

資源循環・廃棄物管理と脱炭素社会構築

連載 (6) 循環経済展開における廃棄物の発生抑制

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. 循環型社会・循環経済展開と発生抑制の意義

JW センター情報 2023年4月号では、廃棄物の処理処分施設が社会の健全な環境維持のためには最後の砦になること、そうした主旨で社会のラストリゾート機能として必須であることを述べた。つまり、感染対策としての滅菌機能、有害化学物質対策としての分解制御機能、脱炭素社会に向けた炭素貯留機能の3点を取り上げて、循環型社会形成に向けた廃棄物管理の重要な役割を考えてみた。処理処分施設の機能や能力は柔軟に対処する必要はあるものの、先述の3つの事例の役割の必要性をこれからもよく理解していきたい。

一方、発生抑制が大切であることはよく言われてきたことである。3Rのなかではリサイクルの前にリデュース・リユースの2Rを、なかでもリデュースを優先するべきという意見である。今回は、発生抑制はどの程度の効果をもたらすのか、主たる抑制対象は何になるのかについて考えてみたい。ごみの中には、発生抑制行動によって抑制可能な廃棄物が一定量含まれる。廃棄物の発生が抑制できれば、その処理処分の際の温室効果ガス（GHG：Greenhouse Gas）が削減できるのみでなく、製品の製造や消費段階で背負っている温室効果ガスを削減できる。そうした削減ポテンシャルを明らかにすることで、発生抑制行動の環境負荷削減可能量を知り、優先する抑制対象への取組みを考えることができる。

本論では、ごみの組成から取り上げた食品ロスや必要以上のプラスチック素材をはじめとする発生抑制可能物のGHG削減効果をライフサイクル分析に

基づいて定量化した結果を紹介する。ただ、循環型社会や循環経済の中心的役割は、リユースやリサイクルにあるとみる見方は重要である。リサイクルが資源保全や脱炭素化に向けた対策の核であり、その前段としての発生抑制、後段の処理処分を忘れてはならないということである。脱炭素化をめざす中では再生可能資源をベースとした物質循環にシフトしなければならないという「リニューアブル（再生可能性）」も、念頭におかねばならないが、発生抑制とは異なる対策となる。

2. 廃棄物の発生抑制による脱炭素効果、とくに食品廃棄物とプラスチック素材の抑制について

ここで紹介する発生抑制方策が有する脱炭素効果の算定結果は、家庭ごみを構成する物理組成からみて発生抑制可能性のある品目を想定して、そのライフサイクル分析から算定されたものである¹⁾。具体的には、食べ残しの抑制、タンブラーやコップの利用等による使い捨てのコップの抑制、また、一部の繊維類についての抑制などを考えている。その他、使い捨てのウェットティッシュなどの使い捨て商品を発生抑制可能性のある項目として、ごみ全体の約50%（240g/人/day相当）を抑制可能と設定した。本推計では、発生抑制行動が実施されていない現状のシナリオと、発生抑制行動により発生抑制可能物が削減されるシナリオの2つのシナリオを設定し、それぞれのシナリオ間比較によりGHG削減効果とした。実際に抑制可能な割合については今後精査する必要があるが、本研究ではポテンシャルを推計す

るため、抑制可能物がそれぞれ50%抑制されると仮定したものである。具体的な発生抑制行動としては、「簡易包装・買い物袋持参」「詰替容器式商品の購入」「使い捨て容器入れ飲料水や液体調味料の購入抑制」「リユース食器の利用」などが考えられる。

システム境界は、「それぞれの発生抑制可能物の生産、使用、廃棄」とした。現状シナリオでは、発生抑制可能物の使用および廃棄について考慮し、発生抑制シナリオにおいては、発生抑制行動時に必要な代替物についての製造、使用及び廃棄を考慮し、代替物の使用にプロセスは製品ごとに異なるフローを設定した。代替物を必要としない発生抑制可能物については、発生抑制可能物使用時と同等のサービスを得ることのできる発生抑制行動による仮想フローを設定した。これらの代替物及び仮想フローによって回避される発生抑制可能物の製造、使用、廃棄を代替フローとして設定した。機能単位は、「京都市における各製品のサービスを満たすこと」とした。発生抑制行動に代替物が必要な項目の機能単位は、それぞれの必要サービス回数は発生抑制可能物の発生量から推計し、各々の発生抑制行動によってもサービスは満たされるものとしている。詳しくは、矢野らの原著論文¹⁾を参照いただくとして、こうした試算で得られた発生抑制時の温室効果ガス削減原単位を**表1**(p.24)に整理して示した。矢野らの試算結果とともに、類似の抑制対象について計算された他の研究報告値を併記している²⁻¹³⁾。

食品ロスを抑制することにより、温室効果ガスは0.5~5.0 tonCO₂e/tonの削減効果を有することが表1より分かる。研究結果によって、1桁の原単位差のある結果が報告されており、その要因の詰めは引き続きの課題であるが、平均的には矢野らの京大試算値の2.0~2.5 tonCO₂e/tonである。抑制シナリオの対照シナリオとしては、焼却エネルギー回収を想定している熱化学処理とメタン発酵やコンポスト化という生物処理を取り上げている例に大きく分かれる。それぞれの地域の現状システムを反映したシナリオになっているものとみられるが、対照を熱化学処理とするか、バイオ処理とするかで、抑制効果が大きくは変わらないように見える。Albizzati

らは、食品廃棄物への対処方策として21のシステム方策を取り上げ、その脱炭素効果やさまざまな環境負荷に関するライフサイクル分析を行っている¹⁴⁾。発生抑制の削減効果というよりは、幅広い循環方策の検討結果として報告されているため、表1への記入は控えているが、興味深い結果が多く報告されている。ここで主題としている発生抑制のほか、ヒトの消費や動物飼料への再使用、食品産業や化学産業への投入となるマテリアルリサイクル、栄養分としての肥料リサイクル、エネルギーや燃料回収を取り上げた幅広い解析が行われている。食品廃棄物抑制によるGHG排出量は-4200kgCO₂e/tonであり、再使用の-1300~-200kgCO₂e/ton、マテリアルリサイクルの-55~1200kgCO₂e/tonなどに比べて、温室効果ガス削減効果は極めて大きい。このデンマーク工科大学の食品廃棄物管理に関する持続性解析は、取り上げている循環方策の網羅性と先端性を含めて、今後の3R手法への貴重な知見を提供しており、しっかりとフォローしたい研究の一つである。また、Salemdeebら⁶⁾は、食品ロス抑制を考慮した購入削減によりGHG削減効果を得たとしても、別の製品購入によるリバウンド結果に至ることがあることに注意喚起している。英国ケンブリッジ大からの報告であるが、食品廃棄物抑制で78%の温室効果ガス削減を見込むことができるが、60%までのリバウンドを覚悟しなければならないとしており、重要なメッセージである。

プラスチック製飲料容器抑制のGHG削減原単位は0.64~4.7 tonCO₂e/tonの範囲にある。これも相当の試算値の幅があるとみなければならないが、Nessiら¹²⁾は発生抑制策として、使い捨て容器の代わりに、公共水を直接利用するシナリオ、リユース容器を利用するシナリオを比較した。その結果、公共水の直接利用が最も環境負荷(地球温暖化のみでなく、エネルギー消費、非生物資源消費、富栄養化)が低いこと、リユース容器としてはPETボトルの環境負荷が低いことを示した。ただし、リユース容器に関しては瓶詰工場との距離の感度が高く、輸送距離が重要な要素となることも指摘している。抑制行動として水道水利用によりプラスチック製容

表 1 発生抑制による温室効果ガス削減効果の既報一覧

廃棄物種類	回避可能な製品等	GHG 削減効果 [t CO ₂ /t廃棄物]	抑制方策	廃棄物処理方法 (対照 のベースラインシナリオ)	参照	
食品ロス 食品廃棄物	手付かず食品 (家庭)	2.43	食習慣の改善	焼却 (エネルギー回収)、 焼却灰埋立	矢野ら ¹⁾	
	食べ残し (家庭)	1.89	食べ残し防止	焼却 (エネルギー回収)、 焼却灰埋立	矢野ら ¹⁾	
	食品ロス (小売流通業)	1.87	余剰食糧の配布	焼却、コンポスト化、嫌 気性消化	Damiani ら ²⁾	
	食品ロス (レストランやホテル)		0.54-1.61	持ち帰り用袋使用	焼却 (エネルギー回収)、 リサイクル、メカニカル バイオ処理、埋立	Obersteiner ら ³⁾
			1.18	慈善団体へ寄付		
			1.41-5.07	食品廃棄物の追跡		
	食品ロス (家庭)	2.98-5.10	—	嫌気性消化、容器コンポ スト化、焼却 (エネルギ ー回収)、埋立	Slorach ら ⁴⁾	
	食品ロスと食品廃棄物 (家庭)	1.8	—	コンポスト、投棄	Creus ら ⁵⁾	
	食品ロス (家庭)		0.65-1.27	食料購入の削減	嫌気性消化	Salemdeeb ら ⁶⁾
			1.70-1.79			
食品ロス (家庭)	1.47	—	コンポスト、埋立	Abeliotis ら ⁷⁾		
食品ロス (家庭)	2.01	—	焼却 (エネルギー回収)、 焼却灰埋立	Matsuda ら ⁸⁾		
飲料容器	プラスチック飲料容器	3.04	リターナブルびんで 代替	焼却 (エネルギー回収)、 焼却灰埋立	矢野ら ¹⁾	
	ペット飲料容器 (観光客)	0.68-1.00	公共水道水で代用 や再利用可能な飲料 ボトル	焼却 (エネルギー回収)、 リサイクル、機械的・生 物的処理、埋立	Obersteiner ら ³⁾	
	プラスチック飲料容器 (官公庁)		1.19-4.11	ガラス瓶で代替	資源供給から生産、利用 までを考慮	Hutner ら ⁹⁾
			2.78	ウォーター・サーバ ーで代用		
	PET 飲料カップ	1.40-3.39	再利用可能な PP 製 カップで代用			
	PET ボトル (家庭)	2.59	再利用可能なプラス チックボトルで代用	焼却 (エネルギー回収)、 焼却灰埋立	Matsuda ら ¹⁰⁾	
	PET ウォーターボトル	4.1	家庭の水道水で代用	分別・リサイクル、焼却 (エネルギー回収)	Nessi ら ¹¹⁾	
PET ウォーターボトル		0.85-4.68	公共水道で代用	焼却 (エネルギー回収)、 リサイクル	Nessi ら ¹²⁾	
		(-0.29) -1.71	ガラス瓶/PET 詰め 替えボトルで代用			
日用品の 容器包装材	日用品用プラスチックボ トル (家庭)	3.42	詰め替え製品の活用	焼却 (エネルギー回収)、 焼却灰埋立	矢野ら ¹⁾	
	液体洗剤パッケージ	1.25-3.11	詰め替え容器で代用	分別・リサイクル、焼却 (エネルギー回収)	Nessi ら ¹¹⁾	
使い捨て プラスチック	使い捨てプラスチック (家庭)	3.67	使い捨て製品の回避	焼却 (エネルギー回収)、 焼却灰埋立	矢野ら ¹⁾	
	使い捨て洗面用具容器 (ホテル)	3.00-3.76	詰め替えディスペン サーで代用	焼却 (エネルギー回収)、 焼却灰埋立	Obersteiner ら ³⁾	
レジ袋	レジ袋 (家庭)	1.42	エコバッグで代用	焼却 (エネルギー回収)、 焼却灰埋立	矢野ら ¹⁾	
	レジ袋 (家庭)	4.11	エコバッグで代用	焼却 (エネルギー回収)、 焼却灰埋立	Matsuda ら ¹⁰⁾	
	レジ袋 (家庭)		4.85-4.99	エコバッグで代用	焼却、リサイクル	Nishijima ら ¹³⁾
(-0.42) -3.05						

器使用を減らす行動の抑制効果を見積もった研究が複数みられ^{9,11,12)}、2.8 tonCO₂eq/ton や 4.2 tonCO₂eq/ton という比較的大きな抑制試算値が得られている。水道水利用の効果は容器再使用より大きいとみることができ、抑制行動選択は重要で、その影響は大きいということでもある。液体洗剤やさまざまな日用品向けの詰め替え容器使用による抑制も 3.0 tonCO₂eq/ton レベルの効果を期待できる。完全代替を期待できない製品へのアプローチとしてこうした再使用ボトルの効果は有効である。

3. 脱炭素化に向けた廃棄物の発生抑制と資源循環

ごみの発生抑制可能物を 50% 抑制した際の GHG 削減効果推定結果を紹介し、関連のライフサイクル研究結果と比較してきた。ごみの発生抑制による効果は、ごみの処理処分過程の負荷削減のみでなく製品の生産段階の効果を含めた効果である。この考え方を、Cleary は発生抑制策の LCA 評価手法として、システム境界を製品の製造段階まで拡張することで発生抑制効果を定量化する手法「WasteMAP LCA (Waste Management and Prevention LCA)」として提案した^{15,16)}。抑制効果が個別製品別により幅広く詳細に推定され、具体展開に繋がっていくことが期待されるが、こうした抑制の効果は全体としてどの程度なのか、試算がはじまっている。京都市全体としての見積もりでは、合計 145 万 t-CO₂eq /y の抑制ポテンシャルが存在することが報告されている¹⁷⁾。生産回避による GHG 削減効果を中心に大分類でみた場合、紙類が 32.3% と大きく、厨芥類は 25.5% と紙類に次いで大きい結果となっている。食べ残しと手付かず食品がそれぞれ 16.6%、8.9% を占めるとしている。また細分類で見た場合には、衣服・身の回り品が 9.2% と比較的大きい割合を占める結果となった。このように食品ロスや紙ごみ、さまざまなプラスチック素材の削減ポテンシャルが大きいとみられている。行動の観点からみた時には、食べ残しをしないようにすることでの厨芥類の抑制効果が次に大きく、またバザーなどの活用による日用品などの発生抑制効果も大きいこととなっている。抑制行動ごとの実行可能性を十分に考慮できていな

い側面はあるが、削減ポテンシャルは思いのほか大きいことを常に念頭においておく価値はあるといえる。

今回仮定した 50% 抑制は大きいようにもみえるが、あながち夢物語でもない。というのも、家庭ごみ中の発生抑制可能物の種別や発生量について、京都市家庭系ごみ細組成調査では、発生抑制行動と紐付けた上で発生抑制可能物を 30 項目設定し、その発生量について 2005 年から調査している。2016 年度の組成では、家庭系ごみの 39% について抑制可能性があり、一人当たり 456 g/人/day 発生している家庭ごみを 179 g/人/day 減少させることができるとみられている¹⁸⁾。すでに京都市では、家庭ごみ発生量についてピーク時からの半減を達成してきており、依然として微減ながら減量が継続している。ピーク時の 3~4 割の発生量とすることも視野に入りつつある。そうした抑制減量分の一部が、純粹な意味での抑制になったり、リユース・リサイクル対象となってきたわけである。そして、残されたこれまでの 2 分の 1 を下回るフローでもって今後の動静脈系を維持し、そのフローの多くを再生可能素材で維持する姿を思い描くことができつつある。こうして一定量の抑制を果たしたフローでもって、リサイクルを基調とした循環系を構成していくことが、脱炭素化時代の資源循環と廃棄物管理の姿であるといえよう。

参考文献

- 1) Yano J, Yanagawa R, Koshihara J, Hirai Y, Sakai S (2023) Greenhouse gas reduction potential by household waste prevention, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01647-2>
- 2) Damiani M, Pastorello T, Carlesso A, Tesser S, Semenzin E (2021) Quantifying environmental implications of surplus food redistribution to reduce food waste. *J Clean Prod* 289: 125813. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125813>
- 3) Obersteiner G, Gollnow S, Eriksson M (2021) Carbon footprint reduction potential of waste management strategies in tourism. *Environ Dev*. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100617>
- 4) Slorach PC, Jeswani HK, C-Franca R, Azapagic A (2020) Assessing the economic and environmental sustainability of household food waste management in the UK: Current situation and future scenarios. *Sci Total Environ* 710(25)135580
- 5) Creus AC, Saraiva AB, Arruda EF (2018) Structured evaluation of food loss and waste prevention and avoidable impacts: a simplified method. *Waste Manage Res* 36(8): 698–707. <https://doi.org/10.1177/0734242X18778779>
- 6) Salemdeeb R, Font Vivanco D, Al-Tabbaa A, zu Ermgassen EKJ (2017). A holistic approach to the environmental evaluation of food waste prevention. *Waste Manage*, 59, 442–450. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.042>
- 7) Abeliotis K, Lasaridi K, Costarelli V, Chroni C (2015) The implications of food waste generation on climate change: the case of Greece. *Sustainable Prod Consum* 3 (June) : 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.06.006>
- 8) Matsuda T, Yano J, Hirai Y, Sakai SI (2012) Life-cycle greenhouse gas inventory analysis of household waste management and food waste reduction activities in Kyoto, Japan. *Int J Life Cycle Assess* 17(6) : 743–752. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0400-4>
- 9) Hutner P, Helbig C, Stindt D, Thorenz A, Tuma A (2018) Transdisciplinary development of a life cycle-based approach to measure and communicate waste prevention effects in local authorities. *J Ind Ecol* 22(5) : 1050–1065
- 10) Matsuda T, Hirai Y, Asari M, Yano J, Miura T, Ii R, Sakai S (2018) Monitoring environmental burden reduction from household waste prevention. *Waste Manage* 71: 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.014>
- 11) Nessi S, Rigamonti L, Grosso M (2015) Packaging waste prevention activities: A life cycle assessment of the effects on a regional waste management system, *Waste Management & Research*, 33(9), 833–849, <https://doi.org/10.1177/0734242X15587736>
- 12) Nessi S, Rigamonti L, Grosso M (2012) LCA of waste prevention activities: a case study for drinking water in Italy. *J Environ Manage* 108: 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.025>
- 13) Nishijima A, Nakatani J (2016) Life cycle assessment of discontinuation of plastic shopping bags considering differences in the indirect effects of municipal waste management policies. *J Japan Soc Mater Cycles Waste Manage*, 27, 44–53. <https://doi.org/10.3985/jjsmc.wm.27.44> (in Japanese)
- 14) Abizzati PF, Tonini D, Astrup TF (2021) A quantitative sustainability assessment of food waste management in the European Union, *Environ Sci Technol* 55(23), 16099–16109
- 15) Cleary J (2010) The Incorporation of Waste Prevention Activities into Life Cycle Assessments of Municipal Solid Waste Management Systems: Methodological Issues, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15 [6], 579–589
- 16) 酒井伸一、矢野順也：廃棄物の発生抑制政策に関する欧州と日本の比較、*廃棄物資源循環学会誌*, 26 [4], 290–304, 2015
- 17) 矢野順也、柳川立樹、島野侑加、浅利美鈴、平井康宏、酒井伸一 (2018) 家庭ごみ中の発生抑制可能物の温室効果ガス削減ポテンシャル, 第29回廃棄物資源循環学会研究発表会 A1-5
- 18) 京都市環境政策局 (2017) 平成28年度家庭系ごみ細組成調査