

# 木材利用、木構建築對溫室氣體減量貢獻

◎台灣大學森林環境暨資源學系·王松永  
◎林業試驗所森林利用組·塗三賢

## 前言

『綠建築』較實質的定義就是「消耗最少地球資源、製造最少廢棄物，而且室內最為乾淨的建築物」，換言之『綠建築』就是「強調節能、低污染、低耗能、低環境衝擊，對人體最健康之環保建築」。

『綠建築』之評估指標群共有九個指標分別為(1)生物多樣性指標(2)綠化指標(3)基地保水指標(4)水資源指標(5)日常節能指標(6)CO<sub>2</sub>減量指標(7)廢棄物減量指標(8)污水、垃圾改善指標(9)室內環境指標。

## 使用木材即可達到防止地球溫暖化

壯齡森林，總生產量(樹木藉光合作用所生產有機物之總量)，純生產量(總生產減去樹木為維持生命進行呼吸作用而消費所得之量)均會隨林齡增長而增加，但在10~30年，兩者均會達到最大值。被生產物質並非全部被蓄積下來，其中一部分會由於枯死或動物攝食而被消費掉。林齡增加時，因枯死量會增加，但現存量(純生產減去樹木之枯死，動物攝食量所得之量(蓄積量))之增加比例會變小，現存量不久會達上限而成一定。即純生產即使會維持，但現存量已不會增加(圖1)。

如此森林，只要人類不砍伐樹木，利用木材之場合，被生產物質會幾乎成為枯死量，其會被動物或菌類之生產，分解所利用。在此階段之森林，二氧化碳之吸收，固定與釋出量之收支會成為零，實質上二氧化碳吸收能力會消失掉。因此，如為人工林，

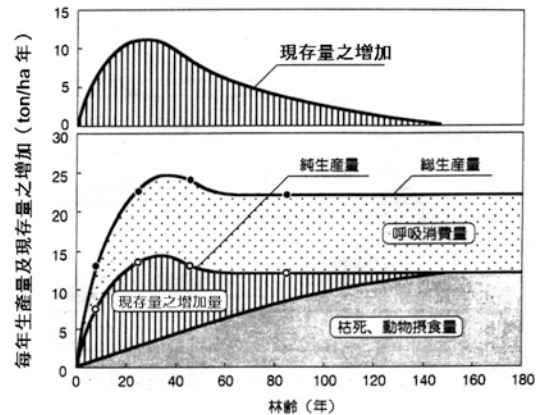


圖1 森林之物質生產量與各部位之分配

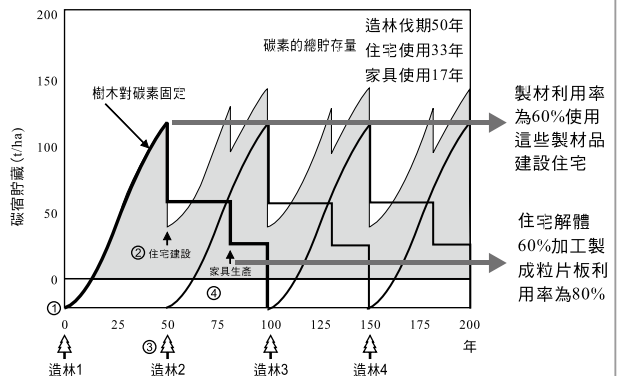


圖2 木材利用時碳素儲藏之永續性(日本關東地區，二等級地位林地1公頃柳杉造林地)

當生長至某程度之樹木作計畫性的伐採，將木材當作材料利用，在伐採跡地再將幼苗進行造林，其結果二氧化碳之吸收及固定量將會增多，所以對於防止地球溫暖化會有正面效果。

## 可永續性生產之木質資源

石油、煤炭、鐵礦石等之埋藏資源如掘出利用時，將有用竭之一天。但是木質資源

(木材、竹材)即使伐採使用，其後如進行新苗木之栽植，在30-50年後，其可生長成為當作材料或能源之資源。所使用之木材量只要不超過生長樹木之量，木材是可當作永續性資源而被利用。另外，如使樹木之生長期間縮短，或透過木製品之高耐久化技術，回收再利用技術使製品之使用期間長期化結果，木材消費量會低於森林之生長量時，其是可使大氣中之二氧化碳量減少。即木材利用之結果，可積極的防止地球溫暖化。其他建築材料使用時必定會使大氣中二氧化碳增加，相對的，使用木材資源具有可使大氣中之二氧化碳減低之唯一的資源(圖2)。

## 防止溫暖化策略之木材功能

地球之森林地或數量有其上限，森林之吸收、貯藏亦有限界。不可對森林抱著過大的期望。因此防止溫暖化，首先是減少石化燃料之使用。

木材之功能有次述三項：

(1)省能源、二氧化碳減量效果(2)碳素貯藏效果(3)石化燃料之替代效果。

### 1. 省能源、二氧化碳減量效果

所有的材料從採取、加工，以至於使用，廢棄均需消耗能源，木材亦不例外，製造加工需消耗石化燃料，進而會排放CO<sub>2</sub>，造成大氣中溫室氣體濃度上昇。

表1 各種材料製造時消耗之能源及碳素排放量

材料種類	石化燃燒 (MJ/kg)	源能消費量 (MJ/m <sup>3</sup> )	製造時碳素排放量		淨碳素貯存量 (kg/m <sup>3</sup> )
			(kg/t)	(kg/m <sup>3</sup> )	
天然乾燥材(密度500kg/m <sup>3</sup> )	1.5	750	30	15	-235
防腐處理材	1.8	900	36	18	-232
人工乾燥材(密度500kg/m <sup>3</sup> )	2.8	1,390	56	28	-222
合板(密度550kg/m <sup>3</sup> )	12	6,000	218	120	-155
集成材(密度500kg/m <sup>3</sup> )		4,500		82	-168
粒片板(密度650kg/m <sup>3</sup> )	20	10,000	308	200	-125
結構鋼材		448,000		8,132	8,117
鋼材	35	266,000	700	5,320	5,320
鋁	435	1,100,000	8,700	22,000	22,000
混凝土	2.0	4,800	50	120	120
鋼筋混凝土		7,300		182	182

淨碳素貯存量 = 製造時碳素排放量 - 材料之碳素貯存量

註：木材之構成元素為50%碳、43%氧、6%氫、其他1%為20多種元素，因此密度500kg/m<sup>3</sup>之木材，其中一半為碳素，即會貯存250kg/m<sup>3</sup>之碳素，所以人工乾燥木材之淨碳素貯存量為-222kg/m<sup>3</sup>

表2 台灣木質構造建築之主要構材CO<sub>2</sub>排放量(190.42m<sup>2</sup>)

主要構材種類		CO <sub>2</sub> 排放量(kg)	百分比(%)	(kg/m <sup>2</sup> )
木質構材	製材	896.01	8.65	
	合板	782.88	7.55	
	其他木質建材	128.22	1.24	
	木質構材小計	1807.11	17.44	9.49
非木質構材	混凝土	4112.51	39.69	
	鋼筋	3684.57	35.56	
	其他建材	756.93	7.31	
	非木質構材小計	8554.01	82.56	44.92
合計		10361.12	100	54.41

依IPCC資料，材料加工消耗50MJ能源時，會排放1kg碳素，而依台電公司資料，則使用1kwh電(1度電)會排放0.54kg CO<sub>2</sub>。

將木質材料與其他材料製造時，所消耗能源比較時，如表1所示。

木質材料雖然隨加工層次之增加，所消費能源亦會增加，但其比鋼材，鋁材等素材在製造需耗大量能源材料，低甚多。因此如使用這些低耗能木質材料時，其差額即有減少石化燃料之使用效果。

## 2. 碳素貯藏效果

樹木進行光合作用生產1公噸有機質碳水化合物，需自大氣中吸收1.6公噸CO<sub>2</sub>，同時會釋出1.2公噸O<sub>2</sub>。而木材之元素組成為碳50%，氧43%，氫6%，其他20幾種微量元素佔1%。因此木材重量之一半為碳素。在木材內部貯藏之碳素會在木材廢棄燒卻時又會排出至大氣中，但這些碳素本來就存在於大氣中，而被樹木所吸收者，既使被排出至大氣

中亦不會增加大氣中CO<sub>2</sub>濃度，即所謂碳中性(Carbon neutral)。所以將木材與木質材料當作建材，建造木質建築物，或家具時，則其生命週期均可將碳素貯藏木材內部，不會排放至大氣中。

## 3. 石化燃料之替代效果

依據碳中性之觀念，木材當作燃料使用時，所引起碳素排出，可視為零。而石化燃料之利用可視為將原來在地底深處之碳素挖出，再排放至大氣中之行為，其可使大氣中之CO<sub>2</sub>濃度上昇。

比較木材與燃料油燃燒時所排出之CO<sub>2</sub>時，1公噸木材效能=0.229公噸燃油。1公噸木材燃燒時，排出66.4kg CO<sub>2</sub>，而0.229公噸燃油則會排出1023kg CO<sub>2</sub>，木材燃燒所排出CO<sub>2</sub>只為燃油/(石化燃料)之6.5%而已。歐盟(EU)對於可再生能源之預估，在1995年消費生質能源44.8百萬公噸，至2010年將增至135百萬公噸，約會增加3倍，是值得重視的課題。因此

表3 台灣與日本不同構造建築CO<sub>2</sub>排放量與削減量之比較

住宅型式	台灣		日本	
	CO <sub>2</sub> 排放量(kg)	以木構造建築取代時的CO <sub>2</sub> 排放削減量(kg)	CO <sub>2</sub> 排放量(kg)	以木構造建築取代時的CO <sub>2</sub> 排放削減量(kg)
RC構造住宅	33602.9	52795.2	78530.4	84506.4
S構造住宅	26917.1	46117.6	53074.8	59050.8
木構造住宅	7399.8		18504.0	

利用木材等生質能源取代石化燃料結果，可達到減少因消費石化燃料所造成CO<sub>2</sub>排出量。

全球第一個全面監控發電業二氧化碳排放的資料庫網站(二氧化碳監控行動(CARMA <http://carma.org>))已經正式上線，並在2007年11月14日公布，2007年度統計資料，台灣發電業二氧化碳總排放量1億5300萬噸，居全球第13位，而人均排放量6.6噸，在全球亦有偏高趨勢。因此，減少化石燃料使用量，增加可再生能源發電，來有效降低二氧化碳排放量，將是努力的課題。

## 木質構造建築對CO<sub>2</sub>減量與碳固定之貢獻

1. 以「CO<sub>2</sub>減量指標」比較建築物使用木質材料與其他材料時所排放CO<sub>2</sub>量。

國內木質構造建築型式有傳統梁柱構法，框組壁構法(2×4工法)與圓(原)木層疊構法等，就其所使用主要構材於製造工程所排放CO<sub>2</sub>量進行比較時，如表2可看出。

日本木質構造建築之CO<sub>2</sub>排放量，混凝土佔54.5%，鋼材佔15.5%，木質構材佔30.0%。而木質構造建築樓(地)板面積每1m<sup>2</sup>

所使用木材量，日本為0.1737m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>，台灣為0.2133m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>，由於木質建材在製造時CO<sub>2</sub>排放量遠小於鋼材與混凝土等建材，因此木質建材用量的增加，相對的降低台灣木質構造建築中木質建材CO<sub>2</sub>排放量所佔比例。

## 2. 木構造建築對CO<sub>2</sub>排放削減量評估

以每單位面積(m<sup>2</sup>)木質構造建築對CO<sub>2</sub>削減量之評估，可由次式推算出：

「木質構造建築每m<sup>2</sup>之碳素貯存量kg」 + 「非木質構造建築(RC造或S造)，每m<sup>2</sup>所排放碳素量kg」 - 「木質構造建築每m<sup>2</sup>之碳素排放量kg」 = 「木質構造建築取代非木質構造建築而削減碳素排放量kg」。

國內木構造建築物每1m<sup>2</sup>之木材使用量為0.2133m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>，以木質構造建築物平均面積約136m<sup>2</sup>(約41坪)計算，則每棟建築物CO<sub>2</sub>排放量，木質構造建築物為7399.8kg，RC構造建築物為33602.9kg，而S構造建築物排放CO<sub>2</sub>量約為26917.1kg，又木質構造建築物可固定CO<sub>2</sub>量為26593.4kg，因此，就台灣與日本以木質構造建築取代RC造與S構造建築物時，每棟建築物可削減的CO<sub>2</sub>排放量(表3，圖3)。

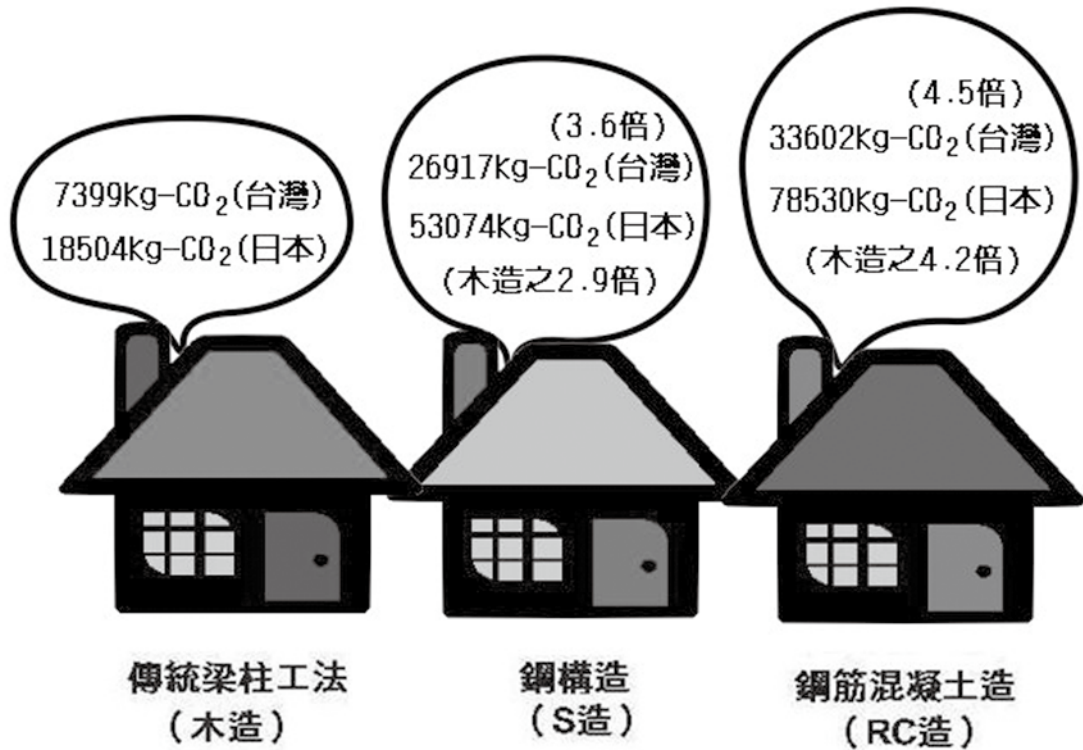


圖3 地板面積136m<sup>2</sup>(41坪)之住宅構成主要構材製造時之碳素排放量

### 建築系統對生態環境之衝擊

建築系統對環境影響之比較，針對木材，鋼骨與混凝土等三種材料，建築4620m<sup>2</sup>地上三層辦公室地下一層車庫之建築物，由Athenam model分析所使用原材料及能源，氣體，水及固體廢棄物之排放。可看出(1)能源排放，混凝土造及鋼骨造各會較木造大1.5倍及1.9倍。(2)溫暖化氣體指數，包含所排放之CO<sub>2</sub>，CO，NO<sub>x</sub>及CH<sub>4</sub>等，混凝土造及鋼骨造各會較木造大1.8倍及1.4倍。(3)空氣污染指數，混凝土造及鋼骨造各會較木造大1.67倍及1.42倍。(4)水污染指數，混凝土造及鋼骨造各會較木造大1.9倍及120倍。(5)固體廢棄物，混凝土造及鋼骨造各會較木造大1.96倍及1.36倍。(6)生態資源使用衝擊指數，混凝土造及鋼骨造各會較木造大1.97倍及1.16倍。

綜合上述，由木材所建築之構造物當考慮到所有指數時，是具有最低之生態衝擊，為最環保的一種建築物。即最符合綠建築之指標。

### 結語

使用能永續經營森林所生產的木材，以建築木構住宅及內裝RC造住宅可使CO<sub>2</sub>的排放量減低，對於地球環境保護有極大貢獻。實際上，歐美加，日本等工業先進國家，住宅大部分均使用木質結構，而國內則大量使用無機質材料，尤其在都市形成水泥森林，對生態衝擊甚大。如能增加生物材料的使用量，將可改善這種情況。木材取自森林，可再生，再回收，省能源，廢棄物時對生態環境衝擊少，因此被認為是21世紀的「生態材料」，值得我們去推廣利用，它不但不會破壞環境，反而對環境有正面效應。♻️