

ライフサイクル視点によるもみ殻の回収と再資源化に関する環境影響評価

○ (学) 劉嘉睿¹⁾、張政陽¹⁾、(正) 松八重一代¹⁾

1) 東北大学大学院

1. はじめに

環境問題の多くが、「大量生産・大量消費・大量廃棄」型の社会経済活動と結びついている¹⁾。地域社会を持続可能な状態に保つためには、資源採取から廃棄に至るまでの各段階で環境負荷を低減することが求められる²⁾。未利用資源を回収・再資源化し、廃棄物処理・処分量を削減することは、廃棄物排出に関わる環境負荷を軽減する上で重要な課題の1つである³⁾。農業分野においても、世界的な人口増加に伴い、特に人口の多い国である中国において、増大する食料需要に対応して農業生産が急激に拡大している。これにより農業副産物の発生量増大を引き起こし、野焼きによる大気汚染などの問題⁴⁾を引き起こしている。

農業副産物とは、農産物の生産及び加工過程で生成された付随的な物である⁵⁾。最も大きな農業生産物の一つである米に着目すると、2018年の中国における水陸稲の収穫量は2億トン/年を超え⁶⁾、そのうちもみ殻(Rice Husk, RH)の発生量はその20%を占めており⁴⁾、およそ4千万トン/年と推計される。従来のもみ殻の堆肥化や燃料化としての処分方法において引き起こされる悪臭、大気汚染⁴⁾及び最終処分場不足³⁾は大きな社会問題となっている。この問題への対策の一つとしてRHを原料とするライスハスクシリカ(Rice Husk Silica, RHS)の抽出・利活用を含めた廃棄物系バイオマス活用技術の開発・実用化が多いに期待されている。

シリカ(Silica, SiO₂)の一次資源は主に珪石である。タイヤ産業などに添加剤とする需要を受け、ますます増えているSiO₂需要量に対し、中国における2015年の供給量は164万トン/年で、世界全体の64%に達した⁷⁾。それに伴う珪石の露天掘りを主とする採掘方法による環境破壊、また尾鉱による河川・海洋汚染が深刻化している。一方、RHの燃焼過程から約25%のもみ殻灰が得られる。無機成分であるもみ殻灰(Rice Husk Ash, RHA)には約90%の非晶質SiO₂が含まれていることから⁴⁾、中国におけるRH由来のSiO₂の利用ポテンシャルは900万トン/年であると推計される。RHから抽出されるSiO₂が、これまでの鉱石由来のSiO₂の一部を代替することは、鉱物資源の使用量の削減及び一次資源調達における環境負荷の軽減に貢献できるものと期待される。

奥谷(1996)はRHからSiO₂を抽出し、その工業的利用の可能性を論じた⁸⁾。また、これまでにいくつかの先行研究においてRHを原料としての利用価値⁹⁾、RHS抽出技術について反応条件の最適化¹⁰⁾及びSiO₂純度の向上¹¹⁾に関する様々な技術提案が行われている。RHS抽出技術の導入により米の生産プロセスからの廃棄物発生量が抑えられることは示唆されているが、製品ライフサイクルの一部のプロセスを切り出した評価に留まっている¹²⁾。RHの回収及び加工プロセスにおける追加的なエネルギー消費や原料投入に伴い、新たな環境負荷が発生するため、製品のライフサイクル全体を通じてRHS抽出技術の導入による環境負荷とその削減効果を定量的に評価することが重要である。

2. 研究目的

本研究はライフサイクルインベントリ(Life Cycle Inventory: LCI)分析により、中国を対象とし、中国における反応物の投入量、電力・エネルギー消費、輸送距離に基づき、発生するRHの一部にRHS抽出技術を適用した場合、鉱石由来のSiO₂精製プロセスに比べ、RH由来のSiO₂抽出プロセスの導入は、どの程度の環境負荷軽減に寄与できるかを明らかにする。そのため、CO₂排出量を指標として、地球温暖化への防止効果を解析し、鉱石由来のSiO₂精製の代替技術であるRHS抽出技術による気候変動への影響を解明する。これにより、農業副産物のさらなる利活用を促進しつつ、その有効性と削減効果を検討し、将来的に農業副産物の利活用を導入する上での持続可能な農業生産の実現性についての提言につなげる。

3. 研究方法

本研究では、まず、鉱石由来のSiO₂精製プロセス及びRH由来のSiO₂抽出技術プロセスを調べる。次に、大規模農業生産における主生産物と副産物の産出率をもとに1トンのSiO₂を生産する際に、各過程の原料投入量を精査する。また、RH由来のSiO₂生産事例に基づく現地調査を実施し、反応物の投入またエネルギー消費、さらに排ガス・排水量のインベントリデータを得た上で、インベントリ表を作成する。最後に、LCI分析を用いて全プロセスを原料調達、生産、流通、廃棄・リサイクル4つの段階を分け、1トンのSiO₂が生成する場合、全プロセスまたは段階別のインベントリ分析を行い、CO₂排出量を比較する。

分析に際し、二つのシナリオを設定する。一つ目は、RHが廃棄物とする米生産プロセス(図1-a)及び鉱石由来のSiO₂精製プロセス(図1-b)を現行シナリオである。二つ目は、もみ殻を焼却処分の代わりに、その中に含まれるSiO₂を抽出するプロセス(図1-c)をRHS抽出シナリオと設定する。また、図1に示すように、ここでは、白米と天然シ

【連絡先】〒980-8572 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1 環境科学研究科本棟 505 号室 松八重研究室
劉嘉睿 Tel: 022-752-2265 e-mail: liu.jiarui.r7@dc.tohoku.ac.jp

【キーワード】農業副産物、もみ殻、LCA、インベントリ分析、ライスハスクシリカ

リカなど主生産物の利用・販売段階を除き、米生産、SiO₂精製及びRHS抽出のプロセスから原料採取から廃棄・リサイクルまでの工程を研究の範囲としている。

本研究において、各種資源・エネルギー投入プロセスに関わるインベントリデータは日本の LCI データベース IDEA を参照する。IDEA に適用するため、中国におけるジャポニカ米を栽培する地域のみを対象とする。また、1 トンの SiO₂ を生成する時の反応物の投入量、輸送距離・廃棄物処分量に関わるデータは中国統計年鑑及び公開情報に基づく。環境影響は上記の LCI 分析結果に活動量を乗じるにより算出する。

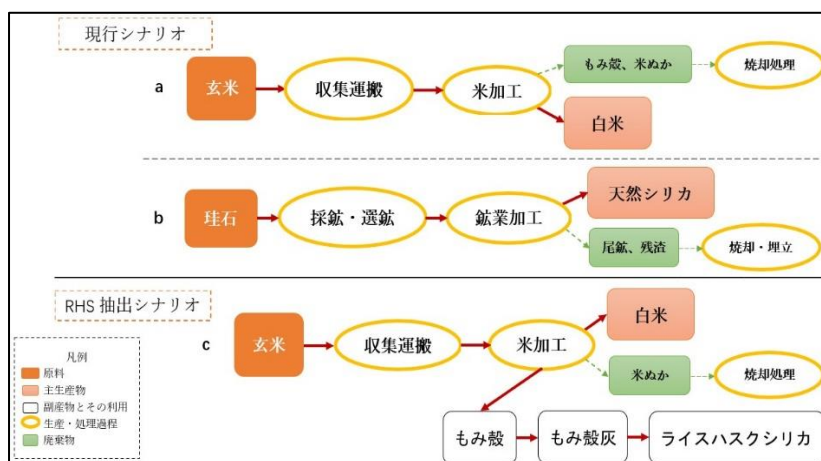


図1：シナリオ別の米・シリカの生産工程及び研究範囲

4. 結果

図2は1トンのSiO₂を生産する場合、現行シナリオの結果からRHS抽出シナリオの結果を差し引いた段階別のCO₂排出量の増減状況を表している。RHS抽出シナリオにおけるCO₂の総排出量は現行シナリオより1.28%、約1330.44kg-CO₂eqが減少した。そのうち、流通、廃棄・リサイクル段階でのCO₂排出量がそれぞれ95.39% (2726.87kg-CO₂eq)、18.61% (6678.59kg-CO₂eq)減少したが、原料調達、生産段階ではそれぞれ2.36% (1503.66kg-CO₂eq)、405.56% (6571.37kg-CO₂eq)を増加する結果が示された。

上記の通り、現行シナリオよりRHS抽出シナリオでは1トンのSiO₂再資源化に対してCO₂排出量が1330.44kg-CO₂eq減少した一方で、原料調達や生産段階でのCO₂排出量はそれぞれ1503.66kg-CO₂eq、6571.37kg-CO₂eq増加した。

5. まとめ

この分析によりRH由来のSiO₂抽出技術、特に農業副産物の再資源化により流通、廃棄・リサイクル段階に対し、地球温暖化への防止効果があることが示され、鉱物資源の代替資源として今後の利用拡大が期待される。一方、RHS抽出シナリオにおいて生産段階でのCO₂排出量が増加しており、その原因はRHS抽出プロセスに強酸、強アルカリ溶液を使用することによると考えられる。

本研究において、農業副産物の利活用による環境負荷削減への有効性とその削減効果が示された。この結果より、農業副産物のさらなる利活用は持続可能な農業生産の構築に貢献しており、ライフサイクル視点に基づく環境負荷削減に大きく寄与することが示された。

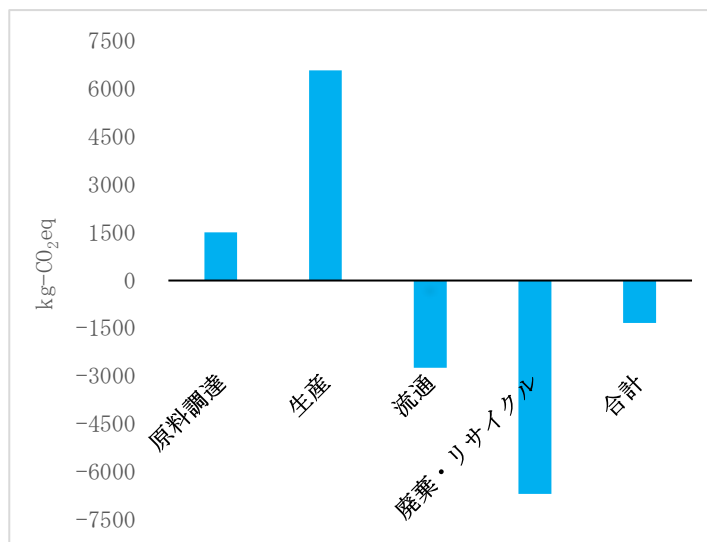


図2：シナリオ間比較によるSiO₂生産工程におけるプロセス別CO₂排出量の変化

参考文献

- 1) 森口祐一, 環境システム研究 Vol.25, 1997.10, 557-568
- 2) 天野耕二ほか, 環境システム研究論文集 Vol.29, 2001.11, 215-223
- 3) 天野耕二ほか, 環境システム研究 Vol.25, 1997.10, 255-259
- 4) SK S. Hossain, et al. Journal of Asian Ceramic Societies. Vol.6 No.4 (2018), 299-313
- 5) N.Bandara et al. Encyclopedia of Food Chemistry Vol.3, 2019 472-480
- 6) FAOSTAT, 2018
- 7) 鉱物資源データブック第2版, 2017
- 8) 奥谷猛ほか, Netsu Sokutei 23(3), 1996, 117-127
- 9) S.Chandrasekhar et al. Journal of materials science 38(2003) 3159-3168
- 10) M.N. Uddin, et al. International J. of Renewable Energy Resources 8 (2018) 7-12;
- 11) E. Rohaeti et al. Materials Science and Technology (2010) pp.265-272;
- 12) Hossein Beidaghy Dizaji et al. Applied Sciences. 2019. 9. 1083