

コンピューターを用いた事故再現による右直事故の分析

木下 義彦

概要

ITARDA 保有のミクロデータから選定した右直事故 52 件を対象に、事故再現ソフトウェアである PC-Crash®を用いた事故再現シミュレーションを実施した。この結果から、予防安全支援機能の有効性とシステムに求められる各種条件の推定、事故要因のパターン別分類による特徴分析、事故回避推定シミュレーションによる事故回避条件の推定、等を実施して以下の結論を得た。

- ① 右直事故に必要とされる支援機能は「接近車両の認知支援」と「衝突リスクの判定・通知」の 2 種類と考えられる。
- ② 自立式相手検知システムに必要な検知角度と検知距離の性能条件として以下を得た。
検知角度：左右 20 度以内 検知距離：衝突 3 秒前で 80m、5 秒前で 100~120m
- ③ 直進側の事故要因は主として視認阻害による相手認知無しと判断の誤りであり、右折側は相手認知無しと距離・速度の見誤りである。特に四輪対二輪の場合は右折車の大半が四輪車であり、その事故要因は対向二輪車の距離・速度の見誤りが多い。

1 分析の背景

自動車の安全技術はエアバッグやプリテンショナー付シートベルトに代表される「衝突安全」技術が先行して開発されてきたが、現在はこれに加えて交通事故そのものの減少を目的とした「予防安全」技術の開発も求められる段階に来ている。

しかし残念ながら、システム設計に際して必要となる実際の事故発生状況に基づく事故シナリオの情報は不足しているのが現状である。そこで本研究では、予防安全技術の設計指針構築に寄与できる基礎データの整備充実を図ることを目的として、右直事故を対象に ITARDA 保有のミクロデータを用いたコンピューターによる事故再現シミュレーションを実施した。

2 右直事故の概要と分析対象事故の選定

平成 19 年の交通統計から事故類型別の死傷事故、死亡重傷事故の分布を図-1、図-2 に示す。

車両相互事故で見ると、従来から注目を集めている追突事故と出会い頭事故に加えて右直事故も比較的大きな構成率を占めていることが分かる。この内、追突事故に関しては衝突被害軽減ブレーキが実用化されており、出会い頭事故に関しては ASV 研究等で対策技術の研究が進められているが、右直事故に関しては明確な対応技術が定まってい

ないのが現状である。

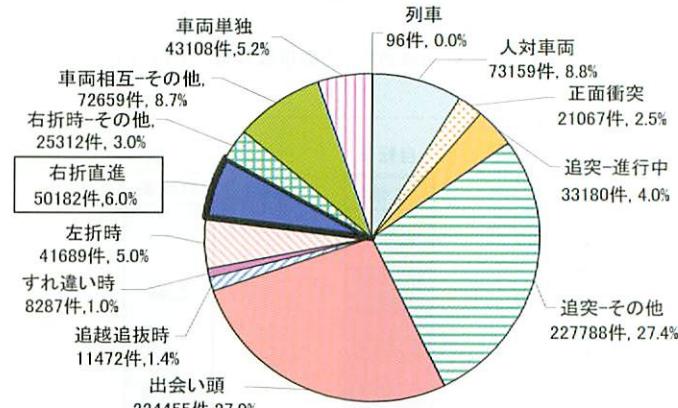


図-1 事故類型別 死傷事故分布 (H19 年)

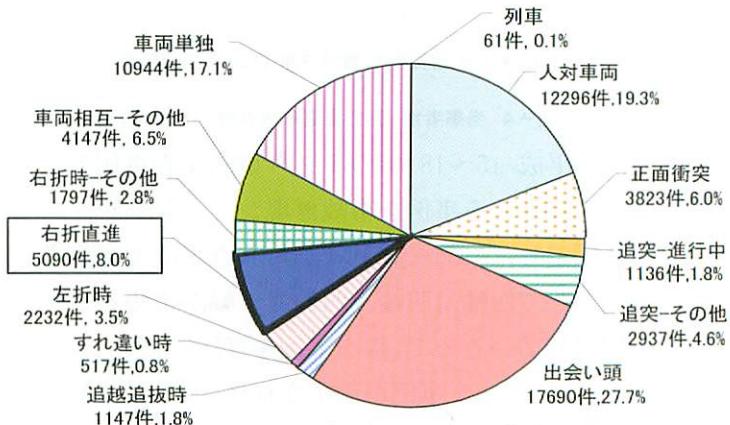


図-2 事故類型別 死亡重傷事故分布 (H19 年)

次に右直事故の当事者を 1 当、2 当別で確認した結果を死傷事故は図 3 に、死亡重傷事故は図 4

に示す。

死傷事故、死亡重傷事故ともに1当は四輪車が大半を占めており、2当は主に四輪車と二輪車である事が判る。更に死亡重傷事故の2当は二輪車が占める割合が高くなっているが、その理由として二輪車乗員は外界に露出した状態の為に、ひとたび事故に遭遇すると重篤な傷害を負う危険性が高い為と考えられる。

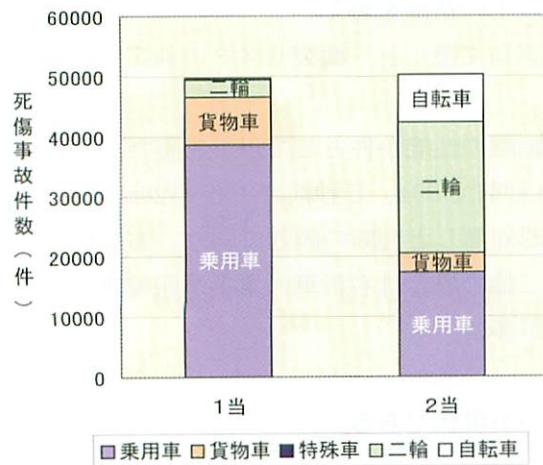


図-3 当事者別 死傷事故件数 (H19年)

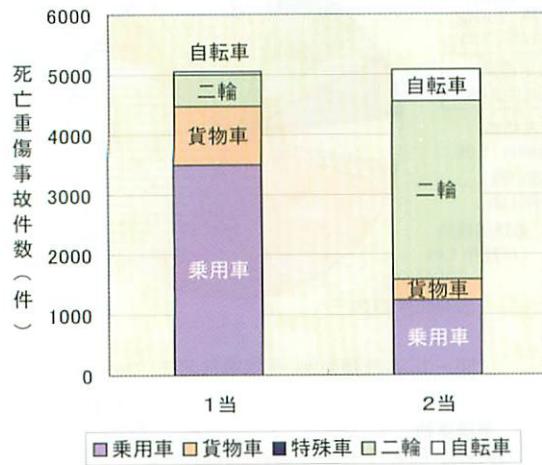


図-4 当事者別 死亡重傷事故件数 (H19年)

次に平成15~18年のミクロ事故調査事例データから該当する事例を事故再現シミュレーション用に選定した。図-3、4から右直事故の当事者は主として四輪対四輪、四輪対二輪が占めることができ判明しているので、該当事例を選定したところ、表1に示す全52事例が選定された。四輪対二輪では、大半の事例で右折側を四輪車が占めている点が特徴的である。

表-1 分析対象のミクロ事故件数

事故調査年	H15年	H16年	H17年	H18年	合計
四輪対四車			19件	15件	34件
四輪対二車 (右折:四輪)	7件	4件	3件	1件	15件
四輪対二輪 (右折:二輪)		2件	1件		3件

3 分析手法の説明

分析は以下の手順で実施した。

- ① 事故事例毎にバリエーションツリー作成
↓
- ② 事故調査データの記載情報を基に事故再現シミュレーションを実施
↓
- ③ 事故再現シミュレーションから判明した情報をバリエーションツリーに追記
↓
- ④ バリエーションツリー、事故再現結果を基に次の分析を実施
 - ・予防安全支援機能の成立性
 - ・システムの必要条件
 - ・事故要因に関する分析
 - ・衝突回避の推定

バリエーションツリーとは事故発生までの当事者の認知・判断・操作の内容を時系列に沿って表記し、これに加えて注目すべき環境条件を併記したものである。バリエーションツリーを見ることによって事故の概要を把握することが可能となる。

本研究では事故再現シミュレーションにPC-Crash® Ver.6.0を使用した。これはパソコンで衝突事故の再現、車両・乗員の挙動計算、3次元表示などが可能な交通事故シミュレーションソフトウェアであり、欧州を中心に世界的に利用されている。国内でも事故予測や事故回避に関する研究・教育の他に、事故鑑定の分野でも利用されている。

主な機能は次の通りである。

- ・四輪車・二輪車・自転車や乗員・歩行者を

対象とした挙動再現

- ・ 3次元計算による車両・乗員の挙動再現
- ・ シミュレーション結果は2次元/3次元の静止画やアニメーションで表示

4 具体的な事例による分析手順の紹介

四輪対四輪の右折事故事例を基に分析手順を具体的に説明する。

取り上げている事例は右折車（A車）が往復2車線道路を走行して青信号で十字路交差点を右折する際に、先行車による視認阻害があった為に対向車線の確認が不十分なままで右折したところ、対向直進車（B車）と衝突した事例である。図-5に現場の見取り図とA・B双方の車両から見た道路状況の写真を示す。その他の車両情報、環境情報は次の通りである。

〔環境情報〕

3月、18時台、曇り、乾燥路面

〔右折車（A車）〕

20歳、男性、普通乗用車

前照灯は点灯（下向き）

〔直進車（B車）〕

49歳、女性、普通乗用車

前照灯は点灯（下向き）

事例データには衝突に至るまでの運転者の認知・判断・操作の情報や走行速度、調査員により算定された衝突速度などの情報が含まれているので、これらの情報を基に図-6に示すバリエーションツリーが作成される。なお、図-6にはこの後に実施する事故再現シミュレーションによって得られる現場状況図、運転者からの視界映像、衝突までの時間と車頭間距離などの情報も記載されているが、最初に作成されるバリエーションツリーではこれらの情報を含まない流れ図のみが作図される。

次に図-6のバリエーションツリーとその他の調査データ（車種、車両の衝突部位、環境情報など）に基づいてPC-Crash® Ver. 6.0の変数値を設定し、現場の状況に近づくまで初期位置、速度、加減速のタイミングなどの微調整を行いながらシミュレーションを繰り返す。最終的にほぼ事故の状況が再現できた時点でのシミュレーション結果から、事故に至る過程で重要と思われる事象毎に事故発生前の時間・車両間の相対角度・車頭間距離、運転者からの視界映像などのデータを採取して最初に作成したバリエーションツリーに追記する（図-6を参照）。

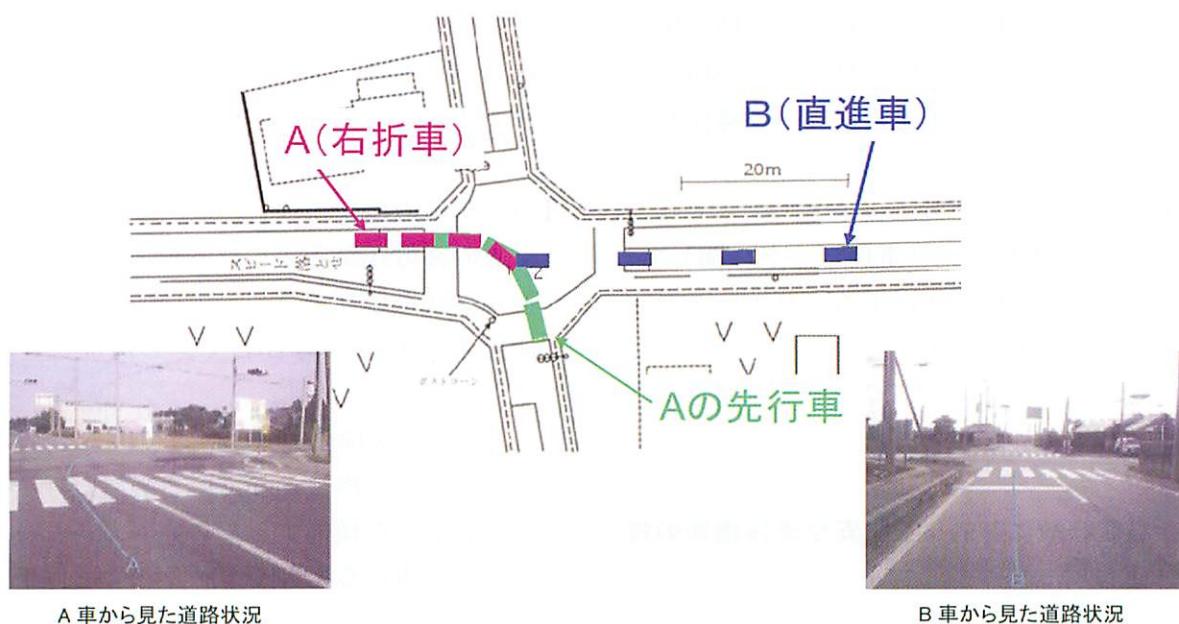


図-5 サンプル事例の見取り図と各車両から見た道路状況

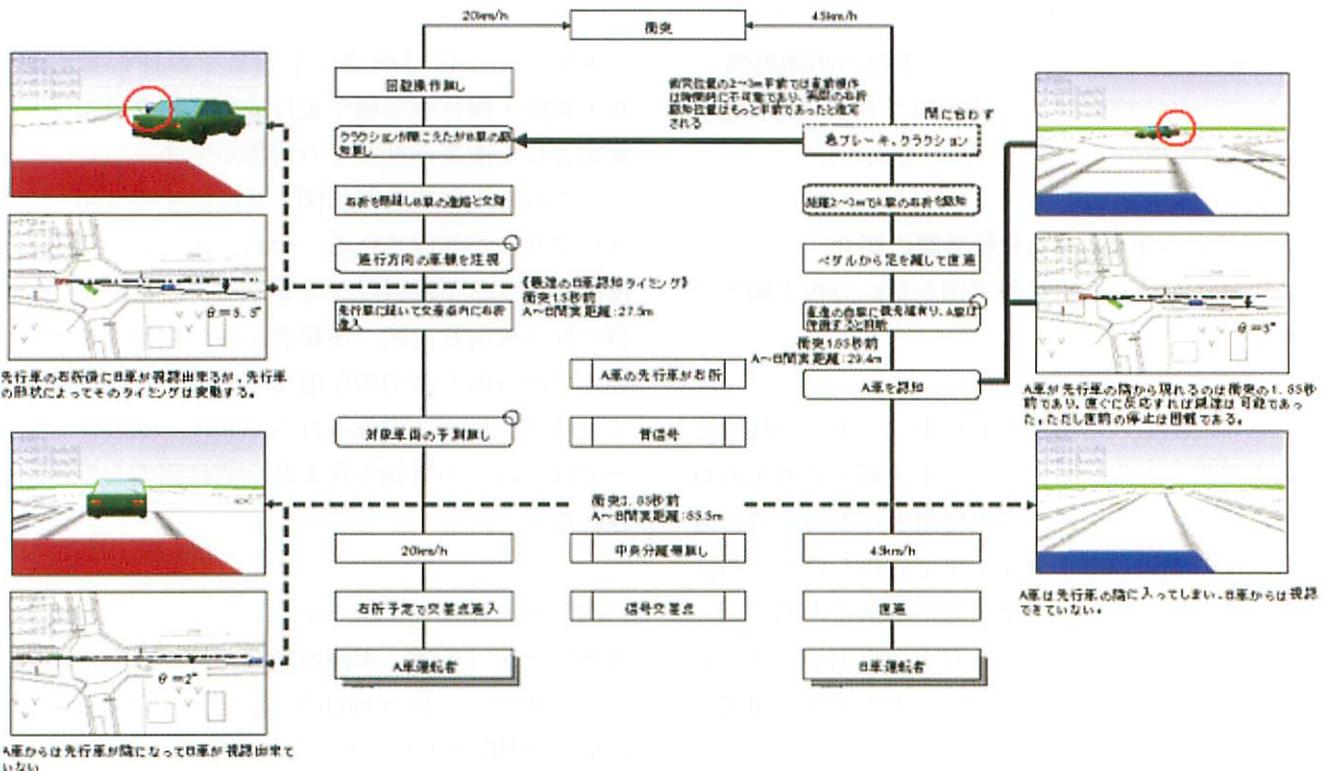


図-6 サンプル事例のバリエーションツリー

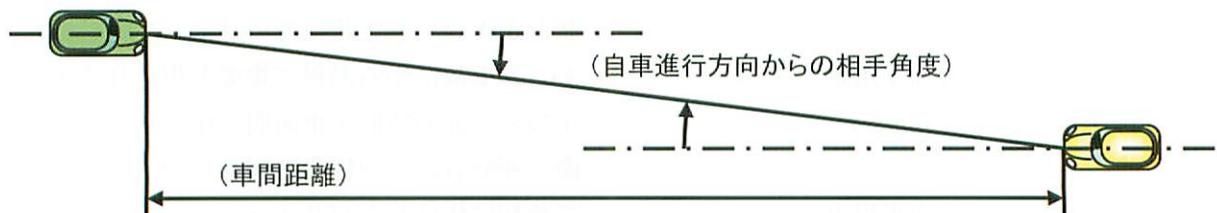


図-7 車頭間距離と相対角度の定義

なお、車両間の相対角度と車頭間距離に関しては、シミュレーション時に真上からの俯瞰図を描画して図-7に示す定義に従って算出した。

5 分析結果

52件の右直事故ミクロ事例データに関して、4項で紹介した分析手法によるバリエーションツリーを作成し事故再現シミュレーションを行った。それらの結果に基づく分析と考察を以下に説明する。

5-1 右直事故に有効な予防安全支援機能の推定

ここでは相手車両の検知手法として考えられる自立式検知方式の成立性に関する分析、および各種想定される予防安全支援機能から右直事

故回避に有効と思われる機能の推定を実施した。

以下に、本研究で想定した相手車両の検知手法と予防安全支援機能の概要を説明する。

【相手車両の検知手法】

次の2方式が考えられるが、今回は自立式検知方式を取り上げて、主に障害物による機能阻害の有無に着目してその成立性を検討した。

① 自立式検知方式

自車両に搭載されている装置だけで周囲の他車両を検知するシステムであり、レーダーを用いるものやカメラによる画像を利用するもの等が考えられる。後述する通信システムと異なり、インフラの整備を待たなくても利用できる利点があるが、一方で

車両以外の道路構造物などと車両を見分ける技術の難しさ、前方の限られた範囲しか検知できないこと、相手との間に障害物があると検知できること、などの弱点がある。

② 通信方式

車車間通信、路車間通信など通信経路によって種々の方式があるが、自車から直接検知できなくても通信可能範囲に相手があれば検知可能のこと、相手との間に障害物が有っても検知できる可能性が高いこと、等が利点である。但し車車間通信では相手車両にも通信装置が装備されていなければならず、路車間通信では道路側の車両検知システムや通信システムなどのインフラが整備されるまでは有効に機能することは出来ないなどの理由により、普及までの期間を必要とすることが予想される。

【予防安全支援機能】

次の4機能を想定したが、右折車には①→②→③の順に、直進車には①→②→④の順に各々の支援機能が必要となる場面が発生する。そこで、各車両に最も早い場面で有効に機能すると思われる支援機能は何か、という観点で洗い出しを行った。

① 接近車両の認知支援

脇見運転や漫然運転、或いは障害物による視認阻害のために自車に接近してくる他車両を認知できていない運転者に、早期に接近車両の存在を通知して減速、回避等の対応を促す機能。

② 衝突リスクの判定/通知

自車への接近車両は認知しているながら距離や接近速度を見誤ってしまい、衝突事故に至るタイミングで右折開始、直進継続などの行動をとってしまう運転者に対する支援機能であり、相手車両の進行方向や接近速度から進路が交錯するまでの時間を予測し、衝突が回避できないタイミングで進行を開始或いは継続している場合に衝突警報を発して回避行動を促すものが考えられる。

③ 発進抑制

右折車に有効と考えられる機能であり、衝突の危険性が有るにも関わらずに強引に右折行動を開始しようとする場合に、システムが介入し接近車両が通過して危険性が無くなるまで加速操作を受け付けなくするものが考えられる。

④ 自動減速/停止

直進車に有効と考えられる機能であり、衝突の危険性が有るにも関わらずに走行を継続しようとする場合に、システムが介入して強制的に減速させるものが考えられる。ただし後続車による追突事故の危険性があり、また対向車が右折行動を開始するまでは危険を認知して減速することは出来ないので、有効に機能する場面は極めて限られることが予想される。

52件のミクロ事事故例について自立式検知システムの有効性と最も早い場面で機能する支援機能の洗い出しを行った結果を表-2に示す。

表-2 予防安全支援機能の有効性推定

△	自立式 有効事例	右折車				直進車			
		①	②	③	④	①	②	③	④
四輪対四輪 (n=34件)	17件	20件	16件	1件	1件	8件	0	0	2件
四輪対二輪 (n=18件)	12件	10件	10件	0	0	5件	0	0	0

自立式検知システムに関しては52件中29件と半数以上の事例で有効性が期待できる結果となった。対象となったつくば地区の事故データの多くが中規模以上の交差点で発生しており、市街地で問題となる駐車車両や道路構造物による視認阻害が少ない点が影響している可能性は考慮に入れなければならない。ただし、右直事故は対向車両が検知対象なので小規模交差点でも状況は類似しているとも考えられ、この点に関しては更なる検討が必要である。

支援機能に関しては右折車、直進車とともに①接近車両の認知支援と②衝突リスクの判定・通知が有効であると考えられ、殆どの事故で相手車両の認知ミスか速度や距離の誤認による無理

な進行が原因になっていることが窺える。

5-2 自立式検知システムの必要要件推定

相手車両検知システムを自立式で実現しようとすると、相手車両検出範囲の設定が重要となる。そこで、衝突前5秒間の自車両から相手車両までの角度と車頭間距離の推移から検知範囲

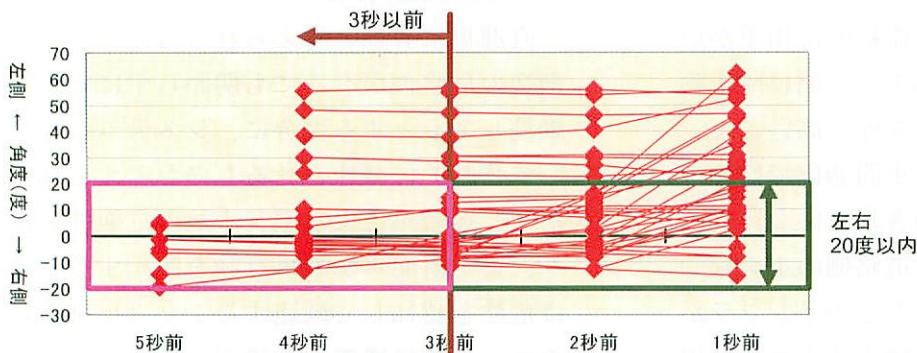


図-8 四輪対四輪 衝突までの相対角度（右折車→直進車）

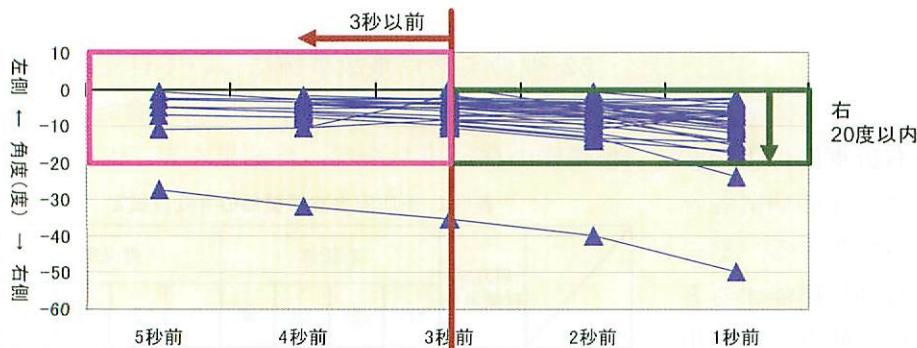


図-9 四輪対四輪 衝突までの相対角度（直進車→右折車）

の設定についての検討を実施した。図-8に右折車側を基準に直進車までの角度を、図-9に直進車側を基準に右折車までの角度を求めた結果を示す。これらの図は四輪対四輪の例だが、四輪対二輪の場合もほぼ同様である。

自立式検知システムではシステムが車両を検知してから運転者に通知するまでの処理時間、運転者がシステムに反応して行動を起こし制動力が発生するまでの反応時間、さらに運転者の事故回避行動のための余裕時間が必要である。そこで今回は各々の時間を以下のように仮定した。

- ・システム作動時間：1秒
- ・反応時間：0.8秒
- ・操作余裕時間：1秒

これらの合計時間が2.8秒なので、以降では衝突の3秒以前の時間帯に注目して、分析を実施した。

右折車に関しては52件中43件で自車進行方向の左右20度以内に直進車を捉えており、その他の9件中7件は交差点内の右折誘導帯前端まで進出して一時停止しているものであった。左

20度を越えると広範囲の角度に分散しており、自律検知システムでこれらを全て検知することは困難である。

直進車に関しては1例を除いて殆どが右20度以内に右折車を捉えている。例外の1例は片側4車線道路の左端車線から3車線を跨いで右折を開始した極めて特殊な事故なので、これを除けば直進車側の検知範囲は右20度以内が妥当と考えて良い。

次に同じく四輪対四輪の衝突前5秒間の車頭間距離の推移を図-10に示す。車頭間距離は単純に双方の車両、特に直進車の事故前走行速度によって定まるが、図-10から5秒前の時点では120m程度までを、3秒前で80m程度までを検知範囲として設定する必要があると考えられる。

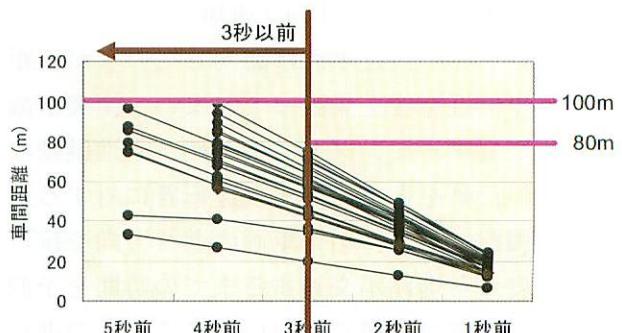


図-10 四輪対四輪 衝突までの車頭間距離

5-3 事故要因のパターン別分析

四輪対四輪・四輪対二輪の別に右折車と直進車の事故要因を下記に示すパターンに分類して、当事者毎の特徴の有無を探った。

- パターン1：直前まで視認阻害あり
- パターン2：途中まで視認阻害あり、途中から見えるのに見ていない
- パターン3：環境的には見えるのに見ていない or 認知エラー
- パターン4(右折車)：直進車は見えていたが、タイミング的に右折可能と予測を誤って右折した
- パターン5(右折車)：直進車は見えていたが、行動予測を誤って右折した
- パターン6(直進車)：右折車は見えていたが、待機すると判断して直進を継続
- その他：上記以外
- 分類不可(分析対象外)：
当事者死亡により判断不能

この中でパターン2に関しては、途中から相手を認知できる状況になりながら見ていないの

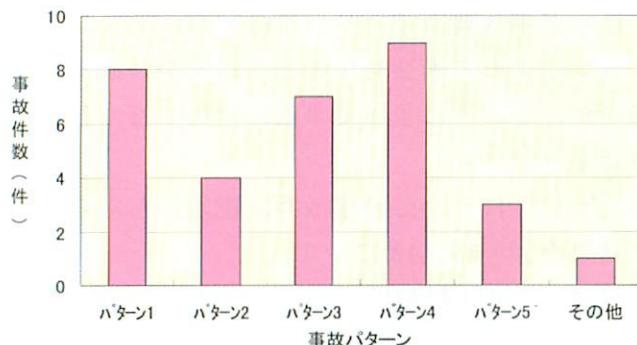


図-11 四輪対四輪 右折車側 事故要因パターン別件数

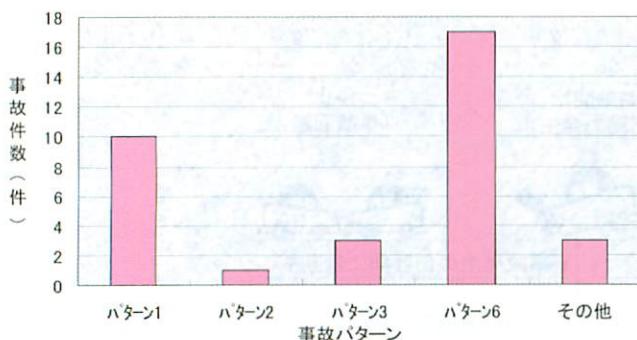


図-13 四輪対四輪 直進車側 事故要因パターン別件数

で、状況によっては相手検知システムが有効に機能すると考えられる。そこで、該当事例についてシステムから相手を検知可能となるタイミング(衝突前時間)を調べたところ、以下の値が得られた。

四輪対四輪: 0.95秒前、1.6秒前、1.65秒前、
3.9秒前

四輪対二輪: 1.1秒前

この結果、前節で設定した相手車両検知システムの効果が得られる衝突3秒前のタイミングで視認できる事例は1件しかなく、大半の事例ではシステムの効果が見込めないと考えられた。

図-11～14に事故要因パターン別に該当する事例数の集計結果を示す。ミクロデータによる分析は、件数が少ないこともあり事故全体の特徴を正確に表現しているとは必ずしも云えないが、今回の分析結果から事故要因の特徴を窺い知る事が可能である。

《右折車側》

四輪対四輪(図-11)ではパターン1, 3, 4が同水準で分散しており、パターン2, 5も目立たないが発生している。

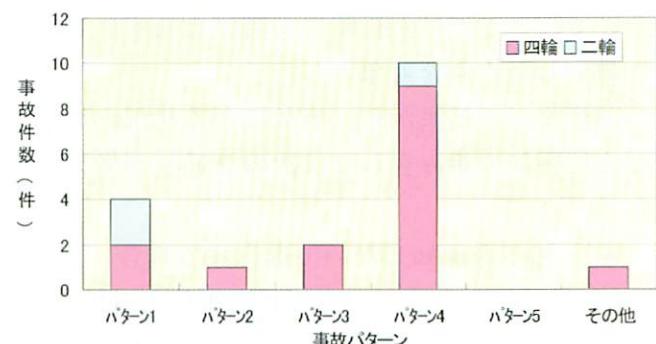


図-12 四輪対二輪 右折車側 事故要因パターン別件数

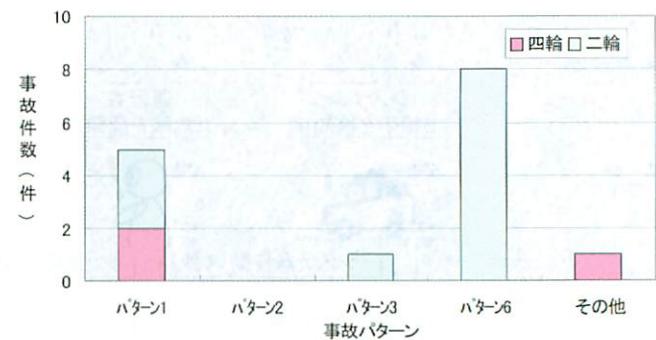


図-14 四輪対二輪 直進車側 事故要因パターン別件数

四輪対二輪（図-12）では右折車側は大半が四輪車であり、またパターン4が際だって多い点で四輪対四輪とは異なった特徴を示す。パターン4は相手の接近速度や距離を見誤ることが主原因であり、四輪車からは二輪車が小さく見えることがこれらのエラーを誘発し易いものと考えられる。

《直進車側》

四輪対四輪（図-13）ではパターン1と6が多い。

四輪対二輪（図-14）での直進車は二輪車が大半だが、パターン1と6が多い状況は四輪対四輪と同様であり、直進車に関しては事故発生要因は当事者種別にかかわらずに同じであると考えられる

5-4 衝突回避に有効な認知支援・警報の条件

自立式検知システムによる事故回避の状況を推定するために右折車に関する事故回避シミュレーションを実施した。右折誘導帯などで既に一時停止している車両はそのまま停止を継続することで事故を回避するので、車両挙動から認知支援の効果を予測することは不可能である。そこで、ここでは右折時に一時停止せずに走行を継続した車両を対象とした。

前節までの結果から、事故に至る状況と有効な支援機能の組み合わせは次の2通りが考えられる。

1) 相手を認知しないで進行する場合

（該当事例：5件）

認知支援システムにより相手を認知すれば、通常制動で衝突回避が可能と思われる。

2) 相手を認知しているが、距離・速度などを見誤って進行する場合

（該当事例：6件）

衝突リスク警報システムにより危険性を認知させれば、急制動で衝突回避が可能と思われる。

なおシミュレーションに際しては通常制動時と急制動時の減速度は各々0.2Gと0.8Gに設定した。

図-15に自立式検知システムが直進車を検知してから運転者に認知・警報の情報を伝達し、その情報に運転者が反応し制動をかけて事故を回避するまでの流れ図を示す。図中で車両に制動力が発生するのは本来の事故発生の何秒前であるか、またその時の車頭間距離は何mであるか、さらにその2秒前の時点での車両の相対位置はどうになっているかを事例ごとの事故回避推定シミュレーションから算出した。また図-16には、事例として同一事故の事故再現シミュレーションと事故回避シミュレーションの状況比較を図示する。この事例では右折車からの直進車認知エラーが事故要因であり、事故回避シミュレーションによって衝突発生の2.3秒前から通常制動をかけることによって事前に停止することが確認できた。

全11件についての事故回避推定から得られた結果を図-17、18に示す。

図-17では制動開始時点での車速は10～25km/hの範囲に分散しているが、制動開始時間とその時点での車頭間距離には緩やかな相関が見られる。制動開始時間と車頭間距離を通常制

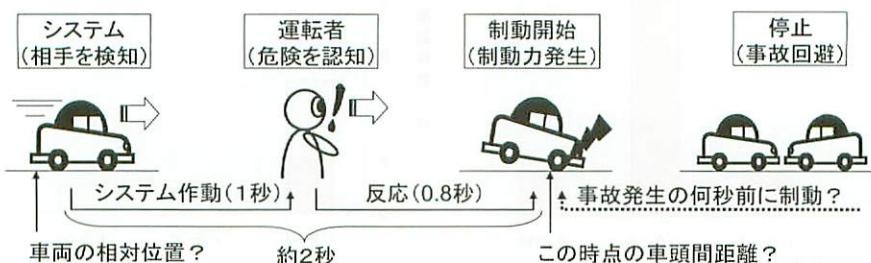


図-15 自立式検知システムによる衝突回避までの流れ図

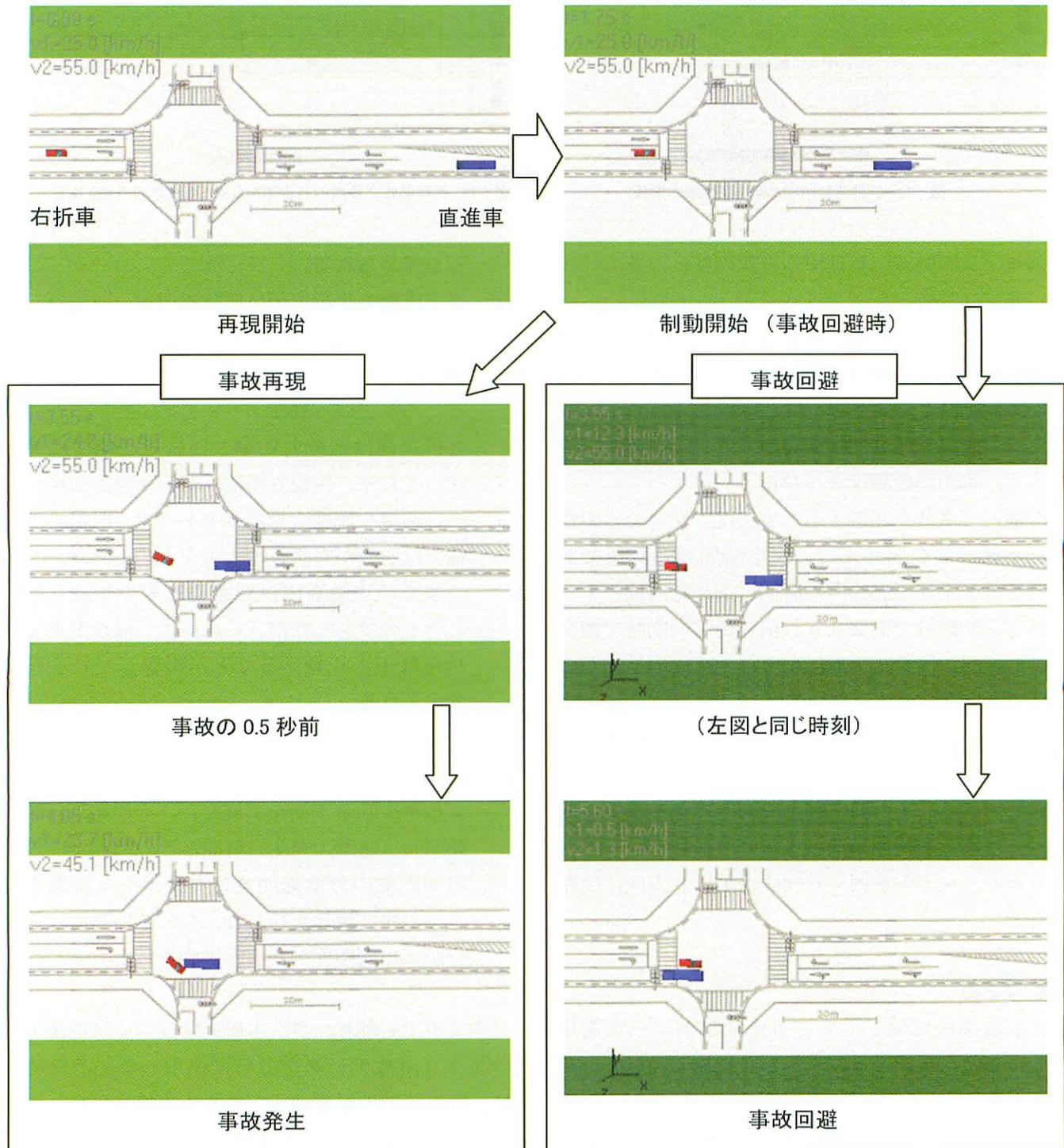


図-16 事故再現と事故回避状況図の比較

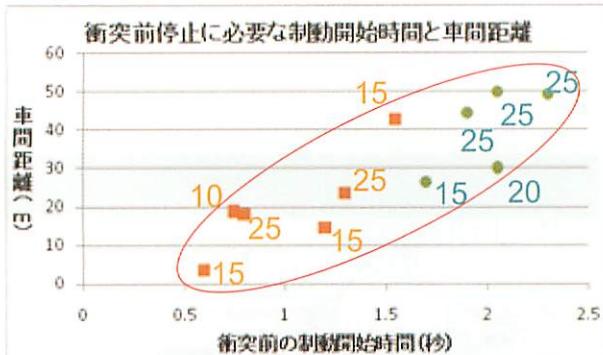


図-17 制動開始時間と車頭間距離の関係

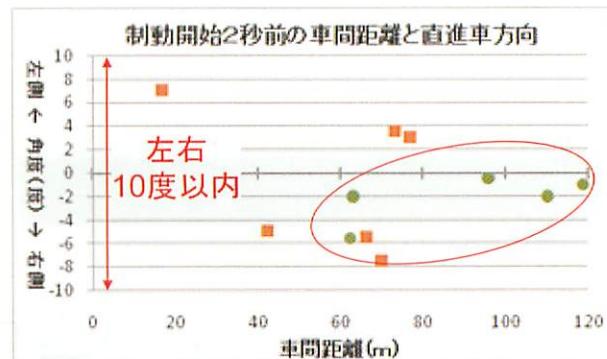


図-18 制動開始 2 秒前の右折車から見た直進車の方向と距離

動時、急制動時で整理すると次の様になる。

通常制動時：

制動開始時間は衝突の 1.7~2.3 秒前

車頭間距離は 26~50m

急制動時：

制動開始時間は衝突の 0.6~1.6 秒前

車頭間距離は 3~43m

従って事故を回避するためには、システムの作動時間と制動開始までの反応時間の合算値である 2 秒を上記の制動開始時間に加えた時間、すなわち急制動時で衝突 3.6 秒前、通常制動時で衝突 4.3 秒前にはシステムによる相手車両の検知が必要であった。

図-18 では制動開始 2 秒前の時点で右折車から見て直進車はすべて左右 10 度以内にあることが確認できる。また通常制動で回避できる事例に関してはまだ右折開始前（または直後）ということもあり、全ての事例で対向直進車は右方向に位置していた。

6 まとめ

右直事故に関してミクロ事故事例データを用いた事故再現シミュレーション実施し、以下を確認した。

- ① 右直事故において必要とされる予防安全支援機能は接近車両の認知支援と衝突リスクの判定・通知の 2 種類と考えられる。
- ② 分析対象となった事故事例の過半数に、自立式の相手検知システムが有効との結果が得られた。これにより、インフラが整って通信方式が普及するまでの過渡技術として、自立式検知システム利用の可能性にも期待でき

ると考えられる。

③ 直進車側の事故要因は四輪対四輪、四輪対二輪の何れでも視認阻害による相手認知エラーと自車が通過するまで相手車両は待機するだろうという判断エラーであった。

右折車側は四輪対四輪と四輪対二輪では異なっており、四輪対四輪は相手車両認知エラーと距離や速度の見誤りであった。四輪対二輪では四輪が右折車の大半を占めており、その多くの事故要因は距離や速度の見誤りによるものであったが、これには二輪車が正面からは小さく見えることが影響していると考えられる。

④ 一時停止をしないで交差点内に進行していく右折車両に関して自立式検知システムによる事故回避予測を実施した。その結果、制動開始（制動力発生）時間とその時点での車頭間距離の分散範囲及び右折車から直進車までの角度情報が得られ、これらの間には緩やかな相関関係があると推測された。

本文中でも触れたが、本研究ではつくば地区でのミクロ事故データを分析に使用しているために、都市部での影響因子である小規模交差点・混雑した道路環境などの情報があまり含まれていない。近年はドライブレコーダーによる記録データなども収集されているので、今後はこれらのデータを活用した広範囲な道路環境での分析にも期待したい。

引用文献

- 1) コンピューターを用いた事故再現による右直事故の分析、(財)交通事故総合分析センター 平成20年度自主研究報告書

