



# 物流拠点整備の動向

第70回土木計画学研究発表会・秋大会SS  
「スマート物流の実現に向けた取り組み」

令和7年11月17日（日）

渡部 大輔（東京海洋大学）



# 物流における自動化・省人化

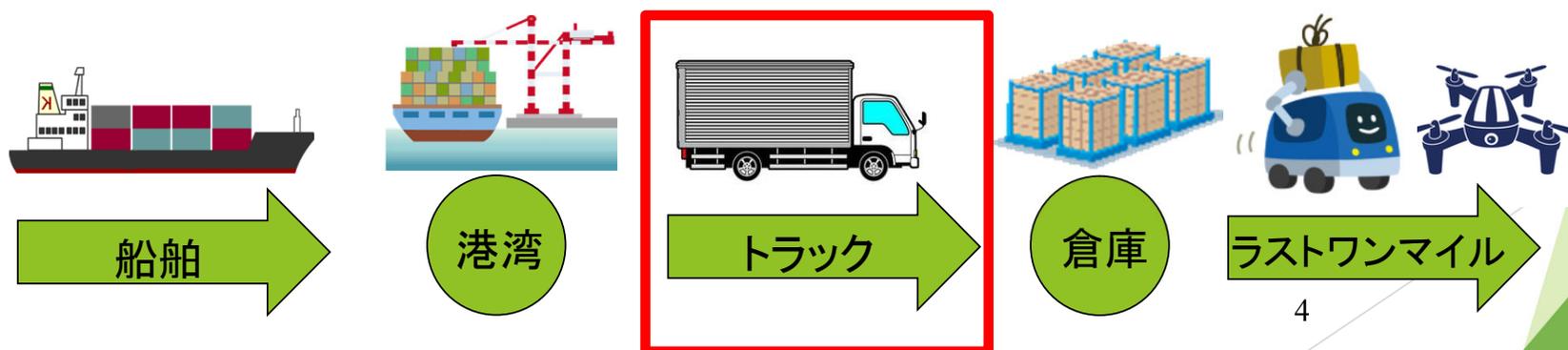
- ▶ 幹線輸送→トラック輸送の省人化に対する取り組み
  - ▶ **ダブル連結トラック**（実証実験：2016年-、本格導入：2019年）：1台で通常の大形トラック2台分の輸送が可能 →輸送効率性が2倍



特車許可基準の車両長を緩和  
(現行の21mから最大で25mへの緩和を検討)

# 物流における自動化・省人化

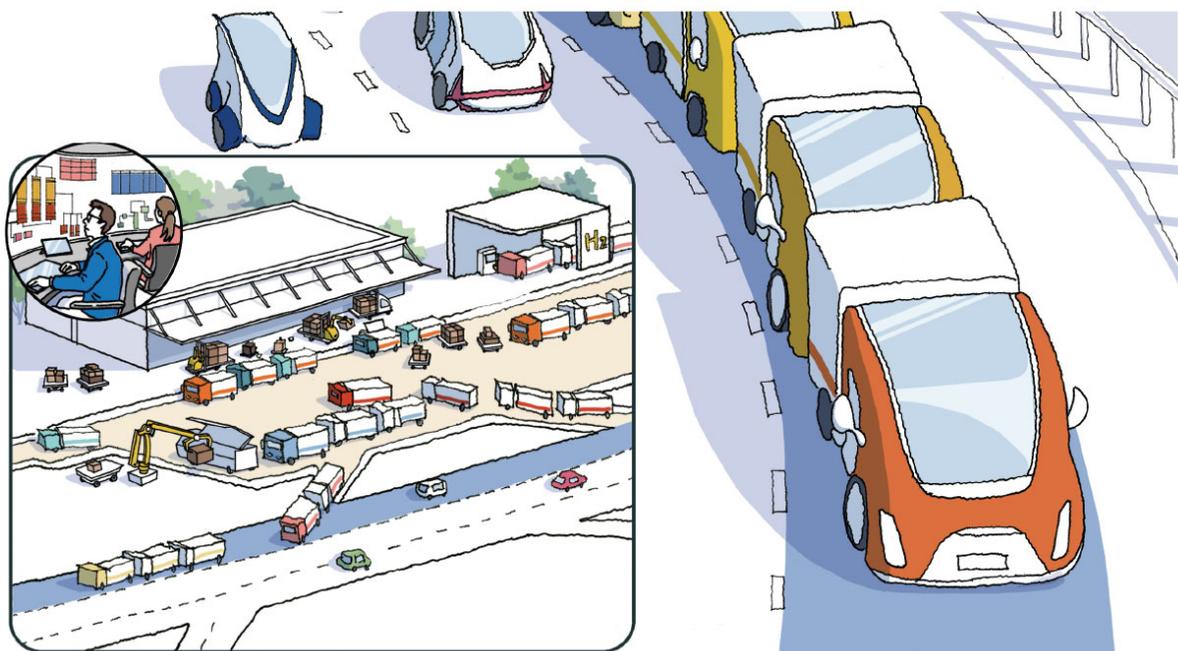
- ▶ ノード：実用段階→コスト
  - ▶ 港湾：自動化ターミナル
  - ▶ 倉庫：自動倉庫, ロボット
- ▶ リンク：研究・開発段階+インフラ・法規制整備
  - ▶ 船舶：自動運航船
  - ▶ トラック：自動運転・隊列走行
  - ▶ ラストワンマイル：宅配ロボット, ドローン



※1 ロールスロイス:完全自律航行による大洋航行を実現(福戸2017:自律船研究の動向,日本航海学会誌)  
※2 事業用,一部地域におけるレベル4を実現し、順次対象を拡大。(自動走行ビジネス検討会2017「自動走行の実現に向けた取組方針」)

# 物流における自動化・省人化

- ▶ 自動運転トラックによる幹線輸送、ラストマイルにおけるロボット配送等により自動化・省力化された物流が、平時や災害時を含め持続可能なシステムとして機能
- ▶ **2040年**：具体的イメージ
  - ▶ 幹線道路や物流拠点等から得られる物流関連ビッグデータがデータプラットフォームを通じて**物流の共同化**等を支援
  - ▶ 専用道路とそれに直結するインフラ（連結・解除拠点、充電スポット・水素ステーション等）が高速道路に整備され、**隊列走行や自動運転トラック輸送が全国展開**



自動運転トラックや隊列走行の専用道路とそれに直結する連結・解除拠点

出典：国土交通省2020  
「2040年、道路の景色が変わる」

## 発表の構成

- ▶ 1.ダブル連結トラックを用いた共同輸送における物流拠点の整備
- ▶ 2.自動運転トラック・トラック隊列走行における物流拠点の整備
- ▶ 3.自動運転トラック・トラック隊列走行における物流拠点の立地最適化
- ▶ 4.高速道路と直結した物流拠点の立地に関する制度
- ▶ 5. まとめ

# 1.ダブル連結トラックを用いた共同輸送における物流拠点の整備

# ダブル連結トラックを用いた共同輸送

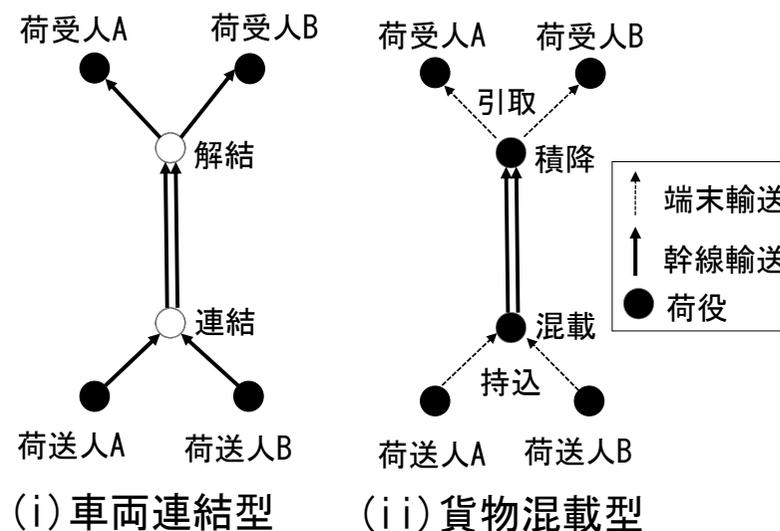
## ▶ 共同輸送の方式

方式	概要	メリット
(i) 車両連結型	拠点でトレーラや後続トラック等の連結・解除をする	迅速性：連結・解除作業のみで完了 (連結作業：10数分)
(ii) 貨物混載型	拠点に荷捌場を設けて、積替え・混載を行う	積載率向上：クロスドック機能により同一方面の貨物混載

### (i) 車両連結方式 → 荷役不要



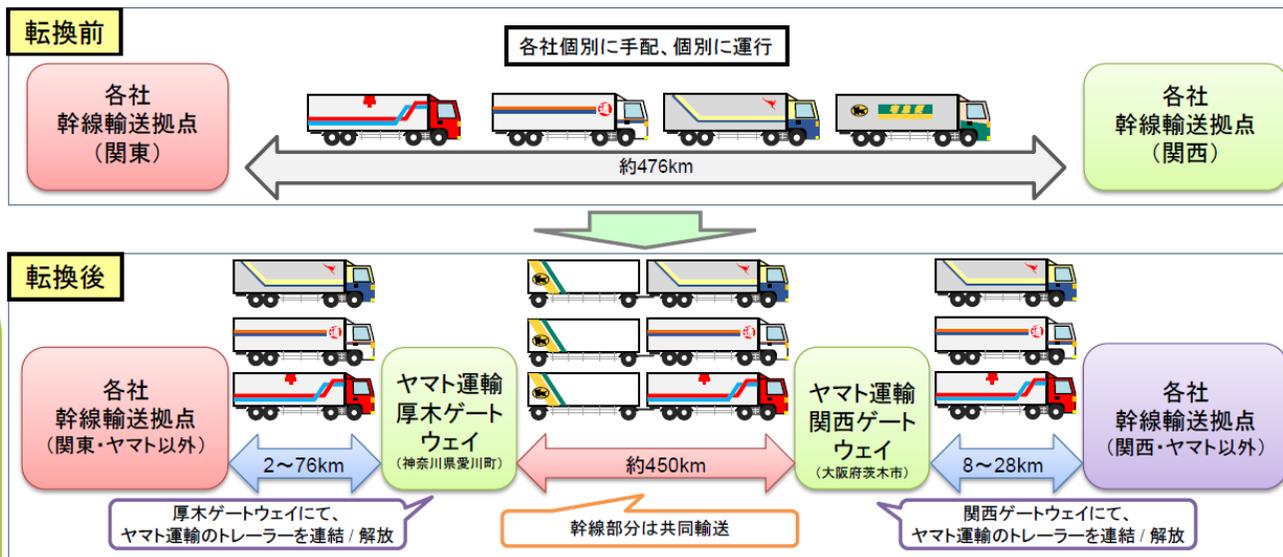
### (ii) 貨物混載方式 → 荷役必要



# 車両連結型：特積み事業者による共同輸送

## ▶ ダブル連結トラックを活用した共同輸送（2019/3-）

- ▶ 実施主体：ヤマト運輸、西濃運輸、日本通運、日本郵便
  - ▶ 全国物流ネットワーク協会：2017年より具体的な共同輸送のオペレーション及び参加条件等を検討
- ▶ 関東～関西間を結ぶ宅配貨物等の幹線輸送→改正物流総合効率化法の認定
  - ▶ ドライバー運転時間削減：9,157時間/年（46%削減）
  - ▶ 夜間とともに昼間便が設定されていることが特徴

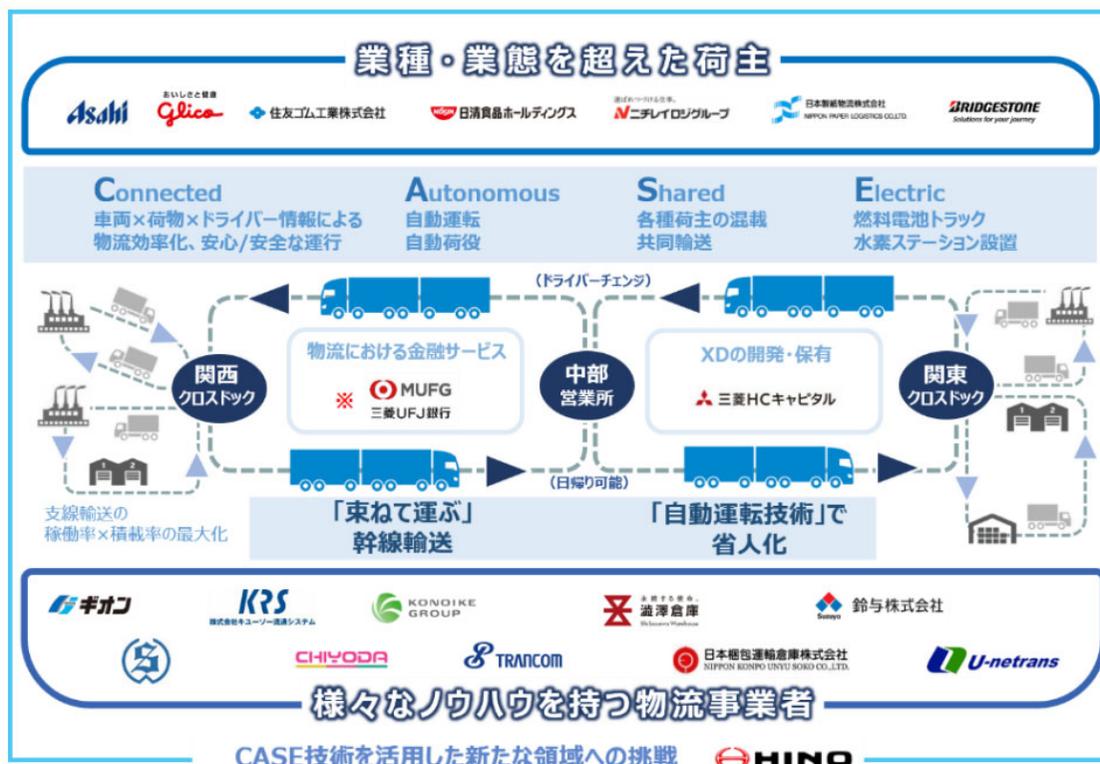


国土交通  
省プレス  
リリース  
(2019/3)

撮影：渡部

# 貨物混載型：荷主との連携による共同輸送

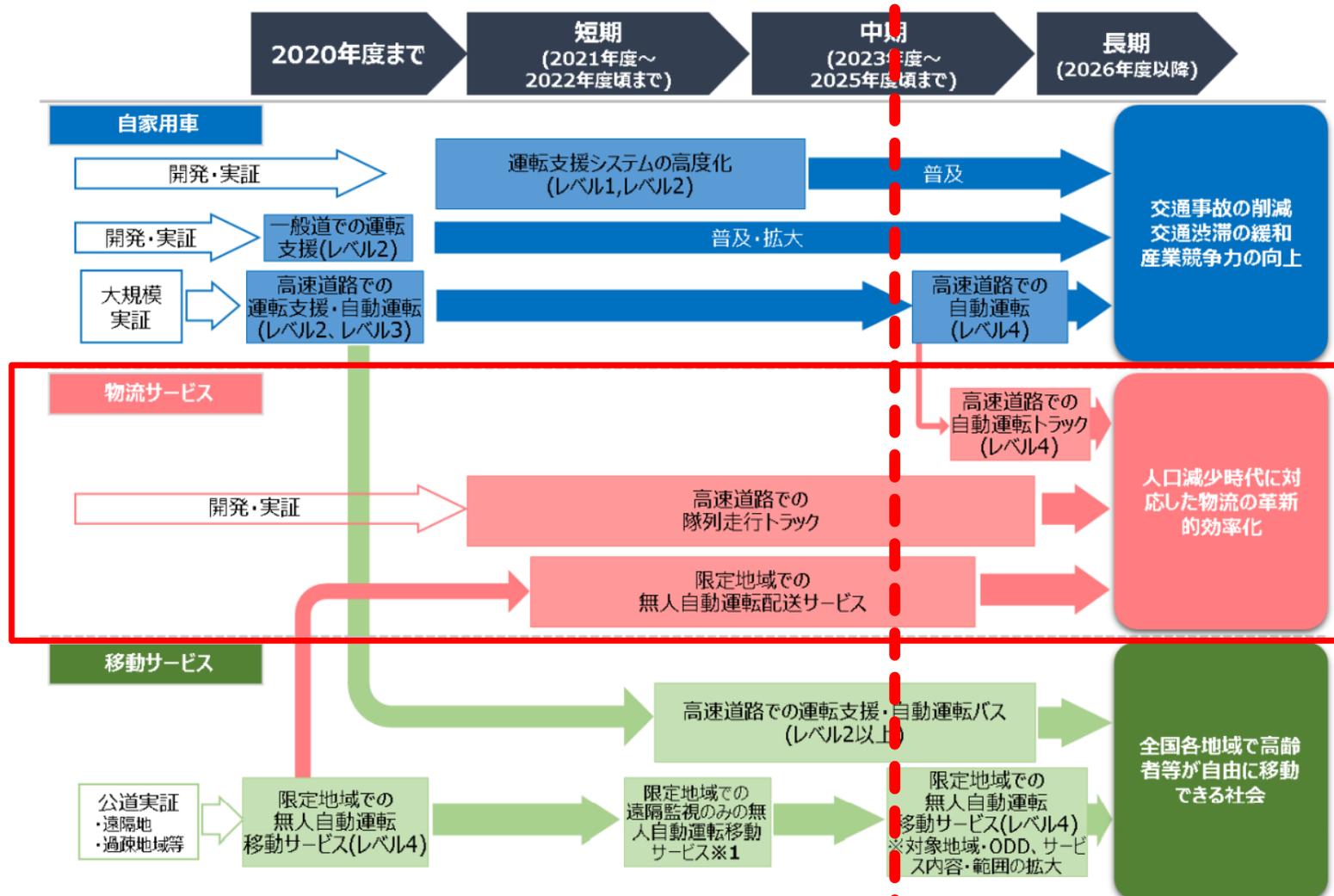
- ▶ NEXT Logistics Japan（設立：2018/6，運行：2019/12）
  - ▶ 参加企業20社：荷主企業7，物流企業10社，他3社（OEM，リース）
  - ▶ 東名阪間の幹線輸送：東西2か所にクロストック→荷主各社の荷物を集約



出典：NLJプレスリリース

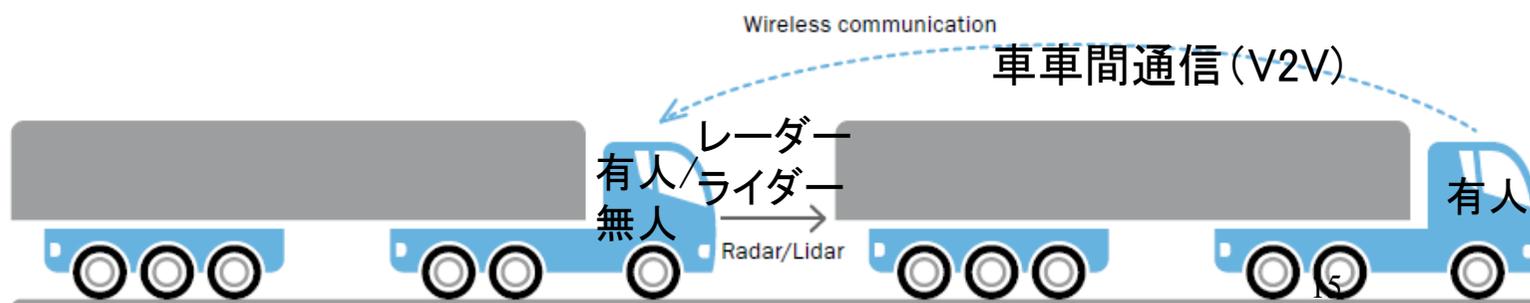
## 2.自動運転トラック・トラック隊列走行における 物流拠点の整備

# 自動運転（日本）：ロードマップ



# トラック隊列走行

- ▶ トラック隊列走行（Truck Platooning）：電子牽引による複数台トラックの隊列の形成
  - ▶ 隊列中の後続車両は、運転手のいる先頭車両の制動、加速、操舵等の挙動を自動的に再現する
  - ▶ 協調型車間距離制御システム：Cooperative Adaptive Cruise Control(CACC)
    - ▶ 車間時間: 自動運転2-3秒, 人間（通常時）1.5秒, 人間（渋滞時）1秒, CACC0.3秒

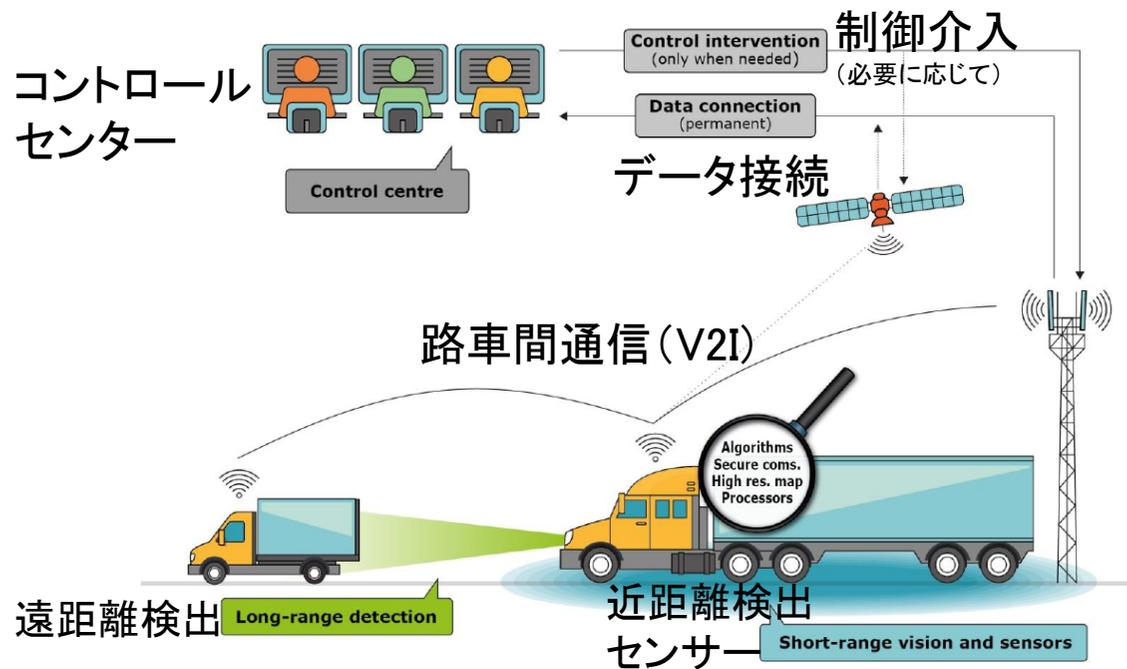


Source: Vision Truck Platooning 2025, TNO and Rijkswaterstaat, 2016 and Janssen et al "Truck Platooning", TNO, 2015

# 自動運転（レベル4）

## ▶ 自動運転車（Self-driving car）

- ▶ Automated: 人がほとんどあるいは全く、直接のコントロールにかかわらない車両
- ▶ Autonomous: 自動化されたシステムが常に運転操作を行う車両 →完全自動運転
- ▶ 自動運転レベル4：特定の走行環境条件を満たす限定された領域（**限定領域：高速道路など**）において、自動運行装置が運転操作の全部を代替する状態



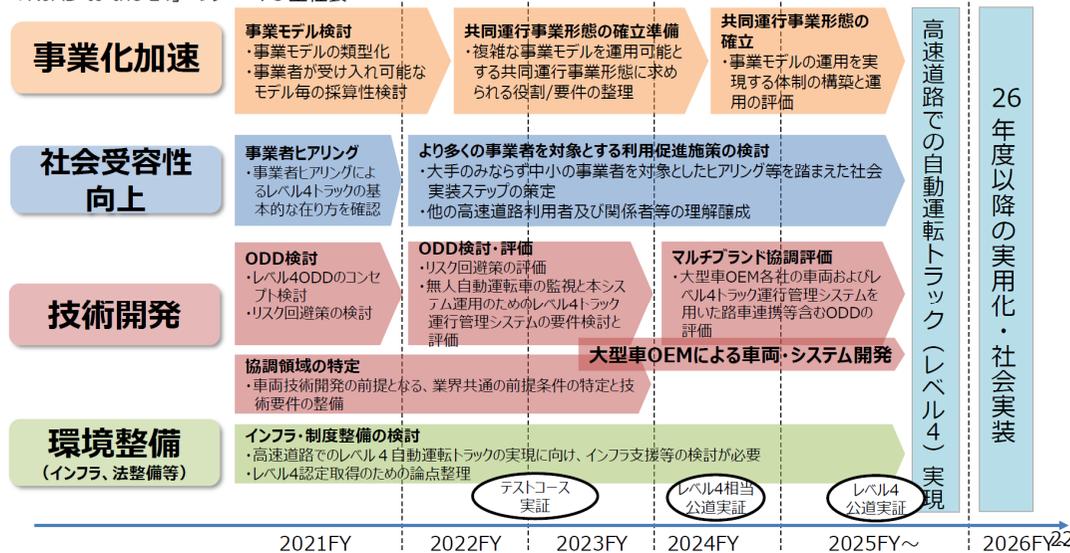
# 自動運転（日本）：プロジェクト（2021-）

- ▶ 自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト
  - ▶ RoAD to the L4 プロジェクト(Project on Research, Development, Demonstration and Deployment (RDD&D) of Autonomous Driving toward the Level 4 and its Enhanced Mobility Services)
- ▶ 高度幹線物流システムの構築

## 自動運転を活用した新しい基幹物流システムの構築に向けて

- 物流の担い手不足解消や物流効率の向上に向け、**2025年度以降の高速道路におけるレベル4自動運転トラックの実現及び2026年度以降の自動走行技術を用いた幹線輸送の実用化・社会実装を目標とする。**
- 「RoAD to the L4」のテーマ3において、大型車メーカー各社および物流事業者をはじめとする関係者が、一堂に会し、**①インフラ・制度整備、②車両／システム開発、③走行環境・運行条件、④事業モデルの検討を開始。**

「RoAD to the L4」のテーマ3 工程表



# 自動運転（日本）：プロジェクト（2021-）

## ▶ 高度幹線物流システムの構築

- ▶ 走行モデル案：ドライバー配置や働き方、高速道路直結施設（中継エリア）や外部委託、今後の技術進展等の観点を踏まえ設定された
- ▶ 今後の展開：事業者からは最終的には無人自動運転の実現が期待される一方で、レベル4トラックの本線走行における安全性を事業者自身で確認したいとの意向も踏まえ、高速道路直結施設（中継エリア）の整備等が行われるまでの間、走行モデルA（車内有人でのレベル4自動運転）の開始が有効では無いかとの認識であった。

分類	概要
① 走行モデルA	車内有人でのレベル4自動運転（運転者は非運転状態）
② 走行モデルB	高速道路直結施設（中継エリア）でドライバーが乗り降りまたは荷物あるいはボデーを乗せ替え、本線は無人レベル4自動運転
③ 走行モデルC	既存物流施設に高速道路へ繋がる接続路を設置（事業者自社拠点等から直結）または高速道路直結の共用ターミナル(※)を新設し、本線は無人レベル4自動運転

※共用ターミナル：不特定多数の事業者のトラックが荷捌きを行える一般トラックターミナルまたはデベロッパー等が賃貸提供する物流センターのイメージ

22

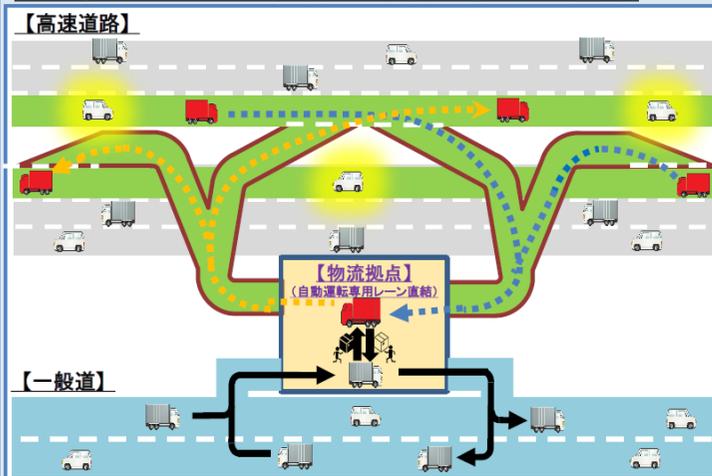
出典：小川博「商用車の自動化、安全対策そしてMaaS化」物流学会関東部会発表資料，2022.

# 自動運転（日本）：インフラ整備

## 高速道路における「無人運転」に向けた検討

### 【段階2】「無人運転」を実現するための対応

#### (1) 専用レーンに直結する物流拠点の整備

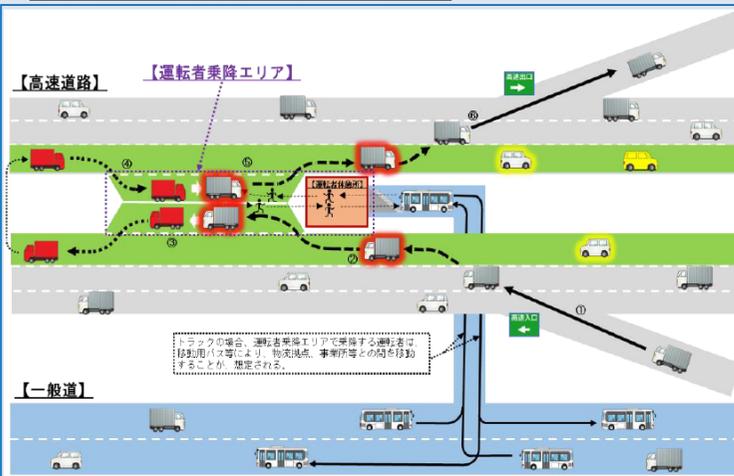


専用レーン直結の物流拠点間を移動するトラックは、起終点間全てで自動運転（Lv4）可能。⇒「無人運転」が可能。

#### 【メリット】

- 全運転者の労働時間を、8.7%削減。  
⇒トラックの運転者は、需要数に対して、2025年度に18%、2028年度に24%不足する見込みだが、その一部をカバー。
- 運転者1人当たりの運転時間を、214時間/年削減。  
⇒バス運転者1人当たり時間外労働 147時間/年を上回り、  
トラック運転者1人当たりの時間外労働 423時間/年の約50%に相当。  
働き方改革にも貢献。

#### (2) 運転者乗降エリアの整備



#### 【その他】

- 貨物運送 ⇒ 幹線物流の効率化の観点から、道路側、運送事業者側等が、如何に全体の物流システムを構築するかを検討することが重要。共同配送のように、一者とその役割を担うことも考えられる。
- 旅客運送 ⇒ 事故等の際、乗客の誘導等を行う乗務員の乗車は必要と考えられるが、別途、乗客対応体制が整備されれば、乗務員も不要。体制整備は、各事業者ではなく、一体的に行うことも考えられる。

# 高速道路IC直結物流施設：自動運転（レベル4）に対応

- ▶ 京都府城陽市東部丘陵地青谷先行整備地区
  - ▶ 新名神高速道路宇治田原IC（2024年度開通予定）に隣接
- ▶ 高速道路 IC に直結し次世代のモビリティに対応した「次世代基幹物流施設」の開発計画
  - ▶ 高速道路 IC に直結した**専用ランプウェイ**の整備を行う物流施設の開発：本計画が日本初
  - ▶ 事業者：三菱地所、東急不動産
- ▶ 今後の計画（三菱地所）：関東圏においても本計画同様の基幹物流施設の開発計画
  - ▶ 関東圏と関西圏の両方で基幹物流施設の整備を進め、三大都市圏を結ぶ物流ネットワークの自動化・省人化対応を推進

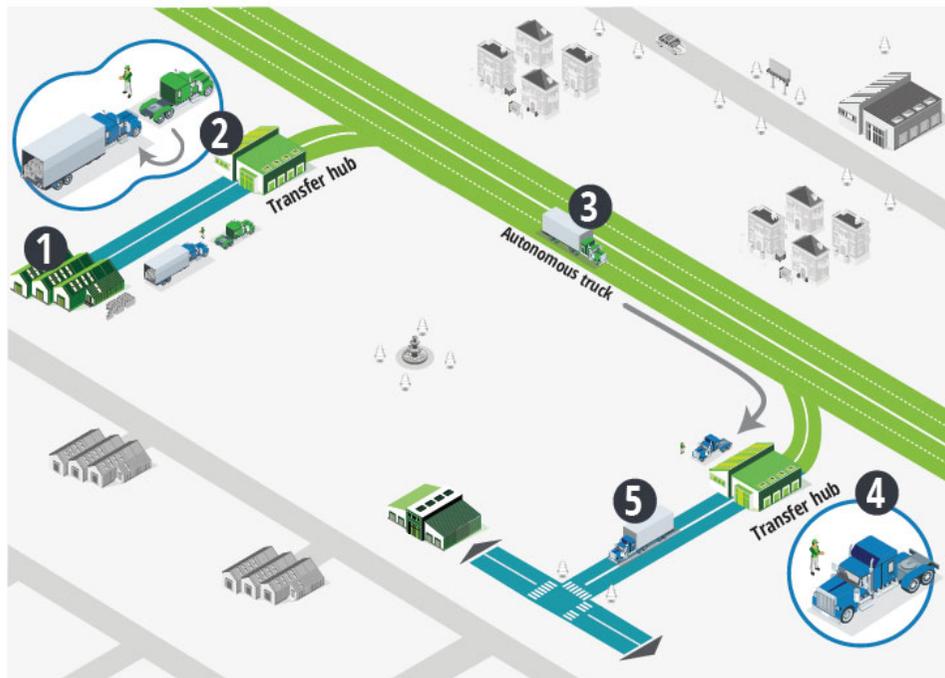
新名神高速道路



# 自動運転トラックの開発動向：米国

## ▶ 自動運転トラックの運行計画

- ▶ 高速道路：自動運転→Transfer Hubでの機材交換
- ▶ 一般道：ドライバーによる運転



■ Human-driven route ■ Autonomous route

- 1** Human drives truck from distribution center to transfer hub.
- 2** Human switches trailer to autonomous power rig.
- 3** The autonomous truck exits transfer station, onto highway to drive highway portion of run.
- 4** The autonomous truck exits highway and pulls into transfer hub at final location. Trailer is switched to human operated power rig.
- 5** Human exits transfer hub and drives vehicle to end destination.

### 3. 自動運転トラック・トラック隊列走行における 物流拠点の立地最適化

# 自動運転レベル

※SAE InternationalのJ3016  
(2016年9月) 及びその日本語  
参考訳であるJASO TP 180041  
(2018年2月) の定義を採用

レベル	名称	定義概要	安全運転に係る監視、 対応主体
運転者が一部又は全ての動的運転タスクを実行			
0	運転自動化なし	運転者が全ての動的運転タスクを実行	運転者
1	運転支援	システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
2	部分運転自動化	システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
自動運転システムが（作動時は）全ての運転タスクを実行			
3	条件付運転自動化	システムが全ての動的運転タスクを限定領域1において実行 作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に 応答	システム (作動継続が困難な場合は運転者)
4	高度運転自動化	システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合 への応答を <b>限定領域</b> において実行	システム
5	完全運転自動化	システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合 への応答を無制限に（すなわち、限定領域内ではない）実行	システム

(i) 隊列走行  
(後続有人)

(ii) 隊列走行  
(後続無人)

(iii) 自動運転  
(レベル4)

# 定式化：単一割当モデル

- ▶ 需要点  $i \in I$ ,  $j \in J$ 、全ての需要点を拠点の立地候補点
- ▶ 幹線コスト割引係数  $\alpha$  ( $\leq 1$ ) : 拠点・需要点間の端末区間の移動よりもコストが低く移動することが可能
- ▶ 0-1整数変数  $Z_{ik}$  : 需要点  $i$  が立地候補点  $k$  への割り当てを表す

$$\text{Min.} \quad \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m W_{ij} (C_{ik} + \alpha C_{km} + C_{mj}) X_{ijkm} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_k Z_{kk} = p \quad (2)$$

$$\sum_k Z_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$Z_{ik} - Z_{kk} \leq 0 \quad \forall i \neq k \quad (4)$$

$$\sum_m X_{ijkm} - Z_{ik} \leq 0 \quad \forall j > i; k \quad (5)$$

$$\sum_k X_{ijkm} - Z_{jm} \leq 0 \quad \forall j > i; m \quad (6)$$

$\alpha$ : 幹線コスト割引係数 (拠点間)

$p$ : 拠点数

$W_{ij}$ : 需要点  $i, j$  間流動量

$C_{ik}$ : 点  $ik$  間輸送コスト

$X_{ijkm}$ : 需要点  $i, j$  間移動の際に拠点  $k, m$  を利用する割合

$Z_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{需要点 } i \text{ が拠点 } k \text{ に割り当てられる} \\ 0, & \text{それ以外} \end{cases}$

$Z_{kk} = \begin{cases} 1, & \text{候補点 } k \text{ での拠点立地有} \\ 0, & \text{それ以外} \end{cases}$

# 幹線コスト割引係数 $\alpha$

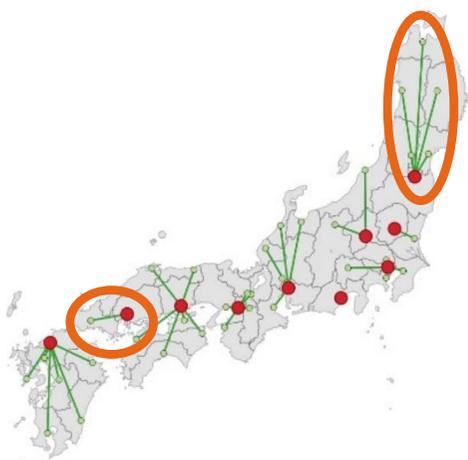
- ▶ 拠点（ハブ）間の幹線輸送におけるシナリオによる計算
  - ▶ Watanabe et al.2021
  - ▶ 費用（隊列走行における先頭車両 $a$ 、後続車両 $b$ ）と隊列形成台数 $n$
- ▶ 幹線コスト割引係数 $\alpha$  = 走行費用の比：分母は隊列なしの場合，分子は隊列走行の場合
  - ▶ 小数点以下2桁で切り捨てた値

$$\alpha = \frac{a + (n - 1)b}{an} \quad (12)$$

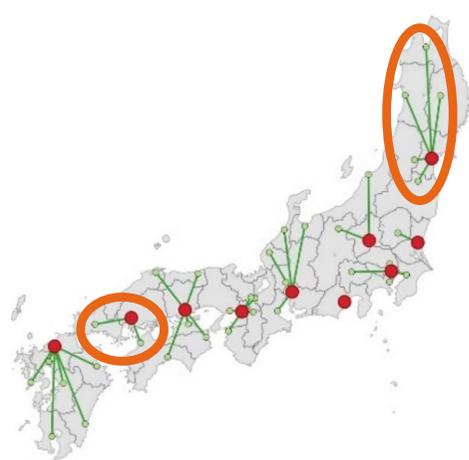
シナリオ	$a$	$b$	$n$	$\alpha$
(i) 隊列（後続有人）	0.9	0.8	3	0.8
(ii) 隊列（後続無人）	0.9	0.4	3	0.5
(iii) 自動運転（レベル4）	0.5	0.4	3	0.4

# 最適配置と割当：a.単一割当（拠点数10）

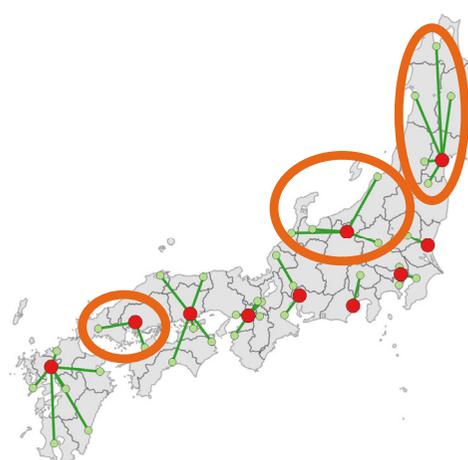
- ▶ 最適配置：シナリオ(i)と(ii)が同じ結果
  - ▶ 違いとしては、北関東から東北地方にかけて、シナリオ(i)と(ii)では福島県、シナリオ(iii)では宮城県に立地しているものの、割当に大きな違いはない。
- ▶ p-Median：単一割当の結果とは概ね同じ傾向、北陸地方において異なる配置結果



(i) 隊列（後続有人）  
(ii) 隊列（後続無人）



(iii) 自動運転（レベル4）

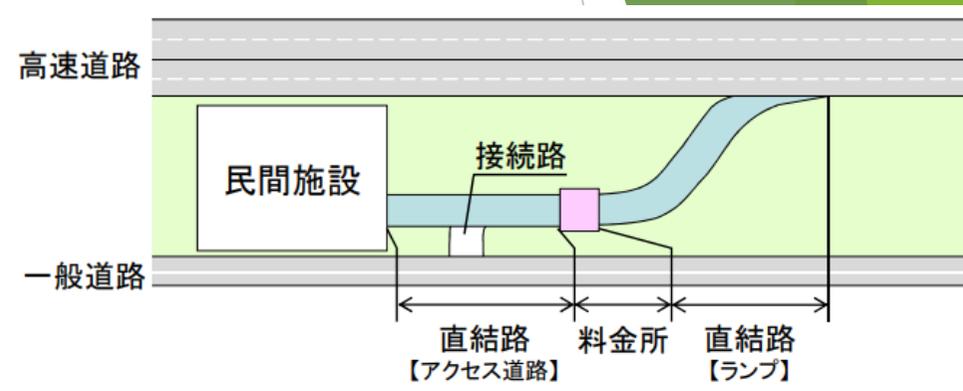


(iv) p-Median

# 4. 高速道路と直結した物流 拠点の立地に関する制度

# 高速道路との接続形態に基づく物流拠点の立地形態

- ▶ SA・PAの敷地内または連結した利便施設（2005年）
- ▶ 民間施設直結スマートIC（2019年）：右図
- ▶ 高速道路の一時退出制度による道路外の施設利用（2018年本格導入）：右下図



開放型	閉鎖型
高速道路から当該施設を介して、一般道路に車両が出入りできるもの	高速道路から当該施設を介して、一般道路に車両が出入りできないもの
<p>高速道路への連結は、上図に示したようなサービスエリア、パーキングエリアに連結する場合の他、高速道路本線に直接連結することも可能です。</p>	



# 高速道路との接続形態に基づく物流拠点の立地形態

- ▶ 短期的：現状の物流拠点を活用できる
  - (3) 一時退出制度 あるいは (1) SAPA閉鎖型の整備（既存のSA・PAを活用）
- ▶ 長期的：一般道との接続を考慮した汎用的な運用が可能となる
  - (1) SAPA開放型 あるいは (2) 民間施設直結スマートIC

項目		高速道路	一般道路
(1)SA・PAの敷地内 または連結した利 便施設	開放型	○	○
	閉鎖型	○	×
(2)民間施設直結スマートIC		○	○
(3)高速道路の一時退出制度による道路外 の施設利用		×	○

# 都道府県による企業立地支援体制：埼玉県

- ▶ 従前：市区町村が個々に県庁内の関係各課と調整（国：関東地方整備局や関東農政局とは県庁関係各課が調整）

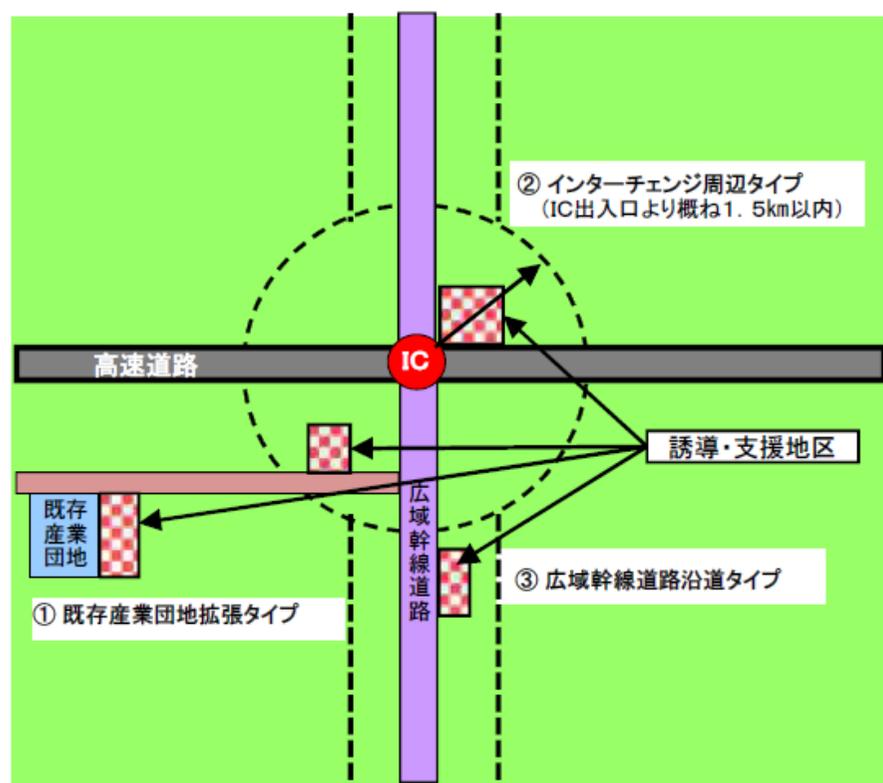


- ▶ 本制度：産業基盤対策幹（旧 田園都市づくり課）が市町村からの開発相談に**ワンストップ**で対応→部局横断的庁内会議を活用して、産業基盤づくりに係る農林調整をはじめとする県庁内関係各課との**土地利用調整を一括**して行うなど、スピードアップ化を図った。



# 産業誘導地区：埼玉県

産業誘導地区の対象エリアイメージ図



対象エリア条件

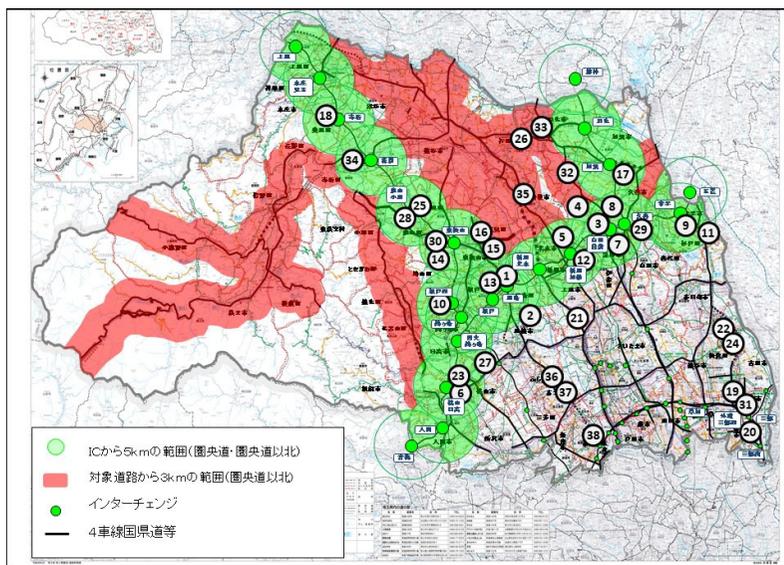
	工場・研究施設	流通業務施設
① 既存産業団地 拡張タイプ	既存産業団地に 隣接する区域	
② インターチェンジ 周辺タイプ	IC 出入口より 概ね1.5km以内	
③ 広域幹線道路 沿道タイプ	幅員12m以上の 道路の沿道 ※地域の実情に応じ て車両の通行や歩行 者の安全確保上支障 のない場合は幅員9 m以上	4車線以上の幹線道 路の沿道、又はその 道路からの距離が概 ね500m以内でかつ 幅員12m以上の道路 に接している区域

○面積要件

開発区域の面積が概ね5ha以上(※北部地域、秩父地域については概ね2ha以上) 【※区域は前方針と同様】

# 物流施設の立地状況：埼玉県

- ▶ 物流施設の立地：31地区中23地区→圏央道を中心に高速道路IC周辺に立地
  - ▶ 39地区のうち、造成工事が完了する等、企業に区画販売を開始した地区は31地区
  - ▶ 販売先の企業名が公表されているのは27地区
  - ▶ インターネットなどで物流施設の立地を把握できたのが以下の23地区



圏央道沿線地域：13地区	①川島インター産業団地 ②川越第二産業団地 ③菖蒲南部産業団地 ④騎西城南産業団地 ⑦白岡西部産業団地 ⑧ネクストコア清久 ⑨ 幸手中央地区産業団地 ⑩坂戸西インター周辺地区 ⑪杉戸屏風深輪産業団地 ⑫桶川加納原地区 ⑬川島三島地区 ⑭狭山工業団地拡張地区 ⑲宮代和戸横町地区
圏央道以北地域：6地区	⑭袋地区（東松山市） ⑮西吉見南部地区 ⑯東松山藤曲地区 ⑰加須IC東産業団地 ⑱杉山地区（嵐山町） ⑳きじやま地区（東松山市）
その他地域：4地区	⑲草加柿木フーズサイト ⑳三郷インター南部南地区 ㉑上尾道路沿道中新井・堤崎地区 ㉒大川戸砂田地区（松伏町）

出典：埼玉県ヒアリング調査

# 物流施設の開発事例：埼玉県

- ▶ 川島インター産業団地
  - ▶ 国道254号に隣接し、川島ICの整備に併せて開発（2009年完成、約47ヘクタール）
    - ▶ 2008年3月：鶴ヶ島JCT - 川島IC間開通
    - ▶ 2010年3月：川島IC - 桶川北本IC間開通
  - ▶ 「田園都市産業ゾーン基本方針」適用第一号
- ▶ 事例：プロロジスパーク川島Ⅰ・Ⅱ
  - ▶ 事業者：プロロジス
  - ▶ 経緯：自治体と連携，土地区画整理事業の初期段階から関与
  - ▶ マルチテナント型：複数の事業者が利用するので、**汎用性が重要**→必ずしも高速道路（ICや本線）と直結している必要はない
  - ▶ その他の課題：物効法の活用ができない→マルチテナント型は効率化・CO2削減の定量的提示が難しく、効率化計画の認定が受けられないため対象外

出典：プロロジスヒアリング調査（2022/3）



出典：川島町ホームページ

# 5.まとめ

# まとめ

- ▶ ダブル連結トラックを用いた共同輸送における物流拠点の整備
  - ▶ 共同輸送の運行形態を車両連結型と貨物混載型の2つに類型化を行った上で、前者では車両の連結・解除のためのスペース、後者ではクロスドック機能が必要であることを確認した。
- ▶ 自動運転トラック・トラック隊列走行における物流拠点の整備
  - ▶ トラック隊列走行とともに、特定の条件下で運転を完全に自動化するレベル4に対応した自動運転トラックの本格的な導入に向けて、高速道路に直結した物流拠点の整備に関する取り組みが必要であることを確認した。
- ▶ 自動運転トラック・トラック隊列走行における物流拠点の立地最適化
  - ▶ 隊列（後続有人）から隊列（後続無人）、自動運転（レベル4）へと技術進化が進んだ場合にも、拠点で最適配置が大きく変わらず、拠点への割当についても単一割当やp-Medianと類似した結果となることが分かった。
- ▶ 高速道路と直結した物流拠点の立地に関する制度
  - ▶ 全国レベルでは、幹線道路と接続した広域物流拠点整備に向けた制度の現状をまとめた。
  - ▶ 地方レベルでは、行政による先進的な取組として、埼玉県による事例に基づき、行政によるワンストップサービスによる物流施設立地の現状をまとめた。

# 謝辞

- ▶ 本研究を進めるにあたり，調査にご協力頂いた関係各位に厚く御礼申し上げます。
- ▶ 本研究は国土交通省・新道路技術会議プロジェクト「ダブル連結トラックおよび貨物車隊列走行を考慮した道路インフラに関する技術研究開発」の成果の一部であることを付記しておく。

ご清聴  
ありがとうございました。

渡部 大輔

daisuke@kaiyodai.ac.jp