

カーボンニュートラル達成に向けた移行の在り方 達成のカギは資金移動、資源循環、国際連携

株式会社三菱総合研究所（代表取締役社長：藪田 健二）は、カーボンニュートラル達成に向けて求められる移行シナリオについて分析を実施しました。経済安全保障と経済成長を損なわない、円滑な脱炭素社会への移行のためのポイントについて提言します。

国際社会の分断が進み、脱炭素化への道筋はますます不透明に

2023年5月開催のG7広島サミットのコミュニケでは、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の最新報告が触れられた。同報告では、人間活動により産業革命以前と比べ既に1.1°Cの温暖化が進み、多くの地域で損失と損害が顕在化していることが示されている。気候変動対策に残された時間は長くはない。

しかしながら、脱炭素社会への移行は順調とは言い難い。ウクライナ侵攻が決定打となったエネルギー市場の混乱は構造的な解決には至っていない。米中対立に加え、近年ではグローバルサウスの台頭が著しく、脱炭素化にとって重要な国際協調・ルール形成がますます困難になっている。脱炭素化・経済安全保障の観点からのサプライチェーンの再構築も民間企業にとって重い課題だ。

課題山積の状況が続く中、理想論・楽観論だけでは脱炭素化への道筋はおぼつかない。経済安全保障や経済成長を損なわない、現実的なカーボンニュートラルへの移行（トランジション）の絵姿が求められている。

移行シナリオの基本は、行動変容と技術革新の両輪

カーボンニュートラルに向かう移行シナリオを分析すると、2030年に向けては行動変容、2050年に向けては技術革新とその社会実装が大きな役割を果たすことが見えてくる。最終消費で見た場合は、大きく民生部門、運輸部門、産業部門と徐々に構造変化が進んでいく。民生部門では電化・電源脱炭素化の寄与が大きくなり、運輸部門・産業部門ではそれらと併せて非電力部門での対策によるCO2削減貢献が大きくなる。電源の脱炭素化は、再生可能エネルギー、脱炭素火力、原子力といった各ゼロエミッション電源の技術特性と、エネルギー・経済安全保障上のリスクの違いを考慮し、特定の電源種に偏らない構成が必要だ。

気温上昇と相関を持つのは単年の排出量ではなく累積での排出量であり、2050年単年にカーボンニュートラルが達成されていれば良いわけではない。早期対策による累積排出量削減の意味でも行動変容を推し進め、その後の技術革新につなげていくという流れが重要だ。加えて、こうしたエネルギー需給構造の変化と同時に、産業構造の変化も進んでいく。特に自動車産業や電力関連産業はその影響が大きく、構造変化を支えるための適切なタイミングでの労働移動も重要になる。

円滑な移行実現に向けては資金移動、資源循環、国際連携がカギ

円滑な移行実現のためには、「行動変容と技術革新をいかに結び付けていくか」「変化する産業構造の中、脱炭素社会での経済成長をどう確保するか」そして「各国のパワーバランスが変化の中でエネルギー・経

済安全保障をどう確保していくか」といった論点に対して方向性を示すことが必要になる。こうした論点への回答は容易ではないが、三菱総合研究所が考えるカギとなるアプローチとして、①資金移動、②資源循環そして③国際連携の3点を挙げたい。

①資金移動： 行動変容と技術革新をつなぐ役割として、適切な炭素価格設定が必要

円滑な脱炭素社会への移行にあたっては、必要な領域に資金移動を促し、日本の産業構造や経済を脱炭素型にシフトさせることが不可欠になる。カーボンプライシング（CP）は、炭素価格の顕在化を通して需要家の行動変容を促す効果と、歳入により脱炭素技術の研究開発や社会実装に係る必要投資を支える効果の両方が期待され、行動変容と技術革新をつなぐ架け橋となりうる。

前者は CP の価格水準が行動変容を促す意味で十分かが論点になる。企業・消費者向けに実施したアンケート調査では、現在想定されている CP の水準感である 2,000 円/tCO₂ 程度では行動変容を起こす消費者・企業の割合は 15~40%程度にとどまっている。国際水準とも照らし合わせ、行動変容を促すための適切な炭素価格を設定することが必要だ。

後者は、2023 年 5 月に成立した GX 推進法では今後 10 年間で官民合計 150 兆円の投資が見込まれているが、当社試算からは脱炭素化を達成するのに必要となる投資は 2030 年以降も拡大し、2050 年までの累計で再エネと次世代自動車関連を中心に少なくとも 320 兆円以上の規模が必要となることが示された。政府の主体的な関与と同時に、民間の投資予見性を上げるため、炭素価格に対する中長期的な方向性の明確化が求められる。

②資源循環： 脱炭素資源の確保、素材分野の脱炭素化の両方から必要に

国内資源に乏しい日本にとっては「資源循環」は重要なアプローチになる。脱炭素化に関連した資源・製品が戦略物資化しつつあるが、その中でも金属資源は注目度が高い。日米欧共通で指定されている重要金属資源には、再生可能エネルギー、蓄電池、水素製造といった脱炭素化に不可欠なものも含まれているが、これらは生産国が偏り、市場が寡占的な状況にある。資源循環により将来的な必要輸入量を減らし、経済安全保障上のリスクを低減させていくことが必要だ。

加えて、資源循環は削減困難とされる素材分野での CO₂ 削減にも有効になる。例えば化学産業ではプラスチックの積極的な循環によって追加的に 20%程度の削減が期待できる。バックファイア（CO₂ 増加）のリスクに留意しつつ、個々の削減効果について適切な定量化を図りながら推進することが重要だ。

③国際連携： 国内に閉じないエネルギーシステム構築と投資立国へのシフトが新たな成長のカギ

世界全体の脱炭素や今後の日本の経済成長に加え、経済安全保障の観点からも国際連携の重要性は増す。日本の ASEAN に対する直接投資残高は年々増加し、足元では中国に対して 2 倍となる一方で、ASEAN では米中といった大国への依存度が増加している状況にある。

国際貿易モデルを通じた分析からは、必要なエネルギーシステムの構造変化がないままに高額な CP が導入された場合、日本・ASEAN とともに貿易収支減少や特定国への輸入依存度の高まりなど産業競争力・経済安全保障面において懸念が示される結果となっている。脱炭素を起点とした ASEAN との補完関係の構築は経済安全保障や経済成長の文脈でもますます重要になるだろう。

カーボンニュートラルへの移行は容易ではなく、ASEAN との連携を始めとして日本国内に閉じずに広い視野で最適なエネルギーシステムを構築することが求められる。脱炭素化を契機として、従来の貿易立国から投資立国の立ち位置を強固にする必要がある。これまで培ってきた技術力を生かしつつ、相手国や分野を見極めて高い投資効率や生産性を実現することは日本の成長戦略にとっても重要な意味を持つだろう。

目次

1. はじめに： 混迷が続くカーボンニュートラルへの道筋	1
2. 求められる移行シナリオ	3
2.1. 移行に向かう四つの将来シナリオ	3
2.2. 脱炭素化に伴うエネルギー需給構造の変化	4
2.3. 脱炭素化に伴う産業構造の変化	8
3. 円滑な移行に向けたキーポイント（資金移動、資源循環、国際連携）	10
3.1. 資金移動	10
3.2. 資源循環	14
3.3. 国際連携	15
4. おわりに： 円滑な移行に向けて	20
参考資料	21

1. はじめに： 混迷が続くカーボンニュートラルへの道筋

2023年3月20日、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）より第6次評価報告書の統合報告書（AR6）が公表された。同報告書では、2014年11月の第5次統合報告書（AR5）から約8年半ぶりの発表となるが、人間活動により産業革命以前と比べ既に1.1°Cの温暖化が進んでいること、特に脆弱（ぜいじゃく）なコミュニティが不均衡に影響を受けていること、気温上昇を1.5°Cまでに収めるための残されたCO2排出量は多くないこと等が触れられている¹。事態はより切迫しており、早期で包括的なアクションが必要となっている。

しかし、脱炭素社会への移行は順調とは言い難い。2020年にコロナ禍による活動停滞で減少した世界全体のCO2排出量は2021年に再び増加し、過去最大となった²。2022年にはロシアによるウクライナ侵攻が決定打となりエネルギー市場は大きく混乱、世界各国の政治・経済全体に影響を与えた。気候変動対策に残された時間が短くなる中で、カーボンニュートラル(CN)への道筋はますます不透明な状況にある。

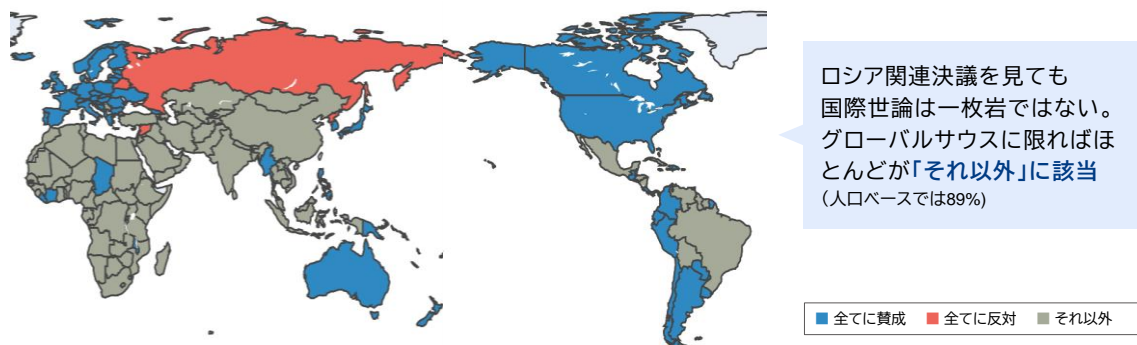
国際社会の分断は気候変動対策の重荷に

ロシアによるウクライナ侵攻、米中の対立の深まりなど国際社会の分断が進む中、昨今では「影響力を持つ第三極」として、どちらにもくみしないグローバルサウス³の存在感が増している。グローバルサウスは、ウクライナ侵攻に対する国連の対ロシア非難決議でも賛成・反対ではなく棄権・無投票を選ぶ国々が多く、独自路線を貫いている一方（図表1-1）、人口増加に伴い経済規模は急拡大している。旧来の西側諸国・東側諸国といった構図からさらに世界のパワーバランスは複雑化しており、脱炭素化にとって重要な国際協調・ルール形成がますます難しくなっている。

それを象徴的に示したのが2022年11月にエジプトで開催された国連気候変動枠組条約第27回締約国会議（COP27）であった。前回のCOP26では石炭火力の段階的削減や1.5°C目標への事実上の引き上げ等、脱炭素化に向けて一段踏み込んだ言及がなされたが、COP27では概して「先進国と新興国」という対立構図が際立ったものだった。目下のエネルギー価格高騰が新興国経済にも重要な影響を与えていることも大きな原因になっており、気候変動問題に対する各国の合意と順守の難しさが再認識される結果だったと言える。

図表 1-1 グローバルサウスの台頭により世界のパワーバランスはより複雑化

2022年3月～2023年2月の国連の対ロシア関連決議（6回）の投票状況



出所： 国際連合発表資料より三菱総合研究所作成

¹ IPCC, AR6 Synthesis Report, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (2023年4月11日閲覧)

² Global Carbon Budget, <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/> (2023年4月11日閲覧)

³ 新興国・発展途上国や、冷戦期の「第三世界」の代替として用いられることが多いが明確な定義は定まっていない。本稿では便宜上、G77（1964年の第1回国際連合貿易開発会議総会時に、アジア、アフリカ、中南米の77か国で形成されたグループ、現在は134か国・地域に拡大）を意味する。

エネルギー・経済安全保障に向けた動きが活性化

こうした国際社会の分断を受け、各国ではエネルギー・経済安全保障の確保に向けた動きが活性化している。欧州では欧州委員会が2022年3月にロシア産化石燃料からの脱却計画を目指す「REPowerEU」を発表し、2023年2月に「グリーンディール産業計画」を発表している。同計画には、太陽光や風力など欧州連合（EU）域内の脱炭素産業の競争力強化を狙った「ネットゼロ産業法案」と、グリーンやデジタル分野で必要となる重要原材料の安定供給を狙いとした「重要原材料法案」が含まれており、どちらも欧州連合域内の経済安全保障を大きく意識した内容となっている。

米国でもエネルギー安全保障が大きな課題となっている。2022年8月にインフレ抑制法（IRA: Inflation Reduction Act）が成立し、過去最大となる3,690億ドルの予算がエネルギー安全保障と気候変動分野に振り分けられることとなった。同法における電気自動車の税額控除適用には、北米地域での車体組み立てや電池部品製造などで厳しい数値要件が課されている。また、同盟国・友好国を中心としたサプライチェーン構築を目指す「フレンドショアリング」も提唱されている。

経済合理性によって構築されてきたグローバルサプライチェーンは、現在、見直しが迫られている。しかし、その再構築は決して容易ではなく、各国間での利害調整、企業活動との折り合いなど解決すべき現実の問題は多い。エネルギー安定供給・経済安全保障という制約の中でどのようにCNを達成するのか、それは本当に可能なのか、各国で大きな命題となっている。

日本において求められる脱炭素化社会への移行とは

日本では2023年2月10日に「GX（グリーントランスフォーメーション）実現に向けた基本方針」が閣議決定された。今後10年間の150兆円超の官民GX投資を実現するための戦略として、カーボンプライシング（CP）の導入も含めて複数の施策が提示され、各分野での投資が活性化することが期待されている。

他方で、足元ではエネルギー価格の高騰により、企業・消費者のコスト許容度は従前に比べて下がっている（3章にて詳細後述）。上述のようにウクライナ侵攻によりサプライチェーンリスクが現実の課題となったことで日本企業も対応を迫られているが、コスト高が迫られる中での調達先の変更は容易ではない。また、これまで再生可能エネルギー導入の中心であった太陽光発電の導入・認定量も近年では頭打ちにあるなど政策の動きとマーケットの実態にはまだ幾つかのギャップが存在している。

課題山積の状況が続く中、理想論・楽観論だけでは脱炭素化への道筋はおぼつかない。現実と将来の両方を見据えたCNへの移行を図っていくことが重要となる。

2022年7月発表の三菱総合研究所「2050年カーボンニュートラルの社会・経済への影響」⁴では日本を対象に四つの将来シナリオを設定し、2050年のエネルギー需給の絵姿と、それに伴う広範な社会・経済影響について分析した。

本稿ではその発展形として、2050年CNに至るまでの「移行（トランジション）」に着目し、求められる移行シナリオと、その実現に向けたキーポイントについて提言を行うものである。

⁴ <https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/20220704.html>

2. カーボンニュートラル達成に向けた移行シナリオ

CN 達成に至るまでの移行の在り方を示すため、2022 年 7 月「2050 年カーボンニュートラルの社会・経済への影響」での検討を土台として四つの将来シナリオを設定した。本章ではそのシナリオ間比較を通して、移行期におけるエネルギー需給構造と産業構造の変化に着目した分析を行う。

2.1. 移行に向かう四つの将来シナリオ

本稿での四つの将来シナリオは、図表 2-1 に示されるように「需要側の行動変容」および「供給側の技術革新」の軸によって設定した。「需要側の行動変容」とは、エネルギーを利用する企業・消費者（需要家）が、価値観や経済的・非経済的インセンティブなどを契機として脱炭素に向かう選択をすることを指し、「供給側の技術革新」は脱炭素関連技術が商用レベルまで実現し、社会実装まで進むことを意味する⁵。

シナリオ 1 は行動変容・技術革新のブレイクスルーは起こらず、現状延長のまま 2050 年に到達して縮小均衡の日本となるシナリオであり CN は達成されない【現状延長】。シナリオ 2 および 3 では、行動変容と技術革新がそれぞれ片方のみ実現する。シナリオ 2 は省エネルギー・省資源・省消費によって CN を目指すが、大規模な技術革新は起こらないシナリオである【行動変容】。対してシナリオ 3 では、供給側のイノベーションが実現するが行動変容は起こらずに大量消費のまま CN を目指す【技術革新】。最後にシナリオ 4 が行動変容および技術革新の両輪で CN を実現する世界である【両輪達成】。

上記の基本的なコンセプトは過年度の検討と同様だが、本稿ではシナリオによって異なる炭素価格設定を行い、2050 年度に至る途中年次の導入量・技術関連コストの見直しを行っている。加えて、2023 年 2 月に閣議決定された「GX に向けた基本方針」を受け、原子力政策に対する考え方の変化などを反映している。

また、図表 2-2 は本稿で用いた分析のフレームを示している。上記で設定したシナリオの世界観に基づき、マクロフレーム、活動量、技術パラメータを設定し、長期エネルギー需給モデル（TIMES）と電力需給モデル（PyDis）を用いてエネルギー需給構造を計算した。その結果から 2030 年、2040 年、2050 年のそれぞれの産業連関分析を行い、経済・雇用への影響を定量化した。前提条件の詳細は参考資料に記載している。

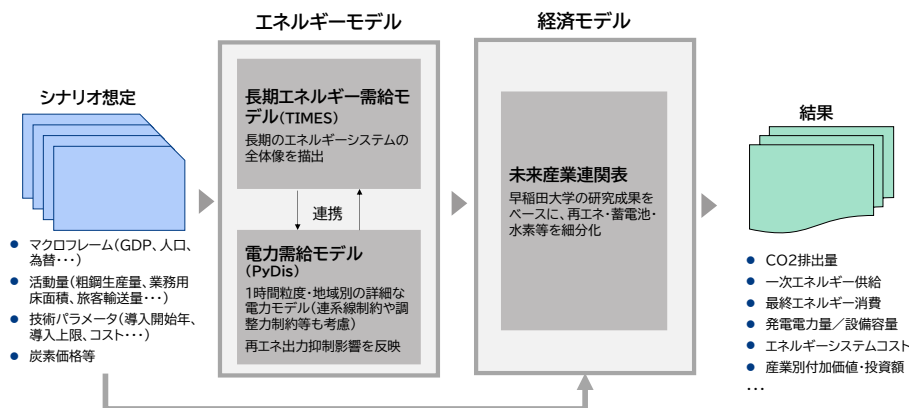
図表 2-1 「需要」×「供給」の軸で四つの将来シナリオを想定



出所：三菱総合研究所

⁵ 一例として、行動変容の具体例としては、再エネ由来電力への切り替え、ガソリン車から電動車への変更、技術革新の具体例としては次世代型太陽電池・蓄電池の商用化や、脱炭素関連技術の低コスト化等が挙げられる。

図表 2-2 エネルギーモデルと経済モデルを組み合わせ、将来像を定量化



出所：三菱総合研究所

2.2. 脱炭素化に伴うエネルギー需給構造の変化

移行シナリオの基本は「行動変容」と「技術革新」の両輪

各シナリオでは 2050 年に向けてどのようなエネルギー需給構造の変化が見られるのだろうか。本節では主にエネルギーモデルでの結果をもとに各シナリオの移行の絵姿を示す。

図表 2-3 は各シナリオでの温室効果ガス (GHG) の排出量推移を示したものである⁶。シナリオ 1 では炭素価格や排出制約等は課されておらず、人口減や経済活動停滞等によるマクロフレームの影響により自然体で温室効果ガスが減少していく。シナリオ 2・3・4 では CN を目指す世界観のもと、政府・自治体による規制や企業・消費者の自主的な取り組みによって炭素価格が有効に機能し、また、それに相当する対策が実施され排出削減が進んでいく。シナリオ 3 では国際エネルギー機関 (IEA) の発表した Net Zero シナリオの先進国に適用される炭素価格水準が適用され、シナリオ 2・4 では企業・消費者の行動変容が実現し、同水準が 10 年前倒しで実現する世界を想定しているため、シナリオ 3 よりも早期に削減が進むことになる。

2030 年断面では、行動変容が進み早期に炭素価格が機能するシナリオ 2・4 にて政府目標である 2013 年比▲46%に近づくが、シナリオ 3 では技術革新が間に合わず十分な削減に至っていない。対照的に、2050 年に向けてはシナリオ 2 のような行動変容だけでは限界があり、シナリオ 3・4 で想定される技術革新の社会実装が CN 達成に必要不可欠になる。

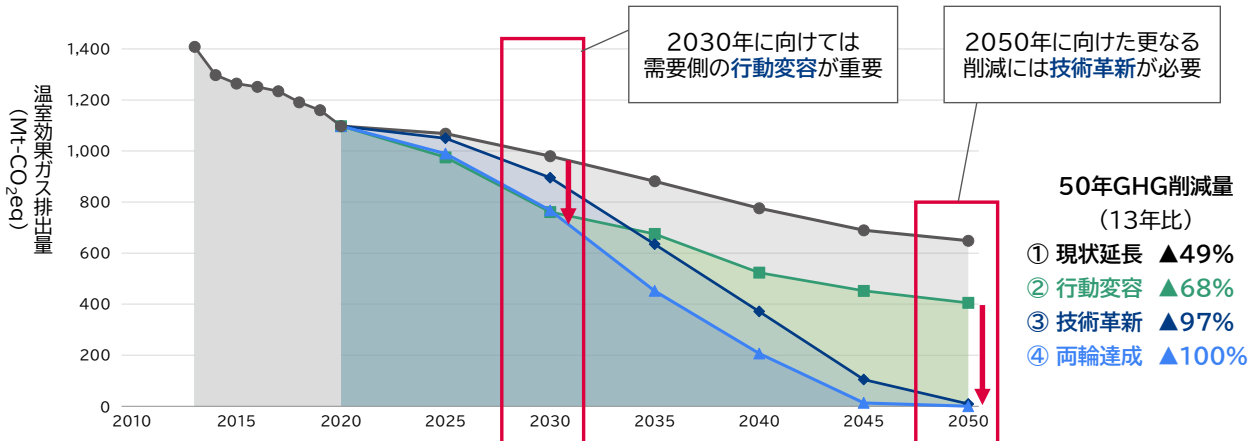
ここで行動変容の持つ意味を改めて考えたい。シナリオ 3 でも 2050 年 CN がほぼ達成されているが、それでは行動変容は不要なのかという決してそうではない。その理由の一つは累積排出量である。気温上昇と相関を持つのは単年ではなく累積での排出量であり、2050 年単年だけ CN が達成されていれば良いわけではない。2050 年までのシナリオ 3 と 4 の累積排出量の差は足元の約 3 年分 (3.2Gt-CO₂) に相当しており、早期対策により累積排出量を下げていくことが重要となる。もう一つは行動変容自体が技術革新の後押しになることが期待されるからである。脱炭素技術の市場拡大には、企業・消費者がその技術に価値を見いだす、もしくは適用せざるを得ない状況になることが必要となる。

新しい技術ができてでも社会実装されなくては意味がない。円滑な移行のためには、エネルギーを使う需要側の行動変容と、中長期的な脱炭素化を実現する技術革新をいかに有機的に結び付けていくか、という視点が必要になる。

⁶ エネルギーモデル上では CO₂ 排出量が算出され、その語外生的にその他 GHG 排出量と森林吸収や CCS を含めたネガティブエミッション分を適用し試算している。

図表 2-3 行動変容と技術革新が両輪で進むことが円滑な移行に必要

各シナリオの温室効果ガス(GHG)排出量推移



※CCS や森林吸収などのネガティブエミッションを考慮した値
出所：三菱総合研究所

部門別に見た場合は、民生部門、運輸部門、産業部門の順にエネルギー消費構造が変化

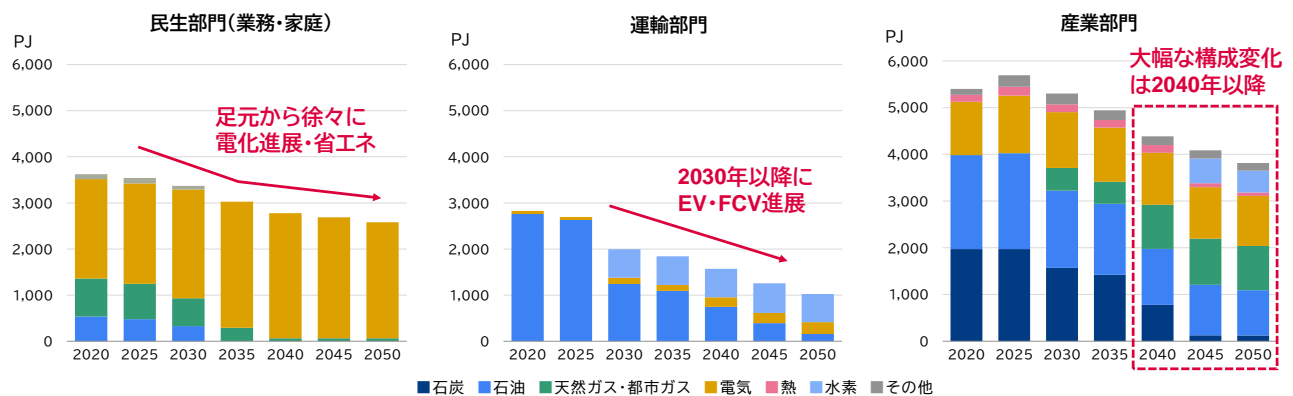
行動変容と技術革新が両輪で進むシナリオ4のエネルギー需給構造の変化に着目する。図表2-4は各部門における最終エネルギー消費の推移を示したものである。

まず、民生部門（業務・家庭）は足元でも最終エネルギーに占める電力の比率が大きいですが、徐々にその割合が高まり、電化と省エネが進展する。次に、運輸部門は2030年以降に乗用車では電気自動車（EV）、貨物車では燃料電池自動車（FCV）の導入が本格化する。EVは走行距離あたりのエネルギー消費効率が高いため、エネルギー消費量では小さく見えるが台数ベースではFCVよりも多い。産業部門では脱炭素化が進むにつれ、全体のエネルギー消費量が減少（省エネ進展）、そして石炭から天然ガスへの燃料転換が進んでいく。石油系は化学産業等での利用も残ることから一定程度残存する。産業部門でのエネルギー消費の構成変化が本格化するのは2040年以降となる。

時系列でみた場合には、まず需要側対策が中心となる民生部門が足元から変化していき、技術革新が必要な運輸部門・産業部門はそれぞれ2030年、2040年代以降に大幅な構造変化が現れる構図となっている。

図表 2-4 エネルギー消費の構造変化のタイミングは部門別に異なる

シナリオ4(両輪達成)における最終エネルギー消費の変化



出所：三菱総合研究所

CO2 削減の貢献要因は部門別に大きく異なる

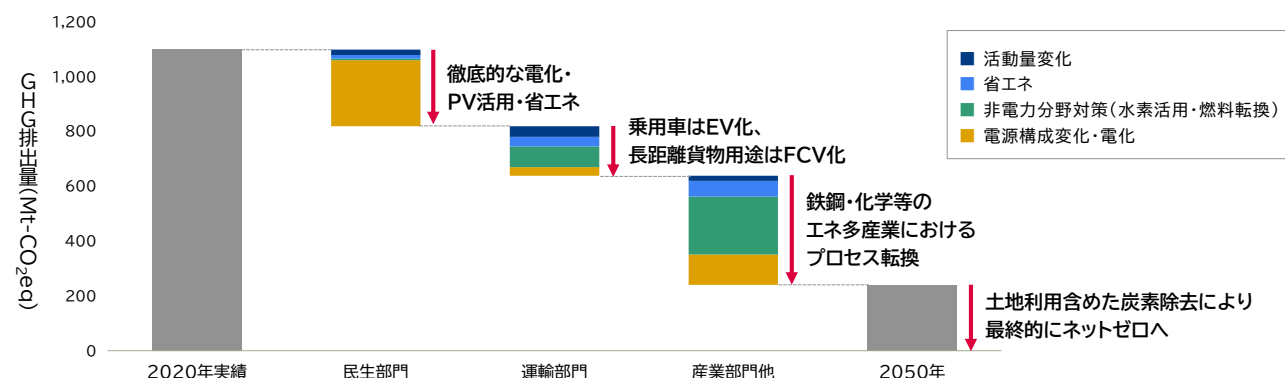
上述のような構成変化はそれぞれ CO2 削減にどの程度貢献するのだろうか。各対策の削減寄与を分析するため、茅恒等式⁷の考え方に基づく要因分解を実施した。同分析では CO2 排出量、エネルギー消費量・構成、活動量等の要素に分解し、部門別にそれぞれの時系列での変化を整理している。

図表 2-5 にその結果を示す。民生部門では電源構成変化・電化がもたらす寄与が大きく、発電部門との両輪での対策が重要となり、運輸部門では車両電動化 (EV・FCV 化) が大きな意味を有している。産業部門は CO2 削減幅が大きく、その中でも非電力分野での対策の寄与が大きい。これらは鉄鋼における水素還元製鉄や、化学における燃料・プロセス転換等、脱炭素化が困難な (Hard-to-abate) 分野が大きな削減ポテンシャルを有することを示している。

上述のように部門によってエネルギー消費構成の特徴、期待される脱炭素技術の社会実装のタイミングは異なる。円滑な移行のためにはこうした需要側の特徴を捉えると共に、それぞれの対策技術にて期待される効果を見極めることが重要となる。

図表 2-5 CO2 削減の貢献要因は部門別に異なる

シナリオ4(両輪達成)における温室効果ガス削減の要因分解



出所：三菱総合研究所

脱炭素電源の中でのベストミックスが必要

図表 2-6 は発電部門での発電電力量と設備容量を示したものである。本分析には三菱総合研究所が開発・保有する電力需給モデル(PyDis)を用いており、日本を 10 地域に分割、地域間連系線制約、調整力制約等を加味し、各地域 1 時間単位での需給バランスが一致するような電源稼働を模擬している。

既存の火力電源は 2030 年以降に設備利用率が大幅に下がり発電電力量が急減する一方で、必要となる調整力の関係から水素・アンモニア等の脱炭素火力の必要性が増していく。再生可能エネルギーは太陽光・風力といった変動性再生可能エネルギー (VRE) が中心となり導入が進むが、導入増加と共に出力抑制量も増えるため、発電電力量は設備容量ほどの伸びにはならない。原子力は「GX 実現に向けた基本方針」での変更点を踏まえ、2050 年時点で 22GW の稼働を想定、発電電力量の 1~2 割をベースとして担っている。

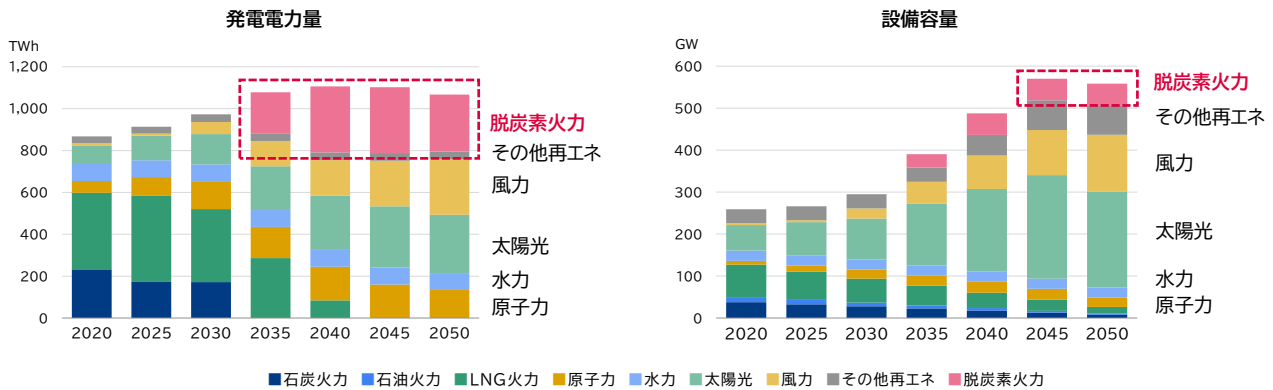
前述のように民生部門を中心として需要側の電化が進む中では、発電部門での脱炭素化は必須である。しかし、注意すべき点として脱炭素電源の中でも特定の電源種に偏らないことが挙げられる。再生可能エネルギー、脱炭素火力、原子力といったゼロエミッション電源には技術的にそれぞれ長所と短所があることに加

⁷ 茅陽一 (東京大学名誉教授) による要因分解手法。IPCC (気候変動に関する政府間パネル) でも参照される他、Decomposition Analysis として各種論文にも用いられる。

え、エネルギー・経済安全保障上のリスクが異なる。例えば、太陽光は銅・アルミ、風力発電には銅・レアアースが他電源よりも多く必要であり、変動電源を支える蓄電池にはコバルトやニッケルが多く用いられる。水素製造に必要な水電解には触媒として白金族（PGM）が必要となる。金属資源だけでなく、脱炭素化に必要な機器・素材の製造のサプライチェーンは複雑であり、それぞれ異なった地政学リスクを有している。技術的なイノベーションの不確実性も踏まえ、特定電源種への過度な集中は避け、脱炭素電源の中でのベストミックスを模索することが重要となる。

図表 2-6 既存火力のフェーズアウトにあわせて、脱炭素火力の必要性は高まる

シナリオ4(両輪達成)における発電電力量・設備容量の推移



火力自家発電等の小型電源による発電は除く

出所：三菱総合研究所

2.3. 脱炭素化に伴う産業構造の変化

脱炭素化に伴い産業内の付加価値構成は変化していく

CN への移行はエネルギー需給構造の変化をもたらすだけでなく、それに付随してさまざまな産業構造の変化を生むことになる。2022年7月発表の「2050年カーボンニュートラルの社会・経済への影響」では2050年時点での脱炭素化に伴う産出高・付加価値変化を整理し、拡大する産業と縮小する産業に分かれることを示したが、今回はその移行過程に焦点を当てる。

分析手法としては上記報告と同じく、シナリオごとに未来産業連関表を作成し、長期エネルギー需給モデル（TIMES）により得られた結果をもとに経済波及効果分析を行った。具体的には、各シナリオに沿って、整合的な産業間の投入産出構造を調整することで産業連関表（未来産業連関表）を作成し、経済波及効果（産出高、付加価値および就業者数）⁸に加え、必要な投資額についても産業別に算出した。ここで、経済波及効果は二次波及効果までを想定している。

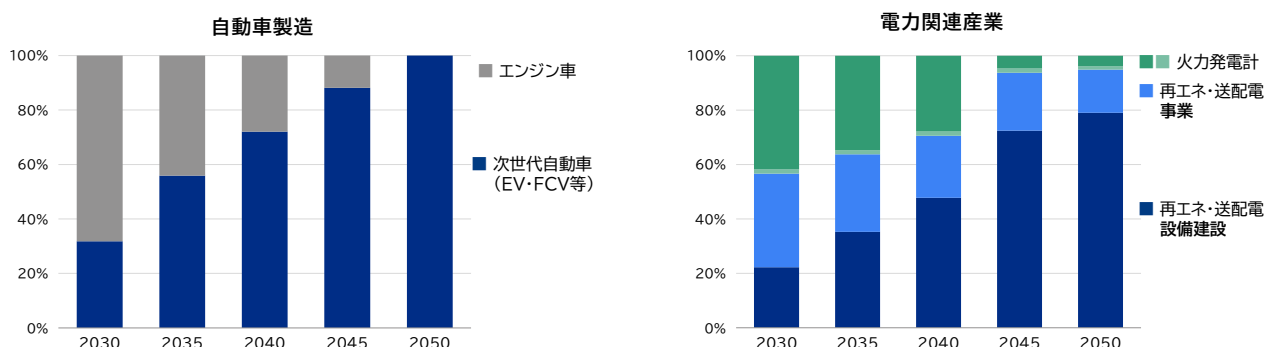
図表 2-7 は脱炭素化が最も進展するシナリオ 4 における結果として、産業構造変化が顕著であった自動車製造と電力関連産業の付加価値構成の推移を示したものである。部品産業を含む自動車製造部門は、EV・FCV等の電動車両の普及に伴い付加価値構成が変わり、2040年頃にはエンジン車と次世代自動車の付加価値構成が逆転する結果となっている。また、施設建設・部品製造を含む電力関連産業では、再エネ関連の中でも発

⁸ 産業連関分析の概要、未来産業連関表の作成およびそれを用いた経済・雇用への影響分析の方法については、三菱総合研究所「2050年カーボンニュートラルの社会・経済への影響」（2022年7月4日）、参考資料「産業連関分析の概要」参照。
<https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/dia6ou000004dvjf-att/er20220704pec.pdf>

電事業ではなく設備建設側の付加価値構成が高まっていく。これは再生可能エネルギー導入の主体である太陽光・風力は燃料費が不要であるためコスト構成の主体が資本費となっていること、また、特に風力発電設備建設は企画・設計からメンテナンスまでサプライチェーンが長く、二次波及まで含めた場合の付加価値構成が大きいこと等に起因している。同じ産業内でも、付加価値構成の多くを占める業種が時間経過とともにシフトしていることが示されている。

図表 2-7 同一産業内でも付加価値構成はシフトしていく

シナリオ4(両輪達成)における付加価値構成の変化



出所：三菱総合研究所

産業構造変化を促すため適切なタイミングでの労働移動が必要に

上記の結果は、あくまでシナリオ4(両輪達成)により脱炭素化が進行した場合の試算であり、こうした産業構造変化は脱炭素化に伴い「自然に」移行するものではない。こうした構造変化を実現するためには、適切なタイミングでの労働移動も重要になる。

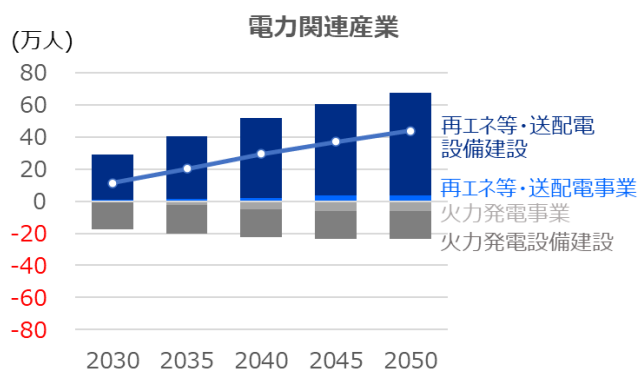
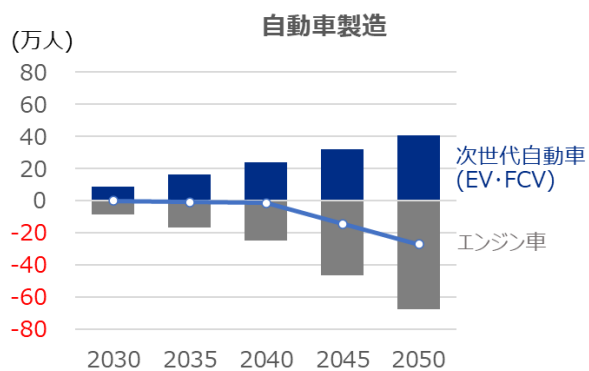
図表2-8は、同様にシナリオ4(両輪達成)における自動車製造および電力関連産業(施設建設・部品製造を含む)での雇用増減を見たものである。付加価値構成と同様に、自動車製造では2040年以降に次世代車への代替が急速に進むため、雇用もエンジン車から次世代自動車への大幅なシフトが求められるが、部品点数の関係から同じ1台の完成車を作るのに次世代自動車の方がエンジン車よりも雇用者数は少なくなる。2050年には自動車製造だけで27万人の雇用減となる⁹。一方、電力関連産業では、再エネ等の施設建設にけん引され、全体としても2015年の雇用者数を上回る状態で推移する姿となっている。2050年には2015年対比で44万人の雇用増となる。

注意すべきは、こうした労働移動は同一産業・業種内のみで閉じるものではない点である。液化天然ガス(LNG)火力の燃料調達計画・配船業務と、風力発電設備の適切なO&M実施では人材に求められるスキルは大きく異なる。同一産業内だけでなく産業間を跨(また)ぐ労働移動を実現するためには、こうした脱炭素化に伴いニーズが高まる業種のタスク・スキル構成の可視化に加え、成熟領域から成長領域への円滑な労働移動を促すための制度面での後押しも重要になるだろう。こうした産業構造変化・労働移動に備えた準備は、脱炭素技術の社会実装が本格的に進む2030年に先立って取り組むべき喫緊の課題の一つである。

⁹ 自動車製造だけでなく、貨物・旅客輸送や販売・整備などを含めた「自動車関連産業」では、現状の541万人から2050年には310万人へと大きく雇用減となると推計される。

図表 2-8 同一産業内でも雇用ギャップが広がる

シナリオ4(両輪達成)における雇用人数増減(2015年比)

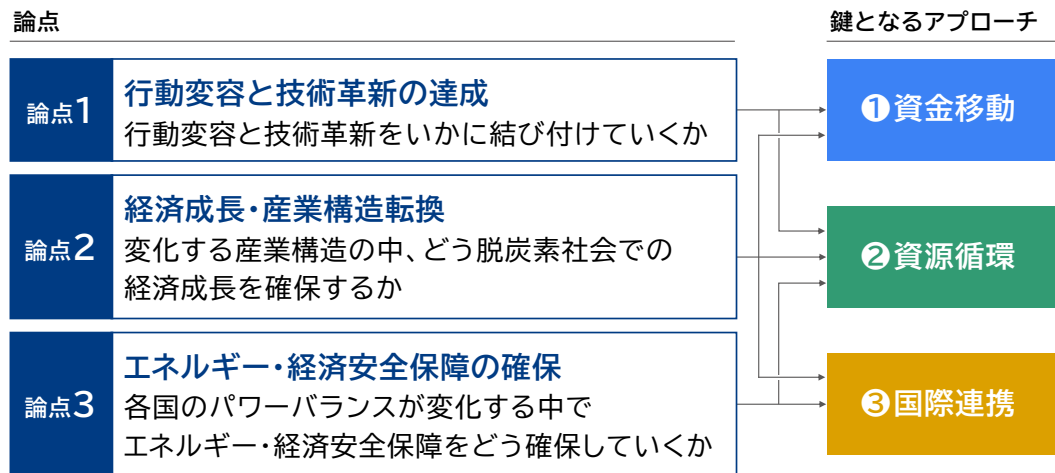


出所：三菱総合研究所

3. 円滑な移行実現に向けたキーポイント（資金移動、資源循環、国際連携）

円滑な移行実現のためには、前章で示したように「行動変容と技術革新をいかに結び付けていくか」「変化する産業構造の中、脱炭素社会での経済成長をどう確保するか」そして「各国のパワーバランスが変化の中でエネルギー・経済安全保障をどう確保していくか」、といった論点に対して方向性を示すことが必要になる。こうした論点への回答は容易ではないが、三菱総合研究所が考えるカギとなるアプローチとして、①資金移動、②資源循環、そして③国際連携の3点を挙げたい。

図表 3-1 移行の論点と資金移動、資源循環、国際連携の関係



出所：三菱総合研究所

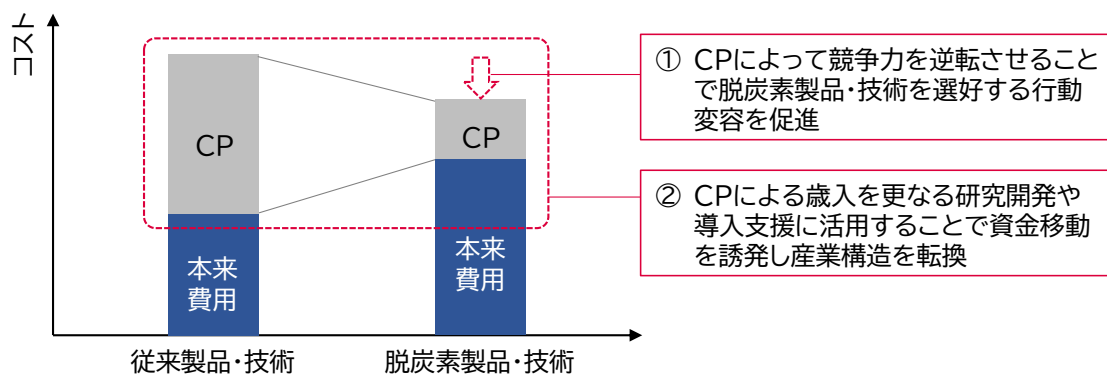
3.1. 資金移動

カーボンプライシングは資金移動のための強力なツール、行動変容と技術革新の両方に効果を発揮

CN に向けた円滑な移行の実現には、脱炭素化に資する製品・技術に対する投資や支援を活発化させ、資金移動を促していくことが不可欠になる。この資金移動のための強力なツールとして、炭素に価格をつけ、その排出者に負担を求めることで効率的な削減を促す仕組みであるカーボンプライシング（CP）がある。図表 3-2 は CP の効果を示したものであるが、①従来の製品・技術と比較した場合の脱炭素な製品・技術のコストが相対的に低下することでコスト競争力を逆転させ、需要家の消費構造を変化させる効果、②革新的な製品・技術の研究開発や普及加速のための支援に CP による歳入を再分配することで市場の予見性を高め、産業構造を転換させる効果が期待できる。

このように、CP による行動変容や技術革新、その社会実装を促す効果は、消費構造や産業構造をより脱炭素なものに変えていくことにつながると考えられる。

図表 3-2 CPによる競争力逆転・構造転換のイメージ



出所：三菱総合研究所

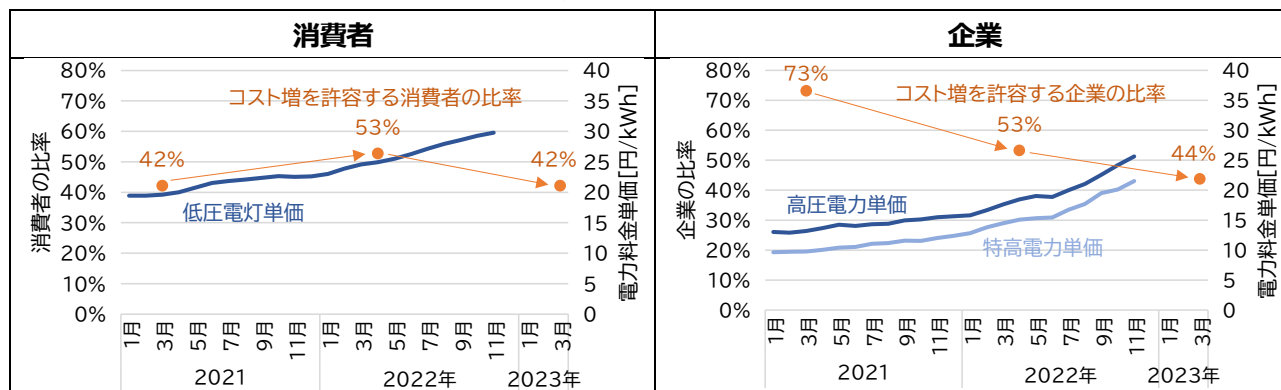
行動変容を誘発するためには適切な炭素価格の設定が重要

まず、CPによる需要家の行動変容促進効果について考えてみたい。現在、ウクライナ情勢を受けた燃料価格の高騰など、さまざまな要因が重なりエネルギーコストが大きく上昇している。このような状況の中で、需要家の行動変容に対する意識がどう変わっているのか、また、CPが行動変容に対してどのような影響を与えるのかについて把握するため、消費者、企業のそれぞれに対するアンケート調査を2023年3月に実施した。

図表 3-3 に再生可能エネルギー由来の電力（再エネ電力）に切り替える場合のコスト増に対する許容度と電力料金単価との関係を示す。なお、コスト増に対する許容度は、2021年3月、2022年4月、2023年3月の3時点におけるアンケート調査結果を用いている。電力料金単価は、継続的に増加傾向にあるが、特に2022年初頭より急激に増加しており、これに合わせて消費者、企業ともにコスト増を許容する需要家の比率は低下している。中長期的には化石燃料価格や卸電力市場価格の上昇によって再エネ電力が相対的に競争力を持つという側面もあるが、現時点ではエネルギーコストが増加傾向にある中で、再エネ電力への切り替えなどの行動変容が鈍化していることが懸念される。

一方で、既報¹⁰のとおり、電気料金が高い国ほど国内総生産(GDP)あたりの電力消費量が少ないという分析結果もあり、適切なエネルギーコストはCNを加速させるとも考えられる。将来的なエネルギーコストの動向は不透明であるものの、CPによって適切な価格シグナルを提示し行動変容を促すことができれば、消費構造を変化させるとともに産業構造をより脱炭素なものに変えていくことにつながる。

図表 3-3 電気料金の増加とともに再エネ電力調達に関するコスト増への許容度が減少



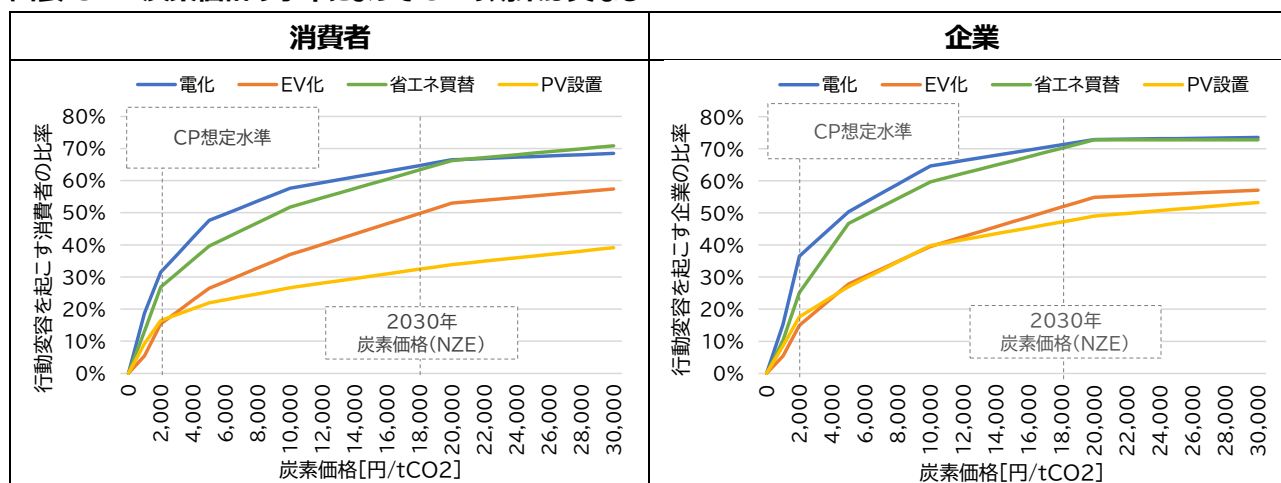
出所：三菱総合研究所

¹⁰ 三菱総合研究所 MRI エコノミックレビュー「欧州エネルギー危機に対する今後の展望と日本への示唆」、2022年11月29日、<https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/20221129.html>

それでは、どの程度の炭素価格を設定すればより効果的・効率的に行動変容を起こせるのだろうか。炭素価格の水準とそれがエネルギーコストにそのまま転嫁された場合に行動変容を起こす需要家の比率について、対策ごとに分析した結果を図表 3-4 に示す。政府が発表している資料から CP 水準を想定すると 2,000 円/tCO₂ 程度¹¹となり、この価格で行動変容を起こす需要家は行動変容の種類にもよるが、消費者、企業ともに 15~40%程度水準である。これは CN への移行期における行動変容による脱炭素効果に対する期待として十分であるとは言えない。仮に、炭素価格を国際エネルギー機関による World Energy Outlook 2022 で示されている Net Zero Scenario における先進国に対する 2030 年の価格である 140\$/t-CO₂ (≒1 万 8,000 円/t-CO₂) まで上昇させると、電化や省エネ製品等への早期買い替えは行動変容を起こす需要家の比率が 65~70%まで増加しており、炭素価格を増加させることで行動変容を誘発できることが示されている。

また、CP による炭素価格を増加させた場合に行動変容を起こす需要家の比率の変化は、2 万円/tCO₂ 程度で頭打ちとなっており、それ以上に炭素価格を高くしても飛躍的な効果の向上は見込めないことが分かる。そのため、産業の競争力を維持しつつ CP による行動変容の促進効果を最大化させることができるような適切な炭素価格の水準を、国際水準とも比較しながら設定することが重要である。

図表 3-4 炭素価格の水準によって CP の効果は異なる



出所：三菱総合研究所

社会実装のための必要投資は 2030 年以降に拡大

行動変容および技術革新の両輪で CN を実現するシナリオ 4 を達成するには、一定の投資の蓄積が必要である。しかし、その達成には、中長期にわたり企業が投資を自律的に行う環境が整備されていなければならない。そして企業が望ましい CN の実現に向けた十分な投資を行うには、関連分野の期待投資収益率が高いことが前提であり、政府の主体的な関与と同時に、民間の投資予見性を上げるため、炭素価格に対する中長期的な方向性の明確化が求められる。

それでは、シナリオ 4 を達成するには、どの程度の投資の蓄積が必要となるのか。2.3 節と同様に未来産業連関表を作成し経済波及効果分析を行い、シナリオを達成するための固定資本形成（設備投資と建設投資：公的および民間）および研究開発投資を試算した。固定資本形成は、経済波及効果としてシナリオごとに推計された付加価値と、付加価値に占める固定資本形成の比率を用い、産業別に算出した。研究開発投資は、

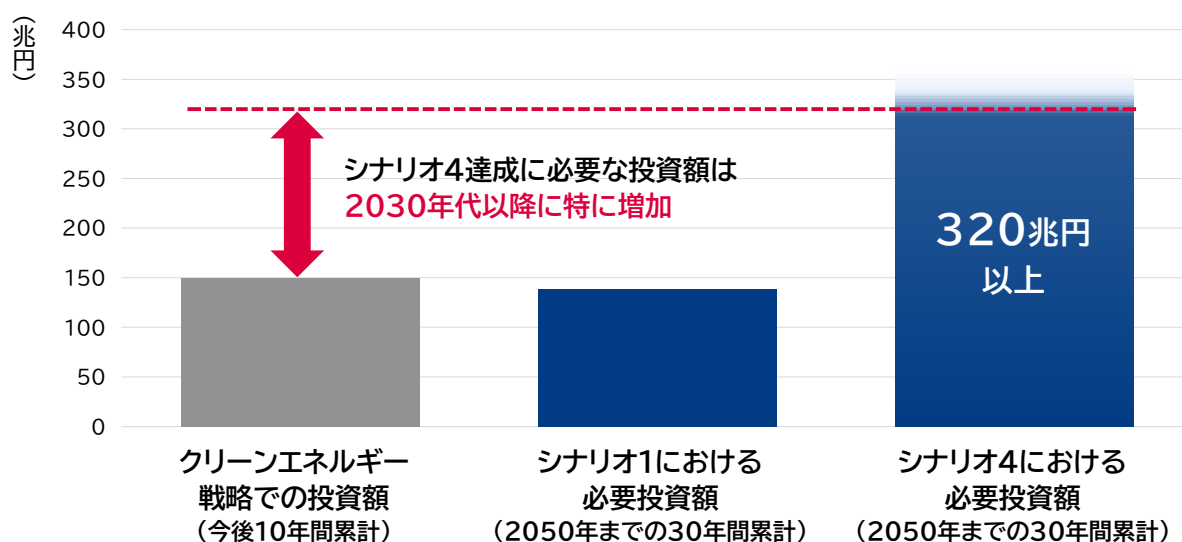
¹¹ 政府は、脱炭素社会の実現に向けて今後 10 年間で 20 兆円の移行債を発行することとしており、CP（排出量取引・炭素賦課金）が財源として想定されている。この 20 兆円の回収に対する温室効果ガスの累積排出量が 100 億 tCO₂ 程度であると仮定すると、炭素価格は 1t あたり 2000 円程度となる。

経済産業研究所 (RIETI) の JIP データベース¹²から産業別に研究開発生産性 (付加価値/研究開発ストック) を求め、それを用いて¹³付加価値を達成するのに必要な研究開発ストック額を算出した上で、研究開発投資 (フロー) を計算¹⁴した。

以下の図表 3-5 はシナリオ達成に必要な投資額を示したものである。今回当社が行った試算によれば、2020 年から 2050 年までの 30 年間累計で、シナリオ 1 では 140 兆円程度であるのに対し、シナリオ 4 を達成するには少なくとも 320 兆円以上が必要とされる。そしてシナリオ 4 達成に必要な投資額は、行動変容が中心の 2030 年までよりも技術革新とその実装が本格化する 2030 年代以降に増加傾向を強めるとの結果である。

経済産業省が 2022 年 5 月に公表したクリーンエネルギー戦略の中間整理によれば、日本の脱炭素関連投資は今後 10 年で官民合わせて 150 兆円が必要になるとの試算結果が示されているが、本結果はその 2 倍を超える投資が 2050 年までに必要¹⁵であることが示されている。期待収益率の向上は、収益の向上とリスクの低減の両輪により達成される。そのためには、政府による中長期的な関連分野の政策方向性の明示と、そこから帰結する制度設計の予見性が必要となる。

図表 3-5 脱炭素化に伴う必要投資額は 2030 年以降に増加



注： ここにおける必要投資額 (2050 年までの 30 年間累計) は、脱炭素化に向けてのシナリオ想定に沿って作成した未来産業連関表を用いた波及効果分析に基づき推計した概算数値である。本推計の対象は、再エネ、次世代自動車、はん用機械、電気機械等に限定している。脱炭素化に向かう過程では、通信、情報サービス関連等、その他の各種産業にも波及効果があるが、ここにおける投資の算定対象からは除外している。クリーンエネルギー戦略の数値とはアプローチおよび包含する範囲が異なる点には留意が必要である。

出所：三菱総合研究所

¹² <https://www.rieti.go.jp/jp/database/JIP2021/index.html>

¹³ JIP データベース産業分類から、再エネ関連は電気業、EV、FCV は自動車産業の付加価値生産性を適用している。

¹⁴ 多くの先行研究では、研究開発投資が蓄積され研究開発ストックとなり、研究開発ストックは一定の比率で減耗していくことを想定している。その際の減耗率は、Griliches and Mairesse (1984), Hall and Mairesse (1995) をはじめとして、慣例的に 15% と設定されており、本稿でもそれに倣った。

¹⁵ クリーンエネルギー戦略と今回の試算は対象とする範囲が異なる点に留意が必要である。例えば前者で「エンドユースの脱炭素」に含まれる住宅・建築物は今回の試算では対象外である一方、本試算では前者に含まれない脱炭素化に関連する送配電設備・施設建設も含む点などが挙げられる。特に送配電設備・施設建設に必要な投資額は大きく、クリーンエネルギー戦略のエネルギー供給脱炭素化投資約 60 兆円 (今後 10 年累計) に対し、本試算では 240 兆円程度 (今後 30 年累計) となった。なお、試算対象の範囲の違いにより、本試算では 2030 年までの累計はクリーンエネルギー戦略の試算を下回るが、それ以降に必要な投資額が増加傾向を強める結果となっている。

3.2. 資源循環

資源確保は円滑な移行に向けた必要条件に

国際情勢の緊迫化に伴い、各国が経済安全保障に関連する各種法案を成立させている。日本でも 2022 年 5 月に経済安全保障推進法が成立され、特定重要物資 11 種の中には重要鉱物、蓄電池、天然ガス、永久磁石など、脱炭素化への移行に欠かせない物資が指定された。

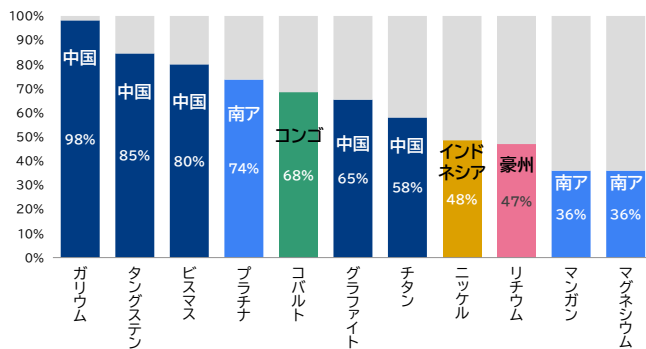
その中でも特に重要鉱物は各国でも意識されており、2022 年 2 月に米国地質調査所が「サプライチェーンが脆弱（ぜいじゃく）かつ米国経済あるいは安全保障上必要不可欠な鉱物」として 50 種類を指定したほか、2023 年 3 月に欧州委員会では重要原材料法案を発表、EU 域内での採掘・加工・リサイクルの数値目標を提示した。日米欧で指定される重要鉱物はおおむね共通しており、コバルト、ニッケル、リチウム、希土類元素といった蓄電池に欠かせないものや、ガリウムやタングステンなどパワー半導体、超硬切削道具など電化促進に求められるものなど、ほぼ全ての鉱物が CN への移行に伴い、直接・間接に需要が高まると見込まれる。しかし、これら各国が共通して定めている重要金属資源は、1 カ国の生産シェアが高い寡占市場であり、とりわけ中国の生産シェアが高い（図表 3-6）。各国が経済安全保障を意識し、脱炭素化に関連した資源・製品が戦略物資化する中、必要資源の確保が円滑な移行への必要条件の一つになっている。

図表 3-6 各国の定める重要金属資源は、寡占かつ中国の生産シェアが高い

日米欧共通での重要金属資源の産出シェア

重要鉱物指定根拠

日本	経済安全保障推進法(2022年5月成立)の特定重要物資の1つ「重要鉱物」に指定される35種
欧州	欧州委員会にて2023年3月に発表された重要原材料法案にて指定された「戦略的重要原材料」16種
米国	米国地質調査所(USGS)が2022年2月に発表した重要鉱物リスト50種



※希土類金属(レアアース)、プラチナ以外の白金族、ゲルマニウムも日米欧共通の重要鉱物になるがUSGSでの生産量データが不足しているため図表からは割愛

出所) 米国地質調査所データより三菱総合研究所作成

出所：米国地質調査所データより三菱総合研究所作成

資源循環による CO2 削減は適切な定量化が必要

こうした状況下、国内資源に乏しい日本にとって「資源循環」は重要なアプローチになる。三菱総合研究所では 2023 年 2 月発表の研究¹⁶でも、CN 資源として金属資源だけに限らず「CN 実現に不可欠な再生可能エネルギー資源」「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」を定義し、それらを積極的に循環させることが経済安全保障と脱炭素化の両立のカギであることを示している。経済成長と資源輸入のデカップリングを行い、リニアエコノミー（大量生産・大量消費の一方通行型経済）からサーキュラーエコノミー（循環型経済）へ変化させることは脱炭素の文脈からも必要になっている。

他方、サーキュラーエコノミーは資源循環以外にも、プーリング（同時利用）やシェアリング等の使用形態やビジネスモデルの変化等も含んだ概念であるが、対策によっては温室効果ガスの排出削減よりも増加の

¹⁶ 三菱総合研究所マンスリーレビュー 2023 年 2 月号「カーボンニュートラル資源立国実現に向けて」

<https://www.mri.co.jp/knowledge/mreview/202302.html>

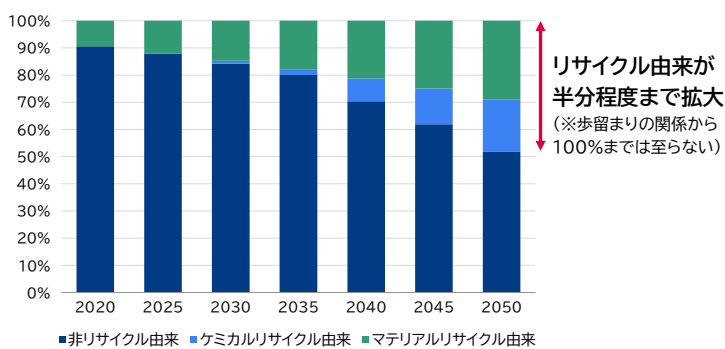
リスクが大きいバックファイア効果が懸念されているものもある¹⁷。個々の取り組みではより慎重な評価が必要であり、資源循環による CO2 削減効果を定量化することが重要となる。

例として先行研究¹⁸でも触れられている、脱炭素化が困難かつ、再生資源の利用率が 10%程度にとどまるプラスチックの資源循環を考える。脱炭素化が進むと、車両電動化、民生部門での電化の進展が進み、ガソリンを始めとした燃料油の大幅な需要減となることが見込まれる。他方で国内プラスチックの需要は一定程度残ることになるため、脱炭素化に伴う需要構造の変化は、石油化学産業の製造の在り方に大きく影響を与えることになる。

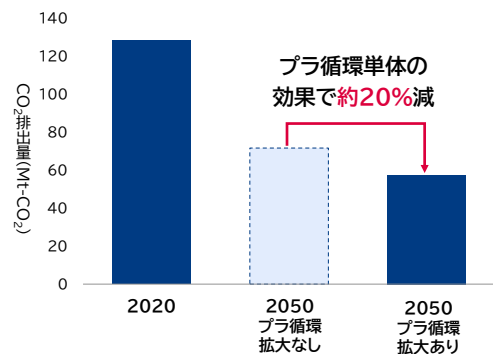
こうした構造変化に伴う CO2 削減効果を導出するためには、石油化学産業だけではなく部門をまたぐ統合的なアプローチでの定量化が必要になる。図表 3-7 はその結果を表したものである。プラスチック循環が大きく拡大し、マテリアルリサイクル・ケミカルリサイクルが進んだとしても歩留まりの関係から全てのプラスチック製造をリサイクル由来にするのは難しい。他方で原料用途も含めた化学産業の CO2 削減効果は、資源循環の有無により 2050 年で約 20%の差が生じる。資源循環は排出削減が難しい素材産業における現実的なソリューションの一つであり、個々の対策効果を見極めながら推進していくことが必要となる。

図表 3-7 資源循環の CO2 削減効果を定量的に表すことが重要

シナリオ4(両輪達成)でのプラスチック原料の由来構成



資源循環による化学産業のCO2削減効果



出所：三菱総合研究所

3.3. 国際連携

脱炭素・経済成長に加え、経済安全保障の面でも国際連携の重要性が増す

気候変動はグローバルな課題であり、世界全体で温室効果ガス排出削減に取り組む必要がある。特にアジアの排出量は世界の約 6 割¹⁹を占めるため、アジアの脱炭素に向けたトランジションは気候変動問題に対応する上で大きな意味を持つ。日本の排出量が世界全体に占める割合は数%だが、国内の排出削減のみならず、日本の脱炭素技術によってアジアを含めた海外の排出削減へ貢献する視点も重要であろう。

将来的に人口減少など国内市場縮小の可能性がある中、日本が経済成長を実現していくためにも国際連携は一つのポイントとなる。日本政府は「GX 実現に向けた基本方針」において、脱炭素分野での新たな需要・市場の創出、日本の産業競争力強化を通じて経済成長を実現する方向性を示している。今後の日本にとって、

¹⁷ 国立環境研究所, <https://www.nies.go.jp/whatsnew/20211215/20211215.html>

¹⁸ 三菱総合研究所マンスリーレビュー 2023年3月号「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>

¹⁹ 世界を五大州に大別した場合のアジアの排出量。アジア以外は米州、欧州、アフリカ、大洋州。

近隣アジアを中心とした世界の中で拡大するマーケットを視野に入れた具体戦略が必要とされる。

また、脱炭素潮流は経済安全保障にも影響を及ぼす。経済安全保障には幅広い視点が含まれるが、特に脱炭素によるサプライチェーンへの影響に注意が必要であろう。脱炭素技術には従来のエネルギーシステムとは異なる資源・鉱物や製品が必要とされるため、資源産出地や製造サプライチェーンにおける構造変化は避けられない。脱炭素対応が国家戦略に直結する時代の中、欧州のグリーンディール産業計画や米国のインフレ抑制法には、経済安全保障への意識も強くにじむ。欧米などの他国が置かれている状況との違いを踏まえつつ、日本として国際連携の在り方が問われている。

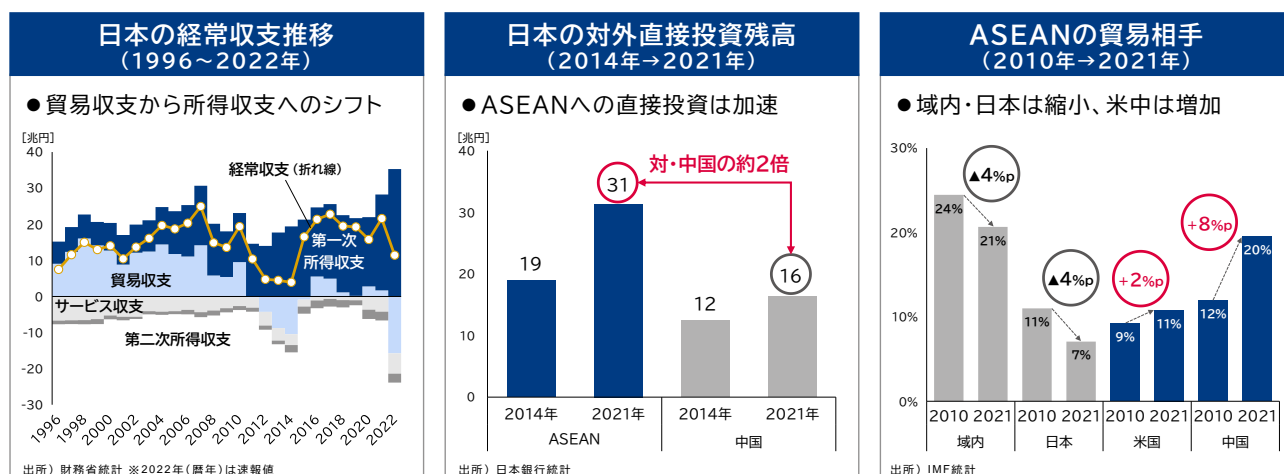
経済安全保障の観点からも ASEAN 諸国との協調はますます重要に

経済的側面からの国際指標である日本の経常収支は、近年その構造に変化がみられる。2000年代半ばまでは主に貿易収支が経常黒字要因であったが、その後は直接投資収益を含む第一次所得収支が中心となり経常黒字を確保している（図表 3-8（左））。特に 2022 年は燃料費高騰で貿易赤字が膨らむ中、30 兆円を超える第一次所得収支によって経常黒字が保たれたことがわかる。

近隣アジア諸国は日本の主な直接投資先の一つである。特に ASEAN への直接投資は近年加速しており、直接投資残高は中国に比べて約 2 倍の水準となっている（図表 3-8（中央））。日本にとって ASEAN は重要な投資先であると同時に、ASEAN にとっても海外からの投資は今後の成長に向けて不可欠な要素である。また、貿易相手国の観点からは、近年の ASEAN の貿易相手として米国・中国といった大国への依存度が高まっている（図表 3-8（右））。脱炭素対応を含んだサプライチェーンの在り方は、日本のみならず ASEAN にとっても重要アジェンダの一つであろう。

経済安全保障の文脈で、米国ではフレンドショアリングの考え方が提唱されているが、国際連携にあたっては国家間の信頼関係が非常に重要である。ASEAN のパートナーとしての日本への期待を示すものとして、日本への信頼度の高さを示す調査結果²⁰も存在するが、強固な信頼関係構築のためには啓蒙（けいもう）主義ではなく対等なパートナーとして共に発展する道筋を描くことが重要だろう。また、ASEAN の中での構成国の多様性、個別性についても十分な考慮が必要である。地理的にも近接している日本と ASEAN の連携は、双方にとってますます重要な環境になっている。

図表 3-8 日本と ASEAN の連携はますます重要に



出所：財務省統計、日本銀行統計、国際通貨基金(IMF)統計より三菱総合研究所作成

²⁰ Seah, S. et al., The State of Southeast Asia: 2022 (Singapore: ISEAS-Yusof Ishak Institute, 2022)

脱炭素が国際貿易に与える影響を GTAP モデルで定量評価

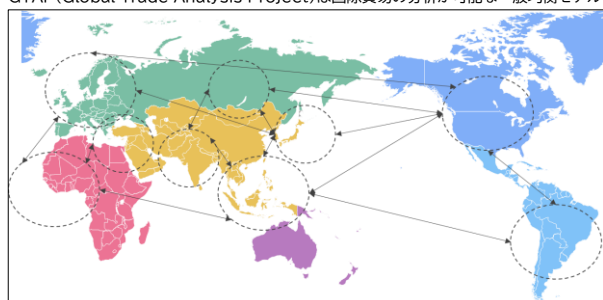
欧州を起点とした炭素国境調整措置も引き金となり、世界では CP の導入国が増加している。本稿では脱炭素が国際貿易に与える影響を分析するため、GTAP (Global Trade Analysis Project) モデルを用いた定量評価を行った。GTAP モデルは世界の貿易関係を分析することが可能な応用一般均衡モデルであり、本分析ではエネルギー部門を詳細にモデル化した GTAP-E モデルを使用する。

分析ケースとしては「なりゆき脱炭素」ケースと「脱炭素なし」ケースの二つを想定し、2050 年における両者の結果の差分から脱炭素の貿易影響を評価する (図表 3-9)。「なりゆき脱炭素」ケースとは、脱炭素化に必要な構造変化が起こらないまま高額な CP が導入されるシナリオである。具体的な分析手順を以下に示す。

- ① 人口、GDP、資源価格などのパラメータを両ケース共通の外生変数として設定する。
- ② 「なりゆき脱炭素」ケースの炭素価格を国際エネルギー機関 (IEA) のネットゼロシナリオ水準として設定する。
- ③ ①の外生変数をもとに「脱炭素なし」ケースでの貿易構造を GTAP モデルで分析する。
- ④ ①および②の外生変数をもとに「なりゆき脱炭素」の貿易構造を GTAP モデルで分析する。
- ⑤ ③と④の結果の差分から脱炭素 (炭素価格) が国際貿易に与える影響を評価する。

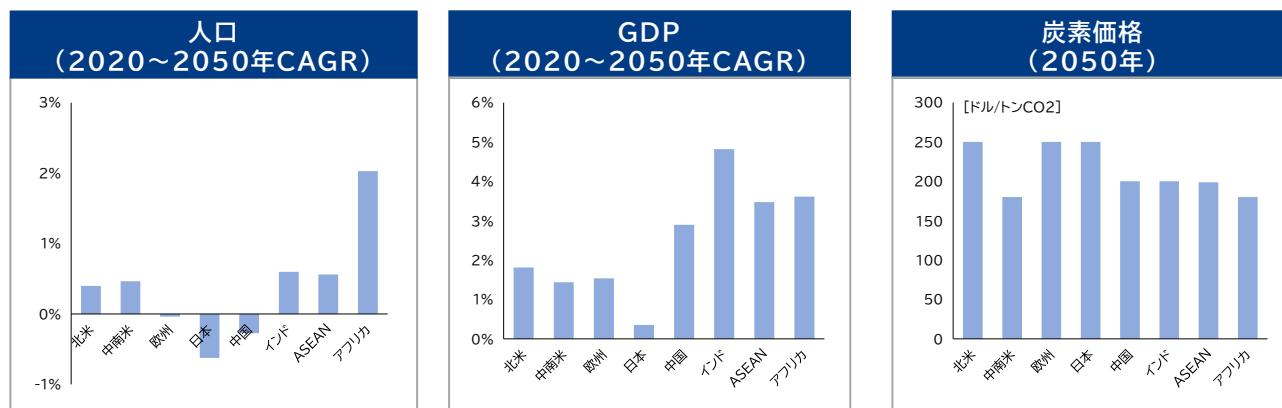
図表 3-9 「脱炭素なし」ケースと「なりゆき脱炭素」ケースの差分に着目

GTAP(Global Trade Analysis Project)は国際貿易の分析が可能な一般均衡モデル



出所：三菱総合研究所

図表 3-10 主な分析前提条件 (人口・GDP・炭素価格)



出所：国連人口推計、IEA World Energy Outlook 2022 より三菱総合研究所作成

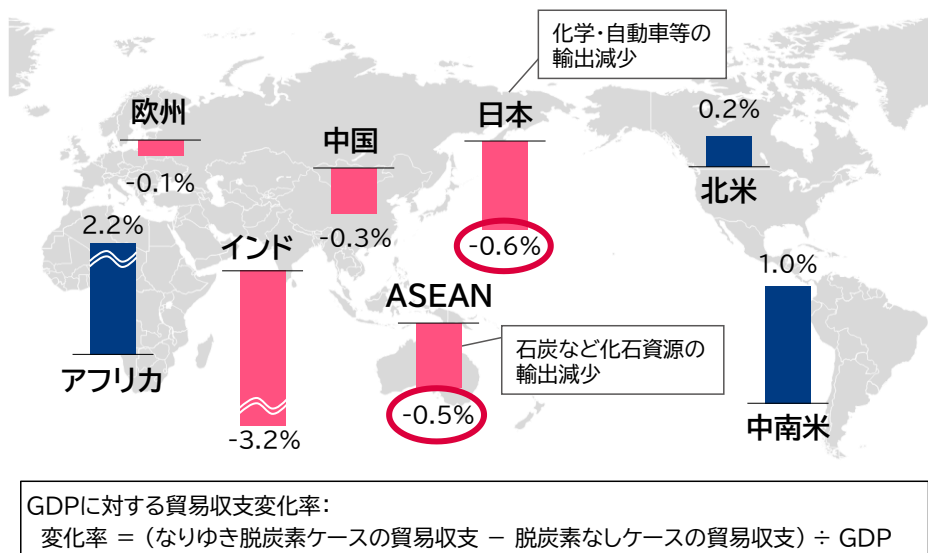
※GDP は三菱総合研究所想定

なりゆき脱炭素では日本・ASEANともに産業競争力・経済安全保障における懸念あり

脱炭素に必要なエネルギーシステムの構造変化が起こらない「なりゆき脱炭素」の世界の下では、日本・ASEANともに貿易収支を悪化させる結果となった（図表3-11）。日本では特に化学や自動車分野における競争力が低下して、輸出額の減少が確認される。ASEANでは炭素価格の水準が日本ほど高くないものの、石炭を中心に化石資源産業への負の影響が大きく、貿易収支としても減少の結果となった。このように、炭素価格を含めたエネルギーコストは世界の貿易構造を変化させるドライバーになる。

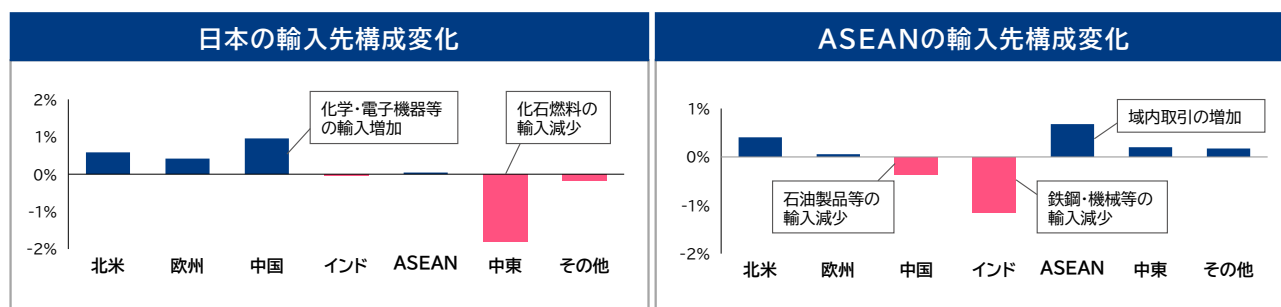
脱炭素の影響は産業競争力の面にとどまらない。貿易構造の変化は輸出入先の相手国の変化も意味する。日本は化石燃料の輸入額が減少するため中東依存度が低下する一方、中国からの化学や電子機器などの輸入額が増加する（図表3-12）。ASEANでは域内取引が増加してインドや中国からの輸入量は減少する結果となった。ただし、中国からの輸入減少分は石油製品が中心であり、鉄鋼や化学分野では輸入額が増加している点に注意が必要である。

図表 3-11 なりゆき脱炭素では日本・ASEANに貿易収支悪化の影響



出所：三菱総合研究所

図表 3-12 脱炭素は貿易構造変化を通じて経済安全保障にも影響を与える



※2050年の「なりゆき脱炭素」ケースと「脱炭素なし」ケースの輸入構成比の差（%ポイント）を示す。

出所：三菱総合研究所

脱炭素を通じた ASEAN との信頼関係深化が双方の経済成長・経済安全保障につながる

エネルギーは産業の血脈であり、そのコスト水準が産業競争力を左右し、経済安全保障にも波及する。元々

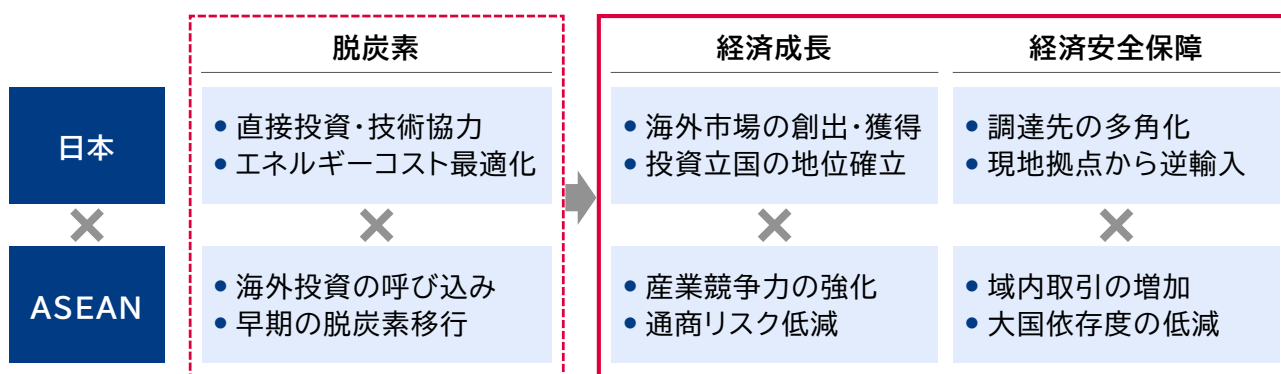
化石資源に乏しく、人口に対して国土面積も限られる日本では、国内に閉じずに広い視点でエネルギーコスト最適を目指すことが重要である。また、ASEAN は石炭依存度が高く人口密度が相対的に高いなど、日本と同様の課題に直面する可能性が高い。アンモニアなど脱炭素燃料の技術開発や第三国からの調達力強化、次世代太陽光の普及拡大、地震対策に経験を有する日本の原子力技術といった点など、協力関係を構築できる分野は多い。ASEAN にとって早期の脱炭素化は中長期的な通商リスクの低減にもつながる。

今後はこうしたエネルギーコスト最適の視点を含めた、ASEAN への直接投資の重要性も増すだろう。日本はこれまでの貿易立国から投資立国へと向かい、その立ち位置を強固にしていく必要がある。その際、日本の培ってきた技術力を生かしつつ、多様な ASEAN の中で具体的な相手国や分野を見極め、高い投資効率や生産性向上を実現することが、日本と ASEAN 双方の経済成長につながるための重要なポイントになる。

また、資源循環の観点でも日本国内に閉じない海外連携が有効である。資源産出地としては特定国への依存が避けられない場合でも、一度輸入した資源を循環させることは経済安全保障にもつながる。地理的に隣接した ASEAN との連携を通じたサプライチェーンの再構築も考えられる。地域的な包括的経済連携(RCEP)²¹協定発効による中国と ASEAN 間の関税引き下げ・撤廃を通じて両者の貿易関係変化も予想される中で、ASEAN 一体となった資源循環は一層重要性を増すだろう。

サプライチェーン再構築には時間を要するが、こうした連携がもたらす経済安全保障への波及効果も見据えた上で着実に協力関係を構築していくことが重要だろう。日本にとっては国内に閉じないエネルギーシステム構築と投資立国へのシフトが新たな成長のカギとなる。脱炭素を起点として日本・ASEAN の信頼関係をさらに深めつつ、経済成長と経済安全保障にも資する補完関係の構築が求められている。

図表 3-13 脱炭素を起点として経済成長・経済安全保障にも資する信頼に基づく相互補完関係を



出所：三菱総合研究所

²¹ 地域的な包括的経済連携 (Regional Comprehensive Economic Partnership)

4. おわりに：円滑な移行の実現に向けて

本稿では、2050年CNに至るまでの「移行」の在り方に着目し、経済安全保障と経済成長を損なわない、円滑な脱炭素社会への移行のためのポイントについて提言を行った。

2023年5月現在、エネルギー市場の混乱、世界情勢の緊迫が続く中、CN達成に向けた道筋は不透明な状況が続いている。課題山積の中、経済安全保障や経済成長を損なわない、現実的なCNへの移行の絵姿が求められている。

本稿では円滑な移行実現のためには、「早期対策である行動変容と中長期に必要な技術革新をいかに結び付けていくか」「変化する産業構造の中、脱炭素社会での経済成長をどう確保するか」そして「新しい地政学リスクの中でエネルギー・経済安全保障をどう確保していくか」、といった論点に対して方向性を示すことの重要性を指摘した上で、①資金移動、②資源循環、そして③国際連携の3点を提示した。

①円滑な脱炭素社会への移行にあたっては、必要な領域に資金移動を促し、日本の産業構造や経済を脱炭素型にシフトさせることが不可欠になる。カーボンプライシング（CP）は、炭素価格の顕在化を通して需要家の行動変容を促す効果と、歳入により脱炭素技術の研究開発や社会実装に係る必要投資を支える効果の両方が期待され、早期対策である行動変容と中長期に必要な技術革新の架け橋となりうる。国際水準と必要投資額も照らし合わせ、適切な炭素価格を設定し、中長期的な予見性を持たせることが必要だ。

②資源循環は脱炭素資源の確保、素材分野の脱炭素化の両方から必要になるだろう。脱炭素化に伴いエネルギー・経済安全保障の形が変わる中、国内資源に乏しい日本では必要資源の輸入量を減らし、経済安全保障上のリスクを低減させていくことが必要となる。加えて、資源循環は削減困難とされる素材分野でのCO2削減にも有効になる。エネルギー政策と資源循環政策のさらなる融合が必要だ。

③国際連携は脱炭素のみならず経済安全保障や経済成長の文脈でもASEANとの連携の重要性が増す。日本とASEANの連携深化は相互にとって補完関係を生むことが期待される。また、こうした連携深化を通し国内に閉じないエネルギーシステムを構築すると共に、これまでの貿易立国としての立ち位置から、日本の培ってきた技術力を生かした投資立国へ向かうことが重要となるだろう。

「カーボンニュートラル」という言葉が日本の政策に現れてからまもなく3年経とうとしている。その間、国際情勢も大きく変わり、日本を取り巻く状況は一層厳しさを増している。しかし、既にCNは議論からアクションの時期に移っている。望ましい移行に向けた歩みを進めることが必要だ。

参考資料

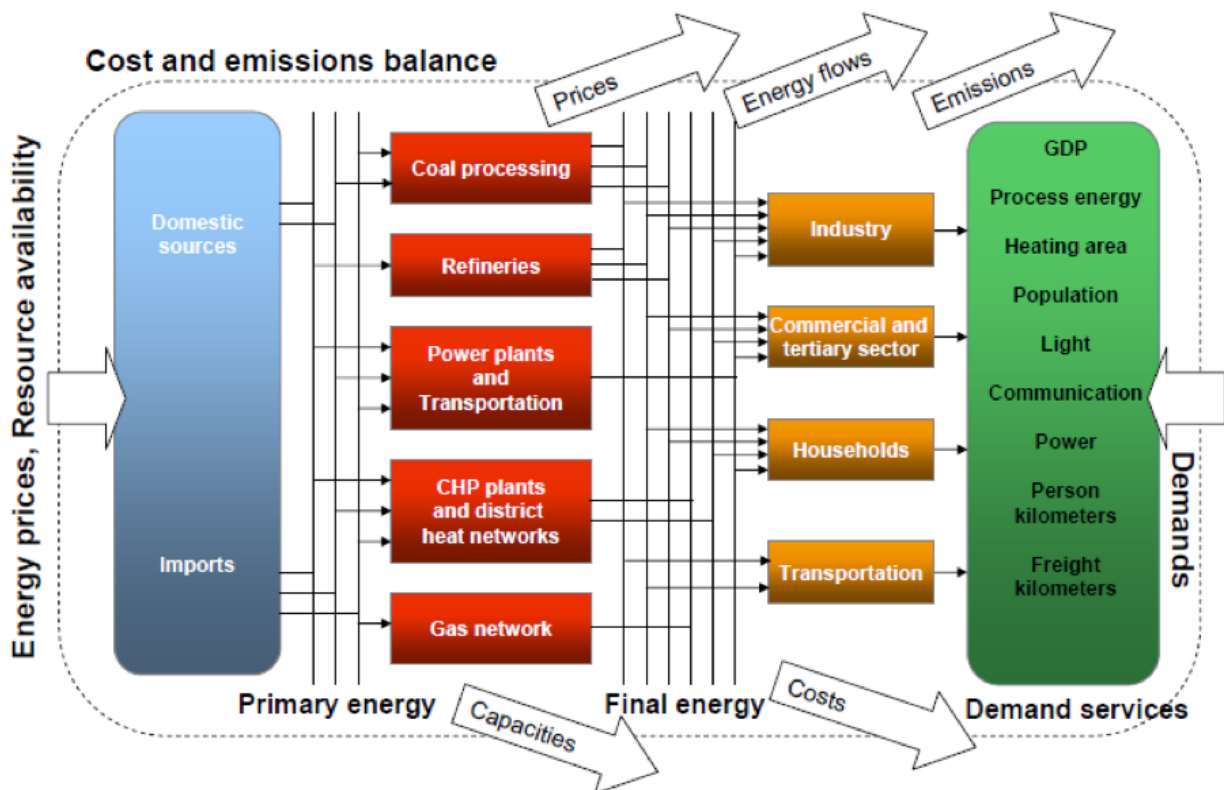
エネルギー需給モデル (TIMES) の概要

TIMES (The Integrated MARKAL-EFOM System) モデルは国際エネルギー機関 (IEA) で開発されたモデルフレームワークであり、同機関をはじめ多くの研究機関で採用されるエネルギー需給モデルである。TIMES は工学的アプローチと経済的アプローチを組み合わせて構築されたモデルであり、多数の制約式の下で対象期間におけるエネルギーシステムコストが最適となる絵姿を線形計画法により分析することが可能である。

電力セクターのみならずエネルギー需給全体の評価ができる点が TIMES の特徴であり、エネルギーの供給側 (1次エネルギー供給、各種転換プロセス、輸送) および需要側 (産業、業務、家庭、運輸) の全ての要素を含む構成となっている。資源・技術のコストや供給制約、サービス需要などをインプットとして与えることで、TIMES により最適解としての設備容量・構成、エネルギーコスト・フローや排出量を求めることができる。

TIMES はシナリオ分析ツールとして活用されることが多く、本稿では四つの将来シナリオに基づいてインプットデータを用意したうえで、2050年 CN のエネルギー需給の絵姿を分析した。

TIMES モデルの概要



出所：国際エネルギー機関 (IEA) Energy Technology Systems Analysis Program

各シナリオの主な前提条件・結果

本稿2章では四つの将来シナリオを設定し、上述の長期エネルギー需給モデル（TIMES）と電力需給モデル（PyDis）を用いて分析を行った。各シナリオにおける設定概要は下表のとおりである。その他の主要な前提条件、計算結果は別途提示するデータセットを参照していただきたい。

各シナリオにおける設定概要

		① 現状延長	② 需要削減	③ 技術革新	④ 両輪達成
炭素制約の考え方		モデル上の制約は置かず、成り行きベースで脱炭素化	WEO2022のNZE相当で炭素制約顕在化(10年前倒し)	WEO2022のNZE相当で炭素制約が顕在化	WEO2022のNZE相当で炭素制約顕在化(10年前倒し)
マクロフレーム想定		人口・世帯数は社人研想定。燃料価格は世界銀行・WEO2022を元に設定。サービス需要推計の基礎となる実質GDP・為替は三菱総合研究所推計値を利用。(6次エネ基と比較した場合、低めの成長率を想定)			
資源循環		経済合理性のもとで一定程度進展			制度化により高い回収が実現
電力	原子力	シナリオ共通でMRI見立てに基づき、 2050年22GW設定 。 新增設は想定していないが、停止期間を考慮して運転期間を延長。			
	太陽光	上限	116GW (住宅17GW 事業99GW)	260GW (住宅45GW 事業214GW) ※エネ基参考値260GWベース	404GW (住宅120GW 事業284GW) ※環境省ゾーニング調査を基にペロブスカイト等の技術革新を想定
		コスト	17万円/kW (住宅は23万円/kW) ※コスト検証WGの2030年想定		10万円/kW ※コスト検証WGの2020→2030年コスト低減を2050年まで延長
	風力	上限	62GW (陸上40GW 洋上22GW)	90GW (陸上45GW 洋上45GW) ※参考値・官民協議会ベース	135GW (陸上45GW 洋上90GW) ※陸上は参考値ベース踏襲、洋上は業界目標水準官民協議会
		コスト	25万円/kW ※コスト検証WGの2030年想定 (洋上は51万円/kW)		15万円/kW ※コスト検証WGの2020→2030年コスト低減を2050年まで延長 (洋上はLCOE10円/kWh相当の固定費を設定)
	輸入水素		100円/Nm3 ※相当程度高いコスト水準として設定		30円/Nm3 (S3)、20円/Nm3 (S4) ※政府目標水準を参照しつつ、S3の方が世界需給がタイトな状況を想定
水素還元製鉄		想定無し ※革新技術は実現せず既存製鉄方法が継続		足下の高炉製鉄と同水準コストを想定、 2045年より導入開始 ※Lund大学の文献値を基に設定	
次世代自動車		EV、FCVともに2030年水準のコスト横置き (EV300万円弱、FCV400万円弱)		EV、FCVともにICEVと同程度のコスト水準まで低減 (200万円程度)	

担当者

志田龍亮、石田裕之、小川崇臣、川合康太、酒井博司、清水紹寛

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

メール：media@mri.co.jp