



平成 14 年度修士論文

高知県産木材による
木質系住宅の LCA を目指して

Toward LCA of Wooden Houses

Using Timber from Kochi

平成 15 年 3 月

高知工科大学大学院

工学研究科 基盤工学専攻

博士課程(前期)

物質・環境システム工学コース

1055018 杉本明俊

目次

1. 緒言	2
2. LCA の説明と使用ソフト	
2-1 LCA の方法	7
2-2 ISO14000 シリーズとしての LCA	13
2-3 JEMAI-LCA	14
2-4 Easy-LCA	15
3. LCA の実践	
3-1 目的および調査範囲の設定	16
3-2 各工法の説明	
3-2-1 在来工法	18
3-2-2 2×4 工法	21
3-2-3 鉄骨プレハブ工法	24
4. 結論と今後の問題点	27
6. 参考文献	29

謝辞

1. 緒言

高知県は Table 1-1 に示すように面積の 83% が森林であり、高知県の北東部の梁瀬杉などの全国的に有名な木材の産地である。近年、過疎化や林業に携わる人の高齢化、安価な外材の輸入により、日本全体では 1966 年に 67% だった木材の自給率が 1998 年には 20% に低下し 1966 年に 44 万人もいた林業従事者は 2000 年には 9 万人以下となっている。

Fig. 1-1 では製材工場数及び動力出力数を示す。平成 13 年 12 月 31 日現在の製材工場数(製材用動力の出力数が 7.5KW 未満の工場を除く)は 173 工場で、製材品の需要の低迷により、前年に比べ 6 工場(3.4%)減少している。また、製材用動力の総出力数は 2 万 4,605KW で、前年に比べ 891KW(3.5%)減少したものの、1 工場当たりの出力数は前年並みの 142.2KW となっている。

また、製材工場(12 月操業工場のみ)の従業者数は 1,349 人で、前年に比べ 130 人(8.8%)減少している(Fig.1-2)。これを製材用動力の出力階層別にみると「300.0KW 以上」の階層で、前年に比べ 44 人(14.6%)と最も多く減少し、次いで「37.5 ~ 75.0KW」の階層で 40 人(12.1%)減少している。この結果、1 工場当たりの従業者数は 7.8 人で、前年に比べ 0.5 人減少している。また輸入相手国のカナダでは最も伐採の進む地域のひとつであるブリティッシュコロンビア州では、皆伐や道路建設による土壌浸食や著しい水質汚染の被害を被っており、サケなどの生物や食物連鎖全体を脅かしており、地球上の森林の面積は 34 億 5400 万ヘクタールであるが、森林面積は 15 年間で 1 億 8000 ヘクタール減少している。これは後数百年で森林が消えるといっても過言でなく、先進国が年間 2000 万ヘクタール植林をしているといっても森林の減少量に歯止めがかかるわけではなく、大きな問題となっている。

しかし、最近では森林の水源涵養能力を保持するために、森林を管理するための費用の一部を受益者が負担すべきであるという考えから、該当する森林の流域に関連する住民や企業の水道料金に税金を上乗せするなどの手法が検討されている。高知県、北海道、岩手県などが水源税として導入を検討しており、海外でも南アフリカなどが検討しているなど新しい試みもできている。

また高知県の梶原町では、グローバル・スタンダードの一つである FSC 認証*1 を取得している。FSC によって、環境保護に配慮した持続可能な管理が行われていると認証された森林からの木材を流通させている。木材の生産だけでなく日本は世界的な木材消費国という現状で、森林保護について町民が理解し、改善していく道を生産者と消費者が相互に考えていくことができている。この研究で建築物をつかった LCA にしたのには先ほどの森林の問題もあるが、住宅には多くの木材が使われているといったことや、またプレハブ住宅などバラエティに富んだ建築方法により金額面やデザインなど、多種多様な家作りが行われている。最近では木材をあまり使わない住宅などにより木材の需要自体も低下している(Table 1-2)。しかしその建築方法(輸送を含めて)が環境に対してはどのような影響があるかまだ知られてない部分が多いのも実情である。工業製品の「ゆりかご」から「墓場」まです

すべての考えられる段階での環境負荷を導き出す手法の一つに LCA という考え方がある。

本研究は、高知県産の木材(杉、檜)を使った木造住宅のライフサイクルアセスメント(以下 LCA)を行うための予備的な検討である。環境負荷としては、地球温暖化の主要原因とされる二酸化炭素(CO₂)の排出量に注目して、ライフサイクル全体に渡る関与量を計算する。LCA では、まず製品を構成する原材料の採掘(木材の場合は山林の植樹・育成・伐採)から、製品を構成する部品の製造、製品の出荷から配送の輸送、使用とメンテナンス、そして再利用・リサイクル・廃棄される処分段階までの中で消費されるエネルギー量や地球温暖化ガス効果などの環境負荷を求める必要がある。国際標準 ISO 14000 シリーズに準拠した LCA では、「目的と範囲の設定」、「インベントリ分析」、「インパクト評価」を経て「結果の解釈」を行うものとされているが、本研究では設計・施工までの段階に絞って環境負荷を定量化する試みを行った。在来の木軸工法と輸入外材を使ったプレハブ住宅などの比較を検討した。今回の検討では住宅の基本構造(屋根・柱・壁・床)に限定し、トイレや台所などの付帯設備は対象としなかった。本研究のためのソフトウェアとして、(財)産業環境管理協会の JEMAI-LCA Ver.1.1.3 と東芝エンジニアリング(株)の Easy-LCA Ver3.16b を用いた。

なお、本研究は土佐経済同友会の環境問題委員会(高村禎二委員長)の協力の下に行っている。

*¹ FSC 認証(森林認証制度)とは、「適正な森林管理」が行われていることを、一定の基準に照らして、独立した第三者機関が審査・認証する制度である。FSC (Forest Stewardship Council 森林管理協議会)による森林認証制度はその一つで、世界で最も広く展開している。FSC が定める基準は、環境、社会、経済の3つの側面から見て適正な森林管理であることを要求している。つまり、FSC の認証を取得した森林管理主体(個人の林業経営者や林業会社、森林組合などのグループなど)は、適正な森林管理を行っているという「お墨付き」を得ることになる。FSC の認証を受けた森林から出る木材やそれを加工した木材製品には、FSC のトレードマーク(ラベル)をつけることができることにより、環境への関心の高い消費者が、森林破壊によって生産された木材製品を避け、選択的に環境にやさしい木材製品を購入することができる。

森林認証制度には、FSC の他に欧州中心に展開する PEFC (Pan-European Forest Certification)、アメリカで展開されている林産業界主導の SFI (Sustainable Forestry Initiative)、カナダで展開されている CSA (Canadian Standards Association) などがある。

Table 1-1 全国に占める高知県林業の地位

項目	単位	全国	高知県	対全国 比%	全国 順位	上位3位			
						1位	2位	3位	
総土地面積	千 ha	37,787	710	1.9	18	北海道	岩手県	福島県	
森林 資源	森林面積	千 ha	24,441	592	2.4	11	北海道	岩手県	長野県
	森林面積率	%	65	83	-	1	高知県	岐阜県	島根県
	民有林面積	千 ha	17,209	469	2.7	10	北海道	岩手県	岐阜県
	国有林面積	千 ha	7,231	123	1.7	14	北海道	青森県	秋田県
	人工林面積	千 ha	10,338	388	3.8	5	北海道	岩手県	長野県
	人工林率	%	42	66	-	2	佐賀県	高知県	福岡県
	保安林面積	千 ha	9,473	139	1.5	25	北海道	長野県	新潟県
林 業 事 業 体	林家数	千戸	1,019	26	2.6	14	広島県	北海道	岩手県
	森林組合数	組合	1,174	32	2.7	8	北海道	岐阜県	兵庫県
生 産 額	組合作業班員 数	人	29,592	1,182	4	5	熊本県	宮崎県	島根県
	林業労働者数	人	-	2,080	-	-	-	-	-
	製材工場数	工場	11,692	179	1.5	33	三重県	岐阜県	新潟県
	生産林業所得	千万円	35,187	875	2.5	17	長野県	北海道	新潟県
材 質 生 産 額	林業粗生産額	千万円	53,110	1,144	2.2	17	北海道	長野県	新潟県
	素材生産量	千 m3	17,987	448	2.5	12	北海道	宮崎県	岩手県
	民有林生産 量	千 m3	15,487	315	2	16	北海道	岩手県	宮崎県
	杉生産量	千 m3	7,776	226	2.9	12	宮崎県	大分県	熊本県
	ヒノキ生産量	千 m3	2,313	177	7.7	3	三重県	岐阜県	高知県
	広葉樹生産 量	千 m3	3,467	26	0.7	24	北海道	岩手県	福島県
	木炭生産量	t	56,457	1,052	1.9	16	岩手県	北海道	福島県
	生椎茸生産量	t	67,224	378	0.6	43	群馬県	北海道	岩手県
乾椎茸生産量	t	5,236	59	1.1	15	大分県	宮崎県	岩手県	
木材・木製品 製造品出荷額	億円	50,980	336	0.7	43	愛知県	静岡県	北海道	

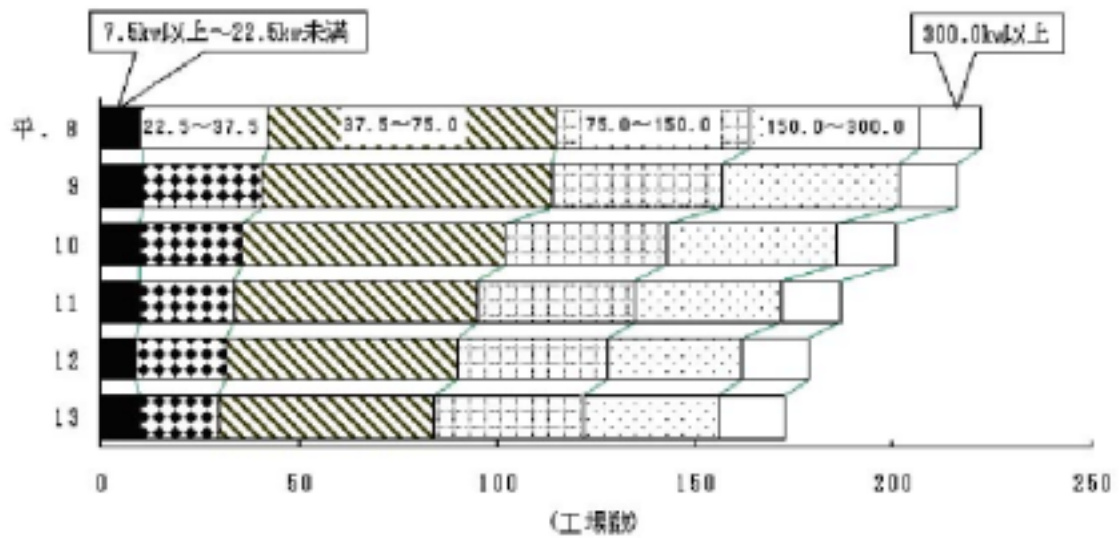


Fig. 1-1 製材工場数の推移(製材用動力の出力階層別)

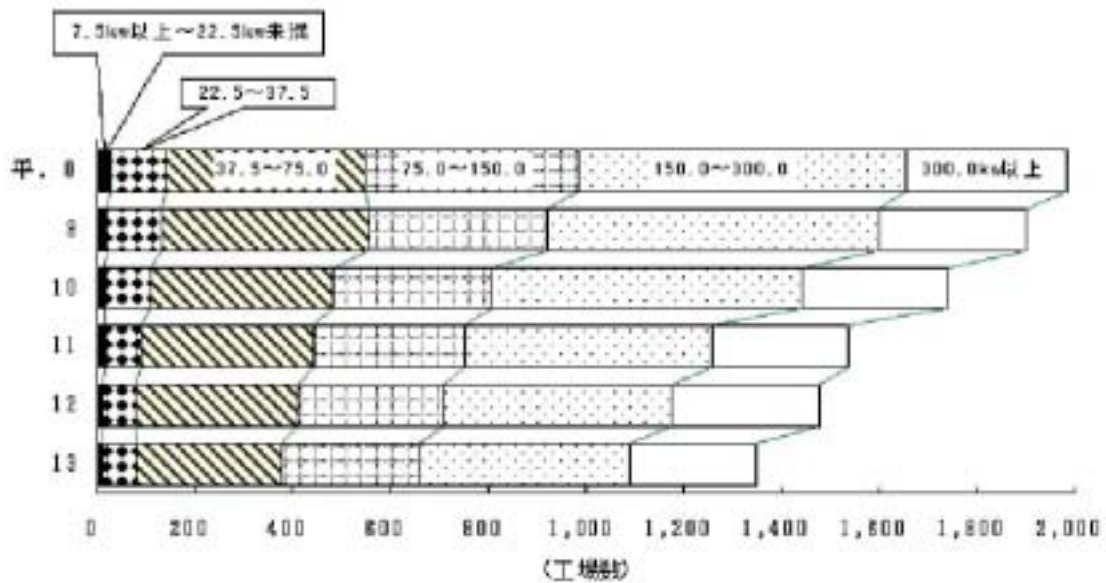


Fig.1-2 動力階層別従業者数

Table.1-2 製材用素材入荷量(高知県)

単位{入荷量:千 m³、比率:%}

区分	計	国産材			外材						
		小計	針葉樹	広葉樹	小計	南洋材		米材	北洋材	ニュー ジー ランド 材	その他
						計	ラワン材				
平.8	789	389	389	0	400	9	1	48	1	335	7
9	729	370	369	1	359	7	1	41	2	305	4
10	644	326	325	1	318	6	0	36	1	270	5
11	590	310	309	1	280	3	1	28	1	244	4
12	593	307	306	1	286	6	0	20	0	255	5
13	520	277	276	1	243	3	1	17	0	216	7
対前 年比	87.7	90.2	90.2	100.0	85.0	50.0	...	85.0	...	84.7	140.0
構成 比	100.0	53.3	53.1	0.2	46.7	0.6	0.2	3.3	...	41.5	1.3

http://www.kochi.info.maff.go.jp/toukei_joho/tj14/tj1405.html

2. LCA の説明と使用ソフト

2-1 LCA の方法

LCA とは製品の一生(製品自身の製造段階だけではなく、製品を構成する原材料の採掘段階、製品を構成する部品・材料の製造段階や、製品の出荷から使用者に届けられるまでの流通段階、使用者による製品の使用とそれに伴う修理・メンテナンスを含む使用段階、使用者の手を離れた製品が再使用・リサイクル・廃棄される処分段階の全て)の過程で投入されるエネルギー量、材料の使用量、排出される CO₂、SO_x、NO_xなどの数値を使って計算し環境への影響を評価する手法である。以下に LCA 調査を実施する手順を Fig.2-1 に示す。

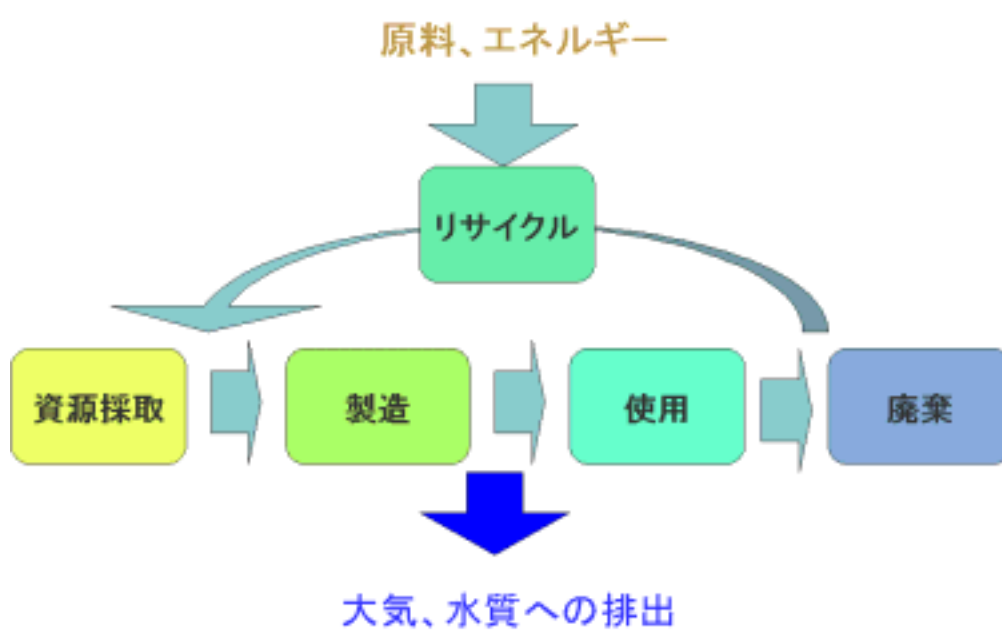


Fig.2-1 ライフサイクルアセスメントの概念図

1) 目的と調査範囲の設定 (System Boundary)

まず LCA を実施する目的を事前に明確にします。具体的には、用途、実施する理由、結果を伝える相手の三項目を決めます。そして製品のライフサイクルの範囲を決める。

2) インベントリ分析 (Inventory Analysis)

製品のライフサイクルの中の各工程に対する環境負荷データ(投入エネルギーや資源消費、各環境負荷物質の排出)を、ライフサイクル全体で算出、推定する段階である。

このインベントリ分析には、積み上げ法と産業連関法がある。積み上げ法とは、製品がどのように作られたかを需要側から過程を遡って調査していく方法である。積み上げ法の利点は、具体的にプロセスを検討するため、インベントリの作成根拠が明確にできるということである。またその欠点は、すべてのプロセスを網羅するためには多大な作業を要し、また、それはほとんど不可能なことである。また、インベントリデータについても一般化できるほどの客観性は少ないということもあげられる。

産業連関法とは、原材料やエネルギーがどのように配分されたかを供給側からトップダウンで調査していく方法である。この方法では産業連関表を用いる。産業連関表とは、ある期間における産業、家計、政府、海外等の各経済主体間の財やサービスの流れを行列形式で体系的に表現した統計表である。産業連関法の利点は、産業連関表で詳細化された部門間の関係を明らかにしておくことにより、ある製品のインベントリを理論的に算出できるということである。ただし、産業連関法を用いる場合は、部門数の不足、既存のインフラ整備に要したインベントリの影響が無視されていること、新技術やリサイクルのようにまだ産業連関表に取り入れられていないものに関する分析ができないことなどに注意する必要がある。

Table 2-1 産業連関表による環境負荷原単位データブック(国立環境研)

表1 1995年(399部門)I-A型環境負荷原単位(その9)

河コード	部門番号	部門名	1995年 (I-A)型 環境負荷原単位(生産者価格ベース)						
			エネルギー TOE/百万円	エネルギー GJ/百万円	CO ₂ t-CO ₂ /百万円	CO ₂ Mg-CO ₂ /百万円	NO _x kg/百万円	SO _x kg/百万円	SPM kg/百万円
361105	257	船用内燃機関	1.2021	50.219	0.0537	2.863	4.979	3.479	0.548
361110	258	船舶修理	1.1466	47.996	0.0489	2.846	4.970	2.988	0.503
362101	259	鉄道車両	1.3146	55.032	0.1671	4.279	6.238	3.483	0.618
362110	260	鉄道車両修理	1.3394	56.070	0.1730	4.301	5.486	3.948	0.645
362201	261	航空機	0.5811	24.325	0.4355	1.597	2.915	1.623	0.293
362210	262	航空機修理	0.4443	18.599	0.3286	1.205	2.251	1.217	0.222
362901	263	自転車	0.7987	32.220	0.6141	2.232	3.414	2.126	0.370
362909	264	その他の輸送機械	0.9757	40.844	0.8464	3.103	4.419	2.706	0.461
371101	265	カメラ	0.6232	26.089	0.4450	1.632	2.919	1.764	0.304
371109	266	その他の光学機械	0.8144	34.089	0.5858	2.148	4.632	2.306	0.407
371201	267	時計	0.7046	29.495	0.5214	1.912	3.378	2.061	0.371
371901	268	理化学機械器具	0.7000	29.344	0.5507	2.019	3.324	1.852	0.341
371902	269	分析器・試験機・計量器・測定器	0.6325	28.152	0.5204	1.908	3.364	1.795	0.341
371903	270	医療用機械器具	0.7783	32.579	0.5855	2.147	3.551	2.236	0.375
391101	271	玩具	0.7995	33.469	0.5758	2.111	4.556	2.398	0.596
391102	272	運動用品	1.0950	45.838	0.8240	3.021	5.885	3.579	0.639
391901	273	楽器	0.7024	29.402	0.5140	1.885	4.068	1.955	0.445
391902	274	情報記録物	0.9622	40.279	0.6739	2.471	4.446	2.618	0.491
391903	275	筆記具・文具	0.8899	37.252	0.6538	2.397	4.701	2.502	0.514
391904	276	身の細用品	1.1665	48.838	0.8690	3.186	14.681	7.718	1.328
391905	277	靴・さら加工品	0.5265	22.041	0.3940	1.445	4.683	1.503	0.228
391906	278	武器	0.8552	35.797	0.6902	2.531	4.793	2.787	0.579
391909	279	その他の製造工業製品	1.0030	41.985	0.7430	2.724	5.939	3.593	0.638
411101	280	住宅建築(木造)	0.6298	26.265	0.5348	1.961	4.821	1.701	0.505
411102	281	住宅建築(非木造)	0.8537	35.735	0.7986	2.928	6.026	2.163	0.652
411201	282	非住宅建築(木造)	0.6454	27.016	0.5729	2.101	4.986	1.720	0.497
411202	283	非住宅建築(非木造)	0.8773	36.726	0.8239	3.021	6.914	2.296	0.646
412101	284	建設輸送	0.8431	35.291	0.7634	2.799	5.962	2.272	0.639
413101	285	道路開削公共事業	0.9934	41.586	1.0190	3.736	11.485	2.653	0.951
413102	286	河川・下水道・その他の公共事業	0.9137	38.248	0.9955	3.650	9.696	2.352	0.780
413103	287	農林開拓公共事業	1.0084	42.212	1.0305	3.779	14.044	2.542	0.959
413201	288	鉄道軌道建設	1.0352	43.334	1.1439	4.194	9.708	2.841	0.745

3) 環境影響評価 (Impact Analysis)

インベントリ分析で得られた結果を、CO₂、SO_x、NO_x が関係する「地球温暖化」やCOD*²、BOD*³、SS*⁴、T N*⁵、T P*⁶ が関係する「水質汚濁」などの環境影響項目に分類し、各項目ごとに環境影響の程度を評価する。

4) 結果の解釈 (Interpretation)

先ほど行ったインベントリ分析や環境影響評価から得られた結果を元に、製品の与える影響や改善点などをまとめる段階である。

これらの4つの各段階を視覚的にあらわすと次の Fig2-2 である。

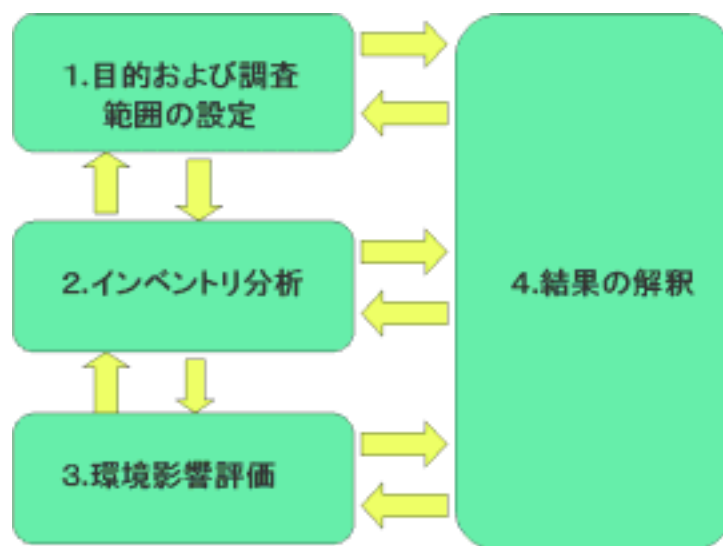


Fig.2-2 ISO14000 シリーズに準拠した LCA の手順と考え方

いままでの LCA の説明を総合的にすると次のようになります。

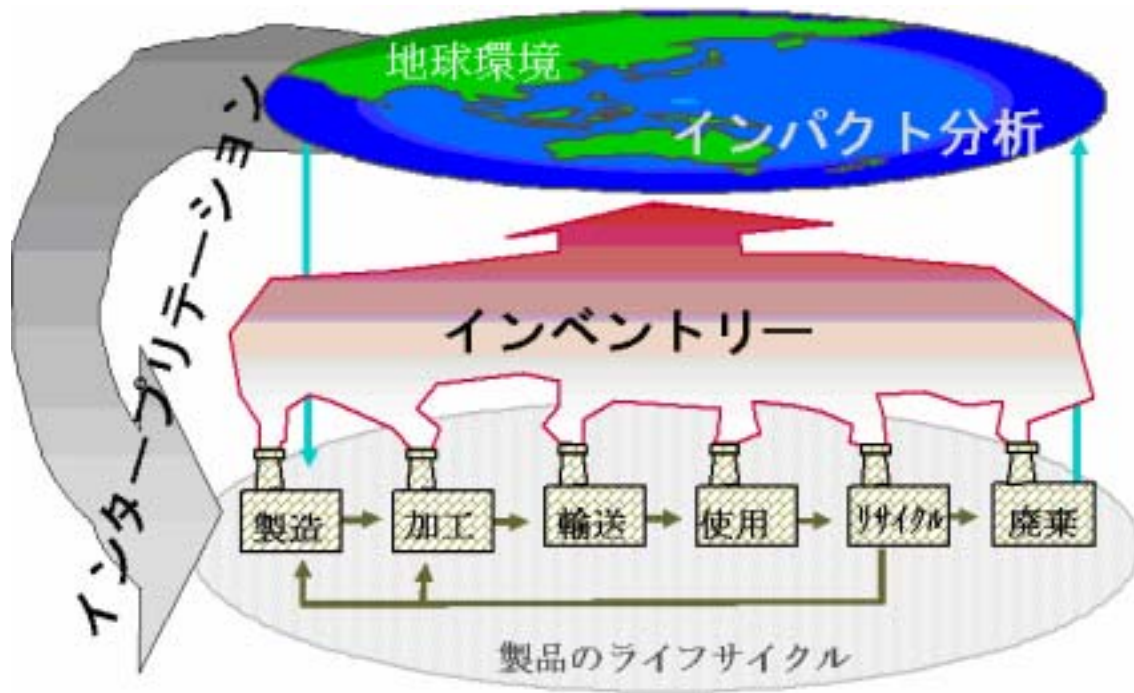


Fig.2-3 LCAの3つのフェイズの概念図 (原田幸明)

*2 COD(化学的酸素要求量)

CODはChemical Oxygen Demandの略で、化学的酸素要求量ともよばれる。水中の被酸化物質、主として有機物を酸化剤によって酸化するときに消費される酸素の量をいう。主に海域と湖沼の汚濁の指標としてもちいられ、排水基準や環境基準にも利用されている。CODの測定法にはいろいろな方法があるが、基本的には過マンガン酸カリウム KMnO_4 を用いる方法と二クロム酸カリウム $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ を用いる方法に大別される。いずれの方法も検水に一定過剰量の酸化剤をくわえ、一定時間に消費された O_2 (酸素)量をppm(100万分の1、重量の百万分率)であらわす。測定値は、もちいた酸化剤の種類や濃度、反応時間などによってことなるので、データを比較する場合には注意を要する。日本では、排水基準規制や環境基準には過マンガン酸カリウムをもちいた COD_{Mn} 法をつかっているが、アメリカ合衆国やヨーロッパでは二クロム酸カリウムをもちいた COD_{Cr} 法がつかわれている。

*3 BOD(生物化学的酸素要求量)

BODはBiochemical Oxygen Demandの略で、生物化学的酸素要求量ともよばれる。有機物汚濁の度合いをはかる指標で、生物が好氣的生物化学反応により、水中の有機物を分解する際に消費する酸素量をいう。

BOD は 1 段階(生物によって比較的分解されやすい有機物の酸化)と 2 段階(硝化作用および分解が比較的困難な有機物の酸化)に区別される。下水・廃水の汚染度をあらわすのに、通常 20℃ で 5 日間に消費される酸素の mg/リットルまたは ppm を用いる。COD が主に海域や湖沼での排水基準や環境基準にもちいられるのに対して、BOD は河川でもちいられる。

河川では水の滞留時間が短く、その間に川の水中の酸素を減少させるような物質、つまり生物によって酸化されやすい有機物がおもな規制の対象となるが、海域や湖沼では水の滞留時間が長いために、有機物の全量を規制の対象にする必要があるからである。しかし、検水中に毒物質がふくまれている場合には正確な BOD の測定ができないため、COD がもちいられる。また、COD は BOD にくらべて短時間で測定できる利点もある。

*4 SS (懸濁物質、浮遊物質)

Suspended Solid の略で単位は mg/L。水中に分散している固形物で検水をろ過した時に分離される物質で粒径 2mm 以下のものをいう。1リットル中に 1mg この物質が含まれる水は 1mg/L である。水質汚染の原因となる。また河川に汚泥床を形成し、懸濁物質が有機物である場合には腐敗して水中の溶存酸素を消費する。魚類のえらに付着してへい死させ、光の透過を妨害し植物の光合成に障害を与える。魚の産卵場、ノリの養殖場等への沈着などがある。

*5 T-N(総窒素)

Total Nitrogen 全窒素ともいう。単位は mg/L。窒素を含む化合物の総称。

工場排水および天然水中に存在する窒素化合物の形態を大別すると、無機態窒素と有機態窒素の二つに大別される。

無機態窒素.....アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4 - \text{N}$)、亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2 - \text{N}$)、
硝酸態窒素 ($\text{NO}_3 - \text{N}$)

有機態窒素...人間などの生活廃棄物などに含まれるアミノ態、蛋白態などの
含窒素有機化合物、その他工場排水中に含まれる含窒素有機化合物など。

特に有機態窒素は水中で硝化生物による作用を受け、 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- に分解酸化される。硝酸イオンは安定で、植物の肥料として摂取され、この植物を動物が食料に今日したのち、再び排せつ物として有機態窒素が水中に排出され、この生物作用は循環する。

*6 T-P (総リン)

Total Phosphorus 全リンともいう。単位は mg/L。天然に燐灰石などのような燐酸塩として算出する。複雑な有機化合物として生物体の重要な部分をなす。排水中のリン化合物は有機態リン、無機態リンの二つの形態に大別することができる。工場排水及び天然水中のリン化合物の挙動は極めて複雑で水中の微生物活動及び化学的作用を受けて、リン化合物の形態は変化しやすい。最終的には酸化及び加水分解を受けてオルトリン酸塩になり、溶存状態または懸濁状態で存在する。

2 2 ISO14000 シリーズとしての LCA

ISO14000 シリーズとは、ISO/TC207 で制定された、環境マネジメントに関する一連の国際規格をさし、これらの規格群の中核をなす規格が、ISO14001(環境マネジメントシステム)である。

ISO14001には、企業活動、製品及びサービスの環境負荷の低減といった環境パフォーマンスの改善を実施する仕組みが継続的に改善されるシステム[環境マネジメントシステム(EMS: Environmental Management System)]を構築するための要求事項が規定されている。

具体的には、まず組織の最高経営層が環境方針を立て、その実現のために計画(Plan)し、それを実施及び運用(Do)し、その結果を点検及び是正(Check)し、もし不都合があったならそれを見直し(Act)、再度計画を立てるというシステム(PDCA サイクル)を構築し、このシステムを継続的に実施することによって、環境負荷の低減や事故の未然防止が行われる。

ISO において、LCA は環境マネジメント規格の一つとして扱われ、1993 年より TC207/SC5 で審議されてきた(TC:テクニカルコミティー、SC:サブコミティー)。その一般原則である ISO14040 は97年に発行された。さらにインベントリ分析(14041)、インパクト評価(14042)および解釈(14043)について現在標準化されている。またこれらは、そのまま JIS(日本工業規格)に反映されている。

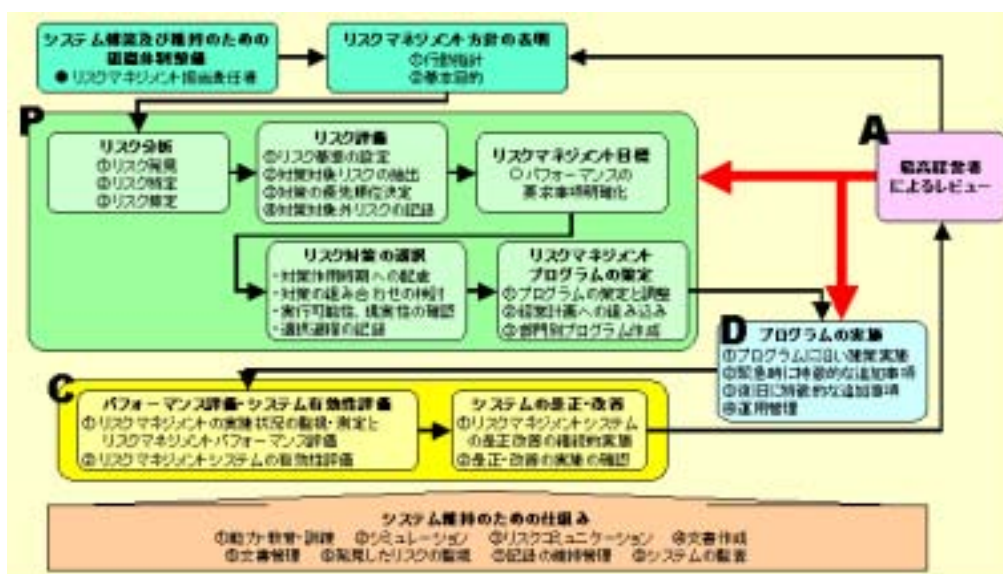


Fig.2-3 PDCA サイクルの概念図

2-3 JEMAI-LCA

JEMAI-LCA は、製品の環境負荷を定量的に把握し評価する LCA 手法の実施を支援する PC ソフトである。独立行政法人 産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究センター (旧資源環境研究所 NIRE) が開発したソフトウェアの特許使用許諾を得て販売されている。使いやすく、豊富なデータベースを搭載しており、LCA 調査報告書作成支援機能も付いている。また、LCA は国際規格 14000 シリーズに準拠しているため、環境調和型製品作りに取り組む設計者をはじめ製品の環境評価に係わる人々に有効なソフトウェアである。そのほかに「解釈」の中で報告書の作成を支援する。設定どおりにしたがって必要事項を記入・選択することで、ISO に準拠した報告書を作成できる。

データベースは Easy - LCA と同じように産業連関表を利用している。

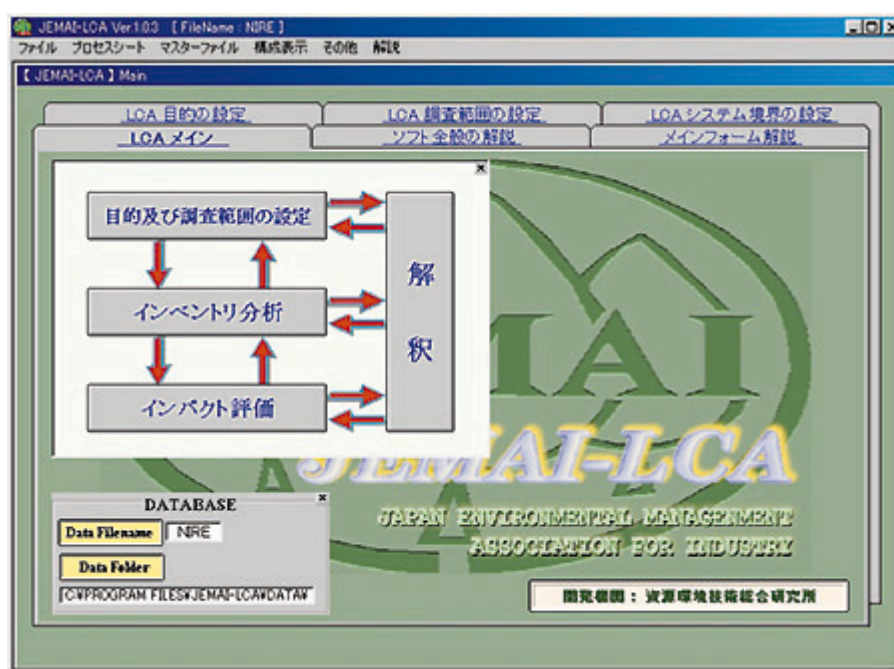


Fig.2-4 JEMAI-LCA のオープニング画面

動作環境

ハードウェア

- CPU PentiumII 400MHz 以上または同等品
- メモリ 64Mbyte 以上 (128Mbyte 以上を推奨)
- ハードディスク 右記の OS を搭載した上で、120Mbyte 以上の空き容量
- ディスプレイ 800 × 600 ドット以上表示可能

ソフトウェア

- OS Microsoft Windows 95/98/NT

2-4 Easy - LCA の説明

Easy - LCA は、東芝エンジニアリング(株)から販売されてる LCA ソフトウェアで、製品等の対象物の原材料調達から廃棄に至るまでのライフサイクルを“製品構成情報(原材料)”、“製品構成情報(製造)”、“輸送情報”、“使用情報”、“リサイクル情報”、“廃棄情報”の 6 情報に分類して各々の環境負荷を算出し、それらを合計することによって対象物のライフサイクルにおける環境負荷を計算できる。搭載しているデータベースについては、最新の産業連関表(1999 年発行)を用いた産業連関分析手法により構築された原単位データベースを搭載している。選択できる素材・材料製品の項目数が、約 2700 種類あるデータベースである。国内における産業の波及効果だけでなく海外で発生している環境負荷も考慮している。またこのデータベースは、化石燃料の燃焼による環境負荷を算出して、“CO₂ 排出量”、“SO_x 排出量”、“NO_x 排出量”、“エネルギー使用量”、の 4 種類の環境影響項目と「流域別下水道整備計画調査資料 指針と解説」を拠り所に算出した“BOD 排出量”、“COD 排出量”、“SS 排出量”、“T P 排出量”、“T N 排出量”、の 5 項目の全 9 インベントリを計算できる。そして計算されて結果により最大 3 種類の製品を比較しグラフにすることができる。

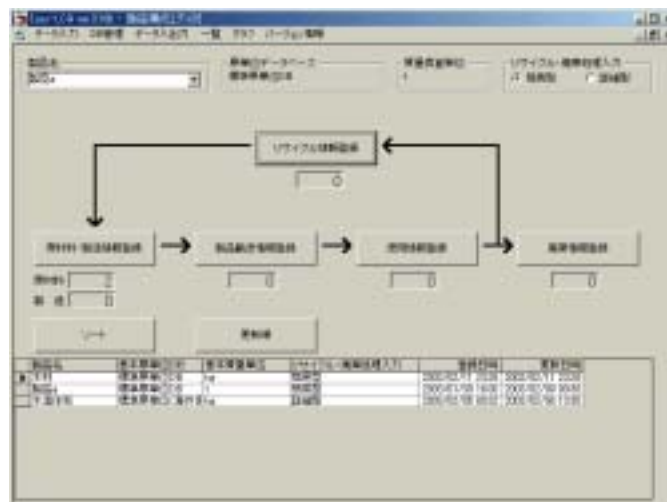


Fig.2-5 Easy-LCA の製品構成画面

この画面では製品を登録し原材料・製造情報登録、製品輸送登録情報、使用登録情報、リサイクル情報登録、廃棄情報登録の各画面に行くことができる。

動作環境

ハードウェア

- CPU PentiumII 400MHz 以上または同等品
- メモリ 64Mbyte 以上 (128Mbyte 以上を推奨)
- ハードディスク 右記の OS を搭載した上で、100Mbyte 以上の空き容量
- ディスプレイ 800 × 600 ドット以上表示可能

ソフトウェア

- OS Microsoft Windows 95/98/NT

3. 住宅の LCA の調査範囲の設定

今回、建物の LCA を行うにあたり、日本建築学会が 1997 年に日本建築学会が制定した建築物の LCA 指針をベースに調査を行った。建築物の LCA(ライフサイクルアセスメント)は、「日本建築学会地球環境行動計画(1997 年策定)」の重点研究に位置づけられている。この背景としては、あらゆる製品・サービスを対象とした LCA が 1997 年 6 月に ISO14040(LCA の原則と枠組み)という国際規格となり、建築分野としても早急な実用化が求められることとなった。この LCA の主要な要素を構成しているのが地球温暖化影響に関わる生涯二酸化炭素放出量(LCCO₂)である。本指針案は、1997 年 12 月に日本建築学会が公表した声明「建築物の LCCO₂ の 30%削減、耐用年数 3 倍 100 年以上を目指すべき」を受けて、地球温暖化影響に関わる LCCO₂ の実用的な算定手法を中心とした建物の LCA 手法の一例とそのためのデータベースを提案したものである。

今回の調査するにあたって、建設地は高知市、床面積は日本の平均の 40 坪(133m²)、建物の階数は 2 階建ての 3 タイプの住宅を建設すると仮定した。住宅の工法は在来工法(木造軸組工法)、2×4 工法と、鉄骨プレハブ工法の 3 種類を比較した。比較の方法として、在来工法は国産材、2×4 工法は海外材、鉄骨は鉄骨の骨組みだけを比較した。また在来工法は、高知県嶺北産の檜、2×4 工法は、シアトルまで 300km の地点の森林の檜、鉄骨プレハブ工法は原料となる鉄鉱石はオーストラリア産(ピルバラ地区でダンピアまで 300km の地点)とする。ここでアメリカ産木材を使っているのは、Fig.3-1 に示すように、北米産木材が 3 分の 1 を占めていることがわかる。また輸入されている木材の種類はベイマツが多いが、ここではベイヒノキを使用して計算している。その理由は、LCA をするにあたり、材料をそろえるといったことをしないといけないからである。

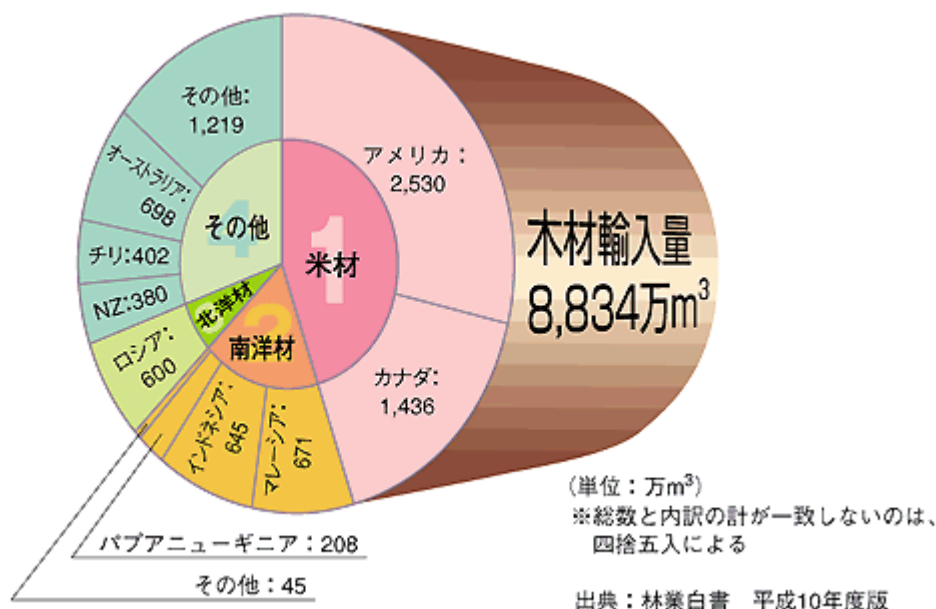


Fig.3-1 日本が木材を輸入している国

http://www.minnanomori.com/use/u_info01/u_105.html

住宅のLCAに必要なデータとして次の6つのステップに分けることができる。本来のLCAではこれらのすべてのステップを考慮すべきであるが、本研究では時間の制約により最初の3段階資材製造段階と運搬段階と施工段階だけを取り上げた。また建築資材となる檜について日本とアメリカの木材、素材の質に関しては同じとする。

住宅には、家屋の基本構造ばかりでなく、基礎や屋根瓦など水周りなどほかの部分も比較する必要があるが、今後の課題としたい。

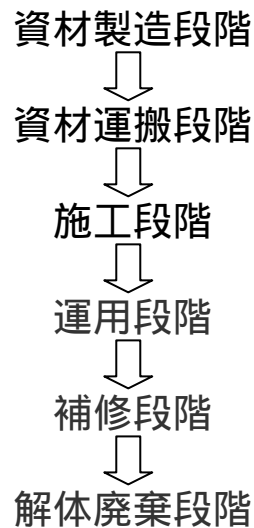


Fig.3-2 建築学会のガイドラインによる住宅のライフサイクル

これら3段階のそれぞれにおけるCO₂排出量は建築学会のガイドラインにある以下の式により求めた。

- 1) 資材製造に伴うCO₂排出量
(資材使用量 × 資材CO₂排出量)
- 2) 資材運搬段階によるCO₂排出量
(積載率 × 資材の重さ × 運送距離 × 貨物輸送の種類)
- 3) 施工工事におけるCO₂排出量
(現場工事CO₂排出量)

3-2 各工法の説明と CO₂ 排出量

3-2-1 在来工法

在来工法は、日本の伝統的な木造軸組み構造のことで、土台・柱・梁・筋交いなどで荷重を支えている。また好みや予算の面で木材の融通がきき、敷地対応力、設計の自由度が高い。しかし施工技術に熟練が必要なので、個人差があり仕事のばらつきがやすい。



Fig.3-1 在来工法による住宅建築の様子(高知市内)

在来工法における CO₂ 排出量の計算

高知県産檜(嶺北)が育苗から建築工事までの過程は次のように仮定した。

育苗 植林 間伐 育成 伐採 製材 輸送 建築工事

育苗から伐採まで

在来工法に必要とされる木の本数は木材住宅の使用木材量と樹木の材積量から求めることができる。まず、1 棟辺あたり使用量は材木の使用量は、在来工法は 26.5m³ である。1 本の木を 1 トンとする。その木の使用できる木材の部分の半分を 500Kg とする。また成長段階で間伐、植林の手入れなども考える、間伐は半数の木を間引きするとする。檜の気乾比重^{*7}0.41 であるから在来工法の総檜の本数は 90 本となるから育てることになる。この 90 本という値を EASY - LCA ならびに JEMAI - LCA のソフトに入れると育苗する段階で排出される、CO₂ 量は 8kg となる。

気乾比重^{*7} 気乾比重とは、気乾比重=気乾時の重量/気乾時の容量(気乾状態の標準としてわが国では含水率 15%が用いられる。)

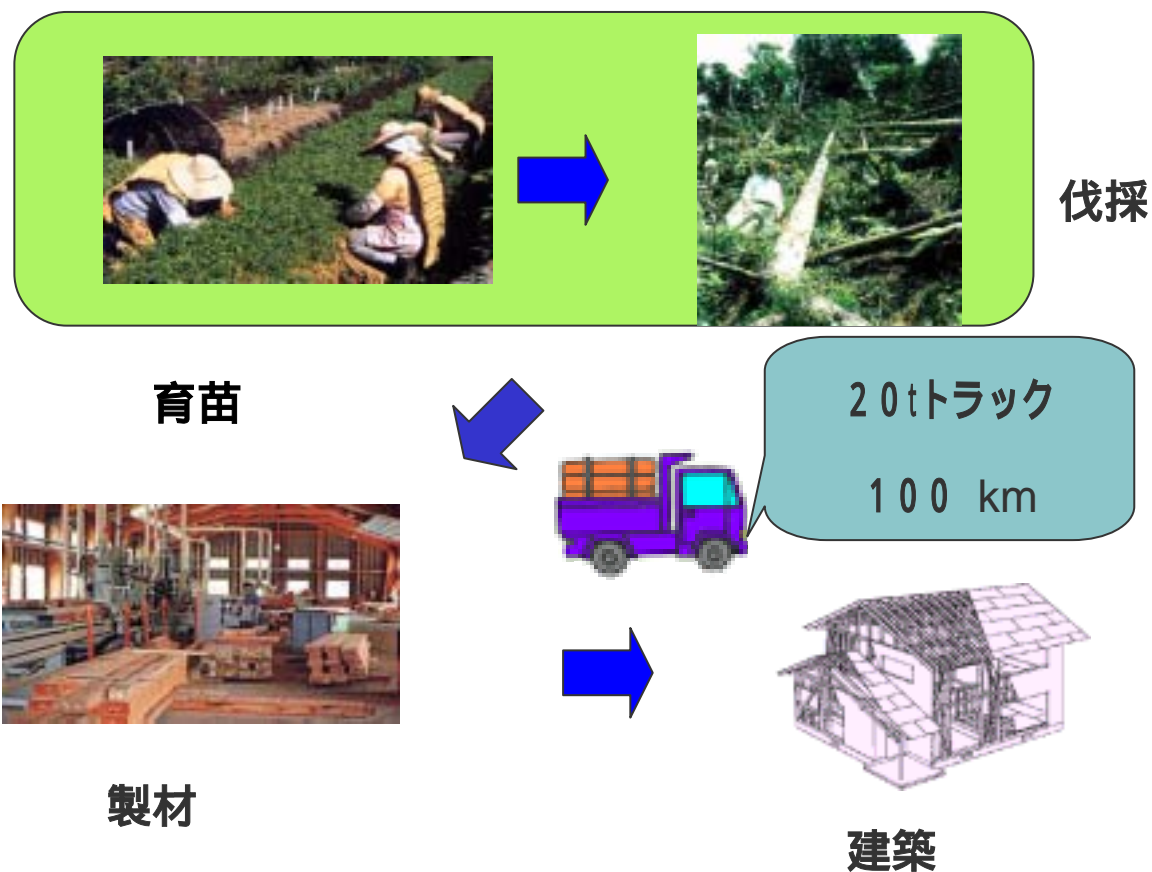


Fig.3-2 高知県産ひのきの輸送経路

製材

木材は近くの製材所で建築資材とし、ディーゼルエンジンの20トントラックに積載し高知市の建設現場まで運搬する。建築資材加工時のCO₂発生量は文献1)より1t当たり0.15tのCO₂を排出し、在来工法に使われる檜の総量は18.1tを加工時に排出されるCO₂発生量は、2715kgとなる。

輸送

輸送距離は100kmとし、区間の燃費は0.8km/Lを採用した。又、軽油の二酸化炭素係数は2.64(kg-CO₂/L)である。この20トントラックで輸送される間の二酸化炭素量は、軽油の使用量(輸送距離×燃費)×二酸化炭素係数より328.7kgのCO₂放出量を特定できる。

建築工事

建設現場ではすでに基礎は終わっているとし、その上に木造住宅を建設する。建設日数と必要な重機(クレーン)、人員(15人)、建設者を送迎するバス、建築機材を積むトラックを考えると、必要な機材とそのCO₂排出量は次の2)文献より定められたTable3-1から引用する。

Table 3-1 建築用機器の CO₂ 排出原単位

機 械 名	諸 元	1 時間当りの CO ₂ 排出量 (kg)
普通トラック	積載重量 4t	5.3
ホイールクレーン	吊上能力 15t	8.7
発動発電機	60KVA	7.1
マイクロバス	15 人乗り	2.7

在来工法の・柱・梁・筋交いの住宅の枠の部分を建設できる日数は1週間とする。1日の建築時間を8時間、従業員の送迎時間を1時間、トラックによる輸送(建設機材、材料)も1時間とすると、CO₂総排出量は1,413.3kgとなる。

在来工法は資材製造段階から施工段階まで4,464kgのCO₂が発生する。

3-2-2 2×4 工法

2×4 工法はパネルで箱状に組み立てられるので、耐震性や耐火性に強く、気密性も優れている。使用される木材もアメリカなどの外材が大半である。在来工法と比べて木材の量が少なくすむ構造である。その理由は、木材を組み合わせるときに、接着剤や金具で止めるために十分な強度を得られる。しかし、在来工法よりも設計の自由度が低く制限が多いようである。



Fig.3-3 高知市内の2×4工法の住宅建築現場

2×4 工法での CO2 排出量

アメリカ(シアトル)郊外(300km)から建築工事までの過程は次のとおりである。

天然の木 切り出し 鉄道輸送 集積地(シアトル)

船で運搬(神戸まで) 製材 トラック輸送 建築工事

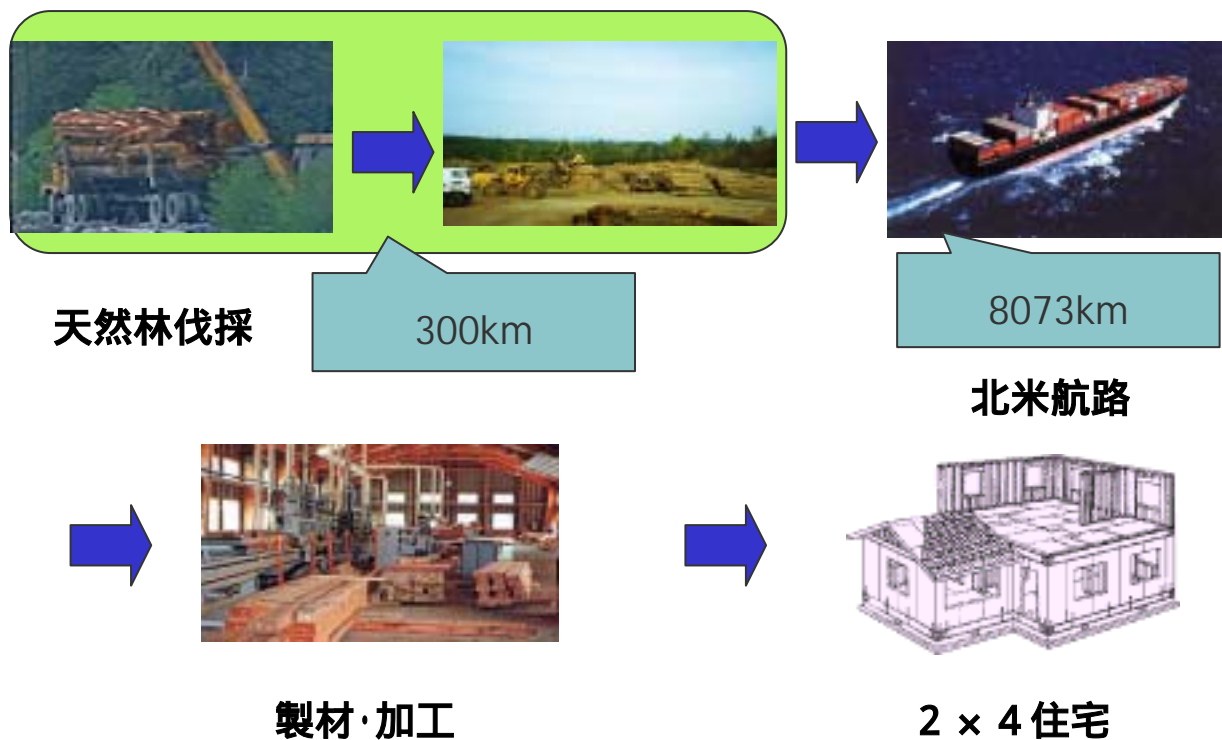


Fig.3-4 北米産ひのきの輸送過程

天然の木を切り出しから集積地(シアトル)まで輸送

求めることができる。まず、1 錬辺あたり使用量は材木の使用量は、2×4 工法は 19.3m³である。1 本の木を1トンとする。使用できる木材の部分を半分の500Kgとする。檜の気乾比重0.41であるから64本の木からできている。

次に切り出された64トンの木材を集積地から森林鉄道(ディーゼル機関車)でアメリカ(シアトル)まで運搬するとし、ディーゼル機関車の燃費は文献3)より軽油0.0128(L/t・km)、運搬距離運搬距離は300kmとした。245.7L×2.64(kg-CO₂/L)の式により鉄道により648.8kgのCO₂発生量が求められる。

船で運搬(神戸まで)

シアトルからから日本(神戸)まで木材運搬船(総重量4.2万トン)で運搬する。この木材運搬船はコンテナ船のパナマックス級(5~7万トン)船舶による輸送とし、運搬距離8,073kmとし計算した。またこの船舶は日本まで木材を輸送したのち、空の船が帰ると考える。

船舶の燃費を文献4)よりTable3-2に示す。

Table 3-2 海上輸送時の燃費

船舶	工程	単位	C重油
パナマックス級船舶(一般炭)	航海時	kg/t・km	0.000935
〃	碇泊時	kg/t	0.231667

海上輸送時の CO₂ 発生量は燃料消費量(航海時+碇泊時 = 483.1+14.8 = 497.9) × C 重油の CO₂ 排出量 2.94(kg- CO₂/L)/C 重油の密度は 0.93t/m³であり 1574kg の CO₂ 排出量を排出する。

製材

日本(神戸)に輸入してから建築資材に加工する。木材は近くの製材所で建築資材とし、ディーゼルエンジンの 20t トラックに積載し高知市の建設現場まで運搬する。建築資材加工時の CO₂ 発生量は文献 1)から、1t 当たり 0.15t の CO₂ を排出し、在来工法に使われる檜の総量は 13.1 トンを加工時に排出される CO₂ 発生量は、1,965kg となる。

トラック輸送

そして高知県まで 20t トラックで運搬する。輸送距離は 300km とし、区間の燃費は 0.8km/L を採用した。又、軽油の二酸化炭素係数は 2.64(kg- CO₂/L)である。この 20 トントラックで輸送される間の二酸化炭素量は、

軽油の使用量(輸送距離 × 燃費) × 二酸化炭素係数より

986.1kg の CO₂ 放出量を特定できる。

建築工事

建設現場ですでに基礎は終わっているとし、その上に木造住宅を建設する。建設日数と必要な重機(クレーン)、人員(15 人)、建設者を送迎するバス、建築機材を積むトラックを考えると、必要な機材とその CO₂ 排出量は在来工法の Table 3-1 と同じ値を使用する。2 × 4 工法の・柱・梁・筋交いの住宅の枠の部分为建设できる日数は 3 日間とする。1 日の建築時間を 8 時間とする。また従業員の送迎時間を 1 時間とすると、CO₂ 総排出量は 403.2kg となる。

以上により、2 × 4 工法は資材製造段階から施工段階まで 5,577.1kg の CO₂ が発生する。

3-2-3 鉄骨プレハブ工法

柱材として一般構造用角型鋼管 STKR400、梁材として一般構造用圧延鋼材として SS400 が用いられているが、どちらの鋼材も低炭素鋼である。柱や梁は全て軽量鉄骨で造られ、ある程度は工場で接続されていますが、現場にてそれらの部材をボルト等で緊結して骨組みを造り、やはりこれも工場で生産されたパネル状にされた屋根や壁、床の部材を繋げていって構造体を作製する。従って現場での工期を非常に短くすることが可能である。

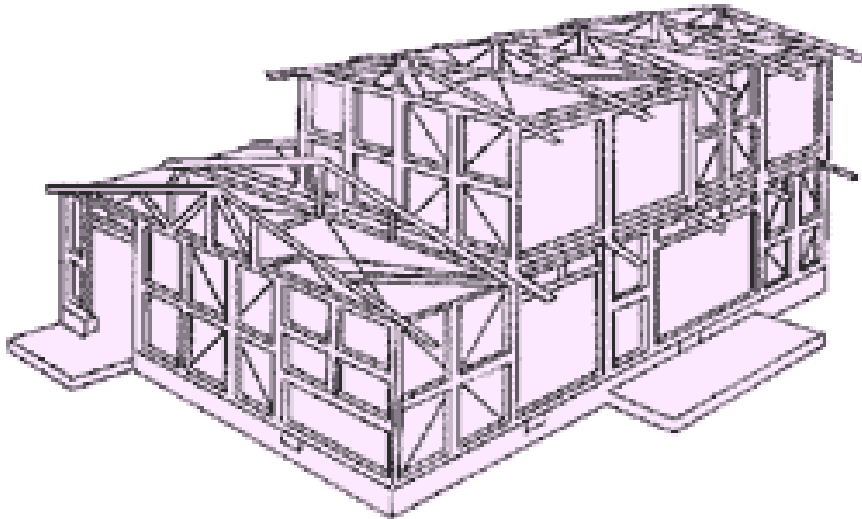


Fig.3-5 鉄骨プレハブ工法の模式図(ミサワホーム)

<http://www.misawa.co.jp/A-sumainavi/naviB/navi06.html>

オーストラリア産(ピルバラ地区でダンピアまで 300km の地点)から建築工事までの過程は次のとおりである。

採掘現場 鉄道輸送 集積地(ダンピア) 船で運搬(神戸まで)

製鉄(鉄骨部品) トラック輸送 建設工事

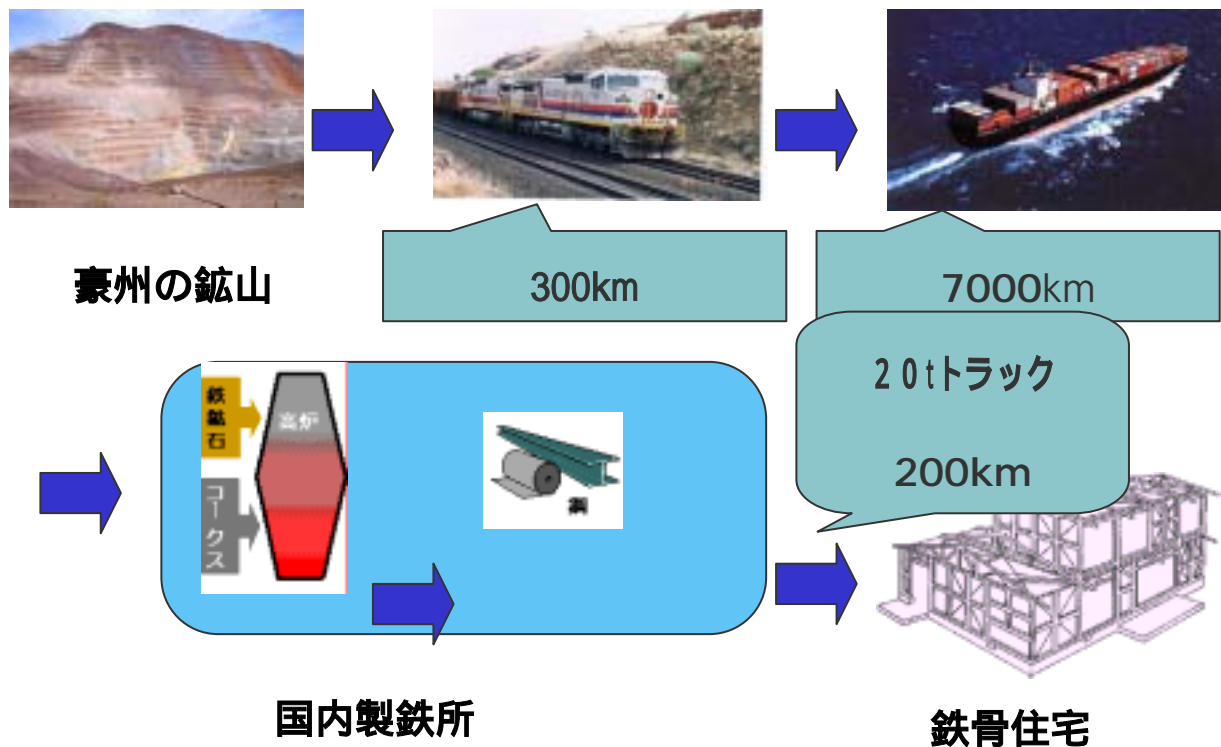


Fig.3-6 鉄鋼までの輸送過程

採掘現場

鉄鋼 5t を作り出す鉄鋼石量は 7.7t である。

文献 1)より 7.7t の鉄鉱石を採掘時の CO₂ 量は、採掘量 t×CO₂ 排出量(kg- CO₂)で求めることができる。

$$18.3 \times 7.7 = 140.9\text{kg}$$

鉄道輸送 集積地(ダンピア)

輸送時に発生する CO₂ 量は、つぎに切り出された 7.7t の鉄鉱石を産地から鉄道(ディーゼル機関車)でダンピア(オーストラリア)まで運搬するとし、ディーゼル機関車の燃費は文献 3)より軽油 0.0128(L/t・km)、運搬距離運搬距離は 300km とし、 $29.6\text{L} \times 2.64 \text{ (kg- CO}_2\text{/L)}$ の式により鉄道により 78.1kg の CO₂ 発生量が求められる。

船で運搬(神戸まで)

海上輸送ではダンピア(オーストラリア)からから日本(神戸)まで鉄鉱石運搬船(コンテナ船のパナマックス級(5~7万トン)船舶による輸送とし、運搬距離 8,000km とし計算した。またこの船舶は 2×4 工法と同じように日本まで木材を輸送したのち、空の船が帰ると考える。

Fig3-2 より海上輸送時の CO₂ 発生量は燃料消費量(航海時+碇泊時 = 57.6+1.8 = 59.4) × C 重油の CO₂ 排出量 2.94(kg- CO₂/L)/C 重油の密度は 0.93t/m³ であり 187.7kg の CO₂ 排出量を排出する。

製鉄(鉄骨部品)

鉄鉱石から鉄鋼にする過程を Easy - LCA を用いて計算する。

構成種別は原材料、大分類は金属製品、中分類は建設用金属製品、材料名軽量鉄骨で、鉄骨部品としての重量を入力し計算した。その結果 7,193.7kg という CO₂ 排出量が得られた。

トラック輸送 建設工事

鉄骨プレハブ工法では、工場(神戸)でトレーラーにより工事現場に運んでその場で組み立てるとい
う方式をとる。つまり基礎ができているという仮定で、1日で工期が終わる。

また鉄骨プレハブ工法の・柱・梁・筋交いの住宅の枠の部分を建設できる日数は工場で1日(鉄骨の
部分の組み立てに8時間)とする。そして建築現場で1日の建築時間(設置)を8時間、従業員の送
迎時間を1時間、トラックによる輸送(建設機材、材料)は5時間とすると、CO₂排出量は155.6kgとな
る。

以上より、鉄骨プレハブ工法の総 CO₂ 排出量は、7,756kg と見積もることができる。

4. 結論と考察

前章の検討の結果、3種類の住宅の建築工事までの段階で発生するCO₂量を図示するとFig.4-1のようになる。

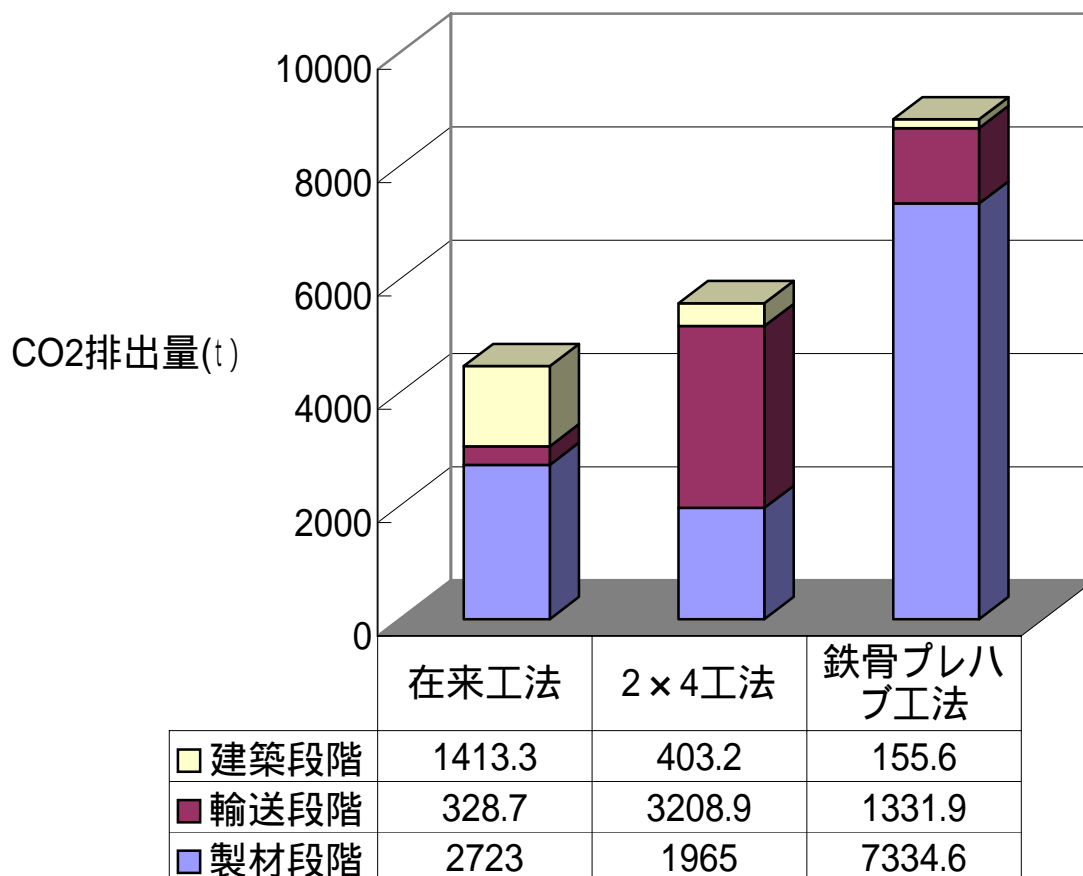


Fig.4-1 3種類の工法によるCO₂発生量比較

この図は高知市に40坪の住宅を建設するとき、基本構造について主要な構造材料である木材と鋼による、施工段階までのCO₂発生量である。木造建築の木は大気中のCO₂を吸収しその体内に固定する。使用木材の半分が炭素(250kg)だとすると、1件の家で約7tの炭素を固定することになる。つまり炭素の収支はマイナスとなる。これに対して生産時に鉄骨プレハブ工法では材料生産段階に多くのCO₂が排出されるが炭素の固定はほぼない。

在来工法より2×4工法は木材が少なくすむが、長距離輸送によるCO₂発生量で総合的に2×4工法はCO₂を多く出している。

鉄骨プレハブ住宅は、今回の結果では製造段階で1番多くCO₂が発生したと見られる。製鉄時に炭

素は鉄の還元だけでなく、鉄鉱石を溶かす熱の元となっている

鉄骨プレハブ工法の建築段階での CO₂ 排出量が少ないのは工場で部材を作って現場では設置するだけの作業となるためと思われる。

これからの問題点

今回の LCA ではインベントリ分析の途中までしか行っておらず、ライフサイクル全体にわたるものではない。またコンクリートや風呂などの水周り、配線工事など多くの検証できていない項目が多く 1 つ 1 つ積み重ねていくしかない。

リサイクルした鉄鋼を使用した鉄骨プレハブ住宅の結果も入れなくてはならない。

建築時、または解体、建物維持などで問題となる BOD、COD の影響も調べる必要がある。

この研究では CH₄ について調査してないが、CH₄ は CO₂ とくらべて 20 倍の地球温暖化効果があるといわれている。CH₄ は主に家畜や自然の土壌から排出されるが、木材など建築部材を産廃として埋め立てられたあと排出されることが分かっている。このことも踏まえ、総合的な環境影響評価を行い LCA を完結するだけでなく、どのような建築方法を行えば環境に対する負荷を与えるか、考える必要がある。また環境に対する環境影響評価と建築時の価格を比較し、いかに地元の木材を扱ってもらうか、問題は多い。

5. 参考文献

- 1) 本藤祐樹ら「産業連関表を用いた我が国の生産活動に伴う環境負荷の実態分析 - データ集 -」
新・省エネルギー1998
- 2) (社)日本建設機械化協会編「建設機械等損料算定表 平成 11 年度版」
- 3) 「わが国における化石エネルギーに関するライフサイクルインベントリー分析」(財)日本エネルギー経済研究所研究調査報告書(1996年6月)
- 4) 本藤祐樹ら「化石燃料の国内消費に伴い海外で誘発される環境影響物質」エネルギー・資源
p578vol.20No.6(1999)
- 5) LCA 実務入門編集委員会編「LCA 実務入門」、産業環境管理協会(1998)
- 6) 南齊規介 森口祐一 東野達「産業連関表による環境負荷原単位データブック(3EID)」
- 7) 薬剤について <http://www.110-ban.com/yakuzai.html>

謝辞

本研究を行うあたり、終始ご丁寧にご指導いただきました。門馬教授に心から感謝申し上げます。土佐経済同友会環境問題委員会の各位にはご指導と激励をいただきました。特に、株式会社フタガミの二社長を始め、山崎憲輔さん、西村亜紀さんに資料を提供いただきましたことに大変深く感謝しております。

東芝エンジニアリング(株)の鈴木春生様には Easy - LCA の使用方法、ならびに LCA の考え方をご伝授させていただいてことに、深く感謝します。