



Professional Design & Engineering Firm
2021年度～2022年度
成果報告書 概要版

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期
／自動運転（システムとサービスの拡張）
／合流支援（本線隙間狙い）システム検証のための
シミュレーション環境構築および分析

2023年2月

株式会社構造計画研究所

1. 検討背景・目的

1. 検討背景・目的 合流支援ロードマップ

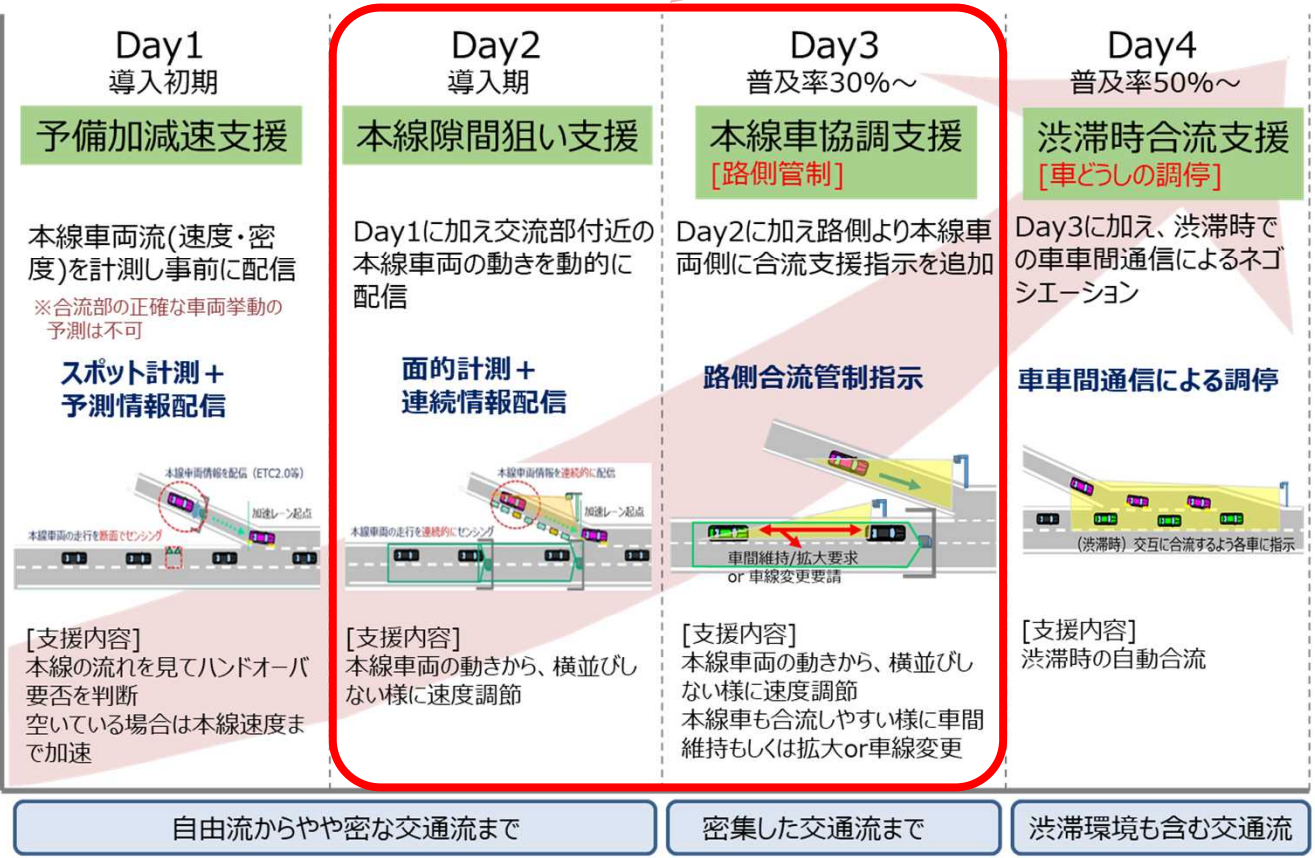
- 合流支援システムとは、車両への情報提供により高速道路等でスムーズな速度調整・合流の実現を目指すもの
- 合流支援システムは以下の4段階で進化させていくことが検討されている

2. 合流支援システムの進化

本事業のスコープ（次ページ詳説）



車載機搭載自動運転普及率



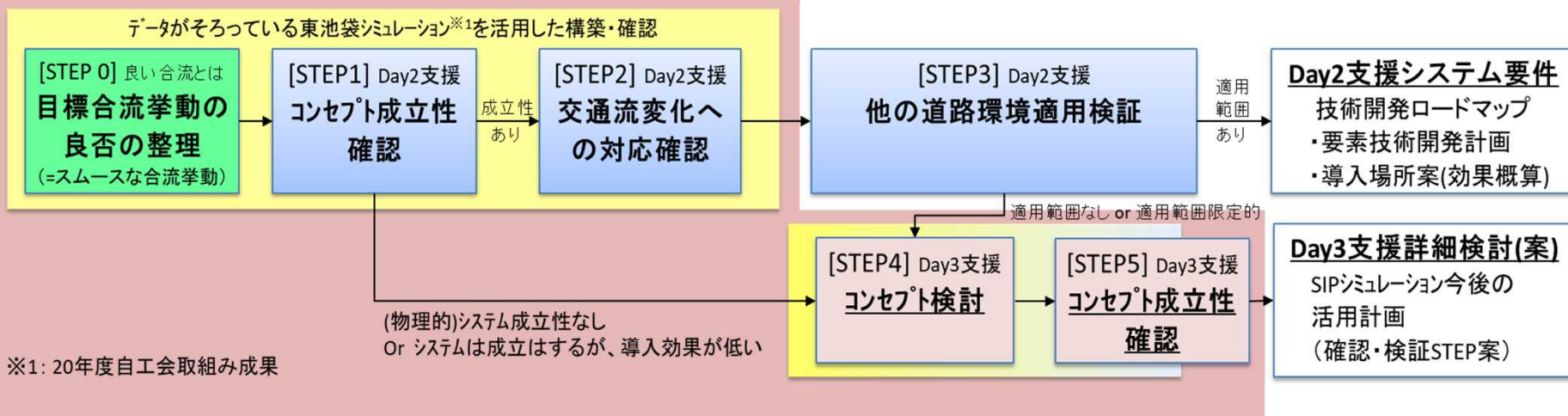
適合環境

※トラック隊列車群の通過も考慮してシステム要件の定義が必要

1. 検討背景・目的 本事業のスコープ

- 本事業では、Day2・Day3システムを対象にシミュレーションを通じた検証を実施
- 合流支援サービスの早期実現を目指しサービス有効性・社会実装に向けた課題を検証

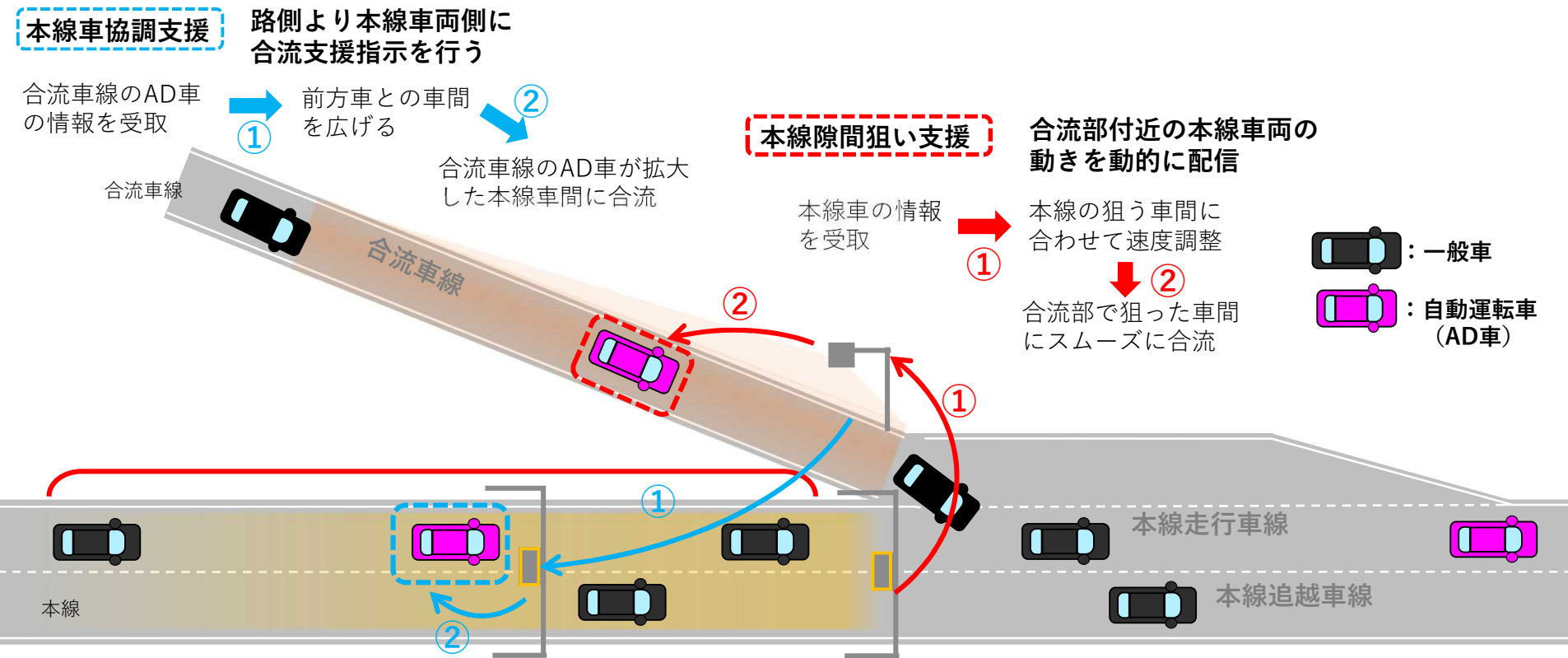
本事業のスコープ



1. 検討背景・目的

Day2システム・Day3システムの概要

- 本事業の検証対象となるDay2システム・Day3システムの概要は以下の通り



	合流AD車支援	本線AD車支援	2022年度最終スコープ
Day2システム 本線隙間狙い支援	○	—	交通流変化への対応確認
Day3システム 本線車協調支援	○	○ (状況に応じて)	コンセプト成立性検証

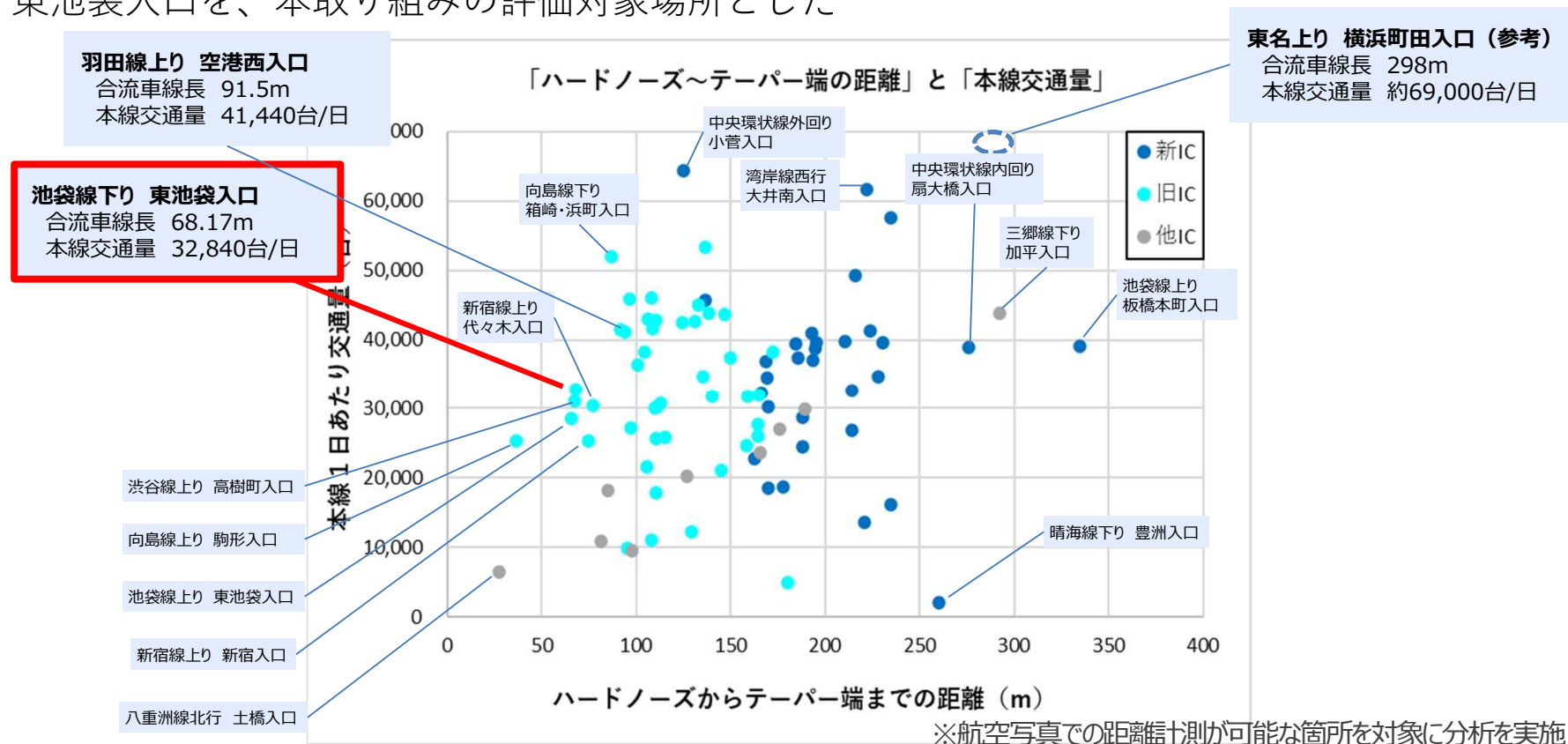
※AD車：車載機搭載自動運転車両

1. 検討背景・目的

首都高における合流箇所の特徴・東池袋の位置づけ

- 首都高入口の合流車線長と本線交通量を整理
 - 首都高5号池袋線下り東池袋入口（以下、東池袋入口）は、旧規格（合流車線長の短い規格）の入口の中でも合流車線長が特に短い合流部であり、合流車支援システムの導入に向けた検討場所として有効である
- 東池袋入口は、経済産業省SAKURAプロジェクトにおいて作成した車両軌跡データから、合流挙動を再現したシミュレータモデルが存在する

➤ 東池袋入口を、本取り組みの評価対象場所とした



2. Day2・Day3システム確認環境の構築

2. Day2・Day3システム確認環境の構築

- 実施項目は以下の4つ
 1. 合流の良否の定義
 - Day2・Day3システムを利用した合流挙動を評価するため、合流挙動の良否を点数で評価する指標を定義した
 2. シミュレーション環境構築
 - 合流支援システムを検討するため、シミュレーション環境を構築し、東池袋の道路や車両の走行挙動を実装した
 - Day2・Day3システムの内容について検討し、シミュレーション環境に各支援システムを実装した
 3. 分析シナリオ
 - 構築したシミュレーション環境を実行し、東池袋の交通状況等を再現するためのシナリオを検討した
 4. 本分析の留意点
 - シミュレーションによる分析を行う際、留意すべき点について整理した

2-1. 合流の良否の定義 評価点マップの構築 (1/2)

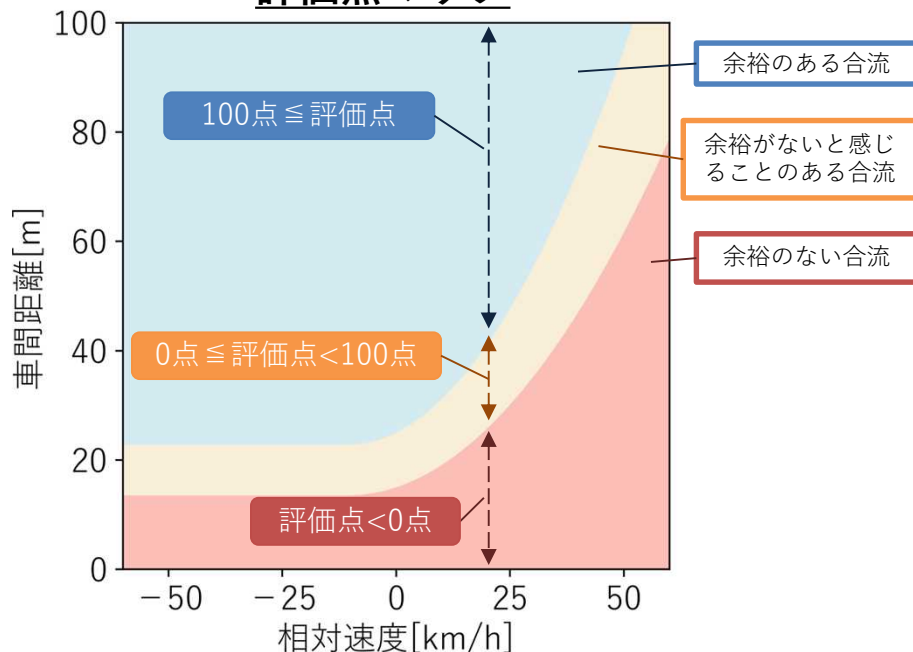
- 合流車両と本線にいる周辺車両との『車間距離』『相対速度』から合流の余裕度を表す得点（評価点）を算出する関数「評価点マップ」を構築
- 合流の良否の定義として、評価点により合流の余裕度を区分
- 評価点を用いて以下の2つの観点で結果を分析していく

支援システムによる合流改善効果の観点
⇒ 評価点の改善幅

支援システムのコンセプト成立性*の観点
⇒ 「余裕のない合流」でなくなったかどうか

*コンセプト成立性：シミュレーションの確率分布によるブレを考慮したうえで合流支援の効果があるかを確認できることとする。

評価点マップ

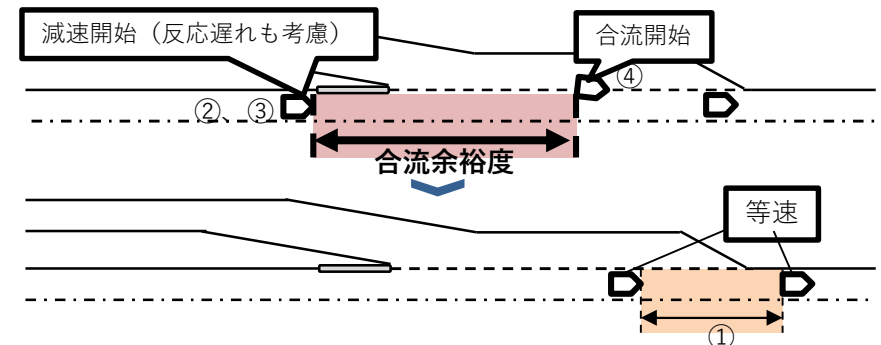
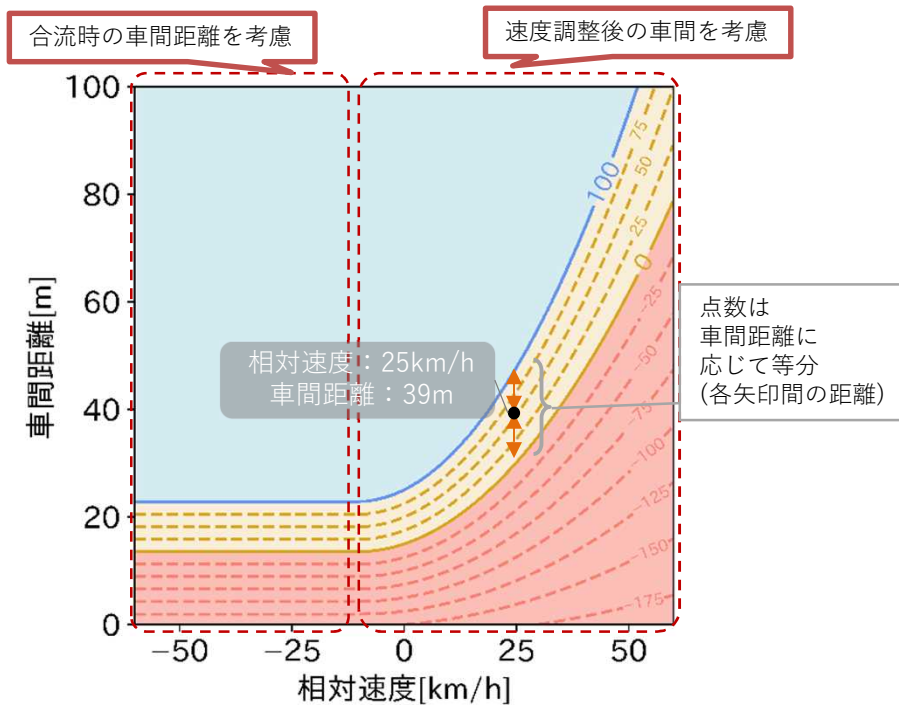


	合流後の速度調整	速度調整後の車間
青点： 余裕のある合流	0.2G*以下の 弱い減速が必要	25m*以上の 広い車間を確保できる
黄点： 余裕がないと感じることのある合流	0.2~0.3G*の 減速が必要	15~25m*の 十分な車間を確保できる
赤点： 余裕のない合流	0.3G*以上の 強い減速が必要	15m*以上の 十分な車間を確保できない

*出所は次ページ※1~4に記載

2-1. 合流の良否の定義 評価点マップの構築 (2/2)

- 評価点マップに取り入れられている考え方
 - 本線車両が合流車両に接近する場合は、**合流後の速度調整に必要な減速度と速度調整後の車間距離を考慮し、余裕のある合流か否かを判定**
 - 本線車両が合流車両から遠ざかる場合は、合流後の速度調整は不要なため、**合流時の車間距離を考慮し、余裕のある合流か否かを判定**
 - 黄色（余裕がないと感じることのある合流）と赤色（余裕のない合流）の評価点点数は**線形補完**



項目	0点	100点
①減速後の車間距離 マージン [m]	15※1	25※2
②反応遅れ時間 [秒]	1.0※3	1.5※3
③減速度 [G]	0.3※4	0.2※4
合流余裕度 (x:相対速度)	$\frac{x^2}{0.6G} + 1.0x + 15$	$\frac{x^2}{0.4G} + 1.5x + 25$

※1 15m：3車長分

※2 25m：高速道の区画線（破線）1区間分 + 1車長分

※3 H28年「高速道路における適正な車両間隔に関する調査研究」
公益財団法人 高速道路調査会を参照

※4 ISO定義ACC最大減速度から引用

アダプティブ・クルーズ・コントロールによるブレーキ制御の最大値

赤～黄色の領域内の点数の付け方

①相対速度を基準に縦の軸を決める

②100点の関数（青色と黄色の境界）と0点の関数（黄色と赤色の境界）の間を車間距離に応じて等分となるよう線形補完する。

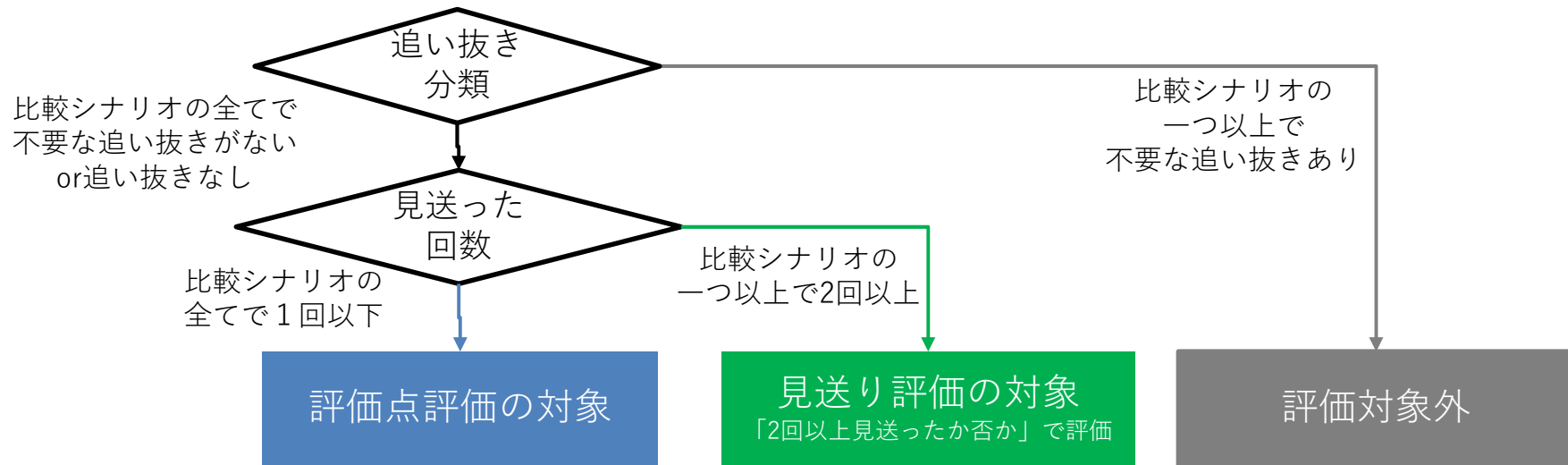
（例）：相対速度が25km/hの場合、0点となる車間距離が47.7m、100点となる車間距離が30.1mになる。単位車間距離あたりの評価点変化量は5.682[点/m]となり、車間距離39mの場合は50点と評価される

2-1. 合流の良否の定義

分析時に評価点を利用する/利用しない場合

- 評価対象車両をシミュレーション結果の評価方法別に分類

評価対象車両の分類フロー

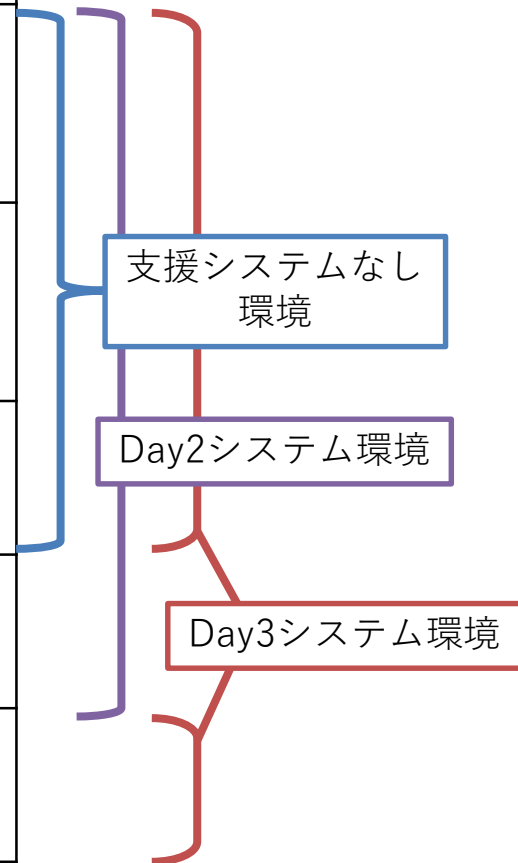


- 本線車を2回以上見送っている合流**
 - 良い合流とは言えないが評価点が0点以上になることがある
 - 評価点評価では適切に評価できないため、**見送り評価の対象**とした
- 合流部で本線車を不要に追い抜いている合流**
 - シミュレーション環境の挙動調整の副作用により、合流部で本線車を追い抜く
 - 本来意図していた挙動ではないため、**評価対象外**とした

2-2. シミュレーション環境構築 モデルの全体像

- Day2・Day3システムの効果を確認するためのシミュレーション環境として、下表の5つのモデルを構築

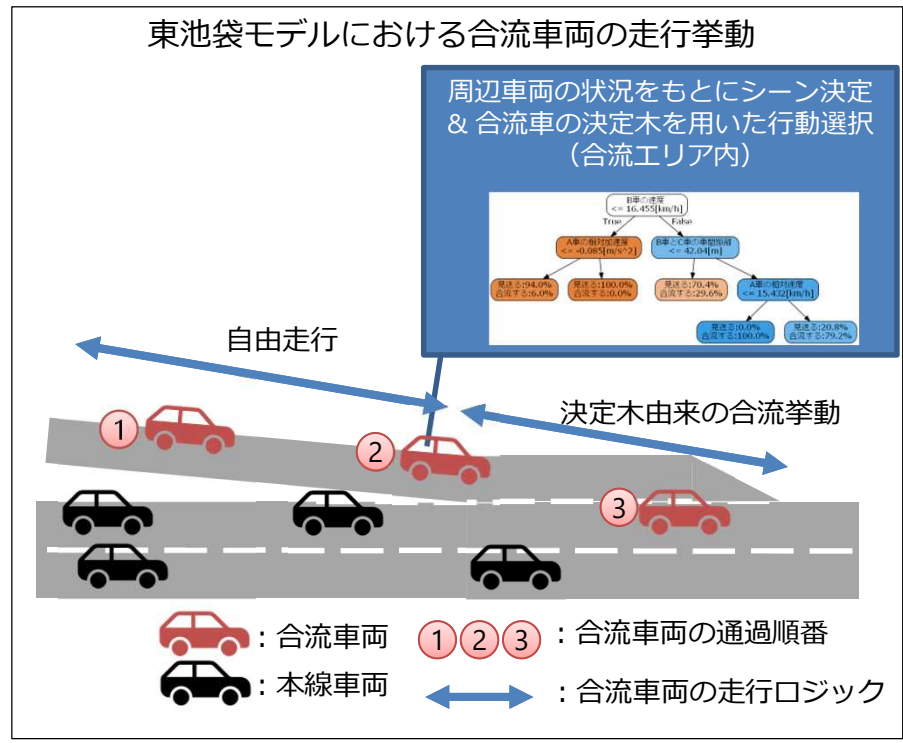
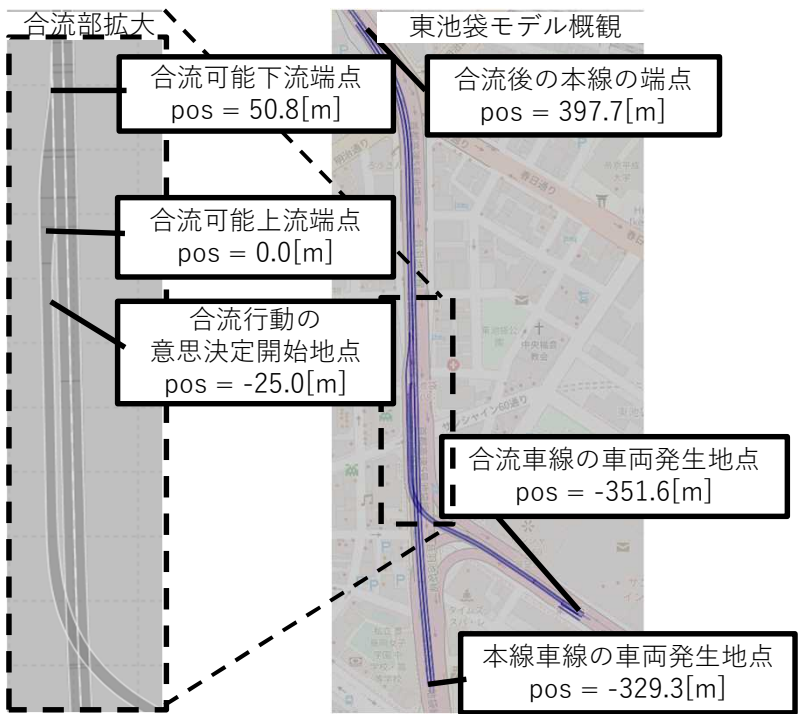
#	モデル名称	概要	構築時期と出典
1	東池袋モデル	東池袋入口を対象として、道路構造や流入車両、合流挙動を再現したモデル	本取り組み以前に、経済産業省SAKURAプロジェクトにおいて作成された、東池袋入口の車両軌跡データを用いて構築
2	上流部モデル	合流地点の本線上流部240mまでの範囲における加減速・車線変更を再現したモデル	2022年度の取り組みの中で、東池袋入口にカメラを設置し取得した車両軌跡データを用いて構築
3	AD2秒車間モデル	AD車は前方車と2秒間の車間を空けるように走行するモデル	2022年度の取り組みの中で仕様検討、構築
4	Day2システムモデル	本線隙間狙い支援の挙動を再現するモデル	2021年度の取り組みの中で仕様検討、構築、2022年度の取り組みで仕様を更新
5	Day3システムモデル	本線隙間狙い支援と本線協調支援の挙動を再現するモデル	2022年度の取り組みの中で仕様検討、構築



#1：東池袋モデル

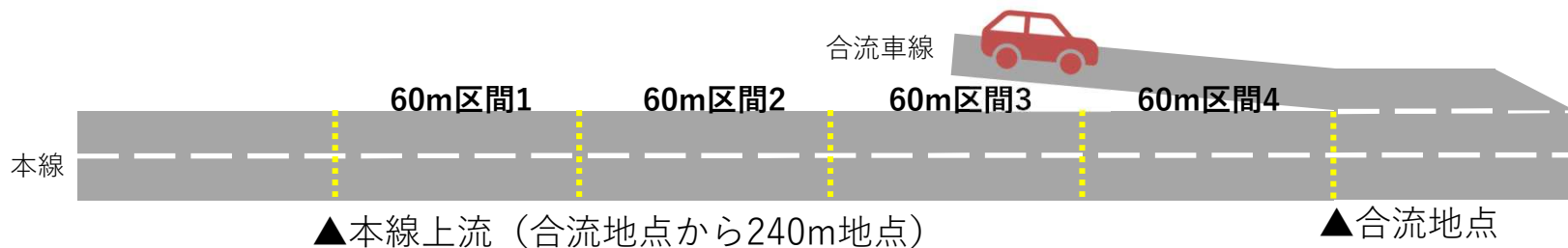
- 交通シミュレータ「Vissim」上に、東池袋入口の道路構造・流入車両・合流挙動を再現したモデル
 - 経済産業省SAKURAプロジェクトで取得された軌跡データを基に、本事業以前に構築
- 道路線形データと実際の車両走行を捉えた軌跡データから、下記を再現
 - 本線・合流車線の上流部で発生する車両の台数
 - 本線車両・合流車両の走行速度と前方車との車間距離
 - 合流車の合流挙動（機械学習などを利用して学習した決定木モデル）

対象地の道路線形



#2：上流部モデル

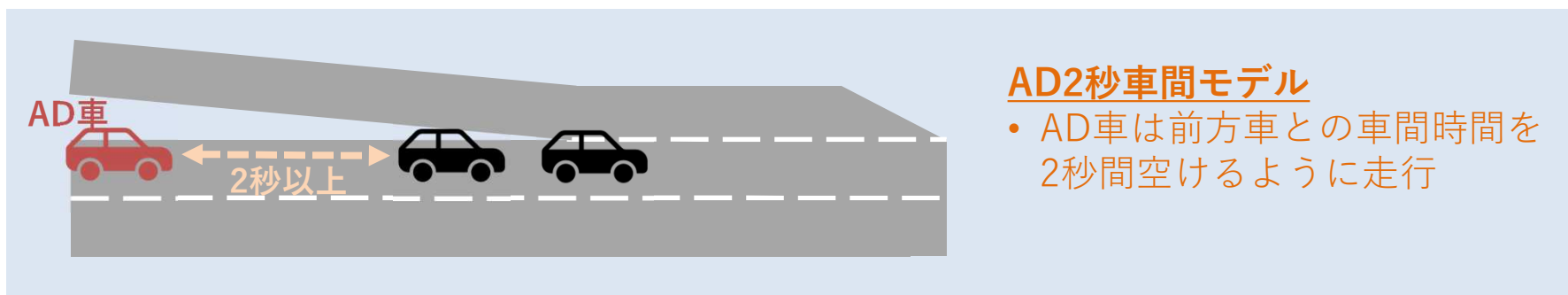
- 合流地点から本線上流240mまでの範囲における加減速・車線変更を再現したモデル
- 本線上流部の走行挙動の精緻化を目的として、本事業内で新規に東池袋入口にカメラを設置し取得した車両軌跡データを用いて構築
- 取得した車両軌跡データに基づき、以下を再現
 - 車線変更頻度（右へ：走行車線→追越車線）
 - 車線変更頻度（左へ：追越車線→走行車線）
 - 減速傾向（区間内の平均加速度が $-0.5[m/s^2]$ 未滿）の車両頻度



	60m区間1	60m区間2	60m区間3	60m区間4
右への車線変更頻度	0.2%	0.4%	1.0%	0.6%
左への車線変更頻度	0.2%	0.4%	0.8%	0.2%
減速傾向車両頻度	0.6%	0.4%	0.2%	9.7%

#3：AD2秒車間モデル

- AD車が前方車との車間時間を2秒間空けるように走行するモデル
- AD車は一般ドライバーが運転する車両に比べて車間に余裕を持つと考えられるため、これを再現
 - 車間時間を2秒間確保する車両が混在することによる合流改善効果も検証する

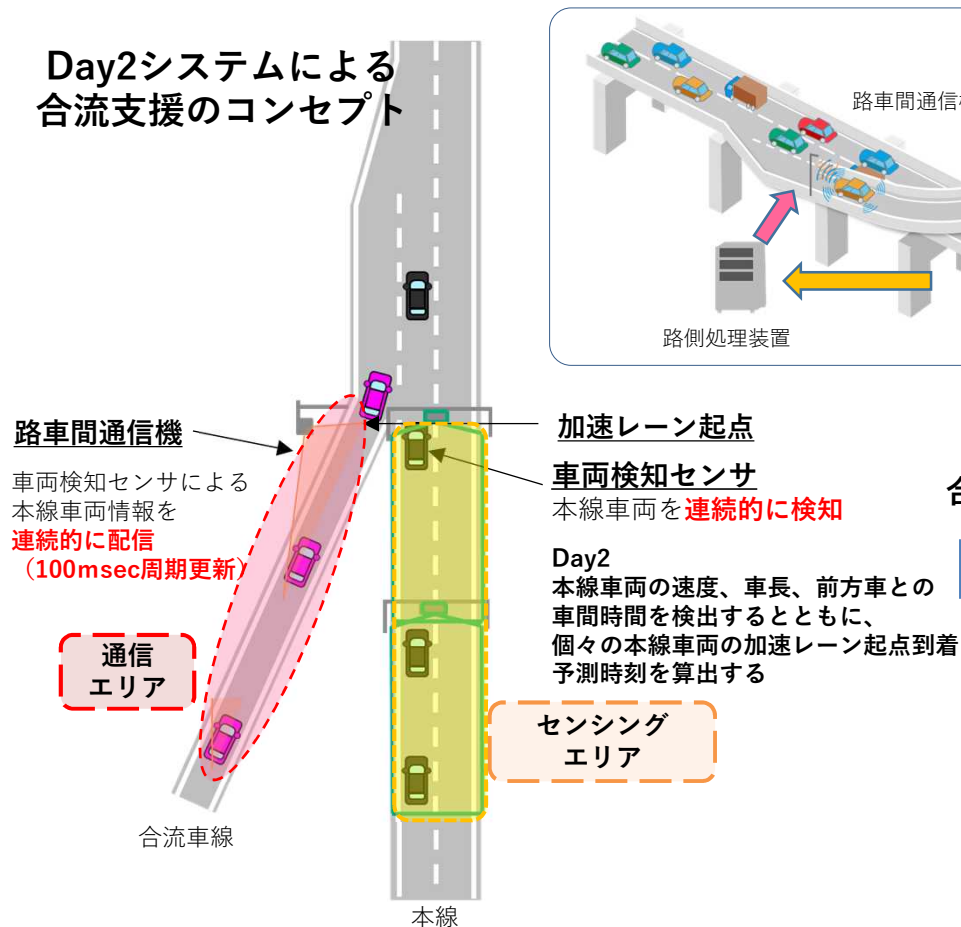


2-2. シミュレーション環境構築

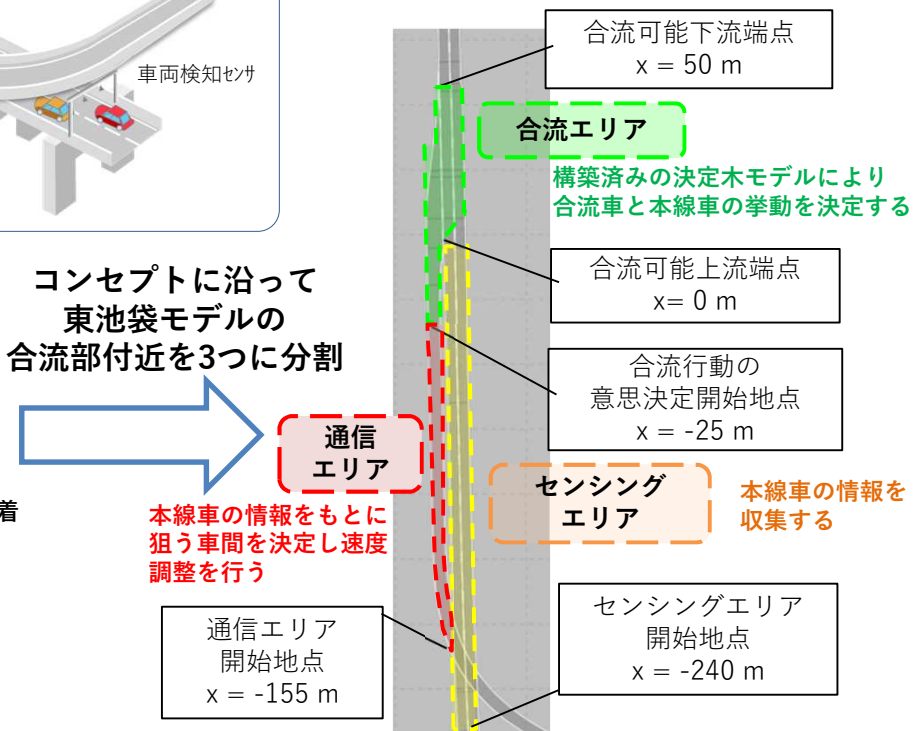
#4 : Day2システムモデル (1/2)

- Day2システムが提供する「本線隙間狙い支援」を再現するモデル
- 本線車両の動きを連続的に取得し、合流AD車に連続的に情報提供
→合流車は本線車と横並びにならないように速度調整を行う

Day2システムによる合流支援のコンセプト



東池袋モデルにおけるDay2システムの実装

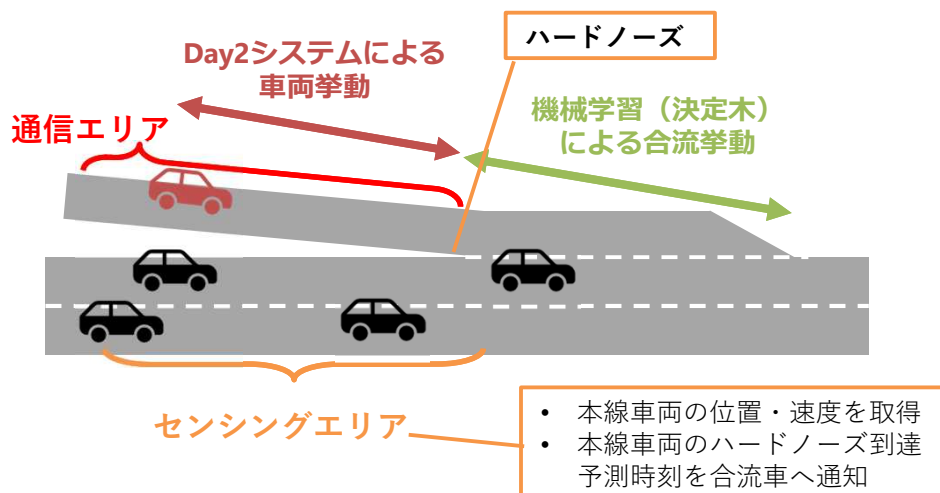


2-2. シミュレーション環境構築 #4 : Day2システムモデル (2/2)

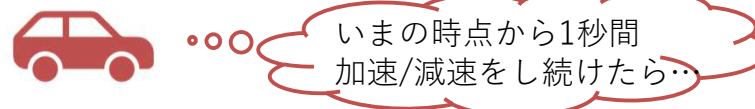
- Day2システムによる情報提供とそれを受けた自動運転車の車両挙動を以下のように定義した

項目	詳細
Day2システムによる合流車への情報提供	<ul style="list-style-type: none"> センシングエリア内の本線車両について、位置と速度を取得 その情報をもとに、それぞれの車両のハードノーズ到達予測時刻を合流車に通知 100msごとに上記2点を実行
情報提供を受けた合流車の車両挙動	<ul style="list-style-type: none"> 行動の選択肢として、強加速、弱加速、加減速なし、弱減速、強減速の5通りを検討 それぞれの行動について、その行動を次の1秒間にとると仮定しハードノーズ到達時の状態を予測 前述の評価点に基づき評価点の高い行動を選択

Day2システムによる合流車への情報提供



情報提供を受けた合流車の通信エリアでの車両挙動

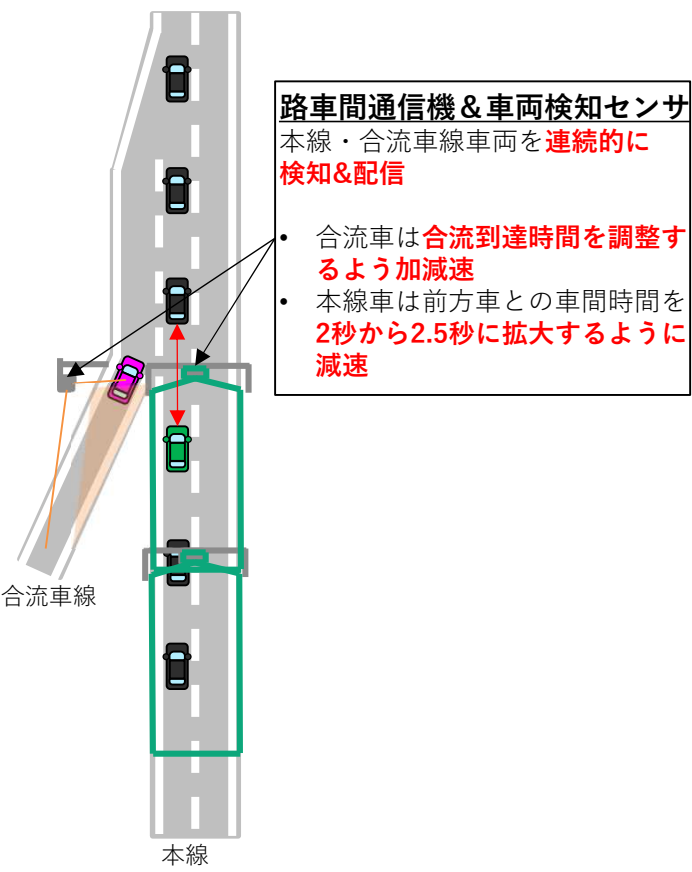


- | | |
|--------------|-----------------|
| ①強加速 +0.2G | 評価点：-30点 |
| ②弱加速 +0.1G | 評価点：50点 |
| ③加減速なし +0.0G | 評価点：80点 |
| ④弱減速 -0.1G | 評価点：100点 |
| ⑤強減速 -0.2G | 評価点：70点 |

→ 次の1ステップは評価値が最大である「④弱減速 -0.1G」を採用する

2-2. シミュレーション環境構築 #5 : Day3システムモデル

- Day3システムが提供する「本線車協調支援」を再現するモデル
- Day2システムモデルに加え、路側より本線車に合流支援指示
 - 本線車は前方車との車間時間を2.0秒→最大2.5秒に維持または拡大
 - 支援開始時に、既定の7つの状況から1つが選択され、合流AD車・本線AD車はその選択に応じた挙動をとる(右下表)

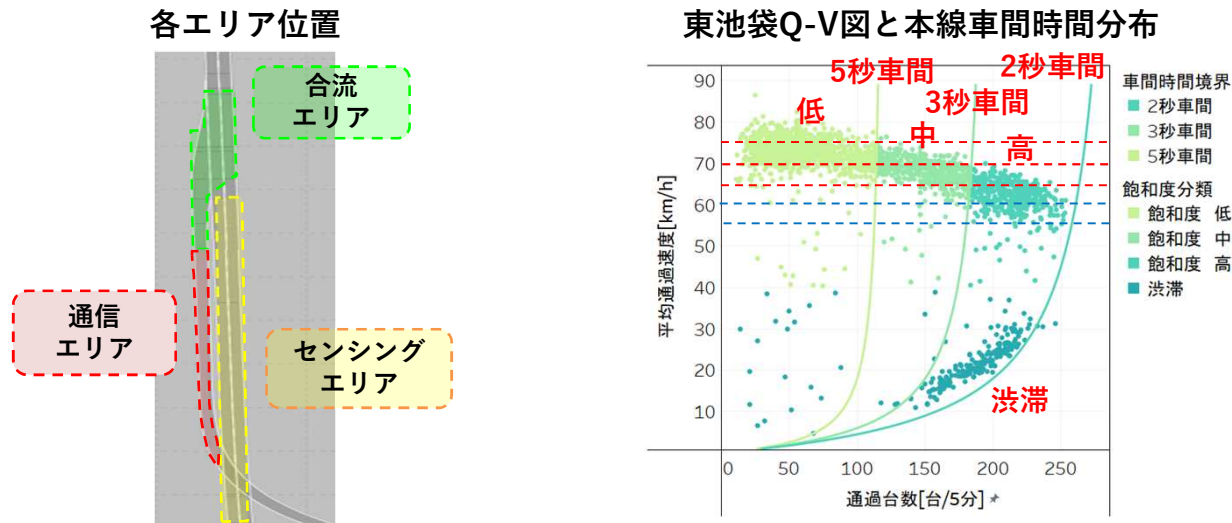


#	車種			右図の 車間	右図の 車間	合流 AD車 支援	本線 AD車 支援	本線 支援 対象	合流車が合流エリアに進入後 全ての車両が等速移動するとして 予測した合流エリアの状況
	合流	本線後続 1台め (C車)	本線後続 2台め (F車)						
1	一般	-	-	-	-	行わない	行わない	-	
2	AD	一般	一般	-	-	行う	行わない	-	
3	AD	一般	AD	2.5秒以上	-	行う	行わない	-	
4	AD	一般	AD	2.5秒未満	2.5秒以上	行う	2.5秒以上の車間をキープ	後続2台め(F車)	
5	AD	一般	AD	2.5秒未満	2.5秒未満	行う	減速指示	後続2台め(F車)	
6	AD	AD	-	2.5秒以上	-	行う	2.5秒以上の車間をキープ	-	
7	AD	AD	-	2.5秒未満	-	行う	減速指示	後続1台め(C車)	

※ “-” : 確認しない条件、★ : 合流AD車支援対象、☆ : 本線AD車支援対象、 : ターゲット車間

2-3. 分析シナリオ 通信エリア・センシングエリアの長さの組合せ

- 各組み合わせについて、支援によりカバーできる交通密度の範囲を 想定し、トラフィックカウンターデータの本線速度から算出

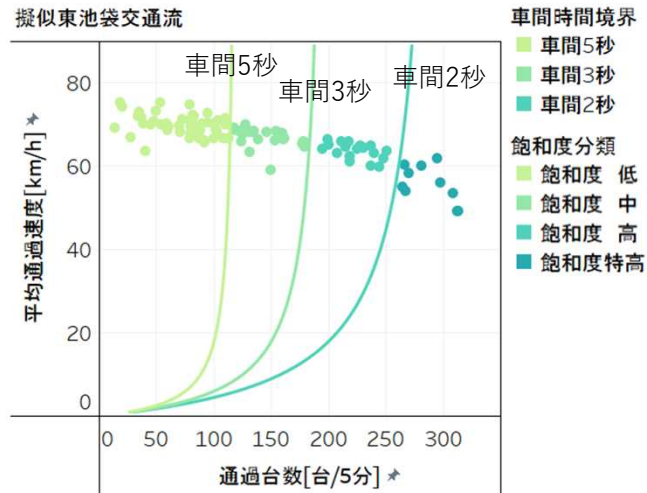
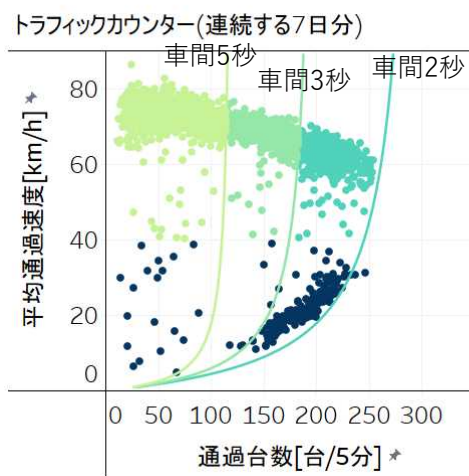


シミュレーション時のパラメータ組合せ (Q-V図からの支援エリア設計)

本線平均 車速 [km/h]	合流平均 車速 [km/h]	通信 エリア [m]	センシング エリア [m]	備考 支援効果期待値
75	51	130	240	交通飽和度低までカバー (車間時間が大きいいため支援効率はよくない)
70	51	120	210	交通飽和度中までカバー (最も効率的に支援効果が出せる)
65	51	110	180	交通飽和度高までカバー (最も効率的に支援効果が出せる)
60	51	90	150	交通飽和度高 1/2~1/3までカバー
55	51	80	130	効果が少ないと見込まれる物的限界

2-3. 分析シナリオ 交通飽和度の定義

- 2022年度の分析で本線交通流量ごとの合流支援効果を算出するため、本線が空いている～混んでいる状況を、飽和度低～特高の4段階に区分
- トラフィックカウンターデータに基づき飽和度ごとの発生台数を決定



飽和度	1時間当たり 合流車線発生台数	1時間当たり 本線車線発生台数
低	20～140	100～700
中	140～220	700～1100
高	220～300	1100～1500
特高	300～360	1500～1800

2-4. 本分析の留意点

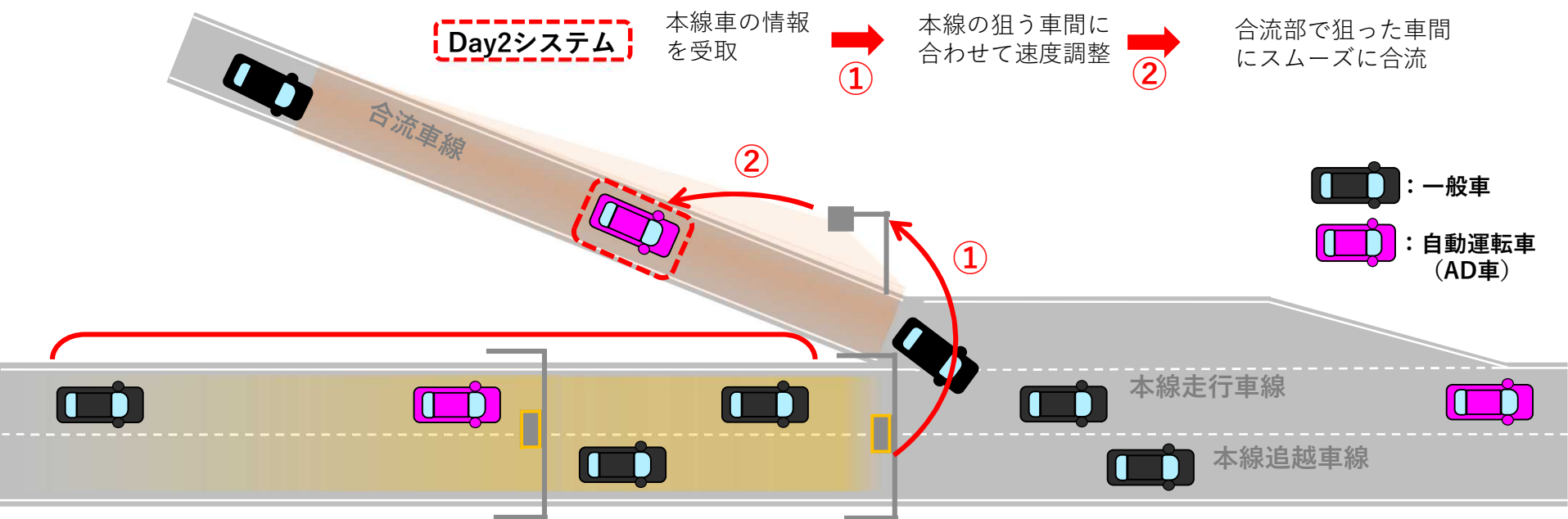
- モデルごとの留意点は下記の通り

項目	内容
シミュレーションによる分析対象箇所	首都高速5号池袋線下り東池袋入口 合流部
評価点の定義と合流改善効果	評価点の定義は本事業内でシミュレーション実務者会議の関係者と協議の上決定 シナリオ間の評価点の比較により合流改善効果を検証
評価点による合流の余裕度の区分とコンセプト成立性	合流の余裕度の区分は本事業内でシミュレーション実務者会議の関係者と協議の上決定 余裕のない合流の発生頻度に基づきコンセプト成立性を検証
AD車の前方車との車間	2.0秒以上の車間を空ける
Day2・Day3システムモデルにおける合流車の行動変更を判断する頻度	100msに1回
本線車隙間狙い支援における合流起点(合流可能上流端点)到達予測時刻	-0.2Gから+0.2Gの範囲の加減速を1秒間継続した場合を想定
本線車協調支援における対象本線AD車の前方車との車間	維持すべき最小車間時間を2.0秒から2.5秒の車間に拡大
シミュレーションにおける発生車両	普通車のみ
飽和度特高の交通流時の合流挙動について	分析対象箇所の実交通流では発生し得ない流量 よって合流挙動の決定木アルゴリズムの学習範囲外であり合流挙動の再現性が未検証

3. Day2システムの検証

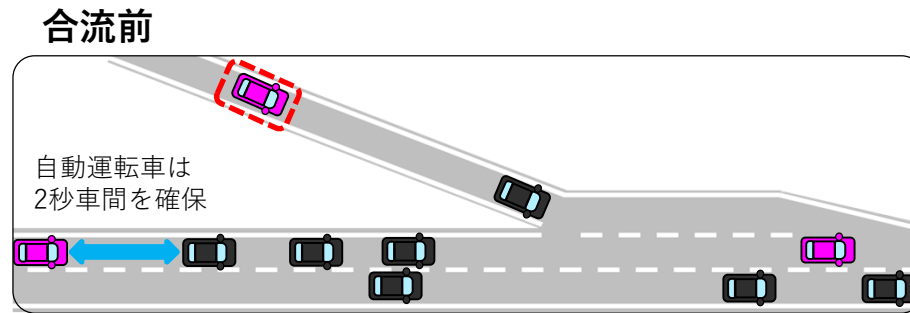
3-1. Day2システムのコンセプト成立性の検証

- Day2システム導入による合流改善効果とその水準(コンセプト成立性)を検証
- 仮説
 - 合流AD車に対して本線車両の情報を配信し、合流AD車が事前に速度調整することで合流が改善
 - 特に、合流部で合流車両と本線車両が横並びになるような合流で効果大
- 検証方法
 - 支援システムなしシナリオとDay2システム導入シナリオの結果を評価
 - AD車混在率：20%
 - 使用する交通流：疑似東池袋交通流 (P.18)



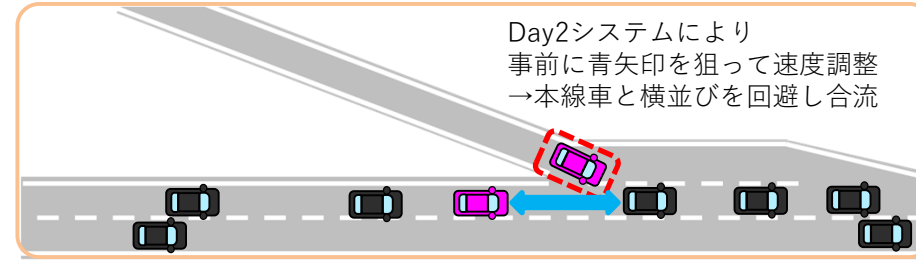
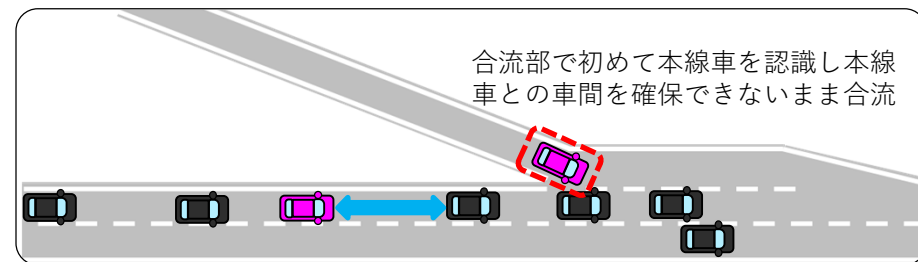
3-1. Day2システムのコンセプト 成立性の検証 合流支援を受けた自動運転車両の挙動

- Day2システム導入により改善した合流の例は以下の通り



支援システムなし：評価点では「余裕のない合流」と評価

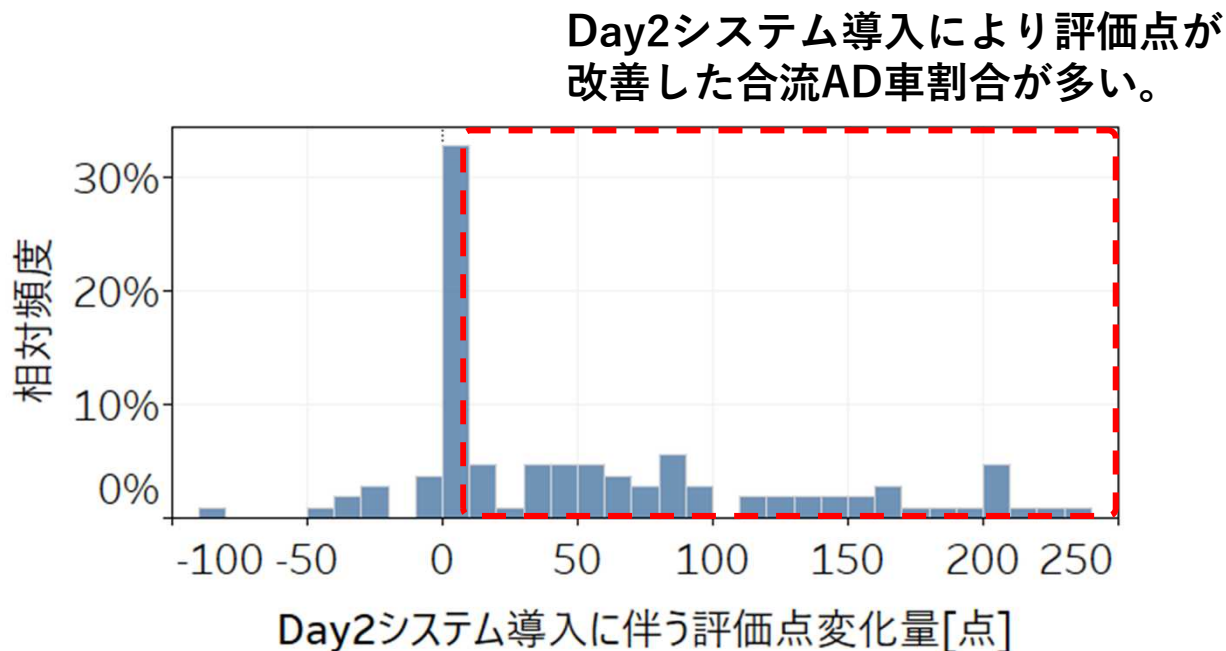
Day2システム：合流車への支援で横並び回避



支援システムがない場合は本線車と合流部で横並びになっていた合流車が、
Day2システムの支援により横並びを回避して合流
→余裕のある合流となり、合流が大きく改善

3-1. Day2システムのコンセプト成立性の検証 合流改善効果

- Day2システム導入に伴う評価点変化量の分布により合流改善効果进行评估



評価点の改善幅

Day2システム導入により評価点が改善した合流AD車が多く、100点以上の改善が見られた合流AD車も確認された。

→Day2システムは合流改善効果が大きい

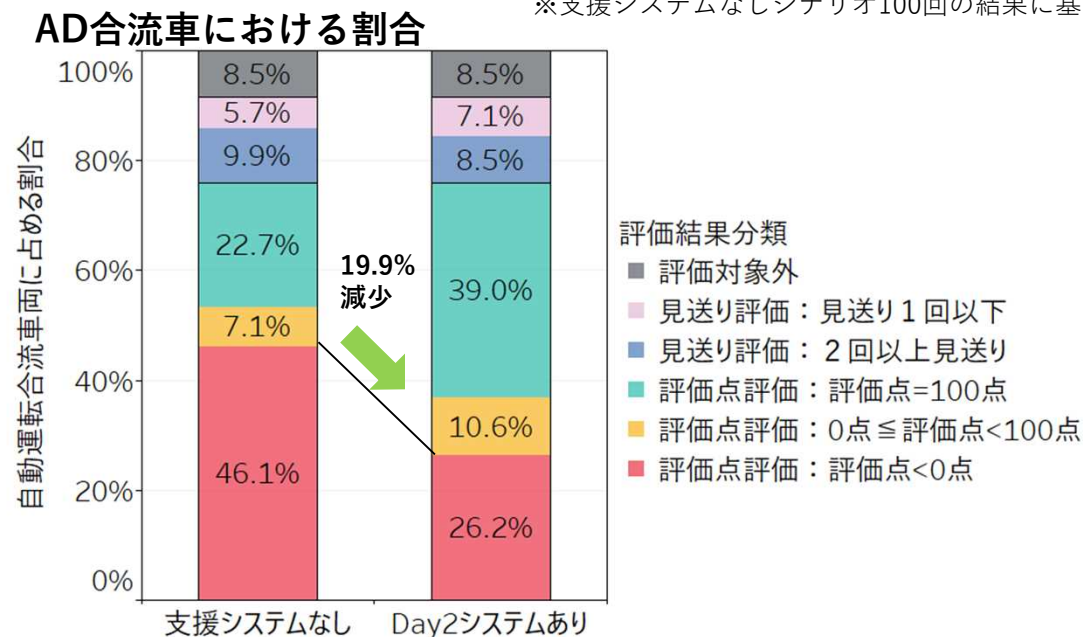
3-1. Day2システムのコンセプト成立性の検証

コンセプト成立性

「評価点評価の対象台数に占める評価点0点未満台数割合(A)」に基づく以下基準により、コンセプト成立性を評価

支援システムなしシナリオに対するAの改善率 > **21.3%**(※)

※支援システムなしシナリオ100回の結果に基づき算出



評価観点	合流評価点	見送り
Day2システム導入による変化	余裕のない合流の割合が19.9%減少 (改善率43.0%)	大きな変化なし

「余裕のない合流」でなくなったか

Day2システムにより余裕のない合流の割合がおよそ半減した
 → Day2システムはコンセプト成立性の基準を満たした

3-2. システム物理条件変更時のコンセプト成立性の検証 (1/2)

- 社会実装に際してDay2システムに要求されるシステム物理条件を検証
- 検証方法
 - 以下の物理条件をそれぞれ変更させたシナリオの結果を評価
 - センシングエリア/通信エリアの長さ
 - 本線車情報の伝達時間
 - 本線車位置情報の誤差
 - 本線車速度情報の誤差
 - 上記の物理条件の総当たり組み合わせ各シナリオについて結果を評価
 - AD車混在率：20%
 - 使用する交通流：疑似東池袋交通流 (P.18)

※評価点評価と見送り評価を統合した指標を用いて

支援システムなしシナリオに対する改善率により評価を実施

3-2. システム物理条件変更時のコンセプト成立性の検証 (2/2)

- システム物理条件それぞれの結果を比較した結果は以下の通り。

支援システムの物理条件	支援効果への影響
位置誤差(m) 0/-1~1 上記範囲を上下限とする一様分布	Day2の支援効果は 位置誤差の有無に影響されない
センシングエリア・通信エリア(m) 240・130/210・120/ 180・110/150・90/130・80	エリア長が長いほど支援効果が増大する
情報提供遅延(s) 0/0.4/0.8/1.3 上記を平均値とする標準偏差0.2の正規分布	遅延が少ないほど支援効果が増大する
速度誤差(km/h) 0/-6~6/-12~12/-12~0 上記範囲を95%区間とする正規分布	誤差が小さいと、基本的に支援効果は増大する

3-2. システム物理条件変更時のコンセプト成立性の検証(成立性の評価)

- Day2システムのコンセプト成立性があるシステム物理条件の範囲を検証

※表内の数字[%]は、支援システムなしシナリオに対する余裕のない合流の発生頻度の改善率を表す

※コンセプト成立性の基準は支援システムなしシナリオの100回の実行結果に基づき**改善率>18.6%**とした

情報提供遅延† (s)	速度誤差* (km/h)	センシングエリア(m)/通信エリア(m)				
		130/80	150/90	180/110	210/120	240/130
1.3	-12~0	-11.53%	-12.79%	-10.17%	-9.23%	-9.70%
	-12~+12	4.26%	11.38%	15.68%	16.08%	17.70%
	-6~+6	7.12%	13.03%	21.46%	18.05%	14.12%
	0	8.49%	11.90%	17.40%	17.75%	20.45%
0.8	-12~0	2.65%	10.07%	16.84%	18.29%	15.55%
	-12~+12	16.61%	18.32%	26.67%	29.13%	28.18%
	-6~+6	19.75%	24.29%	29.28%	28.25%	31.31%
	0	20.44%	23.64%	30.30%	26.62%	26.67%
0.4	-12~0	18.96%	23.39%	25.49%	22.20%	28.32%
	-12~+12	24.26%	21.49%	27.74%	29.21%	29.05%
	-6~+6	22.48%	24.92%	27.93%	27.25%	31.12%
	0	27.36%	26.93%	26.25%	28.36%	28.61%
0	-12~0	22.83%	25.21%	29.21%	26.52%	32.20%
	-12~+12	23.49%	24.88%	24.78%	24.17%	30.27%
	-6~+6	27.56%	26.16%	30.94%	32.79%	35.68%
	0	27.19%	28.74%	30.05%	29.97%	32.11%

成立性なし

成立性あり

†当該値を平均値、標準偏差を0.2とする正規分布 *当該範囲を95%区間とする正規分布

「余裕のない合流」でなくなったか

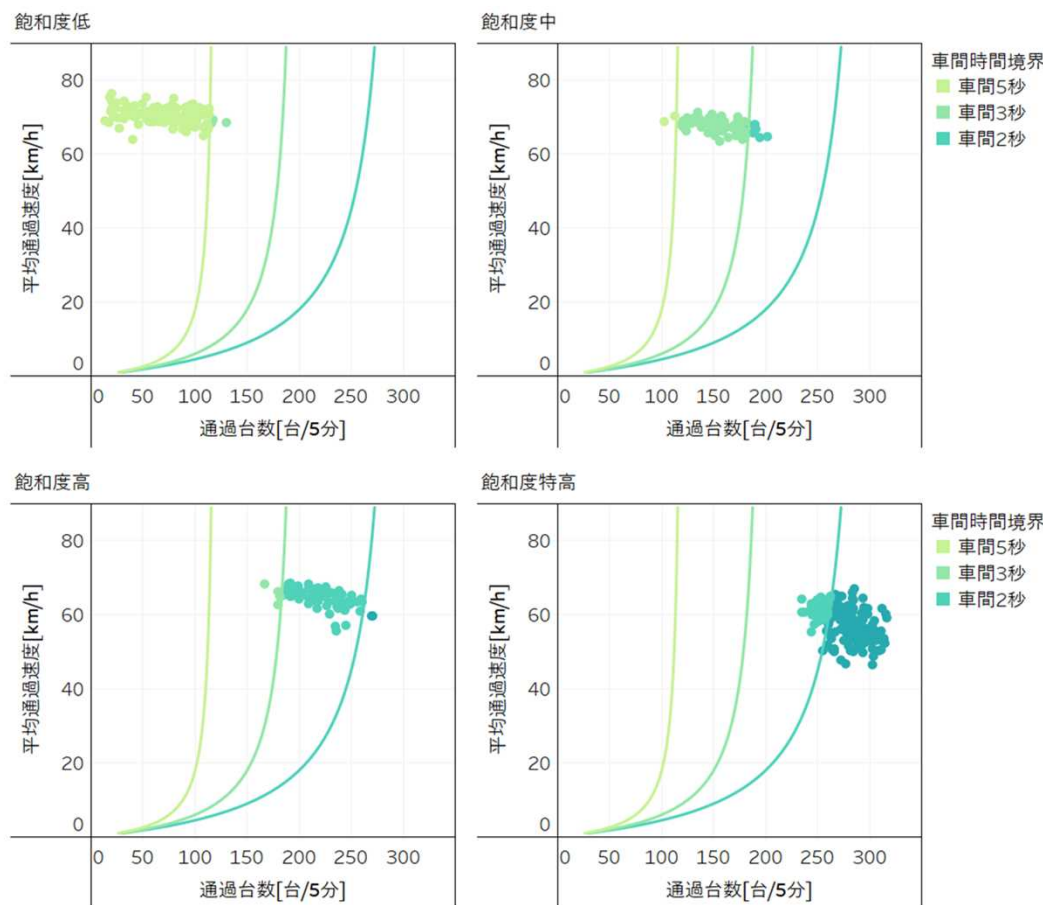
位置誤差以外の物理条件については条件がよいほど余裕のない合流が減少する
特に情報提供遅延の影響が大きく、1.3sの遅延があると改善率は大きく低減

→Day2システムは赤枠内の物理条件においてコンセプト成立性の基準を満たした

3-3. 交通流条件変更時のコンセプト成立性の検証

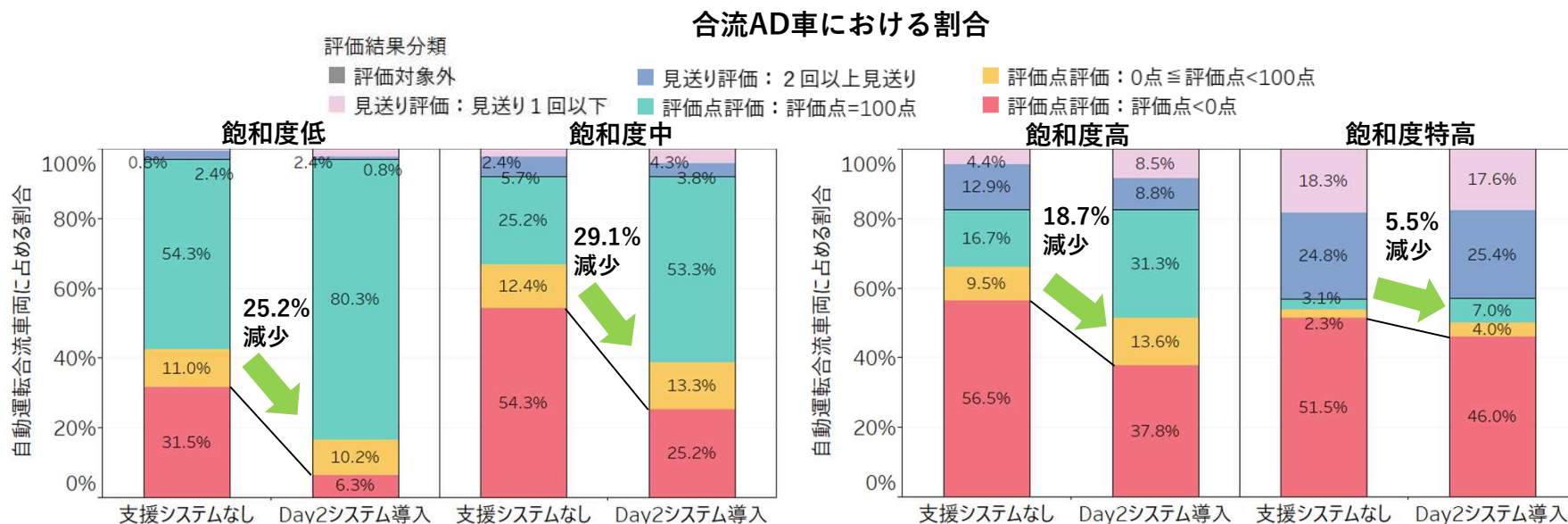
- 交通流条件の変更によるDay2システムの合流支援効果への影響を検証
- 仮説
 - Day2システムは合流AD車に対し余裕のある本線車間への合流を促すものであるため、本線交通流の密度によって合流効果変動する
 - 特に本線交通流が密である場合には余裕のある車間が少なくなるため、合流改善効果が低減する
- 検証方法
 - 飽和度低・中・高・特高の交通飽和度ごとのシナリオについて結果を比較
 - AD車混在率：20%
 - 使用する交通流：各飽和度の交通流

飽和度	1時間当たり合流車線発生台数	1時間当たり本線車線発生台数
低	20~140	100~700
中	140~220	700~1100
高	220~300	1100~1500
特高	300~360	1500~1800



3-3. 交通流条件変更時のコンセプト成立性の検証

- 飽和度別のコンセプト成立性の評価結果は以下の通り



評価観点

交通流条件
変更による
変化

合流評価点

- 飽和度中で「余裕のない合流」の割合が最も減少 (29.1%)
- 飽和度特高ではDay2システム導入による影響が小さい (5%程度)

見送り評価

- 飽和度が高くなると見送り2回以上となる割合が増加した

「余裕のない合流」でなくなったか

Day2システムにより改善した「余裕のない合流」は飽和度中>低>高>特高の順に多い
飽和度低においては、Day2システムにより余裕のない合流を合流AD車の5%程度に抑制
→Day2システムは、飽和度低～高においてコンセプト成立性の基準を満たした

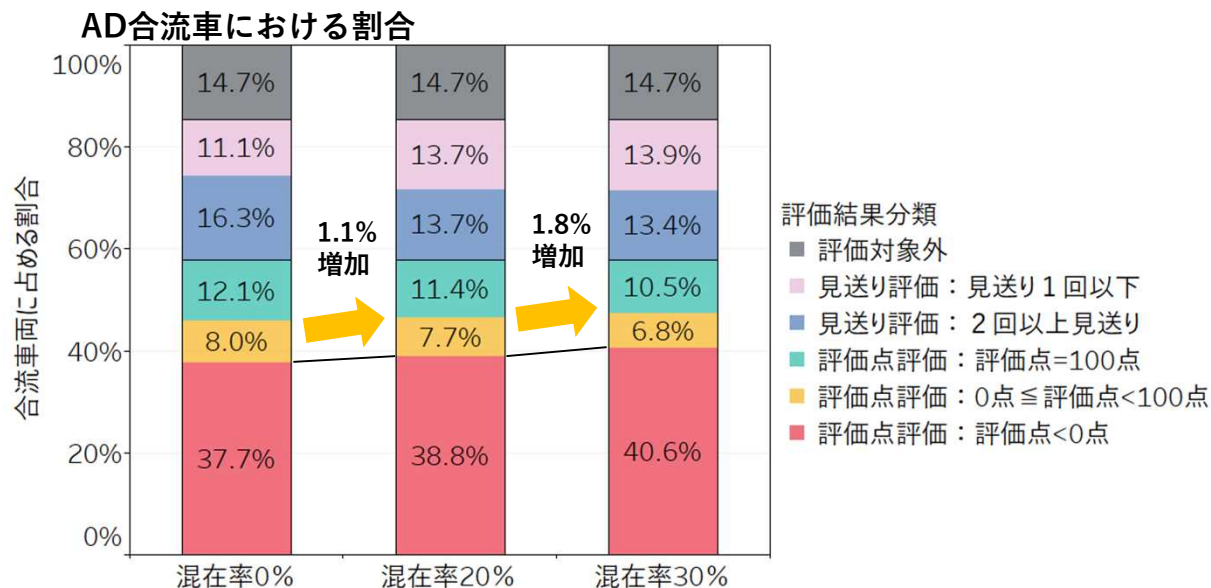
4. Day3システムコンセプトの成立性確認

4-1. AD車混在率変化による支援効果への影響確認

- Day3システムはAD車の混在率（普及率）が30%程度を想定
→AD車混在率が変化した際の合流への影響を評価
- 仮説
 - AD車が増加することで、本線の平均的な車間時間が長くなり、合流が改善する
 - AD車は前方車との車間時間が2秒間空くように走行する
- 検証方法
 - AD車混在率が異なる支援システムなしシナリオの結果を比較
 - AD車混在率：0%、20%、30%
 - 使用する交通流：飽和度高の交通流

4-1. AD車混在率変化による支援効果への影響確認

- AD車混在率ごとの評価結果は以下の通り



評価観点

混在率増加に伴う影響

合流評価点

余裕のない合流が増加する

見送り評価

大きな変動は見られない

「余裕のない合流」でなくなったか

AD車混在率の増加に伴い余裕のない合流が増加する

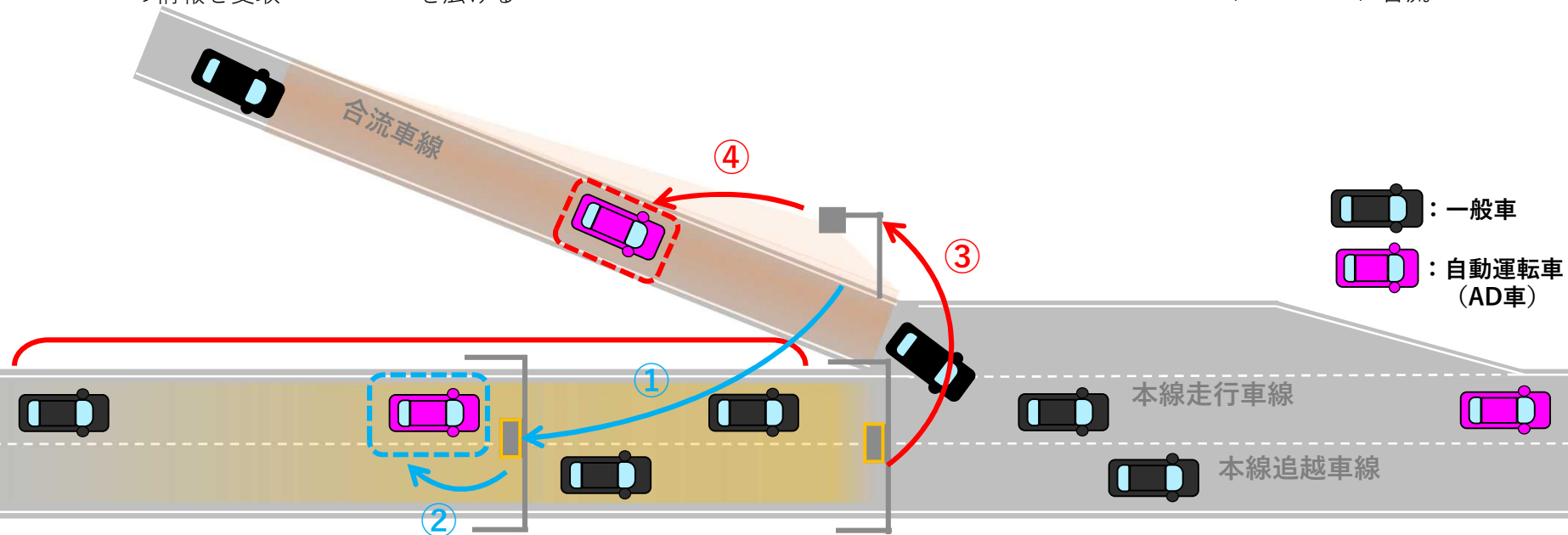
本線にAD車が入ることで均等に車間が開くようになり、40km/h以下の車列が長時間続く

4-2. Day3システムのコンセプト成立性検証

- Day3システム導入による合流改善効果とその水準(コンセプト成立性)を検証
- 仮説
 - 本線AD車が前方車との車間を拡大することで合流が改善する
- 検証方法
 - Day3システム導入シナリオの結果を支援システムなしシナリオ・Day2システム導入シナリオの結果と比較
 - AD車混在率：20%、30%
 - 使用する交通流：飽和度高の交通流

Day3システム

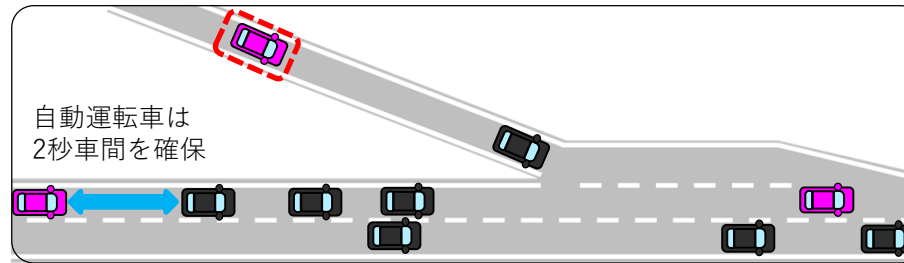
- ① 合流車線のAD車の情報を受取 → 前方車との車間を広げる
- ② 本線車の情報を受取
- ③ 本線の狙う車間に合わせて速度調整
- ④ 合流部で狙った車間にスムーズに合流



4-2. Day3システムのコンセプト 成立性検証 合流支援を受けた自動運転合流車両の挙動

- Day2システム・Day3システムの導入により改善した合流の例は以下の通り

合流前



Day2システム：合流車への支援で横並び回避

Day3システム：合流車への支援で横並び回避
+ 本線車への支援で車間拡大

青矢印を狙って速度調整
スムーズな合流に

2.5秒車間に拡大

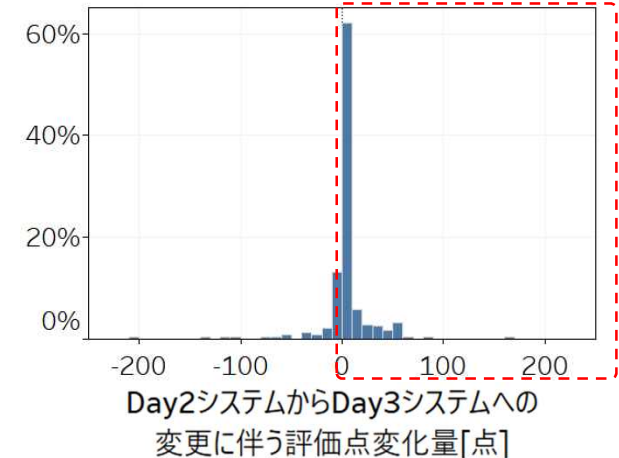
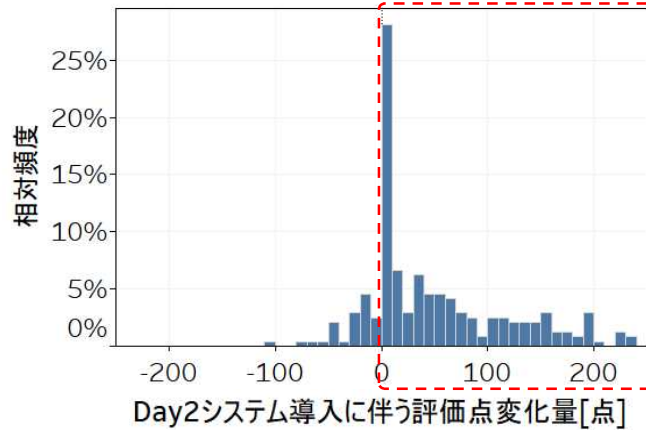
より余裕のある合流に

本線車との横並び回避だけでなく、Day3システムによってより広い車間に合流

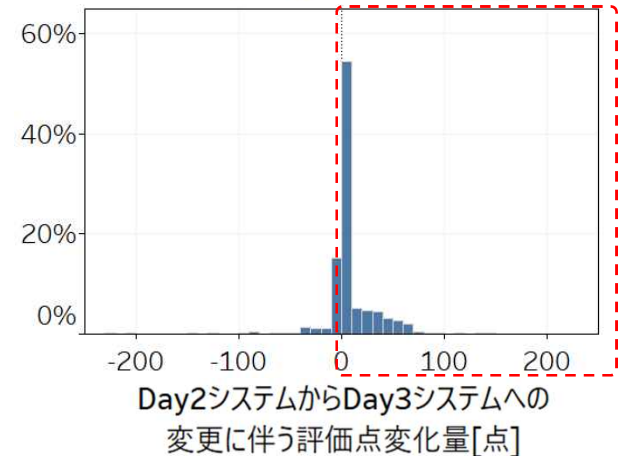
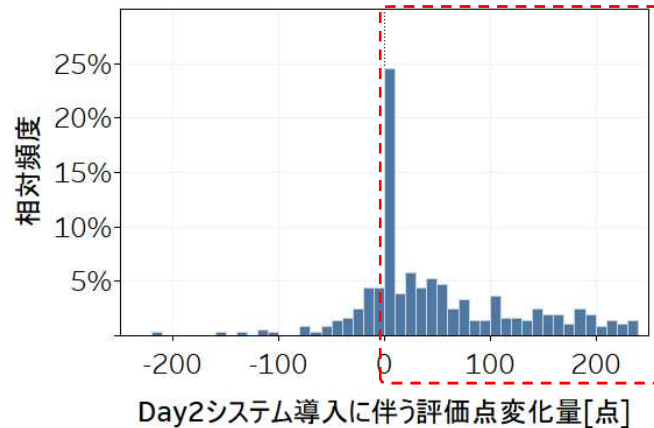
4-2. Day3システムのコンセプト成立性の検証 合流改善効果

- Day3システム導入に伴う評価点変化量の分布により合流改善効果进行评估

AD車混在率
20%



AD車混在率
30%



評価点の改善幅

- Day3システム導入により、支援なしから評価点が改善した合流AD車台数はDay2導入時より増加した
- AD車混在率が高まる(20%→30%)と、より高く点数が改善した車両が増加し、合流改善効果が高くなる
→支援のない状況にDay3システムを導入すると、Day2システムと同程度の大きな合流改善効果を得られる
ただしDay2→Day3で本線車協調支援が追加されたことによる、さらなる合流改善効果は限定的である

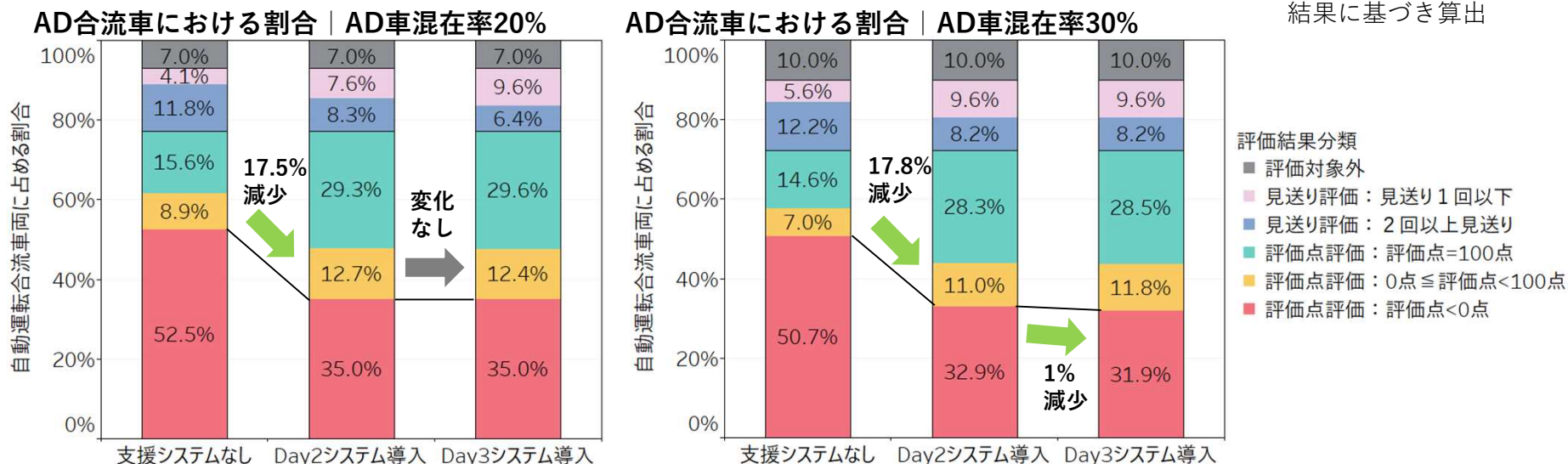
4-2. Day3システムのコンセプト成立性検証

コンセプト成立性

- 「評価点評価の対象台数に占める評価点0点未満台数割合(A)」に基づく以下の基準によりコンセプト成立性を評価

Day2システム導入シナリオに対するAの改善率 > **21.3%**(※)

※支援システムなしシナリオ100回の結果に基づき算出



評価観点

合流評価点

見送り評価

支援システムなしとDay3システム導入を比較

AD車20%：余裕のない合流が17.5%減少（改善率33.3%）
AD車30%：余裕のない合流が18.8%減少（改善率37.1%）

ほとんど影響なし

Day2システム導入とDay3システム導入を比較

ほとんど影響なし

ほとんど影響なし

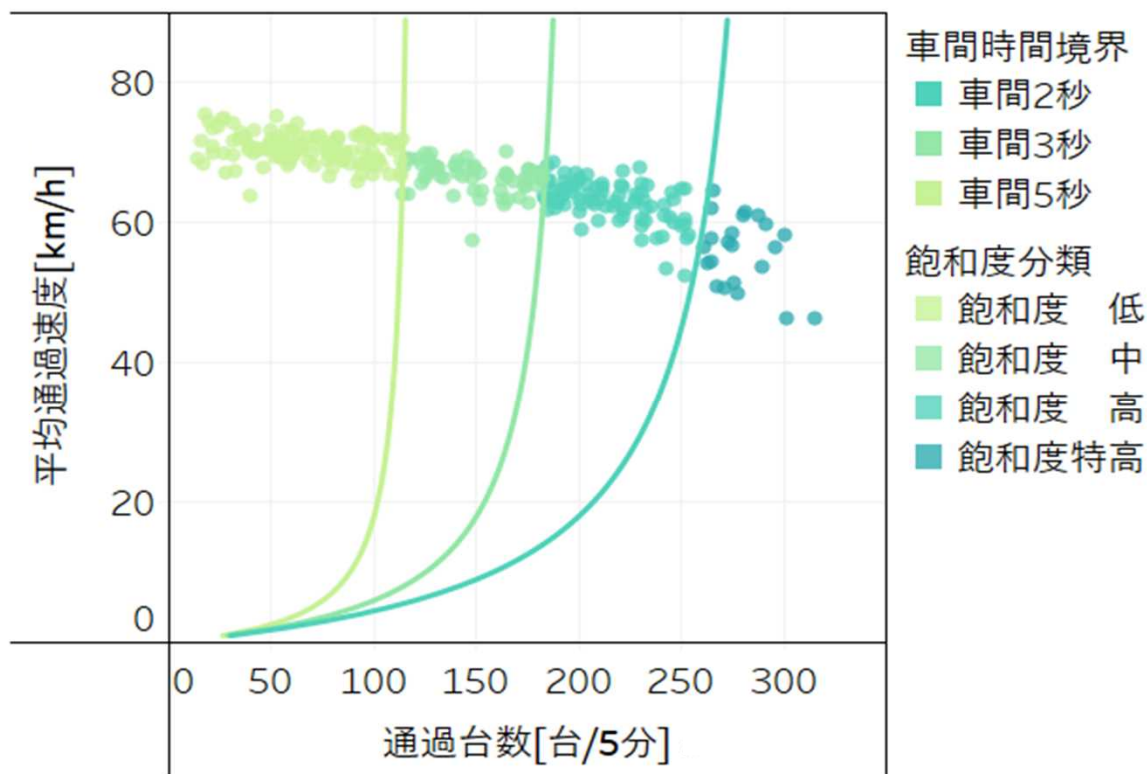
「余裕のない合流」でなくなったか

前ページと同様、支援のない状況にDay3システムを導入すると、Day2システムと同程度に余裕のない合流の改善効果があるが、Day2→Day3で追加した本線車協調支援による、余裕のない合流の改善効果は限定的→ただしこの結論はDay2→Day3で追加した本線車協調支援の設定で車間拡大目標として2.5秒を採用した場合の結論であり、より多様な条件における追加検証が必要

5.実交通流を想定した 合流支援システムの1日の導入効果推計

5.実交通流を想定した合流支援システムの1日の導入効果推計

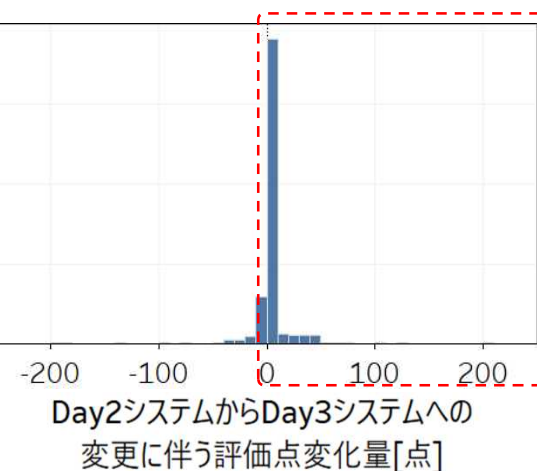
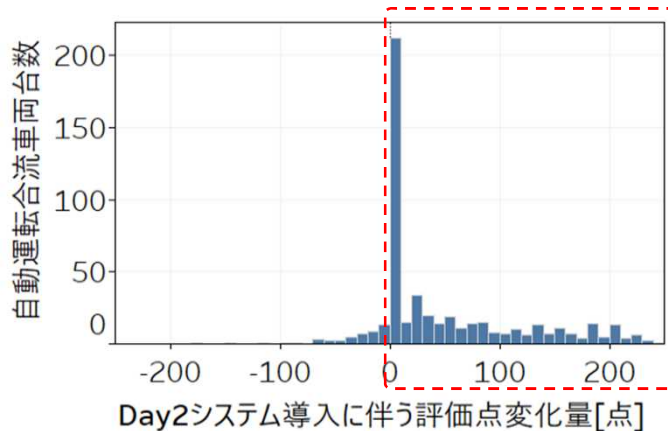
- Day2システム・Day3システムの1日の合流改善効果を推計
- 推計方法
 - Day2システム導入シナリオ・Day3システム導入シナリオの結果を支援システムなしシナリオと比較
 - AD車混在率：20%
 - 使用する交通流：東池袋入口における1日分の現実的な交通流交通流の時系列変化を5分単位で再現



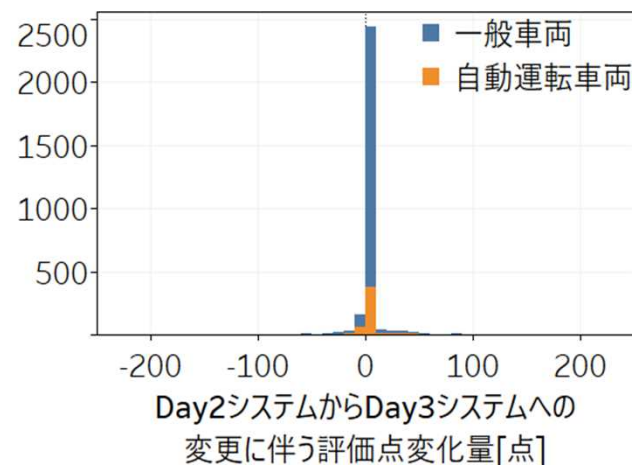
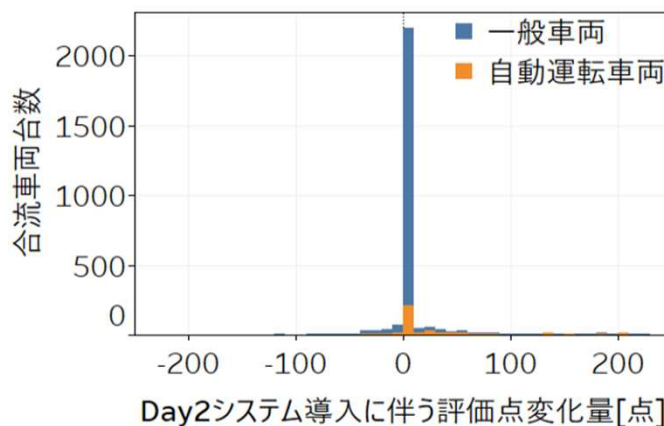
5.実交通流を想定した合流支援システムの1日の導入効果推計 合流改善効果

- Day2システム・Day3システムの導入に伴う評価点変化量の分布により合流改善効果进行评估

合流AD車



合流車全体



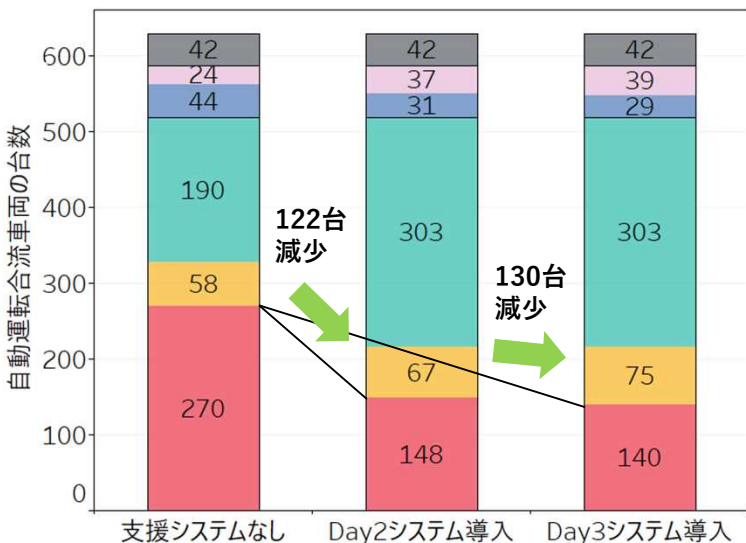
評価点の改善幅

- 合流AD車：Day2システム導入に伴う評価点改善(赤破線囲み内)が確認された
- 合流一般車：ほとんどが評価点改善の幅が0点であった

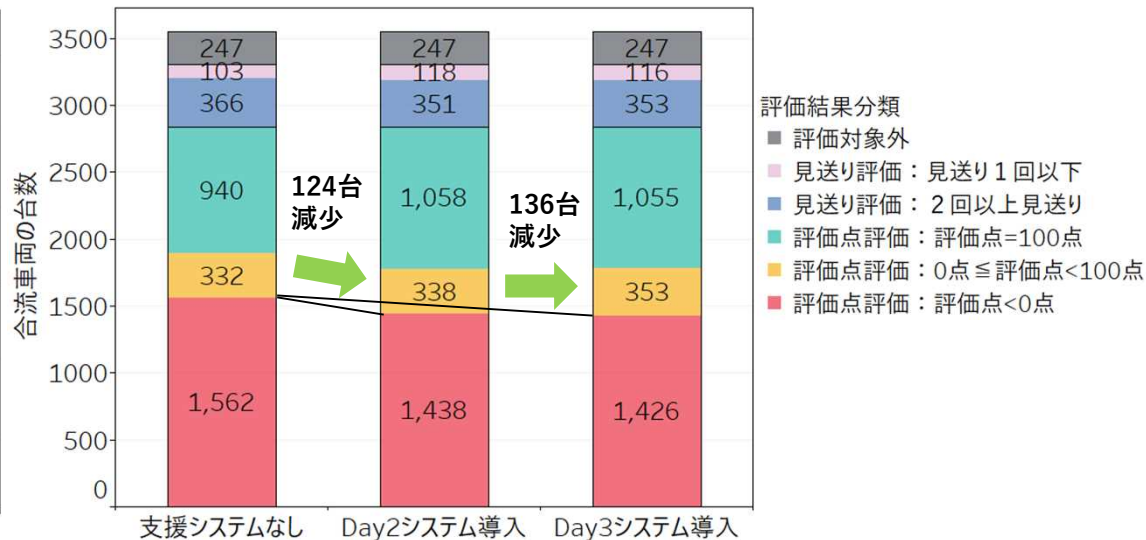
5.実交通流を想定した合流支援システムの1日の導入効果推計 コンセプト成立性

- コンセプト成立性の検証として、評価結果分類ごとの車両台数割合を比較

AD合流車における台数



全合流車における台数



評価結果分類

- 評価対象外
- 見送り評価：見送り1回以下
- 見送り評価：2回以上見送り
- 評価点評価：評価点=100点
- 評価点評価：0点 ≤ 評価点 < 100点
- 評価点評価：評価点 < 0点

評価観点

合流評価点

見送り評価

合流AD車のみ	Day2システム	余裕のない合流が122台減少(改善率45%)	ほとんど影響なし
	Day3システム	余裕のない合流が130台減少(改善率48%)	ほとんど影響なし
合流車全体	Day2システム	余裕のない合流が124台減少(改善率8%)	ほとんど影響なし
	Day3システム	余裕のない合流が136台減少(改善率9%)	ほとんど影響なし

「余裕のない合流」でなくなったか

- Day2・Day3システムの導入で、支援なし時に余裕のない合流であった合流AD車台数は凡そ半減
- 支援なし→Day2の効果を100%とすると、支援なし→Day3の改善効果は107%程度であった
→本線車協調支援の設定(車間拡大目標:2.5秒)の結果であり、別の設定ではさらなる改善可能性あり

6.まとめ

6-1. 本事業における前提条件と実施内容

- 主な前提条件
 - 対象地：首都高速5号池袋線下り東池袋入口
 - AD車普及の想定範囲：AD車混在率20%、30%
 - AD車普及の比較的早期の段階を想定しAD車混在率20%と30%を対象とした
 - AD車の基本挙動と合流支援システムによる行動変更
 - AD車の基本挙動：一般ドライバーの平均よりも車間に余裕を持つと想定し、前方車との車間時間を2秒以上確保
 - Day2システム：合流車線AD車が合流部に進入する前に事前の加減速を行い合流時の速度・車間を調整
 - Day3システム：Day2システムに加え、本線AD車も合流部進入前に事前の加減速を行い前方車との車間時間を拡大
- 実施内容
 - Day2システムの検証
 - Day2システムのコンセプト成立性の検証
 - システム物理条件変更時のコンセプト成立性の検証
 - 交通流条件変更時のコンセプト成立性の検証
 - Day3システムコンセプトの成立性確認
 - Day3システムのコンセプト成立性検証
 - 評価方法
 - 合流車の合流時前後車間の余裕度合いを車間距離・相対速度により点数化した『評価点』をベースとして、「合流改善効果」と「コンセプト成立性」の2つの観点から評価
 - 合流改善効果：支援システムなしの状態に対する各車両の評価点の改善量を評価
 - コンセプト成立性：支援システムなしの状態に対する余裕のない合流*1の改善量に基づき下記のように判断
 1. 支援システムなしシナリオを100回計算し、シミュレーションの確率的ゆらぎ(余裕のない合流の発生量のばらつき)を推定
 2. Day2システム導入時の「余裕のない合流の発生量」が確率的ゆらぎを超えて改善したか否か*2で有効性を判断

*1 余裕のない合流：合流車の前方車と合流車・合流車と合流車の後方車の2車間について、合流後に車間距離15m以上を確保しつつ相対速度を0km/hにする場合に0.3G以上の強い減速が必要な合流

*2 「余裕のない合流の改善率>18.6%」を閾値とした。なお、「余裕のない合流の改善率=1-支援システム導入シナリオの余裕のない合流の発生量/支援システムなしシナリオの余裕のない合流の発生量」として定義され、18.6%は支援システムなしシナリオ100回分の余裕のない合流の発生量の計算結果に箱ひげ図外れ値判定アルゴリズムを適応して算出したものである。

6-2. Day2システムの検証条件と検証結果

Day2システム：合流車線AD車が事前の加減速を行い合流時の速度・車間を調整

- 検証条件
 - AD車普及想定：AD車混在率20%
 - Day2システム導入のタイミングとして想定されているAD車導入期を想定して設定
 - システム物理条件の項目：下記5項目
 - 通信エリア長、センシングエリア長、情報伝達時間、本速度情報誤差、本位置情報誤差
 - 交通流条件：対象地の実交通流における交通量を模擬
 - 交通流条件の変更パターン：平均車間時間を基準とした下記4パターン
 - 飽和度低(5秒以上)、飽和度中(5秒～3秒)、飽和度高(3秒～2秒)、飽和度特高(2秒未満)

対象	検証内容	検証結果										
Day2 シス テム	Day2システムの コンセプト成立性検証	<ul style="list-style-type: none"> • 過半数の合流AD車について評価点の向上が見られ、Day2システムによる合流改善効果が確認できた (P.25) • Day2システムの導入により「余裕のない合流」の発生量がおおよそ半減し、コンセプトの有効性が確認できた (P.26) 										
	システム物理条件変更時 のコンセプト成立性の検証	<ul style="list-style-type: none"> • システム物理条件が好条件である範囲内(下表)においてコンセプトの有効性が確認できた (P.29) <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>通信エリア長</th> <th>センシングエリア長</th> <th>情報伝達時間</th> <th>速度情報誤差</th> <th>位置情報誤差</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>80m以上</td> <td>130m以上</td> <td>0.8秒以下</td> <td>±6km/h以内</td> <td>なし</td> </tr> </tbody> </table>	通信エリア長	センシングエリア長	情報伝達時間	速度情報誤差	位置情報誤差	80m以上	130m以上	0.8秒以下	±6km/h以内	なし
	通信エリア長	センシングエリア長	情報伝達時間	速度情報誤差	位置情報誤差							
80m以上	130m以上	0.8秒以下	±6km/h以内	なし								
交通流条件変更時の コンセプト成立性の検証	<ul style="list-style-type: none"> • 飽和度低～高の範囲内ではコンセプトの有効性が維持されることが確認できた (P.31) • 特に飽和度低では、評価点が低い「余裕のない合流」を合流AD車の5%程度に抑制する程、高い効果が確認できた 											

6-3. Day3システムの検証条件と検証結果

Day3システム：Day2システムに加え、本線AD車も事前の加減速を行い前方車との車間時間を拡大

- 検証条件
 - AD車普及想定：AD車混在率20%、30%
 - Day3導入タイミングとして想定されているAD車普及率30%～を想定しAD車混在率30%について検証、加えて、Day2からDay3へのシステムの改善効果を確認する目的でAD車混在率20%についても検証
 - 車間時間拡大目標：本線AD車が前方車との車間時間を2.5秒以上に拡大するように事前に加減速
 - 交通流条件：Day2システムの合流改善効果が低減する交通量（飽和度高）

対象	検証内容	検証結果
Day3システム	Day3システムのコンセプト成立性検証	<ul style="list-style-type: none"> • 限られた条件下でDay3の検証を行ってみたところ、支援のない状況に導入することでDay2システムと同程度の合流改善効果・余裕のない合流の改善を確認できた（P.37,38） →ただし今回の分析ではDay3を構成する条件を網羅するに至っていないため、有効性を確認するためには、飽和度・AD車混在率・支援システムの物理条件などについて、より多様な条件における追加検証によるDay3システムのさらなる効果拡大に向けた検討が必要である。

6-4. 今後の検討・効果検証が求められるポイントの例

- 今後の検証の方向性の案として、以下の2つが挙げられる
- **条件範囲を拡大した合流支援システムの効果検証**
 - より多様な検証条件で合流支援システムの検証を行い、より頑健な知見を蓄積することが望まれる
 - 検証条件の例として右表のような項目が挙げられる
- **合流支援システムの機能仕様の検討**
 - 例えば、本検討で明らかになった以下の課題についての検討などが考えられる

検証条件の項目	検証条件の例
AD車混在率	0~20%未満、30%以上、等
車種	トラック、二輪車の混在交通
支援システムの物理条件	車両検知センサに近いほど誤差が小さい、等
道路線形	空港西ICといった別の首都高出入口、等
AD車の基本挙動	前方車と確保する車間時間を2秒以外にする、等
合流評価基準	評価点マップのパラメタ更新
有効性判断基準	閾値の算出方法の更新
Day3のSIM条件	Day2同様システム物理条件・飽和度を変更した分析

合流支援システムの機能仕様の検討ポイントの例

本検討で明らかになった課題

本線に車両が続いており、合流部付近に「余裕のある合流が可能な車間」がない場合への対応



Day3システムにおいて2秒から2.5秒の車間拡大では効果が限定的

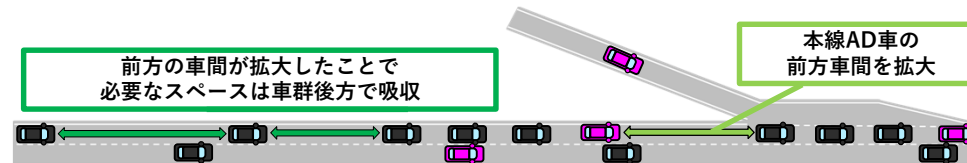
今後の検討が求められるポイント

逐次的ではなく計画的に調整を行う方法の検討

- 合流時に到達できる本線の車間の選択肢を広げ、本線車隙間狙い支援を高度化

本線車間の拡大方法の検討とその効果・副作用の検証

- 車間拡大により40km/h以下の車列が長時間続く可能性がある
- 合流部より上流の本線車間を活用した合流可能車間の拡大方法を検討する必要がある



本報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が管理法人を務め、内閣府が実施した「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期／自動運転（システムとサービスの拡張）」(NEDO管理番号：JPNP18012)の成果をまとめたものです。