

次世代車の普及を考慮した二酸化炭素排出量の試算-自治体におけるカーボンニュートラル計画の策定支援を目的として-

白木 輝¹・加藤 哲²・吉田 樹³・鈴木 春菜⁴

¹非会員 八千代エンジニヤリング株式会社（〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー）

E-mail: hk-shiraki@yachiyo-eng.co.jp(Corresponding Author)

²非会員 八千代エンジニヤリング株式会社（〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CS タワー）

E-mail: st-kato@yachiyo-eng.co.jp

³正会員 福島大学／前橋工科大学

（〒960-1296 福島県福島市金谷川 1 番地／〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460-1）

E-mail: e127@ipc.fukushima-u.ac.jp

⁴正会員 山口大学（〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1）

E-mail: suzuki-h@yamaguchi-u.ac.jp

2020 年 10 月の日本政府による「2050 年カーボンニュートラル」宣言以降、道路分野におけるカーボンニュートラルへの関心が高まり、多くの自治体が計画を策定している。しかしながら、次世代車の普及や燃料生産過程で生じる CO₂ 排出などを考慮した、地域内の自動車による CO₂ 排出量の算出方法を整理した研究事例は少なく、具体的な施策を検討する材料や根拠の不足が課題となっている。本研究では、旅行速度及び燃料生産過程を考慮した、自動車による CO₂ 排出量試算方法を燃料別に整理した。また、交通渋滞緩和及び次世代車への転換による CO₂ 削減効果の試算例を示した。本試算方法は地方自治体が道路分野のカーボンニュートラル施策を選定する際の判断材料や根拠として活用可能である。

Key Words: traffic, carbon neutral, next-generation vehicle, carbon dioxide emission, image analysis

1. 研究の背景と目的

2020 年 10 月、日本政府は 2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする「2050 年カーボンニュートラル」を宣言した。この宣言を受け、多くの地方自治体が 2050 年カーボンニュートラルの実現に取り組むことを表明している。

道路分野におけるカーボンニュートラル施策として、国土交通省は以下の 4 つの取組を代表例に挙げている^{注 1)}

(1) 道路交通の適正化

・道路ネットワークの整備や渋滞対策等により、道路交通の円滑化と生産性の向上を図るとともに、生活空間の道路交通の低速度化等、当該道路に求められる役割を踏まえた適切な機能分化を推進し、場所に応じた適正な移

動により、CO₂ の排出量を削減

(2) 低炭素な人流・物流への転換

- ・新たなモビリティ、公共交通、自転車、歩行等の低炭素な交通手段の利用を促進することで、自動車から低炭素な交通手段への転換を進め、CO₂ の排出量を削減
- ・道路の面から輸送量の向上、効率化の取組を支え、低炭素な物流システムの構築を促進することで、CO₂ の排出量を削減

(3) 道路交通のグリーン化

- ・再生可能エネルギーの活用の潮流を踏まえ、関係省庁・部局と連携し、次世代車の開発及び普及を促進させるとともに、道路空間における発電・送電・給電・蓄電の取組を推進することで、道路交通のグリーンエネルギーへの転換を進め、CO₂ の排出量を削減

(4) 道路のライフサイクル全体の低炭素化

- ・道路の計画・建設・管理等におけるライフサイクル全体で排出される CO₂の排出量を削減

上記のうち「(1)道路交通の適正化」の取組内容として、交通渋滞対策による道路交通の円滑化が挙げられる。渋滞対策による自動車CO₂削減効果を評価するには、旅行速度の変化によるCO₂排出量変化の試算が必要である。

また、「(3)道路交通のグリーン化」の取組内容として、次世代車の普及による道路交通のグリーンエネルギーへの転換が挙げられる。次世代車普及によるCO₂削減効果を評価するには、ガソリン自動車やディーゼル自動車だけでなく次世代車の燃料を考慮したCO₂排出量の試算が必要である。また、燃料生産過程で発生するCO₂排出を考慮することで、次世代車を含む複数燃料の車両のCO₂排出量をより公平かつ正確に比較できると考えられる。例えば、電気自動車は走行時にはCO₂を排出しないが、発電や電力輸送等の過程ではCO₂を排出しているため、燃料生産過程を考慮することで実状に即した試算を行うことができると考えられる。

以上より、燃料種別、旅行速度及び燃料生産過程を考慮したCO₂排出量試算方法を整理することが、地方自治体のカーボンニュートラル施策選定の支援に繋がると考えられる。そこで本研究では、燃料種別、旅行速度及び燃料生産過程を考慮したCO₂排出量試算方法を整理し、交通渋滞緩和及び次世代車への転換によるCO₂削減効果を試算した。また、CO₂削減効果の試算方法が、地方自治体の最適なカーボンニュートラル施策選定の支援にどのように繋げられるかを整理した。

2. 既往文献レビュー、本研究の位置づけ

図-1に示す通り、自動車によるCO₂排出には複数の評価指標が存在する^{注2)}。評価指標として、走行時のCO₂排出量のみを対象とする Tank to Wheel、ガソリンや電力のエネルギー源の採掘から供給までのCO₂排出量も含む Well to Wheel、自動車の製造段階から廃棄段階までのCO₂排出量も含む Life-cycle Assessment が挙げられる。以上の評価指標を踏まえて、既往文献のレビューを行う。

Hirschbergら¹⁴⁾は、実測値に基づくデータとシミュレーションにより、次世代車を含む多様な燃料の車両を対象に Life-cycle Assessment の評価指標を用いた CO₂排出量を試算した。次世代車の利用により CO₂排出量の削減が見込めるものの、その削減量はエネルギー供給のあり方に依存することを示し、燃料の生産システムの改善が不可欠であることを提言した。

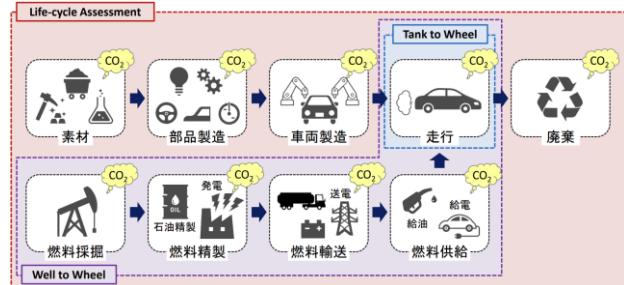


図-1 自動車によるCO₂排出の評価指標のイメージ（出典：環境省：自動車による排出量のバウンダリに係る論点について、2020.）

表-1 CO₂排出量試算の対象地域

地域名	山口県周南市	福岡県糸島エリア (糸島市、福岡市西区)	鹿児島県肝属郡 肝付町
人口	137540人	糸島市98877人、 福岡市西区212579人	14227人
交通課題	産業地域特有の渋滞	観光渋滞 公共交通の維持	公共交通の維持

石崎²⁾は、多様な燃料の車両を対象に Life-cycle Assessment の評価指標を用いた CO₂排出量を試算した。日本の車両使用環境を反映した試算を行っているほか、車内空調使用および電源構成を考慮することでより正確な試算を実施した。

次世代車を考慮して、かつ Life-cycle Assessment の評価指標を考慮した研究事例はみられる。一方で、交通渋滞緩和や次世代車転換によるCO₂削減効果を評価するためには、地域を走行する車両の燃料構成や、低速度域を含む旅行速度を考慮した試算方法の整理が必要であるが、それらを整理した研究事例はみられない。

本研究の位置づけとして、燃料種別や旅行速度を考慮することで、地方自治体がカーボンニュートラル施策選定に活用できる形でのCO₂排出量試算方法を整理した。

3. CO₂排出量試算の概要

本章では、CO₂排出量試算の対象となる地域、車種、燃料及び評価指標を示す。また、試算方法の概要を示す。

(1) 対象地域

本研究では、表-1に示す3地域を対象にCO₂排出量の試算を行った。地域特性が異なる複数地域を対象に試算を実施することで、より多くの自治体のカーボンニュートラル施策の策定支援に繋げることを目的としている。

山口県周南市は海岸線上にコンビナートが形成されており、コンビナート企業の従業員等による通勤渋滞や、コンビナート企業の定期工事による集中的な混雑が交通課題として挙げられる。

福岡県糸島エリア（糸島市、福岡市西区）は観光地としての需要が高い地域であり、観光客の自動車来訪による交通渋滞や、公共交通の維持が交通課題として挙げられる。なお本研究では、同様の課題を抱えている地域として糸島市及び福岡市西区の2市区を1つのエリアとしてCO₂排出量の試算を行った。

鹿児島県肝属郡肝付町は森林・海洋の資源が豊富な地域であり、公共交通の維持が交通課題として挙げられる。

(2) 対象車種及び燃料

CO₂排出量の試算過程において、車種については軽乗用車、乗用車、軽貨物車、小型貨物車、バス、普通貨物車、特種車の7車種別にデータの集計を行い、そのうち軽乗用車、乗用車、軽貨物車、小型貨物車を「小型車」、バス、普通貨物車、特種車を「大型車」として大小2車種に集約した。なお、車種の分類は道路運送車両法による分類^{注3)}を参照した。

燃料については、ガソリン自動車、ディーゼル自動車、ハイブリッド自動車、電気自動車、プラグインハイブリッド自動車、LPG自動車、燃料電池自動車の7分類でデータの集計を行った。次世代車のなかには日本国内での普及が進んでいない燃料も存在するため、日本国内の車両保有台数が5,000台以上の燃料を集計対象とした。

7車種別、燃料別の自動車保有台数を表-2に示す^{注4)注5)注6)}。

(3) CO₂排出量の評価指標

本研究では、Well to Wheelの評価指標のうち国内でのCO₂排出を試算対象とする。そのため、燃料採掘によるCO₂排出、製油所や発電所への燃料輸送によるCO₂排出、Life-cycle Assessmentで評価対象とされる自動車の製造段階から廃棄段階までのCO₂排出は試算しないものとする。

地方自治体が簡易にカーボンニュートラル施策の評価手法として活用することを意図してWell to Wheelの評価指標を採用したが、車両が環境に与える総合的な影響を把握するうえではLife-cycle Assessmentの評価指標を採用するのが望ましいと考えられる。そのため、本研究で試算対象としなかったCO₂排出要因を考慮することを今後の課題とする。

(4) CO₂排出量試算方法

図-2に示す通り、CO₂排出量は交通量、道路延長、CO₂排出係数の積によって求められる。昼間12時間の1時間単位、大小車種別かつ燃料別にCO₂排出量を試算し、その合計値を対象地域のCO₂排出量とした。

交通量及び道路延長は令和3年度の道路交通センサス区間別データ^{注7)}を使用した。なお、本研究の対象地域において、センサス集計対象の道路種別は一般県道以上

表-2 自動車保有台数

燃料	小型車(台)					大型車(台)		
	軽乗用車	乗用車	軽貨物車	小型貨物車	バス	普通貨物車	特種車	
ガソリン自動車	20,481,505	30,803,846	8,363,065	1,061,035	18,935	746,734	574,720	
ディーゼル自動車	0	1,678,853	0	2,366,042	188,796	1,665,171	1,224,932	
ハイブリッド自動車	4,777,530	7,667,122	0	65,327	1,506	45,976	15,365	
電気自動車	73,573	118,073	2,263	945	580	665	376	
プラグインハイブリッド自動車	0	252,553	3	0	1	0	356	
LPG自動車	7,488	146,095	4,328	1,807	125	1,272	5,134	
燃料電池自動車	2,974	4,774	60	25	160	18	41	

※令和3年3月末時点の情報を参照。

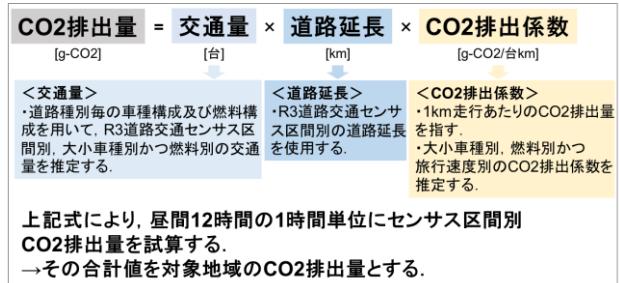


図-2 CO₂排出量試算方法の概要

である。そのため、市道のCO₂排出量については、センサス対象道路の走行台キロに対する市道の走行台キロの比をセンサス対象道路CO₂排出量に乘じることで推定した。区間別走行台キロ、CO₂排出係数の試算に用いる旅行速度はトヨタプロープデータを使用した。トヨタプロープの集計期間は、周南市は2023年2月平日、糸島エリア及び肝付町は2023年10月平日とした。周南市についてはコンビナート企業の定修工事による交通への影響が小さい時期を対象とし、糸島エリア及び肝付町についてはセンサス等で通常期とされる秋季平日を対象とした。

4. 燃料構成の把握

CO₂排出量の試算過程において、道路種別毎の燃料構成を用いて、区間別、大小車種別かつ燃料別の交通量を推定する必要がある。

本研究では、道路種別毎の燃料構成を把握するために、道路走行中の車両のナンバープレート調査を実施した。本章では、調査方法及びその結果を示す。

(1) ナンバープレート調査方法

表-3に示す通り、朝夕混雑時（7:00～9:00, 17:00～19:00）、昼間（9:00～17:00）、夜間（19:00～翌7:00）の3時間帯に分けて調査を実施した。サンプル数については、各断面、時間帯で400台の取得を目標とした。なお、目標サンプル数については、母集団比率を50%とした場合の信頼区間95%，標本誤差±5%以内の必要サンプル数が400サンプルとなることから、その精度を目標として設定した。

昼間においては、AI画像解析システム「TRAVIC」³⁾を用いて車両のナンバープレート情報を自動で読み取った。TRAVICは低所から撮影した映像から車種別交通量とナンバープレート情報の読み取りが可能であり、効率的なデータ取得のため活用した。なお、朝夕混雑時及び夜間においては人手でナンバープレート情報を読み取った。

ナンバープレート情報の読み取り後、軽自動車を除く車両の場合は一般財団法人自動車検査登録情報協会の「自動車検査登録情報提供サービス」を、軽自動車の場合は一般社団法人全国軽自動車協会連合会の「軽自動車検査情報提供サービス」を使用して車種及び燃料を把握した。

(2) ナンバープレート調査断面

地域毎に「①高速道路ICの出入部」「②市町中心部の国道・県道」「③市役所・役場周辺の通過交通がない道路」の3断面を調査地点とした。各地域の調査断面を図3に示す。なお、肝付町には通過交通が想定される高速道路が存在しないため、高速道路は調査対象外とした。複数の道路種別の道路を調査地点とすることで、道路種別毎の交通量推定に必要なデータを取得した。

表3 ナンバープレート調査方法

時間帯		調査手法	取得サンプル数目標
朝夕混雑時	7:00～9:00 17:00～19:00	人手	
昼間	9:00～17:00	AI画像解析	
夜間	19:00～翌7:00	人手	



図3 ナンバープレート調査断面

表4 ナンバープレート調査結果

断面	時間帯	サンプル数 [台]	小型車							大型車						
			ガソリン 自動車	ディーゼル 自動車	ハイブリッド 自動車	電気自動車	プラグイン ハイブリッド 自動車	LPG自動車	燃料電池 自動車	ガソリン 自動車	ディーゼル 自動車	ハイブリッド 自動車	電気自動車	プラグイン ハイブリッド 自動車	LPG自動車	燃料電池 自動車
周南市① 高速道路IC の出入部	朝夕混雑時	405	59.9%	12.1%	27.7%	0.0%	0.3%	0.0%	3.3%	95.6%	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	昼間	436	55.2%	11.7%	31.7%	1.0%	0.3%	0.0%	0.0%	97.9%	1.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	夜間	207	63.5%	8.7%	27.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%	1.2%	98.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
周南市② 市町中心部 の国道	朝夕混雑時	679	76.8%	3.3%	19.2%	0.3%	0.2%	0.2%	0.0%	16.3%	83.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	昼間	432	69.7%	7.4%	21.3%	0.0%	0.3%	1.3%	0.0%	3.6%	96.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	夜間	442	70.1%	3.3%	24.9%	0.7%	0.0%	1.0%	0.0%	4.2%	91.7%	4.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
周南市③ 市役所周辺 道路	朝夕混雑時	513	69.6%	2.1%	24.3%	0.4%	0.0%	3.5%	0.0%	15.6%	84.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	昼間	421	72.0%	3.3%	19.9%	0.5%	0.0%	4.3%	0.0%	12.0%	76.0%	0.0%	12.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	夜間	280	64.4%	3.8%	23.5%	0.0%	0.4%	8.0%	0.0%	6.3%	93.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
糸島エリア① 高速道路IC の出入部	朝夕混雑時	821	60.6%	10.7%	26.7%	0.5%	1.2%	0.1%	0.1%	3.6%	96.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	昼間	423	60.3%	7.9%	30.9%	0.3%	0.6%	0.0%	0.0%	2.9%	95.7%	1.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	夜間	249	63.3%	6.8%	28.3%	0.4%	0.0%	1.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
糸島エリア② エリア中心部 の国道	朝夕混雑時	455	69.1%	4.1%	25.2%	1.0%	0.7%	0.0%	0.0%	7.9%	92.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	昼間	435	72.6%	3.2%	22.6%	0.5%	0.5%	0.2%	0.2%	6.1%	93.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	夜間	396	68.0%	2.6%	27.6%	0.8%	0.5%	0.5%	0.0%	13.3%	86.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
糸島エリア③ 市役所周辺 道路	朝夕混雑時	221	69.3%	3.9%	25.4%	0.5%	0.5%	0.5%	0.0%	12.5%	87.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	昼間	391	72.0%	4.0%	23.2%	0.5%	0.3%	0.0%	0.0%	25.0%	70.0%	5.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	夜間	275	68.8%	5.3%	23.3%	1.5%	0.4%	0.8%	0.0%	44.4%	55.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
肝付町① 町中心部 の県道	朝夕混雑時	419	68.1%	6.4%	24.5%	0.3%	0.8%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	昼間	410	72.8%	3.7%	23.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	夜間	278	71.5%	1.2%	26.5%	0.4%	0.4%	0.0%	0.0%	5.6%	94.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
肝付町② 役場周辺 道路	朝夕混雑時	76	76.4%	2.8%	19.4%	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%	50.0%	25.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	昼間	382	78.9%	2.2%	17.8%	0.3%	0.0%	0.8%	0.0%	5.9%	82.4%	11.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	夜間	7	85.7%	14.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	-	-	-	-	-

(3) ナンバープレート調査結果

燃料構成の調査結果を表-4に示す。小型車においてはガソリン自動車及びハイブリッド自動車の構成割合が高く、大型車においてはディーゼル自動車の構成割合が高いことがわかる。また、小型車においてハイブリッド自動車を除く次世代車の構成割合が極めて低いことがわかる。

一部断面の時間帯別サンプル数が400台に満たなかつた。これは、朝夕混雑時及び夜間においてナンバープレート読み取りが困難な時間帯が存在したことに起因する。

本試算では、調査により得られた燃料構成をセンサス区間別交通量に乗じることで、区間別、大小車種別かつ燃料別の交通量を推定した。

5. CO₂排出係数の試算

CO₂排出量の試算過程において、大小車種別、燃料別かつ旅行速度別のCO₂排出係数を試算した。本章ではCO₂排出係数の試算方法を、図-4の試算フローに沿って示す。

(1) カタログ燃費の取得

最新の燃費試験方法として、大型ディーゼル自動車及び大型ハイブリッド自動車はJH25モード、それ以外の車両はWLTCモードのカタログ燃費をそれぞれ取得した。取得したカタログ燃費を表-5に示す。

ガソリン自動車、ディーゼル自動車、ハイブリッド自動車については、国土交通省⁸⁾が公表している2023年末時点での全ての新車を燃費の集計対象とした。7車種別、燃料別に、一般社団法人日本自動車販売協会連合会が公表している2023年12月のブランド別販売台数割合⁹⁾で重み付けしたカタログ燃費の加重平均を試算した。

ハイブリッド車を除く次世代車については、新車一覧表が公表されていないため、自動車メーカーの各車両諸元表^{10)注11)注12)注13)注14)注15)注16)注17)注18)}を参照した。なお、これらの車両については車種毎に単一車両のカタログ燃費を取得した。ハイブリッド自動車と同様に、全ての新車を集計対象とすることでより実状に即した集計ができると考えられるが、この点は今後の課題とする。

(2) 実走行燃費を用いたカタログ燃費の補正

急加速等の運転方法、エアコンと電気負荷、暖機、荷物の積載等の理由により、実走行燃費はカタログ燃費よりも悪いと考えられる。また、本試算においてカタログ燃費は2023年末時点での新車を集計対象としているが、実際にはそれより古い車両も走行しており、それらの車両を考慮すると燃費の平均値が低下すると考えられる。

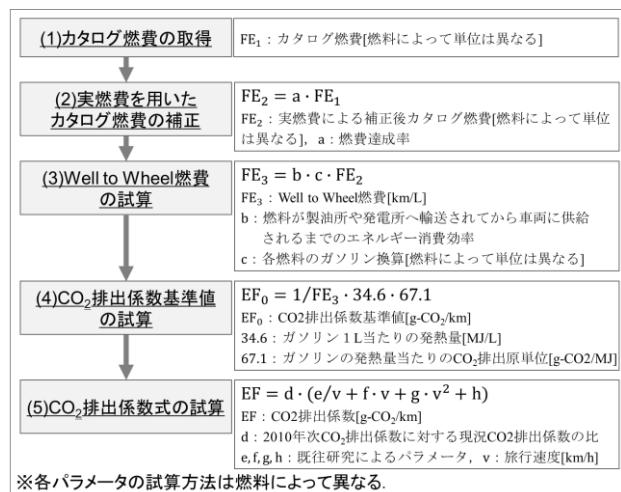


図-4 CO₂排出係数の試算フロー

表-5 カタログ燃費

燃料	単位	小型車				大型車		
		軽乗用車	乗用車	軽貨物車	小型貨物車	バス	普通貨物車	特種車
ガソリン自動車	km/L	20.5	14.5	16.2	10.8	8.3	8.3	8.3※
ディーゼル自動車	km/L	×	11.2	×	11.7	7.1	7.7	7.7※
ハイブリッド自動車	km/L	22.0	22.9	×	22.6	5.4	10.6	10.6※
電気自動車	Wh/km	124.0	149.0	127.0	127.0	680.0	347.0	347.0※
プラグインハイブリッド自動車 (充電電力使用時燃費)	Wh/km	×	134.0	134.0※	×	×	×	×
プラグインハイブリッド自動車 (ハイブリッド燃費)	km/L	×	26.0	26.0※	×	×	×	×
LPG自動車	km/L	16.8※	16.8	16.8※	16.8※	×	×	×
燃料電池自動車	km/kg	152.0※	152.0	152.0※	152.0※	×	×	×

※ : カタログ燃費が公表されていないため、同じ燃料でかつ車両重量が近い車種の燃費を使用。

表-6 燃費達成率

ガソリン自動車								
項目	単位	算出方法	小型車				大型車	
			軽乗用車	乗用車	軽貨物車	小型貨物車	バス	普通貨物車
年間燃料消費量	kL	①	10,713,323	17,604,858	4,941,303	1,985,112	400,349	228,126
年間走行キロ	km	②	163,638,307	190,486,835	64,533,325	20,707,295	2,687,087	1,517,001
実走行燃費	km/L	③ ② ÷ ①	15.3	10.8	13.1	10.4	6.7	6.7
カタログ燃費	km/L	④	20.5	14.5	16.2	10.8	8.3	8.3
燃費達成率	%	⑤ ③ ÷ ④	74.5%	74.8%	80.8%	96.7%	80.5%	80.1%
ディーゼル自動車								
項目	単位	算出方法	小型車				大型車	
			軽乗用車	乗用車	軽貨物車	小型貨物車	バス	普通貨物車
年間燃料消費量	kL	①	×	1,341,909	×	2,220,576	1,367,623	14,816,559
年間走行キロ	km	②	×	17,059,840	×	19,356,165	4,577,969	58,111,840
実走行燃費	km/L	③ ② ÷ ①	×	12.7	×	8.7	3.3	4.1
カタログ燃費	km/L	④	×	11.2	×	11.7	7.1	7.7
燃費達成率	%	⑤ ③ ÷ ④	×	113.1%	×	74.7%	47.0%	51.0%

そこで、ガソリン自動車及びディーゼル自動車について、大小車種別に燃費達成率（カタログ燃費に対する実走行燃費の割合）を試算した。実走行燃費は令和5年度自動車燃料消費量調査¹⁹⁾を基に試算した。燃費達成率の試算結果を表-6に示す。

電気自動車及びプラグインハイブリッド自動車（充電電力使用時）はカタログ燃費を燃費達成率で除することで、それ以外の燃料はカタログ燃費に燃費達成率を乗じることでカタログ燃費の補正を行った。ガソリン及びディーゼル以外の燃料において実走行燃費が不明であるため、小型車の場合はガソリン小型車の燃費達成率を、大型車の場合はディーゼル大型車の燃費達成率をそれぞれ参照した。燃費達成率によるカタログ燃費の補正結果を

表-7に示す。

(3) Well to Wheel燃費の試算

総合資源エネルギー調査会資料^{注20)}を基に、「燃料が製油所や発電所へ輸送されてから車両に供給されるまでのエネルギー消費効率（以下、WtT効率）」「各燃料のガソリン燃料への換算（以下、ガソリン換算）」を考慮したWell to Wheel燃費（以下、WtW燃費）を試算した。WtW燃費の試算方法を図-5に、WtW燃費の試算結果を表-8にそれぞれ示す。

WtT効率の試算で考慮するべき項目は燃料によって異なる。燃料電池自動車については出典資料に記載がないため、天然ガス改質による水素製造効率^{注21)}、水素輸送・貯蔵効率、水素充填効率及び水素定位発熱量⁴⁾を考慮するものとした。水素輸送・貯蔵効率、水素充填効率については値の出典を確認できなかったため、暫定的な値を設定した。

プラグインハイブリッド自動車については、UF（ユーティリティファクタ）及び充電電力使用時、ハイブリッド使用時それぞれのWtW燃費を基に、プラグインハイブリッド燃費を試算した。UFとは、全走行距離に対する外部充電電力による走行割合を意味する指標である。乗用車2030年度燃費基準におけるUFの計算式を式(1)に、プラグインハイブリッドの複合燃費の計算式を式(2)にそれぞれ示す。計算式は総合資源エネルギー調査会資料^{注20)}を参照した。

$$UF = 1 - \exp \left\{ 29.1 \times \left(\frac{R_{CD}}{400} \right)^6 - 98.9 \times \left(\frac{R_{CD}}{400} \right)^5 + 134 \times \left(\frac{R_{CD}}{400} \right)^4 - 89.5 \times \left(\frac{R_{CD}}{400} \right)^3 + 32.5 \times \left(\frac{R_{CD}}{400} \right)^2 - 11.8 \times \left(\frac{R_{CD}}{400} \right) \right\} \quad (1)$$

UF：ユーティリティファクタ

R_{CD} ：プラグインレンジ[km]

$$FE_{PHV} = \frac{1}{UF \times \left(\frac{1}{FE_{CD}} + \frac{1}{6.75 \times \frac{R_{CD}}{E_1}} \right) + \frac{1-UF}{FE_{CS}}} \quad (2)$$

FE_{PHV} ：プラグインハイブリッド自動車のWtW燃費（複合燃費）[km/L]

FE_{CD} ：充電電力使用時WtW燃費[km/L]

FE_{CS} ：ハイブリッドWtW燃費[km/L]

R_{CD} ：プラグインレンジ[km]

E_1 ：一充電消費電力量[kWh/回]

UF：ユーティリティファクタ

表-7 燃費達成率によるカタログ燃費の補正結果

燃料	単位	小型車			大型車		
		軽乗用車	乗用車	軽貨物車	小型貨物車	バス	普通貨物車
ガソリン自動車	km/L	15.3	10.8	13.1	10.4	6.7	6.6
ディーゼル自動車	km/L	×	12.7	×	8.7	3.3	3.9
ハイブリッド自動車	km/L	16.4	17.1	×	21.8	2.5	5.4
電気自動車	Wh/km	166.5	199.2	157.1	131.4	1,445.3	680.6
プラグインハイブリッド自動車 (充電電力使用時燃費)	Wh/km	×	179.2	165.7	×	×	×
プラグインハイブリッド自動車 (ハイブリッド燃費)	km/L	×	19.4	21.0	×	×	×
LPG自動車	km/L	12.5	12.6	13.6	16.2	×	×
燃料電池自動車	km/kg	113.2	113.7	122.9	146.9	×	×

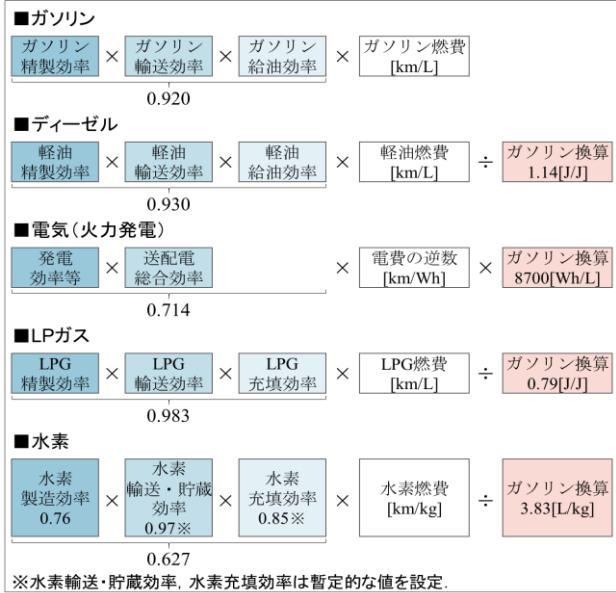


図-5 WtW燃費の試算方法

表-8 WtW燃費の試算結果

燃料	小型車[km/L]				大型車[km/L]		
	軽乗用車	乗用車	軽貨物車	小型貨物車	バス	普通貨物車	特種車
ガソリン自動車	14.0	10.0	12.0	9.6	6.2	6.1	6.2
ディーゼル自動車	×	10.3	×	7.1	2.7	3.2	3.3
ハイブリッド自動車	15.1	15.7	×	20.1	2.1	4.4	4.6
電気自動車	37.3	31.2	39.5	47.3	4.3	9.1	9.6
プラグインハイブリッド自動車 (複合燃費)	×	20.0	21.1	×	×	×	×
LPG自動車	15.6	15.7	16.9	20.2	×	×	×
燃料電池自動車	18.5	18.6	20.1	24.0	×	×	×

(4) CO₂排出係数基準値の試算

カタログ燃費試験で設定されている平均旅行速度（以下、基準旅行速度）におけるCO₂排出係数をCO₂排出係数基準値とする。CO₂排出係数基準値の計算式を式(3)に示す。WtW燃費の試算により各燃料の燃費がガソリン燃費に換算されているため全ての燃料で式(3)を使用できる。

$$EF_0 = \frac{1}{FE} \times 34.6 \times 67.1 \quad (3)$$

EF_0 ：CO₂排出係数基準値[g-CO₂/台 km]

FE ：WtW燃費[km/L]

34.6：ガソリン1L当たりの発熱量[MJ/L]

67.1：ガソリンの発熱量当たりのCO₂排出原単位

[g-CO₂/MJ]

なお、WLTC モードの基準旅行速度は 36.6km/h である。JH25 モードの平均旅行速度は公表されていないため、令和 3 年度のセンサス区間別データを用いて試算した、大型車の昼間 12 時間旅行速度の全国平均（38.6km/h）を JH25 モードの基準旅行速度とする。

式(3)を用いて燃料別、7 車種別に CO₂ 排出係数基準値を試算し、これを各車種の車両保有台数で按分することで大小車種別の CO₂ 排出係数基準値を試算した。燃料別、大小車種別の CO₂ 排出係数基準値を表-9 に示す。

(5) CO₂ 排出係数式の試算

土肥ら⁴⁾は、2010 年次自動車を対象に、シャシダイナモ試験データを用いて、ガソリン自動車、ディーゼル自動車、ハイブリッド自動車を包括した大小車種別 CO₂ 排出係数式を算出した。また、旅行速度 20km/h 以下の低速度域においては 5km/h 毎の CO₂ 排出係数を算出した。

既往研究で算出された式に、基準旅行速度における 2010 年次 CO₂ 排出係数と現況 CO₂ 排出係数の比を乗じることで、現況の CO₂ 排出係数式を試算した。また、低速度域においても同様に、既往研究で算出された式に前述の比を乗じることで 5km/h 毎の CO₂ 排出係数を試算し、それを直線的に補完した。

旅行速度 20km/h 以上における燃料別、大小車種別の CO₂ 排出係数式を表-10 に、低速度域における 5km/h 每の CO₂ 排出係数を表-11 に、旅行速度によるガソリン自動車の CO₂ 排出係数の推移を図-6 にそれぞれ示す。図-6 より、低速度域では CO₂ 排出係数が大きく、旅行速度が上昇するにつれ CO₂ 排出係数は小さくなり、旅行速度 65km/h 程度で最小値をとることがわかる。

全ての燃料において、既往研究の 2010 年次自動車によって算出された式を基に現況の式を試算した。実際には燃料によって旅行速度による CO₂ 排出係数の推移は異なると考えられることから、特に次世代車について試算結果が実状と乖離している可能性がある。試算結果の精度を高めるためには、実測調査を通じて次世代車毎の旅行速度による CO₂ 排出係数の推移を把握する必要があるが、この点は今後の課題とする。

6. カーボンニュートラル施策による CO₂ 削減効果の試算

前章までで CO₂ 排出量の試算方法を整理した。本章では、地域別 CO₂ 排出量の試算結果を示す。また、CO₂ 排出量試算を通じて評価できる地方自治体のカーボンニュートラル施策の例として、交通渋滞緩和及び次世代車転換による CO₂ 削減効果を評価し、それが施策選定の支援にどのように繋げられるかを述べる。

表-9 CO₂ 排出係数基準値

燃料	小型車[g-CO ₂ /台km]	大型車[g-CO ₂ /台km]
ガソリン自動車	205.0	378.0
ディーゼル自動車	284.9	723.0
ハイブリッド自動車	149.9	535.4
電気自動車	69.5	354.0
プラグインハイブリッド自動車	116.0	×
LPG 自動車	147.7	×
燃料電池自動車	125.0	×

表-10 旅行速度 20km/h 以上における CO₂ 排出係数式

車種	燃料	CO ₂ 排出係数式[g-CO ₂ /台km]
小型車	ガソリン自動車	$EF = 1977.103/v - 3.173v + 0.028v^2 + 229.788$
	ディーゼル自動車	$EF = 2748.315/v - 4.411v + 0.039v^2 + 319.421$
	ハイブリッド自動車	$EF = 1445.911/v - 2.321v + 0.02v^2 + 168.05$
	電気自動車	$EF = 670.728/v - 1.076v + 0.009v^2 + 77.955$
	プラグインハイブリッド自動車	$EF = 1119.236/v - 1.796v + 0.016v^2 + 130.083$
	LPG 自動車	$EF = 1424.466/v - 2.286v + 0.02v^2 + 165.558$
大型車	燃料電池自動車	$EF = 1205.641/v - 1.935v + 0.017v^2 + 140.125$
	ガソリン自動車	$EF = 442.607/v - 11.448v + 0.09v^2 + 664.901$
	ディーゼル自動車	$EF = 869.759/v - 22.496v + 0.176v^2 + 1306.584$
	ハイブリッド自動車	$EF = 644.068/v - 16.659v + 0.13v^2 + 967.542$
電気自動車	ガソリン自動車	$EF = 425.845/v - 11.015v + 0.086v^2 + 639.721$

適用範囲：小型車 v = 20~110km/h, 大型車 v = 20~90km/h

※適用範囲以上の旅行速度の場合は、小型車の場合 110km/h のときの CO₂ 排出係数を、大型車の場合 90km/h のときの CO₂ 排出係数を設定する。

表-11 低速度域における CO₂ 排出係数

車種	小型車[g-CO ₂ /台km]					大型車[g-CO ₂ /台km]				
	旅行速度 5km/h	10km/h	15km/h	20km/h	25km/h	5km/h	10km/h	15km/h	20km/h	25km/h
ガソリン自動車	575.7	433.1	312.3	276.3	201.8	668.3	535.4	493.9	475.2	453.9
ディーゼル自動車	800.3	602.0	434.1	384.1	1575.7	1313.2	1052.2	970.6	890.6	806.0
ハイブリッド自動車	421.0	316.7	228.4	202.1	1166.8	972.5	779.1	718.7	664.9	614.7
電気自動車	195.3	146.9	105.9	93.7	771.5	643.0	515.1	475.2	435.2	405.2
プラグインハイブリッド自動車	325.9	245.2	176.8	156.4	306.2	306.2	306.2	306.2	306.2	306.2
LPG 自動車	414.8	312.0	225.0	199.1	306.2	306.2	306.2	306.2	306.2	306.2
燃料電池自動車	351.1	264.1	190.4	168.5	306.2	306.2	306.2	306.2	306.2	306.2

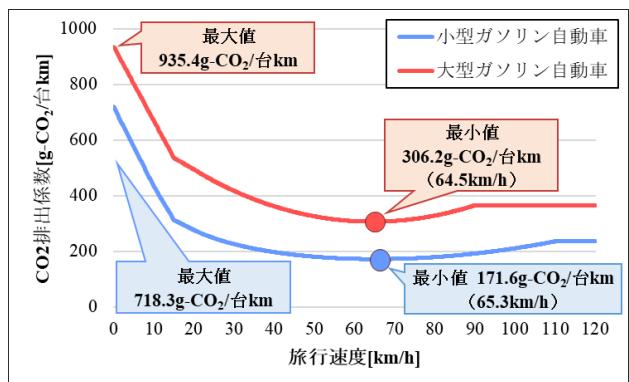


図-6 旅行速度によるガソリン自動車の CO₂ 排出係数の推移

(1) 次世代車を考慮した CO₂ 試算結果

次世代車を考慮しないケース（小型車は全てガソリン自動車、大型車は全てディーゼル自動車と仮定）と考慮するケースの 2 ケースで昼間 12 時間 CO₂ 排出量を試算した。地域別の試算結果を図-7 を示す。

図-7 より、次世代車の考慮により CO₂ 排出量に 4~5% 程度の変動がみられることがわかる。

(2) 交通渋滞緩和による CO₂削減効果の試算

「交通渋滞緩和時の旅行速度は自由流時旅行速度（夜間 12 時間旅行速度）と一致する」と仮定し、現況ケース（昼間 12 時間の 1 時間単位での旅行速度を用いて試算）と交通渋滞緩和ケース（夜間 12 時間平均旅行速度を用いて試算）の 2 ケースで昼間 12 時間 CO₂排出量を試算した。交通渋滞緩和による地域別 CO₂削減効果を図-8 に示す。

図-8 より、交通渋滞緩和によって周南市及び肝付町では約 3% の、糸島エリアでは約 6% の CO₂削減効果が得られることがわかる。他地域と比べて糸島エリアの CO₂削減効果が高いが、これは昼間の交通渋滞による速度低下が深刻であることが影響していると考えられる。

地方自治体の道路事業における事業効果の評価では、走行速度の向上等による CO₂排出量の削減が指標の一つとされる。現行の算出方法は、燃料による CO₂排出係数の違いが反映されていない。次世代車の普及が進んでいることを踏まえ、多様な燃料を考慮した評価手法を適用することで、事業効果分析の高度化に繋がると考えられる。

(3) 次世代車転換による CO₂削減効果の試算

次世代車転換の一例として、小型ガソリン自動車から小型電気自動車への転換による CO₂削減効果を試算した。小型ガソリン自動車から小型電気自動車への転換率による地域別 CO₂削減効果を図-9 に示す。

図-9 より、地域内の全ての小型ガソリン自動車が小型電気自動車に転換することで、48%～50%程度の CO₂削減効果が得られることがわかる。また、6%～13%程度の小型ガソリン車が小型電気自動車に転換することで、交通渋滞緩和と同等の CO₂削減効果が得られることがわかる。

多くの地方自治体が、カーボンニュートラル施策の一環として次世代車の普及促進に取り組んでいる。取組内容として、公共施設への充電設備設置や、次世代車購入者への補助金制度の導入等が挙げられる。

本研究の評価方法を適用することで、次世代車の普及台数による CO₂削減効果を定量的に評価することができる。さらに、異なる施策による CO₂削減効果を比較し、政策的な優先順位付けを行ううえでの客観的な判断材料を提供できる。

7.まとめと今後の課題

本研究では、燃料種別、旅行速度及び燃料生産過程を考慮した、自動車による CO₂排出量試算方法を整理した。また、交通渋滞緩和及び次世代車への転換による CO₂削

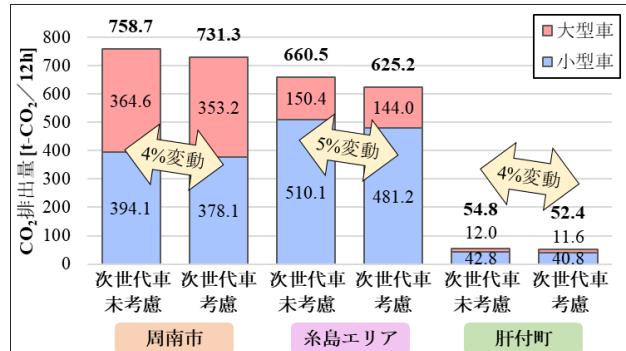


図-7 次世代車を考慮した地域別 CO₂排出量試算結果

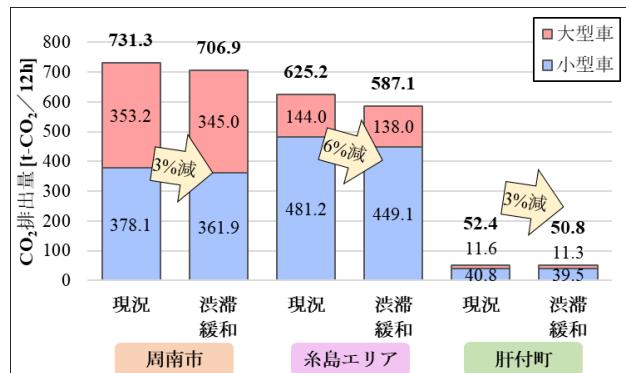


図-8 交通渋滞緩和による地域別 CO₂削減効果

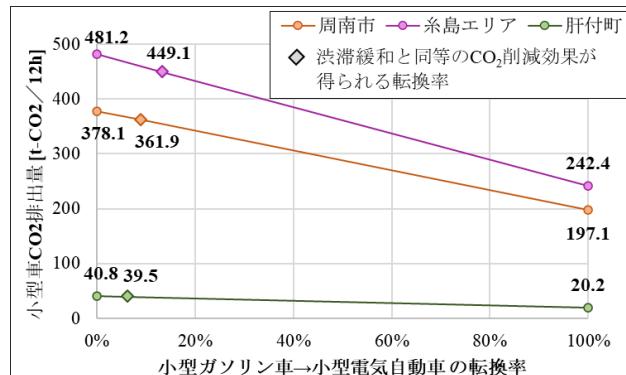


図-9 次世代自動車転換による地域別 CO₂削減効果

減効果の試算例を示した。

次世代車の CO₂排出係数試算において、既往の手法等を基に仮定をおいた条件設定を行っているため、試算結果が実状と乖離している可能性がある。以上を踏まえ、今後の課題としては以下の 3 点が挙げられる。

- ①「次世代車の全ての新車のカタログ燃費」「次世代車毎の旅行速度による CO₂排出係数の推移」等、本試算で不足していた情報を揃えることで、より精度の高い CO₂排出量の試算を行う。
- ②車両に調査装置を設置する等して CO₂排出量の実測値を把握し、実測値と試算結果を比較することで試算結果の妥当性について検証を行う。
- ③カーボンニュートラル施策の比較評価を行い、その結

果を地方自治体に提示する。

地方自治体が最適なカーボンニュートラル施策を選定する際の判断材料や根拠として活用できる、より実用的な試算方法を提示することが求められる。

謝辞：この研究は、一般財団法人トヨタ・モビリティ基金（TMF）のプログラムにより実施されました。また、本研究の実施にあたりCO₂排出量試算方法についてご助言を賜りました国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路交通研究部の皆様に感謝いたします。

NOTES

- 注1) 国土交通省：道路におけるカーボンニュートラル推進戦略 中間とりまとめ，2023. （参照 2025-10-8）
- 注2) 環境省：自動車による排出量のバウンダリに係る論点について，2020. （参照 2025-10-8）
- 注3) 国土交通省：自動車の種類，2024. （参照 2025-10-8）
- 注4) 一般財団法人 自動車検査登録情報協会：わが国の自動車保有動向，2024. （参照 2025-10-8）
- 注5) 国土交通省：燃料別等自動車保有台数，2024. （参照 2025-10-8）
- 注6) 一般社団法人 東京都 LP ガススタンド協会：LPG 車の台数・内訳，2025. （参照 2025-10-8）
- 注7) 国土交通省：令和3年度 全国道路・街路交通情勢調査，2022. （参照 2025-10-8）
- 注8) 国土交通省：自動車燃費一覧（令和6年3月），2024. （参照 2025-10-8）
- 注9) 一般社団法人 日本自動車販売協会連合会：ブランド別登録台数（確報），2024. （参照 2025-10-8）
- 注10) 日産自動車株式会社：主要装備一覧/諸元表：日産サクラ. （参照 2025-10-8）
- 注11) Stellantis ジャパン株式会社：e-2008 装備・諸元. （参照 2025-10-8）
- 注12) 本田技研工業株式会社：N-VAN e: 主要諸元表. （参照 2025-10-8）
- 注13) 三菱自動車工業株式会社：MINICAB EV 主要諸元. （参照 2025-10-8）
- 注14) いすゞ自動車株式会社：ERGA EV 諸元表. （参照 2025-10-8）
- 注15) 三菱ふそうトラック・バス株式会社：eCanter 総合カタログ. （参照 2025-10-8）
- 注16) トヨタ自動車株式会社：トヨタ プリウス 主要諸元表・装備一覧. （参照 2025-10-8）
- 注17) トヨタ自動車株式会社：トヨタ JPN TAXI（ジャパンタクシー） 主要諸元表. （参照 2025-10-8）
- 注18) トヨタ自動車株式会社：トヨタ MIRAI 主要諸元表・

装備一覧. （参照 2025-10-8）

注19) 国土交通省：自動車燃料消費量調査，2024. （参照 2025-10-8）

注20) 経済産業省：総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 自動車判断基準ワーキンググループ・交通政策審議会 陸上交通分科会 自動車部会 自動車燃費基準小委員会 合同会議 - 取りまとめ，2019. （参照 2025-10-8）

注21) International Energy Agency : The Future of Hydrogen, 2019. （参照 2025-10-8）

REFERENCES

- 1) Stefan Hirschberg, Christian Bauer, Brian Cox, Thomas Heck, Johannes Hofer, Warren Schenler, Andrew Simons, Andrea Del Duce, Hans-Jörg Althaus, Gil Georges, Thilo Krause, Marina González Vayá, Francesco Ciari, Rashid Waraich, Boris Jäggi, Alexander Stahel, Andreas Froemelt, Dominik Saner : Opportunities and challenges for electric mobility: an interdisciplinary assessment of passenger vehicles Final report of the THELMA project in co-operation with the Swiss Competence Center for Energy Research “Efficient technologies and systems for mobility”, 2016.
- 2) 石崎啓太：国内における自動車ライフサイクル CO₂ 排出量予測と省燃費潤滑油の必要性，慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科，博士学位論文，2019. [Ishizaki, K.: Forecasting Life Cycle CO₂ Emissions of Passenger Vehicles and Needs for Automotive Lubricants Considering Vehicle Use Environment in Japan, Graduate School of System Design and Management, Keio University, Doctoral Dissertation, 2019.]
- 3) 小篠耕平, 菅原宏明, 藤井純一郎, 大久保順一, 岡野将大：路側からの撮影動画を用いた車種別車両計測とナンバープレート認識の複合認識システムの開発および精度検証，土木学会全国大会，2021. [Ozasa, K., Sugawara, H., Fujii, J., Okubo, J. and Okano, M.: Development of a system by roadside video that integrate traffic volume measurement by vehicle type and license plate recognition and verification of applicability to traffic flow analysis, Japan Society of Civil Engineers, 2021.]
- 4) 土肥学, 曾根真理, 潑本真理, 小川智弘, 並河良治：道路環境影響評価等に用いる自動車排出係数の算定根拠（平成22年度版），国総研資料，第671号，2012. [Dohi, M., Sone, S., Takimoto, M., Ogawa, T. and Namikawa, Y.: Grounds for the Calculation of Motor Vehicle Emission Factors using Environment Impact Assessment of Road Project etc. (Revision of FY 2010), TECHNICAL NOTE of National Institute for Land and Infrastructure Management, No. 671, 2012.]

(Received)

(Accepted)

Estimation of Carbon Dioxide Emissions Considering the Adoption of Next-Generation Vehicles -To support the formulation of carbon neutrality plans in local governments-

Hikaru SHIRAKI, Satoshi KATO, Itsuki YOSHIDA and Haruna SUZUKI

Since the Japanese government's declaration of "Carbon Neutral by 2050" in October 2020, interest in achieving carbon neutrality in the road sector has grown, with many local governments formulating plans. However, few studies have systematically organized methods for calculating CO₂ emissions from vehicles within a region, taking into account factors such as the adoption of next-generation vehicles and CO₂ emissions generated during fuel production processes. This lack of concrete data and evidence for developing specific measures remains a concern. This study systematizes CO₂ emission estimation methods for vehicles by fuel type, incorporating travel speeds and fuel production processes. It also presents examples estimating CO₂ reduction effects from alleviating traffic congestion and transitioning to next-generation vehicles. Utilizing this estimation method can provide local governments with decision-making materials and grounds for selecting carbon neutrality measures in the road sector.