

第6章 土木用丸太及びバイオ炭による CO₂ 吸収量の推定、報告について

1. 「2006 年 IPCC ガイドライン」と「2019 年改良 IPCC ガイドライン」

国連気候変動枠組条約（UNFCCC）2015 年の COP23 で採択された「パリ協定」の下で、締約国は様々な気候変動対策を行っている。各国は、温室効果ガス（GHG）の排出・吸収量を UNFCCC 事務局に毎年報告しており、報告要件が定められている¹⁷。現行の GHG 排出・吸収量の推定方法は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が作成、公表している「2006 年 IPCC ガイドライン（以下、IPCC2006）」に基づいているが、2019 年には「2019 年改良 IPCC ガイドライン（以下、IPCC2019）」が新たに作成、公表された。この「2019 年改良 IPCC ガイドライン」では、利用可能な最新の科学的情報に基づき、主に以下の改良がなされている（IPCC, 2019）。

- 「2006 年 IPCC ガイドライン」では十分にカバーされていない GHG の発生源（ソース）と吸収源（シンク）について補足的な方法論の提供
- 排出係数及びその他のパラメータについて、最新の科学的情報が「2006 年 IPCC ガイドライン」と有意に異なる場合、更新されたデフォルト値を提供
- 「2006 年 IPCC ガイドライン」のガイダンスの明確化又は精緻化、すなわち追加的又は代替となる最新情報及びガイダンスの提供

2. 伐採木材製品（HWP）から生じる CO₂ 排出・吸収量の推定

「2019 年改良 IPCC ガイドライン」では、伐採木材製品（HWP）から生じる CO₂ 排出・吸収量の推定について、最新の科学的情報、並びに「2013 年 IPCC 議定書補足的方法論ガイダンス」で示された推定方法及びパラメータ（炭素換算係数等）を基にして、再整理及び改良がなされている。ただし、推定アプローチについては、「2006 年 IPCC ガイドライン」で示された下記 4 つの推定アプローチが「2019 年改良 IPCC ガイドライン」でも維持されている（表 15）（IPCC, 2019）。

表 15 HWP) から生じる CO₂ 排出・吸収量の推定アプローチ

推定手法	名称	推定対象（境界）
HWP プールの炭素蓄積の変化により推定	蓄積変化	国内に存在する HWP（輸入材含む）
	生産	国産材由来の HWP（輸出材含む）
大気と HWP プール間の炭素の移動(フラックス)を推定	大気フロー	国内に存在する HWP（輸入材含む）
	シンプルディケイ	国産材由来の HWP（輸出材含む）

17

<https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/reporting-requirements>

また、これらのアプローチを用いて HWP から生じる CO₂ 排出・吸収量を推定する方法については、「2006 年 IPCC ガイドライン」と同様に、「2019 年改良 IPCC ガイドライン」でも、下記 3 つのレベル (Tier) での推定方法が示されている (IPCC, 2019)。

Tier1：一次減衰 (first order decay, FOD) を用いた推定方法

Tier2：国特有の活動データを用いる推定方法

Tier3：国特有の推定方法

各国がどの Tier を用いて HWP から生じる CO₂ 排出・吸収量を推定するかについては、「2019 年改良 IPCC ガイドライン」に選定フロー (デシジョンツリー) が示されている (図 7)。各国は、このフローに沿って、国際的に公表されている活動データ (FAOSTAT 等のデータベース)、国固有の推定方法、並びに国固有の活動データ及び排出係数等の利用可能性を考慮した上で、適切な Tier を選定する (IPCC, 2019)。

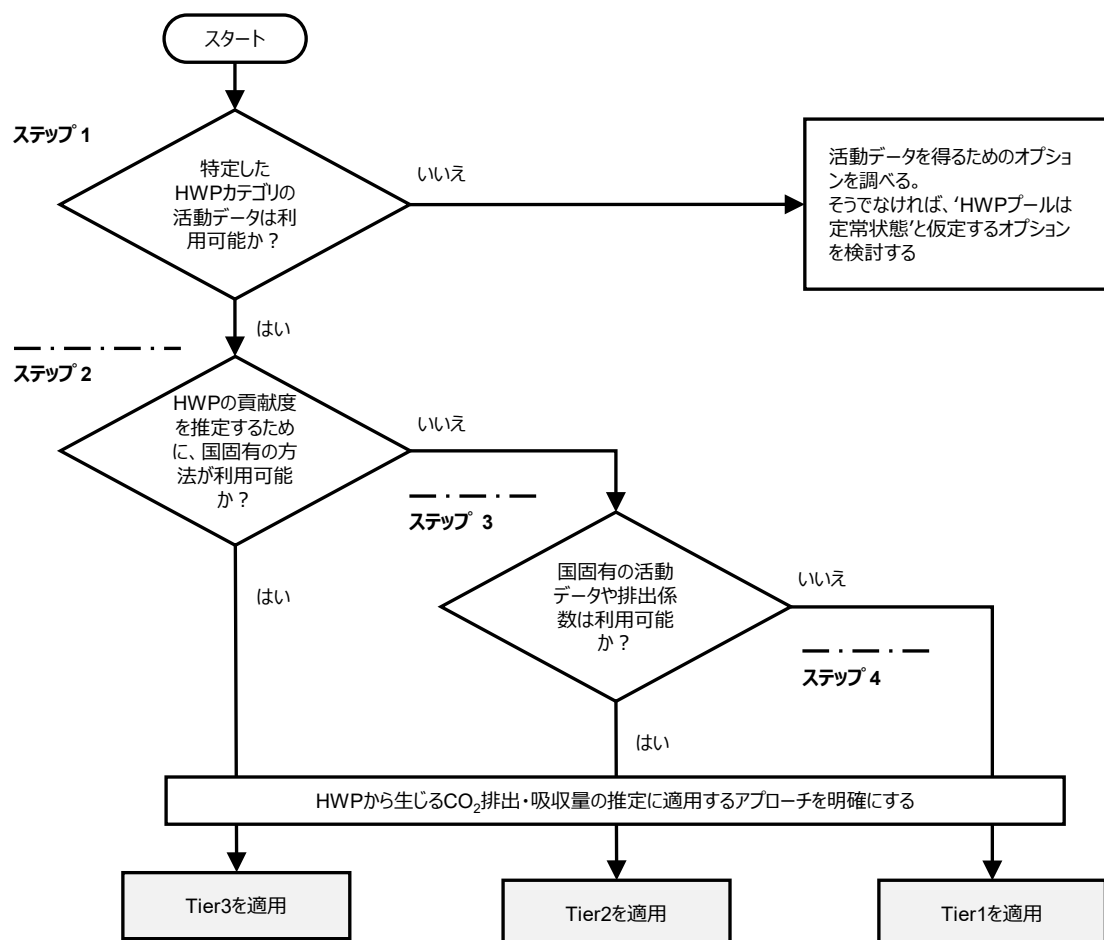


図 7 HWP から生じる CO₂ 排出・吸収量を推定するため適切な Tier を選択するデシジョンツリー

出典：IPCC (2019) Figure 12.1 を日本語訳

3. HWP 活動データの利用可能性

HWP から生じる CO₂ 排出・吸収量を推定するにあたっては、様々な材料やその他用途に使用されている木材を分類するために、FAO 統計（林産物）の定義（FAO, 1982）を基にして HWP 製品（commodity）クラスが定義されている。その定義に沿って、森林から最終製品に至るまでの製品連鎖（チェーン）を図 8 に示す。まず、森林から木を「収穫（伐採）」することから始まり、「丸太（伐採材）」と「枝条」に分けられ、通常「枝条」は森林に残され腐朽する。次に、「丸太（伐採材）」は「産業用丸太」と「薪炭材」に分けられる。さらに、「産業用丸太」は 3 つの製品クラス（「製材・単板用素材」、「パルプ用材、丸太・割り材」及び「その他の産業用丸太」）に分類される。そのうち、「その他の産業用丸太」を除く、「製材・単板用素材」及び「パルプ用材、丸太・割り材」を原料として、3 つの半製品クラス（「製材」、「木質パネル」及び「紙・板紙」）へ加工される。それらの半製品を材料として最終的に、「異なる用途の HWP（最終製品）」が製造される（IPCC, 2019）。

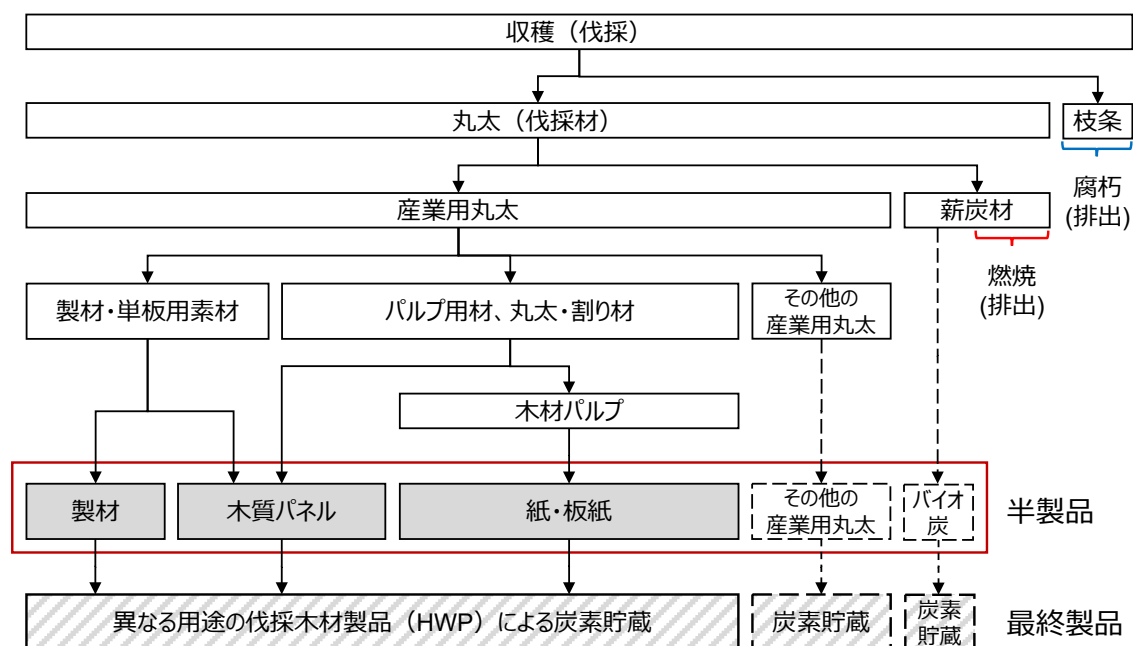


図 8 FAO の林産物定義に基づく木材製品の簡易分類

出典：IPCC（2019）Figure 12.2 に一部追記（点線部分）

HWP から生じる CO₂ 排出・吸収量を Tier1 及び Tier2 の方法で推定する際には、上記の 3 つの半製品クラス（「製材」、「木質パネル」、「紙・板紙」）が対象（起点）とされる。その理由としては、国際的に公表されたデータである FAO 統計（林産物）には、最終製品クラスのデータは公表されておらず、半製品クラスの時系列データセットが公開されているからである。世界中のほとんどの国は、Tier1 方法の活動データとして、この FAO 統計（林産物）を利用できる（IPCC, 2019）。

4. 「バイオ炭」による CO₂ 排出・吸収量

「薪炭材」のうち、木炭を「バイオ炭」として土壌改良等に使用した場合には、難分解性の炭素が土壌に貯留される。「2006 年 IPCC ガイドライン」には、この「バイオ炭」の推定方法に関する記載はなく、国特有の活動データ及び国特有の推定方法を用いて Tier3 で推定するほかなかった。それが「2019 年改良 IPCC ガイドライン」では、Tier1 の方法では推定対象外とされているが、Tier2 及び Tier3 の方法を用いて推定するための標準式（数式 1）及び ANNEX 2A.2 には追加情報が示された。そこで、この「バイオ炭」に関して HWP から生じる CO₂ 排出・吸収量を推定するためには、各国が国特有の活動データを用いて Tier2 で推定するか、又は国特有の活動データ及び国固有の推定方法を用いた Tier3 の方法を開発する必要がある（IPCC, 2019）。

$$\Delta BC_{Mineral} = \sum_{p=1}^n \left(BC_{TOTp} \cdot F_{Cp} \cdot F_{perm_p} \right)$$

数式 1 鉱質土壌へのバイオ炭投入によるバイオ炭の炭素蓄積の年変化量

$\Delta BC_{Mineral}$ = バイオ炭投入に関する鉱質土壌の炭素蓄積の総変化量（tC/年）

BC_{TOTp} = 当該年に鉱質土壌に投入されたバイオ炭の量（tC/年）

F_{Cp} = タイプ p のバイオ炭の炭素含有率（tC/t 乾燥重量）

F_{perm_p} = タイプ p のバイオ炭の 100 年後残存率（tC/tC）

n = バイオ炭の異なる生産タイプの数

4.1. 転用のない農地（条約 4.B）におけるバイオ炭の施用による CO₂ 排出・吸収量

農地に施用される「バイオ炭」については、難分解性の炭素が土壌に貯留される。日本国としては、「バイオ炭」の算定について、平成 29 年度から令和元年度の 3 か年に渡り「バイオ炭の活用による吸収源検討会（バイオ炭検討会）」（環境省）において、「バイオ炭」の製造・利用過程における GHG の排出量・削減効果に関する科学的知見の現状と課題を整理するとともに、バイオ炭の農業利用に伴う炭素貯留量の推定に向けた検討が行われた（環境省, 2020）。その結果、日本国としては、上記の標準推定式（数式 1）を用いて、農業用「バイオ炭」から生じる CO₂ 排出・吸収量を推定し、条約インベントリの下で報告することとされた。実際の推定にあたっては、活動量となる農地土壌への「バイオ炭」投入量は、国固有の活動データを用いる Tier2 の方法とされた。すなわち、特用林産物として生産量及び農業利用分が統計情報から把握・推計可能な、白炭、黒炭、粉炭、オガ炭及び竹炭を用いることとされた。ただし、上記の標準推定式（数式 1）は農地・草地の鉱質土壌のみに適用可とされているため、鉱質土壌のみを対象として推定することとされた。また、標準推定式のパラメータとして、「2019 年改良 IPCC ガイドライン」で示された炭素含有率及び 100 年後残存率のデフォルト値等を用いることとされた（環境省, 2020）。

この「バイオ炭」の農地土壌投入によって生じる炭素蓄積増加量を CO₂ に換算したところ、1990 年～2017 年かけての年間吸収量は 0.5～4.5 万 tCO₂ と試算された。ただし、時系列的には、90 年代後半をピークに、「バイオ炭」の農地施用量が減少傾向にあることから、吸収量が漸減し、2017 年には年間吸収量が 0.5 万 tCO₂ に低下している。近年、農地の鈹質土壌においては、炭素ストックの減少により年間数百万 t の CO₂ が排出されている。このオーダーに比べると、「バイオ炭」の農地土壌投入による CO₂ 吸収量は極めて少量である。よって、国内的には「バイオ炭」の炭素蓄積変化量及び CO₂ 吸収量を切り分けて表記することにより寄与度を評価するが、UNFCCC へのインベントリ報告においては農地の鈹質土壌に含めて報告を行うこととされた（環境省, 2020）。

4.2. 森林（条約 4.A）における「バイオ炭」の施用による CO₂ 排出・吸収量

上述の通り、「2019 年改良 IPCC ガイドライン」の追加情報として示された標準推定式及びそのパラメータとして示された炭素含有率及び 100 年後残存率等のデフォルト値は、農地・草地の鈹質土壌のみに適用可とされている。このため、森林土壌への「バイオ炭」施用による炭素蓄積増加、すなわち CO₂ 吸収量の増加を推定するためには、活動量として国固有の活動データを用いるとともに、国固有の推定方法を用いる Tier3 の方法を開発する必要がある。しかしながら、日本国では、森林への「バイオ炭」施用は、これまで極一部で実施された記録があるが（宮下, 2012）一般的な慣行ではない。将来的にも政府による森林への「バイオ炭」施用の施策でもない限り増加する見込みは少ないと考えられる。したがって、森林土壌への「バイオ炭」施用による炭素蓄積増加量及び CO₂ 吸収量は今後も極めて少量であり、それを推定して条約インベントリの下で報告する必要性は低い。

5. 「その他の産業用丸太」による CO₂ 排出・吸収量

上記の図 8 に点線で示した通り、「その他の産業用丸太」は、上述の Tier1 及び Tier2 方法の活動データである 3 つの半製品クラスには加工されないため、Tier1 及び Tier2 の方法では推定対象外とされている。その理由としては、「その他の産業用丸太」を用いて製造される最終木材製品（例：杭丸太や電信柱等）の寿命特性は 3 つの半製品クラスと大きく異なるため、一次減衰（FOD）法が適用できないことが示されている。したがって、Tier1 及び Tier2 の方法では、「その他の産業用丸太」は“定常状態の HWP プール”と仮定され、CO₂ 排出・吸収量はゼロとされている。そこで、この「その他の産業用丸太」に関して HWP から生じる CO₂ 排出・吸収量を推定するためには、各国が国特有の活動データ及び国特有の推定方法を用いた Tier3 の方法を開発する必要がある（IPCC, 2019）。

5.1. 土木分野の木材利用拡大による CO₂ 排出・吸収量

日本国における土木分野への木材利用は、近年の技術革新やそれを後押しする政府の利用促進施策により、徐々に拡大傾向にある。2007 年には、一般社団法人日本森林学会、一般社団法人日本木材学会、及び公益社団法人土木学会の 3 つの学会による「土木における木材の利用拡大に関する横断的研究会」が発足し、関係省庁、関係諸団体及び教育機関などへ向けて提言「土木分野にお

ける木材利用の拡大へ向けて」をまとめている。さらに、民間の取り組みとして、大手建設会社や主要な住宅メーカーが参画し、地球温暖化緩和・森林育成と木材を活用した地盤対策技術の普及、向上、並びにその発展を図ることを目的として「木材活用地盤対策研究会」が設立された。特に液状化対策と地球温暖化緩和を同時に実現する丸太打設液状化対策&カーボンストック工法（LP-LiC 工法）を、研究会の目的に合致した主要な技術として位置づけ、その普及などを行っている（林野庁, 2020）。

最近の加用及び野田の研究論文（Kayo and Noda, 2018）では、2050 年には、土木分野の年間木材利用量は、期待値 3.4～最大値 6.8 百万 m³ に達する可能性があることが試算されている。その木材利用予測の内訳は、杭丸太（69%）、木製チェックダム（4%）、ウッドチップ舗装道路（7%）、防護柵（19%）、防音柵（1%）とされている。また、これらの土木分野の木材利用によって生じる炭素蓄積量の増加による年間 CO₂ 吸収量は、期待値 2.18～最大 4.36 百万 tCO₂ に達する可能性があることも試算されている。その炭素蓄積増加による CO₂ 吸収量は、ほとんどが杭丸太により生じるものと試算されている。なお、この論文では、先行調査の結果（沼田, 2007、本山, 2009 及び木材活用地盤対策研究会）に基づき、地中（地下水位以深）に埋設された杭丸太は無期限に腐朽しないと仮定されているため、無期限の炭素貯蔵庫と仮定されている。

現行の日本国のインベントリ報告では、この杭丸太を含む土木分野の木材利用は“定常状態の HWP プール”と仮定され、CO₂ 排出・吸収量はゼロとされている。現状では、土木分野における木材の利用量は少なく、今後政策により利用促進が可能であることから、森林経営対象林の参照レベル¹⁸を加味したとしても、大きな吸収量を稼げる可能性がある。

5.2. 杭丸太による CO₂ 排出・吸収量の推定

上述の通り、杭丸太やその他の土木用丸太を含む「その他の産業用丸太」から生じる CO₂ 排出・吸収量を推定して、条約インベントリで報告するためには、活動量として国固有の活動データを用いるとともに、国固有の推定方法を用いる Tier3 の方法を開発する必要がある。

具体的には、国固有の活動量データとして、杭丸太やその他の土木用丸太の使用量を含む木材利用統計等を収集・整備する必要がある。国固有の推定方法としては、難分解性の炭素が土壌に貯留されるという意味では、上述した「バイオ炭」の標準推定式（数式 1）が参考となると考えられる。そこで、杭丸太やその他の土木用丸太の炭素含有率及び 100 年後残存率のデフォルト値等を含めた推定方法（式）を開発する必要がある。さらに、それらに関する根拠資料・データを学術論文にまとめて学術雑誌に投稿し、受理・公開することで信頼性が担保されと考えられる。

5.3. 「その他の産業用丸太」による CO₂ 排出・吸収量の報告様式

UNFCCC インベントリで報告されている 2018 年の日本国の HWP により生じる総年間 CO₂ 吸収量

¹⁸ 京都議定書第 2 約束期間のルールであり、成り行き（BAU）シナリオにおける森林経営対象林の CO₂ 排出・吸収量の予測。日本国はパリ協定の下でも、追加的な人為的排出削減・吸収増加量を評価、計上するために、このルールを継続して採用している。

は、2 百万 tCO₂ 程度である。上記の通り、杭丸太を含む「その他の産業用丸太」により生じる CO₂ 吸収量は、2050 年には期待値 2.18～最大 4.36 百万 tCO₂ に達する可能性があるとして試算されている（Kayo and Noda, 2018）。この杭丸太を含む「その他の産業用丸太」による CO₂ 吸収量は、現状の HWP による総 CO₂ 吸収量に匹敵又は上回る量であり、Tier3 の方法を開発して推定、報告するに値すると思われる。

ただし、現行の UNFCCC インベントリにおける HWP の共通報告様式では、この杭丸太を含む「その他の産業用丸太」を記載する欄はない（表 16）。したがって、その他の欄に追記することが適切であると思われる。

表 16 日本国の UNFCCC インベントリにおける HWP 報告様式 TABLE 4.G（2018 年）

APPROACH B ⁽¹²⁾					
GREENHOUSE GAS SOURCE AND SINK CATEGORIES ⁽³⁾	HWP in use from domestic harvest				Net emissions/ removals from HWP in use ⁽⁶⁾
	Gains ⁽⁴⁾	Losses ⁽⁴⁾	Half-life ⁽⁵⁾	Annual Change in stock (AC HWP IU DH)	
	(t C)		(yr)	(kt C)	(kt CO ₂)
TOTAL HWP domestic harvest (AC HWP IU DH) from					
1. Solid wood ⁽⁷⁾					
2. Paper and paperboard					
3. Other (please specify)					
HWP produced and consumed domestically (AC HWPdom IU DH)⁽¹³⁾					
Total	3831191.40	-3320617.86		510.57	-1872.10
1. Solid wood ⁽⁷⁾	1194157.33	-677018.51		517.14	-1896.18
Sawnwood	928442.63	-658006.79	NO	270.44	-991.60
Wood panels	119900.71	-11922.14	NO	107.98	-395.92
Other solid wood products	145813.99	-7089.58	NO	138.72	-508.66
2. Paper and paperboard	1822325.00	-1895334.16	2.00	-73.01	267.70
3. Other (please specify)	814709.07	-748265.19		66.44	-243.63
Plywood for non-buildings	393257.32	-82927.92	25.00	310.33	-1137.87
Sawnwood for non-buildings	293574.33	-564402.47	35.00	-270.83	993.04
Wooden board for non-buildings	127877.42	-100934.80	25.00	26.94	-98.79
HWP produced and exported (AC HWPexp IU DH)⁽¹³⁾					
Total	188906.65	-141477.47		47.43	-173.91
1. Solid wood ⁽⁷⁾	NO	NO		NO	NO, IE
Sawnwood	NO	NO	NO	NO	IE
Wood panels	NO	NO	NO	NO	IE
Other solid wood products	NO	NO	NO	NO	NO
2. Paper and paperboard	165990.04	-129551.99	2.00	36.44	-133.61
3. Other (please specify)	22916.61	-11925.48		10.99	-40.30
Plywood for non-buildings	5114.94	-2053.00	25.00	3.06	-11.23
Wooden board for non-buildings	2951.18	-4146.67	25.00	-1.20	4.38
Sawnwood for non-buildings	14850.49	-5725.80	35.00	9.12	-33.46

出典：国立環境研究所（2020）共通報告様式（CRF）

参考文献

- 環境省（2020）温室効果ガス排出量算定方法検討会 2019 年度（令和元年度）検討結果：森林等の吸収源分科会（2021 年 3 月 10 日閲覧）。
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/committee/r01/material/LULUCF_01.pdf
- 国立環境研究所（2020）日本国温室効果ガスインベントリ報告：共通報告様式（CRF）（2021 年 3 月 10 日閲覧）。
<https://www.nies.go.jp/gio/aboutghg/index.html>
- 沼田淳紀、上杉章雄、吉田雅穂、久保光、源済英樹、及び野村崇（2007）土木で用いられた木材

- の腐朽に関する事例調査. 第 57 回日本木材学会広島大会要旨集. 広島.
- 本山寛、沼田淳紀、久保光、濱田政則及び吉田雅穂（2009）地中から採取した杭丸太の健全性と飽和度の検討. 土木学会全国大会 2009 要旨集. 福岡.
- 木材活用地盤対策研究会 丸太打設液状化対策 & カーボンストック（LP-LiC）工法の考え方（2021 年 3 月 10 日閲覧）. <https://mokuchiken.com/Think.html>
- 宮下正次（2012）野にも山にも炭を撒く：炭の力で緑の地球に. 森林の会. 五月書房.
- 林野庁（2020）令和元年度森林吸収源インベントリ情報整備事業（長期戦略イノベーション調査（革新的技術及び天然林））報告書.
- FAO（1982）Classification and definitions of forest products. FAO Forestry Paper 32. Published: FAO, Roma.
- IPCC（2006）2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: IGES, Japan.
- IPCC（2019）2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Published: IGES, Japan.
- Kayo C. and Noda R.（2018）Climate Change Mitigation Potential of Wood Use in Civil Engineering in Japan Based on Life-Cycle Assessment.