道路分野が貢献するカーボンニュートラルに資する新技術のポテンシャルに関する一考察 ～CO_2吸収源となる低炭素材料，路面太陽光発電，道路網の活用に着目して～

青山　万吉[1]・柳　渓一郎[2]・山岡　聡[3]・森山　誠二[4]

[1]正会員　（一財）日本みち研究所　主任研究員（〒135-0042 東京都江東区木場二丁目 15-12 号）
E-mail: aoyama@rirs.co.jp

[2]正会員　セントラルコンサルタント（株）九州支社（〒812-0013 福岡市博多区博多駅東二丁目-14-1）
E-mail: kyanagi@central-con.co.jp

[3]正会員　（一財）日本みち研究所　主任研究員（〒135-0042 東京都江東区木場二丁目 15-12 号）
E-mail: yamaoka@rirs.co.jp

[4]正会員　（一財）日本みち研究所　専務理事（〒135-0042 東京都江東区木場二丁目 15-12 号）
E-mail: moriyama@rirs.co.jp

本稿では，地球温暖化対策として「2030 年度の温室効果ガスを 2013 年度比 46%削減」，「2050 年カーボンニュートラル実現」に向けた多様な取組みが進められているなか，道路分野における取組みのうち，再生可能エネルギーの導入や排出した CO_2 の吸収・貯留に着目し，現在進められている道路分野での取組みを踏まえ，新たな道路空間の活用可能性について検討を行った．その結果，道路空間を送電網として活用することで日本全体での再エネ導入の効率化や EV 車両の普及促進の支援が行えること，道路空間が排出された CO_2 の吸収・貯留空間となること，路面太陽光発電による再生可能エネルギーの供給源となる可能性が示され，道路空間の有効活用により，地球温暖化対策に大きく貢献できる新たな可能性が示唆された．

Key Words: *Carbon-neutral, Road Sector, Carbon dioxide capture and storage, Solar road surface photovoltaics, Road network*

1. はじめに

(1)　日本の CO_2 排出量

我が国の CO_2 排出量は，2021 年度におけるエネルギー起源 CO_2 排出量が約 9.9 億 t-CO_2/年，非エネルギー起源 CO_2 排出量が約 0.7 億 t-CO_2/年である．これは温室効果ガス総排出量の約 91%を占めている．また，部門別 CO_2 排出量は，2021 年度において産業部門からの排出量が全体の 35.1%と最も大きく，都市関係（運輸部門が 17.4%，業務その他部門が 17.9%，家庭部門が 14.7%）で，CO_2 総排出量の約 50%を占めている[1]．

我が国では 2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて，2030 年度の温室効果ガスの排出量を 2013 年度比 46%削減するという目標を設定しており，電源構成における再生可能エネルギーの比率を 36～38%とするとの目標が示されている．2021 年度時点の電源構成は，化石燃料が 72.9%，再生可能エネルギーが 20.3%を占めており，2030 年度の目標に向けて，化石燃料が占める割合を 41%程度に削減することを目指している[2]．

(2)　道路由来の CO_2 排出量

国土交通省道路局資料等[3)4)5)]によると，道路分野からの CO_2 排出量は，約 1.75 億 t-CO_2/年を排出しており，CO_2 総排出量の約 16%を占めている．

また，道路分野を「①道路整備（道路工事等）」，「②道路利用（自動車交通）」，「③道路管理（道路照明等の電力）」の 3 つのカテゴリに分類しそれぞれの CO_2 排出量が整理されており，道路整備における CO_2 排出量が約 1,330 万 t-CO_2/年（全体の約 1.3%），道路利用における CO_2 排出量が約 1 億 6 千万 t-CO_2/年（全体の約

15.0%），道路管理における CO_2 排出量が約 140 万 t-CO_2/年（全体の約 0.1%）となっている[3]．

また，道路管理における電力消費量は，約 3,060GWh/年となっており，道路照明やトンネルに使用する電力が約 6 割を占めている[4]．なお，2021 年度の日本全体での総発電電力量は，1 兆 328 億 kWh（うち化石燃料発電量 7,527 億 kWh，非化石発電量 2,801 億 kWh）である[5]．また，道路における再生可能エネルギー発電施設の設置状況と発電割合は，それぞれ太陽光 265 箇所 96.7%，風力 4 箇所 1.5%，水力 5 箇所 1.8%となっており，道路における総発電量は，合計で約 13GWh/年である．これは道路管理における電力消費量の 0.4%程度である[3]．

(3) 地球温暖化対策計画における削減目標

地球温暖化対策計画（R3.10.22 閣議決定）[6] の別表に示されている具体的な対策のうち，特に道路分野が関係できる対策を抽出し，前述の道路分野からの排出量のカテゴリーごとに分類・整理した（表 1-1）．

a）道路整備が関係できる対策

道路整備に関しては，建設時の CO_2 排出関係する項目としてハイブリッド建機等の導入があり，44 万 t-CO_2 の排出削減が見込まれている．このほかに関連する項目として，建設資材に関係する項目や道路計画に関係する項目も抽出した．この分類を合計すると，最大で約 553 万 t-CO_2 の排出削減が見込まれている．

b）道路利用が関係できる対策

道路利用に関しては，主に運輸部門に関係する項目を抽出した．具体的には，EV 車両等の次世代自動車の普及，燃費改善のほか，交通や物流に関係する項目を抽出し，この分類を合計すると，約 5,589 万 t-CO_2 の排出削減が見込まれている．

c）道路管理が関係できる対策

道路管理に関しては，LED 道路照明の整備促進と再生可能エネルギー電気の利用拡大を抽出し，両者の合計は，約 21,193 万 t-CO_2 の排出削減が見込まれている．

(4) 道路分野のカーボンニュートラルの貢献について

現在，国土交通省道路局より，道路分野のカーボンニュートラル推進戦略[7] として 4 つの柱が示されたところである（表 1-2）．

(5) 本稿での検討対象

CO_2 が発生する主な要因は，エネルギー起源（石炭・石油・天然ガスなど化石燃料の燃焼）によるものである．我が国はエネルギー供給源が化石燃料に大きく依存しており，そのほとんどを海外からの輸入に頼っていることを踏まえると，持続的な資源の安定供給ならびに 2050 年カーボンニュートラルを実現するためには，エネルギ

表 1-1 道路が関係できる対策と 2030 年度削減見込み量[6]

分類	具体的な対策	2030 年度排出削減見込み量(万 t-CO_2)
a)	コークス炉の効率改善	48
a)	省エネルギー設備の増強	65
a)	革新的製銑プロセス(フェロコークス)の導入	82
a)	環境調和型製鉄プロセスの導入	11
a)	革新的セメント製造プロセス	40.8
a)	ハイブリッド建機等の導入	44
a)	混合セメントの利用拡大	38.8
a)	ヒートアイランド対策による熱環境改善を通じた都市の脱炭素化	0.71～3.32
a)	都市緑化等の推進	124
a)	港湾の最適な選択による貨物の陸上輸送距離の削減	96
b)	次世代自動車の普及，燃費改善	2,674
b)	道路交通流対策等の推進	約 200
b)	高度道路交通システム(ITS)の推進(信号機の集中制御化)	150
b)	交通安全施設の整備(信号機の改良・プロファイル(ハイブリッド)化)	56
b)	交通安全施設の整備(信号灯器のLED化の推進)	11
b)	自動走行の推進	168.7
b)	環境に配慮した自動車使用等の促進による自動車運送事業等のグリーン化	101
b)	公共交通機関の利用促進	162
b)	地域公共交通利便増進事業を通じた路線効率化	2.29
b)	自転車の利用促進	28
b)	トラック輸送の効率化	1,180
b)	共同輸配送の推進	5
b)	エコドライブ	659
b)	カーシェアリング	192
b)	静脈物流に関するモーダルシフト・輸送効率化の推進	14.5～20.1
b)	鉄道貨物輸送へのモーダルシフトの推進	146.6
b)	海上輸送へのモーダルシフトの推進	187.9
b)	ドローン物流の社会実装	6.5
c)	LED 道路照明の整備促進	約 13
c)	再生可能エネルギー電気の利用拡大	20,160～21,180 程度

表 1-2 道路分野の CN 推進戦略 4 つの柱[7]

4 つの柱	施策例
道路交通の適正化	・道路ネットワークの構築 ・渋滞ボトルネックの解消 ・自動車利用の抑制・分散の取組 ・自動運転の実装
低炭素な人流・物流への転換	・人流：低炭素な道路交通(新たなモビリティの導入，自転車の利用促進，公共交通の利用促進，快適な歩行空間の整備) ・物流：低炭素な物流輸送(輸送量の向上，輸送の効率化，モーダルシフトとの連携)
道路交通のグリーン化	・走行環境：電動車の開発・普及促進 ・発電：再生可能エネルギーの活用・支援 ・送電：送電網の収容に道路網を活用 ・給電：電気自動車・燃料電池自動車への充電・充てん環境の構築 ・蓄電：蓄電池の活用
道路のライフサイクル全体の低炭素化	・道路インフラの長寿命化 ・道路計画・建設・管理の低炭素化 ・CO_2 の吸収・低炭素材料の活用

一政策の道筋を示すことが重要である．

このような社会情勢の中，日本全体で求められる削減量に比べて道路事業で削減できる割合が限られる現状を踏まえ，2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた道路分野の役割として，従来の道路事業での対策に加えて，日本全土の道路ネットワークの活用や新技術に着目した道路空間の活用方法など，新たな取組みが重要である．

本稿では，削減目標値が高い再生可能エネルギーや，排出した CO_2 の吸収技術に着目し，インターネット検索から得られる既存情報を調査し，収集した情報から，日本全体での再生可能エネルギーの効率的利用に向けた道路空間の有効活用，CO_2 を吸収するコンクリートやアスファルトなどの技術開発状況を踏まえた吸収源としての道路空間の可能性，太陽光発電の空間としての道路空間の活用に関して，整備方法の検討，整備効果の評価を行い，カーボンニュートラルに貢献する道路空間の利活用の方向性について考察を行った．

2. 道路空間を活用した送電網収容の可能性

(1) 道路空間への送電網整備の必要性

a) 再生可能エネルギーの導入目標

我が国では，2021 年に閣議決定された第 6 次エネルギー基本計画[8] の中で，2030 年度までに電源構成における再生可能エネルギーの比率を 36～38%（3,360～3,530 億 kwh）にするとの目標が示されている（表 2-1）．

表 2-1　2030 年度エネルギーミックスと電源構成目標[8]

	エネルギーミックス	電源構成
石油	31%	2%
天然ガス	18%	20%
石炭	19%	19%
原子力	9～10%	20～22%
再生可能エネルギー	22～23%	36～38%
水素･アンモニア	1%	1%

この目標の実現に向けて，太陽光，風力，水力，地熱，波力等の再生可能エネルギー発電設備の導入・開発が，各地で進んでいる．一方，再生可能エネルギーは，太陽光では夜間に発電できないこと，陸上風力や地熱は適地が自然豊かな場所に多いなど環境影響への懸念があるなど各種の課題を抱えている．このため，近年では，特に昼夜を問わずに発電でき，かつ海上にも設置可能である洋上風力発電への期待が大きくなっている（表 2-2）[9]．

ただし，我が国の大規模風力発電等の再生可能エネルギーの発電適地は大規模需要地から離れた場所に偏在しているため，今後は，いかに発電した電気を需要に合わせてロスなく効率的に供給するかが強く求められていくものと考えられる．

表 2-2　2030 年度の再生可能エネルギー導入見込量[9]

GW(億 kWh)	2019 年度導入量	改定ミックス水準
太陽光	55.8GW(690)	103.5～117.6GW (1,290～1,460)
陸上風力	4.2GW(77)	17.9GW(340)
洋上風力	―	5.7GW(170)
地熱	0.6GW(28)	1.5GW(110)
水力	50.0GW(796)	50.7GW(980)
バイオマス	4.5GW(262)	8.0GW(470)
発電電力量	1,853 億 kWh	3,360～3,530 億 kWh 程度

b) 再生可能エネルギーと送電網の課題

今後は，2030 年，2050 年の将来目標に向けてＥＶ車両が普及していくものと考えらえるが，電源構成における火力発電の依存度が高いままでは，全体としての CO_2 排出削減にはつながらないため，再生可能エネルギーの導入拡大が急務となっている．

一方，前述のとおり再生可能エネルギーの適地は地方部に偏在しており，特に，経済産業省資源エネルギー庁で導入促進を図っている大規模な洋上風力発電の促進区域や有望な区域は，日本海側の東北地方など大規模需要地と離れた場所に偏在している．このため，需要地への効率的な送電が求められている．しかし，例えば，東北電力管内では，ほぼ全ての系統で平常時における出力制御を行う可能性があるなど，基幹送電線網の容量はすでに逼迫している現状にある[10]．今後，再生可能エネルギーの割合を増やしていくためには，新たな送電網の構築による送電容量の拡大が必要である．一方，新たな送電網の構築は，時間，用地買収等を含む設置費用等を踏まえると，設置までに時間を要することが懸念される．現在の洋上風力発電推進状況[11]，電力網の増設計画[12]の関係を図 2-1 に示す．

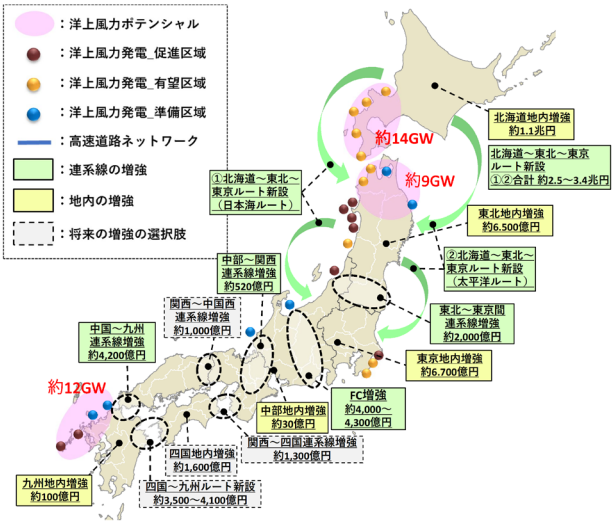


図 2-1　洋上風力発電計画および送電網増強計画

c）EV 急速充電器の普及と課題

自動車からの CO_2 排出抑制に向けて，EV 車や FCV 車の導入促進が図られている．一方，EV 車両は航続距離がガソリン車に比べて少ないため，普及促進にあたっては，目的地に到着するまでに充電できる場所を増やす必要がある．このため，道路でできる対策として，SA・PA や道の駅等への高速充電器の導入，路肩への導入促進が挙げられている [3]．

これらの施設での充電は，目的地までの間に充電する経路充電に分類され，休憩などの合間に短時間で充電する必要があることから，急速充電が可能な設備が求められる．現在，経済産業省と国土交通省では，ＥＶ車の普及状況を踏まえながら，ガソリン車並みの利便性を実現するため，2030 年までに 15 万基の充電器を目指しており [13]，NEXCO3 社と（株）e-Mobillity Power は，高速道路の SP・PA において，今後 2025 年度までに 1,100 口程度まで整備を進めることを示している [14]．

表 2-3　NEXCO 管轄 SA/PA のインフラ整備状況 [14] [15]

管轄	休憩施設数（SA/PA）	ガスステーション	EV 充電スタンド設置箇所数	EV 充電スタンド設置口数
NEXCO 東日本	328 箇所	94 箇所	155 箇所	183 口
NEXCO 中日本	214 箇所	64 箇所	111 箇所	169 口
NEXCO 西日本	309 箇所	86 箇所	135 箇所	159 口
計	851 箇所	244 箇所	401 箇所	511 口

また，一般へは 50～180kw の急速充電器が開発・販売されており，将来的にはより高出力の充電器の開発が進むものと考えられる．このような整備が進む一方で，急速充電器を複数台設置した場合の電力供給に対して，現状での電力網の送電容量が逼迫している様な場所では，電力の安定供給に課題が生じる可能性がある．例えば，90kw の急速充電器が 10 台稼働した場合，900kw の電力が必要となり，30 分の稼働で 450kwh の電力量となる．これは，一般家庭 1 世帯 4 人家族の 1 ヵ月分の消費電力 436kwh に相当する．今後，急速充電器が休憩施設ごとに増強されていくことで，短時間での急激な電力消費が不定期に起こる恐れがあり，需給バランスをとるための系統連系のあり方など，新たな課題が生じる恐れが考えられる．

d）道路空間を活用した送電網の構築

上記の課題への解決策として，道路空間への送電網の構築が考えられる．例えば，連携線の増築予定箇所の高速道路を活用することで，効率的に必要な電力ネットワークの整備が実現できると考えられる（図 2-2）．

今後，増設が見込まれる急速充電器への再生可能エネルギーの電力供給を目的として高速道路内に送電網を構築するとともに，送電網の空き容量を全国の再生可能エネルギーの運搬のために提供することが考えられる．

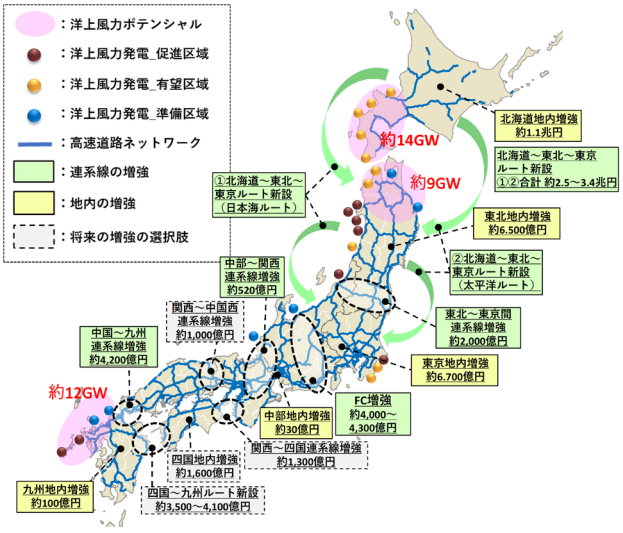


図 2-2　再生可能エネルギー導入計画と高速道路網

(2)　道路空間を活用した送電施設の導入にあたっての技術的課題

既存研究として，高速道路へのガスパイプラインや超電導ケーブルの導入検討がなされている [16]．この中で設置位置の検討が行われており，その内容を参考に送電網導入の課題について検討を行った．

a）ケーブルの規格

送電線の敷設は，架空送電線に比べ，距離離隔などの制約の少ない地中電線路が望ましい．地中電線路の敷設方式は，直接埋設，管路，暗渠の３種類がある．高速道路へは，暗渠に比べて断面積が小さく，直接埋設に比べて増設や損傷への対応がしやすい管路方式が現実的と考えられる．導入するケーブルは，送電網の補完も想定すると，特別高圧に対応した CV ケーブルが想定される．架空送電線の地下化に関する既往調査 [17] を参考に，154kV の電線φ200 ㎜孔管路を 4 系統とすれば，約 70 ㎝四方の管路が必要と考えられる．

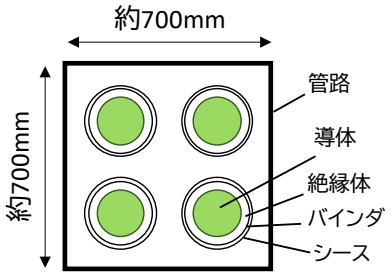


図 2-3　φ200mm 4 孔管路

b）設置位置

高速道路を構成する道路構造は，盛土・切土の土工区間，トンネル，橋梁に大別できるが，それぞれの区間のどの部分に施設していくかが課題となる．ガスパイプラインの検討結果を参考に，具体的な設置場所での課題について検討した．

〔トンネル区間の設置場所〕

長大トンネルの場合には，通常，避難坑が設置されていることから，その空間への活用が考えられる．その場合，万が一に備え感電対策等の検討が必要となる．

〔土工区間の設置場所〕

土工区間では本線の路面下でなく，路肩部分や法尻部や側道路面下への敷設が考えられる．また，法面崩壊等の災害に備えて，例えば，盛土区間では法尻部への敷設が望ましいと考えられるが，現地の条件に応じて詳細に検討する必要がある．

〔橋梁区間の設置場所〕

橋梁は，様々な構造の橋梁があり，架設方法はそれぞれの条件に応じて検討が必要と考えられる．現在，本州と四国を連携する電力ネットワークとして，トラス橋の瀬戸大橋を活用した基幹ケーブルの敷設事例があり，このような事例を踏まえつつ，様々な橋梁形式に応じた敷設方法を検討していく必要がある．

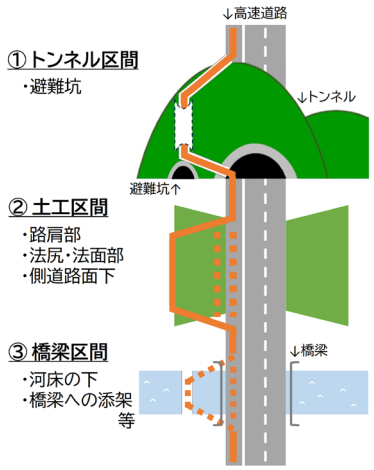


図 2-4　高速道路における送電線の敷設箇所の検討

(3)　整備後の効果

高速道路を活用した電力網が構築されることにより，出力制御による再生可能エネルギーの発電ロスをなくすことができ，再生可能エネルギーの利用比率を上げ，火力発電の割合を減らすことで CO_2 削減に大きく貢献できる．

また，現在，2022 年のガソリン車の新車販売台数は約 94 万台，EV 車両（普通乗用車）の新車販売台数は約 3 万 6000 台であるが [18]，2035 年までに乗用車新車販売の EV 車 100%の実現が目標として掲げられており [19]，普及促進が課題となっている．充電設備の充実による利便性が向上することで，EV 車両の普及促進への後押しとなることが期待でき，自動車からの CO_2 排出量削減へ大きく寄与すると考えられる．

さらに，送電網の空間は，将来の導入が期待される送電ロスのない超電導直流送電網や，水素社会の実現に向けた水素パイプラインへの活用も期待できる．

3. CCS（Carbon dioxide Capture and Storage）の道路空間への活用

CCS とは，大気中の CO_2 の回収・貯留を行う技術のことであり，火力発電所や工場等からの排気ガスや大気中に含まれる二酸化炭素を分離・回収し，地下の安定した地層の中などに貯留するといった技術のことである．

地球温暖化を食い止めるためには，CO_2 の排出抑制だけでは難しく，大気中の CO_2 を回収・貯留する必要があり，CCS に注目が集まっている．

我が国においては，北海道苫小牧市の海底下を CO_2 貯留地点とした CCS 実証実験が開始され，2012 年度から準備に着手，2016 年度 CO_2 圧入を開始，2019 年度目標（累計 CO_2 圧入量 30 万 t）を達成している [20]．この結果を踏まえ，経済産業省から中間とりまとめが公表され，2050 年時点の年間 CO2 貯留量の目安を年間 1.2 億 t～2.4 億 t と想定し，貯留ポテンシャルが高い中東，豪州やアジア等への CCS 推進も含め，2030 年までの「CCS」事業開始に向けた事業環境整備を政府目標として明確に掲げることとしている [21]．

この様な現状から，道路分野においても橋脚やトンネルなどの材料となるコンクリートやアスファルト等の舗装材での CO_2 吸収の技術開発が進んでいる．そこで，これら技術の現状を概観するとともに，道路空間への活用方法について検討を行った．

(1)　CO_2 吸収素材の積極的な導入

a）CO_2 を吸収するセメント技術

コンクリートはセメントを主な材料としており，セメントが生産される過程において CO_2 を排出している．セメントは，主に $CaCO_3$ を主成分とする石灰石を主な原料として焼成工程を経て生産されており，この焼成の工程で，CaO を主成分とするクリンカになる際に CO2 が排出されている．化学式を以下に示す．

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2 \quad (1)$$

現在，世界全体で毎年排出される約 330 億トンの CO_2 の約 7%がセメント生産によるものとの試算が示されている [22]．

一方，コンクリートは，施工後の経年劣化による中性化の過程や解体過程で CO_2 を吸収することが知られており，吸収量の算出などが行われている[23) 24) 25)]．

例えば，コンクリートの白華現象は，セメントのアルカリ成分が大気中の二酸化炭素等と結合する反応であり，以下の化学式で表せる．

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 \quad (2)$$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_20 \quad (3)$$

このような状況から，コンクリートの脱炭素化に向けて，製造過程での CO_2 の削減，CO_2 吸収源としてのコンクリートの開発，ライフサイクルを考慮したカーボンニュートラルなコンクリートの実現に向けた取組みが進展している．

b）CO_2 を吸収するアスファルト合材

道路の舗装材として利用されているアスファルト合材についても，脱炭素型のアスファルトの技術開発が進展している．アスファルト合材は，アスファルトと砕石・砂・石粉を所定の割合で混ぜ合わせて製造されるアスファルト混合物のことであり，道路では主に加熱アスファルトが用いられている．このアスファルト合材に CO_2 を吸収させた材料を用いることで，アスファルト内に CO_2 を蓄積することができることから，技術開発が進んでいる．合材の製造過程で出る CO_2 を吸収量で相殺しつつ，さらに蓄積させることで吸収源となる．

アスファルト合材の年間生産量は，年 4,000 万 t 程度で，生産時に排出される CO_2 は年約 130 万 t と推定されている[26) 27)]．

c）路盤材としての活用

CO_2 を吸収したコンクリートの砕石等を路盤材として活用することで，道路空間を CO_2 貯留空間とすることができる．通常の舗装では，路床の上に下層路盤（40cm），上層路盤（20cm）を敷設し，その上にアスファルトやコンクリートなどの表層舗装を施す．この路盤材や表層舗装に CO_2 を吸収したコンクリートを積極的に活用することで，CO_2 貯留が可能となる．

(2) 技術展望

a）技術開発の見込み

インターネット検索等で得られた情報から，CO_2 吸収，貯留に関するコンクリート，アスファルトの技術を整理した（表 3-1）．

セメント産業では，CCS や CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）の進展が必要との認識が示されており[28)]技術開発が進んでいる．特徴を大別すると，セメントを高炉スラグ粉末や CO_2 を吸収させた鉱物等の物質に置き換えることで，セメントの使用量を減らす削減する方法と，コンクリートそのものに CO_2 を吸収させる固定技術の併用によりセメント製造時の CO_2 削減しつつ CO_2 を吸収しトータルとして CO_2 をマイナスにする方法，セメントを使わずに CO_2 を吸収した炭酸カルシウムやコンクリート廃材を用いて CO_2 を固定する方法に分類できる．

また，アスファルト舗装に関しては，骨材となる材料に CO_2 吸収した素材を用いることで CCS となる技術が開発されている．2050 年カーボンニュートラルの実現に向

表 3-1　CO2 回収・貯留に関する技術

分類	商品名・名称	効果
CO_2 削減	ECM セメント®[29)]	普通セメントの 60～70%を高炉スラグの粉末に置き換え，コンクリート由来の CO_2 排出量を６割削減.
CO_2 削減・固定	カーボンキュアコンクリート[30)]	コンクリート製造時に液化 CO_2 を噴射し取込み，ナノレベルの鉱物を生成，セメント量を削減しつつ同じコンクリート強度を引出す技術．23.38kg/㎥削減.
CO_2 削減・固定	カーボフィクス®セメント[31)]	CO_2 と化学反応することで硬化し，所定の強度を発現することを特徴とする材料．インターロッキングブロックでは，CO_2 排出量の約 60%削減.
CO_2 削減・固定	CO2-SUICOM®[32)]	セメントの半部以上を特殊な混和材等に置き換えることと，火力発電所排ガス中の CO_2 をコンクリートに固定し，CO_2 排出量を実施ゼロ以下（-18kg/㎥）にする.
CO_2 削減・固定	T-eConcrete®/Carbon-Recycle[33)]	T-eConcrete®は，セメント使用量を抑制するため高炉スラグやフライアッシュを使用し CO_2 排出量を抑制することや，高炉スラグを特殊な反応剤を用いて固めることでセメント使用量をゼロにすることもできる．Carbon-Recycle は，炭酸カルシウムなど CO_2 を吸収したカーボンリサイクル製品を用いてコンクリート内部に CO_2 を固定することで，CO_2 の排出・吸収の収支をマイナスにする（-116kg～-45kg/㎥）.
CO_2 固定	カルシウムカーボネートコンクリート[34)]	建造物の解体によって発生するセメントコンクリート廃材と大気中の CO_2 を炭酸カルシウムコンクリート（CCC）として再生する技術．セメントを使わないため作れば作るほど CO2 を吸収することとなる.
CO_2 削減・固定	合成炭酸カルシウム（炭酸塩）を用いたアスファルト舗装[35)]	ボイラー排ガス中の CO_2 とコンクリート廃棄物に含まれるカルシウムを合成した，合成炭酸カルシウム（炭酸塩）をアスファルト混合物資材として使用することで，アスファルトへの CO2 固定化を実現する．試験舗装（500㎡）で，約 500kg の CO_2 を固定.
CO_2 削減・固定	アスファルトと混合するバイオ炭[36)]	100 年後炭素残存率が高いオガ粉を原料とするバイオ炭（オガ炭）を合材に利用することで，道路に CO_2 を固定する．1kg あたり 2.3kg の CO_2 を吸収・固定.

けて，このような CCS，CCUS 技術の利用促進が求められており，道路分野においても積極的な導入が期待される．

b）技術普及に向けた課題

セメントを高炉スラグ等に置換えて CO_2 を削減するコンクリートは実用化されており，今後の普及拡大が期待される．しかし，CO_2 は削減されるものの排出自体は続くため，CCS，CCUS の取組みも合わせて推進していく必要がある．

一方，セメントを置換えることとなるため，これまでアルカリ性であったものが中性化していくことになるため，鉄筋の腐食によるコンクリートのひび割れ，剥離等の課題が生じる恐れが高まる [37]．また，開発段階や試作段階の技術も多く，通常に比べての導入コストの抑制や，道路に用いる際の基準類への適合など検証を進める必要があり，課題克服に向けた取組みを進めていくことが必要である．

(3) 導入効果

a）CO_2 吸収コンクリート

道路分野では，橋脚やトンネル，舗装，縁石等にコンクリートが利用されているが，既設のものを置換えることは現実的ではない．一方で，前述のとおり，CO_2 排出をゼロにする考え方として，製造にかかる CO_2 排出量から，コンクリートの材料であるセメントを置換えることによる CO_2 排出の削減量と，CO_2 を吸収した材料を用いることによる CO_2 吸収量を差し引くことで，実質の CO_2 排出量をゼロ以下にすることが示されている．

そこで，今後道路分野が貢献できる可能性として，年間に道路に使われている生コンクリートの量から，年間の CO_2 排出量を推定し，それが CO_2 吸収コンクリートに置換わることにより，毎年道路分野で削減できる CO_2 量とすることとした．

また，表 3-1 の技術のうち，排出量を実質ゼロにしたうえで，さらに，1m³ あたりの CO_2 吸収量が示されていることから，それらの値を参考に，年間に吸収できる可能性を示した．

まず，道路の生コン出荷量と 1m³ のコンクリートの作成時の CO_2 排出量を掛けることで，年間の CO_2 量を排出量を推定し，それを道路分野におけるコンクリート使用に関しての年間削減可能な CO_2 として示すこととした．

$$C = F\mathrm{E} \tag{4}$$

C：年間に削減可能な CO_2 量

F：年間に道路事業に使われる生コンクリート量(m³)

E：1m³ のコンクリート作成時の CO2 排出量(kg)

ただし，2022 年の道路の生コン出荷量（F）そのもののデータが確認できなかったことから，2018 年時点のデータをもちいて道路の生コン出荷量と日本全体の生コン出荷量から割合を算出し，その割合から 2022 年の道路の生コン出荷量を推定した．

$$F = \left(\frac{F_1}{F_2}\right) F_3 \tag{5}$$

F_1：2018 年道路の生コン出荷量(m³)

F_2：2018 年日本全体の生コン出荷量(m³)

F_3：2022 年日本全体の生コン出荷量(m³)

表 3-2 使用した数値

記号	項 目	数 値
E	1 ㎥のコンクリート作成時の CO_2 排出量 [37]	270(kg)
F_1	2018 年道路の生コン出荷量 [38]	5,479,700(m³)
F_2	2018 年日本全体の生コン出荷量 [38]	62,982,000(m³)
F_3	2022 年日本全体の生コン出荷量 [39]	74,452,103(m³)

上記の方法で算出すると，年間に道路事業に使われる生コンクリート量（F）は 6,477,647m³ と推定され，年間に排出される CO_2 量（C）は 1,748,965(t)となる．この道路事業に用いられる生コンクリートを CO_2 の吸収・固定やセメント量削減により実質的な CO_2 排出量ゼロとなるコンクリートを用いた場合，年間に削減可能な CO_2 量は約 175 万 t-CO_2/年と推定できる．

次に，この CO_2 実質排出量ゼロにできるコンクリートは，CO_2 吸収量が多くなることで，さらに CO_2 を吸収できるネガティブ値が示されている．それぞれの技術で異なるものの例えば，1 ㎥あたり-116kg [33] とすれば，上記の年間の道路事業の生コンクリート量（F）を掛けることで，約 75 万 t-CO2/年の吸収が見込まれる．

これは，道路空間が CO_2 の吸収源となることを示唆しており，積極的な導入が望まれる．しかし，CO_2 を吸収するコンクリートの吸収量の算出については，統一的な指標が必要といった課題も指摘されており [40]，普及促進に向けた取組みについて，さらなる加速化が望まれる．

b）アスファルト舗装（表層・基層）

長期に CO_2 を貯留する技術として，バイオ炭 [41] の活用の試みが，様々な分野で始まっている．建設分野においてもコンクリートに混ぜる試験が始まっており，道路分野でもアスファルト合材に活用する試みが始まっている．このため，アスファルト舗装（表層・基層）における長期的な CO_2 貯留の可能性について，試算を行った．

算出方法は，道路統計年報 [42] に示されている，全国の道路面積，道路延長（舗装＋簡易舗装），道路延長（アスファルト系）を使用しアスファルト舗装が占める割合を算出し，その値に公表されている 1 ㎡あたりの CO_2 吸収量を掛け合わせることで，現在の全国のアスファルト舗装が CO_2 吸収アスファルトに置き換わったとした場合の CO_2 吸収・貯留量として算出した．

$$C_A = RA \tag{6}$$

C_A：アスファルト舗装に吸収可能な総 CO_2 固定量(t)
R：全国の道路のアスファルト面積（m^2）
A：1 ㎡あたりの CO2 固定量（kg）
ただし,

$$R = \left(\frac{R_a}{R_e}\right) R_s \tag{7}$$

R_s：道路面積（道路部）（㎢）
R_a：道路延長（アスファルト系）（㎞）
R_e：道路延長（舗装＋簡易舗装）（㎞）

表 3-3 使用した数値

記号	項 目	数 値
A	1m^2あたりの CO_2 固定量 [35]	1(kg)
R_s	道路面積(道路部)[42]	7,785,78(km^2)
R_a	道路延長 [42]（アスファルト系）	296,844.6(km)
R_e	道路延長 [42]（舗装＋簡易舗装）	1,017,066.1(km)

上記の方法で算出すると，全国の全アスファルト舗装道路で，合成炭酸カルシウム（炭酸塩）を用いたアスファルト舗装を実施した場合の CO_2 固定量は 2,272,386t（約 230 万 t）と推定できる．

全てのアスファルト舗装をすぐに転換していくことは現実的ではないものの，アスファルト舗装は損傷度合いにより補修や打換え等の工事が発生する．近年では，LCC を考慮した維持管理計画も求められており，表層・基層のアスファルト舗装については，10 年～13 年程度の打換え時期が一般的と考えられる[43]．この際に CO_2 吸収アスファルトを用いて，年間使用量を把握することで，年間に吸収・貯留した CO_2 を算出していくことが可能となると考えられる．なお，アスファルトは交通条件や気象条件により損傷度合いが大きく異なることから，今後進んでいく舗装の点検データを活用し，より長期的な CO_2 貯留の観点から，損傷が少ない道路から計画的に切り替えることも考えられる．

c）舗装の路盤材

前述のとおり，アスファルトは劣化しやすいため，舗装の打換えが行われるが，さらに長期的な視点から，道路の路盤を活用することが考えらえる．

例えば，アスファルト舗装の標準的な断面は図 3-1 に示すとおりである．路盤の厚さは交通条件により異なるものの，標準的な舗装構成として街路では N5 交通程度，高規格道路では N7 交通程度と設定すれば，上層路盤と下層路盤を合わせた厚さは，路床の設計 CBR8 の場合で，それぞれ N5 交通程度は 40cm，N7 交通程度は 60cm となる（表 3-4[43]）．

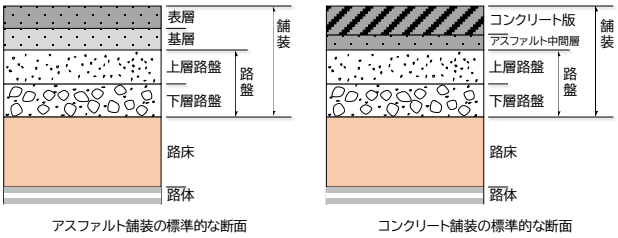


図 3-1 舗装の断面構造

表 3-4 設計期間 20 年の舗装(路盤)構成の一例（単位：cm）[43]

交通量区分	舗装計画交通量(T)(台/日･方向)	路床の設計 CBR	路盤		
			上層路盤		下層路盤
			アスファルト安定処理	粒調砕石	クラッシャラン
N5	250≦T<1,000	3	—	30	35
		4	—	25	30
		6	—	25	20
		8	—	**10**	**30**
		12	—	15	15
N6	1,000≦T<3,000	6	5	30	30
		8	5	30	20
		12	5	20	20
		20 以上	5	15	12
N7	3000≦T	6	—	35	35
		8	—	**30**	**30**
		12	5	15	35
		20 以上	—	15	15

仮に，一般国道の車道部の路盤を考える．一般国道の路盤を平均的に 50cm と仮定すると，路盤部分の体積は，道路統計年報 [41] の値を用いて算出すると，342.8km^3 と求められる．算出方法を以下に示す．

$$V = SH \tag{8}$$

V：一般国道の路盤の体積（km^3）
S：一般国道の道路土工部の面積（km^2）
H：一般国道の路盤の高さ（仮定）（m）
ただし,

$$S = \left(\frac{R_1 - R_2 - R_3}{R_1}\right) S_1 \tag{9}$$

R_1：一般国道の道路延長（km）
R_2：一般国道の橋梁部延長（km）
R_3：一般国道のトンネル部延長（km）
S_1：一般国道の道路面積（道路部）（km^2）

表 3-3 使用した数値

記号	項 目	数 値
R_1	一般国道の道路延長 [42]	5,0852.6(km)
R_2	一般国道の橋梁部延長 [42]	2,988.7(km)
R_3	一般国道のトンネル部延長 [42]	2,269.5(km)
S_1	一般国道の道路面積(道路部)[42]	764.77(km^2)
H	一般国道の路盤の高さ(仮定)	0.5(m)

この路盤の一部に，CCC[34] などの CO_2 を吸収したコンクリート素材を用いることで，CO_2 の長期貯留が可能となると考えられる．

例えば，路盤体積の 1 割（約 34.3km^3）を，CCC（製造時の CO_2 排出を差し引いた 1m^3 あたり 75kg の CO_2 を固定）[34] に置き換えることで，約 257 万 t の CO_2 を貯留できる計算となる．地方公共団体の管理する主要幹線道路などの路盤を考慮すれば，さらに固定できる．道路の新設時や簡易舗装から本舗装への切り替えに併せて，上層路盤や下層路盤の路盤材へ活用することで，道路空間への CO_2 貯留が期待できる．

4. 路面太陽光発電導入による可能性検討

(1) 路面太陽光導入可能性のある個所

道路空間を活用した再生可能エネルギーの導入関して，路面太陽光発電が注目されている．しかし，路面への太陽光発電について，道路の車道への導入は，構造上，交通安全上クリアすべき課題が多い．このため，車道以外の箇所で導入することが現実的である．交通安全上支障が少ない箇所として，道の駅，SP・PA，市役所等の公共施設，スーパー，各住宅・マンション等の駐車場が考えられる．これらの駐車場のうち，発電効率を考えると屋外の駐車マス以外のスペースへの設置が考えられる．

これらの箇所に設置していくことで，EV 車両の急速充電器への活用，周辺への電力供給によるスマートグリッドへの貢献などが進むと考えられる．

(2) 技術的検討状況

これまでに，一般的な太陽光発電は，建物の屋根や空地，休耕地に多く設置されてきたが，近年，土砂災害誘発や景観阻害の懸念が指摘されている．一方，再生可能エネルギーの最大限導入は必要不可欠な現状にあり，従来の方法とは異なる，道路空間を有効に活用した新しい技術として，歩道や駐車場の通路，又は車道の路面に太陽光発電パネルを設置する技術「路面太陽光発電技術」のポテンシャルが注目されている．

現在，国内外において導入事例が確認できており（表 4-1，4-2）技術開発が進んでいるが，多くは試験段階であり，本格的な普及・展開にあたっては，耐久性や安全性，採算性や施工コストなどの課題を抱えている．また，路面太陽光発電は，通常の屋根設置に比べて発電効率が落ち，天候にも左右されることから，発電した電力の有効活用のために，蓄電池を設置して運用する必要があるなど，運用面の課題もあり，一般化に向けて，解決すべき課題が多い現状にある．

表 4-1 路面太陽光発電の海外導入事例

国	導入年，設置場所	概要
オランダ[45]	2014 年～，自転車道	・首都アムステルダムを有する州の都市･クロメニーにて　自転車専用道「ソーラーロード」試験設置(全長 70m) ・現道適用は当時「世界初」．強化ガラス表面を滑り防止加工
フランス[46]	2016 年～，車道	・ノルマンディーの村･トゥールヴル=オー=ペルシュにて自動車道(県道)に「Wattway」試験設置(全長 1km,2,800m^2) ・自動車道適用は当時「世界初」．表面は樹脂でコーティング
アメリカ[47]	2016 年，車道（電気火災で中止）	・米国ミズーリ州ルート 66 にて，「ソーラーロードパネル」設置計画 ・ネット回線接続･制御により，リアルタイム路面表示や降雪時の融雪が可能(強化ガラスによる多層モジュール)
中　国[48]	2017 年，高速道路	・中国山東省の済南市にてソーラーパネル高速道路が開通(全長 2km,5,875m^2) ・高速道路適用は当時「世界初」．表面は通光性の透明コンクリト

表 4-2 路面太陽光発電の日本国内導入事例

2018 年～セブンイレブン相模原橋本台 1 丁目店[49]	・東亜道路工業，CORAS 社「Wattway」設置 ・駐車場適用は「日本初」．表面は樹脂でコーティング ・パネル面積は当初 200m^2→2023 年 5 月時点 90m^2 ・発電出力見込 40kWh/日(当初設置) ・蓄電池容量 372kWh ・コンビニ店舗へ給電
2022 年～NPC 南大沢駅前パーキング[50]	・NIPPO と MIRAI-LABO が太陽光発電舗装設置 ・立体駐車場の屋上階 ・パネル面積は約 20m^2 程度 ・発電出力見込 11.5kWh/日 ・蓄電池容量 8kWh ・駐車場内の LED 照明へ給電
2023 年～大熊町役場一般駐車場[51]	・大林道路，早水電気興業が駐車場通路の一部に設置 ・パネル面積 48m^2 ・発電出力見込 15.3kWh/日 ・蓄電池容量 6kWh ・地域のイベント情報等を掲示するサイネージを近傍に新設し，その稼働のために給電

(3) 定量的な効果

a) 発電量の設定

太陽光発電の発電量は，設置場所の条件により様々となることから，ここでは，日本での設置事例で見込まれている発電量を参考に，1m^2 あたり 1 日の発電量を 0.3kWh と設定することとした．

b) 様々な駐車場への展開を想定した試算

駐車場での路面太陽光発電の普及先としては，全国の道の駅（1,209 駅）や高速道路 SA・PA（884 箇所），公共施設等の駐車場，大型スーパーなどの民間施設の駐車場などが考えられる．仮にこれらの施設 1 箇所あたりに

1,000 ㎡のパネルを設置すると，1 日の発電量は 300kWh となり，設置施設を 1 万箇所とすれば，1 日あたり 300 万 kwh，年間で約 1,100GWh の発電量が見込める計算となる．これは，現在の道路で実施している再生可能エネルギーの年間発電量 13GWh の 100 倍程度となる．スーパーなどの郊外型大型店舗等では，設置面積がさらに広げられるため，発電量はさらに積み増せると考えられる．

5. まとめ

本検討から，道路空間を有効に活用することで，再生可能エネルギーの効率的利用や緑化以外の CO_2 吸収源としての可能性が示唆された．従来の渋滞対策等の道路事業に加えて，これらの施策を進めることで，日本全体のカーボンニュートラルへ大きく貢献することができ，道路の新たな価値を創出することにつながると考えられる．一方，これらの技術を普及・展開していくためには，安全面や導入コスト，管理コスト，技術基準への適合，CO_2 吸収の評価基準など，多くの解決すべき課題がある．

しかし，政府目標である，2030 年までに 2013 年度比の 46%減，2050 年に実質 CO_2 排出量ゼロを目指すには，考えられる施策を総動員し，スピード感を持って対策していくことが不可欠と考えられる．このため，今後の技術動向も踏まえながら，道路空間の有効な活用方法の検討を進めていく必要がある．

REFERENCES

1) 国立研究開発法人国立環境研究所：日本の温室効果ガス排出量データ（1990～2021 年度）（確報値），2023，https://www.nies.go.jp/gio/archive/ghgdata/index.html
2) 経済産業省 資源エネルギー庁：今後の再生可能エネルギー政策について，2023，https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/052_01_00.pdf
3) 国土交通省 道路局：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 概要，2023，https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutannsoka/cn-outline.pdf
4) 国土交通省 道路局：道路における再生可能エネルギーの活用について，2022，https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/kisei/conference/energy/20220221/220221energy06.pdf
5) 経済産業省 資源エネルギー庁：令和 3 年度(2021 年度)におけるエネルギー需給実績(確報)，2023，https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/pdf/honbun2021fykaku.pdf
6) 環境省：地球温暖化対策計画（R3. 10. 22 閣議決定）別表，2021，https://www.env.go.jp/content/900440192.pdf
7) 国土交通省 道路局：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 概要，2023，https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/utilization/datutannsoka/cn-outline.pdf
8) 経済産業省 資源エネルギー庁：第 6 次エネルギー基本計画，2021，https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf
9) 経済産業省 資源エネルギー庁：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/電力ガス事業分科会再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会中間整理（第 4 次），2021，https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/20211022001_01.pdf
10) 東北電力ネットワーク：送電線（500kV,275kV および 154kV）の空容量，https://nw.tohoku-epco.co.jp/consignment/system/announcement/pdf/5002.pdf
11) 電力広域的運営推進機関：広域系統長期方針（広域連系系統のマスタープラン）＜別冊（資料編）＞，2023，https://www.occto.or.jp/kouikikeitou/chokihoushin/files/chokihoushin_23_01_02.pdf
12) 経済産業省 資源エネルギー庁：有望な区域整理時の系統情報の公表等について，2022，https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/yojo_furyoku/pdf/010_01_00.pdf
13) 経済産業省 製造産業局：高速道路における電動化インフラ整備加速化パッケージ，2023，https://www.meti.go.jp/policy/automobile/kasokuka_package.pdf
14) 経済産業省 製造産業局：高速道路のＳＡ・ＰＡにおけるＥＶ急速充電器の整備と課題，2023，https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/charging_infrastructure/pdf/003_05_00.pdf
15) 西日本高速道路株式会社：施設・サービスガイド｜給油・給電，2023，https://www.w-holdings.co.jp/service/gas.html
16) 一般財団法人 国土技術センター：エネルギーインフラネットワークと高速道路の高度化に関する研究報告書，2020，https://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/reports/autonomy/roads/03/houkoku-2.pdf
17) 財団法人エンジニアリング振興協会地下開発利用研究センター：平成 21 年度都市部における架空送電線の地下化に関する調査報告書，2010，https://www.enaa.or.jp/GEC/report/youshi/2009_P4.pdf
18) 一般社団法人 日本自動車販売協会連合会：燃料別販売台数（乗用車）|統計データ|，2023，http://www.jada.or.jp/data/month/m-fuel-hanbai/
19) 経済産業省 産業技術環境局：2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（2021 年６月策定），2021，https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005-3.pdf
20) 経済産業省 産業技術環境局：苫小牧におけるＣＣＳ大規模実証試験 ３０万トン圧入時点報告書（「総括報告書」），2020，https://www.meti.go.jp/press/2020/05/20200515002/20200515002-1.pdf
21) 経済産業省 資源エネルギー庁：ＣＣＳ長期ロードマップ検討会 中間とりまとめ，2022，https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/ccs_choki_roadmap/pdf/20220527_1.pdf
22) International Energy Agency and Cement SustainabilityInitiative：Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry，2018
23) 神田太郎，曽根真理，岸田弘之：コンクリートの供用および再資源化による二酸化炭素の固定に関する全国調査，コンクリート工学，vol49，No. 8，pp.9_16，2011
24) 河合研至：解体コンクリートによる CO2 固定効果の視覚化，コンクリート工学，vol53，No. 5，pp.485_490，2015
25) 兵頭彦次，星野清一，平尾宙，野村幸治，ライフサイクルを通じたコンクリートの CO2 吸収量算定に関する研究，コンクリート工学，vol74，No. 1，pp.333_3

40，2020
26) 一般社団法人 日本アスファルト合材協会：アスファルト合材製造数量推移（全国），2023，https://www.jam-a.or.jp/images/activity/act02/act02_suii_202308.pdf
27) 一般社団法人 日本アスファルト合材協会：アスファルト合材製造業における二酸化炭素排出量経年推移，2023，http://www.jam-a.or.jp/images/activity/act07_CO2haishutsuryousuii202308.pdf
28) 一般社団法人セメント協会資料：セメント産業における 2050 年カーボンニュートラルへの対応に向けた CCUS の活用方針について，2022，https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/ccs_choki_roadmap/pdf/002_16_00.pdf
29) 株式会社 竹中工務店：CO2 排出量を大幅に削減する環境配慮型コンクリート，2020，https://www.takenaka.co.jp/solution/environment/ecm/
30) 會澤高圧コンクリート 株式会社：加カーボンキュアの CO_2鉱物化（固定化）技術を国内初実装，2021，https://www.aizawa-group.co.jp/home/wp-content/uploads/2021/11/CarbonCurePressRelease-1.pdf
31) 太平洋セメント 株式会社：CO2 吸収・硬化セメント系材料「カーボフィクス®セメント」の開発に成功，2022，https://www.taiheiyo-cement.co.jp/news/news/pdf/220920.pdf
32) 鹿島建設 株式会社：環境配慮型コンクリート「CO2-SUICOM®（シーオーツースイコム）」，2021，https://www.pa.ktr.mlit.go.jp/yokohamagicho/////works/pdf/no_11/slide20220216b.pdf
33) 大成建設 株式会社：カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を開発，2021，https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210216_5079.html
34) 建設マネジメント技術：「カルシウムカーボネートコンクリート（CCC）」が創造する資源循環の将来像，2022 年 2 月号，http://kenmane.kensetsu-plaza.com/bookpdf/284/fa_11.pdf
35) 出光興産株式会社：ボイラー排ガス中の CO2 を固定化した合成炭酸カルシウム（炭酸塩）を用いたアスファルト試験舗装を実施，2022，https://www.idemitsu.com/jp/news/2021/220317.html
36) 清水建設 株式会社：カーボンネガティブを実現する脱炭素アスファルト舗装の共同開発に着手，2023，https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2023/2023008.html
37) 一般社団法人 日本建設業連合会：低炭素型コンクリートの普及促進に向けて，2016，https://www.nikkenren.com/sougou/10thaniv/pdf/05-06-20.pdf
38) 経済産業省 製造産業局：平成 30 年生コンクリート統計年報，2019，https://www.meti.go.jp/statistics/sei/namakon/result-2.html
39) 全国生コンクリート工業組合連合会・全国生コンクリート協同組合連合会：生コンクリートの月別出荷数量，2023，http://www.zennama.or.jp/3-toukei/nenji/pdf/r_04_shukka.pdf
40) 一般財団法人国土政策総合研究所：第32回国土政策研究所講演会「2050 年カーボンニュートラルに対するコンクリートの挑戦」，2022，https://www.jice.or.jp/labs/2022_02
41) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構，技術戦略研究センター：ネガティブエミッション技術について（風化促進 バイオ炭 ブルーカーボン），2023，https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/negative_emission/pdf/003_02_00.pdf
42) 国土交通省：道路統計年報 2022 道路の現況，2023，https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/tokei-nen/2022/nenpo02.html
43) 公益社団法人 日本道路協会：舗装種別選定の手引き，2021，https://www.road.or.jp/technique/pdf/hosou_syubetu.pdf
44) 清水建設 株式会社：バイオ炭を用いてコンクリート構造物に炭素を貯留～低炭素セメントと併用し，カーボンネガティブを実現～，2022，https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2022/2022030.html
45) SolaRoad：SolaRoad, the road that converts sunlight into electricity，2015，https://www.solaroad.nl/wp-content/uploads/2015/10/SolaRoad_UK.pdf
46) Theguardian：World's first solar panel road opens in Normandy village，2016，https://www.theguardian.com/environment/2016/dec/22/solar-panel-road-tourouvre-au-perche-normandy?CMP=Share_iOSApp_Other
47) Inc.：The Biggest New Thing in Solar May Be Coming Soon to a Highway Near You，2016，https://www.inc.com/kevin-j-ryan/roads-that-produce-solar-energy-are-coming.html
48) 人民網：世界初の太陽光発電高速道路試験区間が開通，2017，http://j.people.com.cn/n3/2017/1229/c94638-9310020.html
49) 株式会社セブン-イレブン・ジャパン：「環境負荷の低減」最先進店舗を開店，2018，https://www.7andi.com/library/dbps_data/_template_/_res/csr/news/pdf/2018/20180521_01.pdf
50) 日本パーキング株式会社：自律型太陽光路面発電システムの実証実験を開始，2022，https://www.npc-npc.co.jp/ckeditor_assets/attachments/856/20220726.pdf
51) 大熊町：役場駐車場で路面太陽光発電，2023，https://www.town.okuma.fukushima.jp/soshiki/somu/25551.html

(Received ???, 2023)
(Accepted ???, 2023)

A Study on the Potential of New Technologies Contributing to Carbon Neutrality in the Road Sector
-Focusing on carbon dioxide capture and storage, solar road surface photovoltaics, and the use of the road network-

Mankichi AOYAMA, Keiichiro YANAGI, Satoru YAMAOKA and Seiji MORIYAMA