

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

古俣 寛隆，加藤 幸浩^{*1}，高山 光子^{*2}，石川 佳生

Evaluation of Greenhouse Gas Emissions and Problems of the Methods for the Production of Lumber, Glued Laminated Timber and Plywood

Hiroataka KOMATA, Yukihiro KATO, Mitsuko TAKAYAMA, Yoshio ISHIKAWA

We estimated greenhouse gas (GHG) emissions for the production of lumber, glued laminated timber and plywood from logs based on data for energy consumption collected from the manufacturers in Hokkaido. We found some problems such as method of data collection and allocation for evaluating the GHG emissions of wood products. The results show that the wood-drying process requires much energy, but it is considered that the fuel emissions used in boilers are reduced by converting fossil fuel into wood in the production of kiln-dried lumber and glued laminated timber.

Key words: Wood, Life-cycle assessment, Greenhouse gas, CO₂, Carbon footprint
木材，ライフサイクルアセスメント，温室効果ガス，CO₂，カーボンフットプリント

製材，集成材および合板を対象に，丸太生産から製品製造までのプロセスにおける温室効果ガス (GHG) 排出量を，北海道内の製造工場から入手したエネルギー消費データを基に算出した。木製品の GHG 排出量の算出を行う上でのデータ収集や配分方法等の課題を明らかにした。木材の乾燥には多くのエネルギーが必要であることが明らかとなったが，乾燥製材や集成材の製造においては，その熱源を化石燃料から木質燃料主体へ転換を図っていくことが GHG 排出量の低減に効果的と推察された。

1. はじめに

京都議定書における我が国の温室効果ガス削減目標は基準年 (CO₂, CH₄, N₂O は 1990 年, HFCs, PFCs, SF₆ は 1995 年) 比 6% である。しかし，第一約束期間の初年度となる 2008 年度の排出量は，速報値¹⁾ によると基準年比 1.9% の増加となった。目標の達成に向けたより一層の行動が国民一人一人に求められている。省エネルギー型のライフスタイルに転換するためには，利用する製品やサービスの温室効果ガス排出量を認識する必要があり，現在，CO₂ 排出量等の「見える化」に向けたカーボンフットプリント制度の導入が経済産業省を中心に検討されている。木材は再生産可能でカーボンニュートラルな資源であるとともに，他材料と比較し加工に必要なエネルギーが低い²⁾ ことから地球温暖化抑制に

有効な材料として注目され，さらに家具や住宅などへの利用においては長期間にわたる CO₂ 貯蔵効果も期待されている。しかし，製品の製造・輸送過程では電力や化石燃料が消費され，CO₂ が排出されることから，木材の環境貢献度を定量的にアピールするためには，CO₂ の貯蔵量とともに排出量の定量表示が必要である。製品等の環境負荷を定量的に評価する手法として LCA (ライフサイクルアセスメント) がある。これまで，産学官の取り組みによって様々な製品やサービスにおける CO₂ 等の環境負荷物質排出量の分析が行われてきたが，金属やプラスチックなどの他材料と比較して，木材分野における LCA の取り組みは少なく，特に丸太の生産から各種木質製品の製造までの一貫した研究はほとんどみられない³⁾。

本研究では、製材、集成材および合板の丸太生産から製造までの温室効果ガス (GHG) 排出量を、北海道内の製造工場から入手したエネルギー消費データを基に算出し、木製品の CO₂ 排出量等の算出を行う上での課題を明らかにした。

2. 評価方法

2.1 評価範囲の設定とデータの収集

評価対象の製品は未乾燥製材、乾燥製材、集成材、合板とし、機能単位はそれぞれ 1m³ とした。システム境界は丸太生産 (育林および収穫作業) から各製品の製造までとした (第 1 図)。環境負荷項目には CO₂, CH₄, N₂O を設定し、地球温暖化係数 (GWP₁₀₀)⁴⁾ によりそれらを GHG 排出量として CO₂ 等価排出量に換算した。

各プロセスにおけるエネルギーおよび原料のインプットデータについては次のとおり収集した。製造プロセスについては、2006 ~ 2008 年度にかけて製造工場 (未乾燥製材: 21 工場, 乾燥製材: 14 工場, 集成材: 5 工場, 合板: 2 工場) の調査を行い、各工場のエネルギーおよび原料の 1 年間の投入量と各製品の年間生産量から加重平均値を求め、各製品における機能単位あたりのインプットデータとした。丸太生産プロセスについては、著者ら⁵⁾ のカラマツ丸太生産のインベントリ分析から、地位は I 等地、植栽本数は 2000 本/ha、地拵え機械はブ

ルドーザ、仕立て方法は中庸の場合のデータを代表値として用いた。丸太およびラミナの輸送プロセスについては、トラックの最大積載量および積載率、輸送距離、原料比重の条件から、JEMAI-LCA Pro Ver.2.1.2⁶⁾ (以下ソフトという) を用いて排出量を算出した。第 1 表に設定した輸送シナリオを示した。

輸送プロセス以外の算出はインプットデータに原単位を掛け合わせることで求めた。原単位にはソフトに搭載されるデータベースを用い、不足する接着剤の原単位については LCA 日本フォーラムのデータベース⁷⁾ と文献値⁸⁾ を用いた。また集成材の原料である未乾燥および乾燥ラミナの製造原単位には、本研究の未乾燥および乾燥製材の製造プロセスのデータをそれぞれ用いた。

2.2 配分方法

配分とは、同時に複数の製品が生産される場合に資源およびエネルギー消費量などのインプットや環境負荷排出などのアウトプットを各製品に一定の基準で振り分ける手法である。本研究では、製材工場からは未乾燥製材および乾燥製材、集成材工場からは集成材、合板工場からは合板のみが製造されるものとし、樹皮、おがくず、チップ等の副製品は配分対象としなかった。また、未乾燥製材と乾燥製材を併産する製材工場における両製品への配分は製品の生産量 (m³) で行った。

3. 結果と考察

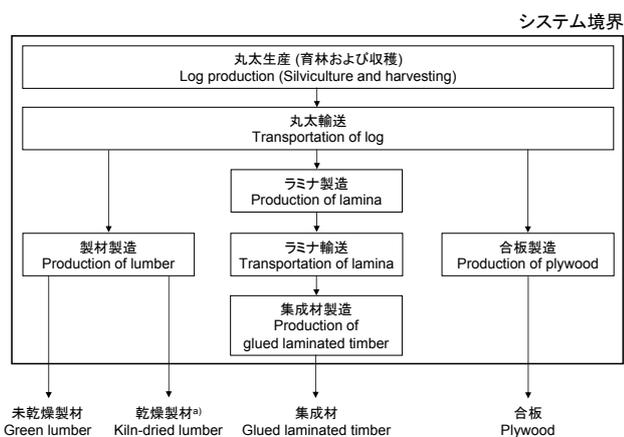
3.1 製品別の GHG 排出量と排出構造

製造工場から得た各製品の機能単位あたりの収集データを第 2 ~ 5 表に、これらを基に算出したプロ

第 1 表 原木およびラミナの輸送シナリオ

Table 1. Transportation scenario for logs and lamina.

項目 Item	丸太 Log	ラミナ Lamina
最大積載量 Maximum loading of truck (t)	10	20
積載率 Loading ratio of truck (%)	80	80
輸送距離 ^{a)} Haul distance (km)	100	100
原料比重 Basic density of transported material (kg/m ³)	800	700 (未乾燥ラミナ) (Green lamina) 550 (乾燥ラミナ) (Kiln-dried lamina)



第 1 図 システム境界

注) a) 乾燥製材の一部には熱処理梱包材を含む

Fig. 1. System boundary in this study.

Note) a) Heat-treated packaging materials are included in the kiln-dried lumber.

a) 往復距離
a) Round-trip distance.

第2表 未乾燥製材 1m³ 製造あたりの収集データ
Table 2. Data for green lumber per 1 m³.

	項目 Item		数量 Amount	単位 Unit
入力 Input	原料 Raw material	丸太 log	2.03E+00	m ³
		電力 Electricity	5.08E+01	kWh
	エネルギー Energy	軽油 Diesel	3.20E+00	L
		灯油 Kerosene	3.68E-01	L
		A重油 Heavy oil (Bunker A)	1.45E-01	L
		LPG Liquefied petroleum gas	8.31E-03	kg
		未乾燥製材 Green lumber	1.00E+00	m ³
出力 Output	製品 Product			

注) データは 21 工場の生産量加重平均値
Note) The data are for the weighted average of 21 green lumber manufacturers in Hokkaido.

第4表 集成材 1m³ 製造あたりの収集データ
Table 4. Data for glued laminated timber per 1 m³.

	項目 Item		数量 Amount	単位 Unit	
入力 Input	原料 Raw material	ラミナ Lamina	未乾燥 Green	1.28E+00	m ³
			乾燥 kiln-dried	1.98E-01	m ³
		接着剤 Adhesive	水性高分子イソシアネート系 Aqueous polymer isocyanate	5.02E+00	kg
	レゾルシノール樹脂 Phenol-resorcinol resin		5.14E+00	kg	
	エネルギー Energy	電力 Electricity	1.77E+02	kWh	
		軽油 Diesel	1.19E+00	L	
		灯油 Kerosene	1.22E+01	L	
		A重油 Heavy oil (Bunker A)	2.70E+01	L	
		ガソリン Gasoline	1.80E-03	L	
		木質燃料 Wood fuel	1.60E+02	kg	
	出力 Output	製品 Product	集成材 Glued laminated timber	1.00E+00	m ³

注) データは 5 工場の生産量加重平均値
Note) The data are for the weighted average of 5 glued laminated timber manufacturers in Hokkaido.

セス別の排出量と最も影響の大きいプロセスの排出内訳を第2～5図に示した。

まず、未乾燥製材の GHG 排出量 (第2図) では、未乾燥製材製造プロセスの影響が最も高く全体の 46% を、次いで丸太生産プロセスが 32% を占めた。未乾燥製材製造プロセスの排出内訳は電力が 69%、次いで工場内の作業車両用途である軽油が 27% であり、これらでプロセス排出量のほとんどを占めていた。なお、排出量の 3% を占めた灯油は、事務所や工場の暖房用途に消費されたものである。一方、乾燥製材の GHG 排出量 (第3図) は未乾燥製材のおよそ 2 倍となった。乾燥製材製造プロセスの影響が高く、全体の 74% を占めた。その排出内訳は灯油が 36%、A 重油が 30% であり、両者で全体の

第3表 乾燥製材 1m³ 製造あたりの収集データ
Table 3. Data for kiln-dried lumber per 1 m³.

	項目 Item		数量 Amount	単位 Unit
入力 Input	原料 Raw material	丸太 Log	2.01E+00	m ³
		電力 Electricity	6.56E+01	kWh
	エネルギー Energy	軽油 Diesel	2.84E+00	L
		灯油 Kerosene	1.49E+01	L
		A重油 Heavy oil (Bunker A)	1.16E+01	L
		LPG Liquefied petroleum gas	9.22E-02	kg
		木質燃料 Wood fuel	3.48E+00	kg
		乾燥製材 Kiln-dried lumber	1.00E+00	m ³
出力 Output	製品 Product			

注) データは 14 工場の生産量加重平均値
Note) The data are for the weighted average of 14 kiln-dried lumber manufacturers in Hokkaido.

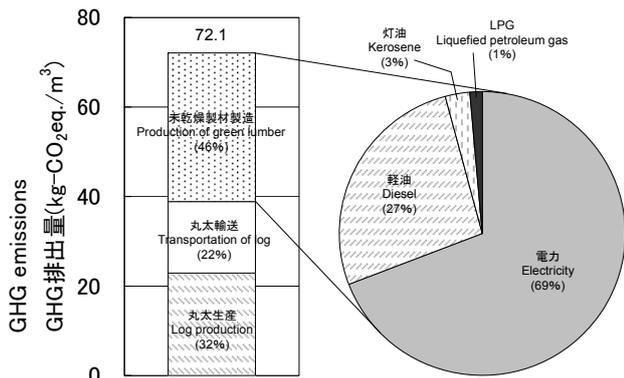
第5表 合板 1m³ 製造あたりの収集データ
Table 5. Data for plywood per 1 m³.

	項目 Item		数量 Amount	単位 Unit	
入力 Input	原料 Raw material	丸太 Log	1.86E+00	m ³	
		接着剤 Adhesive	メラミン・ユリア共縮合 Melamine-urea cocondensed resin	8.46E+00	kg
			フェノール樹脂 Phenol resin	4.91E+01	kg
			ホットメルト Hot-melt	5.62E-01	kg
	エネルギー Energy	電力 Electricity	1.13E+02	kWh	
		軽油 Diesel	2.17E+00	L	
		灯油 Kerosene	2.96E-01	L	
		ガソリン Gasoline	2.44E-02	L	
		LPG Liquefied petroleum gas	1.56E-03	kg	
		木質燃料 Wood fuel	2.66E+02	kg	
		合板 Plywood	1.00E+00	m ³	
出力 Output	製品 Product				

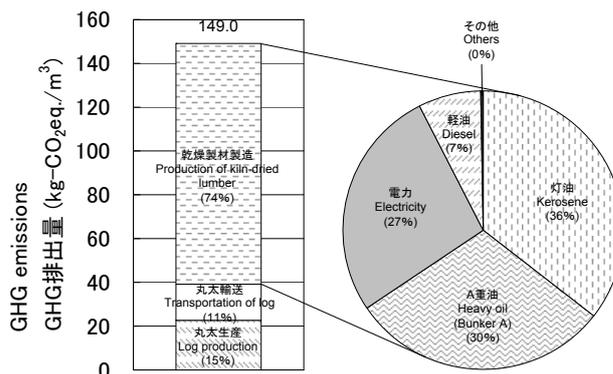
注) データは 2 工場の生産量加重平均値
Note) The data are for the weighted average of 2 plywood manufacturers in Hokkaido.

2/3 を占めていた。灯油の一部を除き、大部分はボイラーの熱源として消費されていたことから、GHG 排出量における乾燥工程の影響の高さが示された。また、GHG 排出量では未乾燥製材、乾燥製材ともに CO₂ の影響が 99.2% とほとんどを占め、CH₄ および N₂O の影響はごくわずかであった。

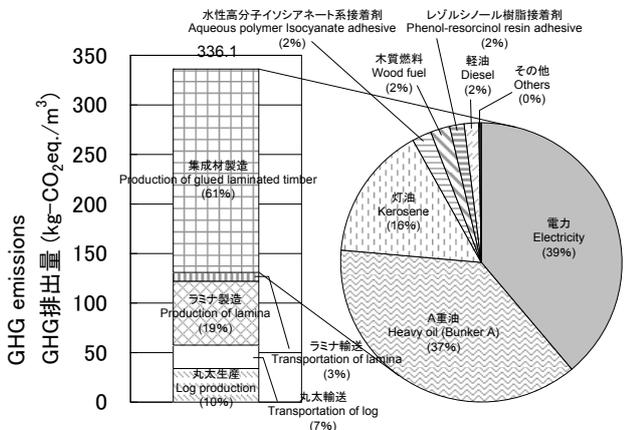
次に、集成材の GHG 排出量 (第4図) では、集成材製造プロセスの影響が最も高く全体の 61% を占めた。その排出内訳は電力が 39%、続いて A 重油が 37%、灯油が 16% であった。乾燥製材製造プロセスと同様に、A 重油および灯油の大部分はボイラーの熱源として消費されたが、製造された蒸気は乾燥工程だけでなく、ホットプレスや暖房、製品養生のための加温等複数の用途に使用されていた。



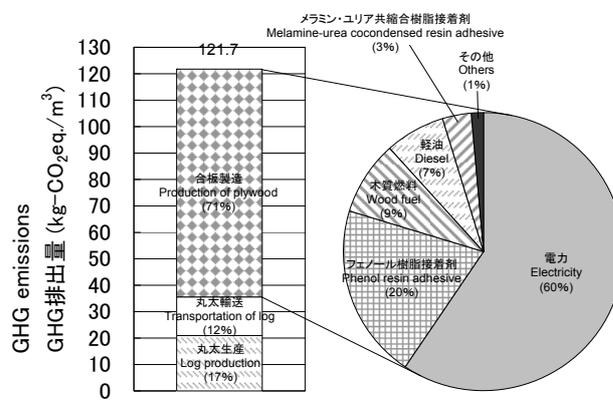
第2図 未乾燥製材製造 1m³あたりの GHG 排出量
Fig. 1. GHG emissions for green lumber per 1 m³.



第3図 乾燥製材製造 1m³あたりの GHG 排出量
Fig. 3. GHG emissions for kiln-dried lumber per 1 m³.



第4図 集成材製造 1m³あたりの GHG 排出量
Fig. 4. GHG emissions for glued laminated timber per 1 m³.



第5図 合板製造 1m³あたりの GHG 排出量
Fig. 5. GHG emissions for plywood per 1 m³.

乾燥製材と比較して GHG 排出量が大きい理由として、集成材は原料丸太からの加工歩留まりが低いこと、集成材製造プロセスにおいては原料受け入れから製品完成までの工程が多いことや蒸気を必要とする工程が多いことなどが挙げられる。また、GHG 排出の内訳では CO₂ の影響が 97.9%と大部分を占めたが、乾燥製材と比較して影響度は小さかった。これは、集成材製造では乾燥製材製造より木質燃料消費量が多く、その燃焼由来の CH₄ 排出により CO₂ の影響が相対的に低くなったためである。

最後に、合板の GHG 排出量 (第5図) では、合板製造プロセスからの影響が最も高く全体の 71% を占めた。その排出内訳では電力が 60%、続いてフェノール樹脂接着剤製造が 20%、木質燃料 (バーク等) の燃焼が 9%であった。調査を行った合板工場では蒸気製造の熱源として木質燃料を用いていることから、A 重油や灯油による GHG 排出はほとん

どなく、その分 GHG 排出量自体が低減した一方で、木材燃焼由来の CH₄ 排出による影響が高くなり、GHG 排出の内訳では、CO₂ の影響は 93.2%と 4 製品の中で最も低かった。

これらの結果から、木材の乾燥には多くのエネルギーが必要であるが、乾燥製材や集成材の製造においては、その熱源を化石燃料から木質燃料主体へ転換を図っていくことが GHG 排出量の低減に効果的と推察される。

3.2 算出を行う上での課題と注意点

木製品は用途によって要求される含水率が異なることに加え、同じ用途であっても断面寸法の違いによって乾燥部門のエネルギー消費量が大きく異なると思われる。よって、GHG 排出量のより厳密な算定にあたっては、各製品の用途や断面寸法別に試算を行なうべきであり、今後検討を加える必要がある。また、本研究ではポリプロピレンバンドやスチール

バンド等製品の梱包用資材，機械設備の潤滑油，防カビ剤，ボイラーに使用される水および薬品などは調査対象に含めなかったが，詳細な分析を行うためにはこれら消費量の調査が必要である。

インプットデータの配分問題について，構造用製材での検討を行った一重ら⁹⁾は，主製品のみ配分する場合と価格基準によって主製品および副製品へ配分する場合は主製品の環境負荷の数値はほとんど変わらないとしている。本研究では副製品である樹皮，おがくず，チップ等へ配分は行わなかった。しかし，樹皮等副製品の環境負荷がゼロとなることから，環境負荷の適切な評価のためには価格基準による配分の検討が求められる。

本算出値は2年以上前に行った調査が基であるが，調査後にバイオマスボイラーやバイオマスコージェネレーションシステムの導入など省エネルギー型の製造プロセスに設備更新を行った工場があることから，同手法で各製品の再調査を行った場合にはGHG排出量は少なからず減少するものと思われる。また，得られたGHG排出量は単位体積あたりのものであり，機能の異なる製品間の優劣を単純に比較できないことに注意が必要である。今後は建築物において，床面積等に機能単位を揃えて比較評価を行う予定であり，そのための基礎データとして主要木製品のGHG排出量の検討を行った。

謝 辞

各メーカーの担当者様には製品製造におけるデータ提供に際して多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) (独)国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィス：“温室効果ガス排出量・吸収量データベース—2008年度(平成20年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について—”，<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2009/20091111/20091111.html>.
- 2) 中島史郎，大熊幹章：木材工業，46(3)，127-131(1991).
- 3) 東京産木材による木造住宅のLCA調査実行委員会：“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”，(2007)
- 4) Intergovernmental Panel on Climate Change：“IPCC Fourth Assessment Report (AR4) — Climate Change 2007: The Physical Science Basis”，2007，p.212.
- 5) 古俣寛隆，由田茂一，加藤幸浩，高山光子：日本LCA学会誌，5(1)，131-137(2009).
- 6) (社)産業環境管理協会：“ライフサイクルアセスメント実施支援ソフトウェアJEMAI-LCA Pro Ver.2.1.2”，東京，2007.
- 7) LCA日本フォーラム：LCAデータベース2008年度2版，(社)産業環境管理協会ホームページ，<http://202.214.40.151/lcaforum/db/login.cfm> (会員制サイト).
- 8) 澤田幸伸，安藤恵介，服部順昭，田村靖夫：木材学会誌 52(4)，235-240(2006).
- 9) 一重喬一郎，羽太雅史，西村幸浩，西村仁雄，服部順昭：日本LCA学会誌 5(4)，456-461(2009).

— 企画指導部 経営科 —
— *1：企画指導部 企画課 —
— *2：企画指導部 普及課 —

(原稿受理：09.11.30)