

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18228

研究課題名（和文）低炭素社会構築に向けた炭素二次資源循環利用技術選択・開発指針提言ツールの開発

研究課題名（英文）Building technology choice and development support tools toward achieving a low-carbon society with carbon circulation

研究代表者

大野 肇 (Ohno, Hajime)

東北大学・工学研究科・助教

研究者番号：20769749

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：温室効果ガス排出削減に向け、現在使用中の製品に含まれる炭素を燃焼を介してCO₂として排出しないことも重要であると考え、炭素含有製品をリサイクルすることでもたらされる排出削減効果の最大量を定量化した。2011年に製造された製品中の炭素のうち、家計消費されたものをすべて燃焼させると15.8 Mt-CO₂に相当し、年間排出量の1.2%に相当する。すべてをリサイクルすることで、その燃焼による直接排出だけでなく、リサイクル先の素材生産工程の排出を間接的に回避することができることに着目し、直接間接合計で30.2 Mt-CO₂が排出回避可能であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでのリサイクル技術のLCAでは、特定の廃棄物に対して特定のリサイクル技術を適用する事例研究が中心であった。本研究は、幅広い製品種に素材の形で含有される炭素に着目し、リサイクル技術を特定せずに、「その炭素が、リサイクルによって完全同質の素材に再生できるとしたら」の前提に基づいて、循環利用できる炭素の最大量を見積もった。化学繊維製造時のCO₂排出量が多きことから、衣料品の長期利用、再利用、効率的なリサイクルが重要であること、リサイクル率が高いと思われがちなプラスチック製品も、適切なリサイクル関連法が適用されないためにプラスチック中炭素の約40%が散逸していることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：For deep carbon emission reductions beyond decarbonization of the energy supply, recycling-induced elimination of materially retained carbon (MRC) releases to the atmosphere has a great direct reduction potential. Moreover, recycled materials indirectly avoid the manifestation of cradle-to-gate carbon footprints of virgin materials that would otherwise enter anthropogenic cycles. This study comprehensively quantifies the carbon emission reduction potential of recycling activities through an input-output-based material flow analysis. Here, we reveal the Japanese economy-wide potential emission savings, 30.2 Mt-CO₂ could have been achieved through maximal MRC recycling from households (i.e., post-consumer recycling) in 2011. The identified structures of direct and indirect reductions on value chains allow for efficiently directing the advancement of recycling technologies and policies toward the deep decarbonization of society.

研究分野：産業エコロジー

キーワード：炭素循環 プラスチックリサイクル 産業関連分析 マテリアルフロー解析

1. 研究開始当初の背景

2015年、温室効果ガス(GHG)排出削減に対する明確な目標としてパリ協定が合意に至った。我が国では2030年までに、2013年比26%の削減目標を掲げ、主に再生可能エネルギーを重視した電源構成の構築および産業プロセスの効率化によりそれを達成することを目指している[1]。全体で26%削減目標のうち、森林管理や都市緑化によるGHG吸収が2.6%を担うとされており、CO₂を吸収することで成長した樹木由来の木材製品の効率的な長期利用が求められる[1]。一方で、化石燃料の素材としての利用を製品中への炭素の固定と捉え、石油化学由来のプラスチック製品やゴム製品は木材同様長期に渡って有効に使用され続けられ、一定期間炭素を貯留する媒体となり得る。

申請者の前研究課題(16K20914)において、我が国が年間(2011年)で新たに生産し最終消費された製品中に固定された炭素は石油化学由来740万トン、樹木由来840万トンであり、CO₂に換算すると年間排出量の4.6%に相当することが明らかとなった[2]。従って極論ではあるが、その製品中の炭素をすべて社会に滞留させ続けることが可能ならば、4.6%の排出削減につながる。しかしながら、当然、炭素を固定し続ける形態(図1中:樹脂、合成ゴム、製材等)及び消費が放出に直結する形態(化学最終製品に分類されている化粧品、木材基礎製品等)がそれぞれ存在し、すべてを循環利用することはできない。さらに固定期間は製品の寿命に起因し、廃棄された製品の処理の段階で炭素を滞留に戻すことができる手法(マテリアルリサイクル:MR、フィードストックリサイクル:FR)が存在するか否かも重要な因子である。

MR・FR技術は形態毎に研究開発され[3,4]、環境影響評価によってGHG排出などの環境負荷を低減する効果を持つことが明らかとなっている[3]。しかしながら、採算面や回収可能性と処理施設の規模のバランス等の現実的な問題から、MR・FRの廃棄物処理に占める割合は比較的分別回収が進んでいるプラスチックでも25%程度に留まっている[5]。一方で、熱回収を含む燃焼処理は70%を占める。この現状では、固定炭素の多くは1度のライフサイクルで大気中へ放出されていると言え、研究開発と実装の間には大きな障壁があることが窺える。結果として、廃棄物の燃焼により排出されるGHGは年間排出量の2.3%を占めていることから、障壁を取り払い固定炭素滞留維持を増強することは、GHG排出削減に寄与することが考えられる。

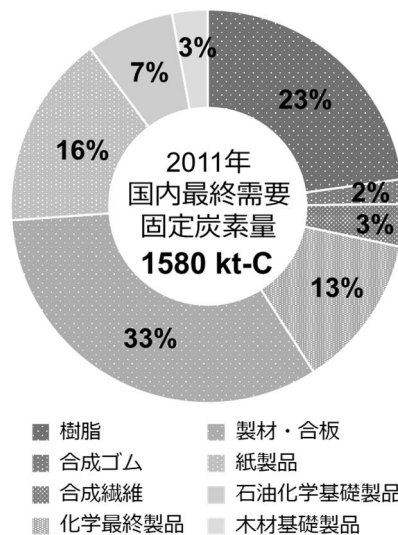


図1 国内最終需要随伴炭素形態割合

2. 研究の目的

当研究課題では、製品中に固定されている炭素に着目し、その滞留維持による低炭素社会実現

への方策を議論する。素材のサプライチェーンを可視化するマテリアルフロー解析研究はこれまで金属元素[6]や農業塩類[7]については多く議論されてきたが、製品に含まれるマテリアルとしての炭素について着目した研究は僅少である。本研究課題で取り扱う炭素は、石油化学由来、樹木由来の両方を考慮する。

3. 研究の方法

産業連関表に基づく製品中固定炭素マテリアルフロー解析を介して、家計で消費される製品に含まれる炭素量を定量し、それらが将来リサイクルを介して循環利用可能とした場合の、GHG排出量削減ポテンシャルを見積もった。製品中に含まれる炭素は、プラスチックや化学繊維、ゴムなどといった素材として存在する。廃製品処理(リサイクル)の過程で、製品がすべて

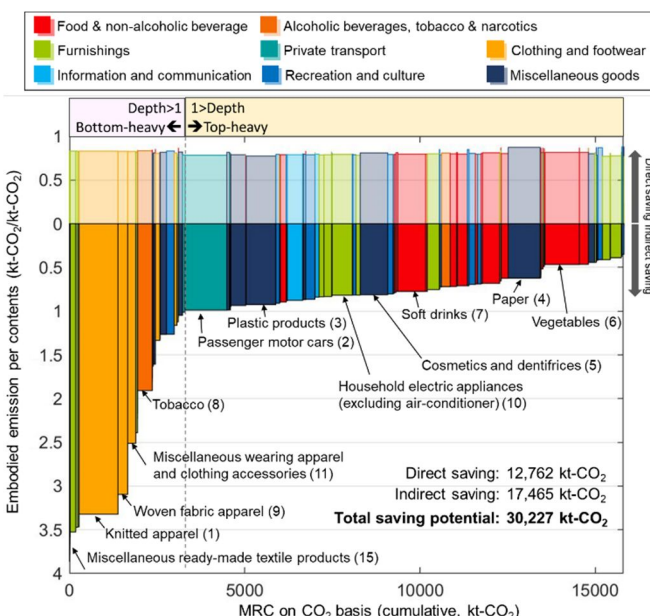


図2 リサイクルによる直接(上)間接(下)排出削減ポテンシャル[8]

素材の単位まで分解でき、その素材が再利用可能だとすれば、当該リサイクルによって、同質素材のバージン材からの製造が回避できたと考えられる。また、廃製品をリサイクルをせずに焼却した場合は含有されていた炭素は CO₂ として排出されることになる。従って、リサイクルが行われたことによってバージン材からの同質素材の製造の回避分(間接排出)と焼却の回避分(直接排出)の両方が回避できると考えられる。この考えの元、家計が消費する製品のリサイクルが持つ、直接・間接 GHG 排出回避ポテンシャルを定量した。

4. 研究成果

2011 年に製造された製品中の炭素のうち、家計消費されたものをすべて燃焼させると 15.8×10^6 t-CO₂ に相当し、年間排出量の 1.2% に相当する。すべてをリサイクルすることで、その燃焼による直接排出だけでなく、**リサイクル先の素材生産工程の排出を間接的に回避することができることに着目し、直接間接合計で 30.2×10^6 t-CO₂ が排出回避可能であることを明らかにした(図 2)**。リサイクル対象の製品別にみると、衣料品に関連する製品のリサイクルによる間接排出回避ポテンシャルが大きいことがわかる。これは、化学繊維の製造時の GHG 排出量が大きいことに由来する。従って、衣料品の長期利用や再利用の促進、効率的なリサイクル方法の確立がのぞまれる。本研究では、特定の製品に対する、特定のリサイクル技術の適用効果を評価したわけではなく、あくまで排出削減の最大ポテンシャルを示したに過ぎない。従って、本研究結果はポテンシャルの大きい製品を選定し、そのポテンシャルを最大限発揮できるようリサイクル技術の探索、または開発に対する指標として用いることが可能である。

参考文献 [1] 環境省 日本の約束草案. <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2020.html>, [2] Ohno et al. Environ. Sci. Technol. 2018, 52, (7), 3899-3907., [3] Lazarevic, D., et al., Resour. Conserv. Recycl. 2010, 55, (2), 246-259., [4] Saito, Y., et al., KAGAKU KOGAKU RONBUNSHU 2017, 43, (4), 178-184., [5] 一般社団法人 プラスチック循環利用協会 プラスチックリサイクルの基礎知識; 2015., [6] Graedel, T. E., et al., Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 2015, 112, (20), 6295-6300., [7] Matsubae, K., et al., Chemosphere 2011, 84, (6), 767-772., [8] Ohno et al., 2021, Resour. Conserv. Recycl. 2021, 166

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ohno Hajime, Shigetomi Yosuke, Chapman Andrew, Fukushima Yasuhiro	4. 巻 166
2. 論文標題 Detailing the economy-wide carbon emission reduction potential of post-consumer recycling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Resources, Conservation and Recycling	6. 最初と最後の頁 105263 ~ 105263
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.resconrec.2020.105263	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shigetomi Yosuke, Ohno Hajime, Chapman Andrew, Fujii Hidemichi, Nansai Keisuke, Fukushima Yasuhiro	4. 巻 53
2. 論文標題 Clarifying Demographic Impacts on Embodied and Materially Retained Carbon toward Climate Change Mitigation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 14123 ~ 14133
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.est.9b02603	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hajime Ohno
2. 発表標題 Comprehensive Quantification of Potential Benefits from Plastic Recycling
3. 学会等名 IFSR 2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野 肇
2. 発表標題 素材としての炭素滞留から見たカーボンマネジメントの可能性
3. 学会等名 日本LCA学会第15回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤 由樹, 大野 肇, 福島 康裕
2. 発表標題 序列付きシステム合成による 未知な条件の存在下でのプラスチック循環社会の設計支援
3. 学会等名 日本LCA学会第15回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hajime Ohno, Yosuke Shigetomi, Yasuhiro Fukushima
2. 発表標題 Evaluation of Carbon Intensity of Goods Consumed by Households by Integrating Footprint and Flow of Carbon: the Case of Japan
3. 学会等名 The13th Biennial International Conference onEcobalance (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安地幸乃、大野肇、福島康裕
2. 発表標題 最適化による技術選択手法を応用した新技術の複数要素間すり合わせに資するライフサイクル視点導入
3. 学会等名 第14回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------