

In collaboration with
McKinsey & Company

WORLD
ECONOMIC
FORUM

建造環境における サーキュラリティ： 二酸化炭素排出量削減と ビジネスチャンスの最大化に向けて

白書

2024年4月



目次

はじめに	3
エグゼクティブ・サマリー	4
序論	5
1 建造環境における資源ループの変革	6
1.1 資源の再循環	8
1.2 資源の効率化	9
1.3 資源の利用	9
2 循環型建築資材を使用した建築	10
2.1 コンクリートとセメント	13
2.2 建設用鉄鋼	15
2.3 建設用アルミ	17
2.4 建設用プラスチック	19
2.5 板ガラス	21
2.6 石膏ボード	23
結論: 建造環境のサーキュラリティ化に向けて	25
付録: モデル化における仮定と結果の計算方法	26
協力者	27

免責事項

本書は、世界経済フォーラムが、プロジェクト、インサイト領域、相互作用への貢献として発行したものである。本書に記載された所見、解釈および結論は、世界経済フォーラムによって促進され、承認された協力プロセスであるが、その結果は必ずしも世界経済フォーラムの見解を代表するものではなく、そのメンバー、パートナー、その他のステークホルダー全体を代表するものでもない。

© 2023 World Economic Forum. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, including photocopying and recording, or by any information storage and retrieval system.

はじめに



フェルナンド・ゴメス
世界経済フォーラム
自然と気候部門
資源システムとレジリエンス



ユカ・マクシマイネン
シニア・パートナー
マッキンゼー・アンド・カンパニー



セバスチャン・ライター
マッキンゼー・アンド・カンパニー
パートナー



ユルゲン・サンドストローム
世界経済フォーラム
エネルギーとマテリアル部門
産業エコシステム変革

健康危機、地政学リスクによる紛争、市況の低迷など、混迷するグローバルな課題をいくつも見ていると、世界は「ニューノーマル」の時代に突入したというシナリオがますます現実味を帯びてきます。そこでは組織は危機に対処し、レジリエンス（強靱性）を存分に発揮することが既定路線となるでしょう。このような「ノーマル」の転換期にあってもぶれることなく、喫緊の取り組みが求められているテーマがあります。21世紀最重要課題の一つである気候変動、およびそれが世界に及ぼす深刻な影響への対策です。

建造環境には、プラスの変化を起こせる計り知れないポテンシャルがあります。ビルや建造物はかなりの量のエネルギーと建築資材を消費するため、世界の温室効果ガス排出量の約26%を占めます。しかし、ここに好機があります。現在の消費および製造パターンから、より持続可能な循環型アプローチに移行するチャンスです。設計プロセスを見直し、最先端のテクノロジーを積極的に導入し、革新的なビジネスモデルを展開すれば、今ある資産からさらに大きな価値を引き出し、貴重な天然資源を浪費せず、廃棄物を減らすことができます。よりスケールの大きなサーキュラリティ（循環性）へのシフトがどれだけ急務であるかは、どんなに言葉を費やしても言い尽くせません。行動を起こさず先延ばしにするなら、人類が直面する課題は日々膨れ上がっていくのですから。

本白書は、世界経済フォーラムの自然と気候部門および、エネルギーとマテリアル部門がマッキンゼー・アンド・カンパニーの協力を得て作成しました。建造環境に

革命をもたらし、サステナブルでレジリエンスの高い未来を創造するサーキュラリティの可能性について、広い範囲から未知の領域を探ります。また、バリューチェーンおよび二酸化炭素排出量削減の可能性について緻密な分析に基づいた行動を呼びかけると共に、環境へのメリットと莫大な経済的メリットの両方を明らかにします。本白書で紹介するのは、建造環境がより持続可能な産業となる道筋です。このルートを選べば、二酸化炭素排出量削減と経済価値の追求が両立できるのです。

建設業界がこれから、循環型建造環境に移行する航海に乗り出すに当たりまず欠かせないのは、安全な航海を支えるライトハウス（灯台＝指針）が果たす本質的な役割を受け入れることです。この灯台は、環境への影響、スケーラビリティ（拡張性）、企業としての収益性を実証し、画期的な循環型ソリューションを示します。いち早く灯台の役割を引き受け、先駆者となる者は業界のリーダーたちを結集して循環型社会への移行を積極的に促進します。また、既成の枠にとらわれない発想で航路を照らし、循環型経営を導入した成果を世に広めます。サーキュラリティに軸足を移すことで、地球の将来が守られるだけではありません。持続可能な経済的繁栄への道をも切り拓くのです。

本白書の作成にご尽力いただき、貴重なご意見をいただいたすべてのコミュニティメンバーと、世界経済フォーラムのイニシアチブリーダーの皆様へ感謝します。リーダーたちが官民連携で建造環境のこれからの道筋を描くとき、本白書から価値ある指針と展望が見出せることでしょう。

エグゼクティブ・サマリー

サーキュラリティ(循環性)は、建造環境から排出される内包二酸化炭素排出量の75%を削減すると同時に、大きな経済価値を生み出す可能性がある。

本白書では、セメントとコンクリート、鉄鋼、アルミニウム、プラスチック、ガラス、石膏という六つの主要な建築資材に関して九つの循環ループを提案し、二酸化炭素削減の可能性と潜在的なビジネスチャンスを定量化する。循環ループの評価は、(a) 資材と鉱物の再循環、(b) 再生可能エネルギーと回収エネルギー、(c) 二酸化炭素回収・貯留 (CCS) と二酸化炭素回収・利用 (CCU) による排出削減という三つの側面から行った。

検討の結果、循環ループによって二酸化炭素を2030年に0.5～0.8Gt-CO₂、2050年には3.4～4.0Gt-CO₂削減できることが分かった。この値は、2030年における建造環境の内包排出量(建築資材の生産から建物の完成までに排出される二酸化炭素量)の13%を占め、2050年には75%に近づく。2030年には、建築資材と鉱物の再循環およびCCS/CCUがそれぞれ総削減量の約40%、2050年までには50%以上に寄与すると予想される。サーキュラリティは、2030年までに年間310億～460億米ドル、2050年までに同2,340億～3,600億米ドルの純増価値(コスト削減や市場価値の向上など様々な形での経済的利益や付加価値の増加)をもたらす可能性があり、経済的にも大きなメリットがある。このうちで建築資材と鉱物の再循環の潜在ポテンシャルが、2030年と2050年の両方で大部分を占める。

調査対象とした各建築資材で、それぞれ次のような戦略によって循環を促進できる。

1. コンクリートとセメント：コンクリートとセメントは、建築資材に関連する二酸化炭素排出量の30%を占める。鉱物化テクノロジーやスマート破碎骨材などの循環型戦略によって大幅な価値向上をもたらすことができるだけでなく、2050年までにセメントから排出される二酸化炭素の96%を削減できる可能性がある。

2. 建設用鉄鋼：鉄鋼はすでに高度にリサイクル可能であり、電気炉(EAF)鉄鋼生産への移行とスクラップ回収の増加が有望。こうした対策により、2050年までに鉄鋼からの二酸化炭素総排出量を最大60%削減できる可能性がある。
3. 建設用アルミ：再利用を前提とした設計、リサイクル資材の使用増加、代替燃料の採用で、サーキュラリティの導入が可能だと考えられる。これらの対策により、2050年までにアルミ関連の二酸化炭素排出量を最大89%削減できる可能性がある。
4. 建設用プラスチック：再利用やモジュラー設計、再生プラスチックの増加、代替燃料の使用など、サーキュラリティによって2050年までにプラスチックからの二酸化炭素排出量を最大62%削減できる可能性がある。
5. 板ガラス：再利用やモジュラー設計、カレット使用の増加などにより、2050年までにガラスからの二酸化炭素排出量を最大41%削減できる可能性がある。
6. 石膏ボード：リサイクル、ダウンサイクル、生産工程における再生可能エネルギーの利用により、2050年までにビジネスチャンスを大幅に高め、二酸化炭素排出量を最大31%削減できる可能性がある。

こうした変革の過程において、ライトハウス(灯台=指針)が極めて重要な役割を果たすだろう。業界をリードする建造環境ソリューションが出始めている今、コラボレーションを積極的に実施し、循環型思考を促進し、デジタル技術を普及させるこうした事例は、循環型社会へのシフトを積極的に推進し、模範を示すものだ。建造環境は、まずこのような先駆的事例をライトハウスとして認識し、エコシステム全体に広めるために行動を起こす必要がある。

序論

循環型の建造環境は、差し迫ったニーズに応え、業界関係者に幅広い好機をもたらす。

建造環境は人々の日常生活を構成する重要な要素であり、住宅から交通機関に至るまで、サービスのあらゆる側面に影響を与える。実際、個人は1日の90%を建物やインフラ、都市のエコシステムの中で過ごしている¹。また、そのエコシステムは世界の国内総生産（GDP）の13%を占め、生産年齢人口の7%がそこで働いている²。このように建造環境は人々の生活に欠かせないものであると同時に、気候変動や土地システムの変化など、主要な環境指標のしきい値である「プラネタリー・バウンダリー（地球の限界）」を侵犯する大きな要因でもある。建造環境は、資材消費量と廃棄物発生量の3分の1を占め³、人間が排出する燃料関連の二酸化炭素排出量の約37%を占めているからだ⁴。また、新規建造物からの排出量の約3分の1は、建築資材の生産から建物の完成までに排出される内包排出量であり、3分の2は運用によるものである⁵。人口の増加と都市化の加速に伴い、今後40年間で300億平方メートルの新しい建物を建設する必要があり⁶、これは、40日ごとにニューヨーク市と同じ大きさのビルを新たに建設することに相当する。そのほとんどは、アフリカ、中東、東アジア、南アジアなどの新興国における住宅建設から生じ⁷、全体として、2050年までに必要とされるインフラの75%はこれから建設しなければならない⁸。これらのことから分かるように、サステナブルでレジリエンス（強靱性）の高い建造環境の構築は、人々のウェルビーイングにとっても、そして安全なプラネタリー・バウンダリー内に留まるためにも極めて重要である。

使い捨てのリニア（直線型）・エコノミーから、循環するサーキュラー・エコノミーへの移行は、経済成長と環境破壊を切り離すことを目的としている。循環型エコシステムでは、バーゲン資源の投入と使用済み廃棄物の量が最小限に抑えられるため、限られた資源を使い果たすことなく価値を創造することが可能となる。すべての産業において、経済成長の源泉を新たに生み出すことができれば、2030年までにグローバル経済に4.5兆米ドルの経済成長が追加されると推定されている⁹。これと同時にサーキュラリティ（循環性）を確保することで、二酸化炭素排出量削減に大きく貢献できる。

本白書では、ビジネス価値の創出と二酸化炭素排出量削減を同時に実現する、建造環境におけるサーキュラリティの可能性を紹介する。公害、土地利用の変化、生物多様性の消失など、建設業は様々な面で環境に大きな影響を与えるが、本白書では、特に二酸化炭素排出削減の可能性を取り上げ、定量的、定性的に徹底分析する。全体的な目的は第一に、サーキュラリティがいかにかこのセクターの脱炭素化に貢献できるかを説明すること、第二に、主要素材における削減ポテンシャルとビジネス・バリュープールの両方を定量化すること、第三に、このポテンシャルを獲得するために何が必要かを説明することである。本白書はまた、環境への影響、財務的フィージビリティ（実行可能性）、スケラビリティ（拡張性）を実証する方法として、建造環境におけるサーキュラリティのライトハウス（灯台＝指針）を特定するための行動を呼びかけるものでもある。

本白書では、建造環境の資源消費と炭素排出に大きく寄与する六つの建築資材（セメントとコンクリート、鉄鋼、アルミニウム、プラスチック、ガラス、石膏）の九つの循環ループ全体で、バリュープールと削減ポテンシャルの定量化を実施した。資源の再循環、資源の効率化、資源の利用効率という三つの観点から、建築資材と鉱物、再生可能エネルギーと回収エネルギー、炭素回収が二酸化炭素排出量削減に与える影響を定量化している。粒度の細かいモデリングアプローチを通じて、グローバルなマテリアルフローと、各建材レベル、および建築・建設のバリューチェーンの様々な段階における循環ループの実現性を探る。

本白書において「建造環境エコシステム」とは、不動産とインフラを指す。住宅やオフィスから工場や高速道路に至るまで、生活のあらゆる側面に関わるそのバリューチェーンには、デベロッパーや投資家から廃棄物処理会社まで、様々なステークホルダーが含まれている。

建造環境における 資源ループの変革

真のサーキュラリティ(循環性)は、様々なフローや資源にまたがる新たな潜在価値をはらんでいる。

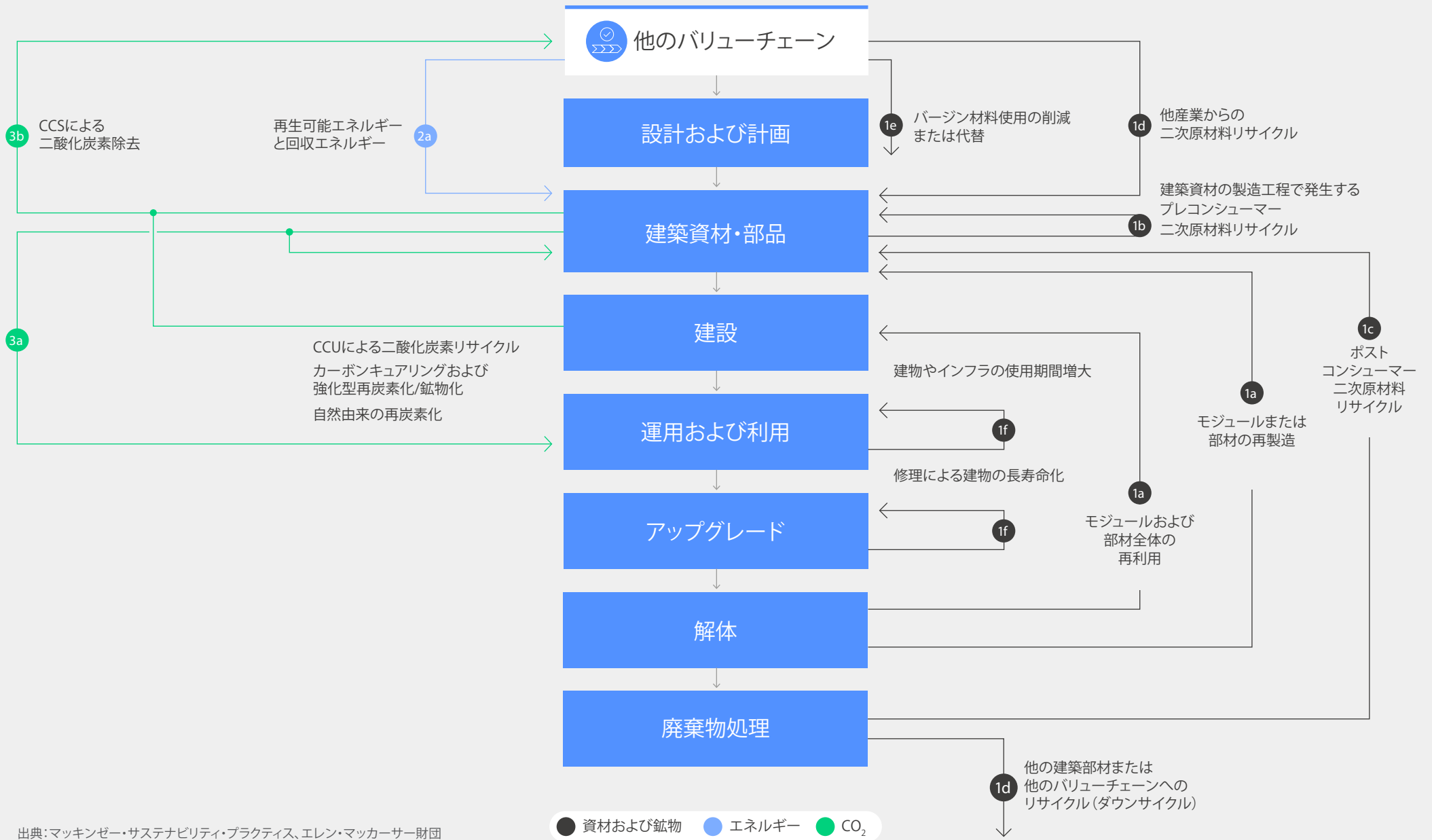
使い捨ての直線型システムから循環型システムへの移行は、効率的な資源活用と新たなビジネスモデルによるコスト改善を特徴とした価値創造の新たな機会をもたらす。その一つが資源ループだ。資源ループとは、バリューチェーン全体を通じた資源の流れを示すもので、資源の再循環、資源の効率化、資源の利用という三つの重要な観点がある。資源ループという考え方を取り入れる目的は、廃棄物をなくし、効率を高め、新しい建物の必要性を減らせるよう、資源を最も価値のある状態で最大限に再循環させることである。

様々な循環ループが、これら三つの観点を具現化している(図1参照)。まず、資源の再循環を促進する

には、同一バリューチェーンや隣接するバリューチェーンにおける部材の再利用や再製造、あるいは建築資材の価値を高めたままでのリサイクルを行う。次に、資源を効率化するには、廃棄物を二次原料として有効利用するほか、建築資材を製造するための資源消費を最適化する、または建築物一棟当たりの製品使用量を削減することにより、廃棄物をなくすことが考えられる。最後に、資源の利用を最大化するには、耐用年数を延ばし、スペースや既存の建物を共有、再利用すること、あるいは改築、改装した上で再利用することで、建物のライフパンを延ばすことができるだろう。以下に詳しく説明していく。



図1 | 建造環境における三つの観点と九つの循環ループ



出典: マッキンゼー・サステナビリティ・プラクティス、エレン・マッカーサー財団

1.1 資源の再循環

建築資材全般において、製造時にバージン原料の代替としてリサイクル建設解体廃棄物（CDW）を使用する選択肢は数多くある。破碎されたCDWは、道路建設用の破碎コンクリートとして、あるいはコンテナガラスやファイバークラスの製造における低品質のガラスカレットなど、他のバリューチェーンにおける原料として、建設現場で直接再利用することができる。図2は、2030年と2050年までの、三つの観点に沿った潜在的なビジネスチャンスと二酸化炭素排出削減量の概要を示している。全体として、資材と鉱物の再循環がもたらす年間の純増価値は2030年までに310～480億米ドル、2050年までに1840～3100億米ドルと見積もられている。再利用と再製造の純増価値は、2030年に60億～130億米ドル、2050年に450億～960億米ドルと見積もられる一方、建築資材と鉱物のリサイクル（ダウンサイクリングを含む）がもたらす純増価値は、2030年で250億～350億米ドル、2050年で1,380億～2,140億米ドルと高い値が見積もられる。これらの二酸化炭素排出量削減ポテンシャルは、再利用と再製造で2030年に0.02～0.04Gt-CO₂、2050年に0.1～0.2Gt-CO₂、リサイクルでは2030年に約0.2Gt-CO₂、2050年に1～1.3Gt-CO₂に相当する。

資源を再循環して得られるエネルギーには、廃棄物やバイオマスからの代替燃料を利用して得られるエネルギーがある。この活用法は地域に依存し、加熱乾燥した砂糖、エネルギー用サトウキビ、熱分解

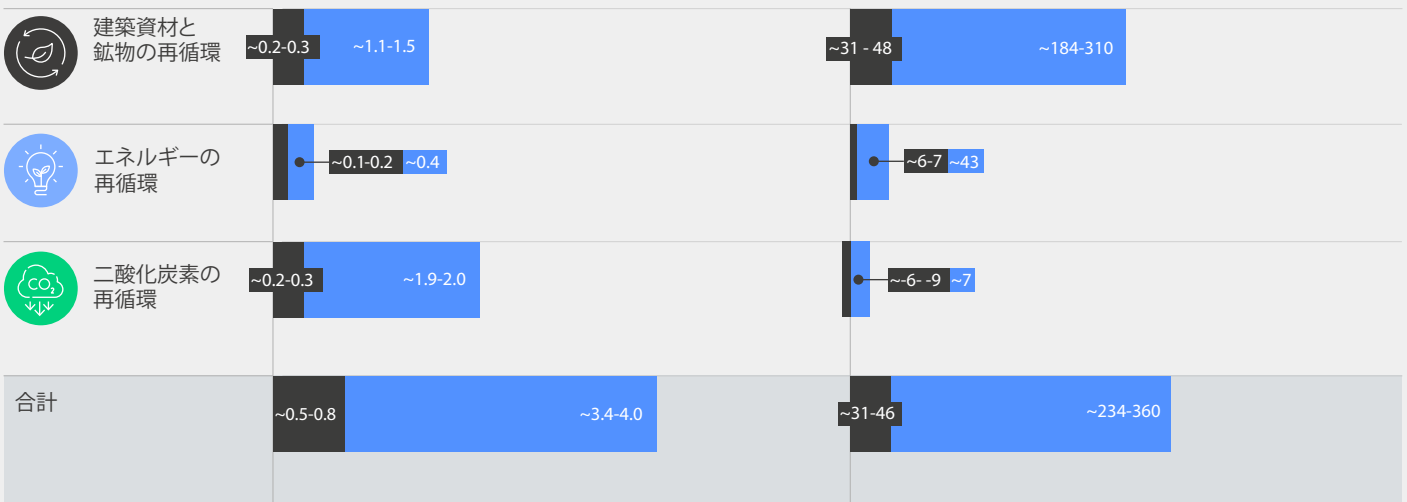
したユーカリなど、主に廃棄物やバイオマスの供給力が高い地域で大きな役割を果たす。採用すれば2030年までに60～70億米ドル、2050年までに約430億米ドルのバリュープールを掘り起こすことができ、2030年までに約0.1～0.2Gt-CO₂、2050年までに約0.4Gt-CO₂の削減が可能になる。

建築資材の加工・生産から排出される二酸化炭素の再循環とは、二酸化炭素回収・利用（CCU）によりバリューチェーンに戻すことであり、これにはカーボンキュアリング（炭素硬化）、強化型再炭素化、鉱物化、自然再炭素化が含まれる。また、二酸化炭素回収・貯留（CCS）により、バリューチェーンから排出を完全に除去することを指す場合もある。二酸化炭素回収技術は、ヨーロッパや北米のようなカーボンプライシングのメカニズムが急成長している地域や、鉄鋼やセメントのような高排出産業が集積しているCCUハブ内で最初に導入される可能性が高い。CCSによる排出の除去やCCUによる排出の再利用は、2050年に約1.9～2.1Gt-CO₂を削減すると同時に、70億米ドルの価値を生み出すだろう。これらはすでに2030年までに0.2～0.3Gt-CO₂を削減することにも貢献している。しかし、初期投資と先行コストがあるため、2030年には60～90億米ドルの初期損失が発生する。

図2 建築資材と鉱物、エネルギー、内包二酸化炭素排出量の再循環を目的としたサーキュラリティ対策による純増価値と二酸化炭素排出削減ポテンシャル(2030、2050年)

二酸化炭素削減ポテンシャル (単位:Gt-CO₂)

純増価値 (単位:10億米ドル)



● 2030年 ● 2050年

出典: 専門家のアセスメントとプレス調査/技術報告書に基づきマッキンゼーにて分析および計算



1.2 資源の効率化

効率化とは、より少ない資源でより多くをまかなうことである。建築資材を戦略的に再利用し、新たな資源の必要性を抑えて、最終的には全プロセスを通じて廃棄物を削減することを目指す。また、生産プロセスにおける資源消費を微調整することで、建築物一棟当たりに必要な資材全体の量を大幅に削減することができる¹⁰。

この原則の代表的な例が、建築モジュールの最適化である。設計とエンジニアリングによって、構造的な安全性を維持あるいは改善しながら、使用する資源をより少なくすることができる。これを達成するには、建築資材が本来持っている強度を最大限に引き出し、新たな資源の投入を最小限に抑えて、最適な性能

発揮できるようにするアプローチを取る。そうすることで、建造に伴う環境フットプリントの大幅な削減につながるだけでなく、長期的には資源の効率的な利用にも貢献する。

サーキュラー・エコノミーの枠組みで説明される原則は、「取って・作って・捨てる」という直線的なモデルから、資源を保存し、システムを通じて永久に循環させるという循環的なモデルへのパラダイムシフトを促すものである。ここで説明した効率化の手法を建設業界に取り入れることは、この原則に沿っている。

1.3 資源の利用

資源の利用とは、ある製品やモジュールが使用される回数や期間を増やすことを目的とするもので、資源の使用価値を向上させ、フットプリントを削減することができる。資源の耐用年数を延ばし、その利用を最大化するには、スペースを共有すればよい。そのためには、建築コンポーネントを様々な目的に利用でき、入れ替え可能なものにする必要がある。

このような建設手法のパラダイムシフトを取り入れれば、様々なメリットがある。資源のライフスパンを延ばし、その可能性を最大限に引き出し、継続的な交換や再利用の必要性が低減されるからだ。

革新的なビジネスモデルは、さらに有効である。資源の共有、リース契約、「サービスとしての」製品流通で、建物や部品の利用率を向上できる。こうしたモデルは、資源配分と利用の効率化を促進し、建造に伴う環境負荷の低減に大きく貢献する。

また、建築部材の耐用年数を延ばす上で、事前に積極的メンテナンスを行う戦略が極めて重要である¹¹。補修や改修によって建築資材や製品が早々に廃棄されることが起こりにくくなり、建設工程でのサーキュラリティが強化されるからだ。このような対策により、建造に伴う環境への影響が大幅に軽減されるだろう。

2

循環型建築資材を使用した 建築

建造環境のバリューチェーンでは、
建築資材別に循環ループと対策を
考えなければならない。

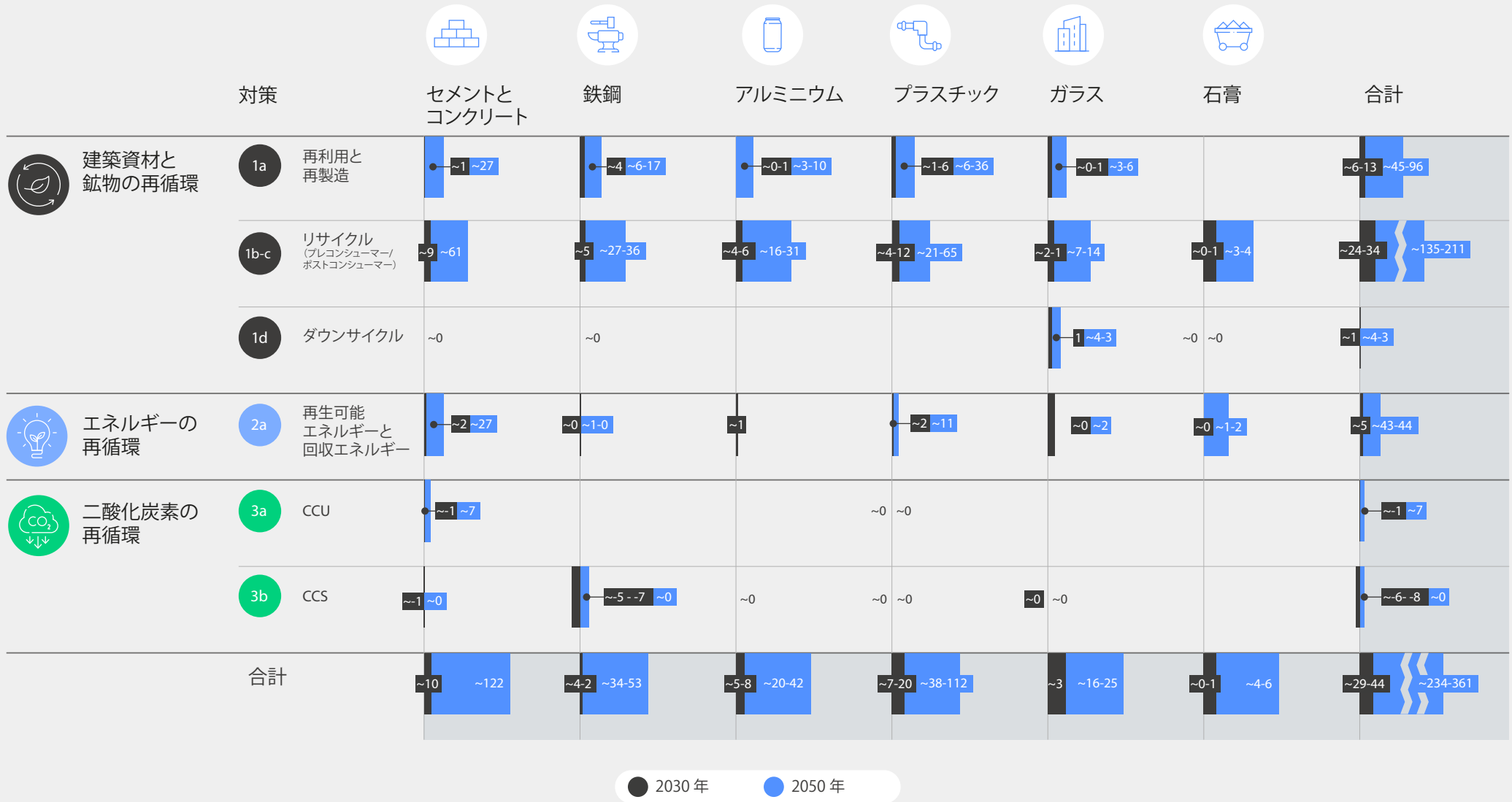
図3に、六つの建築資材について、三つの側面からサーキュラリティ（循環性）の実現が期待できる経済的価値と二酸化炭素排出削減量の概略をまとめた。一つ目がこのモデルの予想純増価値、次が二酸化炭素排出削減ポテンシャルである。いずれも、2030年と2050年の予想値を棒グラフで示す。予想として、対策のうち「建築資材と鉱物の再循環」にある項目、中でも「リサイクル」は2030年と2050年の両方で突出した価値を創出する。「CCU」と「CCS」では多額の投資が必要になるため、純増価値はマイナス（2030年）あるいは相対的

に低い（2050年）が、2030年には著しい二酸化炭素排出削減量が期待でき、2050年には総削減量の過半数を占めることが予想される。以降のセクションでは、六つの建築資材すべてについて、詳しい分析結果を数字で説明する。ハイライトとなる循環ループ、その結果生じる2030年と2050年のバリュープール予想と二酸化炭素排出削減量予想について述べていく。また、一部建築資材についてはモデル事例も紹介し、現場にたずさわる業界各社がこうした機会を捉えて活用できる戦略的オプションを具体的に説明する。



図3 | 観点ごとのサーキュラリティ対策で得られる二酸化炭素削減ポテンシャルと純増価値の概要 (2030年、2050年 単位: Mt-CO₂)

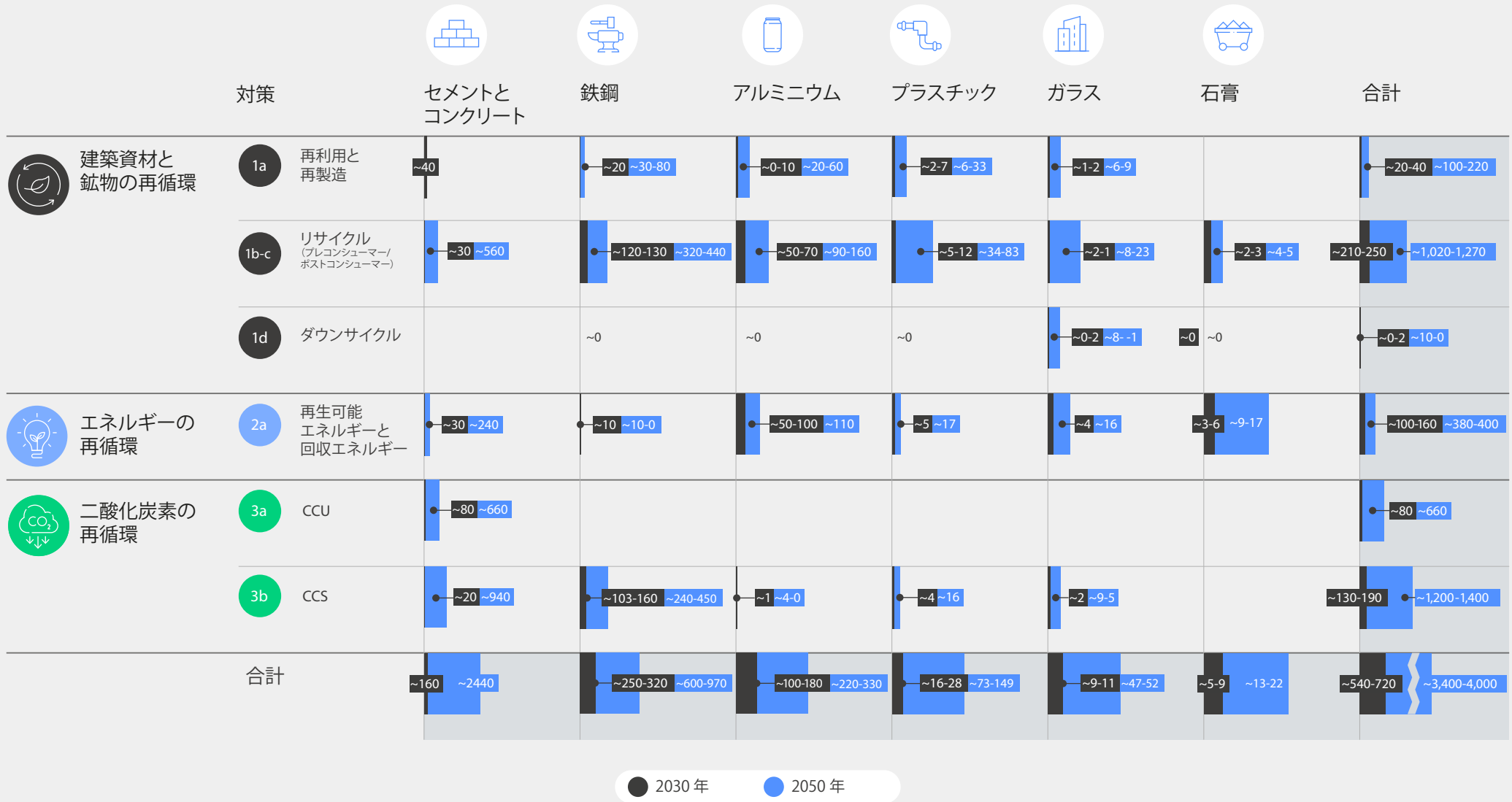
観点ごとのサーキュラリティ対策で得られる純増価値の概要 (単位: 10億ドル)



出典: 専門家のアセスメントとプレス調査/技術報告書に基づきマッキンゼーにて分析および計算

図3 | 観点ごとのサーキュラリティ対策で得られる二酸化炭素削減ポテンシャルと純増価値の概要 (2030年、2050年 単位: Mt-CO₂) (続き)

観点ごとのサーキュラリティ対策で得られる二酸化炭素削減ポテンシャルの概要 (単位: Mt-CO₂)



出典: 専門家のアセスメントとプレス調査/技術報告書に基づきマッキンゼーにて分析および計算

2.1 コンクリートとセメント

セメントは建造環境の中でも最大の二酸化炭素排出源で、建築資材関係では 30%、世界の二酸化炭素排出量では 7% を占める²。このセクターは特に排出量削減が難しい。セメント製造には大量のエネルギーが必要で、抽出、加工、大量生産の工程でかなりのレベルの二酸化炭素が排出されるからである。また、今後値上がりする可能性が高い炭素価格¹³や埋め立て税をはじめ、様々な外的要因の影響をダイレクトに受けやすい。このため、セメントにサーキュラリティを導入すると、全建築資材でも最大のバリュープールを創出できる可能性がある。純増価値は 2030 年に 100 億米ドル、2050 年は 1,220 億米ドルと予想され、これらはそれぞれ、予想市場規模の 2% と 28% を占める¹⁴。セメントおよびコンクリートの循環システムからの資産利益は主に、鉱物化（固定化）技術とスマート破碎骨材から得られ、680 億米ドル以上の利益が見込める。コンクリート廃棄物もまたリサイクルされ、クリンカ（石炭灰）に代わる原材料としてコンクリート製造の骨材に使用される。

ここで紹介した循環ループ全体で、2030 年と 2050 年までにそれぞれ 0.2 および 2.4Gt-CO₂ の排出量削減が可能である。これは、総排出量のそれぞれ 6% と 96% の削減機会となる。排出した二酸化炭素をコンクリートに再注入して硬度を高めるカーボンキュアの技術は、二酸化炭素の再循環に大きく貢献できる。

その他の主な技術には、打ち継ぎの装置や作業スペースでの強化型再炭素化や、コンクリート廃材やその他の廃棄物から生成した骨材の鉱物化などがある。CCS やその他の除去技術にもさらなる二酸化炭素排出量削減のポテンシャルがある。セメント工場を改修し、CCU および CCS 技術を導入すると、2030 年の削減総量はそれぞれ 0.08 および 0.02Gt-CO₂ となる。2050 年までにはさらに増え、0.66 および 0.9Gt-CO₂ の削減量が見込める。コンクリートとセメントのバリューチェーンにおける炭素再循環による年間純増価値への影響は、先行コストが高額であるため 2030 年には 15 億米ドルの損失が予想されるが、2050 年までには 70 億米ドルのプラスの価値を創出できるだろう。

エネルギーの再循環は 2030 年までに約 20 億米ドル、2050 年までに 270 億米ドルもの純増価値を生み出せる可能性を秘めていることが分かった。これらの対策から、2030 年には 0.03、2050 年には 0.2Gt-CO₂ の削減にそれぞれ寄与できる見込みだ。廃棄物やバイオマスなどの代替燃料を使ったエネルギー産出を検討するなら、地域差への留意が不可欠である。しかもこの工程はラテンアメリカやロシアのように廃棄資材が潤沢に供給できる地域に依存している¹⁵。どの技術をとっても完成度にばらつきがあるため、影響の見通しにも差異が生じる。

④ セメントのサーキュラリティには、全建築資材の中でも最大のバリュープールを創出できる余地がある。純増価値は2030年で100億米ドル、2050年で1,220億米ドルと予想される。

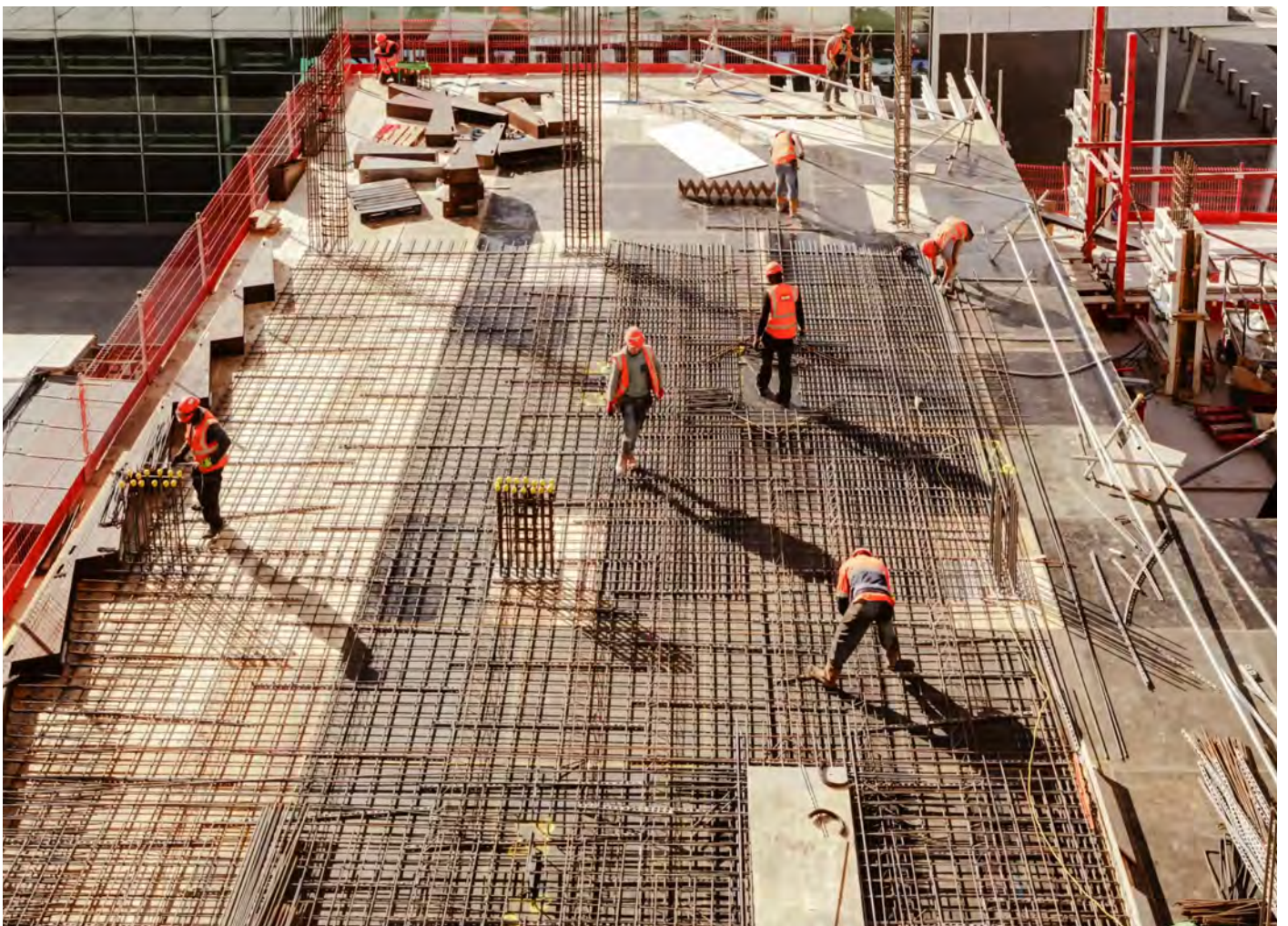
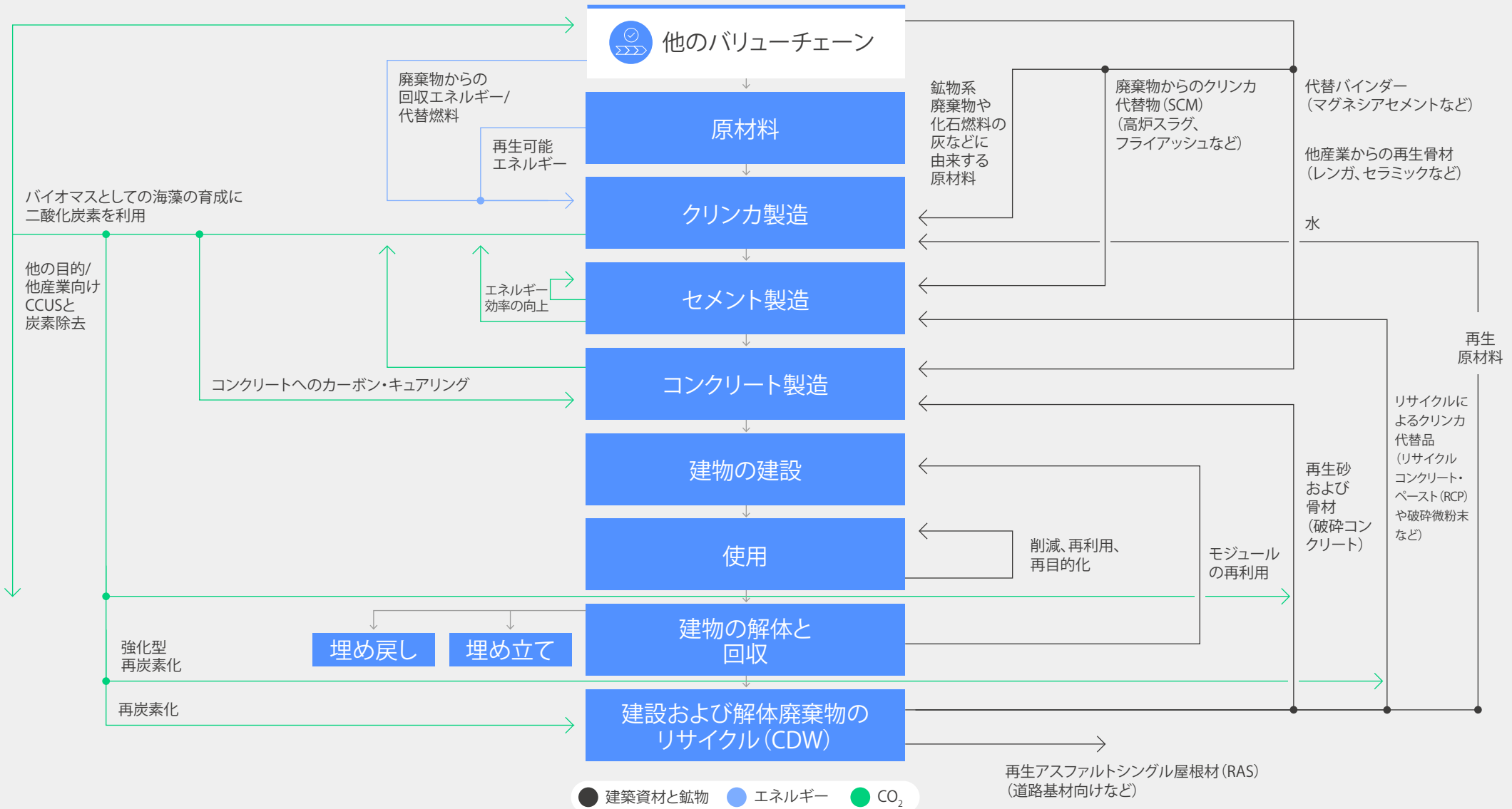


図4 | セメントとコンクリートのバリューチェーンの循環ループ



出典: マッキンゼー・アンド・カンパニー: 「The circular cement value chain: Sustainable and profitable (サステナブルで収益性の高いセメント循環のバリューチェーン)」2023年
<https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials/our-insights/the-circular-cement-value-chain-sustainable-and-profitable>.

いくつかの建築資材について、業界各社が現在どのように二酸化炭素排出量削減の将来性とバリュー

プールを捉えているかを示す事例を簡単に紹介する。いずれも、公開情報を元にしたフィクションだ。

ケーススタディ 1 コンクリートとセメント

建築資材業界のある企業は、自社の技術プラットフォームを活用したセメント、コンクリートおよび骨材のサーキュラリティ導入の余地について検討を始めた。建築・解体から出る廃棄物の大規模リサイクルと再利用について徹底した業務の手順化を行い、必要な技術を立ち上げて、同社はこのセクターにおける循環型資材のプロバイダーとして頭角を表す戦略に成功した。成功の鍵は、これらの資材の加工、研削、リサイク

ルに特化したことにある。これにより、廃棄物の回収から移送、加工、そしてリサイクル資材の製造と流通までを自社で完結できるサーキュラー・エコノミー対応ソリューションが提供できた。この新規事業の強みは廃棄資材再利用の用途の幅広さである。結果として、セメント、コンクリート、骨材のリサイクル率は10～100%となり、年間約600～800Mt-CO₂相当の建築および解体資材をリサイクルしている。

2.2 建設用鉄鋼

鉄鋼はすでにかなり循環性が高い資材である。とりわけ先進国では建設用鋼スクラップの70～80%が鋼材にリサイクルされ、再利用されている¹⁶。それ以外では、電気炉（EAF）による鉄鋼生産への移行とスクラップの回収および使用率の引き上げが有望視されている。これらの対策も含めてサーキュラリティを高めると、2030年までにさらに0.2～0.3Gt-CO₂の二酸化炭素排出削減が見込める。これは二酸化炭素総排出量の18～22%を占める。2050年までの削減量は0.6～1Gt-CO₂に達し、二酸化炭素総排出量の37～60%を占める見通しだ¹⁷。鉄鋼でのサーキュラリティ対策からは、2030年までにさらに20～40億米ドル（市場推定総額の1%）の付加価値が見込め、2050年には340～530億米ドル（現在の市場規模の9%¹⁸）にまで成長する公算がある。

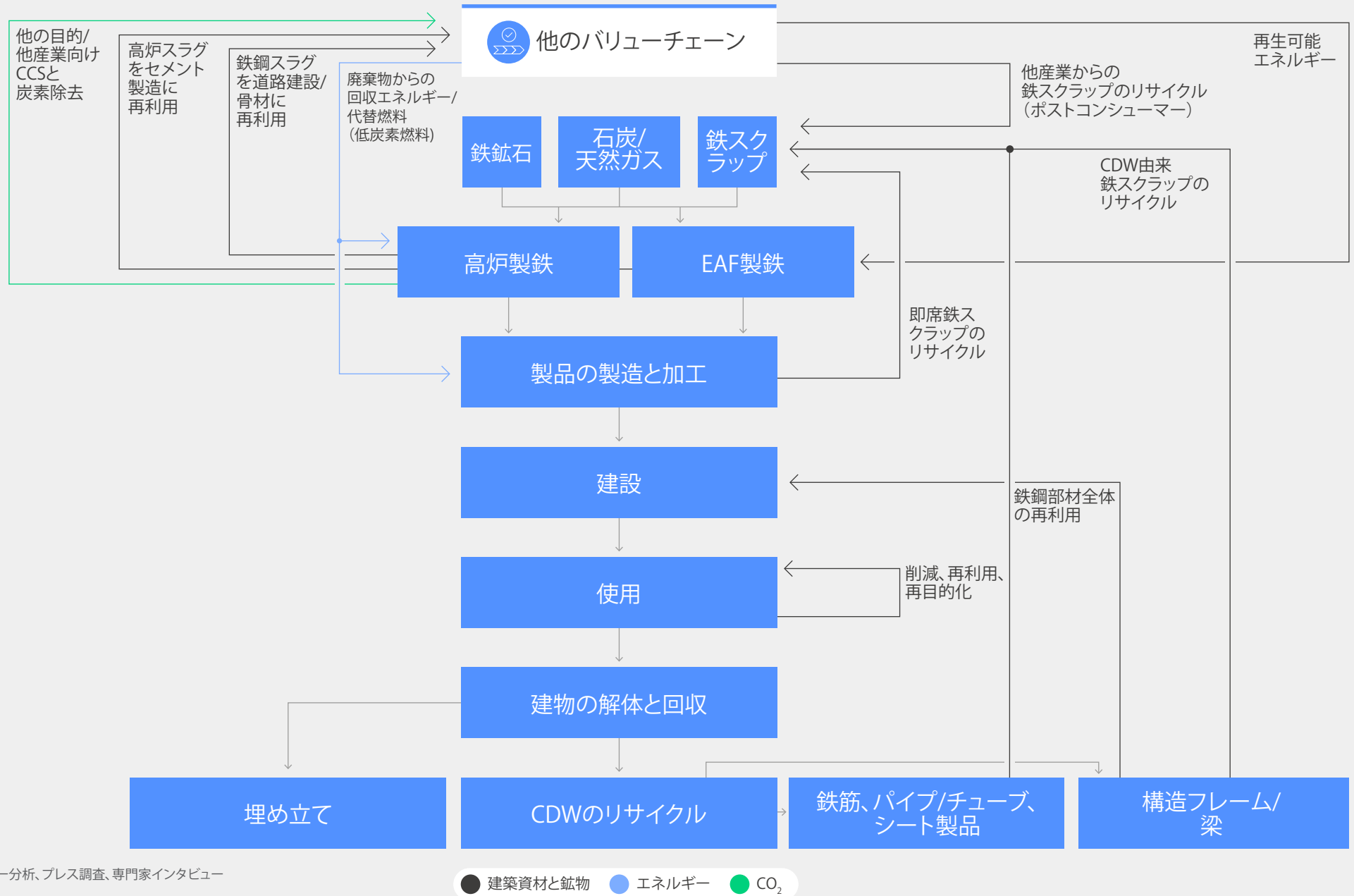
現在、建設用鉄鋼部材全体での再利用や転用は小規模でしか運用されていないが、今後広く展開できる余地がある。再利用の要となるのが、モジュラー性や分解しやすさに配慮した設計である。鉄骨ならばそのまま新築あるいは改築建物にも再利用が可能であり、あるいは必要な長さに切断し、他の鋼材に再圧延することもできる。こうした対策を実施すれば、2050年までに0.03～0.08Gt-CO₂の排出を削減しながら60～170億米ドルの純増価値がもたらされる。建設用鋼材の標準化の徹底、丁寧な解体、鉄鋼廃棄物の直接選別、建物のマテリアルパスポートの活用などによって、建設用鋼材の再利用および再転用の将来性はさらに広がるだろう。

すでに普及している対策にも、徹底強化できるものがある。鉄鋼製造に使うエネルギーは再循環できる。電気炉（EAF）製鉄所では使用する電力を再生可能

エネルギーにし、直接還元鉄（DRI）製法の製鉄所ではグリーン水素を燃料に使用している。鉄スクラップもまたリサイクル可能で、建設用EAF鋼材製造の原材料にするために再溶解できる。EAF鉄鋼の生産実施では、鉄スクラップの回収とアップグレードの強化が、サーキュラリティを高める対策の中でも最大の核心部分となる。何も対策を講じなかった場合（BAU：通常業務下）をはるかに超えたりサイクルができれば、2050年までに0.3～0.4Gt-CO₂の排出削減に貢献しながら270～360億米ドルの価値を創出できる。計画性をもってより多く、より良質なスクラップの入手ルートを確認するには、二つの方法がある。一つは、鉄鋼メーカーとリサイクル業者の垂直統合。もう一つは、鉄鋼メーカーと鉄鋼消費者とで閉じたループを作るパートナーシップだ。いずれの方法も、今後ますます重要になるだろう。バイオマスのような代替エネルギー源や燃料を混合燃料に使うと、2050年までの純増価値は概算で約1億～5億米ドルと予想される。2050年までの二酸化炭素排出削減量は0.01Gt-CO₂程度と比較的低い。

最後に、CCS技術を使った二酸化炭素の再循環は、鉄鋼生産の脱炭素化の文脈では特にインパクトが大きく、2050年までに約0.2～0.5Gt-CO₂の削減が見込まれる。この数値は、業界全体が何も対策を講じなかった場合のCO₂総排出量の平均21%に相当する。この分析によると、改修してCCSユニットを導入した統合高炉製鉄所は二酸化炭素排出量を80%も削減できる。

図5 | 鉄鋼バリューチェーンの循環ループ



出典: マッキンゼー分析、プレス調査、専門家インタビュー

ある鉄鋼メーカーは、サーキュラリティが有望であることを実証した。具体的には、サプライチェーン全体の構造変更、生産技術の最適化、従来の原材料をバイオコックスに置き換えたフェロクロム生産などにより、実質的に廃棄物を最小限に抑えている。また、業界全体のスクラップフロー管理について、透明性と協働を強化した取り組みに乗り出した。ゼロカーボ

ン・スチール（二酸化炭素排出量ゼロの鉄鋼製造）の徹底的な研究開発とバリューチェーンの実質的統合が奏功し、同社は世界の鉄鋼業界のカーボンフットプリントにおいて約7～9%の二酸化炭素排出量削減を果たし、新製品でのリサイクル率100%を維持している。



2.3 建設用アルミ

“リサイクル資材の割合を現在の13%から2050年までに最大50%まで増やすと年間二酸化炭素純排出量は約0.1～0.2Gt-CO₂減少し、約160～310億米ドルの純増価値が創出できる。”

現在、アルミのサプライチェーンではリサイクル率は約30%と、部分的にサーキュラリティ化が進められている。ただし、建築業界での二次材料のシェアは極めて低く、わずか13%に留まる¹⁹。アルミはその機械的特性をいっさい損なわず無限にリサイクルができるため様々なサーキュラリティ対応が考えられるが、アルミニウムを主成分とする合金が多岐にわたること、また現在のスクラップ選別技術との兼ね合いから、アルミニウム製品をはじめその他の循環ループでリサイクル率を高めることが難しい。現在、建設用アルミニウムからの二酸化炭素排出量は約313Mt-CO₂で、予想では2050年までにこれが約382Mt-CO₂にまで増える。循環型アルミニウム対策をさらに導入すると、全体で2030年に27～51%（0.1～0.2Gt-CO₂）、2050年には62～89%（0.2～0.3Gt-CO₂）の二酸化炭素排出量をそれぞれ削減できる見込みだ。また、2030年には50億～80億米ドル、2050年には200億～420億米ドルの純増価値が生まれるだろう。これは、2030年と2050年の建築用アルミ市場全体のそれぞれ約4～8%、20～40%に相当する。

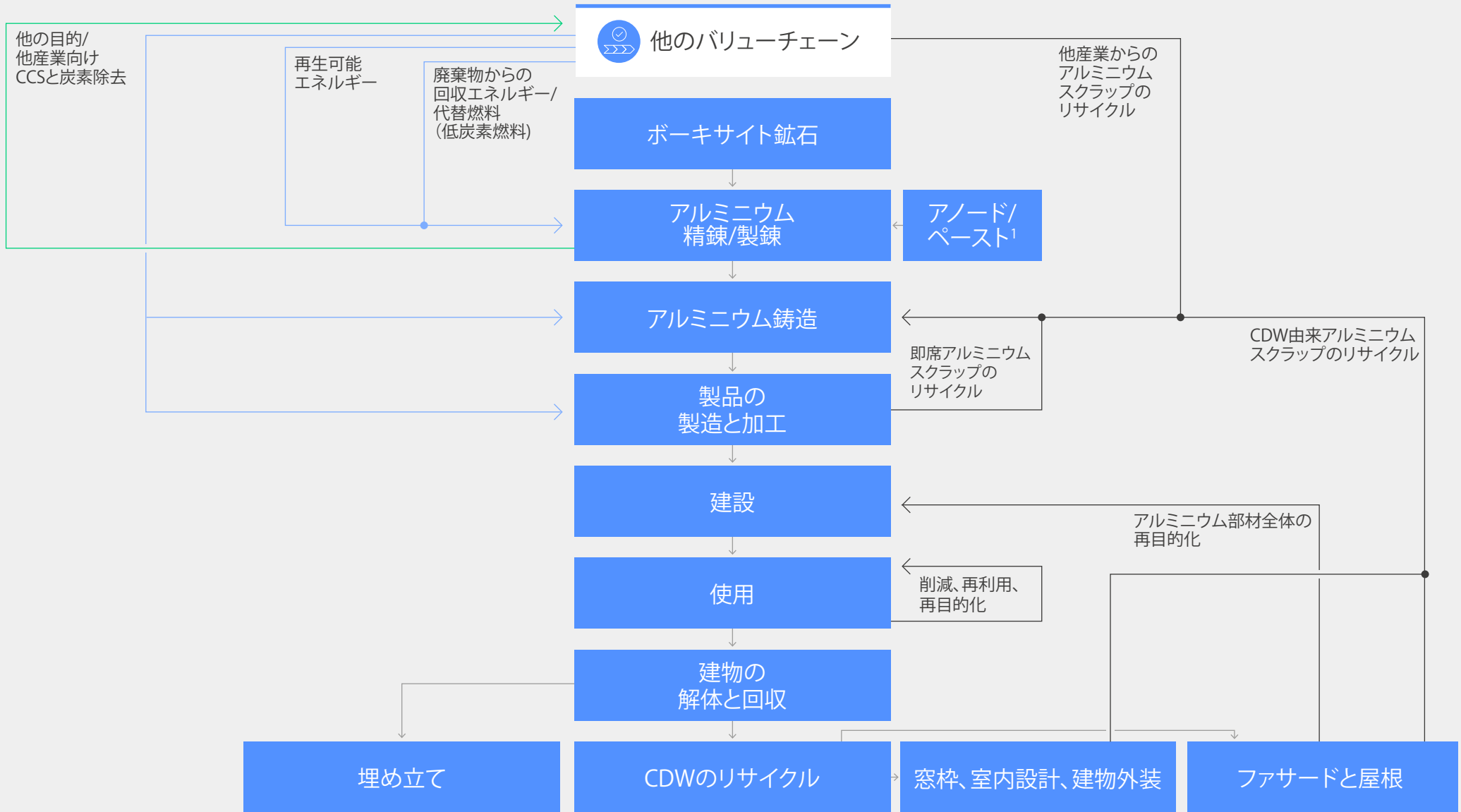
アルミのバリューチェーンにおける二酸化炭素排出量削減の最大の鍵を握るのは、アルミ製部材やモジュールの再利用に配慮した設計だ。これによって再生資材をより多く使い、代替燃料を活用できる。

アルミの再利用とモジュール化に配慮した設計は、長期的（つまり建築物のライフサイクル）に決定的影響を与える、今すぐにでも取り組むべき対策である。アルミ製の部材やモジュールを再利用すれば、バージン原料調達で発生するコストと二酸化炭素排出量を減らせる。予想では、2050年までに年間二酸化炭

素純排出量を0.02～0.06Gt-CO₂減らし、30～100億米ドルの純増価値が生まれる。リサイクル資材の割合を現在の13%から2050年までに最大50%まで増やすと、年間二酸化炭素純排出量は約0.1～0.2Gt-CO₂減少し、約160～310億米ドルの純増価値が生まれる。最大の課題は、アルミニウムは汚染に弱く、不純物が混入しやすいため品質が一定しないこと、そして多彩な用途に最適な部材をマッチングさせる難しさが挙げられる。アルミニウムのリサイクルで最大規模の対策は、ポストコンシューマー・スクラップ（家庭や市場で使用された製品から回収したアルミ屑）だ（95%）。これとは別に、生産工程で出るプレコンシューマー・スクラップ（消費者の使用を経ずに回収されたアルミ屑）もまた、注目すべき対策である。リサイクルート（再生処理材料）の回収を増やすには、バリューチェーン全体で業界関係者の協力が欠かせないだろう。具体的には、オンサイト（現場での）リサイクリング、標準化、そして資材フローの透明化の徹底といった手段がある。

代替燃料を使用すれば、二酸化炭素排出量を大幅に減らすことができる。現在の電力使用は生産活動から発生する排出量全体の67%を占める。化石燃料をバイオガスやその他の代替燃料に置き換えた場合、アルミニウムメーカーが代替燃料をどれだけ入手できるかにもよるが、カーボンフットプリントを最大30%（2050年で0.1Gt-CO₂）削減できる。CCSも、工場などから排出された燃焼排ガスに残る二酸化炭素を他の気体から分離して集めるため、意義ある対策となり得る。とはいえ、アルミ生産工程における排出物のシェアの小ささを考えると、その影響力は限定的である。

図6 | アルミバリューチェーンの循環ループ



注記:1 コアモデルには含めない

出典:マッキンゼー分析、プレス調査、専門家インタビュー

● 建築資材と鋳物 ● エネルギー ● CO₂

2.4 建設用プラスチック

建設用プラスチックには、床材やパイプなどに使用されるポリ塩化ビニル（PVC）、被覆材や屋根材に使用される高密度ポリエチレン（HDPE）製シート、断熱材となるポリウレタン（PU）やポリスチレン（PS）など、多くの利用形態とポリマーがある²⁰。建造環境が世界のプラスチック需要に占める割合は18%で²¹、プラスチックは現在建築資材量の3%を占める（例：プラスチック製のパイプ、レンガなど）。排出係数が高いことから、建造環境におけるプラスチックの2020年排出量は127Mt-CO₂と試算され、2050年にはこれが288Mt-CO₂にまで膨らむ可能性がある²²。現在、建築用プラスチックのバリューチェーンは大多数が一方通行のリニア（直線）型フローであり、地域にもよるがリサイクル率はわずか17%と低い。建造環境には、プラスチック廃棄物の大規模な受け入れ拠点としての機能を果たせる余力がある。また、リサイクルプラスチックのシェアを増やす機会もまだまだある。

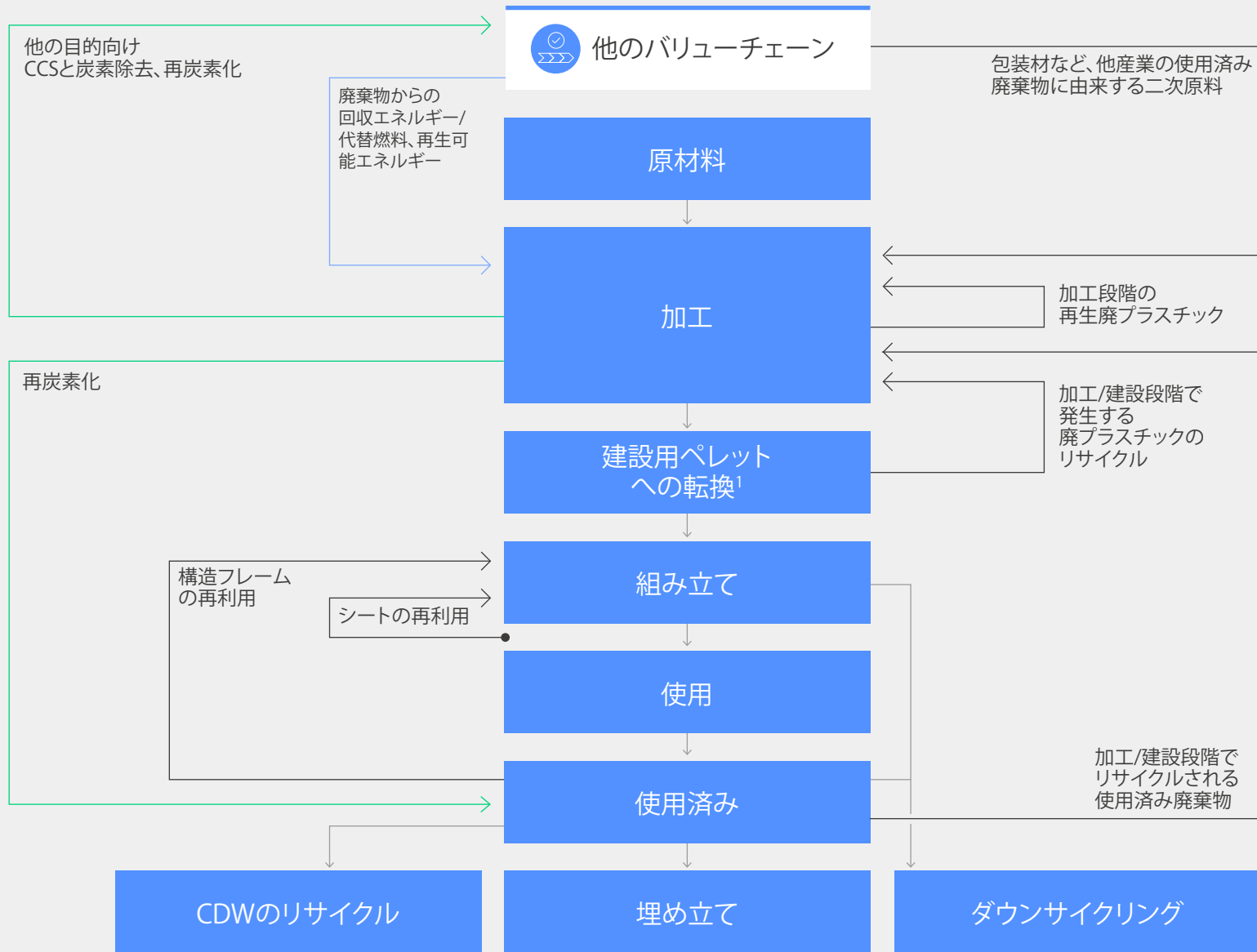
脱炭素化を進める主な機会には、プラスチックシートやモジュールの再利用、粉碎再生プラスチック（例：ペレットや顆粒など）活用の増加、代替燃料の使用、CCSの導入がある。予想では、2030年そして2050年までに二酸化炭素排出量をそれぞれ10～17%、30～62%削減できる。これは、16～28Mt-CO₂（2030年）、そして0.1～0.2Gt-CO₂（2050年）の削減に相当する。これらの対策を実施すると2030年には70～200億米ドル、2050年には380～1,120億米ドルの純増価値を創出できる。それぞれ、予想市場規模の約4～11%、12～34%を占める²³。

この分析によると、サーキュラリティ対策の一環として再利用を進めるなら、年間二酸化炭素純削減量は2030年に2～7Mt-CO₂、2050年に6～33Mt-CO₂となり、それぞれ10～60億米ドルと60～360億米ドルの純増価値が生まれるだろう。粉碎再生プラスチックのリサイクル率は現在17%だが、これを2030年までに35%、2050年までに61%に引き上げると、年間二酸化炭素純削減量は2030年に5～12Mt-CO₂、2050年には34～83Mt-CO₂となる。ここからそれぞれ、40～120億米ドルと210～650億米ドルの純増価値が生み出される。この実現に不可欠なのが、廃棄物を費用対効果の高いやり方で回収施設に確実に供給すること、建築資材回収の代替ビジネスモデルの研究、選別と廃棄物回集技術強化への投資、廃棄物リサイクル処理能力をスムーズに引き出せるサーキュラリティに配慮した設計である。これらは十分なリサイクル処理能力や、製品や廃棄物のフロー全体が標準化された大規模な（化学的）リサイクル技術との相乗効果が期待できるものであるべきだ。

化石燃料をバイオメタン、バイオナフサをはじめとする代替燃料に換えれば、プラスチックメーカーはカーボンフットプリントを2030年には総排出量の3%、2050年までに7%を削減しながら、それぞれ20億米ドルと110億米ドルの純増価値を生み出すことができる。また、PVC、PU、PS、HDPEなどのプラスチックの分解過程にCCSを導入すると、二酸化炭素総排出量の3%（2030年）および7%（2050年）の削減に寄与できる。



図7 | プラスチックのバリューチェーンの循環ループ



1 実現可能性に関する情報が不十分なため、削減ポテンシャルの計算からは除外。

出典: マッキンゼー分析、プレス調査、専門家インタビュー

● 建築資材と鉱物 ● エネルギー ● CO₂



2.5 板ガラス

現在、板ガラスのバリューチェーンは大多数がリニア（直線型）フローであり、リサイクル率は0～1%、ダウンサイクル率も約40%と低い。埋め立て率は地域にもよるが、約60%である。建設用板ガラスの二酸化炭素排出量は現在およそ64Mt-CO₂で、2050年までにはこれが130Mt-CO₂にまで上昇すると見られている。

板ガラスに循環型対策を追加導入すれば、2030年と2050年までにそれぞれ、エネルギー関連の二酸化炭素排出量の約10～11%（約0.01Gt-CO₂）と36～41%（約0.05Gt-CO₂）を削減できるだろう。これによって2030年までに30億米ドル（市場規模の3%）、2050年までには160～250億米ドル（予想市場規模全体の約14～22%）の純増価値が期待できる。

建設用ガラスの脱炭素化機会のハイライトは、ガラス板とモジュールの再利用からカレットの使用を増やし、バイオガスのような持続可能な燃料を使った生産工程（特に加熱工程）の脱炭素化を図ることである。再利用とモジュール方式を意識したガラス設計は、建物の長期的ライフサイクルに大きなインパクトを与えられるはずだ。具体的には、ガラス板とモジュールの再利用が進めば2030年と2050年の年間二酸化炭素純削減量はそれぞれ1～1.5Mt-CO₂と6～9Mt-CO₂になり、5～7億米ドルと30～60億米ドルの純増価値が見込める。再利用に配慮した設計、循環型調達モデルによるガラス板とモジュールの再利用、そして「ガラス・アズ・ア・サービス」と市場の垂直統合の実現が、ガラスのサーキュラリティを高める主な対策となる。

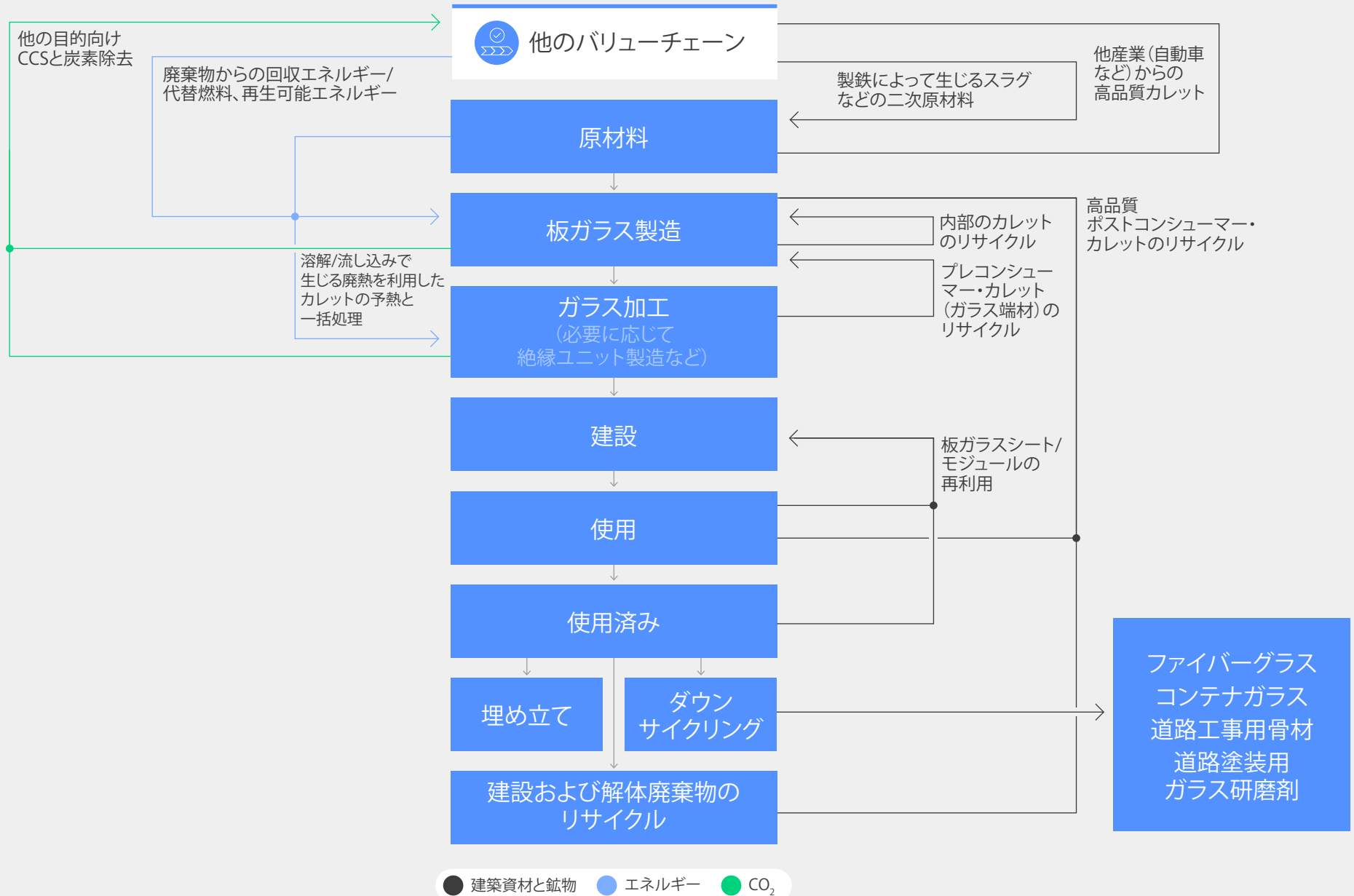
また、循環型シナリオではカレットの使用を2050年までに現在の約22%から最大60%まで引き上げれば、2030年と2050年までに年間の二酸化炭素

排出削減量をそれぞれ2Mt-CO₂と16～22Mt-CO₂にできる。この対策もまたおよそ20～30億米ドル（2030年）と110～170億米ドル（2050年）の純増価値を生み出せるだろう。いずれにせよ、適切な品質のリサイクルの確保が重要だ。大きな課題の一つに、カレットには不純物が混入しやすく、純度が損なわれやすいという問題があるからだ。カレットの回収率向上、とりわけ現場でのリサイクルにはバリューチェーン全体で業界関係者間の協力が求められる。プレコンシューマー・カレット回収の最適化をきわめることも課題ではあるが、最大の効果が期待できるのはポストコンシューマー・カレット回収である。現在、建築および解体廃棄物からカレットはほとんど回収されていない²⁴。循環型オペレーションが導入できれば、早い段階でカレットを回収しやすくなり、高品質なリサイクルガラスの供給を確保できるだろう。

代替燃料を使えば、生産工程全体の排出量の最大88%を占める燃焼から生じる二酸化炭素排出量を大幅に減らすことができる。化石燃料をバイオガスのような代替燃料に換えれば（代替燃料がどれだけ入手できるかによるが）、代替シェアは2030年に最大13%、2050年には25%に増え、ガラスメーカーのカーボンフットプリントを2030年に4Mt-CO₂（総排出量の4%）、2050年には16Mt-CO₂（総排出量の13%）削減できる。純増価値は概算でそれぞれ2030年が3億米ドル、2050年は20億米ドルとなる。

CCSもまた、工場などから排出された燃焼排ガスに残る二酸化炭素を他の気体から分離して集める有意義な手段となるだろう。CCSの二酸化炭素削減ポテンシャルは低く、2030年までに2Mt-CO₂、2050年までには5～9Mt-CO₂と予想される。合わせてガラス仕様の汎用性を高めるなど補助的な対策もまた、残留排出量の削減に有効だと考えられる。

図8 | ガラスバリューチェーンの循環ループ



出典:マッキンゼー分析、プレス調査、専門家インタビュー

窓ガラス業界のある企業は、窓ユニットの引き取り制度を立ち上げた。これによって、最後まで責任を持った廃棄物処理ができるようになった。回収したユニットは、解体専門施設に運び込まれる。ここで最先端の選別テクノロジーで部材を分解して再利用できるようにする。同社のこのアプローチから「サービスとして」モジュール化されたビジネスモデルも展開された。

この方針転換は、モジュール化や分解に配慮した設計、解体に特化した専門技術、顧客第一の社員教育、無駄を省いたデータ管理や戦略的パートナーシップといった要素に支えられて実現した。成果の一例を挙げると、窓のライフサイクルにおける二酸化炭素排出量が約30%削減できた。

2.6 石膏ボード

④ 循環型石膏は2030年までに10億米ドル、2050年には40～60億米ドルの年間純増価値が見込める。これはそれぞれ、市場規模全体の1%と3%を占める。

石膏の調達ルートは二種類ある。まずは、堆積岩に含まれる天然の石膏の採掘。もう一つは、様々な工業プロセスの副産物として合成的に作られたり、建設廃材や解体廃材からリサイクルされたりするものである。ただし、現在そのリサイクル率は非常に低い。世界の石膏市場は、2020年には約350Mt-CO₂、330億米ドルに達する²⁵。耐火性と断熱性に優れているため、石膏の最大の消費先は建設業界（世界需要の約96%を占める）である。この建材は主に、セメントの凝結硬化遅延剤（49%）、壁、天井やパーティション部材となる乾式壁（石膏ボード）（35%）、そして石膏プラスター（12%）として使用される。世界の石膏生産量の半分は採掘され、残り半分は主に排煙脱硫（FGD）石膏に代表されるように人工的に生産されている。石炭を燃料とする火力発電所（発電の副産物として排煙脱硫石膏が発生する）が次々に廃止され、地域によっては天然資源が枯渇しつつあるため、リン酸石膏、天然海水から石膏を含む成分を溶解させて析出した石膏、リサイクル石膏といった石膏生産の代替オプションが検討されている。この中ではリサイクル石膏だけが、現在技術的に実現可能な唯一の代替オプションである。

石膏のリサイクルについては、この素材が無限にリサイクル可能であり、初代の石膏よりもカーボンフットプリントが低いいため、非常に大きな伸びしろが期待される。ただし、セメントから石膏を抽出するためには、そのセメントをまずリサイクルしなければならない。石膏プラスターのリサイクルもまた、他の添加剤を含むため難しい。したがって、本分析では石膏ボードに特化して説明する。現在、石膏ボ-

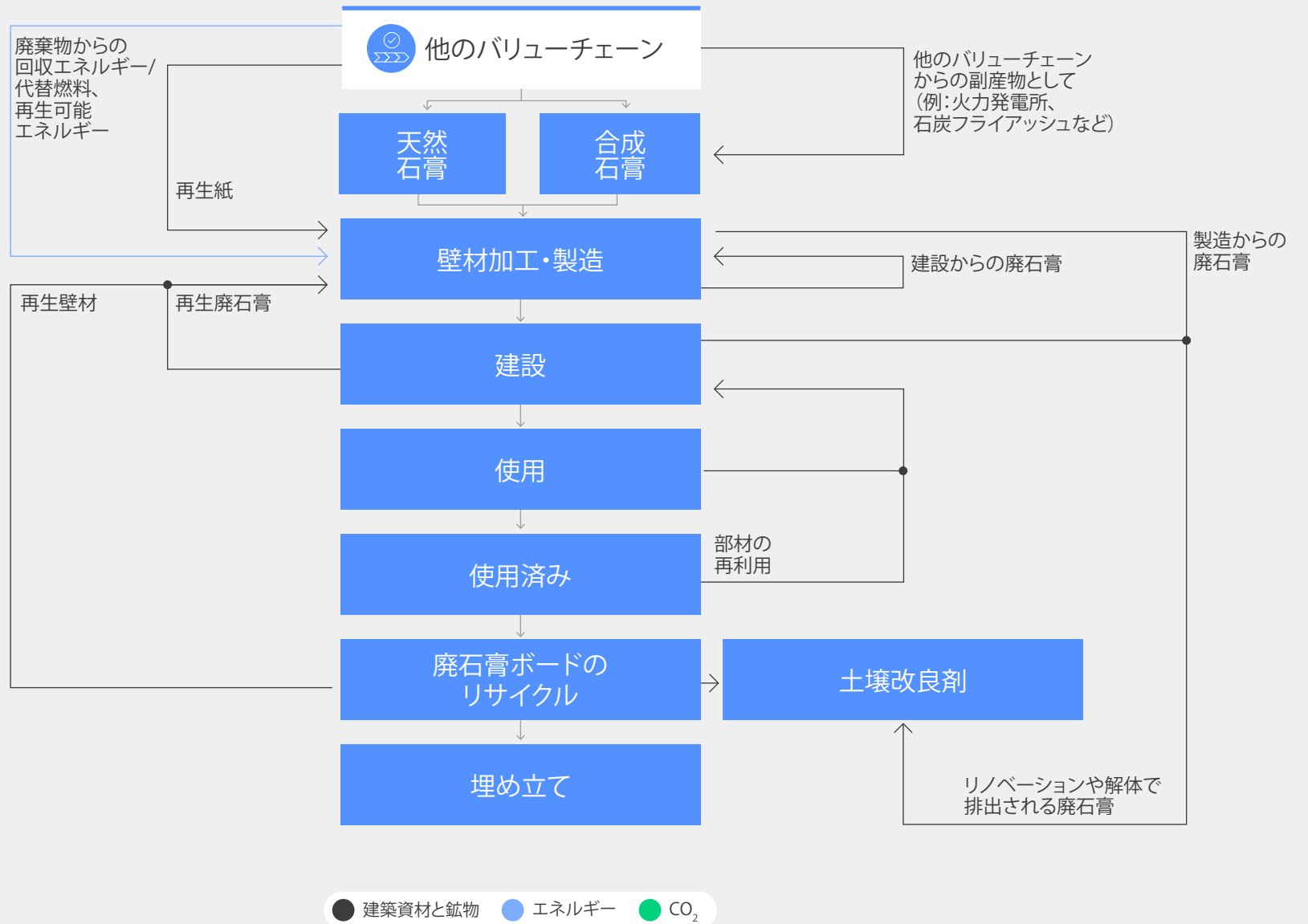
ードのリサイクル率はわずか1～7%だが、前述の資源不足、埋め立て規制、環境にやさしい素材を求める消費者需要があり、増加傾向にある。

石膏ボードのサーキュラリティを高めるには、様々な方法がある。廃石膏ボードのリサイクル、土壌改良材にするダウンサイクル、石膏の乾燥工程で再生可能エネルギーの割合を増やした生産などだ。また、石膏ボードリサイクルをさらに効率化するには、生産工程で発生するプレコンシューマー・スクラップや、建設、改修、解体から発生するポストコンシューマー・スクラップの活用を増やし、廃石膏を土壌改良材としてダウンサイクルすればよい。全体から見ると、循環型石膏からは2030年までに年間10億米ドル、2050年には40～60億米ドルの純増価値を生み出す機会が見込める。それぞれ、市場規模全体の1%と3%を占める。これらの対策からは、2030年と2050年にそれぞれ2～3Mt-CO₂、4～5Mt-CO₂の削減も期待できる（市場全体の排出量のそれぞれ3～5%と6～7%）。

エネルギーの再循環から得られる純増価値は比較的控えめで、例えば2050年が10～20億米ドル（市場規模の1%）程度であるものの、2030年と2050年までにそれぞれ3～6Mt-CO₂、9～17Mt-CO₂の二酸化炭素排出削減が見込める。これは、セクター全体の排出量の5～10%、13～23%にあたる。最後に、石膏からの二酸化炭素排出量の大部分は輸送に起因するため、これらの対策に加えて輸送インフラのグリーン化を進めればさらに削減できるだろう。



図9 | 石膏ボードバリューチェーンの循環ループ



出典: マッキンゼー分析、プレス調査、専門家インタビュー

結論：建造環境の サーキュラリティ化に向けて

建造環境の移行を加速するために 重要な要素

本白書に示してきたポテンシャルを現実のものに変えるために、個々のプレーヤーとエコシステム全体が今すぐ開始できる明確なアクションが三つある。1) バリューチェーン全体でのコラボレーションの促進、2) 循環型思考と能力開発の促進、3) デジタル技術の活用だ。

1. 分散するバリューチェーンに対処するためには、コラボレーションと広範な調整が不可欠である。建造環境の特徴は極めて細分化されていることであり、資源ループを形成するためには、多くの小規模プレーヤーの間で気の遠くなるほどの調整が必要となる。さらに、これらの多くは、従来のリニア型のサプライチェーンにあった関係性を持っていない。ステークホルダーは、再循環を円滑に進めるために、資産や地域を超えた統合、パートナーシップ、循環型建築資材に対する要件の標準化を積極的に推進すべきである。例えば、建築資材サプライヤーは設計者や請負業者と協力して再利用可能な建築資材を開発し、互換性を高めることができる。また、製造業者と解体・廃棄物処理業者との間の逆サプライチェーンにより、新製品を製造するための二次材料の十分な供給を確保することが可能である。コラボレーションモデルを確立した消費財や自動車など他の産業は、サーキュラー・エコノミーへの移行を促進することに成功しており、建造環境における重要な価値捕捉の機会を示唆している。
2. 建造環境業界の企業においてサーキュラリティを定着させるための基礎となるものは、循環型思考と能力開発である。早期にサーキュラー活動を導入している企業もあるが、建造環境ではまだ大部分がリニア型バリューチェーンである。これに対処するためには、公式に認められたアイデアやベストプラクティスを普及させ、他社とも共有する必要がある。特に、プロジェクトや設計の初期段階でサーキュラリティを意識することが、耐用年数の間、建設資産が環境に及ぼす影響を決定づけるため極めて重要である。重要な設計上の決定は、その後数十年にわたって排出量に影響を与えるにもかかわらず、実際に建設が始まる頃にはそのほとんどがすでに覆すことができないものになっている。したがって新しい建物を建設する際、事業者は、解体設計やモジュール構造の採用など、循環型設計の実践を最優先にすべきである。製品や建築資材を選択する際には、再利用、修理、リサイクルが比較的容易であるかどうかを検討する必要がある。
3. デジタル技術は、二次材料や全体的な建築資材ライフサイクルに透明性をもたらし、ひいては建築資材の交換や都市鉱山の採掘を促進することができる。都市そのものからの「採掘」ができれば、サプライチェーンがより地域に根差したものとなるため、リードタイムや需要サイドの価格

高騰によってもたらされる不確実性を減らすこともできる。さらに、デジタル・ソリューションは、断片化されマルチレベル化された産業構造の中で事業を行うという難題にも対処できる。技術的なイネーブラーとしては、デジタル資材パスポート、デジタルツイン、資産追跡・管理テクノロジーなどがある。こうしたデータを利用して、デジタルの建築資材マーケットプレイスで資材、製品、システムの再販が可能となる。生成 AI を利用した設計アルゴリズムで、現地で入手可能な資材に加えて再利用資材を最大限に活用しつつ、新しい建物に使用する資材を最適化することができる。ステークホルダーは、これらのテクノロジーを規模に応じた資材試験プロセスと組み合わせることで、計画や建設工程の早い段階からサーキュラリティに対応することができる。

サーキュラリティのライトハウス（灯台＝指針）を特定する行動への呼びかけ

サーキュラー・エコノミーは、脱炭素化への道筋を示すと同時に、従来のリニア・エコノミーを脱却できない企業から、サーキュラー・エコノミーへの移行を推進・加速させる企業へと、製品やプレーヤーのバリュープールをシフトさせるものでもある。本白書では、2030年と2050年を目標年次として、建築資材レベルでのサーキュラリティについて論じてきた。しかし、変化はすでに起こり始めている。業界のエコシステムは、ここまで見てきたような未来の可能性をつかみ取るために、今、スタートラインに立つ必要がある。

サーキュラリティのライトハウスは、リーダーシップを示し、革新的なアプリケーションを大規模に実証する。また、サーキュラリティへの移行を加速させるためにステークホルダーを結集し、協力して後に続く人々を鼓舞する。ライトハウスは、従来の競合他社やバリューチェーンの枠を超えてコラボレーションを行い、ディスラプティブ（創造的破壊）な考え方を受け入れるためである。その役割を担う企業は、積極的に循環型社会への移行に取り組み、業界をリードするソリューションを迅速に開発する。また、伝統的なバリュー・アーキテクチャを超えた新たなサーキュラー・ビジネスモデルを確立し、環境への影響、拡張性、財務的な実行可能性を実証する。ライトハウスのモデルを開発し、アクセラレーターとして行動する企業は、サーキュラー・エコノミーがもたらす価値を捉え、市場シェアを獲得し、常に先行して、パートナーシップを固める上で優位に立つことができる。

ライトハウス主導型のアプローチは、コラボレーションを積極的に実施し、循環型思考と能力開発を促進し、分散化した建造環境全体にデジタル技術を普及させる起爆剤となる。建造環境は、後に続く者たちにとってのライトハウスを特定し、エコシステムのどこからでもその存在が見えるようにするための行動を求められているのだ。

付録：モデル化における 仮定と結果の計算方法

本白書に示した二酸化炭素排出量削減ポテンシャルと純増価値の値はすべて、何も対策を講じない場合の「通常業務下（BAU）シナリオ」と「循環型シナリオ」を比較して計算した。循環型シナリオの値の範囲は、サーキュラリティ対策の範囲が保守的と仮定した場合（下限）と野心的と仮定した場合（上限）を表す。また、セクターの総排出量または市場規模に占める二酸化炭素排出削減量と純価値増分の割合は、2030年と2050年のそれぞれで、BAUシナリオにおける総排出量と市場規模の推定値を考慮して計算した。

炭素価格と埋め立て税を含むコスト計算では、2020年の炭素価格を5.50米ドル、埋め立て税を20.00米ドルと仮定し、2050年にはそれぞれ88.00米ドルと120.00米ドルに上昇すると見積もった。価格にはインフレを含まず、また今後より多くの国が、現在観察され得る範囲で中程度の埋め立て税を導入すると想定。さらに、炭素クレジット価格は、長期的には徐々に炭素価格と同じになると想定している。

モデルで使用したその他のコストは、世界の市場分析、レポート、プレス調査に基づく専門家の評価から導出した。具体的には、炭素回収技術や炭素貯蔵、化石燃料、バイオマス、その他の代替燃料（バイオマスを除く廃棄物）のコストや、それらに関連する排出係数など、である。このモデルでは、バリューチェーン全体（建築物の全ライフサイクル期間）における影響を考慮しているため、製品や建築資材の輸送による排出追加分や回避される排出は想定していない。さらに、インフラがまだ十分に確立されていないため、実際に必要な距離を厳密に見積もることが難しいと共に、サーキュラー・エコノミーにおいてはサプライチェーンがより地域化することから、これらの排出量をグローバルレベルでモデル化することには不確実性がある。

さらに、モデリングをグローバルレベルで行うために、仮定は一般化した。具体的には、市場、規制、テクノロジー、インフラ、ロジスティクスに地域差や地方差がある可能性があり、ゆえに実際の対策に関しては見込み値となる。

協力者

World Economic Forum

Fernando Gomez

Head, Resource Systems and Resilience;
Member of the Executive Committee, Better Living,
Centre for Nature and Climate

Anis Nassar

Lead, Resource Circularity, Better Living,
Centre for Nature and Climate

Jörgen Sandström

Head, Transforming Industrial Ecosystems - Energy
and Materials

McKinsey & Company

Maximilian Gebhardt

Consultant

Janice Klaiber

Consultant

Jukka Maksimainen

Senior Partner

Sebastian Reiter

Partner

謝辞

The authors wish to thank McKinsey's Leopold Baumgartner, Thomas Czigler, Philipp Dürr, Stefan Fahrni, Sarah Heincke, Markus Pley, Patrick Rogers and Steven Verammen for their contributions to this paper.

制作

Rose Chilvers

Designer, Studio Miko

Laurence Denmark

Creative Director, Studio Miko

Martha Howlett

Editor, Studio Miko

参考文献

1. United States Environmental Protection Agency (EPA), *Report on the Environment (ROE): Indoor Air Quality*, 2021.
2. McKinsey & Company, *Reinventing construction: a route to a higher productivity*, 2017.
3. McKinsey & Company, *Accelerating green growth in the built environment*, 2022.
4. McKinsey & Company, *Building value by decarbonizing the built environment*, 2023, <https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials/our-insights/building-value-by-decarbonizing-the-built-environment>.
5. Ibid.
6. “As buildings and construction sector grows, time running out to cut energy use and meet Paris climate goals”, *United Nations Environment Programme*, 13 December 2017, <https://www.unep.org/news-and-stories/story/buildings-and-construction-sector-grows-time-running-out-cut-energy-use-and>.
7. World Economic Forum, *Making Affordable Housing a Reality in Cities*, 2019.
8. Global Infrastructure Basel Foundation, *4th GIB Summit Report*, 2014.
9. Lacy, Peter and Jakob Rutqvist, *Waste to wealth: The circular economy advantage*, Palgrave Macmillan, 2016.
10. Ellen MacArthur Foundation, *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*, 2021.
11. Cheshire, Dave and Mike Burton, “The carbon and business case for choosing refurbishment over new build”, *AECOM*, n.d., <https://aecom.com/without-limits/article/refurbishment-vs-new-build-the-carbon-and-business-case/#:~:text=Figure%201%20shows%20that%20over,of%20the%20newly%2Dbuilt%20replacement>.
12. Apel, Fabian, Johanna Hoyt, Francisco Marques, Sebastian Reiter et al., “Cementing your lead: The cement industry in the net-zero transition”, *McKinsey & Company*, 6 October 2023, https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials/our-insights/cementing-your-lead-the-cement-industry-in-the-net-zero-transition?utm_medium=DSMN8&utm_source=LinkedIn&utm_user=14419235252747510.
13. Carbon pricing refers to initiatives that put a price on greenhouse gas emissions to address climate change.
14. This article follows up on the recently published “The Circular Cement Value Chain: Sustainable and Profitable” and provides perspectives on how circularity loops for construction materials can be established in the built environment: “The circular cement value chain: sustainable and profitable”, *McKinsey & Company*, 6 March 2023, <https://www.mckinsey.com/industries/engineering-construction-and-building-materials/our-insights/the-circular-cement-value-chain-sustainable-and-profitable>.
15. Hoffman, Christian, Michel Van Hoey and Benedikt Zeumer, “Decarbonization challenge for steel”, *McKinsey & Company*, 3 June 2020, <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/decarbonization-challenge-for-steel>.
16. McKinsey & Company, *Net-zero steel in construction: The way forward*, 2022.
17. 37% and 60% considering approximately 1.6 Gt CO₂ in 2050 – these are the business-as-usual (BAU) 2030 and 2050 estimated total emissions in this model.
18. 9% when considering the market size in billions of US dollars in 2050 (BAU) or 10% when referencing the BAU 2020 market size.
19. Current emissions from construction aluminium are around 313 million tonnes of CO₂ and are expected to rise to around 382 million tonnes by 2050 in a BAU scenario.
20. Applications only exemplary.
21. “Plastics – the Facts 2022”, *Plastics Europe*, n.d., <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>.
22. Calculated based on the emission factor of polyvinyl chloride (PVC), high density polyethylene (HDPE), polyurethane (PU) and polystyrene (PS) and the respective amount used in the built environment.
23. Estimated market size of plastics in the built environment in a BAU scenario in 2030 and 2050.
24. Rue, David, *Cullet Supply Issues and Technologies*, *Glass Manufacturing Industry Council*, 2018.
25. McKinsey team analysis based on expert interviews and TechNavio, *Global Gypsum Board Market 2023-2027*, 2022.



COMMITTED TO
IMPROVING THE STATE
OF THE WORLD

世界経済フォーラムは、
官民両セクターの協力を通じて
世界の現状の改善に取り組むこ
とを目的とする国際機関として、
政治、ビジネス、社会の主要な
リーダー参画のもと、
グローバル、地域、産業の
アジェンダを形成しています。

本書は、2023年12月に世界経済フォーラムが発表した
Circularity in the Built Environment: Maximizing CO₂ Abatement and
Business Opportunities の日本語版です。

World Economic Forum
91-93 route de la Capite
CH-1223 Coligny/Geneva
Switzerland

Tel.: +41 (0) 22 869 1212
Fax: +41 (0) 22 786 2744
contact@weforum.org
www.weforum.org