

カーボンニュートラルをめぐる国内外の動向

Carbon Neutrality: National and International Perspectives

東理大（正）佐々木 信也

Shinya SASAKI

Tribology Center, Tokyo University of Science

1. はじめに

2025 年夏、日本のみならず北半球の各国では猛暑が襲い、欧州では 45℃を超えるような熱波が原因で多くの死者が出るなど、地球温暖化はますます身近かつ大きな社会問題となっている。国際エネルギー機関（IEA）は、2024 年のエネルギー関連 CO₂排出量が過去最高の 37.8Gt となったと報告し、今後も化石燃料（石炭・ガス・石油）の需要増加は続くことが予想されることから、このままではパリ協定の「1.5° C 目標」達成は困難であると指摘している。また、英国エクセター大学の研究者らは、「1.5° C の目標」を達成するためには、2028 年頃までに温室効果ガス排出量を半減すべきであると警告している。なお、パリ協定では、各国政府に「Nationally Determined Contributions (NDC)」と「Long-Term Low-Emission Development Strategies (LT-LEDS)」を策定し、5 年ごとにその目標を強化することを求めているが、すべての国が加盟しているわけではなく、最近では米国トランプ政権が再び離脱を表明するなど課題も多い。

我が国は 2050 年にカーボンニュートラルを目指すことを宣言し、その前段階として 2030 年度には 2013 年度比 46% の温室効果ガス（GHG）削減を目標として掲げ、さらに 50% の高みに向けて挑戦を続けることを国際社会に表明している。さらに、2035 年度には 60%、2040 年度は 73% の削減を目安とする目標が検討されている。これらを背景に 2023 年 4 月に施行された改正省エネ法では、これまでのエネルギーの定義を見直し、使用合理化の対象が非化石エネルギーを含むすべてのエネルギーに拡大された。また、非化石エネルギーへの転換に関する措置を新たに追加し、特定事業者には非化石エネルギー転換に関する中長期計画及び非化石エネルギー利用状況等の定期報告書の提出を求めることになった。さらに、電力需要の最適化を図るため、再生可能エネルギー出力制御時の需要シフトや需要逼迫時の需要抑制の枠組みを構築することが追加された。また、「7 次エネルギー基本計画」では、2040 年度に再生可能エネルギーを最大電源とするエネルギーミックスのシナリオが検討され、2030 年度の目標値としては、再生可能エネルギー 36～38%、原子力 20～22%、火力 41% が掲げられている。ただし、2022 年度実績では、それぞれ 21.7%、5.5%、72.8% となっており、目標達成を危ぶむ声もある。2023 年度の速報値でも、再生可能エネルギー 22.7%、原子力 11.2%、火力 66.6% となっており、再生可能エネルギーの伸び悩みも指摘されている。再生可能エネルギーの拡大には、「ペロブスカイト太陽電池」や「浮体式洋上発電」などの新技術の導入が期待されている。また、火力発電では水素やアンモニア燃料などの活用が見込まれているが、これらの燃料は供給量の制約から海外依存が避けられず、コストやエネルギー安全保障の課題も指摘されている。新技術については社会実装が進んで初めて効果を発揮するため、関連する技術開発の加速が不可欠である。さらに、データセンターにおける電力需要の大幅増加も予想されている。

このような状況を踏まえれば、非化石エネルギーの拡大だけで 2050 年のカーボンニュートラルを達成することは困難である。徹底した省エネによる GHG 削減こそが、最も重要かつ確実な取り組みであり、その中でトライボロジーの果たす役割はこれまで以上に大きいものと言える。

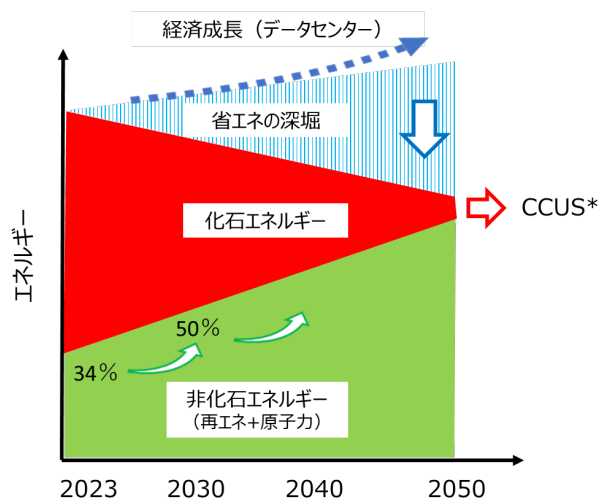


図1 カーボンニュートラルに向けた使用エネルギー変化のイメージ

*CCUS: Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage (CO₂の分離・利用・貯蔵)

2. カーボンニュートラル

GHG 排出削減に向けては、“もの”が製造されてから廃棄されるまでのライフサイクル全体での排出量を考慮した対策が必要となる。サイエンス・ベース・ターゲット (SBT, Science Based Targets) は、パリ協定の「1.5℃目標」に基づき、地球の平均気温上昇を産業革命前に比べ 1.5℃未満に抑えるために整合した企業の GHG 排出削減目標を指している。SBT ではサプライチェーン全体での排出量削減が求められており、事業者の排出量算定及び報告の国際的基準である「GHG プロトコル」では、サプライチェーンにおける GHG 排出量を、「スコープ1」「スコープ2」「スコープ3」の3分類で捉えている。

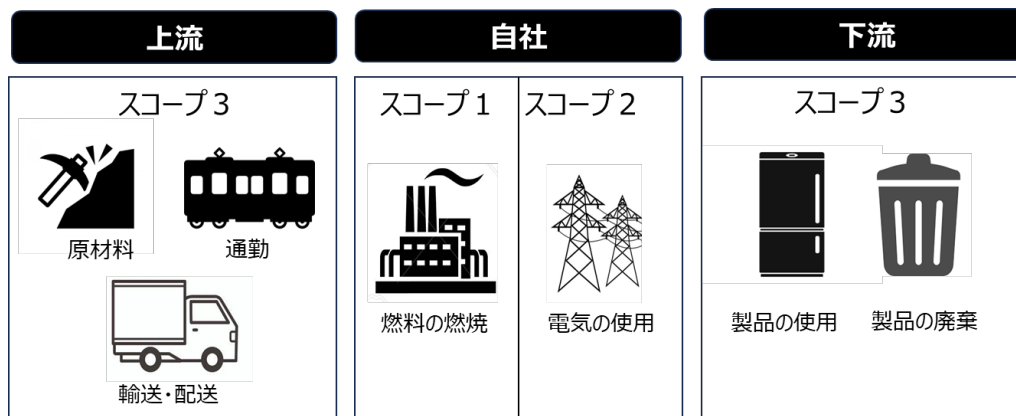


図2 サプライチェーン排出量のものさし「スコープ1,2,3」

スコープ1：事業者が燃料使用や製品製造を通して直接排出する GHG。

スコープ2：他社から供給される電気・熱・蒸気の使用によって間接的に排出される GHG。

スコープ3：上流（原材料調達や輸送）および下流（製品の使用や廃棄）で発生する GHG。

ここで、“ものづくり”の視点からサプライチェーン排出量削減を考えてみよう。「スコープ1」と「スコープ2」については、省エネ法に基づき、製造現場で弛みない削減活動が進められてきたが、さらなる削減には革新的なプロセス技術の導入が求められる。例えばトライボ要素の製造で大きな GHG 排出を伴う鋼の熱処理において、レーザー焼き入れなど新たなプロセス技術が進展している¹⁾。また、再生可能エネルギーの利用拡大を視野に入れ、水素やアンモニアを安全かつ効率的に活用する技術の導入も重要である。具体的には、熔融・焼結炉や熱処理炉での重油や LNG に代わる燃料転換、水素バーナーの開発などが挙げられる²⁾。「スコープ3」については、上流（原材料）と下流（廃棄）での対策が加田である。具体的には、製品の長寿命化、リサイクル、小型軽量化、バイオ由来素材の活用などが技術開発の焦点となる。「循環経済（サーキュラーエコノミー）」は、この部分に大きく関与する。一方、製品使用段階での GHG 排出量削減においては、我が国は優れた省エネ機器等の社会実装を世界に先駆けて進めてきた。特に自動車の低燃費化におけるトライボロジー技術の貢献は顕著であり、大きな成果を上げてきた領域と言える。

3. サーキュラーエコノミー

カーボンニュートラルに向けた取り組みにおいて、サーキュラーエコノミーは、図3に示すように製品のリユースやリサイクルを重視し、製品ライフサイクルの延長や廃棄物の最小化を推進することで、一次資源の採掘、製造プロセスや廃棄物処理におけるエネルギー消費および GHG 排出の削減に寄与する。従来の「循環化型社会」や「3R (Reduce, Reuse, Recycle)」と「サーキュラーエコノミー」と比較すると、サーキュラーエコノミーではリユースの比重が高まり、「産業競争力強化」に直結する点が明確に打ち出されている³⁾。これは、特に「経済性」の強調が特徴であり、欧州の政策的な意図が色濃く反映されていると言える。ここでは、サーキュラーエコノミーにおけるトライボロジーの具体的な役割について、まず 3R の観点から整理し、その中で「経済性」との結びつきについても言及したい。

3.1 Reduce

トライボロジー技術に摩耗低減は、製品や部品の寿命延長に大きく貢献する。例えば、軸受の寿命が摩耗により 10 万時間だったものを新技術により倍の 20 万時間に延長できれば、機械システムの運用に必要な軸受の個数を半減できる。このことは、軸受の素材から製品化までの全プロセス、鉱山における鉄鉱石の採掘に始まり、運搬、製鉄、加工、組み立て、リサイクルにおいて必要なエネルギーを、単純計算で 1/2 に削減できることを意味する⁴⁾。さらに、軸受交換のメンテナンス間隔が延びることで、機械システムの生産効率向上やコスト削減にもつながる。特に、軸受寿命が機械システム全体の寿命を支配する場合、その効果はより顕著で、全体へのインパクトが一層大きくなる。潤滑油についても同様なことが言える。潤滑油の寿命延長（交換サイクルの延長）は、GHG 排出削減に直結する重要な課題である。特にわが国では使用済み潤滑油の多くがサーマルリサイクルとして燃焼処理されている現状を踏まえると、その長寿命化の重要性はさらに増すことになる。加えて、メンテナンス技術向上による機械システム全体の維持

や長寿命化は、Reduce の観点から見ると、エネルギー消費と GHG 排出削減により大きなインパクトをもたらす取り組みと言える。

3.2 Reuse

摩耗や損傷を受けた部品にコーティングなどの表面処理技術を活用し、性能回復処理を施すことで再利用が可能になれば、部品のフットプリント削減に加え、機械システムの迅速な修理や低コスト化が実現できる。このような部品の再生利用の取り組みはすでに建設機械分野などで始まっており、CR (Certificated Remanufacturing) ユニットとして再生部品を販売するリマン事業がグローバルビジネスとしても展開されている^{5) 6)}。特に、鉱山で稼働する大型建機では、高額な部品の交換が定期的に必要になるだけでなく、故障による生産停止が直接的な損失につながるため、このようなリマン事業の需要が高まっている。その結果、建機が稼働する山奥の現場に修理加工施設を整備する事例も増えている⁷⁾。リマン事業をさらに促進するためには、加工修理技術の向上に加え、再生部品の品質を保証するための計測・診断技術や寿命予測技術の高度化が必要不可欠である。この分野において、トライボロジーに関する基礎研究が果たす役割は極めて大きく、今後の技術確認が期待される。

3.3 Recycle

原料や素材の視点からトライボ要素を見てみると、歯車や転がり軸受のようにリサイクル率が高い鉄製部品がある一方で、すべり軸受やシール、ブレーキパッドなどのように、リサイクルが難しい有機・無機複合材料が使用される部品も多く存在する。これらの使用済み部品は、埋め立て廃棄物として処理されているのが現状であり、環境負荷の観点からも早急な対策が必要である。リサイクル性に優れた財調を使用するためには、機械システム全体の設計と連携し、しゅう動条件の緩和などの対策を講じることが求められる。「サステナブル設計」という言葉を最近よく見かけるが、その実効性を高める上で、機械要素の細部まで考慮した設計手法もその概念に含まれるべきと考えている。潤滑油はしゅう動面に不可欠な要素であるが、我が国では回収された使用済み潤滑油の多くは本来の意味でのリサイクルには利用されていない。2020 年の国内潤滑油販売量は 143 万 kL とされ、そのうち 68 万 kL の使用済み潤滑油が発生すると推測されている。このうちの約 58 万 kL が業者によって回収されているが、そのほとんどが加工燃料用としてサーマルリサイクルに利用され、再生生成原料としての活用は行われていない⁸⁾。一方で、潤滑油販売量に対する再精製油利用率は、米国で約 10%、欧州で約 25%とされており、これと比較すると我が国の状況は遅れていると言わざるを得ない。また、廃溶剤・廃潤滑油のサーマルリサイクル由来の CO2 排出量は約 1000 万トン近くに達し、廃棄物分野の CO2 排出量の約 25%を占めている。このような状況から、潤滑油のマテリアルサイクルへの実装はトライボロジーに課せられた大きな課題と言える。

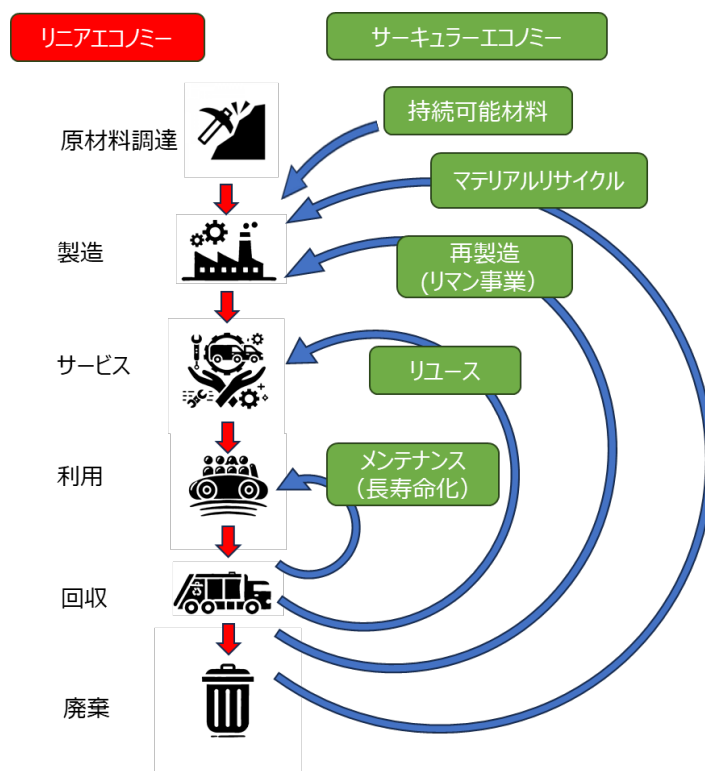


図3 サークラーエコノミー

4. 国内外の動向

カーボンニュートラル社会の実現に向けての政策の一つに、炭素税や排出量取引制度（ETS）がある。欧州では 23 カ国が炭素税を導入し、1991 年から導入しているスウェーデンでは、その税率は SEK1,510/t-CO₂ という最高水準の価格が適用されており、EU 域内では炭素国境調整メカニズム（CBAM）開始を受け、税率引き上げやカバー拡大の議論も活発化している。

わが国でも、改正 GX 推進法⁹⁾ が成立し、2026 年度から一定規模以上の二酸化炭素排出を行う事業者に対し、排出量取引制度への参加が義務化されることになった。同様の制度は、EU では 2005 年から、韓国では 2015 年から導入されている。わが国における詳細な制度内容は、現在、事業を所管する各省庁において検討が進められているところで、経済産業省が所管する製造業については、我が国産業界への影響の大きさに鑑み、丁寧かつ慎重な議論が行われているところである。従来の省エネ法との違いは、その趣旨が脱炭素成長型経済構造への円滑な移行に資する投資を促すことを目的とする点にある。基本的には、業種ごとに排出量原単位をもとにしたベンチマークを定め、政府指針に基づいて算出した排出枠の量を企業が割当申請をすることになる。将来的には業種を超えた枠の配分などに国の政策を反映などして、事業再編や産業構造の変革を促すことも視野に入っている制度と考えてよい。

5. おわりに

カーボンニュートラルと社会実現に向けて、トライボロジーが取り組むべき、また貢献が期待される技術課題は以下の 4 つに集約される。

- ① 持続可能な材料の実装による環境負荷低減
- ② 耐摩耗性向上による部品・製品の長寿命化
- ③ 摩擦損失低減によるエネルギー消費の削減
- ④ 寿命診断・予測を可能とするメンテナンス技術の高度化

ただし、サーキュラーエコノミーの実現においては、単なる「技術開発」に留まることは許されない。「循環型社会」や「3R」の段階においても技術の社会実装が求められてきたが、サーキュラーエコノミーではさらに「経済性」の追及や、産業競争力の強化につながる法整備など、政策提言を含めた取り組みが不可欠となる。このような技術開発の枠を超えた包括的な取り組みは、特に潤滑油のマテリアルリサイクルを実現させる上で避けては通れない課題となると考える。また、部品や製品のフットプリントの算出方法はじめ、カーボンニュートラルへの取り組みは現時点で混沌とした状況にある。しかし、急速に進む DX（デジタルトランスフォーメーション）の流れの中で、トライボロジーにも従来の枠組みを超えた変化が求められている。このような変化に対応しながら、技術と政策を融合させてアプローチを通して、持続可能な社会の構築に向けたトライボロジーの貢献をさらに拡大していく必要がある。

参考文献

- 1) 「2050 年カーボンニュートラルへのレーザー技術の貢献」, (一社) レーザー学会, 2022 年
- 2) 「トヨタ自動車, 工業利用を目的とした世界初の汎用水素パーナードを開発」, トヨタタイムズ, (2018)
<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/25255692.html> (2024.11 閲覧)
- 3) 梅田靖, “サーキュラーエコノミーとデジタルの融合”, JECCNEWS, 562 (2019) 4
- 4) M.Woydt, “The importance of tribology for reducing CO₂ emissions and for sustainability”, Wear, 474-475, 15(2021)203769
- 5) 井関, 天野, “部品再生技術の開発”, KOMATSU TECHNICALREPORT, 56, 163 (2010) 7
- 6) 渋谷純, “循環型社会に向けた建設機械の部品再生事業のグローバル展開”, 日立評論, 101, 04 (2019) 488
- 7) 竹中ほか, “建設・鉱山機械のコンポーネントリマン事業”, 建設の施工企画, 2(2011)34
- 8) 佐藤ほか, “2050 年カーボンニュートラル社会の実現に向けた廃油対策”, 廃棄物資源循環学会誌, 33, 1 (2022) 62
- 9) 脱炭素成長型経済構造への円滑な移行の推進に関する法律: <https://laws.e-gov.go.jp/law/505AC0000000032>