木材分野のLCA文献レビュー

一重 喬一郎^{1,*}

A Literature Review of Life Cycle Assessment Study in Wood, Wooden Material and Wood Fuel

Kyoichiro HITOE^{1,*}

1. はじめに

一般に、木材は環境に優しい材料とされているが、そのことを定量的に検証するにはLCAによる評価が必要である。本稿では、木材分野のLCA文献をレビューすることで、これまでに得られた知見と今後の課題を整理する。なお、レビューの範囲は、木材・木質材料ならびに木質バイオマスエネルギーとした。木材・木質材料については、丸太、製材、合板、集成材などの中間製品を評価対象とし、家具や住宅などの木製品は含めなかった。木質バイオマスエネルギーについては、チップやペレットに加工した上での熱供給や発電などを対象とし、エタノール製造などの化学変化プロセスを含む場合は含めなかった。

2. 報告書・論文

(1) 木材・木質材料

国内では、2000年代の後半頃から木材・木質材料を対象としたLCAの事例が徐々に蓄積されてきた。対象製品は、丸太、製材、合板、集成材などで、特に製材を対象とした事例は多い。それらのうち、近郊の山林で調達した国産丸太から製造した製材の環境負荷と外国産製材のそれとを比較して、環境側面での優位性の検証を目的としたものが比較的多い。また、製材を評価対象とする多くの事例において、木質バイオマスボイラーの導入により乾燥の熱源を石油燃料から製材残材へ切り替える必要が指摘されている。さらに、小規模な製材工場では木質バイオマスボイラーの導入は困難なため、木質バイオマスボイラーを有する製材工場への乾燥工程の外注がより現実的なGHG排出低減策であるとも指摘されている。

海外では、北米や欧州を中心として木材・木質材料を対象としたLCAが実施されている。欧州では、COST (European Cooperation on Science and Technology) と呼ばれる科学技術研究協力機構における事業の一環として

COST Action E9と呼ばれるプロジェクトが立ち上げられ、12ヶ国における丸太生産のエネルギー消費量とGHG排出量が調査され、2001年に報告された。北米では、木材の環境性能を評価することなどを目的にCORRIM (Consortium for Research on Renewable Industrial Materials) と呼ばれるコンソーシアムが15の研究機関と複数の協力企業、協会、行政機関により構成され、広範な木材・木質材料を対象としたLCAが組織的に実施されている。その成果は2005年、2010年、2013年に報告書として公表され、別途、論文としても多数報告(報告書の内容と重複するため表1には掲載せず)されている。CORRIMによる木材・木質材料を対象としたLCAの取組みは、対象製品の網羅性やデータ更新の継続性の点から、世界的にみて随一の規模であると言える。その他には、北欧諸国における丸太の評価事例や、木質繊維板の評価事例が比較的多く報告されている。

(2) 木質バイオマスエネルギー

国内では、樹木の伐採後林地に放置される林地残材や製材工場で発生する製材残材を、木材乾燥の熱源や発電燃料、木質ペレットなどに利用した場合の評価事例が報告されている。国内での評価事例を踏まえると、木質バイオマスは熱供給に利用するとCO₂やGHGの排出を削減可能であるが、蒸気式の専焼発電に利用すると削減可能量は熱供給の場合より小さく、場合によっては排出増につながる恐れが指摘されている。ただし、木質バイオマス発電の評価事例については、熱電併給や石炭火力発電における混焼などの評価は十分でない。

海外では、木質バイオマスエネルギーを対象とした評価事例も北米と欧州における取組が多い。薪、おが粉など複数の形態の木質バイオマスを利用することで回避されるGHG排出量の評価や、製材工場で製材残材などを利用した製材乾燥と発電の評価、木質ペレットによる暖房と天然ガスによる暖房の環境影響の比較評価などが報告されている。

1 林野庁 東北森林管理局 / 〒010-8550 秋田県秋田市中通 5-9-16

1 Tohoku Regional Forest Office, Forestry Agency / 5-9-16 Nakadori, Akita, Akita 010-8550

* 連絡先 (Corresponding author), Kyoichiro.hitoe@gmail.com

表1 木材分野のLCA文献一覧

報告書（木材・木質材料_国内）					
著者		年	報告書名	発行機関	
環境低負荷型木質資源利用促進調査委員会		1999	環境低負荷型木質資源利用促進調査	林野庁	
林業機械化協会		2007	木材のライフサイクルインベントリに関わる林業機械の二酸化炭素排出量調査報告書	林業機械化協会	
東京産木材による木造住宅のLCA調査実行委員会		2007	地産地消型木造住宅のLCA調査報告書-木材及び木質材料の比較を中心として-改訂版	東京産木材による木造住宅のLCA調査実行委員会	
論文（木材・木質材料_国内）					
著者	年	タイトル	掲載誌	巻(号)	頁
丸太					
岩岡ら	2008	木材生産作業のエネルギー消費と二酸化炭素排出量（前編）	機械化林業	654	1-7
岩岡ら	2008	木材生産作業のエネルギー消費と二酸化炭素排出量（後編）	機械化林業	655	1-6
古俣ら	2009	カラマツ丸太生産におけるCO ₂ 排出のインベントリ分析	日本LCA学会誌	5(1)	131-137
仲畑ら	2011	林業作業におけるCO ₂ 排出量算定と収支分析－栃木県の林業事業体を対象として－	森林利用学会誌	26(3)	187-194
一重ら	2013	国産丸太のライフサイクルアセスメント事例	木材学会誌	59(5)	269-277
製材					
能本ら	2005	木材生産を通じた炭素の収支分析－福岡県八女地域を事例として－	日本森林学会誌	87(4)	313-322
山内ら	2009	長野県北部におけるスギと長野県東部におけるカラマツのCO ₂ 排出原単位及び木造住宅におけるCO ₂ 排出量の算出	日本建築学会環境系論文集	74(645)	1261-1267
川鍋ら	2010	木造住宅の国産・輸入製材の生産から施工地輸送までの二酸化炭素排出量と算定上の問題整理	日本建築学会技術報告集	16(32)	37-42
小田ら	2010	宮崎県内の製材工場におけるエネルギー消費量	木材工業	65(12)	582-585
重川ら	2011	新潟県の製材所を対象とした年間エネルギーCO ₂ 排出量 木材の地産地消に関する研究 その1	日本建築学会環境系論文集	76(666)	721-726
洲上ら	2012	地産地消型製材製品のプロセスの違いがカーボンフットプリントに与える影響 京都府産認証木材を事例として	日本木材学会誌	58(3)	153-162
合板					
洲上ら	2010	木材製品の製造プロセスにおけるCO ₂ 排出量の評価－京都府産スギ合板の地産地消によるCO ₂ 削減効果の検証－	日本建築学会環境系論文集	75(655)	861-867
集成材					
津田ら	2006	現地調査に基づく地場産構造用集成材の環境影響評価	日本建築学会技術報告集	(24)	249-253
製材、合板、集成材					
古俣ら	2011	国産および外国産木質建築部材の生産・輸送に伴うGHG排出量	日本LCA学会誌	7(2)	175-185
方法論、データベース					
一重ら	2009	国産構造用製材のLCI実施における配分について	日本LCA学会誌	5(4)	456-461
古俣	2010	製材、集成材および合板製造における温室効果ガス排出量の算出とその方法に関する諸課題	林産試験場報	539	1-5
大城ら	2010	輸入木材のLCAデータベースの構築	日本建築学会技術報告集	16(33)	609-614
南部ら	2012	建築用木材のLCAデータベースの構築	日本建築学会技術報告集	18(38)	269-274
報告書（木材・木質材料_海外）					
著者		年	報告書名	発行機関	
Karjalainen T. et al.		2001	Energy, Carbon and Other Material Flows in the Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products – Achievements of the Working Group 1 of the COST Action E9	European Forest Institute	
CORRIM		2005	Phase 1 Research Report - Life Cycle Environmental Performance of Renewable Building Materials in the Context of Residential Construction	CORRIM	
CORRIM		2010	Phase 2 Research Report - Life Cycle Environmental Performance of Renewable Building Materials in the Context of Residential Construction	CORRIM	
CORRIM		2013	Updated Phase 1 Research Report - Cradle to Gate Life Cycle Assessment Reports for US Wood Products by Region	CORRIM	
論文（木材・木質材料_海外）					
著者	年	タイトル	掲載誌	巻(号)	頁
丸太					
Berg	1997	Some aspects of LCA in the analysis of forestry operations	Journal of Cleaner Production	5(3)	211-217
Klvac et al.	2003	Energy Audit of Wood Harvesting Systems	Scandinavian Journal of Forest Research	18	176-183
Berg et al.	2003	Comparison of greenhouse gas emissions from forest operations in Finland and Sweden	Forestry	76(3)	271-284
Berg et al.	2005	Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden	Journal of Cleaner Production	13	33-42
González-García et al.	2009	Environmental impacts of forest production and supply of pulpwood: Spanish and Swedish case studies	International Journal of Life Cycle Assessment	14	340-353
Klvac et al.	2009	Characteristic fuel consumption and exhaust emissions in fully mechanized logging operations	Journal of Forest Research	14	328-334

木質繊維板					
Rivela et al.	2006	Life Cycle Inventory of Particleboard: A Case Study in the Wood Sector	International Journal of Life Cycle Assessment	11(2)	106-113
Rivela et al.	2007	Life cycle inventory of medium density fibreboard	International Journal of Life Cycle Assessment	12(3)	143-150
González-García et al.	2009	Environmental performance assessment of hardboard manufacture	International Journal of Life Cycle Assessment	14(5)	456-466
Lopes Silva et al.	2013	Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil	International Journal of Life Cycle Assessment	18(7)	1404-1411
方法論、データベース					
Jungmeier et al.	2002	Allocation in LCA of Wood-based Products Experience of Cost Action E9 Part 1. Methodology	International Journal of Life Cycle Assessment	7(5)	290-294
Jungmeier et al.	2002	Allocation in LCA of Wood-based Products Experience of Cost Action E9 Part 2. Examples	International Journal of Life Cycle Assessment	7(6)	369-375
Hischier et al.	2005	Developments in Wood and Packaging Materials Life Cycle Inventories in ecoinvent	International Journal of Life Cycle Assessment	10(1)	50-58
Eshun et al.	2010	Inventory analysis of the timber industry in Ghana	International Journal of Life Cycle Assessment	15(7)	715-725
報告書（木質バイオマスエネルギー_国内）					
著者		年	報告書名	発行機関	
小木ら		2003	木質系バイオマス・エネルギーの利用技術及び供給可能量の評価に関する研究（3）木質系バイオマスのエネルギー変換技術の評価	環境省	
株式会社森のエネルギー研究所		2012	木質バイオマスLCA評価事業報告書	株式会社森のエネルギー研究所	
論文（木質バイオマスエネルギー_国内）					
著者	年	タイトル		掲載誌	巻(号) 頁
川島ら	2004	製材工程で発生する木質バイオマスのエネルギー利用と二酸化炭素削減の可能性		森林利用学会誌	19(1) 43-48
石坂ら	2007	ペレットストーブのライフサイクル環境影響評価		日本LCA学会誌	3(1) 45-51
古俣ら	2010	北海道産木質ペレットのライフサイクルアセスメントによる環境影響評価		木材学会誌	56(3) 139-148
一重ら	2011	製材残材のエネルギー利用における温室効果ガス排出量の評価		木材学会誌	57(2) 63-71
古俣ら	2013	林地残材を用いた発電のライフサイクルアセスメント 温室効果ガス排出量の削減に関する一考察		木材学会誌	59(1) 22-28
論文（木質バイオマスエネルギー_海外）					
著者	年	タイトル		掲載誌	巻(号) 頁
Heller et al.	2004	Life cycle energy and environmental benefits of generating electricity from willow biomass.		Renewable Energy	29 1023-1042
Petersen, A.K.	2006	A comparison of avoided greenhouse gas emission when using different kinds of wood energy		Biomass and Bioenergy	30 605-617
Magelli et al.	2009	An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe		Biomass and Bioenergy	33 434-441
Solli et al.	2009	Life cycle assessment of wood-based heating in Norway		International Journal of Life Cycle Assessment	14(6) 517-528
Roedl	2010	Production and energetic utilization of wood from short rotation coppice—a life cycle assessment		International Journal of Life Cycle Assessment	15(6) 567-578
Fantozzi et al.	2010	Life cycle assessment of biomass chains: Wood pellet from short rotation coppice using data measured on a real plant		Biomass and Bioenergy	34 1796-1804
Whittaker	2011	Energy and greenhouse gas balance of the use of forest residues for bioenergy production in the UK		Biomass and Bioenergy	35(11) 4581-4594
Puettmann et al.	2012	Woody Biomass Substitution for Thermal Energy at Softwood Lumber Mills in the US Inland Northwest		Forest Products Journal	62(4) 273-279
Reed et al.	2012	Cradle-to-Gate Life-Cycle Inventory and Impact Assessment of Wood Fuel Pellet Manufacturing from Hardwood Flooring Residues in the Southeastern United States		Forest Products Journal	62(4) 280-288
Katers et al.	2012	Life-Cycle Inventory of Wood Pellet Manufacturing and Utilization in Wisconsin		Forest Products Journal	62(4) 289-295
Pa et al.	2012	Environmental footprints of British Columbia wood pellets from a simplified life cycle analysis		International Journal of Life Cycle Assessment	17(2) 220-231
Pa et al.	2013	Evaluation of wood pellet application for residential heating in British Columbia based on a streamlined life cycle analysis		Biomass and Bioenergy	49 109-122
González-García et al.	2013	Life cycle assessment of potential energy uses for short rotation willow biomass in Sweden		International Journal of Life Cycle Assessment	18(4) 783-795
Puettmann et al.	2013	Using Life-Cycle Assessments to Demonstrate the Impact of Using Wood Waste as a Renewable Fuel in Urban Settings for District Heating.		Forest Products Journal	63(1-2) 24-27

3. 課題

(1) 配分方法

丸太から製材または合板への歩留りは6割程度とされており¹⁾、製造過程で発生する残り4割の工場残材はエネルギー源や製紙原料などの様々な用途に利用されている。そのため、木材のLCAにおいては配分方法の取り扱いが重要と考えられる。海外の事例においては全乾質量や経済価値を基準とした配分方法が採用され、国内の事例においては配分を考慮していないことがほとんどである。事例間の比較評価やインベントリデータベースを構築する際にはこの点に留意する必要がある、望ましい配分方法の検討が必要と言える。

(2) 木材中の炭素の取り扱い

木材に固定されている炭素は樹木の生育過程で大気中から吸収したものであるため、それらが再び大気中へ放出されたとしても大気中のCO₂濃度を増加させる効果がないことからカーボンニュートラルと扱われることが多い。しかし、森林減少に伴って、森林生態系に蓄積されていた炭素が大気中へ排出されたことは事実であり²⁾、評価対象の木材製品への需要が森林減少へ影響しているのであればそのことを正に評価する必要がある。

(3) インベントリデータベース構築

国内では、木材関連業界の協力を得た網羅的なLCA調査はほとんど行われてこなかったため、国内シェアの半分を超えるような国内平均値と呼べるインベントリデータは見当たらない。合板や繊維板については、主要な工場はそれほど多くないので業界の協力さえあれば可能と思われるが、丸太の生産を行う林業経営体数は2010年の時点で12917³⁾、製材工場数は2013年の時点で5690⁴⁾ であるとされており、モデルケースの設定などによるインベントリデータの構築が必要と思われる。

(4) 評価項目と影響評価

海外で実施された木材のLCAでは、CO₂以外の環境負荷物質も評価の対象としている場合が多く、LCIAまで実施している事例も認められるが、国内の事例ではCO₂かもしくはGHGのみを対象としたインベントリ分析にとどまるものがほとんどである。CO₂排出以外の環境負荷による影響についても評価していく必要がある。特に、木材資源の消費に伴う影響を評価した事例はなく、LIME等の適用方法の検討と事例分析の実施が必要と考える。

(5) 事業者の環境対策への反映

木材は最終消費財でないために環境対策を消費者へ訴求しづらい面があり、環境対策自体に経済的なメリットは生じにくい。木材業界に限ったことではないかもしれないが、事業者に環境対策を促すには、それにかかるコストを併せて示すことが不可欠であると考えられる。

4. まとめ

木材を対象としたLCAの事例は国内外で蓄積されてきており、事業者の環境対策や木質バイオマスエネルギーの利用政策などに有用な知見が得られつつあるものの、十分に明らかでない点も多い。今後、木材を対象とするLCAの方法論の更なる検討や評価事例の蓄積により、木材の環境性能をより適正に評価し、その評価結果を事業者や消費者等が個々の判断に活用できるようにすることが望まれる。(平成26年5月1日受付)

参考文献

- 1) 林野庁企画課 (2014): 平成24年木材需給表, 1
- 2) IPCC (2014): IPCC Fifth Assessment Report Climate Change 2013: The Physical Science Basic Summary for Policymakers, 11-12
- 3) 農林水産省大臣官房統計部 (2012): 農業・林業の動向 - 農林業センサスから見えてくる日本農林業の姿 -, 4
- 4) 農林水産省大臣官房統計部 (2014): 平成25年木材統計, 4