



2021年度 成果報告書

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

2022年5月

株式会社構造計画研究所

1. 実施概要
2. シミュレーション概要
3. Day2システム効果有無の検証
 1. 合流の改善効果の分析
 2. 支援により改善しなかった車両の要因分析
 3. 周囲の交通流への影響分析
4. Day2システムの許容可能な条件評価
 1. 各システム条件についての個別分析
 2. 各システム条件についての組み合わせ分析
5. 今後の課題

自工会合流支援ロードマップとSIP施策

2. 合流支援システムの進化

SIP施策にて、合流支援シミュレーションで技術評価を実施



車載機搭載自動運転普及率

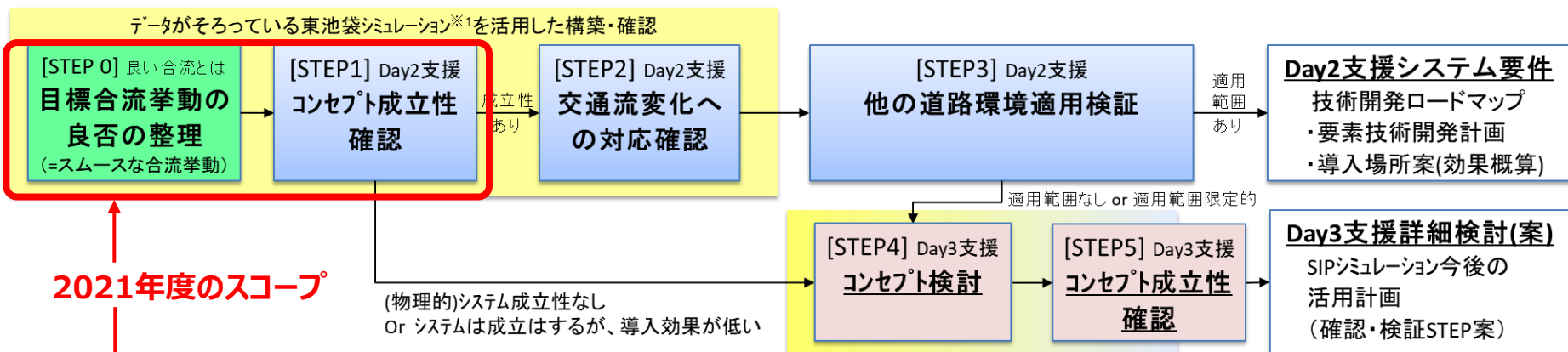


適合環境

※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

(C) Copyright Japan Automobile Manufacturers Association, Inc., All rights reserved.

SIP合流支援シミュレーションの進捗状況



2021年度のスコープ

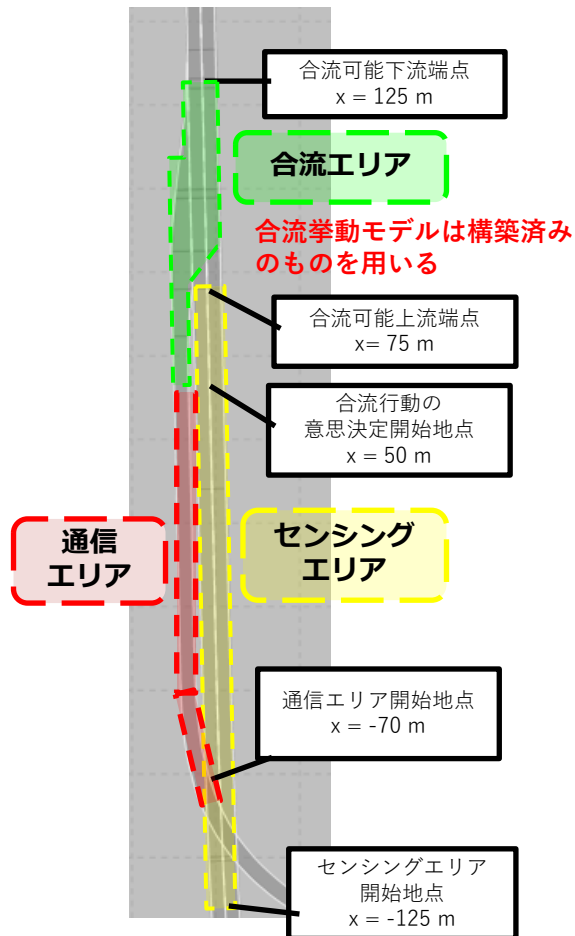
STEP 0	東池袋現況再現データから導出した合流シーンと各シーンの合流車挙動パターン※1の分布を解析し、スムーズな合流挙動パターンの条件(合流車・本線車の位置関係、速度、車間時間など)を選定
STEP 1	Day2支援有無・物理的条件変更による合流挙動パターンの分布変化を確認 step1-1 : 配信本線車情報の誤差無しで、支援あり・なしの合流車を走行 [システムが成立しそうな物理的条件の確認] step1-2 : 誤差を含めて上記を実施 [システムの総合的な許容誤差範囲の確認]
STEP 2	自動運転走行挙動(車間2秒、規制速度順守)を全域適用した確認 [将来交通流も見据えた成立性確認] step2-1 : 合流車みに自動運転走行挙動を適用 } [自動運転の交通流への影響と、Day2システム支援効果の関係を確認] step2-2 : 合流車+本線車に自動運転走行挙動を適用
STEP 3	他の道路環境でのDay2支援効果を検証し、適用範囲を確認 (STEP 1,2を他の道路環境で繰返し)
STEP 4	Day3システムのコンセプトを検討
STEP 5	Day2と同じ手順でDay3支援コンセプトの成立しそうな条件の洗い出し

※1: 20年度自工会取組み成果

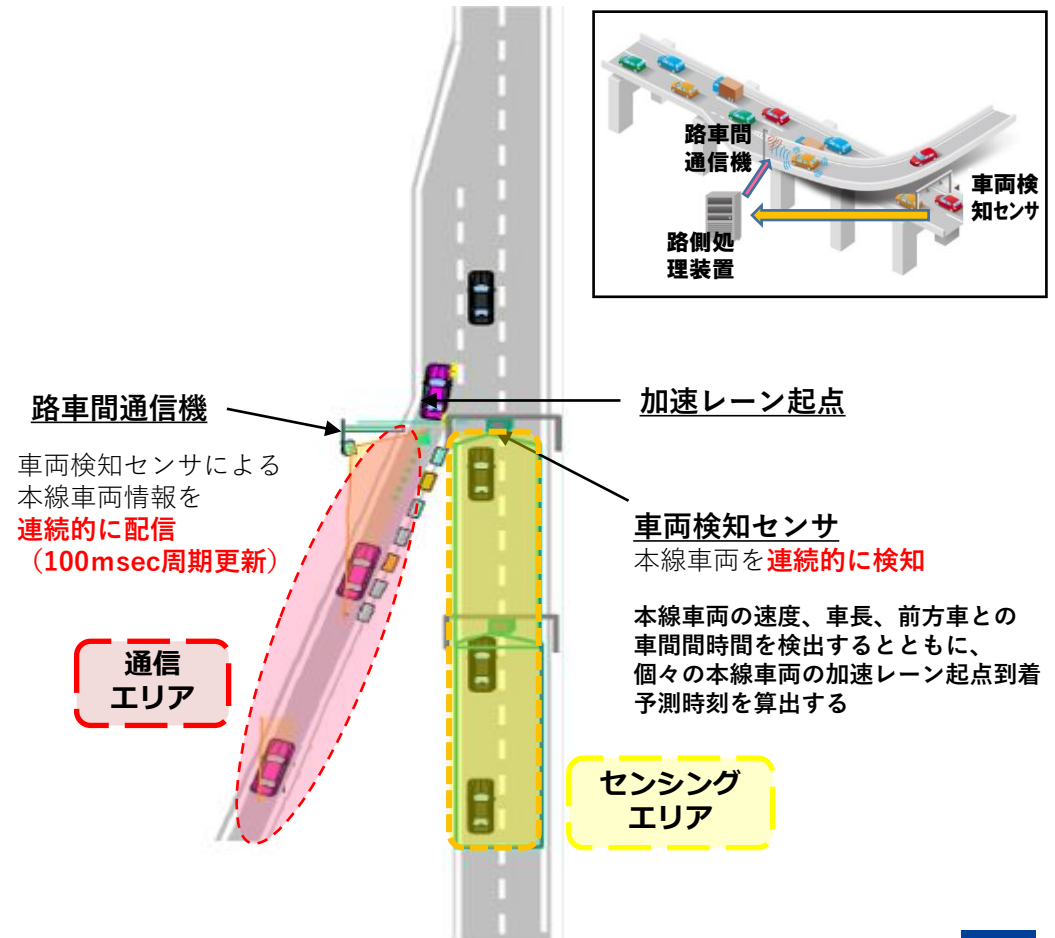
2. シミュレーション概要

Day2システム効果検証のためのシミュレータを構築

対象地の道路線形



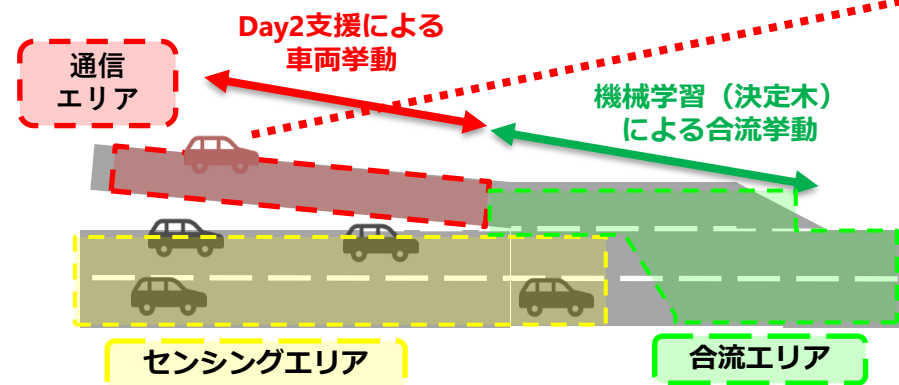
Day2システムのコンセプト



Day2システムによる情報提供とそれを受けた合流車（自動運転車）の挙動を以下のように定義

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車両挙動



いまの時点から1秒間
加速/減速をし続けたら...

- | | |
|--------------|----------|
| 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 |

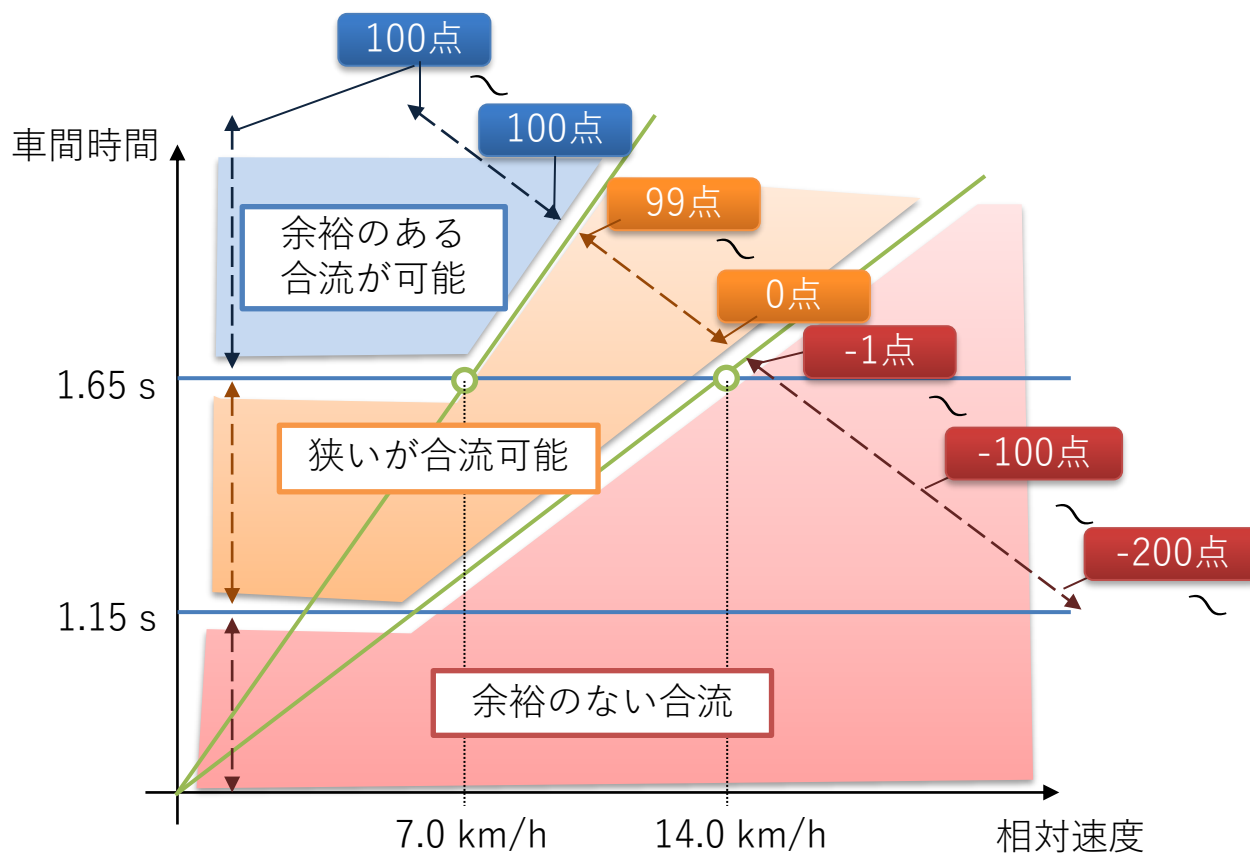
→ 次の1ステップは評価点が最大である
「④弱減速 -0.1G」を採用する

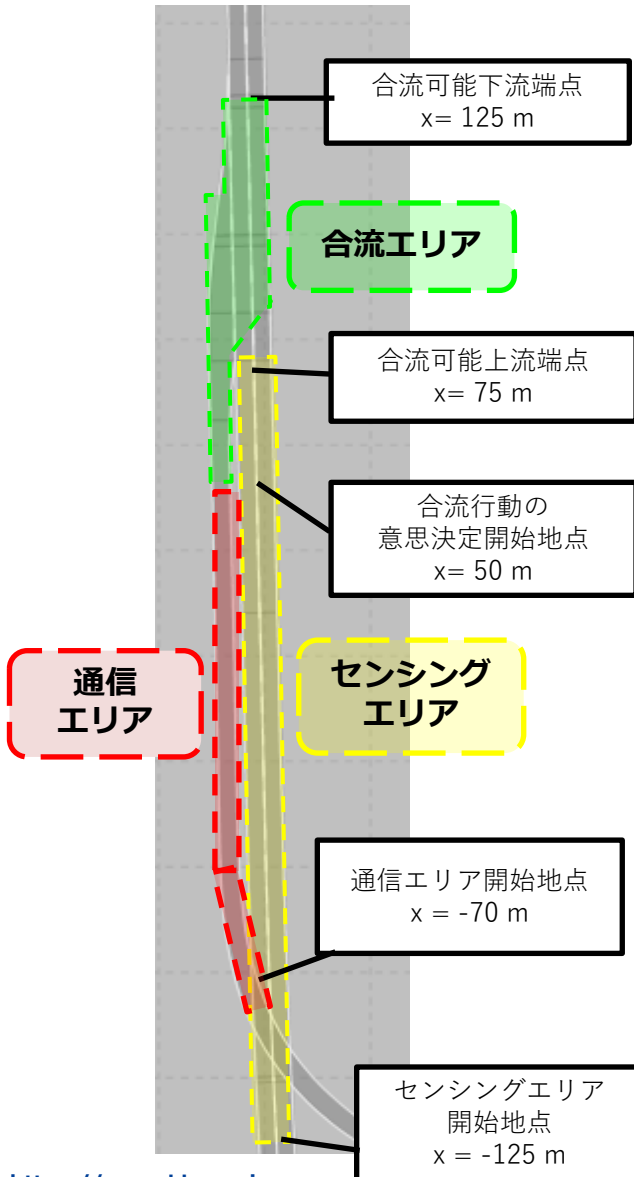
- 本線車両の位置・速度を取得
- 本線車両の合流起点到達予測時刻を通知

※車両速度は実際の走行データを基とし、法定速度を守る設定とはしていない

合流挙動の良否の指標として評価点を定義

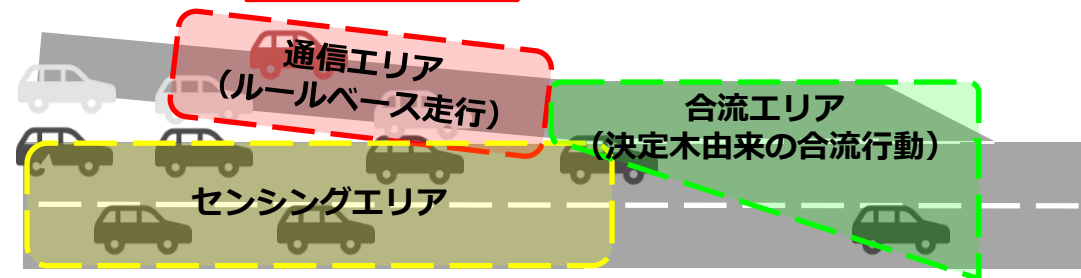
- 本線車両に対する車間時間と相対速度をもとに決定（安全性・効率性を考慮）
- 余裕のある合流が可能な状態ほど高い値（最大100点）
- 0点未満は余裕のない合流と定義





Day2システムの諸条件をパラメータとして変更可とする

大項目	小項目	パラメータ例
交通条件	自動運転車混在率	0%, 20%, 30% ※自動運転車は合流車線にのみ発生
Day2システムの諸条件	Day2支援の有無	支援あり、支援なし
	センシングエリアの範囲	200 m, 180 m, 160 m, 140 m (合流地点から上流方向の範囲)
	通信エリアの範囲	120 m, 100 m, 80 m, 60 m, 40 m (合流地点から上流方向の範囲)
	情報提供遅延	平均 : 0 s, 0.4 s, 0.8 s, 1.3 s 標準偏差 : 0 s, 0.2 s
	配信情報の誤差	前後位置 <ul style="list-style-type: none"> ・誤差なし ・±1 m (一様分布) 走行速度 <ul style="list-style-type: none"> ・誤差なし, ・最大 -12 ~ +12 km/h の正規分布



- Day2システムの効果有無の検証
 - Day2システムの諸条件が**理想的な状態**のとき、Day2システムの効果を検証
- Day2システムの許容可能な条件評価
 - Day2システムの諸条件を**変化させたとき**に支援効果に与える影響を検証

3. Day2システム効果有無の検証

- Day2システム 理想的な条件における効果を検証
 - 理想的な条件（パラメータ）：
 - センシングエリア 200 m、通信エリア 120 m、遅延なし、誤差なし
※以降、「理想シナリオ」と表記
 - 自動運転車混在率：20% or 30%
- 実施項目
 1. 合流の改善効果の分析
 2. 支援により改善しなかった車両の要因分析
 3. 周囲の交通流への影響分析

- 実施事項

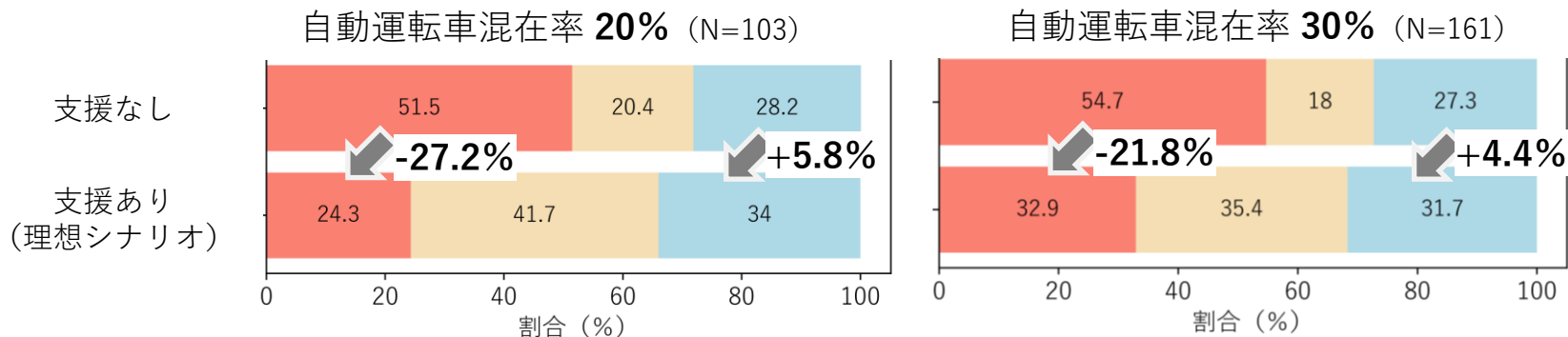
- 自動運転車の混在率が20%時と30%時における合流の良さを示す評価点の分布を支援の有無で比較

- 結果

- 自動運転車混在率20%時・30%時ともに、**支援によってより余裕のある合流が実現し、評価点が改善**

合流支援評価点の台数割合分布

0点未満 0点~100点未満 100点



	合流車両に対する支援効果	
	自動運転車混在率20%	自動運転車混在率30%
余裕のない合流(評価点0点未満)	27.2%減少	21.8%減少
余裕のある合流(評価点100点)	5.8%増加	4.4%増加

- 実施事項

- 自動運転車混在率20%の支援あり理想シナリオにおいても
余裕のない合流(評価点0点未満)をしている自動運転車が25台(24.3%)存在
- 当該車両が余裕のない合流となる要因を代表車両の動画を見ながら
分析、考察

- 結果

- 余裕のない合流となる要因を以下の3つに分類（次ページ以降で説明）
 - A. 本線の車間が密のため : 14件
 - B. 合流挙動モデル(決定木) : 4件
 - C. 評価点のロジック : 7件

余裕のない合流となる要因の内訳（全25台）

本線の車間が密 14件	合流挙動モデル (決定木) 4件	評価点ロジック 7件
----------------	------------------------	---------------

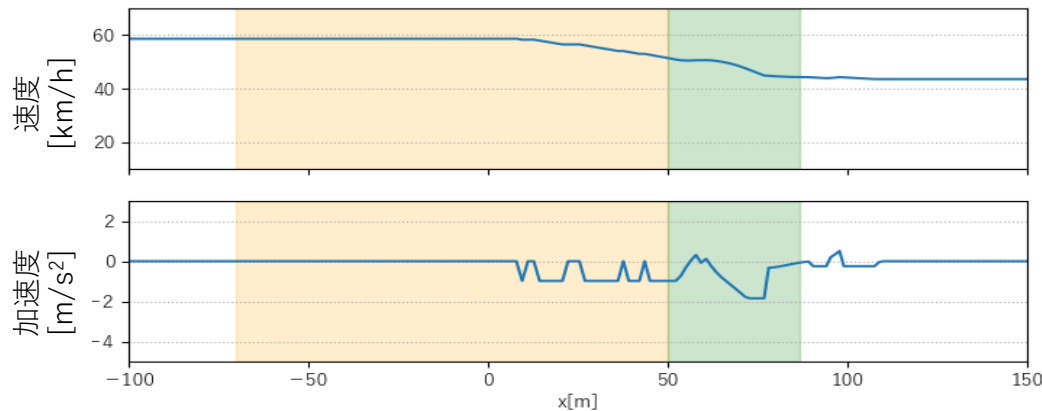
支援により改善しなかった車両の要因分析 (要因A)

要因A 本線の車間が密

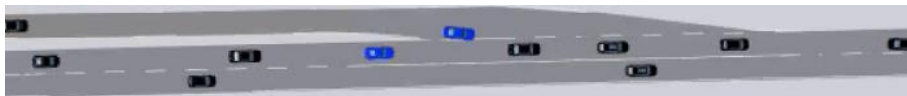
※代表車両の評価点：-150.8、走行時の本線の平均車間距離：27.8 m

- 本線の車間が密であり、やむを得ず狭い車間に合流
- Day2システムでは難しく、Day3システムで改善される可能性がある

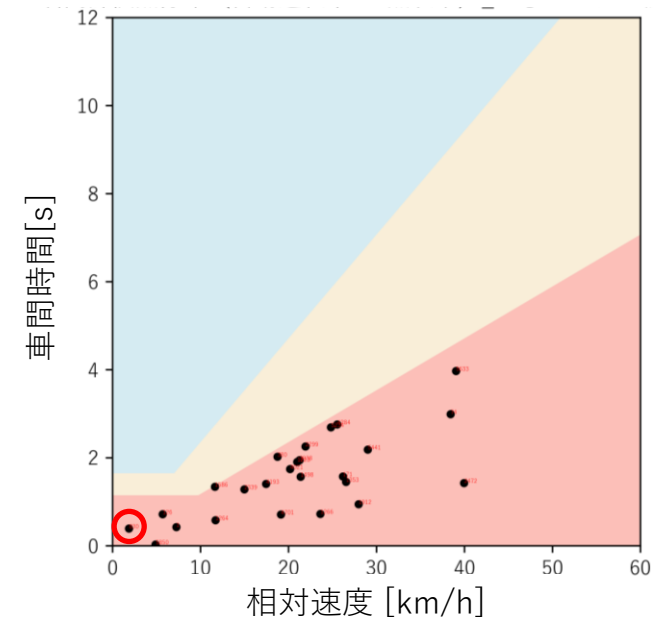
車両挙動グラフ



合流時の状況



評価点マップにおける位置

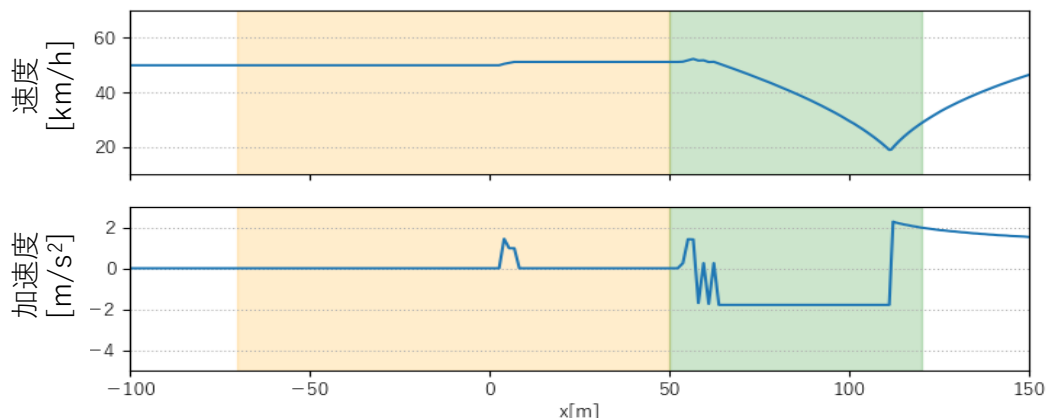


要因B 合流挙動モデル(決定木)

※代表車両の評価点：-69.6、走行時の本線の平均車間距離：99.5 m

- 車間に余裕があるが、合流挙動モデルに用いている決定木によって見送りを選択（決定木による合流確率が合流選択しきい値以下であるため）
- **決定木は有限のサンプルから構築するため、適切に判断できない場合が存在し得る**

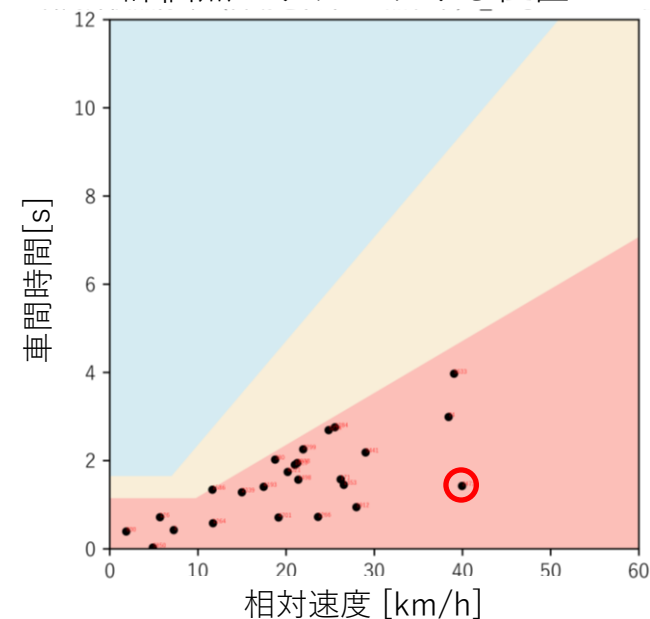
車両挙動グラフ



合流時の状況（この状況で見送りを選択）



評価点マップにおける位置

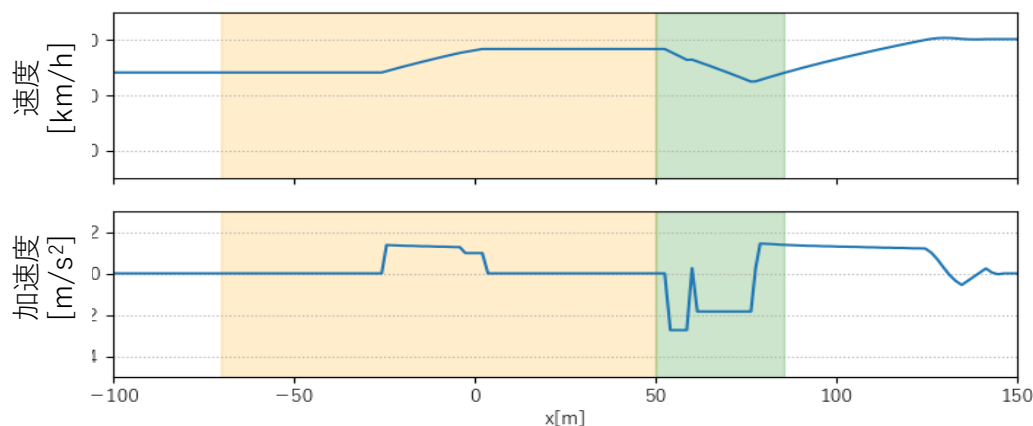


要因C 評価点ロジック

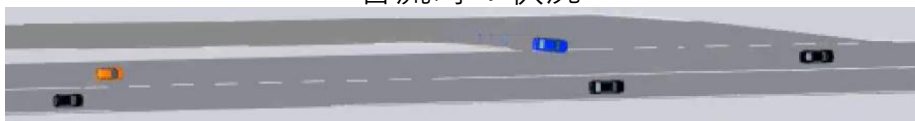
※代表車両の評価点：-1.7、走行時の本線の平均車間距離：65.9 m

- 加速し後方車との車間を確保して合流しているが本線後続車の速度が速く、本線車との相対速度が大きいほど低評価となる評価点ロジックのため低評価となった
- 車間は2秒以上確保されており、「余裕のない合流」とすべきか議論が必要である

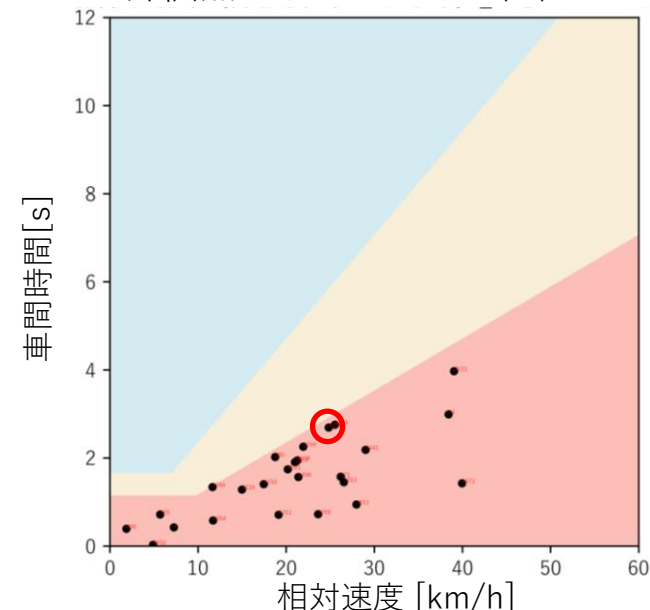
車両挙動グラフ



合流時の状況



評価点マップにおける位置



- 動画検証の結果、支援により評価点が改善せず余裕のない合流となった自動運転車25台の要因内訳は以下の通り

余裕のない合流となる要因の内訳（全25台）

本線の車間が密 14件	合流挙動モデル (決定木) 4件	評価点ロジック 7件
----------------	------------------------	---------------

- 結論と考察
 - 改善しなかった車両の半数強は本線の車間が密な状態であることに起因し、**Day2システムでは支援が難しく、Day3システムで改善される可能性がある**（要因A）
 - 一方、残りの半数弱は合流挙動モデル(決定木)や評価点ロジックの問題に起因するものであり、**評価点によるDay2支援効果の評価は過小評価となっている可能性がある**（要因B、要因C）

周囲の交通流への影響分析

自動運転車以外の合流車の評価点に関する分析

実施事項

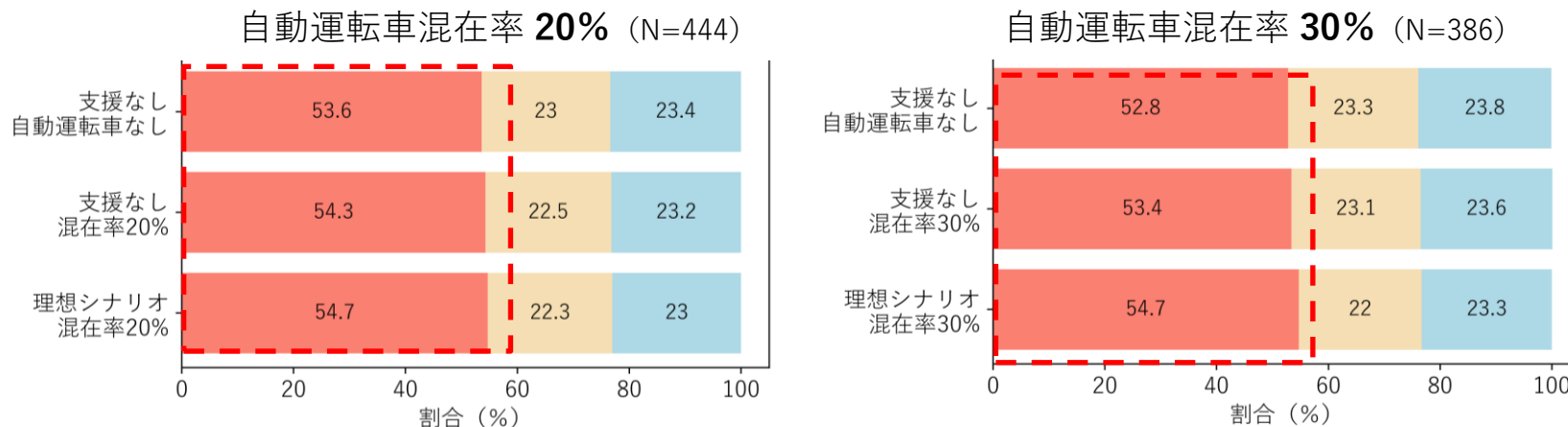
- 自動運転車混在率が20%時と30%時のそれぞれについて、自動運転車以外の車両（支援を受けていない車両）における支援の有無による評価点の台数割合分布の変化を分析

結果

- 評価点の台数割合分布に変化は見られず、**支援を受けていない車両の合流において、支援による影響は確認されなかった**

合流支援評価点の台数割合分布（自動運転車以外）

0点未満 0点~100点未満 100点



**支援を受けていない車両への
支援による影響は確認されなかった**

周囲の交通流への影響分析

本線後方車に関する分析

- 実施事項

- 自動運転車に対する本線後方車について、最低速度と最低加速度の分布を支援の有無で比較

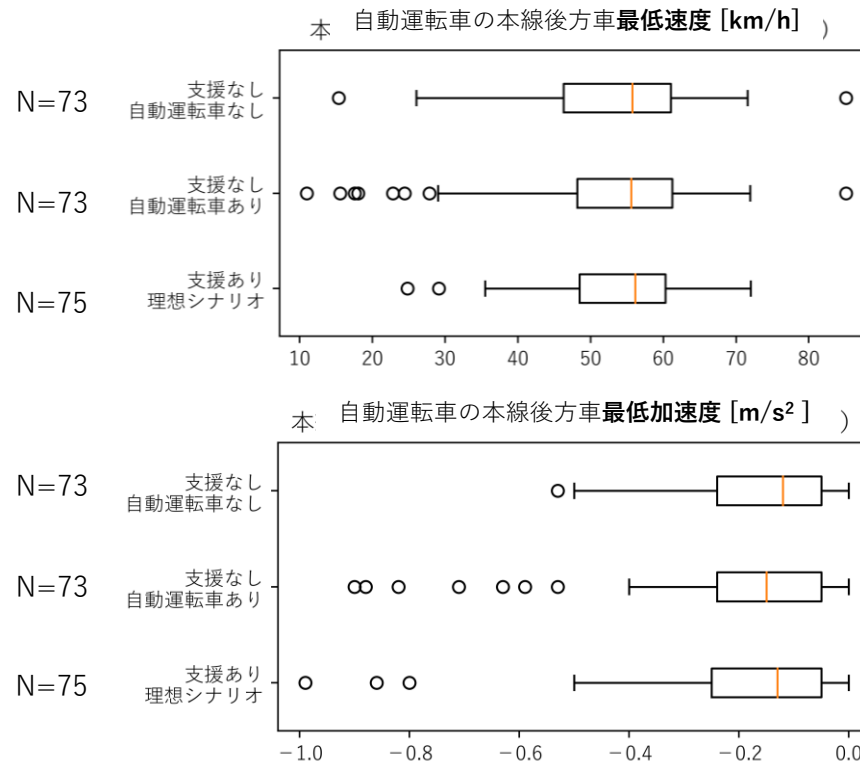
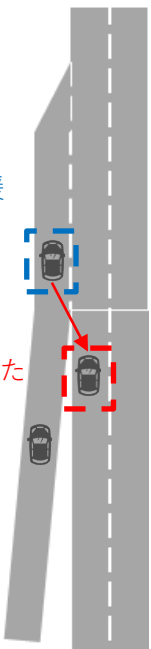
- 結果

- 支援による分布変化は見られず**本線後方車に与える影響は確認されなかった**

本線後方車

Day2による支援

影響は確認されなかった



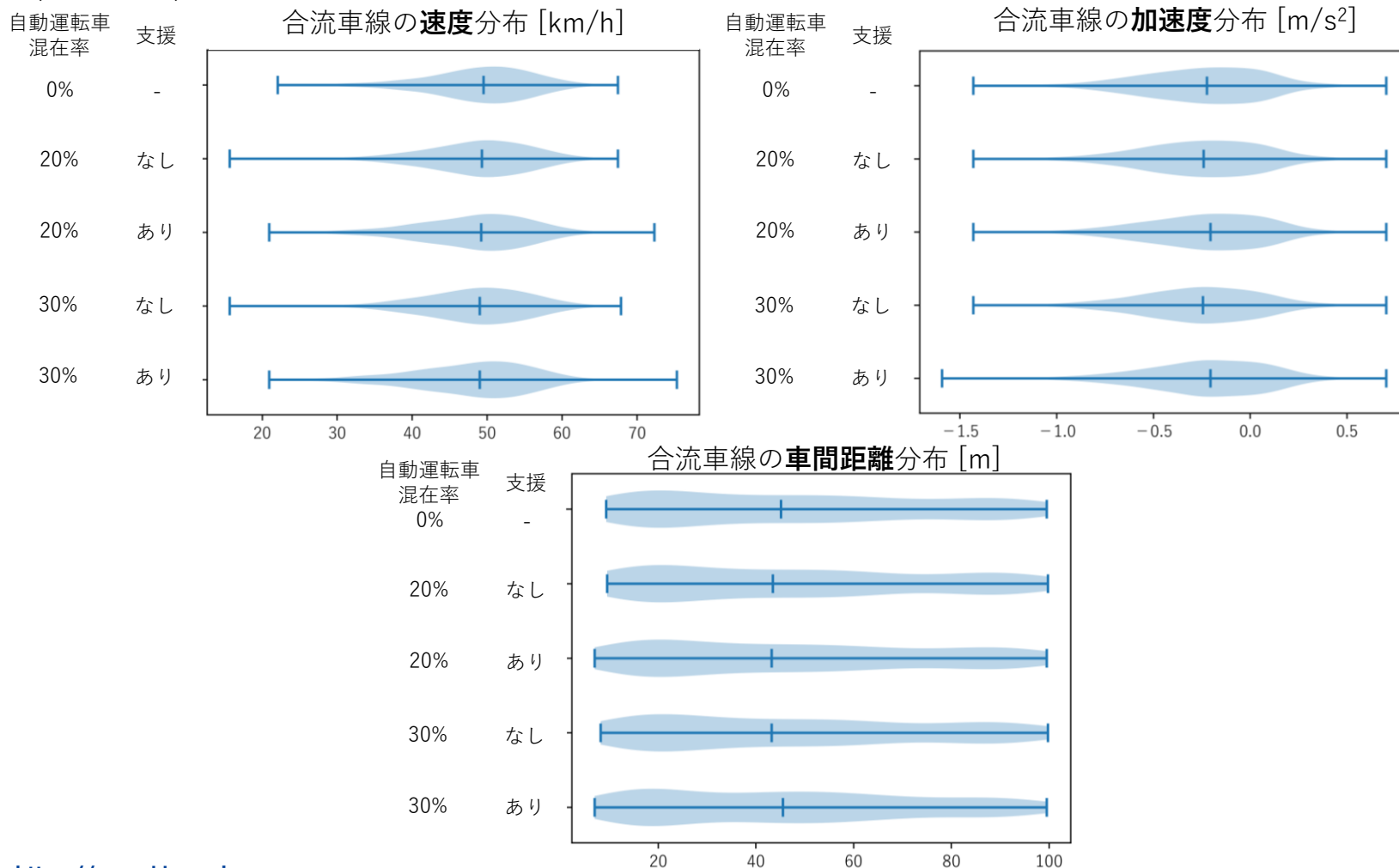
※自動運転車混在率20%のシナリオで実施

※シナリオごとにサンプル数が異なるのは、後方車を認識できる距離の閾値が存在するため

周囲の交通流への影響分析

合流車線の交通流に関する分析

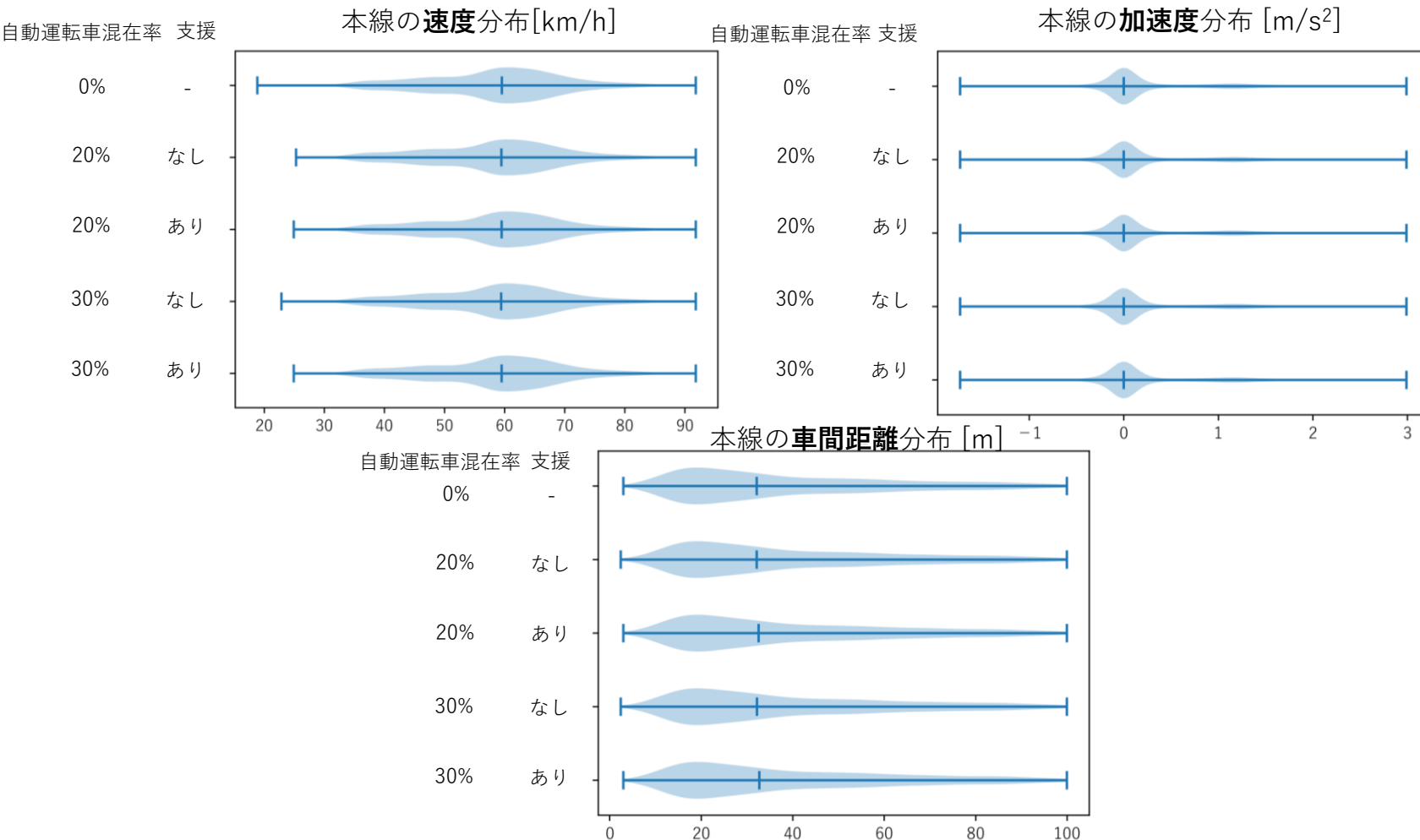
自動運転車の混在率・支援の有無を変えた各シナリオについて、合流車線における交通流の速度・加速度・車間距離の分布を比較したところ、大きな変化は見られない (N=547)



周囲の交通流への影響分析

本線の交通流に関する分析

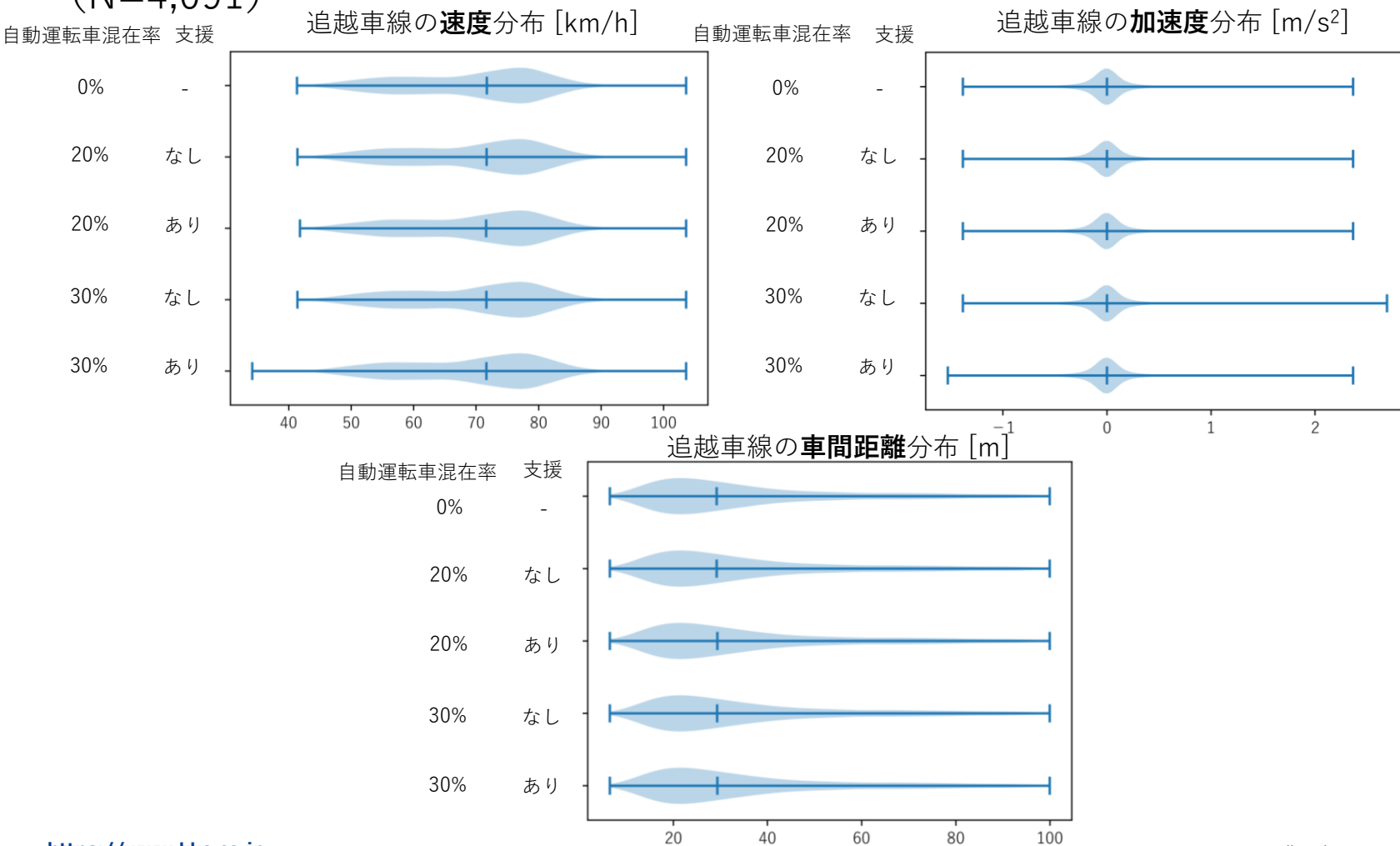
自動運転車の混在率・支援の有無を変えた各シナリオについて、本線の交通流の速度・加速度・車間距離の分布を比較したところ、大きな変化は見られない
(N=3,177)



周囲の交通流への影響分析

追越車線の交通流に関する分析

自動運転車の混在率・支援の有無を変えた各シナリオについて、追越車線の交通流の速度・加速度・車間距離の分布を比較したところ、大きな変化は見られない
 (N=4,091)



- Day2システムの導入により、**より安全かつ効率的な合流が増加する。**
 - 余裕のある合流ができた車両が約5%増加
 - 余裕のない合流となった車両が約27%減少
- 本線の車間が密な状態の時にはDay2システムによる支援効果が得られにくい傾向がある。これは**Day3システムにより改善される可能性がある。**
- Day2システムの支援による**周囲の交通流に対する悪影響は見られない。**
 - 一方で、周囲の交通流が効率的になるなどの良い影響も見られない

4. Day2システムの許容可能な条件評価

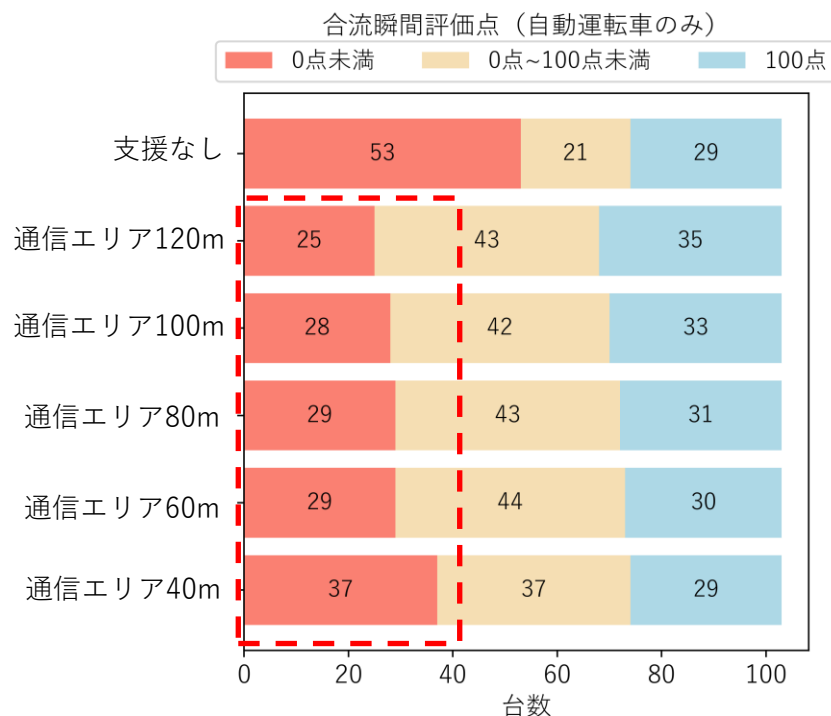
- 概要
 - Day2システムの諸条件を変化させたときに支援効果に与える影響を検証
 - 変化させるシステム条件：センシングエリア、通信エリア、情報提供遅延、配信情報誤差
 - 自動運転車混在率は20%で固定
- 実施項目
 1. 各システム条件についての個別分析
 - 各システム条件についてそれぞれ個別に条件を変化させたとき、Day2システムの効果に与える影響を分析
 2. 各システム条件についての組み合わせ分析
 - 各システム条件を組み合わせると同時に変化させたとき、Day2システムの効果に与える影響を分析

4.1 各システム条件についての個別分析

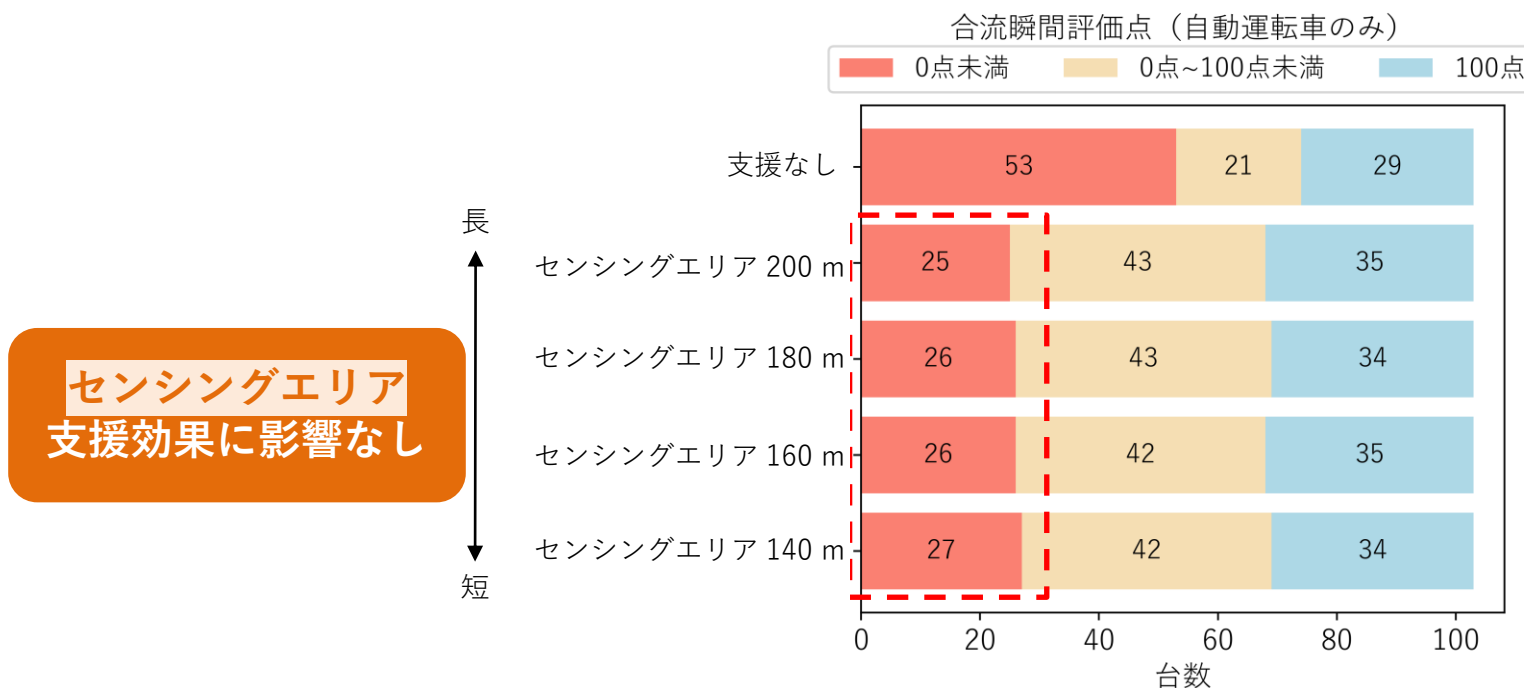
- 実施シナリオ
 - 通信エリアの長さ：120 m ~ 40 m
- 結果
 - 通信エリアが短くなるにつれて、余裕のない合流をする車両の割合が増加し、結果として**支援効果が減少**

通信エリア
短くなるほど、
余裕のない合流が増加し
支援効果が減少

長
↑
↓
短



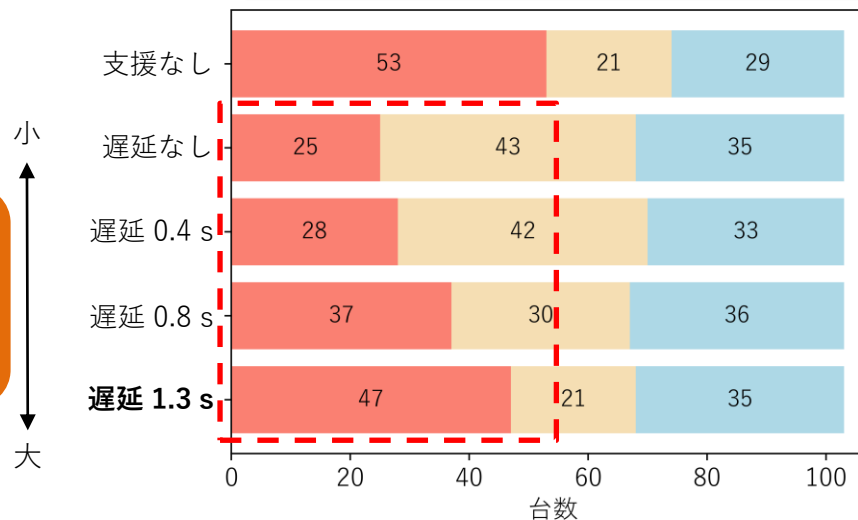
- 実施シナリオ
 - センシングエリアの範囲：200 m ~ 140 m
- 結果
 - 評価点の台数分布に大きな変化は見られず、センシングエリアの変化による支援効果への影響は確認されなかった



- 実施シナリオ
 - センサの情報提供遅延：平均 0 s ~ 平均 1.3 s
 - 標準偏差は 0.2 s
- 結果
 - 遅延が大きくなるにつれて評価点が悪化し、**支援効果が減少**
 - とくに遅延 1.3 s のとき支援効果が大きく減少

合流瞬間評価点（自動運転車のみ）

0点未満 0点~100点未満 100点



支援効果が大きく減少

情報提供遅延
増大するほど、
余裕のない合流が増加し
支援効果が減少

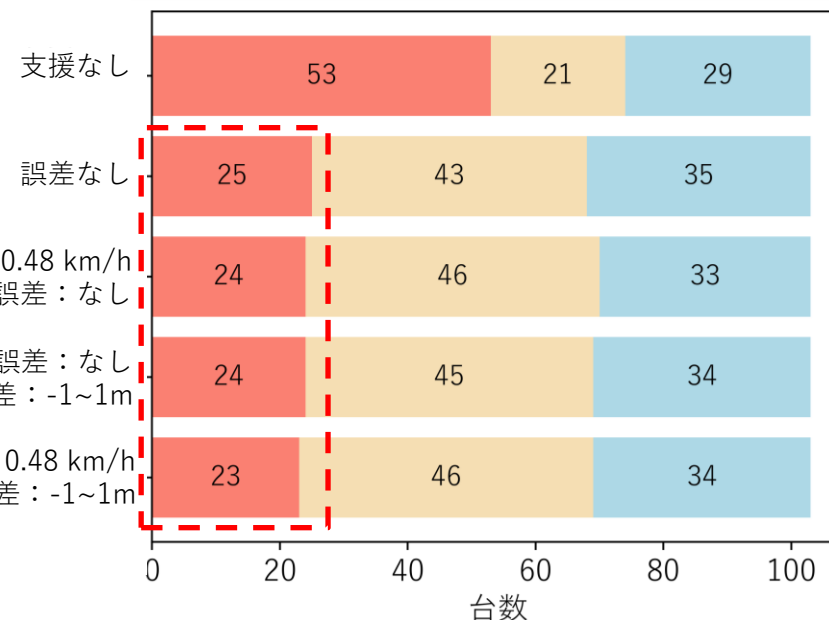
配信情報誤差の影響分析

評価点の台数分布に関する分析

- 実施シナリオ
 - 速度誤差：誤差なし or 平均 0.14 km/h 標準偏差 0.48 km/h の正規分布
 - 位置誤差：誤差なし or ± 1 m の一様分布
- 結果
 - 誤差による評価点への影響は見られず、速度誤差・位置誤差による**支援効果への影響は確認されなかった。**

合流瞬間評価点（自動運転車のみ）

0点未満 0点~100点未満 100点



配信情報誤差

(速度誤差・位置誤差)

支援効果への影響なし

速度誤差：平均 0.14 km/h, 標準偏差 0.48 km/h

位置誤差：なし

速度誤差：なし

位置誤差：-1~1m

速度誤差：平均 0.14 km/h, 標準偏差 0.48 km/h

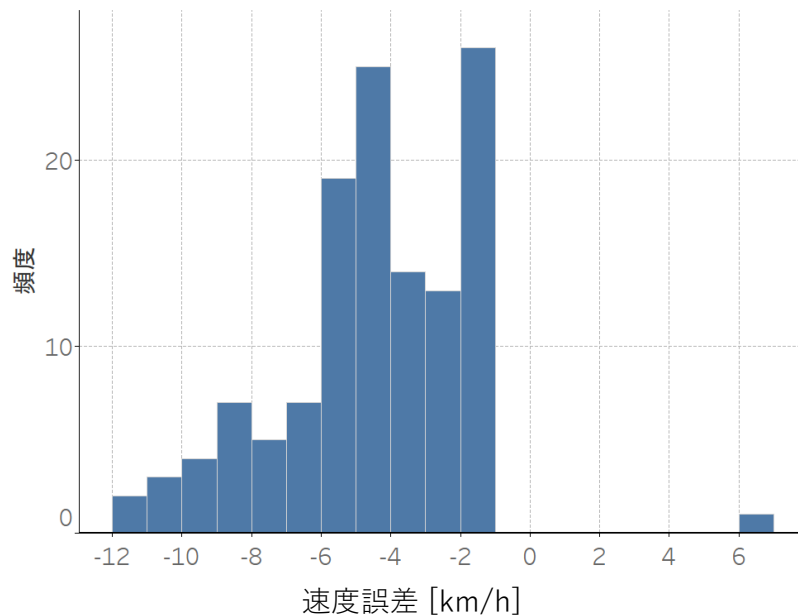
位置誤差：-1~1m

配信情報誤差の影響分析

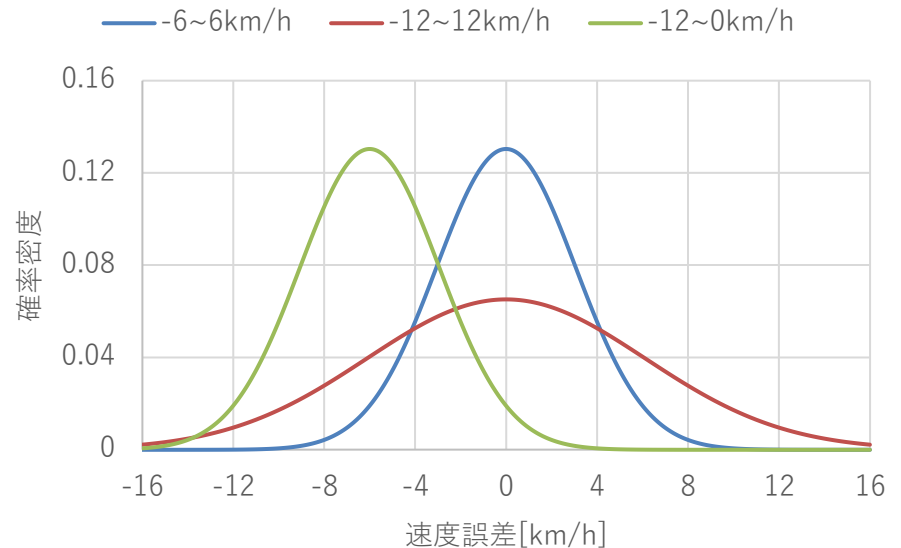
速度誤差分布の変更

- 実際のシステムでは、前項の分析で与えた値よりも大きな速度誤差が想定される
- 実験値を踏まえ、改めて以下の速度誤差分布を与えて分析を実施
 - -6 ~ 6 km/h, -12 ~ 12 km/h, -12 ~ 0 km/h
 - ※ 95%信頼区間が当該区間となる正規分布
 - ※同時に±1 m（一様分布）の位置誤差を与える

実道上での実験から得られた速度誤差分布
(最小値：-11.6 km/h, 平均値：-4.5 km/h)



シナリオとして与える速度誤差分布

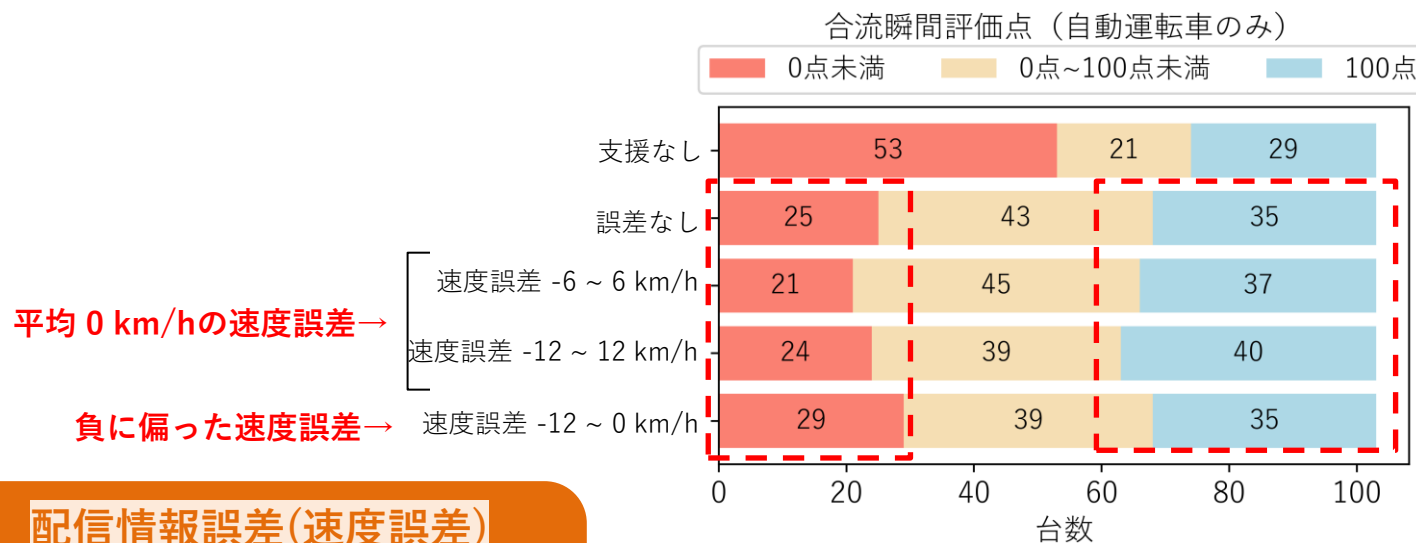


配信情報誤差の影響分析

速度誤差分布変更時の評価点の台数分布

結果

- 負に偏った速度誤差 (-12 ~ 0 km/h) を与えたとき、**評価点の分布は悪化**
- 平均 0 km/h の速度誤差を与えたとき、大きな変化はなく、わずかに評価点の分布が改善する傾向



配信情報誤差(速度誤差)
負に偏った速度誤差の場合に
余裕のない合流が増加し、
支援効果が減少

- 通信エリアの長短は、**短くなるほど支援効果に悪影響を及ぼす。**
 - 合流地点から上流方向に最大 120 m ~ 最小 40 m の範囲で検証
 - この範囲では支援効果を打ち消すには至らない
- センシングエリアの長短による、**支援効果への影響は見られない。**
 - 合流地点から上流方向に最大 200 m ~ 最小 140 m の範囲で検証
- センサの情報提供遅延は、**大きくなるほど支援効果に悪影響を及ぼす。**
 - 1.3 s 程度になると支援の効果をほぼ打ち消す
- センサの配信情報誤差（位置）による、**支援効果への影響は見られない。**
 - ± 1 m の誤差分布を与えて検証
- センサの配信情報誤差（速度）は、**誤差分布の偏りにより支援効果に与える影響が異なる。**
 - 平均 0 km/h の誤差分布であれば支援効果に大きな影響を与えない
 - 負に偏った誤差分布であれば支援効果に悪影響を及ぼすが、 $-12 \sim 0$ km/h 程度の誤差分布であれば支援効果を打ち消すには至らない

4.2 各システム条件についての組み合わせ分析

- 実施概要
 - 各システム条件を組み合わせて同時に変化させたとき、Day2システムの効果に与える影響を分析
- 分析事項
 - エリアと遅延の組み合わせ
 - エリアと誤差の組み合わせ
 - 遅延と誤差の組み合わせ
 - エリア、遅延、誤差の組み合わせ
 - ※エリア：センシングエリアと通信エリア
- 分析の観点
 - 余裕のない合流（評価点0点未満）となった車両数に着目し評価

- 実施シナリオ：以下の2×2シナリオ
 - (センシングエリア, 通信エリア)：(140 m, 60 m) or (140 m, 40 m)
 - 遅延：平均 0.4 s or 0.8 s (標準偏差 0.2 s)

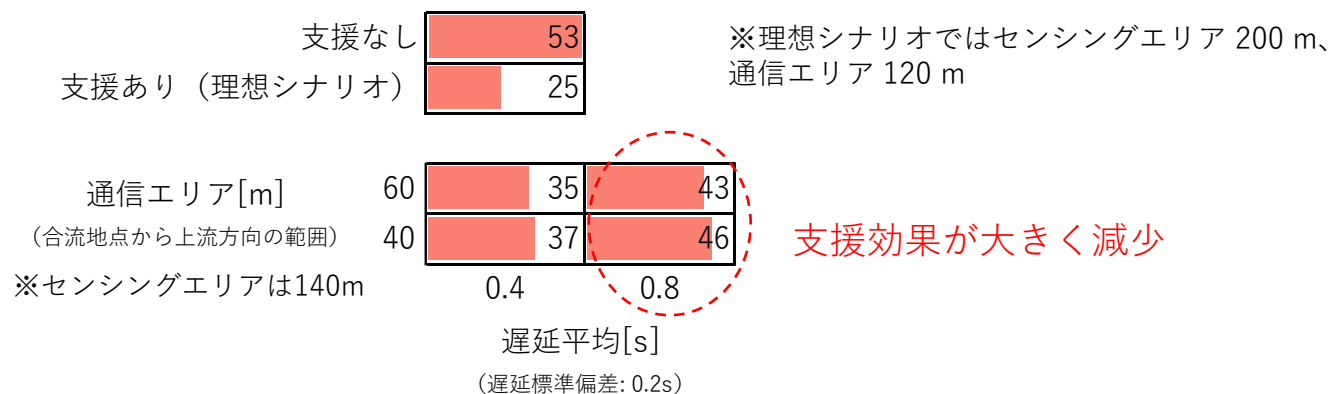
※同時に、軽微な誤差として以下を与えている

平均 0.14 km/h, 標準偏差 0.48 km/hの速度誤差、±1 m (一様分布) の位置誤差

結果

- 条件を個別に変化させたときに比べ、評価点が悪化
- とくに遅延が 0.8 s のとき支援効果が大きく減少

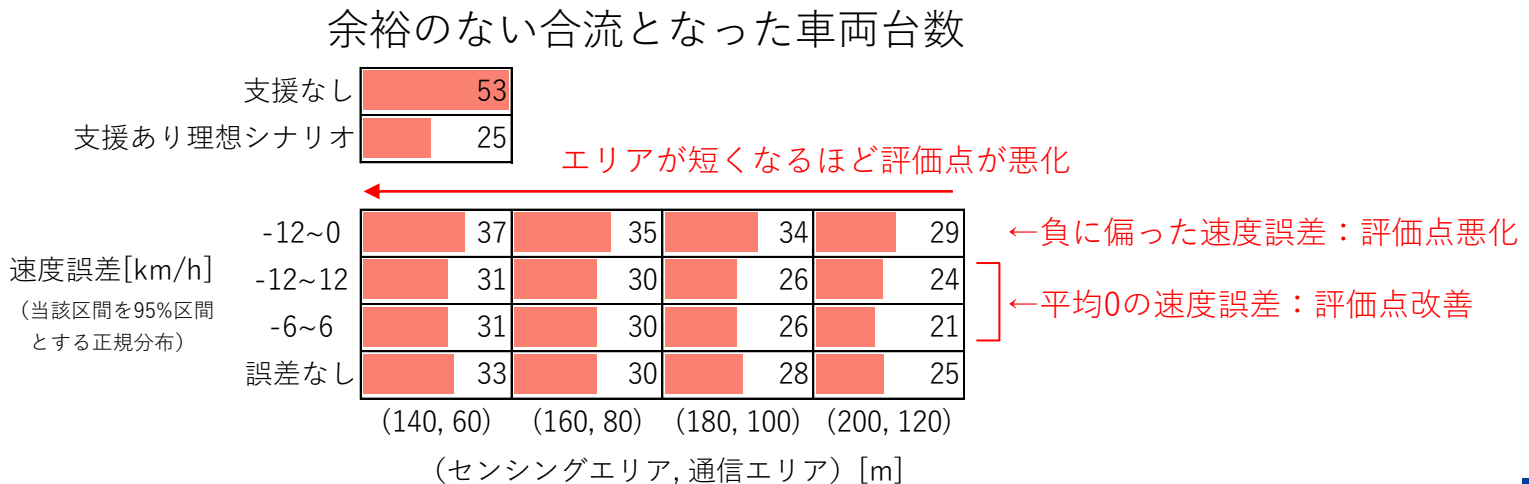
余裕のない合流となった車両台数



- 実施シナリオ：以下の4×3シナリオ
 - （センシングエリア, 通信エリア）：
 - （200 m, 120 m） or （180 m, 100 m） or （160 m, 80 m） or （140 m, 60 m）
 - 速度誤差：-6 ~ +6 km/h or -12 ~ 0 km/h or -12 ~ +12km/h
 - ※ 95%信頼区間が当該区間となる正規分布からランダムに誤差を発生させた
 - ※ 同時に位置誤差として、±1mの一様分布からランダムに誤差を発生させた

結果

- エリアが短くなるほど評価点が悪化
- 負に偏った速度誤差を与えたとき、評価点の分布はやや悪化
- 平均 0 km/h の速度誤差を与えたとき、わずかに評価点が改善

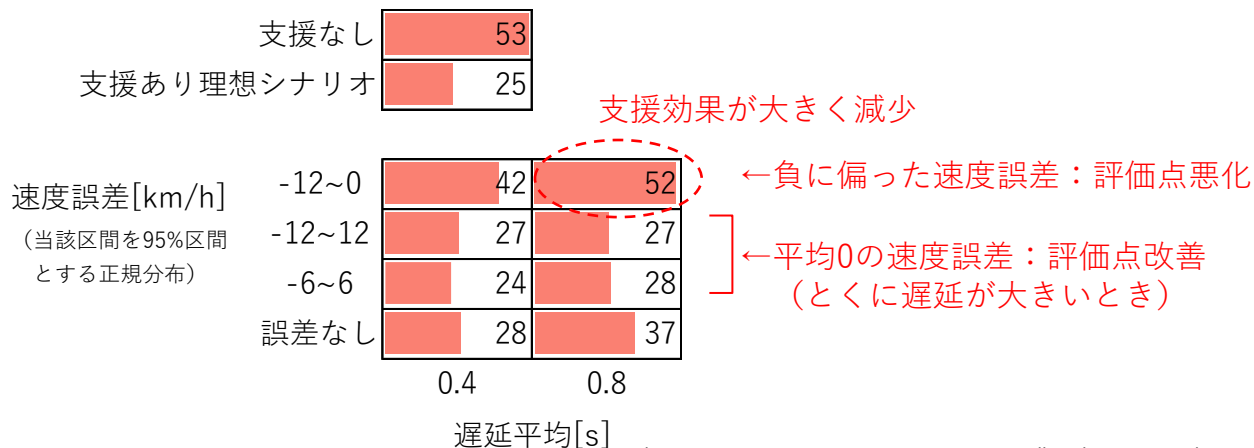


- 実施シナリオ：以下の2×3シナリオ
 - 遅延：平均0.4s or 0.8s（標準偏差0.2s）
 - 速度誤差：-6~+6km/h or -12~0km/h or -12~+12km/h
 - ※ 95%信頼区間が当該区間となる正規分布からランダムに誤差を発生させた
 - ※ 同時に位置誤差として、±1mの一様分布からランダムに誤差を発生させた

結果

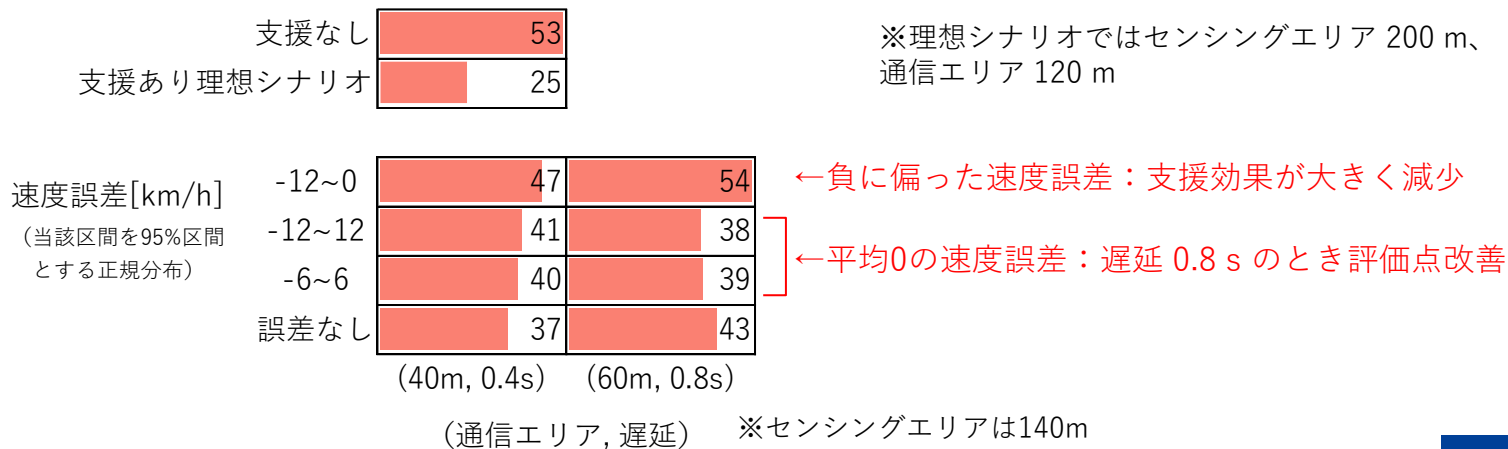
- 負に偏った速度誤差を与えたとき、評価点の分布は悪化
 - とくに遅延0.8s、速度誤差-12~0km/hのとき支援効果が大きく減少
- 平均0km/hの速度誤差を与えたとき、評価点の分布は改善
 - とくに遅延が大きいとき改善幅が大きい

余裕のない合流となった車両台数



- 実施シナリオ：以下の2×3×1シナリオ
 - （センシングエリア, 通信エリア, 遅延）：
 - （140 m, 40 m, 0.4 s） or （140 m, 60 m, 0.8 s）
 - 速度誤差： -6 ~ +6 km/h, -12 ~ 0 km/h, -12 ~ +12km/h
 - ※ 95%信頼区間が当該区間となる正規分布からランダムに誤差を発生させた
 - ※ 同時に位置誤差として、±1mの一様分布からランダムに誤差を発生させた
- 結果
 - 負に偏った速度誤差を与えたとき、評価点分布が悪化し支援効果が大きく減少
 - 平均0の速度誤差を与えたとき、遅延 0.8 s のときのみ評価点改善

余裕のない合流となった車両台数

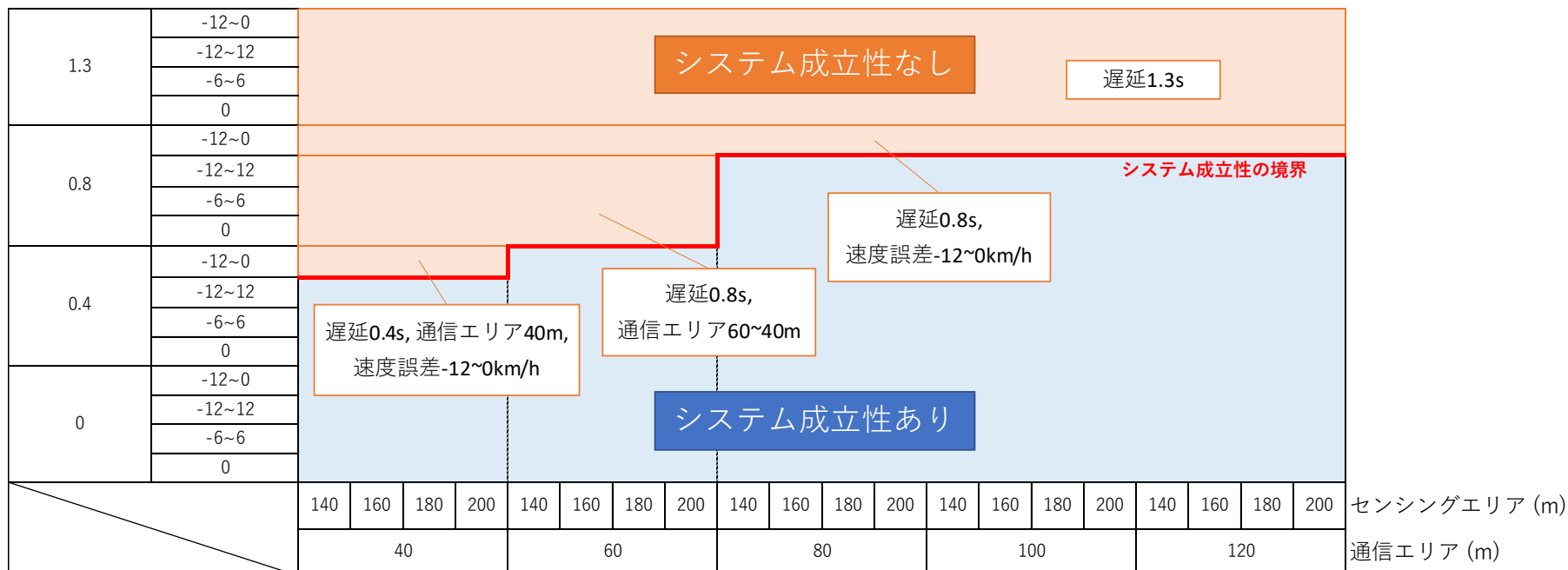


各システム条件についての組み合わせ分析まとめ

Day2システムの成立条件として、下表の結果を得た

※システム成立の定義（仮）：余裕のない合流となった車両が通常時から20%以上減少

情報提供遅延 (s) 速度誤差* (km/h)



*当該範囲を95%区間とする正規分布

5. 今後の課題

1. 評価点の考え方の再整理
 - 本分析で用いた合流の評価点には、直感に合わない場合が一部存在する
 - 評価点の考え方を再整理し改善することで、より納得性の高い評価が可能
2. 本線上流部の車両挙動の再現性を向上したうえでの評価
 - 本分析では、本線上流部の交通流はシミュレータのデフォルト挙動を採用
 - 改めて実交通のログデータを取得し、走行挙動の再現を行ったモデルを構築したうえでDay2システム成立性の検討を行うことで、評価の信頼性を高めることができる
3. 飽和交通時の評価
 - 本分析では通常走行時間帯全体の交通流についての評価のみ実施
 - 本線の交通流が密な時間帯（飽和交通時）に着目した評価が望まれる
4. Day3システムコンセプト検証
 - 本分析ではDay2システムの評価のみ実施
 - Day2システムでは改善されなかった合流状況に対して、Day3システムで支援が可能かを検証する

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。