

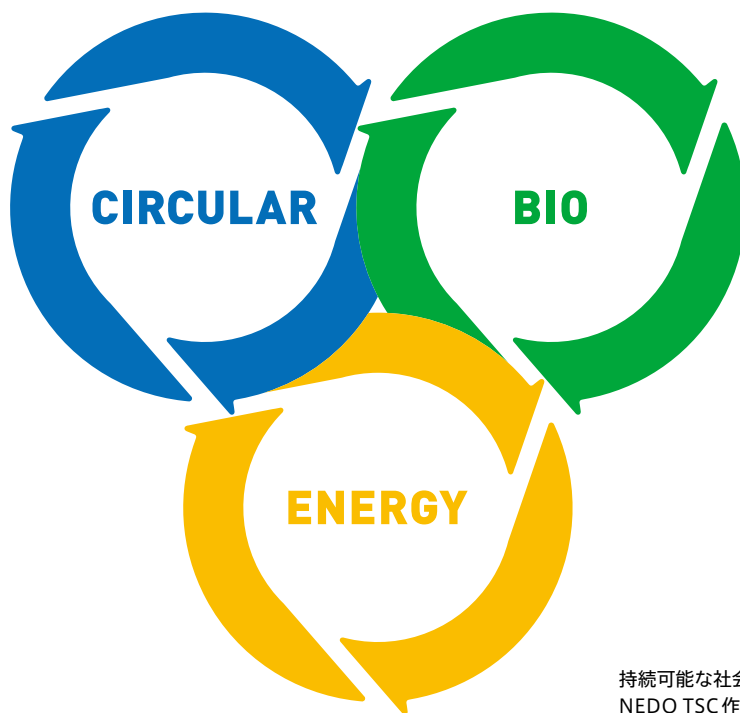


技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

持続可能な社会の実現に向けた
技術開発総合指針2020増補版

2021年3月



持続可能な社会を実現する3つの社会システム
NEDO TSC作成(2020)

TSCとはTechnology Strategy Center(技術戦略研究センター)の略称です。

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(TSC)

目次

はじめに	3
3 章 革新技术の評価について	
「CO ₂ 削減ポテンシャル」と「CO ₂ 削減コスト」	4
3-1 CO ₂ 削減ポテンシャルの試算の考え方	4
3-2 CO ₂ 削減ポテンシャルの試算例	5
3-3 CO ₂ 削減コストの考え方	17
3-4 CO ₂ 削減コストの試算例	18
付録	30

持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020 増補版

はじめに

2020年2月14日に発行した『持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針2020（以下、総合指針2020）』の3章において、CO₂削減に効果のある技術を総合的、客観的に評価するために、「CO₂削減ポテンシャル」と「CO₂削減コスト」が必要となることを示し、いくつ

かの試算結果を紹介した。『持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針2020 増補版（以下、増補版）』では、「CO₂削減ポテンシャル」と「CO₂削減コスト」を新たに試算したものを紹介する（表1）。また、『総合指針2020』では温室効果ガス（GHG）のうちCO₂のみの試算であったが、本増補版ではメタンやN₂Oの削減についても試算した。『総合指針2020』での試算などと合わせて、これら試算結果と試算根拠が開発・実証に取り組むべき革新技術の評価の一助となることを期待する。

表1 『総合指針2020』及び『増補版』で試算した技術分野

	CO ₂ 削減ポテンシャル	CO ₂ 削減コスト
『総合指針2020』	<ul style="list-style-type: none"> アルミニウムリサイクル プラスチックリサイクル EOR・CCS 次世代太陽光発電 次世代風力発電 次世代地熱発電 海洋エネルギー発電 高効率火力発電 水素発電 燃料電池自動車 次世代蓄電池－EV 次世代パワエレ 次世代蓄電池－航空機 バイオジェット燃料－航空機 セルロースナノファイバー バイオプラスチック 植林 	<ul style="list-style-type: none"> プラスチック循環（リサイクル・リユース） CCS 次世代太陽光発電 水素発電 次世代蓄電池－EV
『増補版』	<ul style="list-style-type: none"> タイヤリサイクル カーボンリサイクル/機能性化学品 カーボンリサイクル/炭酸塩 超電導 <ul style="list-style-type: none"> 高圧地中送電ケーブル[※] 鉄道用直流き電線[※] MRI[※] 磁気誘導加熱装置 産業用モータ[※] 発電機[※] 農畜産業からのメタン 農耕地のN₂O 分散型エネルギーリソース（DER）を活用した電力ネットワークシステム 	<ul style="list-style-type: none"> タイヤリサイクル カーボンリサイクル/機能性化学品 カーボンリサイクル/炭酸塩 超電導 <ul style="list-style-type: none"> 鉄道用直流き電線 MRI 磁気誘導加熱装置 産業用モータ 発電機 分散型エネルギーリソース（DER）を活用した電力ネットワークシステム

※：付録への記載のみ

3章 革新技术の評価について 「CO₂削減ポテンシャル」と「CO₂削減コスト」

CO₂排出量の削減という視点から技術の評価する際には、「CO₂削減ポテンシャル」と「CO₂削減コスト」を定量的に把握する必要がある。『総合指針2020』においては、NEDOが技術開発内容を把握でき、その効果を試算できる技術を中心に、革新技术を選定し、「CO₂削減ポテンシャル」と「CO₂削減コスト」の試算を行った。本年度はさらに7項目の「CO₂削減ポテンシャル」と5項目の「CO₂削減コスト」の試算を行った。

3-1 CO₂削減ポテンシャルの試算の考え方

『総合指針2020』の3章と同様に、本増補版で取り上げた革新技术に関しては、それぞれ技術の成熟度や社会的な背景が異なっている。ここでは、この異なる背景を考慮し、これらの技術を以下の4つの考え方に基づきCO₂削減ポテンシャルを試算した。

- A) 技術の普及率を仮定して試算したケース
- B) 専門機関の試算を参考にしたケース

式1 CO₂削減ポテンシャル [tCO₂]

CO₂削減ポテンシャル[tCO₂]=導入量[固有単位※]×(従来技術の排出原単位-革新技术の排出原単位)[tCO₂/固有単位※]

※固有単位: Wh、J、t等

C) 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D) 最大の技術の普及または設備設置を想定したケース
CO₂削減ポテンシャルは、技術進展の速度や非連続なイノベーション等の技術的な要因に加えて、導入政策や社会的な受容性などの社会環境の変化によって増減する可能性がある。このような不確かさを考慮できる場合には、技術毎に普及率等複数のシナリオを想定し、以下の算出式1を用い、2050年におけるCO₂削減ポテンシャルの試算を行った。

なお、付録には検討した全ての革新技术のCO₂削減ポテンシャルの試算結果と諸元の一覧を記載している。

本増補版で示すCO₂削減ポテンシャルの試算においては、各技術の成熟度に違いがあり、技術間で競合する部分もあるため、これらの合計値の扱いには注意が必要である。また、前述のように今回の試算はNEDOが技術開発内容を把握でき、その効果を試算できた技術のみを対象にしており、CO₂削減に資する全ての技術を含んでいるわけではない。

3 -2 CO₂削減ポテンシャルの試算例

⑦ タイヤリサイクル

従来技術として、廃タイヤの焼却処理を対象とし、革新技術として、廃タイヤの天然ゴム分と合成ゴム分を合わせたゴム分全量をケミカルリサイクルにより原料として資源循環する場合を想定する。ケミカルリサイクルによる直接原料化は、合成ガス化するより低エネルギーでの利用が期待される革新技術である。

世界で年間3,090万トンのタイヤが廃棄されており、こ

の内、粉砕してゴムチップとして利用するなどのカスケードリサイクルが42%、焼却が15%、埋立等が43%となっている(図1)^{※1}。ITF Transport Outlook 2019の予測によれば、都市間の旅客移動、貨物輸送は2050年までに2倍以上に増加することが見込まれている。これらの予測から、

$$31 \text{百万t (廃タイヤ)} \times 15\% \text{ (焼却処分)} \times 2 \text{ (2050年増加)} \\ = 9.3 \text{百万t-タイヤ/年}$$

を導入量とする。ただし、埋立処理の回避が今後進むことで、埋立処理分約27百万トンも潜在的なケミカルリサイクル処理の対象となる。

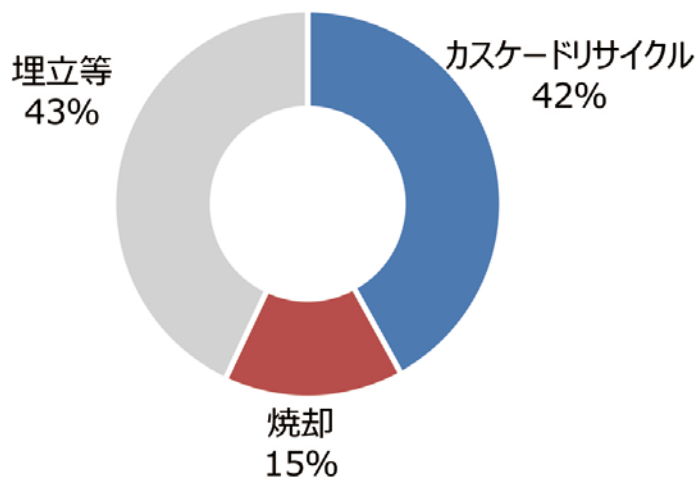


図1 世界の廃タイヤの利用状況

文献^{※1}を基にNEDO技術戦略研究センター作成(2021)

※1 World Business Council for Sustainable Development, Tire Industry Project. Global ELT Management - A global state of knowledge on regulation, management systems, impacts of reCover and technologies. 2019.

排出原単位は、日本自動車タイヤ協会の「タイヤのLCCO₂算定ガイドライン ver. 2.0」^{※2}並びに、カーボンフットプリントデータベース^{※3}の値から試算した。

革新技術の排出原単位は、以下の考えにより定めた。

- ・タイヤのケミカルリサイクル時もカーボンブラックなどゴム分以外は利用できず焼却される。
- ・原料代替としてタイヤ中のゴム分を利用するケミカルリサイクルであるが、技術は確立されていないため、ケミカルリサイクルによる原料製造におけるCO₂排出が石油を原料とする従来技術と同等とした。

すなわち、従来技術と革新技術の排出原単位の差は、原料代替したゴム分に由来するタイヤ焼却時のCO₂排出量となる(図2)。ここで、従来技術において焼却処分時の熱のエネルギー回収は考慮していない。

タイヤ焼却時のCO₂排出は、タイヤ中の炭素含有率から2.73 tCO₂/t-タイヤ(合成ゴム、天然ゴム、カーボンブラック由来)となる。タイヤ中のゴム分由来の炭素割合が57%であることから、タイヤ焼却時のCO₂排出量の内、ゴム分に由来する1.56 tCO₂/t-タイヤを本技術によるCO₂

排出原単位とする。

以上より、タイヤゴム焼却処理分のケミカルリサイクルにおけるCO₂削減ポテンシャルは、以下のように算出される。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{削減ポテンシャル [tCO}_2 \text{/年]} \\ &= 9.3 \text{百万 t-タイヤ/年} \times 1.56 \text{ tCO}_2 \text{/t-タイヤ} \\ &= 15 \text{百万 tCO}_2 \text{/年} \\ &= 0.15 \text{億 tCO}_2 \text{/年} \end{aligned}$$

従来技術の排出原単位を、タイヤ製造にかかる排出原単位+タイヤ焼却時のCO₂排出量と考えると、従来技術の排出原単位は6.54 tCO₂/t-タイヤ、革新技術の排出原単位は、原料代替するゴム由来の焼却時CO₂排出量を引いた4.98 tCO₂/t-タイヤとなる。ここで、タイヤ製造の排出原単位は原材料+生産分の3.81 tCO₂/t-タイヤ、タイヤ焼却時のCO₂排出2.73 tCO₂/t-タイヤであり、天然ゴム分由来の焼却時CO₂はカーボンニュートラルとせず排出に含めた。

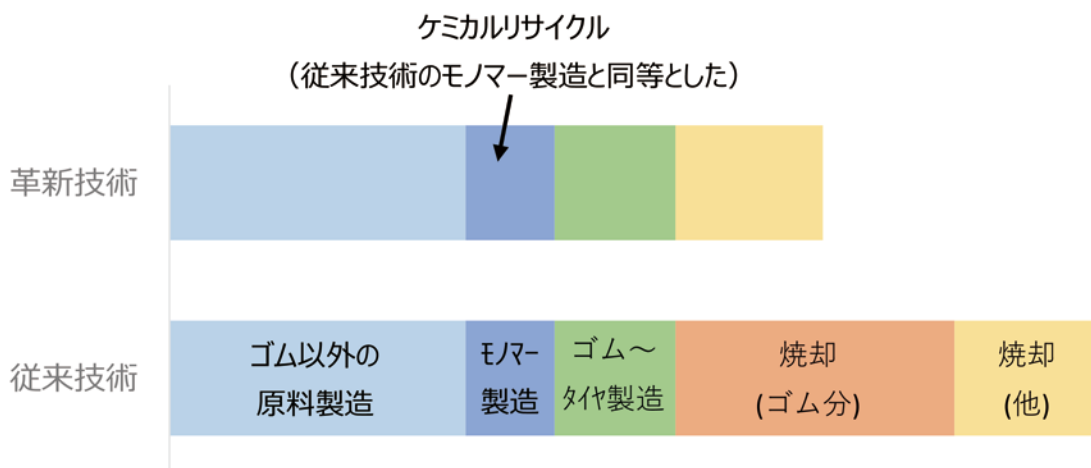


図2 ケミカルリサイクルによるCO₂削減効果のイメージ

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

※2 タイヤのLCCO₂算定ガイドライン ver. 2.0, 日本自動車タイヤ協会, 2012.
<https://www.jatma.or.jp/environment/pdf/lcco2guideline.pdf>

※3 サステナブル経営推進機構, "CFPプログラムへの参加", CFPプログラム,
<https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/data.html>

⑧ カーボンリサイクル／機能性化学品

従来技術として、石油を原料とする機能性化学品の製造を対象とし、革新技術として、CCU (Carbon Capture and Utilization) による機能性化学品製造でのCO₂削減を想定する。機能性化学品は、ポリカーボネート、ポリウレタン、高吸水性高分子 (SAP) を対象とし、算出式1を用いて以下に示す仮定の下で試算した。

- ・導入量 (c): 2050年世界需要予測値として2018年の需要と成長率^{※4}より算出。最大限の利用ポテンシャルとして、世界需要の全量がCCUによる生産に置き換わると仮定。
- ・従来技術の排出原単位 (b): それぞれ、ポリカーボネート、ポリウレタン (軟質)、並びにSAP原料のアクリル酸のカーボンフットプリント (CFP) ^{※3}。
- ・革新技術の排出原単位 (a): CO₂分離回収の排出原単位と革新技術プロセスの排出原単位の和となる。革新技術プロセスの排出原単位はエネルギー投入として排出されるCO₂から原料として製品に取り込まれるCO₂を引いた値となる。即ち、

$$\begin{aligned} & \text{革新技術の排出原単位} \\ & = \text{CO}_2 \text{分離回収の排出原単位} \\ & + \text{革新技術のエネルギー投入の排出原単位} \\ & - \text{製品に取り込まれるCO}_2 \text{原単位} \end{aligned}$$

である。ここで、革新技術のエネルギー投入の排出原単位は従来技術の排出原単位と同等とした。よって、

$$\begin{aligned} & \text{従来技術の排出原単位} - \text{革新技術の排出原単位} \\ & = \text{製品に取り込まれるCO}_2 \text{原単位} \end{aligned}$$

$$- \text{CO}_2 \text{分離回収の排出原単位}$$

- ・製品に取り込まれるCO₂原単位は、代表原料化合物の分子量と取込まれるCO₂の分子量の割合から求めた。それぞれの製品に対する代表化合物は

—ポリカーボネート:

ジフェニルカーボネート (DPC):

$$M_w = 214.2$$

—ポリウレタン:

ジフェニルメタンイソシアネート (MDI):

$$M_w = 250.25$$

—SAP:

アクリル酸:

$$M_w = 72.06$$

とした。CO₂はDPC、MDI、アクリル酸にそれぞれ1分子に対して1分子、2分子、1分子取り込まれる。製品に取り込まれるCO₂原単位は、それぞれ0.21 tCO₂/t-DPC、0.35 tCO₂/t-MDI、0.61 tCO₂/t-アクリル酸となる。

- ・CO₂分離回収の排出原単位については、CO₂分離回収に必要なエネルギーを1.0 GJ/tCO₂とし^{※5}、1 GJを天然ガスで供給した場合のCO₂排出 (50 kgCO₂/GJ^{※6}) より得られる0.05 tCO₂ (排出) /tCO₂ (回収) を用いる。

※4 エンプラ市場の展望とグローバル戦略 2015年. 富士経済. 2014; 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の開発と市場 2020. シーエムシー出版. 2019; プラスチック原材料販売実績. 日本プラスチック工業連盟. 2019; ポリウレタン原料・製品の世界市場. 富士経済. 2019; 世界化学工業白書. 化学経済. 化学工業日報社. vol.65 no.4. 2018-03; 後半中期経営計画. 日本触媒. 新生日本触媒 2020 NEXT. 2017.

※5 カーボンリサイクル技術ロードマップ. 経済産業省. 2019.
<https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190607002/20190607002-1.pdf>

※6 環境省. "算定・報告・公表制度における算出方法・排出係数一覧". 2020.
https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2020_rev.pdf

持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020増補版

CO₂削減ポテンシャルは、原料として利用したCO₂量（CO₂利用ポテンシャル）から製造で発生したCO₂を減じて求められる。本技術は、技術確立されておらず、製造で発生したCO₂量が限定できないため、CO₂利用量の可能性として、CO₂利用ポテンシャルを削減ポテンシャルとした。これらの仮定によりポリカーボネート、ポリウレタン、SAPのCO₂削減ポテンシャルは表2の通りである。

世界で最大限利用しても、ポリカーボネートで3.7百万tCO₂/年、ポリウレタンで25.3百万tCO₂/年、SAPで16.2百万tCO₂/年と合計で0.5億tCO₂/年との試算となった。

表2 ポリカーボネート、ポリウレタン、SAPのCO₂削減ポテンシャル

	CO ₂ 由来成分割合 Wt% 代表例化合物	2018年世界需要※		2050年 需要予測 百万 トン	CO ₂ 削減 ポテンシャル 百万tCO ₂ /年	Mw
		百万トン	成長率 %			
ポリカーボネート	20.5	4.6	4.5	19	① 3.7	CO ₂ : 44.01 DPC : 214.2
ポリウレタン原料 (ポリオール、 イソシアネート)	22.4	21.6	4	76	② 25.3	2CO ₂ : 88.02 MDI : 250.25
SAP原料 (アクリル酸)	61.2	6.8	4.5	28	③ 16.2	CO ₂ : 44.01 アクリル酸 : 72.06

※ : 2015年エンブラ市場の展望とグローバル戦略,炭素繊維強化プラスチック (CFRP)の開発と市場2020, CMCリサーチ, 日本プラスチック工業連盟 プラスチック原材料販売実績, 2019 ポリウレタン原料・製品の世界市場(富士経済), 化学工業日報社「化学経済」2018年3月 第65巻第4号 (世界化学工業白書), 日本触媒資料「新生日本触媒2020 NEXT」

⑨ カーボンリサイクル／炭酸塩

セメント製造時、石灰石 (CaCO_3 、 MgCO_3) の焼成時に CO_2 が発生するため、天然石灰石の代替として、廃棄物由来の Ca、Mg に CO_2 を吸収させ炭酸塩化して利用する革新技術を想定する。

従来技術の排出原単位は、石灰石を加熱した場合に脱離するプロセス由来 CO_2 を想定した排出原単位を採用した。石灰石成分組成として、 CaCO_3 : MgCO_3 = 99 : 1 の重量比率とし、加重平均して $0.44 \text{ tCO}_2/\text{t}$ -石灰石と算出^{*7}した。

革新技術の排出原単位は、石灰石代替炭酸塩として $0.132 \text{ tCO}_2/\text{t}$ としている。廃棄物由来の CaO、MgO から 1 トンの炭酸塩物質を製造する場合、化学量論的に石灰石の加熱時に脱離するのと同量の 0.44 トンの CO_2 を吸収するため、排出原単位は差し引きゼロとなる。ただし、革新技術の反応過程での電力や熱についてはカーボンフリーとならない限り、 CO_2 排出は不可避であることを考慮し、 CO_2 分離回収と炭酸塩化反応での CO_2 の吸収損失分を 30% と想定し、 0.3 tCO_2 排出 / tCO_2 固定^{*8} として排出原単位を算出した。

IEA・セメントロードマップより、2050年時点での世界セメント生産量は約 47 億 t/年^{*9} であり、セメント生産 1 トン当たり、石灰石の使用量は 1.1 トンとして石灰石の使用量を見積もった。普及率については、現在一部商用化技術も見られることから、2030年時点から年 1% のペースで徐々に普及が進むとし、2050年時点で 20% に達するとした。以上より、導入量は 10.3 億 t/年と見積もった。

廃棄物等由来の炭酸塩を利用したセメント製造による CO_2 削減ポテンシャルは、算出式 1 を用いると

$$\text{CO}_2 \text{ 削減ポテンシャル } [\text{tCO}_2/\text{年}]$$

$$= 10.3 \text{ 億 t-石灰石} / \text{年} \times (0.44 - 0.132) \text{ tCO}_2/\text{t-石灰石} \\ = 3.17 \text{ 億 tCO}_2/\text{年}$$

となる。試算にあたっては、多くの前提条件や仮定が伴うために一意の数値に絞り込むことが非常に困難であるが、炭酸塩化技術は代替先となる製品が世界で大規模に生産されており、排出原単位の効果が小さくとも、導入量の余地の観点から、大きな CO_2 削減ポテンシャルを生み出す可能性があるという点が特徴となる。

*7 環境省温室効果ガス排出量算定方法検討会." 燃料の燃焼・燃料からの漏出・工業プロセス・溶剤及びその他製品の利用分野の算定方法の改善について". 2011.
<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h2303/1.pdf>

*8 以下の論文では天然鉱物、鉄鋼スラグを原料に炭酸塩化技術を適応したライフサイクルアセスメントのケーススタディが実施されており、 $0.5 \sim 1.5 \text{ CO}_2$ 排出 / tCO_2 固定という試算範囲が示されている。それを基に 2050 年での技術進捗を期待して 30% と設定した。Ostovari et al. Rock 'n' use of CO_2 : carbon footprint of carbon capture and utilization by mineralization. Sustainable Energy Fuels. 2020.
<https://doi.org/10.1039/D0SE00190B>.

*9 International Energy Agency (IEA) & Cement Sustainability Initiative (CSI). Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry. 2018.

⑩ 超電導（磁気誘導加熱装置）

革新技術を採用した機器として、超電導コイルを有する磁気誘導加熱装置を想定する。磁気誘導加熱装置は、誘導加熱現象を利用して金属を加熱する装置で、アルミ押し出し工場などで使用される。このコイル部に超電導材が使われることで、省エネルギーに貢献する。このときの省エネルギーから、CO₂削減ポテンシャルを計算する。

CO₂削減ポテンシャル試算結果を示す。超電導とは、電気抵抗がゼロに近くなる現象で、そのような性質を持つ電導材は、電力ケーブルや電磁石を構成するコイルに使用されることで、省エネルギー（消費電力の削減）や高磁場の発生などに貢献する。しかし、現状では電導材を-269℃～-196℃程度まで冷却してそれを維持しなければ、超電導現象を得ることができない。よって、超電導機器によって得られる省エネルギーは、従来技術である電導材（一般的には銅線材）に対して超電導現象によって得られる消費電力の削減量から、電導材を冷却する冷凍機の消費電力量やその他の冷却の際に発生する電力損失を合わせたもの（これを、ここでは冷凍機損失と呼ぶ）を差し引いたものとなる。この省エネルギーがプラスになれば、発電所で発電される電力量を削減することができるため、発電時に発生するCO₂の削減に貢献する。ここでの試算では、単位電力量あたりのCO₂排出量として、2050年での世界の排出予測値^{※10}を採用する。つまり、2050年でもまだ化石燃料による火力発電などのCO₂を排出する発電所が残っているという想定である。

世界における削減ポテンシャルを考える上で基礎データとなる、国内での削減ポテンシャルを検討する。省エ

ネルギーは、超電導加熱装置のコイルに超電導線材を適用することによる機器の省エネルギーから、コイルを20～30K（-253℃～-243℃）に冷却するための冷凍機損失を引き去ることにより算出される。設備容量を5MW程度、稼働率を20%、コイル部の消費電力が20～30%であることから省エネルギーを25%とそれぞれ仮定する。また冷凍機損失は、冷凍機消費電力を7.2 kW、電流リード損失を0.04 kW、合計7.24 kW（稼働率は100%）と想定すると、超電導コイルによる省エネルギーと比較してほぼ無視できると考えてよい。また導入台数は、文献^{※11}より1,000台と仮定すると、

国内省エネルギー

$$= [(5\text{MW} \times 8,760\text{h/年} \times 0.2 \times 0.25) - (0.00724\text{MW} \times 1 \times 8,760\text{h/年})] \times 1,000\text{台} \\ \approx 2,127\text{GWh/年}$$

となり、CO₂排出原単位に0.309 kgCO₂/kWh^{※10}を使用すると、

国内CO₂削減ポテンシャル

$$\approx 0.0066\text{億 tCO}_2/\text{年}$$

となる。

世界における省エネルギーは、文献^{※11}より、国内の3.3倍と仮定すると、CO₂排出原単位である0.309 kgCO₂/kWh^{※10}から、磁気誘導加熱装置のCO₂削減ポテンシャルは、

CO₂削減ポテンシャル [tCO₂/年]

$$= \text{省エネルギー} 7.0\text{TWh/年} \times 0.309\text{kgCO}_2/\text{kWh} \\ = 0.022\text{億 tCO}_2/\text{年}$$

と算出される。

※10 IEA RTSの2050年の系統電力の排出原単位である0.309 kgCO₂/kWhを使用。

※11 平成26年度成果報告書 平成26年度超電導機器の市場形成に資する技術戦略策定に向けた調査報告書、NEDO、三菱総合研究所。

⑪ 農畜産業からのメタン

革新技術として、農林水産業から排出されるメタンの排出抑制を実現する生物関連資材等の機能性素材開発を想定する。農林水産業から排出されるメタンは、主に環境中や消化管内の微生物群の働きに起因する。この微生物群の働きを良好に制御するような生物関連資材等が開発されつつある。

世界の農林分野におけるGHGの排出量は、経済活

動による排出量の約25% (118億 tCO₂換算/年)とされ、森林の減少や土壌・施肥管理由来の農業分野、家畜からの排出が主とされる。革新的環境イノベーション戦略では、2050年での削減目標として17億 tCO₂換算/年としている^{※12}。

国内のメタン排出量の内訳は図3に示すとおり、農業分野に関連した排出が多い(全体の8割近く)。これは、日本の例であるが、世界でも類似した状況と考えられる。

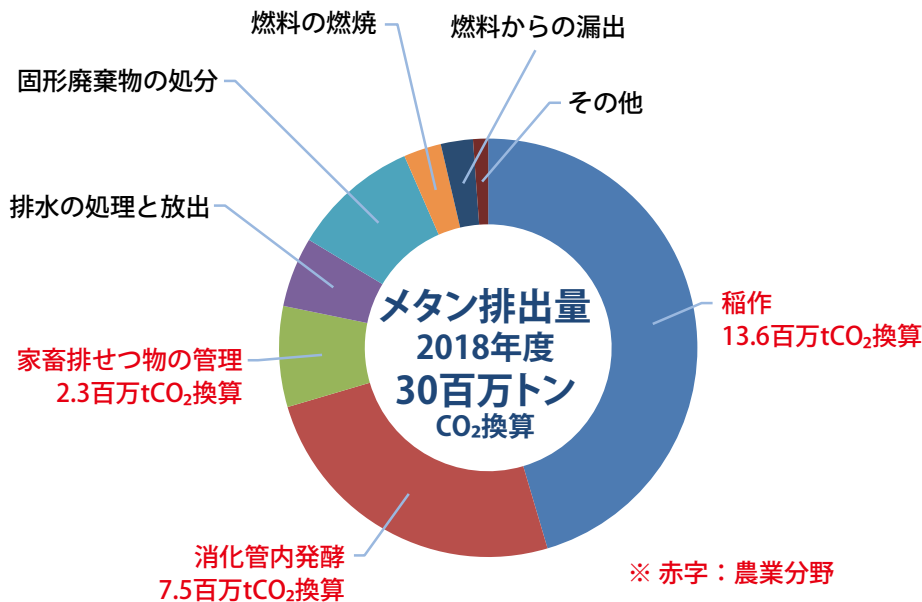


図3 日本国内のメタン排出量 (CO₂換算)

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

※12 内閣府 統合イノベーション戦略推進会議. 革新的環境イノベーション戦略. 2020. <https://www8.cao.go.jp/cstp/siryo/haihui048/siry06-2.pdf>

メタンの排出量の中で、稲作、消化管内発酵、家畜排泄物の管理及び排水処理からの排出は、発酵生物等が関与するものであり、生物関連資材等の機能性素材を活用することにより発生抑制が期待される。

生物関連資材等の機能性素材の活用により発生抑制が期待できるメタン排出量を表3にまとめた。

国内の農業分野にて生物関連資材等の機能性素材の活用により削減が期待されるメタンの総量は、消化管内発酵、家畜排泄物の管理、稲作を合計した、約0.23億tCO₂換算/年であり、生物関連資材等の機能性素材の活用により削減可能な量を推計するにあたり、その前提をメタン排出削減の取り組み事例におけるメタン削減効果を参考に以下と試算した。

- ・生物関連資材等の機能性素材の活用により上記排出源からのGHGを平均で50%削減できる技術を確立
- ・当該技術の国内実装率20%

この前提において推算したメタン削減量は、約0.023億tCO₂換算/年(国内)となる。

国内と世界での農業分野におけるメタン排出源の状況は同一ではないが、消化管内発酵由来のメタンについては、同様の前提で試算が可能と考えられ、世界のメタン排出量に適用すると、約0.576億tCO₂換算/年と推定される。(消化管内発酵由来のメタン発生量 5.76億tCO₂換算/年より^{※13})

メタン排出削減の取り組み事例は、研究初期段階のものも多く、実現性については、継続的に注視していくことが必要と考えられる。しかし、多くの場合、メタン削減だけでなく、飼料・肥料利用効率の大幅な改善を伴っているため、生物資材のコストが飼料・肥料削減コスト以下で供給できる、あるいは、製品となる農業生産物の価値向上に結びつけば広く普及することが期待される。

生物関連資材等の効果検証(生産物にネガティブな影響を与えない)、機能開発(ポジティブな効果を与える)やコストダウンが重要と考えられる。

表3 生物関連資材等の活用により削減が期待されるメタン

	メタン排出量 [百万tCO ₂ 換算] (国内、2018年度)
消化管内発酵	7.47
家畜排せつ物の管理	2.32
稲作	13.56
排水の処理と放出	1.62
合計	24.97
	約25百万tCO₂換算 (国内GHG排出の約2%)

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成(2021)

※13 UNFCCC Greenhouse gas inventory Data 2015

参考)

生物関連資材等の機能性素材の活用によるメタン排出削減の取り組み事例

- ・家畜飼料への海藻添加 (1%) により、約 60%メタン排出を抑制^{※14} (カリフォルニア大学 Davis 校)
- ・家畜飼料へのカシューナッツの殻から抽出した植物油添加により約 90%メタン排出を抑制^{※15} (出光興産、農業・食品産業技術総合研究機構、北海道大学)
- ・家畜飼料へのアミノ酸添加により、12.5%～50%程度メタン排出を抑制 (ドイツ: Evonik、住友化学)^{※16}
- ・ケーブル細菌の添加によりイネ植生土壌の硫酸塩量を 5 倍に増加させ、93%メタン排出を抑制^{※17} (デンマーク: Aarhus 大学)
- ・水田土壌への稲藁バイオチャー添加により 39.5%メタン排出を抑制^{※18} (中国国立自然科学財団、浙江省自然科学財団)
- ・「国際連携による農業分野における温室効果ガス削減技術の開発」プロジェクト成果 灌漑水田における節水栽培技術 AWD (Alternate Wetting and Drying) により GHG を 30%以上削減するという目標を 4 か国の現地試験で達成^{※19} (農林水産省)

※14 <https://animalscience.ucdavis.edu/news/research-led-ermias-kebreab-tests-if-seaweed-cuts-methane-emissions-dairy-farms>

※15 <https://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2030873698.pdf>

※16 https://www.nikkakyo.org/sites/default/files/ICCA_GasReduction_Guidelines_200dpi_300316.pdf

※17 Vincent V. Scholz et al. Cable bacteria reduce methane emissions from rice-vegetated soils. Nature Communications. 2020, vol.11, article no.1878.
<https://www.nature.COM/articles/s41467-020-15812-w/>

※18 <https://europemc.org/article/pmc/4835783>

※19 <https://www.affrc.maff.go.jp/docs/project/seika/2018/attach/pdf/seika2018-41.pdf>

⑫ 農耕地のN₂O

国連気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第5次報告書によれば、人為由来のN₂Oの59%が農業由来と言われている (2010年) ^{※20}。さらに国連食糧農業機関 (FAO) のインベントリデータによれば、農業分野で発生するN₂Oは世界で7.3百万トンであり、その31.2%が化学肥料由来、9.9%が作物残渣由来である (図4) ^{※21}。

削減ポテンシャルの試算は、専門機関として農研機構の協力のもとに行い、世界の農耕地からのN₂O発生を80%削減できる技術を想定して試算を実施した。削減の対象としては、N₂O源として作物残渣 (2.2億tCO₂換算/年)と化学肥料 (7.0億tCO₂換算/年) (以上FAO公表のデータ (2017) に基づく^{※22}) を想定する。さらに化学肥料合成時に発生するCO₂ (4.5億tCO₂/年) も削減対象に含める^{※23}。農業分野におけるN₂O削減の従

来技術は、適用できる作物種が限定されている等の理由で2050年においても現状の普及率 (1%以下) が向上する見込みはないと考えられる。したがって、従来技術のN₂O削減ポテンシャルはゼロと見なす。革新技術としては、窒素固定とN₂O還元作用を併せ持つ特殊な根粒菌や、効果が高く汎用的な硝化抑制剤等を組み合わせて、食糧生産に影響することなく化学 (窒素) 肥料と作物残渣由来のN₂O発生を劇的に削減する技術を想定した。

本技術の普及先としては、地域による収入や食料事情の差を考慮した。Low-Income Food Deficit Countries (LIFDC) に該当する国 (FAOによれば世界のN₂O排出量の20%を占める) には普及が困難と仮定し、それ以外の国々に普及させる前提とした。

その結果見積もられる最大の削減ポテンシャルとして、8.8億tCO₂換算/年と試算した。

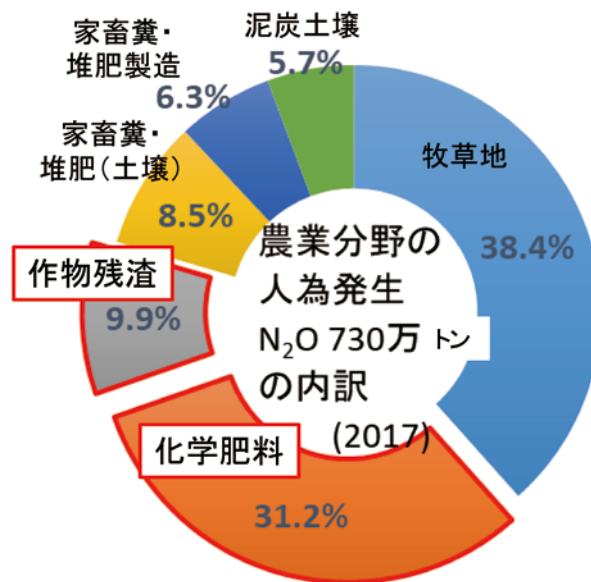


図4 農業分野のN₂O排出内訳 (2017)

出典：FAO データを基に NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

※20 <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

※21 FAO インベントリ (FAOSTAT) : <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

※22 FAO はN₂OのGWPとしてIPCC第2次報告書 (SAR) にもとづく値 (310) を使用。

※23 <https://cen.acs.org/environment/green-chemistry/Industrial-ammonia-production-emits-CO2/97/i24>

⑬ 分散型エネルギーリソース (DER) を活用した電力ネットワークシステム

電力ネットワークで蓄電池を利活用するためのデジタル技術を革新技術として想定し、CO₂削減ポテンシャルを試算した。太陽光発電 (PV)・風力発電等の自然変動型再生可能エネルギーをはじめ、電気温水器・ヒートポンプ式給湯器等の需要側エネルギー消費機器や蓄電池など DER^{※24} を電力ネットワークシステム^{※25} に計画的に最適配置・配分することより、DER が周波数調整やエネルギー需給バランス調整機能としての役割も担うことができれば、電力ネットワーク設備のスリム化や火力発電所の運用最適化に資することとなり、CO₂削減ポテンシャルの最大化と CO₂削減コストの最小化の両立を図ることが期待できる。

蓄電池は定置用と車載用の2つに大別できるが、今後 EV の普及拡大が進むにつれて車載用蓄電池の価格が大幅に低下すれば、将来的には車載用蓄電池が定置用蓄電池に取って代わることが想定される。

定置用蓄電池を用いて電力需給バランス調整等に活用することで自然変動型再生可能エネルギーを最大活用する観点から、2030年における CO₂削減ポテンシャルを試算した。次に、EV (電気自動車) について、そのモビリティとしての役割以外に蓄電池としてエネルギーを充放電できるという付加価値に着目し、EV など車載用蓄電池が電力ネットワークシステムを介して電力需給バランス調整機能の役割も担うと想定し、2050年の CO₂削減ポテンシャルを検討した。

具体的には、電力ネットワークにつながる蓄電池の有無

による CO₂削減ポテンシャルを把握するため、MR (Multi area Regulation Program) と呼ばれる広域電力需給調整プログラム^{※26} を用いて、国内の CO₂削減ポテンシャルを試算した後、その結果から2050年における世界の CO₂削減ポテンシャルの算出を試みた。MR は、各種電源による需給調整や再生可能エネルギーの出力制御ならびに広域連系線によるエネルギー融通といった需給運用に加え、発電燃料費の最小化を図るなど経済性を考慮した解析機能を有している。今回の試算では、蓄電池が有する需給調整機能を付加させた解析モデルを構築することでシミュレーション解析による算出を試みた。試算の諸元は、企業・公共機関等の公開資料^{※27} を参考に PV・風力発電などの導入量を仮定し、一般送配電事業者エリア毎の電力需要量に応じて均等配分するなど解析条件を各々設定した。

2030年における国内 PV 導入量 64.4 GW、風力発電導入量 10.6 GW、定置用蓄電池導入量 1.5 GW の場合、化石燃料費の削減効果は約 130 億円、CO₂削減ポテンシャルは約 0.0039 億 t / 年と試算された。

次に、2050年における国内 PV 導入量 300 GW、国内風力発電導入量 70 GW、車載用蓄電池導入量 819 GWh 等を仮定し、一般送配電事業者エリア毎の電力需要量に比例させて均等配分するなど解析条件を各々設定することでシミュレーション解析を試みた。

解析の結果は、車載用蓄電池を電力ネットワークへ最大導入したことで、自然変動型再生可能エネルギーの最大活用に貢献し、火力発電設備の運用最適化によって化石燃料の削減にも寄与した。電力ネットワークにつな

※24 DER とは、需要家側エネルギーリソース (発電設備、蓄電設備、需要設備) に加えて、電力系統に直接接続される発電設備、蓄電設備を総称するものをいう。

https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/advanced_systems/vpp_dr/term.html

※25 電力ネットワークシステムのイメージは、「革新的環境イノベーション戦略」P24 を参照。

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/tougou-innovation/pdf/kankyousenryaku2020.pdf>

※26 <https://www.jpbs.co.jp/it/pdf/product05.pdf>、及び、Ogasawara y, et al., Grand Renewable Energy 2018 Proceedings O-Pi-2-9

※27 例えば、NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013. NEDO.2013、2020年版 HEV、EV 関連市場徹底分析調査. 富士経済. 2020、ETP 2017. IEA. 2017、JPEA ビジョン・PV OUTLOOK 2050. 太陽光発電協会 (JPEA). 2020.

<http://www.jpea.gr.jp/pdf/pvoutlook2050.pdf>、風力発電導入ロードマップ. 日本風力発電協会 (JWPA). 2014、長期エネルギー需給見通し. 経済産業省. 2015.

https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/pdf/report_01.pdf 等を参考にシミュレーション解析条件を設定。

る車載用蓄電池による火力発電電力量の年間削減効果は、約 110 TWh と試算された。なお、この試算値は発電効率や設備利用率等が異なる火力発電設備毎の値を合計したものである。よって、約 110 TWh を CO₂ 換算するには、火力発電設備毎に CO₂ 換算した値を合計することで得られることとなり、その結果、CO₂ 削減ポテンシャルは約 0.5 億 t / 年と試算された。

一方、世界における CO₂ 削減ポテンシャルの試算にあたっては、世界の EV・PV 等の導入量あるいは設備利用率等が国内のものとは異なること、また電力ネットワークシステムの構成や運用方法等も異なることから、今回得られた国内の試算値を用いて単純に比較検討することはできないが、ここでは IEA ETP2017 の B2DS における 2050 年の年間火力発電電力量である約 780 TWh を比較対象として用いた場合、この数値は車載用蓄電池の最大導入時における国内年間火力発電電力量の試算値である約 230 TWh の約 3.4 倍となる。よって、単純比較することで電力ネットワークを介した車載用蓄電池の最大導入による世界における CO₂ 削減ポテンシャルを試算した場合には、国内の CO₂ 削減ポテンシャルである約 0.5 億 t / 年に対して上述の倍数を乗じれば、約 1.7 億 t / 年となる。

今回の試算においては、DER として蓄電池を取り上げることで、その有無による CO₂ 削減ポテンシャルをシミュレーション解析により試算した。しかしながら、DER は蓄電池以外にもヒートポンプ型給湯器や水電解水素製造装置など種類が多岐にわたる。よって、多種多様で膨大な数の DER が電力ネットワークに接続されるといった極めて複雑な状態においては、それらの DER を電力ネットワークに統合させた状態を適切にモデル化したうえで精度の高いシミュレーション結果を得ることができる電力需給解析システム技術の高度化も極めて重要となる。こうした解析技術の高度化をより早期に確立できれば、電力ネットワークを基盤とした DER の最大利活用が期待でき、CO₂ 削減ポテンシャルの最大化と CO₂ 削減コストの最小化の両立を図ることが可能となる。

3 -3 CO₂削減コストの考え方

CO₂削減コストは、CO₂排出量を1トン削減するために要する費用であり、単位は円/tCO₂で表される。本増補版では、将来開発される革新的なCO₂削減技術の社会実装によるCO₂削減コストを、以下の算出式2を用いて試算を行った。

技術開発によって革新技術のコストを十分に低減できれば、社会実装が加速されその結果CO₂排出量の大幅な削減が可能になる。

また、今回取り上げた革新技術に関しては、CO₂削減ポテンシャルと同様に、それぞれ技術の成熟度や社会的な背景が異なっているため、以下の4つの考え方に基づき、CO₂削減コストの試算を行った。

A) 学習曲線等の実績から想定されるケース：

超伝導（鉄道用直流電線、MRI、磁気誘導加熱装置、産業用モータ、発電機）

B) 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース：

（『増補版』では該当なし）

C) 専門機関の試算を参考にしたケース：

・分散型エネルギーリソース（DER）を活用した電力ネットワークシステム

D) その他のケース：

・タイヤリサイクル
 ・カーボンリサイクル／機能性化学品
 ・カーボンリサイクル／炭酸塩

式2 CO₂削減コスト [円/tCO₂]

$$\text{CO}_2\text{削減コスト [円/tCO}_2\text{]} = \frac{\text{革新技術の単価} - \text{従来技術の単価 [円/固有単位※]}}{\text{従来技術のCO}_2\text{排出原単位} - \text{革新技術のCO}_2\text{排出原単位 [tCO}_2\text{/固有単位※]}}$$

※固有単位：kWh、GJ、t-製品等

3-4 CO₂削減コストの試算例

⑥ タイヤリサイクル

タイヤゴムの焼却処分において、革新技術によりケミカルリサイクルする場合の製品コストアップ（円/t-製品）に応じたCO₂削減コストを、革新技術の排出原単位を適切な範囲で変化させて試算した。本試算では廃タイヤからケミカルリサイクルによってブタジエン等の合成ゴムモノマーを製造する工程を対象とするため、従来技術と革新技術との差を取る場合、革新技術では従来技術でのモノマー製造及びゴム分の焼却にかかわるCO₂排出が削減され、ケミカルリサイクルによるモノマー製造分の増加を考慮すればよい（図5）。

従来技術では、原料採掘からブタジエン製造までに1.92 tCO₂/t-ブタジエンが排出されている*3。革新技術ではケミカルリサイクルによるCO₂排出原単位をパラメータとしている。

以下に示す算出式3において、分母の排出原単位の差は、従来技術でのモノマー製造の排出原単位とゴム分焼却の排出原単位との和から革新技術のケミカルリサイクルによる排出原単位を減じた値となり、ケミカルリサイクルの排出原単位をe（tCO₂/t-タイヤ）、製品コストアップをc（円/t-タイヤ）とすると、

$$\frac{c}{1.92 \times 35\% + 1.56 - e}$$

$$= \frac{c}{2.23 - e} \text{ 円/tCO}_2$$

となる。ここで、タイヤ中に含まれる合成ゴム分を35%、ゴム分焼却由来CO₂を1.56tCO₂/t-タイヤとした。また、パラメータとしたケミカルリサイクルによるCO₂排出原単位の下限を、モノマー製造の排出原単位とゴム分焼却の排出原単位との和である2.23tCO₂/t-タイヤの1/2の1.1tCO₂/t-タイヤ、上限を同等の2.2tCO₂/t-タイヤとした。

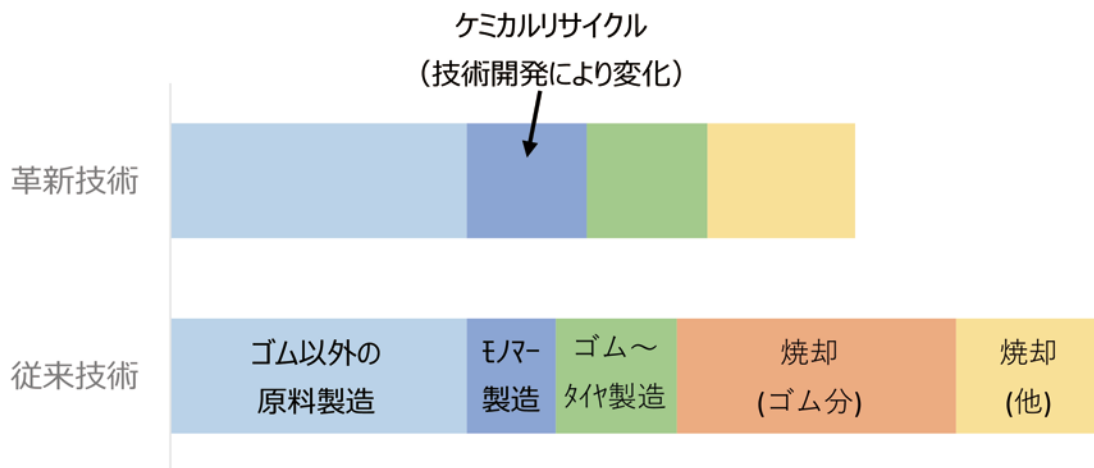


図5 ケミカルリサイクルによるCO₂削減効果のイメージ

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

式3 CO₂削減コスト [円/tCO₂]

$$\text{CO}_2 \text{削減コスト [円/tCO}_2\text{]} = \frac{\text{製品コストアップ [円/t-製品]}}{\text{従来技術の排出原単位 [tCO}_2\text{/t-製品]} - \text{革新技術の排出原単位 [tCO}_2\text{/t-製品]}}$$

CO₂削減コストと製品コストアップの関係を図6に示す。革新技術の排出原単位と、設備投資、反応温度、触媒コスト等に依存する製品コストアップが決まれば開発目標としてのCO₂削減コストを定量化できる。国によって異なるコストを負担するための制度や代替対象となる従来技術などによって導入可否が決定されることになるが、このように、環境価値を定量化することは開発者にとって、有用な指標となると考える。

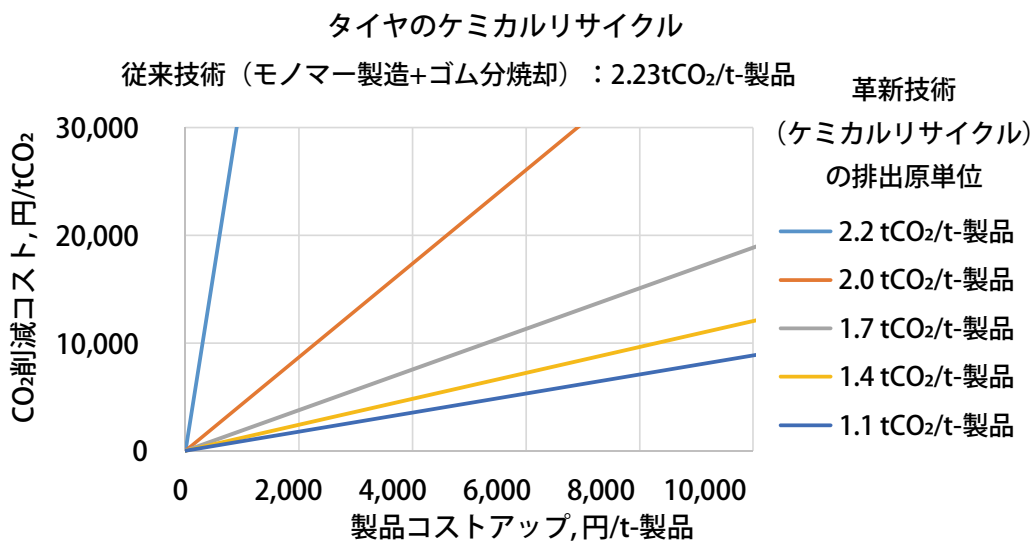


図6 タイヤゴムのケミカルリサイクルにおけるCO₂削減コスト
出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

⑦ カーボンリサイクル／機能性化学品

ポリカーボネート、ポリウレタン、高吸水性高分子(SAP)について、革新技術として、CCUによる機能性化学品製造を考え、製品コストアップ(円/t-製品)に応じたCO₂削減コストにおいて、算出式3を用いて革新技術の排出原単位を適切な範囲で変化させて試算した。

従来技術の排出原単位[tCO₂/t-製品]は、それぞれポリカーボネート、ポリウレタン(軟質)、SAP原料のアクリル酸のカーボンフットプリントとした^{*3}。

革新技術の排出原単位[tCO₂/t-製品]は(CO₂分離回収の排出原単位[tCO₂/t-製品]+革新技術のプロセスの排出原単位[tCO₂/t-製品])となる。ここで、革新技術のプロセスの排出原単位はエネルギー投入として排出されるCO₂から原料として製品に取り込まれるCO₂を引いた値となる。即ち、

$$\begin{aligned} & \text{革新技術の排出原単位} \\ &= \text{CO}_2 \text{分離回収の排出原単位} \\ &+ \text{革新技術のプロセス投入の排出原単位} \\ &- \text{製品に取り込まれるCO}_2 \text{原単位} \end{aligned}$$

である。

CO₂分離回収の排出原単位については、CO₂分離回収に必要なエネルギーを1.0 GJ/tCO₂とし^{*5}、1 GJを天然ガスで供給した場合のCO₂排出(50 kgCO₂/GJ^{*6})より得られる0.05 tCO₂(排出)/tCO₂(回収)を用いる。つまり、製品に取り込まれたCO₂の95%が削減に寄与することとなる。

製品に取り込まれるCO₂原単位は、ポリカーボネートは主原料のジフェニルカーボネート(DPC)、ポリウレタンはジフェニルメタンイソシアネート(MDI)、SAPはアクリル酸の分子量と、取込んで利用できるCO₂分子量の割合から算出した。それぞれ0.21 tCO₂/t-DPC、0.35 tCO₂/t-MDI、0.61 tCO₂/t-アクリル酸となる。

以上により、製品コストアップをc(円/t-製品)、革新技術のプロセス投入の排出原単位をp(tCO₂/t-製品)、とすると、CO₂削減コスト[円/tCO₂]は

ポリカーボネート:

$$\begin{aligned} & \frac{c}{7.69 - (p - 0.21 \times 95\%)} \\ &= \frac{c}{7.89 - p} \text{ 円/tCO}_2 \end{aligned}$$

ポリウレタン:

$$\begin{aligned} & \frac{c}{4.63 - (p - 0.35 \times 95\%)} \\ &= \frac{c}{4.96 - p} \text{ 円/tCO}_2 \end{aligned}$$

アクリル酸:

$$\begin{aligned} & \frac{c}{2.22 - (p - 0.61 \times 95\%)} \\ &= \frac{c}{2.80 - p} \text{ 円/tCO}_2 \end{aligned}$$

となる。

革新技術のプロセス投入の排出原単位は、下限を既存技術、上限を既存技術の排出原単位に製品取込分CO₂を加えた値程度とした。この上限より大きければCO₂は削減されない。

以上より、各化合物について、CO₂削減コストと製品コストアップの関係を図7に示す。革新技術の排出原単位と、設備投資、反応温度、触媒コスト等に依存する製品コストアップが決まれば開発目標としてのCO₂削減コスト

を定量化できる。国によって異なるコストを負担するための制度や代替対象となる従来技術などによって導入可否が決定されることになるが、このように、環境価値を定量化することは開発者にとって、有用な指標となると考える。

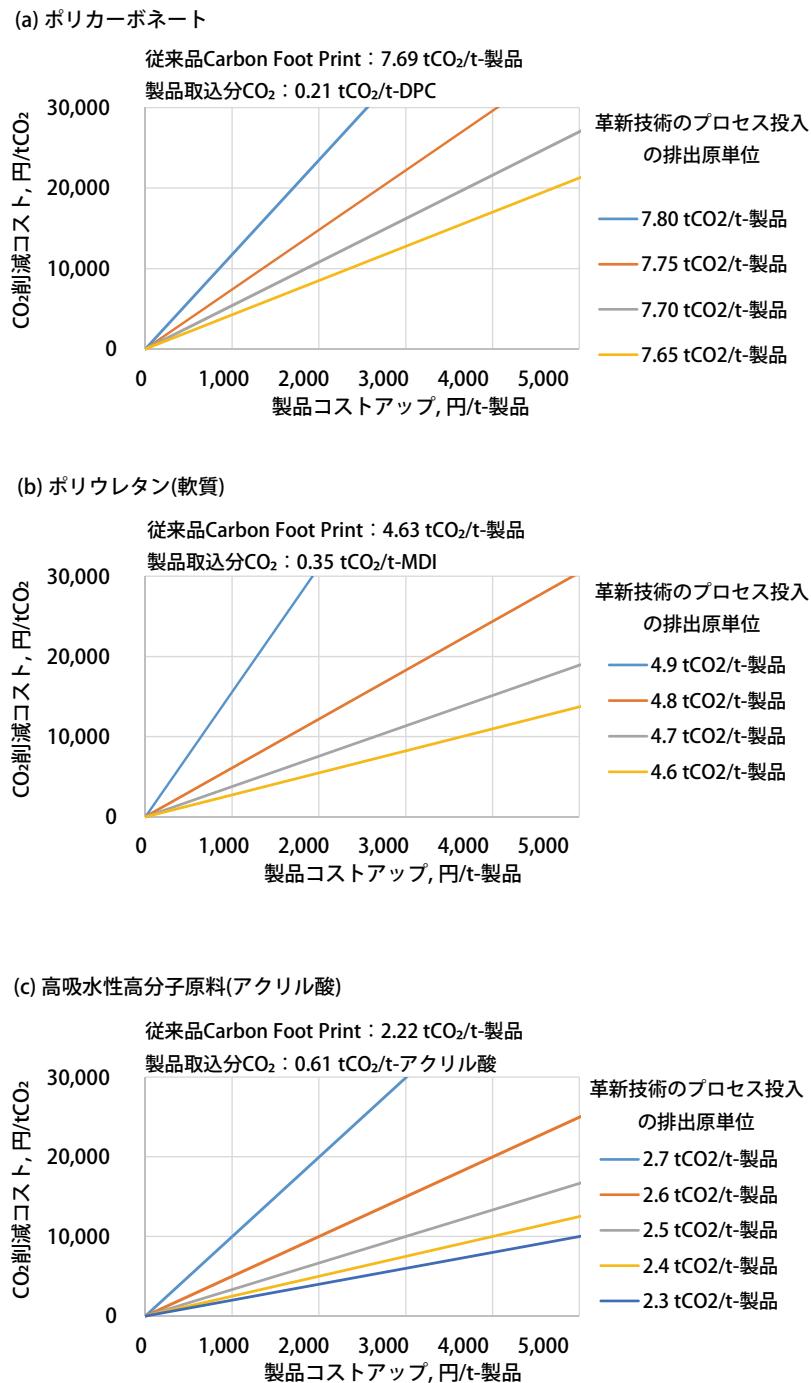


図7 カーボンリサイクル/機能性化学品のCO₂削減コスト

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成 (2021)

⑧ カーボンリサイクル／炭酸塩

セメント製造時、石灰石 (CaCO_3 、 MgCO_3) の焼成時に CO_2 が発生するため、天然石灰石の代替として、廃棄物由来の Ca, Mg に CO_2 を吸収させ炭酸塩化して利用する革新技術を想定する。

代替する従来技術のコスト (円/t-石灰石) は、石灰石の市場価格とした。市場調査レポート^{※28}を参考に世界生産量 (2019年) として69億t/年、世界総収益 (2019年) として73,015.3百万ドルから、市場価格を1,000円/t-製品とした ($\$1 = 100$ 円で換算)。

市場価格の上昇に対する許容値 (革新技術のコスト: 円/t-石灰石代替炭酸塩) は、革新技術の適応を反映した市場価格として、 CO_2 削減コスト30,000円/t CO_2 程度をカバーするよう、従来技術のコストの1～8倍を想定した。

従来技術の排出原単位 (t CO_2 /t-石灰石) は、石灰石を加熱した場合に脱離するプロセス由来 CO_2 を想定した排出原単位を採用した。石灰石成分組成として、

$\text{CaCO}_3 : \text{MgCO}_3 = 99 : 1$ の重量比率と想定し、加重平均から0.44 t CO_2 /t-石灰石と算出した^{※7}。

革新技術の排出原単位 (t CO_2 /t-石灰石代替炭酸塩) は、従来技術の0.44 t CO_2 /t-石灰石の排出原単位に対し、70～10%の排出抑制を達成したと考え、0.04～0.31 t CO_2 /t-石灰石代替炭酸塩の範囲を想定した。本試算の想定では、石灰石 (炭酸塩) の焼成時にはプロセス由来 CO_2 を排出するものの、廃棄物から得たカルシウム等に CO_2 を吸収させ炭酸塩化し原料として利用することで、天然の石灰石を使用せず、実質的に大気中への CO_2 排出を回避できると考えた。この際、化学量論的には1トンの石灰石代替炭酸塩を製造した場合、0.44トンの CO_2 を利用するため、排出原単位は実質ゼロとなる。ただし、革新技術の反応過程での電力や熱についてはカーボンフリーとならない限り、 CO_2 排出は不可避なため、排出源単位として従来技術の70～10%を範囲として想定した。

※28 Limestone Market. Grand View Research. 2020. <https://www.gii.CO.jp/report/grvi963076-limestone-market-size-share-trends-analysis-report.html>
2019年世界生産量 69億 t /年と2019年での世界での利益73,015.3百万ドルから市場価格を約1,000円とした。この際、 $\$1 = 100$ 円とした。

以上より、該当の革新技術の炭酸塩排出原単位と現在の石灰石の市場価格の上昇に対する許容値（革新技術のコスト：円/t-石灰石代替炭酸塩）の算出式4から、CO₂削減コストを簡易的に見積もり図8に示した。

この式は、任意のCO₂削減コストを想定した場合、CO₂削減効果が高い技術であるほど市場価格の上昇が

大きくても許容される関係を示している。仮にCO₂削減コストとして2万円を社会が受け入れ可能な場合、図8の青線のケースとして、排出原単位を0.04 tCO₂/t-製品まで下げた場合には、約8～9倍（8,000～9,000円）の市場価格上昇が許容されると考えることができる。

式4 CO₂削減コスト [円/tCO₂]

CO₂削減コスト [円/tCO₂]

$$= \frac{\text{市場価格上昇に対する許容値 [円/t石灰石代替炭酸塩]}}{\text{従来技術の排出原単位 [tCO}_2\text{/t-石灰石]} - \text{革新技術の排出原単位 [tCO}_2\text{/t-石灰石代替炭酸塩]}}$$

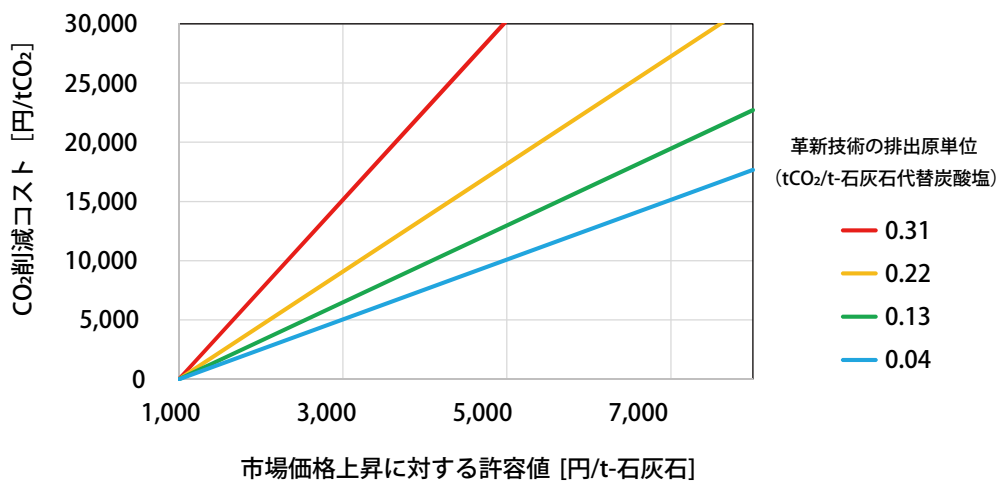


図8 廃棄物等由来の炭酸塩を利用したセメント製造のCO₂削減コスト
出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

⑨ 超電導

世界における超電導機器のCO₂削減コストを試算する。従来技術である一般的な電導線が、革新技術である超電導線になったときのCO₂削減ポテンシャルと、そのときにかかるコストから、CO₂削減コストを算出する。超電導とは、CO₂削減ポテンシャル試算の項でも示したが、電気抵抗がほぼゼロに近くなる現象で、そのような電導材を電力ケーブルやコイルに使用することで、省エネルギーや高磁場の発生などに貢献することができる。しかし、電導材を-269℃～-196℃程度まで冷却してそれを維持しなければならないため、それに関する諸コストを考慮する必要がある。

超電導機器のCO₂削減コストを試算するには、まず通常の電導材（一般的には銅線材か、それを主たる構成材とする電導材）と超電導材のコスト差を求める必要がある。これに加えて、超電導材の冷却に関する諸コストとして、冷凍機（あるいはそれを含めた冷却システム）を導入するためのコスト（これを初期コストと呼ぶ）と、その運転コスト（冷凍機の消費電力量に応じた電気料金）を加算する必要がある。なお、これまで使用してきた機器を超電導機器に交換する際には工事費用などが必要になるが、ここでは機器の老朽更新で通常機器か超電導機器のどちらかに更新するかを想定し、更新のための工事費用は同額として、差し引きゼロとした。また、冷凍機に関するメンテナンスコストなどの費用も省略した。

求めたコストの合計を、CO₂削減ポテンシャル試算で割ることにより、CO₂削減コストを算出した。その際には機器を何年間稼働させるかを想定する必要があるが、ここでは各機器の耐用年数が定められている場合でも、それを超えて20年稼働できるものとして試算した。

⑨-1 鉄道用直流き電線

超電導鉄道き電線によるCO₂削減コストを見積もる。直流き電区間の、電圧：1,500V、電流値：≤12kA/1回線^{※29}の老朽更新を考える。超電導き電線単体、電線冷却システム、冷却システム運転コスト、施工工事費の各コストを見積もり、既存の鉄道き電線導入コストとの差分をCO₂削減ポテンシャルで割ることにより、超電導鉄道き電線によるCO₂削減コストを算出する。

超電導鉄道き電線単体のコストは、鉄道き電線のコストも電力ケーブルのコストも、同額とみなす。ビスマス系超電導ケーブルのコスト^{※30}は、以下のとおりである。

・2006年でのコスト：\$100/kAm@77K

・将来の予測コスト：\$20/kAm@77K

この将来の予測コストは、既存の銅線と同額である。2050年にこの予測が達成できると仮定すると、既存ケーブルとのコスト差分はゼロになるので、ケーブル導入コスト計算は省略する。

次に、冷却システムの初期コスト試算については、利川変電所（韓国）フィールド試験の結果（410m長、3相交流50MVA/22.9kV = 2.2kA電流の冷却に7kW能力の冷却システムが必要^{※31}）を利用する。直流き電線の送電容量は

$$\begin{aligned} &1,500\text{V} \times 12,000\text{A} \\ &= 18\text{MVA} \end{aligned}$$

となるので、これを適用する。ただし送電容量が18MVAなので、18MVA/50MVAの比率をかける。7kW能力の冷却システムで得られる冷却温度69Kは、ケーブル冷却温度77Kに対して過冷却であり、410m長ケーブルでは、

$$\begin{aligned} &7\text{kW} \times 69\text{K}/77\text{K} \\ &= 6.3\text{ kW} \end{aligned}$$

※29 平成24年度成果報告書 高温超電導電力機器の適用拡大と標準化に資するケーススタディ。NEDO, 三菱総合研究所。

※30 高温超電導の実製品化検討。住友電工テクニカルレビュー。2006, no.168。
<https://sei.co.jp/technology/tr/>

※31 超電導 Web21。国際超電導産業技術研究センター。2014-07. p.21。
<http://www.istec.or.jp/web21/web21.html>

程度の能力の冷却システムが必要と考える。また、そのような冷却システムの初期コストは、\$200/W-冷却能力^{*32} (冷却効率: COP = 0.1) とすると、110.6百万円/kmと試算される。

冷却システムの運転コストは、資料より^{*33} 主要10か国の中央値の15円/kWhを2050年時の電力料金と設定し、ケーブル410mあたり6.3kWの冷却能力が必要となるので、ケーブル1kmあたり1年間運転するのに必要な運転コストを試算すると、COP = 0.1と仮定して、約7,269千円/(km・年)となる。

超電導鉄道き電線の国内及び世界導入ポテンシャルは、人口集中地区に導入されることを基に普及率を設定すると(詳細は付録のうち〈算出根拠〉(ロ)(ハ)参照)、

- ・国内導入ポテンシャル ≒ 3,900km
- ・世界導入ポテンシャル ≒ 19,300km

と試算され、冷却システムの初期コストは

- ・国内 = 4,290億円
- ・世界 = 21,200億円

冷却システム1年間の運転コストは、

- ・国内 ≒ 283億円/年
- ・世界 ≒ 1,400億円/年

と算出される。

以上より、超電導鉄道き電線のCO₂削減コストを試算する。導入した超電導き電線を、20年程度使用すると仮定する。国内及び世界の超電導線導入コストと既存電線コストとの差分(= 冷却機 + 冷却機運転コスト)は、

- ・国内の超電導線導入コストと既存電線コストとの差分 = 9,960億円(約1兆円)

- ・世界の超電導線導入コストと既存電線コストとの差分 = 49,300億円(約5兆円)

となる。CO₂排出削減コストは、導入システムコストと既存システムコストの差分をCO₂排出削減ポテンシャルで割ることで求められるので、

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{削減コスト [円/tCO}_2\text{]} \\ &= 49,300 \text{億円} / (0.046 \text{億 tCO}_2\text{/年} \times 20 \text{年}) \\ &\approx 53,600 \text{円/tCO}_2 \end{aligned}$$

と試算される。

⑨-2 MRI (Magnetic Resonance Imaging)

付録では、低温超電導MRIを高温超電導MRIで更新したことによるCO₂削減ポテンシャルを試算した。超電導線材のコストは将来的には銅線とほぼ同じになる^{*30}とされているため、MRI本体のコストには差はほぼ無いと考えられる。差があるとすれば、コイルを冷却する冷凍機の初期コストと運転コストになる。その他設置工事費なども、両者の差は無いと考えられるため、この冷凍機の初期コストと運転コストの差を試算する。

冷凍機初期コストについては^{*34}、高温超電導用と低温超電導用で冷凍機の価格差はほとんどないと想定し、冷凍機の初期コスト差は、0円とする。

- ・国内冷凍機初期コスト差 = 0円
- ・世界の冷凍機初期コスト差 = 0円

次に、冷凍機の運転コストについて試算する。前項より、2050年の電力料金は15円/kWhとする。MRIの耐用年数は6年間^{*35}であるが、一般的には更に使用可能なため、20年運転できるとして試算した。

*32 超電導Web21. 国際超電導産業技術研究センター. 2014-11. p.15.
<http://www.istec.or.jp/web21/web21.html>

*33 電気料金の国際比較. 電力中央研究所研究資料. 2018-01. no.Y17504.
<https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/source/pdf/Y17504.pdf>

*34 超電導Web21. 国際超電導産業技術研究センター. 2010-02.
<http://www.istec.or.jp/web21/web21.html>

*35 国税庁." 減価償却資産の耐用年数表".
<https://www.nta.go.jp/law/tsutatsu/kobetsu/sonota/700525/fuhyou/10.htm>

- ・国内冷凍機運転コスト差 ≈ -31.6 億円
- ・世界の冷凍機運転コスト差 ≈ -192.7 億円

CO₂削減ポテンシャルは、付録に記載のとおりである。

- ・国内のMRIによるCO₂削減ポテンシャル
= 3,400 tCO₂/年
- ・世界のMRIによるCO₂削減ポテンシャル
= 20,700 tCO₂/年

以上より、高温超電導MRIと低温超電導MRIのCO₂削減コスト差は、MRIを20年運転できると仮定して、

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{削減コスト [円/tCO}_2\text{]} \\ & = -193 \text{億円} / (20,700 \text{ tCO}_2 / \text{年} \times 20 \text{年}) \\ & \approx -46,600 \text{円/tCO}_2 \end{aligned}$$

となる。

⑨-3 磁気誘導加熱装置

超電導コイルで構成される磁気誘導加熱装置のCO₂削減コストを試算する。2050年にはコイルの線材の価格は超電導線材も銅線もほぼ同じになると考えられる^{*30}。よって、本体などのコストは超電導装置でも従来装置でも同じであり、差はコイルを冷却する冷凍機の初期コストと運転コストとなる。従来装置ではこの冷凍機は不要であることから、この分がコスト増となる。

冷凍機初期コストは、文献^{*34}のモータ用冷凍機の価格より、25百万円/台である。国内で1,000台導入、世界ではその3.3倍と想定すると、

- ・国内の冷凍機初期コスト = 250億円
- ・世界の冷凍機初期コスト = 825億円

と算出される。

次に、冷凍機運転コストを見積もる。前項より、2050年の電力料金は15円/kWhとする。CO₂削減ポテンシャル試算において算出した、超電導コイルを20～30K (-253℃～-243℃)程度に保つための冷凍機の消費電力を用い、磁気誘導加熱装置を耐用年数7年^{*35}を超えて20年運転した場合、

- ・国内の冷凍機運転コスト ≈ 190 億円
- ・世界の冷凍機運転コスト ≈ 628 億円

となる。

以上より、国内及び世界の磁気誘導加熱器用冷凍機の総コストは、以下の通りとなる。

- ・国内の冷凍機の総コスト = 440億円
- ・世界の冷凍機の総コスト = 1,450億円

CO₂削減ポテンシャルは、

- ・国内のCO₂削減ポテンシャル
= 657 ktCO₂/年
- ・世界のCO₂削減ポテンシャル
= 2,170 ktCO₂/年

であることから、磁気誘導加熱装置を20年運転した場合のCO₂削減コストは

$$\begin{aligned} & \text{CO}_2 \text{削減コスト [円/tCO}_2\text{]} \\ & = 1,450 \text{億円} / (2,170 \text{ ktCO}_2 / \text{年} \times 20 \text{年}) \\ & = 3,340 \text{円/tCO}_2 \end{aligned}$$

と試算される。

⑨-4 産業用モータ

産業用モータが老朽した際に超電導モータで更新したときのCO₂削減コストを試算する。2050年にはコイルの線材の価格は超電導線材も銅線もほぼ同じになる^{*30}と考えられる。よって、本体などのコストは超電導モータでも従来モータでも同じであり、差はコイルを冷却する冷凍機の初期コストと運転コストとなる。従来装置ではこの冷凍機は不要であることから、この分がコスト増となる。

産業用モータの冷凍機初期コストは、文献^{*34}のモータ用冷凍機の価格より25百万円/台とされている。国内では35,900台導入されると予想され、これは世界の導入量の8%と仮定すると、

- ・国内の冷凍機初期コスト = 8,980億円
- ・世界の冷凍機初期コスト = 112,200億円

となる。

次に、冷凍機の運転コストを見積もる。前項より、2050年の電力料金は15円/kWhとする。CO₂削減ポテンシャル試算において算出した、超電導コイルを20～30K(-253℃～-243℃)程度に保つための冷凍機の消費電力を用い、産業用モータを耐用年数7年^{※35}を超えて20年運転した場合、

- ・国内の冷凍機運転コスト ≒ 6,830億円
- ・世界の冷凍機運転コスト ≒ 85,400億円

となる。

以上より、冷凍機の総コストは、以下のように算出される。

- ・国内の冷凍機総コスト
= 初期コスト + 運転コスト
= 15,800億円
- ・世界の冷凍機総コスト
= 初期コスト + 運転コスト
= 198,000億円

CO₂削減ポテンシャルは、

- ・国内の産業用モータによるCO₂削減ポテンシャル
= 1,680 ktCO₂/年
- ・世界の産業用モータによるCO₂削減ポテンシャル
= 21,000 ktCO₂/年

であるから、産業用モータを20年運転した場合のCO₂削減コストは、

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{削減コスト [円/tCO}_2\text{]} \\ &= 198,000 \text{億円} / (21,000 \text{ ktCO}_2\text{/年} \times 20 \text{年}) \\ &= 47,100 \text{円/tCO}_2 \end{aligned}$$

と試算される。

⑨-5 発電機

超電導発電機のCO₂削減コストを試算する。2050年ではコイルの線材の価格は超電導線材も銅線もほぼ同じになる^{※30}と考えられる。よって、本体などのコストは超電導発電機でも従来発電機でも同じであり、差はコイルを冷

却する冷凍機の初期コストと運転コストとなる。従来の装置ではこの冷凍機は不要であることから、この分がコスト増となる。

発電機の冷凍機初期コストについて、文献^{※34}の発電機用冷凍機の価格より、2億円/台とする。また、1台の発電機容量を1,000MWと仮定し、2050年の日本国内発電量合計1,000TWh^{※36}のうち、火力、水力、原子力等のタービン発電機によるものを75%、超電導普及率を20%と考えたと、

- ・国内の発電機台数 ≒ 17台
- ・国内の冷凍機初期コスト = 34億円

と試算される。

次に、冷凍機運転コストについて試算する。2050年の電力料金は15円/kWhとする。文献^{※34}より、発電機の冷凍機の必要冷却能力は20 kW程度で、冷凍機のCOP = 0.1程度とすると、消費電力は200 kWとなる。発電機を耐用年数15年^{※35}を超えて20年運転する場合、

- ・国内の冷凍機運転コスト ≒ 89億円

となる。

以上より、国内の冷凍機総コストは、

- ・国内の冷凍機総コスト
= 初期コスト + 運転コスト
= 123億円

となり、CO₂削減ポテンシャルは464 ktCO₂/年であるから、発電機を20年運転した場合のCO₂排出削減コストは、

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{削減コスト [円/tCO}_2\text{]} \\ &= 123 \text{億円} / (464 \text{ ktCO}_2\text{/年} \times 20 \text{年}) \\ &= 1,330 \text{円/tCO}_2 \end{aligned}$$

と試算される。

※36 2050年のCO₂大規模削減を実現するための経済およびエネルギー・電力需給の定量分析。電力中央研究所研究資料。2019-04. no.Y19501.

⑩ 分散型エネルギーリソース (DER) を活用した電力ネットワークシステム

CO₂削減ポテンシャルの試算時に設定したシミュレーション解析条件と同様、蓄電池を周波数調整や需給バランスの調整に用いて自然変動型再生可能エネルギーを最大活用することを前提に、MRを用いてCO₂削減コストを試算した。

2030年については、定置用蓄電池を活用する前提で、3-2⑬で記載の通り、化石燃料費の削減効果が約130億円、CO₂削減ポテンシャルは約0.0039億t/年である。定置用蓄電池の導入量は1.5 GW、耐用年数20年、蓄電池単価8.5万円/kWh、電力需給調整システムは既存システムで行えるものと仮定して、以下に示す算出式5を用いて試算した。

CO₂削減コスト [円/tCO₂]

$$\begin{aligned} & \frac{1.5\text{GW} \times 8.5\text{万円/kWh}}{20\text{年}} - 130\text{億円} \\ = & \frac{\quad}{0.0039\text{億 tCO}_2} \\ \approx & -17,000\text{円/tCO}_2 \end{aligned}$$

式5 CO₂削減コスト [円/tCO₂]

$$\text{CO}_2\text{削減コスト [円/tCO}_2\text{]} = \frac{\text{定置用蓄電池本体コスト (円)}}{\text{耐用年数 (年)} - \frac{\text{定置用蓄電池の導入による化石燃料削減効果 (円/年)}}{\text{CO}_2\text{削減ポテンシャル (tCO}_2\text{/年)}}$$

次に、2050年については、車載用蓄電池を最大利活用することを前提とし、試算の諸元は、企業・公共機関等の公開資料を参考に、国内の2050年における車載用蓄電池の導入量819GWh、単価を0.5万円/kWh、耐用年数10年と仮定した。車載用蓄電池の導入による火力発電電力量の年間削減量110TWhは再生可能エネルギーからの電力が車載用蓄電池を通じて代替する。この時の車載用蓄電池の所有者に支払う利用料金を、無償から8円/kWhまでパラメータ変化させて、CO₂削減コストの推移を試算した。なお、事業者側において複数の車載用蓄電池を束ねて電力ネットワークで利活用するための制御装置費は上記利用料金に含まれているものとし、PV・風力発電導入量などその他試算条件はCO₂削減ポテンシャル試算時と同じとした。

発電用の化石燃料費の最小化を目的関数としてMRを用いて解析した結果、2050年における年間消費化石燃料コストは、車載用蓄電池導入量0 GWhの場合には17,800億円、最大導入量819GWhの場合には10,200億円と算出された。

以上より、CO₂削減コストを以下の算出式により導出した。試算の結果、CO₂削減コストは、車載用蓄電池の利用料金の変化に伴い、-7,010円/tCO₂から10,600円/tCO₂まで変動した（図9）。

CO₂削減コスト [円/tCO₂]

$$\begin{aligned}
 &= \{ \text{車載用蓄電池本体コスト (円)} / \text{耐用年数 (年)} + \text{車載用蓄電池の所有者に支払う年間利用料金 (円/年)} + \text{車載用蓄電池が最大導入された場合の年間消費化石燃料コスト (円/年)} - \text{車載用蓄電池がない場合の年間消費化石燃料コスト (円/年)} \} / \text{年間 CO}_2 \text{削減ポテンシャル (tCO}_2\text{)} \\
 &= (819 \times 10^6 \text{kWh} / 10 \text{年} \times 0.5 \text{万円/kWh} + 110 \times 10^9 \text{kWh} \times 0 \sim 8 \text{円/kWh} \\
 &\quad + 10,200 \text{億円/年} - 17,800 \text{億円/年}) / 0.5 \text{億 tCO}_2 / \text{年} \\
 &= -7,010 \sim +10,600 \text{円/tCO}_2
 \end{aligned}$$

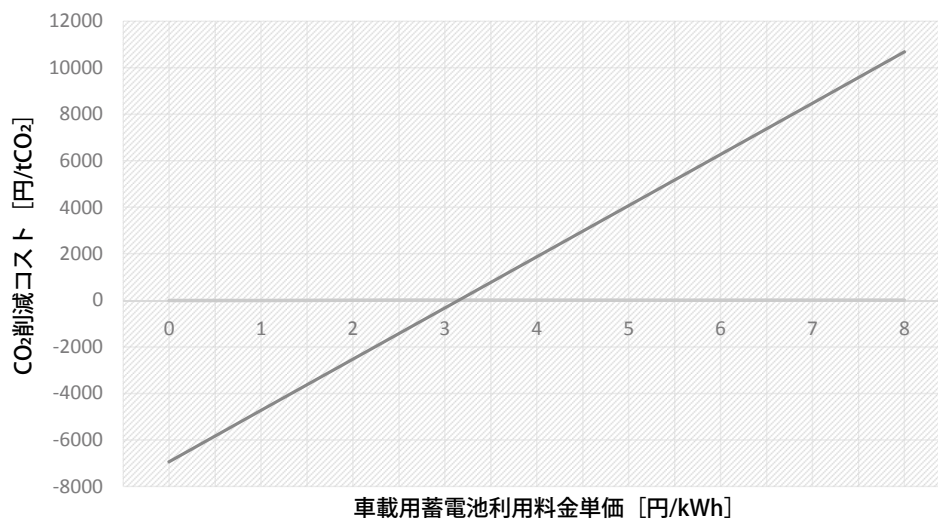


図9 車載用蓄電池利用料金の変化に伴うCO₂削減コストの変動

出典：NEDO 技術戦略研究センター作成（2021）

付録

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元

(※) 試算の種類

- A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース
- C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース
- D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
タイヤリサイクル	0.15	D	<p>9.3百万t/年 × (6.54 tCO₂/t - 4.98tCO₂/t) = 15百万tCO₂/年</p> <p>a) 革新技術の排出原単位: 4.98tCO₂/t- タイヤ (製造 + ゴム分ケミカルリサイクル)</p> <p>b) 従来技術の排出原単位: 6.54tCO₂/t- タイヤ (製造 + 焼却処分)</p> <p>c) 導入量: 9.3百万t/年 (廃タイヤの焼却処分量)</p> <p>d) 世界で焼却処分される廃タイヤのゴム分全量をケミカルリサイクルによりタイヤとして資源循環する場合を考える。</p> <p>CO₂削減ポテンシャル [tCO₂/年] = 導入量 [t/年] × (従来技術の排出原単位 - 革新技術の排出原単位) [tCO₂/t]</p> <p>において、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 導入量 (c): 世界の廃タイヤ処分量 3,090万トン^{*1} × 焼却処分率 15%^{*1} × 2050年移動輸送増加 2倍 = 9.3百万トン/年を導入量とする。 <p>排出原単位は、日本自動車タイヤ協会の「タイヤのLCCO₂算定ガイドライン ver. 2.0」^{*2}並びに、カーボンフットプリントデータベース^{*3}の値から試算した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 従来技術の排出原単位 (b): タイヤ製造 + タイヤ焼却時のCO₂排出量とした。ここで、天然ゴム分はカーボンニュートラルとせず排出に含めた。 ・ 革新技術の排出原単位 (a): タイヤのケミカルリサイクル時もカーボンブラックなどゴム分以外は利用できず燃焼されるとした。原料代替としてタイヤ中のゴム分 (天然ゴム + 合成ゴム) を利用するケミカルリサイクルであるが、技術は確立されていないため、ケミカルリサイクルによる合成ゴム原料製造におけるCO₂排出が石油を原料とする従来技術と同等とした。すなわち、従来技術と革新技術の排出原単位の差は、原料代替したゴム分に由来するタイヤ燃焼時のCO₂排出量とした。 <p>※1 : World Business Council for Sustainable Tire Industry Project, "Global ELT Management - A global state of knowledge on regulation, management systems, impacts of recovery and technologies", 2019</p> <p>※2 : タイヤのLCCO₂算定ガイドライン ver. 2.0 https://www.jatma.or.jp/environment/pdf/lcco2guideline.pdf</p> <p>※3 : カーボンフットプリントデータベース https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/database2012-2.html</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 類型 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
カーボンリサイクル/機能性化学品	0.5	D	<p>○ポリカーボネート 19百万トン/年 × 0.20tCO₂/t = 3.7 百万 tCO₂/年 = 0.04 億 tCO₂/年 a) 革新技術の排出原単位: 7.49tCO₂/t-DPC b) 従来技術の排出原単位: 7.69tCO₂e/t- (ポリカーボネート CFP) c) 導入量: 19百万トン/年 (2050年世界需要予測) d) 補足説明: 製品取込分 CO₂: 0.21tCO₂/t-DPC</p> <p>○ポリウレタン 76百万トン/年 × 0.33tCO₂/t = 25.3 百万 tCO₂/年 = 0.25 億 tCO₂/年 a) 革新技術の排出原単位: 4.30tCO₂/t-MDI b) 従来技術の排出原単位: 4.63tCO₂e/t- (ポリウレタン (軟質) CFP) c) 導入量: 76百万トン/年 (2050年世界需要予測) d) 補足説明: 製品取込分 CO₂: 0.35tCO₂/t-MDI</p> <p>○高吸水性高分子 (SAP) 28百万トン/年 × 0.58tCO₂/t = 16.2 百万 tCO₂/年 = 0.16 億 tCO₂/年 a) 革新技術の排出原単位: 1.64tCO₂/t- アクリル酸 b) 従来技術の排出原単位: 2.22tCO₂e/t- (アクリル酸 CFP) c) 導入量: 28百万トン/年 (2050年世界需要予測) d) 補足説明: 製品取込分 CO₂: 0.61tCO₂/t- アクリル酸</p> <p>CO₂フリー水素の調達が必要で、早期の社会実装が期待される機能性化学品のCCUとして代表されるポリカーボネート、ポリウレタン、高吸水性高分子 (SAP) について、以下の仮定の元で試算した。 CO₂削減ポテンシャル [tCO₂] = 導入量 [t] × (従来技術の排出原単位 - 革新技術の排出原単位) [tCO₂/t] において、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 導入量 (c): 2050年世界需要予測値を算出^{※1}。最大限の利用ポテンシャルとして、世界需要の全量をCCUすると仮定。 ・ 従来技術の排出原単位 (b): 代表的化合物のカーボンフットプリント (CFP) ^{※2} ・ 革新技術の排出原単位 (a): 革新技術の排出原単位 = CO₂分離回収の排出原単位 + 革新技術のエネルギー投入の排出原単位 - 製品に取り込まれるCO₂原単位 である。ここで、革新技術のエネルギー投入の排出原単位は従来技術の排出原単位と同等とした。よって、 (従来技術の排出原単位 - 革新技術の排出原単位) = (製品に取り込まれるCO₂原単位 - CO₂分離回収の排出原単位) ・ 製品に取り込まれるCO₂原単位は、代表原料化合物の分子量と取込まれるCO₂の分子量の割合から求めた。

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
カーボンリサイクル/機能性化学品 (続き)	0.5	D	<p>・CO₂分離回収に必要なエネルギーは1.0GJ/tCO₂とした^{※3}。ここでエネルギーは天然ガスエネルギー利用時の排出原単位^{※4} 50kgCO₂/GJを用い、分離回収の排出原単位は0.05tCO₂(排出)/tCO₂(回収)を用いた。</p> <p>※1：2015年エンブラ市場の展望とグローバル戦略、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の開発と市場2020(CMCリサーチ)、プラスチック原材料販売実績2019(日本プラスチック工業連盟)、ポリウレタン原料・製品の世界市場(富士経済)、『化学経済』2018年3月65巻4号「世界化学工業白書」(化学工業日報社)、新生日本触媒2020 NEXT(日本触媒)</p> <p>※2：CFPプログラム「CO₂換算量共通原単位データベース」 https://www.cfp-japan.jp/calculate/verify/database2012-2.html</p> <p>※3：カーボンリサイクル技術ロードマップを参考 https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190607002/20190607002-1.pdf</p> <p>※4：環境省温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度 https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2020_rev.pdf</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

A : 技術の普及率を仮定して試算したケース、B : 専門機関の試算を参考にしたケース

C : 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D : 最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 類型 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
カーボンリサイクル/炭酸塩	3.17	D	<p>10.3億 t 石灰石 / 年 × (0.44 - 0.132) tCO₂/t-石灰石 = 3.17 億 tCO₂/年</p> <p>a) 革新技術の排出原単位: 0.132 tCO₂/t-石灰石代替炭酸塩 b) 従来技術の排出原単位: 0.44 tCO₂/t-石灰石^{※1} c) 導入量: 10.3億 t/年 d) セメント製造時、石灰石 (CaCO₃, MgCO₃) の焼成時に CO₂が発生するため、天然石灰石の代替として、廃棄物由来の Ca, Mg に CO₂を吸収させ炭酸塩化して利用する革新技術を想定する。CO₂削減ポテンシャル [tCO₂/年] = 導入量 [t/年] × (従来技術の排出原単位 - 革新技術の排出原単位) [tCO₂/t]</p> <p>において、</p> <ul style="list-style-type: none"> 従来技術の排出原単位 (b): 石灰石を加熱した場合に脱離するプロセス由来 CO₂を想定した排出原単位を採用した。 革新技術の排出原単位 (a): 0.44 tCO₂stored/t-石灰石 × 0.30 tCO₂emi./tCO₂stored = 0.132 tCO₂/t-石灰石代替炭酸塩。 <p>廃棄物由来の CaO, MgO から 1 トンの石灰石代替のため炭酸塩物質を製造する場合、化学量論的に石灰石の加熱時に脱離するのと同量の 0.44t の CO₂を吸収するため、排出原単位は差し引き 0 となる。ただし、革新技術の反応過程での電力や熱についてはカーボンフリーとならない限り、CO₂排出は不可避であることと考慮し、CO₂分離回収と炭酸塩化反応での CO₂吸収損失分を 30%と想定し 0.3tCO₂排出/tCO₂固定として排出源単位を算出した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 導入量 (c): 47 (億 t-セメント/年) × 1.1 t-石灰石/t-セメント × 0.2 (普及率) = 10.3 億 t/年 IEA・セメントロードマップより、2050年時点での世界セメント生産量は約 47 億トン/年^{※2}であり、セメント 1 トン当たり、石灰石の使用量は 1.1 トンとして換算した。また普及率は、2030年時点から年 1% のペースで徐々に普及が進むとし、2050年時点で 20%とした。 <p>※ 1 : 環境省資料 https://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h2303/1.pdf</p> <p>※ 2 : International Energy Agency (IEA) & Cement Sustainability Initiative (CSI). 2018. Technology Roadmap. Low-Carbon Transition in the Cement Industry</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
超電導 (高圧地中送電ケーブル)	0.0084	A	<p>0.309 kgCO₂/kWh × 2.73 TWh/年 ≒ 0.0084 億tCO₂/年</p> <p>なお、CO₂削減ポテンシャルが少ないため、削減コスト計算は実施しない。</p> <p>c) 電力削減量 (世界) 2.73 TWh/年</p> <p>d) 電力のCO₂排出原単位としては0.309kgCO₂/kWhを採用した^{*1}。</p> <p>●高圧地中送電 (国内・世界)</p> <p>【1kmあたりの省エネ量 (MWh/ (年・km))】</p> <ul style="list-style-type: none"> 省エネ量 = (現行ケーブルシステム損失量) - (超電導ケーブル通電損失量) - (冷却システム動力) <p>である。275kV (POF) ケーブルと66kV (POF) ケーブルの2種類の更新を想定する。文献^{*2}より、以下のように評価される。</p> <ul style="list-style-type: none"> 275kV/1kA、3回線、送電容量1,440MVAの老朽更新として、同じケーブルではなく、超電導ケーブル66kV/4.0kA、3回線、送電容量1,440MVAで更新する場合、 359,784MWh/ (30年・20km) ^{*2} ≒ 600MWh/ (年・km) 66kVケーブルの老朽更新として、同じケーブルではなく超電導ケーブル66kVで更新する場合、文献^{*2}の275kV/1kA、3回線、送電容量1,440MVAを超電導ケーブル275kV/1.5kA、2回線、送電容量1,440MVAで更新する場合の1/4と同じ効果があると暫定的に仮定する。つまり、66kV/1kA、3回線、送電容量360MVAを66kV/1.5kA、2回線、送電容量360MVAで更新すると考えると、 51,496MWh/ (30年・20km) ^{*2}の1/4で、 ≒ 21.5MWh/ (年・km) <p>【省エネ量 (TWh/年)】</p> <p>最大導入ポテンシャルを計算する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大導入ポテンシャル (国内)：約15,000km (275kV級：約1,800km、66kV級：約13,200km) (77kV以上の地中電線路巨長：1,770km、66kV以下の地中電線路巨長：13,200kmより) ^{*3} 599.6MWh/ (年・km) × 1,800km + 21.5MWh/ (年・km) × 13,200km ≒ 1,360GWh/年 <p>普及率を50%と仮定すると、</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大導入ポテンシャル (国内) = 1,360GWh/年 × 0.5 = 0.68TWh/年 最大導入ポテンシャル (世界)：文献^{*4}より、国内の4倍とすると、 680GWh/年 × 4 ≒ 2.73TWh/年 <p>※1：CO₂ 排出原単位：IEA RTSの2050年の系統電力の排出原単位である0.309kgCO₂/kWhを採用</p>

持続可能な社会の実現に向けた技術開発総合指針 2020増補版

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

- A : 技術の普及率を仮定して試算したケース、B : 専門機関の試算を参考にしたケース
- C : 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース
- D : 最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
電 超 ケ 導 ー ー プ ル (高 続 地 中 送	0.0084	A	※2 : 平成24年度成果報告書 高温超電導電力機器の適用拡大と標準化に資するケーススタディ (平成25年2月、NEDO/三菱総合研究所) ※3 : 電気事業便覧 (平成26年版) ※4 : 「超電導機器の市場形成に資する技術戦略策定に向けた調査報告書 (平成27年2月、NEDO/三菱総合研究所)」における地中送電線の海外市場規模が国内比約3倍であるため、海外における地中送電線導入量は国内の3倍、すなわち世界は国内の4倍と仮定

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
超電導 (鉄道用直流電線)	0.046	A	<p>0.309 kgCO₂/kWh × 14.9 TWh/年 ≒ 0.046 億 tCO₂/年</p> <p>c) 電力削減量 (世界) 14.9 TWh/年</p> <p>d) 電力のCO₂排出原単位としては0.309kgCO₂/kWhを採用した*1。</p> <p>●鉄道用直流電線 (国内・世界)</p> <p>【1kmあたりの省エネ量 (GWh/(年・km))】</p> <p>・省エネ量 = (現行ケーブルシステム損失量) - (超電導ケーブル通電損失量) - (冷却システム動力) である。直流電区間の、電圧: 1,500 V、電流値: ≤ 12 kA/1回線の老朽更新を想定する。同じケーブルで更新するのではなく、超電導ケーブルで更新すると、 (69,589MWh) / (30年・3km) (イ) ≒ 773MWh/(年・km)</p> <p>【国内の省エネ量 (TWh/年)】</p> <p>最大導入ポテンシャル = 773MWh/(年・km) × (6,354.5km + 5,452.0km) × (人口集中地区の割合66%) (ロ) ≒ 6,020GWh/年</p> <p>普及率を50%と仮定して、</p> <p>・最大導入ポテンシャル (国内) = 6,020G × 0.5 ≒ 3.0TWh/年</p> <p>【世界の省エネ量 (TWh/年)】</p> <p>最大導入ポテンシャル = 国内省エネ量 (3,010GWh/年) × (世界の総線路長1,370,000km/日本の総線路長27,672km) × (人口集中地区の割合10%) (ハ)</p> <p>= (3,010GWh/年) × 49.5 × 0.1 ≒ 14,900GWh/年</p> <p>・最大導入ポテンシャル (世界) = 14,900G = 14.9TWh/年</p> <p>〈算出根拠〉</p> <p>(イ) について ※2の表3.2.5-6に記載のCO₂削減量 (26,096 tCO₂/3km)とCO₂排出原単位 (0.375kgCO₂/kWh) をもとに省エネ量 (kWh) を算出</p> <p>(ロ) について 国内直流電化線路長: JR→6,354.5km、民鉄→5,452.0km。うち人口集中地区に導入されることを想定。人口集中地区は全長の66%と想定*3。</p> <p>(ハ) について 世界の総線路長で按分して推計。都市地区に導入されることを想定。総線路長のうち、人口集中地区の割合は10%と仮定*3。</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

- A : 技術の普及率を仮定して試算したケース、B : 専門機関の試算を参考にしたケース
- C : 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース
- D : 最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
超電導 (鉄道用直流)	0.046	A	※1 出典: CO ₂ 排出原単位: IEA RTS の 2050 年の系統電力の排出原単位である 0.309kgCO ₂ /kWh を採用 ※2 出典: 高温超電導電力機器の適用拡大と標準化に資するケーススタディ (平成 25 年 2 月、NEDO/三菱総合研究所) ※3 出典: 超電導機器の市場形成に資する技術戦略策定に向けた調査報告書 (平成 27 年 2 月、NEDO/三菱総合研究所)

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
超電導 (MRI)	0.0002	A	<p>0.309 kgCO₂/kWh × 0.067 TWh/年 ≒ 0.0002 億 tCO₂/年 c) 電力削減量 (世界) 0.067 TWh/年 d) 電力の CO₂ 排出原単位としては 0.309kgCO₂/kWh を採用した*¹。</p> <p>● MRI (国内・世界)</p> <p>【国内における省エネ量 (TWh/年)】 低温超電導 MRI の老朽更新として、同じ MRI ではなく、高温超電導 MRI で更新したとすると、 低温 MRI にて冷却に用いる年間消費電力 (kWh/(台・年)) × 1/1000³ (TWh に変換) × (保有台数 5,990 台) × (1 - 高温超電導冷却時温度 (°C) / 冷却時の液体ヘリウム温度 (°C)) = 78,840 (kWh/(台・年)) × 1/1000³ × 5,990 台 × (1 - 263°C / 269°C) (イ) ≒ 0.011TWh/年</p> <p>【世界における省エネ量 (TWh/年)】 (0.011TWh/年) / 0.164 (ロ) ≒ 0.067TWh/年</p> <p>〈算出根拠〉 (イ) について 現行 MRI にて冷却に用いる年間消費電力は企業ヒアリングによる。我が国における MRI 保有台数は 5,990 台と仮定*²。 (ロ) について 世界の MRI 年間販売台数に占める日本の割合: 16.4%*²。</p> <p>*1: CO₂ 排出原単位: IEA RTS の 2050 年の系統電力の排出原単位である 0.309kgCO₂/kWh を採用 *2: 超電導機器の市場形成に資する技術戦略策定に向けた調査報告書 (平成 27 年 2 月、NEDO/三菱総合研究所)</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量(固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
超電導 (磁気誘導加熱装置)	0.022	A	<p>0.309 kgCO₂/kWh × 7.03 TWh/年 ≒ 0.022 億tCO₂/年</p> <p>c) 電力削減量(世界) 7.03 TWh/年</p> <p>d) 電力のCO₂排出原単位としては0.309kgCO₂/kWhを採用した*1。</p> <p>●磁気誘導加熱装置(国内・世界)</p> <p>【国内の省エネ量(TWh/年)】</p> <p>磁気誘導加熱装置の老朽更新として、同じ装置ではなく、超電導コイルを有する装置で更新したとすると、</p> <p>〔(磁気誘導加熱装置に超電導を適用することによる機器の省エネ量) (イ) - (20～30K程度にHTSコイルを保つための冷凍機損失) (ロ) ×1,000台 (ハ)〕</p> <p>= [(5MW × 8,760h/年 × 0.2 × 0.25) - (0.00724MW × 1 × 8,760h/年)] × 1,000台 ≒ (2,190 - 63) MWh/年 × 1,000台 = 2,130TWh/年</p> <p>【世界における省エネ量(TWh/年)】</p> <p>2,130.27GWh/年 × 2.3 + 2,130GWh/年 (二) = 7.03TWh/年</p> <p>〈算出根拠〉</p> <p>(イ) について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設備容量 5MW (1～10MWの中間値) ・稼働率 20%と仮定 ・省エネ率 25% (コイル部の消費電力が20～30%) <p>(ロ) について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・冷凍機損失(kW) = 7.2 + 0.04 = 7.24 (冷凍機稼働率100%) <p>※ HTSコイルの励磁電源の消費電力は考慮しない。</p> <p>(ハ) について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・導入台数は1,000台と仮定*2。 <p>(二) について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海外は日本の2.3倍と仮定*2。 <p>〈補足〉</p> <ul style="list-style-type: none"> ・使用冷凍機はSRP-082B2S-F70H (住友重機械工業、冷却能力40W@77Kの熱負荷に対応)を想定 ・消費電力は7.2kW (50Hz) ・定格通電電流は300A～450A ・冷凍機損失 = 冷却機消費電力 + 電流リード損失。300K→77Kの侵入熱に対する冷却機消費電力を想定。電流リード損失は36～40W程度。 ・コイル間接続部の発熱、クライオスタットの侵入熱については、いずれも電流リード侵入熱に比べて桁違いで小さいため、無視。

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

- A : 技術の普及率を仮定して試算したケース、B : 専門機関の試算を参考にしたケース
- C : 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース
- D : 最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
加熱装置 (続き) 超電導 (磁気誘導)	0.022	A	※1 : CO ₂ 排出原単位: IEA RTS の 2050 年の系統電力の排出原単位である 0.309kgCO ₂ /kWh を採用 ※2 : 超電導機器の市場形成に資する技術戦略策定に向けた調査報告書 (平成 27 年 2 月、NEDO/三菱総合研究所)

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の類型

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 類型 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
超電導 (産業用モータ)	0.21	A	<p>0.309 kgCO₂/kWh × 68 TWh/年 ≒ 0.21 億 tCO₂/年</p> <p>c) 電力削減量 (世界) 68 TWh/年</p> <p>d) 電力の CO₂ 排出原単位としては 0.309 kgCO₂/kWh を採用した*¹。</p> <p>●産業用モータ (国内・世界)</p> <p>【国内の省エネ量 (TWh/年)】</p> <p>産業用モータの老朽更新として、同じモータではなく、超電導モータで更新したとすると、 現行産業用モータの年間消費電力 (MWh/年) (イ) × 超電導化による効率向上分 (ロ) × 1/1000 (GWhに変換) - (20 ~ 30K程度に HTS コイルを保つための冷凍機損失) = [(0.7MW × 0.65 × 8,760h/年 × 25,500台) × 0.025 + (2.5MW × 0.65 × 8,760h/年 × 10,400台) × 0.035] × 1/1000 - (0.00724MW × 1 × 8,760h/年 × 35,900台) × 1/1000 ≒ 5.44TWh/年</p> <p>【世界における省エネ量 (TWh/年)】</p> <p>5.44TWh/年 ÷ 0.08 (ハ) ≒ 68TWh/年</p> <p>〈算出根拠〉</p> <p>(イ) について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 0.7MW 機が 2.55万台、2.5MW 機が 1.04万台導入されていると仮定*²。 ・ 年間稼働率：65%と仮定 <p>(ロ) について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高温超電導モータによる単位当たり効率向上 - 0.7MW 機 2.5%/台 - 2.5MW 機 3.5%/台 <p>(ハ) について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 日本のモータは世界のモータの 8%と仮定*²。 <p>※ 1：CO₂ 排出原単位：IEA RTS の 2050年の系統電力の排出原単位である 0.309 kgCO₂/kWh を採用</p> <p>※ 2：超電導機器の市場形成に資する技術戦略策定に向けた調査報告書 (平成 27年 2月、NEDO/三菱総合研究所)</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
超電導 (発電機)	0.22	A	<p>0.309 kgCO₂/kWh × 70.4 TWh/年 ÷ 0.22 億tCO₂/年</p> <p>c) 電力削減量 (世界) 70.4 TWh/年</p> <p>d) 電力のCO₂排出原単位としては0.309kgCO₂/kWhを採用した*1。</p> <p>●発電機 (国内・世界) 最大導入ポテンシャル</p> <p>【国内】</p> <p>発電機の老朽更新として、超電導発電機で更新したとする。2050年の日本国内発電量合計1,000TWh*2のうち、火力、水力、原子力等のタービン発電機によるものを75%とし、その発電機部分に超電導を適用することにより、発電効率が1%向上*3すると仮定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大導入ポテンシャル = 1,000TWh/年 × 0.75 × 0.01 = 7.5TWh/年 <p>普及率を20%と仮定すると、</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大導入ポテンシャル (国内) = 7.5TWh/年 × 0.2 = 1.5TWh/年 <p>【世界】</p> <p>同様に、2050年の世界発電量合計46,944TWh*4のうち、火力、水力、原子力等のタービン発電機によるものを75%とし、その発電機部分に超電導を適用することにより、発電効率が1%向上*3すると仮定する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大導入ポテンシャル = 46,944TWh/年 × 0.75 × 0.01 ÷ 352TWh/年 <p>普及率を20%と仮定すると、</p> <ul style="list-style-type: none"> 最大導入ポテンシャル (世界) = 352TWh/年 × 0.2 = 70.4TWh/年 <p>※1：CO₂ 排出原単位：IEA RTSの2050年の系統電力の排出原単位である0.309kgCO₂/kWhを採用</p> <p>※2：「2050年のCO₂大規模削減を実現するための経済およびエネルギー・電力需給の定量分析」電力中央研究所研究資料、No.Y19501、2019年4月、P21</p> <p>※3：武居秀実、「超電導発電機」、電気学会誌、124巻7号、2004年</p> <p>※4：IEA ETP2017のRTS 2050のGross electricity generation (Total) より</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

A：技術の普及率を仮定して試算したケース、B：専門機関の試算を参考にしたケース

C：政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース

D：最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
農畜産業からのメタン	0.58	D	<p>約0.58億 tCO₂eq./年</p> <p>a) 2.88億 tCO₂eq./年・消化管内発酵由来のメタン発生量 (畜産業など由来) を半減させる生物関連資材</p> <p>b) 5.75億 CO₂eq./年・消化管内発酵由来のメタン発生量 (畜産業など由来)</p> <p>c) 0.58億 CO₂eq./年・消化管内発酵由来のメタン発生量 (畜産業など由来)、普及率20%を想定</p> <p>d) 国内の農業分野にて生物関連資材等の機能性素材の活用により削減が期待されるメタンの総量は、約0.23億 tCO₂eq./年</p> <p>*「日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2020年度」から、消化管内発酵、家畜排泄物の管理、稲作を合計。</p> <p>生物関連資材等の機能性素材の活用による温室効果ガス排出削減の取り組み事例におけるGHG削減効果を参考にメタン削減効果を50%、国内実装率を20%と仮定して試算。</p> <p>$0.23 \text{億 tCO}_2\text{eq./年} \times 0.5 \times 0.2 = 0.023 \text{億 tCO}_2\text{eq./年}$</p> <p>推算したメタン削減量は、約0.023億 tCO₂eq./年 (国内)</p> <p>国内と世界での農業分野におけるメタン排出源の状況は同一ではないが、消化管内発酵由来のメタンについては、同様の前提で試算が可能と考えられ、世界のメタン排出量に適用すると、約0.576億 CO₂eq./年と推定される。</p> <p>(消化管内発酵由来のメタン発生量 5.75億 CO₂eq./年より)</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

- A : 技術の普及率を仮定して試算したケース、B : 専門機関の試算を参考にしたケース
- C : 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース
- D : 最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t 等, d) 補足説明
農耕地の亜酸化窒素 (N ₂ O)	8.8	A,B	<p>d) 専門機関として農研機構の協力のもと行った試算結果を掲載。</p> <p>世界の農耕地からの N₂O 発生を 80% 削減できる技術を想定して試算。削減対象の N₂O 源としては作物残渣 (2.2 億 tCO₂eq./年) と化学肥料 (7.0 億 tCO₂eq./年) (以上 FAO 公表のデータ (2017) に基づく)。さらに化学肥料合成時に発生する CO₂ (4.5 億 tCO₂/年) も削減対象に含む</p> <p>(https://cen.acs.org/environment/green-chemistry/Industrial-ammonia-production-emits-CO2/97/i24)。</p> <p>本技術の普及先として、地域による収入や食料事情の差を考慮し、Low-Income Food Deficit Countries (LIFDC) に該当する国 (全体の N₂O 排出量の 20% に相当) 以外に普及させることが可能と仮定し、見積もられる最大の削減ポテンシャルとして 8.8 億 tCO₂/年を試算した。</p>

表 CO₂削減ポテンシャルの例示とその諸元 (続き)

(※) 試算の種類

- A : 技術の普及率を仮定して試算したケース、B : 専門機関の試算を参考にしたケース
- C : 政府や業界の目標もしくは見通しに基づいて試算したケース
- D : 最大の技術の普及または設備設置を想定したケース

技術分野	CO ₂ 削減ポテンシャル 億 tCO ₂ /年	試算 種類 (※)	CO ₂ 削減ポテンシャルの計算根拠 a) 革新技術の排出原単位, b) 従来技術の排出原単位 (tCO ₂ /固有単位) c) 導入量 (固有単位), 固有単位: kWh, GJ, kg, t等, d) 補足説明
分散型エネルギーリソース (DER) を活用した電力ネットワークシステム	1.7	C	<p>国内CO₂削減ポテンシャル最大値0.5 [億 tCO₂/年] × (世界2050年火力年間電力発電量780 [TWh] ÷ 車載用蓄電池最大活用時における国内2050年火力年間電力発電量230 [TWh]) = 1.7 [億 tCO₂/年]</p> <p>d) シミュレーション解析ツール「広域電力需給調整プログラムMR」^{※1}を活用することで試算を実施。発電燃料コストの最小化を図る最適解を抽出。</p> <p>〈解析条件〉</p> <p>企業・団体・政策等の公表資料^{※2}を参考に以下数値を仮定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2050年EV/PHEV車載用蓄電池国内導入量：819GWh ・2050年定置用蓄電池国内導入量：20.4GWh ・2050年PV国内導入量300GW、風力国内導入量70GW ・各電力管内エリアへの導入率は需要比例 ・2050年国内需要電力量980.8TWh ・燃料費はWorld Energy Outlook 2019の公表政策シナリオにおける日本想定値(2018年度実質価格)に基づき設定。為替は2018年平均値(110円/\$)。 ・国内広域連系線の潮流考慮 <ul style="list-style-type: none"> -北海道/本州：1,800MW -相馬双葉：10,000 MW -50/60Hz連系：6,000 MW -紀伊水道直流連系：2.8 GW ・国内CO₂削減ポテンシャル最大値はシミュレーション解析結果により0.5 [億 tCO₂/年]と算出。 ・車載用蓄電池の電力ネットワークへの最大導入時における2050年国内火力年間電力発電量は、シミュレーション解析結果により230TWhを算出。 ・2050年世界火力年間電力発電量：IEA ETP2017のB2DSにおける2050年の年間火力発電電力量である約780TWhを採用。 <p>※1 : MRの詳細は https://www.jpbs.co.jp/doc/product05.pdf を参照。MRは、各種電源による需給調整や再生可能エネルギーの出力制御ならびに広域連系線によるエネルギー融通といった需給運用に加え、発電燃料費の最小化を図るなど経済性を考慮した解析機能を保有。</p> <p>※2 : 例えば、2020年版HEV, EV関連市場徹底分析調査(富士経済, 2020)、ETP 2017 (IEA, 2017)、JPEAビジョン・PV OUTLOOK 2050 (JPEA, 2020)、風力発電導入ロードマップ (JWPA, 2014)、長期エネルギー需給見通し (METI, 2015)、Ogasawara, y et al., Grand Renewable Energy 2018 Proceedings O-Pi-2-9等を参考にシミュレーション解析条件を設定。</p>

技術戦略研究センターレポート

TSC Foresight

持続可能な社会の実現に向けた
技術開発総合指針 2020 増補版

2021 年 3 月 31 日 発行

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(TSC)

- センター長 岸本 喜久雄
- センター次長 西村 秀隆
- 総合指針チーム

家村 正三、石橋 琢也、岡田 明彦、加納 周雄

佐伯 祐志、寒川 泰紀、土肥 英幸、仁木 栄

西田 啓之、藤本 辰雄、水無 渉、南 誓子、矢部 彰

(五十音順)

- 本書に関する問い合わせ先
電話 044-520-5150 (技術戦略研究センター)
- 本書は以下 URL よりダウンロードできます。
<https://www.nedo.go.jp/library/foresight.html>

本資料は技術戦略研究センターの解釈によるものです。
掲載されているコンテンツの無断複製、転送、改変、修正、追加などの行為を禁止します。
引用を行う際は、必ず出典を明記願います。