

都市づくりについての技術研究論文発表会  
平成31年2月7日

# 都市部基幹バスの自動運転導入に伴う 環境基盤整備と交通課題解決

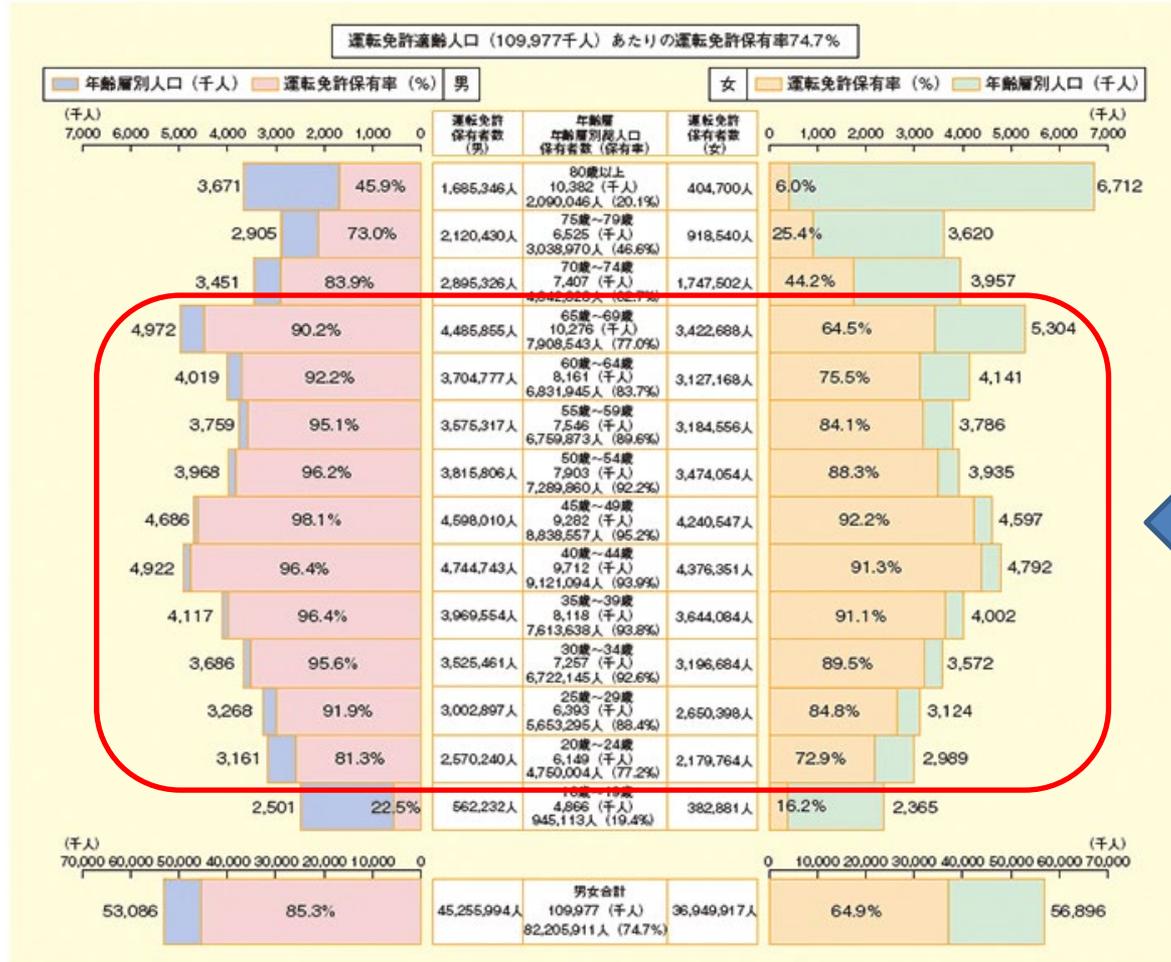
前橋市政策部交通政策課

細谷 精一

飯塚 弘一

# 1. はじめに(免許保有世代の高齢化)

▶第1-39図 男女別運転免許保有者数と年齢層別保有者率(平成28年末)



免許証の保有率が高い世代が高齢化

注 1 人口については、平成29年の総務省統計資料「年齢(各歳)、男女別人口及び人口性比・総人口、日本人人口(平成28年10月1日現在)」による。  
 2 人口の千単位は四捨五入しているため、合計の数字と内訳が一致しない場合がある。

# 1. はじめに(免許返納意欲の高まり)

## (4) 申請による運転免許の取消件数の年別推移

区分 年別	申請取消件数										
	65歳以上		70歳以上		75歳以上		80歳以上		85歳以上		
	構成率(%)	構成率(%)	構成率(%)	構成率(%)	構成率(%)	構成率(%)	構成率(%)	構成率(%)	構成率(%)		
20年	29,150	28,097	96.4	26,311	90.3	19,851	68.1	10,525	36.1	2,916	10.0
21年	51,086	49,251	96.4	44,463	87.0	28,087	55.0	16,377	32.1	4,519	8.8
22年	65,605	63,159	96.3	55,524	84.6	32,488	49.5	18,806	28.7	5,378	8.2
23年	72,735	69,805	96.0	61,841	85.0	37,199	51.1	23,109	31.8	8,471	11.6
24年	117,613	111,852	95.1	101,036	85.9	65,147	55.4	35,432	30.1	13,522	11.5
25年	137,937	131,595	95.4	121,211	87.9	87,014	63.1	48,840	35.4	15,721	11.4
26年	208,414	197,552	94.8	172,701	82.9	96,581	46.3	58,773	28.2	20,762	10.0
27年	285,514	270,159	94.6	231,233	81.0	123,913	43.4	75,205	26.3	27,696	9.7
28年	345,313	327,629	94.9	276,614	80.1	162,341	47.0	103,422	30.0	39,991	11.6
29年	423,800	404,817	95.5	355,910	84.0	253,937	59.9	156,066	36.8	65,532	15.5

年々増加



- (注) 1 運転免許の一部取消しは除く。  
2 年齢別の数は、「申請取消件数」の内数である。

# 1. はじめに(自動車への依存度が高い前橋)

都道府県	都市	自家用乗用車										
		1世帯当たり		1人当たり		自家用乗用車 = ①+②			登録車 ①		軽自動車 ②	
		台数	ランク	台数	ランク	保有台数	ランク	前年比	保有台数	ランク	保有台数	ランク
神奈川県	横浜市	0.641	184	0.299	185	1,113,779	1	100.02	939,454	1	174,325	6
愛知県	名古屋市	0.962	148	0.454	140	1,029,844	2	100.78	813,962	2	215,882	1
北海道	札幌市	0.793	165	0.419	152	814,586	3	100.69	608,338	3	206,248	2
大阪府	大阪市	0.413	195	0.219	193	588,187	4	100.70	466,023	4	122,164	17
福岡県	福岡市	0.780	167	0.389	157	584,030	5	101.43	429,573	5	154,457	10
広島県	広島市	0.957	149	0.441	145	525,435	6	100.83	351,318	9	174,117	7
宮城県	仙台市	1.040	137	0.488	132	515,516	7	101.01	379,167	7	136,349	11
兵庫県	神戸市	0.673	180	0.324	176	501,163	8	100.54	383,450	6	117,713	18
静岡県	浜松市	1.486	49	0.602	62	487,133	9	100.88	300,397	12	186,736	3
福岡県	北九州市	1.001	142	0.494	130	479,632	10	100.72	295,373	13	184,259	4
新潟県	新潟市	1.416	68	0.584	85	469,048	11	101.04	285,414	15	183,634	5
埼玉県	さいたま市	0.832	160	0.367	164	465,993	12	100.76	359,342	8	106,651	22
京都府	京都市	0.638	185	0.314	179	445,843	13	100.22	318,380	10	127,463	14
千葉県	千葉市	0.917	152	0.418	153	403,072	14	100.94	310,538	11	92,534	27
岡山県	岡山市	1.263	99	0.567	96	401,260	15	101.02	241,233	17	160,027	8
熊本県	熊本市	1.170	117	0.528	119	388,392	16	101.36	232,774	19	155,618	9
静岡県	静岡市	1.158	120	0.503	128	358,165	17	100.46	235,592	18	122,573	16
神奈川県	川崎市	0.486	191	0.235	191	342,604	18	100.12	294,584	14	48,020	81
栃木県	宇都宮市	1.469	54	0.639	24	333,590	19	101.24	241,353	16	92,237	28
鹿児島県	鹿児島市	1.098	125	0.526	120	319,237	20	100.91	187,210	23	132,027	13
大阪府	堺市	0.806	163	0.366	165	309,763	21	100.41	209,534	20	100,229	24
岡山県	倉敷市	1.414	69	0.597	69	288,904	22	101.12	156,826	32	132,078	12
兵庫県	姫路市	1.220	109	0.522	123	282,566	23	100.62	174,504	25	108,062	20
愛知県	豊田市	1.626	20	0.663	8	280,009	24	100.63	204,597	21	75,412	39
大分県	大分市	1.296	94	0.580	91	277,805	25	101.20	162,778	30	115,027	19
神奈川県	相模原市	0.855	158	0.385	159	276,060	26	100.30	198,559	22	77,501	35
広島県	福山市	1.357	80	0.582	90	274,871	27	100.81	149,324	36	125,547	15
石川県	金沢市	1.354	81	0.603	61	273,768	28	101.07	182,263	24	91,505	29
富山県	富山市	1.576	24	0.649	15	271,814	29	100.80	172,435	27	99,379	25
愛媛県	松山市	1.020	140	0.482	133	249,456	30	101.10	142,139	40	107,317	21
岐阜県	岐阜市	1.388	72	0.588	80	243,339	31	100.51	165,027	28	78,312	33
群馬県	高崎市	1.511	42	0.643	20	241,459	32	101.04	163,955	29	77,504	34
香川県	高松市	1.236	105	0.553	103	237,677	33	101.15	142,978	39	94,699	26
埼玉県	宮崎市	1.242	104	0.584	84	237,031	34	100.90	130,735	47	106,296	23
長野県	長野市	1.459	57	0.603	60	231,375	35	100.47	141,621	41	89,754	30
愛知県	岡崎市	1.476	51	0.597	67	228,669	36	101.19	156,285	33	72,384	42
愛知県	豊橋市	1.494	47	0.604	59	228,545	37	100.71	146,642	38	81,903	32
群馬県	前橋市	1.589	23	0.673	6	228,422	38	100.50	154,744	34	73,678	40
福島県	いわき市	1.503	43	0.652	12	216,533	39	101.65	139,760	42	76,773	37
愛知県	一宮市	1.370	77	0.546	108	211,026	40	100.97	137,667	44	73,359	41
東京都	八王子市	0.795	164	0.367	163	206,525	41	100.27	153,574	35	52,951	66

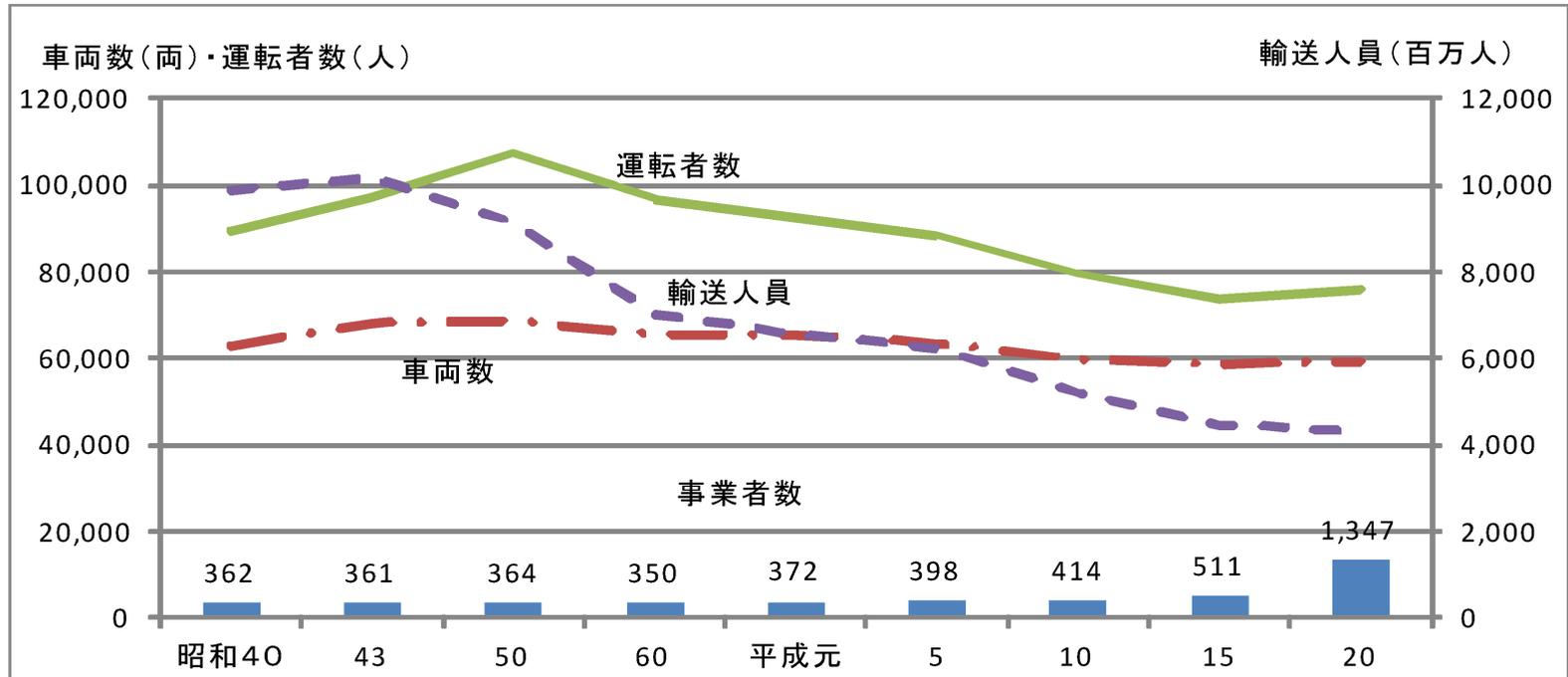
都市別の自動車普及状況

平成28年3月31日現在

出典:自動車検査登録情報協会ホームページ

前橋市は1人当たりの自家用車保有台数が全国6位

# 1. はじめに(深刻なバス運転者不足)



日本バス協会:「運転者不足問題」に対する今後の対応策について

**車両数はほとんど変わらないのに運転者数は減っている**

## 2. 自動運転技術の現状（技術の定義）

レベル	概要
レベル0	運転自動化なし（運転者が全てを制御）
レベル1	運転支援（システムが前後・左右いずれかの制御を実施）
レベル2	部分運転自動化（運転者による監視・介入が前提）
レベル3	条件付運転自動化（システムの介入要求時に運転者が対応）
レベル4	高度運転自動化（限定領域で全てをシステムが制御・対応）
レベル5	完全運転自動化（無制限に全てをシステムが制御・対応）

2020年までにレベル4での移動サービスの実現が見込まれる

### 3. 前橋市での実験の背景

- バス運転手不足解消の必要性



- レベル4以上の実用化が必須



- 既存の乗合バス路線への社会実装を目指した実験

## 4. 実証実験の概要（路線の概要）

区間：JR前橋駅～上毛線中央前橋駅のシャトル線  
（前橋市委託路線）

距離：約1km

所要時間：約10分

運賃：おとな100円

運行間隔：概ね30分に1本

実験関係者：前橋市

群馬大学

日本中央バス

車両内運転者の有無：有り



## 4. 実証実験の概要(上毛電鉄中央前橋駅)



## 4. 実証実験の概要(けやき通り)

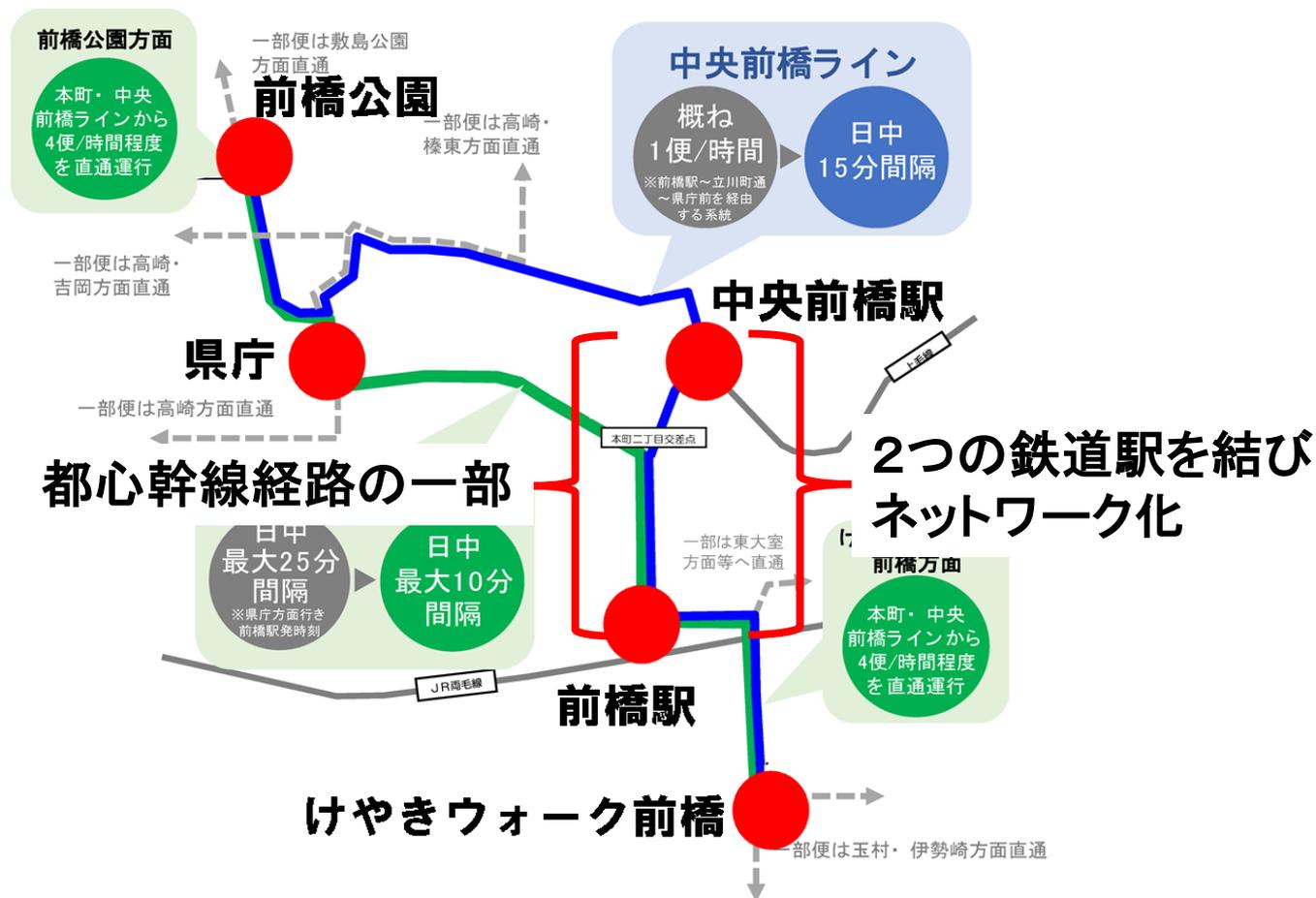


## 4. 実証実験の概要 (JR前橋駅)



# 4. 実証実験の概要(実験区間の位置付け)

## 前橋市地域公共交通網形成計画での都心幹線計画

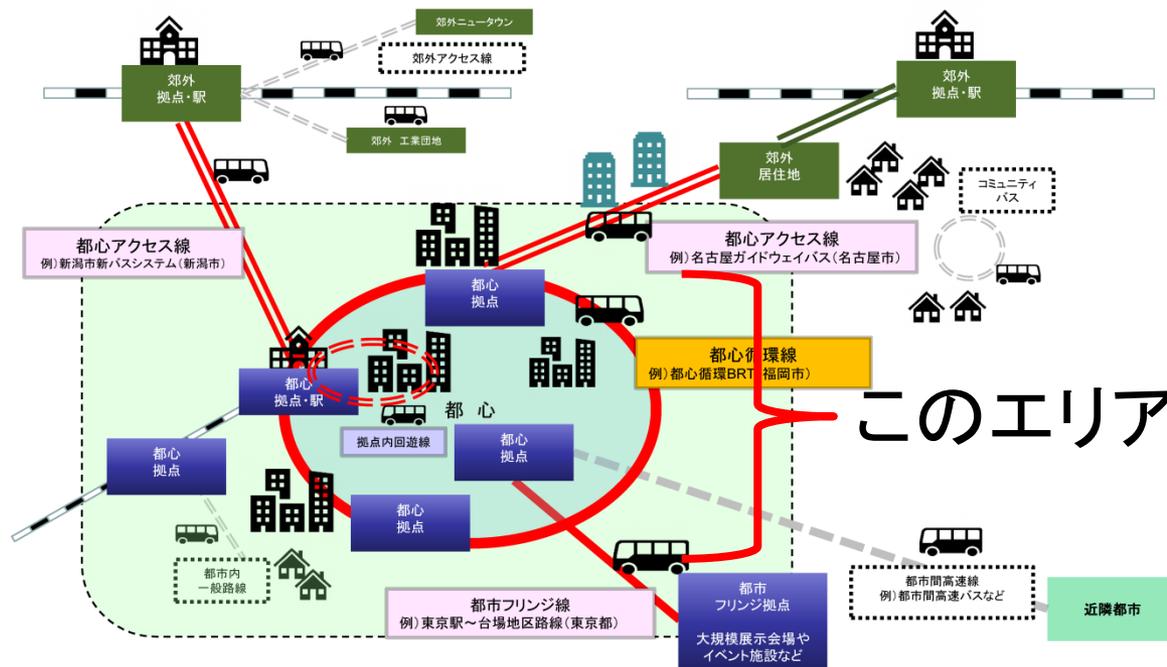


# 4. 実証実験の概要(実験区間の位置付け2)

## 対象とする基幹的なバス交通

### 対象とする基幹的なバス交通

○需要が集中する都心拠点へのアクセスとなる軸の強化や都心の回遊性を向上させるためには、高い需要密度や多様な利用者に対応する高い輸送力や高度なサービスの実現が求められる。



国土交通省都市局:都市交通における自動運転技術の活用方策に関する検討会資料より

## 4. 実証実験の概要（実験の特徴）

- 産官学の連携
- 公道での実験
- レベル4を目標
- 当面はレベル2
- 緑ナンバー取得
- 運賃收受を行う
- 基幹的バス
- 既存ダイヤで運行



自動運転実証実験出発式（H30.12.12）  
（運行開始は平成30年12月14日から）

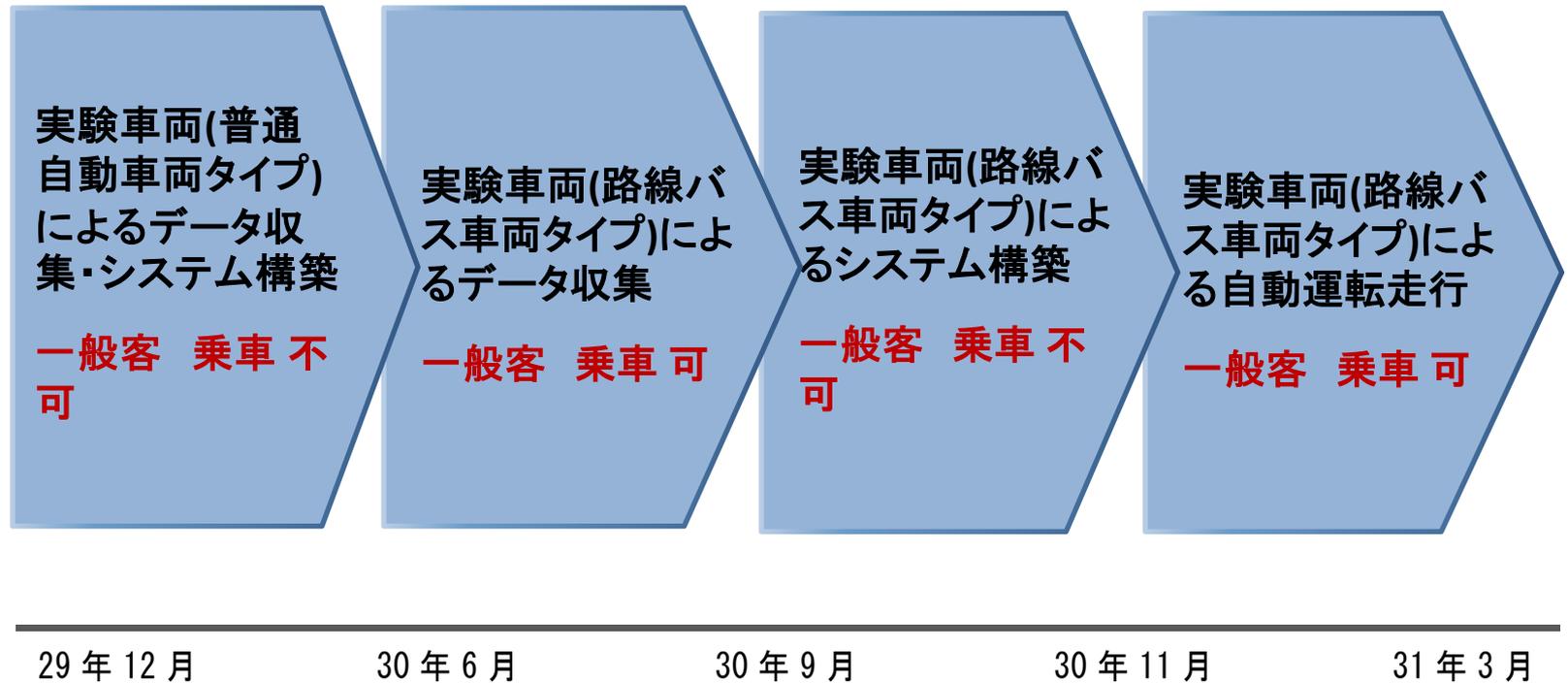
# 5. 実証実験の実施体制



NTTデータは協定外だが群馬大学と共同研究パートナー

実施主体	役割
前橋市	実験フィールドの提供、公共機関等関係機関との調整、情報の発信等
群馬大学	本件事業に関わる技術監修及び実証実験の実施、その他関連する事業等
日本中央バス	運行に関する支援及び車両運転者等の提供、車両運転に関する技術の提供等

## 6. 実証実験のスケジュール



## 7. 今後の課題とインフラ整備

- 社会的受容性の確保に重要なもの

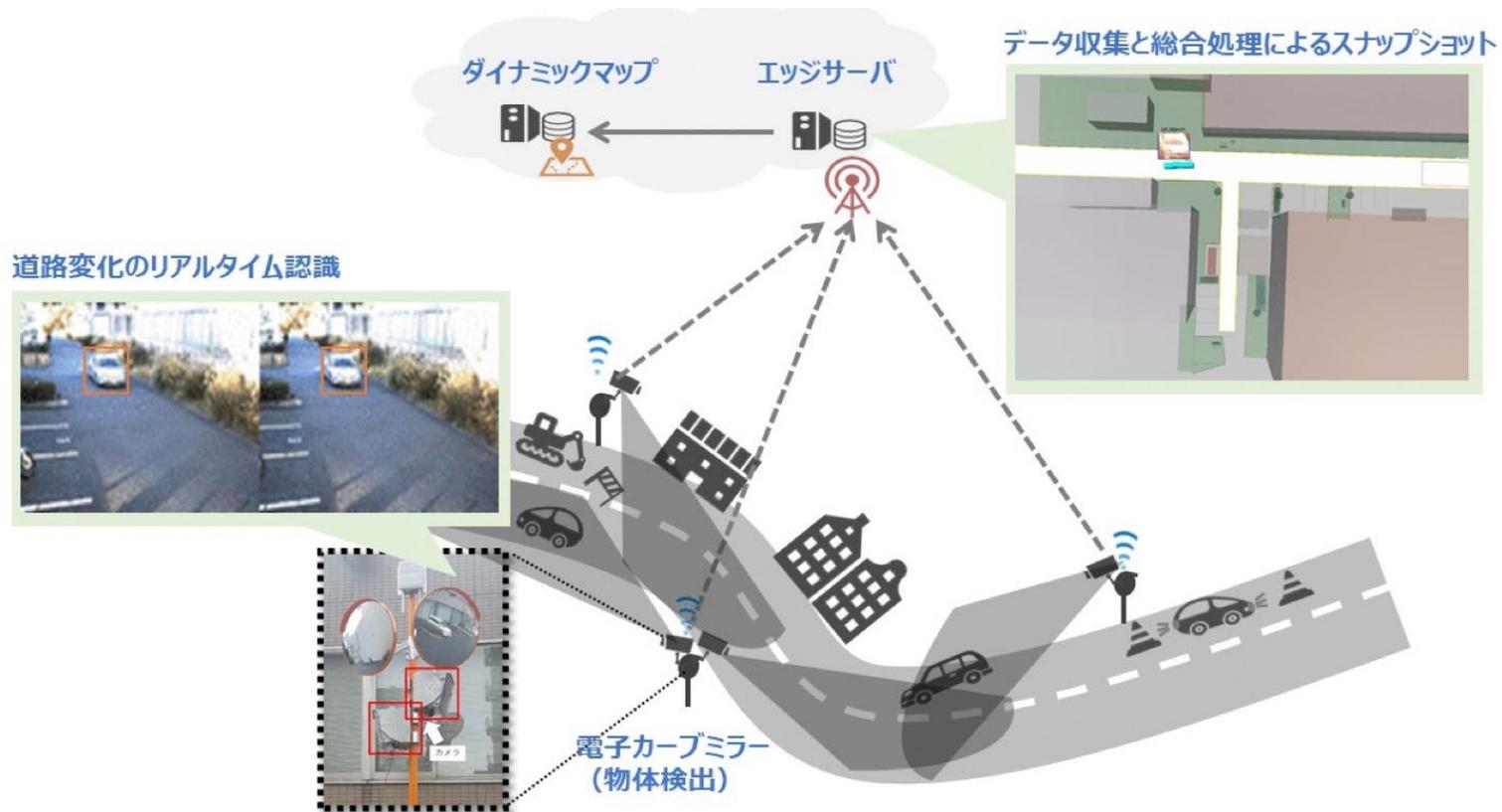


- 安全性の確保



- 路車間協調等のインフラ整備が必要

# 7. 今後の課題とインフラ整備



情報通信研究機構の知的交通インフラ(5Gでの運用を想定)

# 8. 情報インフラとしての5Gとその活用

## 自動運転車の安全技術ガイドライン案【概要】（別紙）

### 自動運転車の安全性に関する要件（10項目）

自動運転車は、以下の安全性に関する要件を満たすことにより、その安全性を確保しなければならない

車両の安全性に関する項目	主な要件
① 運行設計領域（ODD）の設定	個々の自動運転車が有する性能及び使用の態様に応じ、運行設計領域（自動運転システムが正常に作動する前提となる設計上の走行環境に係る特有の条件：ODD）を定め、走行環境や運用方法を制限すること
② 自動運転システムの安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制御系やセンサ系の冗長性を確保すること等によりシステムの安全性を確保すること</li> <li>・設定されたODDの範囲外となる場合等、自動運転の継続が困難となった場合には、最終的に車両を自動で安全に停止させること</li> </ul>
③ 保安基準の遵守等	自動運転に関連する既に定められた道路運送車両の保安基準を満たすこと
④ ヒューマン・マシン・インターフェース（HMI）	<p>自動運転システムの作動状況等を運転者又は乗員に知らせるための以下の機能を有するHMIを備えること</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・レベル3の自動運転車には、運転者がシステムからの運転操作を引き継ぐことができる状態にあることを監視し、必要に応じ警報を発することができる機能（ドライバーモニタリングシステム等）</li> <li>・レベル4の自動運転車には、自動運転の継続が困難であるとシステムが判断し、車両を自動で停止させることをあらかじめ運転者又は乗員（運行管理者）に知らせることができる機能</li> </ul>
⑤ データ記録装置の搭載	自動運転システムの作動状況や運転者の状況等をデータとして記録する装置を備えること
⑥ サイバーセキュリティ	サイバーセキュリティに関する国連（WP29）等の最新の要件を踏まえ、ハッキング対策等のサイバーセキュリティを考慮した車両の設計・開発を行うこと
⑦ 無人自動運転移動サービス用車両の安全性（追加要件）	無人移動サービス（レベル4）に用いられる自動運転車については、①～⑥の要件に加え、運行管理センターから車室内の状況が監視できるカメラ等や、非常停止時に運行管理センターに自動通報する機能等を備えること
⑧ 安全性	<p><b>乗客の安全確保のため遠隔監視→遠隔操作が必要</b></p> <p>上試験を適切に組み合わせた検</p>
⑨ 使用過程における安全確保	使用過程の自動運転車両の安全確保の観点から、自動運転車の保守管理（点検整備）及びサイバーセキュリティの安全を確保するためのソフトウェアのアップデート等の必要な措置を講じること
⑩ 自動運転車の利用者への情報提供	自動運転車の利用者に対し、システムの使用方法、ODDの範囲、機能限界等を周知し理解することができる措置を講じること

# 8. 情報インフラとしての5Gとその活用

## 5Gの特徴（低遅延・超高速・多同時接続）



## 低遅延を遠隔操作に活用 **5Gで安全性を向上**



### [安全確保措置の概要]

- 通信遅延（最大1秒程度）を考慮し、**時速15km以下で走行**
- 車外の遠隔地にある運転席に設置した制動装置を操作することにより、安全に停止
- 遠隔操作者に不測の事態があった場合も、助手席に乗車した保安要員が、助手席に設置した補助制動装置を操作し、緊急停止

4Gは1秒程度の遅延発生



ポイント！

必要な場合に  
遠隔指示

4G-LTE

映像転送等



**高精度3Dマップ**：自動運転に必要なもので、道路だけでなく、建物やガードレールといった道路周囲の物体の形状までを織り込んだもの



Autowareで全体制御

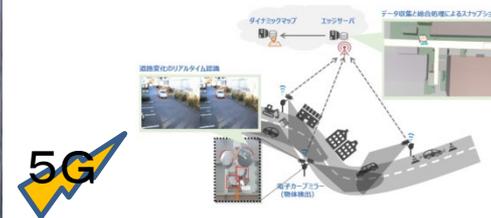
**3Dセンサー**：車両周辺の物体形状を把握し、その形状と高精度3Dマップを突き合しながら、自車両が地図上でどこにいるのかを把握

**カメラ**：車両前方の白線や信号等の視覚情報を取得

愛知県：平成29年度愛知県における自動運転関連の施策より抜粋

# 8. 情報インフラとしての5Gとその活用

- 5Gの多同時接続を遠隔監視等に活用



路車間協調

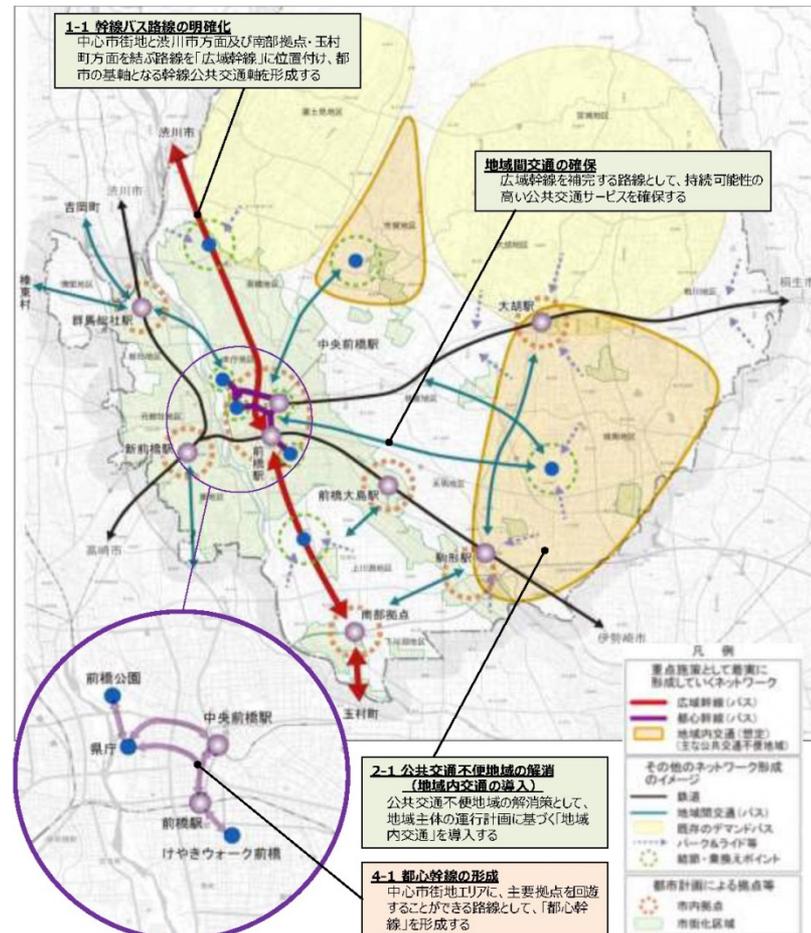
1対nの運行  
管理で運転者  
不足を解決



運行管理センター

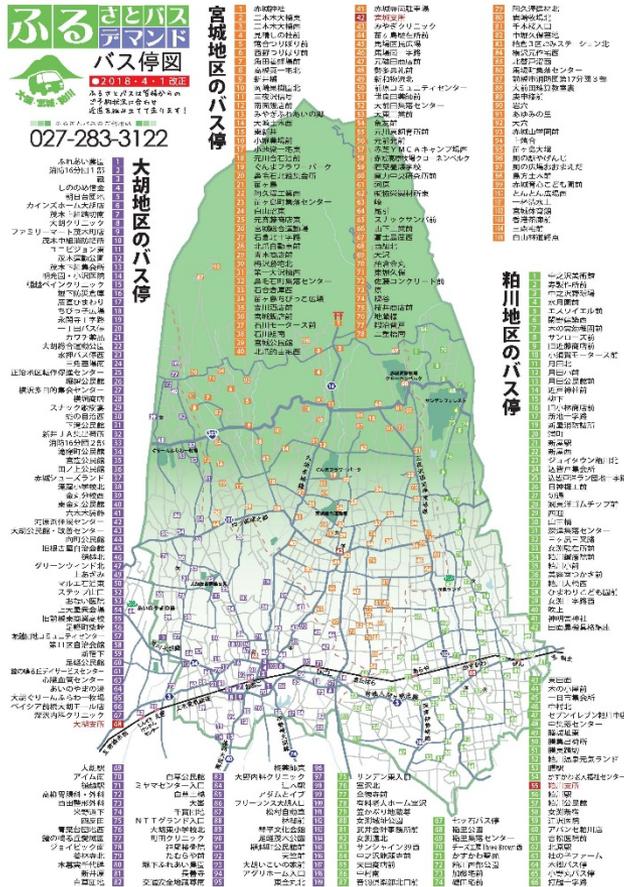
# 9. ICTを活用した最適な交通サービスの提供

・特定地域内で運行されているデマンド交通（薄黄色のエリア）や、今後の導入を検討している公共交通不便地域でのデマンド型地域内交通の導入（オレンジのエリア）でAIを活用した効率的な配車を研究（NTTドコモと連携協定を締結）



前橋市地域公共交通網形成計画より抜粋

# 9. ICTを活用した最適な交通サービスの提供



前橋市デマンド交通「ふるさとバス」運行エリアと乗降ポイント

例えば...

AIを活用した最適配車アプリで公共交通不便地域で運行するデマンド交通の最適化を研究



NTTドコモのAIを活用した配車アプリ (平成30年11月30日から実験開始)

# 10. おわりに

高崎・渋川・県庁方面

赤城山方面

市街地・交通結節点 (中央前橋駅)

主要ポイントが  
繋がり  
回遊性が向上



スマートシティ化でまちが暮らしやすく  
QOLの向上を図る

(AIを活用した最適配車)  
地域内交通



本町五差路

基幹的バス

(自動運転)

前橋駅

けやきウォーク

延伸