

2025 年 6 月 25 日

## 日米鉄鋼業における低炭素化、脱炭素化の取組み ー日本製鉄と U. S. スチールのシナジー効果とはー

中曽根平和研究所  
主任研究員

柿原 敏彦

### 1. はじめに

2023 年 12 月、日本製鉄㈱（2024 年粗鋼生産量世界 4 位<sup>1</sup>。以下、日本製鉄）は U. S. スチール（2024 年粗鋼生産量世界 29 位、米国内 3 位<sup>2</sup>）の買収について発表した。日本製鉄はこの買収の戦略的意義として、収益力の向上を目指し「米国および世界の高級鋼に対する需要の高まりへの対応力を強化」することを挙げるとともに、両社はカーボンニュートラルの実現という共通の目標を掲げており、脱炭素化の革新技术の開発を協業し「脱炭素化と持続可能な社会の実現に向けて、世界の鉄鋼業界をリード」することを挙げている<sup>3</sup>。

その後 2025 年 1 月米国の前バイデン大統領は、本買収が米国の国家安全保障を害することとなるとし、取引禁止の行政命令を発した<sup>4</sup>。これに対し、同月日本製鉄と U. S. スチールは、本買収に関する前バイデン大統領令および CFIUS（対米外国投資委員会）の審査無効を求める訴訟を提起するとともに、米国鉄鋼メーカーのクリーブランド・クリフス（2024 年粗鋼生産量世界 23 位、米国内 2 位<sup>5</sup>）等に対し共謀して行った違法行為に対する訴訟も提起した<sup>6</sup>。また、同月クリーブランド・クリフスが米国鉄鋼メーカーのニューコア（2024 年粗鋼生産量世界 16 位、米国内 1 位<sup>7</sup>）と連携し、U. S. スチールを買収する可能性があると報じられた<sup>8</sup>。

更に同年 4 月米国トランプ大統領は、1 月に発せられた行政命令に追加的措置を講じることが適切か否かの判断材料とするため、日本製鉄の U. S. スチール買収計画について CFIUS に審査を指示した<sup>9</sup>。その後米国トランプ大統領は CFIUS の審査結果を踏まえ、日本製鉄と U. S. スチールのパートナーシップを承認することとなり、同年 6 月 13 日両社は米国政府と国家安全保障協定を締結した。この協定では日本製鉄が 2028 年までに U. S. スチールへ約 110 億ドルの投資を行うことに加え、買収後の U. S. スチールのガバナンスや米国内での生産、通商等に関するコミットメントも定められた<sup>10</sup>。協定締結後、同年 6 月 18 日、日本製鉄は U. S. スチールの買収を行い、その後 U. S. スチールが米国政府へ黄金株を発行する手続きを経て、両社のパートナーシップが成立する運びとなった<sup>11</sup>。

本稿ではまず日米鉄鋼業の低炭素化、脱炭素化（以下、低・脱炭素化）の取組み状況を整理、考察する。次いでこれを踏まえ日本製鉄、U. S. スチール両社がパートナーシップに基づきシナジー効果を見込む低・脱炭素化の革新技术の開発について考察する。

## 2. 鉄鋼業の CO2 排出

2015 年第 21 回気候変動枠組条約締結国会議、COP21 において、「世界の気温上昇を産業革命前と比べて 2 度より十分低く保ち、1.5 度に抑える努力をする」、いわゆるパリ協定を採択した。その後、2021 年 COP26 において、2050 年カーボンニュートラル、温室効果ガスの排出を実質ゼロにすべく、関係各国は方向性を合意した。

これに対し日本は 2030 年度 46%削減、2035 年度 60%削減、2040 年度 73%削減（2013 年度比）、米国は 2030 年 50～52%削減、2035 年 61～66%削減（2005 年比）とそれぞれ中間目標を定め、両国とも 2050 年までに脱炭素化を実現すべく、低・脱炭素化に取り組んでいる<sup>12</sup>。ただし、米国はトランプ政権下において 2026 年 1 月にはパリ協定からの離脱が見込まれており<sup>13</sup>、この目標が無効となる可能性に留意する必要がある。

現状、主な温室効果ガスである CO2 の排出量は、関係各国がそれぞれ目標を定め低・脱炭素化に努めているにもかかわらず、産業革命以降の増加傾向は変わらず、2024 年においても世界全体で 376 億トン（以下、t）であり、減少傾向は見受けられない<sup>14</sup>。また、鉄鋼業は CO2 排出量のうち全体の約 7%、最終消費セクションの約 14%を占め、世界で CO2 を最も多く排出する産業である（2023 年）<sup>15</sup>。

鉄鋼業における CO2 排出は、主に自然界にある鉄鉱石を炭素により酸化還元する、いわゆる炭素還元製鉄の生産プロセスに起因する。このため鉄鋼業は、既存の炭素還元製鉄から低・脱炭素化を可能とする生産プロセスへの転換に迫られている。製鉄の製造工程のうち、主に粗鋼生産までの工程で CO2 が発生することから、まず世界の粗鋼生産量の状況を確認する。世界の年間粗鋼生産量は、1950 年約 2 億 t であったが、世界の人口増加、経済成長にあわせて 2004 年に 10 億 t、更に 2011 年に 15 億 t を超え、2021 年約 20 億 t をピークに 2022 年～2024 年も約 18～19 億 t と堅調に推移している<sup>16</sup>。2024 年の国別の粗鋼生産量では、中国 1,005 百万 t、インド 149 百万 t、日本 84 百万 t、米国 80 百万 t の順となっている<sup>17</sup>。

日米鉄鋼業は、生産規模では鉄鋼生産大国となった中国、更なる生産拡大が見込まれるインドに劣後するも、日米両国で依然世界の粗鋼生産の約 9%を占めている<sup>18</sup>。両国鉄鋼メーカーは、自動車産業等の需要家や社会的な要請もあり、近代製鉄発祥以降これまで培った製鉄技術を基に生き残りをかけ、低・脱炭素化のための生産プロセス転換の技術開発に鎬を削っている状況にある。以下、日米鉄鋼業の低・脱炭素化の取組みについて、生産プロセスを踏まえつつ、各鉄鋼メーカーの対応状況を整理し考察する。

## 3. 日米鉄鋼業の低・脱炭素化の取組み

### （1）日本

日本の粗鋼生産量は、1970 年に 0.9 億 t を超え、以降 2021 年までの間、景気動向に左右されることはあるものの、内需の後退局面には輸出により生産設備の稼働率を確保する対応も図り、概ね 0.9 億 t～1.2 億 t<sup>19</sup>の生産規模を維持してきた。2022 年～2024 年は、中国の鋼材輸出が 1 億 t<sup>20</sup>を超える規模となっており、その余波から日本の粗鋼生産は 0.8 億 t<sup>21</sup>に落ち込んでいる。中国においては、国内景気後退により鋼材需要が低迷するも、各鉄鋼メーカーは生産能力維持のため高水準の生産を継続せざるを得ず、大量の余剰鋼材を輸出している。これに対し中国政府は、過剰生産

能力を適正化する施策を講じるも、いまだ十分な効果が表れていない状況にある。

日本の鋼材輸出入の状況であるが、2020 年～2024 年の鋼材生産量は平均 80 百万 t であり、そのうち鋼材輸出は平均 32 百万 t である。つまり、鋼材生産の約 60%は内需向けで消費されるが約 40%は外需向けとなっている<sup>22</sup>。

このような状況下、米国は日本からの鉄鋼製品に対する輸入関税について、前バイデン政権下では特例措置として適用除外品目となっていたが、2025 年 3 月トランプ政権はこの特例措置の継続を認めず 25%の関税を課すこととなった<sup>23</sup>。更に同年 6 月、関税率を 25%追加し 50%に引き上げた<sup>24</sup>。日本の鉄鋼業において、米国への直接鋼材輸出量は約 1 百万 t<sup>25</sup>の規模であり関税による生産への影響は限定的と推測されるが、内需の約 2 割を占める自動車<sup>26</sup>に対する米国の追加関税の影響は深刻であり、この状況如何によっては年間粗鋼生産量が 80 百万 t を割り込むことも見込まれている<sup>27</sup>。

今後の生産需給の状況であるが、これまでの経済成長にともなう鋼材供給により国内の鋼材保有量は国民一人当たり約 12t<sup>28</sup> (2023 年度末)と相当程度蓄積されている。また、人口動態についても少子化にともない人口減が進むことも見込まれており<sup>29</sup>、内需の拡大は期待できない。一方、外需も中国における鋼材生産能力の適正化が進展するまでの間、輸出鋼材における製品と原材料の市況価格差、いわゆる販売マージンは低水準<sup>30</sup>が続くことが見通されている。このことから当面の間、従来型の内需低迷を外需により補完することも困難な状況が見込まれる。

このような状況において、日本の各鉄鋼メーカーは、低・脱炭素化への対応に加え、国内需要漸減に柔軟に対応できる生産プロセスへの転換が必要となる。

日本の粗鋼生産における生産プロセスは転炉 74%、電炉 26%である<sup>31</sup> (2024 年)。現状の日本の鉄鋼部門による CO2 排出量の 90%以上は、高炉メーカーにより排出されていることから<sup>32</sup>、以下、高炉 3 社の低・脱炭素化の取組みについて現状を整理し考察する。高炉各社は、日本の CO2 排出量削減目標にあわせて 2030 年 CO2 排出量 30%削減 (2013 年度比) を中間目標とし、2050 年でのカーボンニュートラルの実現に向け従来の炭素還元製鉄、高炉－転炉法から生産プロセスを転換し低・脱炭素化を図っている<sup>33</sup>。

第一に電炉法への転換、いわゆる電炉化への対応である。

高炉 3 社は既に各社とも高炉を廃止、電炉化を実施する方針を決定、検討している。日本製鉄は九州製鉄所八幡地区戸畑第 4 号高炉を、JFE スチール(株) (2024 年粗鋼生産量世界 14 位<sup>34</sup>。以下、JFE スチール) は西日本製鉄所倉敷地区第 2 号高炉の電炉化を実施し、(株)神戸製鋼所 (以下、神戸製鋼所) も加古川製鉄所のいずれかの高炉の電炉化を検討するとしている<sup>35</sup>。これまでも内需減少の見通しを踏まえ、生産拠点、設備の統廃合を行ってきたが、これにより 2023 年 3 月末には 21 基であった国内高炉の稼働数は、検討中の神戸製鉄所の高炉の電炉化も実施されると 15 基まで減少することが見込まれている<sup>36</sup>。

電炉化のメリットとして、高炉－転炉法では CO2 排出量が約 2.0t/粗鋼 t であるのに対し、スクラップ－電炉法の CO2 排出量が約 0.5t/粗鋼 t であることから、生産プロセス転換による低炭素化が見込まれる<sup>37</sup>。加えて、電炉の主な CO2 排出要因は溶解用の電力によるものであり、発電部門の脱炭素化の進展にあわせて脱炭素化の実現も視野に入ってくる。また、高炉は生産量変動への弾力性に乏しいこともあり、急な停機、再稼働を可能とする電炉へ転換することで今後の需要増減に対

し、よりフレキシブルな生産調整を行うことが可能となる。

一方、電炉化においては2つの技術課題を抱えている。1つ目は電炉の原料となるスクラップに不純物が混ざりやすく自動車向け等の高級鋼材の製造が困難であること、2つ目は既存電炉の炉容（炉の体積）が高炉に比べ小さく生産性が低いことである。これら品質確保と生産性向上の課題に対し、大型電炉を用いて高級鋼製造を可能とするべく、技術開発に取り組んでいる。具体的に日本製鉄、JFE スチールでは、電炉での高級鋼製造に向け原料のすべてをスクラップとせず一部を直接還元炉にて製造された還元鉄とすることにより、一定の品質を確保する。加えて、日本製鉄では高効率脱リン・脱窒素技術の開発を、JFE スチールでは高着熱バーナーや高速溶解技術、誘導予熱等の革新技術の確立を図り、まず品質確保の課題の解消を実現する。その後炉容の大型化を図り、それぞれ JFE スチールは 2028 年度より、日本製鉄は 2030 年度までの実機化を目指している<sup>38</sup>。神戸製鋼所は、還元鉄を高効率で溶解し高級鋼を製造できる大型革新電炉への転換を検討しており、早ければ 2025 年度には方針を決定し 2030 年代での電炉化を企図している<sup>39</sup>。

このように高炉各社は、電炉化に向けた技術課題への対応を進めているが自社のみで解決できない課題も抱えている。脱炭素電源による安価安定的な供給電力の確保である。そもそも電炉は高炉に比べアークによる溶解のために多量の電力が必要となる。また、従来の高炉 - 転炉法の場合、コークス製造、高炉、転炉の各工程で発生する副生ガス（CO）を燃料に製鉄所内で火力発電を行い、製鉄所外からの供給電力の購入量を抑えることができていた。しかしながら、電炉化後は概ねすべての使用電力を外部供給に頼らざるを得ない。このため電炉化には、単なる高炉と電炉の設備使用電力の差以上に電力供給の確保が必要となる。その規模は大きく JFE スチールでは西日本製鉄所倉敷地区の電炉化にともない原子力発電所 0.5 基分の電源が必要と試算している<sup>40</sup>。この規模の電力供給量の増加には従来の送電網では対応できず、電力グリッドの増強対応も必要となる<sup>41</sup>。また、電炉操業には出力が安定した電力が必要であり、JFE スチールでは同じ脱炭素電源だとしても太陽光、風力の再生可能エネルギー電源では気候により出力が変動するため安価で安定的な供給電力の確保は厳しく、原子力発電の拡充の必要性を訴えている<sup>42</sup>。今後、政府および電力会社と協議、連携のうえ、供給電力の確保に向けた対応を検討する必要がある。

第二に高炉の還元材の炭素から水素への置換、いわゆる高炉水素活用への対応である。

日本製鉄では高炉水素還元の水素還元技術の開発を進めており、東日本製鉄所君津地区の水素還元試験炉（炉容 12m<sup>3</sup>）で鉄鉱石の還元材としてコークス、炭素に加え、加熱した水素を使用して CO<sub>2</sub> を削減する取り組みを 2022 年 5 月より実施している。試験炉において既存の炭素還元製鉄に対し CO<sub>2</sub> 排出量を 2022 年 22%、2023 年 33%、2024 年 12 月にはこれまでの世界最高水準を更新する 43%削減を確認するに至っている。原料である鉄鉱石を酸化還元する際、炭素還元は発熱反応であるが水素還元は吸熱反応であり、熔融しにくい技術課題を抱えている。この課題に対し加熱水素利用時の炉内の熱バランスを改善し、CO<sub>2</sub> 排出量 43%削減を実現した<sup>43</sup>。更に CO<sub>2</sub> 排出量を 50%以上削減する技術開発を進め、2026 年からは試験炉の約 400 倍の炉容である大型高炉、君津地区第 2 高炉での実機実証を開始する。その後、実証結果を踏まえ 2030 年までに製鉄所内発生の水素を使用した高炉水素活用の実用化を、2040 年頃までには製鉄所外からの水素を使用した同技術の確立を目指している<sup>44</sup>。

これら高炉での水素活用では、低炭素化は進展するも脱炭素化までは至らないため、あわせて止

む無く発生する CO2 について CCS (Carbon Capture and Storage : CO2 回収・貯留) の対応が必要となる。CCS 実施に向け、2023 年 GX 推進法に基づき GX 推進戦略(脱炭素成長型経済構造移行推進戦略)が閣議決定され<sup>45</sup>、2024 年 CO2 の貯留事業に関する法律が成立した。この流れに則り、政府は 2023 年度より CO2 の分離・回収から輸送、貯留までのバリューチェーン全体を一体的に支援する「先進的 CCS 事業」を推進している。本事業では 2030 年までに CO2 年間貯留量 600~1,200 万 t の確保に目処をつけることを目指しており、これに向け国内 5 件、アジア大洋州地域 4 件で約 2,000 万 t/年の CO2 貯留を目標としたプロジェクトを 9 案件選定した<sup>46</sup>。このうち日本製鉄および JFE スチールは 5 案件に参画し、製鉄所で発生した CO2 を船舶およびパイプラインにより輸送し、各地で貯留すべく、現在 2024 年より 3 カ年計画で基本設計作業等を進めている。具体的には日本製鉄は九州製鉄所大分地区、東日本製鉄所君津地区、名古屋製鉄所の発生 CO2 を日本海側東北地方、首都圏、大洋州での貯留を、JFE スチールは東京湾臨海コンビナート、瀬戸内地域の製鉄産業の発生 CO2 をマレーシアマレー半島沖北部、同サラワク沖での貯留を目指している<sup>47</sup>。

第三に水素還元製鉄への対応である。

水素還元製鉄は、還元材を炭素から 100%水素へ置換することにより還元鉄製造時の脱炭素化を実現し、かつリサイクル法であるスクラップ電炉法と違い、世界人口の増加および経済成長にともない必要となる鋼材保有量、蓄積量の増加に資する還元鉄を製造できることから、グリーン水素、ブルー水素といった脱炭素水素の確保が必要ではあるものの、目指すべき生産プロセスである。

この実現に向け、日本製鉄は縦型シャフト炉、いわゆる直接還元炉での水素還元による還元鉄製造を目指している。具体的には縦型の炉の上部より鉄鉱石 (Fe2O3) を投入し、下部より加熱水素 (H) を吹き込み、還元反応後に上部より水蒸気 (H2O) を、下部より固形の還元鉄 (Fe) を取り出す。この実用化に向けこれまで研究施設の試験炉において時間当たり還元鉄 25kg 製造の試験を行ってきた。今後、2025 年秋に時間当たり還元鉄 1t 製造の小型試験炉での試験を開始し、2027 年度に更に大型試験炉での開発を進め、2040 年頃の実機化を見据えている<sup>48</sup>。これら水素還元製鉄によって製造された還元鉄は、前述の電炉化後の大型電炉や水素を活用する高炉において原料として使用することにより、更なる低炭素化効果も見込まれることから、早期の実用化が望まれる。

水素還元製鉄の実用化には、水素直接還元炉の実機化対応に加え、大きく 2 つの課題がある。1 つ目は製造された還元鉄が高炉と違い固体であるため、溶解工程の追加が必要となり生産性が低下すること、2 つ目は既存の直接還元技術では、原料使用が世界の鉄鉱石供給量の 10%以下である高品位鉄鉱石に限られ、コスト増加が見込まれることである。これら生産性の低下、コスト増加の影響をミニマイズする対応も並行して進めている。具体的には連続操業かつ大容量により生産性を確保し、あわせて不純物除去能力を持ち高炉同様に低品位原料使用を可能としつつ、品質、コスト競争力を維持できる大型電気溶融炉 (メルター) の開発であり、こちらは 2030 年までの実機化技術の確立を目指している<sup>49</sup>。

他方、JFE スチール、神戸製鋼所は海外にて、将来の水素転換も視野に入れた天然ガス直接還元炉による還元鉄製造プロジェクトの検討を進めている。これらプロジェクトは、いずれも還元材となる天然ガスの安価安定的な供給が見込まれる中東地域を生産拠点として選定している。具体的には JFE スチールはアラブ首長国連邦にて伊藤忠商事(株)と現地鉄鋼メーカー等とともに、神戸製鋼所はオマーンにて三井物産(株)と現地行政機関とともに、日本国内での使用分も含め低炭素還元鉄を生

産する。また、神戸製鋼所は自社エンジニアリング部門において水素転換も可能な天然ガス直接還元炉、MIDREX プロセスを保有しており、この設備を導入して将来的に生産量を拡大させていくことも視野に入れつつ、まずは年産 500 万 t の還元鉄製造を検討している<sup>50</sup>。

## （２）米国

米国の粗鋼生産量は産業革命後、1900 年には既に英国を抜いて世界 1 位の生産規模となり、1970 年旧ソビエト連邦にその座を明け渡すまでその地位を維持していた。その後 1973 年 1.4 億 t でピークを迎え、減少に転じ 1982 年 1.0 億 t を割り込むも、以降現在に至るまで概ね 0.7 億 t～1.0 億 t の生産規模を維持している。また、2024 年の生産プロセスは転炉 28%、電炉 72%である<sup>51</sup>。

米国と日本はともに 1970 年から約半世紀にわたり同水準の粗鋼生産規模を維持してきたが、両国の鋼材需給の状況は大きく違っている。米国は自国内の供給で需要を賄うことができず、鋼材輸入国である。2020 年～2024 年では国内鋼材使用量平均 90 百万 t/年に対し、鋼材輸入量は平均 26 百万 t/年であり、内需の約 30%を輸入に頼っている<sup>52</sup>。2024 年の輸入相手先国、地域は、カナダ 6.6 百万 t、ブラジル 4.5 百万 t、EU 4.3 百万 t、メキシコ 3.5 百万 t、韓国 2.8 百万 t、ベトナム 1.4 百万 t、日本 1.2 百万 t、台湾 1.0 百万 t、中国 0.5 百万 t の順であり、これらで輸入全体の約 90%を占めている<sup>53</sup>。また、鋼材需要に影響を及ぼす人口動態であるが、こちらも日本および他の主要先進国とは大きく異なっている。米国は先進国でありながら、移民政策の影響もあり依然として人口は当面の間、増加が見通されており<sup>54</sup>、今後も自動車用等の高級鋼材需要の伸長が見込まれている。このような状況の下、米国の各鉄鋼メーカーは、低・脱炭素化への対応に加え、拡大する国内需要に対応しつつ、高品質、高付加価値の鋼材製造を可能とする生産プロセスへの転換が必要となる。

まず鉄鋼業の低・脱炭素化に向けた政策を整理する。

2022 年 8 月、前バイデン政権下で「インフレ抑制法（IRA）」が成立した。IRA では歳出 4,990 億ドルのうち、約 8 割を気候変動対策が占める。鉄鋼業の低・脱炭素化に資する IRA の施策としては、①大気汚染削減のための設備導入への税額控除、②原子力発電、クリーン水素などの製造に関する税額控除制度新設、③CCS 関連施設への既存税額控除額の拡充などが挙げられる。また、鉄鋼業の主要な需要家である自動車産業に関しては、電気自動車購入にともなう税額控除を行うこととなった<sup>55</sup>。現在、トランプ政権下では IRA 見直しの動きもあり<sup>56</sup>、その動向を注視する必要がある。

現状、米国における CO2 排出量のうち産業部門は 30%を占めている。産業部門のうち化学 20%、石油精製 17%、鉄鋼 7%、食料 6%、セメント 2%で約 5 割の CO2 を排出している<sup>57</sup>（2020 年）。このような状況を踏まえ、米国でのカーボンニュートラルの実現には、産業部門の低・脱炭素化を計画的に実施する必要があり、政府は 2022 年 9 月「産業部門脱炭素化ロードマップ」を発表した。

ロードマップでは、脱炭素化が必要な産業を鉄鋼、化学、食品と飲料、石油精製、セメントの 5 つの分野に定め、各産業で CO2 排出量削減のため①エネルギー効率化、②産業の電化、③LCFFES（Low-Carbon Fuels, Feedstocks, and Energy Sources：低炭素燃料・原料・エネルギー源への転換）、④CCUS（Carbon Capture, Utilization and Storage:CO2 回収・利用・貯留）の 4 つの変革を推進すべく、2050 年までの道程を示した<sup>58</sup>。鉄鋼分野においては、2050 年までに鋼材生産量 12%増加を見通すも、鉄鋼業の温室効果ガス排出量はニア・ゼロを見込んでいる。温室効果ガス削減の 2/3 以上は、エネルギー効率化、低炭素、無炭素原材料への切替え、電化により実現する。あわせて水

素還元製鉄、鉄鋼石の電気分解、CCUS などの革新的技術、および電解装置の効率向上には、積極的な研究開発、資源投入が必要であるとしている<sup>59</sup>。

その後政府は、2024 年 3 月エネルギー集約型産業の脱炭素化を目的とした「産業実証プログラム」として 33 の実証プロジェクトに対し最大 60 億ドルを拠出することを発表した。そのうち鉄鋼関連では 6 つのプロジェクト、総額約 15 億ドルが対象として選定された<sup>60</sup>。

次に米国鉄鋼業全体の現状の生産プロセス、および CO2 排出状況を整理する。

米国の 2024 年の粗鋼生産量は 80 百万 t である。その内訳を鉄鋼メーカー別でみると電炉、いわゆるミニミルメーカーのニューコアの 21 百万 t が最も大きく、次に高炉および電炉メーカーのクリーブランド・クリフス 16 百万 t、U.S. スチール 14 百万 t と続き、上位 3 社で粗鋼生産量全体の約 2/3 を占めている<sup>61</sup>。米国は、近代鉄鋼業の歴史が古く鋼材保有量、蓄積量が多分にあり、スクラップー電炉法での製造に適しており、かつ需要家の製造拠点に近接し顧客の求める鋼材を適時適切に供給できるミニミルが発展してきた。結果、電炉法による生産は拡大し全体の 7 割を超える粗鋼生産規模を占めるに至り、相対的に高炉ー転炉法による生産は縮小し米国内での高炉メーカーはクリーブランド・クリフスと U.S. スチールの 2 社のみとなった<sup>62</sup>。

このように米国鉄鋼業は主要先進国のなかでも電炉化が進んでいることもあり、粗鋼生産量 t 当たりの CO2 排出量が中国、インドはもとより日本、EU に比べても少なく、既に 1t を下回っている。また、エネルギー使用割合においても CO2 排出量が比較的少ない天然ガス（主成分メタン（CH<sub>4</sub>））が 37%と最も多く、従来型の高炉ー転炉法で還元材として使用する石炭、コークス（C）は 30%に留まっており、このことから電炉化にともない低炭素化が進んでいることがわかる<sup>63</sup>。

続いて主要鉄鋼メーカーの生産体制、CO2 排出状況と低・脱炭素化の取組み、および最先端技術の開発状況を整理、考察する。

まずニューコアであるが、生産体制として電炉、ミニミルの製鉄所を 26 箇所保有しており（含むメキシコ）、年間生産能力は鋼板ミル 6 箇所 14.6 百万 t、棒鋼ミル 15 箇所 9.6 百万 t、厚板ミル 3 箇所 3.6 百万 t、構造用鋼ミル 2 箇所 3.3 百万 t、あわせて約 31 百万 t の規模を有している。加えて、高級鋼材製造に必要な原料となる還元鉄製造拠点もルイジアナ州およびトリニダード・トバゴに保有している<sup>64</sup>（2024 年）。

CO2 排出の状況は、主な生産プロセスがスクラップー電炉法であるため、熱延鋼板生産 t 当たり CO2 排出量は 0.76t（含む電力間接排出および原料製造時排出）であり、世界の鉄鋼業平均 1.92t、世界の高炉法平均 2.32t に比べ大幅に下まわっている<sup>65</sup>（2024 年）。低・脱炭素化については、取組みの対象範囲を外部原材料調達、輸送に広げ、熱延鋼板生産 t 当たり温室効果ガス排出量を 2030 年で約 10%削減することを中間目標とし、2050 年には約 90%削減、ニア・カーボンニュートラルの実現を目指している<sup>66</sup>（2023 年比）。

今後の対応として、生産工程においては電炉の低炭素操業、再加熱炉の効率化等、省エネによる低炭素化に取り組む。また、CCS への対応として、エクソンモービルと年間最大 80 万 t の CO2 回収、貯留に関する契約を締結し、2026 年よりルイジアナ州での還元鉄製造、天然ガス直接還元炉から発生する CO2 をパイプラインで輸送し貯留を開始する。加えて、電力間接排出による CO2 排出量削減のため、再生可能エネルギー電源の電力購入契約を締結するとともに、核融合発電に関するスタートアップ企業であるヘリオンへ投資し核融合、核分裂技術に基づく先進的な核融合発電所より 500

百万ワットの電力供給を受けるべくプロジェクトを推進している<sup>67</sup>。

次にクリーブランド・クリフスであるが、生産体制として製鉄所を 11 箇所保有しており（含むカナダ）、年間生産能力は高炉 8 基 7 箇所で 21.6 百万 t、電炉 5 基 4 箇所で 1.4 百万 t、あわせて 23 百万 t の規模を有している。生産能力に占める高炉－転炉法比率は 94% である。加えて、高炉、転炉および電炉での原料となる還元鉄製造拠点もオハイオ州に保有している<sup>68</sup>（2024 年）。また、2025 年 5 月には、生産能力を維持しつつ生産効率の向上、コスト削減を図るべく、ミシガン州ディアボーン製鉄所の高炉を休止し、オハイオ州クリーブランド製鉄所の第 6 高炉を再稼働することを公表した<sup>69</sup>。

C02 排出の状況は、主な生産プロセスが高炉－転炉法であるため、粗鋼生産 t 当たりの C02 排出量は 1.94t（含む電力間接排出および原料製造時排出）であり、ニューコアより比較劣位である<sup>70</sup>（2024 年）。低・脱炭素化については、高炉において高品位原料であるペレットや天然ガスを使用することなどにより低炭素化を進め、温室効果ガス排出量を 2030 年 25%削減（2017 年比）とした当初目標を 2023 年に前倒しに達成した。その後、取組みの対象範囲を上流工程の原材料調達にまで広げ、粗鋼生産 t 当たり温室効果ガス排出量を 2035 年で約 30%削減することを中間目標とし、2050 年でのニア・カーボンニュートラルの実現を目指している<sup>71</sup>（2023 年比）。

今後の対応として、高炉法生産プロセスにおいては 2024 年にはインディアナ州バーンズハーバー製鉄所の第 7 高炉で実機への水素吹込み試験を行い、高炉水素活用の実用化に向けた取組みを進めている。また、水素還元製鉄の導入に向け、前述の政府による「産業実証プログラム」として 5 億ドルの補助金を受け、オハイオ州ミドルタウン製鉄所の高炉 1 基を水素置換可能な直接還元炉と電炉 2 基の生産プロセスに転換し溶銑製造時の C02 削減を図るプロジェクトを推進している。一方、電炉法の生産プロセスにおいては、同様に「産業実証プログラム」として 7,500 万ドルの政府補助金を受け、ペンシルバニア州バトラー製鉄所の電磁鋼板製造用の再加熱炉の燃料を天然ガスから電化し温室効果ガスの直接排出を削減する対応を図っている<sup>72</sup>。

次に U. S. スチールであるが、生産体制として製鉄所を国内に 5 箇所保有しており年間生産能力は高炉 8 基 3 箇所 13.2 百万 t（うち 2 基 1 箇所 2.8 百万 t は休止中）、電炉 5 基 2 箇所 7.2 百万 t、あわせて約 20 百万 t の規模を有している。その他、スロバキアにおいてコシツェ製鉄所を保有し生産能力は高炉 3 基、年間 5.0 百万 t である<sup>73</sup>（2024 年）。

C02 排出の状況は、国内拠点での粗鋼生産 t 当たり C02 排出量は 1.82t（含む電力間接排出）であり、クリーブランド・クリフスと同水準である<sup>74</sup>（2023 年）。低・脱炭素化については、粗鋼生産 t 当たり温室効果ガス排出量を 2030 年で 20%削減することを中間目標とし、2050 年でのカーボンニュートラルの実現を目指している<sup>75</sup>（2018 年比）。

U. S. スチールは、これまで生産状況に応じ設備集約によるコスト競争力の強化とともに電炉の拡大を図り、主に生産プロセス転換、変更による低炭素化を行ってきた。まず電炉については、アラバマ州フェアフィールド製鉄所では 2015 年に高炉を廃止、2020 年に年産 90 万 t の電炉を新設した。また、アーカンソー州では電炉、ミニミルのビッグリバーズチールを 2019 年に買収、2021 年に完全子会社化し電炉 2 基、年産 330 万 t の能力を確保し、その後電炉 2 基、年産 300 万 t 規模のビッグリバーズチール 2 を建設、設備投資し 2024 年 10 月には生産を開始した。他方、高炉については、ミシガン州グレートレイクス製鉄所の高炉 3 基を 2021 年、22 年に廃止し、イリノイ州グラ

ナイトシティ製鉄所の高炉 2 基を 2023 年 11 月より無期限休止とした。この結果、稼働高炉はインディアナ州ゲイリー製鉄所の高炉 4 基、年産 750 万 t とペンシルバニア州モンバレー製鉄所の高炉 2 基、年産 290 万 t に集約された。

この対応により稼働設備の生産能力に占める電炉比率は約 40%となった。電炉、ミニミルでは従来の高炉―転炉法に比べ鋼材当たり約 70~80%の温室効果ガス排出量の削減効果があるため、これら生産プロセス構成の変更を推進することにより低炭素化は進展した。結果、2023 年には温室効果ガス排出量 19.6%削減（2018 年比）を実現し、中間目標を概ね達成することとなった<sup>76</sup>。

今後の対応として、電炉法、ミニミルのビッグリバーsteel製鉄所では、再生可能エネルギー、太陽光発電の電力を最大 250 百万ワット受電し、電力間接排出による CO2 排出量の削減を図る。一方、高炉法の製鉄所では、政府や環境技術を持つ企業と連携し、CCUS に向けた取組みを進めている。モンバレー製鉄所では CO2 回収の研究開発を、ゲイリー製鉄所では 2026 年より発生 CO2 を年間最大 5 万 t 回収し石灰石（CaCO<sub>3</sub>）化する対応を図っている。また、還元材の炭素から水素への置換について、カーネギーメロン大学と提携し水素直接還元法の技術レベルの向上を図っている。加えて、政府より 540 万ドルの補助金を受けモルテン・インダストリーズと共同で天然ガス等のメタン（CH<sub>4</sub>）を熱分解し黒鉛（C）と水素を精製し、その水素を還元材として直接還元炉で還元鉄を製造する実証実験を開始している。あわせて精製した水素の高炉活用も企図している<sup>77</sup>。

このような主要メーカーの低・脱炭素化の取組みに加え、海外企業を支援し国内での水素還元製鉄を推進する動きもある。政府は前述の「産業実証プログラム」において、水素還元製鉄に知見を持つスウェーデンの鉄鋼メーカーSSAB による「水素燃料によるゼロエミッション製鉄プロジェクト」を 5 億ドルの補助金対象に選定した。2024 年 3 月の選定時、SSAB は政府補助金を受けアイオワ州に水素による直接還元鉄製造技術に基づく世界初の商業規模の製鉄所を建設し、水素活用により製造工程での CO2 排出量を 81%削減することを計画していた<sup>78</sup>。しかしながら、その後政府は本プロジェクトに関し SSAB への資金提供の交渉が進まなくなったと公表しており<sup>79</sup>、その動向を注視する必要がある。

更に米国においては、最先端技術の製鉄法、熔融酸化物電解法の商業生産に向けた開発を行っている。熔融酸化物電解とは、酸化物原料から液体状態の金属を直接製造する電気冶金技術である。これによる製鉄法とは、還元材である炭素や水素を用いることなく、鉄鉱石を直接電気分解し鉄を溶出する、画期的な製造法である。

本技術による製鉄法は 1980 年代後半には考案されていたが、陽極にあたるアノード材料が高価なイリジウムに限られ商用化は不可能とされていた。これに対し 2010 年マサチューセッツ工科大学のドナルド・サドウェイ教授とアントワヌ・アラノア教授は金属不活性陽極の実験室規模での実証を行い、研究結果を 2013 年 Nature 誌に「熔融酸化物電解における酸素発生のための新しい陽極材料」として発表した<sup>80</sup>。これによるとイリジウムに比べ安価なクロムベース合金のアノード材料であれば高熱や腐食に耐えうることである。同年、本研究を基にマサチューセッツ州にボストン・メタルが設立され、研究開発は進められた。具体的な製鉄法は、電解槽内の鉄鉱石を含む電解液に不活性陽極を浸漬、通電する。1600℃に達すると電子が鉄鉱石中の酸化鉄（Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）の結合を切断し、鉄と酸素に分解する。槽の底部から溶けた鉄を上部から酸素を採取する（Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+e<sup>-</sup>→Fe+O<sub>2</sub>）。ボストン・メタルでは、商用化に向け 2025 年 3 月産業用電解槽での試運転に成功し、2026 年までに技術実証プラントを稼働させる予定

である<sup>81</sup>。

並行して、コロラド州ではスタートアップ企業として 2020 年エレクトラが設立された。同社は、低品位鉄鉱石を酸性溶液に溶解、その後溶解液を低温下で電気分解し鉄を精製する技術を研究開発している。同社の技術は、ボストン・メタルと違い低温、60℃での電解であることに特徴がある。原料は低品位鉄鉱石の使用も可能であり省資源、かつ低温電解であり使用電力も少なく、最も環境に優しい製鉄法の一つといえる<sup>82</sup>。また、同社が製造する鉄プレートは電炉用原料として使用できることもあり、国内鉄鋼メーカーではニューコアが同社に投資を行っている<sup>83</sup>。

これら熔融酸化物電解法については、現在商用化にまでは至っていない生産プロセスであるが、政府の「産業部門脱炭素化ロードマップ」に基づき積極的な研究開発、資源投入が行われるとそう遠くない将来に実用化される可能性がある。この生産プロセスが鉄鋼生産の主流となった場合、鉄鋼業における脱炭素化が実現することはもとより、多量の使用が見込まれている水素や発生する CO2 への CCS 対応も不要となる。加えて、従来型の炭素還元製鉄では転炉での精錬等で酸素を使用していたが、本生産プロセスへの転換において、酸素は不要となるに留まらず副産物として回収されることとなる。製鉄所としては、新たに酸素の回収、利用への対応が必要となり、設備レイアウトの大幅な変更も余儀なくされる。このように熔融酸化物電解法への生産プロセスの転換は、鉄鋼業の低・脱炭素化対応の影響が大きく、今後の研究開発状況の動向について注視する必要がある。

#### 4. 日本製鉄と U. S. スチールのシナジー効果

前述の日米鉄鋼業の低・脱炭素化の取組みを踏まえつつ、日本製鉄、U. S. スチール両社の低・脱炭素化の革新技术開発の協業によるシナジー効果について考察する。

まず、両社はともにカーボンニュートラルの目標時期を 2050 年と定めている。また、これに向けた生産プロセス構成についても、電炉と高炉の水素活用および水素直接還元炉への転換を企図しており、両社の目指すべき姿も一致している。他方、米国の競合他社であるニューコアおよびクリーブランド・クリフスの 2050 年の目標はあくまでニア・カーボンニュートラルである。また、将来目指している生産プロセス構成もニューコアは電炉に特化、クリーブランド・クリフスは主に高炉の水素活用および水素直接還元炉への転換としており、これらの併存を図る日本製鉄、U. S. スチール両社とは一致していない。日本製鉄、U. S. スチール両社は、目指すべき生産プロセス構成が一致しており、低・脱炭素化の推進に際し、不要な経営資源の整理、いわゆる「選択」することなく、この対応に経営資源を「集中」することができる。

次に両社の低・脱炭素化の取組みにおける具体的なシナジー効果であるが、日本製鉄がその対応として掲げる「大型電炉での高級鋼製造」、「高炉水素還元」、「水素による還元鉄製造」、それぞれの対応について考察する。

第一に「大型電炉での高級鋼製造」への対応であるが、U. S. スチールは既にミニミルであるビッグリバーズチール製鉄所で 2024 年より電炉 4 基、年産 630 万 t の生産体制を構築し、高級鋼材である電磁鋼板、メッキ製品も製造している<sup>84</sup>。日本製鉄にとってビッグリバーズチール製鉄所での設備、操業の知見は、今後の九州製鉄所八幡地区での電炉転換、更なる瀬戸内製鉄所広畑地区、山口製鉄所周南地区での電炉増強、再稼働の対応<sup>85</sup>において非常に有用であろう。また、ビッグリバーズチール製鉄所では太陽光発電の電力を受電する。日本製鉄では気候変動に出力が左右される再

生エネルギー電源に基づく電炉操業の知見も得られることが見込まれる。他方、日本製鉄は2022年より瀬戸内製鉄所広畑地区で世界初の電炉一貫での最高級電磁鋼板の商業生産を行っている<sup>86</sup>。U.S. スチールにとってもこの知見、特許使用は、ビッグリバーズスチール製鉄所での高級鋼製造の更なる高付加価値化、競争力強化に資すると推察される。

第二に「高炉水素還元」への対応であるが、日本製鉄は高炉での水素活用においてCO<sub>2</sub>排出量43%削減（既存炭素還元製鉄比）を試験炉にて実現している。43%のCO<sub>2</sub>排出量の削減率は国内外で開示されている値を大きく上回っており、高炉水素還元技術における世界のトップランナーである。一方、U.S. スチールはモルテン・インダストリーズとの共同開発による天然ガス精製水素の高炉活用を企図しているが、競合他社のクリーブランド・クリフスが既に高炉実機への水素吹き込みを開始しており、この技術においてクリーブランド・クリフスの後塵を拝している。U.S. スチールにとって日本製鉄の高炉水素還元技術の導入は、既存高炉での低炭素化を一気に加速することとなる。他方、日本製鉄は必要な水素供給の目処を得ておらず、U.S. スチールの取組む天然ガス由来の水素、および黒鉛精製技術は、この課題解決の一助となる可能性がある。

また、米国では鉄鋼製品への関税引上げにより、今後鋼材輸入量の減少が見込まれる。これに対し米国鉄鋼メーカーは鋼材供給量の増加、増産が必要となり、U.S. スチールも現在休止中の高炉2基の再稼働もありうる状況にある。更にU.S. スチールは、主要需要家である米国自動車メーカーより、欧州等への海外販売の促進に際し、低炭素、脱炭素の鋼材供給を求められることも想定される。U.S. スチールがこの要望に応えるには、いち早く日本製鉄の高炉水素還元技術を導入することが最も効果的といえるだろう。

加えて、高炉水素活用において止む無く発生するCO<sub>2</sub>へのCCUS対応についても、日本製鉄は日本政府が推進する「先進的CCS事業」に参画しており、CCSに関する知見の蓄積が見込まれている。また、その一環としてCO<sub>2</sub>分離・回収技術に関し、日本製鉄は傘下の日鉄エンジニアリング㈱が開発した従来の汎用技術（モノエタノールアミン溶液による化学吸収法）に比べCO<sub>2</sub>回収量3割増、熱消費量4割以上削減できる省エネ型CO<sub>2</sub>回収設備を北日本製鉄所室蘭地区で既に実装しており、併せて東日本製鉄所君津地区では高炉水素活用の実用化に向けた導入前性能評価も行っている<sup>87</sup>。他方、U.S. スチールはゲイリー製鉄所で2026年よりCCU（Carbon Capture and Utilization:CO<sub>2</sub>回収・利用）としてCO<sub>2</sub>の石灰石化の対応を開始する。これら両社の知見を融合することにより、より効率的、効果的なCCUSの対応が図られることとなろう。

第三に「水素による還元鉄製造」への対応であるが、日本製鉄は高炉を水素直接還元炉と大型電気溶融炉（メルター）に転換する取組みを進めている。これに対し米国競合他社であるクリーブランド・クリフスは、既存高炉をまず天然ガス直接還元炉と電炉2基に転換し、その後直接還元炉の還元材を天然ガスから水素へ置換する対応を進めている。日本製鉄の水素直接還元炉の技術開発は、これから試験炉による実証試験に入る段階であり、一見するとクリーブランド・クリフスに比べ対応が遅れているようにも見受けられる。しかしながら、日本製鉄は海外事業において既に水素置換可能な天然ガス直接還元炉であるMIDREXの操業知見を有しながらも、同設備の導入ではなく自社独自の水素直接還元炉の開発を進めている。これは既存のMIDREXを凌駕する更なる高みを目指した開発を推進しているものと推測され、結実の際にはより効率的な生産プロセスの実用化が見込まれる。あわせて還元鉄の溶融工程も単なる既存電炉への転換ではなく、高炉同様の生産性を維持

すべく、連続操業可能な大型電気溶融炉（メルター）の開発にも取り組んでいる。

一方、U. S. スチールはカーネギーメロン大学と水素直接還元に関する共同研究を行っている段階であり、実用化には相当な時間を要することが見込まれる。U. S. スチールにとって競合他社であるクリーブランド・クリフスとの技術開発競争を行うには、日本製鉄からの水素直接還元技術の移転がその基盤となろう。また、米国政府としてもスウェーデンの鉄鋼メーカーSSABの水素還元製鉄プロジェクトを補助金対象として選定した経緯からも、自国内において水素還元製鉄の実現に向けた企業間の技術開発競争は望ましいと考えているものと推察される。

このように電炉化、高炉水素活用およびCCUSへの対応について、両社は相互補完的な技術開発を企図しており、十分なシナジー効果が見込まれることがわかる。また、水素還元製鉄は日本製鉄も依然として基礎研究段階であり、これから両社により新技術の開発を行う、まさに経営資源の「集中」効果が発揮される領域であるといえよう。これらのことから低・脱炭素化の対応において、日本製鉄とU. S. スチールのパートナーシップは、双方協業によるメリットを享受できる互惠関係にあり、両社の経営資源を損なうことなく最大限有効活用することが可能であり、これ以降無駄のない効率的な技術開発活動が推進されることが想定される。

## 5. おわりに

日米鉄鋼業の低・脱炭素化の取組みについて、大手鉄鋼メーカーである日本の高炉3社、米国のニューコア、クリーブランド・クリフス、U. S. スチールは、各社の目指すべき生産プロセスの違いにより経営資源投入の軽重について跛行性はあるものの、いずれも電炉化推進、高炉水素活用とCCUS対応および水素還元製鉄の導入への対応に取り組んでおり、日本製鉄とU. S. スチールのパートナーシップの今後も含めその動向を注視する必要がある。

現状、米国は第二次トランプ政権下においてパリ協定からの再離脱等の政策により、米国の低・脱炭素化の進展が鈍化するとの見方もあるが、長期的にみれば政権交代による政策変更等により、再度低・脱炭素化の対応が加速する可能性も否定できない。加えて、鉄鋼メーカーにおける低・脱炭素化への研究開発、実用化および設備実装は、経営資源を集中的、かつ長期継続的に投入する必要がある、また各国同業他社がその対応に鎬を削っている現状に鑑み、ここ数年での対応の足踏みは致命的になりかねない。よって、米国の各大手鉄鋼メーカーは政策如何によって低・脱炭素化の対応の手綱を緩めることにはならないものと推察される。

また、米国鉄鋼業の低・脱炭素化の技術開発においては、最先端技術である溶融酸化物電解法が2025年ついに実験段階を終え2026年には実証試験段階となる。本製鉄法の実用化に向けた動向については特に注視する必要がある。溶融酸化物電解法は、有史以来の炭素還元製鉄から水素還元製鉄への転換を更に超え、自然界にある鉄鉱石を直接電気分解する製鉄法であり還元材自体も不要となり、この製鉄法の実用化、普及の状況によっては各国の水素戦略やCCS対応にも影響を及ぼすことが想定される。

<sup>1</sup> 世界鉄鋼協会「2025年の世界鉄鋼需要予測」（世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/>）（2025年6月24日閲覧、以下同）

<sup>2</sup> 同上。

- <sup>3</sup> 日本製鉄㈱「米国 United States Steel Corporation の買収について」(日本製鉄ウェブサイト、2023 年 12 月 18 日、[https://www.nipponsteel.com/common/secure/ir/library/pdf/20231218\\_100.pdf](https://www.nipponsteel.com/common/secure/ir/library/pdf/20231218_100.pdf))
- <sup>4</sup> JETRO「バイデン米大統領が US スチール買収に禁止命令、日本製鉄は提訴を発表」(JETRO ウェブサイト、2025 年 1 月 7 日、<https://www.jetro.go.jp/biznews/2025/01/24c77b4581095c4e.html>)
- <sup>5</sup> 世界鉄鋼協会「2025 年の世界鉄鋼需要予測」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/>)
- <sup>6</sup> 日本製鉄㈱、United States Steel Corporation「US スチール買収への不当介入に対して複数の訴訟を提起」(日本製鉄ウェブサイト、2025 年 1 月 6 日、[https://www.nipponsteel.com/common/secure/news/20250106\\_200.pdf](https://www.nipponsteel.com/common/secure/news/20250106_200.pdf))
- <sup>7</sup> 世界鉄鋼協会「2025 年の世界鉄鋼需要予測」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/>)
- <sup>8</sup> 日本経済新聞「米クリフスとニューコア、US スチール買収へ連携 米報道」(日本経済新聞ウェブサイト、2025 年 1 月 14 日、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGN133NJ0T10C25A1000000/>)
- <sup>9</sup> JETRO「トランプ米大統領、日本製鉄の US スチール買収計画について CFIUS に審査指示」(JETRO ウェブサイト、2025 年 4 月 8 日、<https://www.jetro.go.jp/biznews/2025/04/0226b6829c5cf94d.html>)
- <sup>10</sup> 日本製鉄㈱、United States Steel Corporation「日本製鉄と US スチールのパートナーシップに関するトランプ大統領の承認について」(日本製鉄ウェブサイト、2025 年 6 月 14 日、[https://www.nipponsteel.com/common/secure/news/20250614\\_100.pdf](https://www.nipponsteel.com/common/secure/news/20250614_100.pdf))
- <sup>11</sup> 日本製鉄㈱、United States Steel Corporation「日本製鉄と US スチールのパートナーシップ成立のお知らせ」(日本製鉄ウェブサイト、2025 年 6 月 18 日、[https://www.nipponsteel.com/common/secure/news/20250618\\_100.pdf](https://www.nipponsteel.com/common/secure/news/20250618_100.pdf))
- <sup>12</sup> 外務省「気候変動 日本の排出削減目標」(外務省ウェブサイト、2025 年 2 月 21 日、[https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w\\_000121.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w_000121.html))
- <sup>13</sup> 日本経済新聞「米国、パリ協定から 26 年 1 月に正式離脱 国連に通知」(日本経済新聞ウェブサイト、2025 年 1 月 29 日、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGN290670Z20C25A1000000/>)
- <sup>14</sup> IEA「エネルギー燃焼および産業プロセスからの世界の CO2 排出量とその年間変化」(IEA ウェブサイト、2025 年 3 月 12 日、<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-energy-combustion-and-industrial-processes-and-their-annual-change-1900-2023>)
- <sup>15</sup> IEA「World Energy Outlook 2024」312 頁(IEA ウェブサイト、<https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/WorldEnergyOutlook2024.pdf>) を基に筆者算出。
- <sup>16</sup> 世界鉄鋼協会「世界の鉄鋼統計」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/>)
- <sup>17</sup> 世界鉄鋼協会「2025 年の世界鉄鋼需要予測」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/>)
- <sup>18</sup> 同上を基に筆者算出。
- <sup>19</sup> 世界鉄鋼協会「世界の鉄鋼統計」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/>)
- <sup>20</sup> 日本製鉄㈱「2024 年度決算説明会」10 頁(日本製鉄ウェブサイト、2025 年 5 月 9 日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509\\_300.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509_300.pdf))
- <sup>21</sup> 世界鉄鋼協会「世界の鉄鋼統計」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/>)
- <sup>22</sup> 同上を基に筆者算出。
- <sup>23</sup> JETRO「トランプ米政権、鉄鋼・アルミ 232 条関税の一律適用を開始、一部派生品の適用開始日は今後公表」(JETRO ウェブサイト、2025 年 3 月 12 日、<https://www.jetro.go.jp/biznews/2025/03/91c17a0c0fd1fda0.html>)
- <sup>24</sup> JETRO「米 232 条鉄鋼・アルミ関税、追加関税率を 50%に引き上げ、6 月 4 日から適用」(JETRO ウェブサイト、2025 年 6 月 4 日、<https://www.jetro.go.jp/biznews/2025/06/16981272c3c1e96b.html>)

- <sup>25</sup> 米国鉄鋼協会「STEEL IMPORTS UP 2.5% in 2024」(米国鉄鋼協会ウェブサイト、2025 年 1 月 27 日、<https://www.steel.org/wp-content/uploads/2025/01/IMP2412.pdf>)
- <sup>26</sup> 経済産業省「鉄鋼業を取り巻く状況について」5 頁(経済産業省ウェブサイト、2024 年 10 月 16 日、[https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/green\\_steel/pdf/001\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/green_steel/pdf/001_04_00.pdf))
- <sup>27</sup> 日本経済新聞「鉄連会長、米関税で国内粗鋼生産「数百万トン下振れも」」(日本経済新聞ウェブサイト、2025 年 3 月 24 日、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC220VP0S5A320C2000000/>)
- <sup>28</sup> 鉄鋼新聞「23 年度末の累計鉄鋼蓄積量／476 万トン増、14 億 2290 万トン／14 年連続増加」(鉄鋼新聞ウェブサイト、2025 年 1 月 29 日、<https://www.japanmetaldaily.com/articles/-/231963>)、総務省「人口推計」2 頁(総務省ウェブサイト、2025 年 3 月 19 日、<https://www.stat.go.jp/data/jinsui/pdf/202503.pdf>) を基に筆者算出。
- <sup>29</sup> 厚生労働省「我が国の人口について」(厚生労働省ウェブサイト、[https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage\\_21481.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_21481.html))
- <sup>30</sup> 日本製鉄㈱「2024 年度決算説明会」12 頁(日本製鉄ウェブサイト、2025 年 5 月 9 日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509\\_300.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509_300.pdf))
- <sup>31</sup> 世界鉄鋼協会「2025 年の世界鉄鋼需要予測」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/>)
- <sup>32</sup> 経済産業省「鉄鋼業を取り巻く状況について」14 頁(経済産業省ウェブサイト、2024 年 10 月 16 日、[https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/green\\_steel/pdf/001\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/green_steel/pdf/001_04_00.pdf))
- <sup>33</sup> 日本製鉄㈱「2024 年度決算説明会」55 頁(日本製鉄ウェブサイト、2025 年 5 月 9 日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509\\_300.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509_300.pdf))、JFE ホールディングス㈱「JFE グループ長期ビジョン「JFE ビジョン 2035」」28 頁(JFE ホールディングスウェブサイト、2025 年 5 月 8 日、<https://www.jfe-holdings.co.jp/common/pdf/investor/management/plan/2024-chuuki250508-01.pdf>)、㈱神戸製鋼所「KOBELCO グループ中期経営計画 (2024～2026 年度) 進捗説明会」12 頁(神戸製鋼所ウェブサイト、2025 年 5 月 20 日、[https://www.kobelco.co.jp/ir/presentation/pdf/20250520\\_1.pdf](https://www.kobelco.co.jp/ir/presentation/pdf/20250520_1.pdf))
- <sup>34</sup> 世界鉄鋼協会「2025 年の世界鉄鋼需要予測」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/>)
- <sup>35</sup> 日本製鉄㈱「高炉プロセスから電炉プロセスへの転換に向けた本格検討を開始」(日本製鉄ウェブサイト、2023 年 5 月 20 日、[https://www.nipponsteel.com/common/secure/news/20230510\\_400.pdf](https://www.nipponsteel.com/common/secure/news/20230510_400.pdf))、JFE スチール㈱「革新電気炉(高効率・大型電気炉)の導入決定について」(JFE スチールウェブサイト、2025 年 4 月 10 日、<https://www.jfe-steel.co.jp/release/2025/04/250410-1.html>)、㈱神戸製鋼所「KOBELCO グループ中期経営計画 (2024～2026 年度)」31 頁(神戸製鋼所ウェブサイト、2024 年 5 月 20 日、[https://www.kobelco.co.jp/releases/files/20240520\\_1\\_02.pdf](https://www.kobelco.co.jp/releases/files/20240520_1_02.pdf))
- <sup>36</sup> 日本製鉄㈱「2024 年度決算説明会」29 頁(日本製鉄ウェブサイト、2025 年 5 月 9 日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509\\_300.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509_300.pdf))、JFE ホールディングス㈱「JFE グループ長期ビジョン「JFE ビジョン 2035」」15 頁(JFE ホールディングスウェブサイト、2025 年 5 月 8 日、<https://www.jfe-holdings.co.jp/common/pdf/investor/management/plan/2024-chuuki250508-01.pdf>)、㈱神戸製鋼所「KOBELCO グループ中期経営計画 (2024～2026 年度)」31 頁(神戸製鋼所ウェブサイト、2024 年 5 月 20 日、[https://www.kobelco.co.jp/releases/files/20240520\\_1\\_02.pdf](https://www.kobelco.co.jp/releases/files/20240520_1_02.pdf)) を基に筆者算出。
- <sup>37</sup> 日本製鉄㈱「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン 2050」19 頁(日本製鉄ウェブサイト、2021 年 3 月 30 日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20210330\\_ZC.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20210330_ZC.pdf))
- <sup>38</sup> 日本製鉄㈱「2024 年度 3Q 決算説明会」44 頁(日本製鉄ウェブサイト、2025 年 2 月 6 日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250206\\_300.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250206_300.pdf))、JFE スチール㈱「JFE グループインベスターズ・ミーティ

ング」2024年3月期第3四半期決算資料29頁(JFE スチールウェブサイト、2025年2月6日、<https://www.jfe-holdings.co.jp/uploads/2024-setumei250206-02j.pdf>)

<sup>39</sup> ㈱神戸製鋼所「KOBELCO グループ中期経営計画 (2024～2026年度)」31頁(神戸製鋼所ウェブサイト、2024年5月20日、[https://www.kobelco.co.jp/releases/files/20240520\\_1\\_02.pdf](https://www.kobelco.co.jp/releases/files/20240520_1_02.pdf))、日本経済新聞「神戸製鋼所社長「大型電炉導入、早ければ25年度に判断」」(日本経済新聞ウェブサイト、2024年7月25日、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC0424J0U4A700C2000000/>)

<sup>40</sup> 日本経済新聞「JFEのCO2削減「革新電気炉」電力は原発0.5基分に必要に」(日本経済新聞ウェブサイト、2025年4月17日、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC090CQ0Z00C25A4000000/>)

<sup>41</sup> JFE スチール㈱「JFE スチールの脱炭素実現に向けたエネルギー政策課題」第56回総合資源エネルギー調査会基本政策分科会資料8頁(資源エネルギー庁ウェブサイト、2024年6月6日、[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/2024/056/056\\_009.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2024/056/056_009.pdf))

<sup>42</sup> 日本経済新聞「JFEのCO2削減「革新電気炉」電力は原発0.5基分に必要に」(日本経済新聞ウェブサイト、2025年4月17日、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC090CQ0Z00C25A4000000/>)

<sup>43</sup> 日本製鉄㈱「水素による高炉でのCO2削減技術を確立 ～世界初 試験炉でCO2削減43%を実現、開発目標を前倒し達成～」(日本製鉄ウェブサイト、2024年12月20日、[https://www.nipponsteel.com/news/20241220\\_100.html](https://www.nipponsteel.com/news/20241220_100.html))

<sup>44</sup> 日本製鉄㈱「2024年度3Q決算説明会」43頁(日本製鉄ウェブサイト、2025年2月6日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250206\\_300.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250206_300.pdf))、日本製鉄㈱「2024年度決算説明会」55頁(日本製鉄ウェブサイト、2025年5月9日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509\\_300.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509_300.pdf))

<sup>45</sup> 経済産業省「「脱炭素成長型経済構造移行推進戦略」が閣議決定されました」(経済産業省ウェブサイト、2023年7月28日、<https://www.meti.go.jp/press/2023/07/20230728002/20230728002.html>)

<sup>46</sup> 経済産業省「CCS事業化に向けた先進的取組」(経済産業省ウェブサイト、2024年6月28日、<https://www.meti.go.jp/press/2024/06/20240628011/20240628011.html>)

<sup>47</sup> 日本製鉄㈱「「先進的CCS事業(二酸化炭素の分離回収・輸送・貯留)に係る設計作業等」の受託について」(日本製鉄ウェブサイト、2024年9月4日、[https://www.nipponsteel.com/news/20240904\\_100.html](https://www.nipponsteel.com/news/20240904_100.html))

<sup>48</sup> 日本製鉄㈱「日本製鉄のGXの取組み」29頁(日本製鉄ウェブサイト、2025年3月13日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250313\\_100.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250313_100.pdf))、日本経済新聞「日鉄が磨く水素製鉄技術 脱炭素見据える「40年実用化」」(日本経済新聞ウェブサイト、2025年3月14日、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC13BPR0T10C25A3000000/>)

<sup>49</sup> 経済産業省「「製鉄プロセスにおける水素活用」プロジェクトにおける取組の追加について」1,2頁(経済産業省ウェブサイト、2023年11月20日、[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green\\_innovation/energy\\_structure/pdf/019\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/019_03_00.pdf))、日本製鉄㈱「日本製鉄のGXの取組み」25-28頁(日本製鉄ウェブサイト、2025年3月13日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250313\\_100.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250313_100.pdf))

<sup>50</sup> JFE スチール㈱「鉄鋼業界のグリーン化に向けた低炭素還元鉄のサプライチェーンの構築について」(JFE スチールウェブサイト、2022年9月1日、<https://www.jfe-steel.co.jp/release/2022/09/220901.html>)、JFE スチール㈱「低炭素還元鉄のサプライチェーン確立に向けた協業体制の構築について」(JFE スチールウェブサイト、2023年7月18日、<https://www.jfe-steel.co.jp/release/2023/07/230718.html>)、㈱神戸製鋼所「オマーン国における低炭素鉄源の事業化検討について」(神戸製鋼所ウェブサイト、2023年4月10日、[https://www.kobelco.co.jp/releases/1211745\\_15541.html](https://www.kobelco.co.jp/releases/1211745_15541.html))、㈱神戸5 Nakasone Peace Institute

※本稿での考えや意見は執筆者個人(或はグループ)のもので当団体のものではありません。

製鋼所「KOBELCO グループ中期経営計画（2024～2026 年度）」28 頁(神戸製鋼所ウェブサイト、2024 年 5 月 20 日、[https://www.kobelco.co.jp/releases/files/20240520\\_1\\_02.pdf](https://www.kobelco.co.jp/releases/files/20240520_1_02.pdf))

<sup>51</sup> 世界鉄鋼協会「世界の鉄鋼統計」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/>)

<sup>52</sup> 同上を基に筆者算出。

<sup>53</sup> 米国鉄鋼協会「STEEL IMPORTS UP 2.5% in 2024」(米国鉄鋼協会ウェブサイト、2025 年 1 月 27 日、<https://www.steel.org/wp-content/uploads/2025/01/IMP2412.pdf>) を基に筆者算出。

<sup>54</sup> 日本製鉄㈱「U.S.Steel の買収について」10 頁(日本製鉄ウェブサイト、2023 年 12 月 18 日、[https://www.nipponsteel.com/common/secure/ir/library/pdf/20231218\\_200.pdf](https://www.nipponsteel.com/common/secure/ir/library/pdf/20231218_200.pdf))

<sup>55</sup> JETRO「インフレ削減法は、気候変動対策に軸足（米国）」(JETRO ウェブサイト、2022 年 10 月 6 日、<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/2022/2faeb20d767ea136.html>) を基に筆者算出

<sup>56</sup> ロイター「米下院共和党、気候変動対策費を大幅削減へ トランプ氏意向反映」(ロイターウェブサイト、2025 年 5 月 13 日、<https://jp.reuters.com/markets/commodities/FSKMIQ7J3ROTXCELXYVNITC6JM-2025-05-13/>)

<sup>57</sup> “Industrial Decarbonization Roadmap DOE/EE-2635 September 2022”p.6, U.S.Department of Energy, September 7<sup>th</sup>, 2022. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/Industrial%20Decarbonization%20Roadmap.pdf>

<sup>58</sup> “Industrial Decarbonization Roadmap DOE/EE-2635 September 2022”p.XXiii, U.S.Department of Energy, September 7<sup>th</sup>, 2022. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/Industrial%20Decarbonization%20Roadmap.pdf>

<sup>59</sup> “Industrial Decarbonization Roadmap DOE/EE-2635 September 2022”p.XXV, U.S.Department of Energy, September 7<sup>th</sup>, 2022. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/Industrial%20Decarbonization%20Roadmap.pdf>

<sup>60</sup> “Industrial Demonstrations Program”, U.S.Department of Energy, September 11<sup>th</sup>, 2023. [https://www.energy.gov/oced/industrial-demonstrations-program-0?nrg\\_redirect=461903](https://www.energy.gov/oced/industrial-demonstrations-program-0?nrg_redirect=461903)、 “Remarks as Delivered by Secretary Granholm at an Announcement Event for the Industrial Demonstrations Program”, U.S.Department of Energy, March 25<sup>th</sup>, 2024. <https://www.energy.gov/articles/remarks-delivered-secretary-granholm-announcement-event-industrial-demonstrations-program>、JETRO「米エネルギー省、産業脱炭素化に向けて鉄鋼関連プロジェクトに約 15 億ドルの投資を発表」(JETRO ウェブサイト、2024 年 4 月 3 日、<https://www.jetro.go.jp/biznews/2024/04/582bd7d0f7118292.html>)

<sup>61</sup> 世界鉄鋼協会「2025 年の世界鉄鋼需要予測」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/>) を基に筆者算出。

<sup>62</sup> “Industrial Decarbonization Roadmap DOE/EE-2635 September 2022”p.36, U.S.Department of Energy, September 7<sup>th</sup>, 2022. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/Industrial%20Decarbonization%20Roadmap.pdf>、世界鉄鋼協会「2025 年の世界鉄鋼需要予測」(世界鉄鋼協会ウェブサイト、<https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025/>)

<sup>63</sup> “Industrial Decarbonization Roadmap DOE/EE-2635 September 2022”pp.38-39, U.S.Department of Energy, September 7<sup>th</sup>, 2022. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/Industrial%20Decarbonization%20Roadmap.pdf>

<sup>64</sup> “Nucor 2024 Annual Report”, Nucor Website, pp. 12-14. [https://s202.q4cdn.com/531038915/files/doc\\_financials/2025/ar/2024-Nucor-Annual-Report.pdf](https://s202.q4cdn.com/531038915/files/doc_financials/2025/ar/2024-Nucor-Annual-Report.pdf)

<sup>65</sup> “Nucor 2024 Corporate Social Responsibility”, Nucor Website, p. 40. <https://indd.adobe.com/view/e740dfb2-21ae-473d-9c53-56b16a1d99f5>

<sup>66</sup> “Nucor 2024 Corporate Social Responsibility”, Nucor Website, p. 41.<https://indd.adobe.com/view/e740dfb2-21ae-473d-9c53-56b16a1d99f5> を基に筆者算出。

<sup>67</sup> “Nucor 2024 Corporate Social Responsibility”, Nucor Website, pp. 43-47. <https://indd.adobe.com/view/e740dfb2-21ae-473d-9c53-56b16a1d99f5>

<sup>68</sup> “Cleveland-Cliffs ANNUAL REPORT2024”,Cleveland-Cliffs Website, pp. 32,33. <https://www.clevelandcliffs.com/investors/sec-filings/all-sec-filings/content/0000764065-25-000058/0000764065-25-000058.pdf> を基に筆者算出。

<sup>69</sup> “Cleveland-Cliffs Reports First-Quarter 2025 Results”,Cleveland-Cliffs Website, May 7th, 2025. <https://www.clevelandcliffs.com/news/news-releases/detail/674/cleveland-cliffs-reports-first-quarter-2025-results>

<sup>70</sup> “Cleveland-Cliffs SUSTAINABILITY REPORT 2024”,Cleveland-Cliffs Website, p. 17. [https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/\\_1591275dc510621cdf4d1bdf1bdd0ce0/clevelandcliffs/db/1188/11946/file/CLF\\_Sustainability\\_Report\\_2024.pdf](https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_1591275dc510621cdf4d1bdf1bdd0ce0/clevelandcliffs/db/1188/11946/file/CLF_Sustainability_Report_2024.pdf)

<sup>71</sup> “Cleveland-Cliffs SUSTAINABILITY REPORT 2024”,Cleveland-Cliffs Website, p. 20. [https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/\\_1591275dc510621cdf4d1bdf1bdd0ce0/clevelandcliffs/db/1188/11946/file/CLF\\_Sustainability\\_Report\\_2024.pdf](https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_1591275dc510621cdf4d1bdf1bdd0ce0/clevelandcliffs/db/1188/11946/file/CLF_Sustainability_Report_2024.pdf) を基に筆者算出。

<sup>72</sup> “Cleveland-Cliffs SUSTAINABILITY REPORT 2024”,Cleveland-Cliffs Website, pp. 6,14-16. [https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/\\_1591275dc510621cdf4d1bdf1bdd0ce0/clevelandcliffs/db/1188/11946/file/CLF\\_Sustainability\\_Report\\_2024.pdf](https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_1591275dc510621cdf4d1bdf1bdd0ce0/clevelandcliffs/db/1188/11946/file/CLF_Sustainability_Report_2024.pdf)

<sup>73</sup> “U. S. Steel 2024 Annual Report”, U. S. Steel Website, pp. 14,15. [https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/\\_a6bcaa9ff2446686adff933b170a4880/ussteel/db/3222/30246/annual\\_report/FINAL+USS\\_2024+Annual+Report\\_with10K\\_%28no+exhibits%29.pdf](https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_a6bcaa9ff2446686adff933b170a4880/ussteel/db/3222/30246/annual_report/FINAL+USS_2024+Annual+Report_with10K_%28no+exhibits%29.pdf)、日本製鉄㈱「U.S.Steel の買収について」29.30 頁(日本製鉄ウェブサイト、2023 年 12 月 18 日、[https://www.nipponsteel.com/common/secure/ir/library/pdf/20231218\\_200.pdf](https://www.nipponsteel.com/common/secure/ir/library/pdf/20231218_200.pdf))

<sup>74</sup> “U. S. Steel 2023 Sustainability Report”, U. S. Steel Website, p. 35. [https://www.ussteel.com/documents/40705/43725/USS\\_ESG\\_Report\\_2023.pdf/60c7b0ab-c5cd-b3e0-ccc6-de5ab25064f2?t=1719236815431](https://www.ussteel.com/documents/40705/43725/USS_ESG_Report_2023.pdf/60c7b0ab-c5cd-b3e0-ccc6-de5ab25064f2?t=1719236815431) を基に筆者算出。

<sup>75</sup> “U. S. Steel 2024 Annual Report”, U. S. Steel Website, p. 20. [https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/\\_a6bcaa9ff2446686adff933b170a4880/ussteel/db/3222/30246/annual\\_report/FINAL+USS\\_2024+Annual+Report\\_with10K\\_%28no+exhibits%29.pdf](https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_a6bcaa9ff2446686adff933b170a4880/ussteel/db/3222/30246/annual_report/FINAL+USS_2024+Annual+Report_with10K_%28no+exhibits%29.pdf)

<sup>76</sup> “U. S. Steel 2024 Annual Report”, U. S. Steel Website, pp. 4,5,8,14,15. [https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/\\_a6bcaa9ff2446686adff933b170a4880/ussteel/db/3222/30246/annual\\_report/FINAL+USS\\_2024+Annual+Report\\_with10K\\_%28no+exhibits%29.pdf](https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_a6bcaa9ff2446686adff933b170a4880/ussteel/db/3222/30246/annual_report/FINAL+USS_2024+Annual+Report_with10K_%28no+exhibits%29.pdf)、“U. S. Steel 2023 Sustainability Report”, U. S. Steel Website, pp. 24,38. [https://www.ussteel.com/documents/40705/43725/USS\\_ESG\\_Report\\_2023.pdf/60c7b0ab-c5cd-b3e0-ccc6-de5ab25064f2?t=1719236815431](https://www.ussteel.com/documents/40705/43725/USS_ESG_Report_2023.pdf/60c7b0ab-c5cd-b3e0-ccc6-de5ab25064f2?t=1719236815431)、日本製鉄㈱「U.S.Steel の買収について」16-18,29 頁(日本製鉄ウェブサイト、2023 年 12 月 18 日、[https://www.nipponsteel.com/common/secure/ir/library/pdf/20231218\\_200.pdf](https://www.nipponsteel.com/common/secure/ir/library/pdf/20231218_200.pdf)) を基に筆者算出。

<sup>77</sup> “U. S. Steel 2023 Sustainability Report”, U. S. Steel Website, pp. 24,39. [https://www.ussteel.com/documents/40705/43725/USS\\_ESG\\_Report\\_2023.pdf/60c7b0ab-c5cd-b3e0-ccc6-de5ab25064f2?t=1719236815431](https://www.ussteel.com/documents/40705/43725/USS_ESG_Report_2023.pdf/60c7b0ab-c5cd-b3e0-ccc6-de5ab25064f2?t=1719236815431)、“U. S. Steel and CarbonFree Sign Definitive Agreement to Capture Carbon Dioxide Emissions at One of the Largest North American Integrated Steel Mills”,CarbonFree Website, April 3th, 2024. <https://carbonfree.cc/u-s-steel-and-carbonfree-sign-definitive-agreement-to-capture-carbon-dioxide-emissions-at-one-of-the-largest-north-american-integrated-steel-mills/>、“Molten Industries Leads Strategic Partnership With U. S. Steel and CPFD Software to Pioneer Carbon-Neutral Steel Production”,Molten Industries Website, July 23th, 2024.

<https://www.businesswire.com/news/home/20240723672491/en/Molten-Industries-Leads-Strategic-Partnership-With-U.-S.-Steel-and-CPFD-Software-to-Pioneer-Carbon-Neutral-Steel-Production>

<sup>78</sup> “SSAB selected by U.S Department of Energy to explore possibilities for production of fossil-free steel in the U.S.”,SSAB Website, March 25th, 2024. <https://www.ssab.com/en/news/2024/03/ssab-selected-by-us-department-of-energy-to-explore-possibilities-for-production-of-fossilfree-steel>、JETRO 「米エネルギー省、産業脱炭素化に向けて鉄鋼関連プロジェクトに約15 億ドルの投資を発表」(JETRO ウェブサイト、2024 年4 月3 日、<https://www.jetro.go.jp/biznews/2024/04/582bd7d0f7118292.html>)

<sup>79</sup> “Industrial Demonstrations Program Selections for Award Negotiations: Iron and Steel”, U.S.Department of Energy, January 27th, 2025. <https://www.energy.gov/oced/industrial-demonstrations-program-selections-award-negotiations-iron-and-steel>

<sup>80</sup> “A new anode material for oxygen evolution in molten oxide electrolysis”,Natre Website, May 8th, 2013. <https://www.nature.com/articles/nature12134>

<sup>81</sup> “About Boston Metal”,Boston Metal Website. <https://www.bostonmetal.com/about/>、“Boston Metal Celebrates Historic Commissioning Run of MOE Green Steel Cell.”,Boston Metal Website, March 12th, 2025. <https://www.bostonmetal.com/news/boston-metal-celebrates-historic-commissioning-run-of-moe-green-steel-cell/>

<sup>82</sup> “Technology A new iron age How Electra's process works”,Electra Website. <https://www.electra.earth/our-technology/>

<sup>83</sup> “Nucor 2024 Annual Report”, Nucor Website, p14.[https://s202.q4cdn.com/531038915/files/doc\\_financials/2025/ar/2024-Nucor-Annual-Report.pdf](https://s202.q4cdn.com/531038915/files/doc_financials/2025/ar/2024-Nucor-Annual-Report.pdf)

<sup>84</sup> 日本製鉄㈱「U.S.Steel の買収について」16,17 頁(日本製鉄ウェブサイト、2023 年12 月18 日、[https://www.nipponsteel.com/common/secure/ir/library/pdf/20231218\\_200.pdf](https://www.nipponsteel.com/common/secure/ir/library/pdf/20231218_200.pdf))

<sup>85</sup> 日本製鉄㈱「2024 年度決算説明会」29 頁(日本製鉄ウェブサイト、2025 年5 月9 日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509\\_300.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509_300.pdf))

<sup>86</sup> 日本製鉄㈱「2024 年度決算説明会」55 頁(日本製鉄ウェブサイト、2025 年5 月9 日、[https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509\\_300.pdf](https://www.nipponsteel.com/ir/library/pdf/20250509_300.pdf))

<sup>87</sup> 日鉄エンジニアリング㈱「省エネ型二酸化炭素回収設備 (ESCAP®)」(日鉄エンジニアリングウェブサイト、[https://www.eng.nipponsteel.com/business/environment\\_and\\_energy\\_solution/escap/escap/](https://www.eng.nipponsteel.com/business/environment_and_energy_solution/escap/escap/))、日鉄エンジニアリング㈱「【開発】可搬式小型 CO2 分離回収試験設備「m-ESCAP™」」(日鉄エンジニアリングウェブサイト、2024 年5 月8 日、[https://www.eng.nipponsteel.com/files/co/upload/ja/news/release\\_20240508.pdf](https://www.eng.nipponsteel.com/files/co/upload/ja/news/release_20240508.pdf))