

Ceres

# よりスマートに、柔軟に、クリーンに

## 直接還元製鉄が導く米国鉄鋼産業の未来

2026年9月



# Ceresの委託による調査・分析

**米国鉄鋼業界は、大規模な再投資の時期を迎えようとしている。**

**その投資先として有望なのが、次世代技術である直接還元製鉄（DRI法）だ。DRI法は、他の技術に比べて柔軟性と競争力に優れ、環境への負荷も小さい。**

全米各地の製鉄所では、老朽化した石炭高炉や転炉、および高炉の燃料を製造するコークス炉がまもなく寿命を迎え、リライニング改修、設備更新、廃止のいずれかの選択を迫られている。これらに伴う数十億ドル規模の投資判断は、今後数十年間の米国鉄鋼業の構造を左右する。

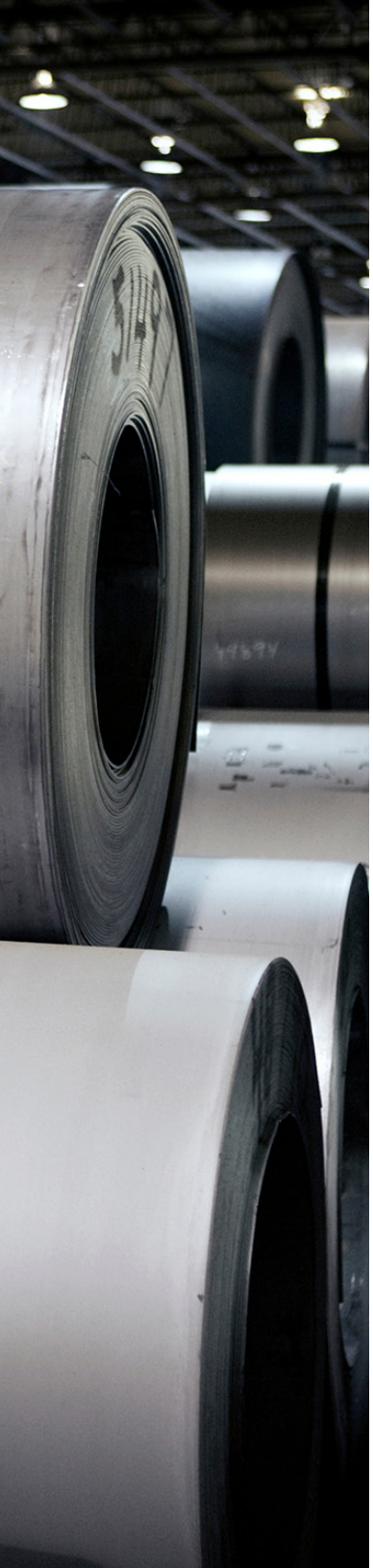
本分析はCeres（セリーズ）の委託を受け、独立系鉄鋼業界アナリストが、44名の専門家の助言を得て作成したものである。米国の多様な鉄鋼生産の実態を代表する4つの地域（ミネソタ州アイアン・レンジ、メキシコ湾沿岸地域、ペンシルベニア州、インディアナ州北部）を対象に、さまざまな製鉄・製鋼技術の実現可能性を評価している。

**DRI法は4地域すべてにおいて、コスト、柔軟性、投資収益性、環境汚染の点で他の選択肢よりも優れている。**

- 本分析は、鉄鉱石を鉄源に変換する製鉄工程において、従来の高炉に代わるDRI法の経済性と技術面での可能性を包括的に検証している。その結果、分析対象としたすべての地域で、DRI設備の新設が最も低コストの選択肢であることが示されている。
- 米国は毎年、売買用鉄源の輸入に20億～30億ドルを費やしているが、DRI設備をスメルター（電気溶融炉）と組み合わせた鉄源の生産は、従来の鉄源の輸入に匹敵するコストで実現可能である（輸入鉄源は電炉で使用され、現在米国で生産される鋼材の70%が電炉でつくられている）。DRI設備と電炉を組み合わせることで、コスト面で競争力のある鋼材が生産できる。現在の市場と比べて鋼材価格が下落した場合や、電力価格が上昇した場合を想定したシミュレーションでも同様の結果が得られた。これは、生産を国内に移管し、サプライチェーンの安定性を高める絶好の機会であることを示す。
- 燃料（還元ガス）を柔軟に切り替えられるDRI設備は、高炉による製鉄にはない利点がある。DRI設備は高炉に比べて稼働の柔軟性が高く、さらに輸送可能な鉄源をより効率的に生産できる。これにより、製鉄工程と製鋼工程を地理的に切り離すことができるようになり、顧客にとって費用対効果が高い場所で、ニーズに応じた鉄鋼生産が可能になる。
- これらのDRI設備は高炉と比較して、温室効果ガス排出量が40%少なく、地域の大気汚染物質が80%低減されるほか、燃料（還元ガス）を化石燃料ガスと水素の間で切り替えられるため、将来のエネルギー価格や排出コストに対するリスク回避策にもなる。

**20～30年間にわたる稼働を前提に建設される資本資産においては、これらの要素の同時実現が、説得力のある投資根拠となる。**

詳細については、報告書全文『よりスマートに、柔軟に、クリーンに―直接還元製鉄が導く米国鉄鋼産業の未来 (Smarter, Leaner, Cleaner: Direct Reduced Iron and the Future of American Steel)』を参照。



## 分析結果

直接還元製鉄（DRI法）による鋼材は、米国鉄鋼業の未来を担う。すでに投資価値を回収済みの高炉に比べ安価な生産ができるわけではないが、将来の投資先としてDRI法が最も有望なためだ。

### 1. DRI法は、米国鉄鋼業の近代化に向けた数十億ドル規模の投資の有力な選択肢となる

今後10年の間に老朽化した高炉設備が再投資の判断の時期を迎え、新たに数十億ドル規模の資本が投じられることになる。そのコストは莫大である。高炉は、15～20年ごとに耐火レンガの摩耗や損傷を改修する作業（リライニング改修）を必要とし、費用は数億ドルにも及ぶこともある。また、高炉で使用するコークスを生産するコークス炉の建て替えには、1基あたり10億ドル超の費用がかかる場合もある。これだけの投資をしても、既存設備の寿命をさらに15～20年延ばすにすぎない。これに対して、化石燃料ガスに対応したDRI-EAF（電炉）設備を新設すれば、その寿命は20～30年となる。こうした高炉の更新・改修を判断する際、DRI法は、高炉への再投資に勝る有力な投資先となる。

### 2. DRI法による国内生産は、年間20億～30億ドル規模の輸入鉄源の代替となりうる

自動車メーカー向け鉄鋼市場でのシェア拡大を競うため、電炉を主力とする鉄鋼メーカーは、鉄鉱石由来の高純度な鉄源を確保する必要がある。米国の電炉メーカーの中には国内に鉄鉱石鉱山を保有していない企業もあり、米国は年間約400万～600万トンの鉄源を輸入している。かつてはロシアやインド、ウクライナからの輸入が中心だったが、現在は主にブラジルから輸入している。電炉を主力とする鉄鋼メーカーにとって、この状況はスメルターと組み合わせたDRI設備生を新設し鉄源を生産する強いインセンティブとなる。鉄源の国内生産が実現すれば、輸入関税リスクを回避し、鉄源の国内生産による付加価値を獲得するとともに、海外供給への依存度を低減できる。

### 還元製鉄（DRI法）とは――市場はなぜDRI法に移行し始めているのか

DRI法は、鉄鉱石から鉄源を生産する工程として高炉法に代わる製鉄技術であり、そこから得られる鉄源は固体状である。その鉄源は電炉に装入され、鋼（はがね）が作られる。または、DRI法による熱間還元鉄をスメルターに投入し、溶銑を作ることもできる。溶銑は、既存の転炉で加工するか、凝固させて売買用鉄源を製造することができる。

DRI法における稼働の柔軟性は、鉄鉱石を比較的低い温度で、溶解させることなく固体のまま鉄源に転換できることに由来する。これに対して高炉は、石炭を蒸し焼きにしたコークスを用いて、非常に高い温度で鉄鉱石を溶解し、溶銑を作る。DRI設備は稼働温度が低く、また固体の鉄源を作るため、連続運転が必須である高炉よりも、起動・停止が容易にできる。これにより、DRI法は需要に応じた柔軟な生産に適しており、同じように稼働に柔軟性がある電炉との組み合わせが容易となる。高炉が製鉄所構内での使用に適した高温の溶銑を生産するのに対し、DRI設備は溶銑ではなく固体の鉄源を生産するため、その鉄源の長距離輸送が可能となる。高炉は、稼働温度が高いゆえに連続運転が不可欠であり、高温の溶銑を隣接する転炉に直接装入する場合に、最大の効率性を発揮する。

さらに、DRI設備は、化石燃料ガス、水素、あるいはその混合燃料で稼働できる。将来的に水素価格が低下した際には、燃料を切り替えられる特性を生かして、その時々でより経済的な選択が可能になる。

市場はすでに、DRI法を好意的に評価する傾向を示しつつある。米国で国内生産される溶銑の大部分は、依然として五大湖沿岸にある8基の高炉で生産されている。しかし、すでに2カ所の商業DRI設備（ニューコアがルイジアナ州とトリニダード・トバゴで操業）が米国の電炉向け市場に供給を始めているほか、メキシコのモンテレイでは、米国顧客向けの新たなDRI設備の建設が進んでいる。この1年間で、USスチールと現代製鉄（Hyundai Steel）はそれぞれ、アーカンソー州とルイジアナ州にDRI-EAF（電炉）設備の新設計画を発表した。対照的に、高炉は1980年以降、米国で1基も新設されていない。



本分析では、4地域のいずれにおいても、化石燃料ガスを使用するDRIとスメルターで作られる国内産鉄源は、輸入鉄源1トンあたり約414～503ドル）に対してコスト競争力を持つことが示されている。すなわち、現在海外から調達している戦略的に重要な中間製品（鉄源）を、国内のDRI法による生産で代替できる可能性がある。こうした原材料コストの削減は、結果として、既存および新設される電炉設備の経済性を高める可能性がある。

## 3. 検証した主要4地域において、DRI設備の新設は最も低コストの選択肢である

新設を前提とした場合、高炉一貫製鉄所による鋼材1トンあたりのコスト634～639ドルに対し、DRI設備と電炉の組み合わせは、鋼材1トンあたり約610～628ドルである。製鉄・製鋼技術において最も競争力を有するのは、化石燃料ガスを使用するDRI設備と電炉を組み合わせる方式、あるいはDRI設備とスメルターの組み合わせからから得られた溶銑を既存の転炉に装入する方式である。地域によるコスト差はわずかである。どの生産方式を選択するかは、コストよりも、鉄鉱石の調達のしやすさ、顧客との近接性、既存インフラ、競合他社が提供する代替案といった地域固有の要素によって決まってくる。

## 4. 伝統的に鉄鋼業が盛んな州を含む4地域はいずれも、投資先として魅力的である

分析の結果、ペンシルベニア州は、化石燃料ガスへの容易なアクセス、確立された鉄源の供給網、熟練した労働力、顧客との近接性により、コスト面でわずかながら優位に立つ。メキシコ湾沿岸地域は、深海港へのアクセス、低コストの化石燃料ガス、そしてDRI設備と電炉の併設拠点が新たな産業クラスターとして形成されつつあるという点で優位性を備えている。ミネソタ州アイアン・レンジは、鉄鉱石および再エネ電力へのアクセスにおいて先行しており、炭素排出量が極めて少ないというDRIの可能性を引き出すことができる。インディアナ州北部は、高品質な一次製鉄（鉄鉱石由来の生産方式）の歴史的基盤があることや、強固な輸送網、熟練した労働力、自動車産業の顧客に近い立地という点で競争力を維持している。

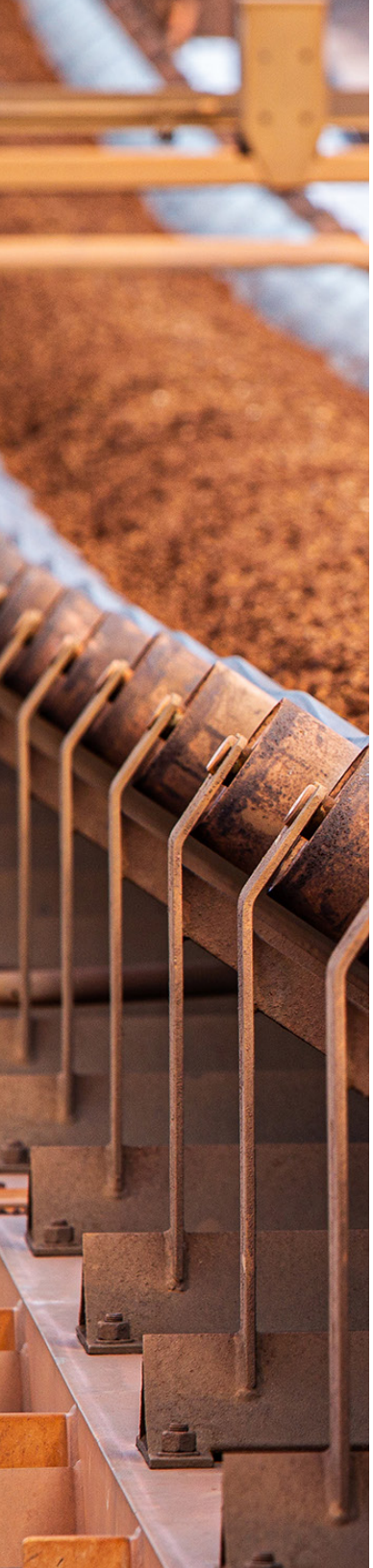
## 5. DRI設備の新設は、投資判断の目安となる15%の収益率を実現する

新設の高炉-転炉法、化石燃料ガスを使用するDRI-EAF（電炉）、DRI法とスメルターの組み合わせのいずれの製鉄所も、一般的に投資家が期待する15%の収益率を実現する。加えて本分析では、DRI設備が、厳しい条件下においても魅力的な投資対象であることが明らかになった。DRI法は、米国鋼材価格が過去15年間の最低水準まで下落することや、産業用電力価格が20%上昇することを想定した場合でも、15%の基準をクリアする。なお、米国は1969年以来、11回の政権交代を経ても一貫して国内鉄鋼市場の保護を続けており、これらの分析結果はその継続を前提としている。

## 6. DRI法はエネルギーリスクへの影響を低減する

燃料（還元ガス）を柔軟に切り替えられるDRI設備は、天然ガスまたは水素を燃料（還元ガス）として稼働させることができる。これにより鉄鋼メーカーは、価格や供給状況、規制の変更に応じて燃料の置換や混合が可能になる。燃料の置換はリスク管理の重要な手段となりうるものの、DRI法を採用する鉄鋼メーカーが将来的にこの特性を生かせるようになるには、水素価格の低下が不可欠である。現在、水素DRI法は、鉄源1トンあたり約170～250ドルの水素プレミアム（追加コスト）が発生し、化石燃料ガスに比べて著しく高い状態が続いている。この差が縮まるのは、1メガワット時あたり20ドル程度の極めて低コストの電力と、地下の岩塩空洞などを利用する水素貯蔵の組み合わせが可能な立地においてのみである。

貯蔵は極めて重要である。貯蔵ができれば、電力需要や価格が低い時間帯に、例えば夜間の風力発電による電力を活用して水素を製造できるからだ。こうした条件を備えている場所はどこにでもあるわけではないが、豊富な再エネ資源と十分な貯蔵能力を兼ね備えた特定の地域では、実現可能である。4つの地域の中では、ミネソタ州アイアン・レンジが群を抜いている。理由として、再エネ資源、とりわけグレートプレーンズの風力を利用できることが、同地域に競争上の優位性をもたらしている。しかし、総じて言えば、水素プレミアム（追加コスト）を短期的に解消するには、政策による支援の継続が必要となるだろう。



### 7. DRI法は汚染と規制リスクを低減する

米国の平均的な系統電力を利用する場合、化石燃料ガスを使用するDRI-EAF（電炉）設備はコークスを使用する高炉ー転炉設備と比較して、地域の大気汚染物質を80%削減し、温室効果ガスの排出量も40%削減される。グリーン水素の価格が手頃になれば、これらの排出量はさらに下がる。排出量が低減すれば、地域住民の健康状態が改善されるのに加え、設備操業期間中に環境規制が強化された場合に、その影響を受けるリスクを軽減することにもつながる。

### 8. 米国内の鉄源取引の拡大は、DRI法への移行を加速させる

DRI設備は、固体の鉄源や溶銑、ホットブリケットアイアン（HBI）、スポンジ状の海綿鉄など安定性と輸送性に優れたさまざまな形態の鉄源を効率的に生産できる。その結果、他の地域にある電炉を採用する製鉄所や、あるいは転炉を採用する顧客のニーズに応えるために、自社製品を容易に出荷することができる。一方で固体の鉄源を別の拠点に輸送する場合には再加熱が必要となり、その場で溶銑を使用する場合には生じない追加のコストと排出量が発生する。だがこうしたデメリットよりも、個々の製鉄所や米国鉄鋼業界全体の柔軟性が高まるというメリットの方が大きい。なお、米国の高炉で生産される鉄源の95%以上は溶融状態で同一敷地内の製鋼炉へ搬送されるため、他へ出荷可能な固体状にされる量はごくわずかである。

## セリーズからの提言

### 鉄鋼メーカーへの提言

本分析はあくまで出発点であり、特定の製鉄所に向けた詳細な計画を示すものではなく、企業が各拠点のDRIプロジェクトを検討する際の基準として、本分析を活用することを想定している。また、分析や選択肢の比較検討にあたり、セリーズのアドバイザーグループ内外を問わず、今後も広く専門家の助言を求めることが推奨される。高炉ー転炉法を採用する鉄鋼メーカーは、既存の高炉やコークス炉の高額な改修をする場合と、化石燃料ガスを使用したDRIとスメルターで生産した鉄源を既存の転炉に供給する方式へ移行する場合とで、収益性を見比べた上で検討する必要がある。また、電炉を採用する鉄鋼メーカーは、自動車用鋼材市場でのシェア獲得競争の中で、銅やニッケルなどの不純物を含まず排出量の少ない鉄源の生産につながるDRI投資を検討する必要がある。DRIとスメルターを組み合わせた生産拠点一箇所で複数の電炉の需要を満たすことができ、輸入売買用鉄源の約35%を代替することができる。高炉メーカー、電炉メーカーともに、投資した設備の耐用期間全体を見据え、将来の競争力を検討することが重要である。

### 投資家への提言

本分析結果は、燃料（還元ガス）を柔軟に切り替えられるDRIプロジェクトを4つの地域において様々な構成で検討し、近い将来における新設の機会を示した。立地の決定を主に左右するのは、地域的なコストの差異ではなく、インフラや原料調達の容易さ、また下流の需要となるだろう。

### 政策立案者への提言

燃料（還元ガス）を柔軟に切り替えられるDRI法を採用する設備がどの地域でもコスト競争力を有することから、州や地方の政策立案者は、自州でのDRI開発プロジェクトの可能性について鉄鋼メーカーと直接協議すべきである。DRI法の性能面での優位性と柔軟性を見れば、今後さらに多くのプラントが建設される可能性が高いことは明白だ。問うべきは「どこに」である。州政府や地方自治体には、そのための手段として、開発を進める許認可や税制優遇措置など、産業開発を後押しする数々の手段がある。

### 鉄鋼業におけるサービス・技術提供事業者への提言

DRI法は米国の鉄源供給でますます重要な存在となり、本報告書に示す多様な新しい生産構造を可能にするだろう。売買用鉄



源生産の国内生産への移行、製鉄所および米国全体の鉄鋼生産システムの近代化、重要な原材料の国内生産、さまざまな事業リスクの管理、地域経済の発展など、DRI法が有する可能性をステークホルダーに知ってもらうため、DRIプロジェクトに関する現地視察の機会を提供するよう提言する。

## 方法論

本研究は、直接還元製鉄（DRI法）の技術的・経済的な可能性についての基礎知識を鉄鋼メーカー、技術提供事業者、プロジェクト資金提供者、政策立案者に提供することを目的とする。

セリーズは、共に産業近代化のアナリストであるクリス・バタイユ博士とフランシス・リー博士に対し、2026年2～6月に専門家アドバイザーグループの支援と助言を受けながらDRI法の可能性に関する技術・経済分析を行うよう依頼した。セリーズが組織したこのステークホルダーのグループには、経営幹部や独立系専門家、エンジニア、民間金融機関、機関投資家、冶金専門家、大手自動車メーカーの調達担当者など、鉄鋼の近代化に不可欠な幅広い業界の専門家40人超が集まっている。

本研究では、米国の多様な鉄鋼生産の実態を代表する4つの地域（ミネソタ州アイアン・レンジ、メキシコ湾沿岸地域、ペンシルベニア州、インディアナ州北部）を対象に、さまざまな経済状況下における各種の鉄鋼生産技術の実現性を探る。各地域において、資金提供や建設が行われるかどうかを実際に決定づける要因（原材料・エネルギー・設備のコスト、輸送、当該地域で利用できる他の方法との比較）を検討した。化石燃料ガス、電力、鉄鉱石などの価格は変動しやすいため、最も妥当と考えられる単一の推測値を用いるのではなく、考えられる価格帯の幅で経済性の分析を行った。これにより、特定の条件下だけではなく、有利・不利双方の条件下における各選択肢の経済性を反映した分析となっている。

詳細は、バタイユ博士とリー博士による報告書全文「よりスマートに、柔軟に、クリーンに：直接還元製鉄が導く米国鉄鋼産業の未来（Smarter, Leaner, Cleaner: Direct Reduced Iron and the Future of American Steel.」を参照。

**制限事項**

比較するものである。共通の条件下で各生産方法がどのようなパフォーマンスを見せるかを示すことを目的としており、各プロジェクトの実現性や詳細な工学設計、経時的な市場の進化の可能性を評価するものではない。よってこの分析結果は、実現されたプロジェクトの成果を予測するものではなく、上述の条件下で各地域の各種生産方式の間での、DRI設備新設の相対的な位置付けを示すものである。



**セリーズについて**

セリーズ（Ceres）は、よりクリーンでより公正な、レジリエンスの高い経済への移行を加速させることを目的に、アドボカシー活動を行う非営利組織である。データに基づく調査と専門家による分析を通じて、投資家や企業がサステナビリティに関する世界的課題に取り組むよう促し、市場や政策による解決策を提唱する。サステナビリティこそが最も重要であるという信念のもと、協働を通じて産業界を変革し、新たなビジネスチャンスを切り開き、イノベーションと雇用創出を促している。詳細はこちら：ceres.org.

**謝辞**

本分析は、セリーズの「米国鉄鋼産業の未来」アドバイザーグループからのインプットを受けて、クリス・バタイユ博士とフランシス・リー博士がセリーズのために執筆した調査報告書に基づく

**プロジェクト・マネージャー**

Daniel Seligman, ーズ　重工業部門戦略アドバイザー
Stephanie Hanford, セリーズ　重工業部門ディレクター

本調査をまとめるにあたり、貴重な知見、時間、経験を惜しみなく提供してくださった財界と学界の専門家の皆様に感謝申し上げる。ただしこれら専門家の貢献は助言にとどまり、本調査、その方法論、または結論への支持を意味・示唆することはない。本調査にあたる一切の責任はセリーズ、バタイユ博士およびリー博士が担う。

また、本プロジェクトで貴重なエディトリアルレビューとデザインの支援を行ってくれたセリーズの同僚、特に Heather Green と Maura Conronの各氏にも御礼申し上げる。

表紙写真：ニューコア Nucor Corporation）提供
日本語翻訳：有限会社エコネットワークス

**アドバイザー**

Jamie Beck Alexander ミネソタ大学天然資源研究所（NRRI）　渉外担当ディレクター

Blair Bateson バンク・オブ・アメリカ　ネットゼロ戦略担当シニア・バイスプレジデント

Sean Boyle ミドレックス・テクノロジーズ　商務担当バイスプレジデント

Erika Chan ユナイテッド・ステーツ・スチール・コーポレーション　サステナビリティ責任者

Vincent Chevrier ミドレックス・テクノロジーズ　技術営業・マーケティング担当ゼネラルマネージャー

Steven Clarke セリーズ　気候・エネルギープログラムディレクター

Chad Donovan SMS Group Inc. 中央営業・マーケティング担当バイスプレジデント

Tom Dower アルセロール・ミッタル　政府渉外担当バイスプレジデント

Peter Ellsworth セリーズ　投資家ネットワーク担当シニアディレクター

Rich Fruehauf カーネギー・ファウンドリー　チーフ・ベンチャー・オフィサー兼最高法務責任者

Aya Hamid フォード・モーター・カンパニー　研究エンジニア

Naomi Hoffman ヌビーン　責任投資（RI）シニアアナリスト

Arne Jahn ファイナンシャル・サービシズ・グループ　マネージング・ディレクター

Marty Johnson コア・コーポレーション　環境部門マネージャー

Amari Jones Scriven ニューコア・コーポレーション　コーポレートサステナビリティ担当マネージャー



Valerie Karplus カーネギーメロン大学　教授

Sean Keenan SSAB アメリカ　アメリカ地域サプライチェーン担当バイスプレジデント

Suleyman Kilci ING アメリカ　サステナブル・ソリューションズ・グループ担当バイスプレジデント

George Luckey, フォード・モーター・カンパニー　先進金属技術部門マネージャー

Stefano Maggiolino テノバ HYL　社長兼CEO

Catherine Mazza シュローダー　リレーションシップ・マネジメント担当ディレクター

Jesse McCormick JPモルガン　エネルギー・気候ファイナンス担当

Rachna Mehta ミドレックス・テクノロジーズ　マーケット・インテリジェンス担当ゼネラルマネージャー

Francesco Memoli テノバ　社長兼 CEO

Lindsay Moreau ヌビーン　責任投資（RI）ステークホルダー関係担当ディレクター

Carol Moreno CFA資格者、セリーズ　投資家ネットワーク担当ディレクター

Chris Mracna フォード・モーター・カンパニー　材料工学スーパーバイザー

Hyo Joon Park 現代・ポスコ・ルイジアナ・スチール　チームリーダー

Kevin Persad ニューコア・スチール・ルイジアナ　テクニカル・マネージャー

Madhu Ranade スチール・ダイナミクス　平鋼グループ　原材料戦略・供給担当ゼネラルマネ

Ram Reddi スチール・ダイナミクス　脱炭素化エンジニアリング担当マネージャー

Christopher Richardson マーシー・インベストメンツ　株主行動マネージャー

Marina Severinovsky シュローダー　サステナビリティ・アメリカ地域責任者

Sumeet Singal シティ　法人・投資銀行部門マネージング・ディレクター

Brett Spigarelli ミネソタ大学天然資源研究所（NRRI）　上級研究科学者、タコナイト寄付講座教授

Jessica Starr ニューヨーク州会計監査官事務所　コーポレート・ガバナンス・オフィサー

Jamie Statter ニューヨーク市会計監査官事務所　気候特別顧問（資産管理担当）

Lily Tardif バンク・オブ・アメリカ　ネットゼロ戦略担当アシスタント・バイスプレジデント

Dakshesh Thacker セリーズ　元重工業部門マネージャー（国際金融公社〈IFC〉　産業脱炭素化コンサルタント）

Aneil Tripathy セリーズ　企業ネットワーク担当ディレクター（金融サービス）

Robert Valin ゼネラルモーターズ・カンパニー　シニア・グローバル調達マネージャー

Erik Van Doezum INGグループ　ドイツ金属・鉱業・肥料部門責任者、グローバル鉄鋼部門責任者

Annabel Von Weise セリーズ　企業ネットワーク担当シニアアソシエイト

Sarah Wilson ヌビーン　マネージング・ディレクター兼気候卓越研究センター責任者