

運輸部門におけるカーボンニュートラル実現に向けた交通都市計画

清広晃輝¹・吉井稔雄²・倉内慎也³・坪田隆宏⁴・白柳洋俊⁵

¹ 学生会員 愛媛大学 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

E-mail: kiyohiro.kohki.16@cee.ehime-u.ac.jp

² 正会員 愛媛大学大学院教授 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

E-mail: yoshii@cee.ehime-u.ac.jp

³ 正会員 愛媛大学大学院准教授 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

E-mail: kurauchi@cee.ehime-u.ac.jp

⁴ 正会員 愛媛大学大学院講師 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

E-mail: t.tsubota@cee.ehime-u.ac.jp

⁵ 正会員 愛媛大学大学院講師 理工学研究科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3)

E-mail: shirayanagi@cee.ehime-u.ac.jp

本研究では、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、運輸部門単独で考えた場合のカーボンニュートラル実現可能性を検討する。現状の電源構成と2050年政府目標の電源構成、現状の車種構成と電気自動車100%の組み合わせで計4ケースについてCO₂排出量を算出し、森林吸収とCO₂を回収するCCUS技術を考慮したCO₂吸収量と比較することで、カーボンニュートラル実現の可能性を検討する。検討の結果、電源構成、車種構成、CCUS技術の開発、すべてが予定通りに実現した場合にはカーボンニュートラルが実現されることを確認した。さらに、CO₂吸収が森林吸収のみによる場合にはカーボンニュートラルの実現が叶わないことから、乗用車、貨物車について、交通都市計画施策を用いた更なる排出削減の可能性を検討した。その結果、乗用車単独で見た場合には、人口の約9割が人口密度1万人以上の地域に集住することでカーボンニュートラルが実現可能であり、貨物車については、モーダルシフトの実施のみではカーボンニュートラルを実現できない、との結果が得られた。

Key Words: carbon neutrality, transportation department, transportation urban planning, reduction of CO₂ emission

1. はじめに

現在地球温暖化の深刻化に対し、IPCCは現状の石油や石炭に依存した経済活動を続けた場合の気温上昇が4度前後となると予測しており、気温上昇により短時間強雨による土砂災害等の自然災害の増加など様々な影響が懸念されている¹⁾。この問題に対し、日本では地球温暖化の原因である温室効果ガスの約9割を占めるCO₂の排出を2050年までに実質ゼロにするCO₂カーボンニュートラルを公言している。カーボンニュートラルとはCO₂排出量と吸収量が平衡状態であることを指し、2019年のCO₂排出量と吸収量の関係としては、排出量が10億3千万t-CO₂/年であるのに対し、吸収量は森林による吸収量が8300万t-CO₂/年であることから、カーボンニュートラルを実現するためには排出量を現状から92%削減させる、

もしくは吸収量を1141%増加させる必要がある状況である。CO₂排出量の削減方法としては、多数検討されているが、主としてエネルギー起源によるCO₂排出量の削減、つまり電力利用による排出量の削減が検討されている。そのため政府は2050年までにCO₂を排出しない電源構成を導入することにより電力による排出量の削減を検討している。またCO₂吸収量の増加方法としては、CO₂を地下に貯留するCCUS技術の開発を行っており、2050年には2億7千万t-CO₂/年²⁾貯留することを目標としている。この技術を考慮した場合、排出量の削減を現状から65%に抑えることでカーボンニュートラルが実現可能となる。ここで運輸部門に着目すると、運輸部門におけるCO₂排出量の削減方法としては、化石燃料の利用抑制、つまりCO₂排出原単位の大きな車両を排出原単位の小さい車両に代替することが検討されているが、排出量削減

のための車両走行台キロや貨物輸送トンキロの削減可能性については考慮されていない。

そこで本研究では、交通都市計画による走行台キロと輸送トンキロの削減可能性についても考慮した上で、運輸部門単独でカーボンニュートラルを考えた場合の、カーボンニュートラル実現可能性を検討する。

2. 研究手法の概要

(1) 運輸部門単独でのカーボンニュートラル

本研究では、森林吸収と CCUS 技術による地下貯留による吸収を考慮し、2050 年に期待される年間 CO₂ 吸収量に、現在の運輸部門排出量が全排出量に占める割合 (20%³⁾) を乗じて算出した CO₂ 吸収量を、2050 年において運輸部門に割り当てられる CO₂ 吸収量と考える。そして、運輸部門単独でのカーボンニュートラル実現に向けて、運輸部門に割り当てられた年間 CO₂ 吸収量以下に排出量を抑えるために必要となる施策等を導く。

(2) CO₂ 吸収量の設定と排出量削減施策

・CO₂ 吸収量

2050 年におけるカーボンニュートラル実現を考えるにあたり、森林吸収量は現状 (0.83 億 t-CO₂/年) が維持されるものとし、CCUS 技術による地下貯留量については、政府目標の通り (2.7 億 t-CO₂/年) 貯留できるケース (危険側) と技術開発に失敗して地下貯留ができないケース (安全側) の 2 通りのシナリオを想定する。図-1 に運輸部門単独でのカーボンニュートラルの考え方を示す。図中、前者については網かけ部 A+B (0.71 億 t-CO₂/年)、後者については網かけ部 A の面積 (0.17 億 t-CO₂/年) に相当する量が各シナリオにおける 2050 年運輸部門の CO₂ 吸収量を示す。

・排出量削減施策

前記の運輸部門に割り当てられる CO₂ 吸収量の場合で、排出量を抑えるための施策として、以下の 3 つの施策による排出量削減策を検討する。

- 1) 排出量の小さい車両への転換
- 2) 人口集住による乗用車台キロの削減
- 3) 貨物のモーダルシフト

なお、2050 年には人口減少が予測されていることから、施策実施の有無にかかわらず運輸部門の CO₂ 排出量が削減すると考え、現在の排出量に 2021 年人口に対する 2050 年の推計人口の割合を乗じることで、2050 年までに施策を実施しない場合の運輸部門 CO₂ 排出量とする。(図-1 中では、網かけ部 C の面積が相当する。)

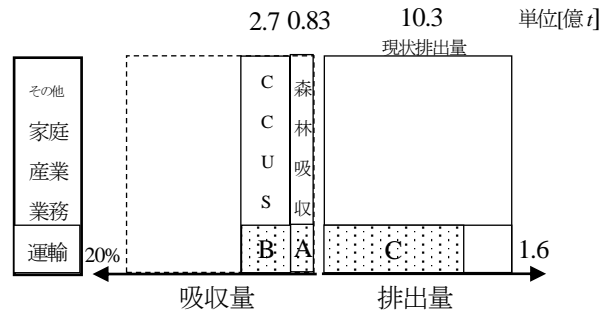


図-1 運輸部門単独カーボンニュートラルの考え方

3. CO₂ 排出原単位

(1) 算出方法

本研究では製品の生産から廃棄に至るまでのトータルライフで算出する手法である LCA(ライフサイクルアセスメント) の考えを用い、車両の製造段階・燃料採掘から輸送段階・走行段階の 3 段階を考慮して車種別に CO₂ 排出原単位を算出する。廃棄段階については、他の 3 段階と比較した場合に CO₂ 排出原単位は微小であることから本算定では考慮していない。車種については、乗用車・貨物車それぞれにガソリン自動車・ハイブリッド自動車・電気自動車・水素自動車の 4 車種、計 8 車種を対象とする。車両タイプとしては、乗用車は日本における乗用車の販売台数の平均排気量 1700cc 相当で 5 人乗りの車両を対象、貨物車についても同様に平均排気量 3000cc 相当の車両を対象とし、CO₂ 排出原単位を算出する。算出の条件としては、研究対象車両の自動車の使用年数を 10 年とし、年間の走行距離 10,000km、生涯の走行距離を一律 10 万 km として CO₂ 排出原単位を算出した。また、特に電気自動車については、電源構成の違いが燃料採掘から輸送段階の CO₂ 排出量に大きな影響を与えることから、電源構成について現状の場合と 2050 年の場合の計 2 シナリオについて CO₂ 排出原単位を算出した。

(2) 電源構成

電気自動車は、走行時に CO₂ を排出しないが、燃料として電気を使用することから燃料採掘から燃料供給段階において電力を消費する。このため、電源構成の差異が CO₂ 排出量に影響を与える。そこで、CO₂ 排出原単位の算定にあたっては、電源構成について考慮し、2018 年(現状)の電源構成下と 2050 年に政府が目標とする電源構成下のそれぞれについて、各車種ごとの CO₂ 排出原単位を算定する。図-2 には、現状と 2050 年政府目標の電源構成比率を示す。

現在の電源構成では、全体の平均値として 70.4g-CO₂/kwh であるのに対して、2050 年の電源構成では 6.6g-

CO₂/kwh となり、政府目標が実現すれば、約 91%の CO₂ 排出を削減することができる。

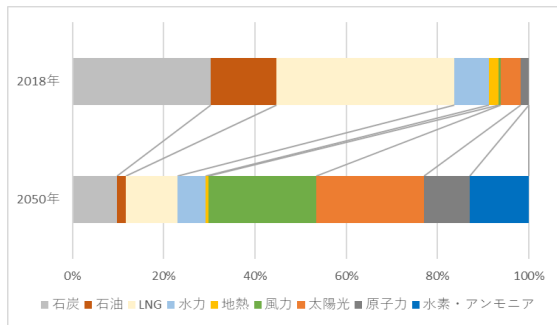


図-2 2018年/2050年の電源構成比率

(3) CO₂ 排出原単位算出結果

2018年現在の電源構成の下で、ガソリン・電気・水素・ハイブリッドの乗用車、貨物車それぞれについてCO₂排出原単位を算出した結果を図-3に示す。図が示すように、乗用車については水素(123.3g-CO₂/km)、貨物車については、ハイブリッド(330.6g-CO₂/km)が最もCO₂排出原単位が小さい。以上から、現状の電源構成においては、乗用車を水素自動車に、貨物車をハイブリッド貨物車に転換していくことにより、効率的にCO₂排出量を削減することができる。

次に2050年政府目標の電源構成下でのCO₂排出原単位算出結果を図-4に示す。電気自動車では、現状との比較において燃料採掘から燃料供給段階におけるCO₂の排出が大幅に削減されることから、2050年の電源構成下では、乗用車、貨物車ともに電気自動車(乗用車=73g-CO₂/km, 貨物車=156.9g-CO₂/km)のCO₂排出原単位が最も小さい。これより、2050年政府想定電源構成下である場合は、現状の自動車を電気自動車、電気貨物車に転換していくことで効率的にCO₂排出量を削減することができる。

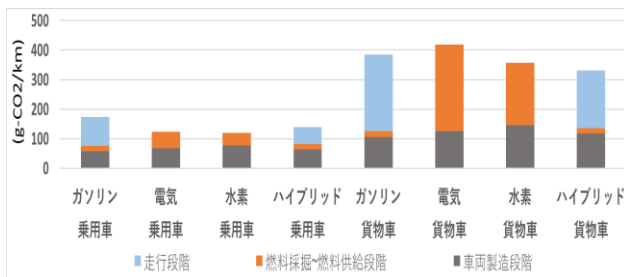


図-3 2018年の電源構成における車種別CO₂排出原単位

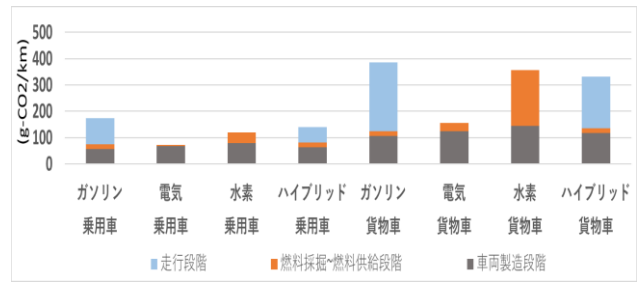


図-4 2050年の電源構成における車種別CO₂排出原単位

4. 2050年におけるCO₂排出量

車種構成に、①現状、②100%電気自動車の2通り、電源構成に①現状、②2050年政府目標の2通り、両者を組み合わせて計4つのケースについて、2050年におけるCO₂排出量を算定した結果を表-1に示す。結果より、CCUS技術が予定通り開発された場合には、2050年政府目標の電源構成下で車種構成が100%電気自動車の場合、すなわち電源構成の変更も含めて、排出原単位の小さい車両への転換によって、運輸部門におけるカーボンニュートラルが実現可能であることを確認した。しかしながら、排出原単位の小さい車両への転換を行っても、森林によるCO₂吸収のみではカーボンニュートラルは実現できない。

表-1 車両構成/電源構成別の2050年CO₂排出量

		電源構成	
		現状	2050年
車両構成	現状	1.29 億[t-CO ₂ /年]	1.29 億[t-CO ₂ /年]
	2050年	1.02 億[t-CO ₂ /年]	0.54 億[t-CO ₂ /年]

CCUS 有りの場合の運輸部門における吸収量：0.71 億 t-CO₂/年

CCUS 無しの場合の運輸部門における吸収量：0.17 億 t-CO₂/年

5. 都市交通計画によるCO₂排出削減施策

本章では、CCUS技術によるCO₂吸収を考慮しない状況において、人口集住による乗用車台キロの削減、ならびに貨物のモーダルシフトを実施した場合のカーボンニュートラル実現可能性を検討する。

(1) 人口の集住による乗用車CO₂排出削減施策

乗用車によるCO₂排出削減については、人口の集住を促すことによる可能性を検討する。

全国都市交通特性調査から人口密度が低い地域ほど、自動車の利用率が高く、公共交通の利用率は低いことが明らかにされていることから、人口密度の高い地域であればあるほど公共交通が利用しやすいことにより、自動

車の利用が抑えられ、結果的に乗用車の CO₂ 排出量が小さくなる。これに対し、有賀ら⁴⁾は、人口密度によって年間一人当たりの乗用車 CO₂ 排出量が異なると仮定し、全国の人口密度及び市町村別乗用車排出量のデータを用い、人口密度の規模別の一人当たりの乗用車 CO₂ 排出量を算出して、人口密度が低いほど乗用車の利用頻度が高く、一人当たりの乗用車 CO₂ 排出量が高くなることを示されている。同算出結果に基づいて、電気自動車 100% の場合について、電気自動車普及下における年間一人当たり乗用車 CO₂ 排出量(t-CO₂/年)を算定した結果を表-3 に示す。また、表-3 には、人口密度別の 2050 年推計人口⁵⁾、ならびに各人口密度別に推計人口と一人当たり乗用車 CO₂ 排出量を乗じることで、乗用車利用による年間の CO₂ 排出量を算出した結果を示している。算出結果の総排出量 2,580 万 t-CO₂/年は、前章で算出した乗用車の排出量 2,500 万 t-CO₂/年とは多少の差異が認められるものの、同年間一人当たり乗用車 CO₂ 排出量を用いて人口の集住による CO₂ 排出削減効果を評価する。

具体的には一人当たり CO₂ 排出量の大きい人口密度の小さい地域の居住者を、乗用車の目標排出量 (764 万 t-CO₂/年) を達成するまで、一人当たりの乗用車 CO₂ 排出量の小さい人口密度 10,000 人以上の地域に移動させる。この結果、乗用車による CO₂ 排出量のみを考慮した場合にカーボンニュートラルを実現できる人口分布を図-5 に示す。2050 年における全人口 9,700 万人のうち 89% が人口密度 10,000 人以上の地域に、11% が人口密度 3,000 人以上の地域に集住する場合、カーボンニュートラルが実現できるとの結果が得られた。2050 年の推計人口分布と比較した場合、約 7 割の人々による居住地変更を必要としており、実現へのハードルは高いと考えられる。

表-3 一人当たり乗用車 CO₂ 排出量、2050 年推計人口及び、乗用車の排出量算出結果

人口密度(人/km ²)	乗用車 CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年)	2050 年人口(万人)	排出量(万 t-CO ₂ /年)
1000 人未満	0.385	1758	668
1000 人以上~3000 人未満	0.356	2056	731
3000 人以上~10000 人未満	0.267	3960	1056
10000 人以上	0.064	1956	125
計		9707	2580

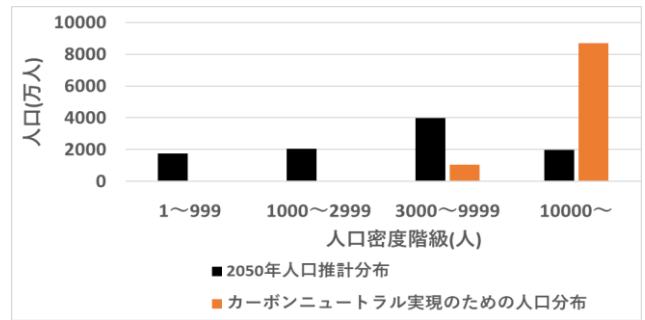


図-5 乗用車におけるカーボンニュートラル実現のための人口分布

(2) モーダルシフトによる貨物車 CO₂ 排出削減施策

貨物車による CO₂ 排出削減については、モーダルシフトによる可能性を検討する。

2018 年における貨物輸送分野における輸送手段別 CO₂ 排出量割合は、貨物車が 91%、内航海運が 8.6%、鉄道が 0.4%と貨物車が約 9 割を占めている。一方、貨物輸送手段別 CO₂ 排出原単位を図-6 に示す。ガソリン貨物車/電気貨物車/内航海運/鉄道の順に排出原単位が小さくなっている。そこで、本項では、CO₂ 排出原単位が大きい貨物車での輸送を CO₂ 排出原単位が小さい内航海運、鉄道のそれぞれにシフトした場合のカーボンニュートラル実現の可能性を検討する。なお、貨物車の輸送については、都市内輸送と都市間輸送に分類し、都市内輸送については内航海運や鉄道で代替することが困難であることから、都市内輸送の輸送トンキロについては他モードへの変更ができないものとする。

図-7 にモーダルシフトによる CO₂ 排出量の算定結果を示す。横軸がモーダルシフトを実施する量、縦軸が CO₂ 排出量を示している。都市間輸送を全て内航海運にシフトした場合には CO₂ 排出量が 3,116 万 t-CO₂/年から 1,703 万 t-CO₂/年まで減少、鉄道に全てシフトした場合は 3,116 万 t-CO₂/年から 1,423 万 t-CO₂/年まで削減可能との結果が得られた。しかしながら、いずれの値も貨物車の目標排出量 896 万 t-CO₂/年を下回っていないことから、モーダルシフトの実施によっては貨物車のカーボンニュートラルが実現できないとの結果を示した。このため、貨物車についてカーボンニュートラルを実現するためには輸送トンキロそのものを削減させることが求められる。

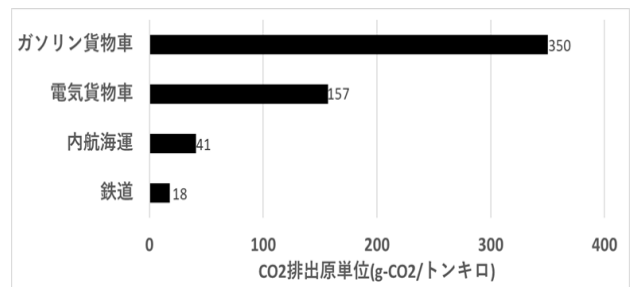


図-6 輸送手段別 CO₂ 排出原単位

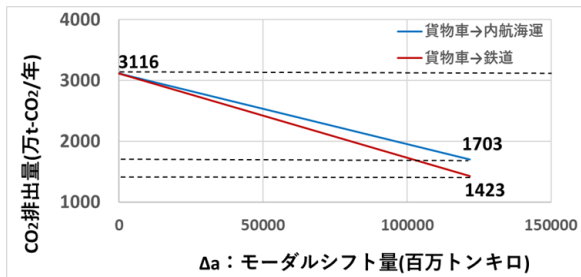


図-7 モーダルシフト実施による排出削減効果

6. おわりに

本稿では、運輸部門における CO₂ 排出削減施策を実施した場合について CO₂ 排出量を算出し、カーボンニュートラルの実現可能性を検証した。

検証の結果、政府目標の 2050 年電源構成かつ車両を全て電気自動車に転換し、かつ CCUS 技術が予定通り開発された場合には、カーボンニュートラルを実現できることが確認された。また、CO₂ 吸収が森林吸収のみによる場合にはカーボンニュートラルの実現が叶わないことから、乗用車、貨物車について、交通都市計画施策を用

いた更なる排出削減の可能性を検討した。その結果、乗用車単独で見た場合には、人口の約 9 割が人口密度 1 万人以上の地域に集住することでカーボンニュートラルが実現可能であること。貨物車については、モーダルシフトの実施のみではカーボンニュートラルを実現できないとの結果が得られた。今後は、他の交通都市計画施策による CO₂ 排出削減可能性の検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 環境省，文部科学省，農林水産省，国土交通省，気象庁：気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート
- 2) 秋元圭吾，佐野史典：2050 年カーボンニュートラルのシナリオ分析(中間報告)
- 3) 環境省：温室効果ガス排出・吸収算定結果 2018
- 4) 有賀敏典，松橋啓介：地域内人口分布シナリオの乗用車 CO₂ 排出量推計による評価，土木学会論文集 G(環境)，Vol, No6
- 5) 国土交通省：1km メッシュ別将来推計人口(H29 国政局推計)

Urban transportation planning for the realization of carbon neutrality in 2050 on transportation sector

Koki KIYOHRO, Toshio YOSHII, Shinya KURAUCHI, Takahiro TSUBOTA and Hirotoishi SHIRAYANAGI

This study examines the feasibility of carbon neutrality on transportation sector for the realization of carbon neutrality in 2050. CO₂ emissions are calculated for a total of 4 cases by combining the situations of power supply and the share of vehicle models. The former considers the situations, current one and the government target in 2050. The latter considers the situations, current share of vehicle models and 100% electric vehicles. Estimated CO₂ emissions are compared with the gas absorption by forests and CCUS technologies. As a result, it was confirmed that carbon neutrality was realized when the power supply configuration, the model composition, and the development of the CCUS technology were all succeeded as planned. In addition, since carbon neutrality cannot be realized when CO₂ absorption is obtained only by forests, the possibility of further emission reduction using urban transportation measures for passenger cars and cargo vehicles are examined. As a result, for passengers cars, carbon neutrality can be realized by gathering 90% of the population in an area with a population density of 10,000 or more, and for cargo vehicles, carbon neutrality cannot be realized only by implementing modal shifts.