

## 建設時における木造住宅の二酸化炭素排出量 - 木材製造時の CO2 排出量と住宅の構法別 CO2 排出量 -

ウッドマイルズ研究会 2008/3/1

### 1 はじめに

木材の製造エネルギーについて初めて明確な数値で公表されたのは、1990年に東京で開かれた国際会議 ITEC1990 が最初であろう。この会議で報告されたニュージーランド・カンタベリー大学(University of Canterbury)のブキャナン教授(Andrew H Buchanan)の論文「Timber Engineering and the Green House Effect」において、製材品をはじめ種々の材料の製造エネルギー量から大気中に排出される炭素量に換算して環境への低負荷性が示された。翌1991年にはこのデータを元に大熊幹章氏、中島史郎氏によって「地球温暖化防止行動としての木材利用の促進（木材工業）」という題で木材と他の建築材料との製造エネルギーの比較が明瞭な表現で紹介された。このことで木材のエコマテリアルとしての客観的な裏付けが出来たことになる。

近年、二酸化炭素排出量を数値的に表し具体的な削減値を示すことで、環境性能を一般消費者にも見える形で評価できるツールも出てきている。

ここでは、木材の製造時にかかるエネルギー消費量の整理から、最新の環境性能評価ツールである「建築物総合環境性能評価システム（以下 CASBEE）」で評価される木造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造における住宅の二酸化炭素排出量の比較を行い今後の課題を考察する。

### 2 木材の製造エネルギーと CO2 排出量

前出の「地球温暖化防止行動としての木材利用の促進」以降、2003年に大熊幹章氏によって書かれた「地球環境保全と木材利用」（林業改良普及双書）のデータを元に、木材の製造エネルギーについてまとめる。

これらのデータの前提条件として、

- ・ 労働力、機械装置の製造などの間接エネルギーを除き、直接エネルギーのみの積み上げであること。
- ・ 炭素換算は1984年の1年間に全世界で消費された化石燃料から得られたデータを元に、オイル、電気は50MJ 当たり1kgの炭素が排出されるとして計算されていること。
- ・ 木材廃材は廃材含水率40%、発熱量3000kcal/kg、炭素含有率50%とし、25MJで1kgの炭素が排出されるとして計算されていること。

が挙げられる。これらを念頭に置き、木材の製造工程におけるエネルギー消費量と二酸化炭素排出量を確認する。

(表1) 製材品の製造エネルギーと炭素排出量(「地球環境保全と木材利用」より抜粋したものに追記)

積み上げ方式によって算出した製材品の製造エネルギーと炭素放出量						
加工工程	消費エネルギー (MJ/m <sup>3</sup> )				炭素放出量 (kg-C/m <sup>3</sup> )	二酸化炭素放出量 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )
	オイル	電気	木材廃材	合計		
伐採・伐出	300.00			300.00	6.00	22.00
剥皮		108.13	20.00	128.13	2.96	10.86
製材		297.36		297.36	5.95	21.81
防腐処理	90.00	700.68	500.00	1,290.68	35.81	131.32
人工乾燥	340.00	270.33	1,800.00	2,410.33	84.21	308.76
1m <sup>3</sup> 当たり	天然乾燥材			725.49	14.91	54.67
	人工乾燥材			3,135.81	99.12	363.43
	人工乾燥防腐処理材			4,426.49	134.93	494.74

(追記・修正箇所は、電気を一次エネルギー(9.83MJ/kWh)換算に変更、二酸化炭素排出量を追記。また、加工工程の最上段の表現を、原文「Logging」より「廃材運輸」から「伐採・伐出」に変更。)

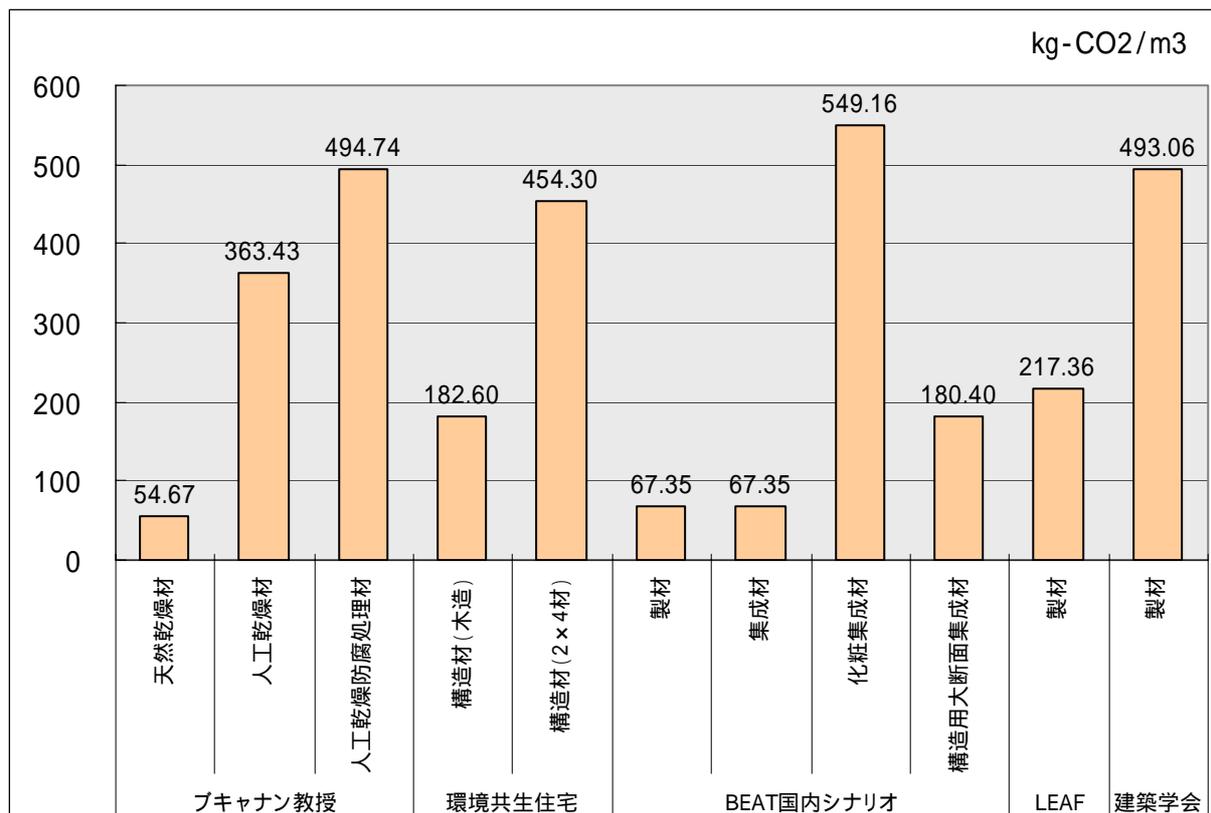
電気変換について、大熊氏のMJ換算は、火力発電の効率33%と仮定し、二次エネルギー3.6MJ/kWhとして算出しているため、数値に発電効率分として0.33を乗じ、3.6で除しkWhに還元。その後その数値に一次エネルギーとして、9.83を乗じて算出。

表下段が木材1m<sup>3</sup>当たりの、天然乾燥材と人工乾燥材及び人工乾燥防腐処理材の製造時における消費エネルギーと、炭素排出量である。二酸化炭素排出量を見てみると、1m<sup>3</sup>当たり天然乾燥材では54.67kg-CO<sub>2</sub>、人工乾燥材は363.43kg-CO<sub>2</sub>となる。人工乾燥材は、その過程において天然乾燥材のおよそ7倍近い二酸化炭素を排出していることがわかる。

ただしこの数値は、ニュージーランドの木材生産を元データとし、1990年以前のエネルギー消費から算出された値である。また、人工乾燥の方法として重油ボイラーより熱効率の劣る木焚きボイラーを多用しており、単純にこのデータから日本の実情にあった比較は出来ない。今後、日本において、種々の伐採・伐出方法や、人工乾燥種別エネルギーについても研究が進むことを期待したいが、まずは、二酸化炭素排出量の目安として、数値化されたことに大きな一歩がある。

つぎに、製材、集成材の製造時における二酸化炭素排出量について、公開されているライフサイクルアセスメント(LCA)関連指標のデータも合わせて確認する。

( 図 1 ) 各種指標における製造時の二酸化炭素排出量 ( kg-CO2/m3 )



単位は kg-CO2/m3 に換算し直し統一している。木材比重を 0.5、50MJ 当たり 1kg の炭素が放出されるとして計算。)

「環境共生住宅 A-Z」( (株)ピオシティ ) の戸建て住宅の原単位より構造材及び 2 x 4 材の数値を示す。

「建築のライフサイクルエネルギー算出ソフトウェア BEAT Ver5.0 ( 建築研究所 )」より輸入にかかる CO2 排出を加算しない国内シナリオの製材、集成材等の数値を示す。

「Leaf Ver2.0(2001) 住宅の LCE 計算ソフトウェア ( 生活価値創造住宅開発プロジェクト )」より製材の数値を示す。

「建物の LCA 指針 ( 日本建築学会 )」より製材の数値を示す。

図 1 より木材の製造エネルギーの数値には、各指標によって大きなバラツキがあることがわかる。各指標の乾燥方法などの算出条件等が不明な部分が多いため、比較することは難しいが、概ねブキャナン教授のデータに基づき算出した天然乾燥から人工乾燥防腐処理材までの数値内に納まっている。

そこで各工程別二酸化炭素排出量の明確なブキャナン教授のデータを元に、同様の手段で他の建築建材と製材とのエネルギーと二酸化炭素排出量を比較する。

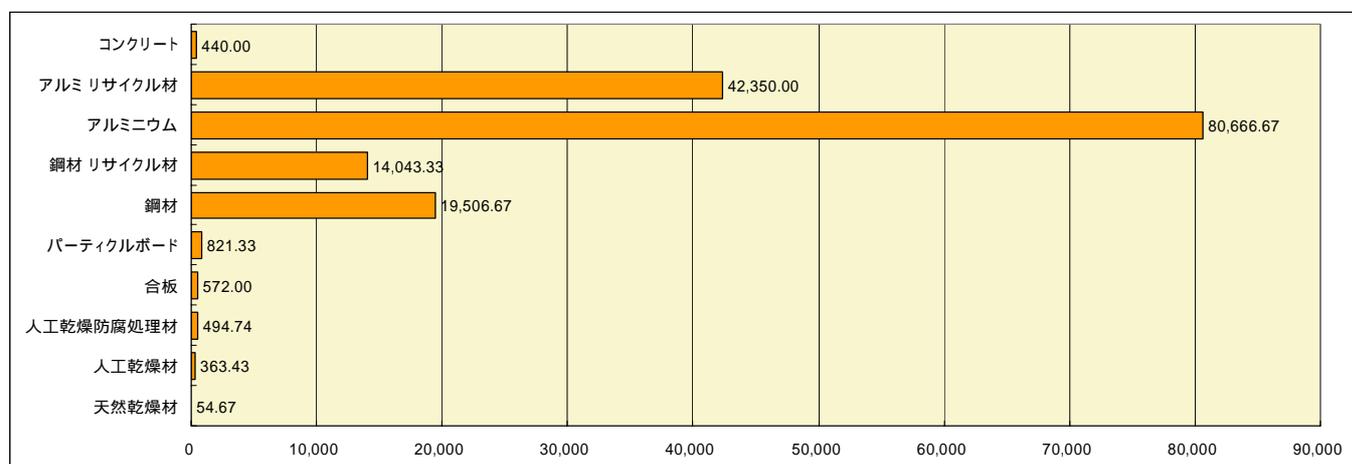
(表2) 各種材料製造における製造エネルギーと炭素排出量(「地球環境保全と木材利用」より抜粋したものに追記)

材料	製造消費エネルギー		製造時 CO2 放出量		倍率
	MJ/t	MJ/m3	kg-CO2/t	kg-CO2/m3	
天然乾燥材 (比重 0.5)	1,451	725	109.34	54.67	1.0
人工乾燥材 (比重 0.5)	6,272	3,136	726.85	363.43	6.6
人工乾燥防腐処理材 (比重 0.5)	8,853	4,426	989.49	494.74	9.0
合板 (比重 0.5)	12,580	6,910	1,037.67	572.00	10.5
パーティクルボード (比重 0.65)	16,320	10,610	1,265.00	821.33	15.0
鋼材	35,000	266,000	2,566.67	19,506.67	356.8
鋼材 リサイクル材	25,000	191,500	1,848.00	14,043.33	256.9
アルミニウム	435,000	1,100,000	31,900.00	80,666.67	1475.5
アルミ リサイクル材	228,500	577,500	16,756.67	42,350.00	774.7
コンクリート	2,000	4,800	183.33	440.00	8.0

(鋼材については、回収率 35%、再加工エネルギーは鉄鉱石からの 20%とした場合、アルミについては、回収率 50%、再加工エネルギーはボーキサイトの 5%とした場合の数値である。)

鋼材とアルミに関しては、現在リサイクルが進んでいるため、リサイクルに伴うエネルギー消費量と二酸化炭素排出量が示されている。表 2 右欄の倍率は、天然乾燥材を 1 とした場合、どの程度の二酸化炭素排出量に違いがあるかを示したものである。ここでは、二酸化炭素排出量に注目しグラフ化する。

(図2) 各種材料製造における製造エネルギーと二酸化炭素排出量 (kg-CO2/m3)



特にリサイクル効率が良いアルミニウムは、ボーキサイトから新規に製造する場合に比べて、リサイクル材では、約半分の二酸化炭素排出量となっていることがわかる。しかし、木質系材料と比較すると100倍～770倍と桁違いに高い数値である。この、製造時にかかるエネルギー消費量とCO2排出量が低いことから、木材はエコマテリアルとして高い評価を得てきたのである。

このグラフでもう一点着目したいのが、コンクリートの二酸化炭素排出量の低さである。天然乾燥材はコンクリートと比較すると1/8と低い値を示すが、現在一般的になっている人工乾燥材と比較するとその差は近接してくる。さらに木材を加工した合板となってくると、コンクリートよりもCO2排出量は大きくなる。

ただし、この中には、鉄筋等の鋼材は含まれていないため、鉄筋コンクリート1m<sup>3</sup>当たり70kgの鉄筋が入っていると仮定すると、さらに1.4倍近く増加し、約620kg-CO<sub>2</sub>となるが、それでも1m<sup>3</sup>あたりの二酸化炭素排出量は低いことがうかがえる。

これらの材料の違いによるCO<sub>2</sub>放出量を理解した上で、構法別の住宅におけるCO<sub>2</sub>総量を比較してみたい。

### 3 住宅の構法別CO<sub>2</sub>排出量

2005年の国土交通省総合政策局労働資材対策室から公表された「建設資材・労働力需要実態調査(平成15年度原単位)の結果」には、木造、鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)、鉄筋コンクリート造(RC造)、鉄骨造(S造)が調査され、床面積10m<sup>2</sup>あたりの各種材料の投入量が記載されている。(表3)この調査は約2,800事業所で平成15年に着工された工事のうち、5,142件を抽出しまとめたものである。この実態調査はおよそ3年毎に更新されている。

(表3) 床面積10m<sup>2</sup>あたりの各種住宅構造における主要構造材料の投入量

資材・職種名	単位	構造総合	木造	SRC造	RC造	S造
セメント	t	1.58	0.75	2.87	3.00	1.36
生コンクリート	m <sup>3</sup>	4.32	1.92	8.44	8.58	3.54
骨材・石材	m <sup>3</sup>	6.88	3.70	10.50	11.52	6.70
木材	m <sup>3</sup>	0.93	2.32	0.20	0.22	0.09
鋼材	t	0.86	0.12	1.70	1.16	1.29
就業者	人・日	19.16	20.74	20.31	22.71	15.25

これらのデータは戸建て住宅に限ったものではないこと、建設時にかかる材料の運搬などは含まれていないことに注意したい。ただ、日本木材総合情報センターの「木質系資材等地球環境影響調査報告書(1995)」によれば建設時に排出されるCO<sub>2</sub>割合は材料製造時が約70%を占めるため、大凡の目安としては十分有効であると考えられる。

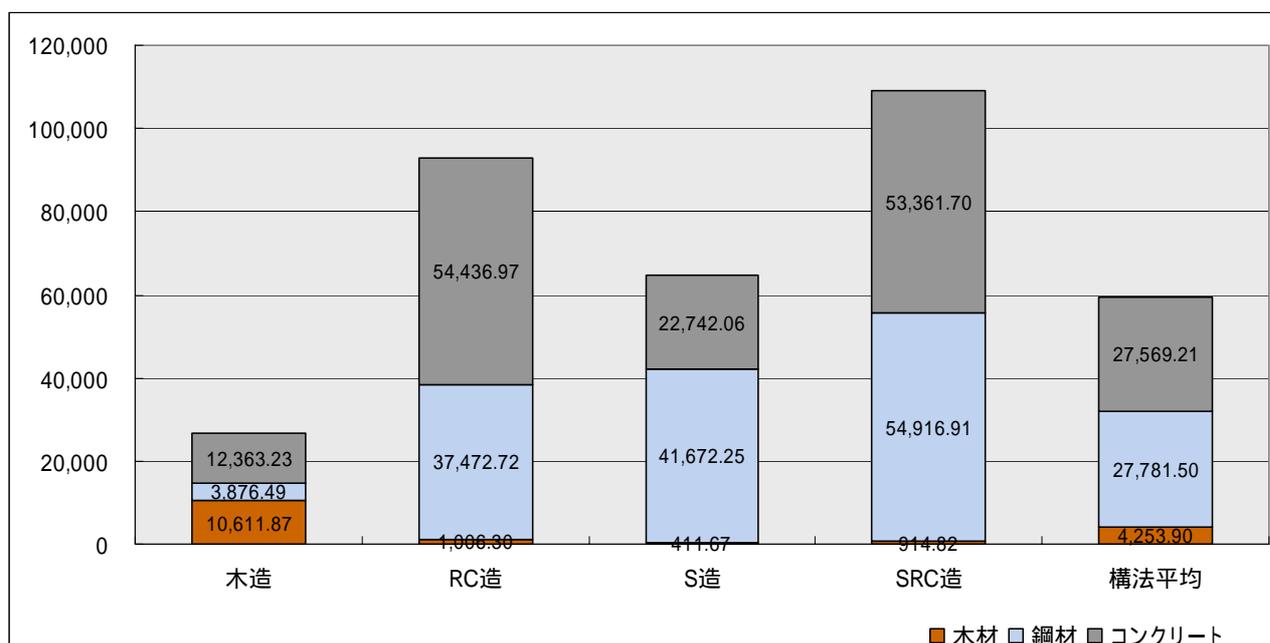
これらのデータを、住宅一棟に当てはめ、構法別に主要構造材料の製造時二酸化炭素排出量を算出する。住宅モデルとしては、1985年に建築学会(環境工学委員会熱分科会)が提案した「住宅用標準問題(床面積125.86m<sup>2</sup>)」で試算を行った。

(表4)住宅1棟(床面積 125.86 m<sup>2</sup>)を建設する際に使用する主要構成材料の構法別製造時二酸化炭素排出量(kg-CO<sub>2</sub>)

	木造	RC造	S造	SRC造	構法平均
木材	10,611.87	1,006.30	411.67	914.82	4,253.90
鋼材	3,876.49	37,472.72	41,672.25	54,916.91	27,781.50
コンクリート	12,363.23	54,436.97	22,742.06	53,361.70	27,569.21
<b>合計</b>	<b>26,851.59</b>	<b>92,915.98</b>	<b>64,825.98</b>	<b>109,193.43</b>	<b>59,604.61</b>
比率	1.00	3.46	2.41	4.07	2.22

骨材・石材及び業者は計算に参入していない。

(図3)住宅1棟(床面積 125.86 m<sup>2</sup>)を建設する際に使用する主要構成材料の構法別製造時二酸化炭素排出量(kg-CO<sub>2</sub>)



各構法別のCO<sub>2</sub>排出量の総量を比較してみると、RC造では木造の約3.5倍、S造では約2.5倍と試算されている。同じ床面積を構成するために使用するエネルギーや二酸化炭素排出量は木造が最も少ないことがわかる。つまり、床面積の需要が同じであれば木造率を増加させることで、二酸化炭素排出量を大幅に減らすことが出来るのである。

それぞれの構法別の内部構成を見ると、RC造ではコンクリート、S造では鋼材の占める割合が多いのは当然であるが、全構法とも総じてコンクリート部材の占める割合が大きいことがわかる。

表2からもわかるとおり、コンクリートのCO<sub>2</sub>排出量は木材に次ぎ製造エネルギーが少ないにもかかわらず、木造においては、半分近い割合を占める。このコンクリート量をいかに減らすことが出来るかが、今後の課題であろう。

ただし、今回の試算は1990年当時のニュージーランドのブキャナン教授の原単位を使用しているため、現在の日本の実態とは違った値となっている可能性があるため注意が必要である。

#### 4 建築物総合環境性能評価システム (CASBEE) における建設時の各構法別評価

つぎに、環境性能をラベリングするツールとして、近年最も注目されている建築物総合環境性能評価システム (以下、CASBEE) を取り上げてみたい。国土交通省の主導の下に、(財)建築環境・省エネルギー機構内の委員会において開発が進められたもので、2006年7月にCASBEE すまい(戸建て) 試行版の発表後、翌2007年7月に暫定版、同年9月に正式版が発表された。試行版からの大きな変更点としてライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量の目安が算定できることにある。

CASBEE 自体は各構法ごとに総CO<sub>2</sub>量を建築寿命で除した1年当たり、そして床面積1㎡当たりで環境性能を評価する方式をとっている。そのため規模の大小、構法種別によって比較することは行われていない。しかし、解説書及び計算ソフトにおいては、それぞれの構法別のCO<sub>2</sub>排出量の目安が表示されている。

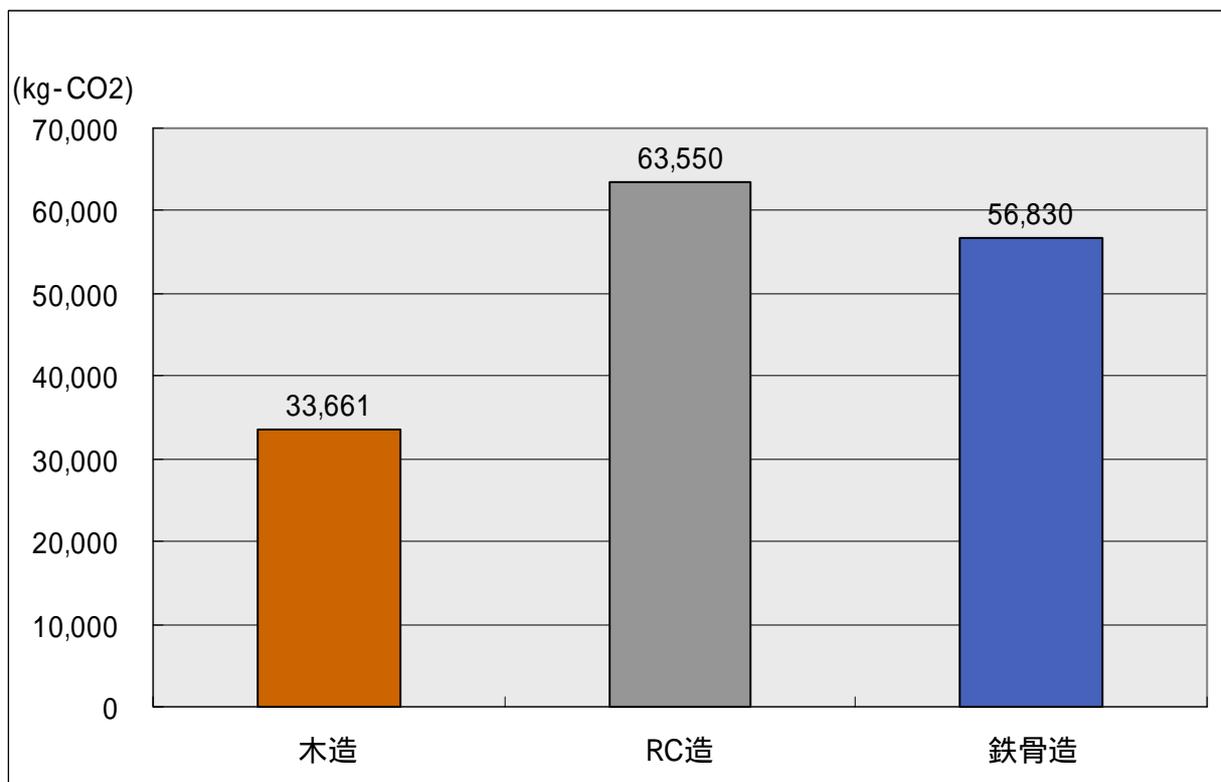
(表5) CASBEE における建設段階の二酸化炭素排出量 (kg-CO<sub>2</sub>/年㎡)

	木造	RC造	鉄骨造	
レベル3	8.915	16.831	15.051	寿命30年
レベル4	4.457	8.415	7.526	寿命60年
レベル5	2.972	5.611	5.018	寿命90年

表5はCASBEEの解説書から抜き出した値である。単位はkg-CO<sub>2</sub>/年㎡である。この数値に、寿命と床面積を乗じることで、一軒あたりの建設時のCO<sub>2</sub>排出量が試算できる。

3章と同じ床面積125.86㎡と寿命を乗じて算出した結果を下に示す。

(図4) CASBEE における住宅1棟(床面積125.86㎡)を建設する際の構法別製造時二酸化炭素排出量 (kg-CO<sub>2</sub>)



(それぞれの寿命を乗じると、各レベルともほぼ同じ値をとることから、図3ではレベル3の値のみを表示している。)

CASBEE の二酸化炭素排出量比較においても、木造が最も少なく、RC 造、鉄骨増の約半分弱しか排出していないという結果となった。

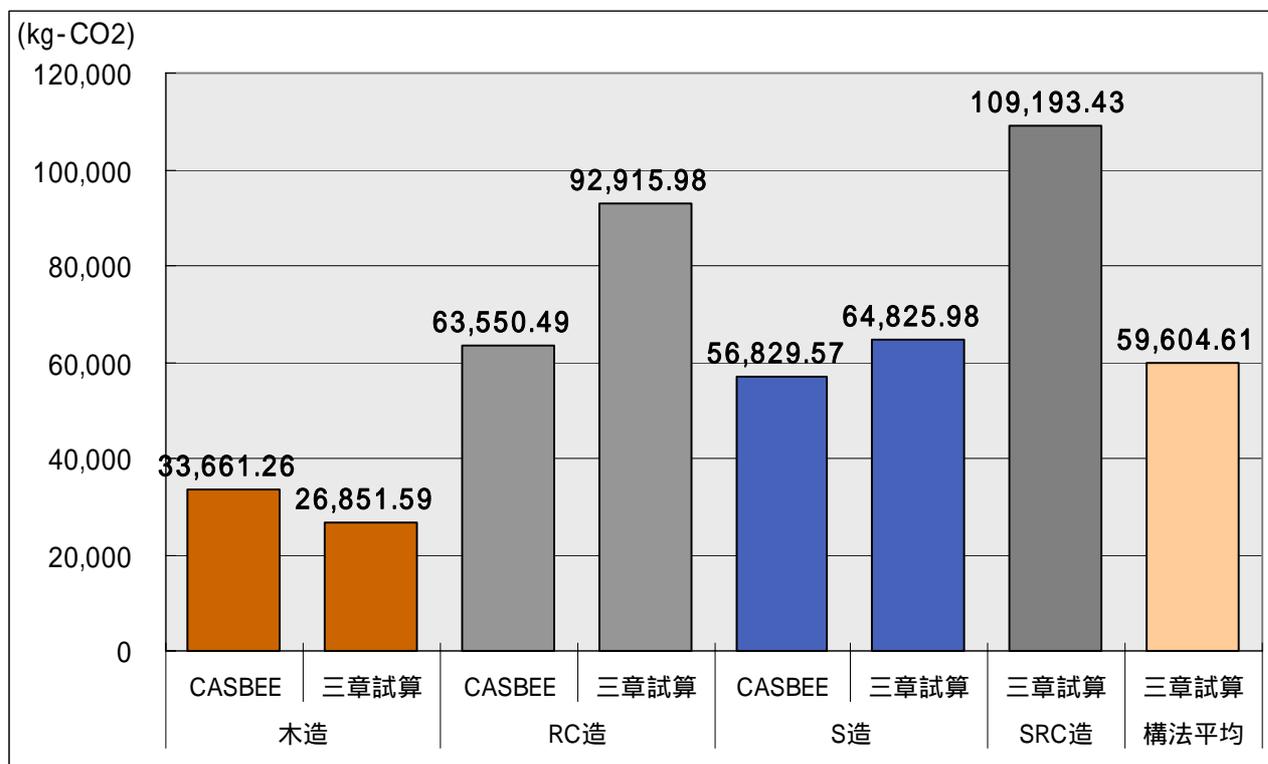
CASBEE では、それぞれの内訳は示されていないため、建設時にかかる二酸化炭素排出量の総量しかわからないが、二酸化炭素排出量の根拠については、構法別に詳細な LCA 評価を行いそのデータから数値を定めていると聞いている。（今回使用したモデル住宅は CASBEE で試算したモデルと同じものである）

しかし、CASBEE の建設時 CO2 排出量にかかる評価項目としては、評価項目の 57 項目の中の 1 項目「Q2. 躯体の長寿命に対する基本性能」のみの評価のため、建物の部材構成などの工夫による変化は結果に反映されない。また、CASBEE 自身が新たな基準を作るのではなく、現在運用されている基準をとりまとめて、総合的に評価を行うことを前提としているため、この項目の評価基準は、日本住宅性能表示基準の「3-1 劣化対策等級（構造躯体等）」における等級を基準としている。この中には、構造部材の耐久性や防錆処理、基礎の高さ、小屋裏換気などが含まれる。

LCCO2 評価のように、建物寿命を数十年として、建物の一生における二酸化炭素排出量と考えた場合、居住時の二酸化炭素排出量が全体の約 7 割を占め、建設時に関しては 2 割程度である。しかし、建設時における CO2 排出量は決して小さいものではない。しかし、CASBEE において、これまで複雑だった LCCO2 評価を、簡便に示すことができるため、一般消費者に伝える意味合いは非常に有効であるが、今後精度の向上に期待したい。

最後に 3 章で試算した住宅と CASBEE に設定されている住宅の構法別二酸化炭素排出量を比較する。

（図 5）CASBEE と 3 章で試算したにおける住宅 1 棟（床面積 125.86 m<sup>2</sup>）を建設する際の構法別製造時二酸化炭素排出量（kg-CO<sub>2</sub>）



三章で試算した住宅の二酸化炭素排出量には、施工時の二酸化炭素排出量は含まれないため、さらに3割程度多くなると考えられる。木造においては、およそ近い値となるが、RC造、S造については、さらに差が広がると予想できる。この差異の原因として、RC造、S造、SRC造では戸建て住宅以外の建物が多く含まれ、床面積当たりの資材投入量の割合が増えているためと考えられる。

同じ構法であっても、さまざまな建物が存在し、それらを一つのものさしで推計するのは非常に乱暴だが、大凡の構法別二酸化炭素排出量比較は行うことが出来た。

## 5 おわりに

木材の製造時におけるエネルギーと二酸化炭素排出量については、日本の実態にあった研究がまだまだ足りていないと感じた。同じ人工乾燥であっても、従来の重油を利用した乾燥や太陽熱・バイオマスを利用するかで大きく異なってくる。また、伐採・伐出についても、伐出方法や林道の整備状況によっても大きく異なると予想できる。今後、これらのデータが整理されることで、より精度の高い比較が可能になることを期待する。

### 参考資料

「Timber Engineering and the Greenhouse Effect」Andrew H Buchanan

「地球環境保全と木材利用」 大熊幹章（林業改良普及双書）

「CASBEE すまい「戸建て」」（（財）建築環境省エネルギー機構）

「環境共生住宅A-Z」（ピオシティ）

「建築のライフサイクルエネルギー算出ソフトウェア BEAT Ver5.0」（建築研究所）

「Leaf Ver2.0(2001) 住宅のLCE計算ソフトウェア」（生活価値創造住宅開発プロジェクト）

「建物のLCA指針」（日本建築学会）

### 単位換算について

炭素排出量の単位は、二酸化炭素換算（kg-CO<sub>2</sub>/標準単位）か、炭素換算（kg-C/標準単位）で表記されている。原単位を使用する場合には、どちらかの表記に統一しないと間違った計算をしてしまうので注意したい。

ウッドマイルズ研究会では二酸化炭素換算（kg-CO<sub>2</sub>）で統一しており、kg-Cで表記されている場合はCO<sub>2</sub>の分子量44を炭素の原子量12で除した数値を掛け変換しkg-CO<sub>2</sub>として表示している。