

資源循環・廃棄物管理と脱炭素社会構築

連載 (3) 循環型社会と循環経済

酒井 伸一 京都高度技術研究所・京都大学名誉教授
SAKAI SHINICHI

専門は環境システム工学。2001年より国立環境研究所循環型社会形成推進・廃棄物研究センター長、2005年より京都大学教授、2021年より現職、および大阪工業大学客員教授。中央環境審議会循環型社会部会長。廃棄物資源循環学会 2010～2012年会長。Journal of Material Cycle and Waste Management (JMCWM), Springer 編集担当。著書に『ゴミと化学物質』(岩波新書)、『循環型社会をつくる』(中央法規) など。



1. 循環経済工程表の策定

2022年9月6日に循環経済工程表が策定され、環境省から公表された¹⁾。循環基本計画の第2回点検評価の性格をもたせつつ、2050年の循環型社会に向けた循環経済の方向性と2030年に向けた施策の方向性が循環経済工程表として取り纏められている。循環経済アプローチの推進が、ライフサイクル全体の温室効果ガス削減に寄与することを念頭に、資源循環や廃棄物管理分野の脱炭素化を進めることを意識した計画となっており、図1のように2030年までの施策の方向性が具体的に示されている。図1には、環境省からの工程表に脱炭素化や経済成長、経済安全保障との関係についてのポイントを著者の理解で追記している。

循環経済工程表では、ちょうど1年前の2021年8月に公表された「廃棄物・資源循環分野における温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ(案)」²⁾を推進するための具体的目標を定めるとともに、経済成長や経済安全保障との関係を考慮している。脱炭素化に向けては、中長期シナリオで示された食品ロスやプラスチック素材の発生抑制から原料のバイオマス化、分別促進によるリユース、リサイクル、廃棄物処理施設におけるエネルギー回収や再生可能エネルギーの導入の方向が確認され、企業や自治体によるプラスチック資源回収量を2030年

までにプラスチックリサイクルに向けて、年間100万トンから200万トンに倍増させることを目標としている。こうした資源循環の取り組みによる温室効果ガス排出量削減への貢献可能量の試算結果が、今回の工程表で示されている。2020年の日本の温室効果ガス排出量は、電気・熱配分前の量として、11.49億トンCO₂であるが、そのうち4.13億トンCO₂は資源循環が削減に貢献できる量(約36%相当)と試算されている。類似の試算は、Circular Economyから報告されたCircularity Gap Report³⁾でも報告されている。パリ協定参加国の国別削減目標を達成した場合でも、年間の世界のGHG排出量は約560億t-CO₂eq程度までの抑制にとどまるが、同機関が提唱する21の循環経済促進策(住宅、栄養、移動、通信、消費、医療、サービスの7分野における物質循環を中心とした対策)を適用することで、約330億t-CO₂eqまで低減可能と試算されている。すなわち、循環経済促進により約230億t-CO₂eqの削減(2019年GHG排出量の39%に相当)が可能と試算されている。

循環経済工程表では、経済成長エンジンとしての循環経済の側面も強調されており、循環経済関連ビジネスを成長の糧としながら、循環経済を持続的な取組としていくことで、2030年までに循環経済関連ビジネスの市場規模を、現在の約50兆円から80

1) 環境省、第四次循環型社会形成推進基本計画の第2回点検及び循環経済工程表の策定報告書、2022年9月6日、<https://www.env.go.jp/content/000071596.pdf> (2022年9月25日確認)
2) 中央環境審議会循環型社会部会：廃棄物・資源循環分野における温室効果ガス排出実質ゼロに向けた中長期シナリオ(案)について、2021年8月5日、http://www.env.go.jp/council/03recycle/post_217.html (2021年11月16日確認)
3) Circular Economy: The Circularity Gap Report 2021, <https://www.circularity-gap.world/2021> (閲覧日: 2021-12-30) (2021)

兆円以上にすることをめざすという目標を掲げている。加えて、世界全体の人口増加や経済成長により中長期的に資源制約が強まることから、またウクライナ情勢を含む現下の国際情勢等も踏まえて、資源制約に対応するための日本の経済安全保障の取組みの一つとして強化するために、循環経済として資源の国内循環を促進することの観点も強調されている。

脱炭素社会の実現に必要な金属の確保や資源制約への対応の観点から、銅や亜鉛、アルミニウムなどのベースメタルやコバルトなどのレアメタルについて、使用済み製品等からの金属回収を徹底することなどで、金属のリサイクル原料の処理量を2030年までに倍増させる目標が循環経済工程表に盛り込まれている。

ポイント1 循環資源回収の促進、プラスチック資源回収量を2030年までに年間100万トンから200万トンに倍増など

2022年

| | |
|-----------------------|---|
| 素材毎の方向性 | デジタル技術を活用したトレーサビリティの担保・循環経済関連ビジネス基盤 物質・エネルギー両方の脱炭素シナリオ研究、資源循環の取組による脱炭素効果定量分析 |
| プラスチック・廃油 | プラスチック資源循環法に基づく3R+Renewable、市場ルールの形成 廃溶剤のアップサイクル等廃油のリサイクル推進 |
| バイオマス | 廃棄物系バイオマスの活用、食品廃棄物ゼロエリアの創出、フードドライブ等 再生利用が困難なバイオマス廃棄物等を原料とした持続可能な航空燃料(SAF)の製造・供給に |
| 金属 | 分別回収の参画、AI等の活用による選別高度化、動静脈連携等による国内資源循環の促進 アジアを中心とした国々で再資源化が困難な使用済み製品等からの金属の再資源化 |
| 土石系・建設材料 | 脱炭素社会に向けたシナリオ分析を踏まえた定量的知見の充実 原材料使用の効率性向上、環境配慮設計、建築物長寿命化 セメント製造工程での有用金属回収、副産物・廃棄物・処理困難物利用 |
| 製品毎の方向性 | 生産段階での環境配慮設計、再生可能資源利用の促進 使用段階でのリユース、リペア、メンテナンス、サブスクリプション等、新たなビジネスモデル |
| 建築物 | 良質な社会ストックの形成・維持による発生抑制、有効活用できる建築資材の再利用 建設系廃材の再資源化等のため、速やかに建設リサイクル法含めた制度的対応を含めた検討 |
| 自動車 | 現在の排出実態の早急な把握 削減効果、電動化影響、蓄電池排出状況分析 自動車リサイクル分野における |
| 小電・家電 | 小電 年14万トン回収 廃家庭用エアコンの回収推進によるHFC回収量増 |
| 温暖化対策等により新たに普及した製品や素材 | 太陽光発電設備のリユース・リサイクルを促進するため、速やかに制度的対応を含めた検討 LIB・鉛蓄電池の適正なリユース・リサイクル、火災発生防止対策に向けた総合的な対応策 |
| ファッション | ラベリング・情報発信、新たなビジネスモデル、環境配慮設計 衣類回収システム・リサイクル技術高度化に向けた実態把握、関係省庁一丸となった体制整備 |
| 循環経済関連ビジネス | 事業者と投資家等との開示・対話に関する取組の後押し、サプライチェーン全体での取組評価 包括的な技術開発・社会実装のための新たな支援策 地域の循環経済移行、デジタル技術・ロボティクス |
| 廃棄物処理システム | 脱炭素技術評価検証、官民連携方策検討 廃棄物処理システム・施設整備方針等検討 実行計画の策定 |
| 地域の循環システム | 資源循環分野における地域循環共生圏を構築推進するためのガイダンスの策定 分散型の資源回収拠点ステーションや対応した施設整備に向けた運営・機能面等含めた施策検討 |
| 適正処理 | 3R+Renewableに当たって、製品安全、有害物質リスク管理、不法投棄・不適正処理防止 産廃最終処分場残余年数について、2019年度の水準(17年分)を維持(2025年度) |
| 国際的な循環経済促進 | 長期戦略・計画策定支援、関連制度整備支援、人材育成、循環インフラ標準化、福岡方式の海外展開 二国間協力、環境インフラ海外展開、G7・G20活用、アジア太平洋地域のプラットフォーム構築・拡大 |
| 各主体による連携、人材育成 | 循環経済パートナーシップ(J4CE)の活用 様々な教育の場の活用、人材育成、物質循環と温室効果ガス算定ツールの整備 |

ポイント3 経済への貢献、循環経済関連ビジネスの市場規模を、現在の約50兆円から80兆円以上にすることをめざす

図1 循環経済工程表(2022)の概要とポイント(環境省資料1)

日本は循環基本計画を2003年に定めて以来、国レベルの2つのマクロ指標である最終処分量や資源生産性において大きな効果をもたらしてきた。今一つの循環利用率に関しては、その定義や変化の要因から対処方策の検討が本格化している。こうした循環型社会形成に向けての20年以上にわたる日本の実績をベースに、脱炭素への貢献を視野に入れた循

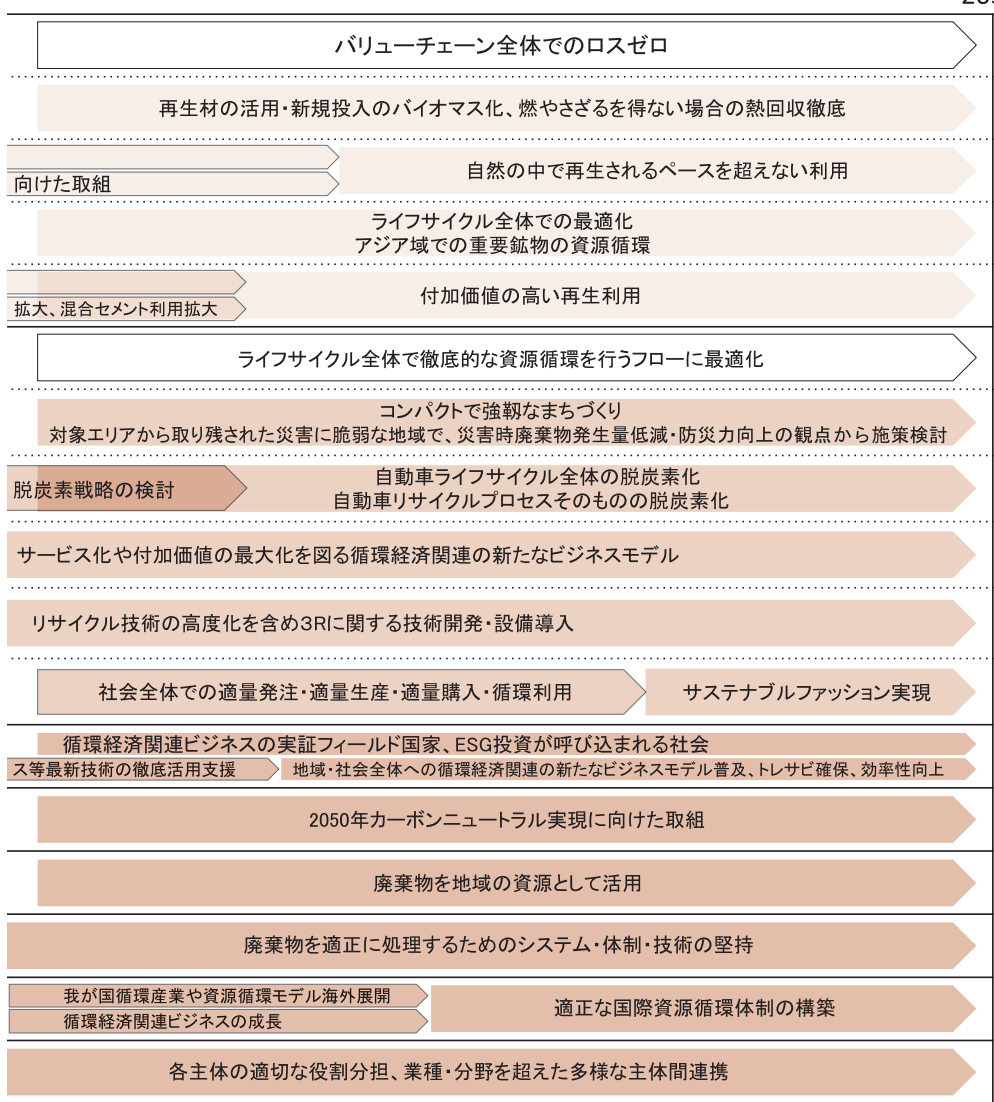
環経済工程表の実質展開が、循環型社会形成への次のステップの大きな課題である。

2. リサイクルを基本とした社会

3Rにリニューアブルを加えた3Rプラス原則で循環型社会形成を進めている日本であるが、リデュースやリユースを進めつつ、再生可能資源を用いた

ポイント2 脱炭素化へのチャレンジ、4.13億トンCO2は資源循環が削減に貢献できる量(約36%相当)と試算

2030年



ポイント4 経済安全保障の取組みの一つ、資源の国内循環を促進、たとえば金属のリサイクル原料の処理量を2030年までに倍増する

にポイント4点を追記)

リサイクルを基本とした社会をめざすこととなる。このような方向にある日本のこれからの議論の参考になるとみているのが、デンマークの循環政策イニシアティブである。循環型社会や循環経済への取り組みは、国や地域の基盤となる資源や産業に左右されるが、なかでも廃棄物管理がおかれた現状に大きく左右される。日本がおかれた現状としては焼却比率が高いことが1つのポイントであるが、この傾

向と類似性を有する欧州諸国に、スイス、ルクセンブルグ、デンマークといった国々がある。デンマークは人口約500万人と小国ながら、脱炭素政策や資源循環政策で世界をリードする欧州社会の一角を占めることから、同国が進める政策や技術展開には目を離せない。表1には、“Denmark without waste”における資源循環イニシアティブの要点をまとめた⁴⁾。2014年の発出で、すでに10年近くを経過し

表1 “Denmark without waste (2014)”⁴⁾ における資源循環イニシアティブ

| イニシアティブ | イニシアティブの効果 |
|--|---|
| 1. 家庭や事業所からの素材リサイクル促進 1.1 有機物やプラスチック類の分別リサイクルアクセス向上 1.2 分別・処理施設開発へのファンディング等のシステム支援 1.3 民間企業による市場流通商品の返却回収スキームの構築 1.4 イニシアティブの周知とガイドラインでの好事例広報 | 1. 家庭系廃棄物のリサイクル倍増 2. 庭ごみ25%からのエネルギー回収 3. 紙、ガラス、金属、プラ包装のリサイクル率25%増 4. レストランや食料品店からの有機性廃棄物回収を4倍増 |
| 2. 電子機器やシュレッダー廃棄物からの素材回収 2.1 使用済みの電子機器や携帯電話、自動車の回収・再利用 2.2 国際的なリサイクル協力体制やEUレベルの基準設定 | 1. 市場に出た電子機器の65%、携帯用電池の55%を回収 2. シュレッダー廃棄物の回収を70%以上、埋立は30%以下 |
| 3. 焼却からバイオガス化リサイクルへ 3.1 バイオガス化リサイクルを進め、コスト効率の高い焼却処理を 3.2 廃棄物処理セクターの新組織モデルの創成 | 1. 効率的で費用効率の高い施設とすること、より高度な廃棄物の資源活用を進めること 2. 家庭や事業系の有機廃棄物回収増とバイオガス化利用 |
| 4. リンなどの栄養成分の回収 4.1 下水汚泥からのリン回収のための技術開発や実証技術 4.2 リンを活用処理要件に関するライフサイクル/社会経済分析 | 1. 汚泥焼却灰の肥料利用で80%のリンを再利用。 2. 家畜糞に含まれるリンは継続して肥料として利用。 |
| 5. 建設解体廃棄物リサイクルの質的向上 5.1 建設廃棄物PCB含有量の限界値設定等のPCBアクションプラン 5.2 効果的なコンクリートリサイクル、レンガ等の処理要件調査など 5.3 使用済み風力タービン翼のリサイクル支援 5.4 地域暖房配管の処理要件導入の得失調査 | 1. 質の良い建設廃棄物を再利用することで環境負荷物質の排出を抑える 2. 建設解体廃棄物の70%を再利用 |
| 6. グリーン転換への新事業展開 6.1 事業系ごみの更なるリサイクルを促進（最新式のごみ分別施設を開発や建設・解体廃棄物の再利用・リサイクルなど） 6.2 クローズドの資源サイクルに関する知識と経験を蓄積 6.3 新しいビジネスモデルによる資源消費抑制やリサイクル 6.4 グリーン転換ファンドによる将来の事業開発など | 1. 廃棄物管理のより良い解決策とクローズドの資源サイクルを確立、廃棄物と資源発生地域にデンマークの解決策を広める |

たイニシアティブであること、脱炭素効果は明示的には記されていないことなど、控えめに読まねばならない点はあるが、あらためて精読してみると、2020年代前半に考えるべきベクトルとして、極めて有効な政策集であるといえる。表1では、大きくフローとストック、そしてシステムの観点から、この資源循環イニシアティブをとらえることができる。つまり、フローの観点からは、素材や製品の循環をさまざまな主体からの回収とリサイクルへの全面転換を進めることを基本としている。新たな収集スキームの構築として、有機物やプラスチック、金属分別に向けたアクセスをより容易にすることで、家庭ごみや粗大ごみからのドライ資源物の管理をめざしている。そして、リサイクルを確実にしつつ、よりコスト効率の高い焼却施設での処理を行うとしている。

ストック的側面では、建築解体廃棄物対策の観点を明確に取り上げており、そのリサイクル対策の質的向上のみならず、社会基盤施設の循環や処理の観点を含めている。建設廃棄物のリサイクルを妨げるPCB含有量の限界値を設定し、厳しい解体条件設定で建設廃棄物の材料を把握する。そのうえで、より効果的なコンクリートのリサイクルを推進し、加えて使用済み風力タービン翼のリサイクル支援や新しい処理要件導入、地域暖房配管の処理要件導入の得失を調査するとしている。そして、社会システムのグリーン転換の視点を新事業展開という切り口で盛り込んでいるのである。つまり、新しいビジネスモデルが資源消費の抑制やリサイクルにどう貢献できるかを念頭において、消費者行動に照らし合わせて検討することから、資源効率向上のためのグリーンファンドを設定して、将来の事業開発などに貢献するような金融政策にも触れている。

3. デンマークの循環経済に向けたアクションプラン

“Denmark without waste”で、2014年にリサイクル推進を骨格に据えて、さまざまな政策と目標を

打ち出し、本格的に廃棄物発生削減に向けた社会をめざしはじめたデンマークである。2014年の推進戦略であるが、現時点の方向性においても参考ができるところが多い。その7年後の2021年には、“Action Plan for Circular Economy”として循環経済に向けた行動計画を定めて、次の一手に動き出している⁵⁾。表2のとおり、循環経済に関連する課題と取組みの方向性を、フローの観点からプラスチック素材利用やバイオマス利用、そしてリサイクル全般の推進について定めている。加えて、ストックの観点から建築物の持続性、ものづくりや社会との関わりとの観点で設計・生産・消費工程という重点分野について取り上げている。

プラスチック素材については、2019年でプラスチック廃棄物が51.4万トン発生していること、その25%のみがリサイクルに回収されていること、回収されたプラスチックの半分が実際にリサイクルされていることが報告されている。相当量のプラスチック含有廃棄物が焼却されていることで、年130万トンのCO₂発生がある。そうした現状に対して、使い捨てのシングル用途プラスチック製品の使用禁止しつつ、プラスチック製包装の50%削減をめざしている。そして、回収されたプラスチック廃棄物の60%はリサイクルを求めることで、プラスチック素材の適正量への減量と循環利用を進めている。プラスチック廃棄物の減量とリサイクルに向けた研究の必要性も謳われている。

2018年のデンマークのバイオマスフロー実態として、物質消費の約21%がバイオマスであること、一次生産から加工、流通、家庭までの生産や消費に伴う食品廃棄物発生は年120万トンであることが示されている。家庭からのバイオ廃棄物は、2011年から2017年の間で1.4万トン減り、家庭のバイオ廃棄物と剪定廃棄物で213 kg-biowaste/人・年のリサイクル量となっている。この剪定ごみ処理におけるGHG排出を少なくとも20%削減することを目標としている。こうしたバイオマス利用の循環経

4) The Danish Government; Denmark without waste, November 2013, https://eng.mst.dk/media/222904/ressourcestrategi_uk_web.pdf (2022年9月26日確認)

5) Ministry of Environment of Denmark; Action Plan for Circular Economy, 2021, <https://www.en.mim.dk/media/223010/alle-faktaark-1.pdf> (2022年9月26日確認)

表2 “Action Plan for Circular Economy (2021)”⁵⁾ における循環経済の5分野

| 分野 | 循環経済に関連する課題の現状 | 現状をふまえた循環経済の具体策 |
|------------|--|---|
| 設計・生産・消費工程 | 資源生産性は、2008～2018年の10年で25%の向上 エコラベル製品数は、7,500(2015)から18,500(2000)へ増加 シェアリングへの参加率は、14%(2016)から26%(2018)へ増加 再使用製品の購入・売却は8割(2019)、2018年比で10%増 | EUのエコデザイン規制への循環経済観点導入強化 公共調達におけるエコラベル使用の強制力強化 公共調達における施主の総コスト活用導入 飲料水供給における石灰スケール減少ガイドランス 二次利用製品店舗活用への明確な枠組み作成 |
| リサイクルの推進 | リサイクル実績44%(2019)、EU目標は55%(2025)、60%(2030) 包装リサイクル実績63%(2018)、EU目標65%(2025)、70%(2030) 全廃棄物1270万t(2019)、28%は家庭、40%は建築解体、32%は産業 資源循環処理方法：再使用24%、リサイクル44%、焼却29%、埋立3% 廃棄物工程のCO2排出は、全排出の4.9%(2019)、多くは焼却から 焼却施設は、焼却に適した廃棄物量に比較して70万トン能力過剰 | 都市ごみの分別・回収の流れを確立 事業者の廃棄物管理にリスクベース監査を導入 リサイクル可能な廃棄物の処理要件を策定 焼却能力の30%削減(2020年から2030年の間) 包装に対する拡大生産者責任推進 電子機器に対する拡大生産者責任の推進 |
| バイオマス利用 | 物質消費の約21%がバイオマス(2018) 食品廃棄物発生は年120万t(一次生産から加工、流通、家庭まで) 家庭からは1.4万トン減(2011→2017) 家庭と剪定で213kg-biowaste/人・年がリサイクル(2018) リンリサイクルへの廃水処理汚泥の寄与は76%(2018) | 小売段階の食品廃棄物減量に向けた専門家支援 食品廃棄物の肥料利用に関する重金属や不純物の基準強化 下水汚泥からのリンリサイクルに向けた財政支援 剪定ごみ処理におけるGHG排出を少なくとも20%削減すること |
| 建築物の持続性 | 建設と建築物利用は、物質消費の40%、水消費の33%、エネルギー消費の40%、GHG排出の36%は建築ストックに由来する 全建設コストベースでのエコラベル要件適合は23% 典型的な建築物の寿命は40～100年 建築解体廃棄物の発生量は500万t、全廃棄物の40%以上 建設解体廃棄物の36%はリサイクル、うち52%は道路路盤材利用 | 持続的観点からみた建築物規制を見直すことし 気候フットプリント基準の引き上げ 建築物設計においてLCA-LCCベースの設計を進めること 標準的な解体計画の要件を定めること コンクリートやブロックのリサイクル材の有害物質基準を定めること 建設解体廃棄物の包括的ルール策定とよりトレース性を高めること |
| プラスチック素材 | 2019年でプラスチック廃棄物51.4万t発生、うち25%のみがリサイクル向けの回収、回収されたプラスチックの1/2が実際にリサイクル プラスチック含有廃棄物の焼却で、年130万tのCO2発生 リサイクル向けの回収プラは8.9万t(2014)から12.2万t(2019)に増加 | 特定のシングル用途プラスチック製品の禁止 特定のプラスチック製包装の50%削減 回収されたプラスチック廃棄物の60%はリサイクルを求める プラスチック廃棄物の減量とリサイクルに向けた研究ミッション確立 |

済対策としては、小売段階の食品廃棄物減量に向けた取り組みを強めるための専門家支援を取り上げている。食品廃棄物の肥料利用に関する重金属や不純物の基準を強化することで安全な循環をめざしつつ、資源性の重要元素となっているリンのリサイクルも取り上げている。リンの存在として廃水処理汚泥の寄与が76%と大きいことから、下水汚泥からのリンリサイクルに向けた財政支援がなされている。

プラスチック素材やバイオマスを対象としたリサイクルが以上のように特定されているが、リサイクル全般に力点をおいた推進が図られている。リサイクルのEU目標が55%（2025）や60%（2030）であるのに対して44%（2019）の実績であること、包装のリサイクルに対するEU目標は65%（2025）、70%（2030）であるが、実績は63%（2018）であることが報告されている。そして、廃棄物発生はトータルで1270万t（2019）、その内訳は28%が家庭から、40%は建築解体から、32%は産業から発生している。その資源循環処理方法として、再使用が24%、リサイクル44%、焼却29%、埋立3%となっている。こうした廃棄物処理の工程からのCO₂排出は、全排出の4.9%（2019）で、その多くは焼却からとなっている。焼却施設は、焼却に適した廃棄物量に比較して70万トンの能力過剰と判断していることを公表しているも記しておかねばならず、2020年から2030年の間に焼却能力を30%削減することを目標としている。事業者の廃棄物管理に監査を導入することやリサイクル可能な廃棄物の処理要件を策定することで、都市ごみの分別・回収の流れを確立しようとしている。包装や電子機器に対する拡大生産者責任を推進することも対策メニューの一つである。

ストック対策にも力を注いでおり、建築物の持続性対策を進めていることも注目される。建設や建築物利用に関係する活動に必要となる負荷が報告されており、物質消費の40%、水消費の33%、エネルギー消費の40%、GHG排出の36%は建築ストックに由来すること、典型的な建築物の寿命は40～100年となっていること、建築解体廃棄物の発生量は500万トンで全廃棄物の40%以上を占めること、

建設解体廃棄物の36%はリサイクルされ、うち52%は道路路盤材利用であるといった現状把握がなされている。ストックとしての建築物の廃棄物や循環資源としての発生は、建築時点である半世紀前の素材や製品であること、現時点の環境対策が効果をもたらすのは長期間の後であることなどから、循環経済や脱炭素の対策として建設解体廃棄物を視野に入れた政策構想は簡単でない。しかし、デンマークの循環経済行動計画では、持続的観点からみた建築物規制を見直すこととして、気候フットプリント基準を引き上げること、標準的な解体計画の要件を定めること、コンクリートやブロックのリサイクル材の有害物質基準を定めること、建設解体廃棄物の包括的ルール策定と、よりトレース性を高めることなどを定めている。そして、何より重要なことは、建築物設計においてライフサイクルアセスメントとライフサイクルコスト（LCA-LCC）ベースの設計を進めることを求めていることである。

そして、この設計的観点は建築物に限られた話ではなく、ものづくり全般の設計・生産・消費工程へのガイドを定めている。直近の統計量として、資源生産性は2008～2018年の10年で25%の向上、エコラベル製品数は7,500（2015）から18,500（2000）へ増加、シェアリングへの参加率は14%（2016）から26%（2018）へ増加、再使用製品の購入・売却は8割（2019）、2018年比で10%増という望ましい方向にあることを紹介している。対策としては、公共調達におけるエコラベル使用の強制力強化、公共調達における施主の総コスト活用導入、二次利用製品店舗活用への明確な枠組み作成を進めている。そして、EU全体に対して、EUのエコデザイン規制への循環経済観点の導入を強化する方向で貢献している。全体として、総合的なリサイクル推進と循環経済構築を目指していることが窺える。日本の取組みの立ち位置を知るうえでも参考となる知見が多い。