

鉄道運行エネルギーの脱炭素化



長谷川 均
Hitoshi Hasegawa
研究開発推進部
次長

はじめに

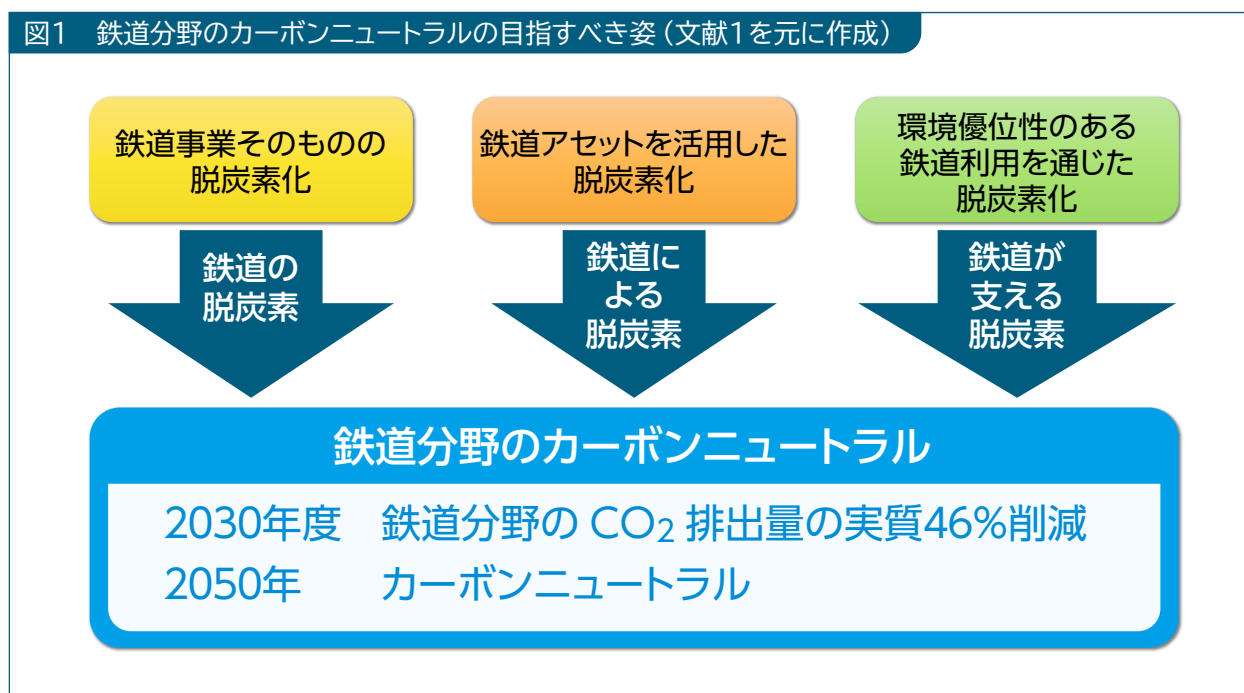
地球規模の温暖化が危惧される中、2020年10月、当時の菅首相は「2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする」との国際公約を宣言しました。

これを受け、2023年5月、国土交通省の鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会は、最終とりまとめ「鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿」の中で、取り組むべき施策の方向性と目指すべき姿として3本柱を示しました(図1)。2030年度のカーボンハーフ、2050

年のカーボンニュートラルに向けて、鉄道分野での具体的な施策が記されています。

もともと、鉄道による人や物の輸送は、自動車などのほかの交通モードに比べ省エネルギーと言われています。具体的には、一人もしくは貨物1トン¹を1km運ぶのに、必要なエネルギーがほかの交通モードに比べ少なくてすむというメリットをもっています。このため、ほかの交通モードから鉄道輸送に切り替えてもらうことが「鉄道が支える」脱炭素化を推進していることとなります。また、鉄道の敷地や電力設

図1 鉄道分野のカーボンニュートラルの目指すべき姿(文献1を元に作成)



鉄道システムにおける脱炭素化手法

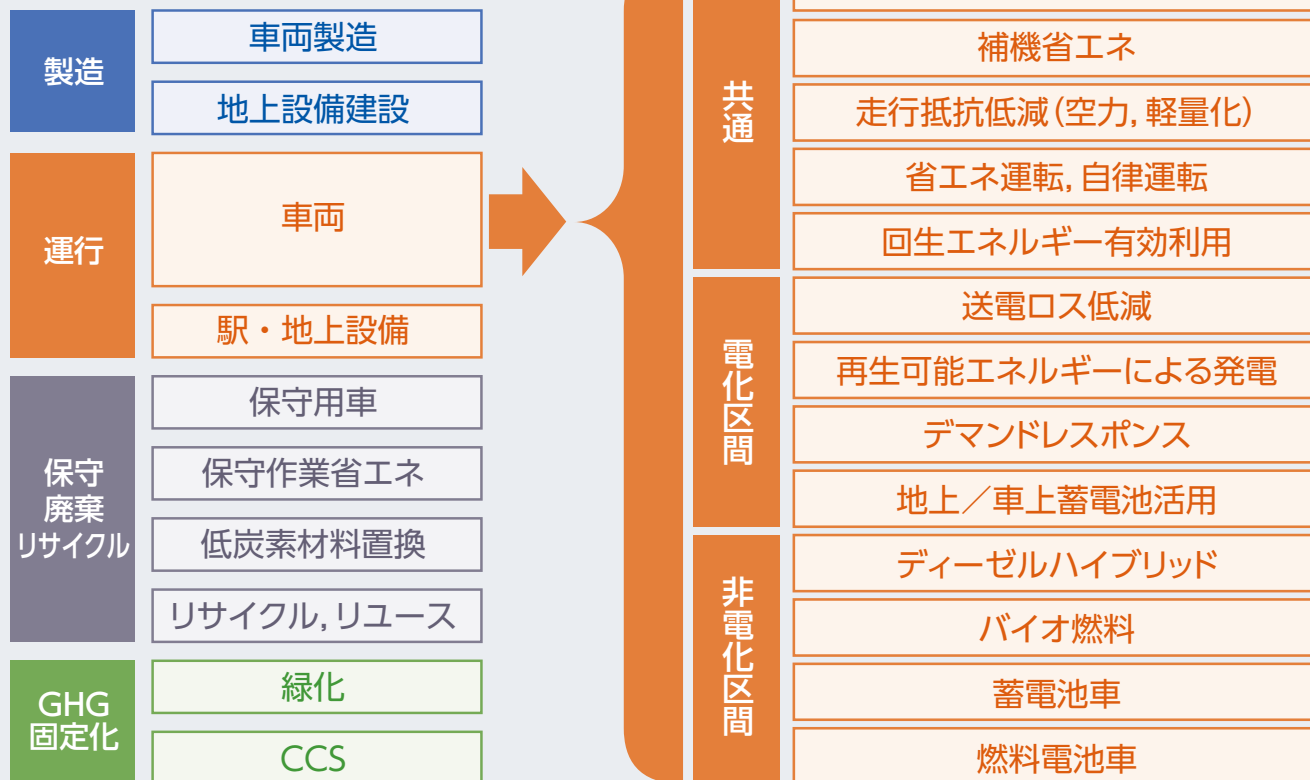


図2 鉄道システムの脱炭素化のアイテム

備などのアセットを活用した「鉄道による」脱炭素化も有効な手段です。

一方、電化区間、非電化区間を問わず運行エネルギーを少なくする、「鉄道の」脱炭素化も求められています。鉄道全体からみたエネルギーの消費量としては少ないですが、非電化区間を走るディーゼル車などの脱炭素化も並行して進めていくことが、カーボンニュートラルの目標達成に必要不可欠です。

鉄道システム全体における脱炭素化の手法を示します(図2)。また、図において、車両の運行時のものを右半分に拡大して示します。

鉄道システムの脱炭素化は、車両製造、地上設備建設、運行、保守、廃棄、リサイクルなどさまざまなステージで推進していく必要がありますが、ここでは、[LCA\(ライフサイクルアセスメント\)](#)¹⁵⁾を使ったCO₂排出量の評価、運行エネルギーの脱炭素化について省エネ・省CO₂車両や燃料電池鉄道車両の導入などを中心に紹介していきたいと思ひます。

なお、温室効果ガス(GHG)は、二酸化炭素(CO₂)だけではなく、CO₂排出が大部分を占めるため「CO₂排出削減」という言葉を使ひます。

ライフサイクルを考慮した脱炭素化

では、例えば非電化区間においてディーゼル車を蓄電池電車(バッテリー電車)に単純に置き換えただけで、本当にCO₂が出なくなるのでしょうか。運行時に蓄電池は排気ガスを出さないのだから、CO₂排出ゼロと思われるかもしれません。しかし、実際は車両を製造するとき、蓄電池に充電する電力を作るとき、保守や廃棄するときなど、さまざまな段階でCO₂の排出があります。さらには、線路や駅などの地

15) LCA(Life Cycle Assessment)

製品やサービスなどにかかわる、製造、流通、使用、廃棄、リサイクルに至るライフサイクル全体を対象として投入量と排出物を定量的に把握し、環境影響などを客観的に分析評価する手法。



図3 LCAによる資源の投入と排出の算出，カーボンフットプリント

上設備を作るときや，駅を運用するときにもCO₂の排出がありますが，ここでは，鉄道車両を考えてみたいと思います。

鉄道車両のライフサイクル全体でCO₂をどれだけ排出したかは，LCAで計算できます。

LCAは製造，運行，廃棄などの各段階で資源の投入や排出物を定量的に算出し，最終的に地球環境などへの影響を把握し，評価する手法です。各段階での資源の投入や排出物の計算をインベントリー分析といっており，この算出結果

図4 車両の製造，運行，廃棄時のCO₂排出の一試算例



([開発：サステナブル推進機構，名称：LCA システム MilCA ver.3.1，参照：MilCA ガイドブック] [LCI データベース IDEA Ver.3，国立研究開発法人産業技術総合研究所安全科学研究部門社会とLCA 研究グループ，一般社団法人サステナブル経営推進機構]により算出)

において各段階で排出されたCO₂の量(痕跡)をカーボンフットプリントとよんでいます(図3)。

実際に、電車を製造、運行、廃棄するまでにどれだけCO₂を排出するかを、簡単なモデルによるLCAで試算しました(図4)。製造時、運行時、廃棄時の各段階での排出の割合に注目してみてください。車両を運行させたときに発生するCO₂(実際は電車なので発電するときに排出するCO₂です)が約95%と大部分を占めています。

鉄道車両の脱炭素化を進めるうえでは、運行時のCO₂排出量を減らすことが効果的であると考えられます。

また、いくら運行エネルギーの脱炭素化を徹底しても、製造時や廃棄時のCO₂排出量はゼロにはなりません。このどうしてもゼロにならない分を相殺するには、緑化やCO₂の固定化などの、いわゆるカーボンネガティブなシステムが必要ですが、脱炭素化の共通技術となりますので説明は、割愛させていただきます。

運行エネルギーの脱炭素化

鉄道における運行エネルギーの脱炭素化は、省エネルギー、再生可能エネルギーの主力電源化と化石燃料からの脱却がカギとなります。図2のようにいくつかのアプローチがありますが、ここでは、蓄電池電車と水素を燃料とする燃料電池電車についてもう少し詳しく説明します。

蓄電池電車は読んで字のごとく、車両に蓄電池(二次電池)を積み、充電-走行を繰り返します。電気自動車と同じような感じですが、一つだけ違うところがパンタグラフの存在です。蓄電池電車の場合、パンタグラフがついていまずので、停車中の充電に加えて、電化区間では、通常の電車として走れるため、電化-非電化区間の直通運転が可能です。すでに国内の、さまざまな路線で営業運転されています(図5)。

燃料電池は、水素と空気中の酸素から直接電力を得る装置です。車両に、水素ボンベと燃料電池を積んで、車上で発電しながら走りま

図5 蓄電池電車の例(JR九州 BEC 819系)





図6 燃料電池電車試験車両（鉄道総研 R291）

す。電池と名前がついていますが、燃料電池には蓄電する機能はなく、発電装置です。このため、燃料電池電車には蓄電池も搭載して、パワーが必要な加速時や、ブレーキ時の回生電力の吸収などに利用されます。自動車ではすでに、2014年ころから市販されていますが、鉄道では試験走行の段階です（図6）。

蓄電池電車や燃料電池電車はともに鉄道の脱炭素化の重要なアイテムです。いろいろな方から、「ディーゼル気動車の脱炭素化は、蓄電池電車と燃料電池電車のどちらが本命？」と聞かれることがあります。答えは、「両方本命です」。すこしズルイ答えかもしれませんが、レンジによって変わるからです。レンジとは走行距離と考えていただいてよろしいかと思います。おおよそ数十kmくらいの路線では蓄電池電車²⁾が適していると考えられます。技術的にも確立し営業運転を行っていますし、構造も比較的簡単で、既存の電力設備が使える、充電スポットを新設すれば、非電化区間への導入が容易です。

一方、それより長距離になると、燃料電池電

車が必要と考えられます。もし、蓄電池電車で行くと、数十km走ったら数十分充電などといった、長時間停車が余儀なくされ、まともなダイヤが組めなくなることが予想されます。長距離の路線では、車庫で水素を充填すれば走り続けられる燃料電池電車に軍配が上がります。ただし、燃料電池電車は、電力設備は不要な一方、大規模な水素ステーションが必要になります。水素インフラの整備が必要ですし、現在のところ、車両のコストが高くついてしまいます。

また、一次エネルギーから車両を駆動するまでの、いわゆるWell to Wheel（井戸から車輪まで）の損失を考えると、必ずしも水素によるエネルギー輸送が脱炭素化を推進するとは限りません。例えば、再生可能エネルギー100%の電力を使って水電解し、水素を作り車両を走らせると、電車よりCO₂排出量は少なくなります。一方、大地震の影響で原発が止まっている2014年時点での日本の電力で水素を作ると仮定すると、気動車よりもCO₂排出量が多くなってしまおうと予想されます。水素燃料は、製造方法

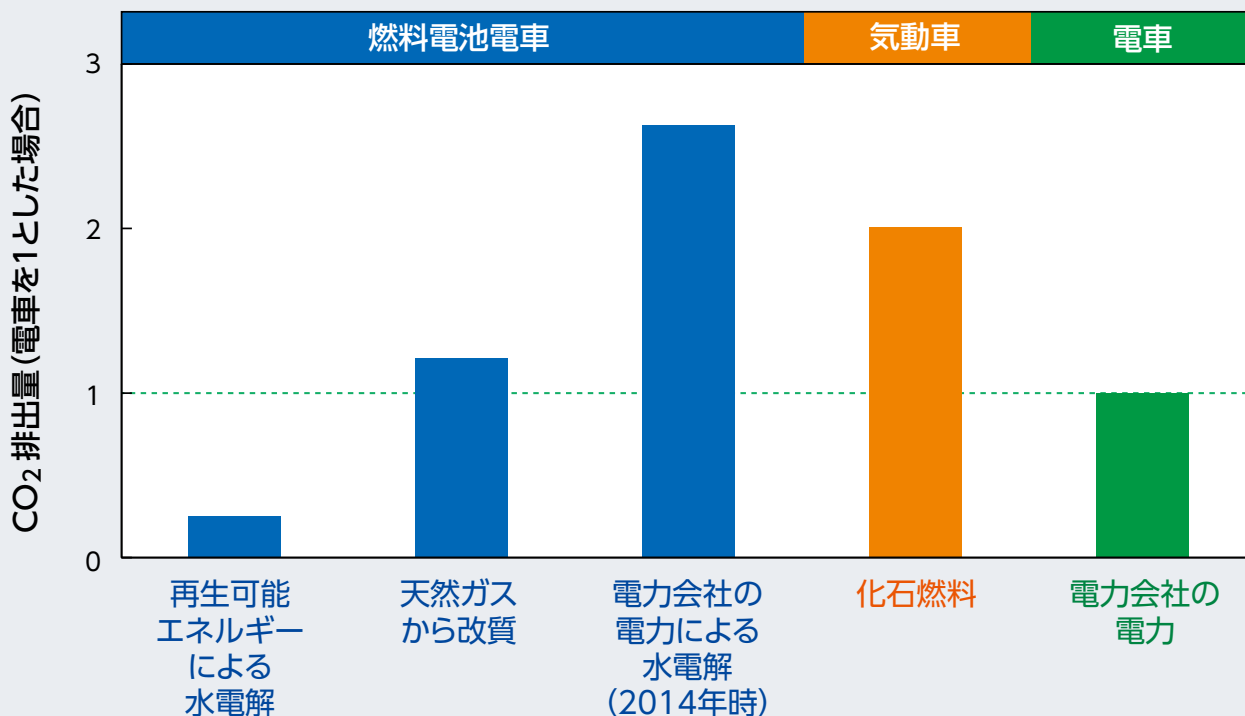


図7 水素の製造方法の違いによるCO₂排出量の試算³⁾

によってCO₂排出量が大きくかわります(図7)。将来的には、線区や路線状況に応じて、適材適所に、蓄電池電車や燃料電池電車を導入していくことが脱炭素化の推進になると思われます。

おわりに

カーボンニュートラルは、チャレンジングな目標と思います。今我々が使っている、化石燃料は太古の昔から長い年月をかけて太陽光のエネルギーを炭化水素と酸素という形で蓄積したものです。ここにきて、何億~何万年もかけて蓄積した化石燃料を、すべて再生可能エネルギーで補うというのは、容易ではありません。

またエネルギーを使う(変換する)と必ず損失が発生して熱となって逃げてしまうため、エネルギーは100%有効利用することはできません。こういった考えに立つと、現在の利便性を維持したまま、カーボンニュートラルを達成することがいかに高い目標かということがわかるかと思います。

一方で、人類は地球温暖化という問題に直面

していて、手をこまねいて見ているわけにはいきません。鉄道システムで排出するCO₂は、地球全体から見ると少ないですが、カーボンニュートラルに向けて、精神論だけでなく、科学的な見地に基づいた手法を開発する必要があると思います。

今回の脱炭素化特集では、主に運行エネルギーの脱炭素化技術として、電化区間での蓄電池の有効活用、非電化区間の脱炭素化として蓄電池車の導入やバイオ燃料の適用、省エネルギー運転手法、車両の軽量化による走行エネルギーの削減について技術開発事例を紹介します。それぞれ、まだまだ課題がありますが2050年に向けて、研究開発を鋭意進めていることをご理解いただければと存じます。RRR

文献

- 1) 国土交通省鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会: 「鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿」最終とりまとめ(2023年5月), https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr1_000071.html (入手日: 2023年5月29日)
- 2) 小笠正道: 最近の蓄電技術と鉄道車両への適用動向(1), 鉄道車両と技術, Vol.22, No.12, 2016
- 3) 長谷川均, 内田好徳, 村山健, 米山崇, 小川健一: 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 J-RAIL, No.1612, 2015