

次世代太陽電池（ペロブスカイト太陽電池）と産業

東京海上ディーアール株式会社 製品安全・環境本部
サステナビリティユニット 主任研究員 村上 俊男（所属・役職は脱稿日時点のもの）

協力：東京海上 dR「GX の産業界への影響と対応」研究プロジェクトメンバー

脱稿日：2025 年 3 月 31 日

1. 国内における太陽光発電の現状と普及の課題

我が国におけるエネルギー転換部門の GHG 排出量はエネルギー起源 CO₂ 排出量の 44%（2022 年）を占めており¹、日本の GX 推進のためには、発電部門における脱炭素化が欠かせません。2025 年 2 月 18 日に閣議決定された「第 7 次エネルギー基本計画」と同時に公表された関連資料である「2040 年度におけるエネルギー需給の見通し」では、2040 年度までに発電電力量の 4～5 割を再生可能エネルギーが占め、全体の 23～29%程度を太陽光発電とする見通しが記載されています。2023 年度の太陽光発電電力量の比率は 9.8%であるため、この見通しを実現するためにはこの比率を 3 倍程度に増やす必要があります。

太陽光発電の発電電力量に占める比率は、新しい FIT 制度（再生可能エネルギーの固定価格買取制度）²が導入された 2012 年の翌年の 2013 年度の 1.2%から 2023 年度の 9.8%へと増加しました³。同時期に、太陽光パネルの価格は半値程度⁴となりましたが、比率の増加は 10 年間で 8 ポイントに留まります。この要因として、日本は太陽光発電の設置に適した土地が比較的少ないことが挙げられます。実際に、単位面積当たりの発電容量は他国と比べて突出して高い状況にあります（図表 1）。太陽光発電を導入するにも、メガソーラーのように大きな平地や切り開いた山地に大量の太陽光パネルを広げるといった、これまでの延長線上の発想で行っている、景観や自然環境への影響も懸念され、おのずと限界が訪れるでしょう。従来は設置が難しいとされていた場所にも展開できるような製品の開発が行われることで、こうした状況を打開する契機が生まれると考えられます。

¹ 環境省「2022 年度（令和 4 年度）温室効果ガス排出・吸収量について」

² 新しい FIT 制度ができるまでの 2009 年から 2012 年の間は、家庭や発電施設（ソーラーパネル）がある各事業所が太陽光発電により生み出した電力のうち、余剰になったものを一定の価格で 10 年間、電気事業者が買い取るということを国が約束する制度（太陽光発電余剰電力買取制度）が存在しました。

³ 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

⁴ 発電容量 1kW 当たりの価格は 2012 年 28.4 万円から 2022 年には 14.9 万円へと低下。

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/perovskite_solar_cell/20241128_report.html

図表 1. 平地面積当たりの太陽光設備容量 (kW/k m²)

日本	ドイツ	イギリス	中国	スペイン	フランス	インド	米国
514	243	65	42	47	40	20	18

(出典) 次世代型太陽電池の導入拡大及び産業競争力強化に向けた官民協議会

「[次世代型太陽電池戦略](#)」(令和 6 年 11 月)より数値のみ引用

現在普及している太陽光発電に利用されるパネルはシリコン型といわれ、原材料にケイ素（シリコン）が使用されています。耐久性が高く大型化も容易であるため、住宅や商業施設だけでなく、農地や山地を利用して設置されるケースも多く見られます。設置に適した土地がすでに少なくなっていると考えられていることに加え、シリコン型の太陽光パネルは重量があるため、耐荷重の低い工場の屋根や一部の住宅の屋根等は設置に適さないといわれているため、これも普及の障壁になっていると考えられます。

ペロブスカイト太陽電池は軽量・薄型で、路面やビルの壁面、強度が十分でない屋根への設置が可能となっており、従来のシリコン型の太陽光電池では設置が難しいとされている場所に設置が可能となるものとして期待を集めています。

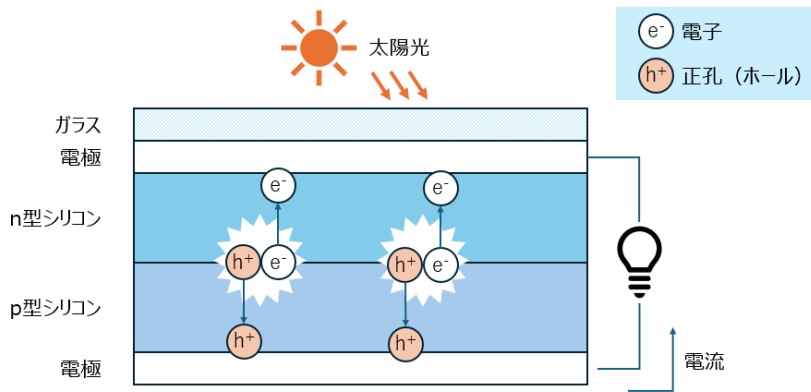
同太陽電池は、「[次世代型太陽電池戦略](#)」において、2030 年までに GW 級の導入を目指すこととし、2040 年には約 20GW を目指す（大幅なコスト低減等が進んだ場合は約 40GW～）ものとして目標が掲げられています。

2. ペロブスカイト太陽電池とその特徴

ペロブスカイト太陽電池は、化学式 ABX_3 （A、B、X は 3 種類のイオン、代表的には A:有機アンモニウム、B:鉛、X:ヨウ素）で表現されるペロブスカイト結晶構造で配列する材料を発電層に用いた太陽電池の総称です。材料をフィルム等に塗布・印刷して作成することができるため、フィルムのように折り曲げることが可能な、薄型で軽量のパネルの実現が可能となります。その性質から、シリコン型では設置することが難しい壁面や電柱といった場所にも導入できるものとして期待されています。

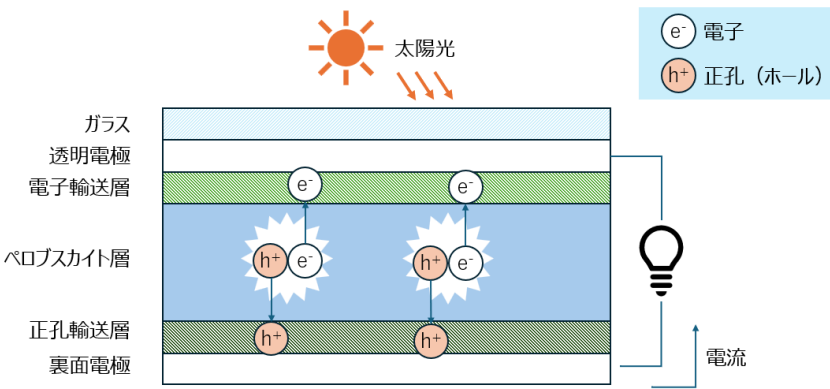
太陽電池は、発電層に太陽光等の光エネルギーが入ることで発電層の電子と正孔を動かし、電流を発生させる仕組みです（図表 2 および図表 3）。発電層に用いる素材によって特徴が異なり、「シリコン系」「化合物系」「有機系」の 3 つに分類されます。ペロブスカイト太陽電池は有機と無機が混合した材料を用いますが、「有機系」に分類されます（図表 4. 太陽電池の発電層による分類）。

図表 2. シリコン太陽電池の仕組み



(出典)太陽光発電協会「[太陽光発電の基礎知識](#)」を基に当社作成

図表 3. ペロブスカイト太陽電池の仕組み



(出典)太陽光発電協会「[太陽光発電の基礎知識](#)」及び次世代型太陽電池の導入拡大及び産業競争力強化に向けた官民協議会「[次世代型太陽電池戦略](#)」(令和 6 年 11 月)を基に当社作成

図表 4. 太陽電池の発電層による分類

発電層	シリコン系			化合物系			有機系		
	単結晶系	多結晶系	アモルファス	CIGS系	CdTe系	GaAs系	色素増感	有機薄膜	ペロブスカイト
変換効率	26%	23%	14%	24%	22%	30%	13%	19%	26%
主な原材料・特徴	高純度シリコンの単結晶を使用 現在の主流製品	多結晶シリコンを使用	非結晶(アモルファス)シリコンの薄膜を使用	銅、インジウム、ガリウム、セレンを原料とする半導体薄膜を使用	カドミウムとテルルを原料とした半導体薄膜を使用 欧米で導入	ガリウムとヒ素を原料とした半導体の薄膜を使用 宇宙用途	色素を吸着させた金属酸化物のナノ粒子の薄膜を使用	導電性高分子やフラーレンなどを混合した有機半導体の薄膜を使用	ハロゲン化ペロブスカイト半導体の薄膜を使用

(出典) 葭本 (2024) ⁵を基に当社作成

⁵ 葭本隆太 (2024)、『素材技術で産業化に挑む ペロブスカイト太陽電池』、日刊工業新聞社。

太陽電池の性能を表す重要な指標として、太陽エネルギーを電気エネルギーに変換する効率性（変換効率）が注目されますが、ペロブスカイト太陽電池の変換効率は 2024 年 11 月時点で 26.7%程度まで向上しており、シリコン型に近い水準にまで到達しています。

変換効率だけを見ると性能は現在の主要製品であるシリコン太陽電池に匹敵するように見えますが、実際には、ペロブスカイト太陽電池には、酸素、水、紫外線等による劣化が起こりやすく寿命が短いという点、極薄の層を均等な厚み、均質な物性を持つように成膜する技術的ハードルのため大型化が難しいという点が弱点であり、今後の技術開発の成否が重要になります。

3. ペロブスカイト太陽電池の開発動向

ペロブスカイト太陽電池には、セルの作成方法に応じて、フィルム型、ガラス型、タンデム型（ガラス）の 3 種類があります。日本が技術的優位性と導入ポテンシャルが高いとされているのはフィルム型とガラス型です。特に、耐久性の確保や大型化のための要素技術において日本がリードしているとされているのがフィルム型になります。前述したように、フィルムのように折り曲げることが可能で軽量・薄型であるため、建物の壁面等の従来は設置が困難な場所への導入が期待されます（図表 5）。

図表 5. ペロブスカイト太陽電池の種類

	フィルム型	ガラス型	タンデム型
用途	建物壁面などの従来設置 困難な場所への導入	建物建材の一部として、高 層ビルや住宅の窓ガラスの 代替設置	既存のシリコン系太陽電池 の置き換え
国内の導入ポテンシャル	ポテンシャル大	一定のポテンシャル	既存の設置範囲に限られ る
要素技術に関する国内 企業の優位性	製品化のカギとなる技術で 大きくリード	海外勢でも技術開発が盛 んで、競争が激化	海外勢でも技術開発が盛 んで、競争が激化
特長と課題	コスト低減のため、耐久性 の向上に係る技術開発が 必要	フィルム型と比べ、耐水性 が高く、耐久性を確保しや すい	開発状況はフィルム型やガ ラス型に劣り、研究開発段 階。シリコンを海外に依存

（出典）次世代型太陽電池の導入拡大及び産業競争力強化に向けた官民協議会
「[次世代型太陽電池戦略](#)」（令和 6 年 11 月）を基に当社作成

海外においてもペロブスカイト太陽電池の開発が行われており、開発競争は激化しています。中国においては、2015 年頃からスタートアップ企業が複数設立され、多数の企業や大学において中国国内での特許取得が進められている状況です。開発の中心はガラス型であり、タンデム型も含め量産に向けた動きがみられます。欧州においては、独立系メーカーにおいてフィルム型・タンデム型の開発が進められており、量産ラインの整備に向けた動きもみられる状況です（図表 6）。

図表 6. 海外企業における開発動向について

	フィルム型		ガラス型		タンデム型		
	大正微納 (中国)	Saule Technologies (ポーランド)	極電光能 (中国)	万度光能 (中国)	G C L (中国)	仁燦光能 (中国)	OxfordPV (イギリス)
変換効率	13~15%	12.0%	1.2×0.6m : 17% (2024年内目標値 : 20%超) 1.2×2.3m : 18% (目標値)	18% (実験効率)	1.0×2.0m : 19.04% 1.2×2.4m : 27% (目標値)	18% (2024年内目標値 : 20%)	28.6%
サイズ	1.0×0.6m	9 cm、1 m	1.2×0.6m 1.2×2.3m	不明	1.0×2.0m 1.2×2.4m	1.2×0.6m	16.6×16.6cm
耐久性	不明	1,000時間 ※連続発電時の耐久性	~10年	不明	10~15年	不明	10~15年の見込み
生産能力	100MW ※建設中	約100MW ※建設予定	150MW 1GW(建設中) ※2026年末までに10GWまで拡張予定	200MW ※1.2GW建設中のほか、拡張計画あり	100MW ※1GW建設中のほか、拡張計画あり	150MW ※2024年に1GW級建設予定	100MW ※稼働率50%以下
生産開始	稼働予定 (2024年~2025年)	建設予定 (2026年)	2022年12月	稼働中 (時期不明)	2021年	2024年1月	2023年

(出典) 次世代型太陽電池の導入拡大及び産業競争力強化に向けた官民協議会
「[次世代型太陽電池戦略](#)」(令和 6 年 11 月) から引用

4. ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンの課題

ペロブスカイト太陽電池のセルは様々な材料から、多数の製造段階を経て作成されます。ペロブスカイト太陽電池のサプライチェーンを製造工程で分解すると、原材料(発電層)⇒基板・電極形成⇒セル/モジュール形成⇒デバイス形成、となります。

発電層(ペロブスカイト層)に用いられるペロブスカイト結晶は ABX_3 の化学式で表現されます。代表的なものとして、A には有機アンモニウム、B には鉛、X にはヨウ素が入ります。このうち、発電層の主要な原材料となるヨウ素が注目されています。

ヨウ素については、日本が生産量で世界シェアの約 3 割を占め(6 割のシェアを占めるチリに続いて世界第二位)、埋蔵量の推計は 500 万トンで世界第一位です⁶。資源に乏しいといわれる日本で自給が可能な貴重な資源です⁷。

また、発電層以外の部材に使用する代表的な素材は日本での自給はできず、自国内でモジュール製造の

⁶ 株式会社合同資源ホームページ、「[ヨウ素の鉱床、世界の生産量](#)」

⁷ 日本のヨウ素は水溶性天然ガス鉱床に付随する、高濃度のヨウ素を含むかん水から生産されます。千葉県や新潟県、宮崎県で生産されています。特に千葉県には国内最大規模の水溶性天然ガス鉱床「南関東ガス田」があり、[国内の約 80%のヨウ素を生産](#)しています。かん水は地下 500~2,000m から汲み上げられますが、急激な増産で地下水を大量に汲み上げると地盤沈下のリスクが高まるため、汲み上げ量は制限されています。このため、需要増加に応じて埋蔵資源を自由に使うというわけにはいかず、適切な資源の再利用の途を確保しておくことが重要になります。

サプライチェーンを構築する場合には多くを輸入に頼ることになります。実際に、ペロブスカイト太陽電池の部素材となる資源について、日本が主要産国となっている部素材は限られています（図表 7）。例えば、電極形成で利用される透明電極の代表素材である ITO（酸化インジウムスズ）に含まれるインジウムはレアメタルの一つです。日本はインジウム地金の世界最大の消費国（約半分を消費）でありながら、日本国内での生産量のシェアは 6% 程度⁸で、自給をすることはできず、多くを輸入に頼っています。リサイクル品の使用や代替材料の開発等、原材料調達のリスクを低減することが課題です。

ペロブスカイト太陽電池の製造に係る要素技術の確保に留まらず、部素材確保のための取組みや代替素材への置き換え技術の開発についても行っていく必要があることが伺えます。

図表 7. 部素材と資源の主要生産国

主要部材	代表素材	主要産国
電極	金	中国、ロシア、オーストラリア
	銀	メキシコ、中国、ペルー
	モリブデン	中国、チリ、ペルー
	アルミ	中国、インド、ロシア
	銅	チリ、ペルー、コンゴ民主共和国
	炭素素材*1	中国、マダガスカル、モザンビーク
発電層 （ペロブスカイト層）	ヨウ素	チリ、日本
	鉛	中国、オーストラリア、アメリカ
	スズ	中国、ミャンマー、インドネシア
電子輸送層	酸化チタン	中国、日本、ロシア
	酸化スズ	N/A
透明電極	ITO（酸化インジウムスズ）*2	中国、韓国、日本
	FTO（フッ素ドープ酸化スズ）	N/A
フロントシート （バリアフィルム）	シリカ（酸化ケイ素）*3	中国、ロシア、ノルウェー
	アルミナ（酸化アルミニウム）*4	中国、インド、ロシア
	DLC	中国、マダガスカル、モザンビーク

*1 グラファイトで評価 N/A はデータなし

*2 インジウムで評価

*3 フェロシリコンで評価

*4 アルミで評価

（出典）次世代型太陽電池の導入拡大及び産業競争力強化に向けた官民協議会
「[次世代型太陽電池戦略](#)」（令和 6 年 11 月）を基に当社作成

5. ペロブスカイト太陽電池の開発・製造・普及に向けた政策動向

ペロブスカイト太陽電池の普及に向けた取組みは、部素材の研究開発や製品の実証実験等、様々に行われています。新技術の開発や関連製品のサプライチェーンの確保、量産体制の確立には大きな不確実性が

⁸ JOGMEC「[鉱物資源マテリアルフロー2022 インジウム](#)」

伴うため、企業単独での取組みが困難なケースも想定されるなか、適切な政策支援が求められます。

ペロブスカイト太陽電池に関する基盤技術の開発や、製品レベルの大型化を実現するための各製造プロセスの要素技術の確立に向けた研究開発については、NEDO に創設されたグリーンイノベーション基金（GI 基金）における事業として、2021 年度から様々なプロジェクトが行われています⁹。2024 年 5 月時点で GI 基金から、次世代太陽電池の基盤技術開発に対しては 39 億円の支援規模（事業規模 39 億円）、実用化事業に対しては 155 億円の支援規模（事業規模 203 億円）となっています¹⁰。また、2024 年には量産技術開発やフィールド実証といった取組みを通じた、発電コストの低減や設置方法、施工方法を含めた性能検証を目的とした事業（実証事業）が採択され、2028 年度までの取組みとして事業規模約 183 億円に対し約 125 億円の支援規模となっています。なお、GI 基金では、従来型シリコン太陽電池と同等の発電コスト（14 円/kWh）以下の達成を 2030 年までに目指しています。

また、ペロブスカイト太陽電池は GX 推進戦略における今後の対応の一つとして掲げられている「再生可能エネルギーの主力電源化」の中に記載が見られ、重要な技術の一つと考えられます。経済産業省の [GX サプライチェーン構築支援事業](#)¹¹においては、2024 年にペロブスカイト太陽電池製造（総事業費 3,145 億円、補助金 1,572 億円）や製造に係るレーザー加工装置製造（総事業費 68 億円、補助金 34 億円）が事業として採択されました。同支援事業の予算額 4,212 億円に比して、ペロブスカイト太陽電池関連事業の重要性が伺えます。

ペロブスカイト太陽電池の社会実装に向けては、投資予見性を向上させる需要創出も必要になります。需要創出には、発電設備自体の価格の低減、設備購入者が負担するコストの引き下げ、発電設備の設置費用（投資コスト）の回収の不確実性の低減、といった方法が考えられます。

設備自体の価格の低減は、製造コスト低減につながる要素技術の開発や量産化と表裏一体の関係にあります。技術開発や量産化の取組みは既述のとおり、GI 基金や GX サプライチェーン構築支援事業等による製造コスト低減や実証事業を通じて進展することが期待されます。

また購入者の負担を引き下げる方法としては、購入補助金等の直接的な政策的支援の導入が考えられます。設備購入のための直接的な補助金については、現時点では具体的な制度は存在しません。導入の際には、終了による効果剥落が普及速度に悪影響を与えないよう、慎重に導入検討を進めていく必要があるでしょう。

⁹ プロジェクト実施企業等が、事業終了後の期間を含めて見積もった社会実装に向けた取組み（GI 基金事業による支援を含む）にかかる関連投資額を含めるとプロジェクト全体の関連投資額は 2,558 億円と見込まれています。

¹⁰ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「[グリーンイノベーション基金事業／次世代型太陽電池の開発](#) 2024 年度 WG 報告資料」、2024 年 5 月 31 日

¹¹ 2050 年のカーボンニュートラル実現及び国際競争力強化につなげるため、中小企業を含む製造サプライチェーンや技術基盤の強みを最大限活用し、GX 実現にとって不可欠となる、水電解装置、浮体式等洋上風力発電設備、ペロブスカイト太陽電池、燃料電池等をはじめとする GX 分野の国内製造サプライチェーンを、世界に先駆けて構築することを支援する事業。

投資コスト回収の確度を高めるためには、売電収入の安定化が重要ですが、ペロブスカイト太陽電池を FIT 制度の対象に含めることが検討されており¹²、設備導入のインセンティブとして機能することが期待されます。

6. ペロブスカイト太陽電池普及の社会的影響と今後の見通し

ペロブスカイト太陽電池の量産化に成功すれば、影響の裾野は大きく広がることになります。従来の太陽電池へのリプレースだけでなく、従来は適地とされていなかった耐荷重の小さい屋根等への設置、軽量性や柔軟性を活かしたビルの壁面や窓ガラス、ドーム屋根、車両の屋根への設置といった、様々なものへの展開が期待されます。

もちろん、良いことばかりではありません。例えば、建物の壁面に設置する場合、建物の耐用年数に比べ太陽電池の方が寿命は短いことから、リプレース時の影響を考慮して設置しなければなりません。特に屋外設置の場合、台風等による災害時に設備に損壊が生じるなどの起こりうる様々な事態を想定し、それらへの対応を予め検討しておく必要があります。

かつて、我が国では、1973 年のオイルショックを契機に、石油代替エネルギーの開発に向けた取組みとして 1974 年にサンシャイン計画が発足しました。計画の下、日本企業は太陽光パネル技術開発を進め、2000 年代初頭にはパネル生産の世界シェアが 50% に達しました。ところが、その後、中国等の海外勢が台頭し、日本企業のシェアは 1 % 程度まで低下しました。

本稿の冒頭で触れたように、日本における発電電力量に占める太陽光の比率は 10 年間で 8% ポイント増加しました。電力に占める太陽光比率の増加の一方で、日本のパネルメーカーにおける国内出荷に占める割合が 37% 程度（2023 年度）¹³であることを考慮すると、国内においても海外勢に大きくシェアを奪われていることになります。

ペロブスカイト太陽電池の普及に向けて必要な対応は、部素材の調達から製造企業（供給企業）、需要側の企業、政府といった様々なプレーヤーにおいて多岐に亘るものと考えられます（図表 8）。本稿で取り扱った内容はその一部であり、これらを含め今後の動向を注視しつつ、適切な対応を検討し実施することが重要です。

図表 8. ペロブスカイト太陽電池の社会実装に向けて求められる対応

主体	必要な対応	具体的内容
供給サイドの企業 (ペロブスカイト太陽電池メーカー)	技術開発への積極投資	・変換効率の向上 ・耐久性の確保 ・大型化技術の確立

¹² 「次世代型太陽電池戦略」において、政府はペロブスカイト太陽電池に関する新設区分の創設、そのタイミングについて、引き続き、検討するとしています。

¹³ 一般社団法人 太陽光発電協会による出荷統計を基に計算

	サプライチェーンの構築	・ヨウ素等日本が強みを持つ資源の有効活用 ・インジウム等輸入依存素材の安定供給元確保・代替材料開発 ・リサイクル技術の確立
	量産体制の構築	・GX サプライチェーン構築支援事業等の政策支援活用 ・コスト競争力のある量産体制の早期確立
	国際標準化への取り組み	・信頼性評価等に関する国際標準の策定のリード ・技術や製品のデファクト・スタンダード化 ・国際的な競争優位性確保のための戦略的取り組み
需要サイドの企業 (建築・設備設置・発電事業者・ビルオーナー等)	ユースケースの創出	・自社施設（工場、オフィスビル、商業施設等）への導入可能性の検討 ・ユースケースに関する積極的な情報発信
	リスク評価と対策	・設備の耐用年数や、災害時の損壊リスク対策等、導入に伴う様々なリスクへの対策の検討実施
	実証事業への積極参画	・新技術の社会実装加速への貢献 ・実証段階からの参画による技術の信頼性向上
	経済性評価の実施	・FIT 制度の活用可能性検討 ・投資回収見通しを含めた経済性評価
共通	産学官連携の推進	・技術開発から社会実装までの各段階での連携強化 ・企業間および大学・研究機関、政府との協力体制構築
	人材育成と確保	・製造・設置・保守に関わる専門人材の育成 ・必要な技術者の確保
	情報発信と啓発活動	・ステークホルダーへの啓発による社会的受容性向上
	循環型モデルの構築	・製品のライフサイクル全体を見据えた計画 ・使用後の回収・リサイクルシステムの早期構築

(出典) 各種情報を基に当社作成

執筆コンサルタントプロフィール

村上 俊男

製品安全・環境本部 サステナビリティユニット 主任研究員（所属・役職は脱稿日時点のもの）

[東京海上 dR GX レポート一覧へ](#)