

博士前期課程学位論文

低速車両と普通車両の混合交通  
およびその環境下におけるマルチクラスゾーン  
ITS 情報通信方式に関する研究

2014 年度

埼玉大学大学院 理工学研究科 数理電子情報系専攻  
電気電子システム工学コース

指導教員 長谷川 孝明 教授  
13MM220 蝶野 大地

## 要旨

本研究では、実測に基づく低速車両のモデル化を含む歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会を前提とした交通流シミュレータの構築、およびそれを用いた混合交通流の特性評価を行っている。さらに、構築した交通流シミュレータにマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入し、通信性能評価を行っている。近年、自転車や超小型電気自動車に関する研究や普及に向けた取り組みが増加していることから、今後低速車両の利用が増加していくことが予測される。さらに、自転車通行帯や低速車両用の通行帯に関する研究も行われていることから、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会が到来する可能性がある。一方で、交差点付近では人・車・インフラ間の情報共有 (Vehicle Information Sharing ; VIS) が重要である。VIS 環境を実現する、事故の発生しやすい交差点中心付近で確実な通信を行い、それ以外ではコストの小さい車車間通信を行う高効率な情報通信方式としてマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式が提案されている。しかし、従来研究では交通流、ITS 情報通信ともに歩行者/普通車両の2モード交通社会を想定しているものが多く、レーン分離された3モード交通社会に関する知見は少ない。

そこで本研究では、道路の両側にスロービークルレーンが設置され、低速車両として自転車と超小型電気自動車「ルーキー」をベースとした「イヴ」を想定した環境において、以下の三段階のアプローチにより、レーン分離された3モード交通社会における混合交通流の特性および VIS 環境実現に関する知見を得るための評価基盤の構築を目的とする。第一に、想定する交通環境を明確にした上で、実測に基づく低速車両のモデル化を行っている。低速車両としての「イヴ」は走行特性の観測実験、低速車両としての自転車は交差点での観測にそれぞれ基づきモデルを構築している。さらに低速車両の導入に伴う乗用車のモデルの拡張を行い、スロービークルレーンおよび低速車両のモデルを含むレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS (Multi-Modal Traffic Simulator) の構築を行っている。第二に、構築した MMTS を用いて混合交通流の特性評価を行っている。構築した基盤を用い、想定する状況のシミュレーションを行った結果、平均アイドリング時間が最小となる点が存在することを明らかにしている。また、混雑時において低速車両へのモーダルシフトをある程度進めることで混雑を緩和できる可能性があることを示している。第三に、MMTS にマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入し、衝突の可能性が高い車両のみを評価対象とした ITS 情報通信システムの評価基準である、必要情報取得率を用いて通信性能の評価を行っている。構築した基盤を用い、一例として交差点数3、スロービークルレーンが設置された両側3車線の道路、人の移動需要の発生間隔の平均値 3.5s (主道路：従道路 = 1 : 2) の交通環境でシミュレーションを行った結果、自転車の交通分担率を 0.1 で固定し、必要情報取得率 90% を達成する帯域幅は、「イヴ」の交通分担率 0.6 の場合、「イヴ」の交通分担率 0 の場合と比較して、基地局を設置するとき約 2.5 倍、基地局を設置しないとき約 2.6 倍に増加することを明らかにしている。以上より、レーン分離された3モード交通社会における混合交通流の特性および通信性能を定量的に評価可能な基盤を構築し、想定した状況のシミュレーションを行った結果を示している。

# 目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	基礎理論	3
2.1	本章のまえがき	3
2.2	ベースにする交通流シミュレータ [21]	3
2.3	マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式 [18, 19]	3
2.4	必要情報取得率 [19]	4
2.5	本章のまとめ	7
第 3 章	低速車両のモデル化とレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築 [22]	8
3.1	本章のまえがき	8
3.2	想定する交通環境	8
3.3	低速車両としての「イヴ」のモデル化	8
3.4	低速車両としての自転車のモデル化	9
3.5	乗用車のモデル化	9
3.6	レーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築	10
3.7	本章のまとめ	10
第 4 章	混合交通流の特性評価 [22]	12
4.1	本章のまえがき	12
4.2	評価環境およびシミュレーション諸元	12
4.3	「イヴ」の交通分担率を変化させた場合の特性	14
4.4	自転車の交通分担率を変化させた場合の特性	18
4.5	人の移動需要の発生間隔の平均値を変化させた場合の特性	22
4.6	本章のまとめ	25
第 5 章	混合交通空間におけるマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の性能評価 [33]	26
5.1	本章のまえがき	26
5.2	評価方法	26
5.3	評価環境およびシミュレーション諸元	27
5.4	混合交通空間におけるマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の性能評価	28
5.5	本章のまとめ	30
第 6 章	結論	31
付録		36
A	追従のモデル	36
B	右左折のモデル	43

C	信号判断のモデル . . . . .	55
D	車線変更のモデル . . . . .	61
E	評価領域への車両の進入方法 . . . . .	67

## 目 次

2.1	従来の道路モデルの例	4
2.2	マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式	5
2.3	フレーム構成	5
2.4	危険性が高い車両の判定	6
2.5	必要情報取得率の例	6
3.1	彩りイヴ	9
3.2	走行特性の観測実験の結果	10
3.3	MMTS の道路モデルの例	11
4.1	道路環境	13
4.2	平均アイドリング時間 (自転車の交通分担率:0.1)	15
4.3	平均アイドリング時間 (自転車の交通分担率:0.2)	15
4.4	平均アイドリング時間 (自転車の交通分担率:0.3)	16
4.5	平均旅行速度 (自転車の交通分担率:0.1)	16
4.6	平均旅行速度 (自転車の交通分担率:0.2)	17
4.7	平均旅行速度 (自転車の交通分担率:0.3)	17
4.8	平均アイドリング時間 (「イヴ」の交通分担率:0.1)	19
4.9	平均アイドリング時間 (「イヴ」の交通分担率:0.2)	19
4.10	平均アイドリング時間 (「イヴ」の交通分担率:0.3)	20
4.11	平均旅行速度 (「イヴ」の交通分担率:0.1)	20
4.12	平均旅行速度 (「イヴ」の交通分担率:0.2)	21
4.13	平均旅行速度 (「イヴ」の交通分担率:0.3)	21
4.14	平均アイドリング時間 (自転車の交通分担率:0.1)	23
4.15	平均旅行速度 (自転車の交通分担率:0.1)	23
4.16	平均アイドリング時間 (「イヴ」の交通分担率:0.1)	24
4.17	平均旅行速度 (「イヴ」の交通分担率:0.1)	24
5.1	「イヴ」の交通分担率を変えた場合の必要情報取得率の比較	29
5.2	低速車両の交通分担率を変えた場合の基地局の有無に対する必要情報取得率の比較	29
A.1	前方車両の定義	36
A.2	低速車両の加速度決定 (part1)	37
A.3	低速車両の加速度決定 (part2)	38
A.4	低速車両の加速度決定 (part3)	39
A.5	普通車両の加速度決定 (part1)	40
A.6	普通車両の加速度決定 (part2)	41
A.7	普通車両の加速度決定 (part3)	42

B.1	右折時に歩行者を確認する範囲	43
B.2	左折時に歩行者を確認する範囲(普通車両)	43
B.3	左折時に歩行者を確認する範囲(低速車両)	43
B.4	左折するための判断	44
B.5	左折可能かどうかの判断	45
B.6	右折するための判断	46
B.7	右折可能かどうかの判断	47
B.8	停止線を過ぎていない対向車に対する推定	48
B.9	停止線を過ぎた対向車に対する推定	49
B.10	黄色信号の場合の対向車に対する推定	50
B.11	二段階右折の判断	51
B.12	待機行列に並ぶための判断	52
B.13	手前で横断するための判断	53
B.14	歩行状態時の判断	54
C.1	交差点信号に対する判断	55
C.2	青信号の判断	56
C.3	黄色信号の判断	57
C.4	交差点を通過するかの判断	58
C.5	赤信号の判断	59
C.6	停止線で止まるための判断	60
D.1	車線変更の判断	61
D.2	車線変更の開始判断	62
D.3	隣接車線が空いているかどうかの判断	63
D.4	車線変更の通知判断	64
D.5	車線変更のウィンカー判断	65
D.6	車線変更の動作判断	66
E.1	プールから出発するための判断	68

## 表 目 次

4.1 直進・右左折希望率 . . . . .	12
5.1 直進・右左折希望率 . . . . .	27
5.2 通信諸元 . . . . .	27

# 第1章 序論

近年、安全や健康、環境負荷低減に対する関心の高まりに伴い、低速車両の重要性が高まっている。低速車両の一つとして自転車がある。自転車に関する研究は数多く行われている。例えば、オランダでは1992年にBicycle Master Planを策定し、自転車の積極利用を推進する政策を数多く実施し、自転車の利用者数を増加させてきた[1]。また米国では公共の交通機関と自転車を組み合わせ、効率的な輸送を推進する研究[2]や自転車通行帯に関する研究[3]が行われている。日本では、移動の安全性向上の観点から自転車交通とスローモビリティをめぐる論点を整理する研究[4]や自転車歩行者道におけるレーン表示効果を検証する研究[5]が行われている。また、超高齢化が進行していることから、文献[6]では、高齢化を迎える都市では安定性の高い三輪自転車やアシスト自転車が重要な選択肢の一つになる可能性があることが述べられている。文献[7]で述べられている社会実験では、2km程度までの短距離の移動では電動アシスト自転車の利用頻度が高くなっている。上記に加え、近年徒歩と自動車間の新たな交通モードとして超小型電気自動車が注目されている。文献[6]では、ゆっくりでも着実に移動でき、体力の低下を補える安全で自由度の高い近距離移動手段として、超小型電気自動車の利用があげられている。また、超小型電気自動車および“スローモビリティレーン”を用いた社会実験[7]が行われており、文献[8]ではさいたま市版の超小型電気自動車であり、(有)タケオカ自動車工芸の「ルーキー」をベースとした「彩りイヴ」について述べられている。国土交通省でも、“超小型モビリティ導入に向けたガイドライン”[9]が策定されるなど普及に向けた取り組みが進んでいる。以上のことから、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会が到来する可能性がある。

一方で、特に交差点付近では人・車・インフラ間の情報共有 (Vehicle Information Sharing ; VIS)[10]が重要である。VIS環境を実現するため、車車間通信に関する研究[11-13]、路車間通信に関する研究[14, 15]、車車間・路車間統合通信に関する研究[16-19]が多くなされている。文献[11]のような車車間通信では、各車両が自律分散型の通信を行うため基地局を設置する必要がなく、社会的コストが小さい利点があるが、路車間通信に比べ帯域利用効率は低くなるという欠点がある。しかし、路車間通信では基地局による集中管理を行うため帯域利用効率が高く、高品質な通信が可能であり、路側センサ情報等のフィードバックも可能である。車車間・路車間統合通信は、車車間通信と路車間通信の長所を組み合わせることが可能である。VIS環境を実現するための高効率な情報通信方式としてマルチクラスゾーンITS情報通信方式が提案[18, 19]されている。この通信方式では、事故の発生しやすい交差点付近を考慮し、通信領域を3つに分割してそれぞれで役割の違う通信を行う。交差点の中心付近を最近傍領域、その外側の路車間通信領域を準近傍領域、さらにその外側をその他領域と定義し、最近傍領域では確実な通信、準近傍領域では最近傍領域で使用するスロットの予約と衝突のある通信、その他領域ではインフラを用いない車車間通信を行う。

しかし、従来研究では歩行者/普通車両の2モード交通社会を想定しているものが多く、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会に関する知見が少ない。そこで本研究では、レーン分離された3モード交通社会における混合交通流の特性およびVIS環境実現に関する知見を得るための評価基盤の構築を行う。具体的には、実測に基づく低速車両のモデル化を含むレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS (Multi-Modal Traffic Simulator) の構築、およびそれ



を用いた混合交通流の特性評価を行う。さらに、構築した MMTS にマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入し、衝突の可能性が高い車両のみを評価対象とした ITS 情報通信システムの評価基準である必要情報取得率を用いて通信性能評価を行う。

本論文は6章構成である。第2章では本研究の基礎となる事項として、ベースにする交通流シミュレータ、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式、必要情報取得率について述べる。第3章では、想定する交通環境を明確にした上、実測に基づく低速車両のモデル化および普通車両のモデルの拡張を行い、構築したモデルを含むレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築を行う。第4章では、構築した MMTS を用いてレーン分離混合交通の特性評価を行う。第5章では、構築した MMTS にマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入し、衝突の可能性が高い車両のみを評価対象とした ITS 情報通信システムの評価基準である必要情報取得率を用いて通信性能の評価を行う。第6章で、本研究全体の結論と今後の課題を述べる。

## 第2章 基礎理論

### 2.1 本章のまえがき

本章では、本研究の基礎となる事項について述べる。本研究では、定量的な評価手法としてシミュレーションを利用する。既存の交通流シミュレータとして、VISSIM や AVENUE[20]、文献[21]の交通流シミュレータなどがあるが、拡張のしやすさから文献[21]をベースとし、レーン分離混合交通流の定量的な評価基盤の構築を行う。そこでまず、ベースにする交通流シミュレータについて説明を行う。次に、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式について述べ、最後に必要情報取得率について説明する。

### 2.2 ベースにする交通流シミュレータ [21]

構築する交通流シミュレータは文献[21]をもとにしている。ここでは、その交通流シミュレータについて述べる。

道路モデルは、交差点を含む仮想的な一般道であり、主道路と従道路で構成される。交差点数、車線数、右折専用車線の有無、リンク長は任意に設定が可能である。また、交差点には信号機が設置しており、信号機は停止線上に位置する。車線幅員は3.5m、停止線から直交する路肩までの距離は4.5mとしている。道路モデルの例を図2.1に示す。

車両モデルは、乗用車を仮定しており、車両長4.5m、車両幅は1.7mである。評価対象エリアへの進入は各車線ごとにポアソン分布に従う。

ドライバーは、周囲の交通状況を判断し運転する。信号機を見て、信号現示に従った運転をし、車線変更は右左折を希望する車両で、右左折可能な車線にいない場合または直進車両で現在いる車線よりも他車線が空いていると判断した場合に車線変更を行う。ただし、交差点に近づきすぎ、ドライバーが車線変更できないと判断した場合には右左折、車線変更とも中止し、直進する。また、車両停止状態からの発車には、ドライバー毎に正規分布(平均:0.8, 標準偏差:0.5, 最大値:1.1, 最小値:0.5)で遅延時間を与えている。

以上のように、文献[21]は歩行者/普通車両の2モード交通社会を想定している。

### 2.3 マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式 [18, 19]

マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式は、事故の発生しやすい交差点中心付近で確実な通信を行い、それ以外ではコストの小さい車車間通信を行うため、図2.2に示すように通信エリアを3つに分割し、それぞれで役割の異なる通信を行う。各領域は交差点に近い順に、最近傍領域、準近傍領域、その他の領域と呼ばれる。各領域ではそれぞれ、第1種交差点路車間通信、第2種交差点路車間通信、車車間通信を行う。第1種交差点路車間通信では TDMA (Time Division Multiple Access) 方式による100msごとの確実な通信、第2種交差点路車間通信では Slotted-ALOHA 方式による1sに1回以上の通信と最近傍領域で使用するスロットの予約、車車間通信では CSMA

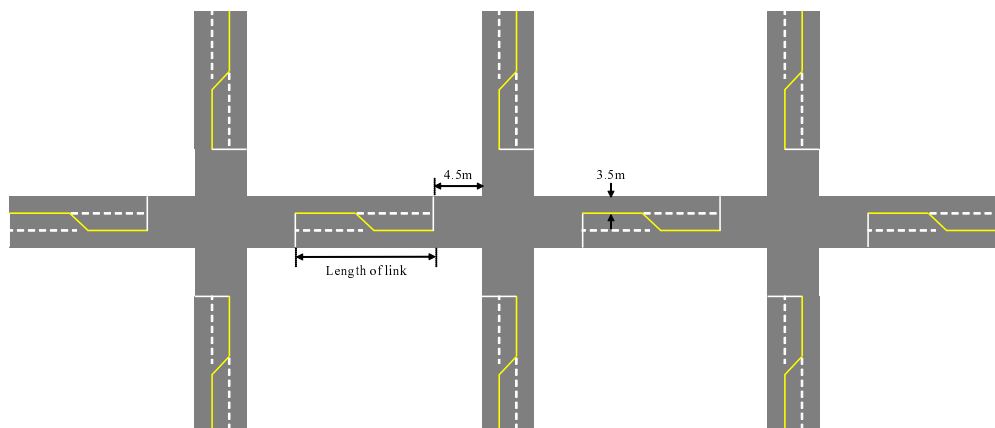


図 2.1: 従来の道路モデルの例

(Carrier Sense Multiple Access) 方式によるベストエフォートな通信を行う。通信の切換は、高精度な自位置特定と基地局の位置情報データベースの搭載を前提とし、各車両が通信領域の変更を判断して行う。また、交差点間の距離が短い場合に路車間の通信領域が重なることを考慮して隣接交差点では異なる通信帯域を利用する。なお、割り当てスロット数不足の場合、基地局は最近傍領域に近い車両に優先的にスロットを割り当てる。図 2.3 に路車間通信のフレーム構成を示す。メインフレームは第 1 種交差点路車間通信サブフレームと第 2 種交差点路車間通信サブフレームで構成され、アップリンクとダウンリンクは時分割で行う。アップリンクでは上記の方式を用いて各車両が情報を送信する。ダウンリンクでは基地局が各車両から受け取ったエリア内の車両情報や予約情報、路側センサ等の情報をブロードキャストする。

通信手順はまず、その他領域の車両は CSMA 方式を用いて基地局を必要としない車車間通信を行う。次に、車両が準近傍領域に進入すると基地局からのパイロット信号を受信しフレーム同期を行い、第 2 種交差点路車間通信を開始する。第 2 種交差点路車間通信では Slotted-ALOHA 方式を用いて 1s に 1 回以上の通信と最近傍領域で使用されるスロットの予約を行う。最近傍領域に進入した車両は第 1 種交差点路車間通信を開始する。第 1 種交差点路車間通信では、事前に予約したスロットを使用し、TDMA 方式を用いた 100ms ごとの通信を行う。最近傍領域を退出した車両はスロットの開放を行い、予約なしの第 2 種交差点路車間通信を行う。

このように、大規模な交差点の中心付近では高い周波数利用効率で QoS (Quality of Service) 保証型の通信を行うことができ、小規模な交差点や交差点以外の場所では基地局未設置の通信が可能であり、社会コストの面も考慮されている。

## 2.4 必要情報取得率 [19]

互いに距離があり接触のリスクが小さい車どうしの情報交換の重要性は、互いに近く接触のリスクの高い車どうしの情報交換の重要性に比べはるかに小さい。すなわち、遠い車どうしの情報交換と至近距離の車どうしの情報交換の成功率を画一的に評価することは ITS 情報通信の性能評価基準としては適切ではない。必要情報取得率  $R$  は衝突の可能性が高い車両のみを評価対象とした ITS 情報通信システムの評価基準であり、車の中心が 2s 以内に半径 5m 以内に入る車どうしの通信のみを評価対象とする ITS 情報通信システムの性能評価指標であるが、シミュレーションにおいては、式 (2.1) のように、必要情報の取得回数  $N_{information.necessary}$  を、衝突の可能性が高く

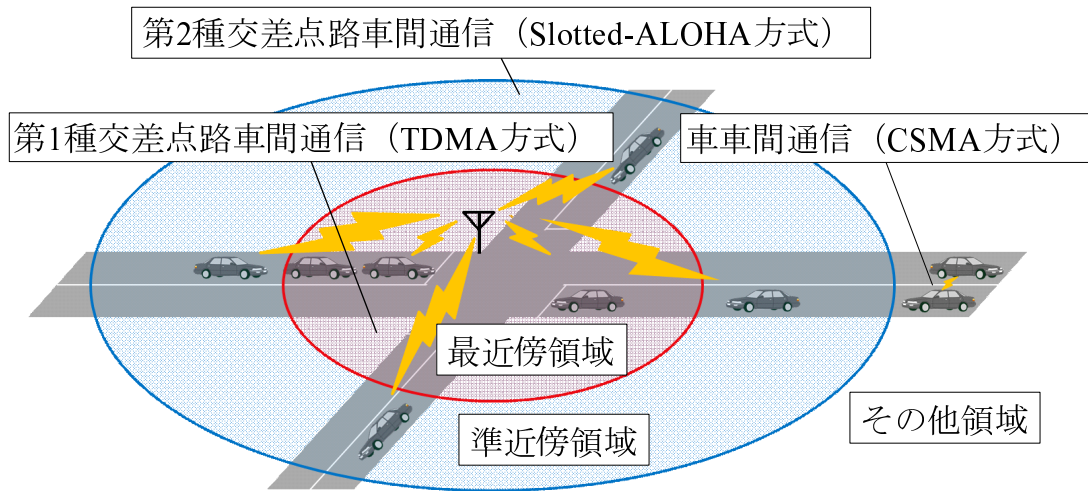


図 2.2: マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式

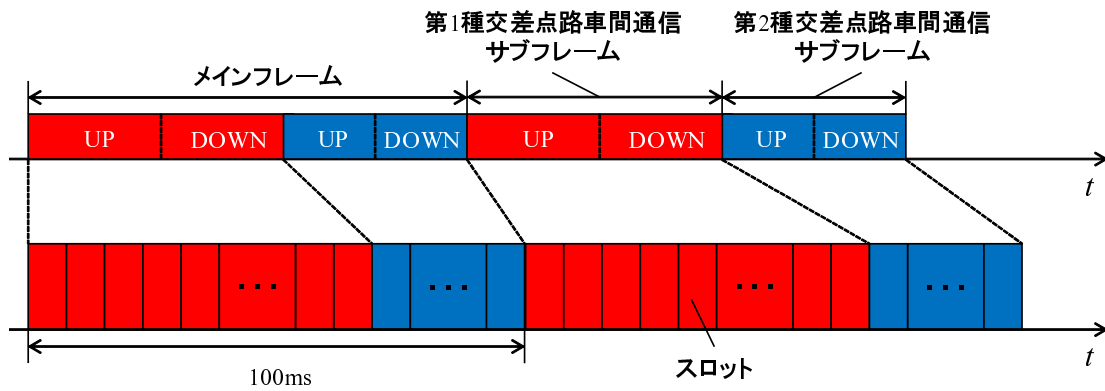


図 2.3: フレーム構成

他の車両の情報取得を必要とした回数  $N_{high\_risk\_vehicle}$  で除した値として計算される。なお、衝突の可能性が高い車両は、判定は図 2.4 のように、相対位置  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$ , 相対速度  $\mathbf{V}_r$ , 相対加速度  $\alpha_r$  を用いて行う。必要情報取得率の例を図 2.5 に示す。この場合、A 車は B 車の情報取得に成功、B 車は A 車、C 車の情報取得に成功、C 車は B 車の情報取得に失敗となる。したがって、必要情報取得率は  $3/4 \times 100 = 75\%$  となる。

$$R = \frac{N_{information\_necessary}}{N_{high\_risk\_vehicle}} \quad (2.1)$$

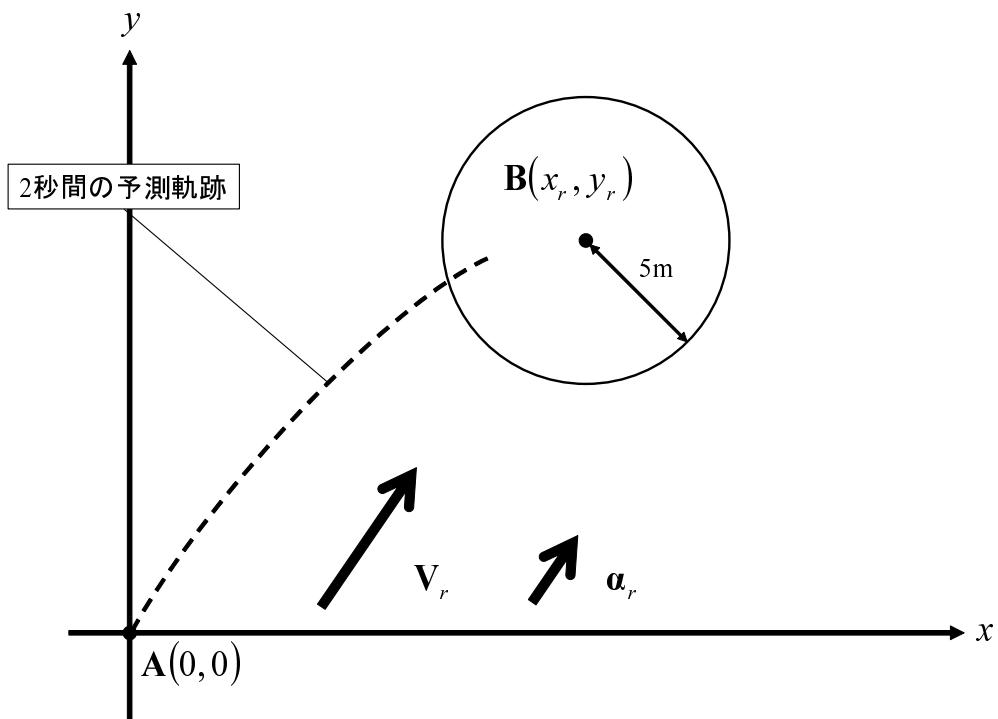


図 2.4: 危険性が高い車両の判定

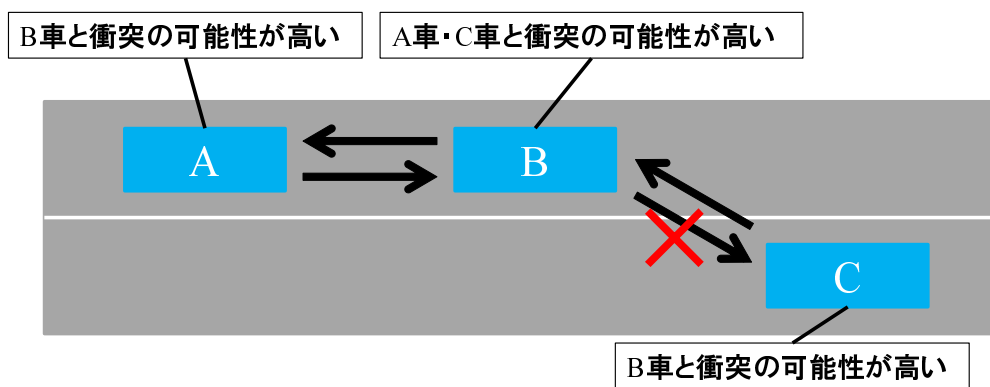


図 2.5: 必要情報取得率の例

## 2.5 本章のまとめ

本章では、本研究の基礎となる、歩行者/普通車両の2モード交通社会を想定した交通流シミュレータ、マルチクラスゾーンITS情報通信方式、必要情報取得率について述べた。

2.2で述べた交通流シミュレータは、歩行者/普通車両の2モード交通社会を想定しているため、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会の解析を行うことはできない。

また、2.3で述べたマルチクラスゾーンITS情報通信方式では、領域に存在する全車両を対象とした通信性能の評価や他車両と衝突可能性の高い車両を対象とした評価は行われている。しかし、いずれも歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード社会を想定した評価は行われていない。

次章では、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会を想定した評価が可能な基盤の構築を行う。具体的には、想定する交通環境を明確にした後、実測に基づいて低速車両のモデルを構築および普通車両のモデルを拡張し、それを含むレーン分離混合交通流シミュレータMMTSの構築を行う。

## 第3章 低速車両のモデル化とレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築

### [22]

#### 3.1 本章のまえがき

本章では、実測に基づく低速車両のモデル化とそれを含むレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築を行う。まず、3.2 では想定する交通環境を明確にする。次に、3.3 では、走行特性の観測実験に基づく「イヴ」のモデル化を行い、3.4 で、交差点での観測に基づく自転車のモデル化を行った上、3.5 で、普通車両のモデルの拡張を行う。さらに、3.6 で、レーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築を行う。

#### 3.2 想定する交通環境

本研究で想定する交通環境として、歩行者/乗用車の2モード交通社会から歩行者/低速車両/乗用車の3モード交通社会へ移行した場合を想定している。また、乗用車のみや低速車両のみの環境では都市設計そのものが大きく変化するため、低速車両の交通分担率が5%から95%の間を扱うものとする。ここでの交通分担率の定義は、各交通モードを利用する人の割合である。道路構造は、乗用車用の1車線を半分にし、道路の両側にスロービークルレーンとして設置した環境を想定している。また、二段停止線を参考に低速車両の停止線は乗用車より交差点に近い位置に設定した。実環境でのスロービークルレーンの設置は、道路ダイエット [23] 等により実現可能である。想定する低速車両は、最高速度が30km/h程度までの車両とし、本研究では自転車と(有)タケオカ自動車工芸の超小型電気自動車「ルーキー」をベースとした「イヴ」(図3.1参照)を扱うものとする。「イヴ」は、機構的に最高速度が30km/h強に厳しく制限されているため、自転車とのレーン共有を想定している。

#### 3.3 低速車両としての「イヴ」のモデル化

ここでは、低速車両としての「イヴ」のモデル化を行う。まず、「イヴ」の走行特性を知るために観測実験を行った。実験の内容は、150mの直線区間において発車から停止までを行うものである。使用した車両は「彩りイヴ」、被験者は、男性7名である。走行特性の観測実験の結果を図3.2に示す。図3.2に示しているのは、7名分の観測結果の平均と標準偏差である。この結果に基づき、「イヴ」のモデルを構築する。最高速度8.6m/s、速度が7m/sより大きい場合の加速度は、0.04G、7m/s以下の場合の加速度は0.1G、減速時の加速度は-0.16Gと-0.1Gの2パターンとする。車両長および車両幅は文献 [24] に基づき、車両長1.79m、車両幅0.72mとする。また、「イヴ」は右折専用



図 3.1: 彩りイヴ

車線込みで片側 3 車線以上の大規模な交差点の場合は法令通り二段階右折，右折専用車線込みで片側 2 車線以下の小規模な交差点の場合は小回り右折を行う。二段階右折のモデルは 3.4 で述べる。

### 3.4 低速車両としての自転車のモデル化

ここでは，低速車両としての自転車のモデル化を行う。まず，交差点における自転車の挙動を知るために観測を行った。観測地点は自転車レーンのない国道 463 号線埼玉県さいたま市桜区上大久保 725 付近の交差点と国道沿いに自転車レーンが設置されている国道 463 号線埼玉県さいたま市中央区新中里 1 丁目 3-3 付近の交差点である。観測時間は前者の交差点では 2014 年 9 月 11 日 16:10~17:10，後者の交差点では 2014 年 9 月 12 日 8:10~9:10 の 1 時間である。

次に，観測結果に基づき二段階右折のモデルと進行方向の信号現示が赤のときの左折のモデルを構築した。二段階右折する車両は 2 列で待機し，現示の切り替わり後に交互に出発する。進行方向の現示が赤の場合，自転車を降車し，交差点手前を歩行者として横断する。現示の切り替わり後，右折後の走行車線まで徒歩で移動することで二段階右折を行う。歩行状態の移動速度は文献 [25] に基づき，青信号時 1.5m/s，点滅または赤信号時は 2.0m/s とし，歩行状態での挙動は文献 [26] のモデルに従うものとする。なお，「イヴ」の場合は降車して手前で横断することはないものとし，自転車を降車した状態を自転車運転者の一時歩行者化と呼ぶこととする。また，左折する自転車は進行方向の現示が赤の場合でもそのまま左折を行うものとする。

最高速度は文献 [27] に基づき，5.55m/s とする。また，加速度については文献 [28, 29] に基づき，速度が 0.9m/s より大きいとき，0.087G，0.9m/s 以下のとき，0.178G，減速時の加速度は -0.278G とする。車両長および車両幅は文献 [30] に基づき，車両長 1.8m，車両幅 0.6m とする。

### 3.5 乗用車のモデル化

1 乗用車のモデルは基本的には文献 [21] に基づいているが，低速車両の導入により，左折時に巻き込み確認を行う必要がある。そのため，巻き込み確認の判断を組み込み，モデルの拡張を行っ



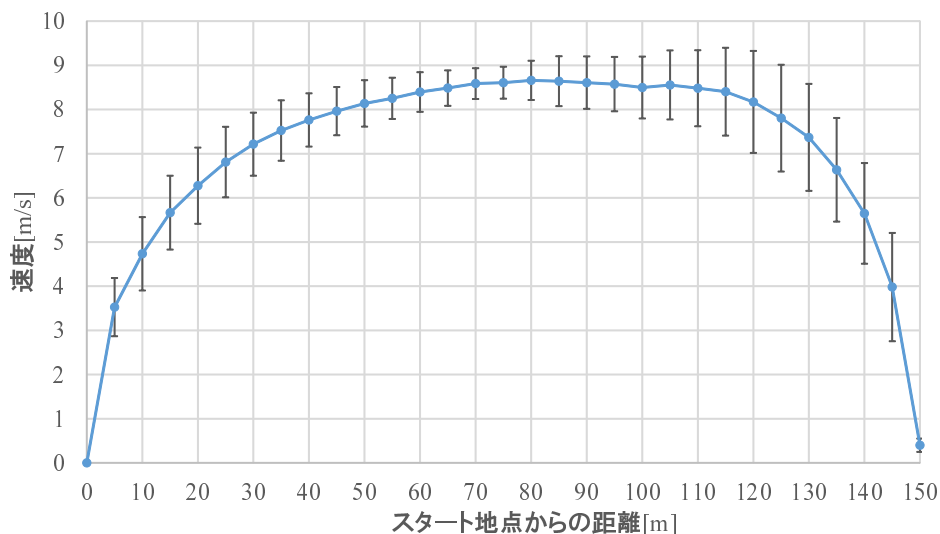


図 3.2: 走行特性の観測実験の結果

た。乗用車のドライバーは、左側前方を走行する低速車両を煽らず、左側後方を走行する低速車両と衝突しないと判断した場合に左折を行う。巻き込み判断は、左側を走行する前後の車両の速度と距離から判断を行うものである。

### 3.6 レーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築

ここでは、前述のモデルを込みこんだレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS (Multi-Modal Traffic Simulator) の構築を行う。構築するシミュレータでは、各道路への人の流入量の平均値を人の移動需要の発生間隔の平均値と定義し、導入する。車両の発生にはまず、評価領域内の全人数と各モードの人数から交通分担率を算出し、設定した交通分担率以下のモードを選択する。次に、選択されたモードの乗車人数分の人が発生した時点で車両を生成し、車両プールに追加する。人の移動需要の発生はポアソン分布に従い、車両プールからの出発および基本的なドライバーの挙動は文献 [21] に基づいている。低速車両の乗車人数は 1 人、乗用車の乗車人数は文献 [31] に基づき平均 1.33 の指数分布で与えるものとし、最大乗車人数は 10 人、最小乗車人数は 1 人とする。また、自転車は右折時に一時歩行者化することがあるため、歩行者用信号機を導入した。歩行者用信号機の点滅時間は文献 [32] に従い、道幅  $W$  [m] に対して、 $W/2$  [s] とした。構築した MMTS の道路モデルの例を図 3.3 に示す。なお、MMTS のドライバーモデルの詳細は付録 A～D、評価領域への車両の進入方法は付録 E にそれぞれ記載している。

### 3.7 本章のまとめ

本章では、想定する交通環境を明確にした上で、実測に基づいて低速車両のモデル化を行い、それを用いたレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築を行った。想定する交通環境として、道路の両側にスロービークルレーンが設置されているものとした。走行特性の観測実験の結果から「イヴ」のモデル化を行い、交差点での観測の結果から自転車のモデル化を行った。さらに、低速

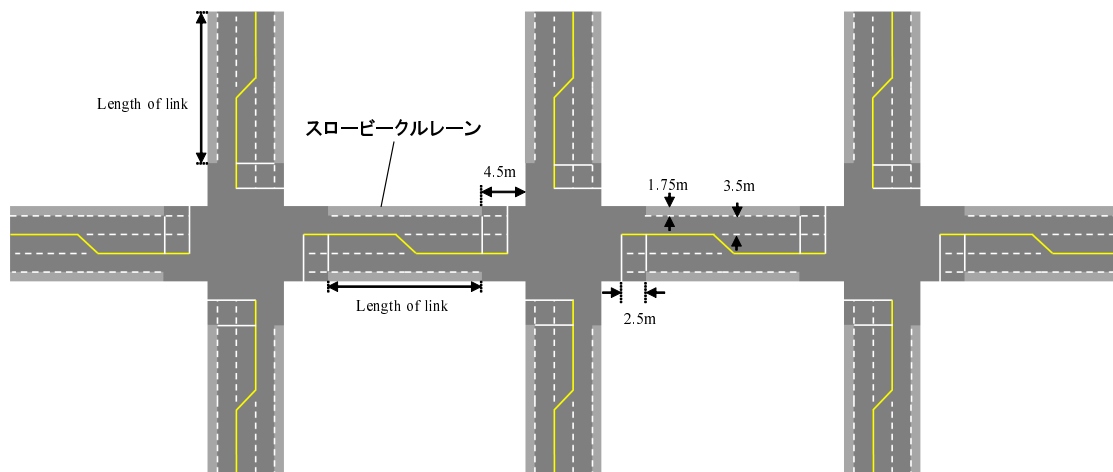


図 3.3: MMTS の道路モデルの例

車両の導入に伴い、普通車両のモデルの拡張を行い、上記を含むレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築を行った。

次章では、構築した MMTS を用いて混合交通流の特性評価を行う。

## 第4章 混合交通流の特性評価 [22]

### 4.1 本章のまえがき

本章では、構築した MMTS を用いて混合交通の特性評価を行う。4.2 では、評価環境及びシミュレーション諸元について述べる。4.3 では自転車の交通分担率を固定し、「イヴ」の交通分担率を変化させた場合の特性、4.4 では「イヴ」の交通分担率を固定し、自転車の交通分担率を変化させた場合の特性、4.5 では「イヴ」、自転車の交通分担率を固定し、人の移動需要の発生間隔の平均値を変化させた場合の特性をそれぞれ評価する。

### 4.2 評価環境およびシミュレーション諸元

道路環境は図 4.1 に示すように、交差点数 3、リンク長 600m、主道路両側 3 車線、従道路両側 3 車線とし、中心の車線は右折専用車線とする。主道路と従道路の移動需要の発生間隔の平均値の比は 1:2 とする。右左折率を表 4.1 に示す。信号制御のパラメータはサイクル 100s、スプリット 0.7、オフセット 0s、一回目の黄色信号時間 4s、右折矢時間 5s、二回目の黄色信号時間 2s、全赤時間 2s とする。低速車両の交通分担率を 0.1 から 0.9 まで 0.1 刻みで変化させる。人の移動需要の発生間隔の平均値に関しては、4.25s、4.5s、5s、10s、20s の 5 パターンとする。なお、車両プールで待機する車両台数が 1000s 間増加し続ける (評価を行いたい人の移動需要の発生間隔の平均値を満たさなくなる) 場合、シミュレーションを終了し、その結果は用いないものとした。

評価指標は、平均アイドリング時間と平均旅行速度を用いる。平均アイドリング時間は、車両が発生してから評価対象エリアを通過するまでに人の小走り程度の速さである 2m/s 以下で走行する時間の旅行者の平均と定義する。平均旅行速度は、評価対象エリア内の車両旅行速度の旅行者の平均と定義する。

表 4.1: 直進・右左折希望率

	直進	左折	右折
主道路	0.8	0.1	0.1
従道路	0.2	0.4	0.4

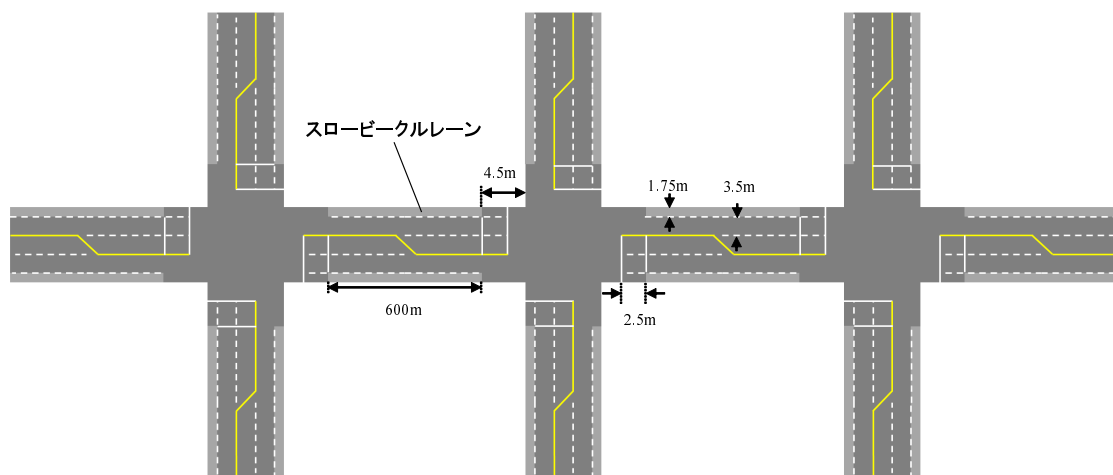


図 4.1: 道路環境

### 4.3 「イヴ」の交通分担率を変化させた場合の特性

自転車の交通分担率をそれぞれ 0.1, 0.2, 0.3 で固定した場合の平均アイドリング時間を図 4.2~4.4, 平均旅行速度を図 4.5~4.7 にそれぞれ示す。図 4.2~4.4 より, 平均アイドリング時間が最小となる点が存在する。「イヴ」の交通分担率が低い場合, モーダルシフトにより乗用車の台数が減少するため平均アイドリング時間が改善する。他方, 「イヴ」の交通分担率が高い場合, スロービークルレーンを走行する車両が増加し, 混雑するため平均アイドリング時間が悪化する。また図 4.5~4.7 より, 平均旅行速度はモーダルシフトが進むことにより低下している。これはモーダルシフトの発生により, 乗用車より大幅に最高速度の低い「イヴ」の利用者が増加するためであると考えられる。以上から, 混雑時においてモーダルシフトをある程度進めることで混雑を緩和できる可能性がある。

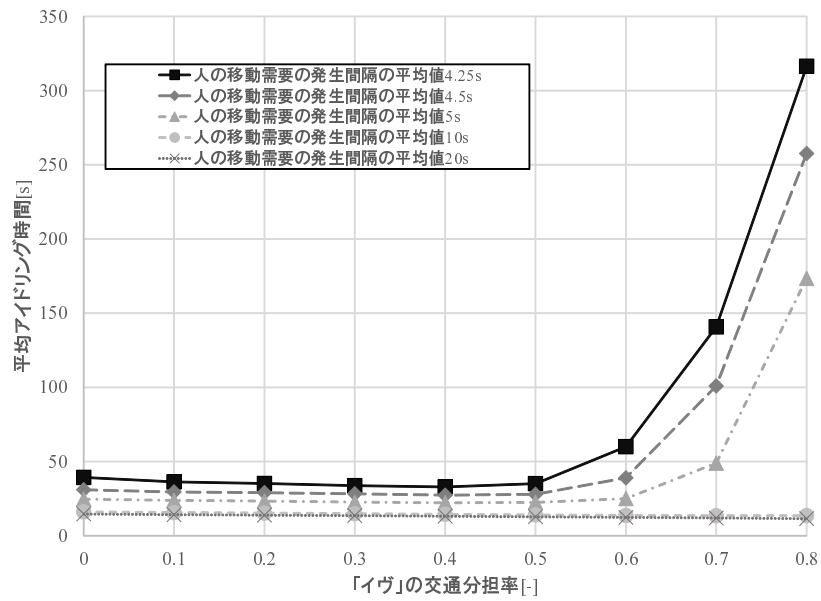


図 4.2: 平均アイドリング時間 (自転車の交通分担率 : 0.1)

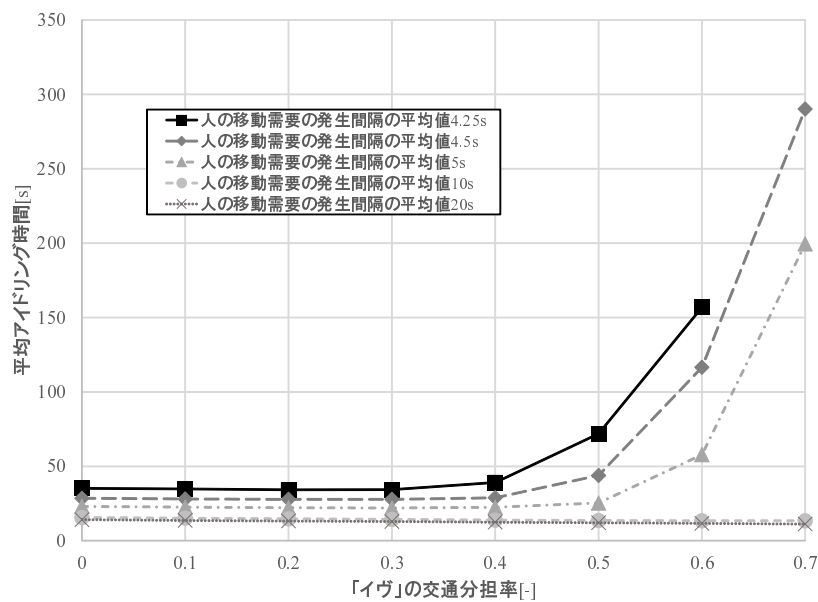


図 4.3: 平均アイドリング時間 (自転車の交通分担率 : 0.2)

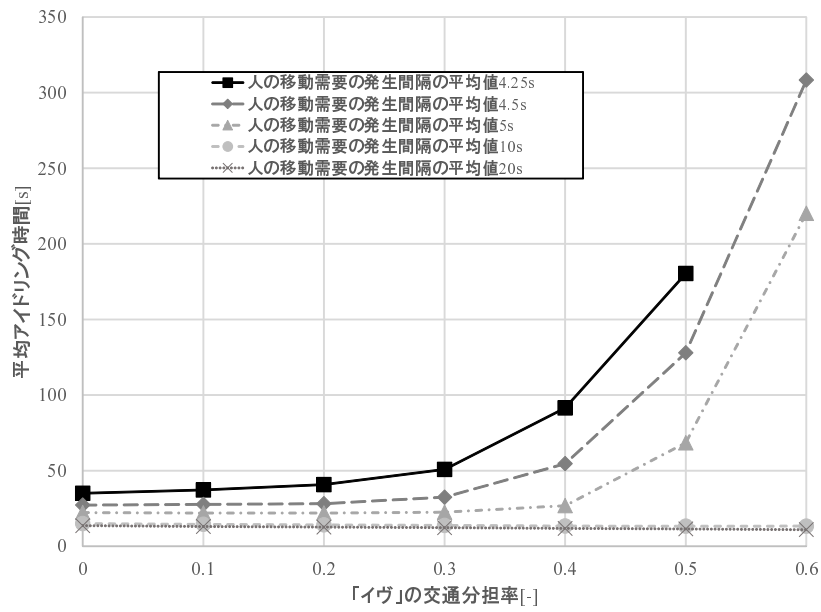


図 4.4: 平均アイドリング時間 (自転車の交通分担率 : 0.3)

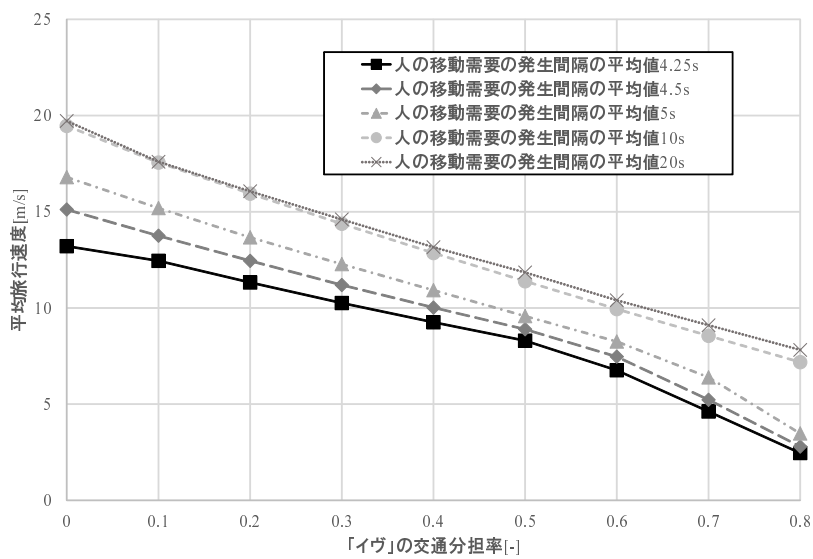


図 4.5: 平均旅行速度 (自転車の交通分担率 : 0.1)

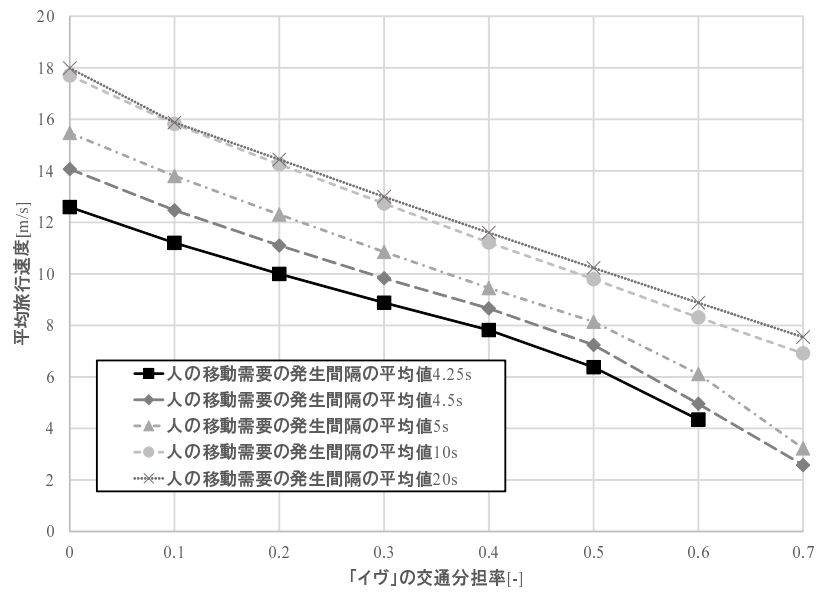


図 4.6: 平均旅行速度 (自転車の交通分担率 : 0.2)

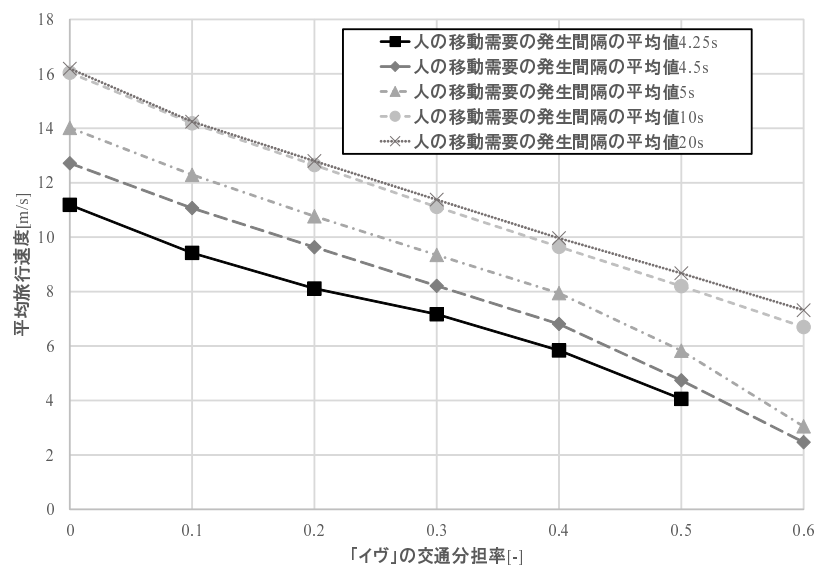


図 4.7: 平均旅行速度 (自転車の交通分担率 : 0.3)



#### 4.4 自転車の交通分担率を変化させた場合の特性

「イヴ」の交通分担率をそれぞれ0.1, 0.2, 0.3で固定した場合の平均アイドリング時間を図4.8～4.10, 平均旅行速度を図4.11～4.13にそれぞれ示す。図4.8～4.10より, 平均アイドリング時間が最小となる点が存在する。自転車の交通分担率が低い場合, モーダルシフトにより乗用車の台数が減少するため平均アイドリング時間が改善する。他方, 自転車の交通分担率が高い場合, スロービークルレーンを走行する車両が増加し, 混雑するため平均アイドリング時間が悪化する。また, 平均アイドリング時間が最小となる自転車の交通分担率は「イヴ」の交通分担率を変化させた場合に比べて低くなる。これは, 自転車は右折時に一時歩行者化することがあり, その状態が他の車両の右左折を妨げる要因になるため, 4.3の結果に比べて平均アイドリング時間が最小となる交通分担率が低くなった可能性がある。そのため, 歩行者の影響の調査が今後の課題である。さらに, 混雑時ほどスロービークルレーンの道路容量に余裕がないため, 平均アイドリング時間が最小となる交通分担率は低くなる。また図4.11～4.13より, 平均旅行速度はモーダルシフトが進むことにより低下している。4.3と同様に, これは最高速度が低い自転車の利用者が増加するためであると考えられる。しかし, 平均旅行速度の低下の傾向が若干異なる。この原因は, 自転車により「イヴ」の最高速度が制限されるためと考えられる。以上から, 4.3と同様に混雑時においてモーダルシフトを進めることで混雑を緩和できる可能性があるが, 自転車は「イヴ」に比べ全体の交通を妨げる割合が低くなるため, 注意が必要である。

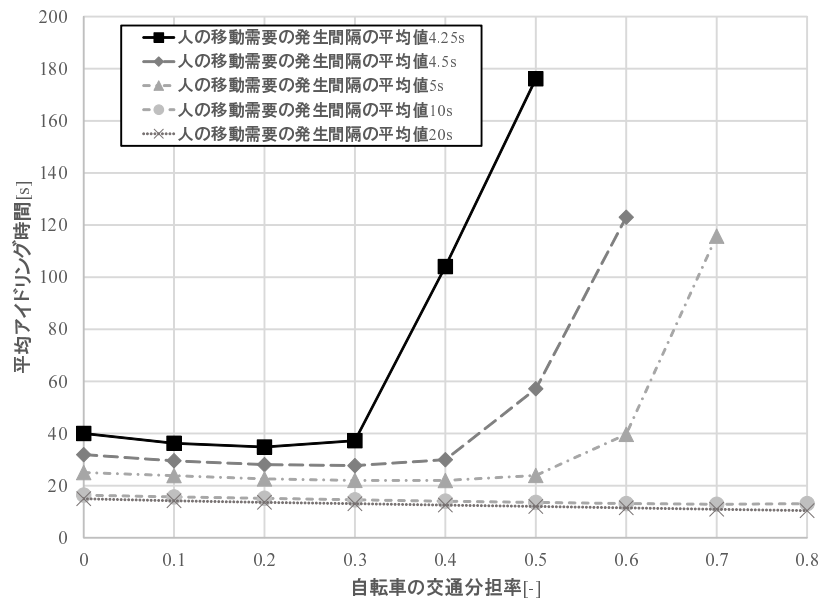


図 4.8: 平均アイドリング時間 (「イヴ」の交通分担率 : 0.1)

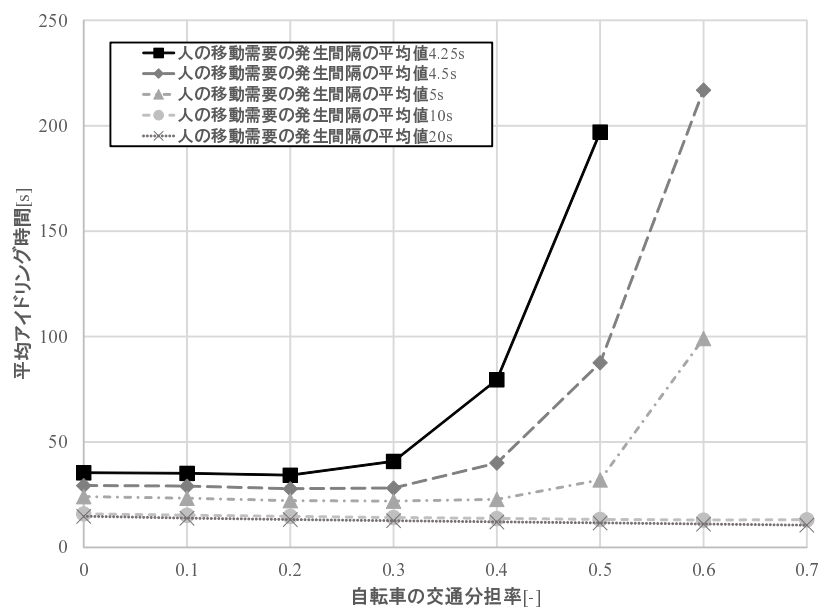


図 4.9: 平均アイドリング時間 (「イヴ」の交通分担率 : 0.2)

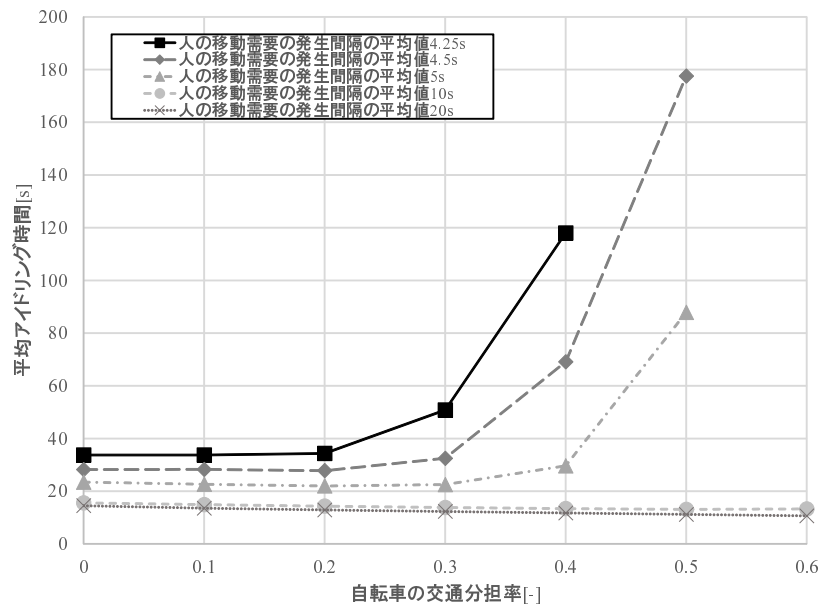


図 4.10: 平均アイドリング時間 (「イヴ」の交通分担率 : 0.3)

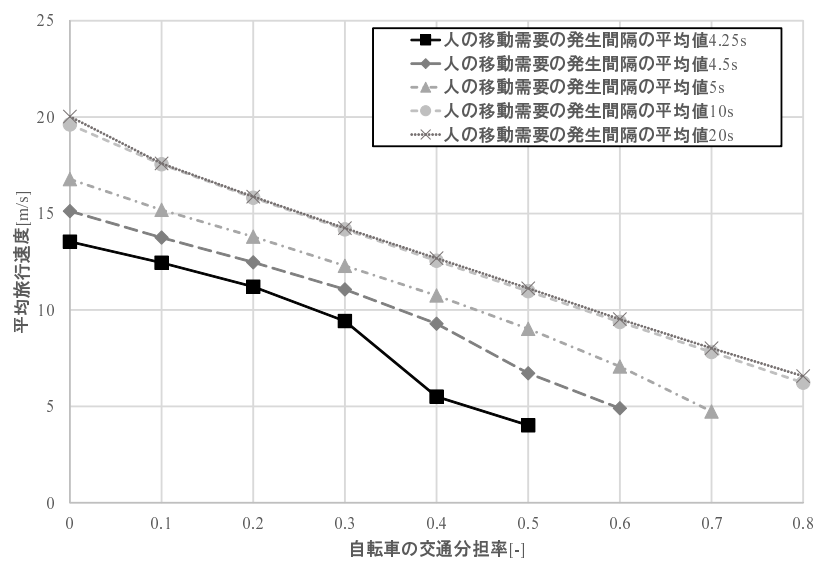


図 4.11: 平均旅行速度 (「イヴ」の交通分担率 : 0.1)

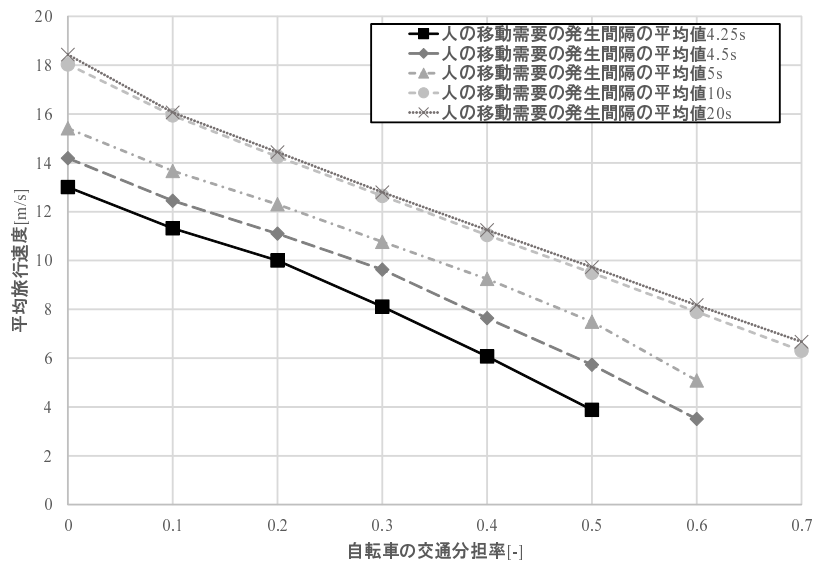


図 4.12: 平均旅行速度 (「イヴ」の交通分担率 : 0.2)

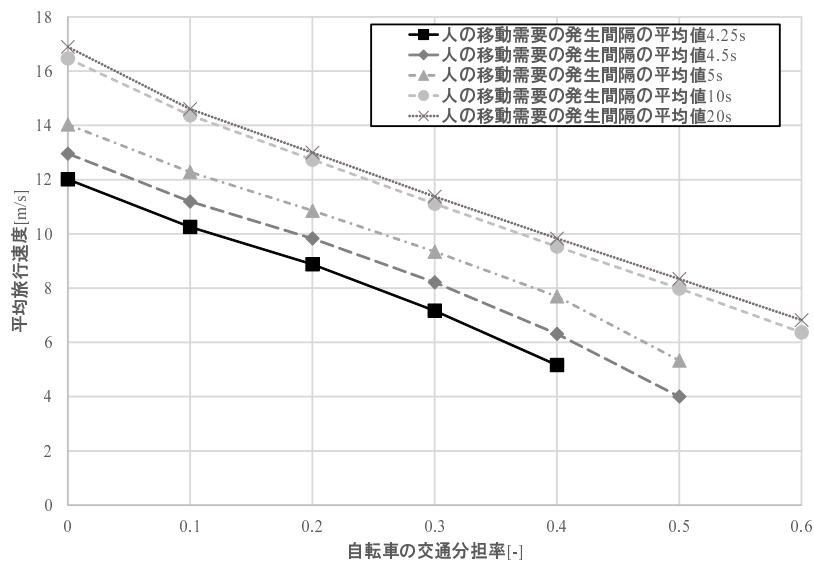


図 4.13: 平均旅行速度 (「イヴ」の交通分担率 : 0.3)

## 4.5 人の移動需要の発生間隔の平均値を変化させた場合の特性

図 4.14, 4.15 に、「イヴ」の交通分担率 0.1 で固定した場合の特性を示す。また図 4.16, 4.17 に自転車の交通分担率を 0.1 で固定した場合の特性を示す。図 4.14, 4.16 より混雑時は大きくモーダルシフトすると平均アイドリング時間が悪化する。混雑時にモーダルシフトした場合、ある所まではスロービークルレーンと乗用車の車線の道路容量の平滑化により平均アイドリング時間が改善するが、その点を超えると、スロービークルレーンが混雑し始め、平均アイドリング時間が悪化する。今回の道路環境では、低速車両の自由走行の方が信号機による待ち時間が短くなったため、積極的なモーダルシフトにより平均アイドリング時間が改善したと考えられる。また、図 4.15, 4.17 からモーダルシフトの発生により、低速車両を利用する人が増えるため、平均旅行速度が低下していることがわかる。以上より、道路環境や人の交通量、輸送効率の低下を考慮してモーダルシフトを進める必要がある。

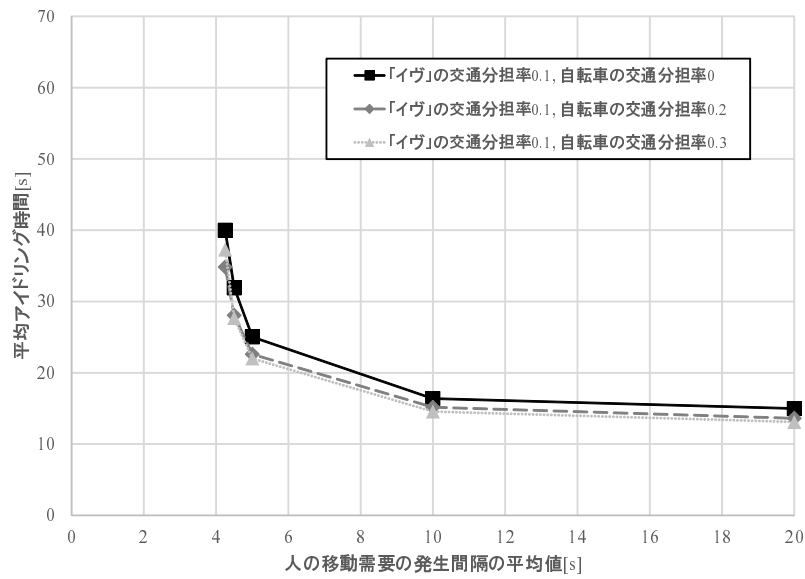


図 4.14: 平均アイドリング時間 (自転車の交通分担率 : 0.1)

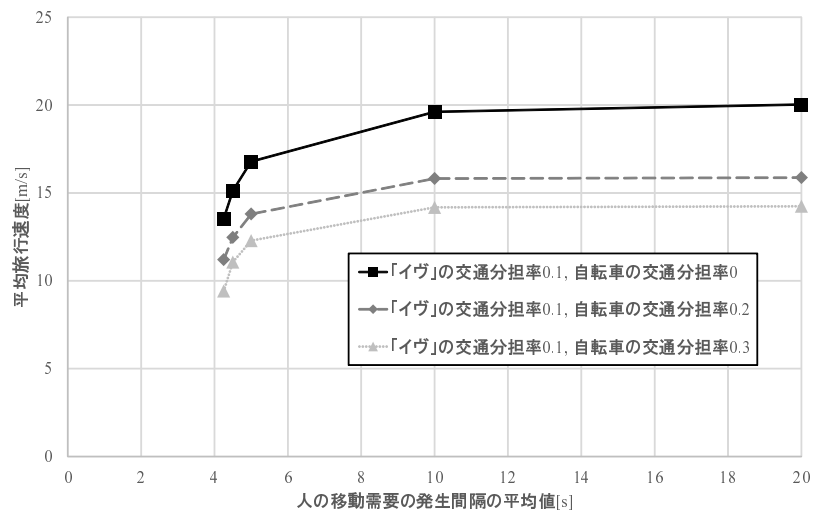


図 4.15: 平均旅行速度 (自転車の交通分担率 : 0.1)

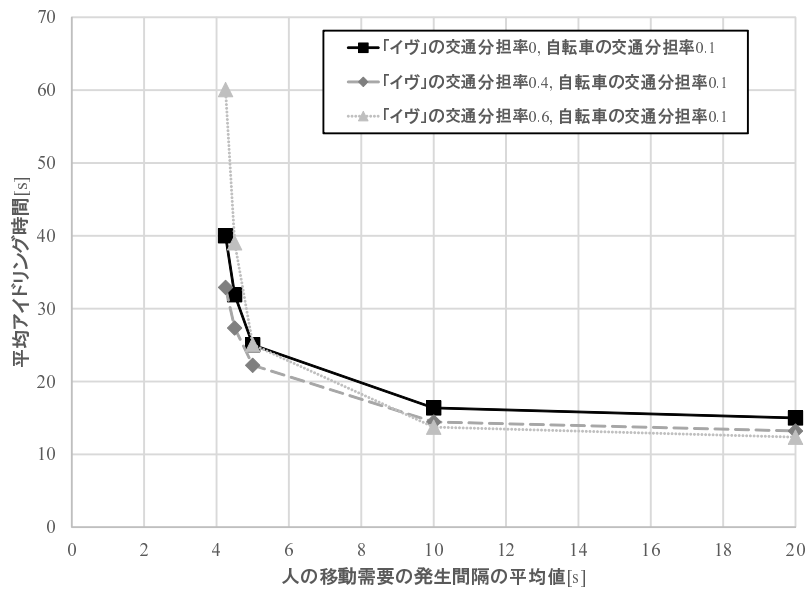


図 4.16: 平均アイドリング時間（「イヴ」の交通分担率：0.1）

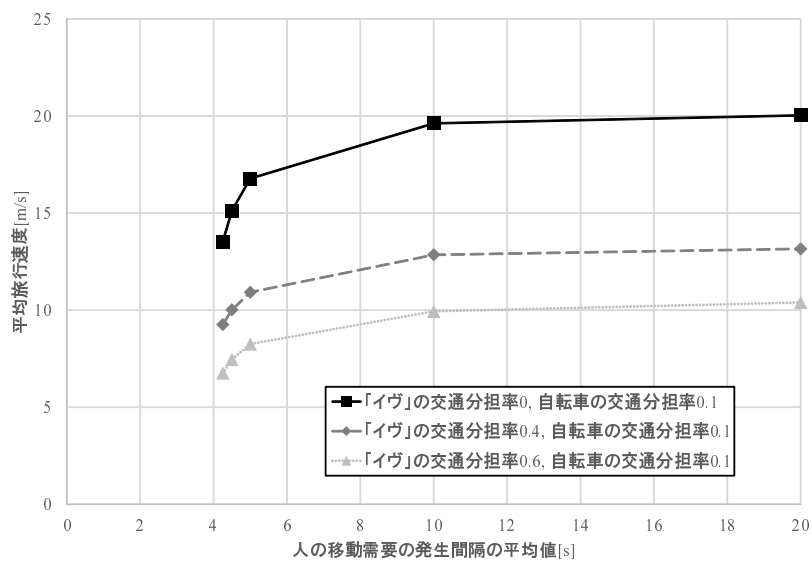


図 4.17: 平均旅行速度（「イヴ」の交通分担率：0.1）

## 4.6 本章のまとめ

本章では、構築した MMTS を用いて混合交通流の特性評価を行った。構築した基盤を用い、環境を仮定して評価を行った結果、平均アイドリング時間が最小となる点が存在することを明らかにした。また、混雑時において低速車両へのモーダルシフトをある程度進めることで混雑を緩和できる可能性があることを示した。

次章では、構築した MMTS にマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入し、必要情報取得率を用いて通信性能の評価を行う。



## 第5章 混合交通空間におけるマルチクラス ゾーンITS情報通信方式の性能評価 [33]

### 5.1 本章のまえがき

本章では、構築したMMTSにマルチクラスゾーンITS情報通信方式を導入し、必要情報取得率を用いて評価を行う。

レーン分離された混合交通環境においても、交差点では低速車両と普通車両が交錯する。普通車両に対して低速車両は交通弱者となるため、このような環境で安全のための通信を行うことは重要である。しかし、マルチクラスゾーンITS情報通信方式の従来研究では歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会を想定した評価は行われていない。そこで本章では、歩行者/低速車両/普通車両のレーン分離された3モード交通社会においてVIS環境の実現に関する知見を得ることを目的として、レーン分離混合交通空間におけるマルチクラスゾーンITS情報通信方式の性能を定量的に評価可能な基盤の構築を行う。

### 5.2 評価方法

レーン分離混合交通空間において、通信性能の評価を行うため構築したMMTSにマルチクラスゾーンITS情報通信方式を導入する。構築した交通流-通信統合シミュレータは、衝突の可能性が高い車両のみを評価対象としたITS情報通信システムの評価基準である必要情報取得率を用いて、通信性能を定量的に評価可能である。

想定する交通環境は、3.2で述べたものと同様である。これに加え、「イヴ」および乗用車は通信機器を搭載し、通信を行うものとする。しかし、自転車に専用の通信機器を搭載することはコスト面で現実的でないことから、通信は行わないものとする。

### 5.3 評価環境およびシミュレーション諸元

道路環境は図 4.1 に示すように、道路の両側にスロービークルレーンを設置し、主道路両側 3 車線、従道路両側 3 車線とした。人の移動需要の発生間隔の平均値は 3.5s とした。ただし、主道路と従道路の人の移動需要の発生間隔の平均値の比は 1 : 2 とする。右左折率を表 5.1 に示す。信号制御のパラメータはサイクル 150s, スプリット 0.7, オフセット 0s, 一回目の黄色信号時間 4s, 右折矢時間 8s, 二回目の黄色信号時間 2s, 全赤時間 2s とする。路車間通信を行う場合、最近傍領域は停止線上流 50m 以内、準近傍領域は停止線上流 50m から 250m までの 200m の範囲とする。CSMA 方式のキャリアセンス待機時間は平均 20ms のポアソン分布に従うものとする。通信諸元を表 5.2 に示し、シミュレーション時間は 5000s とする。また、評価指標は 5.2 で述べたように、必要情報取得率を用い、評価対象領域は停止線上流 50m 以内とする。

ここでは、評価を行う各帯域幅において、第 1 種交差点路車間通信の必要情報取得率が最も高くなる、第 1 種交差点路車間通信と第 2 種交差点路車間通信それぞれの帯域幅を求める。そして、各帯域幅において性能が最も高い帯域利用をした場合を最高性能とし、比較を行う。なお、帯域幅の計算は、誤り訂正、ロールオフ率、ヘッダをすべて含めて  $1\text{Hz} = 1\text{bps}$  として計算するものとする。

表 5.1: 直進・右左折希望率

	直進	左折	右折
主道路	0.8	0.1	0.1
従道路	0.4	0.3	0.3

表 5.2: 通信諸元

キャリアセンス半径	200m
通信半径	100m
通信周期	0.1s
正規化遅延	0.5
通信チャンネル数	2CH
パケット長 (データ長)	70oct. (30oct.)

## 5.4 混合交通空間におけるマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の性能評価

構築した基盤を用いて、基地局の設置されている交差点と基地局の設置されていない交差点における帯域幅に対する必要情報取得率の評価を行う。自転車の交通分担率を0.1で固定し、「イヴ」の交通分担率を変化させた場合、「イヴ」の交通分担率が0.6のとき平均車両密度が最大の93veh./km/laneとなる。一方、最も低い平均車両密度は30veh./km/laneで、「イヴ」の交通分担率が0のときである。また、自転車の交通分担率を0.3で固定した場合には、最大の平均車両密度は99veh./km/laneであり、そのときの「イヴ」の交通分担率は0.4である。図5.1に自転車の交通分担率を0.1で固定した場合の必要情報取得率を示す。これより、「イヴ」の利用者が増加すると必要情報取得率を高くするための帯域幅が増加することがわかる。今回の環境において、必要情報取得率90%を達成する帯域幅は、「イヴ」の交通分担率0.6の場合、「イヴ」の交通分担率0の場合と比較して、基地局設置では約2.5倍、基地局未設置では約2.6倍に増加する。

図5.2に低速車両の交通分担率を変化させた場合の基地局の有無に対する必要情報取得率を示す。この結果より、低速車両の交通分担率を変化しても各帯域幅に対する必要情報取得率はほとんど変化しない。また、3.5MHz付近において基地局設置時と基地局未設置時の必要情報取得率が逆転している。これは、帯域幅が狭い場合、第1種交差点路車間通信用スロットの不足および第2種交差点路車間通信の通信失敗によるスロットの予約失敗が多発するためと考えられる。逆転する帯域幅より広い場合、基地局の設置により、狭い帯域幅で必要情報取得率90%を達成可能である。一方、逆転する帯域幅より狭い場合、基地局を設置せず車車間通信を行うことで性能を高くすることが可能であるが、必要情報取得率は80%以下となる。さらに、必要情報取得率が飽和状態となる帯域幅は、基地局が設置されている場合6MHz、基地局未設置の場合13MHzとなった。この帯域幅より広い場合、通信を行う車両に対して帯域幅に余裕ができるため、パケット衝突が発生しにくくなるので飽和状態になったと考えられる。

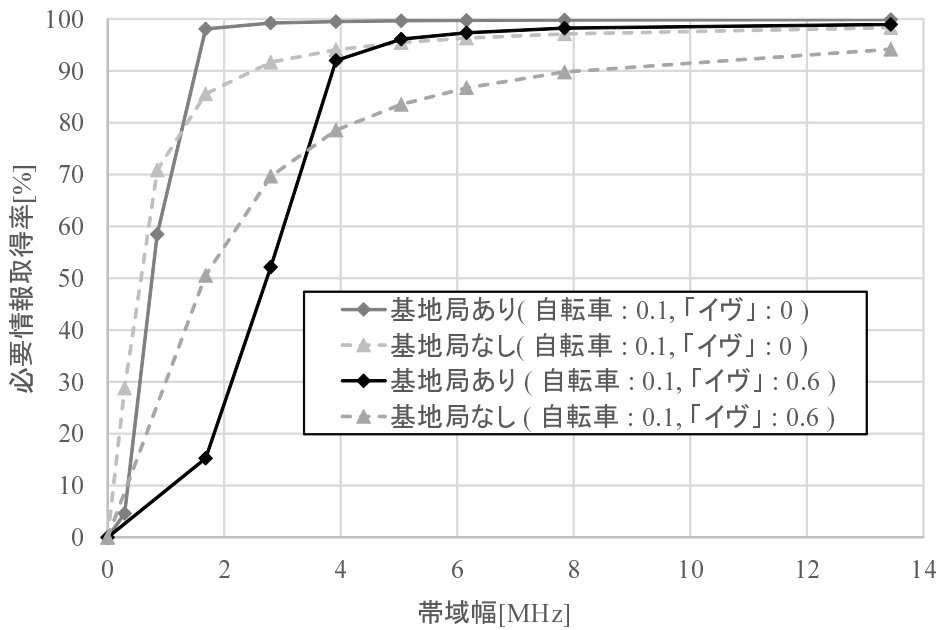


図 5.1: 「イヴ」の交通分担率を変えた場合の必要情報取得率の比較

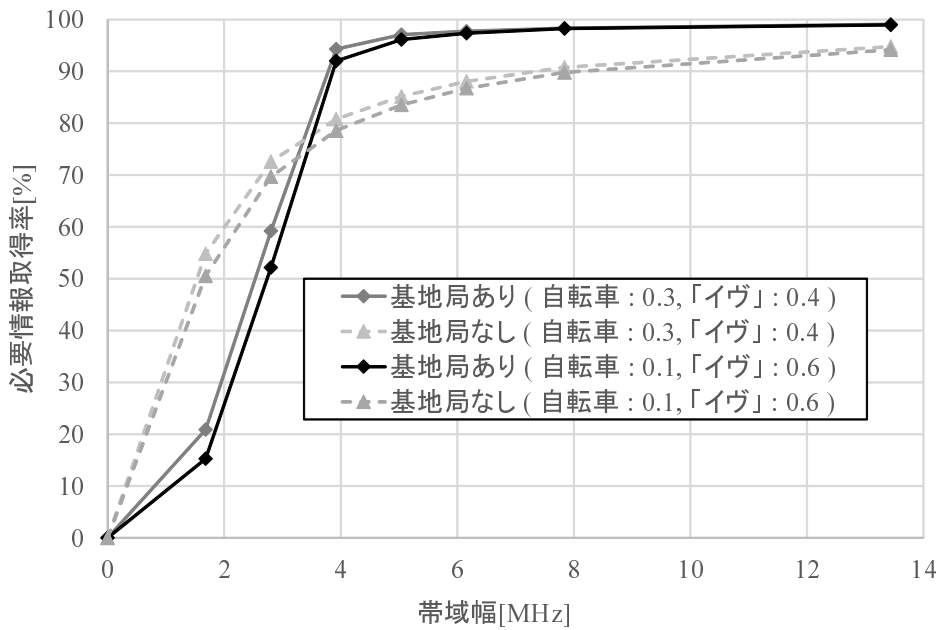


図 5.2: 低速車両の交通分担率を変えた場合の基地局の有無に対する必要情報取得率の比較

## 5.5 本章のまとめ

本章では、第3章で構築した MMTS にマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入し、衝突の可能性が高い車両のみを評価対象とした ITS 情報通信システムの評価基準である必要情報取得率を用いて通信性能の評価を行った。構築した基盤を用い、一例として交差点数3、スローピークルレーンが設置された両側3車線の道路、人の移動需要の発生間隔の平均値 3.5s (主道路：従道路 = 1:2) の交通環境でシミュレーションを行った。今回の環境において、自転車の交通分担率を 0.1 で固定し、必要情報取得率 90% を達成する帯域幅は、「イヴ」の交通分担率 0.6 の場合、「イヴ」の交通分担率 0 の場合と比較して、基地局を設置するとき約 2.5 倍、基地局を設置しないとき約 2.6 倍に増加した。また、前述の交通環境において、自転車と「イヴ」の交通分担率の合計が 0.7 のとき、3.5MHz 付近において基地局設置時と基地局未設置時の必要情報取得率が逆転することを明らかにした。逆転する帯域幅より広い場合、基地局の設置により、狭い帯域幅で必要情報取得率 90% を達成可能であり、逆転する帯域幅より狭い場合、基地局を設置せず車車間通信を行うことで基地局を設置する場合に比べ高い性能を得ることが可能であるが、必要情報取得率は 80% 以下となることを示した。

次章では、本研究全体の結論を述べる。

## 第6章 結論

本研究では、レーン分離された3モード交通社会における混合交通流の特性およびVIS環境実現に関する知見を得るための評価基盤の構築を行った。具体的には、以下の三点である。

第一に、想定する交通環境を明確にした上で、実測に基づく低速車両のモデル化を行った。低速車両としての「イヴ」は走行特性の観測実験、低速車両としての自転車は交差点での観測にそれぞれ基づきモデルを構築した。さらに低速車両の導入に伴う乗用車のモデルの拡張を行い、スロービークルレーンおよび低速車両のモデルを含むレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築を行った。

第二に、構築した MMTS を用いて混合交通流の特性評価を行った。構築した基盤を用い、想定した状況のシミュレーションを行った結果、平均アイドリング時間が最小となる点が存在することを明らかにした。また、混雑時において低速車両へのモーダルシフトをある程度進めることで混雑を緩和できる可能性があることを示した。

第三に、MMTS にマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入し、衝突の可能性が高い車両のみを評価対象とした ITS 情報通信システムの評価基準である、必要情報取得率を用いて通信性能の評価を行った。構築した基盤を用い、一例として交差点数3、スロービークルレーンが設置された両側3車線の道路、人の移動需要の発生間隔の平均値3.5s (主道路：従道路 = 1 : 2) の交通環境でシミュレーションを行った。今回の環境において、自転車の交通分担率を0.1で固定し、必要情報取得率90%を達成する帯域幅は、「イヴ」の交通分担率0.6の場合、「イヴ」の交通分担率0の場合と比較して、基地局を設置するとき約2.5倍、基地局を設置しないとき約2.6倍に増加した。また、前述の交通環境において、自転車と「イヴ」の交通分担率の合計が0.7のとき、3.5MHz付近において基地局設置時と基地局未設置時の必要情報取得率が逆転することを明らかにした。逆転する帯域幅より広い場合、基地局の設置により、狭い帯域幅で必要情報取得率90%を達成可能であり、逆転する帯域幅より狭い場合、基地局を設置せず車車間通信を行うことで基地局を設置する場合に比べ高い性能を得ることが可能であるが、必要情報取得率は80%以下となることを示した。

以上のことから、レーン分離された3モード交通社会における混合交通流の特性および通信性能を定量的に評価可能な基盤を構築し、想定する状況のシミュレーションを行った結果を示した。

今後の課題として、歩行者を含めた評価、様々な道路環境での評価、電波環境を含めた場合の評価が挙げられる。

## 謝辞

本研究にあたり，終始御指導，御鞭撻を賜りました長谷川孝明教授に深謝致します。また有益な御助言をいただいた間邊哲也助教，本研究室大学院生，学部生並びにOBの方々に深謝致します。

最後に家族や友人達をはじめ，生活面や精神面など，温かく支えてくれた全ての人達に深謝致します。

## 参考文献

- [1] K. Martens. “Promoting bike-and-ride: The Dutch experience”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 41, No. 4, pp. 326–338, May 2007.
- [2] K. J. Krizek and E. W. Stonebraker. “Bicycling and Transit -A Marriage Unrealized-”. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2, No. 2144, pp. 161–167, 2010.
- [3] K. J. Krizek and R. W. Roland. “What is at the end of the road? Understanding discontinuities of on-street bicycle lanes in urban settings”. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 10, No. 1, pp. 55–68, January 2005.
- [4] 小林成基. “安全社会の自転車交通とスローモビリティをめぐる論点”. *IATSS Review*, Vol. 36, No. 3, pp. 35–43, March 2012.
- [5] 山中英生, 肌野一則, 半田佳孝. “利用者の挙動と安全間から見た自転車歩行車道におけるレーン表示の効果”. *土木計画学研究・論文集*, Vol. 19, No. 4, pp. 613–618, Sept. 2002.
- [6] 土井健司, 長谷川孝明, 小林成基, 杉山郁夫, 溝端光雄. “超高齢化を迎える都市に要求される移動の質に関する研究”. *IATSS Review*, Vol. 35, No. 3, pp. 38–49, February 2011.
- [7] 土井健司, 紀伊雅敦, 佐々木昭恵. “高齢者の外出とまちなかの回遊性を促進するためのスローモビリティとコモビリティに関する研究”. *IATSS Review*, Vol. 36, No. 3, pp. 6–15, March 2012.
- [8] 長谷川孝明. “システム創成論とその応用としての超小型電気自動車「イヴ」”. *IATSS Review*, Vol. 36, No. 3, pp. 16–26, March 2012.
- [9] 国土交通省都市局・自動車局. “超小型モビリティ導入に向けたガイドライン～新しいモビリティの開発・活用を通じた新たな社会生活の実現に向けて～”. <http://www.mlit.go.jp/common/000212867.pdf>, 2012. Available: June, 2012.
- [10] T. Hasegawa, K. Mizui, and K. Seki. “A concept reference model for ITS communication systems - View from vehicle information sharing”. In *Proc. 13th World Congress on Intelligent Transportation Systems*, 2006.
- [11] K. Tokuda, M. Akiyama, and H. Fujii. “DOLPHIN for inter-vehicle communications system”. In *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000*, pp. 504–509, MI, Oct 2000.
- [12] 牧戸知史, 鈴木徳祥, 原田知育, 村松潤哉. “リアルタイム車車間通信のための自律分散型 TDMA プロトコル”. *情報処理学会論文誌*, Vol. 48, No. 7, pp. 2257–2266, July 2007.



- [13] 宮本進生, 四方博之, シャグダルオユーンチメグ, 大山卓, ヌリシラジマハダド, 三浦龍, 小花貞夫. “CDMA vs TDMA : 安全運転支援のための車車間通信システム特性評価”. 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. 93, No. 7, pp. 474–484, July 2010.
- [14] 福井良太郎, 柿田法之, 屋代智之, 重野寛, 松下温. “道路照明を用いた連続無線ゾーン構成法による路車間通信システムの実用性の評価”. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, pp. 3931–3938, Dec. 2002.
- [15] 朝倉啓充, 成田干城, 中村めぐみ, 屋代智之, 重野寛, 岡田謙一. “連続型路車間通信システムにおける動的ゾーン制御アルゴリズム”. 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. 8, pp. 2151–2161, Aug. 2005.
- [16] 屋代智之, 松下温. “路車間・車車間統合通信 MAC プロトコル : I-WarpII”. 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 7, pp. 1781–1789, July 2001.
- [17] 塚本晃司, 藤井雅弘, 伊丹誠, 伊藤紘二. “車車間・路車間統合システムを用いた単一方向巡回ネットワークの提案と評価”. 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. 87, No. 9, pp. 1236–1244, Sept. 2004.
- [18] 倉本圭太, 長谷川孝明. “交差点付近の車両の安全を目的としたリアルタイム ITS 情報通信システム”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2006-7, May 2006.
- [19] 横山達也, 倉本圭太, 長谷川孝明, 麻生敏正, 石其俊明. “マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式”. 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. 95, No. 8, pp. 683–693, Aug. 2012.
- [20] 堀口良太, 片倉正彦, 桑原雅夫. “都市街路網の交通流シミュレータ AVENUE の開発”. 交通工学研究発表会論文集, 1993.
- [21] 麻生敏正, 長谷川孝明. “拡張したシミュレータによる高度デマンド信号制御方式の性能評価”. 電子情報通信学会論文誌 A, Vol. J91-A, No. 1, pp. 33–43, Jan. 2008.
- [22] 蝶野大地, 長谷川孝明. “レーン分離混合交通流シミュレータ MMTS の構築とそれを用いた混合交通の特性評価”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2014-54, pp. 161–166, Feb. 2015.
- [23] J. Rosales. “Road Diet Handbook - Overview”. [http://www.fresno.gov/NR/rdonlyres/33F62F6C-8A82-4704-8EBF-4F6707B2104C/16280/RoadDietsD4\\_201\\_Rosales\\_paper.pdf](http://www.fresno.gov/NR/rdonlyres/33F62F6C-8A82-4704-8EBF-4F6707B2104C/16280/RoadDietsD4_201_Rosales_paper.pdf).
- [24] (有) タケオカ自動車工芸. “超小型電気自動車「ルーキー」”. <http://www.takeokam.co.jp/rookie.html>.
- [25] 小塚一人, 鈴木弘司, 藤田素弘. “信号制御と交差点構造が横断者のリスク行動に与える影響に関する実証的分析”. 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), No. 30. 公益社団法人 土木学会, 2004.
- [26] T. Aso and T. Hasegawa. “Advanced Demand Signals -II Scheme”. In *Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2007*, pp. 1025–1032, June 2007.
- [27] 阿部宏史, 崎大樹, 岩元浩二, 富田修一. “岡山市内国道 53 号線における自転車道整備効果の検証”. 土木計画学研究・講演集 (CD-ROM), 第 37 巻. 公益社団法人 土木学会, 2008.

- [28] 新谷栄朗, 大枝良直, 角知憲. “自転車・歩行者混合交通のモデルに用いる自転車の加速度測定に関する研究”. 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, 第 54 巻, pp. 559–560. 公益社団法人 土木学会, 2008.
- [29] 自動車安全運転センター (調査研究部). “「高齢者の交通モード別の安全行動等に関する調査研究」”, April 2005.
- [30] “日本工業規格一般用自転車”. [http://www.city.imabari.ehime.jp/tosisei/sougou/k4/090220\\_0103.pdf](http://www.city.imabari.ehime.jp/tosisei/sougou/k4/090220_0103.pdf).
- [31] 今治市. “今治市総合都市交通体系調査検討委員会資料議案第 3 号”. <http://kikakurui.com/d9/D9301-2013-01.html>.
- [32] 交通工学研究会 (編). 改訂交通信号の手引. 丸善, 2006.
- [33] 蝶野大地, 長谷川孝明. “マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を導入したレーン分離混合交通流シミュレータ MMTS を用いた通信性能評価”. 電子情報通信学会技術研究報告 ITS2014-67, pp. 61–65, March 2015.

## 付録

本研究で用いるドライバーモデルは、文献 [21] でも使用されているモデルを拡張したものである。A～D ではドライバーモデルについて述べ、E で評価領域への車両の進入方法について説明する。なお、従来のものに対して、変更や拡張を行った部分は赤色で示している。

### A 追従のモデル

追従動作は前方車両までの距離と速度、自車両の速度を用いて行う。「前方車両」とは、車体の中心が図 A.1 のオレンジの領域内に含まれる車両の中で最も自車に近い車両のことである。オレンジの領域の幅は、車体の中心から走行中の車線幅と左右それぞれの車線幅の半分を足した値を 0.75 倍したものであり、この領域は車両の動作に合わせて移動する。なお、前方車両には対向車線の車両は含まない。

低速車両および普通車両の追従時の加速度決定のフローチャートを図 A.2～図 A.7 に示す。図 A.2～図 A.4 に関しては今回新たに作成したものである。

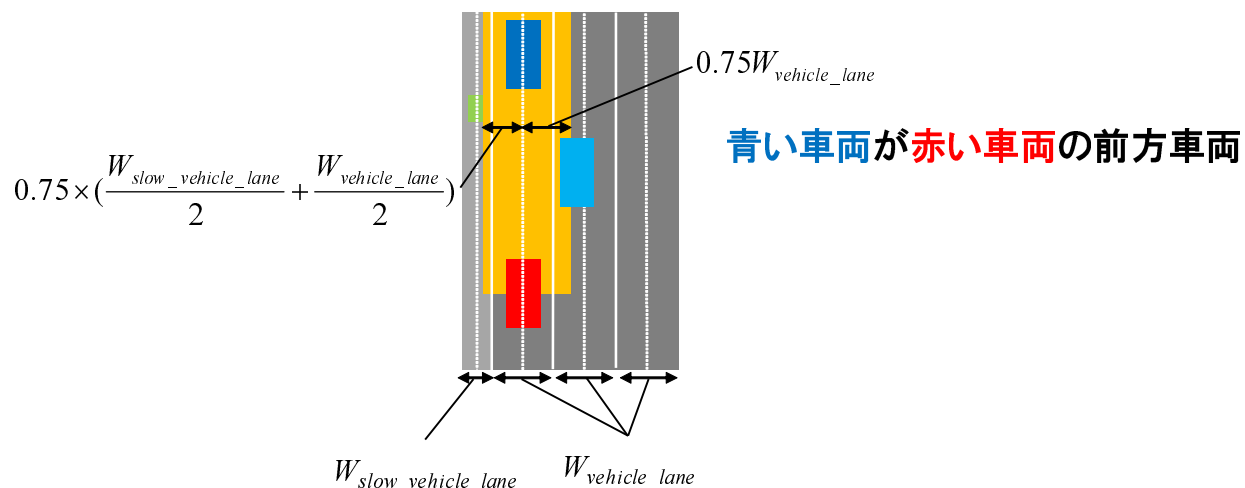


図 A.1: 前方車両の定義

SVの加速度決定  
開始

※SVとは低速車両のことで、自転車およびイヴが該当する  
※G=10m/s<sup>2</sup>

<i>a<sub>accel</sub></i>	<i>a<sub>brake_hard</sub></i>	<i>a<sub>brake_soft</sub></i>
・イヴ	・イヴ	・イヴ
速度7.0[m/s]以下 : 0.1G	-0.16G	-0.1G
速度7.0[m/s]以上 : 0.04G	・自転車	・自転車
・自転車 : 0.178G	-0.278G	-0.278G
速度0.9[m/s]以下 : 0.178G		
速度0.9[m/s]以上 : 0.087G		

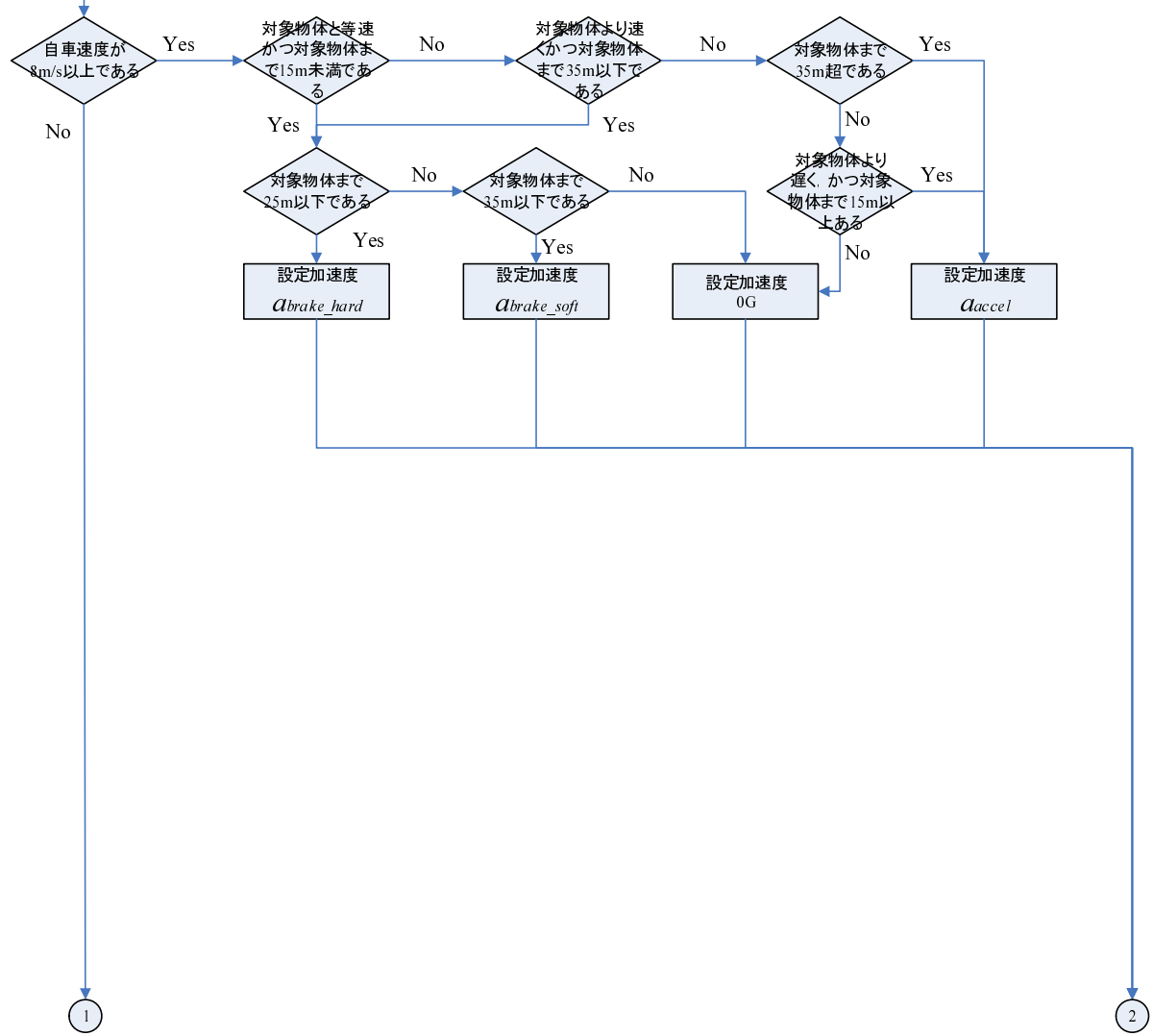


図 A.2: 低速車両の加速度決定 (part1)

※SVとは低速車両のことで、自転車およびイヴが該当する

※ $G=10\text{m/s}^2$

$a_{accel}$

- ・イヴ  
速度7.0[m/s]以下 : 0.1G  
速度7.0[m/s]以上 : 0.04G
- ・自転車 : 0.178G  
速度0.9[m/s]以下 : 0.178G  
速度0.9[m/s]以上 : 0.087G

$a_{brake\_hard}$

- ・イヴ  
-0.16G
- ・自転車  
-0.278G

$a_{brake\_soft}$

- ・イヴ  
-0.1G
- ・自転車  
-0.278G

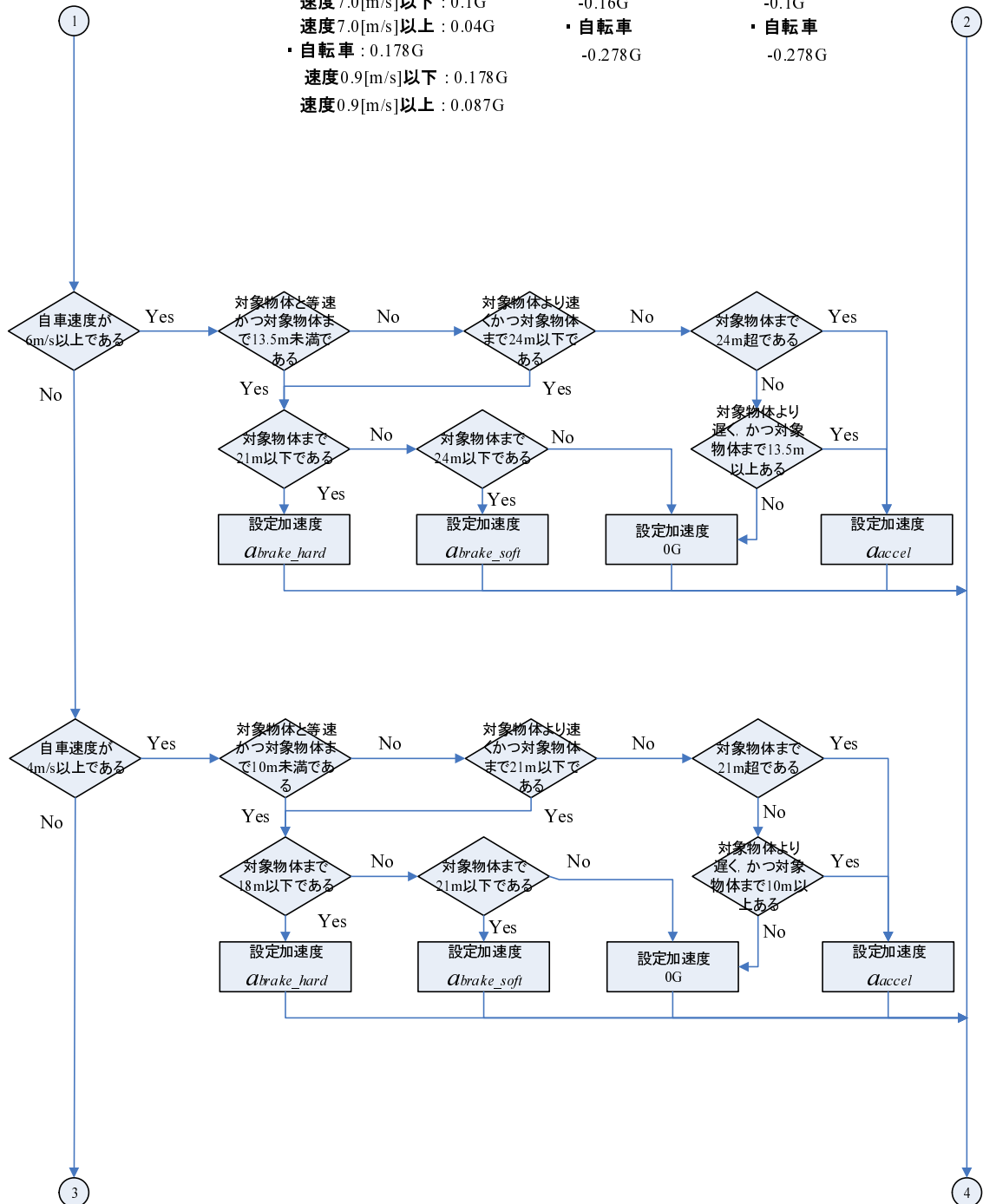


図 A.3: 低速車両の加速度決定 (part2)

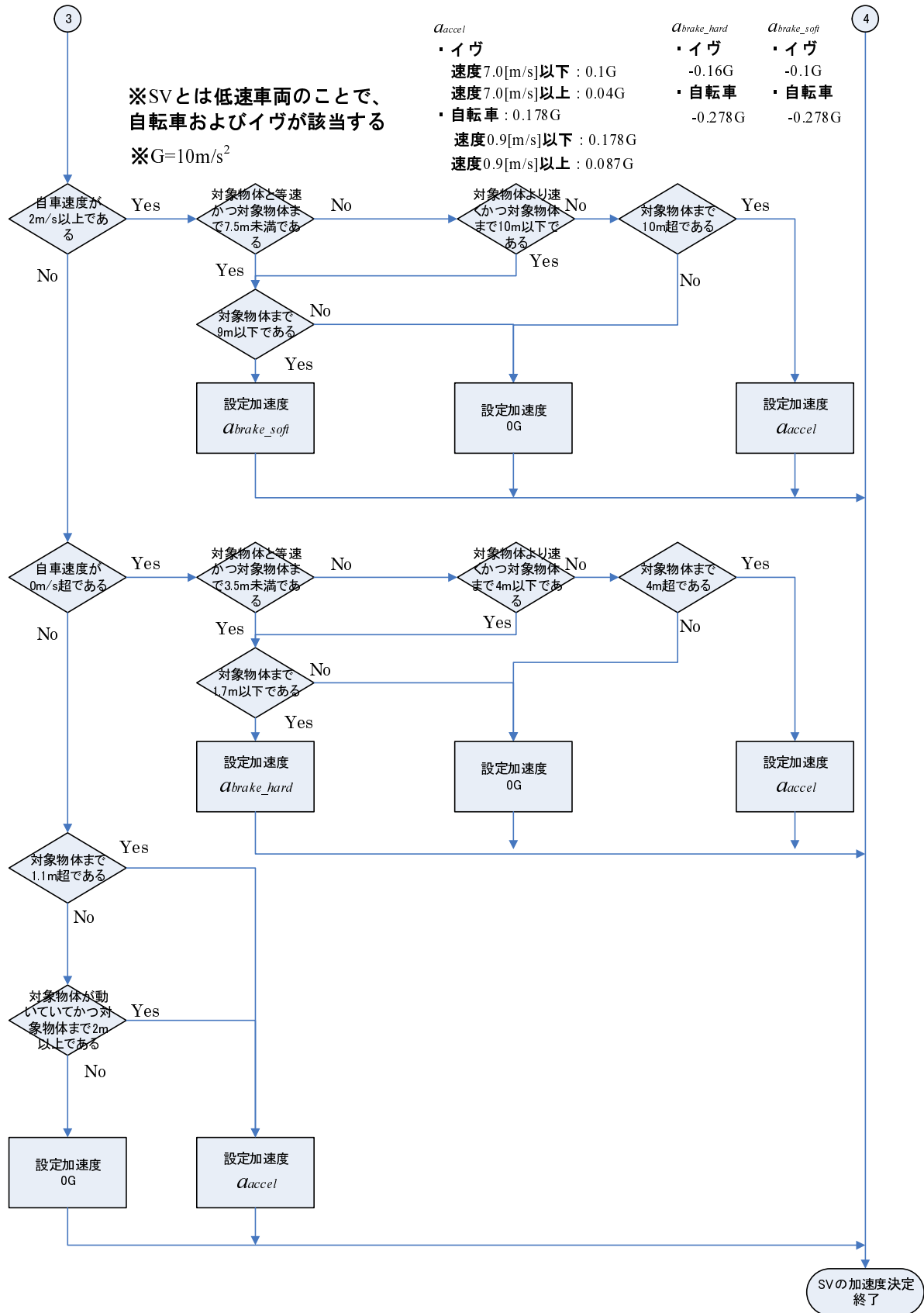


図 A.4: 低速車両の加速度決定 (part3)

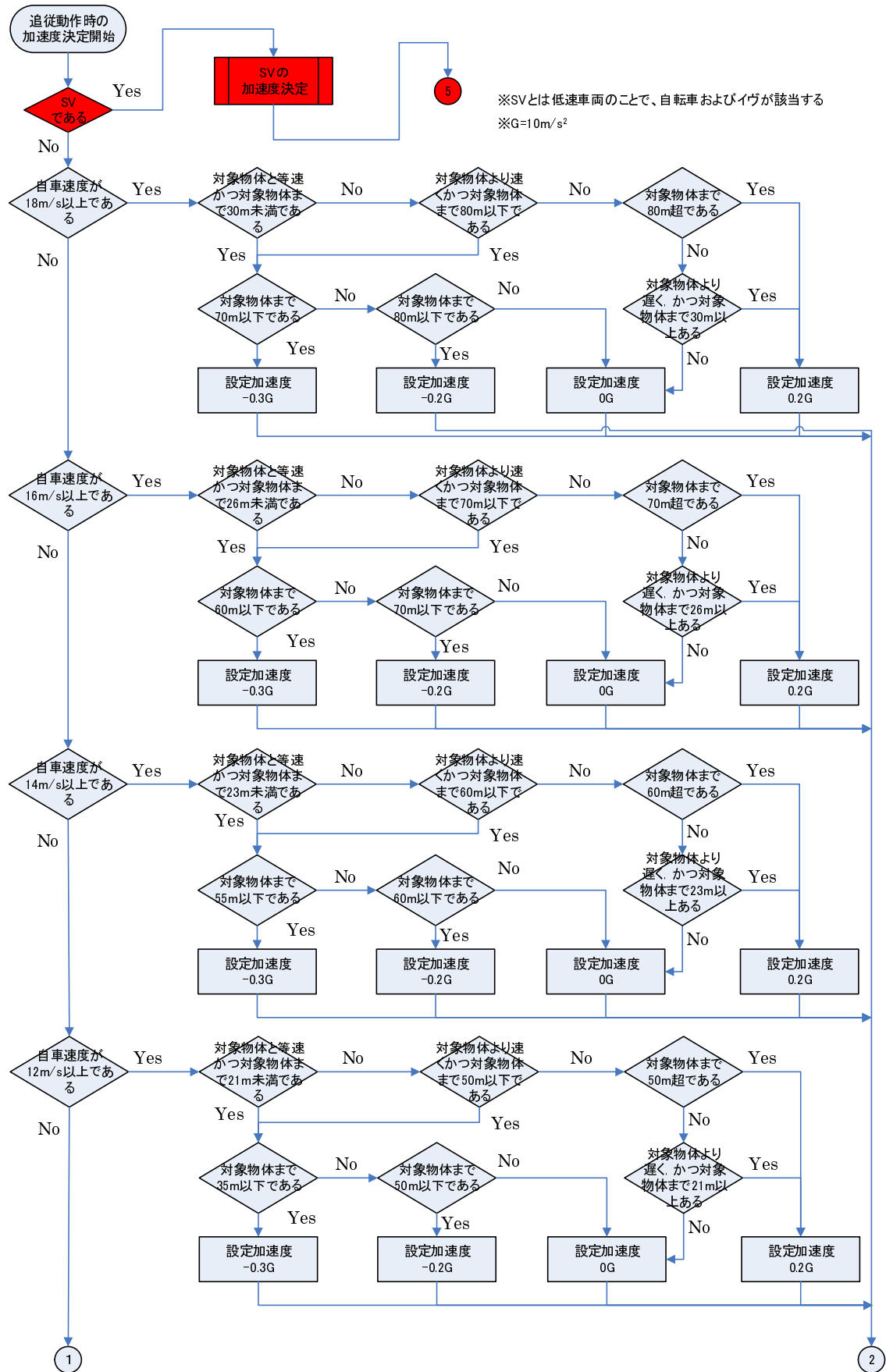


図 A.5: 普通車両の加速度決定 (part1)

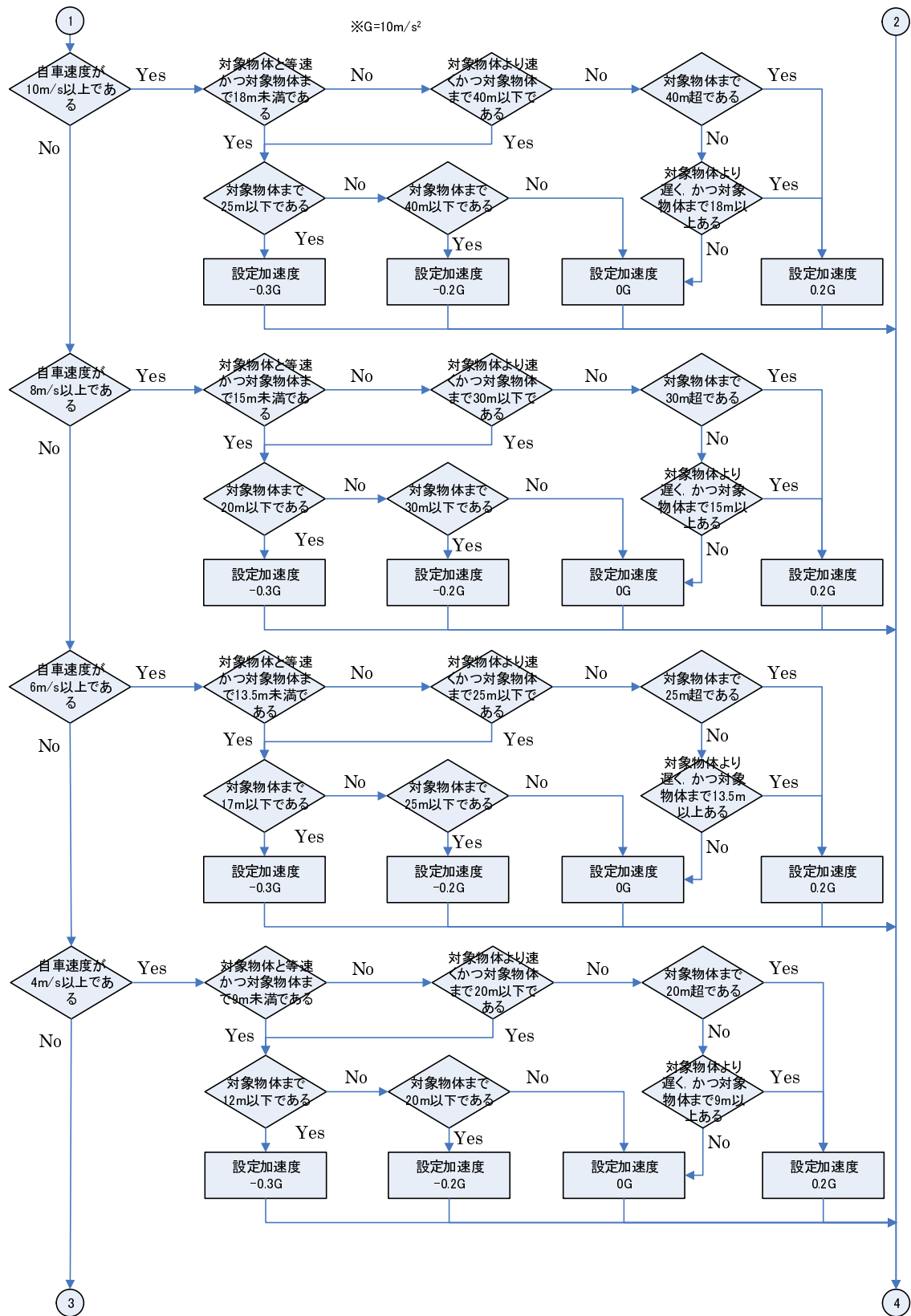


図 A.6: 普通車両の加速度決定 (part2)



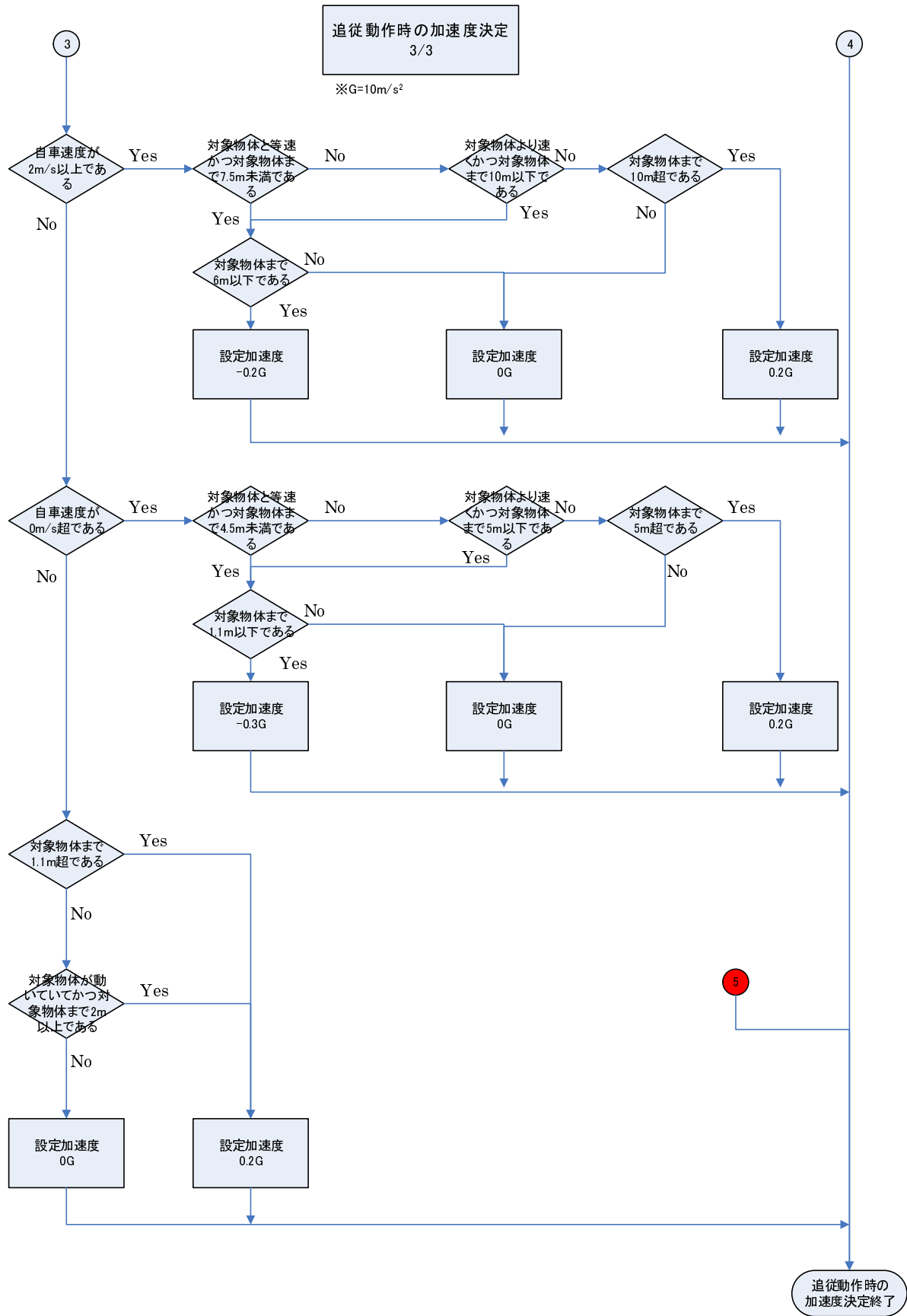


図 A.7: 普通車両の加速度決定 (part3)

## B 右左折のモデル

右左折時の歩行者状態の自転車に対する判断は文献 [26] でも使用されているものと同様であり、以下に示す。右折車両は、1s 後から 3s 後までの間に図 B.1 の範囲に歩行者状態の自転車がいる場合、右折不可能と判断する。左折車両は、1s 後から 3s 後までの間に図 B.2 (低速車両の場合は図 B.3) の範囲に歩行者状態の自転車がいる場合、左折不可能と判断する。

右左折の判断に関するフローチャートを図 B.4~図 B.14 に示す。図 B.5, および図 B.11~図 B.14 は今回新たに作成したものである。

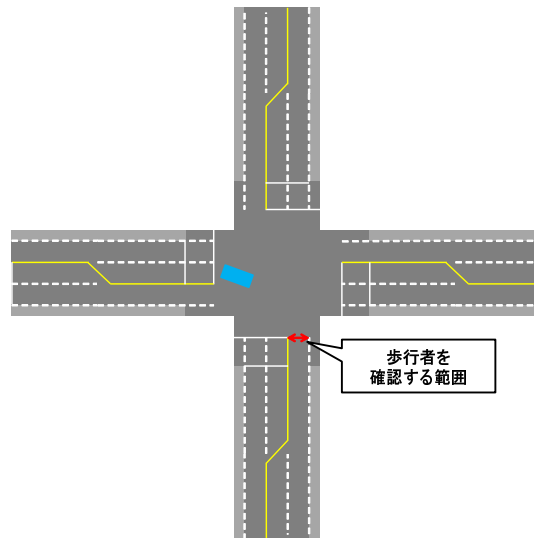


図 B.1: 右折時に歩行者を確認する範囲

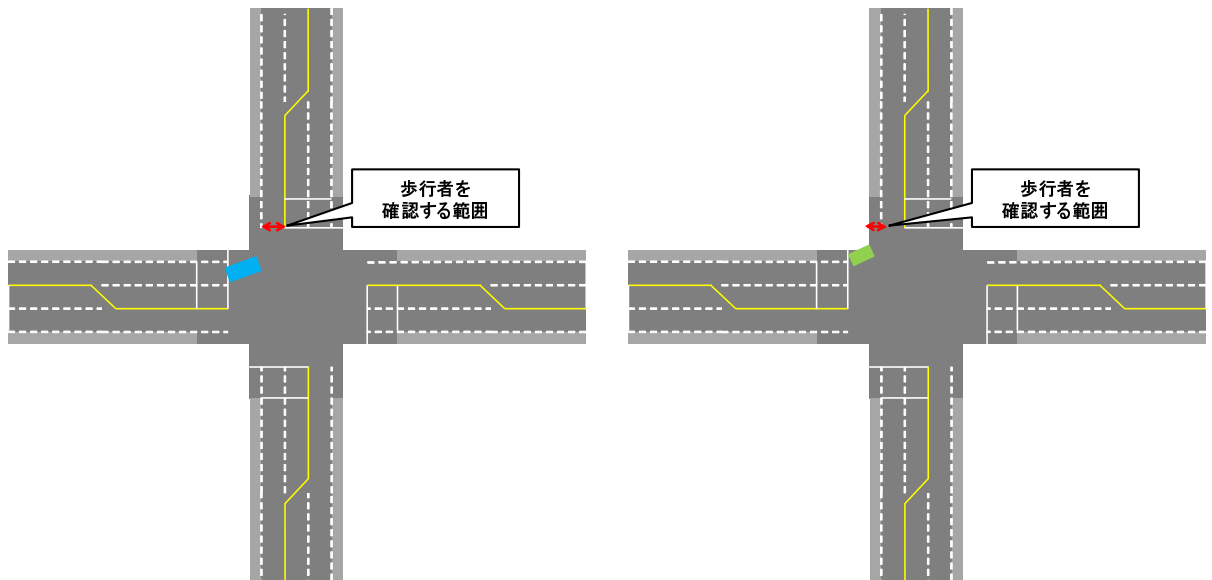


図 B.2: 左折時に歩行者を確認する範囲 (普通車両)

図 B.3: 左折時に歩行者を確認する範囲 (低速車両)

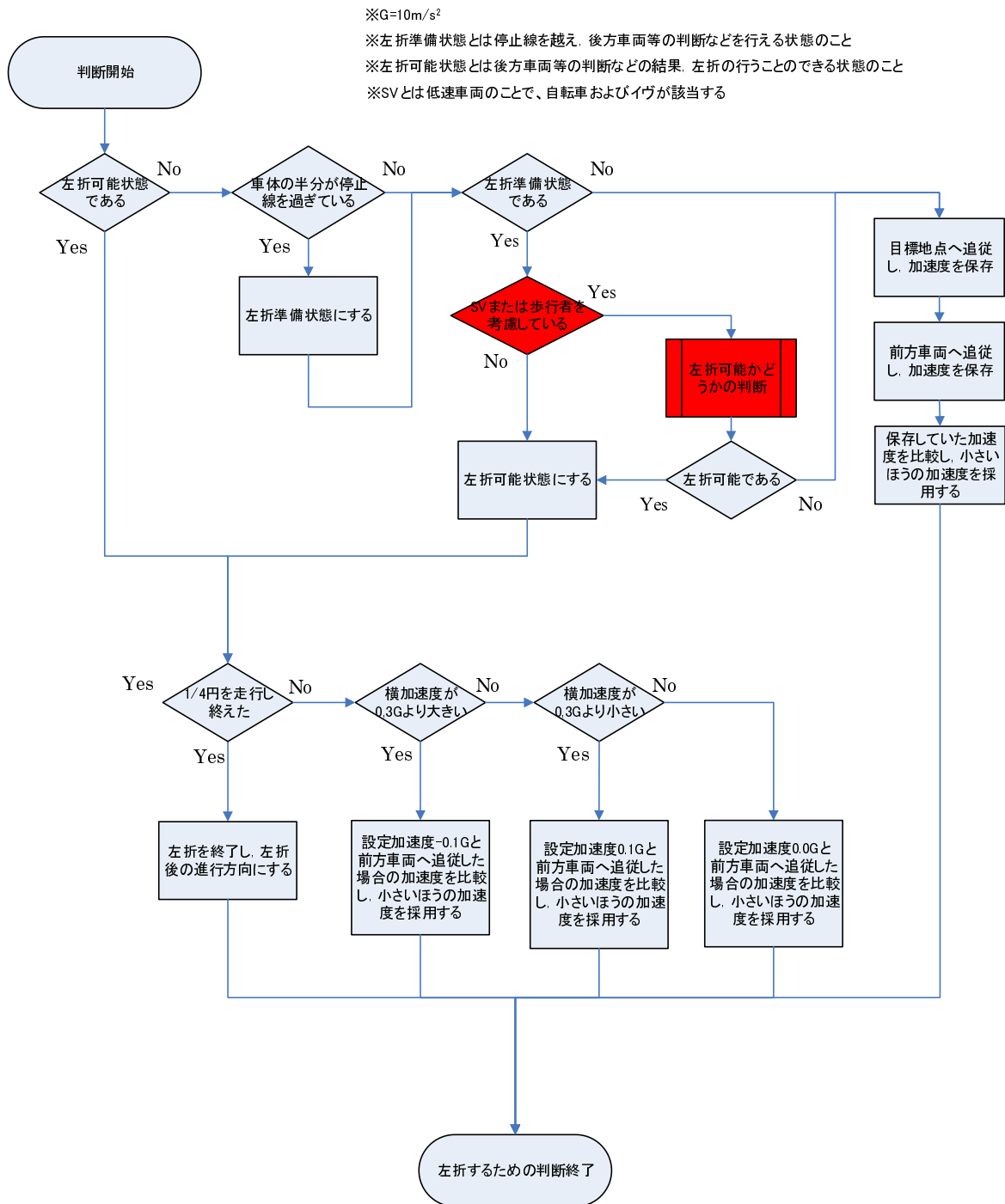


図 B.4: 左折するための判断

※前方設定地点：普通車両の停止線+4.5+Wの地点  
W：道路端から左折後の車線の端までの距離

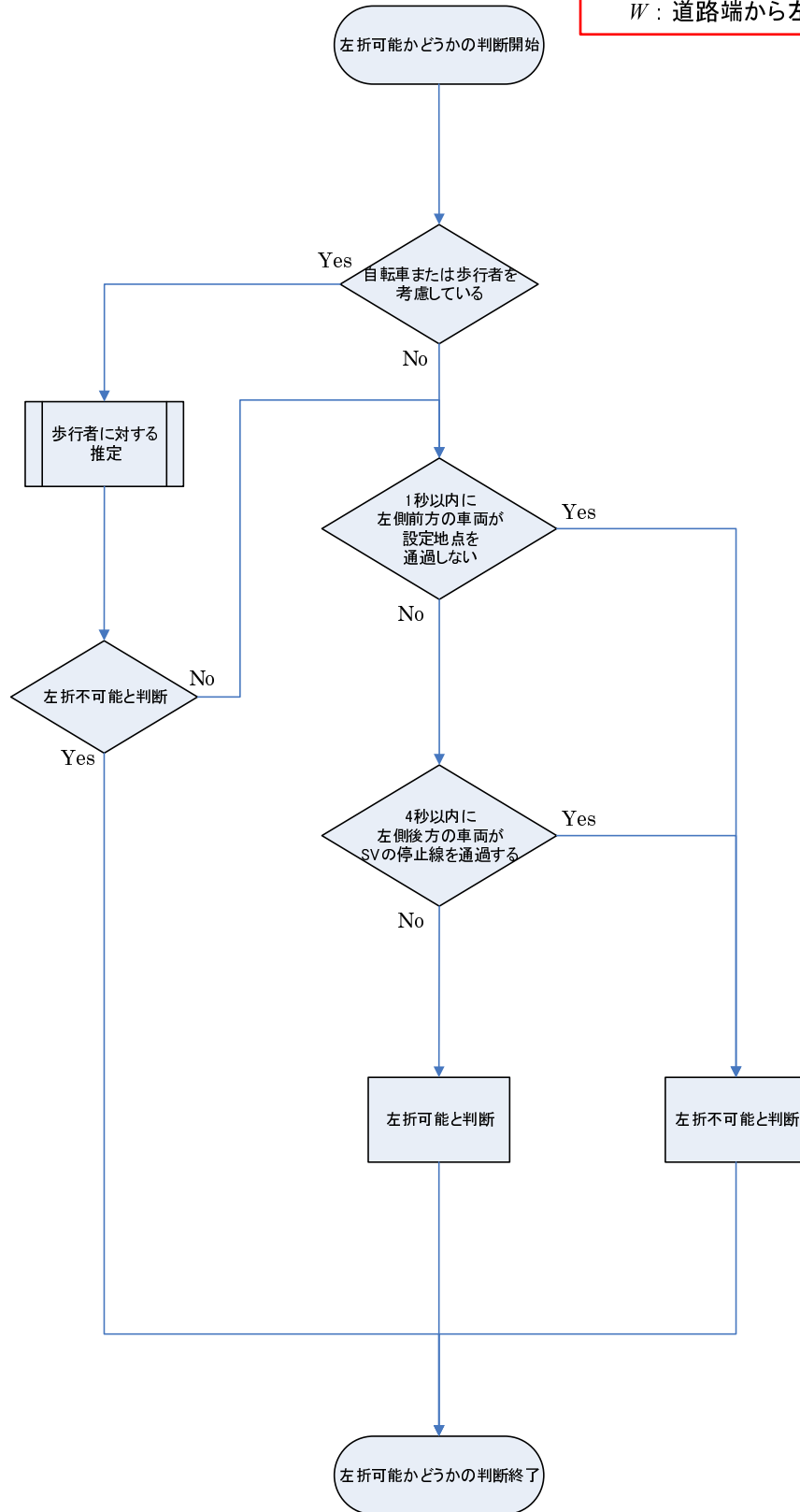


図 B.5: 左折可能かどうかの判断

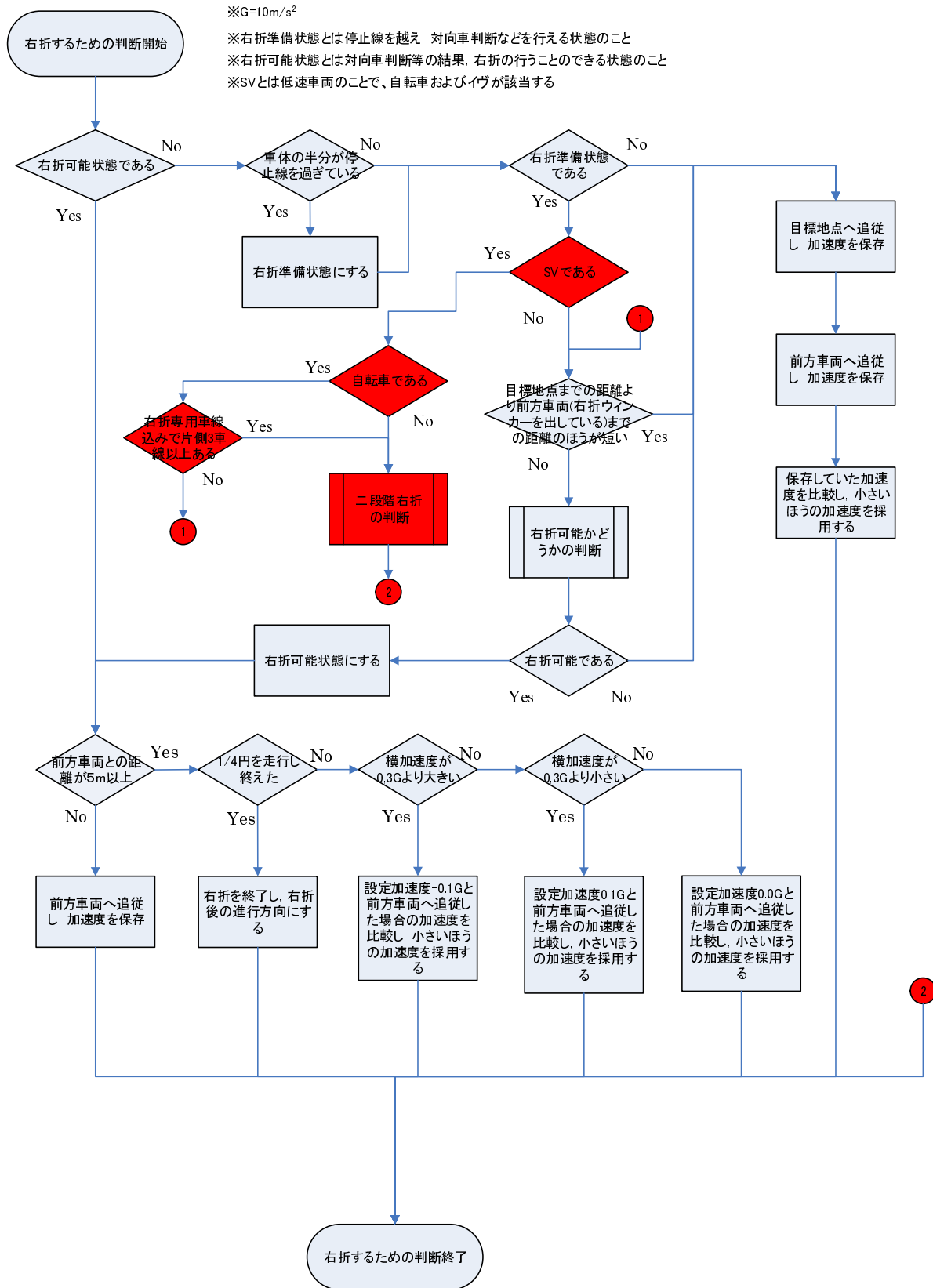


図 B.6: 右折するための判断



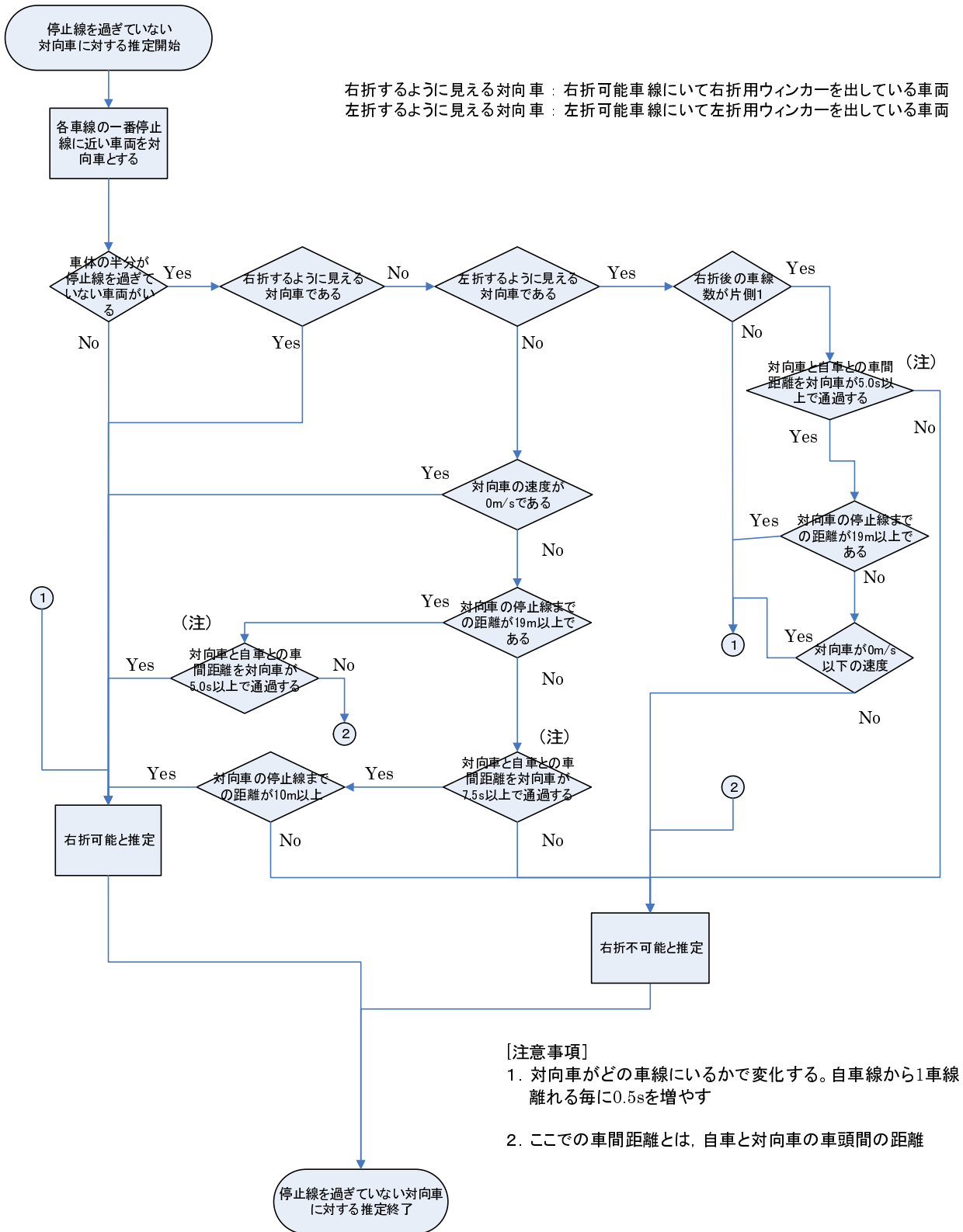


図 B.8: 停止線を過ぎていない対向車に対する推定

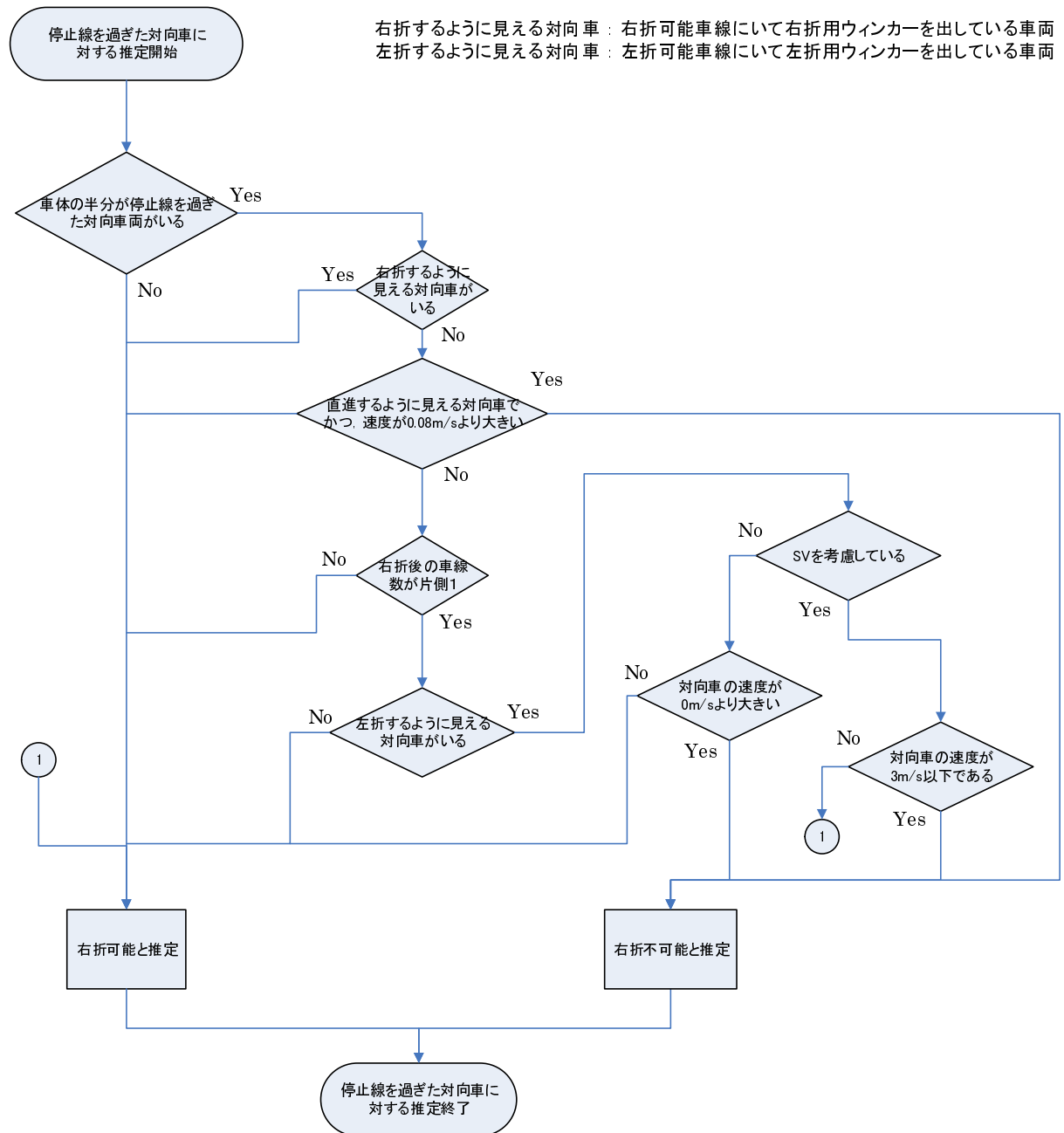


図 B.9: 停止線を過ぎた対向車に対する推定



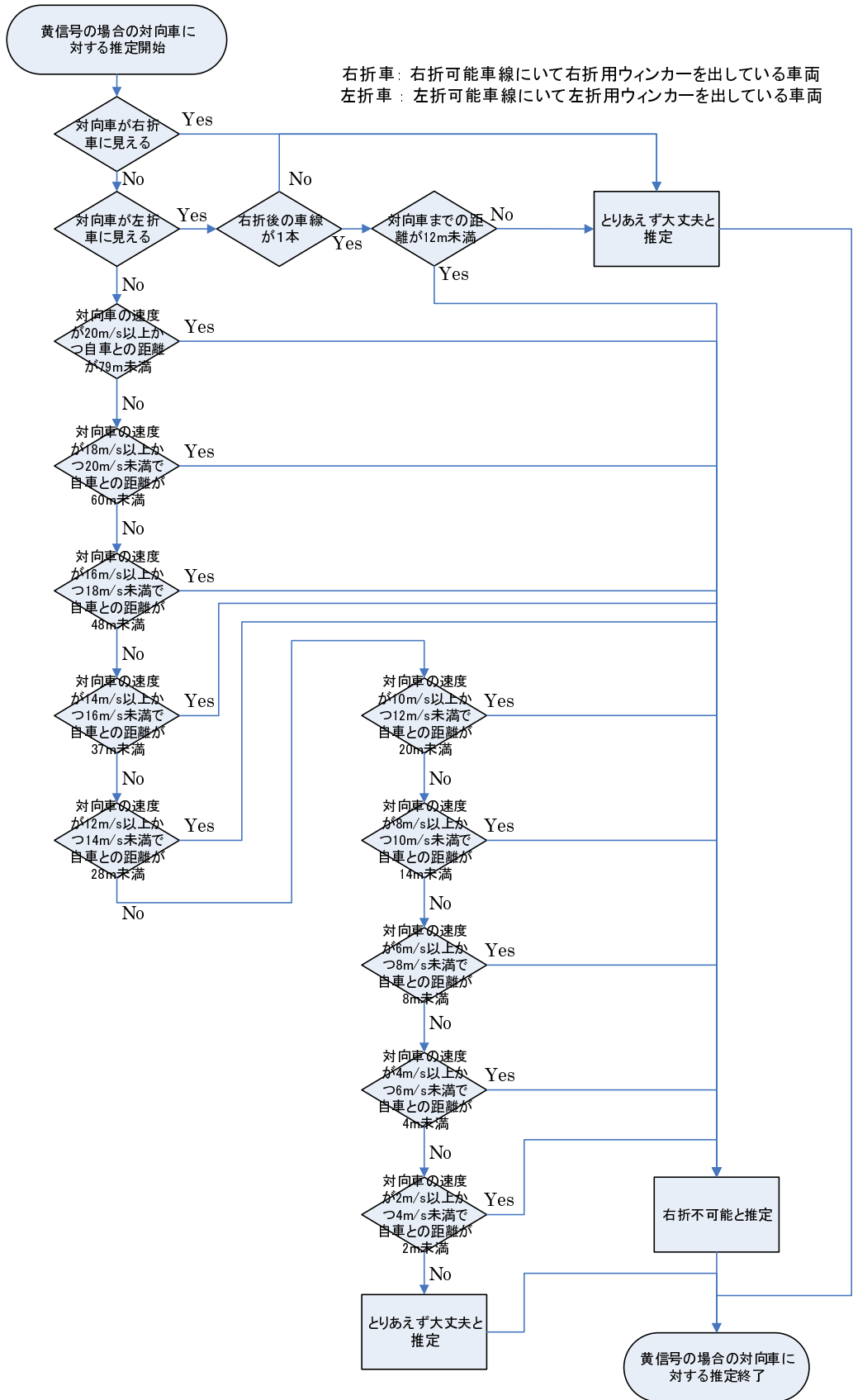


図 B.10: 黄色信号の場合の対向車に対する推定

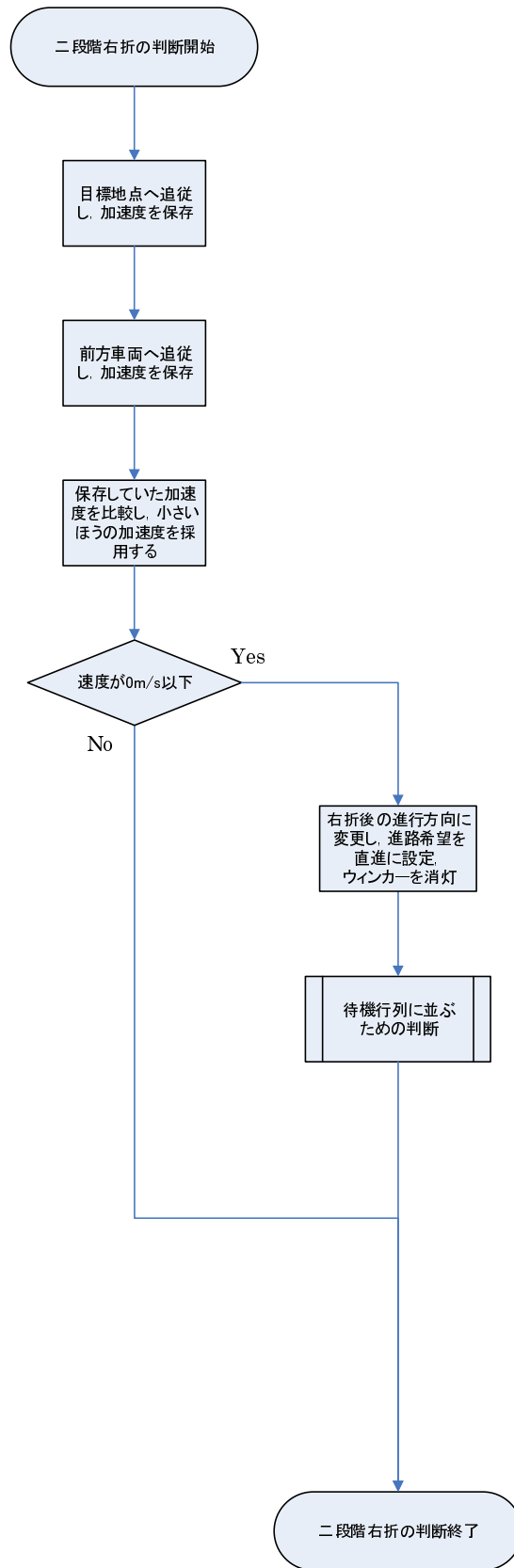


図 B.11: 二段階右折の判断

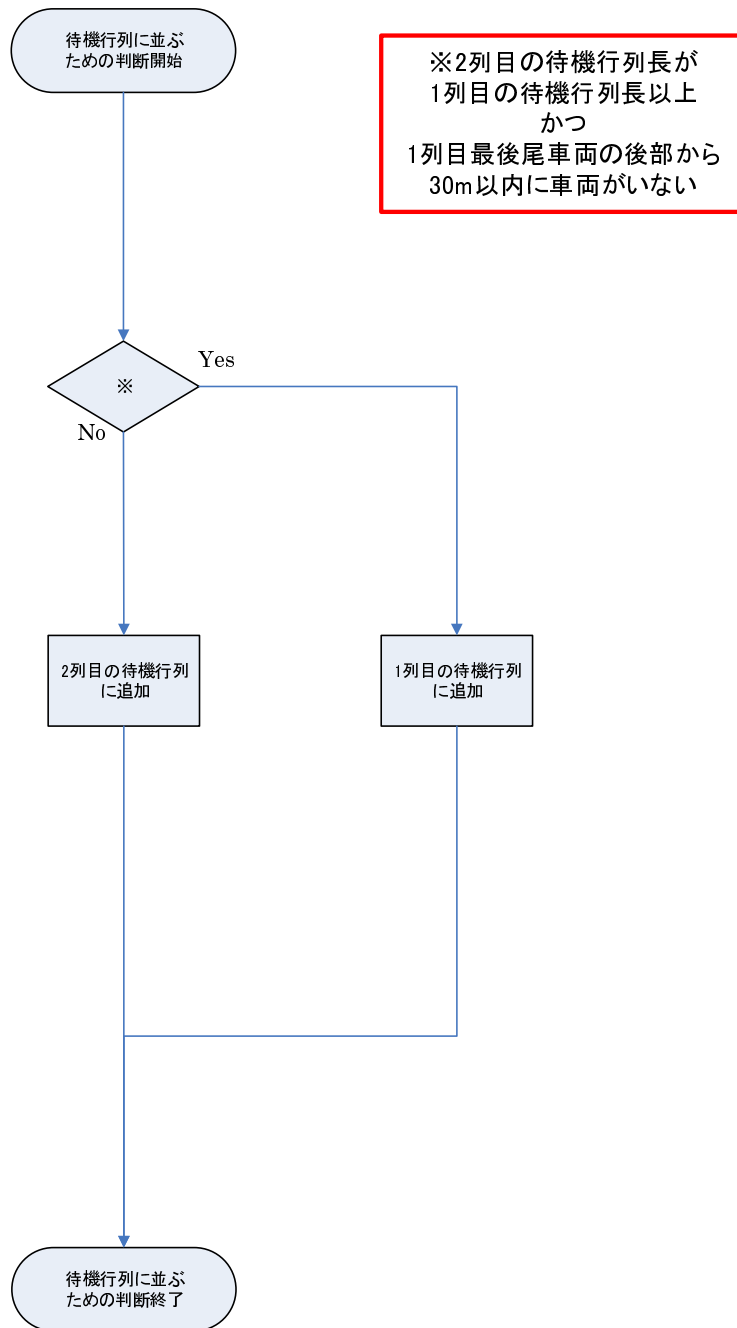


図 B.12: 待機行列に並ぶための判断

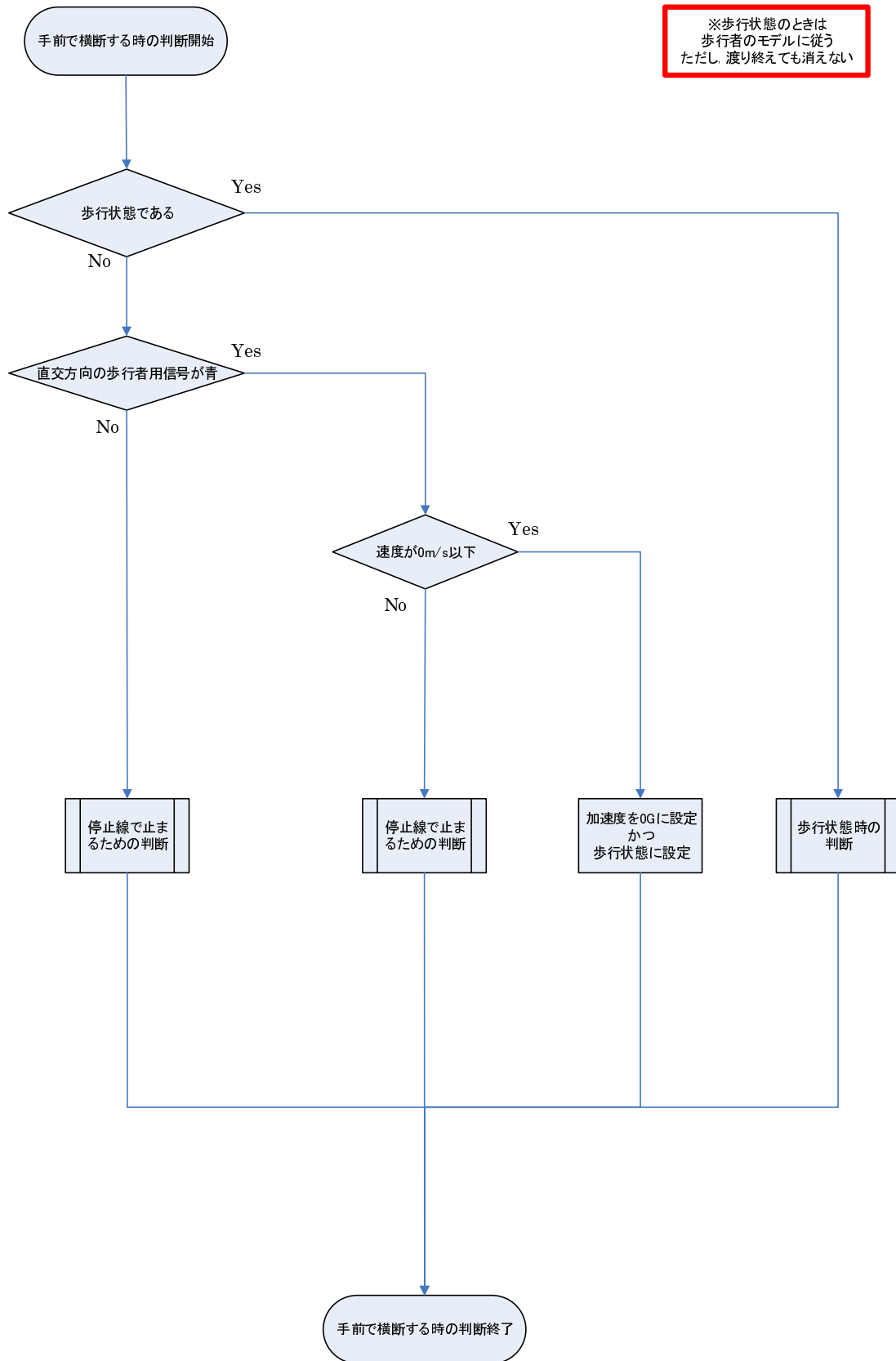


図 B.13: 手前で横断するための判断

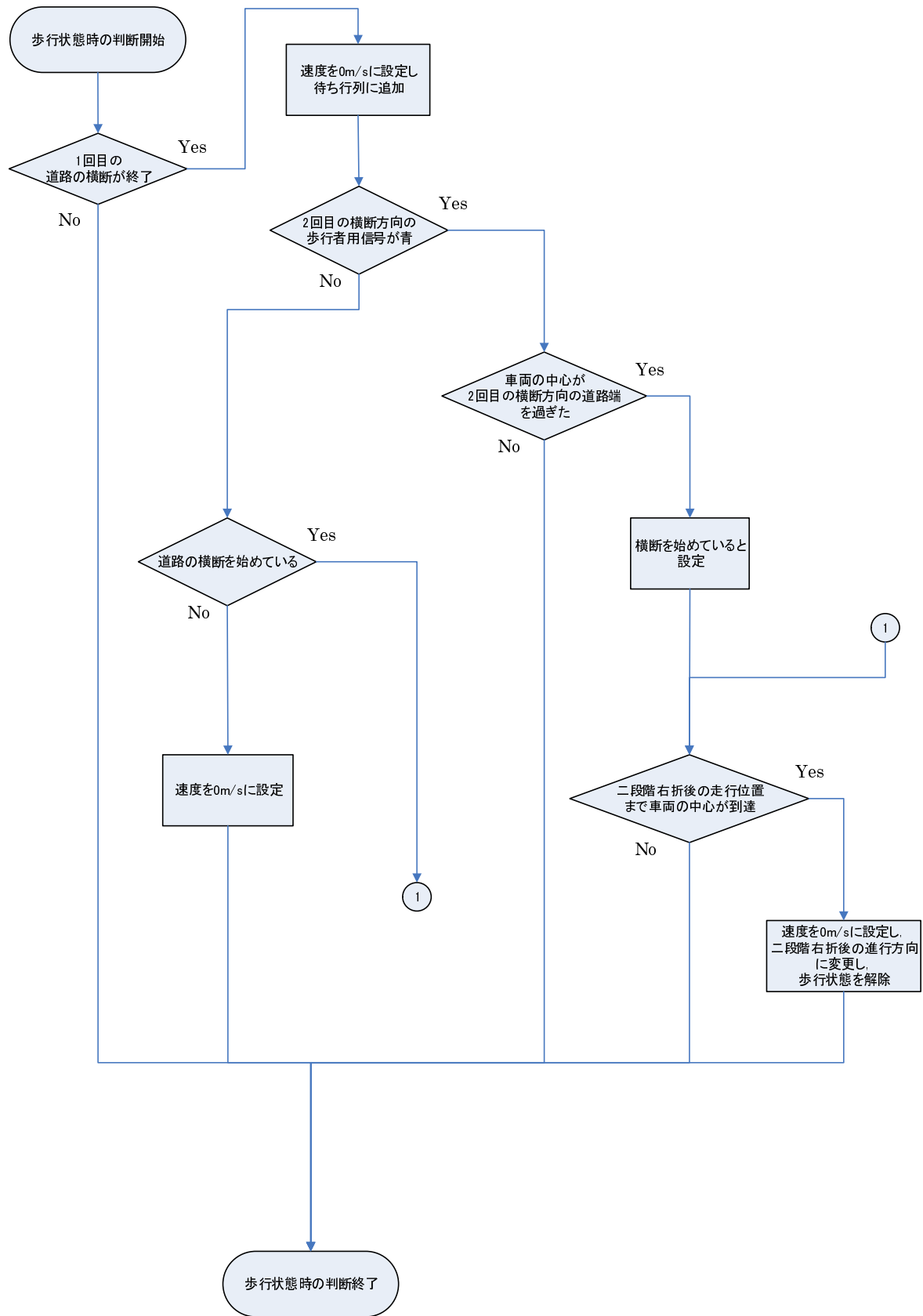


図 B.14: 歩行状態時の判断

## C 信号判断のモデル

信号判断に関するフローチャートを図 C.1～図 C.6 に示す。

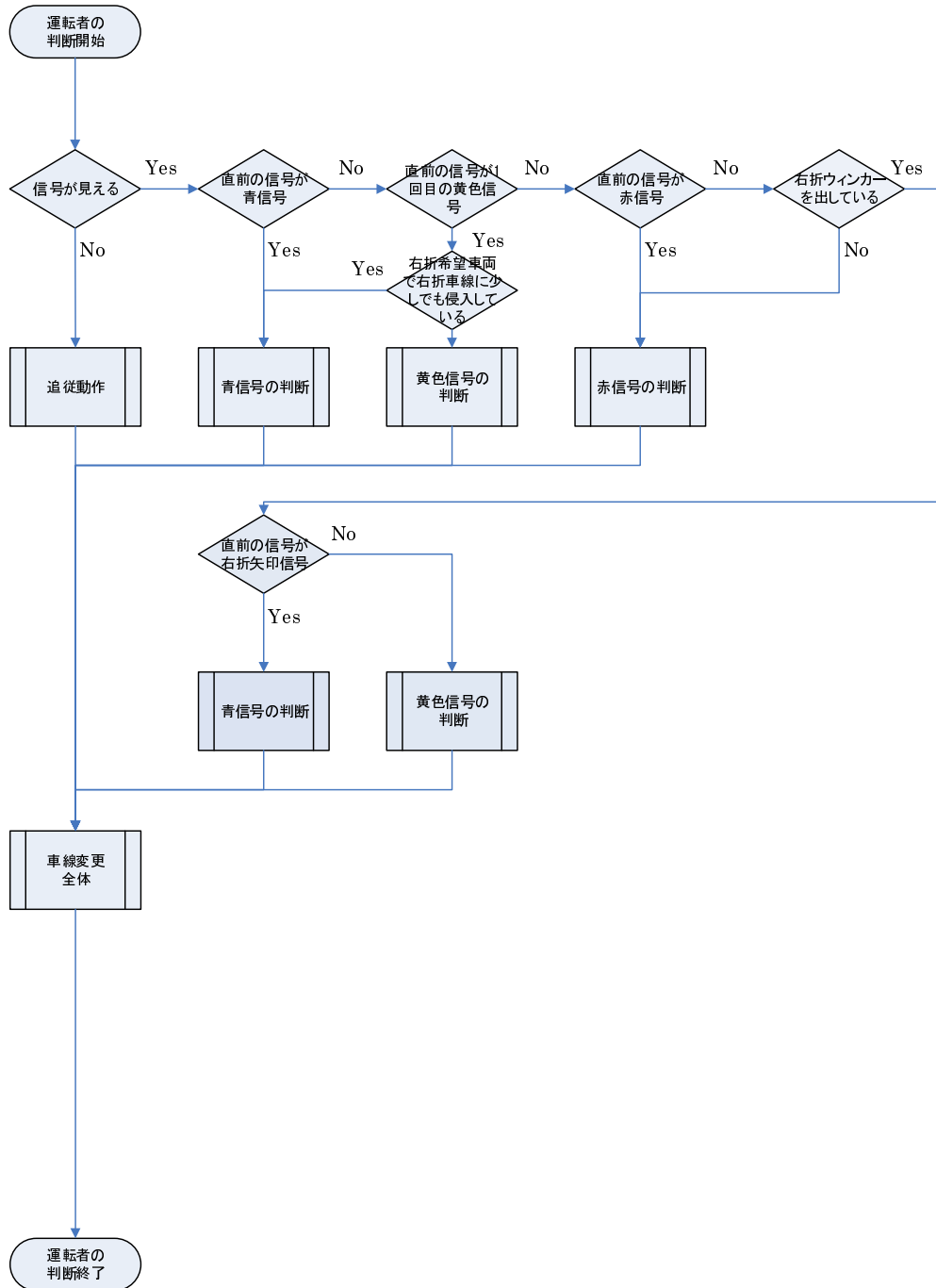


図 C.1: 交差点信号に対する判断

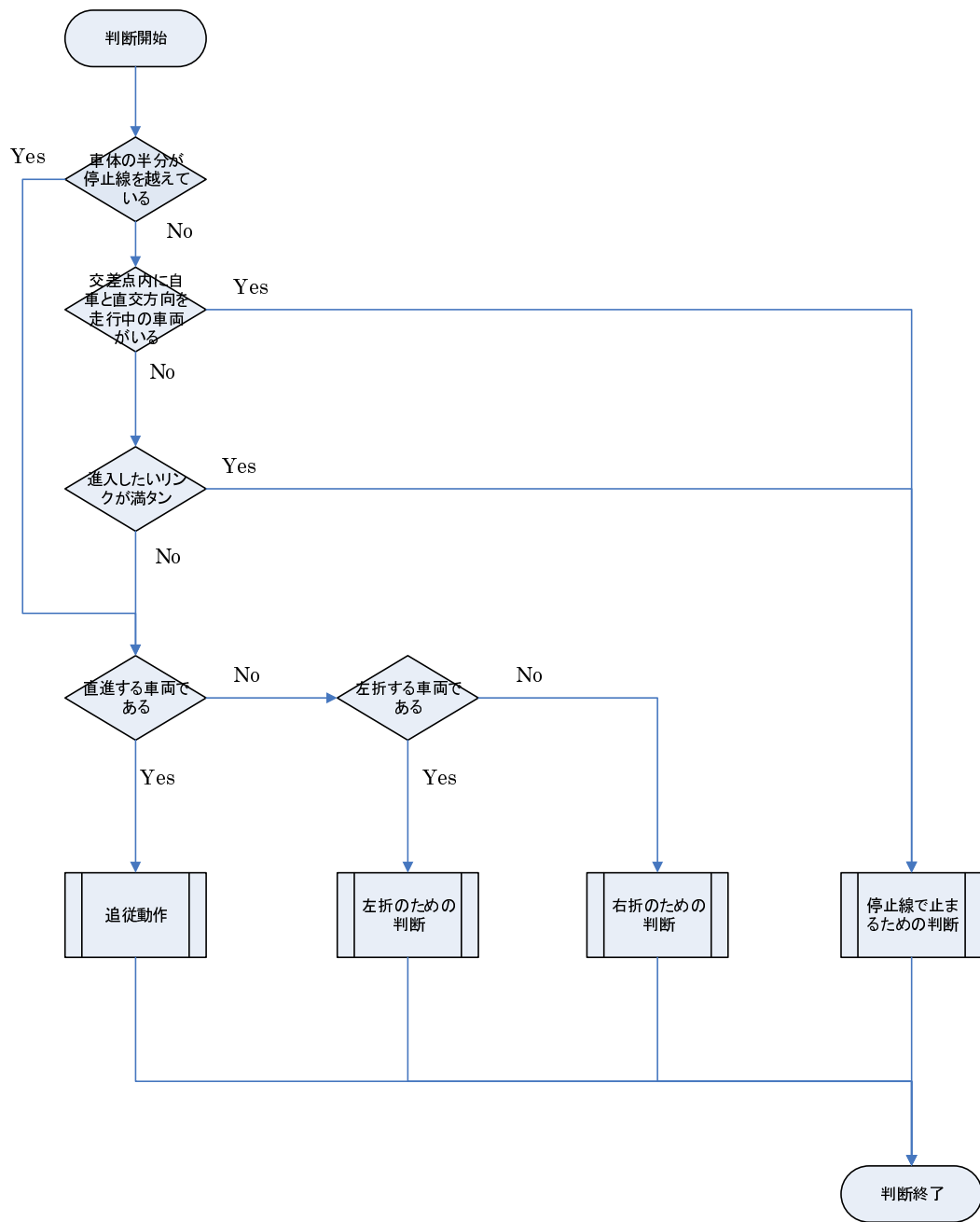


図 C.2: 青信号の判断

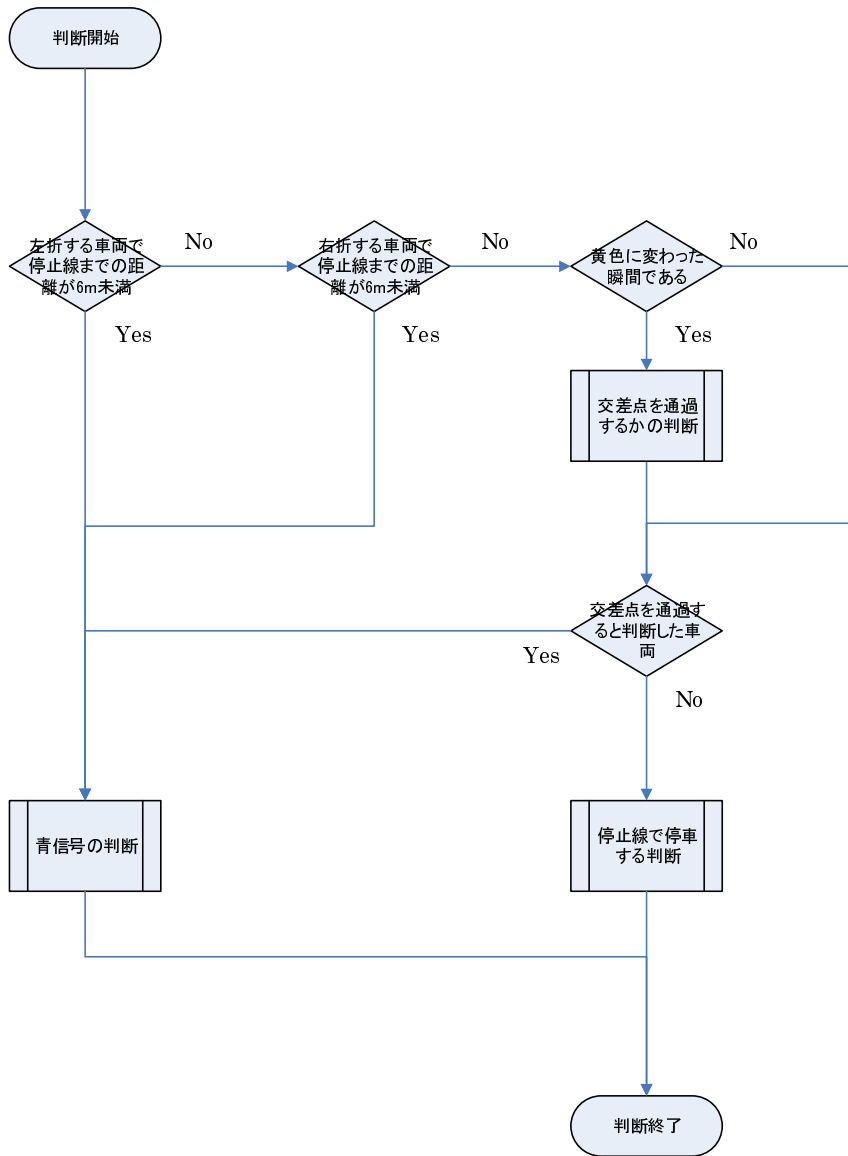


図 C.3: 黄色信号の判断



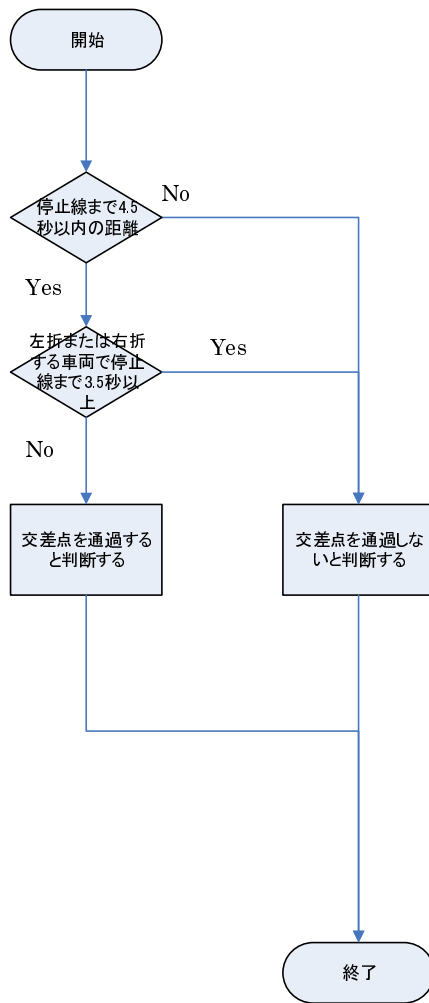


図 C.4: 交差点を通過するかの判断

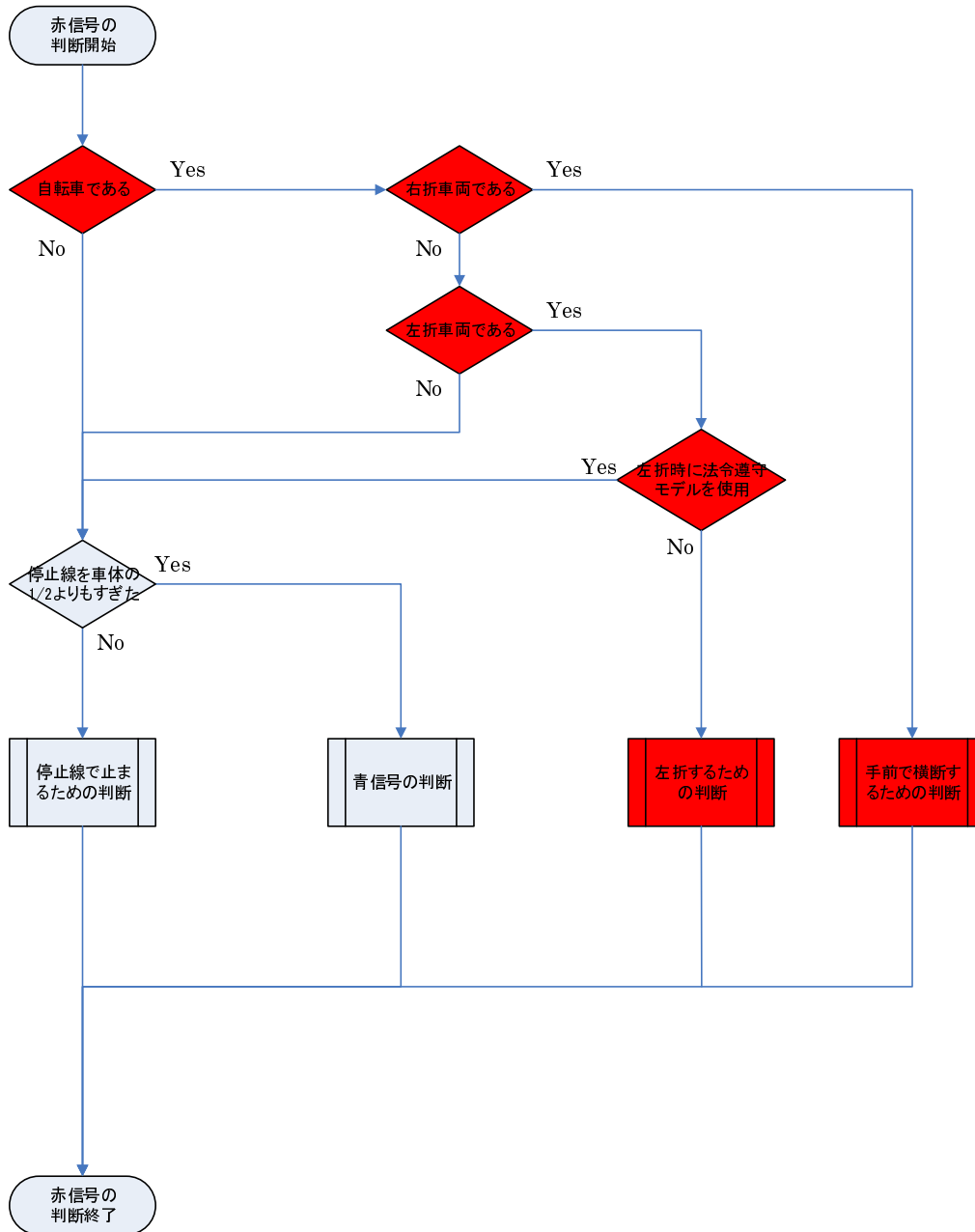


図 C.5: 赤信号の判断

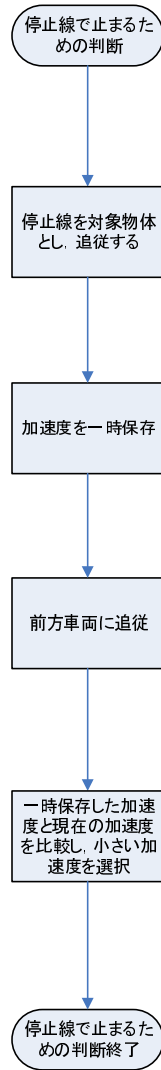


図 C.6: 停止線に止まるための判断

## D 車線変更のモデル

車線変更に関するフローチャートを図 D.1～図 D.6 に示す。

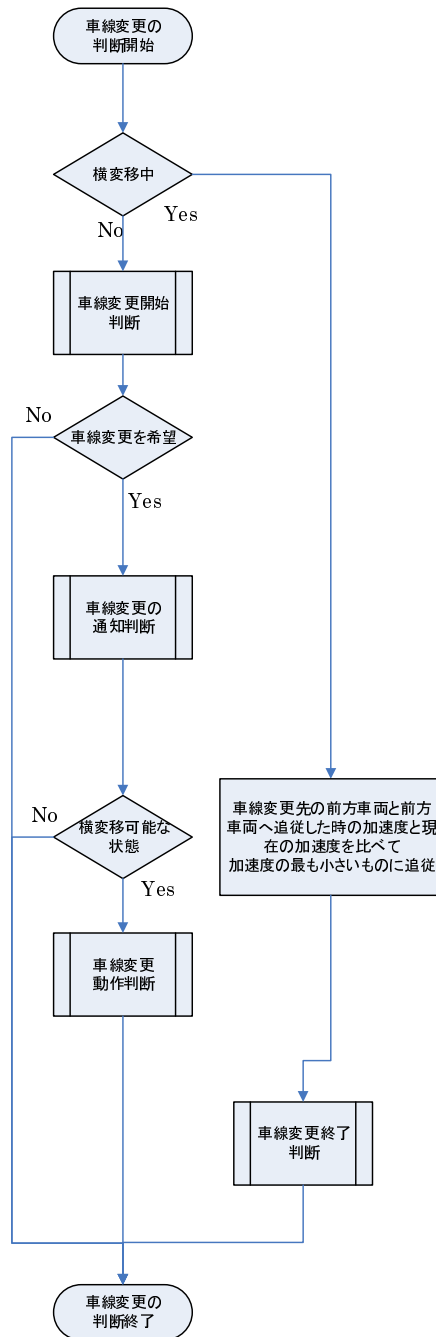


図 D.1: 車線変更の判断

※SVとは低速車両のことで、自転車およびイヴが該当する

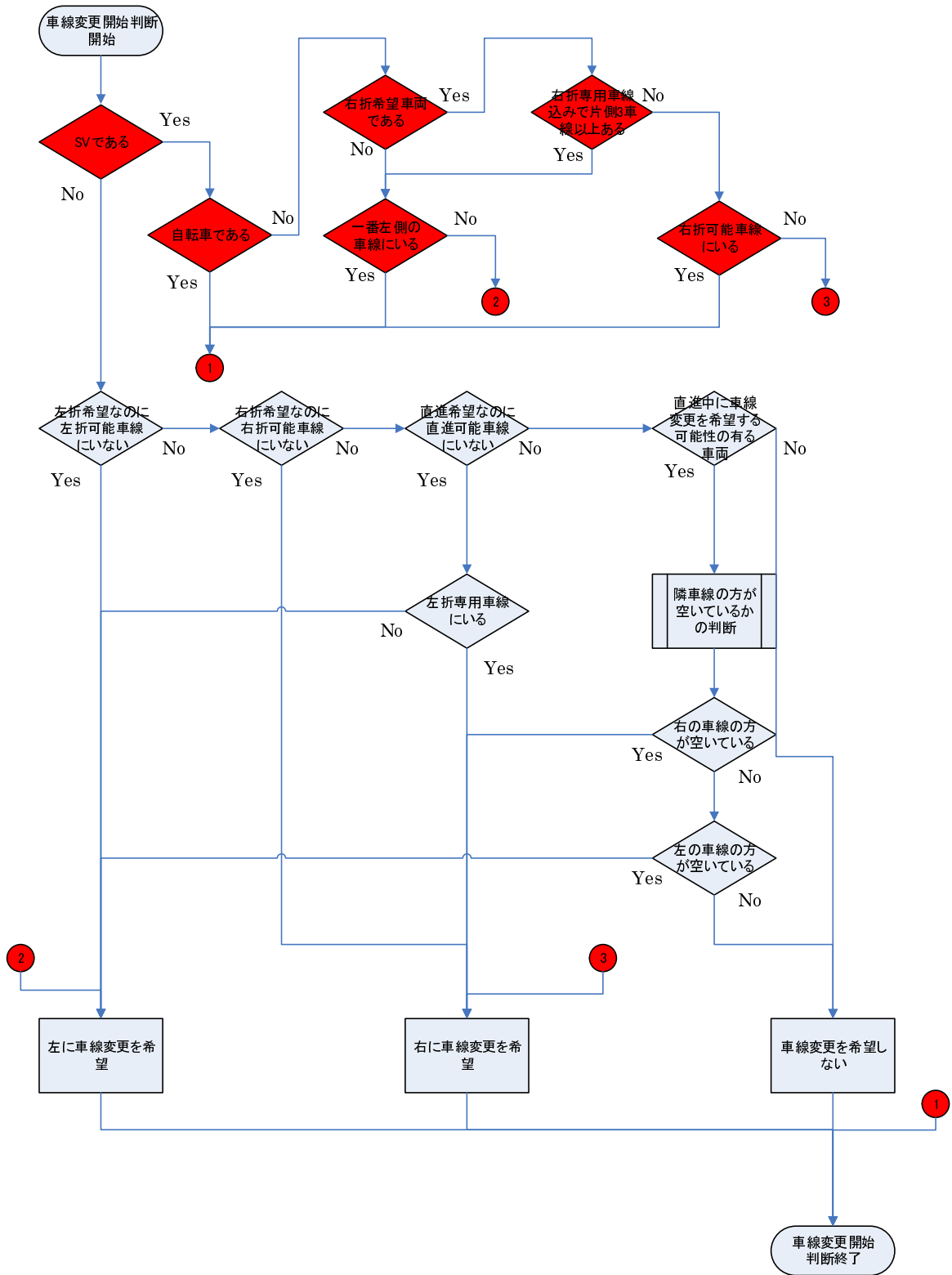


図 D.2: 車線変更の開始判断

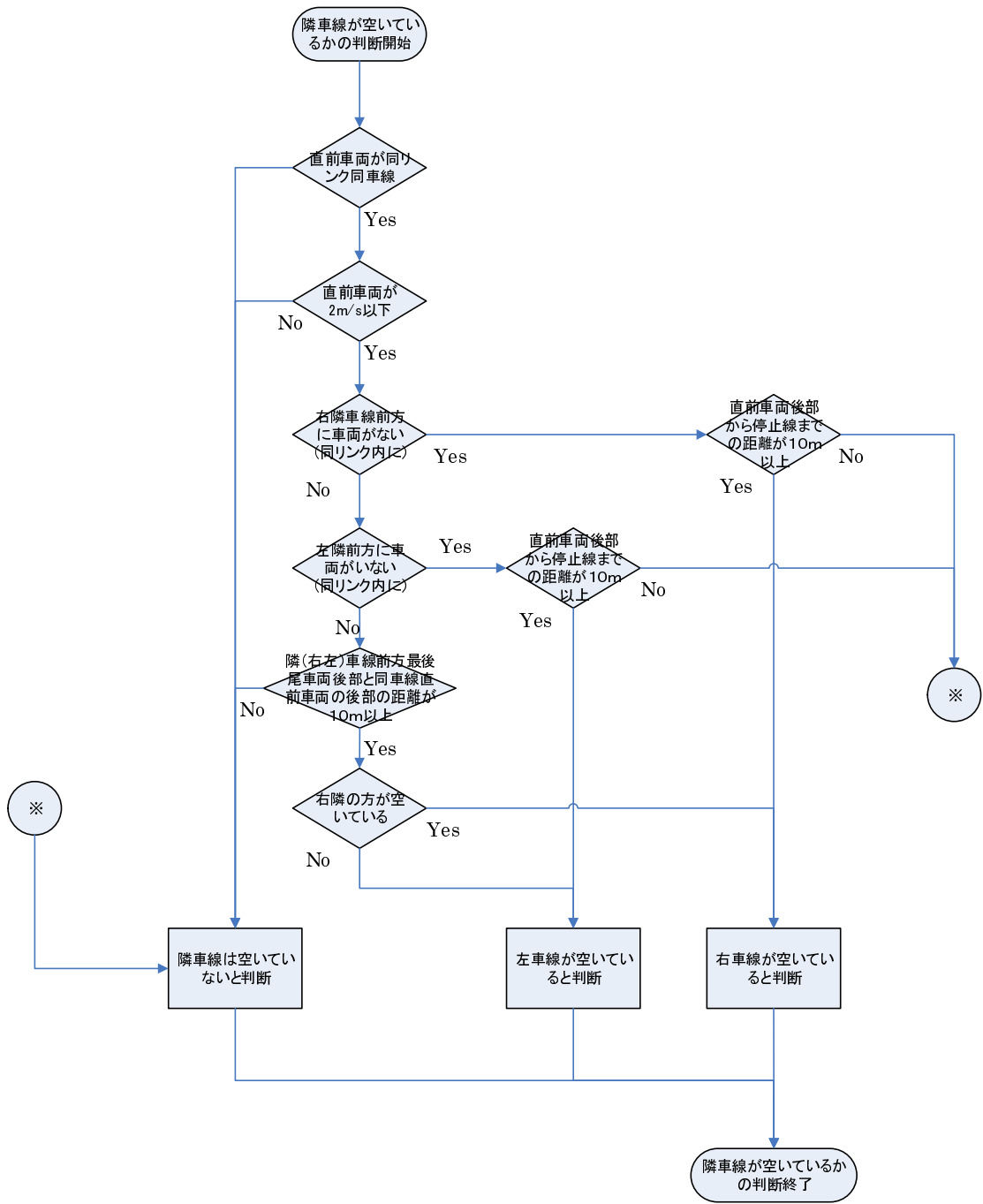


図 D.3: 隣接車線が空いているかどうかの判断

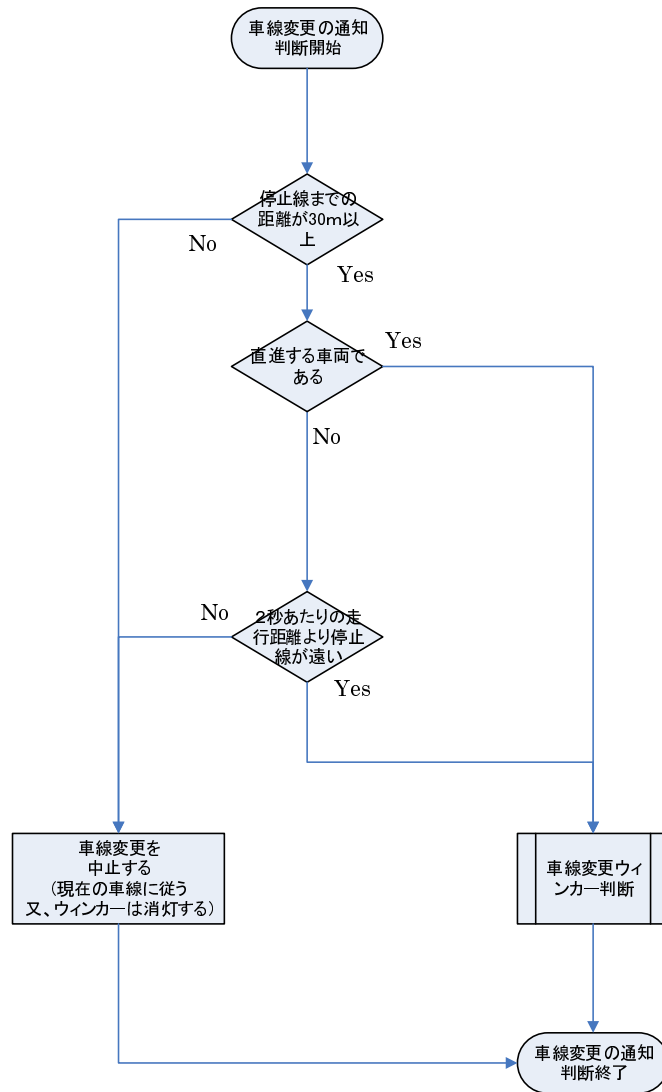


図 D.4: 車線変更の通知判断

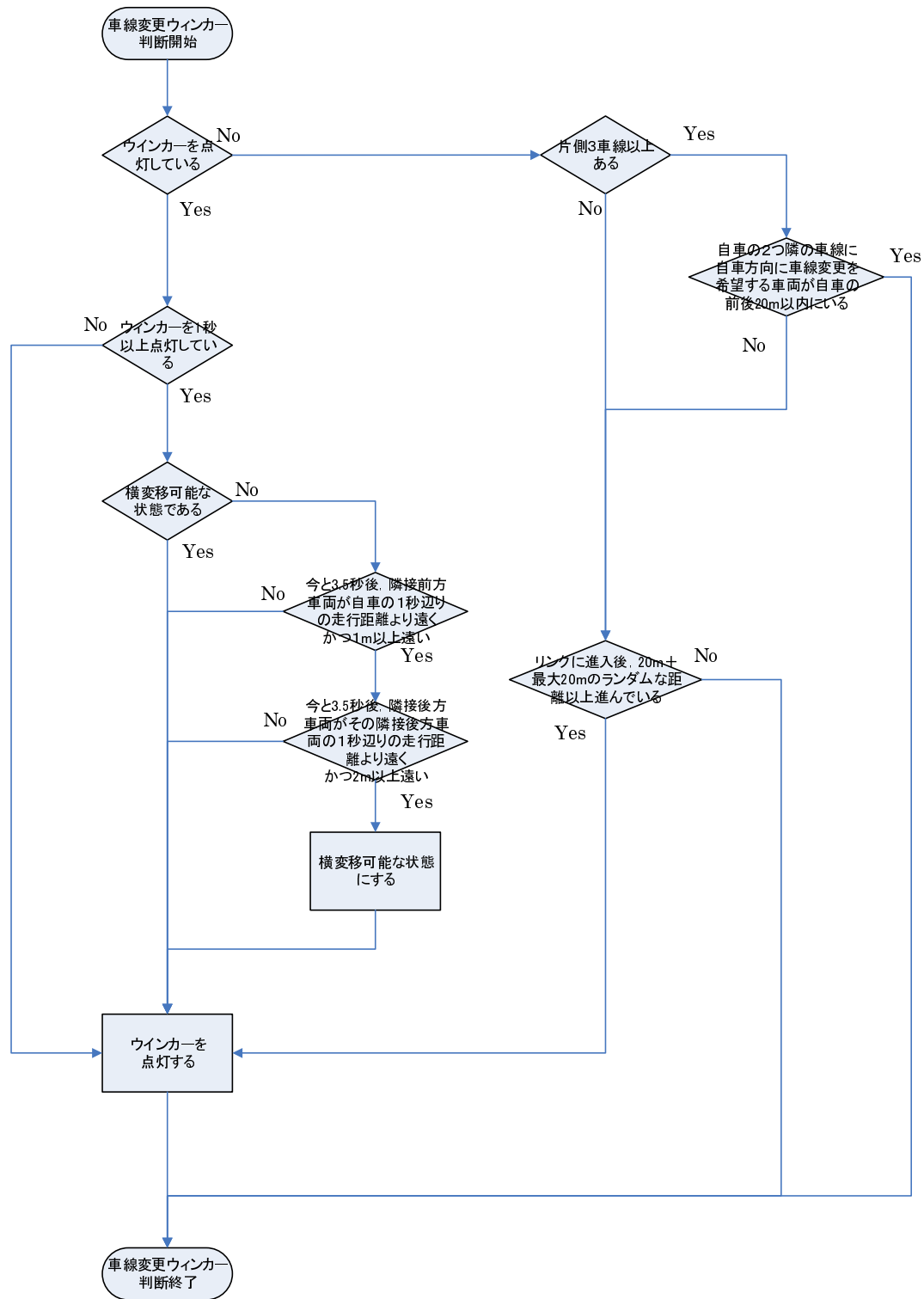


図 D.5: 車線変更のウィンカー判断



※ 横変移速度  
 停止線まで100m以内なら1.25m/s  
 停止線まで100mより遠いなら1m/s

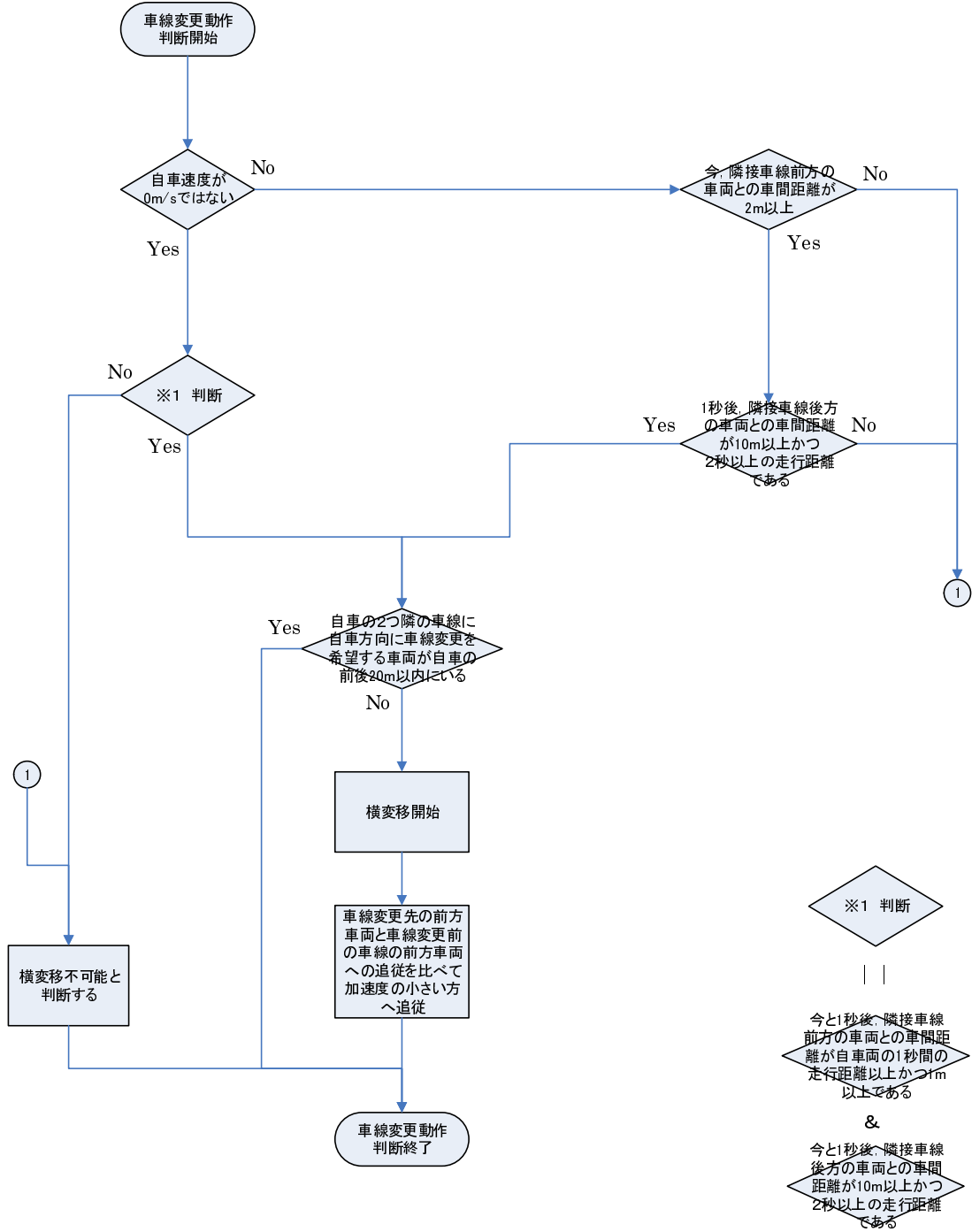


図 D.6: 車線変更の動作判断

## E 評価領域への車両の進入方法

本研究で構築した MMTS は、人をポアソン生起させ、発生した人が設定した交通分担率に従い交通モードを選択肢し、評価領域に進入する。ただし、最低車間距離以内で車両が進入する場合は車両プールで待機し、最低車間距離確保後に進入する。プールから出発するための判断のフローチャートを図 E.1 に示す。

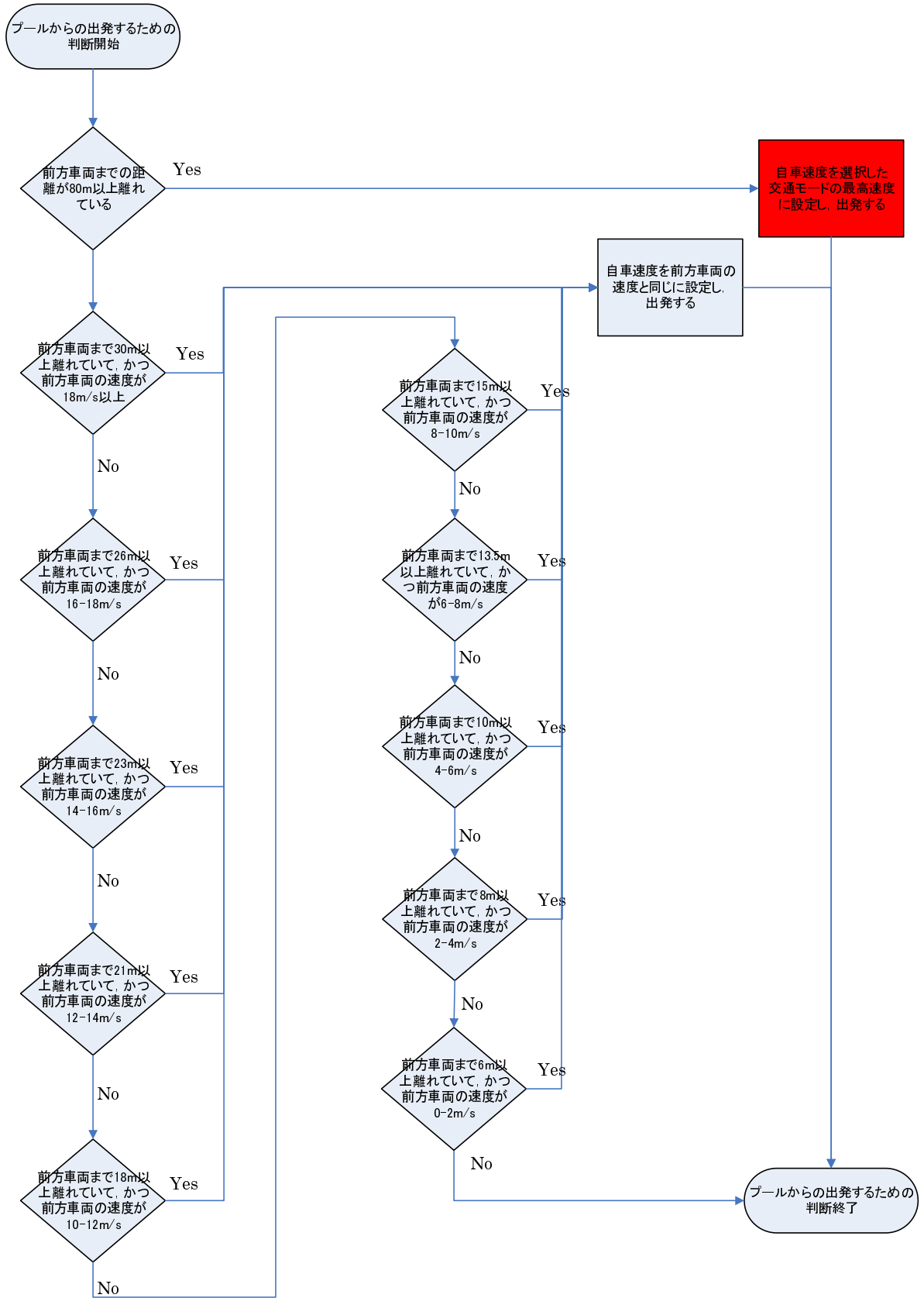


図 E.1: プールから出発するための判断