

テクノロジーと協調で拓くわが国の循環経済 — プラスチックと蓄電池の資源循環未来像 —

株式会社三菱総合研究所(本社:東京都千代田区、代表取締役社長:籾田健二)は、カーボンニュートラルや経済安全保障なども考慮した上で、わが国の循環経済・資源循環の方向性と、そこに向かう推進力となる対策(技術と協調の掛け合わせ)を提言します。

循環経済への移行に向けて

リニアエコノミー(線形経済)から、サーキュラーエコノミー(循環経済)への移行は、資源制約への対応や、さまざまな環境問題の改善・解決策としてだけでなく、資源循環や再生可能資源利用により、できるだけ枯渇性資源を利用せずに持続・成長していく経済システムを目指すものである。

循環経済の根幹をなす資源循環を考える際、そのループの過程で、輸出や、退蔵、環境流出、品質低下などに伴う資源ロスが発生するため、不足する分のバージン資源(一次資源)を新たに投入する必要がある。また、2050年のカーボンニュートラル(CN)実現という制約が加わり、循環の各プロセスでCNにつながる取り組みが求められている。さらに、ウクライナ問題を契機に、経済安全保障の観点から、循環利用によって資源を確保することの重要性が高まっている。

このような制約条件、社会的要請がある中、どのような資源循環をめざすべきかは、資源を個別に分析しなければ見えてこない。当社では国内で活用する主要資源44品目を対象に、基本属性と環境性、経済安全保障の観点から評価し、このうち国内需要が多く、内需比率も比較的高いプラスチックと、現時点の資源需要量は少ないが、外需比率が高く、自動車のEV化と連動して今後爆発的に需要が拡大する蓄電池資源(リチウム、ニッケル、コバルト)を対象に、資源循環未来像を研究し、わが国の循環経済への移行に向けた提言をとりまとめた。

わが国の循環経済への移行に向けた提言

- 資源循環を基本とする循環経済への移行は、カーボンニュートラルと経済安全保障の両立を視野に入れて、新たなサプライチェーンを構築することである。
- この実現のためには、技術と協調の掛け合わせ(資源循環に資する技術を活用し、関係者間の協調領域を拡大すること)で、循環資源の同質性と必要量、経済性を確保する必要がある。
- プラスチックの場合は、①設計共通化、②二次資源市場構築、③国産バイオマス活用が効果的。
- 蓄電池の場合は、①低コストで効率的なリサイクル技術を開発し、協調策として、②回収リサイクルの制度・体制整備、③リサイクル事業の収益モデル確立、④情報流通体制の整備を進めていく必要がある。

プラスチックの資源循環未来像

2050年の石油化学連産品としてのプラスチックの国内製造ポテンシャルは100万トン程度と見込まれる。不足する分は輸入に頼る必要があるが、プラスチック需要は現状の4億トンが10億トンになるとの推計がある中、十分に確保できない可能性がある。したがって、3Rの徹底やバイオマス由来原料利用の最大化により、化石資源由来樹脂の製造・輸入量を削減することが必要である。その具体的方策として、以下の3つの「技術と協調の掛け合わせ」が効果的である。

① 設計共通化(モノマテリアル化×設計ガイドライン)

- リサイクル手法に合致した加工技術(モノマテリアル化等)を利用する設計ガイドラインを業界協調により作成、遵守することでリサイクルの可能性を拡大

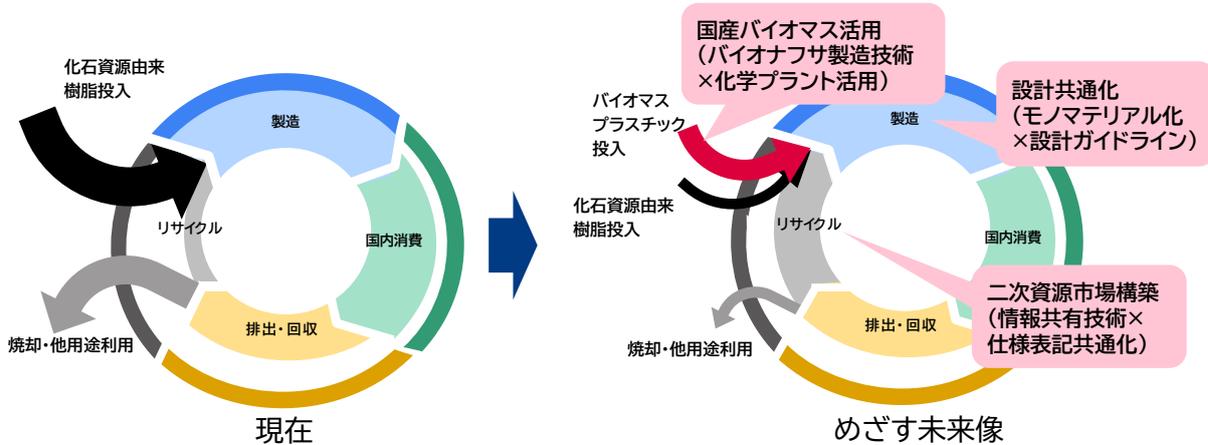
② 二次資源市場構築(情報共有技術×仕様表記共通化)

- 業界横断の協調により、廃プラスチックやその原料化した二次資源の情報を供給者と需要家が共有できる

二次資源市場を構築・運用し、需給マッチング機会を拡大

③ 国産バイオマス活用（バイオナフサ製造技術×化学プラント活用）

- 地域の林業と化学メーカーの協調・連携により、既存の化学プラントにて、国産バイオマス由来のバイオナフサを石化由来ナフサと混合することで、バイオマスプラスチックの供給を拡大



蓄電池の資源循環未来像

蓄電池資源はこれから大きな需要の伸びが想定される資源であるが、IEA の予測でも、2040 年時点でリチウムイオン電池に必要なコバルトやニッケル、銅などの総需要に占めるリサイクル供給の割合は 1 割以下にすぎない。しかし、一次原料に関しては資源ナショナリズムや環境負荷の大きさ、代替技術に関しては実用化に時間を要することなど、いずれも課題があるため、リサイクルが重要であると考えます。

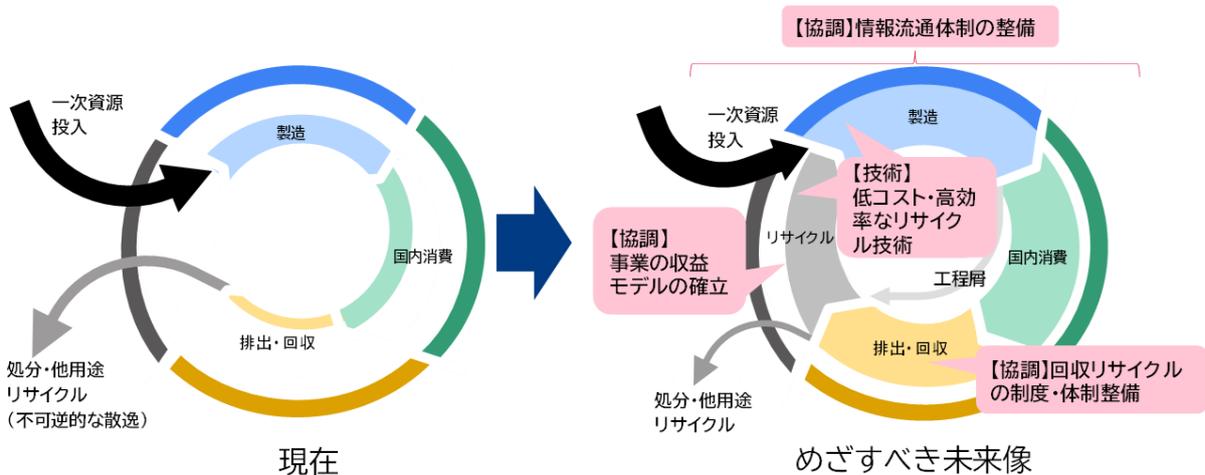
蓄電池のめざすべき資源循環は、自動車産業や蓄電池産業の将来シナリオによって異なるが、当社は国内に電池のサプライチェーンを残存させるシナリオが望ましいと考える。これを前提とした場合、近隣諸国のリサイクル産業に対して競争力を持つための①低コスト・高効率なりサイクル技術の開発が重要であり、並行して、協調領域の拡大・促進策として、②回収リサイクルの制度・体制整備、③リサイクル事業の収益モデル確立、④情報流通体制の整備を進めていく必要がある。

【技術開発】

- リサイクル原料も近隣諸国との奪い合いとなることが予想されるため、①低コストで効率的なりサイクル技術を開発し、競争力を確保

【協調領域拡大・促進策】

- 国内水平リサイクルへ優先的に廃電池が引き渡されるような②回収・リサイクルの制度・体制整備
- リサイクルの価値を市場価値として内部化する③リサイクル事業の収益モデルの確立
- 取引円滑化や処理工程の効率化、適正処理の確保に資する④情報流通体制の整備



欧州や米国が、それぞれ独自の資源確保戦略や、循環経済政策を打ち出し、グローバル企業が着々と循環産業への転換、二次資源のルート確立に向けて動いていく中、わが国では、国の指針や検討の場を活用しつつ、品目ごとに資源循環未来像やマイルトーンを関係者間で共有し、新技術の活用と関係者間の協調によって着実に新たなサプライチェーン・バリューチェーンを構築し、循環経済に移行していくことが必要である。

目次

はじめに	2
わが国の循環経済への移行に向けた提言	2
1. プラスチックの資源循環未来像	6
1.1. 見通すことのできる資源循環未来像	6
1.2. 技術と協調の掛け合わせでめざす資源循環未来像	8
1.3. カーボンニュートラルの実現に向けた対応	11
1.4. めざす資源循環未来像に向けた提言	12
2. 蓄電池の資源循環未来像	14
2.1. 循環が中長期的に重要となる蓄電池	14
2.2. 蓄電池産業の将来像シナリオに合わせて変わる、めざすべき循環の姿	16
2.3. 循環体制構築に向けた準備の提言	17
おわりに	22

はじめに

わが国の循環経済への移行に向けた提言

はじめに:わが国の循環経済への移行に向けた提言

循環経済という新たな経済システム

わが国は、経済活動に必要な鉱物資源や化石資源をほぼ 100%輸入に頼っている。そのため、鉄やアルミなどは、再生資源も貴重な資源として、既に高度成長期、1950 年代より回収・リサイクルが行われている。

また、1991 年には、製品製造時の再生資源の再利用、分別表示などを、製品や産業単位で指定した再生資源利用促進法(2000 年に資源有効利用促進法に改正)を施行し、その後、容器包装、家電、自動車、食品、建設廃棄物、小型家電を対象とした品目ごとのリサイクル法を整備し、3R(リデュース・リユース・リサイクル)に取り組んできた。これら 1990 年代以降の取り組みは、埋立処分場不足の解消や、資源の処理・処分に伴う環境負荷削減対策としての意味合いが強いものであった。

これに対して、昨今、求められている、大量生産・大量消費・大量廃棄を増長するリニアエコノミー(線形経済)から、サーキュラーエコノミー(循環経済)への移行は、元々の資源制約への対応や、さまざまな環境問題の改善・解決策としてだけでなく、資源循環や再生可能資源利用により、できるだけ枯渇性資源を利用せずに持続・成長していく経済システムを目指すものである。

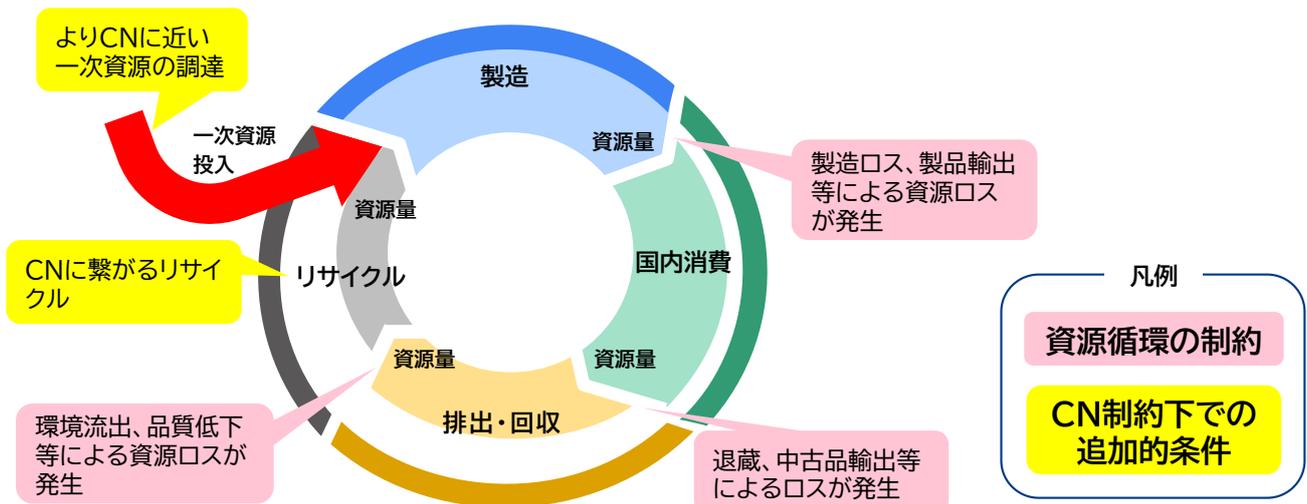
求められるカーボンニュートラルと経済安全保障を考慮した資源循環

しかし個別の資源・製品に落とし込んで循環経済への移行を考えた場合、資源を循環させることの制約や限界が見えてくる。日本の基幹産業である自動車を例にとると、国内の四輪車生産台数約 785 万台のうち、輸出台数は約 382 万台である。「製造」と「国内消費」の間で、約半分の資源が海外に流出していることになる¹。

消費後の「排出・回収」や「処理・リサイクル」の過程でも、退蔵や中古品輸出、環境流出、品質低下などに伴うロスは発生する。従って循環経済に移行したとしても、同じ量の製品をつくり続けるかぎりには、循環の過程で失われるのと等しいか、それを上回る量のバージン資源(一次資源)を新たに投入する必要がある。

さらに 2050 年のカーボンニュートラル(CN)実現という制約が加わり、循環の各プロセスで CN につながる取り組みが求められる(図表)。

図表 カーボンニュートラル(CN)制約下での資源循環に求められる条件



注:円環の太さは資源量を表す。製造から国内消費、排出・回収、リサイクルと循環するにつれて資源量は減少する。
出所:三菱総合研究所

処理・リサイクル過程では、熱回収を伴わない焼却システムやエネルギー多消費型のリサイクル手法など、CNに逆行する手段は見直す必要がある。また、一次資源の追加投入や、生産、流通などの過程でも同様である。

加えて、ウクライナ問題を契機に、経済安全保障の観点がより重要になってきており、権威主義国等、民主化度

¹ 一般社団法人日本自動車工業会 2021 年統計。輸入車販売台数は約 34.5 万台。

の低い国々に依存している一次資源については、地政学的に安定している信頼できる国からの調達割合を増やしていくとともに、循環利用によって資源を確保することの重要性が高まっている。

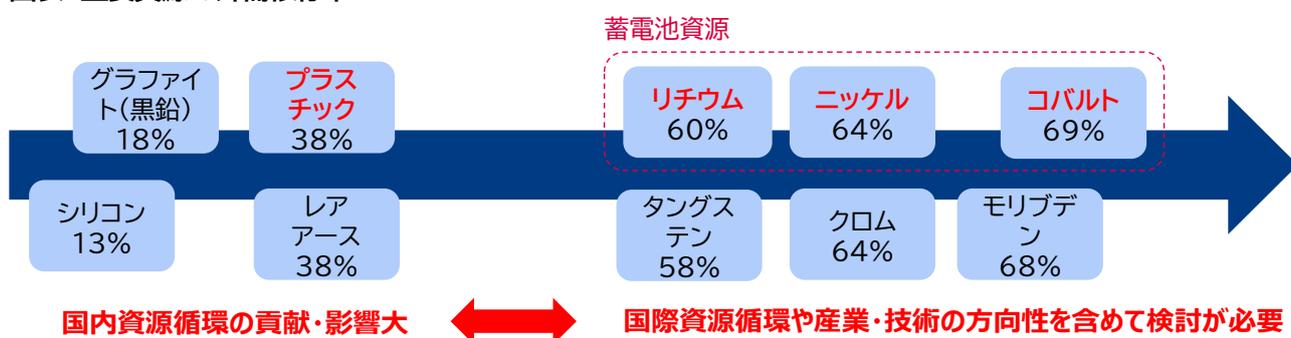
資源循環の観点から考える 10 の重要資源

このような制約条件、社会的要請がある中、どのような資源循環をめざすべきかは、資源を個別に分析しなければ見えてこない。

当社では国内で活用する主要資源 44 品目²を対象に、基本属性³と環境性⁴、経済安全保障⁵の観点から評価し、10 の資源(①リチウム、②グラファイト、③シリコン、④クロム、⑤コバルト、⑥ニッケル、⑦モリブデン、⑧タングステン、⑨レアアース、⑩プラスチック)を、日本の循環経済への移行に向けて特に重要な資源と位置付けた。

さらに、このうち、下図に示すように国内需要が多く内需比率も比較的高いプラスチックと、現時点の資源需要量は少ないが、外需比率の高い自動車の EV 化と連動して、今後爆発的に需要が拡大する蓄電池資源(リチウム、ニッケル、コバルト)を対象に、資源循環未来像を研究し、わが国の循環経済への移行に向けた提言をとりまとめた。

図表 重要資源の外需依存率



注:外需依存率は、素材ごとに、素材・製品輸出力/素材輸入・生産量を推計。製品輸出力は、主な輸出品に含まれる当該素材量を推計した。

出所:JOGMEC 金属資源情報「鉱物資源マテリアルフロー」、各協会・業界・連合会・連盟のウェブページ、貿易統計を基に三菱総合研究所作成

わが国の循環経済への移行に向けた提言

- 資源循環を基本とする循環経済への移行は、カーボンニュートラルと経済安全保障の両立を視野に入れて、新たなサプライチェーンを構築することである。
- この実現のためには、技術と協調の掛け合わせ(資源循環に資する技術を活用し、関係者間の協調領域を拡大すること)で、循環資源の同質性と必要量、経済性を確保する必要がある。
- プラスチックの場合は、①設計共通化、②二次資源市場構築、③国産バイオマス活用が効果的。
- 蓄電池の場合は、①低コストで効率的なリサイクル技術を開発し、協調策として、②回収リサイクルの制度・体制整備、③リサイクル事業の収益モデル確立、④情報流通体制の整備を進めていく必要がある。

また、この提言に基づく取り組みを進めることによる「めざす資源循環未来像」について、プラスチック、蓄電池そ

² 通商産業省(1999年)「循環経済ビジョン」の評価資源に、経済産業省(2012年度)「資源確保戦略」の戦略的鉱物資源と、枯渇の懸念される肥料資源(リン、カリウム)をもとに選定。

³ 利用量が1,000万t以上、可採年数が100年以下、自給率が30%以下。

⁴ CN資源(「CN実現に不可欠な再生可能エネルギー資源」「再エネ発電・蓄電池などに含まれる金属資源」「素材産業のCN実現に不可欠な廃プラスチック・鉄スクラップ」)であるか否か、再資源の利用率が20%以下。

⁵ 民主化度がマイナスの国の依存率が80%以上(世界銀行による2018年の政治の民主化度ランキングをもとに、民主化度が平均値以下の国の依存率を算出)、特定重要物資の主要構成資源か否か。

れぞれについて提示する。

第1章では、プラスチックの資源循環未来像について、「見通すことのできる未来像」と、「めざす未来像」の二段階で描出するとともに、めざす未来像におけるCO₂排出量とそれを相殺するための対策を示す。

第2章では、蓄電池の資源循環未来像について、まず中長期的な蓄電池の資源循環の重要性を示した上で、日本のEV・蓄電池産業の将来シナリオによる国内資源循環の将来像の違いを示す。また、将来シナリオのうち、国内に電池のサプライチェーンを残存させるとした場合に、日本として今から始めるべき準備について提言する。

なお、本編内でも具体的な参照箇所について注釈に記載しているが、あわせてこれまで公表した以下の関連レポートも参照されたい。

【MRI マンスリーレビュー2023年4月】

特集1 テクノロジーと協調が拓く資源循環の未来

<https://www.mri.co.jp/knowledge/mreview/202303.html>

特集2 プラスチック資源循環の高度化と拡大に向けた方策

<https://www.mri.co.jp/knowledge/mreview/2023032.html>

特集3 ものづくりを支える蓄電池リサイクル実現を

<https://www.mri.co.jp/knowledge/mreview/2023033.html>

【コラム】

「プラスチック資源循環促進法と循環実現への課題」

(<https://www.mri.co.jp/knowledge/column/20220328.html>)

第1章

プラスチックの資源循環未来像

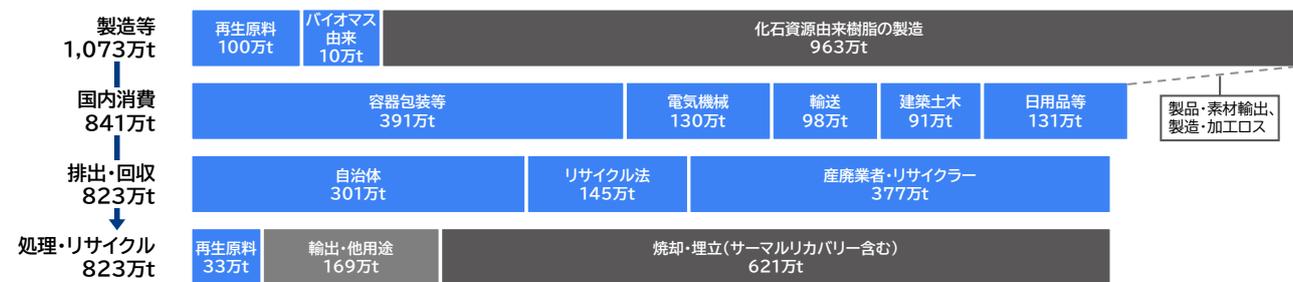
1. プラスチックの資源循環未来像

プラスチックは、主に石油精製の連産品であるナフサから製造されている。カーボンニュートラルの世界では、連産品の大半を占める燃料(重油、軽油、ガソリン等)の需要は激減する。その一方で、プラスチックの世界需要は現状の約4億トンから 2050 年には約 10 億トンになるという予測があるため、今後、どのようにプラスチックやその原料を確保するかが課題になる。本章では、カーボンニュートラル下におけるわが国のめざすべきプラスチック資源循環の方向性を示し、めざす資源循環未来像と、それを実現した際の CO2 排出量とそれを相殺するためのカーボンニュートラル対策を提示する。

1.1. 見通すことのできる資源循環未来像

図表 1-1 にわが国のプラスチック資源循環フローを示す。2020 年のわが国のプラスチック国内消費量は 841 万トンで、排出・回収量は 823 万トンである。国内消費や排出・回収においても、カーボンニュートラル化が必要であるが、製造等のうち 963 万トンに及ぶ化石資源由来樹脂の製造および、処理・リサイクルにおいて 621 万トンを占める焼却・埋立量をゼロに近づけていくことが必要である。

図表 1-1 プラスチック資源循環フロー(2020 年)



出所:三菱総合研究所

製造等:石油由来・再生原料(プラスチック循環利用協会 2020)、バイオマス由来(環境省『令和3年度バイオプラスチック及び再生材利用の促進に向けた調査・検討委託業務報告書』2022年3月)

国内消費:容器包装・車両・電気機械・建築土木・その他(プラスチック循環利用協会 2020)

排出・回収:回収ルート別の量のうち、リサイクル法ルートの回収量は、容器包装リサイクル法、小型家電リサイクル法、家電リサイクル法の回収量と、自動車リサイクル法の ASR 分の合算値。自治体回収(リサイクル法以外)の量は、一般廃棄物の量から容器包装リサイクル法、小型家電リサイクル法の回収量を除いた。(2020年度 MRI 推計値)

処理・リサイクル:焼却・埋立には、焼却発電や RPF 等のサーマルリカバリーも含む。輸出・他用途は、再資源化量から再生樹脂仕向け量を除いた。(プラスチック循環利用協会 2020)

製造と国内消費の差は、樹脂・製品の輸出入、製造ロスなどによる。

処理・リサイクルと製造等との再生原料の差は、1年のズレ(再生原料は 2019 年の実績値)としていることによる。(プラスチック循環利用協会 2019)

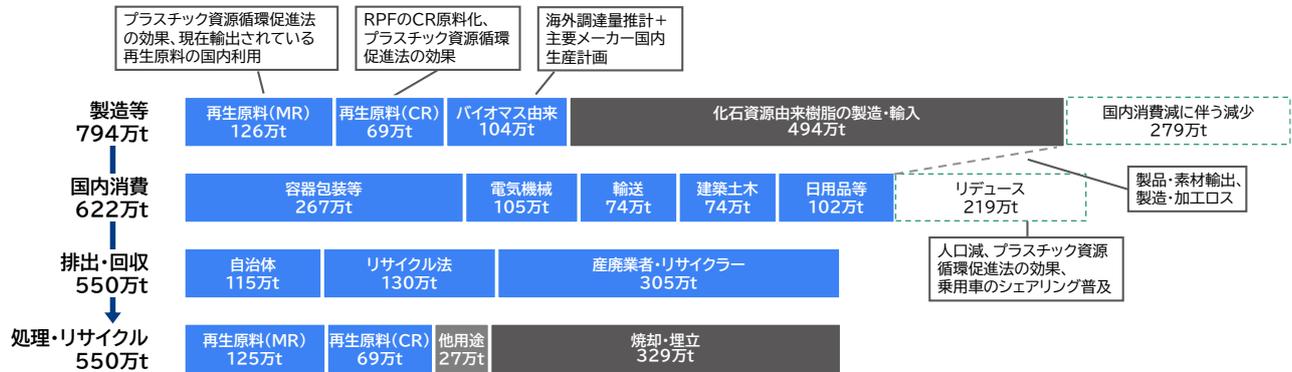
業界や国の目標(マテリアルリサイクル 350 万トン、ケミカルリサイクル 250 万トン、バイオマスプラスチック利用 200 万トン)⁶はあるが、いずれも実現の見通しは不透明であるため、本稿では、わが国の人口減少や、プラスチック資源循環促進法の効果、関係事業者の生産計画等を考慮し、「見通すことのできる未来像」を描出した。その結果を図表 1-2 に示す。

人口減少やプラスチック資源循環促進法の進捗(容器包装利用事業者の使用削減、SUP:シングルユースプラスチックの削減)、カーシェアリングの普及等により 219 万トンの国内消費減少が見込まれる。その上で、国内消費を賄うために製造等量は 794 万トン必要である。このうち、海外に仕向けられている再生原料を国内で利用することなどにより、マテリアルリサイクル(MR)によって 126 万トン確保することができる。また、現在 RPF に仕向け

⁶ マテリアルリサイクル、ケミカルリサイクルの目標値は、一般社団法人日本化学工業協会『廃プラスチックのケミカルリサイクルに対する化学産業のあるべき姿』より引用。なお、マテリアルリサイクルについては同資料では参考値。バイオマスプラスチック利用の目標値は、バイオプラスチック導入ロードマップ 2018 に示された 2030 年の目標値。

られているプラスチックを、石油化学メーカー各社が取り組んでいるケミカルリサイクル(CR)プロセスに投入することで 69 万トン確保することができる。

図表 1-2 プラスチック資源循環フロー(2050 年:見通すことのできる未来像)



出所:三菱総合研究所

推計根拠概要)

製造・輸入:リデュースは人口減による減少とプラスチック資源循環促進法による容器包装および使い捨てプラスチック製品の削減を推計。バイオマス由来分は、世界の生産量と日本の調達可能量の割合が現状と同じであると仮定し、加えて、計画公表されている国内のバイオマス生産計画量をプラスした。

国内消費:用途ごとに人口減による減少を見込み、容器包装と日用品はプラスチック資源循環促進法による削減分を考慮。

排出・回収:リサイクルルートにプラスチック資源循環促進法による増加効果分を反映。

処理・リサイクル:再生原料(MR)は現状輸出に仕向けられている量が国内利用されると想定。再生原料(CR)は現在、RPF・セメント原燃料に仕向けられているものを石油精製やナフサクラッカーに投入できるようになると設定。

処理・リサイクルと製造等との再生原料(MR)の差は、1年のズレ(再生原料は 2049 年の推計値)としていることによる。

バイオマスプラスチックの生産量ポテンシャル 104 万トンについては、国内生産量(83 万トン)と国外からの輸入見込み(21 万トン⁷)を合算している。国内生産量は、図表 1-3 示す通り、メーカーにおける国内生産見込量を積み上げている。主要汎用樹脂であるバイオポリプロピレン(PP)・バイオポリエチレン(PE)の他、木質を原料に生産されるポリ乳酸(PLA)⁸や、100%バイオマス糖質を原料とするポリエチレンフラノエート(PEF)、生活系・事業系廃食用油等のバイオマス油脂を原料に微生物により生産される PHBH⁹、バイオポリアミド(PA)、バイオアクリル(PMMA)などのその他可塑性樹脂の目標値を積み上げた。

⁷ 国外からの輸入見込み量(21 万 t)については、カーボンニュートラルに向け、世界的にバイオマスプラスチックを買い求める動きが強まることが想定されることから、現状 2020 年時点におけるバイオマスプラスチック世界使用量(229 万 4 千 t^{*1})に対する日本の輸入量(10 万 t^{*2})の比率が、2050 年時点でも変わらないと仮定した上で、2050 年時点におけるバイオマスプラスチック世界使用量(481 万 6 千 t^{*3})を基に算出した。

*1,3:OECDstat.(Plastics use by polymer -projections), <https://stats.oecd.org/> (2023 年 4 月 4 日)

*2:環境省、令和3年度バイオプラスチック及び再生材利用の促進に向けた調査・検討委託業務 報告書 p.53「バイオマスプラスチック類を用いて製造されたプラスチック製品のうち、2020 年度において国内向けに出荷されたプラスチック製品の量(単位:トン)」、<https://plastic-circulation.env.go.jp/wp-content/themes/plastic/assets/pdf/platyousar3.pdf>(2023 年 4 月 7 日)(接着材やインク等も含む値の為小数点以下切捨て・また現状原料のほとんどを輸入して製造していることから「輸入量」としてみなした。)

⁸ 一般社団法人日本有機資源協会、令和 4 年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金 脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業 事業者取組紹介 p.14,15 https://www.jora.jp/wp-content/uploads/2023/03/pla2022_pamphlet.pdf(2023 年 5 月 15 日)

⁹ 一般社団法人日本有機資源協会、令和 3 年度二酸化炭素排出抑制対策事業費等補助金 脱炭素社会を支えるプラスチック等資源循環システム構築実証事業 事業者取組紹介 p.12,13 https://www.jora.jp/wp-content/uploads/2023/03/pla2021_pamphlet.pdf(2023 年 5 月 15 日)

図表 1-3 2050 年に向けたバイオマスプラスチック国内生産見込量

プラスチック種		国内生産見込量(t)
【バイオPE】		201,667
【バイオPP】		100,000
【その他熱可塑性樹脂】	PLA	20,000
	その他	508,333
合計		830,000

出所:年間 0.5 万 t 以上のマスを生産を行う主要メーカーにおける 2050 年まで国内生産目標値、各社公表資料を基に株式会社三菱総合研究所作成。

※「その他熱可塑性樹脂」の「その他」には PEF、PHBH、バイオポリアミド(PA)、バイオアクリル(PMMA) の目標値を基に計上。

これらが実現したとしても、図表 1-2 に示したように、依然として、現状の 1/2 程度(494 万トン)の化石資源由来樹脂の調達が必要である。また、329 万トンの焼却・埋立も必要である。

ここで、2050 年に必要となる 500 万トン弱の化石資源由来樹脂をどう確保するかについて考えてみる。化学メーカーでは、2050 年のわが国の石化燃料需要は現状の3割もしくは2割程度に低下すると見込んでいる。仮に3割に低下とした場合、その連産品として製造されるナフサから確保できるプラスチックは 100 万トン程度となる。したがって、不足分(400 万トン弱)はナフサ等のプラスチック原料もしくはプラスチックとして輸入する必要がある。

現在もナフサは 900 万トン、プラスチックも 219 万トン輸入しているが、2050 年には世界のプラスチック需要は4億トンから 10 億トンに増加し、プラスチックやその原料の取り合いになる可能性があるため、それらを安定的に輸入調達できる保証はない。したがって、自国の石油資源がほぼゼロであるわが国においては、めざすべきプラスチック資源循環の方向性として、3Rやバイオマス由来原料利用を最大化し、化石資源由来樹脂の製造・輸入量を削減することが必要となる。

1.2. 技術と協調の掛け合わせでめざす資源循環未来像

2050 年カーボンニュートラルを実現するためには、化石資源由来樹脂の利用を可能な限り縮小し、徹底した3Rと共にバイオマス資源の積極的な利用拡大が求められる。ここでは、そのために取り組みの加速化・普及定着等が期待される「技術と協調の掛け合わせ」手段について例示・提案する。

① 設計共通化(モノマテリアル化×設計ガイドライン)

マテリアルリサイクルの条件は原則単一樹脂であり、ケミカルリサイクルのモノマー化やナフサクラッカーへの投入の対象となるプラスチックも限定的である。言い換えれば、これらリサイクル手法に合致したプラスチックの加工技術(モノマテリアル化等)を活用し、それらを利用する設計ガイドラインを業界協調により作成、遵守することでリサイクルの可能性は拡大できる。

自治体における容器包装の樹脂組成分析結果によると、複合素材の割合は 25%程度である¹⁰。図 1-4 に示すモノマテリアル化技術を活用し、これらを PE や PP 単一樹脂とすることで、容器包装の PE および PP の比率は 44%から 69%に増加する。また、樹脂の種類が減少し材質の認知も高まれば、プラスチック容器包装の分別協力率や残渣率も低下すると考えられる。

¹⁰鈴木慎也他「福岡筑後地域におけるプラスチック樹脂組成調査」『第 33 回廃棄物資源循環学会研究発表会 講演原稿 2022』を基に推計

図表 1-4 リサイクルの対象要件とモノマテリアル化技術の開発事例

手法	適合する樹脂	メーカー	技術概要
マテリアルリサイクル	原則単一樹脂(一部ポリオレフィン樹脂のカスケード利用あり)	三井化学株式会社	ヒートシールレンジの拡大、バリア性付与による、モノマテリアルフレキシブルパッケージ(PE系、PP系)の開発
モノマー化	PST(ポリスチレン)、MMA(メタクリル酸メチル)、PET等に限定	住友化学株式会社	容器包装向けの高剛性ポリエチレン。基層材をナイロンやPETの代替が可能で、PE単一の多層フィルムを実現
ナフサラッカーへの投入	PP・PE・PST 等の CH 含有率が高く酸素を含まないものが対象	三菱ガス化学株式会社	ガスバリア性接着剤を開発し、PPモノマテリアル包材の酸素バリア性と耐屈曲性の向上を実現
		大日本印刷株式会社	独自のコンバーティング技術や製膜技術、蒸着技術などを活かしてPEまたはPPのモノマテリアルフィルムを開発
		凸版印刷株式会社	PE、PP、PET、紙などの基材に独自のバリア技術を組み合わせたモノマテリアルフィルムの開発

出所：一般社団法人日本化学工業協会『廃プラスチックのケミカルリサイクルに対する化学産業のあるべき姿』
(<https://www.nikkakyo.org/news/page/8613> 閲覧日 20220916)および各社 HP 情報を基に三菱総合研究所作成

② 二次資源市場構築(情報共有技術×仕様表記共通化)

プラスチックのリサイクルを拡大するには、①にも述べたように、樹脂ごとの分別・選別の徹底が必要である。①のモノマテリアル化によって複合樹脂が減り、分別できたとしても、排出者や回収事業者のネットワークの範囲で需要家を確保できなければ、焼却処理や埋立処分などに仕向けられる。

そのため、プラスチックの二次資源市場を構築し、業界横断の協調で、廃プラスチックやその原料化した二次資源の情報を供給者と需要家が共有できる仕組みを実装・運用することで、需給マッチング機会が拡大すると考えられる。二次資源市場で必要になるのが、再生プラスチックの情報共有技術と、再生プラスチックの仕様表記共通化である。

再生プラスチックの情報共有技術を活用した仕組みとして、欧州では、生産、消費、回収・リサイクルの各プロセスで、情報の共有化を図る DPP(Digital Product Passport: デジタルプロダクトパスポート)の仕組みづくりが進められており、プラスチックも対象品目とされている。日本においても、今年 3 月に経済産業省がとりまとめた「成長志向型の資源自律経済戦略」に基づいて、情報流通プラットフォームの構築が目指されている。その仕組みの普及定着や、上市されているハンディ樹脂判別装置¹¹が普及することにより、二次資源市場に多くの廃プラスチックやその二次資源の情報が集まることが期待される。

再生プラスチックの仕様表記の共通化とは、業界横断の協調で、プラスチック利用事業者が再生プラスチックの品質を表す仕様表記を共通化・共有することである。現在、再生プラスチックの品質を表す際、例えば、白色のプラスチックを「無色」という事業者もいれば、「白」と表現する事業者もある。また、異物の範囲も事業者によって異なる状況にあり、その表現の違いを解消し仕様表記を共通化・共有することで、需給マッチング機会の拡大が期待できる。

③ 国産バイオマス活用(バイオナフサ製造技術×化学プラント活用)

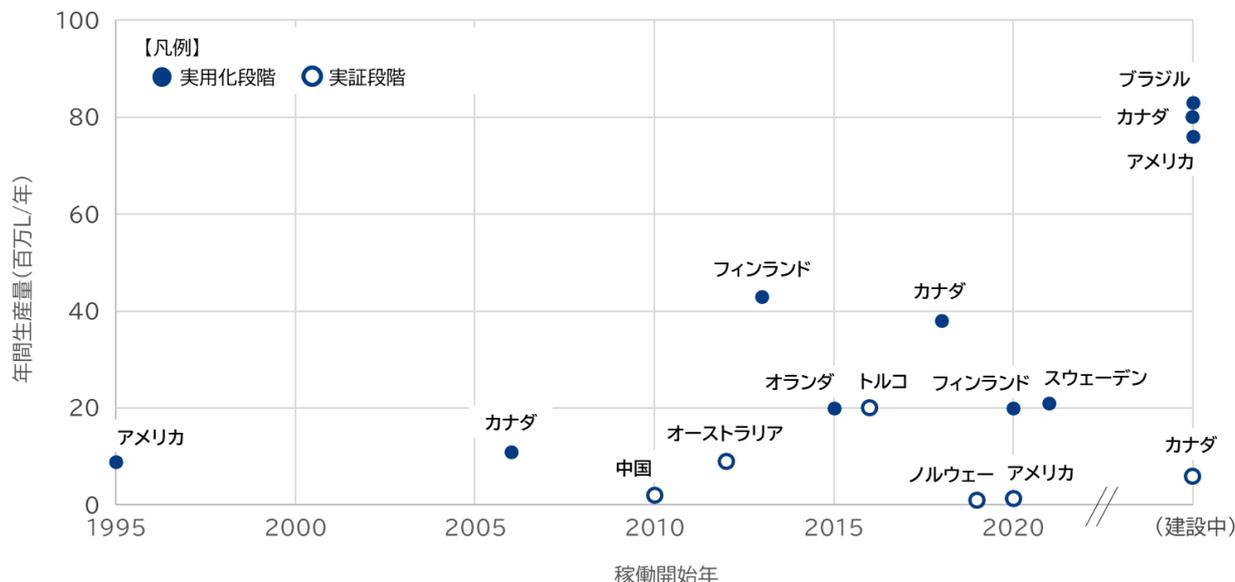
前述の通り、カーボンニュートラルに向けて化石資源由来燃料の需要が急減すると、石油から十分な量のナフサを製造することが困難になる。この対応策として、地域の林家・林業と化学メーカーの協調・連携により、既存の化学プラントにて、国産バイオマスから製造したバイオナフサを原料として利用し、バイオマスプラスチックを生産することが期待される。

ナフサ相当の原料を 2050 年にどのようにして確保するかを考えるにあたっては、石油の生成プロセスが参考になる。石油はプランクトン(炭素の塊)が地熱の影響を受けながら化学変化することで生成された。この生成プロセスを模倣すると、炭素の塊である木質資源を高温処理してもナフサと同質のものが製造できる。元々、木材など

¹¹例えば、株式会社リコーのハンディ樹脂判別装置は、近赤外線分光法を採用し、樹脂ごとに異なる近赤外線の反射・透過度合いを光波長として測定し樹脂種を判別する装置で、PP(ポリプロピレン)等基本的な 13 種のプラスチックを判別でき、複合プラスチック・多層プラスチックでも最大 3 種までは混合比率を測定することができる。

のバイオマスからナフサを製造する技術は1960年後半から開発が始められていた。しかし、石油などの既存エネルギーよりも製造コストが高かったために大規模な事業化には至っていなかった。近年、カーボンニュートラル実現に向けた技術として再発見されると、再び注目を集めるようになり、現在は年産10万トン(80百万L)規模のプラント建設がブラジルやカナダなどで進められている。

図表 1-5 木質由来ナフサの製造プロジェクト



出所:IEA Bioenergy『Commercial status of direct thermochemical liquefaction technologies』
 (https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/09/Direct-Thermochemical-Liquefaction_Commercialization_Overview.pdf 閲覧日:2023年5月17日)および各社HP情報を基に三菱総合研究所作成

化石資源由来樹脂は、カーボンニュートラル対応が必要であるため、将来的に価格が高騰する可能性がある。また、化石資源由来樹脂と比べてバイオマスプラスチックが高値であってもバイオマスプラスチックを選択する動きが見られるように、バイオマスの価値が高まりつつある。

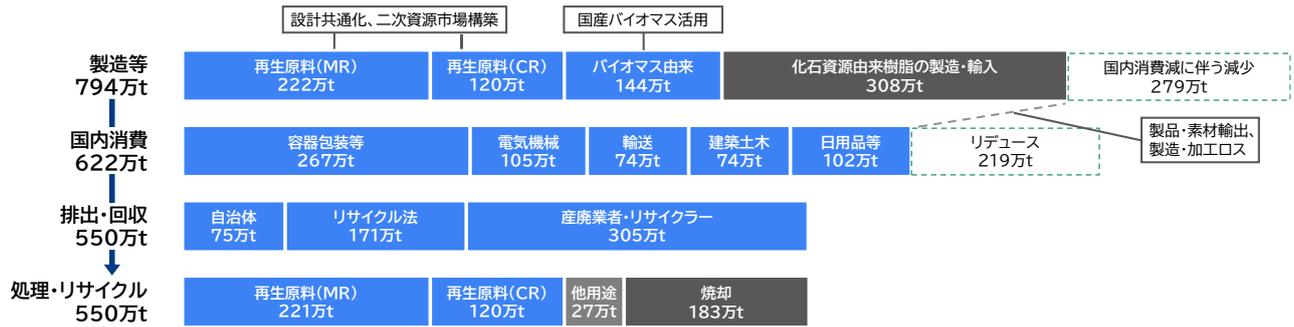
この木質バイオマスを原料としたバイオナフサについても、林業と化学メーカーが両輪となって地域協調・連携に取り組み、森林管理や伐採・輸送等のコスト縮減も図りながら、バイオマスの価値を打ち出すことで、日本においても実用化されることを期待したい。

なお、この技術の実用化に当たっては、先行事例に倣うと年間10万トン規模のナフサ製造に必要な国産材を確保する必要がある。森林・林業基本計画によると、2030年時点の国産材利用量は4,200万m³との目標が設定されている。一方で、民間が保有するスギ・ヒノキ人工林の現時点での年間成長量分を2050年に活用すると想定すれば、幹材積のみでも約4,900万m³の国産材ポテンシャルがある。2050年の国産材利用量は2030年目標値と同程度と仮定し、国産材ポテンシャルと国産材利用量の差分(約700万m³)をナフサ製造に活用すると、年間50万トンの木質由来ナフサを製造できることになる。

2050年に期待されるプラスチック資源循環フローの試算では、10万トン規模のナフサ製造施設を全国に5基整備されるとした。

以上、①～③の「技術と協調の掛け合わせ」により、期待されるプラスチック資源循環未来像を図表1-6に示す。①設計共通化、②二次資源市場構築、③国産バイオマス活用によって、化石資源由来樹脂の製造・輸入は300万トン程度に抑えることができる。

図表 1-6 プラスチック資源循環フロー(2050年:めざす未来像)



出所:三菱総合研究所
推計根拠概要)

製造等:リデュースは人口減による減少とプラスチック資源循環促進法による容器包装および使い捨てプラスチック製品の削減を推計。MR・CRは設計共通化、二次資源市場構築による効果を加算。バイオマス由来分は、見通すことのできる未来像に加え、国産バイオマス活用分を推計(10万トン規模のナフサ製造施設を全国に5基整備し、40万トン<1基あたり年間8万トン>のバイオマスプラスチックが供給されるとした)。

国内消費:用途ごとに人口減による減少を見込み、容器包装と日用品はプラスチック資源循環促進法による削減分を考慮。

排出・回収:リサイクル法ルートにプラスチック資源循環促進法による増加効果分を反映。設計共通化による分別協力率向上を加味(プラスチック製容器包装の分別協力率は現状の40%から70%へ、残渣率は50%から20%に変化するとした)。

処理・リサイクル:再生原料(MR)は現状輸出に仕向けられている量が国内利用されると想定。再生原料(CR)は現在、RPF・セメント原燃料に仕向けられているものを石油精製やナフサクラッカーに投入できるようになると設定。加えて、二次資源市場構築による効果を加算(現在、焼却・埋立に仕向けられている産業廃棄物プラスチックの8割が二次資源市場で情報共有され、そのうち3割がマテリアルリサイクルルートに流れ、残る7割のうち5割がケミカルリサイクルルートに引き渡されるとした)。

処理・リサイクルと製造等との再生原料(MR)の差は、1年のズレ(再生原料は2049年の推計値)としていることによる。

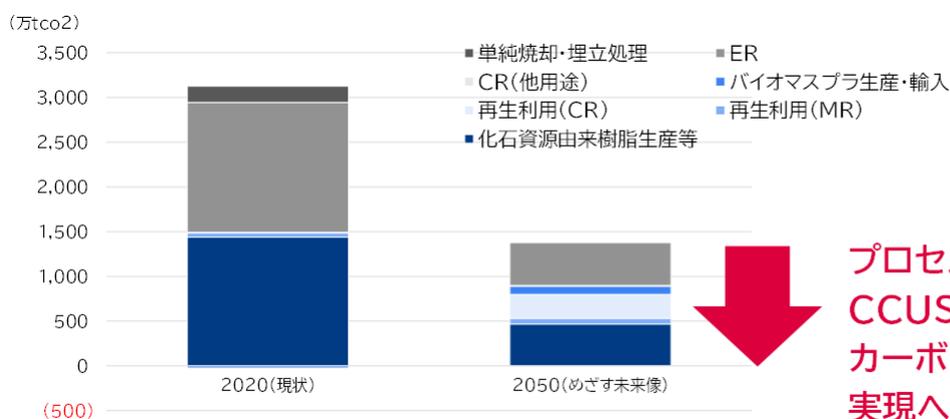
1.3. カーボンニュートラルの実現に向けた対応

プラスチックのリサイクルやバイオマスプラスチックの導入増加によって、プラスチック資源循環フローで発生するCO₂は減少するが、リサイクルやバイオマスプラスチック製造プロセスにおいてもCO₂は発生し、また、残る化石資源由来樹脂の製造や焼却処理においてもCO₂が発生する。

本稿では、現状および「見通すことのできる未来像」、「めざす未来像」におけるCO₂排出量について、プラスチック資源循環フローのうち、製造等と処理・リサイクル段階に限定して算定した。結果を図1-7に示す。

2020年のCO₂排出量は全体で3,101万トンであるが、リサイクル量とバイオマスプラスチック導入量を拡大することでこれを削減することができ、「めざす未来像」では1,376万トン(現状の約40%)に低下すると見込まれる。

図表 1-7 プラスチック資源循環フロー(製造等、処理・リサイクル段階)にて発生するCO₂量(万トン)



プロセスの低炭素化、
CCUS、NETsにより
カーボンニュートラル
実現へ

出所:三菱総合研究所

すなわち、化石資源由来樹脂の生産量を減らすとともに、プラスチック使用後の焼却も減らすことにより、総排出量を大幅に削減することができる。例えば、現状と「めざす未来像」との比較で見ると、化石資源由来樹脂生産、焼却に伴い排出される CO2 排出量はそれぞれ 70%程度削減される。しかしながら、プラスチック資源循環フロー全体での CO2 排出量は 60%の削減にとどまる。その要因として、バイオマスプラスチック製造やリサイクルの工程において CO2 が排出されることが挙げられる。このため、熱利用の高度化・省エネが可能なものは引き続き対応を進める、電化が可能なプロセスは電化を進める、それらの対応が困難なものは CCUS や NETs により対応するといった方策がカーボンニュートラルに向けて必要となる。

ただし、バイオマスプラスチック製造とリサイクルではプロセスの違いから CO2 排出源も大きく異なっている。そのため、低炭素化に向けた対策は異なる点には注意が必要である。例えば、バイオポリプロピレン製造ではエネルギー（電力、蒸気）由来の CO2 排出量が大きくなっているが、電力を再生可能エネルギー由来にする、蒸気については燃料のグリーン化は難易度が高いため発酵工程を効率化し燃料消費量を減らすといった低炭素化の手法が考えられる。

カーボンニュートラル実現のためには、バイオマスプラスチックや再生プラスチックの製造技術の開発を進めるのと同時並行で、各プラスチックに適した低炭素化の手法を導入していくことが求められる。

1.4. めざす資源循環未来像に向けた提言

以上、カーボンニュートラルおよび経済安全保障の観点から、わが国において、プラスチックは可能な限り 3R を徹底するとともに、国産バイオマス資源を原料として活用するべきである。その結果として、残る CO2 排出量については CCUS や NETs によって対応し、カーボンニュートラルを実現することが現実的である。

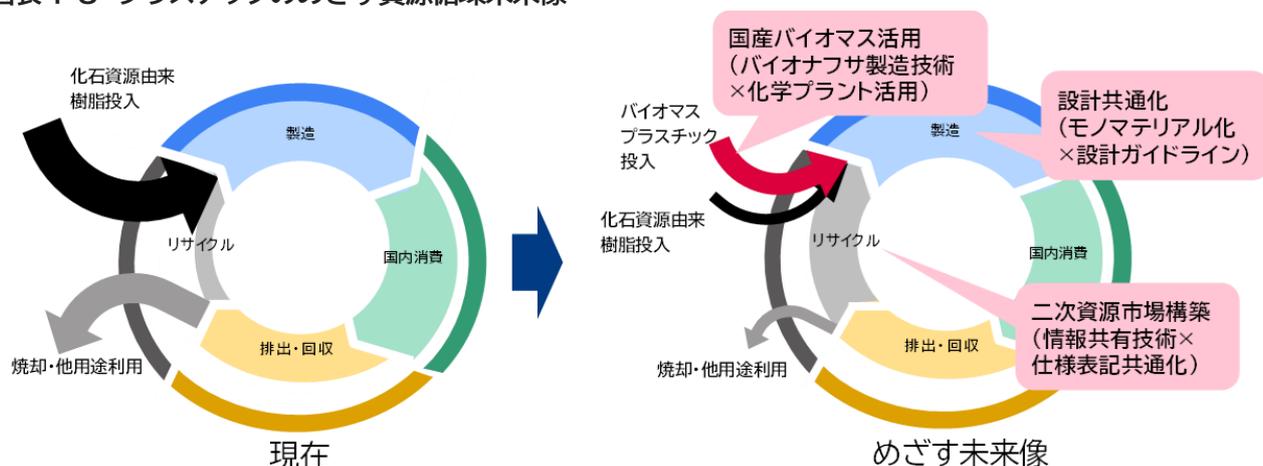
3R の徹底、国産バイオマス資源の活用にあたっては、3つの技術と協調の掛け合わせ、「①設計共通化(モノマテリアル化×設計ガイドライン)」、「②二次資源市場構築(情報共有技術×仕様表記共通化)」、「③国産バイオマス活用(バイオナフサ製造技術×化学プラント活用)」が効果的である。

設計共通化によって、市民の分別協力率が向上し、資源として回収した際の残渣率が低下し、もともとの用途の原料としての利用ポテンシャルが上がるのが期待される。その取り組みを先行して実行していたわが国の PET ボトルは、世界で突出した回収率・リサイクル率を実現しており、再生 PET をボトル原料に利用する水平リサイクルも増えてきている。

二次資源市場構築によって、品質に問題はないが量が少ない、また、樹脂種類などが不明で焼却等に仕向けられていた産業系の廃プラスチックのリサイクルが期待される。

国産バイオマス活用については、本稿では、国内で5カ所の事業化を想定したが、関係者間の連携・協調により、森林管理からプラスチック製造までの新たなサプライチェーン全体でみたビジネスモデルを確立することにより、その実現が期待される。

図表 1-8 プラスチックのめざす資源循環未来像



出所:三菱総合研究所

第2章

蓄電池の資源循環未来像

2. 蓄電池の資源循環未来像

「はじめに」に記載した通り、蓄電池は前述のプラスチックとは対照的にこれから大きく需要が増加する資源である。将来の地理的な産業立地や新たな電池タイプの導入状況といった不確定要素はあるものの、蓄電池の資源の確保はわが国の産業・社会にとって非常に重要な要素になる可能性が高く、そのために資源循環は欠かせない。本章では今後数十年の間に導入・廃棄される蓄電池の大部分を占めるであろうリチウムイオン電池を対象に、日本でサステナブルな蓄電池産業のエコシステム形成を目指す上で必要な対策をとりまとめた。

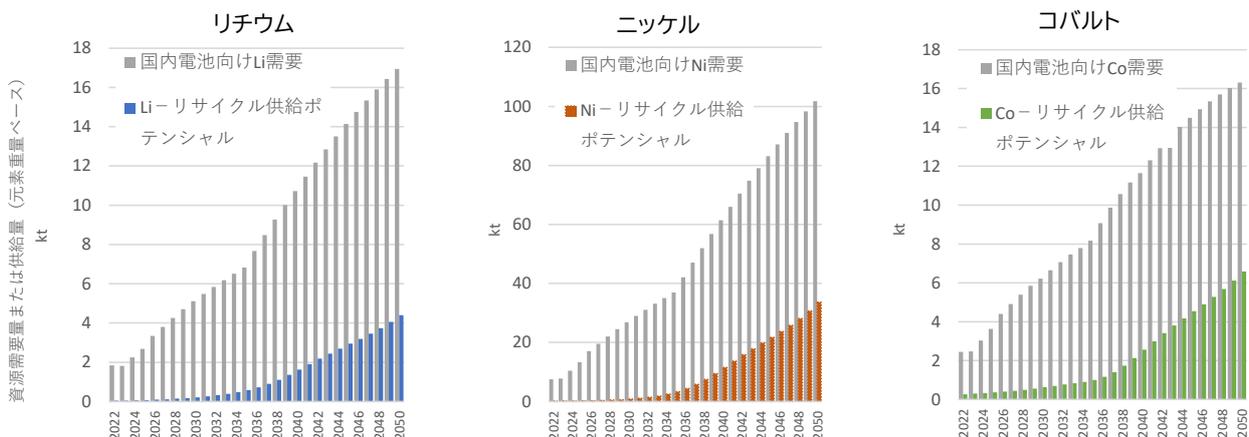
2.1. 循環が中長期的に重要となる蓄電池

蓄電池は電気自動車(以下、EV と呼称)などの車載用と電力貯蔵や需給調整を目的とした定置用を中心に、大きく需要が増加する。特に最も大きな需要を占める用途は EV 向けである。カーボンニュートラルに向けた自動車の転換では、水素を充填する燃料電池車(FCV)や内燃機関車への合成燃料(e-fuel)の活用も想定されるが、供給インフラの整備維持コストや燃料単価の面から、特に一般的な乗用車の分野では EV の導入が中心になると考えられる。したがってカーボンニュートラルの達成に向け、EV に搭載する年間に数TWhにおよぶ大量の車載用の蓄電池が必要となる。

蓄電池リサイクルの本格化は 2030 年代以降

冒頭の説明の通り、蓄電池資源はこれから大きな需要の伸びが予想される資源であり、リサイクルによる資源供給への寄与はマクロでみれば中長期的な要素である。蓄電池の使用頻度にもよるが、電池として一度使われ始めると、リユースの期間も含め最終的にスクラップとなるのは十年以上先となる。つまりEVが普及し始めてから本格的な蓄電池の排出時期に至るまでにはさらに十数年がかかるということである。IEA の予測では、2040 年時点でリチウムイオン電池に必要なコバルトやニッケル、銅などの総需要に占める二次原料(リサイクル原料)による供給の割合は 1 割にすぎない¹²。需要とリサイクルによる供給の関係を日本国内というフレームでみた当社試算を図表 2-1 に示す。長期的な自動車需要の減少や EV 普及の伸びの緩やかさやなどによって需要側が抑えられ、リサイクルの寄与の割合自体は世界平均の予測より少々高まっているが、リサイクルのポテンシャルが高まるのはやはり 2030 年代後半以降といえる。

図表 2-1 各蓄電池資源の国内需要とリサイクルポテンシャルの推移



出所:三菱総合研究所

こうした状況を踏まえると、これから急増する蓄電池の資源需要を満たしていくためには、まず鉱山で採掘する

¹² IEA, “The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions” (2021)
<https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

一次原料(パーজন原料)の供給拡大を進めつつ、希少資源使用量の削減技術の開発を進めていく必要があるということになる。しかし、一次原料の増産や短期的な代替技術への期待だけに依存し続けることにも限界があり、その意味で第3の方策としてリサイクルは重要な要素となりうる。

リサイクルが重要となる理由① 一次資源の供給リスクと経済安全保障

リチウムイオン電池に使われるリチウムやコバルト・ニッケル(高容量タイプの正極材において使用)に関しては、資源の枯渇、資源ナショナリズム、生産時の環境社会影響といった一次資源の供給上の問題が存在する。一次資源供給に係るリスクの全体像を図表 2-2 に示す。数十%であってもリサイクルによる供給の存在は、こうした課題の影響を緩和する経済安全保障の手段として役立つと考えられる。

図表 2-2 リチウムイオン電池に使用される一次資源の供給リスクの例

	資源が使用される正極タイプ	需給バランスのリスク (短期的な逼迫、 長期的な資源枯渇など)	政治的なリスク (資源ナショナリズムや 政情不安など)	環境社会問題のリスク (環境負荷・汚染、人権侵 害など)
リチウム	すべてのLiBタイプ。全固体LiBではさらに使用量が増える見込み	<ul style="list-style-type: none"> ● 資源量自体は豊富だが、需要急増で需給が均衡しにくく、価格の変動幅が非常に大きい 	<ul style="list-style-type: none"> ● 埋蔵量の多いチリやボリビアの資源の国有化/外資規制の動き ● 現在、精錬工程をほぼ中国が独占 	<ul style="list-style-type: none"> ● 塩湖からの生産時の水資源消費や廃棄物の影響が指摘される
ニッケル	NMC、NCA など高容量の正極材の主原料として使用	<ul style="list-style-type: none"> ● 静的可採年数は30年以上(2022年時点)であるが、消費増により優良資源に枯渇のおそれ 	<ul style="list-style-type: none"> ● 最大の生産シェアを占めるインドネシアは2020年に鉱石輸出を禁止し、中国勢を中心に現地での製錬や電池の生産投資が進む 	<ul style="list-style-type: none"> ● 主産地の東南アジアは生態系が豊かな地域であり、比較的広範囲に広がる鉱床開発のための剝土等による自然への影響が指摘される
コバルト	NMC、LCO など。高価なため近年では使用量が減少	<ul style="list-style-type: none"> ● 静的可採年数は44年(2022年時点) ● 銅やニッケルの副産物として生産されるため供給の柔軟性に制約 	<ul style="list-style-type: none"> ● 7割を生産するコンゴ民主共和国(DRC)は腐敗認識指数(CPI)が180か国中166位とントリーリスクが高い 	<ul style="list-style-type: none"> ● 最大の生産国のDRCでは児童労働のリスクが指摘されてきた

出所:三菱総合研究所

リサイクルが重要となる理由② 資源代替技術へのスムーズな移行の不確実性

希少な資源に頼らない新型電池や電極素材など代替技術の開発は、資源制約に対する根本的な解決策となりうる。現在グローバルにナトリウムイオン電池などリチウムを代替する電池の開発が進められている。しかし、実験室で測定され発表された性能が、連続生産のラインで量産される電池パックのレベルでも達成できるまでには時間がかかることもあるため、普及時期の見通しは難しい。導入が進むリチウムイオン電池はエネルギー密度や耐久性(サイクル特性)の面で一般的なEV向けとして優れた電池であるため、新技術がそれを置き換えるレベルに至るまでのハードルは高い。また、一度EV市場においてリチウムイオン電池の供給体制が確立した後、十数年の期間の後に大半がすぐにまた別の新型電池に置き換わることは想定しにくい。リチウム代替の新型電池は、リチウムイオン電池の生産量に上乗せするような形で、その特徴に合わせた特定の用途向け(例えば定置用や小型低速モビリティ用、ドローン向けなど)から徐々に導入されていくと考えられる。

上記の理由から、中長期的にみた場合にリチウムイオン電池からのリサイクル原料の供給は重要であるといえる。全体の供給に占める割合は当面低いとはいえ、リサイクルの規模自体はEV普及に伴い現状のレベルから急拡大するため、蓄電池生産のための資源確保のセキュリティ向上や環境影響の削減のためにもリサイクルのあり方を考えておく必要がある。

2.2. 蓄電池産業の将来像シナリオに合わせて変わる、めざすべき循環の姿

蓄電池の資源循環を考えるにあたっては、日本やグローバルでの蓄電池や自動車生産の産業の姿が大きく変わる可能性をまず想定しておく必要がある。その意味で、蓄電池の資源循環における目指すべき将来像はそのシナリオに合わせて整理することが重要である。

世界的なEVの主流化は日本の産業の姿を大きく変えうる

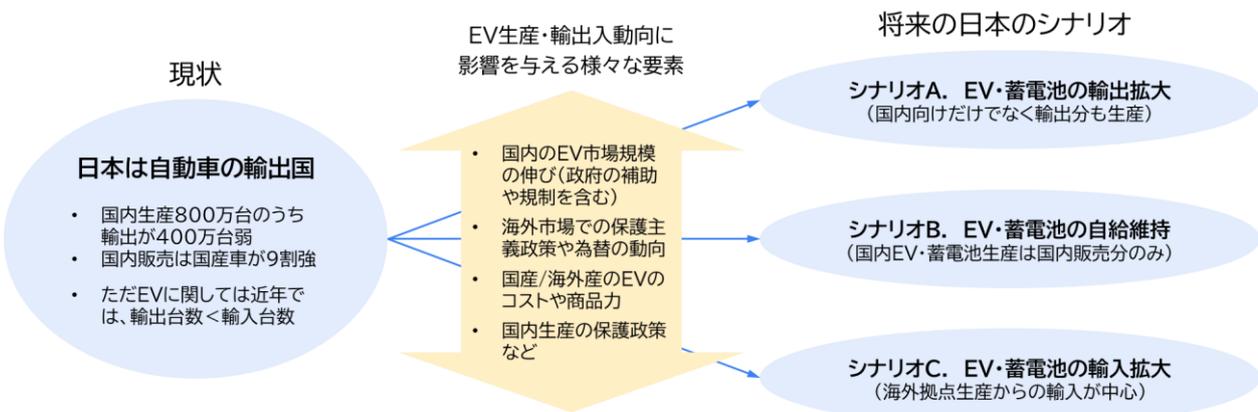
国内産業への影響が大きい一つの流れはEVや電池産業への保護政策である。米国で2022年に成立したインフレ抑制法は、EV購入補助(正しくは所得税の税額控除)の条件を北米での車体の最終組立や部品の一定以上が北米で生産された電池であることとするなど、安全保障の域を超え産業政策の性格を有する。こうした産業育成やサプライチェーンの囲い込みを意図した動きは、産業の高付加価値化を目指す資源国などでも見られ、自動車産業の周辺地域における蓄電池資源循環の形成にも繋がる。既に日系を含む自動車メーカーは各地域での車載電池工場の建設や増強の計画を進めており、EV普及時代において日本からの米国やアジアなどへの自動車輸出が大きく縮小する(ガソリン車・ハイブリッド車の輸出が減るのに対して、EVの輸出が増えない)シナリオも想定される。

さらに日本に関しては、太陽光パネルの導入時に見られたように、価格競争の高まりによって国内販売の蓄電池が近隣アジア諸国からの輸入に依存し始めるというシナリオもありうる。経済産業省が主導して2022年に取りまとめた蓄電池産業戦略では、中国や韓国などの電池産業が急速に生産能力を拡大する中、シェアの低下する日本の電池産業が将来的に市場からの退出を余儀なくされ、EV向けや定置用の蓄電池でも海外生産に依存してしまうことへの懸念が示されている。

日本政府としては産業維持と経済安全保障の観点から、蓄電池の国内生産は維持する方針を打ち出しているが、この達成は国内のEV市場の立ち上がり状況に依存すると考えられる。日本政府は2030年までに車載向けで100GWh(2021年のグリーン成長戦略)、定置用や輸出分も合わせ150GWhの国内製造(2022年の蓄電池産業戦略)を目指している。100GWhとは、EV1台分の40kWh(日産自動車・リーフ標準モデルの電池の搭載容量)で除すれば250万台分に相当し、上述のように輸出がないシナリオであれば、軽自動車やトラック等を含めた日本の自動車販売(450万台前後)の半分以上を2030年までにEVにするような規模となる。日本は現在、米国・中国・インドに次ぐ世界4位の自動車市場を有しているが、EV市場に限ってみるとEV販売比率(2022年)は世界平均の1割程度に対して僅か3%に過ぎない。

以上の状況を鑑みて、ここでは図表2-3に示すように、蓄電池やEVに関する国内産業の構造が3つのシナリオに分岐しうると想定して、各パターンでの資源循環の姿について検討した。

図表2-3 蓄電池の資源循環の前提として想定した3つの将来シナリオ



出所:三菱総合研究所

日本の蓄電池・EV 産業のシナリオに応じた循環の姿

希少資源を含むグローバルな蓄電池資源の循環としては、廃棄された電池を環境上適切な方法で処理し、循環させていくことが重要であり、資源調達の取り組みの中でリサイクルの体制が整備されていくことは望ましい方向性である。一方で、地理的な循環の構造は、自動車産業や蓄電池産業の将来像のシナリオ次第で変わる。いずれのシナリオに進んだ場合にも資源循環に関する対策は必要であるため、将来シナリオに応じた理想とすべき循環の姿(特に日本で使用される EV 電池に関するもの)をここでは検討したい。

図表 2-3 に示した3つのシナリオに基づき、図表 2-4 にそれぞれに応じた循環の姿を整理した。「シナリオ A. 電池や EV 輸出国としての日本」や「シナリオ B. 電池・EV を自給できる日本」というシナリオでは、一定の蓄電池生産が国内で行われ、サプライチェーンが国内に残ることになる。この場合、廃電池の資源循環が日本を中心に実施されていることが電池のサプライチェーンにとって重要であり、現時点からその体制構築に向けた準備を国内でも進めていく必要がある。その具体的な内容に関しては、次の 2.3 節にて整理する。

一方で、シナリオ C. のように日本が電池や EV の輸入国となっているシナリオでは、アジアの他国を中心とした EV・蓄電池の生産体制や循環を想定することになり、日本(日系メーカー等)は、日本以外での電池生産やリサイクル産業への投資・パートナーシップの強化を行っていくことになる(ただし EV 市場の成長率の高い海外市場への対外投資自体は、日本の状況に関わりなく重要である)。日本で発生した廃電池は、最終的に他国へ輸出され、そこで有価金属の抽出などを実施するといった国際的なリサイクルの体制となる将来が予想される。ただし、廃電池をそのまま輸出することは、安全管理や廃棄物の輸出規制上の理由で難しいため、日本国内で適切な前処理(例えば、焙焼等により発火・爆発リスクを無くし、ブラックマスと呼ばれる有価金属の濃縮した粉状の物質を回収する)を施してから輸出が現実的である。したがって、シナリオ C. のパターンでも、日本国内において環境保全や安全性を担保した適正処理の体制は必要である。

図表 2-4 日本の蓄電池・EV 産業の未来像に応じた循環の姿

シナリオ	A. 蓄電池・EV を輸出拡大	B. 蓄電池・EV の自給維持	C. 蓄電池・EV の輸入拡大
資源の状況	国内資源需要：大 国内二次原料発生：中	国内資源需要：中 国内二次原料発生：中	国内資源需要：小 国内二次原料発生：中～小
めざすべき循環の姿の例	<ul style="list-style-type: none"> ● 輸出分もあるため、大量の資源確保が必要 ● 国内発生二次原料は国内で確実に利用し、海外からの二次資源輸入も想定する 	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内販売分の資源を確保する必要 ● 中長期的には二次原料が原料調達の柱となるため、確実に国内で電池原料に至るまで再生していく 	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内生産は小さく、資源確保のニーズは低い ● 国内の環境保全とコスト低減のため、国内発生廃電池は適正な前処理によって減容・無害化を行い、近隣の電池生産国の精錬拠点等へ輸出。もしくは他用途へ供給。 ● 蓄電池はリユース等で、なるべく長期使用を図る
考えられる取り組みの方向性	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内リサイクル体制、競争力の強化 ● 海外拠点でのリサイクル産業投資、二次資源の確保 	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内リサイクル体制、競争力の強化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 廃電池の国内処理体制(輸出等の前処理まで)の整備 ● リユース等の市場拡大を喚起する補助政策等(海外拠点へのリサイクル事業投資)

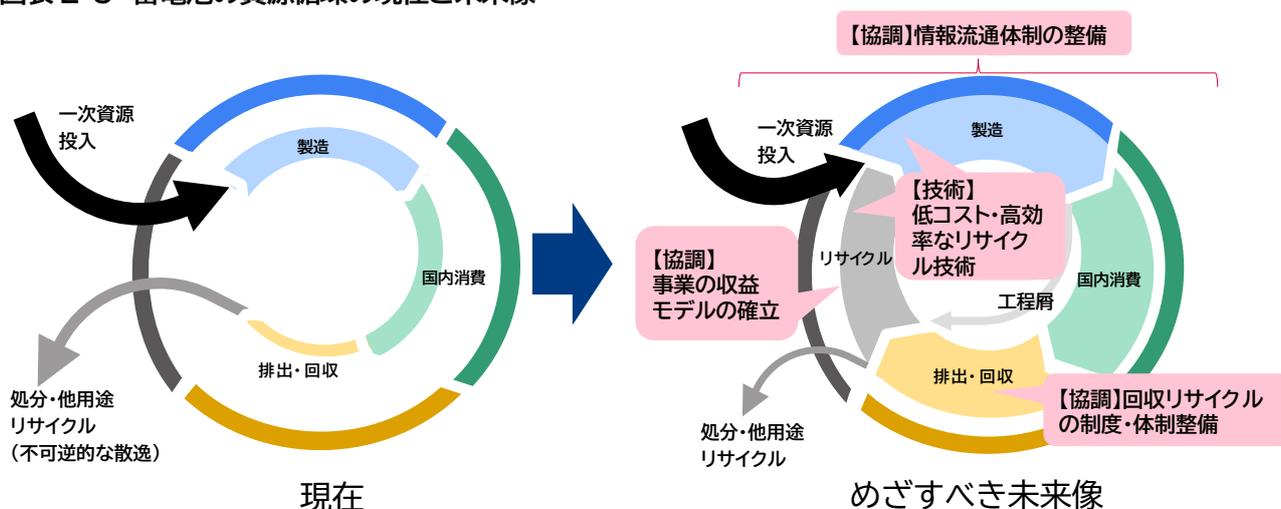
出所：三菱総合研究所

2.3. 循環体制構築に向けた準備の提言

1 章に示したプラスチックの循環の状況とは異なり、蓄電池のサプライチェーンはまだ拡大・構築中の段階である。よってこれから形成されるサプライチェーンを最終的には図表 2-5 のような形にするために、構築を行う段階であらかじめ資源循環もビルトインしていくことが重要である。特に、前節のシナリオ A. や B. のように国内に電池のサプライチェーンを残していくことをめざす場合には、図に示すような技術と協調の取り組みにより、わが国における

循環型のサプライチェーンの産業競争力を高めていく必要がある。

図表 2-5 蓄電池の資源循環の現在と未来像



出所：三菱総合研究所

具体的には、近隣諸国のリサイクル産業に対して、①コストや品質面での優位性を少しでも確保するための技術開発が重要であり、並行して、協調領域の拡大・促進策として、②リサイクルを成り立たせるための制度・体制の整備や③リサイクル事業のビジネスモデル確立の支援、④情報流通体制の整備を進めていく必要がある。以下ではそれぞれの取り組みのポイントを示す。

① 低コスト・高効率なリサイクル技術の開発

電池原料への需要が旺盛な状況下では、リサイクルの原料(廃電池から取り出したブラックマス等)も近隣諸国との奪い合いとなることが予想される。そうした中で、規模の面で劣る日本国内のリサイクルは、低コストで効率的なリサイクル技術を備えていく必要がある。現在、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)のグリーンイノベーション基金事業でも、蓄電池のリサイクル技術開発の事業が採択されているが、その事業目標は回収率でリチウム 70%以上、ニッケル 95%以上、コバルト 95%以上であり、生産される再生材のコストは市場価格(ほぼ一次原料の価格)と同等とされている。リサイクルプロセスにおいて低コスト化を図るポイントとしては、なるべく蓄電池の製造プロセスへ追加の加工等をせずに、そのまま投入できる化学的な形態や品質で再生部材を分離・生産することなどがある。これを実現する技術の一つとしては、科学技術振興機構(JST)の未来社会創造事業「持続可能な社会の実現」領域で研究されている「新規電気パルス法」と呼ばれる高電圧放電による選択的な電池部品の解体・分離技術が挙げられる¹³。「新規電気パルス法」の活用によって、リチウムイオン電池の集電用のアルミ箔から正極活物質を高品質な状態で分離することができることが示されており、低コスト・低エネルギー消費での電池部材の再利用が実現できる可能性がある。また、こうした取り組みを産業に実装していくためには、電池製造側との再生材の納入品質や供給規模の擦り合わせも必要であり、蓄電池のサプライチェーンにおける動静脈の連携が重要である。

② 排出拡大期における回収リサイクルの制度・体制の整備

EV が普及すれば国内で発生する廃電池の数量もいずれ急増するため、有用な資源を効率的に回収できるリサイクラーに原料が集まる仕組みを作っていくことが必要である。現在の日本では、車載電池は自動車リサイクル法における処理費用の補填が行われる対象物ではないため、解体事業者等により取り外された後、それぞれの事業

¹³ JST 未来社会創造事業「持続可能な社会の実現」領域 本格研究
<https://www.jst.go.jp/mirai/jp/program/sustainable/JPMJMI19C7.html>(2023年5月15日)

者の経営判断により、中古部品などとして売却するか、廃棄物処理法に則った廃棄処分・リサイクルなどが実施されている。廃棄先としては、自動車メーカーが自動車再資源化協力機構を通じて自主的な電池の回収スキームを構築しているため、解体事業者は廃電池を無償で引き渡し、全国の処理拠点において、適正に処分することができる。このスキームは廃電池の処理のセーフティネットとして機能しているものの、解体事業者の立場では取り外しや出荷準備にコストがかかるためできるだけ有価で売却したいというインセンティブが働く。よって、有価で廃電池を買い取り、適正な処理（例えば電池の電解液に含有されるフッ素の排ガス処理など）をせずに、中間原料であるブラックマスを生産、または違法に輸出するような事業者が現れる余地がある。各地域の違法処理業者の取り締まりを担う自治体の廃棄物行政にとっても人手不足等で対応余力は減りつつあり、外国籍の事業者などを中心に国内でインフォーマルに再生資源の処理と輸出を行う事業者は増えつつあると言われている。こうした事業者による処理の拡大は、環境汚染などの問題に繋がるとともに、適正な処理を行うリサイクラーに原料が集まらないという結果に繋がる。現状、車載電池はハイブリッド用などの小型のものが主体であり、違法処理にも収益性がないため問題は顕在化していないが、排出拡大期に向けて、管理や取り締まりのしやすいリサイクル制度や業界の体制が必要となる。

加えて、リサイクル方法の高度化の観点も重要である。現状の廃電池の処理ではコスト抑制の観点も重視されるため、廃電池に含まれる希少資源類の回収は必ずしも行われているわけではない。また、簡易的なリサイクルの処理として不純物の許容度の高い特殊鋼などの合金材料向けにリサイクルされるケースも多い。ハイニッケル系の電池などを中心に、電池原料に戻すことのできるいわゆる水平リサイクルを実施する国内事業者へ優先的に廃電池が引き渡されるような仕組みも今後検討が必要である¹⁴。

③ 電池リサイクル事業の収益モデルの確立

民間の事業としてリサイクル事業への投資を呼び込み、運営を安定化させていくためには、その収益モデルの確立が必要である。処理費収入に比べて再生材の販売収入の比率が高いようなリサイクル事業では、その販売単価がグローバルな資源価格に左右されてしまうため、事業収益が不安定であるという特徴がある。そのため、蓄電池のリサイクル事業の運営を安定化させてさらなる成長投資を図っていくためには、環境価値や資源セキュリティ向上などのリサイクルすることの価値をうまく収入に内部化していく必要がある。環境プレミアムを売値に載せられるようにするか、クローズドなリサイクルサービスの提供に対して適切な処理費用を市況に関係なく安定して支払う仕組みとするか、動脈側産業との取引の形によって内部化の方法は考えられる。

また、最終的な消費者や投資家などのステークホルダーがその価値を認めなければプレミアムは発生しえないため、一部では行政の後押しも必要である。経済産業省では、蓄電池のカーボンフットプリント（原料からカウントした製造時のCO₂排出量）の報告義務や公表の検討を進めているが、そうした環境価値が分かりやすい指標の導入は一つの有効な手段である。一方で、直接的にリサイクル価値への需要を生み出す方法もある。グリーン購入法では公共調達への基準導入が中心となるが、規模として不十分なのであれば、EUの新たな電池規制におけるリサイクル材の最低利用率の基準導入のような市場全体で二次資源への需要を生み出す政策も必要である。強制的な義務化へのハードルが高いのであれば、欧州委員会がプラスチック再生材の利用量について大手ブランドオーナーの自主宣言（プレッジ）を促したように、自主的な目標設定を推奨するといった政策が必要である。

④ 情報流通体制の整備

上述のリサイクルの環境整備やビジネスモデルのために活用できるツールとなりそうなのが、バッテリーパスポートなどの情報流通の仕組みである。欧州では、2022年に合意された新たな電池規則に基づき、車載用を含む蓄電池の性能や耐久性、組成、有害物質、カーボンフットプリント等ライフサイクルに関する情報を電子的に記録するバッテリーパスポートの実装が義務化される予定である。その具体的な設計とシステム開発に向けては、ドイツ政

¹⁴例えば、容器包装リサイクル法は、メーカーがプラスチック容器などのリサイクル費用を負担する制度であるが、リサイクル処理先を決める入札では価格だけではなく、熱回収ではなくマテリアルリサイクルであるかなど望ましいリサイクルへの適合性も評価する仕組みとなっている。

府の支援の下、自動車メーカーや素材メーカー、研究機関等により組織されたコンソーシアム(Battery Pass)で検討が行われており、2023年4月には同コンソーシアムから実装に向けた業界関係者向けのガイダンスが発行された。こうした欧州での動きに合わせ、日本では、トヨタ等100社以上が参加する「電池サプライチェーン協議会(BASC)」が、2022年5月、日本版データ連携基盤の構築を目指し「電池サプライチェーンを支えるデジタルスキーム」を提案した。また、デンソーとNTTデータが共同で、2022年10月、車載用蓄電池のサプライチェーン上の情報を関係者間で安全に共有できるプラットフォームの検討に着手するといった企業の動きもある。さらに、国の動きとしては、経済産業省が2022年8月に公表した「蓄電池産業戦略」で、2024年のデータ連携基盤の実装を目指すとしている。日本においても事業者目線では取引円滑化や処理工程の効率化、行政目線では適正処理の確保に資する情報の流通を可能にするようなシステムを実装すべきである。特に電池の解体工程などデータの登録の手間や正確性が導入のネックになる可能性があるため、画像認識等による自動入力の仕組みなど工夫も必要である。

わが国として、EVや蓄電池産業のサプライチェーンをしっかりと残していくという方向性を目指すのであれば、上記のような対応策を中心に議論を深めていく必要がある。なお、さらに先の将来に向けては、リチウムイオン電池に変わる次世代電池の開発も進められているが、リチウムイオン電池の資源循環に向けた社会的な仕組みは、そうした次世代電池の導入時にも活用できるようにしておくべきである。

冒頭で説明した通り、リサイクルが本格化するのは2030年代ではあるが、その手前でも廃電池の発生が徐々に増えることは確実である。将来の自動車産業そのものの姿の方向性に注意しながら、蓄電池の循環に関しても早期の国内での準備と体制確立が望まれる。

おわりに



おわりに

リニアエコノミーから、循環経済(サーキュラーエコノミー)への移行に向けて、国内外で計画や戦略、その実現に向けた法規制等の整備が進んでいる。

欧州では、2015年に、欧州委員会が循環経済行動計画(第一次)を公表し、その後、2020年に第二次行動計画を公表。2022年3月に発表した持続可能な製品政策枠組みのパッケージには、繊維製品や建設資材を対象にした政策(戦略・規則改正)の他、持続可能な製品エコデザイン規則案、消費者のエンパワーメントに関する指令案が含まれており、個別品目政策や品目横断の政策を着々と進めている。

米国は、インフレ抑制法(通称 IRA:Inflation Reduction Act)による資源の国内抱え込み政策を進めている。さらに、グローバルメガ企業は、独自に構築する国際資源循環のデファクトスタンダード化を進めている。

わが国においても、環境省が2022年9月に第四次循環型社会推進基本計画の点検結果として、「循環経済工程表 2050年の循環型社会に向けて」を公表し、循環経済アプローチ推進による循環型社会の9つの方向性が示されている。経済産業省は「成長志向型の資源自律経済戦略」を2023年3月にとりまとめ、まもなく、①資源有効利用促進法(3R法)の対象品目の追加、②循環配慮設計の拡充・実効化、③表示制度の適正化、④リコマース(Re-commerce)市場の整備、⑤効率的回収の強化を中心に検討が進められる予定である。

欧州や米国は、それぞれ独自の資源確保戦略や、循環経済政策を打ち出し、グローバル企業が着々と循環産業への転換、二次資源のルート確立に向けて動いている。

それに対して、わが国では、上記の国の指針や検討の場を活用しつつ、品目ごとに、資源循環未来像やマイルストーンを関係者間で共有し、以下のような、新技術の活用と関係者間の協調の掛け合わせによって、着実に新たなサプライチェーン・バリューチェーンを構築していくことが必要である。

【技術と協調の掛け合わせ例】

- ▶ リサイクルに適した製品設計技術×製品設計ガイドライン作成(設計の共通化)
- ▶ 品目情報共有技術×再生材仕様表記の共通化(二次資源市場の構築・運用)
- ▶ 水平リサイクル技術×法制度等による回収ルート構築・誘導(水平リサイクルの拡大)
- ▶ 再生資源/再生可能性源活用技術×既存インフラの活用(再生資源/再生可能資源利用の低コスト化)

担当者

古木二郎、佐藤智彦、細田幸佑、舟橋龍之介、齋藤有美、永瀬萌、島田佳織、長谷川陽介、作田純一、重松研太

本件に関するお問い合わせ先

株式会社三菱総合研究所
〒100-8141 東京都千代田区永田町二丁目10番3号

【内容に関するお問い合わせ】
政策・経済センター
電話:03-6858-2717 メール:pecgroup@mri.co.jp

【報道機関からのお問い合わせ】
広報部
電話: メール:media@mri.co.jp