

はじめに

気候変動問題は、国際社会が一丸となって取り組むべき重要な課題である。その主因と考えられる温室効果ガス（GHG）の約9割は、エネルギー由来の二酸化炭素（CO₂）が占めており、世界ではカーボンニュートラルの実現に向けてエネルギー生産と消費の仕組みに大きな変革の波が押し寄せている。わが国では2020年10月、当時の菅義偉内閣総理大臣が成長戦略の柱に経済と環境の好循環を掲げ、「グリーン社会の実現に最大限注力し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」と宣言している。本稿では、日本のカーボンニュートラルに向けた動きのなかで、これからの鉄道事業の果たすべき役割について述べてみたい。

日本のカーボンニュートラル戦略

2020年12月に経済産業省から発表された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では、2030年のGHG排出量を2013年度比でマイナス46%とする目標が明記されている。日本の2013年度のGHG排出量（CO₂換算）は14億トン余りであるから、マイナス46%とするにはGHG排出量を7.5億トン以下に抑える必要がある。2020年度のGHG排出量約11.5億トンからは、10年で約4億トン減らすという計

算になる。森林吸収による毎年約0.5億トンの削減量を加味したとしても、この数字が持つ意味は重い。セクター別に考えると、日本では温室効果ガス排出の約5割を占める産業の脱炭素化が不可欠であると同時に、運輸部門を支える輸送エネルギーの脱炭素化や業務・サービス部門で使われる電力の脱炭素化が必要になる。もちろん民生部門の脱炭素化も必要であるが、ボリュームゾーンは企業活動である。

一方、エリア別に脱炭素化を考え地域の脱炭素化計画立案に資することを目的として「地域脱炭素ロードマップ」が政府から公表されている。その後、「国・地方脱炭素実現会議」で、2030年度までに脱炭素化を実現する「脱炭素先行地域」を全国100カ所以上創出する目標が示され、現在までに74地域の提案が採択されている。これらの脱炭素先行地域では、2025年度までに脱炭素への道筋をつけ、2030年度までにその実現を目指すことになっている。再生可能エネルギーの地産地消や新築住宅・施設のZEH・ZEB標準化などにより、民生部門（家庭・業務ビルなど）の電力消費に伴うCO₂排出を実質ゼロとするのがゴールで、この脱炭素先行地域にはいくつかの民間鉄道事業者も共同提案者になっている。もともと民間鉄道は地域とともに発展してきた歴史があり、地域の脱炭素化ニーズが今後一層高まれば、多くの事業者が脱炭素化へ

鉄道の未来学

（基調報告）— 62

鉄道はCO₂排出量が自動車や飛行機よりも少なく環境に優しい交通手段と言われてきた。脱炭素社会を目指して各分野でさまざまな取り組みが進む中で今後、鉄道分野でもさらなる貢献が求められている。日本の鉄道事業が今後果たすべき役割と未来像を考察する。

カーボンニュートラルに向けて 鉄道の果たす役割

東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻長・教授

瀬川浩司

Hiroshi SEGAWA

1989年 京都大学大学院工学研究科分子工学専攻博士課程修了（工学博士）、京都大学助手、JST さきがけ研究 21 研究員、東京大学助教授などを経て、2006年より東京大学先端科学技術研究センター教授、2016年より東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻教授。2020年東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻兼任。東京大学教養学部附属教養教育高度化機構環境エネルギー科学特別部門長。東京大学サステナブル未来社会創造プラットフォーム代表。

1 ZEHとは、「Net Zero Energy House」の略で、大幅な省エネルギーを実現したうえで、再生可能エネルギー等を導入することにより、年間の一次エネルギー消費量の収支をゼロとすることを目指した住宅のこと。ZEBとは、「Net Zero Energy Building」の略で、建物で消費する年間の一次エネルギーの収支をゼロとすることを目指した建物のこと。

の取り組みを求められることになる。それは次に述べる「サプライチェーン排出量」と関連している。

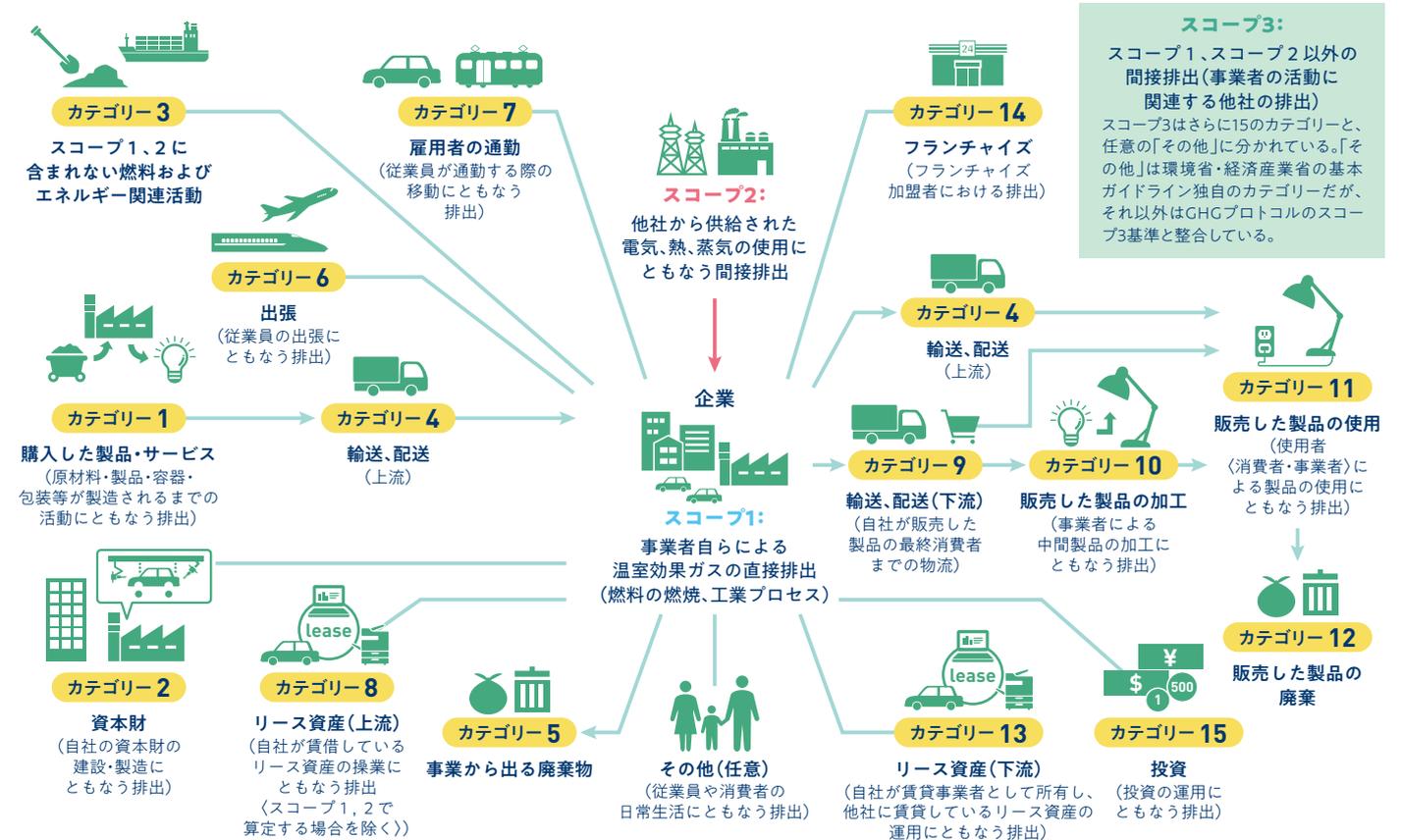
「サプライチェーン排出量」とは？

CO₂をはじめとするGHGは、エネルギーを消費する様々な活動（全ての社会経済活動と言っても過言ではない）が原因となって排出されている。ある製品を考えた場合、その製品が生産され使用され廃棄されるまでのサプライチェーン全体の排出量をきちんと把握し、そのライフサイクル全ての過程で排出されるGHGを削減する必要がある。これが「サプライチェーン排出量」という考え方で、その過程を分類しGHGの排出量を算定・報告するために定められた国際的な基準「GHGプロトコル」には「スコープ1排出量」「スコープ2排出量」「スコープ3排出量」の三分類が定められている。スコープ1排出量は、企業や組織が直接エネルギーを消費することで排出されるGHGを分類したものである。企業が製品を製造する際に、石油などを化学的に加工する際に直接CO₂を排出する場合や、熱エネルギーを利用したり鉄を還元するために石炭を消費することでCO₂を排出する場合などがこれにある。また、エネファームを使ってCO₂を排出する場合もスコープ1排出量にカウントされる。一方、スコープ2排出量は、他社から供給された電気・熱・蒸気を使うこ

とで、間接的に排出されるGHGを分類したものである。日本では、電力の約2割が再生可能エネルギー電力となっているが、産業で使用される電力は7割あり、多くの企業が再生可能エネルギー電力を証書で買い占めてしまおうと、何もしない企業はほぼ化石燃料由来の電力を使っていることになってしまふ。このため、日本でRE100²を目指す企業には「証書の買い占め」ではなく次ページの写真のように「実質的に再エネを増やす努力」が求められる。例えば太陽光発電を用いた新規のPPA³事業などを積極的に進める必要がある。

ここまでのスコープ1排出量とスコープ2排出量は比較的分かり易く、各企業が見通せる範囲でのものであった。これに対してスコープ3排出量は、サプライチェーン排出量のうち、スコープ1排出量とスコープ2排出量以外の間接排出量すべて含むとされており、具体的にはスコープ3排出量として15のカテゴリーが示されている。そこには、原材料の輸送（カテゴリー4）や製品の配送（カテゴリー9）、従業員の日常の通勤（カテゴリー7）や出張（カテゴリー6）の際に排出されるGHGまでカウントされることになっていて、これによって、企業や団体のあらゆる事業活動で排出されるGHGの合計量がカウントされることになる。カーボンニュートラルには輸送分野のCO₂排出を実質ゼロにするこ

図 GHGプロトコルにおけるスコープ1～3とスコープ3の15のカテゴリー



(出典：環境省ホームページ『サプライチェーン排出量算定の考え方』を基に編集室作成)

2 RE100とは、「Renewable Energy 100%」の略で、事業活動で消費するエネルギーを100%再生可能エネルギーで調達することを目標とする国際的イニシアチブ。
3 PPAとは、「Power Purchase Agreement(電力販売契約)」の略で、再生可能エネルギーによる電源を所有している発電事業者が、電力を購入する使用者と直接的に売電契約を結ぶこと。



SGET 千葉ニュータウンメガソーラー (12.8MW) の横を走行する「スカイライナー」。北総鉄道北総線に沿って約10kmにわたり太陽光パネルが設置されている。トラッキング付FIT 非化石証書を通してCO₂排出量実質ゼロのスカイライナーにも利用されている。(写真提供：京成電鉄株式会社)



小田原駅に設置された太陽光発電パネル。小田急電鉄では12駅に太陽光発電パネルを設置し、その電力を構内の照明やエスカレーター等に使用している。(写真提供：小田急電鉄株式会社)

とが必要不可欠である。

これを達成するためには、輸送用のエネルギーをグリーン水素やグリーン電力に置き換える必要があるが、ハイブリッド車はもはや許容されず、グリーン水素によるFCV(燃料電池車)かグリーン電力による電気自動車(EV)にせざるを得ない。特に、GHGプロトコルにおけるスコープ3排出量の削減には、この点は避けて通れない。鉄道分野においては、それぞれの事業活動においてスコープ1排出量やスコープ2排出量を削減するだけでなく、鉄道事業の脱炭素化によって鉄道を利用する側のスコープ3排出量の削減にも貢献する必要がある。実際に、100%

再生可能エネルギー電力で運行する民間鉄道事業者も出てきており、さらにその先には、ガソリンや軽油を燃料とする道路輸送による物流(特に長距離)を、脱炭素化した鉄道へ転換することが求められることになる。現在は旅客輸送が主体である民間鉄道事業でも、今後は物流事業への展開も工夫できるかもしれない。

輸送用エネルギーの脱炭素化と再生可能エネルギーの利用拡大

Bloomberg NEF (BNEF) の調査レポート「電気自動車の長期見通し (Long-Term Electric Vehicle Outlook: EVO)」によると、世界の電気乗用車

るためには、全世界での乗用車新車販売台数に占めるゼロエミッション車の割合が2030年までに61%、2035年までに93%となり、かつ2038年までにはすべての車両種類で内燃機関自動車の販売を終了させる必要があるとしている。

ところで、このことを日本に当てはめてみるとどうだろうか。日本ではEVやFCVの普及、内燃機関自動車の削減などが全くと言っていいほど進んでいない。現在の日本の最終エネルギー消費のうち、未だにほぼ半分はガソリン等の輸送用燃料なのである。大規模の充電ステーション設置や高エネルギー密度の蓄電池の開発もまだ途上である。さらに、燃料電池を利用した長距離輸送車も登場していない。SAF⁴を利用する航空輸送の脱炭素化は始まっているものの、必要な量のSAFが供給できていない。日本では、鉄道事業の脱炭素化が急がれると同時に、脱炭素化した鉄道への転換が、2050年カーボンニュートラルに必要不可欠になっている。

ここで世界の再生可能エネルギー投資の状況を見てみよう。2023年1月のBNEFのレポートによれば、2022年の世界の再生可能エネルギー関連投資は過去最大の1兆1000億ドルに達し、その中で太陽光発電と風力発電に対する投資の合計は4950億ドル(前年比17%増)、EVに対する投資は4660億

4 SAFとは、「Sustainable Aviation Fuel (持続可能な航空燃料)」の略で、循環型の原料で製造された航空燃料のこと。

ドルに達したと報告している。世界では、「経済と環境の好循環」に向けたESG投資が大きく伸びており、それが標準となっている。2023年2月に発表された国際再生可能エネルギー機関（IRENA）の再生可能エネルギーへの世界の投資動向に関するレポート（Global Landscape of Renewable Energy Finance 2023）でも、世界がエネルギー転換技術（エネルギー効率化を含む）へ投じた金額が過去最高となったことが述べられている。

再生可能エネルギー電力の設備容量についてドイツの例を挙げると、最大電力需要が約8000万kWであるにもかかわらず2030年の再生可能エネルギー電力導入目標合計が約2億kWでピーク需要の約2.5倍になっている。輸送用燃料を減らすということは電力供給を増やすことに他ならないので、電力需要拡大を見据えて再生可能エネルギー電力もより一層拡大する方向なのである。これに対して日本はどうなっているのだろうか。日本でも当然電力の再生可能エネルギー比率を増やすと同時に電力の消費量そのものを増やさなければ輸送用燃料を減らせないにもかかわらず、第6次エネルギー基本計画では電力の総需要を減らす計画を立ててしまった。この点は大いに問題で、改める必要がある。

日本の場合、全発電量の7割は産業分野で利用されているが、GHGプロトコルにおけるスコープ3排出量の削減

減を考えた場合、2050年には輸送用燃料の電化と同時に電力の100%再エネ化も必要になる。この点では、既存の電力会社だけでなく企業や自治体、そして鉄道事業者も含んだ垣根を越えた連携が必要になる。そもそも戦前までは関西の私鉄各社は自前の発電所を持ち電力供給事業者であった。鉄道事業者や自治体が抱える未利用のスペースに太陽光発電を設置し、PPA事業で企業や家庭に再エネ電力を供給するという手法も考えられる。

日本の鉄道のこれから

世界を見渡すと、政府の支援を受けた公的事業主体の鉄道がほとんどで、日本ほど民間鉄道事業者が発達している国は他にない。その成功の理由は、日本の鉄道事業の原点が地域の開発であり、その手段としての鉄道に多くの国民が親しみを持ってきたからだろう。鉄道は繁栄のシンボルでもあり、実際に多くの民間鉄道事業者がその期待に応えて多角経営を実践し、地域の発展に大きく貢献してきた。日本の民間鉄道事業は「鉄道と社会の共進化」に成功してきたとも言えよう。人の住む地域に鉄道が引かれ、鉄道が引かれた地域の人口が増え、地域が繁栄し社会が潤う。その一方で人々はエネルギーを消費し、結果としてGHGを排出してしまうのだが、鉄道ネットワークは直

接社会生活と結びついているので、これからは脱炭素化を見据えたきめ細やかな多角経営を模索する必要がある。カーボンニュートラルというこれまで人類が経験したことのない社会構造転換が必要とされるようになった今、鉄道事業も一歩踏み出す進化が必要になったのかもしれない。

世界を見渡すと、政府の支援を受けた公的事業主体の鉄道がほとんどで、日本ほど民間鉄道事業者が発達している国は他にない。その成功の理由は、日本の鉄道事業の原点が地域の開発であり、その手段としての鉄道に多くの国民が親しみを持ってきたからだろう。鉄道は繁栄のシンボルでもあり、実際に多くの民間鉄道事業者がその期待に応えて多角経営を実践し、地域の発展に大きく貢献してきた。日本の民間鉄道事業は「鉄道と社会の共進化」に成功してきたとも言えよう。人の住む地域に鉄道が引かれ、鉄道が引かれた地域の人口が増え、地域が繁栄し社会が潤う。その一方で人々はエネルギーを消費し、結果としてGHGを排出してしまうのだが、鉄道ネットワークは直

接社会生活と結びついているので、これからは脱炭素化を見据えたきめ細やかな多角経営を模索する必要がある。カーボンニュートラルというこれまで人類が経験したことのない社会構造転換が必要とされるようになった今、鉄道事業も一歩踏み出す進化が必要になったのかもしれない。

しかし、当然のことながら解決しなければならぬ難問も多い。日本では鉄道網が広く普及し都市部の旅客輸送は堅調であるものの、地方の旅客輸送は減少傾向にあり、特に貨物輸送についてはここ数十年減少傾向が続いている。その原因は鉄道による輸送（特に貨物）が時間的空間的に利便性の高い道路輸送に置き換わってしまったことにあるが、これを再び鉄道に回帰させるのはなかなか大変なことである。これに加えて、地方の不採算路線の電化が極めて困難で再生可能エネルギー電力が豊富なはずの北海道や九州では、鉄道の電化率が極めて低い。それぞれの地域で抱えている課題は異なるが、これらをどのように解消するのか、鉄道の強みを活かしつつそれぞれの地域の立場に立って考えなければならぬ。小型のBRT（バス・ラピッド・トランジット）にEV、FCVを組み合わせるなど、新交通技術を導入することも一つの解決策だが、単に交通手段の更新にとどまることなく、本当にその地域の人々に何が必要なのかを考え、多角的な解決策を考える必要があるだろう。

こうした観点では、鉄道事業者各社

がセクターを超えて農業に参入しているのとはとても興味深い動きである。農業で再生可能エネルギーと言えば、農業廃棄物から作られるバイオガス（メタン）が活用されてきた。このバイオガスはカーボンニュートラルメタンなどで利用価値が大きい。都心では、天然ガスハイブリッドタクシーなどがすでに導入されているが、このバイオガスを天然ガスハイブリッドタクシーに供給すればタクシーもカーボンニュートラルにできる。自社で作るバイオガスだけで供給量が足りない場合には、ガス各社がカーボンニュートラルメタンの研究開発を活性化しているので、そちらで補うことも必要になるだろう。将来は地方の無電化路線を燃料電池電車だけでなくバイオガスハイブリッド車両に置き換えることもできるかもしれない。またバイオガスのメタン発酵ではメタンとCO₂が出てくるが、この時のCO₂濃度は火力発電の排気ガスのCO₂濃度より高いので、原料としての利用価値もある。この部分については、多様な可能性があるので、現段階では幅広く基礎研究を進め多様な選択肢を用意しておく必要がある。