一般財団法人日本エネルギー経済研究所
第３回 エネルギー・環境論文コンテスト佳作論文

省エネ法と GX-ETS のベンチマークは両立するか

-脱炭素投資の「追加エネルギー」をどう評価するか-

早稲田大学大学院社会科学研究科政策科学論専攻修士課程１年　正躰幹人

第１章　二つの制度は何を測るのか

1.1　省エネと脱炭素の方向性は常に一致するか

2026 年春、中東情勢の悪化を受けて日本政府は国家備蓄原油を放出した。日本は原油をはじめ多くのエネルギー資源を海外に依存しており、供給途絶や価格高騰への耐性を高めるという意味で、省エネルギーは現在もエネルギー安全保障の中核である。一方、2050 年カーボンニュートラル（CN）を実現するには、同じ生産をより少ないエネルギーで行うだけでは足りない。化石燃料を非化石エネルギーへ転換し、製造プロセス自体を脱炭素化する必要がある。[1]

とりわけ鉄鋼業では、高炉のコークスが鉱石の還元剤であると同時に燃料としても機能するため、既存工程の効率改善だけではプロセス由来排出をゼロにできない。水素還元製鉄、直接還元鉄を利用する電炉、CO2 分離回収・貯留（CCS）等への転換が必要となる。こうした技術には、CO2 を減らすために追加の資源・エネルギーを要するものがある。[2]

ここで制度上の問題が生じる。省エネ法の合理化ベンチマーク（以下「省エネ BM」）は主に生産量当たりのエネルギー使用量を評価するのに対し、2026 年度から本格稼働する GX-ETS のベンチマーク（以下「ETS-BM」）は CO2 排出効率を基礎として排出枠を割り当てる。つまり、同じ企業活動を別の軸で同時に評価しているのである。

通常の高効率設備ではエネルギー使用量と CO2 排出量は同時に減るが、CCS や水素還元では CO2 排出原単位が改善する一方、エネルギー原単位が悪化し得る。脱炭素に必要な投資が、省エネ上は「悪化」と評価される可能性がある。[3]

1.2　省エネ・脱炭素の方向性の乖離

省エネはエネルギー使用量を減らした結果として CO2 削減が一定は見られるものの、完全な CN にはなり得ない。しかし、産業プロセスを大幅に変えることなく技術導入できるため、現場の変更が少なく、経済合理性もある。しかし、脱炭素は CO2 を減らすことのみを目的としており、経済合理性ではなく環境価値という別の指標での評価となる。これは、エネルギー効率と CO2 削減という政策目的が異なるために起こる目的上の乖離である。政府も 2026 年度第 1 回工場等判断基準 WG で、省エネ BM と排出量取引制度 BM の

1経済産業省（2026）「国家備蓄原油の放出を行います」2026 年 3 月 24 日。

2経済産業省・NEDO（2026）、3～4 頁。

3資源エネルギー庁（2026b）、10 頁；産業構造審議会イノベーション・環境分科会排出量取引制度小委員会（2025）、60～66 頁。

補正係数等の差を「極力揃える」方向を示している。どちらを優先して行うのかは企業の経営上の判断に加えて、国際的な価値観や政策・制度によって大きく左右される。

1.3 先行研究と本稿の分析枠組み

先行研究では、横山・葛西・内藤（2022）が高炉での水素利用による炭素消費削減を検討し、當房ほか（2013）は CO2 分離回収に必要な熱を製鉄所内の未利用顕熱・排熱で賄うための製鋼スラグ顕熱回収を検討している。中川・酒井・中野（2025）は、製鉄所全体のエネルギー収支を数学モデルで評価し、高炉単体ではなく製銑、製鋼、圧延からエネルギー利用までを統合して評価する必要性を示した。現状では高炉やコークス炉から副次的に出てくる副生ガスを用いて加熱や発電を行なっているため、製造プロセスの転換を行うことで、脱炭素技術が CO2 排出だけでなく製鉄所全体のエネルギー収支を変化させることを技術面から明らかにしている。他方、日本の省エネ BM と ETS-BM が同一投資に異なる評価を与える場合の制度接続は十分整理されていない。

そこで本稿は、「脱炭素投資によってエネルギー原単位と CO2 排出原単位が逆方向に動く場合、二つをどのように評価し、制度上接続すべきか」を問う。分析は、第一に両 BM の制度目的と算定構造を比較し、第二に燃料転換、CCS、水素還元製鉄について追加エネルギーが生じる機序を確認する。第三に高炉への CCS 導入を仮定したケース分析を行い、最後に制度接続のための評価指標と運用方法を検討する。[4]

第 2 章　省エネ BM と ETS-BM の違い

2.1 省エネ BM：少ないエネルギーで同じ生産活動を行う

省エネ法は 1970 年代のオイルショックを契機に制定されたエネルギー使用の合理化を促進する法律であり、省エネ BM とは、5 年度間平均のエネルギー消費原単位を年平均 1%以上改善する努力目標とは別に、業種ごとのエネルギー消費効率と「目指すべき水準」を定める制度である。目標は概ね上位 10～20%の事業者が満たす水準として設定される。高炉による製鉄業では粗鋼生産量当たりのエネルギー使用量が指標であり、2026 年 8 月時点の目指すべき水準は 0.531kl/t 以下である。基本思想は「同じ活動をより少ないエネルギーで行う」ことにある。[5]

また、2022 年の省エネ法改正では法目的に非化石エネルギーへの転換が加えられた。非化石燃料は化石燃料より発電効率が最大 2 割程度低下し得るとの想定から、定期報告のエネルギー消費原単位ではバイオマスやアンモニア等の投入量に 0.8 を乗じる補正が設けられ、2026 年度第 1 回工場等判断基準 WG では合理化 BM にも同様の考え方を適用する方向が示された。

---

4 中川二彦・酒井博・中野薫（2025）、865–878 頁；横山浩一・葛西栄輝・内藤誠章（2022）、335–342 頁；當房博幸ほか（2013）、683–692 頁。

5資源エネルギー庁（2026b）、10 頁。

2.2 ETS-BM：CO2 排出効率を基礎とする割当て

GX-ETS では、年間直接排出量 10 万 t-CO2 以上の事業者が制度対象となり、無償割当てにはベンチマーク（BM）とグランドファザリング（GF）が用いられる。BM は、同業種内の排出原単位を基礎に目指すべき水準を設定し、基準活動量に各年度の BM 水準を乗じて割当量を算定する。製品生産量当たりの排出原単位を設定しにくい工程では、投入燃料熱量当たりの排出量を用いる燃料 BM も採用される。GF は無条件に毎年の逓減率が設定されている。

したがって、ETS での中心的な問いは「同じ活動から生じる CO2 をどこまで減らせるか」である。割当量は制度開始直前 3 か年度の平均活動量を基礎とし、BM 水準は毎年度段階的に引き下げる設計である。省エネ BM が長期的なエネルギー効率改善を評価する制度であるのに対し、ETS-BM は排出枠という経済的価値と直接結び付くため、二つの BM が逆方向の評価を示す場合、その差は企業の設備投資判断にも影響し得る。[6]

2.3 鉄鋼業の現状

鉄鋼業は高炉、普通鋼電炉、特殊鋼電炉の 3 業態でそれぞれ BM が設定されており、普通鋼電炉と特殊鋼電炉では炉容積補正として製造製品の差によるばらつきを是正する措置が設けられている。それにより、高炉では未達のものの、普通鋼電炉では 7/32 社、特殊鋼電炉では 3/21 社が達成事業者となっている。なお、高炉製鉄においては大量生産であればあるほどエネルギー効率が向上するため原単位が改善するものの、粗鋼生産が減少傾向にあり、それに伴ってエネルギー原単位も悪化している。

こうした中、2026 年度から GX-ETS が義務化され、省エネ BM に加えて CO2 排出効率という別の評価軸が企業活動に本格的に作用することとなった。

表 1　省エネ BM と ETS-BM の比較

項目	省エネ BM	ETS-BM
主な目的	エネルギー効率・需給強靭性	CO2 排出削減
中心指標	エネルギー原単位	CO2 排出原単位等
活動量・システム境界	業種別に設定	業種別に設定
品種等の補正	業種別に設定	品種構成等を補正
脱炭素投資	追加エネルギーで悪化し得る	CO2 削減で改善し得る

出所：資源エネルギー庁（2026a, 2026b）、産業構造審議会排出量取引制度小委員会（2025）を基に作成。

第 3 章　脱炭素技術が生む乖離

3.1 非化石燃料への転換

最も分かりやすいのは非化石燃料への転換である。資源エネルギー庁は、バイオマスやアンモニア等では化石燃料と比べ発電効率が最大 2 割程度低下し得ることを制度設計上想定している。同じ有効エネルギーを得るための燃料投入が増えても、化石由来 CO2 を削減

6産業構造審議会イノベーション・環境分科会排出量取引制度小委員会（2025）、54 頁、60～66 頁。

できる場合、エネルギー原単位と CO2 排出原単位は逆方向に動く。省エネ法での 0.8 掛係数補正は、制度がこの問題を認識している例といえる。[7]

3.2 「CCS」CO2 を減らすためにエネルギーが必要

CCS も同じ構造を持つ。RITE が 2026 年に整理した製鉄向け CO2 分離回収技術では、30t-CO2/日規模の CAT-30 で 2.3GJ/t-CO2 を達成し、混合溶媒系吸収液では 1.6GJ/t-CO2 の性能に到達している。規模・試験条件が異なるため単純な技術ランキングには使えないが、少なくとも CO2 を分離回収する行為自体が追加エネルギーを必要とすることは明確である。回収量を増やせば CO2 排出原単位は改善する一方、その熱を外部から新たに供給する場合にはエネルギー原単位が悪化する。また、ここで示した値は主として分離回収工程のエネルギーであり、CO2 の液化、輸送、圧入等まで含む CCS 全体のエネルギー負荷ではない。制度評価に用いる場合には、どこまでを事業者の管理可能な工程として含めるかというシステム境界も明示する必要がある。[8]

3.3 水素還元製鉄：エネルギー供給側まで見る必要

NEDO の GI 基金事業では、高炉水素還元で CO2 削減率 50%以上、直接水素還元でも現行高炉法比 50%以上の CO2 排出削減を目標としている。水素還元では、水素吹込みによる吸熱反応に起因する炉内温度低下への対応や水素の加熱が必要であり、直接還元では大量の水素と、その製造や後段の電炉や加工プロセスに必要なクリーン電力を確保しなければならない。

横山・葛西・内藤（2022）は、高炉で水素を還元剤として利用することで炭素消費を削減できることを示している。他方、中川・酒井・中野（2025）は製鉄所全体のエネルギー収支をモデル化し、水素還元（高炉＋予備還元炉）のケースでは製鉄所全体の CO2 削減率を 45%と試算し、高炉だけでなく全生産工程とエネルギー利用を統合して評価する必要性を指摘している。なぜなら、従来の高炉で発生していた副生ガスが使用できなくなり、外部からのエネルギー調達が必要になるからである。したがって、製鉄所内の CO2 だけでなく、外部で必要となる燃料・電力・水素供給まで含めて評価しなければ、エネルギー安全保障上の負担を見誤る可能性がある。逆に、水素製造に必要なエネルギーを製鉄所の境界外に置くだけで省エネ指標が改善したように見えるなら、単なる負荷の移転を技術進歩と誤認することとなる。

表 2　脱炭素技術にみる CO2 削減と追加エネルギー

技術	CO2 削減側	追加エネルギー側	制度上の含意
非化石燃料転換	化石由来直接排出を削減	効率低下で投入量が増え得る	省エネと CO2 評価が逆方向になり得る
CCS（分離回収）	回収した CO2 分だけ排出を低減	1.6～2.3GJ/t-CO2 の性能・実績値	回収効果とエネルギー負荷を併記
水素還元製鉄	高炉・直接還元で大幅削減を目標	水素製造、予熱、電炉等に電力が必要	製鉄所外の供給負荷も確認

出所：資源エネルギー庁（2026b）、経済産業省・NEDO（2026）、余語（2026）、横山ほか（2022）、當房ほか（2013）を基に作成。

7資源エネルギー庁（2026b）、7 頁。

8 余語克則（2026）、7 頁。

第 4 章　制度接続の検討

4.1　判断指標「追加エネルギー／CO2 削減量」

判断指標として、同じ活動量・同じシステム境界の下で、脱炭素技術導入前を 0、導入後を 1 とし、次式を用いる。

「追加エネルギー／CO2 削減量＝（E1－E0）／（C0－C1）」［GJ/t-CO2］

E はエネルギー投入量、C は CO2 排出量である。CO2 排出量が減り、エネルギー投入量も減る場合は負の値となり、省エネと脱炭素の「両得」である。CO2 は減るがエネルギーが増える場合は正となり、その値が小さいほど 1t の CO2 を削減するための追加エネルギーが少なくなる。この指標は、エネルギー原単位と CO2 排出原単位を任意の重みで一つの点数へ統合せず、両方の情報を保持したまま乖離の大きさだけを示すことができる。
本指標は物理量を残すため、「何 GJ を追加して 1t-CO2 を削減したか」という技術的関係を継続的に比較することができる。

4.2　ケース分析：高炉での CCS 導入

提案指標を効果測定するため、省エネ BM の目指すべき水準 0.531kl/t にある仮想的な高炉製鉄所が、粗鋼 1t 当たり 0.5t-CO2 を分離回収するケースを仮定して計算する。
省エネ法の原油換算係数 0.0258kl/GJ で換算すると、0.531kl/t は約 20.58GJ/t である。RITE が示す 1.6～2.3GJ/t-CO2 を仮定として用いると、0.5t-CO2 の回収に必要な追加エネルギーは 0.80～1.15GJ/t-steel となる。[9]
これを全て追加エネルギー投入とみなせば、エネルギー原単位は約 0.552～0.561kl/t となり、BM 水準から約 3.9～5.6%悪化する。一方、同じシステム境界で見れば CO2 排出量は粗鋼 1t 当たり 0.5t 減少する。
すなわち、一つの脱炭素投資が CO2 側では改善、省エネ側では悪化という逆方向の評価を生み得ることを、ケース分析でも確認できる。[10]
もっとも、この追加エネルギーの全量が新たな外部調達を意味するわけではない。COURSE50 では、製鉄所内の未利用排熱を CO2 分離回収に活用する技術が検討されており、當房ほか（2013）は製鋼スラグの顕熱回収をその一例として示している。例えば追加熱の半分を未利用排熱で賄えるなら、外部から新たに確保すべきエネルギーは 0.40～0.58GJ/t に縮小する。したがって、総追加エネルギーだけを見て脱炭素技術を評価することも、逆に政策的補正によってエネルギー増を見えなくすることも適切ではない。

なお、本ケースの粗鋼 1t 当たり 0.5t-CO2 という回収量は制度効果を確認するための仮定であり、実際の回収量やエネルギー原単位は排ガス組成、設備規模、排熱利用可能量等に左右される。ここで重要なのは絶対値そのものではなく、同一条件の下で CO2 削減とエネ

---

[9] ケース分析については Chat GPT5.6 を利用、使用した理由は仮定を置いた計算を行うため。
10資源エネルギー庁（2026b）、10 頁；資源エネルギー庁（2021）；余語克則（2026）、7 頁。

ルギー増を同時に表示できることである。[11]

表 3　高炉への CO2 分離回収導入ケース

ケース	追加 E (GJ/t-steel)	省エネ原単位 (kl/t)	BM 水準比	CO2 削減 (t-CO2/t)
導入前	0	0.531	基準	0
1.6GJ/t-CO2 ケース	0.80	0.552	+3.9%	0.50
2.3GJ/t-CO2 ケース	1.15	0.561	+5.6%	0.50

注：粗鋼 1t 当たり 0.5t-CO2 を分離回収すると仮定。1.6GJ/t-CO2 は吸収液性能、2.3GJ/t-CO2 は CAT-30 での達成値であり、同一規模・同一条件の実証値ではない。原油換算係数 0.0258kl/GJ を使用。AI による試算。

4.3　政策原則：脱炭素効果と追加エネルギーを分離して評価する

省エネ BM と ETS-BM の評価が衝突した場合、本稿は 2050 年 CN を前提として、現実に即した省エネを主眼とする。生産活動の現場においては、あくまで現行の生産活動で予見性の高い省エネを優先すべきであり、2050 年 CN という中長期的な目標と並列して進めていくことが望ましく、技術開発のリードタイムを踏まえた上での現実的なトランジションを進めていくべきである。

高炉のように化学反応そのものが炭素に依存する生産工程では、既存プロセス内の省エネを積み重ねても排出ゼロには到達しない。水素を還元剤として用いたとしても、供給コストや水素製造プロセスでの排出という外部性に依存する面が大きい。ゆえに制度設計は「CO2 削減か省エネか」の二者択一ではなく、現時点で取りうる省エネを徹底することを優先し、技術開発ありきの CN は即時的かつ絶対的な指標にするべきではないと考える。そのため、あくまで省エネとして取り組むべきものは推進し、脱炭素に向けた動きとは区別するべきである。

この整理により、省エネ BM は脱炭素技術を排除する合否基準ではなく、同じ CO2 削減を達成できる複数技術の中でエネルギー負荷の小さい選択肢を識別し、追加インフラ需要を把握するためのガードレールとして位置付け直すことができる。

4.4　制度実装：共通データと「乖離案件」の追加報告

制度実装では新しい大規模報告制度を設ける必要はなく、省エネ法上の定期報告の際に、エネルギー原単位が悪化した際の要因分析において、脱炭素投資による悪化だけを乖離案件として追加確認する。企業は、導入前後の補正前エネルギー原単位、CO2 排出原単位、「追加エネルギー／CO2 削減量」を補足票に記載する。その上で、脱炭素技術が省エネ上の悪影響の要因になるならば、データ上は控除して従来プロセスのみを評価するなど、柔軟な措置を導入する。

2050 年 CN を GX という成長投資によって達成するためには業種・工程別の実績を蓄積する必要がある。1GJ の意味は熱、電力、水素で異なり、代替技術も業種によって異なるためである。制度開始後の数年間は分布を把握し、その後、同じ工程の実績、利用可能な代替技術、供給制約を踏まえてガードレールを更新する。こうした学習型の制度にすれば、

11 経済産業省・NEDO（2026）、4 頁；當房博幸ほか（2013）、683–692 頁。

脱炭素投資を一律に不利にせず、同時に過大なエネルギー需要を放置しない。加えて、補正係数には定期的なレビュー期限を置くべきである。技術進歩によって非化石燃料や CO2 分離回収の効率が改善した後も従来の補正を固定すれば、効率改善へのインセンティブを弱める可能性がある。補正は移行期の不利益を避ける手段とし、物理値の改善状況を踏まえて段階的に更新することが望ましい。

表 4　提案する評価・報告ルール

エネルギー原単位	CO2 原単位	基本的な扱い	必要な追加情報
改善	改善	通常どおり評価	原則不要
改善	悪化	CO2 悪化要因を確認	境界外への排出移転等
悪化	改善	移行投資として評価	二つの追加 E 指標・供給源
悪化	悪化	改善を要求	例外要因・境界設定

出所：筆者作成。

第 5 章　結論

本稿は、省エネ BM と ETS-BM が、同じ企業活動を対象としながら異なる政策目的を持つため、脱炭素投資に対して逆方向の評価を示し得る点を検討した。省エネ BM はエネルギー消費原単位を通じてエネルギー効率の改善を評価する一方、ETS-BM は CO2 排出原単位を通じて炭素効率の改善を評価する。そのため、燃料転換、CCS、水素還元製鉄のように、CO2 削減のために追加的なエネルギー投入を必要とする技術では、CO2 排出原単位が改善する一方で、エネルギー原単位が悪化する可能性がある。この評価の違いは制度の単純な不整合ではなく、省エネと脱炭素という異なる政策目的をそれぞれ計測することから生じる目的上の乖離と捉えることができる。

本稿のケース分析では、省エネ BM の目指すべき水準である 0.531kl/t にある仮想的な高炉製鉄所が、粗鋼 1t 当たり 0.5t-CO2 を分離回収する場合を想定し、AI に試算させた。その結果、CO2 排出量を削減する一方、分離回収に必要な追加エネルギーによって、物理的なエネルギー原単位は約 3.9～5.6%悪化し得ることが示された。このことから、脱炭素技術については CO2 削減効果のみを見るのでも、追加エネルギーの増加のみを見るのでもなく、その双方を分離して把握する必要がある。

以上を踏まえると、2050 年 CN へのトランジションでは、省エネと脱炭素のいずれか一方を絶対的な評価軸とするのではなく、時間軸と技術成熟度を踏まえて両者を並行して進めることが重要である。特に現時点での生産活動については、既存技術で確実に実施可能な省エネを継続して追求し、エネルギー効率の改善と供給安定性を確保する必要がある。一方、水素還元製鉄や CCS 等の脱炭素技術については、技術開発やインフラ整備のリードタイムを踏まえ、中長期的なトランジションとして導入を進めることが求められる。したがって、脱炭素投資による追加エネルギーを省エネ上の単純な非効率とみなすことも、逆に CN への寄与を理由として物理的なエネルギー増加を評価から消してしまうことも適切ではない。

制度上は、省エネ BM と ETS-BM を一つの指標に統合するのではなく、それぞれの目

的を維持したまま接続することが必要である。活動量、対象工程、システム境界等の比較条件については可能な限り共通化した上で、省エネ BM では補正前の物理的なエネルギー原単位を、ETS-BM では CO2 排出原単位をそれぞれ把握する。そして、脱炭素投資によって両指標が逆方向に動く場合には、「追加エネルギー／CO2 削減量」を用いて乖離の程度を示すとともに、外部から追加的に調達するエネルギー量とその供給源を確認する。これにより、省エネ性能そのものと脱炭素技術の導入に伴うエネルギー負荷を区別して評価することができる。

本稿の提案の核心は、省エネと脱炭素の優劣を一つの指標で決めることではなく、現時点で実施可能な省エネを着実に進めながら、脱炭素技術の導入に伴う追加エネルギーを別の情報として明示し、中長期的な CN への移行と接続することにある。省エネ BM をエネルギー効率のガードレールとして維持しつつ、ETS-BM による脱炭素のシグナルを並行して機能させることによって、エネルギー安定供給と CN の双方を考慮した現実的なトランジションが可能となるものと考える。

今後は、実際の事業者データを用いて、業種・工程別に省エネ原単位と CO2 排出原単位が逆方向に動く事例とその規模を検証する必要がある。特に水素還元製鉄では、水素製造や電力供給をどのシステム境界に含めるかによって評価結果が大きく変わり得る。省エネ BM と ETS-BM の実績データを同一の活動量・システム境界で接続し、追加エネルギーの量、要因、供給源を蓄積することで、将来的には業種・工程ごとの実績に基づいた制度改善につなげることができると考える。

以上

参考文献

経済産業省（2026）「国家備蓄原油の放出を行います」2026 年 3 月 24 日。
URL: https://www.meti.go.jp/press/2025/03/20260324004/20260324004.html （最終閲覧日：2026 年 9 月 19 日）
産業構造審議会イノベーション・環境分科会排出量取引制度小委員会（2025）『中間整理―排出枠の割当ての実施指針等に関する事項―』2025 年 12 月 19 日。
URL: https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/emissions_trading/pdf/20251219_1.pdf （最終閲覧日：2026 年 9 月 19 日）
資源エネルギー庁（2026a）「更なる省エネ・非化石転換の促進に向けた政策について」第 50 回省エネルギー小委員会 資料 1、2026 年 6 月 26 日。
URL: https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/050.html （最終閲覧日：2026 年 9 月 19 日）
資源エネルギー庁（2026b）「省エネ・非化石転換法に関する措置について」2026 年度第 1 回工場等判断基準 WG 資料 4、2026 年 8 月 18 日。
URL: https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/kojo_handan/index.html （最終閲覧日：2026 年 9 月 19 日）
資源エネルギー庁（2021）「改正省エネ法におけるエネルギー消費原単位の算定方法」第 36 回省エネルギー小委員会 資料 1、2021 年 12 月 24 日。
URL: https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/pdf/036_01_00.pdf （最終閲覧日：2026 年 9 月 19 日）
経済産業省・NEDO（2026）『「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトに関する研究開発・社会実装計画』2026 年 3 月 10 日。
URL: https://green-innovation.nedo.go.jp/project/utilization-hydrogen-steelmaking/resources/ （最終閲覧日：2026 年 9 月 19 日）
余語克則（2026）「CO2 分離回収技術開発の動向と RITE の取り組み」革新的 CO2 分離回収・有効利用技術シンポジウム、公益財団法人地球環境産業技術研究機構、2026 年 2 月 10 日。
URL: https://www.rite.or.jp/news/events/20260210RITE_sympo_yogo_handout_1.pdf （最終閲覧日：2026 年 9 月 19 日）
中川二彦・酒井博・中野薫（2025）「CO2 排出量を 80%以上削減する一貫製鉄所―カーボンニュートラル製鉄

所への挑戦―」『鉄と鋼』111巻13号、865–878頁。
URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/tetsutohagane/111/13/111_TETSU-2025-028/_pdf .TETSU-2025-028（最終閲覧日：2026年9月19日）
横山浩一・葛西栄輝・内藤誠章（2022）「含炭塊成鉱および水素還元の適用による高炉排出CO2の削減」『鉄と鋼』108巻6号、335–342頁。
URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/tetsutohagane/108/6/108_TETSU-2021-118/_pdf .TETSU-2021-118（最終閲覧日：2026年9月19日）
當房博幸・田恵太・桑山道弘・萩尾勇樹・薮田和哉・戸澤宏一・田中敏宏・森田一樹・松浦宏行・月橋文孝（2013）「顕熱回収に適した製鋼スラグ連続凝固プロセスの開発」『鉄と鋼』99巻12号、683–692頁。
DOI: https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.99.683（最終閲覧日：2026年9月19日）

（注釈）

本論文の作成に当たって、誤字脱字、文法、文章表現の改善を目的として生成AI(Chat GPT5.6)を校正・推敲のために使用した。なお、使用範囲は全体に及ぶため、本注釈をもって使用箇所の明示とする。