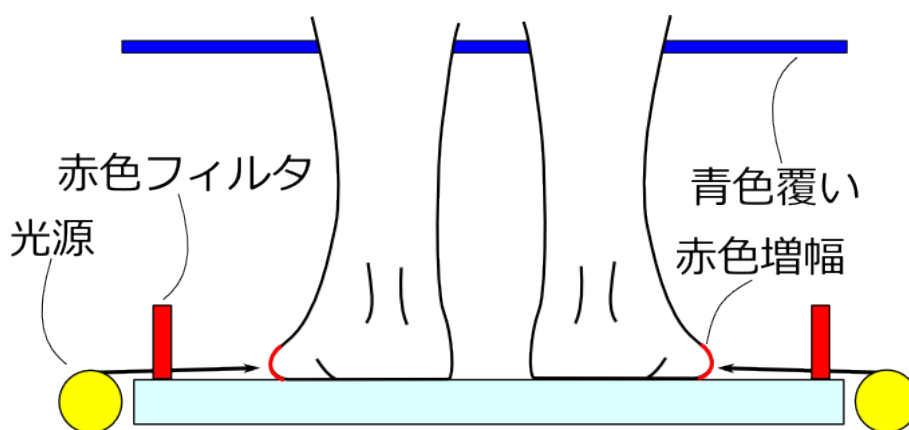


図 5.4 青色覆いと赤色フィルタ



図 5.5 足底面撮影画像

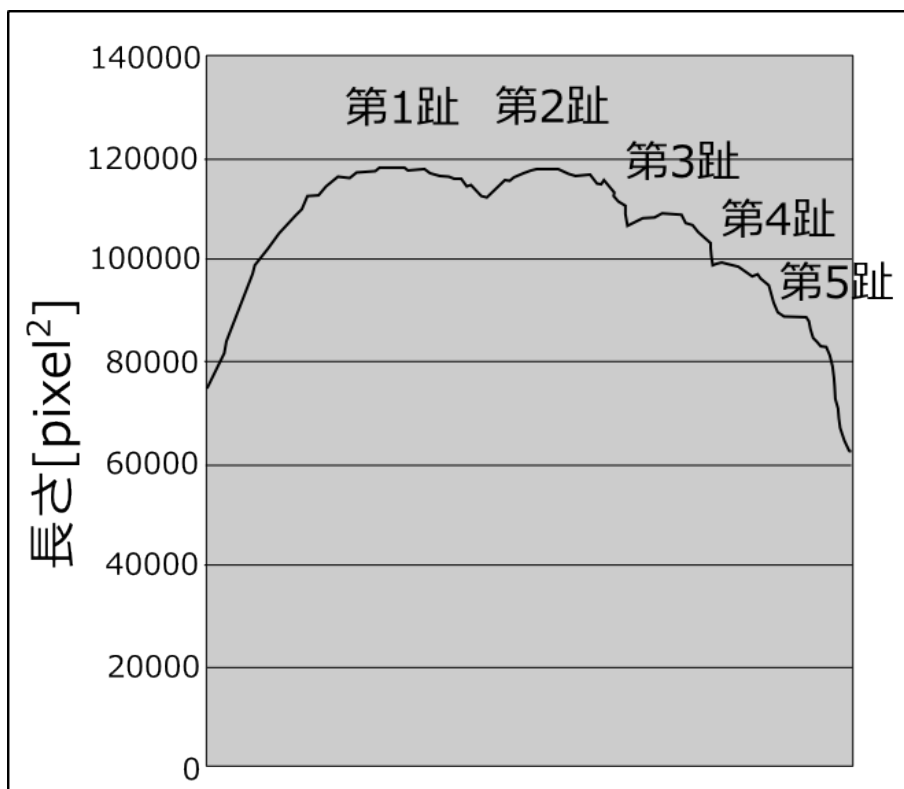


図 5.6 暫定踵骨尖点から求めた暫定の第 2 趾周辺までの長さの算出結果例

5.3 計測実験

自動描画において足の計測基準線がどの程度の確率で決定できるのかを 294 枚（左右両足で 588 件）の足底面画像を使用して検証した。また，足サイズ計測基準線の手動描画と自動描画での計測精度を明らかにするために，計測実験を行った。手動描画においては，足サイズ計測法を良く理解している者 1 人が PC 上でマウスを使用して行った。対象画像は 294 枚の中から無作為に 100 枚（左右両足で 200 件）選んだ。

5.3.1 実験結果

自動描画で踵骨尖点と第 2 趾尖点間に描画されたのは 588 件中 586 件であった。手動描画と自動描画での計測値の差の平均を表 5.1 に示す。また，計測した足長値のヒストグラムを図 5.7 に示す。計測した足長は 210mm から 275mm であった。両描画法における足長の差の平均値は 0.6mm，最大値は 2.0mm，足幅値の差の最大値は 2.5mm であった。自動描画法での足長計測値のすべてが手動描画法での足長計測値よりも大きくなった。

表 5.1 手動描画と自動描画での計測値の差

	足長 [mm]	足幅 [mm]	踵幅 [mm]	第 1 趾角度 [度]	第 5 趾角度 [度]
平均	0.6	0.5	0.4	0.6	0.9
標準偏差	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7
最小	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
最大	2.0	2.5	1.9	2.4	3.7

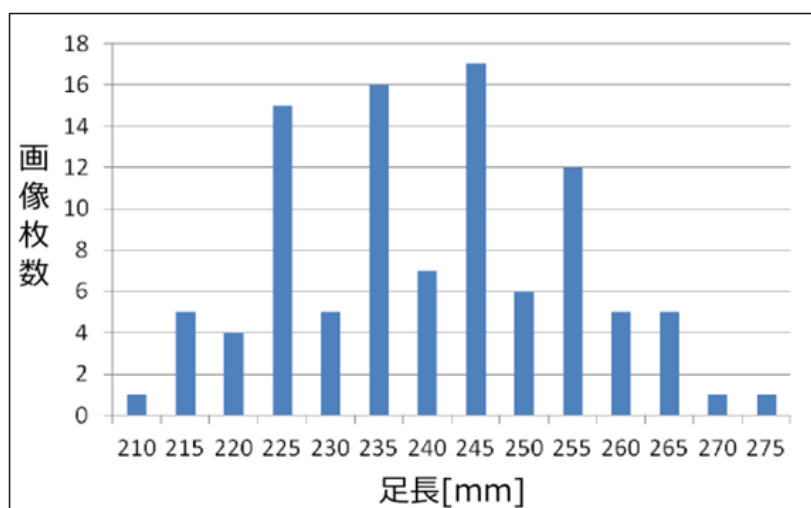


図 5.7 本研究における手動描画での足長ヒストグラム

5.3.2 考察

足サイズの計測基準線の自動決定においては 588 件中 586 件で第 2 趾尖点と踵骨尖点を決定することができた。失敗した理由は、第 2 趾と第 3 趾が重なったために、第 2 趾の極大点を見つけることができなかつたからであると考えられる (図 5.8)。足サイズ計測基準線を手動描画した場合と自動描画した場合においては、足長の計測値の差は平均 0.6mm、最大 2.0mm であった。現在、靴の足長サイズは JIS により 5 mm 間隔で段階わけされており 0.6mm の誤差は微小といえる。また、足長については足の計測基準線を手動描画した場合よりも自動描画した場合の方が計測値が大きくなった。これは目視の描画よりも最適な足サイズ計測基準線が存在したからだと推測できる。本実験において、足長の最大誤差は 2.0mm であったが、これは踵骨尖点の決定位置の違いによるものであると考えられる (図 5.9)。足幅、第 1 趾角度、第 5 趾角度においても、踵骨尖点や第 2 趾尖点の決定位置の違いが大きく影響しており、手動描画と自動描画で大きな違いが発生した (図 5.10)。

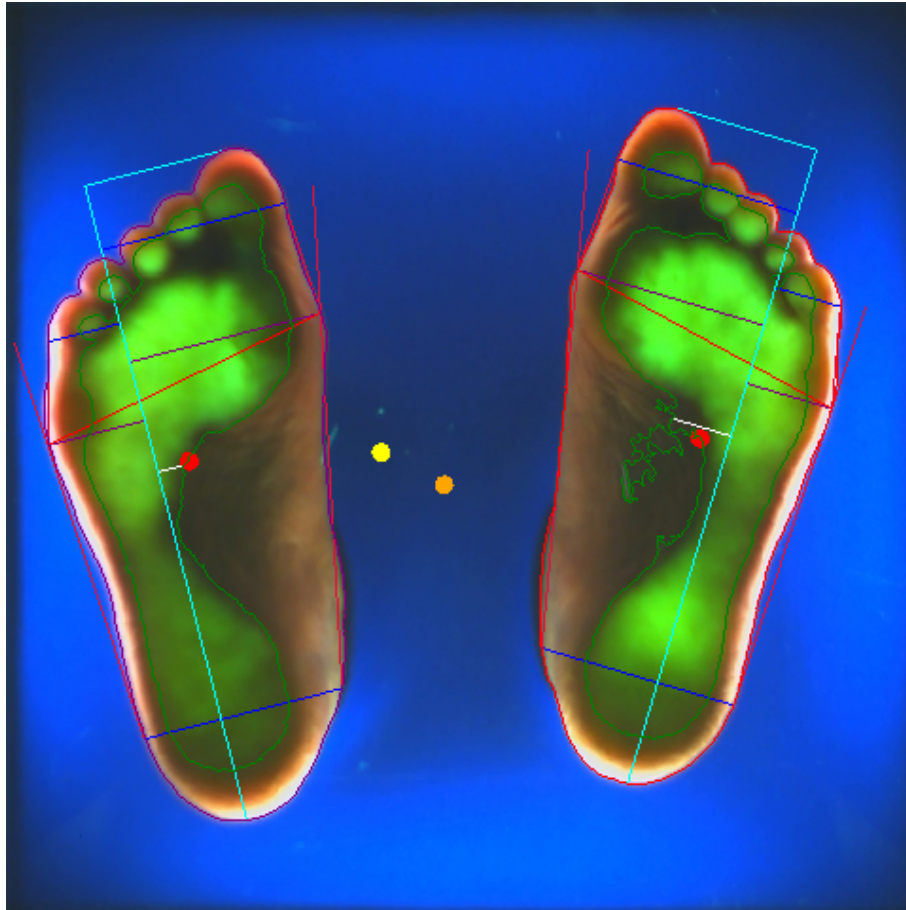


図 5.8 計測基準線の自動決定失敗の例

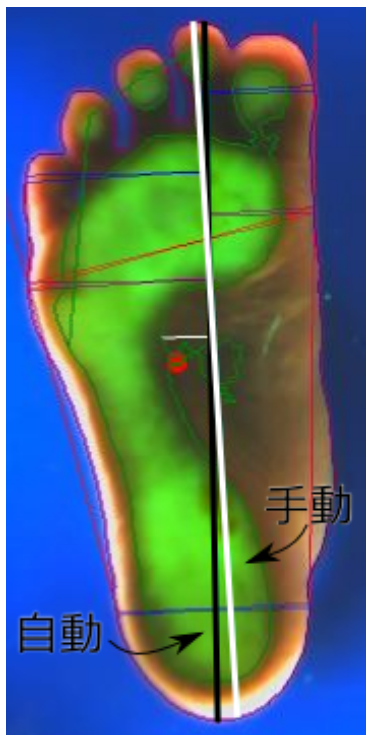


図 5.9 足長最大誤差発生要因

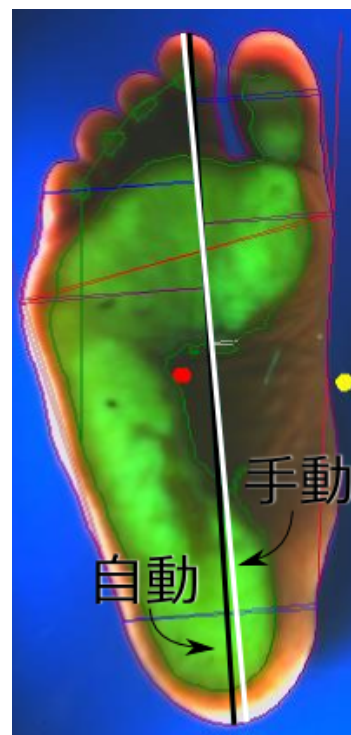


図 5.10 足幅最大誤差発生要因

5.4 まとめ

足サイズ計測における，足サイズ計測基準線の自動的な決定法の研究開発を行った．1つの足底面画像に対して，3人の実験参加者が各自5回，計測基準線の決定を手動で行った場合，第2趾尖点で最大6.10mm，踵骨尖点では最大8.69mmの決定位置の違いがあった．このことより，計測者による計測誤差が発生するといえる．足サイズ計測基準線を決定するために，第2趾尖点と踵骨尖点を特定する必要がある．はじめに，足の形状の特徴を調べた結果，足の輪郭線上における2点間の最長線は，踵骨尖点と第1趾，または踵骨尖点と第2趾の2点で決定されることが分かった．そこで，この最長線となる2点を暫定の点として，第2趾の決定を行い，最後に踵骨尖点を決定するという自動決定方法の開発を行った．その結果，足サイズ計測基準線の自動決定において，妥当な決定確率は588件中586件であった．また，手動決定と自動決定において，足長は自動決定の方が平均0.6mm長くなった．これにより，計測者による誤差のない足サイズ計測が可能となった．

第6章

足背高計測法の開発

靴と足の適合性を高めるためには、靴と足のサイズを合わせることや甲の押さえで確実に足を固定すること、足趾などの関節の動きを靴が阻害しないことが重要であると考えられる。JISで靴のサイズは、足長と足幅または足囲によって規格化されている。JISにおける靴の足長値と足幅値・足囲値の組み合わせ表示値・記号は、その靴が適合する可能性の高い足の足長と足幅・足囲を示している。しかし、同じ足幅・足囲であっても、甲の高さは人によって異なるので、足長と足幅あるいは足長と足囲のみでは、適合する靴のサイズにはならない場合もある。このようなことから、多くの履きやすい靴を提供する側にとっても、また、靴を選択する側にとっても、足幅と足背高の計測は必要といえる。

足背高を計測するには3次的に足を計測する必要がある。しかし、スキャン方式では計測にある程度の時間を必要とするために、静止状態を維持することが困難な人の場合、計測誤差が大きくなるという問題がある[34]。また、目盛りを背景にした足画像から足長と足背高を読み取る方式は、足画像取得時間は短いですが、足を既定の位置に正確に置くのが困難であり、精度の高い計測は困難である[35]。このことから本章では、自然な姿勢で直立でき、体動のある人でも計測可能な足背高計測法の研究開発について述べる。

6.1 カメラ画像による足サイズ計測器の方式

本研究では、静止状態を一定時間維持することのできない人でも計測可能にするために、画像取得時間の短いカメラ方式を採用し、その取得画像を処理することによって足長、足幅および足背高を計測可能な足サイズ計測器を開発した。足長を計測するために足底面画像を必要とするので、足置きガラス板（計測範囲：縦 312mm × 横 432mm）に裸足で直立した状態で足底方向からカメラで撮影を行った。ガラス面をすべて撮影するには、ガラス板とカメラ間には一定の距離が必要である。足置きガラス板の設置位置を低くするために、鏡を斜めに置き、鏡からの反射像を撮影する方式にした。また、足側面画像を足底面像と同時に撮

影可能にするために、本研究では足置きガラス上に 59.5 度に傾けた鏡を左右にそれぞれ 1 枚設置した(図 6.1)。このことにより、足底面撮影用カメラで足側面も撮影可能となる。図 6.1 には鏡を使用しない場合の見かけ上のカメラ位置も示している。また、足底像撮影用ガラス板上において鏡に片足のみ写るようにするために左足と右足の間に遮断版を設置した(図 6.2)。

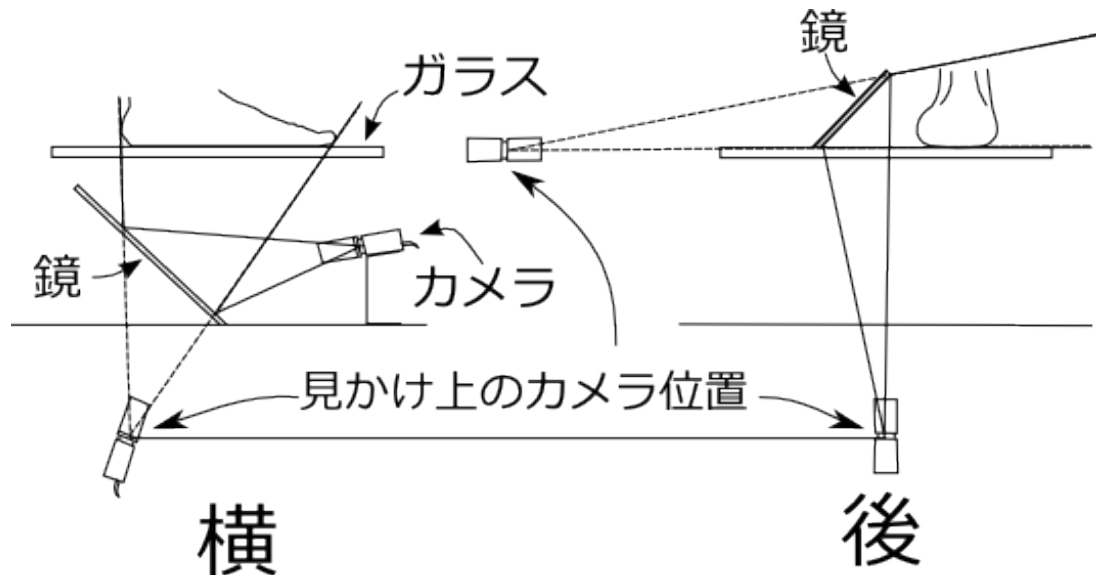


図 6.1 足底面と足側面の同時撮影装置の構造図

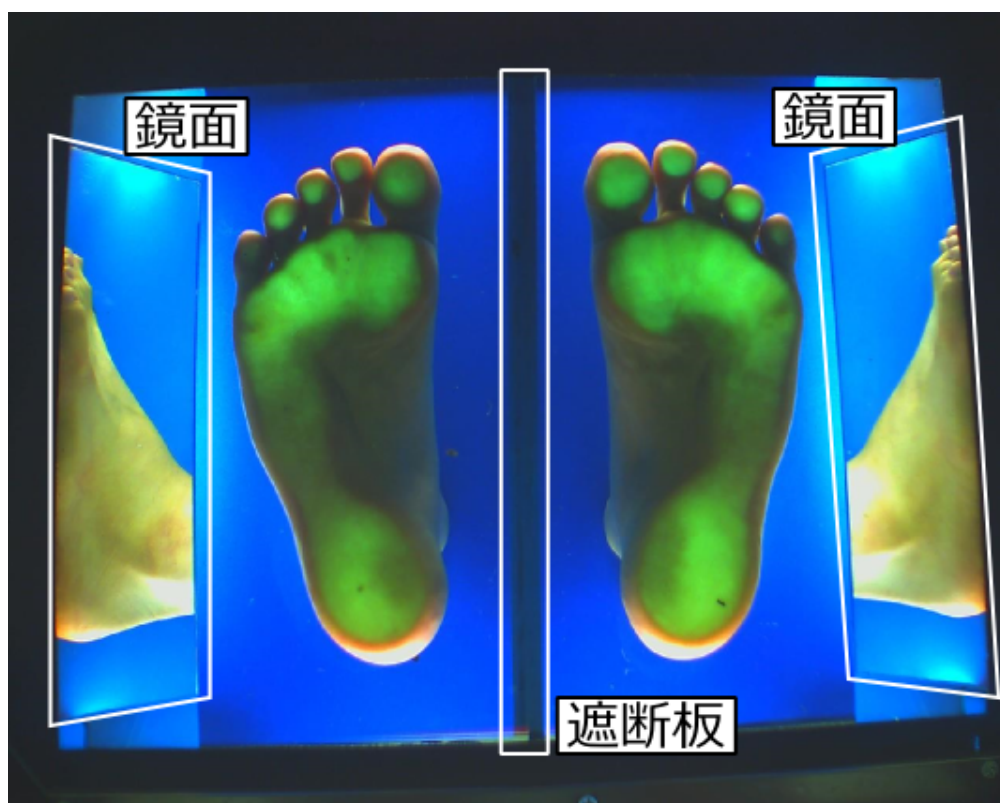


図 6.2 足底面と足側面の同時撮影画像

6.2 足背高較正方法

左右の鏡面に写る足の大きさは足とカメラとの距離によって変動する．つまり，足を置く位置が鏡に近くなるに従って，鏡面に写る足は大きくなる．そのために，足底面と足側面の同時撮影した画像から足背高の計測を行うためには，足底面の位置と鏡面に写る大きさとの関係を調査する必要がある．このようなことから，既知の高さの物体を複数点で撮影し，足底面の位置と鏡面の位置から高さを求めることにした．

6.2.1 足背高計測用キャリブレーションプレート

既知の高さの物体には第 4 章で開発したキャリブレーションプレートの仕組みを応用した．規則的に穴をあけたキャリブレーションプレートをガラス面に垂直に立て，鏡にキャリブレーションプレートの穴が写るようにした．光源としてキャリブレーションプレートの上部に LED 照明を取り付けた（図 6.3）．しかし，キャリブレーションプレートを設置する位置（底面部）によって足側面用鏡（鏡面部）に写る穴の数は変動するので，底面部と鏡面部との対応付けはできない．そこで，底面画像の穴と鏡面画像の穴の対応付けを可能にするために，キャリブレーションプレート中央に位置合わせ用穴を追加した．足背高用キャリブレーションプレートには，高さ 10mm，30mm，50mm，70mm，90mm の位置に 10mm 間隔で 17 個の穴をそれぞれあけた．また，位置合わせ用の穴は 5mm 間隔とした．

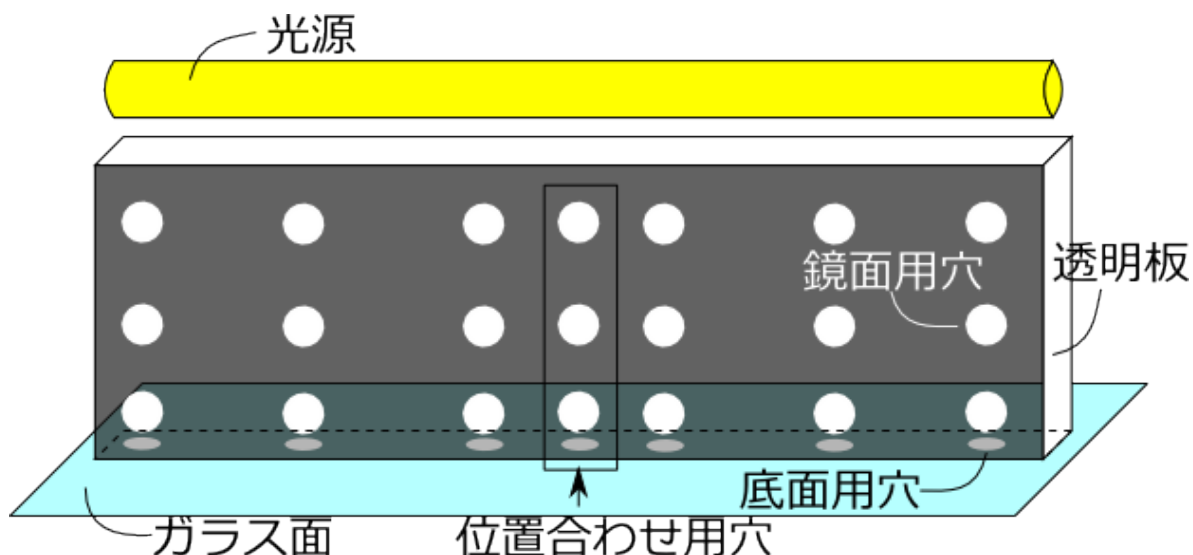


図 6.3 足背高計測用キャリブレーションプレート

6.2.2 較正方法

鏡との距離によってキャリブレーションプレートの写る大きさは変化する．そこで，左足計測のために鏡から近位，中位，遠位の3箇所，右足計測も同様に3箇所に順次にキャリブレーションプレートを置き，カメラで画像の取得を行った(図6.4)．取得したそれぞれの画像に対して，キャリブレーションプレートの穴を認識し，底面部の位置と鏡部に写る高さとの対応付けを行い較正用データの作成を行う．較正用データはキャリブレーションプレートを置いた位置での高さとの対応関係しかないので，他の位置では較正を行えない．そこで，近位，中位，遠位の3箇所以外の位置で較正を行う場合には，求める底面の位置を挟む2つの較正用データから線形補完することで，求める位置での新たな較正用データを作成する(図6.5)．

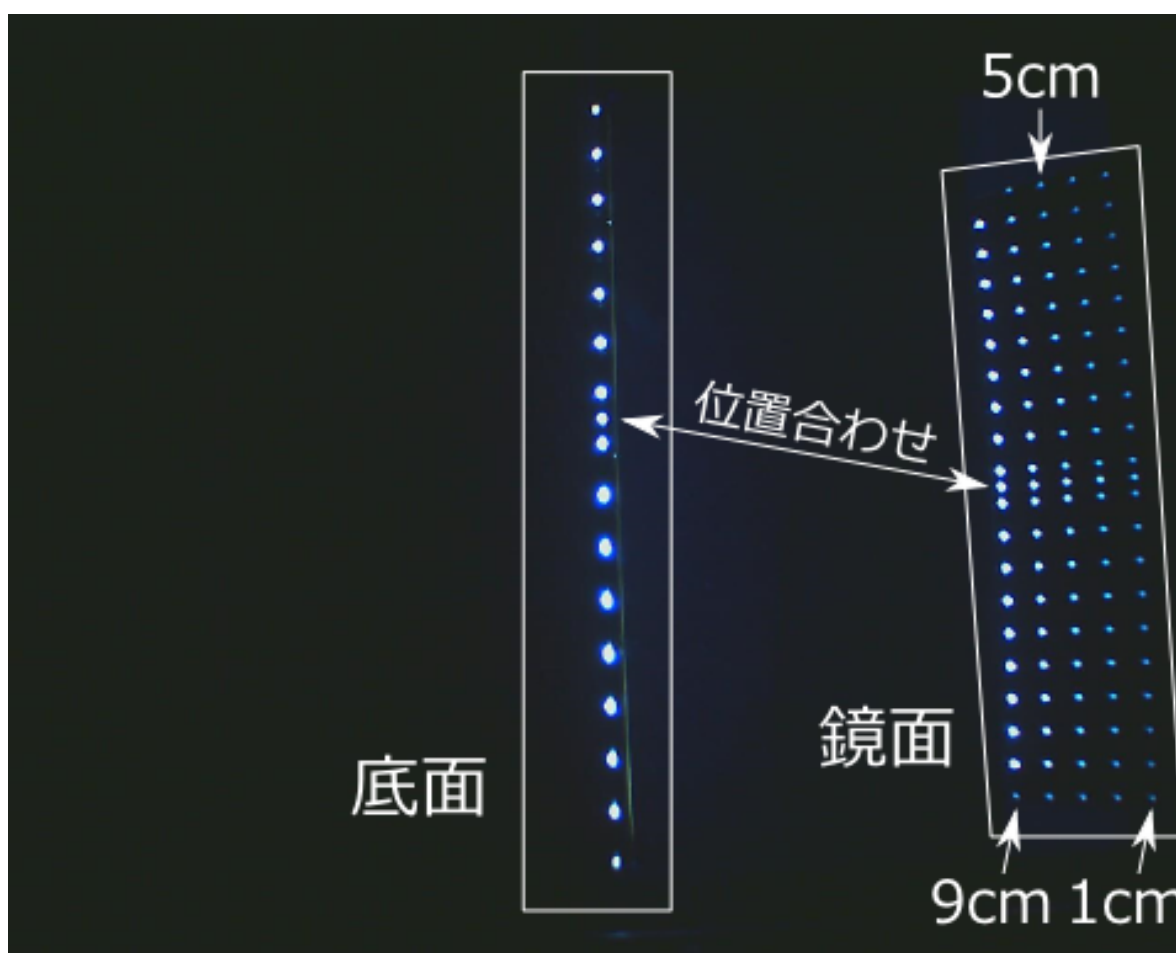


図 6.4 足背高計測用キャリブレーションプレートの撮影画像と底面位置と鏡面高の関係

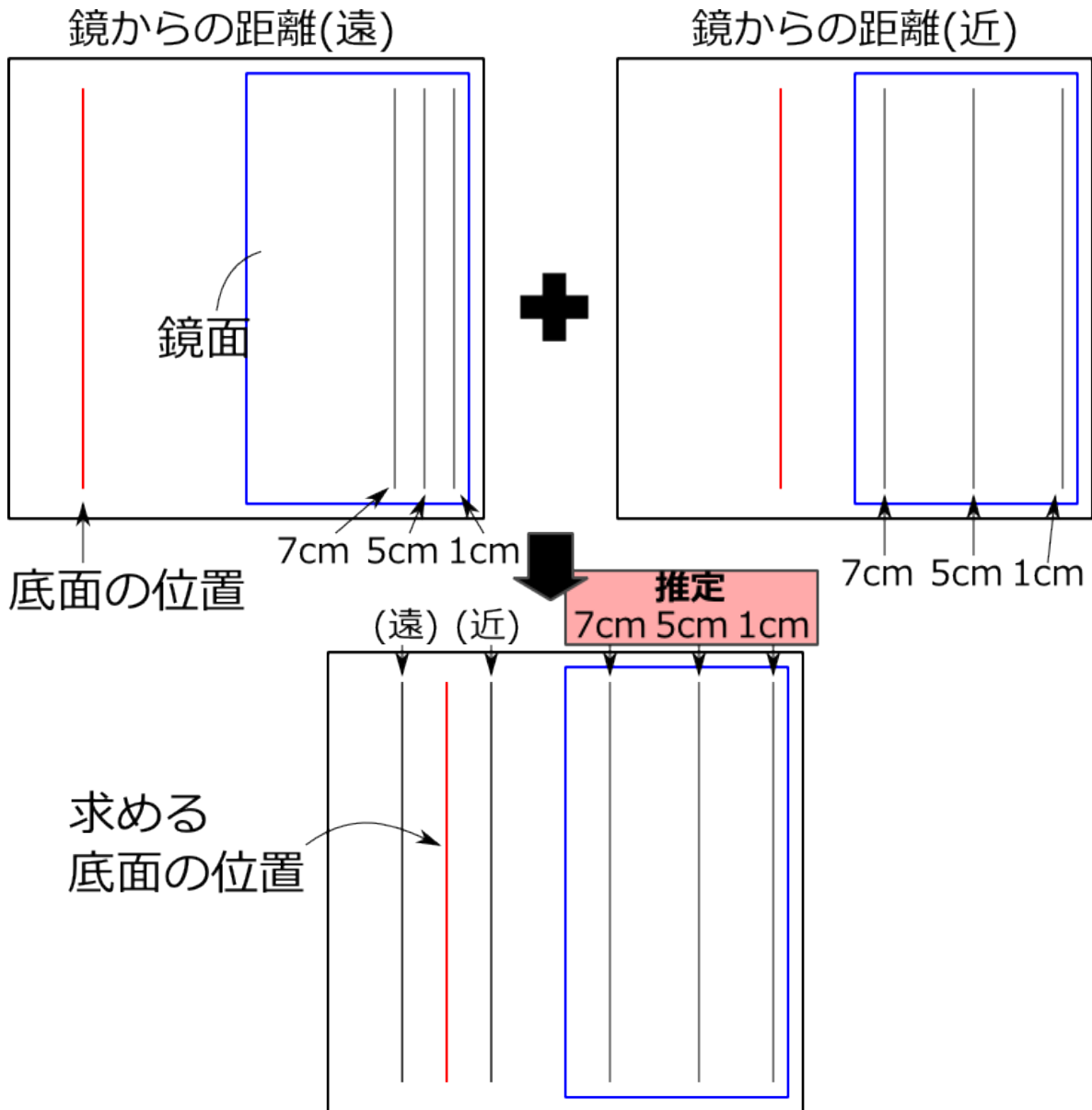


図 6.5 較正データからの新たな較正データの推定概念

6.3 計測方法

足背高は足背部の底面からの高さのことを示し、甲高値はこの足背高の中の特定の値である。足の骨は歩行による衝撃を緩和するために、アーチ状になっている。体重をかけた時点では第2趾を支える骨（第2中足骨）がアーチ最高点になっているので、足サイズ計測基準線上の足背部が稜線になっている可能性が高い（図 6.6）。そこで、底面部の足底画像から足サイズ計測基準線を求め、足サイズ計測基準線上の各点における足背の高さを計測する。底面部の計測基準線上のある1点に対応する鏡面に写る足側面の高さは、較正用データによ

て特定することができる。したがって、底面部の足サイズ計測基準線上の踵骨尖点を 0 %、第 2 趾尖点を 100% とし、1 % 刻みで鏡面部に写る足側面の高さを求めることにした。

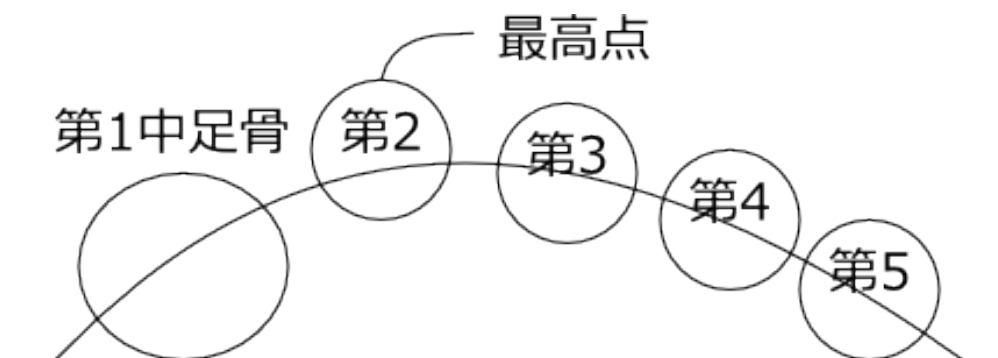


図 6.6 足のアーチ構造

6.4 開発

開発環境として Windows7, VisualStudio2010 を使用し、実装言語には C#を用いた。キャリブレーションプレート（プレート）の穴は一定の大きさで発光しており、その光の中心点（点）を 1 点と扱う。画像における点の検出は第 4 章と同様の手法で行った。底面の点と鏡面の点を対応付けるためには、点に順序を付け、位置合わせ用点を認識する必要がある。鏡面部の点はプレートを置く位置によって鏡面部に写る範囲が異なる。したがって、画像におけるプレートの底面部の点の数と鏡面像におけるそれぞれの高さの点の数は同数でない。それゆえ、キャリブレーションパターン（パターン）における各点は単純な並び替えでは順序付けを行うことが不可能である。パターンは画像上で縦に特定の並びでならんでいる。そこで画像左上に最も近い点を起点に下方向に点を走査することでパターンを認識した。点は下方向に左右 20 度の範囲内で走査を行い、複数の点がある場合は、最も近い点を次の点として順序付けを行った（図 6.7）。次に 2 点間が最も狭まる点を位置合わせ点として、位置合わせ点から上下の数を底面部の点の数に合わせた。プレート画像における穴の数はプレートを置く位置によって変動する。鏡に接近させて設置した場合は 16 × 4（縦 × 横）の点が写るが、ガラス面中央に設置した場合には 17 × 7（縦 × 横）の点が写る（図 6.8）。位置による点の数の違いを無くすために線形補完することですべての位置での点の数を 17 × 7（縦 × 横）に合わせた。

足背高を求めるには足底面部における足サイズ計測基準線の位置を特定し、高さ方向の新たな較正用データを得る必要がある。足サイズ計測基準線の決定には第 5 章で述べた自動決定法を採用した。この足サイズ計測基準線上の踵骨尖点を 0 % 位置、第 2 趾尖点を 100% 位置とし、1 % 刻みで足底面部を区分した。このとき、足底面部での足サイズ計測基準線位

置を特定したので、鏡面像の足長方向の位置は固定される。このことにより、計測基準線上での新たな較正データが作成可能となる。次に足の側面撮影用の鏡面に写った足側面の輪郭の位置を求め、計測基準線上の新たな較正データを用いて高さを算出した。図 6.9 に既知高のモデル足を計測した例を示す。

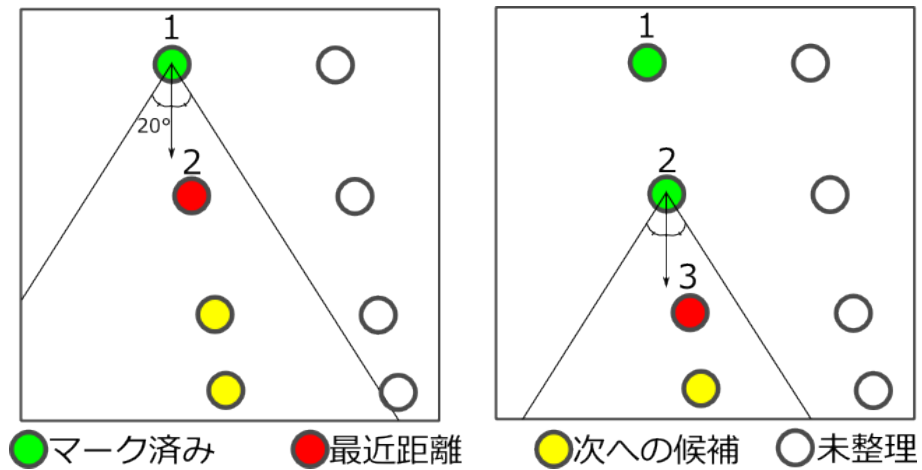


図 6.7 縦方向順序付けアルゴリズム

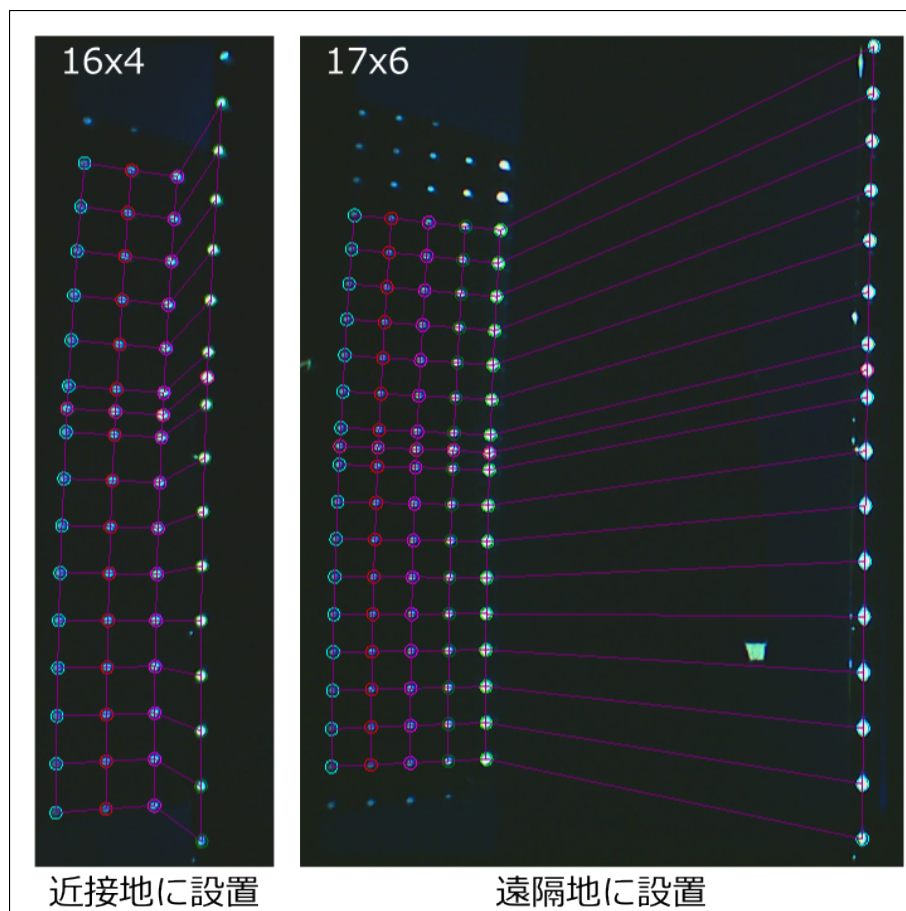


図 6.8 キャリブレーションプレート設置位置による写りの変化

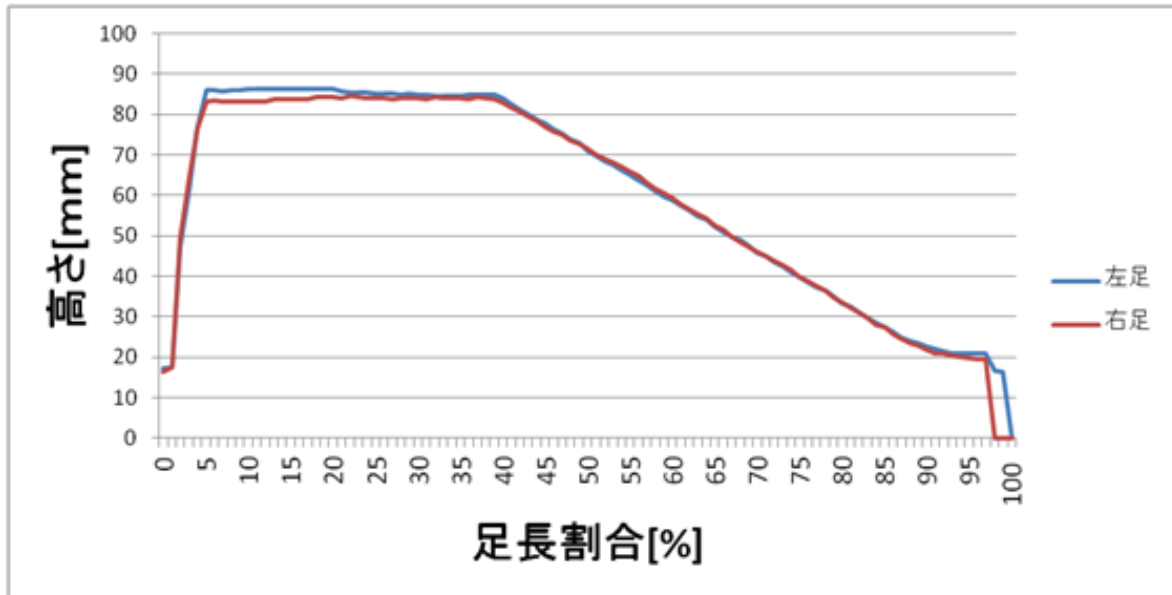


図 6.9 足背高の計測結果例

6.5 計測実験

本システムの計測精度を確認するために、石膏足 20 体（図 6.10）に対して手計測用器具を利用しての計測と本システムでの計測を行った。手計測はシューフィッターの資格を有しない者がシューフィッター以上の精度で計測することが可能である器具を用いて行った。石膏足は左足 9 体、右足 11 体であった。手計測で足背高のすべてを計測することは困難であるので、足サイズ計測基準線上における踵骨尖点から 55% 位置の足背部の高さ（55% 位置足背高）を手計測と本システムで計測した。この 55% 位置足背高は靴製造において利用される定点値である（JIS5037：昭和 62 年度足サイズデータにおいても採用された計測位置）。



図 6.10 石膏足の例

6.6 精密型手計測器具の作成

図 6.11 に本研究のために作製した精密型足サイズ手計測器具を示す。本手計測器具では、板面に描かれた基準線上に足の踵尖点と第 2 趾尖点に来るように足を置く。本装置は基準線上に石膏足を合わせるが、石膏足に踵骨尖点をマークし様々な角度から見ることで、正確に合わせることが可能である。次に足長計測用スケール上のスライダを足先尖点に合わせ、スケールの目盛りから足長を読み取る。そして、足背高計測用ノギスの先端が計測を行いたい位置に来るように足背高計測位置設定用スライダで移動させ、足背高計測用デジタルノギスの数値を読み取る。本装置における足背高計測位置設定用スライダは微動させることができるので、器具無しの場合に比較し、高い精度で位置決めが可能である。

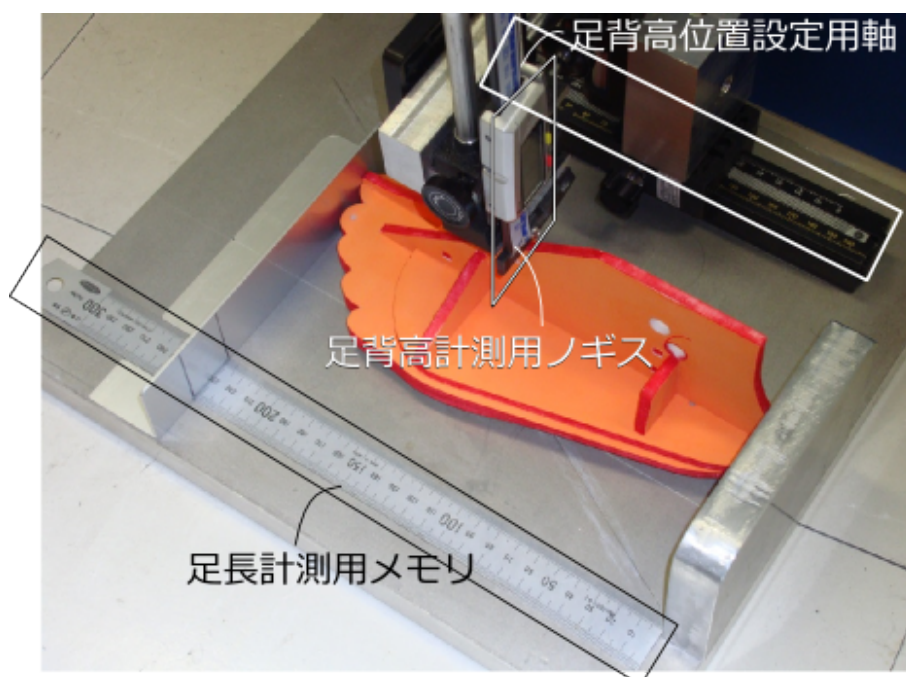


図 6.11 本研究のために作製した手計測用器具

6.6.1 実験結果

本足サイズ計測器と器具による手計測での計測における 55% 位置足背高の計測値を表 6.1 に示す。表中の”誤差”は、本足サイズ計測器による計測値と手計測による計測値の差を示している。計測対象とした石膏足の足長は 149.5mm から 272mm であった。55% 位置足背高（甲高値）の平均計測誤差は 0.7mm，最大 1.3mm，最小 0.1mm であった。

表 6.1 55% 位置足背高の計測結果

被験体	左右	手計測		本足サイズ計測器 による計測	誤差 [mm]
		足長 [mm]	55% 位置足背高 [mm]	55% 位置足背高 [mm]	
A	右	149.5	42.5	41.2	1.3
B	右	151.5	32.8	33.9	1.1
C	右	172.5	38.5	37.2	1.3
D	左	173	40.9	41.4	0.5
E	左	181.5	42.1	43.0	0.9
F	右	184.5	40.7	40.2	0.5
G	左	187	45	45.6	0.6
H	右	201	45.1	43.9	1.2
I	右	213.5	47.4	47.9	0.5
J	右	223	52.7	52.8	0.1
K	左	224	52.7	52.2	0.5
L	左	227.5	53.9	53.0	0.9
M	左	235	57.3	56.8	0.5
N	左	244	57.9	58.5	0.6
O	左	248	62	61.1	0.9
P	右	249	63.7	64.0	0.3
Q	右	249.5	63.5	64.7	1.2
R	左	255	59.9	60.5	0.6
S	右	263.5	59.1	59.6	0.5
T	右	272	67.4	68.4	1.0

6.6.2 考察

55% 位置足背高の誤差は、平均 0.7mm、最大 1.3mm、最小 0.1mm であった。最も単純である足長の計測においても、手計測では誤差が大きいことや計測に必要とする時間が長いことを考慮すると十分有用なシステムであると考えられる。また、手計測では1点の甲高を計測するだけでも長い時間を要するが、本計測システムにおいては、多くの計測点での足背高（甲高）を一度に正確にかつ比較的短時間に計測することが可能である。さらに、足底面と足側面の画像が瞬時に得られるので、体動のある人でも正確な計測が可能である。

6.7 まとめ

カメラ撮影方式により足背高も計測可能な足サイズ計測器の開発を行った。靴と足の適合性を高めるためには、靴と足のサイズの適合性や、足趾などの関節の動きを靴が阻害しないこと、甲の押さえで確実に足を固定することが重要である。甲の押さえで足を固定するためには、足背高の計測値が必要である。しかし、既開発の足背高を計測可能なシステムには、体動による誤差や足の置き位置のずれによる誤差があった。そこで、足サイズを計測可能なカメラ画像解析方式の足サイズ計測器に、足の外側に鏡を設置することで足側面の同時撮影を可能とすることにより、足サイズと足背高を同時に計測可能なシステムの開発を行った。鏡に写る像の大きさは足を置く位置によって変化するので、位置が変化しても計測可能なように、高さの較正を行うためのキャリブレーション手法の開発を行った。較正のために、既定の位置に穴をあけたキャリブレーションプレートで6箇所を撮影し、位置と高さを実寸との間で較正を行った。足背高を計測するために、足を置いた位置を特定する必要がある。そこで、足サイズ計測基準線を用いて足の置き位置を特定した。本計測システムの精度を検証するために、本計測システムと精確な計測を行うことが可能な手計測器具とで石膏足を計測した。その結果、足サイズ計測基準線上の踵骨尖点から55%位置での足背高の計測誤差は平均0.7mm、最大1.3mm、最小0.1mmであった。従来の手計測法では計測誤差が大きいことや計測にやや時間を必要とすることから、本手法は有用であると考えられる。また、本手法では体動の多い人でも測定誤差の少ない計測が可能であり、また、55%位置のみならず、足背のすべての位置の高さの計測を短時間に行うことが可能となった。本システムを改良することにより、外果端高（くるぶしの高さ）や第1趾高も計測することも可能になると考えられる。

第7章

膝スクリーホームムーブメント計測システムの開発

健全な膝においては、無荷重時には脛骨は大腿骨に対し内旋するが、膝の伸展時、大腿骨から脛骨に荷重されると、大腿骨顆部と脛骨顆部の骨頭の形状により外旋する動き（スクリーホームムーブメント：以下 SHM）が生じる。このことにより靭帯に緊張が生じ、膝関節の安定が得られる。一方、この荷重時の回旋により膝軟骨の摩耗が徐々に生じ、高齢化するに従い膝に障害が発生するようになる場合があると考えられている。また、SHM が正常に生じていない場合は、膝関節が不安定となり、このことにより膝周囲の一部の筋肉に過負荷がかかり、障害の発生する場合があると考えられている。このことから、靴によって回旋を支援する試みが行われている。

歩行時における膝関節の回旋角度の計測方法としては、画像計測などの光学的な計測法と動き検出センサを使用した計測法などが試みられている [36][37]。荒木ら [38] の磁気センサによる膝関節の回旋角度の計測では、腓骨頭と大腿骨外側上顆部の皮膚上にセンサを粘着テープによりそれぞれ固定し、2つのセンサの相対的な角度差などから膝関節の回旋角度を解析し、腓骨頭に固定したセンサ（以下、センサ 1）の高さ情報から踵が地面に着いた時点（踵接地時点）を特定し、踵接地時点前後の膝関節の回旋角度を解析している。この解析方法では、解析者が計測データをグラフ化し、グラフから目視で踵接地時点を特定する作業が必要であった。

本章では、高精度かつセンサ間の相対角度の較正が比較的短時間で行え、歩行への影響が少ない小型の磁気センサを用いた計測方法を採用し、踵接地時点の自動判別可能な計測システムの研究開発を行った。

7.1 解析方法

歩行は足を振り子運動することで行っている．そこで，腓骨頭と腓骨外果（踝）の位置関係で膝の伸張時に荷重がかかる時点を自動的に特定が可能と考えられる．そこで，荒木らの計測方式に加えて腓骨外果に3つ目の磁気センサ（センサ3）を取り付けた（図7.1）．

計測データ中の，歩行時に膝が伸展し荷重がかかる箇所（立位中期時）の特定を行うためには，足が地面に接している間の膝関節の動きを知る必要がある．そのために，詳細な解析を行うためには，踵接地時点だけでなく，立位中期時点と踵離地時点の特定も必要である．また，歩行時の平均的な膝の回旋角度の変化を確認する目的で，1歩ごとに分割した回旋角度値を時系列上で平均化することにした．

回旋角度の平均化は，事前に計測データを目視で確認し，次の手順で立脚中期時点を基準として行うことにした．

1. 計測データを1歩ごとに分割する．
2. 歩行が安定しないと考えられる歩行開始直後と歩行終了直前のデータを解析対象データから除外する．
3. 1歩ごとに踵接地時点，立脚中期時点および踵離地時点を解析基準時点として特定する．歩行時の足の動きは，図7.2のように動作をすると考えられることから，センサ1とセンサ3のY軸方向の距離の差を基準として解析基準時点の特定を試みる．
4. 1歩ごとの膝関節の回旋角度を，立脚中期時点を基準とした相対的な角度に補正する．
5. 時系列上での回旋角度の平均値を算出する．

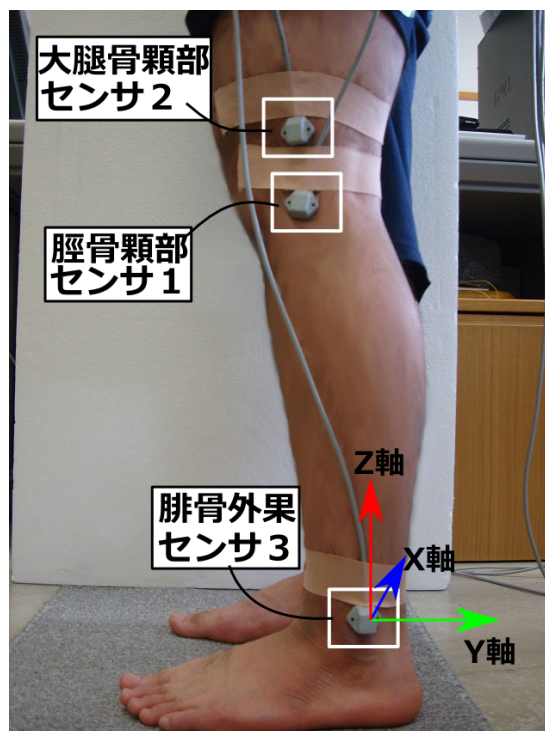


図 7.1 センサ取り付け位置

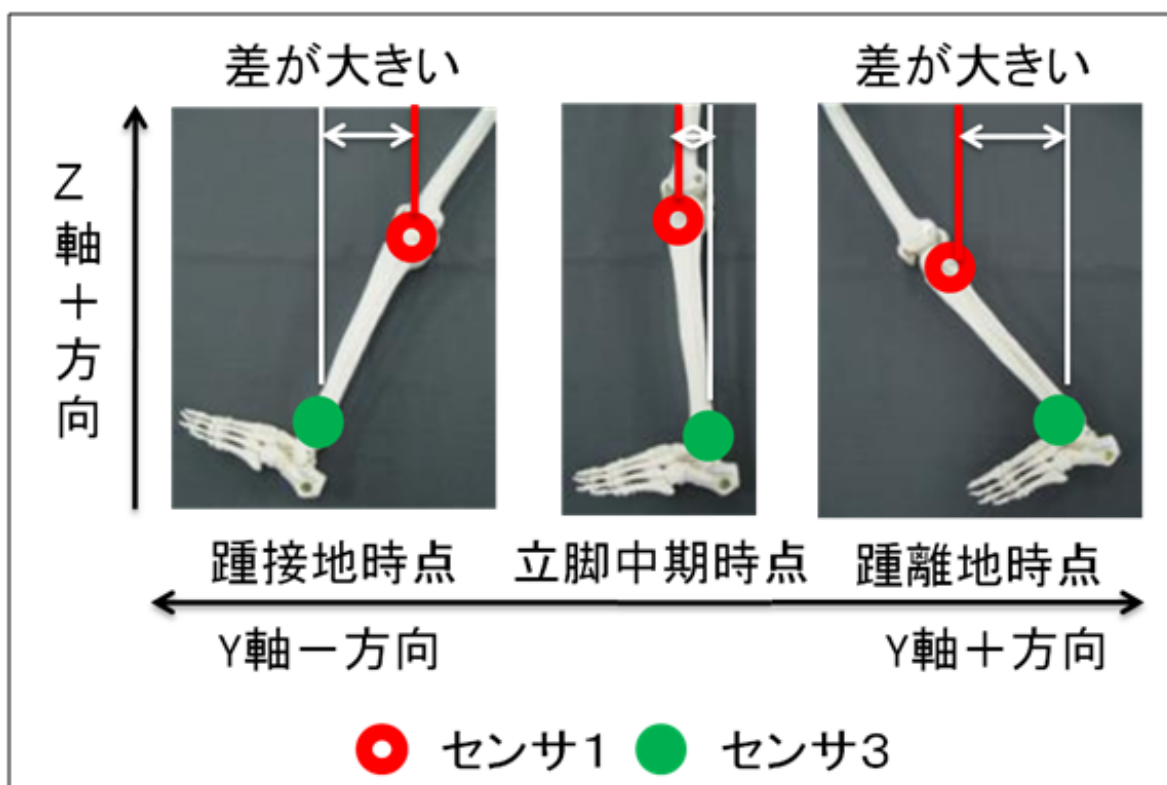


図 7.2 解析基準時点特定イメージ

7.2 開発

開発環境として Windows7, VisualStudio2005 を使用し, 実装言語として C++ を用いた.

7.2.1 計測プログラム

計測に用いた 3次元位置計測装置 (Polhemus 社製: FASTRAK) は, RS-232C を用いたシリアル通信によって各センサの位置情報を PC に送信する. 磁気センサを 3つ使用した場合の各センサに対するサンプリング周期は 40Hz であった. 計測プログラムでは, 3次元位置計測装置からのデータを受信し, 各センサの位置情報から膝関節の回旋角度と屈曲角度を算出し, CSV 形式のテキストデータとして PC の記憶装置に記録した. 膝関節の回旋角度と屈曲角度は荒木らの手法によって算出した [38].

7.2.2 解析プログラム

計測データは CSV 形式のテキストファイルとして記録したので, これを読み込み各センサの座標データをそれぞれ配列に読み込んだ. 以降, 各センサの座標データをセンサ番号座標軸の形式で, そのデータを読み込んだ配列をリストセンサ番号座標軸の形式で呼称する (例えば, センサ 1 の X 座標の座標データはセンサ 1X, それを読み込んだ配列はリストセンサ 1X と呼ぶ).

(1) 計測データの 1 歩分割

はじめに, 歩行開始前 (以下, 立位時基準時) の各センサの座標を基準値として保持した. 次に, センサ 3Z の値が一定値以上増加した箇所を足振り上げ時とし, 次の足振り上げ時までを 1 歩として計測データを 1 歩ごとに分割した. 足振り上げの閾値としては, センサ 3Z の全データの標準偏差を使用した. この際に, 歩行開始後の 10 歩と歩行終了前の 10 歩については歩行が安定しない可能性があるため除外した.

(2) 解析基準時点の特定

センサ 1Y とセンサ 3Y の計測データの差の絶対値の解析から, 解析基準時点 (踵接地時点, 立脚中期時点, 踵離地時点) は図 7.3 のようになることが分かった (それぞれ立位基準時値を減じた上で距離差を求めた). 歩行における足の蹴り出し時にはセンサ 3 (踝位置) が他のセンサの最も後方にあり, Y 軸 (進行方向) 上においてセンサ 1 (腓骨頭位置) との距離が最大となる時点を踵離地時点とすると, そこから足を前方に蹴りだすまでの間にセンサ

3 とセンサ 1 との間の Y 軸上での距離が極小値を取り，踵接地時点で極大値となる．最も膝関節に負荷が掛るのは，腓骨が地面に対して垂直近くなる位置であり，この位置を立脚中期時点とすると，踵接地後のセンサ 3 とセンサ 1 との間の Y 軸上での距離が最初に極大値を取る箇所が立脚中期時点とみなされる．この位置を解析基準時点の 1 つとした．また，3 つの解析基準時点すべてを特定できない場合には，解析失敗として処理から除外した．

まず，踵接地時点の仮定を行った．計測データの 1 歩ごとの分割は，足振り上げ時を 1 歩の区切りとして行った．この足振り上げ時は図 7.3 の踵離地時点の前になる．このことから，センサ 1Y とセンサ 3Y の差の絶対値（それぞれ立位時基準時の値を減じた）を配列に読み込み，リスト 4Y を作成し，このリスト 4Y を処理したとき，足振り上げ時から見た最初の極大点が踵接地時点であるとみなした．実際の踵接地時点ではセンサ 3Z（腓骨外果の上下方向）は立位時基準値と近くなるので，センサ 3Z の値が，立位時基準時のセンサ 3Z の値の $\pm 3.81\text{cm}$ 以内であり，かつ，リスト 4Y の足振り上げ時から見たときの最初の極大点を踵接地時点とみなした．立位中期時点は，センサ 3Z の値が，立位時基準時のセンサ 3Z の値の $\pm 3.81\text{cm}$ 以内であり，かつ，リスト 4Y の踵接地時点から見た最初の極小点の位置とした．踵離地時点は，足蹴り出し時に踵が少し浮き上がることから，立位基準時のセンサ 3Z の値の $\pm 5.08\text{cm}$ 以内であり，かつ，リスト 4Y の立位中期時点から見た最初の極大点の位置とした．1 歩ごとに分割したすべての計測データに対して以上の解析を行った．

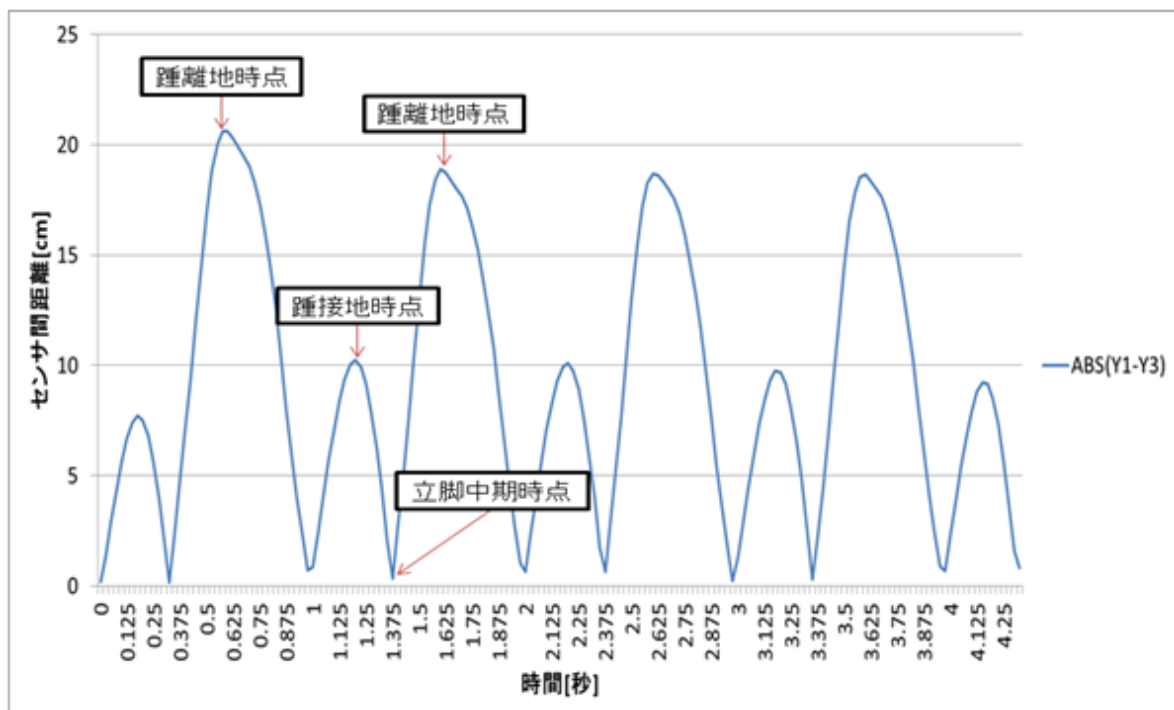


図 7.3 センサ 1Y とセンサ 3Y 間の距離

(3) 膝の回旋角度の立脚中期時点を基準とした変換

膝関節伸展荷重時点は立脚中期時点と見なし、立脚中期時点を基準にその前後の膝の回旋角度を得るために、立脚中期時点の回旋角度値を基準として1歩ごとに分割した回旋角度値を立脚中期時点との相対角度差に変換し、更に時系列上でも立脚中期時点を基準時点として相対角度差に変換した(図7.4)。図7.4中の踵接地時点と踵離地時点はすべての歩行における平均値を示している。

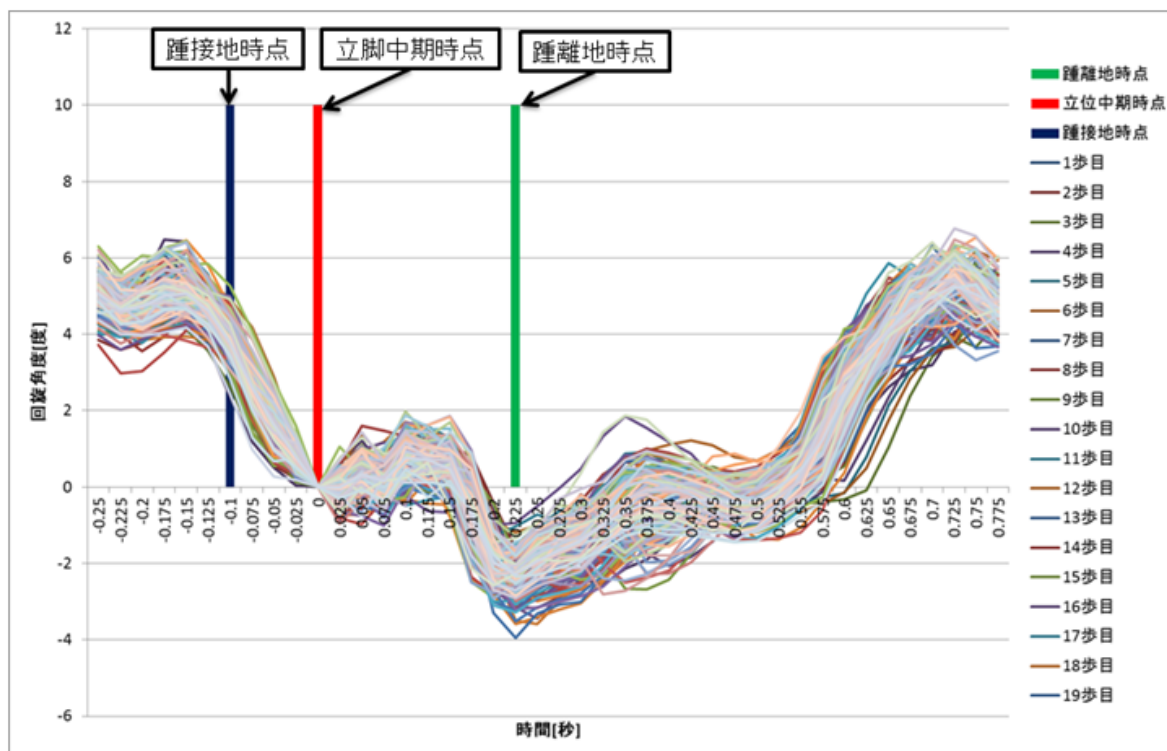


図 7.4 立脚中期点の同期

(4) 回旋角度の時系列上での平均化

時系列上の回旋角度の平均値を算出する際に、他の回旋角度の変化と大きく違ったデータがあるとそれが平均値に大きく影響する。そのため、1歩と他のすべての歩行との回旋角度値の相関を求め、相関係数の平均値が0.7未満のものを除去し、それ以外のものについて時系列上で平均値を求めた。

7.2.3 検証実験

本手法による解析方法の妥当性を検証する目的で、2010年4月29日に男性2名と女性2名、2010年7月2日に男性4名の計8名を対象に、実験を行った。実験参加者は歩行に影響を与えるような外傷や痛みのない健常な成人とした。使用した磁気式3次元位置計測装置は、磁界発生器（トランスミッタ）を中心に半径75cmの半球内のセンサの3次元座標とオイラー角の6自由度を計測する。そのため、トランスミッタは床面から75cm以上かつ実験参加者の体節に取り付けた3つのセンサが75cmの範囲から出ないように設置した（図7.5）。また、計測装置本体や記録用PCはトランスミッタの発する磁界に影響を与えないよう、トランスミッタから2m以上離れた場所に置いた。センサを図7.1の位置に固定し、歩行に問題がないことを確認した後に計測を開始した。計測データおよび解析結果の妥当性を検証するためにビデオカメラ（SONY社製：HDR-UX7、SANYO社製：DMX-FH11）で前方、後方および右方向から下半身の撮影を行った（図7.5）。使用したビデオカメラの撮影コマ数は30フレーム/sであった。実験参加者はそれぞれ裸足と靴を装着した状態で、男性は5km/h、女性は4km/hに設定したトレッドミル上を3分間歩行した。

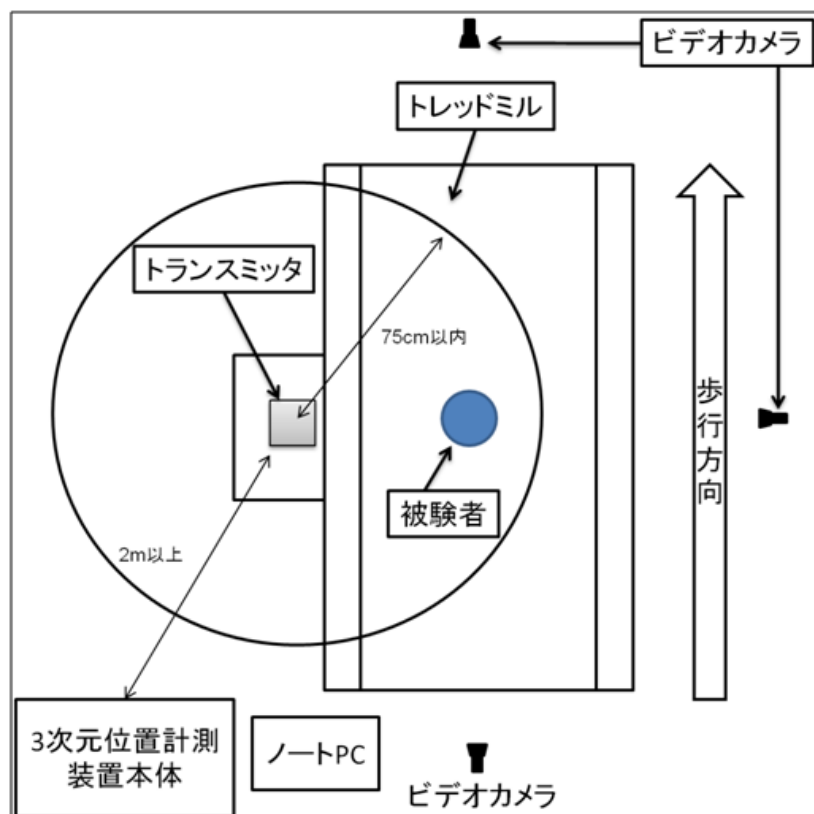


図 7.5 実験環境

7.2.4 結果

すべてのデータについて踵接地時点，立位中期時点および踵離地時点の3箇所を特定できたうちの40歩分の歩行データを抽出し，自動的に特定された3時点のデータ上の動きと撮影映像を目視により比較した．計測データのサンプリング間隔が1/40sに対して，ビデオカメラによる撮影は1/30sであったので，完全な一致を確認することはできなかったが，1/15sの精度で3時点を特定できていたことを確認した．

図7.6と図7.7に男性1名，女性1名それぞれについての裸足と靴装着時の解析結果を示す．図は計測したデータを前述の解析方法によって生成した時系列上の回旋角度の平均値をグラフ化したものである．すべてのデータで膝伸展時に大腿骨に対して腓骨が外旋するというSHMが確認できた．また，個人差や，裸足と靴装着時の差はあるが，踵接地時点から外旋傾向が弱まり内旋傾向に転じ，立脚中期時点から再び外旋傾向を示している．

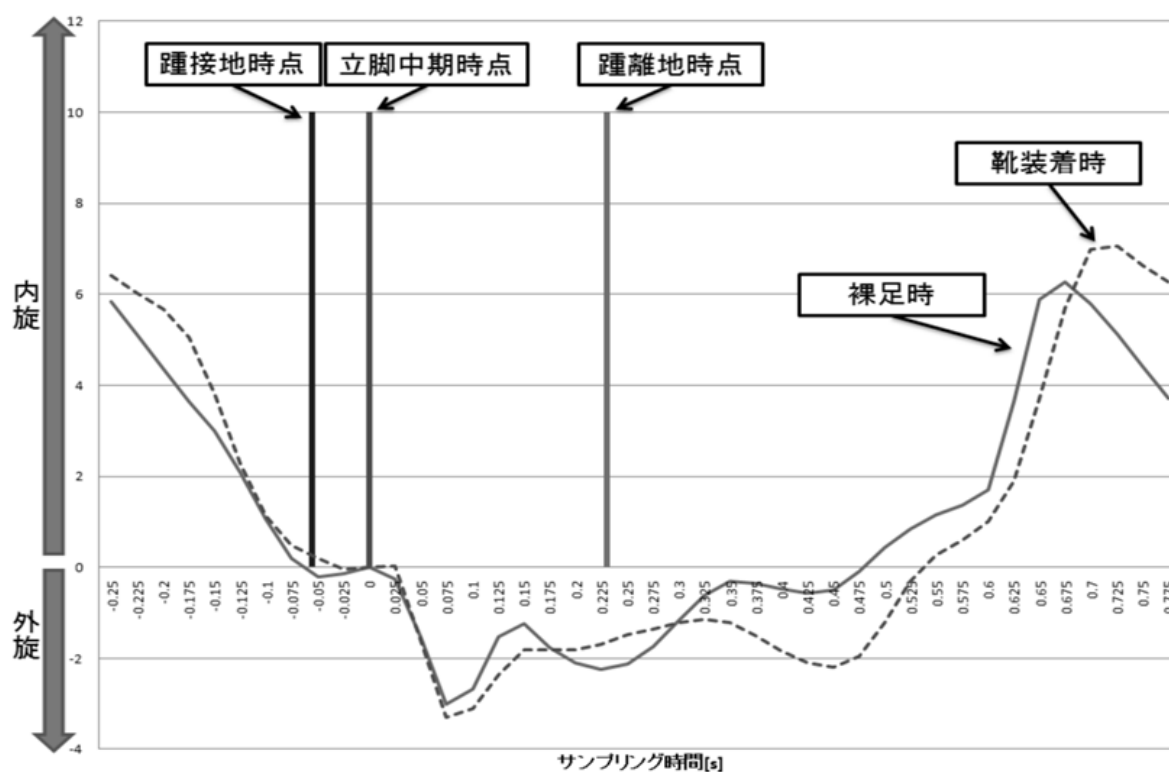


図 7.6 解析結果表示例 (健康者・男性)

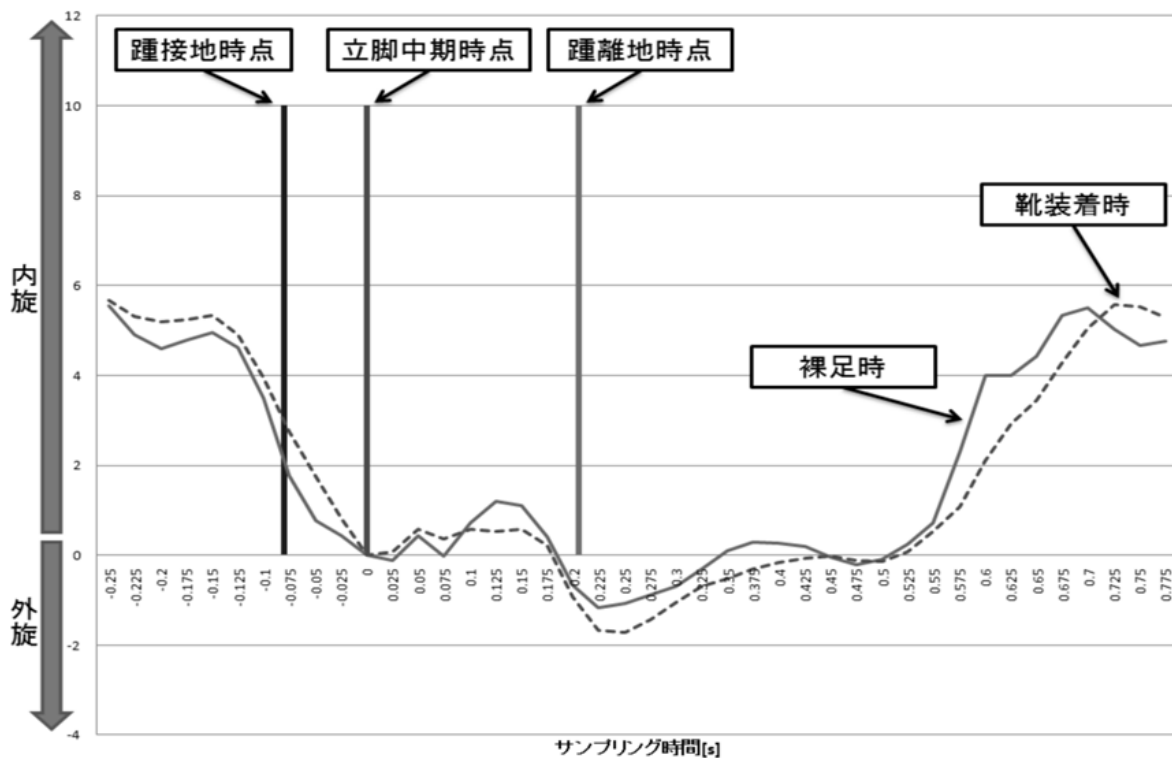


図 7.7 解析結果表示例（健常者・女性）

7.2.5 考察

健常者 8 名の裸足と靴装着時の計 16 回の歩行実験データにおける踵接地時点，立脚中期時点および踵離地時点を 1/15s の精度で特定できた．また，足の接地時の時系列上の膝の内旋・外旋傾向に個人差および裸足と靴装着時において差のあることを確認できた．さらに，本計測においては，データ解析を自動化することができた．これらのことから，立脚中期時点を基準とした膝関節の回旋角度を解析する本システムの方法は，歩行時の膝関節回旋にかかわる問題点を解明する上で有用と考えられる．

7.3 まとめ

膝の伸展荷重時の膝関節の回旋角度を計測および解析する磁気方式計測システムの開発を行い，妥当性の検証実験を行った．その結果，本研究で考案した踵接地時点，立脚中期時点，踵離地時点の特定方法による解析時点が，画像計測による時点と 1/15s 以内の精度で一致することを確認できた．また，立脚中期時点を基準とした膝関節の回旋角度の時系列上の平均値を求めることで，歩行時の平均的な 1 歩における膝関節の回旋に関する解析値を求めることができた．また，その解析結果の表現方式は膝関節の回旋を評価する上で有用であることを示すことができた．

第 8 章

結論

本章では，第 I 部によって得られた成果を述べる．

8.1 キャリブレーションシステムの開発

レンズを通した撮影画像には光学歪みが存在する．本足サイズ計測器では，ガラス四隅の 4 点のみで補正を行っていたので，光学歪みを十分に補正できていなかった．光学歪みを補正するためには，点の密度を高める必要がある．このために，周囲の光源から光を取り込み発光する，自己発光型キャリブレーションプレートの開発を行った．その方式としては，アクリル板に規則的に穴をあけてガラス面に置き，画像認識によってキャリブレーションパターンを読み取る方式である．その結果，キャリブレーションパターンの認識が容易となり，本システムでの計測誤差は最大 0.98mm，平均 0.61mm，標準偏差 0.26 となった．この計測精度は足サイズ計測においては十分な精度といえる．

8.2 足サイズ計測基準線の自動決定法

足サイズ計測においては，足サイズ計測基準線を決定する必要がある．このことから，足サイズ計測基準線の自動決定法の開発を行った．足の輪郭線において，2 点間の最長線となる点は，爪先部と踵部の間に定まる．そこで，この最長線となる 2 点を暫定の点として，第 2 趾の決定を行い，最後に踵骨尖点を決定するという自動決定法を考案し開発を行った．その結果，足サイズ計測基準線の自動決定では 588 件中 586 件で第 2 趾尖点と踵骨尖点を決定することができた．また，手動決定と自動決定における計測値の差は，足長の平均 0.6mm，最大 2.0mm，足幅においては平均 0.5mm，最大 2.5mm となった．これにより，計測者による誤差のない足サイズ計測が可能となった．

8.3 足背高計測法の開発

足背高は、足に適合する靴の製造や靴の選択に必要な情報の1つである。しかし、これまでの本足サイズ計測器は、足底面からカメラ撮影を行うために、足背高を計測できなかった。そこで、足置きガラス面の側面に59.5度に傾けた鏡を設置することで、足底面と同時に鏡面に写る足側面を撮影可能とした。ガラス板上に立ったときの足の位置によってカメラとの距離が変わる。それにともない鏡面に写る足側面の大きさも変わる。足背高を計測するためには、ガラス板上の足の置き位置と鏡面像と間での長さの関係について較正を行う必要がある。較正のために、既知の間隔で穴をあけたキャリブレーションプレートを各鏡に対し近位、中位、遠位の3箇所撮影した。本手法では足背高の計測は、足底面の計測箇所を決定する必要がある。足のアーチ構造は、荷重時は第2趾をなす骨が最も高くなる可能性がある。計測箇所は足サイズ計測基準線を基にして決定した。その結果、基準線55%位置での足背高の計測誤差は平均0.7mm、最大1.3mm、最小0.1mmとなった。手計測では、最も簡単に計測できる足長においても誤差が大きいことや計測に5分程度の時間が必要であることを考えると、本計測手法は有用であると考えられる。

8.4 膝スクリーホームムーブメント計測システムの開発

スクリーホームムーブメント(SHM)が正常に生じていない場合は、膝関節が不安定となり、このことにより膝周囲の一部の筋肉に過負荷がかかり、障害の発生する場合があると考えられている。このことから、靴による回旋を支援する試みが行われている。SHMを計測するためには、踵接地時点を特定する必要がある。踵接地時点、立脚中期時点および踵離地時点は、腓骨頭と大腿骨外側上顆部および腓骨外果のセンサの位置情報によって、判定できると考えた。この方式によって計測を行った結果、1/15sの精度で3時点を特定できた。歩行における膝回旋運転の計測が可能となったことで、裸足と靴装着時の膝関節の回旋に関して比較を行うことが可能となった。

8.5 第I部まとめ

歩行は重要であり、靴は人が歩行するために必須の道具といえる。歩行の支援を行うことは、人の健康の維持・増進にも繋がるといえる。そこで、第I部では、靴製造上または靴選択時の足サイズ計測において、簡便であり、誰もが計測することが可能であり、かつ高い精度の計測システムの開発を行った。また、歩行時の膝関節の動きを計測するために、膝スクリーホームムーブメント計測システムの開発を行った。これらのシステムを活用することで、人々の移動をより快適にするための靴製造および靴選択が可能になると考えられる。

第II部

情報科学技術を用いた 自動車の安全運転支援に関する研究

第9章

序論

古来より人が生存し続け繁栄するためには、より多くの食料を獲得し、それを保存可能な場所に輸送することが必要であった。人の移動や輸送手段としては、自身の歩行（走行）機能によるものが基本であったが、時代の変化にともない、馬車や牛車、手押し車、船舶、鉄道車両、自動車、飛行機など、人の歩行機能によるものよりも効率的に多くの物を輸送できる動力が利用されてきた。このうち、鉄道車両や自動車などの、人や動物の体力に依存しない動力による移動可能な自動車が発明されると、飛躍的に人の行動範囲は広がり、より多くの物を距離の離れた地域まで運ぶことができるようになった。このように、人類が地球上での生存競争において優位に立ち続けてきた背景には、人や物の輸送手段の発達が大きく影響してきたといえる。

日本では20世紀後半において自動車中心の社会になった。図9.1は日本の人口（18歳未満含む）に対しての自動車保有台数をグラフにしたものである[39][40]。自動車保有率は昭和41年から伸び続け平成20年に最大となっている。平成23年においては、自動車保有台数は約7,800万台であった。

9.1 自動車への輸送の依存度

近年では、人や物の輸送は自動車によって行われる割合が大きくなっている。図9.2は物の輸送における自動車、鉄道、船舶（内航海運）、航空機（国内航空）の重量での分担率を示したものである[41]。自動車は昭和60年から全輸送量の90%以上の重量を担っている。図9.3は、貨物の重量と移動距離から見た各輸送機関の分担率を示したものであり、輸送距離を考慮した場合でも自動車の輸送分担率は増加傾向にあり、昭和62年では約50%であったが、平成18年では60%を越えている。図9.4および図9.5は、人の輸送における各輸送機関の分担率を示したもので、輸送人数においての自動車の輸送分担率は平成7年以降73%を超えており、人数と輸送距離の双方の視点からは自動車の輸送分担率は、平成2年以降

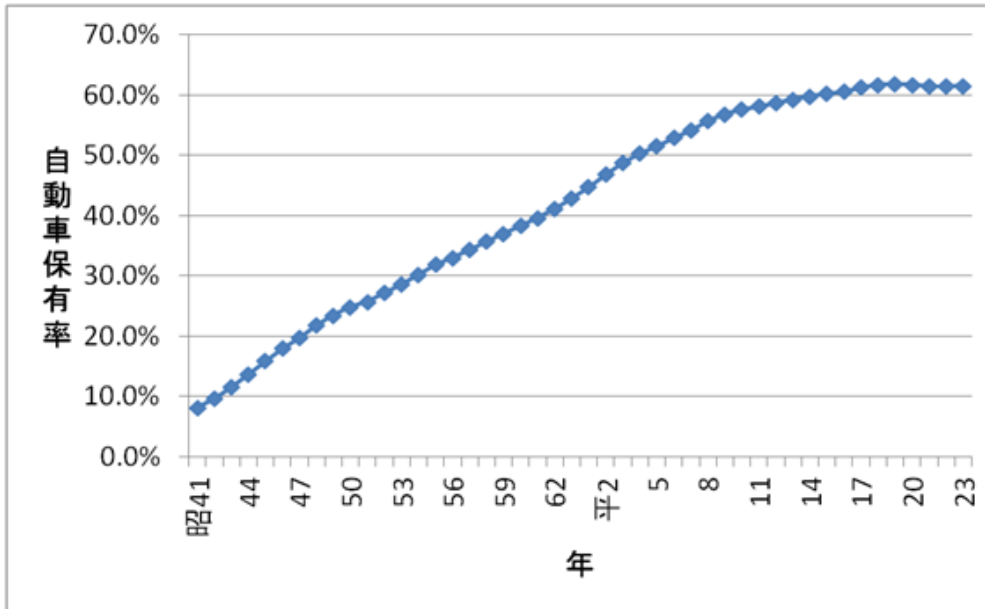


図 9.1 日本における自動車保有率

約 66% である。このように、人や物の輸送における自動車の分担率は高く、現代の社会生活や産業において重要な役割を果たしているといえる。また、自動車の輸送における高い敏捷性や個別対応性に関しては、他の輸送機関での代替が難しいこともあり、今後も人や物の輸送における自動車の分担率は高い値を維持してゆくと考えられる。

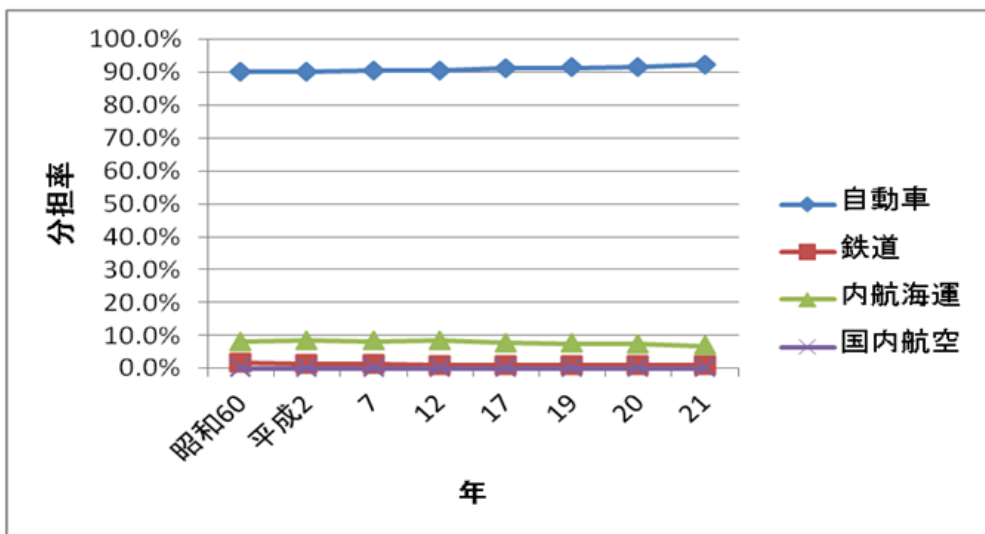


図 9.2 貨物輸送における各輸送機関の分担率 (重量当たり)

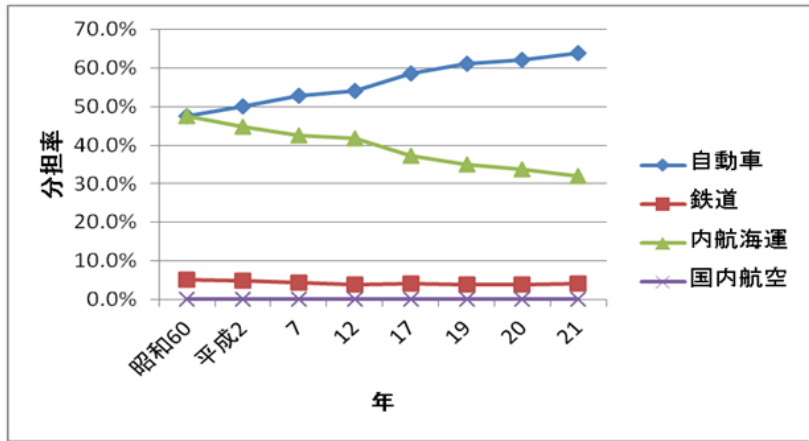


図 9.3 貨物輸送における各輸送機関の分担率（トンキロ）

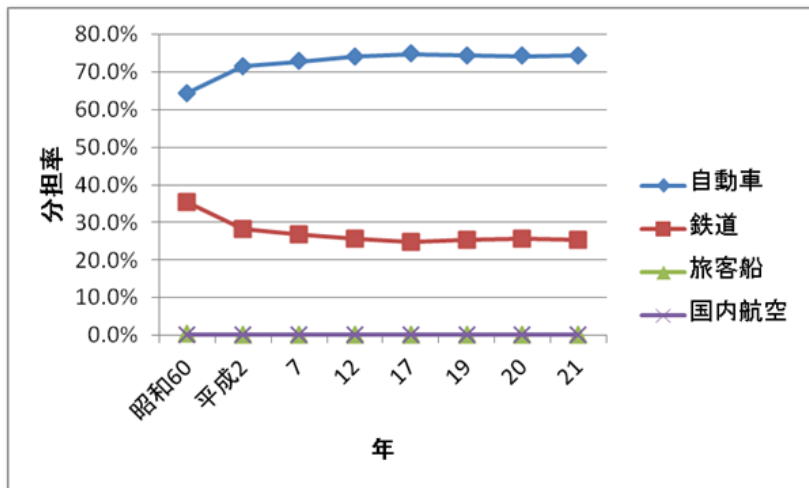


図 9.4 人の輸送における各輸送機関の分担率（人数）

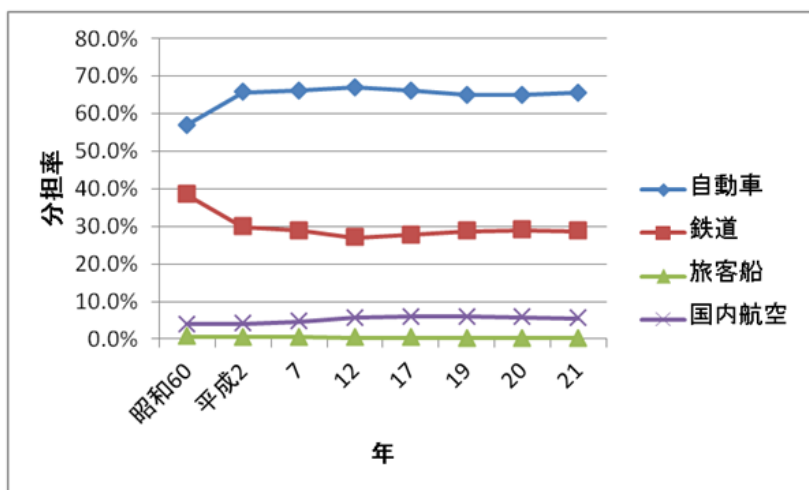


図 9.5 人の輸送における各輸送機関の分担率（人・キロ）

9.2 社会基盤としての自動車交通の問題点

自動車は人や物の輸送において重要な役割を果たしている。しかし、自動車利用の割合が高くなるに従って、自動車による交通事故の増加が社会問題となってきた。図 9.6 は昭和 45 年の交通事故発生件数、死者数および負傷者数を 100 として、それらの推移を示したものである [42]。昭和 45 年の交通事故発生件数は約 71 万件、死者数は約 1.6 万人であった。昭和 45 年を 1 つの頂点として交通事故は減少傾向にあったが、昭和 52 年を境に再び上昇に転じ、再度平成 12 年～17 年を頂点として減少傾向に転じている。ただし、平成 23 年では、自動車による交通事故は 691,937 件発生しており、854,493 人が負傷している [42]。図 9.7 に示すように、交通事故にともなう社会的な損失額は 3 兆 2069 億円を上回ると分析されている [43]。

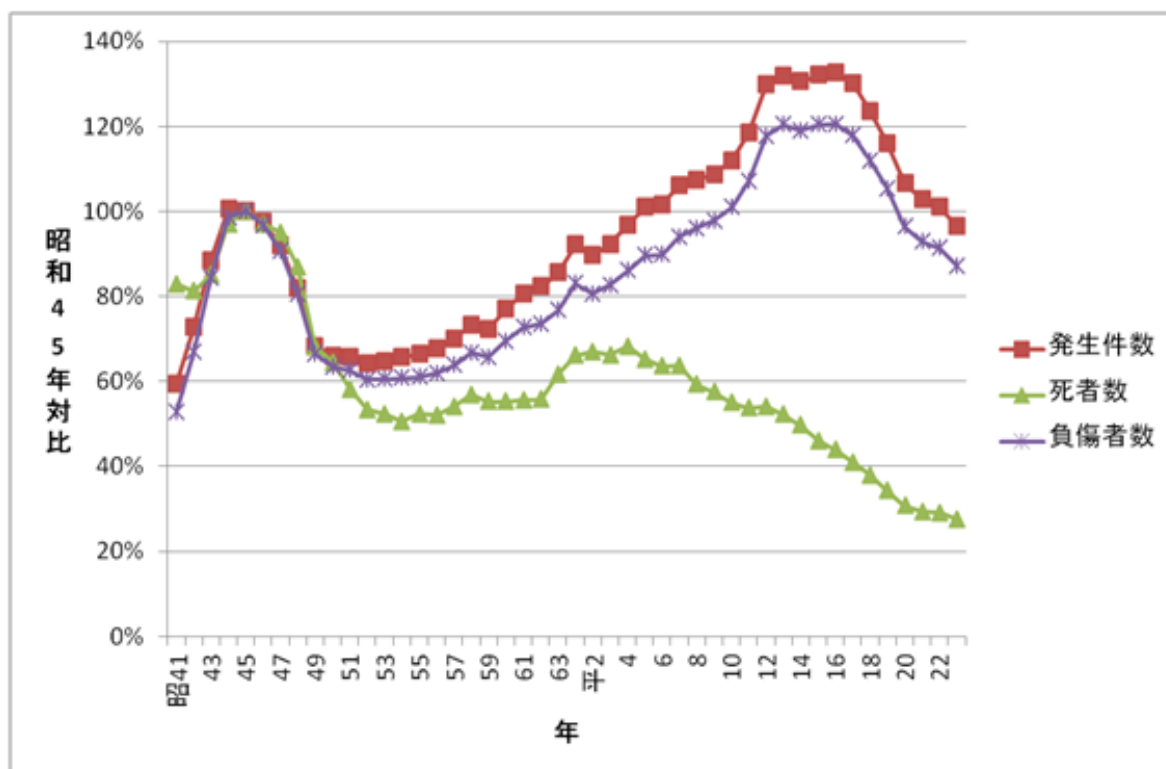


図 9.6 交通事故統計

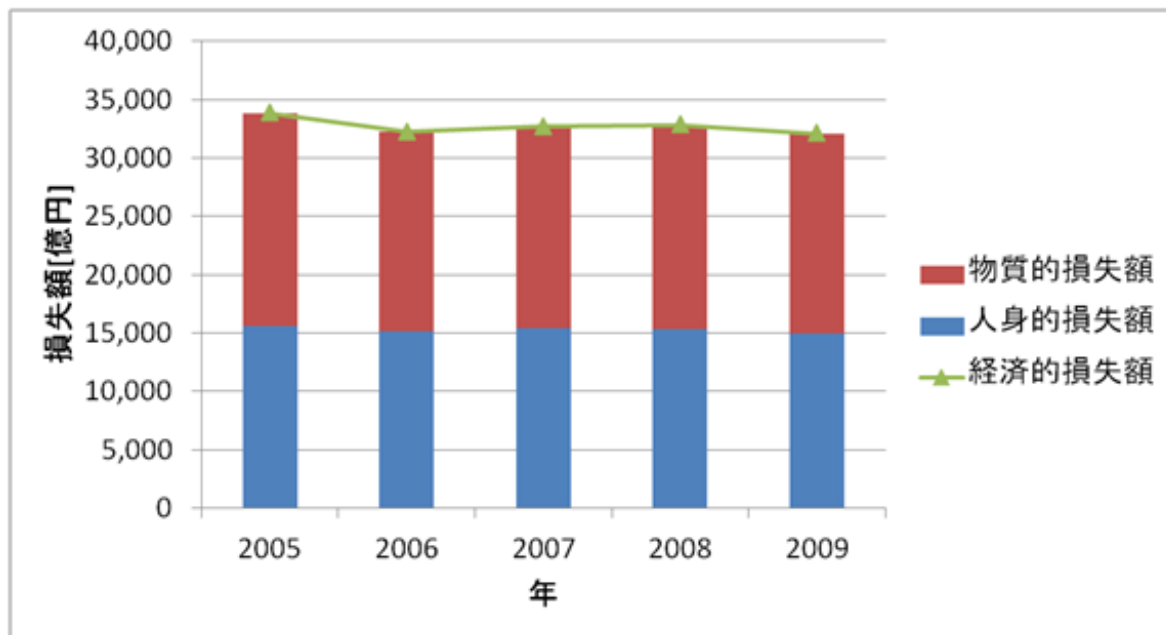


図 9.7 交通事故による損失額の推定

9.3 これまでの安全運転システムの開発・研究

自動車の利用により、人は方々に移動でき、また、広い範囲で種々の産物の流通が可能となった。現在では、自動車なしの社会生活、あるいは産業の維持は困難であるといえる。しかし、その反面、自動車事故による社会的な損失は多大であり、自動車事故の防止は現代社会において大きな課題であるといえる。このようなことから、自動車事故防止の取り組みも種々されてきている。

安全対策としては、衝突防止対策と衝突時の被害軽減対策がこれまでされてきた。自動車開発初期の衝突防止対策としてされてきたのは、制動（ブレーキ）装置と方向制御（ステアリング）装置の性能向上であった。衝突時の被害軽減対策としては、衝突時に乗員が衝突する可能性のある車室部位における衝撃緩和対策（例えば、ステアリングコラムの収縮機能付加や車室内への衝撃緩和パッド装着など）が取られてきた。工業製品の品質が向上するに従い、能動的交通事故対策も試みられている。

一方、自動車事故による損失が大きいことから、自動車運転事故防止のための運転支援システムの開発・研究が国家プロジェクトとして世界的に進められている。例えば、米国においては、20%の致死事故減少を目標に、開発・研究が進められている。このプロジェクトにおいては、ナイトビジョンシステムや運転者の低覚醒状態検出、衝突警報システムの開発が主に計画された [44]。AHS（Advanced cruise-assist Highway Systems、または、

Automated Highway Systems) 研究組合においては、車両単独の装備で、あるいは道路上に設置した車両センサなどの支援によって、追突事故、車線変更時事故、単独事故、および交差点の事故防止システムの開発が進められている。VSCC(Vehicle Safety Communication Consortium) では、安全運転支援のための路車間協調(道路上の設備と車両搭載システム間の協調) とその間(路車間) の通信、車両間(車車間) 通信の研究やこれらにデジタル地図を活用するための研究が行われている。また、2010 年から 2015 年計画として、運転支援のための車車間通信(Vehicle-to-Vehicle) , 車両道路施設間通信(Vehicle-to-Infrastructure) , リアルタイムデータ取得や管理などの研究がなされている。2015 年以降の政策方針については未定である [45] .

ヨーロッパ連合(EU) では、2020 年までに交通事故死者数を半減するという目標の下で、研究が行われている [46] . ITS の安全運転支援としては、第 1 に、自動車およびトラックの安全対策強化である。具体的には ESC(横滑り防止装置) の義務化、車線逸脱警報システムの義務化、自動急ブレーキシステムの義務化、シートベルトリマインダーの義務化の目標が設定され、実行に移されている。そして、小型商用車やバンへのスピードリミッタの義務化も検討されている。第 2 の目標は路車間通信の強化を行い e-Call(交通事故時に速やかにセンターに連絡するシステム) の導入の加速などである。

日本では、警察庁、通商産業省、郵政省(郵政省の情報通信部門は自治省と総務庁とが統合され、2001 年に総務省と名称変更) , 運輸省、および建設省(省庁再編により運輸省と建設省は統合され 2001 年に国土交通省と名称変更) の支援で、1994 年 1 月に道路・交通・車両インテリジェント化推進協議会(VERTIS: VEHICLE, Road and Traffic Intelligence Society ; 2001 年に ITS Japan と名称変更) が発足し、ITS 分野の研究開発および実用化の推進役となっている。1996 年 7 月に「高度道路交通システム推進に関する全体構想(ITS 全体構想)」が策定され、以降、産学官の積極的な連携の下、国家プロジェクトとして推進されてきている [47] . 研究・開発の第 1 段階で達成されたのは、ナビゲーションシステムの高度化であった。そのシステムの 1 つとして、VICS(Vehicle Information and Communication Systems) は 1996 年にサービスを開始した。安全運転支援においては、ASV(Advanced Safety Vehicle) の研究・開発がなされ、車間距離維持優先自動速度制御システム(Adaptive Cruise Control System = ACC) を装備した車両が 2002 年には約 17 万台が出荷されている [48][49] . その他、車車間の通信や道路システムと路車間の協調システム(AHS:走行支援道路システム) , 安全運転支援システム(DSSS : Driving Safety Support Systems) の研究・開発、あるいは実証実験などが行われてきている。次の段階で期待されているのは、運転者の認知、判断、操作の支援システム、道路状況の検知と運転者への通報システムおよび高齢運転者のための知覚と操作支援システムの開発とされている(表 9.1) .

表 9.1 日本における ITS 道路交通の安全性向上の目標 [47]

自動車の高知能化	ブリクラッシュセーフティなどのアクティブセーフティ技術を活用し、自動車単体での安全性向上を図る。特に、一旦事故が発生すると重大な事故となりやすい大型トラックについては、その特性を踏まえた技術開発を推進。
インフラの高度化	道路状況・路面状況、交通渋滞などは情報板等によりドライバに情報提供されており、今後はより精度の高い旅行時間等や交差点における車両・歩行者等の検知技術により情報提供を充実。
車車間協調および路車間協調	自動車単体では対応できない事故への対策として、ワイヤレス技術を活用した車車間協調及び路車間協調の安全運転支援システムについて、実用化に向けた研究開発等の取組み。
歩行者や自転車の安全支援	歩行者や自転車、二輪車と走行車両を検知し、相互の位置や接近状況を情報提供し、交通弱者の事故を減少。
交通事故負傷者の救助・救急の高度化	自動化等による交通事故通報の迅速化、救急車両の現場への到達時間の短縮化、事故現場または搬送中の迅速・的確な応急措置など、負傷者搬送と救急医療支援の高度化。

9.4 安全運転支援システムの問題点

人の誤りの出現確率は 1/1000 程度との推定がある [53]。それに対して現状の ITS システムにおいて使用される磁気式レーンマーカの誤・未検出率は 1/10000 である [54]。このようなことから、完全自動運転システムの開発も試みられている。しかし、衝突可能性のある多様な対象を人と同じように認識する情報処理システムの実現は困難であることから、現在のところ、走路を完全に制御できる場合を除き、一般の道路での使用は困難視されている。

車間距離維持優先自動速度制御システム (Adaptive Cruise Control System : ACC) が開発され、既に市販が開始されている。このようなシステムの信頼性は、理論的には人間よりも高くできる可能性はあるが、故障の可能性は無ではない。また、距離測定システムの測定範囲にも限界がある。このようなことから、現在は、完全自動化による事故防止システムとしてよりも、衝突時の速度を低減させるシステムとして装備されている。このシステム (ACC) において、停止距離以上の車間距離を保持して走行するように設定しておけば、衝突そのものも防止できると考えられる。例えば、高速道路において衝突を防止しようとするとき、100m 以上の車間距離を保持しての走行が必要な場合もある。ただし、このように大き

な距離を安定的に測定できる安価な距離計は、現在のところ入手は困難である。また、方式によっては、近距離であっても測定の困難な物体もある。測定不能の場合や動作が異常となった場合に、運転者がシステムの異常に気づき、対処を始めるまでの時間は、完全自動運転の場合（遠隔操作による他者の運転の場合）、運転開始 5 分、10 分、30 分後においては 1.1 秒、60 分後では 1.9 秒となることが報告されている [50]。また、ACC 使用下では、運転者においては疲労の抑制が見られるも、一方では脳の覚醒水準が低下しがちとなる。このような状況では警告があっても人が対応するまでに 3 秒程度を要するとの報告もあり、対応の遅れが発生する場合も考えられる [51][52]。人の時間特性を考慮すると、ACC 使用下では、衝突防止のためにはかなり大きな車間距離で走行するようにシステムを設定することが必要となる。ただし、車間距離測定システムの信頼性の問題から、現在、市場に投入されているものは、かなり接近して制動が自動的にされるものである [48][49]。したがって、現在の殆どが、時速 30km 程度以下であれば衝突を回避できるものであるが、それ以上の速度の場合には損（傷）害度低減のためのシステムといえる。また、最終的な判断は人に行わせるので、誤ってアクセルやブレーキ操作の介入を行うとシステムが解除されてしまうという問題点も残っている。現状では、衝突可能性のある物体や転落箇所を誤りなく検出できるものはないといえる。これが、衝突防止支援システム開発の大きな障害となっている。

反応の遅れや居眠りまたは操舵限界を超えた速度での走行が原因とされる曲線部での正面衝突や単独事故を減少させるために、車線維持支援システムの開発が行われ実装も始まっている [55][56]。居眠りによる対向車線への逸脱防止には車線維持システムは有効であると考えられるが、マーカの方式によっては雨や霧などの状況では車線分離線の認識が困難であることから機能しないシステムもある。また、曲線部のマーカが常に有効となるよう、平素より維持管理しておく必要がある。

交差点事故防止システムは、交差点での自動車、自転車および歩行者との衝突事故防止のために、それらの検出やその情報の通報可能なシステムを設置し、運転者へ警告を与えるシステムである [57]。しかし、システムをすべての箇所に設置するのは、財源的に困難である。また、交差点に接近している自動車や自転車、歩行者の移動方向をすべて予測するのは困難であると考えられる。システムの設置箇所と未設置箇所が混在している場合には、設置されていない箇所での事故の多発も懸念される [58]。

9.5 安全運転支援システムの普及を困難にする要因

Wild によると、人には一定水準のリスクを維持する傾向があり、道路や自動車の安全度が高まると、その一方では人はリスクを一定水準まで高めるために、より危険な行動をする場合があるとされている [59]。多くの方は、法定速度を知っているにもかかわらず、法定速度を無視した速度で走行している。これは、運転者が法定速度を無視したときに発生するリ

スクを軽視しているためであると予想される。また、制限速度以下走行制御（ISA）機能付きの自動車に賛意を示した者は約 33% であったという [60][61]。これらのことから、ITS による安全運転支援システムが開発されたとしても、交通事故は一定水準に留まるとも考えられる。システムをより効果的に使用するためには、運転者の安全運転への意識も高める必要がある。しかし、日本では、運転者が交通安全について学ぶ機会は運転免許更新時だけであり、免許取得後は無に等しい。平成 22 年において、日本の運転免許保有者は約 812 万人とされている [62]。日本の総人口は平成 22 年時で約 1,280 万人であるので、運転者人口は日本人口の約 63% となる。これだけの運転者数を安全運転研修などによって教育するのは困難であると考えられる。

9.6 第 II 部の目的と構成

交通事故は速やかに解決すべき社会的に大きな課題である。システムの観点から交通事故防止の研究が多く行われているが、運転者の安全運転への知識や意識を高めなければ、根本的な解決には至らないと考えられる。しかし、運転免許取得後に安全運転の教育を行われる場は無に等しい。また、車は閉じた空間であるので教育するには同乗して直接教育する必要がある。そのためには、多くの指導者と多くの時間を必要とする。さらに、運転者が積極的に安全運転を実行するような意識改革を行うためには、危険な運転の非効率性（安全運転は効率的であるということ）を明らかにする必要がある。そこで、情報科学技術を用いることにより、危険な運転の非効率性を明らかにし、遠隔地から複数の運転者を効率的に安全運転について管理・教育・支援できるようにするための研究を行う。

第 9 章では安全運転の考え方・教育法を述べ、第 10 章では安全運転管理・教育システム ASSIST の概要について述べる。第 11 章では運転者の意識を改善するために、旅行時間と不安全割合の関係を明らかにする。また、先急ぎ運転の損得について数値的に解明する。第 12 章では運転行動データの解析を行い、不安全箇所の検索法を考案・開発した。第 13 章ではこれらの基礎的な研究結果に基づき Web システムを用いた安全運転管理・教育ソフトウェアの開発を行った。第 14 章において第 II 部により得られた結果を総括する。

第 10 章

安全運転の考え方と教育方法

コンピュータや通信機能を利用した安全運転支援システムの研究開発が進められているが、自動車運転事故の発生メカニズムの解明なしに、有効な安全運転支援システムの開発は困難といえる。図 10.1 は法令違反別交通事故件数の推移を示したものである。安全不確認が最も多く、次いで脇見運転、動静不注視と、危険な状態を知覚できていない場合に発生したものが上位を占めている。このことから、交通事故は進行方向上の衝突を回避すべき事象に気付いていない、あるいは気付くのが遅れたことによって発生することが多いといえる。

自動車の安全運転とは、道路交通法を守った運転、注意した運転であると考えられる人が多い。しかし、どのような運転が注意した運転であるかは、具体的には示されていない。また、人は高い注意状態を長時間維持し続けることが困難である [63]。停止すべき事象に気付けたとしても、停止距離よりも長い車間距離が保持されていなければ事故を回避することのできない場面もある。さらに、道路交通法を守った運転が安全運転と回答する人であっても、遵守している人はごく少数である。このことから、道路交通法の遵守が困難な理由が人にはあると考えられる。

平成 22 年中に発生した車両相互の事故で最も多いものは追突事故であり、234,993 件（全事故 624,773 件中の約 37%）発生している（図 10.2）。このうちの 205,560 件（約 87.5%）は駐停車中の車両への衝突である [65]。そこで本章では、全交通事故中で大きな割合を占める追突事故（約 37%）と交差点での出会い頭衝突事故（約 31%）の発生メカニズム、およびその防止方法について述べる。

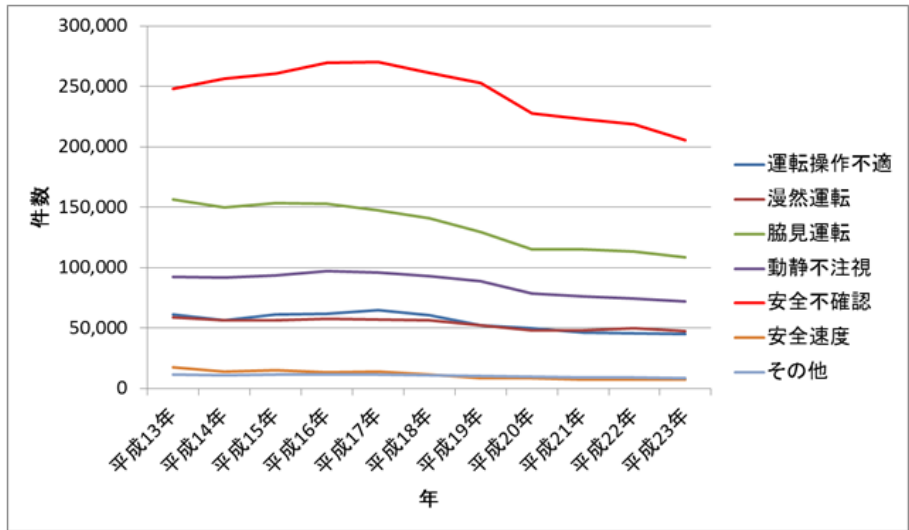


図 10.1 法令違反別交通事故件数の推移

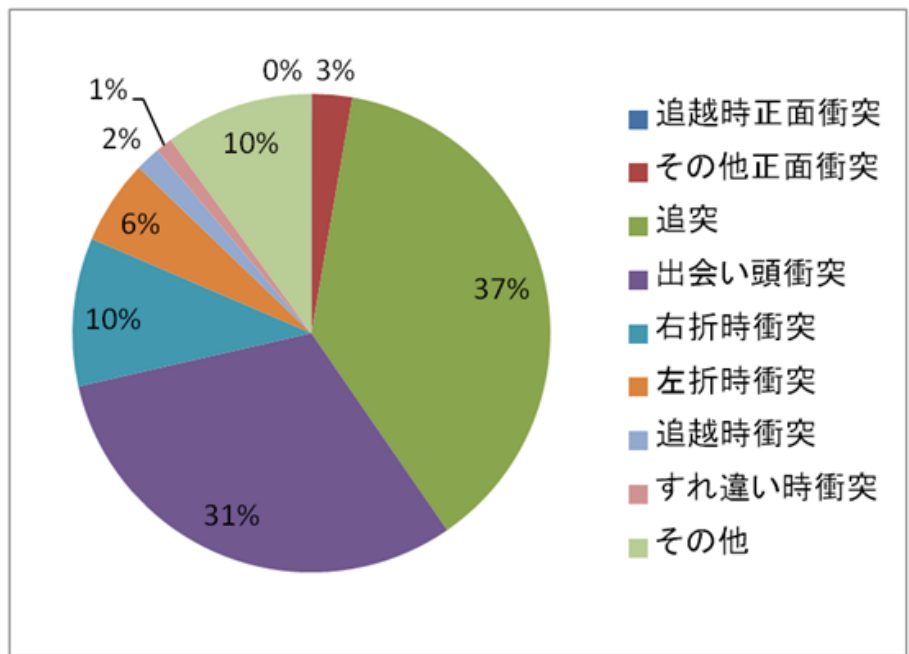


図 10.2 車両相互における交通事故類型（平成 22 年中）[64]

10.1 追突事故防止

自動車運転事故の殆どが当該車両と他の物体（歩行者や他の自動車，道路上の構造物）との非意図的衝突によって発生しているといえる．これらの非意図的衝突は，当該車両の進行

方向上に存在する最も近い障害物までの距離（以下，この距離を進行方向空間距離と呼ぶ）が当該自動車の停止距離（空走距離 + 制動距離）よりも短かったために発生したと考えられる．よって，追突事故は，“当該車両の進行方向空間距離 < 当該車両の停止距離”という関係が生じたときに発生する可能性があるといえる（図 10.3）．現実には多くの運転者が停止距離よりも短い車間距離（進行方向空間距離）で走行している．東名高速道路の追越車線で測定した各車両間の車間時間の最頻値は約 1 秒であった（この車間時間測定時の速度の最頻値は時速 90km）[66]．時速 90km の場合の停止距離は約 83.1m となり（運転者の反応時間：1.5 秒，路面の摩擦係数：0.7，車輪固定条件の場合），時速 90km での安全車間時間（停止時間より車間時間の長い状態）は約 3.4 秒以上となる．すなわち，多くの自動車は停止距離よりも短い車間距離で走行している．ただし，多くの人が停止距離よりも短い車間距離で走行しているが，実際に交通事故が発生することは稀である．それは，走行中においては前方の車両がその場で停止しない限り，実質的な停止距離は前方の車両が停止するまでの距離（前方の停止距離）を加えたものとなるためである．それゆえに，殆どの運転者は停止距離よりも進行方向空間距離が短い状況に衝突の危険性があるということに気付かない．また，追突事故の約 87% は停止状態の自動車への衝突である．すなわち，前方の車両が急停止し制動距離が著しく短縮する場合，あるいは，前方の車両が衝突するなどしてその場で停止するような状況が発生した場合には，進行方向空間距離が停止距離よりも短い走行をしている車両は衝突を回避できないことがある．このことから，追突事故は停止距離よりも進行方向空間距離が短いことによって発生するといえる．以上のことから，追突事故を防止するためには，停止距離以上の進行方向空間距離を保持して走行することが重要であるといえる．

したがって，前方車両の運転行動にかかわらず追突しないためには，停止距離以上の進行方向空間距離を保持して走行する必要がある．よって，安全な走行条件は式 10.1 で表すことができる．このことより，衝突可能性は式 10.2 で表すことができる．この式 10.2 で求められる値を衝突可能性指数（CPI: Collision Prone Index）と呼ぶ [67]．この CPI が 1 よりも大きい場合に衝突可能性を有する．

$$D_{headway} > D_{stopping} \quad (10.1)$$

$$CPI = \frac{D_{stopping}}{D_{headway}} \quad (10.2)$$

ただし，

$$D_{stopping} = vT_r + \frac{v^2}{2\mu g}$$

$D_{headway}$ ：車間距離， $D_{stopping}$ ：停止距離， CPI ：衝突可能性指数， v ：車速， T_r ：反応時間， μ ：摩擦係数， g ：重力加速度

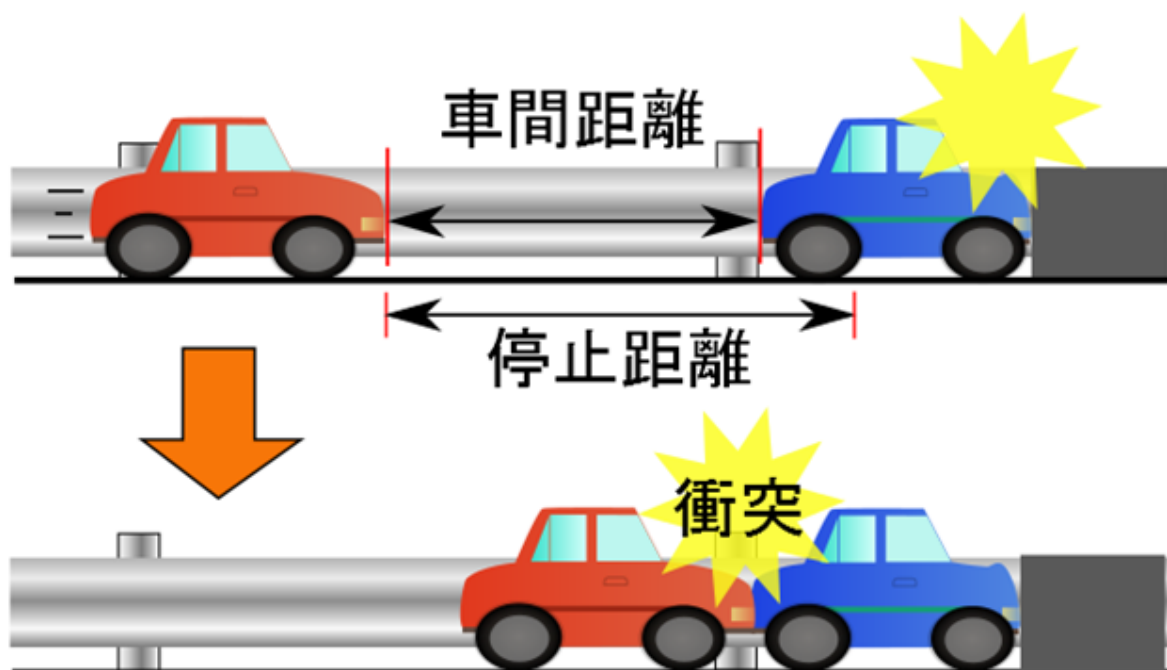


図 10.3 追突事故発生条件

10.2 停止距離の突発的な延長の発生要因

追突事故は、停止距離よりも進行方向空間距離が短い状況において発生する可能性が生じる。停止距離は空走距離（当該車両にとって停止すべき事象が発生した時点からブレーキを踏み始めた時点までに走行した距離）と制動距離（ブレーキを踏んでから、当該車両が停止するまでの間に走行した距離）からなる（図 10.4）。空走距離は、運転者の認知・反応時間と車速によって決まる。人の認知・反応時間（当該車両にとって停止すべき事象が発生してからブレーキを踏み始めるまでに要する時間）は、運転者自身がいくら努力をしてみても、突発的に遅延する可能性があることが明らかになっている [68]。この認知・反応時間の突発的な延長や平素よりも高い走行速度により、空走距離が突発的に延長する場合が発生する。制動距離は車速と道路の摩擦係数、車輪の固定力により主に決定される。車速は様々であり、道路の摩擦係数も一定ではない。したがって、停止距離も一定ではなく、運転者の予測よりも長くなる場合も発生する。これらにより進行方向空間距離よりも停止距離の長い場合が突発的に発生する。

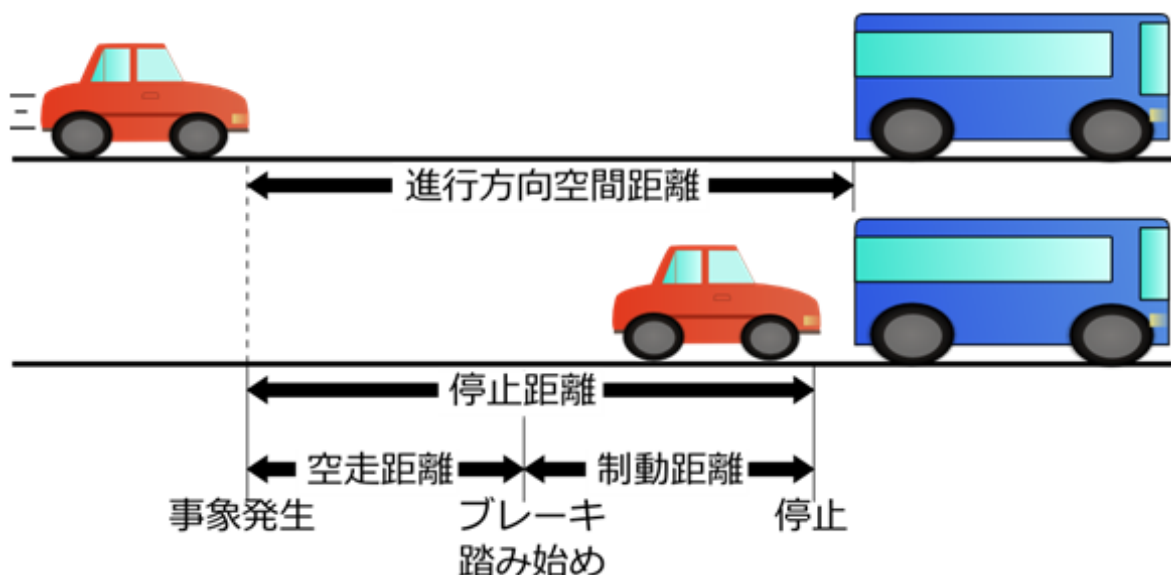


図 10.4 進行方向空間距離，停止距離，空走距離，および制動距離

10.3 交差点での出会い頭衝突事故の防止

平成 22 年の車両相互における交差点での出会い頭衝突事故は 168,699 件発生しており，追突事故に次いで 2 番目に件数が多い（全事故 725,773 件中の約 23.2%）。また，交差点は人对車両の衝突も多く発生する場所である。ところが，多くの人は一時停止線，または一時停止標識があるにもかかわらず，一時停止なしの徐行で通過を行っている。人間が物体を認識するには約 1 秒以上の固視が必要である。仮に時速 5km の徐行速度で通過した場合，危険に気づきブレーキを踏んだとしても停止するまでには約 1.5m 走行する（反応時間 1 秒，乾燥路面）。道路 1 車線の幅は約 3m であり，交差路からの接近車両等に気付いて急制動を行って停止したとしても，交差道路の車線半分を塞ぐ状態となる。それゆえ，その時点における接近車両の進行方向空間距離がその停止距離よりも短い場合には，衝突を回避することのできない場合が発生する。しかし，交差道路の端において停止した状態で安全確認を行った場合には，接近車両があった場合には，動かなければ衝突は防止できる。すなわち，出会い頭の衝突事故防止のためには，完全に一時停止した状態での安全確認が必要といえる。

信号のない交差点においての理想的な交差点通過法は，一時停止線直前で完全に停止し，歩行者や自転車等との衝突をまず回避する（図 10.5）。停止後，安全確認を行い，小刻みに徐行状態で前進し，交差車両が見渡せる位置で再度停止し，交差道路の安全を確認し，安全であれば通過する（図 10.6）。それぞれの停止時の左右の安全確認には 2 秒から 4 秒以上が必要である。このような方法で安全確認を行い，交差点を通過することにより，出会い頭衝突事故を確実に防止することができると考えられる。

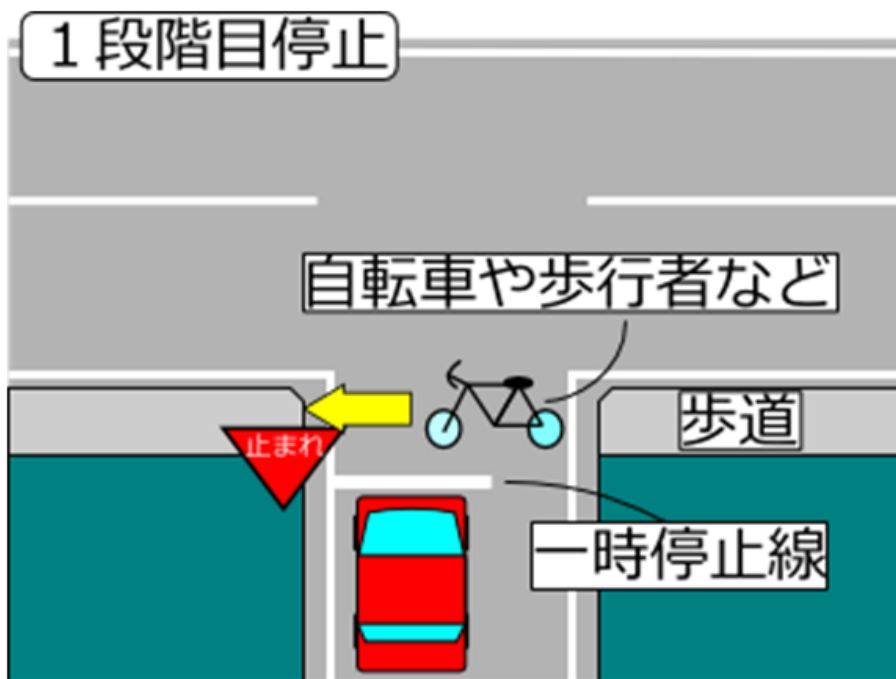


図 10.5 歩行者や自転車等との衝突回避のための1段階目の停止

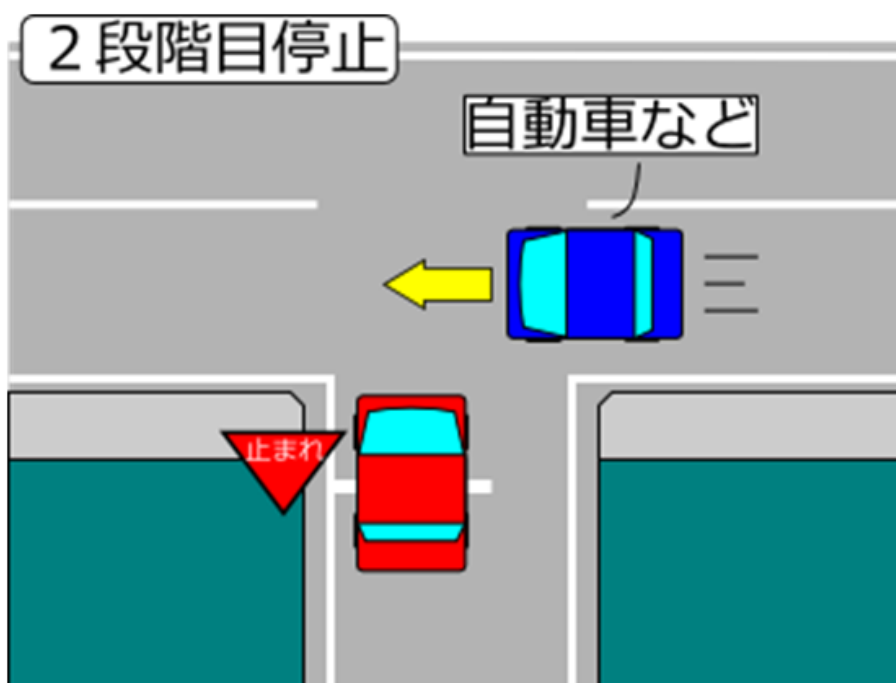


図 10.6 自動車等との衝突回避のための2段階目の停止

10.4 運転者の先急ぎ衝動

高速道路では、前方車両との安全な車間距離を保持させるための目印が設置されており、衝突事故防止のためには、時速 100km での走行時には 100m 以上の車間距離が必要であることは多くの人が知っていると考えられる。しかし、多くの人短い車間距離で走行している [66]。また、一時停止線で一時停止しなければならないことはすべての運転者が知っている。しかし、多くの人一時停止線で停止なしの徐行で通過を行っている。また、道路交通法を守った運転が安全運転と回答する人であっても、遵守している人はごく少数である。さらに、かつては 100km/h を超えると警告音を与える装置が自動車には装着されていたが [69]、多くの人警告音を鳴らしながら走行していた。これらのことから、運転者が安全運転の知識を持っていたとしても、それを実際の運転において実行するとは限らない。これは、人が他よりも先行しようとする衝動（以降、先急ぎ衝動と呼ぶ）を持っているためであると考えられる [70]。先急ぎ衝動を持った運転者は、目的地への早い到着のために、できるだけ速度を高めた運転や前方の車両を追い抜く運転、交差点を一時停止せずに通過する運転を行おうとしていると考えられる（以降、このような運転のことを先急ぎ運転と呼ぶ）。自動車事故を引き起こした人に対する調査によると、事故直前は急いでいたと回答した人が約 50% いたとのことから [71]、先急ぎ運転は自動車事故発生の要因であると考えられる。運転者の先急ぎ衝動を抑制することができなければ、安全運転支援システムが実用化されたとしても、安全運転支援機能を作動せずに自動車を運転する人が多く出現することも考えられる。このようなことから、自動車事故を防止するためには、運転者の先急ぎ衝動を抑制し、先急ぎ運転を防止することが必要であると考えられる。

10.5 安全運転教育方法

自動車運転事故を防止するためには、運転者が安全運転についての正しい知識を持つのみならず、その知識に基づき安全運転を実行することが必要である。しかし、安全運転の知識を持っていたとしても、それを実行している人はごく少数である。この原因の 1 つとして、運転者の先急ぎ衝動があり、これを抑制しなければ不安全的先急ぎ運転を防止することは困難と考えられる。

先急ぎ運転には無意識的な先急ぎ運転と意識的な先急ぎ運転があると考えられる。先急ぎ衝動を持った運転者は、できるだけ高い速度で走行し、前方の車両を追い抜こうとする。また、一時停止規制箇所において、停止なしで交差点を通過しようとする。このような運転は無意識的にされることが多い。これを防止するためには、繰り返しの訓練によって、車間距離を保持することや、不必要な追越しや追い抜きをしない、一時停止規制箇所確実に停止

するなどの安全な運転習慣の形成が必要となる。意識的な先急ぎ運転は、目的地へのより早い到着のために行う先急ぎ運転であり、到着までの時間に余裕がない場合などにはこの傾向がより顕著となる。これは、運転者が先急ぎ運転によって目的地に早く到着すると見込んだ結果、時間的な利益を得るためにより高い速度で、また、できるだけ停止しないで走行しようとする。その結果、車間距離の短い不安全な状況が発生していると考えられる。しかし、実際の運転においては先急ぎ運転と安全運転での到着時間には大きな差は生じないと考えられる。意識的な先急ぎ運転を防止するためには、先急ぎ運転によって得られる時間的利益が少ないことを示した上で、正しい安全運転についての知識を身につけさせることが必要と考えられる。

以上のことから、安全運転教育は次に示す手順によって行う必要があると考えられる、まず、先急ぎ運転によって得られる利益が少ないことを示した上で、10.1 節に示す追突事故防止方法、および 10.3 節に示す出会い頭衝突事故防止方法を主とした安全運転教育を行う。そして、実際の運転において安全運転を実行できるようになるまで繰り返し訓練を行う。この繰り返しの訓練については、安全運転管理者など安全運転について指導できる者による教育が有効であると考えられる。過去に社会問題となった工場での事故でも、不安全行動のあった時点で、工場の管理者が当事者の行動について即時の指摘や指導を行い、不安全行動についての正しい認識を持たせることで、事故を効果的に減少させてきた。自動車の運転事故も、同様に、発生時点での不安全行動の指摘とその防止の指導と管理により、効果的に減少させることができると予想される。これらのことから、効果的な安全運転の教育には、安全運転についての正しい知識を教育し、それを実際の運転において実行させる。また、教育を行うには不安全行動があった際に即時にそれを示して、指摘や教育を行うことが効果的であると考えられる。

安全運転の方の利益が大きいことを示すためには、運転者自身の運転行動を記録し、数値評価を基に客観的に先急ぎ運転の非効率性を示すことが効果的であると考えられる。また、安全運転についての教育方法としては、警察や自動車教習所などによる安全運転講座および指導者が車に同乗しての直接指導、ドライビングシミュレータ [72] を使用する方法などがある。実車を利用した教育がより効果的であるが、指導者が同乗する必要があり、教育に時間がかかることやその時点で最適な道路環境でない場合もあるなどの問題がある。ドライビングシミュレータにおいては、教育を行うのに理想的な道路環境を設定できることや、短い時間で教育することができるなどの利点があると考えられる。しかし、ドライビングシミュレータは現実感や緊張感に欠けるという指摘もある [73]。

これらのことから、平素の運転行動を観測・記録し、不安全な運転行動があった際には、それを安全運転管理者に実時間で伝えることで、運転者に即時、または運転後の指摘や指導が可能である。そこで、観測・記録した運転行動を基にして客観的に運転行動を評価可能なシステムの開発を行った。

第 11 章

安全運転管理・教育システム ASSIST

工場では従業員の行動を直接観察できるのに比べて、自動車は閉じた空間であるために、不安全行動を行った時点での注意や助言は同乗しない限り不可能であった。しかし、情報通信技術の発達にともない自動車に搭載した装置によって運転者の運転行動を取得し、デジタルデータとして記録するとともに外部に実時間で伝送することが可能になってきた。危険な運転をした場合は、その時点で随時フィードバックし指導した方がその効果も高いので、運転者の運転行動を実時間で把握し助言することにより、交通事故を大幅に減少できると予測される。そこで、安全運転モデル (KM モデル) に基づいて安全運転管理教育システム (Assistant System for Safe driving by Informative Supervision and Training: ASSIST) の開発を行った。本章では、ASSIST について説明する。

11.1 設計

ASSIST と他のシステムとの違いは、自動車運転事故防止理論に基づいて運転者へ管理・教育を行う人側からのアプローチということである。例えば、デジタルタコグラフは速度超過や無理な長時間運転を予防するハードウェア側からのアプローチである。また Internet ITS は、通信基盤側からの ITS へのアプローチである。これらは、直接的に事故防止にかかわるものではない。

ASSIST では、車載システムと管理者用システムから構成されている (図 11.1)。車載システムは、車両に搭載された運転行動測定装置 (車速センサ, GPS, レーザ距離計, およびビデオカメラにより構成), 車載コンピュータおよび通信装置 (データ通信カードおよび携帯電話) からなる。運転行動測定装置によりその車両の運転行動を取得し、そのデータ (前方走行車両との距離, 車速, 現在位置および前方画像) の記録を行う。記録されたデータは、記録媒体 (HDD, SSD など) に書き込まれ、数値情報として扱えるように集計が行われる。また、一定時間ごとにその時の集計データが管理者用システムへ送信される。管理者用シス

テムは、ネットワークに接続された PC のみで構成されており、車載システムから送信される運転行動データを受け取り、運転行動を実時間で表示することが可能である。また、運転者が不安全行動を行った場合には、通報が安全運転管理者へ送信され、その通報に対して安全運転管理者は、運転者へ警告や助言を与えることができる。

ASSIST は遠隔地にいる安全運転管理者が、現在走行している複数の車両に対して教育・管理を行うことが可能な設計をしている。走行車両には車間距離、車速、現在位置、方位および前方画像からなる計測情報（以下、運転行動データ）を取得する装置を搭載している。車載コンピュータは運転行動データを記録するとともに、遠隔地にいる管理者へモバイルネットワークを通じて送信する。安全運転管理者は情報を受け取り不安全な行動を行った車両の運転者へ、携帯電話のハンズフリー機能を利用して教育を行う。

車載コンピュータによる車両の運転行動データの記録は、1 秒ごとに内蔵ハードディスクに行う。この記録された運転行動データは、詳細な運転行動の解析や運転後の管理・教育に利用することも可能である。

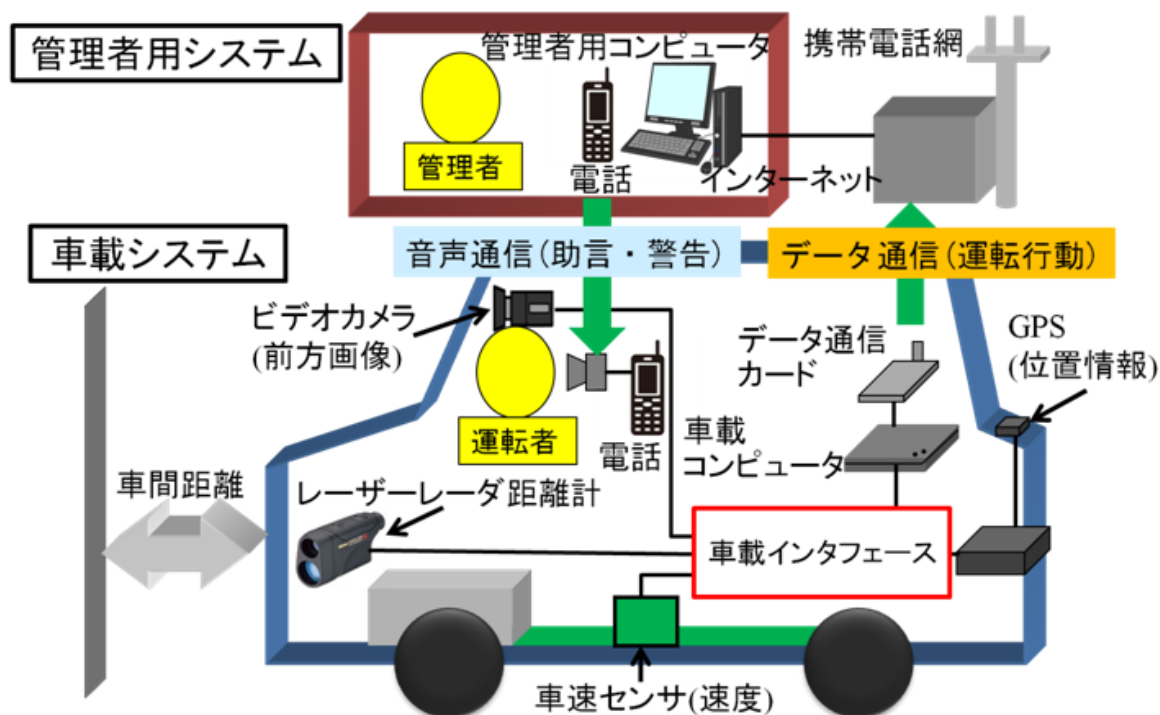


図 11.1 ASSIST の基本構成

11.2 ASSIST を利用した管理・教育内容

ASSIST では2種類の管理・教育方法を想定している。運転行動を実時間で安全運転管理者に伝え、教育を行う実時間の管理・教育機能および車載装置に接続された外部記憶装置に運転行動を記録し、それを利用しての走行後における管理・教育機能の2つである(図11.2)。運転中の管理・教育は、運転中に運転者が不安全行動を行った場合に、管理者に通報が送られ、その通報に応じて安全運転管理者が実時間で運転者に助言や通報を与えることによりできる。この時の通報は、今まさに起こりつつある事故を防ぐためではなく、将来、運転者が起こし得る事故に繋がる不安全行動についての管理・教育のためにされる。また、運転後に運転行動データの詳細な解析を行い、客観的な視点から運転を評価することにより運転後の管理・教育を行うことが可能である。

ASSIST は遠隔地にいる安全運転管理者の存在を前提にしている。これは、安全運転管理を自分自身で行えるのは、安全運転についての正しい知識と積極的に安全運転を行う意識を持った運転者でなくては難しいと考えられるためである。安全運転管理者から警告されることにより、運転者は不安全行動について速やかな認識が可能となる。また、権威のある者が安全運転管理者を務めることによって、教育効果を高めることが可能であると考えられる。

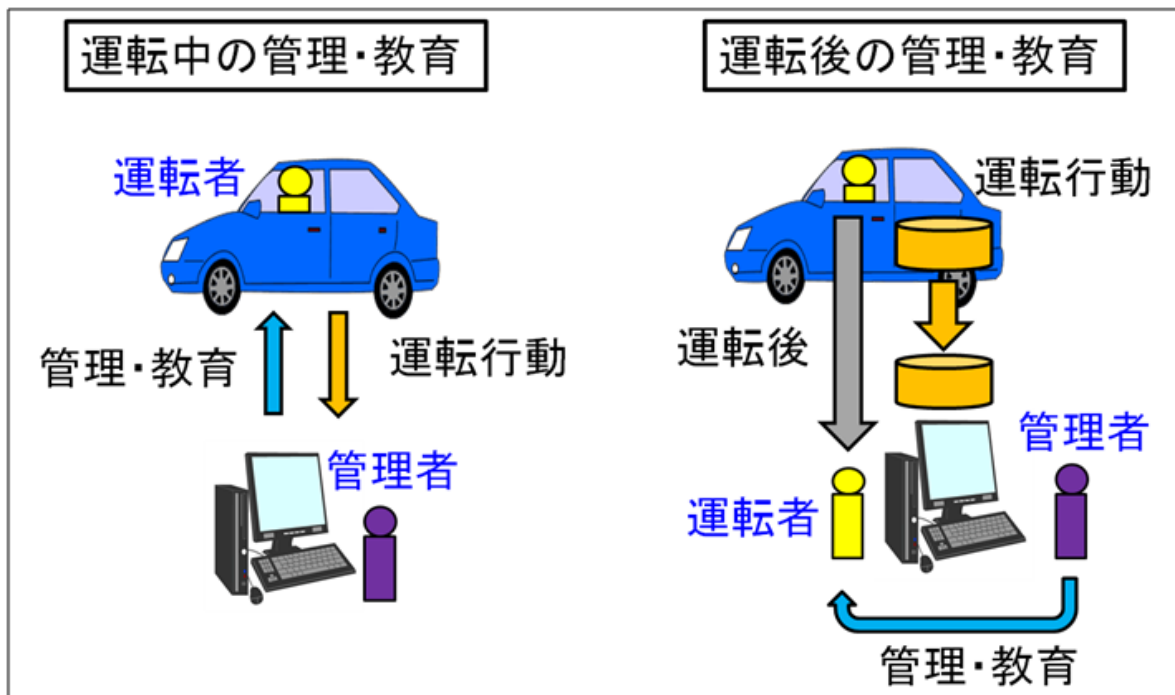


図 11.2 ASSIST を利用した安全運転の管理・教育方法

11.3 車載装置

ASSIST の車載装置は、主に車載コンピュータと車載インタフェースから構成される（図 11.3）。車載インタフェースは、レーザ距離計、GPS および車速センサからの情報をマイクロコントローラ（Arduino）がまとめ、車載コンピュータへ送信する（RS-232C を用いたシリアル通信）。車載コンピュータは車載インタフェースからの情報とビデオカメラからの情報を、外部記憶装置に記録するとともに、モバイル通信装置を用いて、外部の管理者用コンピュータへ送信する。

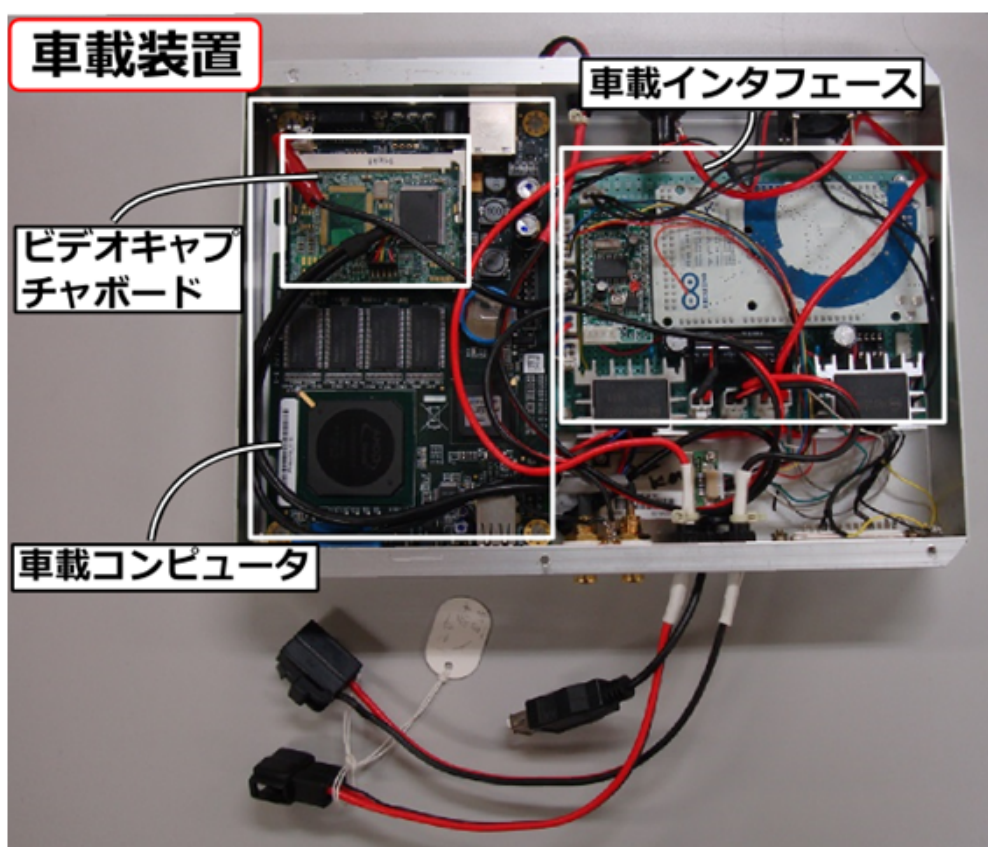


図 11.3 車載装置

11.4 ソフトウェア構成

ASSIST は車載コンピュータ、車載インタフェース、管理者用 PC およびサーバで構成されている（図 11.4）。サーバを置くことで、複数の車両を複数の管理者が管理・教育可能となる。車載インタフェースのセンサ情報取得プログラムは車載インタフェースに接続され

た GPS，車速センサおよび距離センサの情報をまとめたセンサ情報を，シリアル通信を用いて，1 秒ごとに，車載コンピュータの運転行動記録ソフトウェアに送信する．車載コンピュータの運転行動記録ソフトウェアは車載インタフェースからセンサ情報を受け取るとともに，ビデオカメラから前方画像を取得し，外部記憶装置に記録する．この記録されたデータを運転行動データとする．また，運転行動記録ソフトウェアはセンサ情報を UDP によって運転行動集計ソフトウェアへ送信する．運転行動集計ソフトウェアは，受け取ったセンサ情報を 20 秒間分でまとめ，それを 5 秒ごとに運転行動通信ソフトウェアへ渡し，サーバへの送信を指示する．また，5 秒以上 CPI が 1 を超過したときに，通報データ（20 秒間分のセンサ情報と前方画像 4 枚）を作成し，運転行動通信ソフトウェアへ渡し，サーバへ送信を指示する．運転行動通信ソフトウェアは指示されたデータの送信を行う．サーバは複数存在する車両の中から管理者が指定する車両の運転行動データまたは通報データを実時間管理ソフトウェアに送信する．管理者用 PC の実時間管理ソフトウェアは，現在の運転行動情報（速度，車間距離，および現在位置）を把握することや，通報を受け取り危険箇所を表示することが可能である（図 11.5）．これにより，安全運転管理者が常時監視していなくても，複数の運転者について安全教育を行うことが可能となる．また，走行後に車載コンピュータから運転行動データを管理者用 PC に取り込み，運転行動再生ソフトウェアを使用することで，詳細な運転状況を再現することが可能である（図 11.6）．

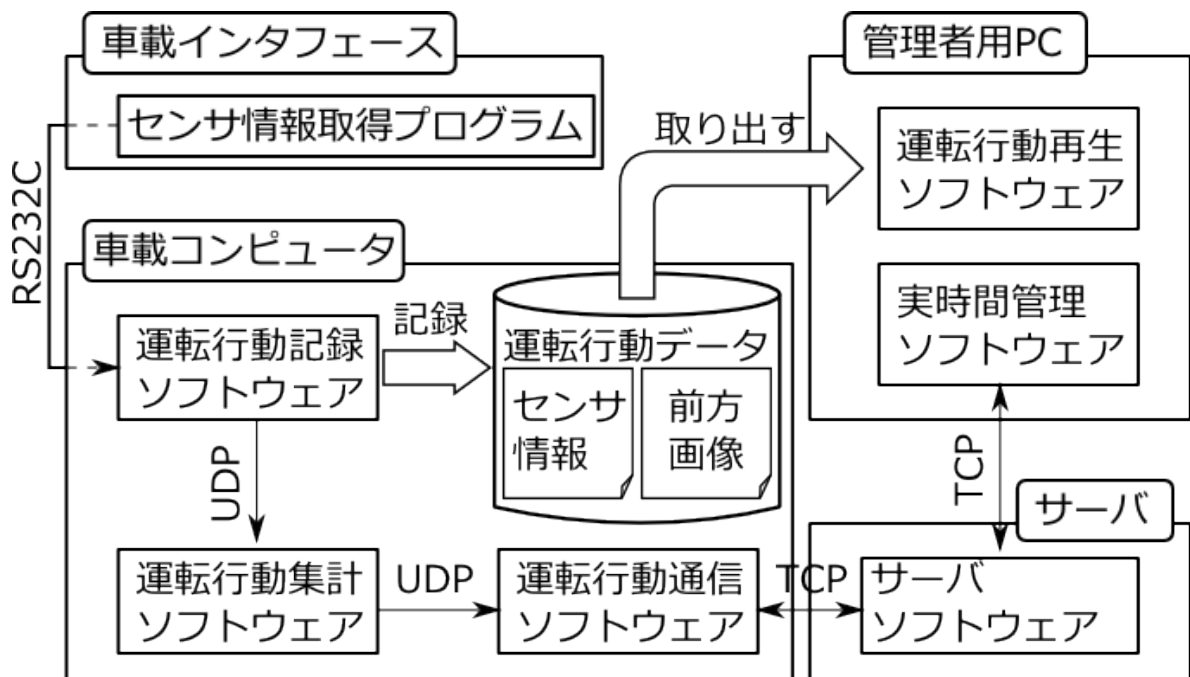


図 11.4 ソフトウェア構成

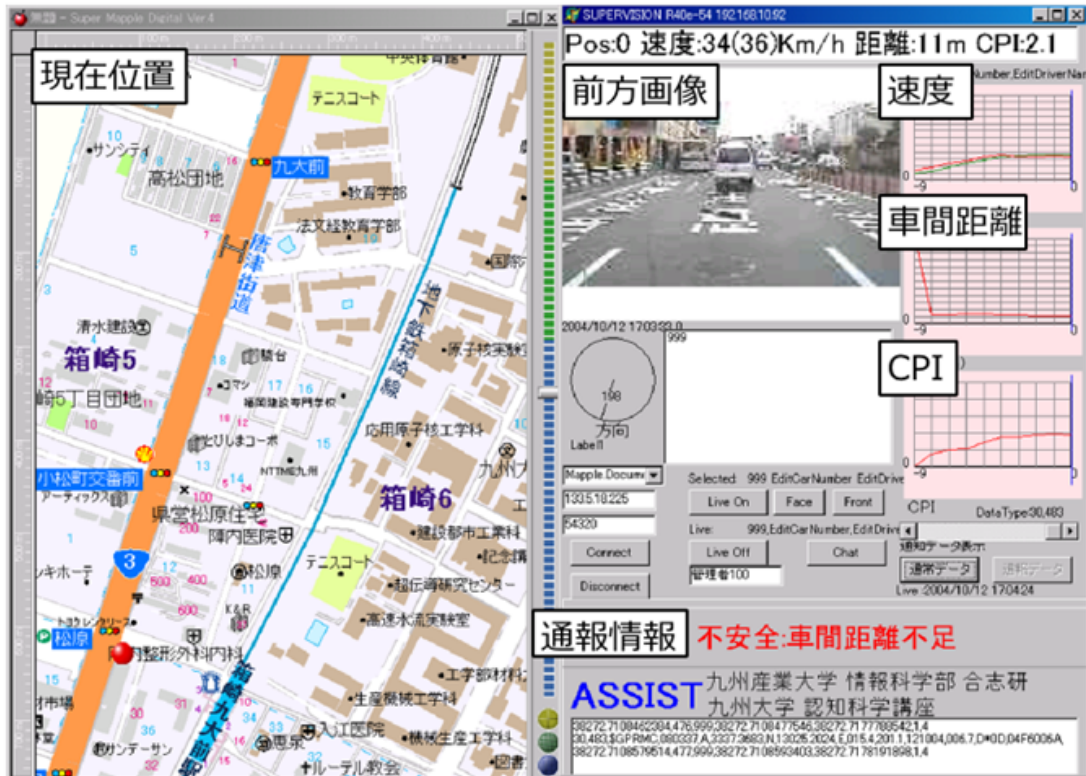


図 11.5 実時間管理ソフトウェアによる表示

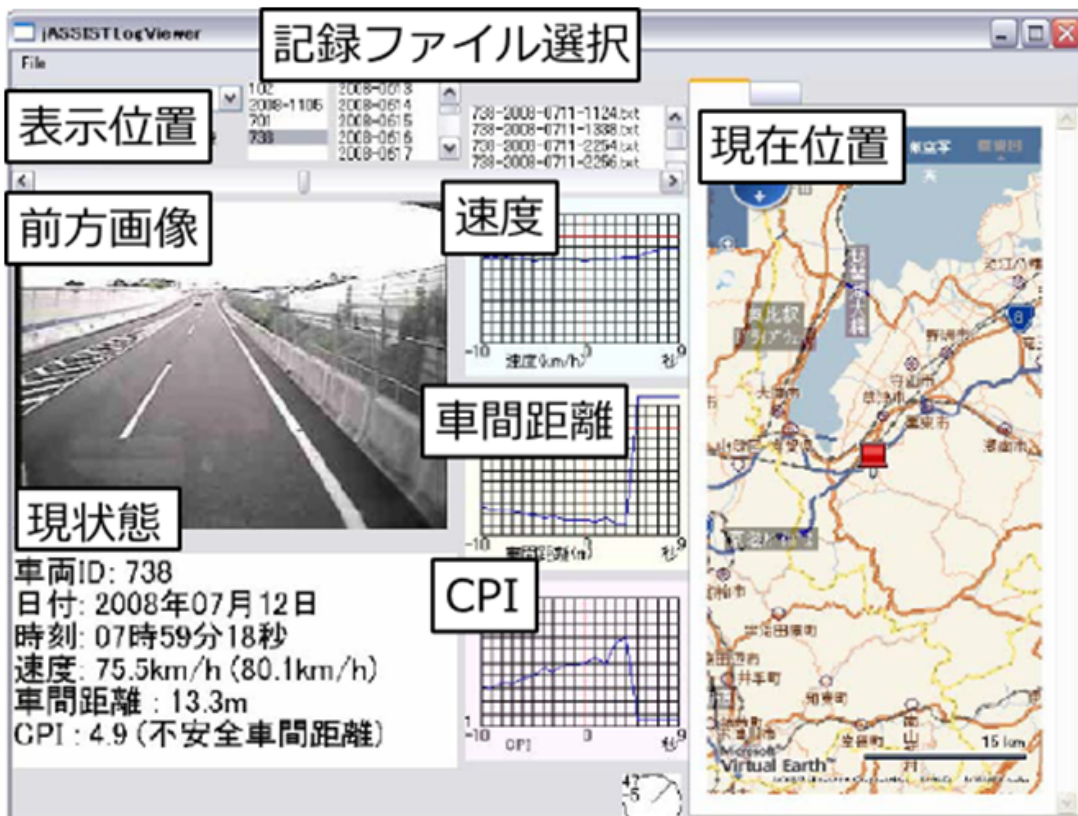


図 11.6 運転行動再生ソフトウェアによる表示

第 12 章

運転者の意識改善のための実態調査

前に述べたように、速度を高めて走行するほど目的地に早く着くという意識を運転者が持っている。このことが事実であれば、安全運転支援装置が装備されてもそれを利用しない状況が発生するとも考えられる。また、高速道路では、前方車両との車間距離を保持させるための目印が設置されており、時速 100km での走行時では 100m 以上の車間距離が必要であることは多くの人が知識としては持っていると考えられる。しかし、高速道路において多くの車は停止距離よりも短い車間距離で走行している [66]。これは、安全な車間距離を保持することよりも、目的地への早い到着を優先した運転を行っていることが原因であると考えられている。

運転者は自身にとって最も利益になるような運転を損得勘定によって選択していると考えられる。その結果、多くの人が、安全な運転よりも目的地に早く着く運転を優先していると考えられる。運転者の損得勘定においての要因としては、高い速度で走行するほど旅行時間が短縮するという利益と、高い速度で走行することによる交通違反や交通事故などの損失である (図 12.1)。さらに、交通事故は稀現象であるために、交通事故のリスクは軽視される傾向がある。また、人は他よりも先行しようとする衝動を持っていると考えられ、無意識にできる限り高い速度で走行しようとしているとも考えられている。

これらのことから、交通事故防止には運転者の意識改善を図る必要がある。運転者の意識改善を行うには、この運転者の利益と損失に関しての見積もり方を改める必要がある。そこで本章では、実データを短い車間距離での運転や先急ぎ運転の旅行時間に対する影響や、それらの運転による損失を基に分析する。そのために、実データを基に旅行時間と不安全な運転の相関と実車による先急ぎ運転の損得を分析する。

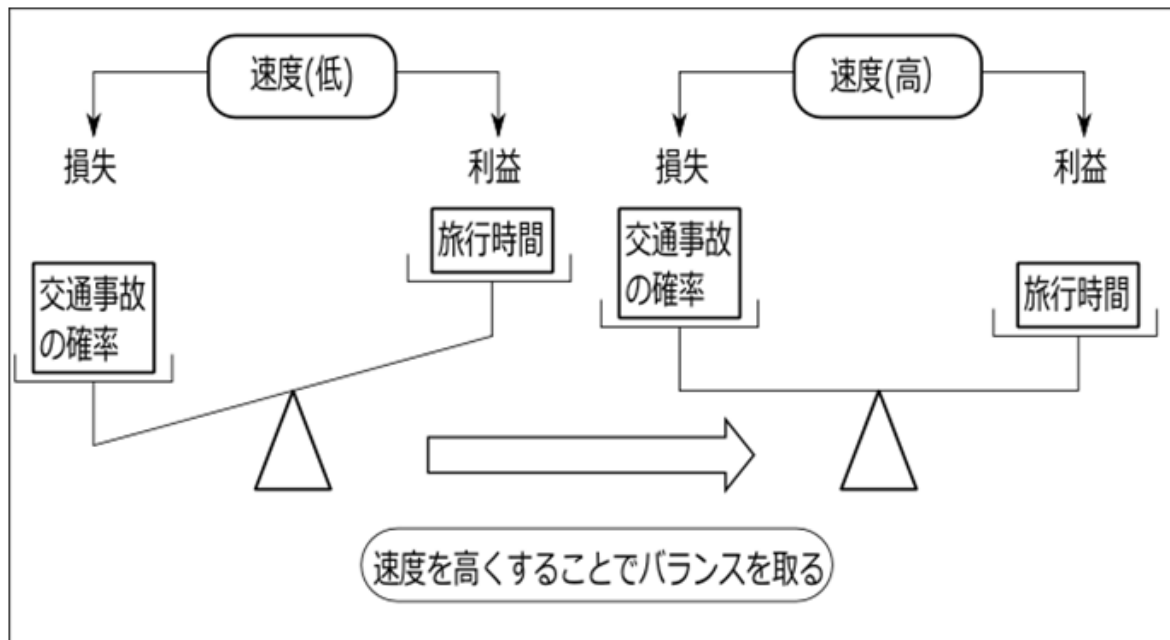


図 12.1 運転者の損得勘定

12.1 旅行時間と不安全割合の関係についての分析

追突事故は、停止距離より進行方向空間距離が短い場合に発生する。そこで、衝突する可能性を CPI という指標を用いて、数值的に解析した(式 10.2)。ASSIST における安全運転管理・教育では、CPI が 1 を超える場合を不安全な運転とし、CPI が 1 以下の場合を安全な運転として評価する。また、走行全体に対してどれだけ車間距離の短い状態(衝突危険性)があるかの指標として不安全割合を設定した(式 12.1)。この式は走行時間 (T_{drive}) に対しての、車間距離が停止距離よりも短い時間 ($T_{cpi>1}$) の割合を表している。この不安全割合により各走行での衝突等に関わる不安全度の評価が可能となる。これら指標を基に、長距離トラックの走行データについて、旅行時間と不安全割合の関係を分析した。

$$\text{不安全割合} = \frac{T_{cpi>1}}{T_{drive}} \quad (12.1)$$

12.1.1 長距離トラックの走行データ解析

旅行時間と不安全割合の関係を明らかにするために、T 輸送会社の大型トラックに ASSIST 車載システムを搭載し、運転行動の記録および解析を行った。この車両は、主に福岡と中部地方を行き来しており、福岡を夜に出発し、翌日の早朝に中部地方に到着、さらに、当日の深夜に出発して 3 日目の朝に福岡へ帰還する乗務を 1 乗務としている(図 12.2)。ま

た，ASSIST を搭載した車両は，主に高速道路を走行しており，90km/h 制限のリミッターが作動している．

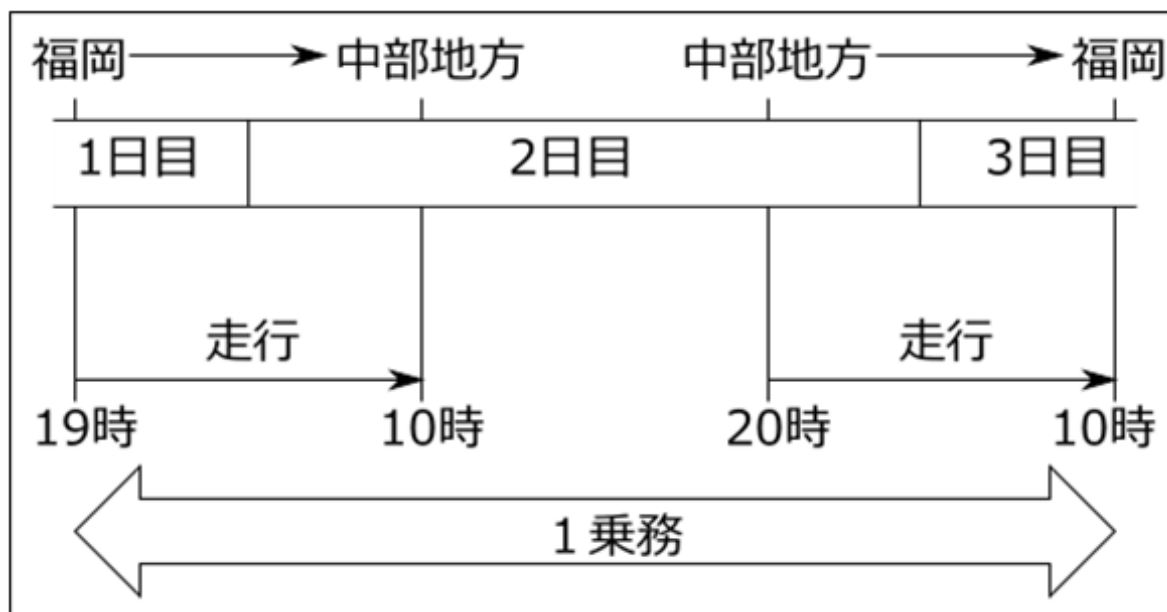


図 12.2 T 運送会社の 1 乗務

(1) 解析概要

ASSIST によって記録した 2008 年 7 月 24 日から 2009 年 10 月 04 日までの運転行動データについて，集計および解析を行った（全 83 乗務分）．また，1 乗務中の 60km/h 以下の速度で走行した場所を一般道路，60km/h を超えた速度で走行した場所を高速道路と見なし，一般道路と高速道路に分けて集計および解析を行った．解析内容は，1 乗務についての旅行時間，平均速度，不安全継続時間（CPI>1 の最長継続時間），最大 CPI（CPI の最大値）および不安全割合である．

(2) 1 乗務集計（高速道路）

各解析項目間の相関係数を表 12.1 に示す．高速道路走行での運転行動データ集計および解析結果においては，旅行速度と平均速度との間に強い正の相関関係が認められた（ $r=0.96$ ）．また，不安全割合と不安全継続時間についても正の相関関係が見られた（ $r=0.62$ ）．このことから，高速道路走行時では，平均速度が高ければ旅行速度も高くなる（旅行速度が高ければ平均速度も高くなる），不安全割合が高ければ不安全継続時間も長くなる関係があるといえる．不安全割合と旅行速度，平均速度について相関関係は認められなかった．最大 CPI と旅行速度，平均速度の間には相関関係は認められなかった．

表 12.1 1 乗務における相関係数

	不安全割合	不安全継続時間	最大 CPI	平均速度	旅行速度
不安全割合	1.00				
不安全継続時間	0.62	1.00			
最大 CPI	-0.06	0.00	1.00		
平均速度	-0.04	-0.08	-0.02	1.00	
旅行速度	-0.10	-0.18	0.04	0.96	1.00

(3) 1 乗務集計 (一般道路)

一般道路での旅行速度，平均速度および不安全割合との間の相関係数を表 12.2 に示す．一般道路走行の運転行動データにおいても，旅行速度と平均速度との間に強い正の相関関係が認められた ($r=0.96$)．また，不安全割合と不安全継続時間についても正の相関関係が見られたが，高速道路走行の場合よりも弱い相関関係となった ($r=0.49$)．その他の項目同士の関係については，高速道路走行の場合と同様の結果となった．

表 12.2 1 乗務 (一般道路) における各相関係数

	不安全割合	不安全継続時間	最大 CPI	平均速度	旅行速度
不安全割合	1.00				
不安全継続時間	0.49	1.00			
最大 CPI	0.20	0.12	1.00		
平均速度	0.38	0.06	-0.07	1.00	
旅行速度	0.29	-0.01	-0.09	0.96	1.00

(4) 一般道路と高速道路での走行の比較

一般道路，高速道路での不安全割合の平均はそれぞれ 17.0%，21.8% であり，高速道路での不安全割合の方が 4.8 ポイント高い結果となった．高速道路では走行速度が高くなるために，必要な進行方向空間距離は一般道路に比べ長くなる．人間は距離を正確に把握することが困難であり，長距離になれば更にその傾向は顕著になることから高速道路では進行方向空間距離が一般道路に比べて短いと考えられる．

(5) 速度ごとの不安全割合

速度ごとの不安全割合を 5km/h 区分で表した(図 12.3)。リミッターがあるにもかかわらず 90km/h 以上の速度での走行が発生しているのは下り坂による加速によるものであった。速度が高くなるに従って、速度と不安全割合との間に強い相関関係が認められた ($r=0.80$, $p<0.01$)。不安全割合が最も高くなるのは、70km/h から 75km/h の間である。65km/h から 75km/h は高速道路走行中では、やや低めの速度であることから、車両密度が高い状態で走行している状態であると考えられる。80km/h から 85km/h で大きく減少しているのは、トラックにはリミッターがあり、前方車両を追従することが不可能な状態であり、そのために、進行方向空間距離が大きくなるからであると推測される。

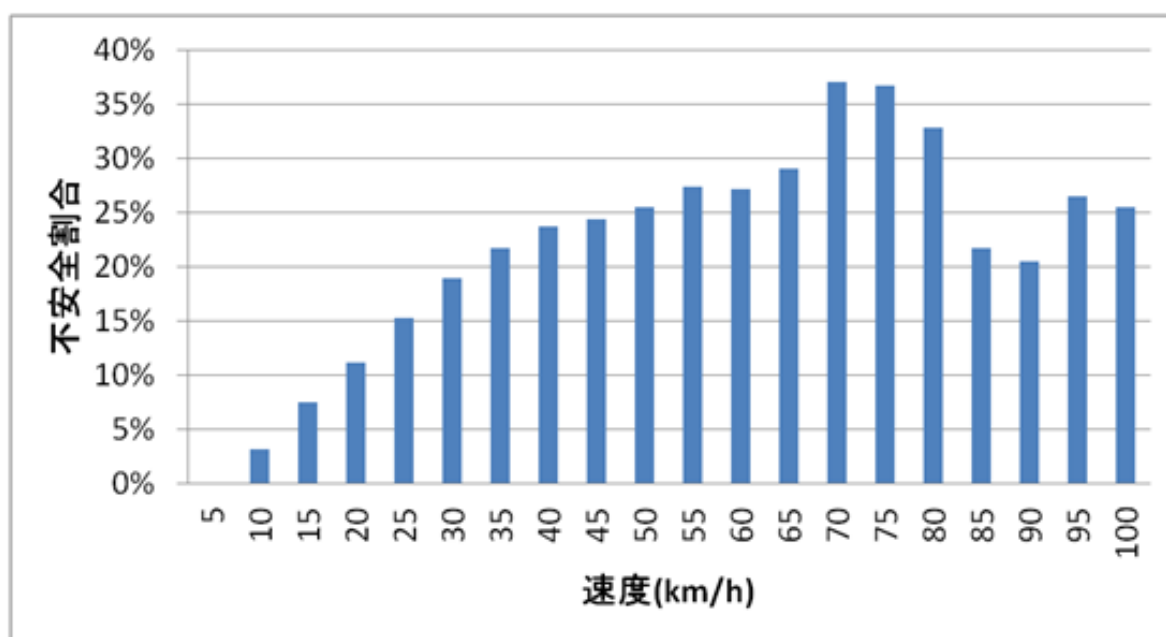


図 12.3 速度ごとの不安全割合

12.2 実車走行による先急ぎ運転の損失分析

短い車間距離で走行する要因のひとつは、より早く目的地に到着しようとしてのできるだけ高い速度での運転が優先されていると考えられる。特に、予定の到着時間に遅れそうなどときには、意識的にできるだけ高い速度で走行しようとする。その結果、短い車間距離での走行や一時停止の必要な場所を徐行で通過するような運転となっていると考えられる(このような運転を本論文では先急ぎ運転と呼ぶ)。

先急ぎ運転と安全運転における到着時間について、松木らの報告では、実道路の交通状況

を模擬したシミュレータ条件下においては、先急ぎ運転と安全運転との間に有意な差はないとされている [74]。しかし、シミュレータ条件下では現実の道路環境との差異がある可能性がある。さらに安全運転時と先急ぎ運転時において保持する車間距離の違いについては明らかにされていない。実車での先急ぎ運転と安全運転における旅行時間、追越し回数、急制動回数および燃料消費量の比較については Cohen がスイスで行った実験の報告があり、走行距離 1,740mile (2,800km) において、先急ぎ運転の方が安全運転の場合よりも 2 時間 48 分早く到着したことが示されている (表 12.3)。この実験での距離を 1 人で運転しようとする、途中、睡眠や休憩が必要である。高い速度での走行で緊張度が高くなると、それにともない疲労度も高くなり、睡眠時間や休憩時間も長くなる。移動効率にかかわる実験を行う場合、運転者への疲労度も評価する必要がある。また、目的地にできるだけ早く到着しようとする運転が車間距離を短くしているとも考えられるが、このような運転での危険度の強さや疲労度の強さに関しては、明らかにはされていない。また、日本とスイスでは道路環境に差のある可能性がある。

そこで、運転者ができるだけ高い速度で走行した方が目的地に早く着くと考えているかどうかを調べ、移動効率 (旅行時間)、その間の安全度 (危険度)、および緊張度の強さを記録・分析できるシステムの開発を行う。このシステムによって実車実験を行い、車間距離を十分保持し制限速度で走行した場合と、先急ぎ運転の得失の評価を行う。

表 12.3 スイスでの安全運転と先急ぎ運転実験の結果 [75]

	安全運転	先急ぎ運転	差
走行時間	47 時間 53 分	45 時間 5 分	2 時間 48 分
平均速度	36mile/h	38mile/h	2mile/h
追越車両数	534 台	898 台	364 台
急ブレーキ回数	7 回	184 回	177 回
燃料消費量	222.7L	277.2L	54.5L
タイヤ摩耗度	約 1mm	約 2mm	約 1mm

12.2.1 移動効率観に関する質問調査

運転者ができるだけ高い速度で走行することで目的地に早く着くと思っているかどうかの意識調査を質問に回答させる方法で行った。実験参加者 10 名に対して、出発地点と到着地点までの経路が載っている地図を提示し、制限速度 (50km/h) と無制限速度で実際に走行を行った場合の予想旅行時間について口頭での質問に回答させた (表 12.4, 図 12.4)。コースは市街地を通る比較的 to 交通量の多い片側 3 車線 (国道 3 号線) 6km の区間であった (香

表 12.4 実験参加者情報

実験参加者	年齢	運転歴	所持免許	1 カ月走行距離	交通違反
A	20 歳	数ヶ月	普通仮免許	0km	0
B	21 歳	3 年未満	普通	50km	0
C	18 歳	なし	なし	0km	0
D	19 歳	1 年未満	普通	300km	0
E	20 歳	1 年未満	普通	0km	0
F	19 歳	なし	なし	0km	0
G	20 歳	1 年未満	普通	50km	0
H	21 歳	4 年未満	普通	200km	2
I	18 歳	なし	なし	0km	0
J	19 歳	1 年未満	普通	0km	0

椎駅前 の 1 日あたり交通量：7 万台；平成 22 年）[76] .

質問調査の結果，速度無制限で走行すると 5 分以上旅行時間が短くなると被調査者全員が回答した（図 12.5）. このことから速度を高めて走行すると到着は早くなると考えているといえる .



図 12.4 提示コース

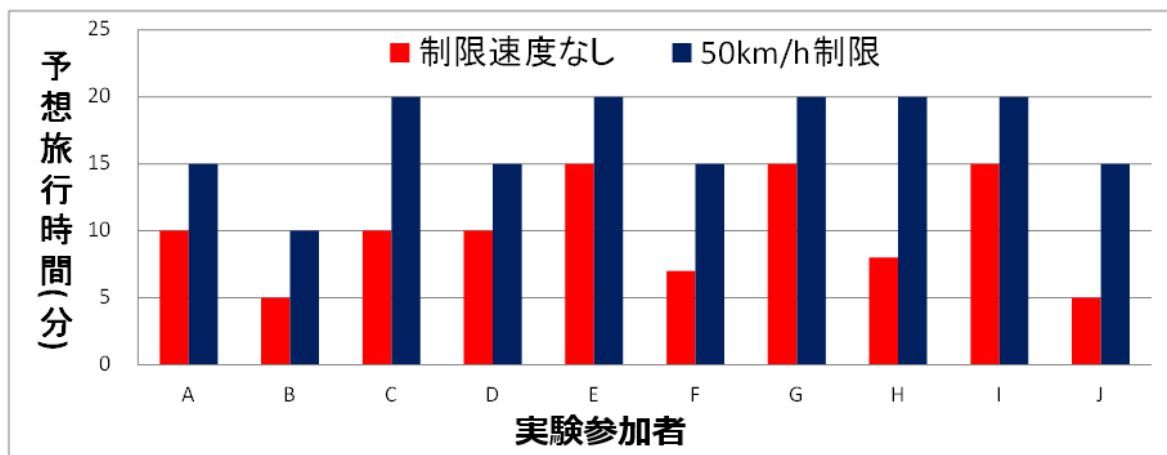


図 12.5 制限速度有無による予想旅行時間

12.2.2 先急ぎ運転の得失分析システム

多くの人が高い速度で走行することでより早く目的地に到着すると考えている。しかし、市街地の道路において制限速度よりも高い速度で走行しようとしても、停止信号や前方を走行する車両などの影響によって停止する必要がある。そのために、部分的に高い速度で走行しても旅行時間の短縮はなされないと考えられる。一方、高い速度での走行は車間距離の短縮を招き事故発生の可能性を高くする。また、緊張による疲労の度合いも高くなると考えられる。そこで、実測データを基に先急ぎ運転の無意味さを理解させる。この事実を理解することが、安全運転教育を行うために必要であると考えられる。また、理解させることで ITS による安全運転支援システムの適切な利用を促せると考えられる。これらのことから、実車による先急ぎ運転の得失評価可能なシステムを開発した。

12.2.3 先急ぎ運転の得失評価条件

先急ぎ運転による得失の評価要素としては、安全条件（事故による損失の可能性）、移動効率（時間的な損失）および疲労の度合い（体力的な損失）の3条件とすることにした。

(1) 安全条件

交通事故の多くが衝突によって発生しているといえる。衝突による事故は、停止距離より進行方向空間距離（または、車間距離）が短い場合に発生する。したがって、安全な走行条件は式 10.1 で表すことができる。この条件から、衝突可能性（CPI）は式 10.2 で表すことができた。この CPI が 1 よりも大きい場合に衝突可能性を有する。また、走行全体の安全性（不安全性）についての評価は不安全割合によって行った（式 12.1）。この不安全割合に

より各走行での衝突等に関わる安全度（不安全度）の評価が可能となる。

(2) 移動効率

事故を起こした運転者の約 50% は急いでいたと回答している [71]。また、高い速度で走行することで、早く目的地に到着すると考えている人が多い。このことが、十分な車間距離が保持されない要因であり、道路交通法を守った運転が安全運転と認識していながら遵守できていない 1 つの要因であると考えられる。高い速度で走行しようとする、その速度より低い速度で走行している車両に接近することになる。ところで、高い速度での走行を行おうとしても、停止信号などで前方により停止車両がある、あるいは、交差方向の道路を走行する車両があった場合には、停止する必要がある。それまで高い速度で走行していた車両が停止信号等で停止している間に、道路交通法を守って走行している車両が追いついてくるとも考えられる。すなわち、必要以上に高い速度での運転では、遵法速度での車間距離を十分保持した運転に比べて停止信号などでの停止時間が長くなるとも予想される。この考えから、移動効率を評価する場合の指標の 1 つとして、旅行時間 (T_{travel}) に対する停止時間 (T_{stop}) の割合（停止割合）を移動効率の評価指標とした（式 12.2）。

$$\text{停止割合} = \frac{T_{stop}}{T_{travel}} \quad (12.2)$$

(3) 疲労の度合い

人は緊張時には交感神経が活性化され心拍数が高くなることが知られている。また、人は極度の緊張が続くと疲労が生じ、その結果、覚醒水準の低下などが起こりやすくなる。高い速度での走行や車間距離の短い運転では、注意した状態、すなわち、高い緊張下での運転となると考えられる。自動車運転中の疲労度を定量的に計測する方法としては、心拍間隔（RRI）による疲労度の評価法や心拍変化率によるストレス評価法などが報告されている [77][78][79]。本研究においても、心拍間隔の変化率により緊張の高さを評価することにした。本章では、疲労度の評価を心拍数の変化率、ヒストグラムおよび質問紙調査によって行った。

12.2.4 実車による測定のための装置

不安全割合算出のために車両速度と車間距離の測定、停止割合算出のために運転時間の記録、心拍数計測に心電記録が必要である。また、詳細な分析を行うための付加情報として前方画像および位置情報を記録した。そこで安全運転管理教育システム（ASSIST）の一部の機能を利用し、前節であげた項目について評価するための情報を取得可能な車載システムを開発した。

運転者の心拍数を測定するために心電記録装置（パラマ・テック社:EP-202）を加え心電データを車載システムの構成要素である組込み PC ヘシリアルで送信し、記録した（図 12.6）。心電波形から心拍数を得るために最も振幅が大きい R 波の周期(RRI: R-R Interval)を計測し、1 分間の平均を求めた。また、ASSIST 車載システムにおける車載コンピュータには各センサ情報を記録するための記録ソフトウェアを組み込んだ。記録ソフトウェアは半導体記憶装置（Intel SSD）に 1 秒ごとに記録を行う。

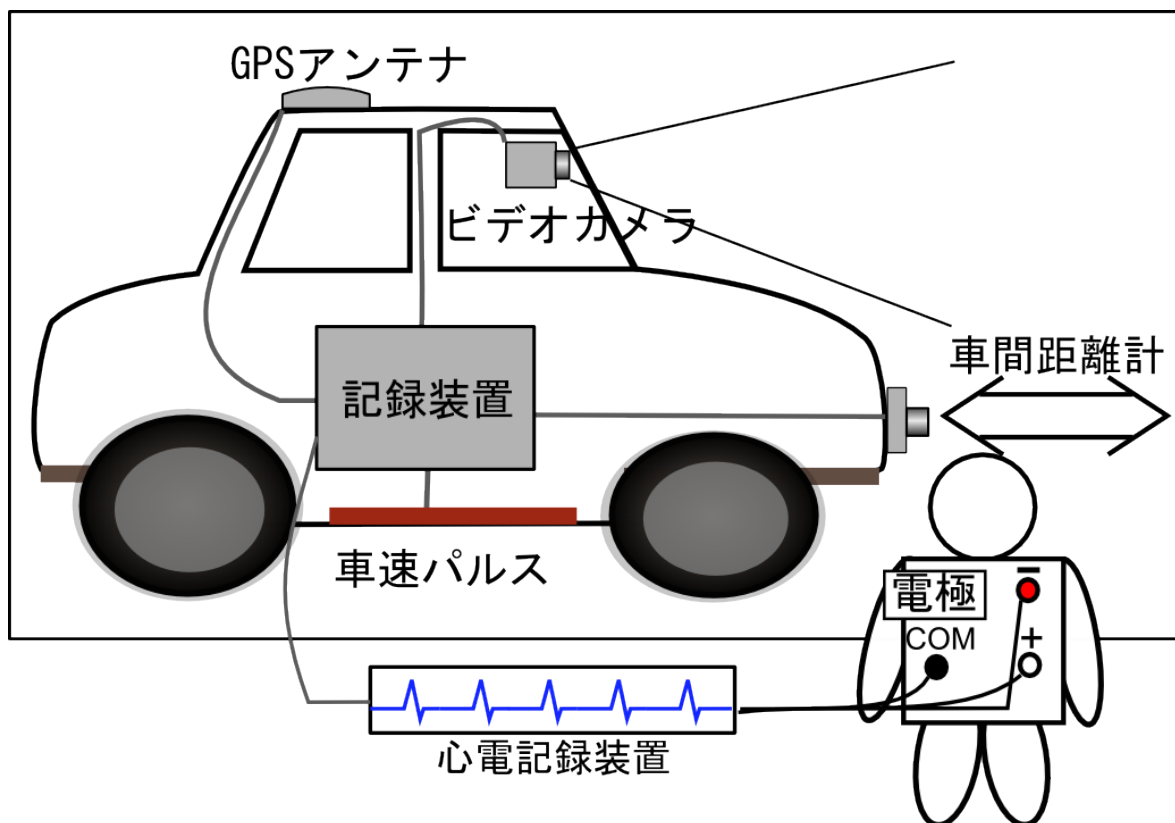


図 12.6 心電記録装置を追加した車載システムの構成

12.2.5 先急ぎ運転行動分析ソフトウェアの開発

走行後に記録された運転行動データを取り出し、運転行動の観察、分析を行うことを目的として、運転行動分析ソフトウェアの開発を行った（図 12.7）。開発には Delphi6 Personal を使用した。

走行状況を確認できるようにするために、前方画像の表示時点から前後 5 秒間分の速度、車間距離および CPI をグラフ表示し確認できるようにした。また、前方画像の表示時点の現在位置は電子地図（電子国土:国土交通省）を利用して表示した。走行コースを確認できるようにするために、走行軌跡も電子地図上に描画した。これらの情報を動画のように再生す

ることにより状況確認を行うことが可能となった。

走行の安全度評価として、1 走行の全時間に対しての不安全割合、停止割合、付加情報として走行距離、旅行時間、旅行速度（全走行時間（停止時間を含む）で走行距離を除した値）、停止回数（10 秒間以上の停止）、急ブレーキ回数（1 秒間あたり 10km/h 以上の減速）を集計できるようにした。心拍数においては、1 走行全体の変化をグラフで表し、現在位置をマークすることで走行状況にともなう心拍変化を確認可能にした。



図 12.7 先急ぎ運転行動分析ソフトウェア

12.2.6 実車による先急ぎ運転に関する実験

長い車間距離で走行すると割り込みなどが多く発生し目的地への到着が遅くなるとの考えを持つ人が多い。そこで、先急ぎ運転と安全運転における旅行時間と安全度、および心身の負担度の評価を目的に、公道で実験を行った。その際に、先急ぎ運転を行う場合には他の車両に短い車間距離での追従や可能な限り追越しを行う運転、また、安全運転を行う場合には車間距離を十分保持した運転を行うように指示した。実験での運転は自動車学校の指導員など、高い運転技術を持つ者が行った。

(1) 実験方法

安全運転車と先急ぎ運転車で走行する道路上の他の車両環境をできるだけ等しくするために、1 台を先急ぎ運転条件、もう 1 台を安全運転条件とし、先急ぎ運転車の真後に安全運転

車がいる状態からほぼ同時刻に出発させた。「3秒以上の車間距離を保持し、交通信号を守り、一時停止規制交差点や踏切では4秒以上の停止状態で安全確認を行う運転」を安全運転、「できるだけ高い速度での走行、可能であれば追越し、追い抜きを行う運転」を先急ぎ運転と説明し、各運転者にそれぞれ走行させた。自動車の運転は自動車学校の指導員6名が行った。指導員は一定以上の技量を有しており安全運転についても十分に理解しているために運転者の運転技量による差については考慮しないものとした。記録データから旅行時間、不安全割合、心拍、および、急ブレーキ回数についても分析した。

(2) 実験コース

実験用走行コースを図12.8に示し、コースでの停止要因となる信号数、一時停止規制交差点の数および踏切数を表12.5に示す。コース1は全長11.5kmで、信号は29箇所、一時停止規制交差点は5箇所、踏切が1箇所あった。その詳細は、出発地点からA地点まで片側一車線であり踏切が1箇所、A地点からB地点は中央線のない道路であり一時停止規制交差点が3箇所、B地点からC地点は片側二車線、C地点で左折を行いD地点までは片側一車線であり途中一時停止規制交差点が2箇所、D地点からF地点までは片側二車線(国道3号線)、F地点から目的地点までも片側二車線のコースであった。

コース2は全長9.8kmで信号は26箇所、一時停止規制交差点は3箇所、踏切が1箇所あった。その詳細は、出発地点からH地点までは片側二車線、H地点からJ地点までは片側2車線(国道3号線)、J地点では左折を行い片側一車線であり、一時停止規制交差点が3箇所、K地点から国道3号線に戻りL地点で右折、L地点からM地点までは片側二車線、M地点で左折を行い片側一車線の路地へ入り踏切を通過後目的地点となっている。

表 12.5 移動効率実験コースの概要

コース	全長	信号	一時停止規制交差点	踏切
コース1	11.5km	29箇所	5箇所	1箇所
コース2	9.8km	26箇所	3箇所	1箇所



図 12.8 移動効率実験コース

(3) 移動効率実験結果

実験はコース1，コース2ともに7回行ったが，コース1においてコースを間違えた者が1名いたこと，コース2の実験では車載システムが起動しなかった走行が1回あったために，コース1，コース2ともに6回分の実験データの結果について述べる．運行行動分析ソフトウェアを使用してコース1とコース2の実験データの集計し，詳細分析を行った．

コース1における安全運転と先急ぎ運転での旅行時間，停止時間，不安全割合を図12.9に示す．先急ぎ運転の旅行時間が安全運転と比べ，最大で4分48秒(15.4%，最大差)(2/14

9:32:11 出発での走行), 最少で 12 秒 (0.8%, 最少差: 2/17 10:58:31 出発での走行) 短かった。平均では安全運転においては 31 分 39 秒, 先急ぎ運転では 28 分 14 秒であり, 先急ぎ運転での旅行時間の方が 3 分 25 秒短かった。停止時間の平均は安全運転では 7 分 6 秒 (平均停止割合: 22.1%) に対し, 先急ぎ運転では 7 分 25 秒 (平均停止割合: 26.0%) であった。不安全割合については, 安全運転では平均 1.4% であったのに対して, 先急ぎ運転では 36.9% であった。旅行時間は先急ぎ運転の方が平均 3 分 25 秒短かったが, 不安全割合の平均は先急ぎ運転の方が 35.5 ポイント高く, 急ブレーキ回数については, 安全運転では平均 0.2 回であったのに対して先急ぎ運転では平均 3.4 回であった。

コース 2 の走行においては, 先急ぎ運転での旅行時間は同時刻 (2/15 19:10:57) に出発した安全運転での旅行時間よりも 4 分 8 秒 (12.7%, 最大差) 早く目的地に到着した場合もあるが, 一方, 9 秒 (0.6%) 遅く着いた場合 (2/18 15:27:15) もあった (図 12.10)。旅行時間の平均値は安全運転では 29 分 7 秒, 先急ぎ運転では 27 分 46 秒であり, 先急ぎ運転での旅行時間の方が 1 分 21 秒 (4.6%, 最少差) 短かった。停止時間は安全運転では平均 8 分 23 秒 (平均停止割合: 28.5%) に対し先急ぎ運転では 9 分 27 秒 (平均停止割合: 34.0%) であった。不安全割合については安全運転では 1.5%, 先急ぎ運転では 35.4% であった。旅行時間は先急ぎ運転の方が平均 1 分 21 秒短かったのに対して, 不安全割合の平均値は先急ぎ運転の方が 38.8 ポイント高かった。それぞれの急ブレーキ回数は安全運転においては 0 回, 先急ぎ運転においては平均 2.2 回であった。

コース 1 とコース 2 の安全運転の旅行時間と先急ぎ運転の旅行時間はどちらにおいても有意な差は認められなかった ($t(12)=1.975, p>0.1; t\text{-test}$)。先急ぎ運転での旅行時間は安全運転に比べ平均 6.6% 短かった。不安全割合は先急ぎ運転 38.6%, 安全運転 1.4% であり, 先急ぎ運転での不安全割合が有意に高かった ($t(24)=16.729, p<0.01; t\text{-test}$)。停止割合は先急ぎ運転においては 30.0%, 安全運転では 25.5% であり, 先急ぎ運転での不安全割合が有意に高かった ($t(24)=1.517, p<0.05; t\text{-test}$)。

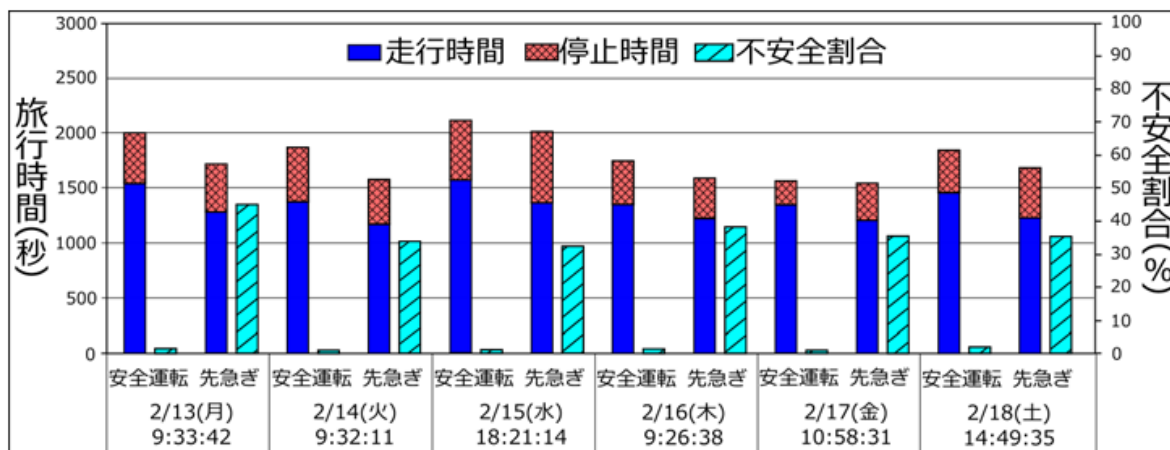


図 12.9 コース 1 における安全運転と先急ぎ運転での旅行時間と不安全割合

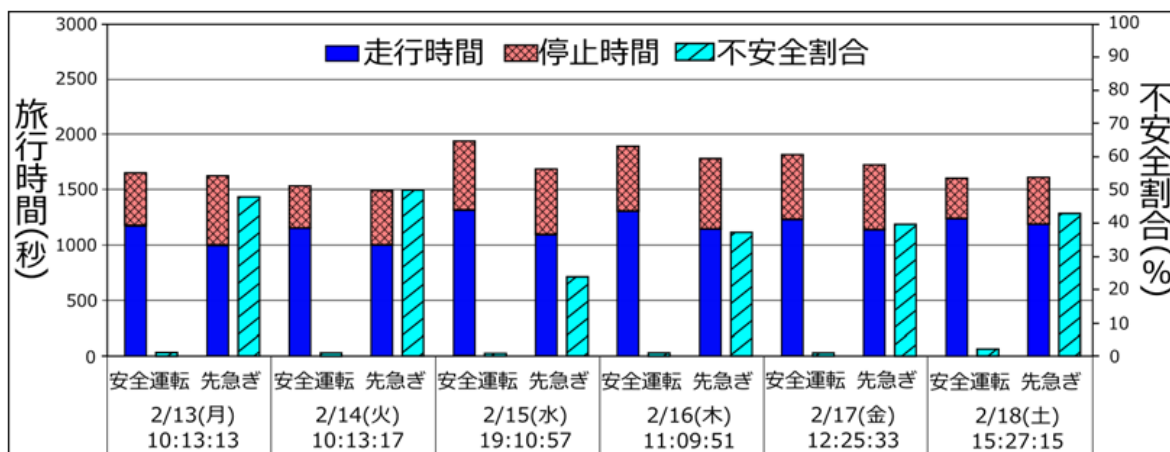


図 12.10 コース 2 における安全運転と先急ぎ運転での旅行時間と不安全割合

(4) コース 1 での旅行時間差最大と最少の状況の説明

コース 1 における区間ごとの旅行時間および信号停止回数を図 12.11 に示す。初めに、先急ぎ運転と安全運転での旅行時間差の最大と最小の状況について説明する。信号停止は、安全運転車では 12 回、先急ぎ運転車では 11 回であった。出発地点と A 地点間では、先急ぎ運転車が信号停止を 4 回、安全運転車は 3 回であったため後から出発した安全運転車は先急ぎ運転車に追いつき A 地点を同時に通過した。A 地点から B 地点では信号停止はなかったが一時停止場所が 3 箇所あったため B 地点通過時には安全運転車が 22 秒遅れて通過した。B 地点から C 地点間では、先急ぎ運転車と安全運転車は 1 回の信号停止であったが、安全運転車の方が信号停止時間が長かったため C 地点を 43 秒遅れ通過した。先急ぎ運転車においては C 地点から D 地点間の信号停止回数

は同じであったが、安全運転車は三号線に合流するために一時停止した箇所における交差道路の交通量が多かったため、長く停止しなければならなかった。そのために D 地点では安全運転車が 127 秒遅れて通過した。D 地点から E 地点、E 地点から F 地点間での信号停止回数は両車両とも同じだったために安全運転車に大きな遅れはなかった。先急ぎ運転車 F 地点から G 地点間では、先急ぎ運転車が 1 回の信号停止を行ったのに対し、安全運転車は 2 回の信号停止を行った。また、安全運転車は右折のために対向車両通過待ちをしたので G 地点通過時には先急ぎ運転車に対して更に 123 秒の遅れが発生し、その差は 262 秒となった。G 地点から目的地点まででは、先急ぎ運転車は 0 回の信号停止に対し、安全運転車は 1 回の信号停止する必要があった。そのために、最終的な旅行時間は、先急ぎ運転車に対して安全運転車が 288 秒長くなるという結果となった。安全運転車は交差道路で合流する道の交通量が多かったために旅行時間が長くなったと考えられる。

最も旅行時間に差がなかった走行（2/17 10:58:31 出発の走行）においては、信号停止は安全運転では 9 回、先急ぎ運転では 6 回であった。E 地点通過までは安全運転車は信号停止回数が 3 回多く 135 秒の遅れが生じたが、F 地点通過では安全運転車が 5 秒早く通過した。それは先急ぎ運転車は F 地点で信号停止と対向車通過待ちの後に右折を行ったために F 地点通過に長い時間が必要であったからである。その後の停止回数は変わらず旅行時間の差に大きな変動は生じなかった。

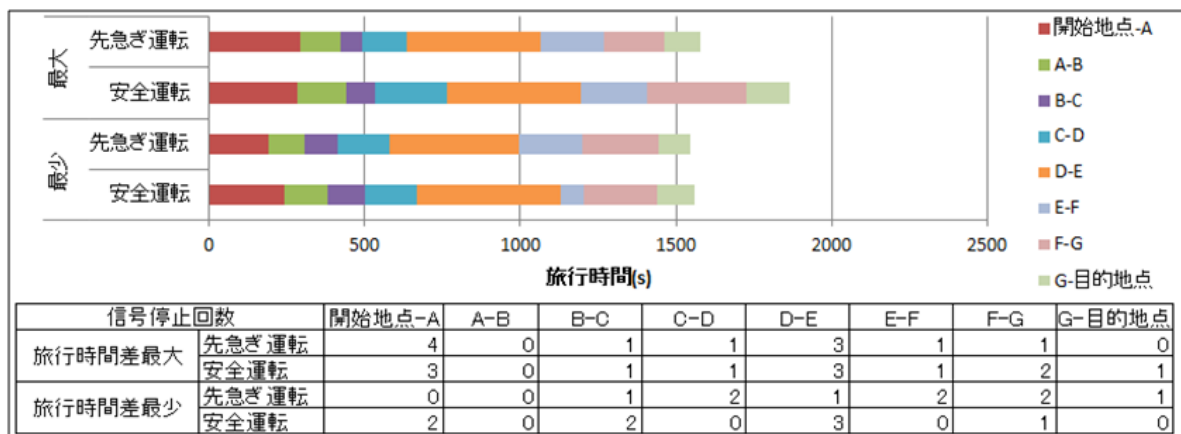


図 12.11 旅行時間差最大および最少の走行における旅行時間と信号停止回数（コース 1）

(5) コース 2 での旅行時間差最大と最少の状況の説明

コース 2 について、最も旅行時間の差が大きかった走行と小さかった走行について、区間ごとの旅行時間、信号停止回数を図 12.12 に示す。コース 2 では 2/15 19:10:57 出発の走行において旅行時間の差が最も大きく、先急ぎ運転車の旅行時間が 4 分 8 秒短かった。出発地点から H 地点間では、先急ぎ運転車の信号停止はなかったのに対し、安全運転車は 2 回

の信号停止を行った．そのために H 地点通過時には先急ぎ運転車に対して 129 秒の遅れとなった．H 地点から I 地点間では，安全運転車が 1 回多くの信号停止を行った．そのために H 地点通過時には先急ぎ運転車に対して 156 秒の遅れに広がった．I 地点から J 地点間では，信号停止回数は同じであったので，J 地点通過時の旅行時間の差は 156 秒のままであり大きく広がることにはならなかった．J 地点から K 地点間では，信号停止はどちらもなかったが，一時停止箇所が 3 箇所あったので先急ぎ運転車が要した時間は 154 秒に対し，安全運転車は 16 秒の停止を必要としたので K 地点通過時には先急ぎ運転車に対して合計 170 秒の遅れとなった．K 地点から L 地点間では，先急ぎ運転車の信号停止回数は 2 回であったのに対し，安全運転車が先急ぎ運転車より 1 回多く信号停止を行った．そのために，L 地点通過時には先急ぎ運転車に対しての遅れは 312 秒に広がった．L 地点から M 地点間では信号停止回数は同じであったが，安全運転車は前方車両が右折待ちを行ったので停止時間が長くなり，旅行時間の遅れは 358 秒となった．M 地点から目的地点間では先急ぎ運転の方が安全運転よりも信号停止回数が多くなった結果，旅行時間の差が縮まり，最終的な旅行時間の差は 248 秒となった．

最も旅行時間に差がなかった 2/18 15:27:15 出発の走行については，安全運転車の方が先急ぎ運転車に比べ旅行時間が 9 秒短かった．出発地点から H 地点間では，先急ぎ運転車の信号停止回数は 2 回であり，安全運転車はそれより 1 回多くの信号停止を行ったが，H 地点通過時の旅行時間には大きな差は生じなかった．H 地点から I 地点間では，先急ぎ運転車は H 地点を左折後に追越車線を走行したが，追越車線の混雑度が高かったので，巡航速度は遅くなった．一方，安全運転車が走行していた車線では混雑度は低かったので，巡航速度は先急ぎ運転車よりも高く保持できていた．信号停止回数においても，安全運転車が 1 回少なかったこともあり，I 地点では安全運転車が 24 秒早く通過した．I 地点から J 地点間では先急ぎ運転車は車線変更を 5 回繰り返し，J 地点では安全運転車に追いついた．しかし，J 地点から K 地点間は片側一車線であったので，先急ぎ運転車は安全運転車を追い越すことができず，K 地点を安全運転車が先に通過した．K 地点から L 地点間で，先急ぎ運転車は追越車線に入り安全運転車を追い抜いたが，L 地点で前方の車両が右折を行うために停止を行ったので，その間は停止せざるを得なかった．先急ぎ運転車が停止している間に安全運転車が走行車線において先急ぎ運転車を追い抜き，先に L 地点を通過した．L 地点から M 地点間においても，安全運転車が先急ぎ運転車よりも先に M 地点を通過した．M 地点から目的地点までは片側一車線であるために両条件走行の間に差は生じず，安全運転車が先急ぎ運転車よりも 9 秒早く目的地点に到着した．

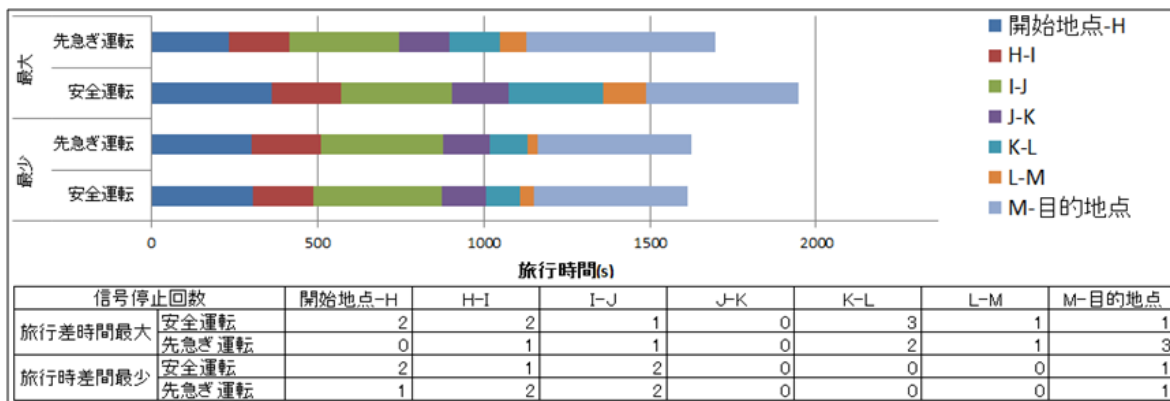


図 12.12 旅行時間差最大および最少の走行における旅行時間と信号停止回数 (コース 2)

(6) 心拍数

心拍数は安全運転と先急ぎ運転での実験参加者に対して、合計 4 回の記録を試みたが、電極の付け方が悪く運転中にずれたので 2 回の記録しかできなかった。記録した心電波形を基に 1 分平均の心拍数を算出した。安全運転と先急ぎ運転での心拍変化率を図 12.13 に示す (1 走行について)。安全運転での 1 分平均心拍数の最大は全体平均値 112.1% であったのに対して、先急ぎ運転では 157.3% であった。また、両運転での心拍数のヒストグラムを図 12.14 に示す。安全運転では 95bpm 以下の心拍であったのに対し、先急ぎ運転では 95bpm 以上での心拍が認められた。このことから、先急ぎ運転では心拍数の変化が多く、安全運転よりもストレスの強い運転となっていると考えられる。

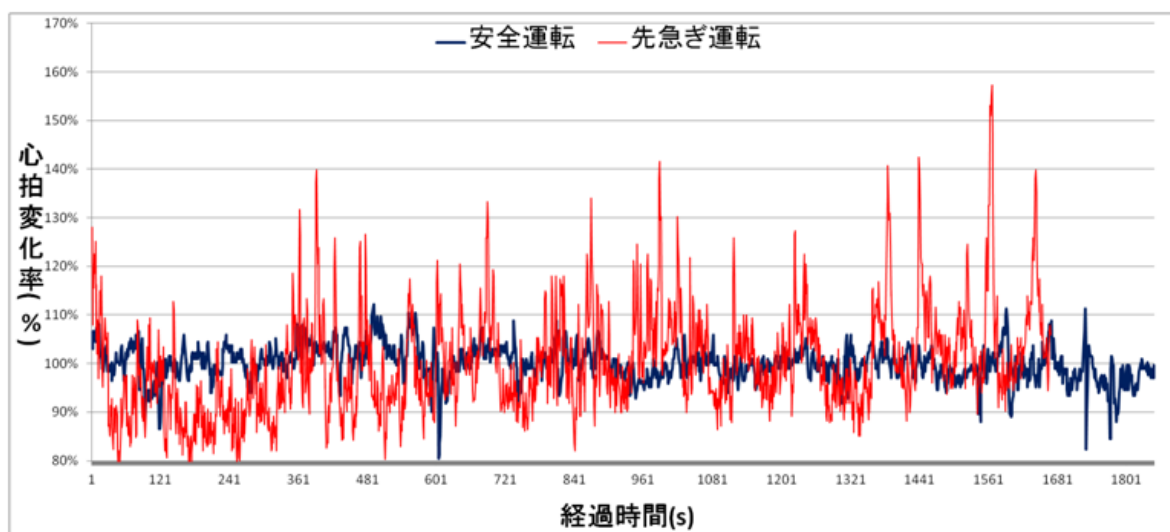


図 12.13 安全運転と先急ぎ運転での心拍変化率

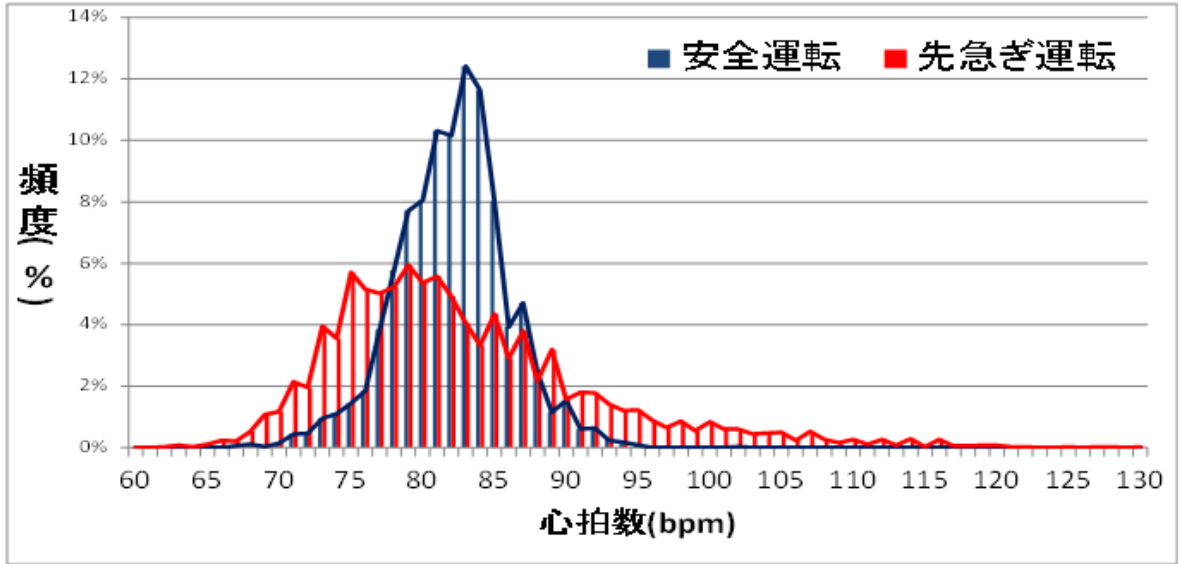


図 12.14 安全運転と先急ぎ運転での心拍数ヒストグラム

(7) 質問紙調査

実験後に、実験参加者 6 名に対して、疲労感や早着感に関して 7 段階評価を行った（表 12.6）。質問紙調査の結果先急ぎ運転において疲労感、危険感を安全運転よりも強く感じている人が 6 名であった（図 12.15）。先急ぎ運転での到着時間については安全運転よりも早くなると感じていた。また、5 名が安全運転よりも先急ぎ運転の方が緊張したと回答した。

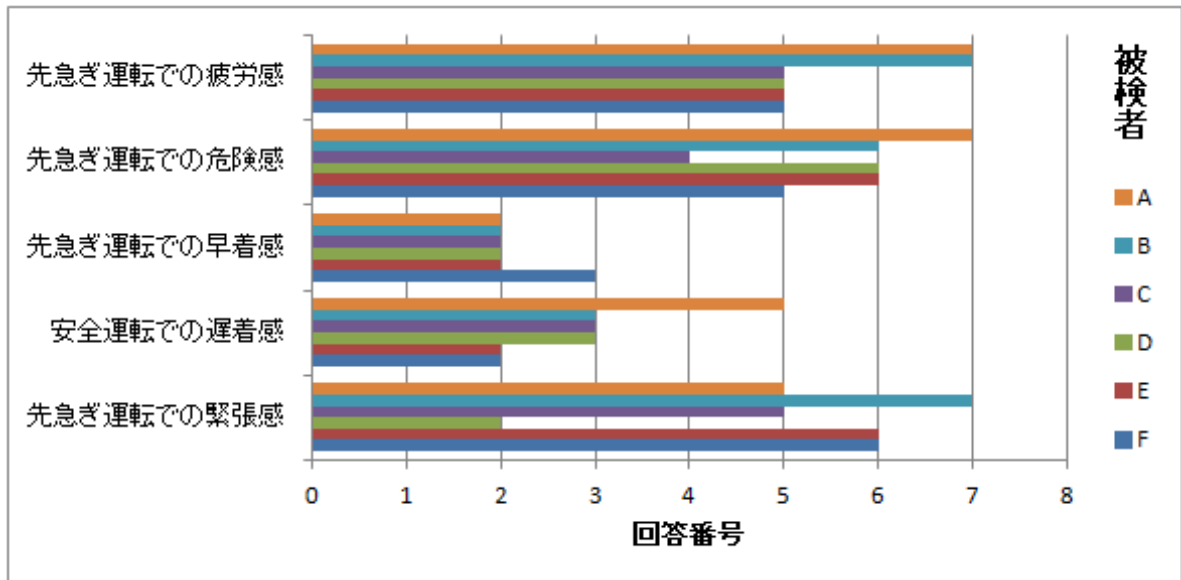


図 12.15 疲労感や早着感などに関する調査結果

表 12.6 質問紙調査質問内容

質問内容		回答番号	
先急ぎ運転での疲労感	疲労感はあまりなかった	1 2 3 4 5 6 7	大変疲れた
先急ぎ運転での危険感	安全運転と同じくらいの危険感であった	1 2 3 4 5 6 7	危険感は大であった
先急ぎ運転での早着感	安全運転よりかなり早く着いたと感じた	1 2 3 4 5 6 7	安全運転と同じ時間がかかったと感じた
安全運転での遅着感	先急ぎ運転よりかなり早く着いたと感じた	1 2 3 4 5 6 7	到着時間は先急ぎ運転時と同じと感じた
先急ぎ運転での緊張感	安全運転の方が緊張した	1 2 3 4 5 6 7	先急ぎ運転の方が緊張した

12.2.7 考察

本実験における先急ぎ運転の得失を考える。目的地までの到着時間（旅行時間）については、先急ぎ運転をした場合の方が早くなる場合が多かったが、時間短縮度の平均は6.6%であった。ただし、安全運転の方が早く目的地に到着した走行もあり、先急ぎ運転をしても必ずしも早く目的地に到着できるとはいえない。すなわち、道路環境の影響が大きく、先急ぎ運転による旅行時間の短縮度は累積されるものではなかった。一方、不安全割合（走行時間に対し、停止距離よりも車間距離の短い時間の割合）は安全運転の場合は平均1.4%であったのに対して、先急ぎ運転を行った場合は平均38.6%に及んだ。質問紙調査を行った結果、全実験参加者が安全運転よりも疲労を感じており、また、運転中の心拍数の変化についても先急ぎ運転の方が大きかったことから、短い車間距離での運転による緊張度は大きいと考えられる。日常的にかなり長い距離の運転を行う場合には、この緊張度による疲労が多い分、より長い休憩時間が必要となり、逆に移動効率が低下することも考えられる。日常的に先急ぎ運転を行う運転者は車間距離の長い運転者よりも休憩時間が長く、収入は少ないことがタクシー運転労働においても指摘されている [80][81]。適度な心拍数上昇は集中力向上の手助けとなるが、集中状態が長くなることにより疲労し、その後は脳活動が低下しがちで、それにともない注意力も低下する [82]。そのため、衝突可能性を有する短い車間距離での走行に

要求される高い注意や集中は利益をもたらさないと考えられる。

先急ぎ運転は時間的に得となる（早く目的地に着く）場合があるが、その時間短縮度は大きいものではなく、逆に損になる（安全運転の方が早く着く）場合もある。あるいは、停止距離よりも車間距離の短くなる割合がかなり高くなるので、追突事故を起こす可能性が高くなる。大きなストレスによって疲労の大きな先急ぎ運転は、必ずしも利益をもたらす運転とはいえない。本実験で検証したように、先急ぎ運転が得でないと運転者が認識できれば、安全運転支援システムを積極的に利用する者が多くなると考えられる。ただし、本実験での旅行時間は約 30 分と短いものであった。安全運転と先急ぎ運転での運転労働の効率については、さらに長い時間での走行実験を行うとその影響はより顕著となると考えられる。

これらのことから、本システムを使用することにより、先急ぎ運転の得失評価を数量的に行うことができるようになり、走行ごとの比較が可能となる。さらに、本研究において開発した運転行動分析ソフトウェアを使用することで詳細な状況の確認および区間ごとの比較を行うことができ、体験的に先急ぎ運転の非優位性を理解させることができるようになると思われる。

12.3 まとめ

運転者は、損得勘定によって、自分自身にとって最も利益になると思える運転を思考していると考えられる。運転者の損得勘定における要因としては、高い速度で走行すると旅行時間が短縮するという利益と、高い速度で走行することによる交通違反、交通事故などの損失である。しかし、多くの人は高い速度で走行すると旅行時間が短縮すると考えている。また、追突事故は稀現象であるために、交通事故のリスクは軽視される傾向がある。さらに人は他人よりも先行しようとする衝動を持っていると考えられ、無意識的にできる限り高い速度で走行しようとしているとも考えられる。これらのことから、交通事故防止のためには運転者の意識改善を図る必要がある。そこで、実データを基に短い車間距離の運転や先急ぎ運転での旅行時間に対する影響や、旅行時間と不安全性の相関から、先急ぎ運転の損得を分析した。

旅行時間と不安全性の相関を調べるために、T 運送会社のトラックにおける旅行時間と不安全性割合の関係についての分析を行った。分析の結果、旅行速度と不安全性割合の間に相関は見られなかった。すなわち、進行方向空間距離を詰めても旅行時間の短縮はもたらさないといえる。車は常に走行しているため、車間距離をあけていようと詰めていようと同一距離を走行することになる。一方、車間距離をあけた運転は不安全性割合を低くするので、このことが事故防止に繋がり、利益があるといえる。また、高速道路では一般道路に比べ不安全性割合が高いことから、運転者は安全な車間距離を十分保持できていないと考えられる。よって、高速道路では、運転者が想定する以上の進行方向空間距離を取る必要がある。

より目的地に早く着こうとして、より高い速度での走行を指向した先急ぎ運転が車間距離を短くしていると考えられるが、先急ぎ運転により到着時間を価値あるほどに短縮できているかの問題に関しては、詳細には明らかにされていなかった。また、先急ぎ運転が日本の道路環境でも短縮されるかどうかは明らかにされてはいなかった。そこで、先急ぎ運転がどのような状況をもたらすかを明らかにすることを計画した。初めに質問紙により意識調査を行った。その結果、速度を高めて走行すると到着は早くなると10名中10名が回答した。このことから、多くの人が速度を高めて走行すると到着は早くなると考えていることが推測できた。そこで、速度を高めて走行（先急ぎ運転）すると目的地までの旅行時間が短縮できるのかを明らかにし、運転者に先急ぎ運転の非優位性を理解させることを目的に、ASSISTの一部機能を利用した先急ぎ運転の得失分析システムの開発を行った。そして、公道上のコースを実車で走行する実験を行い、本システムの運転行動分析ソフトウェアを使用し走行の評価、詳細分析を行った。その結果、安全運転と先急ぎ運転では、先急ぎ運転の旅行時間が平均6.6%短くなった。しかし、先急ぎ運転は安全運転に比べて不安全割合は37.1ポイント、停止割合は4.5ポイント増加し、心拍数も上昇した。旅行時間は、運転の仕方よりも道路環境の影響が大きく、道路環境によっては先急ぎ運転よりも安全運転が早く目的地へ到着することもあった。先急ぎ運転をしても旅行時間の短縮度はわずかである。一方、安全運転と比べて車間距離が短くなるため追突事故を起こす可能性が高くなり、危険な運転となる。さらに先急ぎ運転時は緊張度が大きくなるので、先急ぎ運転をすると、疲労がより早く生じることになる。先急ぎ運転により疲れが生じると、休息が必要となる。このようなことから、先急ぎは必ずしも利益をもたらす運転とはいえない。

本システムを安全運転教育に使用することにより、普段の運転から体験的に先急ぎ運転の非優位性を教育し、理解させることができるようになると考えられる。また、教育を繰り返すことにより、安全な車間距離を保持した運転を習慣付けることができると考えられる。そして、先急ぎ運転の非優位性を理解させることで、ITSによる安全運転支援装置の積極的な受け入れにも繋がっていくと考えられる。

第 13 章

運転行動データの解析

実時間で複数の車両の運転者を教育するためには、すべての運転行動を見ることなしに不
安全な箇所を発見・報告できなければならない。現在ドライブレコーダが普及し、ドライブ
レコーダの記録を基に危険箇所のデータベースの作成が行われている [83]。ドライブレコー
ダでは、加速度を用いて不安全な箇所を録画・記録している。しかし、一般道路においては
マンホールやハンプなど路面に凹凸があるので、それにより多くの不要データが記録され
る。ドライブレコーダのデータを目視で解析した結果、トラックにおける有用なデータは
0.8% (457 件中 4 件)、バスでは 5.3% (75 件中 4 件) であったという報告がある [84]。そ
こで本章では、ASSIST 車載システムによって記録した運転行動データを用いて、運転行動
データ解析手法の検討を行った。そこで、まず、実車で得られた運転行動データからどのよ
うな不安全な状況を調べることが可能なのかを検討する必要がある。

13.1 CPI による不安全運転行動解析

ASSIST では、追突事故における不安全指標として CPI を利用している。この CPI の変
動から、運転行動記録における不安全運転行動箇所を検索可能なシステムの開発を行った。

13.1.1 不安全運転行動解析ソフトウェア開発のための予備的な解析

3 人の運転者 (A,B,C) の走行記録において、CPI の変動によって不安全運転行動の検出
が可能かどうかの予備的な解析を行った。短い車間距離を保った状態での走行や、CPI が急
激に大きくなった箇所 (不安全運転箇所) を個々に調べた結果、運転者によって追越しをす
るタイミングや追い越すときの車間距離の取り方が異なっていた。不安全割合の高い運転者
C は、前方車両にかなり近づいてから車線変更を行っていることが多かった。それに比べ
て不安全割合の低い運転者 A は、十分な車間距離を保持した状態で車線変更を行っていた。
前方車両に近づいてから車線変更を行っている場合は、CPI は徐々に上昇し、追越しによ

り前方車両がいなくなると急激に減少する(図 13.1)。したがって、追越し時の接近行動は、CPI が大きく減少する箇所を指標として、検出が可能と考えられた。また、自車が車両の間に割り込む際に CPI が高くなる状況もあった。この場合には、CPI は急激に上昇する。また、他車が、自車の前に割り込んできた場合も CPI が急激に上昇する(図 13.2)。これらのことから、CPI が急激に変動する箇所と不安全な運転を行っている箇所が一致するのではないかと考えた。そこで、指定した値より大きく CPI が変動する箇所を検索可能な不安全運転行動解析ソフトウェアの開発を行った。

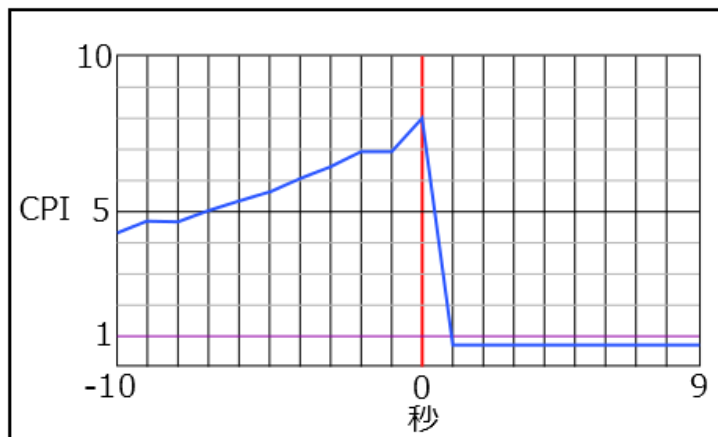


図 13.1 追越し時の CPI 変動 (急減)

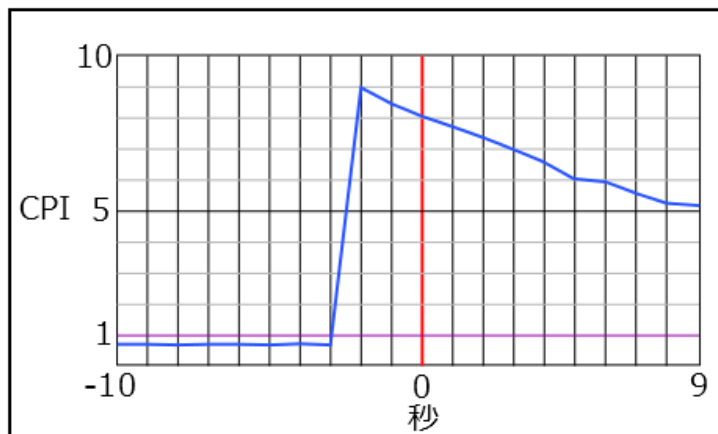


図 13.2 割り込み時の CPI 変動 (急増)

13.1.2 不安全運転行動解析ソフトウェアの開発

不安全運転行動解析ソフトウェアは、検出した不安全運転行動を目視で確認できるようにするために、運転行動再生ソフトウェアに集計機能を追加した。図 13.3 に集計機能を追加した運転行動再生ソフトウェアの画面例と図 13.4 に開発した不安全運転行動解析ソフトウェアを示す。図 13.3(a) でファイル選択を行い、図 13.3 (b) 集計ボタンを押すとそのファイルを含む 1 乗務分の集計と 10 分間ごとの平均速度のグラフと不安全割合の変化グラフが図 13.4 のように表示される。なお、一度集計したものは保存され図 13.4(d) のリストボックスに日付が記録される。図 13.3 (c) の複数集計ボタンをクリックするとすべてのファイルが集計され、同様に図 13.3(d) に記録される。図 13.4(d) に記録された日付をクリックすると図 13.4 (e) に示すようなリストボックスに 1 乗務の走行時間、走行距離、不安全割合等の集計結果が表示される。図 13.4 の左下は検索機能となっており、図 13.4(g) では”CPI 継続” と”CPI 増加”、そして” CPI 減少” の 3 つの検索を選択できる。図 13.4(h) と (i) 検索条件を指定でき、図 13.4(j) 検索ボタンを押すと、図 13.4(f) に該当件数と図 13.4(k) のリストボックスに、検索結果を表示する。検索結果は CPI 継続検索の場合は、継続秒数が長いものから順に表示し、CPI 増加と CPI 減少の場合は CPI の変動が大きいものから順に表示した。検索結果を選択すると図 13.3 に示す運転行動再生画面に遷移し、変化した瞬間の状況を再生可能になっている。



図 13.3 運転行動再生ソフトウェア

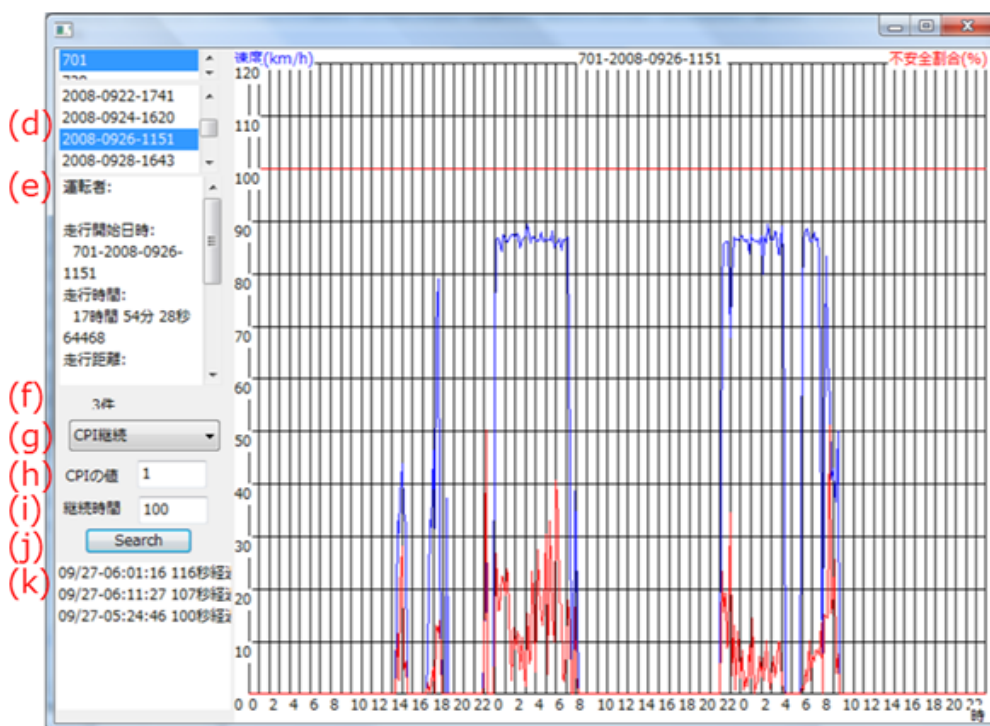


図 13.4 不安全運転行動解析ソフトウェアによる 1 乗務集計および検索画面

13.1.3 検索実験

不安全運転行動解析ソフトウェアによる教育では，不安全な運転行動のデータのみを利用することを想定している．この際，多数の不安全でない運転行動が検索結果としてあらわれると，それを目視によって判別する必要があり，教育を行う際の効率が低下する．そこで，不安全運転行動解析ソフトウェアにより検索を行った場合に，安全運転教育に適した不安全箇所のみを検出できるかどうかの検証を行った．

(1) 検証に用いた運転行動データ

検証には 2009 年の 8 月 31 日，9 月 14 日および 10 月 2 日を走行開始日とする 3 乗務分の高速道路および一般道路を走行した際の運転行動データを使用した．このうち，9 月 14 日は雨天であった．検索結果の上位 20 件に対して，目視で教育対象箇所として妥当かどうかの評価を行った．CPI 減少および CPI 上昇検索の場合の CPI 変動条件は 5 とした．

(2) 実験結果

教育対象として利用可能な検索結果の割合について表 13.1 に示す．CPI 継続（高い CPI の継続）部分のうち，平均 98.3% が不安全運転行動であった（8 月 31 日：100%，9 月 14

日：100%，10月2日：95%）。CPI急減少部分については，平均60%が不安全運転行動であった（8月31日：70%，9月14日：40%，10月2日：70%）。CPI急増加部分については平均55%が不安全運転行動であった（8月31日：70%，9月14日：50%，10月2日：45%）。表13.1の教育対象外は誤検出になった理由を表している。表中のカーブはカーブ時にガードレールまでの距離を測定したこと，前車とは他の車線からの車が前方に入ったこと，誤計測は雨などにより正しい計測が行えなかったことを示している。

CPI継続部分については，カーブの誤計測以外はすべて前方車両への追従であり，CPI減少部分については，前方車両への接近した上での追越し，CPI急増加部分については，追越車線への車線変更時の追越車線走行車両への接近であった。また，雨天時である9月14日のCPIの減少および増加の両方には雨粒の影響による車間距離の誤計測が多く含まれ，教育対象にできるデータの割合が低くなっている。

表 13.1 検索評価の結果

日付	天候	不安全 割合	CPI 継続		CPI 急減少		CPI 急増加	
			検出率	教育 対象外	検出率	教育 対象外	検出率	教育 対象外
8月31日	晴れ	31%	100%	なし	70%	前車:6件	70%	前車:6件
9月14日	雨	22%	100%	なし	40%	前車:4件 誤計測:8件	50%	前車:2件 誤計測:8件
10月2日	晴れ	10%	95%	カーブ:1件	70%	前車:4件	45%	前車:9件 カーブ:2件

(3) 考察

運転行動記録を解析した結果，CPI継続部分ではカーブによる誤計測以外は前車への追従を正確に検出できていた。また，不安全割合が高いならばCPIの高い状態の継続時間も長くなると考えられる。CPI急減少には雨天時の車間距離計の誤計測によるものが多かった。晴天時でも他車の動きによって自車の追越しや割込みではない箇所も検索されたが，約70%は正常な検出であった。不安全割合の低い運転者において，CPIが急増加した箇所の検出率が低いのは，運転者が十分な車間距離を保持して追越しをしているためと考えられる。CPI急増加については，雨天時の誤計測が検出結果に大きく影響した。前車の割込みについては，CPIの変化のみでは判別が困難であった。

13.2 一時停止規制交差点での不安全運転行動の解析

見通しの悪い無信号交差点では、完全に停止をした状態での左右の安全確認を行うことが事故防止のために必要である。見通しの悪い無信号交差点内では、交差点進入前と進入後の2箇所で出会い頭の衝突可能性がある。したがって、望ましい一時停止行動のモデルとしては、2回以上の一時停止と、停止状態での安全確認である。これらのことより、出会い頭衝突事故防止のためには、前記運転法に関する教育を行うことが必要である。ASSISTにより一時停止を行ったかどうかを自動的に検出するためには、一時停止の必要な交差点を特定するためのデータベースが必要である。しかしながら、交差点情報は公開されていないために、独自のデータベースを作成する必要がある。ASSISTでは、GPSデータ（位置、進行方位）と前方画像を記録しているので、一時停止箇所のデータベースの作成および不安全行動の検出が可能と考えられる。

一時停止情報のデータベースにより、ナビゲーションに連動して一時停止規制箇所情報を運転者へ伝えるシステムがある[85]。これは一時停止規制交差点の手前100mから運転者に一時停止注意喚起を行うシステムである。一時停止規制箇所のデータベースは東京23区・横浜市・名古屋市・大阪市の片側2車線以上の道路に進入する一時停止規制交差点の一部では作成されている。将来的には全国の一時停止規制箇所に関してデータベースが作成されるのではないかと期待されている。しかし、一時停止規制箇所のある箇所とない箇所が混在している場合には、交差点情報のない箇所での事故の多発も懸念される[58]。

13.2.1 一時停止位置情報データベース構築

交差点での不安全行動検出を行うためには、まず一時停止すべき交差点の位置情報（一時停止位置情報と呼ぶ）が必要である。必要な一時停止位置情報としては、経度、緯度だけでなく交差点への進入方向の情報が必要となる（図10.5、図10.6）。これは同じ交差点であっても優先道路側からは一時停止不要の場合があり得るからである。

ASSISTではGPSによる位置測定を行っており、車両の走行位置自体は認識が可能である。また、タクシーなどの例外はあるが、多くの車両はある程度、同じコースを走行している。そこで、教育対象とする車両の走行データを運転行動再生ソフトウェア（図13.3）で再生し、走行経路上の一時停止規制位置を目視で確認し、一時停止位置情報を記録していく方法で一時停止位置データベースを構築した。一時停止位置情報を効率よく記録するために、運転行動再生ソフトウェアで経度・緯度・GPSの動作状態を表示し、交差点登録ボタンを設置するなどの変更を行った。

この方法では、一時停止位置情報として記録した場所以外は、本来一時停止が必要な場所であっても一時停止位置と判定されない問題があるが、利用者がそれぞれに一時停止位置情

報を記録していくことで、利用できる地域は限定されるが、データベースの不備はある程度補えると考えている。

13.2.2 一時停止行動解析ソフトウェア設計

構築した一時停止位置情報データベースを用いて運転者の一時停止規制位置での運転行動を解析する。ASSIST 車載システムは、1秒ごとに運転行動測定装置からのデータ（車間距離、速度、位置情報、前方画像）を記録している。また、車載装置ごとに固有の車両番号を設定しており、走行終了後に車両別に運転行動データを確認することが可能である。一時停止行動の解析はこの運転行動データを車両別に解析することで行う。

車両が一時停止位置を中心とする半径約 10m の円の領域（一時停止判定領域と呼ぶ）に進入していたかを判定し、進入と判定したら進入方向が一時停止位置情報の進入方向と比較して ± 40 度の範囲内なら一時停止すべき方向から進入していたと判定する。この時、進入方向が ± 40 度の範囲を超えていた場合には、その領域を出るまでは次の一時停止判定領域の進入判定は行わない（図 13.5）。これは、GPS の計測誤差によって方向転換をしていないにもかかわらず方向転換をしたと判定することを防止するためである。一時停止判定領域の半径は、GPS の精度が約 6m および一車線の幅は約 3m であることを考慮して、余裕を持たせ 10m に決定した。

一時停止判定領域へ ± 40 度の範囲内の方向から進入した場合、一時停止判定領域外へ出るまでの停止時間、徐行時間（時速 2km 以下の時間）、領域内を通過する時間（通過時間）および最低速度を解析し集計した。この際に、通過時間が 25 秒を超えるものについては、前方車両や優先道路側を走行する車両の影響で停止する必要があったとして、除外することにした。

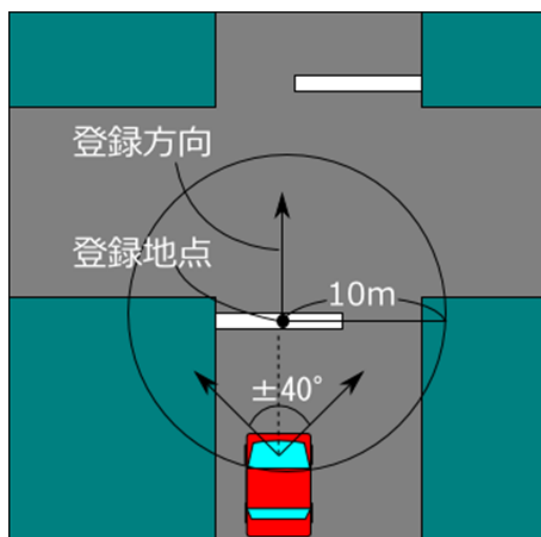


図 13.5 交差点の判定方法

13.2.3 一時停止行動解析機能の実装

13.1.2 節で開発した不安全運転行動解析ソフトウェアに一時停止行動解析機能の実装を行った。実装後の解析用ソフトウェア動作時の表示例を図 13.6 に示す。”一時停止判定領域”項目を追加し(図 13.6 (m)), 1 乗務ごとに一時停止判定領域を検索し, 一時停止判定領域があればその日付と停止時間を表示, それらをクリックすると再生画面に移動し, 一時停止判定領域直前から再生を行える。また, 1 乗務ごとの集計だけでなく任意の車両の全乗務データについて解析を行える機能を実装した。図 13.6(o) の”All Search” ボタンを押すと, 図 13.6(l) に表示されているすべての乗務データに対して連続して一時停止行動解析を行い, その結果を画面表示するとともに csv ファイルに出力する。ファイル出力機能は 1 乗務解析にも実装した。図 13.6(n) のチェックボックスにチェックを入れて解析を行うと, 選択した乗務に対する解析結果ファイルを出力することができる。解析結果ファイルには, 一時停止判定領域進入日時, 停止時間, 徐行時間(時速 2km 以下の時間), 最低速度および進入した一時停止領域の識別番号の情報を出力する。

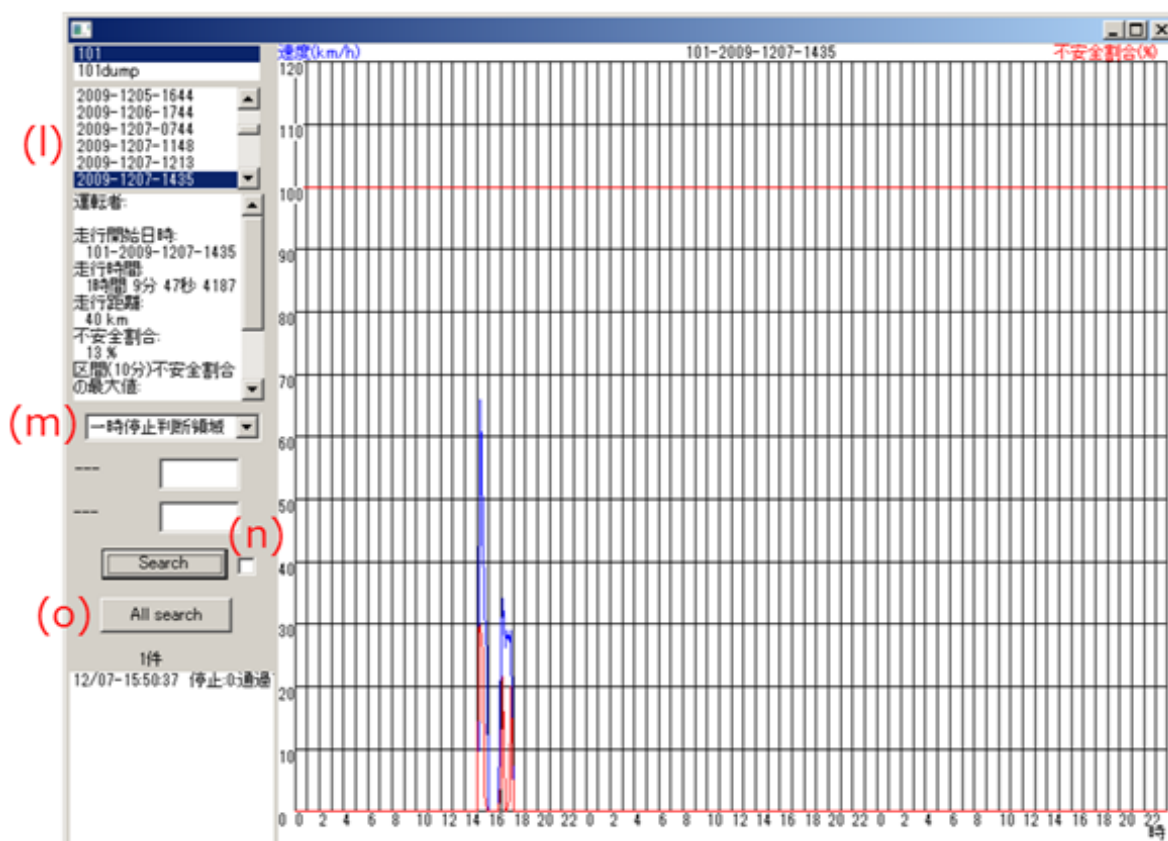


図 13.6 交差点検索実装画面

13.2.4 ASSIST における運転後の一時停止教育用ソフトウェア

解析機能に加えて、運転後の教育を行えるように、一時停止判定領域内に進入した際に停止時間、徐行時間、最低速度の項目を運転行動再生ソフトウェアに表示する機能を追加した(図 13.7)。これにより、管理者が教育対象者の一時停止行動を確認するだけでなく、運転者に対して一時停止判定領域内の運転行動を確認させることで客観的データを用いた教育を行うことが可能となった。

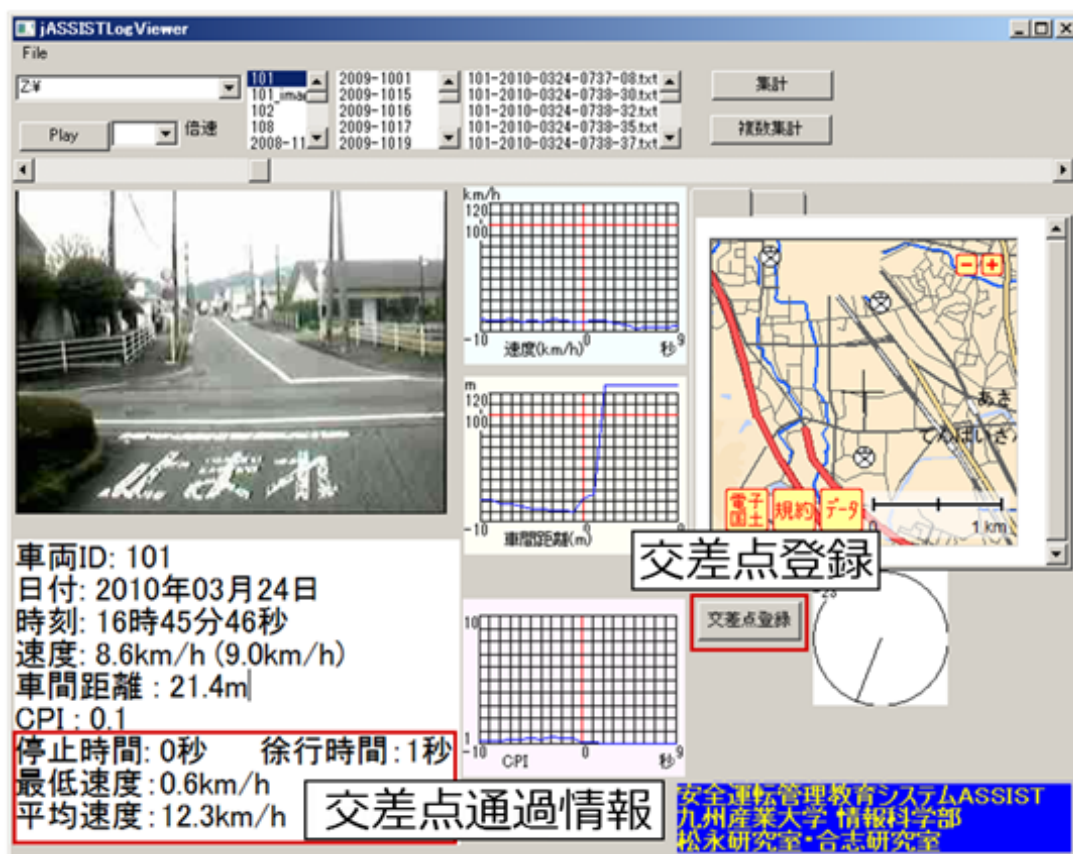


図 13.7 交差点情報表示機能を追加した運転行動再生ソフトウェア

13.2.5 一時停止行動解析機能実装結果の検証

(1) 検証の目的

一時停止行動解析ソフトウェアの検索機能および解析機能が正しく機能することを確認する。また、検索結果および解析結果が一時停止教育に適したものとなっているかを確認する。

(2) 検証方法

主に福岡市内を巡回する運送事業用の車両に搭載した ASSIST 車載システムで記録した 2009 年 10 月 15 日から 2010 年 6 月 4 日までの 112 日分の運転行動データに関し、一時停止行動解析ソフトウェアの全乗務検索機能を実行し、出力結果ファイルに出力されたすべての一時停止判定領域内の一時的停止行動を、運転行動再生ソフトウェアを用いて目視で確認し、解析結果の正しさおよび教育に適したデータかどうかを検証した。

検証にあたって、2009 年 10 月 28 日から 11 月 12 日、2010 年 3 月 21 日から 3 月 27 日、2010 年 5 月 1 日から 2010 年 5 月 13 日までの運転行動データを使用した。この運転行動データを事前に目視で確認し、一時停止が必要な地点 69 箇所を一時停止位置情報データベースに登録し、検証を行った。

(3) 一時停止行動解析機能検証

一時停止行動の検索を行った結果、全乗務データにおける一時停止領域と判定された件数は 196 件であった。その通行において、教育対象として不適切と判定したものは 37 件であり、その理由は優先道路側の車や横断歩道の歩行者や踏切での電車通行などで停止する必要があったものは 28 件、車載システム起動前に車両が発進し、データの記録を始めた地点が既に一時停止判定領域内であったものや、画像の乱れで周囲の状況を確認できないものなどハードウェアの問題によるものは 6 件であった。一時停止判定領域内と判定されたが、一時停止領域内ではなかった箇所は検出されなかったため、一時停止位置情報の登録および一時停止位置判定のアルゴリズムは間違いないものといえる。一時停止領域内の運転行動については、運転後の一時停止教育用ソフトウェアに表示される停止時間、徐行時間、最低速度および平均時間を全件確認した。

通過時間 25 秒以上のものについて前方車両や優先道路側を走行する車両の影響で停止する必要があったので除外したが、これについては通過時間が 25 秒以上のみの検出を行い、除外データの中に教育対象となり得るデータがないことを確認した。しかし、一時停止判定領域内と判定されたデータの中で、通過時間が 15 秒以上で通過した件数は 11 件であり、その内、優先道路側を走行する車両の影響で停止する必要があった状況は 7 件あった。通過時間による除外の条件については再考する必要がある。

検証の結果、一時停止行動解析ソフトウェアは動作することを確認できた。しかし、一時停止領域内とされたデータ中に約 19% が教育対象として不適切であった。また、今回の検証では登録した一時停止位置情報で判定された一時停止判定領域以外の箇所が検出されないことは確認できたが、実際には一時停止判定領域内であって検出されなかった可能性のあるデータについての確認は行っていない。これを確認するためには、新たな一時停止位置情報を追加する度にすべての走行を目視で確認する必要があり、ある程度一時停止位置情報デー

データベースが完成してから改めて検証を行えば良いと考えている。また、本システムの開発目的は一時停止教育であるため、教育に適したデータを相当数検出することができれば良いと考えている。

(4) 解析結果

本章においては、安全確認に必要な時間を3秒以上ではなく2秒以上としている。これは、ASSIST 車載システムの運転行動データ記録間隔が1秒ごとであり、小数点以下の停止秒数を確認できないため、実際の停止時間よりも短くなっている可能性が考えられたためである。検索結果中、教育対象としたものは159件であり、その内2秒以上の一時停止を行っていた件数は159件中7件であり、全体件数の約4.4%であった(図13.8)。2秒以上の一時停止を行っていた7件の内、1件は交差点内の少し離れた場所に停止中の車両がいたので一時停止していた可能性があり、4件は営業所から出る場所での停止であり、出発前の確認を行っていた可能性がある。残りの2件については一時停止規制箇所での一時停止を行っていたと考えられる。徐行時間については、2秒以上の徐行を行っていたのは159件中16件(約10%)、1秒以上2秒未満の徐行は159件中19件(約12%)であった(図13.9)。停止時間0秒の走行は159件中151件(約94%)、徐行時間0秒の走行は159件中124件(約78%)と停止も徐行もしない運転が大半を占めている。また、一時停止判定領域内通過中の最低速度については、平均すると約5.8km/hであり、速度ごとの分布を見ても十分に速度を落とし切れていない2.1~5.0km/hが最も多くなっていた(図13.10)。また、159件中14件は前方車両との車間距離が短い状態で交差点内に進入する走行であった。そのすべてが一時停止せずに進入していた。14件中12件は徐行したものの、徐行時間は最大でも2秒であった。

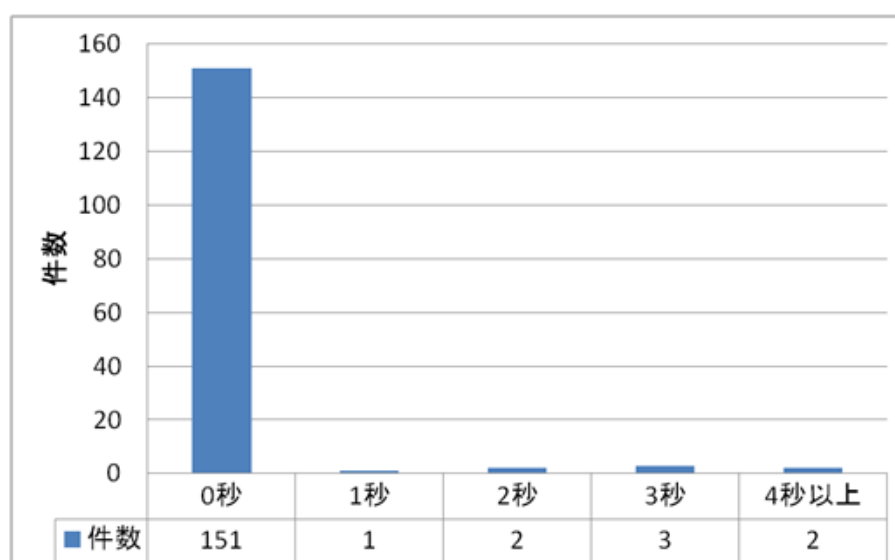


図 13.8 交差点通過時における停止時間ごとの件数

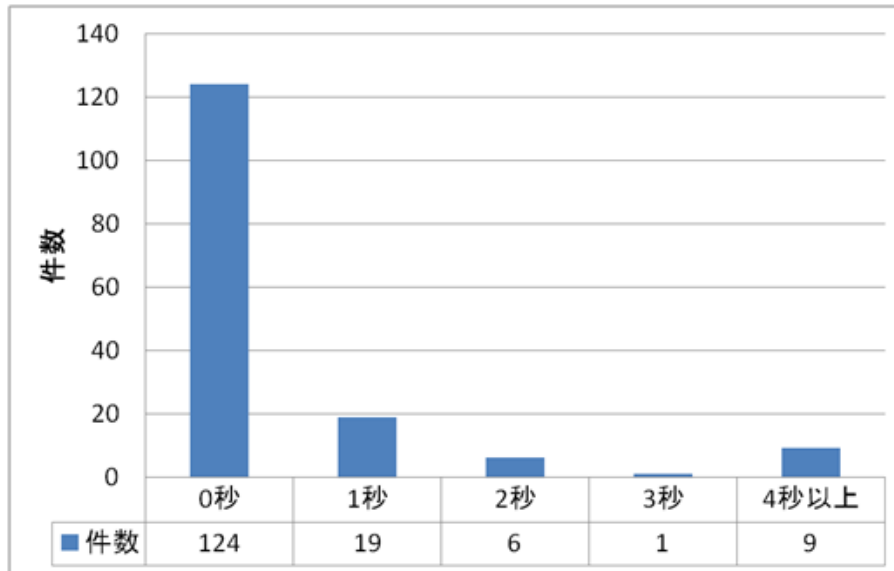


図 13.9 交差点通過時における徐行時間ごとの件数

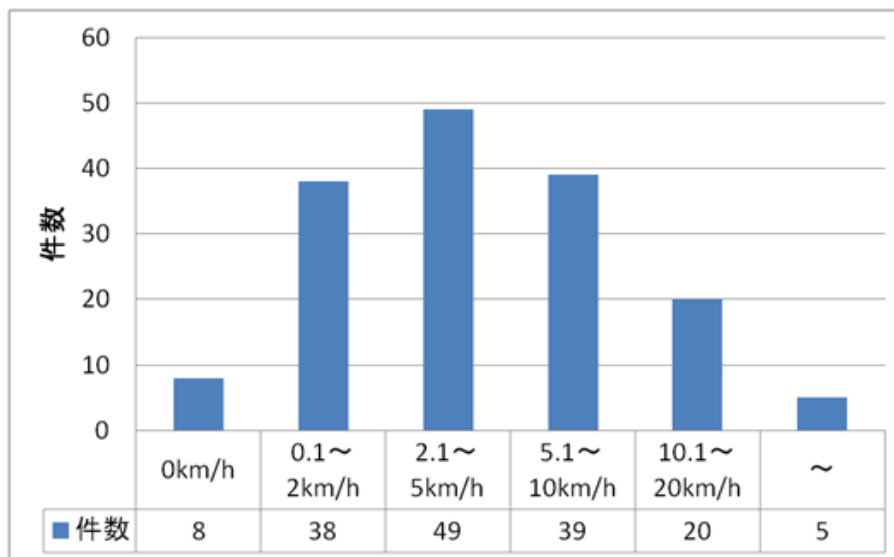


図 13.10 交差点通過時における最低速度ごとの件数

(5) 考察

これらの解析結果から，見通しの悪い一時停止の必要な交差点内であっても，今回対象とした車両の運転者は殆ど一時停止も徐行も行わず，十分な安全確認もせずに交差点を通過していることが分かった．我々は見通しの悪い交差点内の運転方法として，二段階以上の一時停止と，停止状態での安全確認を推奨している．今回の検索を行ったデータではこれを十分に満たしているものはなく，2秒以上の一時停止を行っている者はわずか4%であった．その4%の中には安全確認以外の事情で停止していたものも含まれている可能性も考えられるので，実際に安全確認を行っている割合は更に低いと考えられる．また，他車に追従し

て交差点を通過する車両は，安全確認を前方の車両に任せていると考えられる．このような運転は前方車両が衝突したり急ブレーキを踏んだりした場合に，前方の車両に追突する危険性が高く，前方車両との間に歩行者や自転車などが入ってきた場合，これを避けることは難しい．このことより，追従運転についてもその危険性を教育する必要があると考えられる．

13.3 運転行動データ解析まとめ

ASSIST 車載システムによって記録した運転行動データを活用し，運転行動データ解析手法の検討を行った．その結果，記録された運転行動データから不安全箇所（短い車間距離での追従走行，短い車間距離になってからの追越し），また見通しの悪い無信号交差点などの一時停止行動が必要な場所を登録することで，一時停止規制交差点での一時停止なしでの通過の検出が可能となった．これにより，走行後教育において，管理者は不安全箇所を目視で探す必要がなく，すなわち，不安全箇所の検索を短い時間で行うことが可能であり，その結果，短い時間で教育を行うことが可能になった．また，本手法を利用することで，危険運転時に危険な状況を運転者に警告することができ，実時間安全運転教育にも役立てることが可能である．

第 14 章

Web システムを用いた管理者・運転者のための安全運転管理・教育システムの開発

ASSIST 搭載車両の運転行動を確認するソフトウェアとして、実時間管理ソフトウェア (図 11.5)、運転行動再生ソフトウェア (図 11.6) および第 13 章で述べた不安全運転行動解析ソフトウェアがあった。実時間管理ソフトウェアでは、ASSIST 搭載車両の運転行動を実時間で監視することが可能である。運転行動再生ソフトウェアに不安全箇所検索機能を追加した不安全運転行動解析ソフトウェアでは、記録された全運転行動を再生し、また、安全運転教育に適した箇所のみを検索、表示することができ、運転後の効果的教育が可能である。しかし、これらソフトウェアでは PC (Windows OS 搭載 PC に限る) にソフトウェアのインストール作業が必要である。また、不安全運転行動解析ソフトウェアはソフトウェアのインストールに加えて、再生や検索をしたい運転行動データを ASSIST 車載システムから取り出す必要があった。これらのソフトウェアは安全運転管理者の利用を想定しており、管理専用の PC を設置する必要があった。また、これまでの ASSIST 車載装置では運転者情報を記録できなかったため、運転者が自分自身の走行結果を確認することは困難であった。さらに、走行後に教育を行う場合には、車載システムから運転行動データを取り出す必要があるため、基地へ帰還後即座に運転者へ教育することも困難であった。

近年の情報通信技術の発達とスマートフォンの普及により、外出先からでも Web ページを容易に見ることが可能となった。よって、Web システムをベースに構築することによって、インターネットに接続された端末と Web ブラウザがあれば、管理者は Web ページからの情報により、運転者の教育に利用することが可能になる。また、運転者が自分自身の走行結果を確認することも容易になるため、安全運転について十分に理解をしている者は、自己管理を行うことが可能である。さらに、第 13 章にて行った解析手法の実装を行うことによ

り、効果的に教育を行うことも可能であると考えられる。

そこで本章では、Web システムを用いた管理者・運転者のための安全運転管理・教育システムの開発を行った。

14.1 設計

運転者ごとに管理・教育を行うために、誰がいつに運転を行ったのかを記録する必要がある。そこで、運転者識別のために非接触 IC 媒体（以下 FeliCa）を用いることにした。FeliCa は携帯電話や電子カードなどに多種にわたり利用されており、複数登録しておくことで、一方を忘れたとしても代用可能である。電源投入直後に FeliCa の読み込みを可能とするために、FeliCa リーダと確認用のスピーカを持つ運転者識別インタフェースを車載システムに追加した。また、運転者情報を記録するために、車載コンピュータに運転者記録ソフトウェアを追加した（図 14.1）。

運転行動通信ソフトウェアは遠隔地にあるサーバソフトウェアにファイルを送信するソフトウェアである。実時間で管理・教育を行うためには過去数秒間の走行状況の情報が必要である。また、それら情報を評価することで運転者の運転動向を知ることにも可能であると考えた。さらに、走行後教育のためには、車両が戻ってきた際に即座に運転記録の確認を可能にする必要がある。それゆえ、走行中にセンサ情報と前方画像を 5 秒間隔でサーバに送信する機能と、未送信であるセンサ情報と運転者情報を 1 分間隔でサーバに送信する機能を運転行動通信ソフトウェアに追加した。そして、Web ページで情報提供を行うために、サーバに Web サーバ（apache 2.3）、データベース（MySQL 5.5.24）およびセンサ情報の集計とデータベースへ登録を行う運転行動集計ソフトウェアの追加した（図 14.2）。

運転者は自分自身の運転を改善するためには、走行一覧を見ることや過去の走行を確認することが可能である必要がある。また、危険であった場所の確認が可能である必要がある。管理者はすべての運転者の情報を見ることや、不安全な運転者を即座に認識することで教育が可能でなければならない。さらに、個々運転者の走行についての走行確認ページや、実時間における管理のための実時間車両状況表示ページが必要である。このようなことを可能にするには、情報提供用の Web ページは全車両の管理が可能な管理者用ページと運転者個人の情報のみ確認可能な運転者用ページに分ける必要がある。これらの機能を持つ Web ページの作成を行った（図 14.3）。

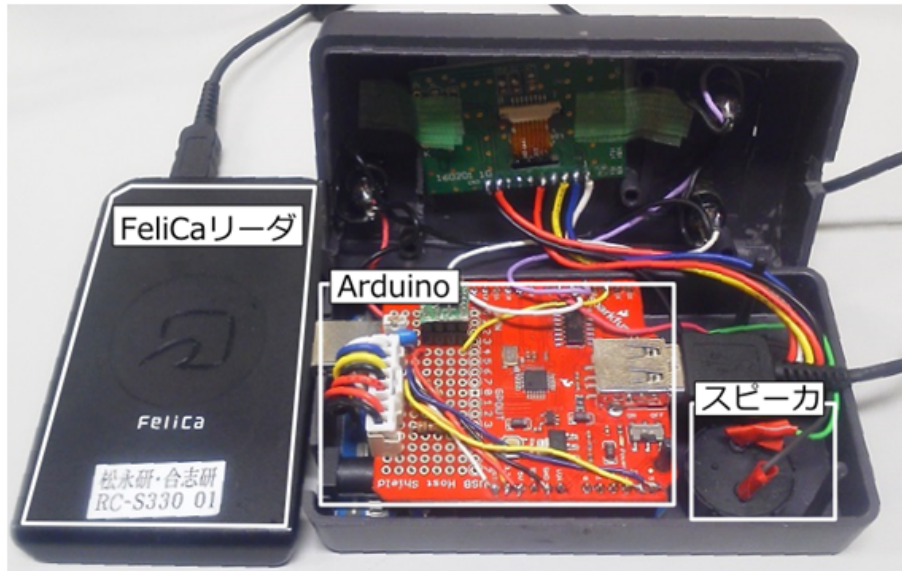


図 14.1 運転者識別インタフェース

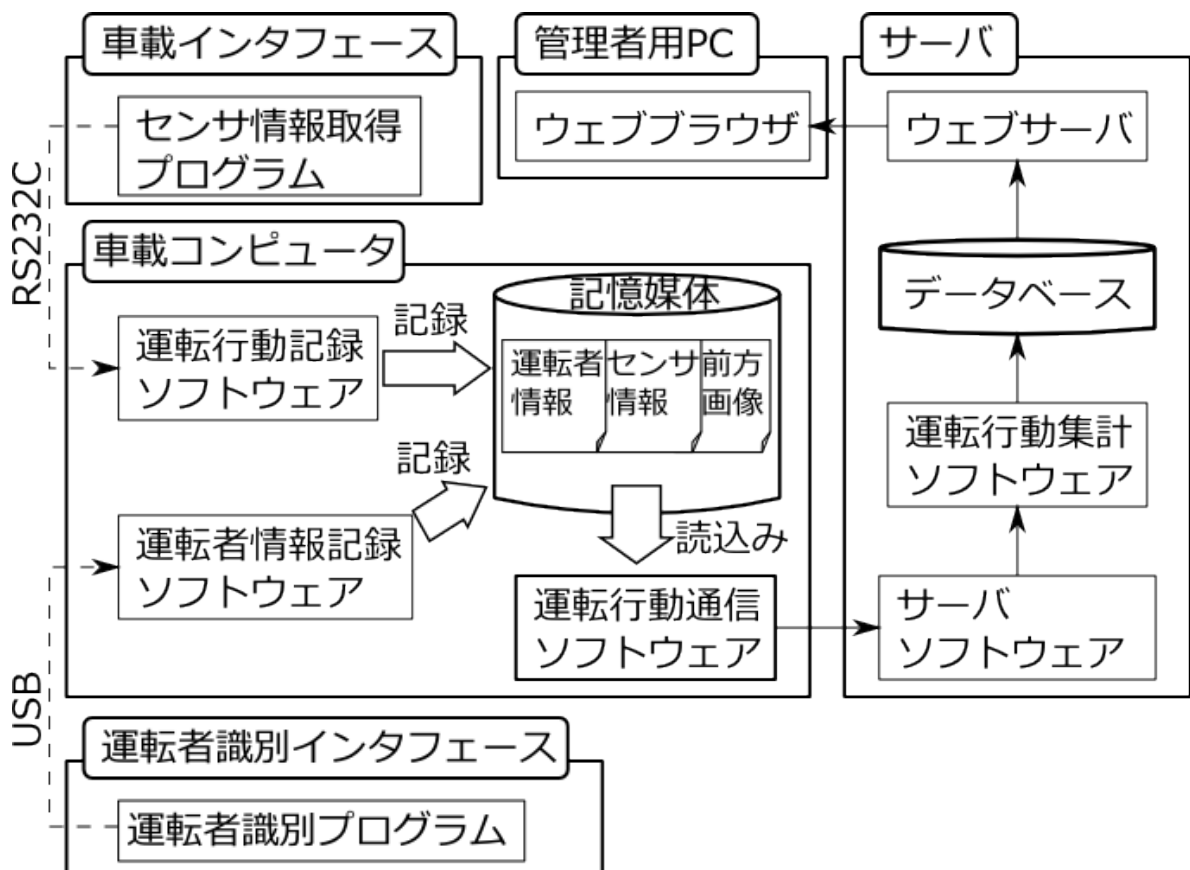


図 14.2 Web 版ソフトウェア構成

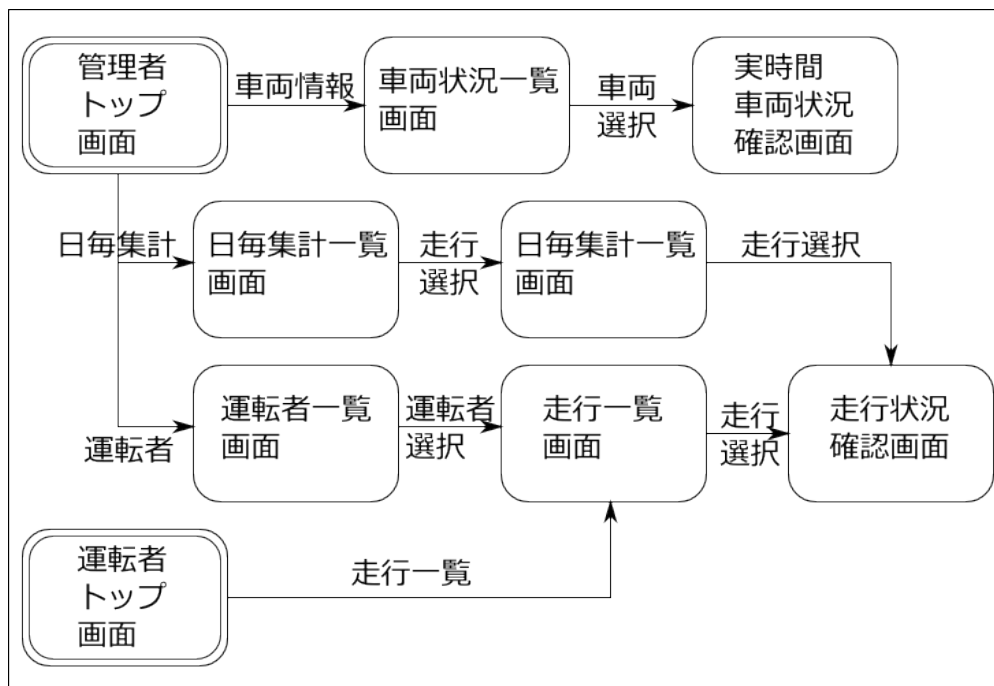


図 14.3 画面遷移

14.2 実装

14.2.1 ソフトウェア開発

運転者識別プログラムは運転者がかざした FeliCa を認識し、その情報をシリアル通信で車載コンピュータへ送信する。運転者識別インタフェースは電源を投入して 5 秒後に FeliCa を認識することができるが、車載コンピュータは起動に 30 秒程度を要する。そこで、車載コンピュータから送信された運転者情報要求命令に対して運転者情報を送信する機能を運転者識別プログラムに組み込んだ。運転者情報記録ソフトウェアは、起動時に運転者識別インタフェースに運転者情報送信を要求し、運転者情報を得ると記憶媒体にファイルとしてその情報の保存を行う。その後、運転者情報記録ソフトウェアはシリアルデータをポーリングし運転者情報が変化するとファイルに追記する。記録された運転者情報、センサ情報や前方画像などのファイルは運転行動通信ソフトウェアによってサーバ側へ送信される。運転行動通信ソフトウェアは、一定間隔でファイル更新の確認を行い、更新されたファイルの送信を行う。サーバソフトウェアは、ファイルを受け取りサーバ内部に保存し、運転行動集計ソフトウェアにデータを渡す。運転行動集計ソフトウェアは、センサ情報、運転者情報をデータベースに登録を行う。また、それら情報を利用して不安全な箇所の検出、走行距離、不安全割合、平均速度および旅行時間について集計を行い、その結果をデータベースへ保存する。

14.2.2 Web ページ開発

Web ページは jQuery 1.6.4 , jQuery Mobile 1.0.1 , jqPlot 1.0.0b2_r 1012 を用いて開発を行った。jQuery Mobile を利用することで、様々なプラットフォームに対応することが可能である。また、タブレットにおいても見やすいレイアウトを提供可能である。jqPlot は jQuery を用いたグラフ表示ライブラリである。

(1) 車両状況一覧画面

車両状況一覧画面では複数の車両がいつ、どこを走行しているのかを管理者が確認することが可能である（図 14.4）。この画面において各走行車両情報は更新時刻ごとに並び替えられ、リストとして表示されるので、現在走行中の車両を確認することが可能である。また、リストの上には、表示情報を絞込むために、検索機能を追加した。リストにおいて特定の車両を選択すると、選択した車両の実時間車両状況確認画面へ遷移する。

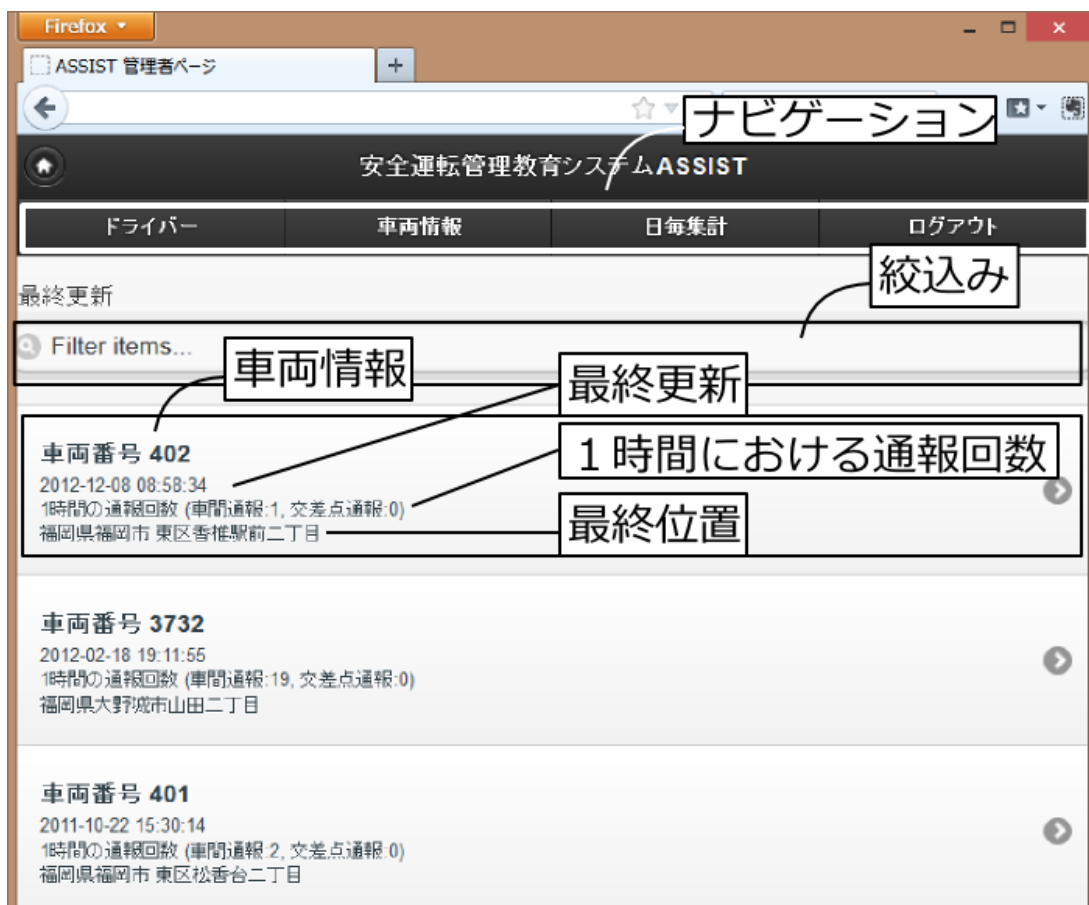


図 14.4 車両状況一覧画面

(2) 実時間車両状況確認画面

実時間車両状況確認画面では運転者を実時間で管理することが可能である(14.5)。実時間車両状況確認画面では、5秒ごとに Ajax を用いて現在の運転状況情報を受け取り表示する。1単位の運転状況情報は21秒間分のセンサ情報(速度、車間距離、CPI)と前方画像1枚で構成されている。受け取った運転状況情報はブラウザが保持し、スライダーを動かすことで過去の運転状況を確認することも可能である。また、不安全行動時には通報情報が表示され、警告音が鳴る。現在までの10分ごとの速度変化と不安全割合のグラフも表示可能である。



図 14.5 実時間車両状況管理画面

(3) 走行状況確認画面

走行状況確認画面では過去の走行状況を確認することが可能である。走行状況確認画面には、過去の走行状況表示機能、走行評価の表示機能、衝突不安全一覧機能、交差点不安全一覧機能および検索機能を作成した(図 14.6)。走行状況表示機能では車速、車間距離、CPI

の数値，20 秒間の车速，車間距離，CPI のグラフおよび現在位置を表示し，自由に再生することが可能である．また，走行評価表示ボタンを選択すると走行評価ダイアログが表示され，不安全割合，不安全通報回数，交差点通報回数などの走行評価を確認できる（図 14.7）．さらに，衝突不安全一覧ボタンまたは交差点不安全一覧ボタンを選択することで，不安全な箇所の状況確認を行うことが可能である（図 14.8，図 14.9，図 14.10）．不安全確認画面では，不安全状態が発生した時刻の前後 10 秒の速度，車間距離，CPI のグラフが表示され，その時点における前方画像が 5 枚表示される．また，画像追加ボタンを押すことにより，次の 5 秒分の前方画像を表示することが可能である．他の条件で検索を行うために，第 13 章の解析手法を用いた検索画面を開発した（図 14.11）．検索画面は別ウィンドウで表示され，指定した検索結果を選択することにより，選択した時刻の走行状況が表示される．

安全運転管理者は走行状況確認画面を用いることにより，走行後に運転状況の確認を行うことができ，それにより運転者の教育を行うことが可能となる．

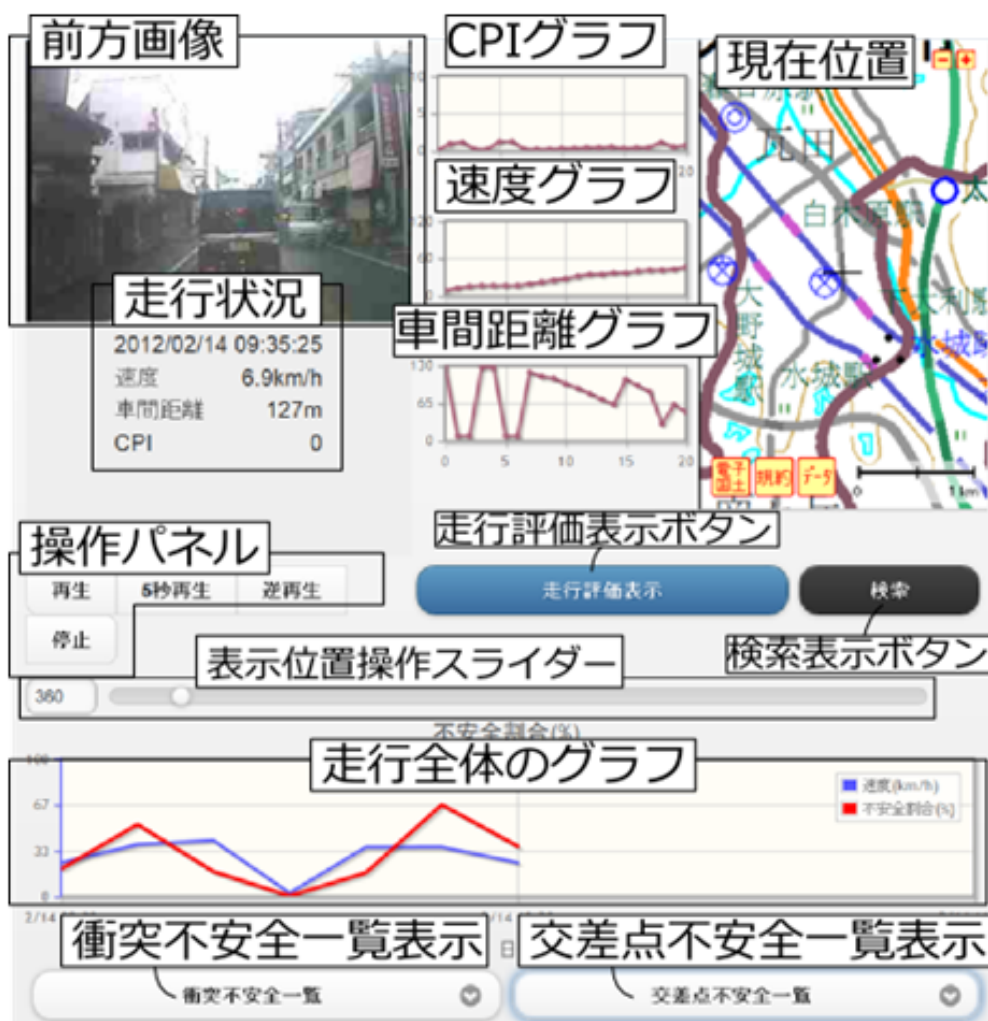


図 14.6 走行状況確認画面

2012-02-14 09:29:24	
走行時間	1時間4分42秒(実走行: 39分48秒)
走行距離	21.9km
最高速度	74.5km/h
平均移動速度	33.0km/h
旅行速度	20.3km/h
不安全割合(車間距離)	36.5%
車間距離不足通報回数	35回
交差点不安全通報回数	2回

戻る

図 14.7 走行評価ダイアログ

衝突不安全一覧
09:34:21(11秒)
09:35:15(8秒)
09:35:24(6秒)
09:36:35(5秒)
09:40:50(9秒)
09:41:10(21秒)
09:44:22(19秒)
09:45:54(13秒)
09:46:20(93秒)
09:48:21(42秒)
09:50:07(114秒)
09:52:13(53秒)
09:55:58(54秒)
09:56:56(7秒)
09:57:27(43秒)
10:00:55(7秒)
10:12:57(9秒)
10:15:18(9秒)
10:16:10(21秒)

衝突不安全一覧

図 14.8 衝突不安全一覧

交差点不安全一覧
09:37:37(22秒)
09:38:13(16秒)

交差点不安全一覧

図 14.9 交差点不安全一覧



図 14.10 不安全走行状況表示画面



図 14.11 検索画面

14.3 まとめ

従来作成されていた管理者用ソフトウェアは管理専用の PC が必要なので、教育可能な場所が限定されることや運転者が自分自身の運転行動を確認することができなかった。また、運転行動データは車載システムに保存されているために、運転者が帰還後、即座に教育を行うこともできなかった。さらに運転者自身が不安全な箇所を確認することもできなかった。そこで、いつでも・どこでも管理や教育を行うことが可能なシステムを作成するために、Web システムを用いた管理者・運転者のための安全運転管理・教育システムの開発を行った。本システムを利用することにより、専用ソフトウェアのインストールなしに教育が可能となる。また、Web ブラウザさえあれば良いので、インターネットに接続された PC があれば安全運転管理者はどこからでも、教育を行うことが可能である。実時間車両状況確認画面では、実時間で教育を行うことが可能であり、通報を受けることもできる。走行確認画面では、管理者は個々の走行記録に対して自由に運転行動を確認でき、不安全な箇所を検索することも可能である。さらに、運転者識別機能の開発を行ったので、運転者は走行後に Web ページに接続することで、自分自身の運転状況の確認が可能となる。その結果、自己管理も可能になる。

第 15 章

結論

本章では，第 II 部によって得られた成果を述べる．

15.1 運転者の意識改善のための実態調査

運転者は自身にとって最も利益になるような運転を損得勘定によって実行すると考えられる．運転者の損得勘定においての要因としては，高い速度で走行すると到着時間が早くなるという利益と，高い速度で走行することによる交通違反，交通事故などの損失である．しかし，多くの人は高い速度で走行すると旅行時間が短縮できると考えている．また，追突事故は稀現象であるために，交通事故のリスクは軽視される傾向がある．さらに人は他よりも先行しようとする衝動を持っていると考えられ，無意識的にできる限り高い速度で走行しようとしているとも考えられる．これらのことから，交通事故防止には運転者の意識改善を図る必要がある．そこで，実データを基に短い車間距離での運転や先急ぎ運転の旅行時間に対する影響や，それら運転による損失を分析した．

15.1.1 旅行時間と不安全割合の関係についての分析

多くの人は停止距離よりも進行方向空間距離が短い状態（不安全状態）で走行している．そこで，不安全な走行時間の度合いを不安全割合で表し，旅行時間と不安全割合の関係について分析を行った．実データ記録を基に旅行時間と不安全割合に相関があるかを算出した結果，旅行速度と不安全割合の間に相関は認められなかった．このことから，不安全割合の高い運転を行っても，旅行時間は短くならないことが分かった．

15.1.2 実車による先急ぎ運転の損失分析

人は他人よりも先行しようとする衝動を持っていると考えられ、無意識的にできる限り高い速度で走行しようとしているとも考えられる。その結果、短い車間距離での走行や一時停止の必要な場所を徐行で通過するような運転となっていると考えられる。そこで、先急ぎ運転の得失分析システムの開発を行い、得失を安全度（事故による得失の可能性）、移動効率（時間的な得失）および疲労の度合い（体力的な得失）で評価した。実験には2台の実車を用い、1台を先急ぎ運転条件、もう1台を安全運転条件の順にほぼ同時に出発させた。その結果、先急ぎ運転の旅行時間は安全運転と比較し、平均6.6%短くなった。しかし、先急ぎ運転では安全運転に比べて不安全割合は37.1ポイント、停止割合は4.5ポイント増加し、心拍数の変動率も増加した。旅行時間は運転方法よりも道路環境の影響が大きく、道路環境によっては先急ぎ運転よりも安全運転の方が早く目的地へ到着することもあった。先急ぎ運転をしても旅行時間の短縮度はわずかである。一方、安全運転と比べて車間距離が短くなるため追突事故を起こす可能性が高くなり、危険な運転となる。さらに先急ぎ運転をすると緊張度が大きくなるので、疲労状態により早く達し、より長い時間の休息を取るようになる。このようなことから、先急ぎ運転は必ずしも利益をもたらす運転とはいえない。

15.2 運転行動データの解析

実時間で複数の車両の運転者の教育を行うためには、それぞれの運転者のすべての運転行動を見ることなしに不安全的箇所を発見や報告ができなければならない。ドライブレコーダでは、一定以上の加速度が発生した場合にその前後の箇所を録画しているが、一般道路においてはマンホールやハンプなど、路面に凹凸があるので、危険な状況以外の録画が多いと報告されている[84]。そこで、運転行動データ解析手法の検討を行った。本システムの開発目的は安全運転教育であるので、完全な解析精度は求めていない。そのために、教育に適したデータを相当数検出することができれば良いと考えた。

15.2.1 CPIによる不安全運転行動解析

一定時間以上衝突可能性指数（CPI）が1を越える箇所（不安全箇所）を抽出した結果、継続時間（1以上のCPIの連続時間）やCPIの急な増減（CPI急増加、CPI急減少）によって車間距離の短い状態での追従走行、追越、割込みが検出可能と分かった。そこで、この指標を基に検索可能な不安全行動解析ソフトウェアの開発を行った。その結果、CPI継続（一定以上のCPIが長く継続した箇所）ではカーブによる車間距離計の誤計測以外は前方車両への長い時間の追従状態箇所が正確に検索できた。CPI急減少では雨天時の車間距

離計の誤計測が多かった。晴天時でも他車の動きによって自車の追越しや割り込みではない箇所も検索されたが、約 70% は教育に利用可能な箇所が検索できた。本手法は十分教育に利用可能だと考えられる。CPI 急増加では、雨天時の誤計測が大きく検索結果に影響した。また、教育対象として利用できないものとして前車の割り込みが多くあった。しかし、他車の割り込みに基づく短い車間距離の状態を除外でき、当該運転者の運転に基づく短い車間距離の状態を検出することは、CPI の変化のみでは困難であった。

15.2.2 一時停止規制交差点での不安全行動の解析

見通しの悪い無信号交差点では、完全に停止をした上での左右の安全確認を行うことが事故防止のために必要である。しかし、交差点での事故防止教育を行うためには、一時停止交差点の情報が必要であるが、交差点情報は公開されていない。これらのことから、独自のデータベースを作成する必要があった。そこで、GPS データ（位置、進行方位）と画像を基にデータベース（一時停止位置情報）を作成し、交差点不安全行動を判定可能な手法を開発した。本手法を用いて一時停止行動の検索を行った結果、解析ソフトウェアと教育用ソフトウェアともに問題なく動作することを確認できた。検索結果の約 19% が教育対象として不適切であった。しかし、81% は教育に利用できるので、本手法は一時停止交差点での運転行動判定に利用できると考えられる。

15.3 Web システムを用いた管理者・運転者のための安全運転管理・教育システムの開発

従来の管理者用ソフトウェアは安全運転管理者の利用を想定しており、管理専用の PC を設置する必要があった。そのために、運転者が自分自身の走行結果を確認することは難しかった。また、走行後に教育を行う場合には、車載システムから運転行動データを取り出す必要があるため、基地へ帰還後即座に運転者へ教育することも難しかった。近年の情報通信技術の発達とスマートフォンの普及により、外出先からでも Web ページを容易に閲覧することが可能となった。そこで、Web システムを基に安全運転管理者や運転者のための安全運転管理・教育システムを構築した。本システムを利用することで、インターネットに接続された端末と Web ブラウザがあれば、安全運転管理者は Web ページからの情報により、どこからでも運転者の教育に利用することが可能になった。また、運転者が自分自身の走行結果を確認することも容易になるので、安全運転について十分に理解をしている者は、自己管理を行うことも可能となった。安全運転管理者は実時間で教育を行うことが可能であり、不安全時に通報を受け直ちに教育可能である。また、管理者は個々の走行に対して自由に運転行動を確認でき、不安全な箇所を検索することも可能となった。さらに、運転者識別機能の

開発を行ったので、より効率的に教育が行うことが可能となった。さらに、運転者は走行後に Web ページに接続することで、自分自身の運転の確認が可能となる。その結果、自己管理も可能となった。

15.4 第 II 部まとめ

現代社会において、人や物の輸送は自動車に大きく依存している。一方で、自動車の利用度が高くなるにともない、自動車による交通事故の増加が社会問題となってきた。そのために、近年ではシステムからの交通事故防止や安全運転支援の研究が盛んである。しかし、自動車による交通事故を防止するためには、運転者自身が安全運転についての正しい知識を持ち、安全運転支援機能を積極的に使用する状況にしなければ、根本的な解決に至らないと考えられる。このことから、交通事故防止のためには、運転者への安全運転教育が必要である。ただし、運転免許取得後に安全運転の教育の行われる場は無に等しい。また、車は閉じた空間であるので、教育を行うには同乗して直接教育を行わなければならない。そこで、第 II 部では、情報科学技術を用いることにより、危険な運転の非効率性を明らかにし、遠隔地から複数の運転者を効率的に安全運転について管理・教育支援可能な方法についての研究を行った。まず、運転者の運転行動を記録するシステムを用い、先急ぎ運転における得失分析を行い、車間距離と旅行時間に相関関係がないことを示した。さらに、記録した運転行動データの解析を行った結果、危険な車間距離での追従、追越、割込み運転、一時停止が必要な交差点においての徐行通過の検出が可能となった。これらの結果に基づき、Web システムを用いたいつでも管理・教育可能なシステムの開発を行った。本システムを用いることで遠隔地から複数の車両を効率的に管理・教育可能となり、自己管理も可能となる。これらのシステムを利用することで、交通事故防止に貢献可能であると考えられる。

第II部

まとめ

第 16 章

おわりに

人は動くことなしに生存し続けることのできない生物である。生存条件を高めるには、より高い速度かつ長い距離の移動が必要な場合がある。基本的な移動手段は歩行であり、動力機械が発明された後はより早く、また、より遠くまで移動しようとするときは、動力機械によって移動あるいは物の運搬を行っている。しかし、動力機械による移動が可能となった現代においても、自力での歩行なしの生存は困難である。

歩行は人の最も基本的な移動手段であり、快適な生活を行う上で欠かすことができない動作である。近年では、歩行機能を阻害する要因として、外反母趾や変形性膝関節症が多くの人に認知されてきた。外反母趾は、自己の足の形状やサイズに適合しない靴の使用により形成されることもあると報告されている。高い歩行機能を発揮し、またその機能を維持するためには、より適合した靴の利用が重要である。よりよい靴の入手のために、誰もが簡単に自らの足サイズを計測することが可能なシステムの開発が望まれている。また、変形性膝関節症は発症すると膝関節に疼痛や可動域制限などが生じ、歩行が困難となる疾患である。日本国内において自覚症状を有する者は約 1,000 万人と推定されている。変形性膝関節症の発症要因として、歩行時における膝関節の軟骨の摩耗があると考えられている。この変形性膝関節症を予防する方法の解明のためには、まず、歩行時における膝関節の動きを計測する必要がある。

人や物の効率的移動に大きく寄与しているのが自動車である。その一方で、自動車への依存度が高くなるにともない、自動車事故の増加が社会問題となってきた。そのために、近年では情報科学技術を用いた交通事故防止や安全運転支援の研究が盛んである。しかし、自動車による交通事故を防止するためには、運転者自身が安全運転についての正しい知識を持ち、それを積極的に実行する意識が重要である。しかし、このような意識を持った運転者は多くなく、自動車による交通事故防止のためには、運転者への安全運転教育が必要不可欠である。

そこで、本論では、情報科学技術を用いた歩行支援に関わる足サイズとその形状の計測装

置と歩行時の上腿と下腿間の動きの計測法の研究，および情報科学技術を用いた自動車の安全運転支援に関わる研究を行った．

第 I 部では，人の快適な歩行機能を情報科学的立場から支援することによって，健康の維持・増進に貢献することを目的とした．そこで，快適な歩行を支えるために，靴の製造および選択に関わる足のサイズとその形状の計測装置の研究開発と歩行時における膝関節の動きの計測を行った．多くの足の効率的な計測のためには，足サイズを誰でも簡単に，高精度に計測可能なシステムが必要である．そのようなシステムを実現するために，カメラキャリブレーションの手法，足サイズ計測における基準線の自動決定手法，体動の多い人でも計測可能な足背高の計測手法を考案した．これらを用いることにより，靴製造や靴選択時における足サイズ計測は誰でも，容易に，短い時間で計測を行うことが可能となった．また，歩行時における膝関節の動きを計測するための手法の考案も行った．これらシステムによって，人の歩行機能維持のための研究支援を行うことが可能となった．

第 II 部では，自動車における安全運転教育を情報科学的立場から支援することによって，自動車による交通事故を防止することを目的として研究を行った．交通事故を防止するためには，運転者の運転に対する意識と運転行動を改善する必要がある．そこで，運転者の運転行動を記録するシステムを用い，車間距離と旅行時間に相関関係がないことを示した．また，先急ぎ運転における損失分析を行った．さらに，運転者の不安全行動を把握するために，運転行動記録データの解析を行った結果，危険な車間距離での追従，追越，割込み運転や，一時停止規制交差点においての徐行通過の検出が可能となった．これらの結果に基づき，どの PC でも管理・教育可能な Web システムを用いた管理・教育システムの開発を行った．本システムを用いることで遠隔地から複数の車両を効率的に管理および教育が可能となり，また，自己管理も可能となる．このシステムを利用することで，交通事故防止に貢献可能であると考える．

今後も情報技術は進歩し，より便利な世界になっていくであろう．しかし，どのような高度な情報化社会であっても，自力で生存し続けるには，移動は自己の歩行能力，および，高速のかつ長距離の移動能力を保持する必要がある．このことは今後も変わらないであろう．それゆえ，情報科学的立場からの本研究は人の移動の支援において社会貢献の一助となったと考えられる．

謝辞

本研究を終えるにあたり，終始懇切なるご指導とご鞭撻を賜りました，前九州産業大学情報科学科 松永勝也教授（現九州大学名誉教授），九州産業大学情報科学科 合志和晃教授に心より感謝を申し上げます．

学位論文審査において，貴重なご指導とご助言を頂きました九州産業大学情報科学科 下川俊彦教授，および，同 成凱教授に心より感謝申し上げます．

九州産業大学情報科学科 内林俊洋助手，同 神屋郁子助手には論文執筆に関しての多くの助言を，九州大学博士後期課程 隅田康明君には研究を進めていく上での多くの助言を頂きました．株式会社アサヒコーポレーションの皆様には足サイズ計測器の開発について多くの助言を頂き，また，実験に協力して頂きました．南福岡自動車学校の指導員の皆様には先急ぎ運転の実験に協力して頂きました．合志研究室の卒業生である宇都宮朗生氏，同 研究室の博士前期課程 福島達朗君，および，そのほかの方々には，学位論文執筆にあたり，多くの支援を頂きました．以上の方々に，心より感謝申し上げます．

参考文献

- [1] 西保岳, 後藤真二, 鍋倉賢治, 池上晴夫. 筋ポンプに関する研究: 筋収縮強度及び血液貯留量と筋ポンプ作用との関係. 体力科学, 1987, Vol.36(4), pp195-201.
- [2] 縄田敬子, 石田裕美, 山下直子, 上西一弘. 首都圏在住の男性勤労者における歩数と Body Mass Index の関係. 産業衛生学雑誌, 2006, Vol.48, pp176-182.
- [3] 厚生労働省. ”健康づくりのための運動指針 2006 (エクササイズガイド 2006)”. <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/undou01/pdf/data.pdf>, (参照 2013-02-14).
- [4] 内閣府大臣官房政府広報室. ”体力・スポーツに関する世論調査”. <http://www8.cao.go.jp/survey/h21/h21-tairyoku/index.html>, (参照 2013-02-14).
- [5] 小松宏慈, 中尾成孝, 増田有紀, 岡久哲也, 近藤心, 西川幸治, 大澤俊文, 高田信二郎, 安井夏生. 外反母趾による歩行時下肢関節への影響. 理学療法科学, 2011, Vol.26(5), pp.717-722.
- [6] 渡邊裕之, 占部憲, 神谷健太郎, 濱崎伸明, 見井田和正, 須田久美, 辺土名隆, 藤田護, 相川淳, 糸満盛憲, 二見俊郎. 変形性膝関節症における Quality of Life(QOL) と身体特性との関係: 日本版膝関節症機能評価尺度 (JKOM) を用いた評価. 理学療法科学, 2007, Vol34(3), pp.67-73.
- [7] 鹿子木和寛, 飯森光葉, 末田加奈, 古賀稔健, 塚本裕二, 山遵素子, 島田達生. 女子看護大学生の足型の実態. 形態・機能. 2006, 4(2), pp.53-60.
- [8] A.R.William. 足の障害とその役割. 靴の医学. 1998, Vol.2, pp.129-136.
- [9] 成田健一, 関根毅. アスファルト舗装面の表面温度と熱収支の解析-試験地表面による土壌面との長期比較観測-. 地理学評論, 1991, Vol.64(2), pp125-137.
- [10] 東都靴工業協同組合. ”靴年表”. http://www.ttkm.jp/japan_nenpyou.html, (参照 2013-03-25).
- [11] 全日本履物団体協議会. ”日本の履物統計”. <http://www.jrfma.gr.jp/jrf/date/zennrikyou080910.pdf>, (参照 2013-02-13).
- [12] 石塚忠雄. 靴の科学. 講談社, 1991, pp.51-85.
- [13] 田中尚喜. 足と靴の適合性について. かわとはきもの. 2006, No.136, pp.2-7.

- [14] 大塚斌, 菊田文夫, 近藤四郎, 高橋周一. 日本人成人の足の計測値からみた革靴の適正サイズと自称サイズの一致度. 日本家政学会誌. 1992, 43(4), pp311-318.
- [15] 堤葉子, 櫻井忠義. 足踏運動による下腿のむくみ予防効果-労働現場への適用-. 日本体育大学紀要. 1993, Vol28(2), pp.205-214.
- [16] JIS S 5037:1998. 靴のサイズ. 日本規格協会.
- [17] 鮎田崎子, 大谷千佳子. 人体計測値による体格・体型の研究 (3): 成長期の生活用. 愛媛大学教育学部紀要. 1998, 第 I 部, 教育科学, Vol.44, No.2, pp.221-243.
- [18] 厚生労働省. 介護予防の推進に向けた運動器疾患対策について報告書(案). 2008, <http://www.mhlw.go.jp/shingi/2008/03/d1/s0307-7a.pdf> (検索 2013-04-11).
- [19] 新名正由. 変形性膝関節症. Excerpta Medica2 (1), 1990, pp.1-5.
- [20] 木下信博, 日高滋紀, 塚本裕二, 山崎伸一, 平川和生, 松永勝也, 小野直洋, 酒向俊治, 志堂寺和則. 特殊な靴による変形性膝関節症の予防 第 2 報. 日本理学療法学会大会 2006, 33, p.213.
- [21] 足と靴と健康協議会. シューフィッター (プライマリー) 養成講座テキスト.
- [22] 株式会社アシックス. "Foot Scale". <http://www.asics.co.jp/running/measure-list/footsv/>, (参照 2013-02-13).
- [23] 株式会社フットルック. "フットルック". http://footlook.co.jp/footlook_feature, (参照 2013-02-13).
- [24] 西田典了, 福嶋茂信, 美濃導彦. 部分計測データへの標準人体モデル当てはめによる人体形状推定法. 電子情報通信学会論文誌. J84-D-II, 2001, No.7, pp.1310-1318.
- [25] 船富卓哉, 飯山将晃, 角所考, 美濃導彦. 身体動揺を考慮した人体部位の形状計測法. 電子情報通信学会論文誌. D-II, 2005, No.8, pp.1530-1538.
- [26] Martedi S, Saito H, Shape measurement system of foot sole surface from flatbed scanner image. MVA2009 IAPR Conference on Machine Vision. 2009, <http://www.mva-org.jp/Proceedings/2009CD/papers/10-01.pdf>, (accessed 2013-02-08).
- [27] Kouchi, M. and Mochimaru, M. Development of a low cost for a custom making system. 5th ISB Footwear Biomechanics. 2001, pp58-59.
- [28] 足と靴と健康協議会. "シューフィッター養成認定機関 FHA 足と靴と健康協議会". <http://www.fha.gr.jp/index.php>, (参照 2013-02-05).
- [29] 社団法人東靴協会. "シューフィッター紹介・養成など | 東京都内の靴小売専門 社団法人東靴協会". <http://www.toukutsu-kyokai.jp>, (参照 2013-02-05).
- [30] D. C. Brown. Close Range Camera Calibration. Photogrammetric Engineering. 1971, vol.37(8), pp.855-866.
- [31] 宮崎幸治, 川末紀功仁. コード化ドットパターンを用いた画像歪み補正法による反射画

- 像の除去．熊本県産学官技術交流会プログラム．2013 ,(CD-ROM) .
- [32] 高辻誠也, 佐川立昌, 越後富夫, 八木康史．グレイコードパターンを利用したレンズ歪みの補正手法．画像の認識・理解シンポジウム．2005 ,(CD-ROM) .
- [33] 月星化成株式会社．足サイズ測定器．特許公開 2002-81912．2003-03-22．
- [34] 藤田日出人, 蚊野浩, 吉田博明, 福本晋平, 楠見浩行, 篠原浩徳．足形状に最適な測定ヘッドの移動軌跡を実現した三次元足型自動計測機．情報処理学会研究報告. CVIM, [コンピュータビジョンとイメージメディア]．2001, 2001(66), pp17-24．
- [35] 月星化成株式会社．足サイズ測定器．特開 2001-227917．2001-08-24．
- [36] 菅田由香里, 田中浩介, 浦辺幸夫．着地動作における膝関節運動の解析．理学療法科学 2008, 23, pp145-149．
- [37] 石井慎一郎, 山本澄子．非荷重時の膝関節自動伸展運動におけるスクリーホームムーブメントの動態解析．理学療法科学 2008, 23, pp11-16．
- [38] 荒木滋朗, 崔正烈, 志堂寺和則, 松木裕二, 松永勝也, 日高滋紀, 木下信博, 塚本裕二, 山崎伸一, 平川和生, 江西浩一郎．SHM 靴装着歩行時における大腿, 下腿の回旋角度．生体医工学．2006, 44, pp122-129．
- [39] 財団法人自動車検査登録情報協会．”自動車保有台数の推移”．2012, http://www.airia.or.jp/number/pdf/03_1.pdf ,(参照 2013-03-12) .
- [40] 総務省．”男女別人口”．2013, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001039703&cyclo=0> ,(参照 2013-03-12) .
- [41] 総務省．”日本統計年鑑”．2013, 第 12 章, <http://www.stat.go.jp/data/nenkan/12.htm> ,(参照 2013-02-17) .
- [42] 警察庁．”平成 23 年中の交通事故の発生状況”．2011, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001086731> ,(参照 2013-02-15) .
- [43] 日本損害保険協会．”自動車保険データにみる交通事故の実態 - 提言と主な対策 - (2009 年 4 月 ~ 2010 年 3 月)”．2009, http://www.sonpo.or.jp/archive/report/traffic/pdf/0033/book_jikojittai2011.pdf ,(参照 2013-02-15) .
- [44] Federal Highway Administration. “Intelligent Transportation Systems - FHWA Research & Technology”. http://www.fhwa.dot.gov/rnt4u/init_its.htm, (accessed 2004).
- [45] Intelligent Transportation Systems Joint Program Office. “ITS Strategic Research Plan”. http://www.its.dot.gov/strategic_plan2010_2014/2010_factsheet.htm, (accessed 2012-02-16).
- [46] European Commission. Towards a European road safety area: policy orientations on road safety 2011-2020. 2010, http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/com_20072010_en.pdf, (accessed 2013-02-15).

- [47] ITS Japan . ITS 推進の指針 . 2004 , <http://www.its-jp.org/wp-content/uploads/2010/09/e9c44f4ce4de9a56ab87a285d61e988e.pdf> (参照 2013-02-15) .
- [48] 森田 . ACC とそのセンサの今後の展開 . ITS シンポジウム . 2002 , pp.125-129 .
- [49] 浅沼 , 高橋 , 越智 . ASV-2 安全技術 (ホンダ先進安全技術の紹介) . ITS シンポジウム . 2002 , pp.71-78 .
- [50] 大前学 , 橋本尚久 , 菅本拓也 , 清水浩 . 自動車の自動運転システム利用時における操舵制御異常に対するドライバ反応時間の評価 . 自動車技術会 . 2005 , 36(3) , pp157-162 .
- [51] 自動車安全運転センター . 運転を支援するシステムが運転行動に与える影響に関する調査研究 . http://www.jsdc.or.jp/search/pdf/all/h14_2.pdf , (参照 2013-02-16) .
- [52] 植田信介 , 松永勝也 , 志堂寺和則 , 松木裕二 . 運転支援システム使用時の認知・反応時間 . 平成 15 年秋季 (第 68 回) 大会発表論文集 . 2003 , pp.59-60 .
- [53] 狩野広之 , 不注意とミスのはなし . 労働科学研究所 . 1972 , p.55 .
- [54] 国土交通省国土技術政策総合研究所 . 磁気マーカの検出精度 . http://www.nilim.go.jp/japanese/its/2research/1field/2ahs/ahs6_3_4.htm (参照 2013-02-16) .
- [55] 阿賀正己 , 岡田亜起夫 . 事故データをもとにした VSC の有効性分析 . 自動車技術会 . 2003 , 57(12) , pp76-80 .
- [56] 増田奨 , 見市善紀 , 磯村有宏 , 太田貴志 . レントレースアシストによる運転負荷軽減効果の検討 . 自動車技術会学 . 2002 , 114(2) , pp5-8 .
- [57] 三谷哲雄 , 須藤晃成 , 入谷忠光 , 山中英生 . 小交差点出会い頭事故防止のための路上設置型 ITS システム . 土木計画研究・講演集 . 2008 , Vol37(85) , (CD-ROM) .
- [58] 自動車安全運転センター . 運転者の安全運転を支援するための情報提供の在り方に関する調査研究 . 平成 16 年度調査研究報告書 , 2005 , http://www.jsdc.or.jp/search/pdf/all/h13_3.pdf , (参照 2013-04-19) .
- [59] Wild, G. J. S. 芳賀繁 (訳) . 交通事故はなぜなくなるか . 新曜社 . 2007 , pp.7-8 .
- [60] Varhelyi, A. dynamic speed adaptation based on information technology. Swedish National Road and Transport Research Institute . 1998 , pp.19-34 .
- [61] Risser, R. ISA-速度選択における心理学的問題の解決法 . 交通心理学研究 . 2003 , 19(1) , pp30-35 .
- [62] 警察庁 . 運転免許統計 . 2012 , p.1 , http://www.npa.go.jp/toukei/menkyo/menkyo13/h23_main.pdf , (参照 2013-02-17) .
- [63] 松永勝也 . 自動車の運転事故者の認知応答時間の変動について . 脳波と筋電図 . 1986 , pp169-177 .
- [64] 警察庁 . 平成 22 年版 交通統計 . 交通事故総合分析センター . 2011 , p.12 .
- [65] 警察庁 . 平成 22 年版 交通統計 . 交通事故総合分析センター . 2011 , p.46 .

- [66] 中島源雄, 末永一男, 鈴村昭弘, 船津孝行, 堀内数, 松永勝也. 動的な環境における視覚の特性. 国際交通安全学会誌, 1983, 9(3), pp.162-172.
- [67] 松木裕二, 松永勝也, 志堂寺和則. 自動車運転における進行方向空間距離特性の研究(1). 日本交通心理学会第61回大会論文集. 2000, pp.34-35.
- [68] 松永勝也. KMモデルに基づく事故防止の研究. 1998, 25(11), p.4-15.
- [69] 運輸省. 保安基準第46条第2項1974年11月運輸省令第45号(1986年廃止).
- [70] 成波, 谷口哲夫, 波多野忠, 松島和男. 追従走行時のドライバの車間設定挙動. 自動車技術会学. 2003, 57(12), pp28-33.
- [71] 丸山康則. ヒヤリハット体験-その原因と対策-. 安全運転の人間科学1, 日本交通心理学会編. 1982, p.230.
- [72] 太田博雄, 中西盟, 加藤良隆. ドライビング・シミュレータを利用した若年運転者のための安全教育: コーチング技法を応用した教育プログラム開発. 国際交通安全学会誌 32(4), 2007, pp.317-326.
- [73] 栗谷川幸代, 大須賀美恵子, 景山一郎. ドライビングシミュレータを用いたドライバの運転支援に関する基礎的研究. ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 2004, 6(2), pp43-46.
- [74] 松木裕二, 松永勝也, 志堂寺和則, 合志和晃. 移動効率体験用ドライブシミュレータの開発とその効果について. 情報処理学会第55回全国大会講演論文集, 1997, pp228-229.
- [75] Cohen, J. & Preston, B. Causes and Prevention of Road Accidents, London: Faber and Faber. 1968, p.65.
- [76] 国土交通省. 九州地方整備局: 国道3号線 博多バイパス(2011), http://www.qsr.mlit.go.jp/n-michi/ir-info/kouturyou/ippan_kotsuryo/pdf/40_fukuokashi.pdf, (参照 2013-02-15).
- [77] 津田行代, 永田晟, 久我晃広. 長距離運転時における尿中カテコールアミンと心電図 R-R 間隔の変動, 日本体育学会大会号. 1995, 第46巻, p273.
- [78] 茂吉雅典, 横山清子, 木野康文, 高田和之. 長距離自動車運転における生体負担の解析, 大同工業大学紀要. 1995, 第31巻, pp.73-81.
- [79] 高津浩彰, 宗像光男, 小関修, 横山清子, 渡辺與作, 高田和之. 心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討. 電気学会論文誌. C, 電子・情報・システム部門誌, 2000, 120(1), pp.104-110.
- [80] 船津孝行. 安全運転管理への新しいアプローチ-予備的な考察-, 九州大学哲学年報. 1977, 第36輯, pp.1-43.
- [81] 松永勝也. 交通事故防止の人間科学. ナカニシヤ出版, 2002, p.38.
- [82] 野沢浩. 自動車運転労働 労働科学からみた現状と課題 -. 小木和孝(編). 1980, pp.230-260.

- [83] ドライブレコーダデータベース検討会.” ドライブレコーダを活用した事故分析の拡
充・強化のためのフェージビリティ調査”, 2011, [http://www.mlit.go.jp/common/
000145412.pdf](http://www.mlit.go.jp/common/000145412.pdf), (参照 2013-04-09).
- [84] 日本自動車研究所 . 映像記録型ドライブレコーダのデータ解析事業 . 2009 ,
[http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03driverrec/resource/data/
dora-houkoku20-1.pdf](http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03driverrec/resource/data/dora-houkoku20-1.pdf), (参照 2013-03-05).
- [85] TOYOTA.” トヨタ企業サイト | 安全技術 | ナビ・ブレーキアシ
スト”. [http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/safety/technology/technology_
file/active/navi_brake.html](http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/safety/technology/technology_file/active/navi_brake.html), (参照 2013-02-15).