



# 綠建築與優質居家環境之健康建材

文、圖 ■ 王松永 ■ 台大森林學系教授

## 一、前言

『綠建築』在日本稱為「環境共生建築」，有些歐洲國家則稱之為「生態建築 ( Ecological building )」，「永續建築 ( Sustainable building )」。而「綠建築」評估指標可從資材、能源、水、土地、氣候之「地球資源」，以及營建廢棄物、垃圾、污水、排熱、CO<sub>2</sub>排放量等「廢棄物」兩層面角度來評估。「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、低環境衝擊的環保建築」。

「綠建築」之評估指標群共有七個指標分別為 (1) 綠化指標、(2) 基地保水指標、(3) 水資源指標、(4) 日常節能指標、(5) CO<sub>2</sub>減量指標、(6) 廢棄物減量指標、(7) 污水、垃圾改善指標。就上述七個指標中、與綠色矽島 - 全民造林較具密切關係者敘述於次：

## 二、綠化與「綠建築」

### (1) 綠化指標

健康的都市生活不能缺少綠意，缺乏綠意的都市生活很難奢言「永續發展」的居住品質。20%以上的綠覆率似乎被認為是居住健康上的滿意水準，而30%以上的綠覆率似

乎是都市綠化政策的理想值。綠化政策在地球環保觀點中，另一項最大貢獻，在於植物的光合作用可吸收CO<sub>2</sub>加以固定，進而可減緩地球氣候溫暖化作用。IPCC認定，森林中每m<sup>3</sup>木材量每年對於CO<sub>2</sub>之固定效果為0.95公噸，可見綠化對地球環保的貢獻。

增加綠地面積，不但增加CO<sub>2</sub>吸存，亦可釋出大量O<sub>2</sub>淨化空氣，此係樹木光合作用為產生1公噸碳水化合物，需吸收1.6公噸CO<sub>2</sub>並釋出1.2公噸O<sub>2</sub>之結果。在『綠建築』七大指標中，CO<sub>2</sub>固定量作為評估尺度的「綠化指標」。依成大建築研究所資料指出，台灣都市中常見植物在40年生長期間對CO<sub>2</sub>固定效果如表1所示。可看出在都市環境中闊葉大喬木在40年期間，可吸收並固定CO<sub>2</sub>量達808Kg/m<sup>2</sup>，灌木只有217 Kg/m<sup>2</sup>，草花花圃為46 Kg/m<sup>2</sup>，而人工修剪草坪幾乎沒有CO<sub>2</sub>固定量。

而「綠化指標」對於建築基地中的綠化獎勵基準，希望能夠在建築空地的50%，面積上實施全面綠化，而且綠化面積的CO<sub>2</sub>固定量計算值必須大於600 ( Kg/m<sup>2</sup>, 40年 )。本指標同時鼓勵植物的生態綠化，多層次混種綠化，以及對屋頂，陽台及建築立面的綠化。事實上，綠化亦可直接降低地表溫度，一般在建築物周圍有綠色樹木，在夏天，中

表1 台灣各種植栽單位面積CO<sub>2</sub>固定量 (Kg/m<sup>2</sup>，40年)

植栽種類	CO <sub>2</sub> 固定量
闊葉大喬木	808
闊葉小喬木，針葉樹或疏葉形喬木	536
大棕櫚類	410
灌木	217
多年生蔓藤	82
草花花圃或高莖野草地	46
一年生蔓藤或低莖野草地	16
人工修剪草坪	0

午可使其室內溫度降低3-5，而在屋頂平台有綠色盆栽，因植物會吸收潛熱，進而可使其屋內溫度降低1-2，以可減緩「都市熱島效應」，對於節省能源亦有積極的貢獻。另外，由於綠地面積對於地表下方之水分涵養亦會增加，對於水資源保育亦有貢獻。

## (2) CO<sub>2</sub>減量指標

依國內產業耗能統計，國內生產1kg水泥會排放0.4kg CO<sub>2</sub>，生產1kg鋼筋會排放2.32kg CO<sub>2</sub>，生產1m<sup>2</sup>磁磚就會排放7.38kg CO<sub>2</sub>。由此可知幾乎所有建材均為高污染、高耗能產品。依成大建築研究所指出，在台灣每m<sup>2</sup>中層住宅大樓所使用的建材之CO<sub>2</sub>排放量約為300kg，以每戶35坪（116m<sup>2</sup>）計算時，每戶CO<sub>2</sub>排放量約為34000 kg，這些CO<sub>2</sub>排放量相當於一棵喬木在40年光合作用才能吸收完畢。也就是在台灣每戶必須持續種植一棵喬木，才能平衡住宅建設對地球氣候的衝擊。

台灣的建築產業的日常耗能與建材耗能所排放的CO<sub>2</sub>約占全國總排放量的27.22%，其中建材生產的排放比例高達9.77%，影響

地球環境甚大。本「CO<sub>2</sub>減量指標」特別以建材的CO<sub>2</sub>排放量作為指標，來評估建築軀體構造對於地球環境的衝擊。

木材取自森林中之樹木，如前所述樹木會吸收CO<sub>2</sub>，並釋出O<sub>2</sub>，所以樹木之生長是靠日光能與其生命力來完成，其生長期間為最乾淨，最省能源，可淨化空氣，在有計劃性政策下

可再生，可永續性生產之生物之生物材料。以台灣人工林材積生長量約在10-20 (m<sup>3</sup>/ha、Yr)，其CO<sub>2</sub>固定量約為2.6-5.2 (ton/ha、Yr)。所伐採之木材，其組成元素為碳（50%）、氫（6%）、氧（43%），其他二十幾種元素佔1%。所以木材作為建材使用時，可將樹木自大氣中所吸收之CO<sub>2</sub>以固體型態固定在木材內部。因此木材亦可說是一種碳素貯藏庫。

各種材料加工時均需消耗能源，進而排放碳素（或CO<sub>2</sub>），就木質材料與其他材料之加工能源和CO<sub>2</sub>排放量相比較時，可由表2看出。製造1m<sup>3</sup>之木材，如為天然乾燥時，大約會排放15kg之碳素。人工乾燥時因加熱是必要能源，所以約排放兩倍之碳素。合板會增加單板切削：乾燥、加熱、加壓等製程，膠合劑亦為必要，因此約會排放120kg的碳素量（素材之8倍）。相對於木質材料，鋼材及鋁各會在製造工程排放5300kg、22000kg的碳素量。木質材料加工不但省能源，且會碳素固定之碳素貯藏型材料（表2）。

使用這些材料，以比較建築面積136m<sup>2</sup>



表2 材料加工消耗能源與碳素排放量、貯藏量

材料種類	消費能源		碳素排放量		碳素貯藏量
	MJ/kg	Kg/m <sup>3</sup>	MJ/ton	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
天然乾燥製材 (比重：0.50)	1.5	750	30	15	-235
人工乾燥製材 (比重：0.50)	2.8	1,390	56	28	-222
防腐處理木材 (比重：0.50)	3.1	1,540	62	31	-219
合板 (比重：0.55)	12	6,000	218	120	-105
粒片板 (比重：0.65)	20	10,000	308	200	-125
鋼材 (比重：7.6)	35	266,000	700	5,320	5,320
鋁 (比重：2.53)	435	1,100,000	8,700	22,000	22,000
混凝土 (比重：2.40)	2.0	4,800	50	120	120

表3 『綠建築』對建材的CO<sub>2</sub>排放量評估表

產品名稱	單位	CO <sub>2</sub> 排放量 (kg-CO <sub>2</sub> )
木材 (寒帶林木)	m <sup>3</sup>	-906.66
木材地板 (2cm厚寒帶林木)	m <sup>2</sup>	-60.28
木材 (熱帶林木)	m <sup>3</sup>	9.84
木材地板 (2cm厚熱帶林木)	m <sup>2</sup>	3.52
合板 (熱帶林木, 18mm厚)	m <sup>2</sup>	2.50
模板	m <sup>2</sup>	0.13

(41坪)之平均建築住宅時，主要構成材料之碳素排放量，木造住宅為5,140kg，鋼筋混凝土 (RC造) 造住宅為21,844kg (木造之4.24倍)，鋼骨預鑄 (prefab) 造住宅為14,743kg (木造之2.87倍)。

我國目前所推動『綠建築』方案，在建材的CO<sub>2</sub>排量評估針對木材類是依表3所示。

因使用木材製品及木構造建築，相當於把大氣中的CO<sub>2</sub>儲存於建築物中一樣，對減緩地球氣候溫暖化有所助益，因此先進國家現在已把木質構造建築視為最環保的建築型態而大量推廣。然而，這種利用木造建築來固定CO<sub>2</sub>的政策，必須在計畫性造林、伐木、永續森林政策下才得以成立。目前歐美國家均

有森林永續政策而森林蓄積漸增，但開發中國家的熱帶雨林卻日漸破壞，因此在環保上應鼓勵使用寒溫帶林木，而禁用熱帶雨林。在表中，對於寒溫帶林木CO<sub>2</sub>排放量採用很大的負值，有利於本指標評估，而對於熱帶雨林木則均採用正值，代表不利於本指標之評估。

日本木造住宅約3800萬棟，地板面積每m<sup>2</sup>所使用木材量約0.17374 m<sup>3</sup>，故在住宅內所貯存的CO<sub>2</sub>量達5億公噸，此值相當於日本全國森林所吸存之CO<sub>2</sub>量的18%。而台灣在1996年使用木材相關產品所固定之CO<sub>2</sub>量約為770萬公噸。奧地利全國規模如其多層樓公寓建築物改建時，其中25%使用木材以取代通常之

Brick concrete時，則全國CO<sub>2</sub>排放量可減低5%。

### 三、木質材料為居家之最環保，健康建材

#### (1) 建築型態與婦女流產率

住在6樓以上高層公寓，婦女流產率為一般之一倍以上，住在10樓以上者則為一般之4.5.5倍。

在木材、混凝土及金屬等材料之間，單純以工程學知識建造居家時，高層建築公寓是象徵著現代文明，且在工程學上亦是安全的，但其居民的流產率則為最高。

依日木東海大學醫學部講師逢土反文夫氏研究群，於1993年9月—1996年6月，對於橫濱市之三處保健所，經4個月接受檢診之母親（第一胎之母親）3000人所進行調查（有效分析數為1195人）結果，孕婦之平均流產率為7.7%，住在獨棟木造建築者為8.2%，住在連棟（集合）住宅鋼筋混凝土造（RC）之1—2樓者為6.9%，3—5樓者為5.6%，相對的，住在6—9樓者為18.8%，住在10樓以上者則高達38.9%，可看出住在6樓以上者之主婦的流產率是特別高。

又在同一調查，由居住年數與流產率之關係，可看出居住1—1.9年者流產率為3.1%，2—3.9年者為8.6%，3—4.9年者為10.5%，5年以上者為19.1%，居住在連棟住宅之居住年數愈長，其流產率會愈高。

造成剖腹生產等異常的發生率，以居住在木造獨棟者為14.9%，相對的居住在公寓之

6樓以上的女性會高達27%，約會高1倍。

被認為流產原因之一的神經之潛在緊張性特性，回答有緊張性之主婦在1—2樓者為8.2%，在3—5樓者為7.0%，而相對的住在6樓以上者則為50%，異常的高。此可說明為何居住在6樓以上者會有那麼高之流產率。

有關建築物與孕婦之關係調查，北村俊則社會精神保健部長（日本國立精神、神經中心精神保健研究所），曾對於東京都附近之K醫院治療中之孕婦120位進行面談調查，對於另外之孕婦1300位進行問卷調查結果，得知孕婦發生憂鬱症比例，居住在連棟住宅（RC造），或公寓之孕婦會較居住在獨棟住宅孕婦高出4倍。

其他逢土反文夫研究群對於幼稚園兒所進行調查結果，亦指出，居住在6樓以上之園兒的體溫會較居住在其他樓層的小孩為低。「其常溫體溫會低於36℃之園兒會較多」。

36℃以下之低體溫小孩 = 常溫體溫在36℃以下小孩稱為「常性低體溫」，身體較為脆弱，有許多稍生病，或受細菌感染，即會變成大病，進而死亡。

此係因其出入均依賴著電梯，造成運動不足。且居住在6樓以上居民無法獲得樹木淨化過之風，而直接吸入污染的空氣，又無法直接接觸自然的樹木或花草。無法聽到可讓人們精神平靜之1/f 搖擺的樹木所引起之風聲，鳥或虫鳴聲，亦即欠缺接觸自然所致。

(2) 住宅之木造率愈高，人會較長壽，且情緒亦會較安定，癌症發生率亦低

對於木材或混凝土來說，比起工學性能



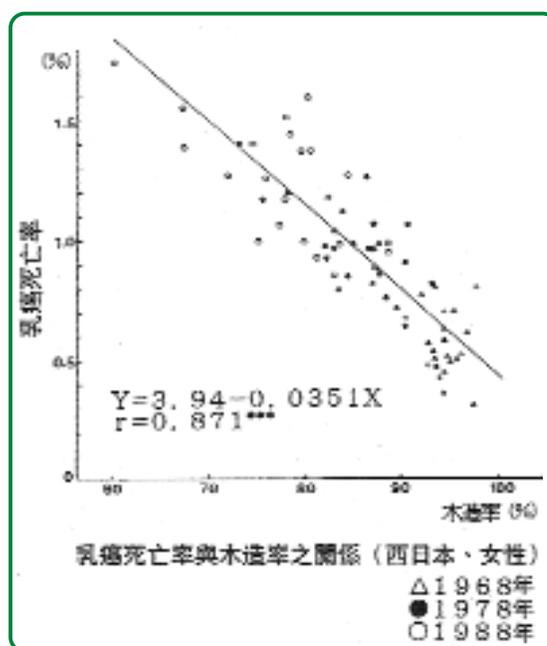
更為重要的，可能是「生活在被木材所包圍的人較好呢!或是被混凝土所包圍的人會較好呢!」之問題。島根大學中尾哲也教授研究群在1998年，對於居住在木造獨棟建築之270家庭，與居住在鋼筋混凝土（RC造）公寓，連棟住宅之62家庭所進行調查，居住在木造獨棟居民平均年齡為39.4歲，而住在RC造公寓居民平均年齡為32.6歲，前者雖然較後者多6.8歲，但死亡平均年齡（事故死亡者除外），居住在木造住宅者為66.1歲，而居住在RC造住宅者則為57.5歲，前者會較長8.6歲。此意味著居住在木造住宅會較長壽。（但在調查期間，日本人之平均壽命為81.39歲，其和該研究群之調查有相當之差距，但其原因不明。）

就日本人之平均壽命與木造率（木造住宅與住宅總數之比例）的相對值進行分析結果，得知木造率愈低，平均壽命亦相對的會下降。有關死亡率，就木造率為最低之東京都與大阪府進行分析結果亦顯示木造率為90%，比起木造率為60%之區域，在大阪府會長壽1歲，而在東京都則會長壽1.5歲，兩者有大概相同結果。

從資料很明顯的，木造率愈高，可說會愈長壽。為何木造率愈高者會愈長壽呢！其真是木造與RC造不同所引起嗎？

現在日本人死亡原因的第1位是癌症，鈴木正治（元東京農工大學教授），曾就癌症與住宅之木造率之關係進行分析，他以氣候影響較少之西日本之女性為對象進行分析結果，木造率為60%，與90%之間，平均壽命會

有1歲之差異。木造率愈高者，肺癌、食道癌、乳癌、肝癌所引起死亡率（對於死亡總數之比例）會減少。尤其對於肺癌、乳癌、肝癌在1968年、1978年、1988年之三個不同年代，進行三次分析結果，亦顯示有相同趨勢。如圖1所示。木造率愈高，癌症發生率會較低之事實，此與木造率愈高者會較長壽之結果有密切相關聯。



鈴木教授亦曾往行「教育現場之居住性」調查，結果指出，訴求「想睡覺、疲倦感」之學生數目是在「RC造教室」會較「木造教室」高出3倍以上。訴求「注意力不能集中」之學生數目亦是「RC造教室」為「木造教室」之2.5倍。教師本人之「累積疲勞」亦是「RC造教室」為「木造教室」之2倍。對於「精神的壓力」、「焦慮」、「氣力之衰退」、「身體疲勞與不順」等訴求之教師以「RC造教室」較「木造教室」為多。

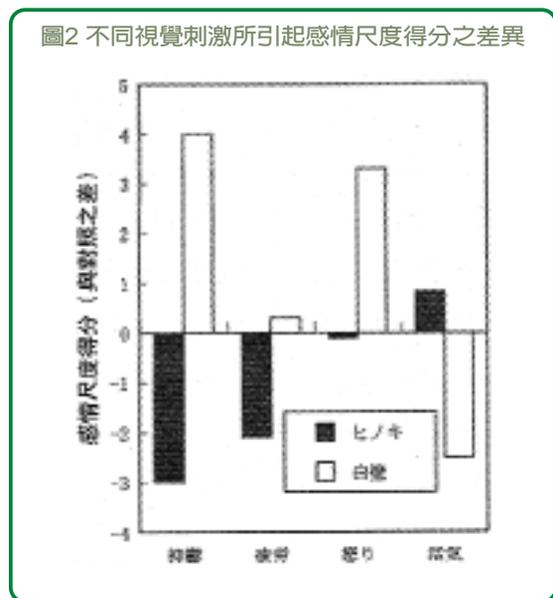
### (3) 木質材料可提供最佳之五官感覺

以往常說「在木造校舍上學的小孩較不易成近視眼」。此係木材會吸收對人眼睛有害之短波長之光線，即紫外線，而不會使之反射，只會反射可使人們感到溫暖之長波長之光線，即紅外光，但具有抑制晃眼感之性質。通常之反射率亦和人類之肌膚相同，約為50-60%。木材之反射的光線是不會太晃（耀）眼，對眼睛較為柔和。

當製作成實物大小之木理較多之檜木材壁面與白色壁面，坐在其前面時，測定其變化。於感情Profile檢查，坐在檜木材壁面前時，負的感情尺度之「抑鬱」、「疲勞」、「緊張」會減少，正的感情尺度之「活氣、活力」會增加，已經明白。

於白壁面前則相反的。「抑鬱」、「發怒」會增加，「活力」會減少，如圖2所示。

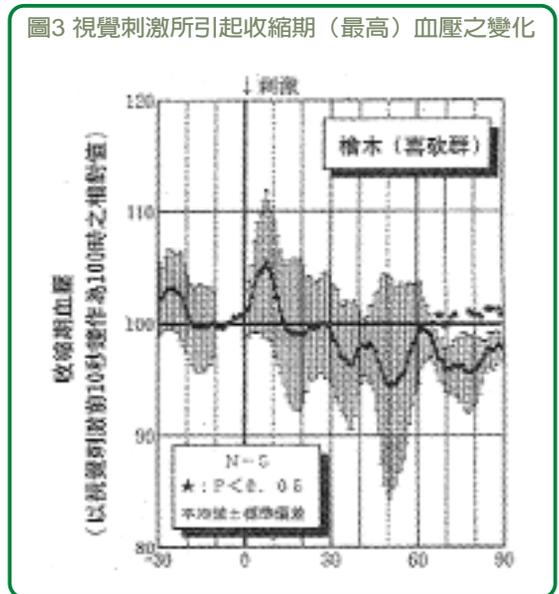
圖2 不同視覺刺激所引起感情尺度得分之差異



另外有關收縮期（最高）血壓，對於檜木材壁面評價「喜歡」時，可看出有意的減

低（圖3）評價為「討厭」時，但看不出有意的變化。

圖3 視覺刺激所引起收縮期（最高）血壓之變化

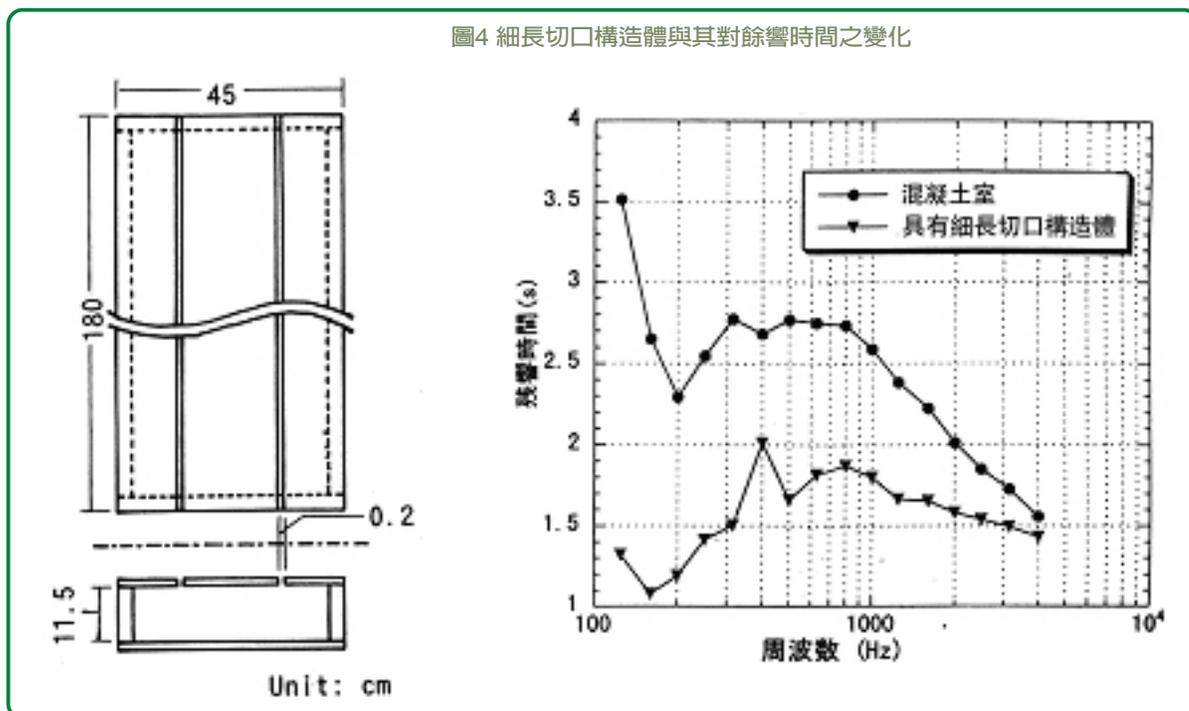


京都大學木質研究室之研究指出，凝（注）視木材紋理時，腦部β波發生會被提高，對於視覺上具有安慰效果。另外可給予人們最舒服，且使人心情柔和感之「1/f之搖晃」，其在蠟燭之火焰、微風、小溪之溪流聲等各種自然現象，或在人們之心跳的間隔、古典音樂、手工作品等當中多數會被發現。木材亦可適度的吸收其他之聲音，調整成為心情感覺良好之聲音範圍。與其相對的，RC造住宅則具有將「1/f之搖晃」聲音隔絕掉之特性，其對於聲音幾乎不會吸收，其餘響音會一直殘留在室內形成耳朵障礙。此事實，由音樂廳幾乎以木材內裝亦可明白。

依台大森林系王松永教授研究室所得結果指出，RC造室內之餘響時間高頻（4000HZ）為2.6-2.7秒，中頻（250-2000 Hz）約3-5秒，低頻（125 Hz）為4.5-5.4秒，其室內如以杉木



圖4 細長切口構造體與其對餘響時間之變化



(或柳杉)壁板(約9mm厚)內裝時,可使室內過長的餘響時間,噪音值降低,高頻可降低約20-30%,中頻可降低約50-60%,低頻可降低約60%。對音響品質可充分的改善。

像混凝土牆之高質量,高剛性表面會反射音能之99%,因此,音很難衰減,如圖所示其餘響時間很高,而會形成很吵雜聲音之空間。

中高音頻之聲音很容易被玻璃棉等材料吸音,但低音頻域之吸音則很難。因此有必要藉共振、共鳴現象進行吸收其音能。例如,在混凝土房屋之室內,將木質材料釘在水泥牆表面之木條上面時,即可藉板之共振現象進行吸音。

如圖4所示,其吸音機構會以在slit部分之空氣作為mass,以背後空氣層作為彈簧之共

鳴作為其吸音原理,其設計共鳴頻率為132HZ。如在內部尺寸3.8×3.8×2.6m之混凝土房間室內之一牆面,如設置此構造體時,如圖4所示,在共鳴頻率附近其餘響時間會大大的減短。

一定濃度之木材香氣會刺激人們之副交感神經,使人們心情放鬆,或提高肝功能,對於腦部亦會給予良好的影響。在含有一pinene氣味之環境下睡覺時,其疲勞恢復會較快,在翌日工作的能率會提高。血液的流動會變良好,可使血壓安定。含有台灣扁柏之檜木油(Hinoki oil: thiol)之成分,對於黃色葡萄球菌或真菌有殺菌效果,而此類細菌係引起先天性過敏症皮膚炎之患者常會感染,症狀惡化之原因。亦無副作用。血壓會降低(收縮血壓會降低11%),王松永研究室之研究

結果亦指出，吸入台灣扁柏精油氣味時，可使收縮血壓、心跳、脈博等降低，即可使心情平靜。流行性感冒（Influenza）或骨折之發生率會降低，不眠率會較低，可治癒過敏症（Allergie）等。

吸入柳杉材粒片香氣物質結果，①主觀會被評價為舒適、自然，②收縮期（最高）血壓會減低（圖5），③由近紅外線分光分析法所進行分析可發現腦血流量亦會減低（圖6）。既使在羅漢柏粒片亦會有同樣的變化。即由主觀的（心理）評價，自律神經活動（血液）及中樞神經活動（腦血流量）之測定結果，柳杉材及羅漢柏材之香氣對於生物體有鎮靜作用已可瞭解。在現代之精神壓力社

會，使生物體鎮靜化，減輕其精神壓力狀態是具有很大意義。

#### （4）木質地板對黴類的影響

最近作為過敏症氣喘患者治療法之一環，建議改善患者住宅環境以除去抗原物質之醫師已增多，其即在居住環境內鋪設木質地板。依在東京所進行調查，在建築後10年之鋼筋混凝土造四層樓公寓之一樓，總地板面積60m<sup>2</sup>，其起居室、寢室（榻榻米上面鋪設地毯）流理台、小孩房間均鋪設地毯，於8月及9月間塵黴數為104.2隻/m<sup>2</sup>，但當改鋪設木質地板（櫟木）後，其黴類數目會降低至23隻/m<sup>2</sup>。如圖7及照片1所示。

在木材粒片中混入會引起過敏症

圖5 吸水柳杉材粒片所揮發出香氣物質後收縮期血壓之變化

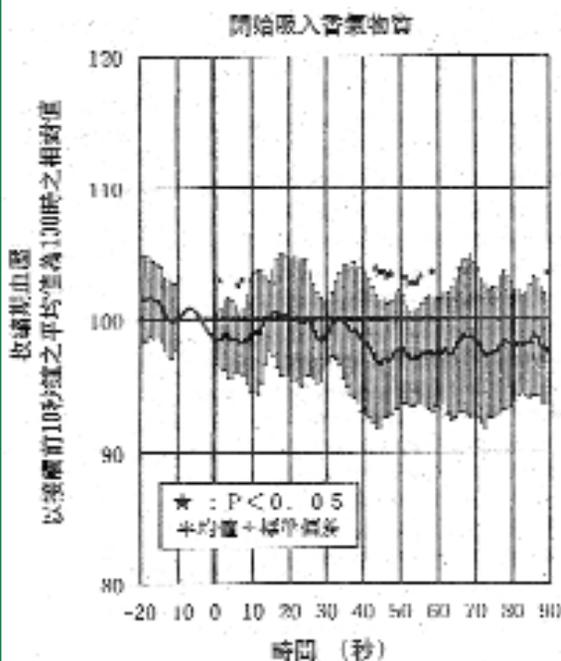


圖6 吸入柳杉材粒片所揮發出香氣物質後腦血流動態之變化

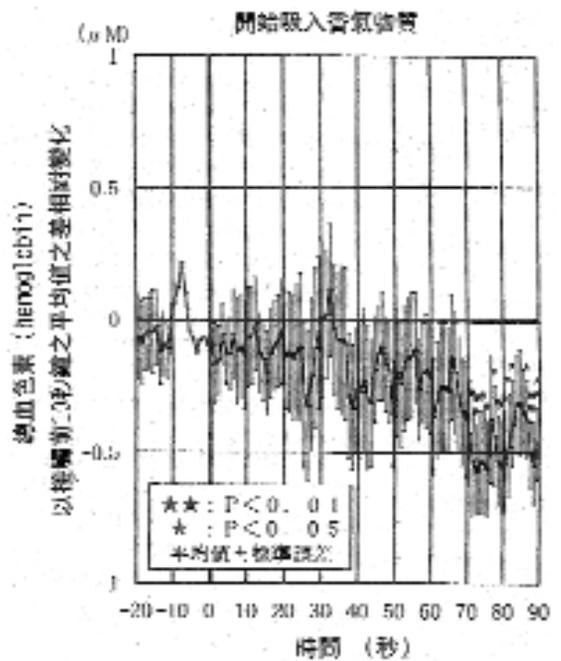




圖7 改裝成木材地板所引起類之減少—照片1 美洲室塵蟎 (約0.4 mm雌)

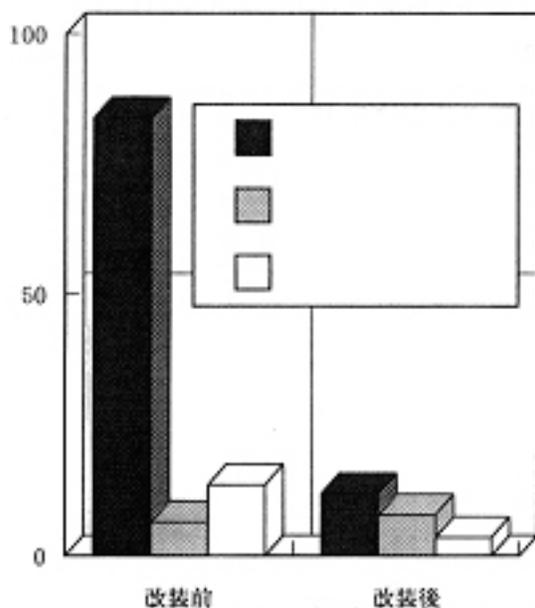
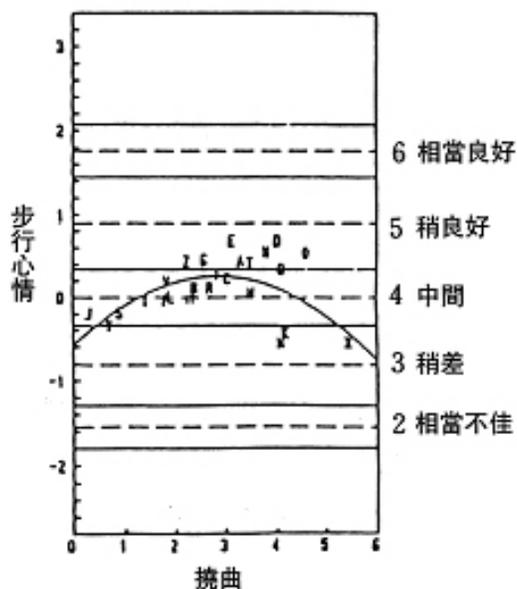
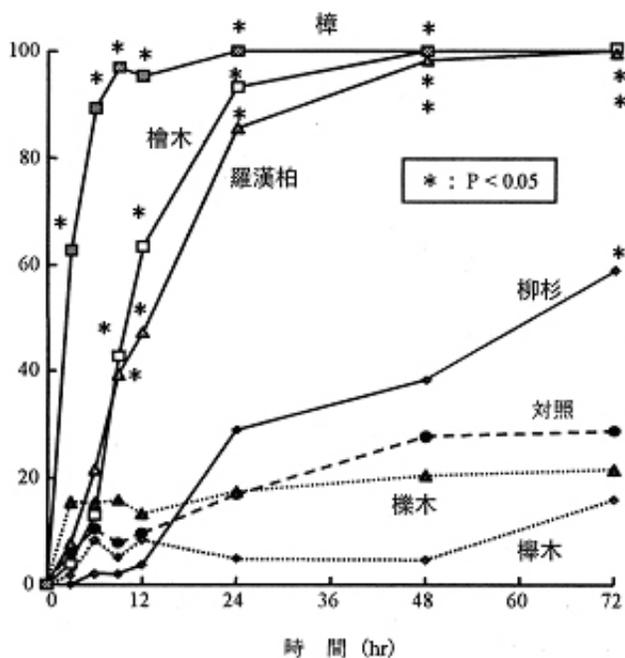


圖8 木材香氣物質對室內灰塵中蟎類之行動的影響效果

圖9 直貼木質複合地板之步行心情及撓曲之關係



(Allergrg) 之代表性之美洲室塵 黴菌 放置24小時後，黴菌類幾乎會死滅，已有報告。現在在建材可使用之各種粒片上面放置封入黴菌類之可通氣之曝露chamber，黴菌類是與粒片不直接接觸，而是曝露在其香氣物質中，其結果如圖8所示，放置在樟樹、檜木、羅漢柏材之上面時，經24小時後，所有黴菌類之行動會被抑制。在柳杉粒片亦是在經過3天後，會比起無香氣物質存在的對照組會表示有意的行動抑制。

同時木材精油對於黴菌類之繁殖均有抑制效果。尤其以柳杉、扁柏（檜木）、花旗松、西部側柏、鉛筆柏等樹種較為明顯，但鐵杉及雲杉則對於黴菌類增殖沒有抑制效果。

鈴木教採對於癌症或先天性過敏症（Atopic）氣喘等之發病源的黴菌類，亦就木造3戶，RC造3戶住宅進行1年期間之持續性的比

較調查，其結果指出木造住宅之平均黴菌類數目只有RC造住宅之一半以下。

### (5) 木質地板與步行心情

有地板柵之高架地板，如能考慮地板柵與木質地板之厚度時，以發揮木材之彈性，則可製造出具有適度撓曲，步行心情（感覺）良好之地板。鋼筋混凝土造建築物，亦有將木質地板使用膠料直接貼在混凝土平板上面之工法，如能在木質材料積層以緩衝材（橡膠）以調整其撓曲時，亦會成為與高架地板同樣步行心情良好之地板。圖9表示在混凝土平板直貼木質地板之步行心情與撓曲量之關係。撓曲量約3mm時，步行心情為最良好，地板是太硬或太軟，步行心情均會變差。木材之地板具有如此適度撓曲，再加上木材本身所具有的吸濕性與隔熱性加以發揮結果，可達到對人類具有優雅的步行心情。

圖10 包含木材在內各種之建築材料之「粗滑感」「硬軟感」及「舒服、不舒服感」

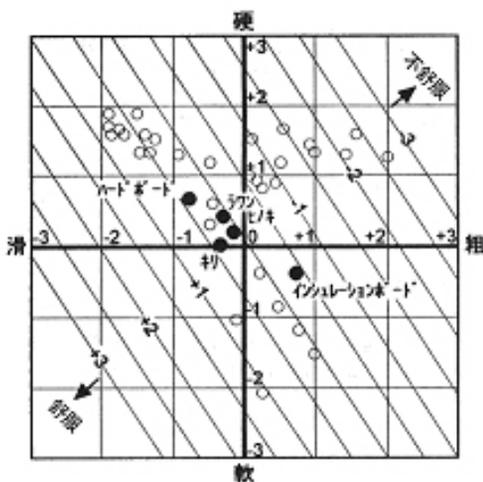
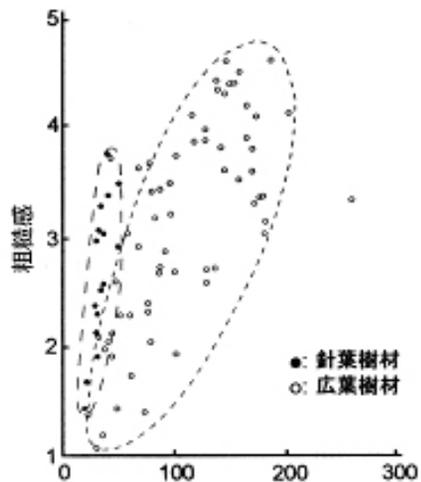
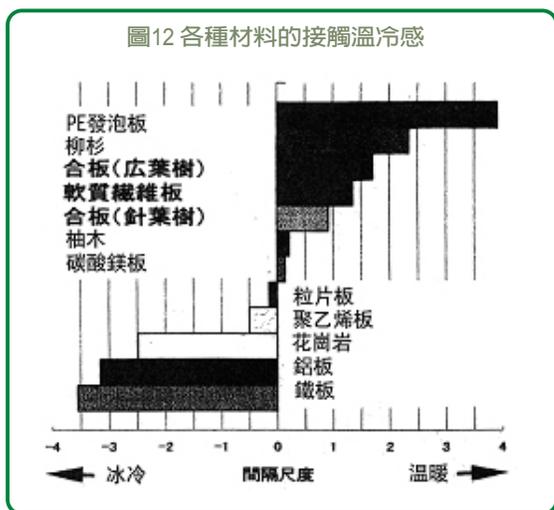


圖11 粗滑感和木材的表面粗糙度（最大高度）的關係





### (6) 木材之手觸摸性與舒適性

木材之柔軟性與滑溜性，圖10是表示當觸摸包含木材及木質材料在內各種建築材料時，舒服、不舒服感（觸摸心情），以「硬軟感（硬 - 柔軟）」與「粗滑感（粗粗 - 滑溜）」表示者。例如，硬而粗糙材料很容易感覺「不舒服」。木材之觸摸性較重要者是與其他比較時，即不「柔軟」，亦「不滑溜」而會表示中庸的性質。

木材之表面粗糙度與粗糙感，圖11是表示當觸摸鉋機鉋削修整無塗裝木材（約80個樹種）表面時之感覺粗糙性，與木材表面之物理的粗糙度之關係。表面粗糙度是木材表面之凹凸深度與以唱盤之唱針相同原理（觸針式）所測得數值，表面粗糙度愈大者，感覺粗糙感亦

會增大。木材組織構造因會依樹種或個體，部位而異，只要不以厚的塗膜被覆之表面均會出現大小各種之凹凸，此會形成木材特有之手觸摸性原因之一。圖11是指出針葉樹材與闊葉樹材影響其粗糙感有效的主要原因會不同。針葉樹材會在各年輪出現凹凸之周期性之深度，但闊葉樹材則會出現道管之通導組織之凹凸會有各種的影響。

接觸時材料之溫暖性，冰冷性稱為接觸溫冷感。心理的感覺的大小以數值（間隔尺度）表現方法有尺度構成法。圖12表示12種材料之溫冷感之間隔尺度者。當就12種材料，每2片為一組，對於全部之組合進行以判斷何者較為溫暖之結果，溫暖性數值化。就此觀之時，柳杉等木質材料均位於溫暖側。其理由是木材在組織構造上含有多孔性、半（密閉）之中空層為多，密度低，熱傳導率小（如表4所示），因而隔熱性高，當手腳接觸木材時，人之熱量較難被材料所奪取之特性。

手接觸木材是會給人感到溫和的在經驗已知道。既使在表示人之精神壓力狀態的血

表4 材料的熱傳導率和密度

材料	熱傳導率 (W/m°C)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	材料	熱傳導率 (W/m°C)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
PE發泡板	0.034	0.03	碳酸鎂板	0.17	0.87
柳杉	0.10	0.33	粒片板	0.085	0.82
合板(闊葉樹)	0.13	0.54	聚乙烯板	0.13	1.37
軟質纖維板			花崗岩	0.93	2.66
(瀝青被覆)	0.035	0.40	鋁板	180	2.59
合板(針葉樹)	0.12	0.50	鐵板	50	7.81
柚木	0.21	0.68			

■氣乾密度時之熱傳導率 (JIS A 1412)，材料與圖12對照。

壓變化，當接觸木材時會減低（圖13）。此係生物體是處於放鬆狀態下。相對的接觸金屬時血壓會有意的上昇（圖14），生物體會處於精神壓力狀態下已可確認。另外，PU塗裝或較厚膜是會發生接近於金屬之生物體反應。

### (7) 調節溫度、濕度與節約能源效果

木材比混凝土具有良好之溫度調節性能，就木造住宅與鋼筋混凝土造（RC造）住宅比較時，一般前者會較後者溫度日較差、年較差為大。此係前者在住宅內壁面不僅只由很厚的木材所構成，其氣密性不佳，或熱容量較小所造成。在冬天，木造住宅之平均室溫會比RC造住宅低，但在夏天，夜晚的室溫降低會較大。

王松永教授研究室在台北地區所進行兩棟混凝土磚造住宅室溫實驗，指出室溫日平

均值在春、秋及冬天均以房屋A（以厚9mm杉木板裝修內牆及天花板，地板為厚12mm柳安板材）高於房屋B（完全無內裝），0.2 -1.5，而夏天則相反，房屋A會低於房屋B，0.1 -2.0，達到「冬溫夏涼」之效果。

為比較房屋A與B之隔熱性能，在壁體室內與室外表面，埋入J-type熱電偶，探討壁體溫度之經時變化，結果指出，1991年8月24日（夏天），兩房屋均在屋頂與東面壁體會表示較高之表面溫度，如以最高表面溫度表示時，房屋A之東面壁體之43.6，屋頂之48.0，房屋B之東面壁體之38.4，屋頂之49.5。而各相對應之室內位置之最高溫度，東面壁體之33.6（房屋A），33.2（房屋B），而天花板之34.8（房屋A），與40.2（房屋B）。如以室外與室內壁面溫度差視為

圖13 手接觸木材所引起收縮期（最高）血壓之變化

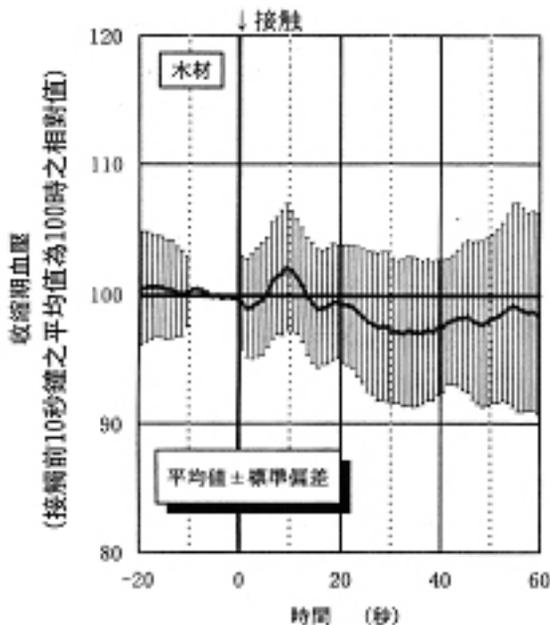
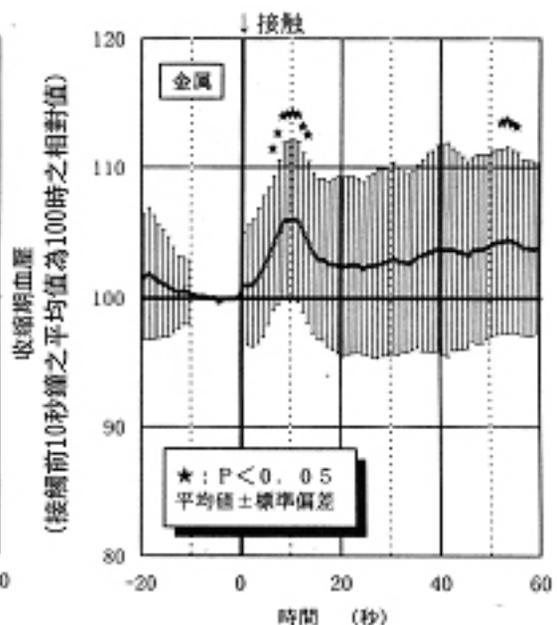


圖14 手接觸金屬所引起收縮期（最高）血壓之變化





隔熱效應時，則房屋 A 之東面壁體之 10，屋頂之 13.2，房屋 B 之東面壁體之 5.2，屋頂之 9.3，很明顯的因有木板內裝結果，房屋 A 會顯現出 3.9 - 4.8 之隔熱效應（表 5）。

為探討房屋之節約能源效果，特在房屋 A 及 B 室內各使用冷氣機，控制室溫在 25 時，測定兩房屋各別所消耗之電力，以比較其節約能源效果，結果指出，在 1991 年 8 月 2 日 - 4 日，兩房屋之室內溫度的經時變化，如表 5 所示。房屋 A（木材內裝者）消耗電力為 0.258 Kw-h - 0.487 Kw-h，平均 0.375 Kw-h。房屋 B（無內裝者）為 0.317 Kw-h - 0.587 Kw-h，平均 0.468 Kw-h。房屋 A 會較房屋 B 節約 20% 之電力消耗。此關係可由表 6 所示，房屋 A 與 B 之壁體熱貫流係數，可看出房屋 B 會較房屋 A 大 1.6-2.1 倍，即可瞭解（表 6）。

大多數隔熱材料因其本身不具強度，如不被其他材料支撐時，將無法維持自立，但木材雖輕量卻具有強度，其隔熱性能亦接近於隔熱材料，為非常優良之材料。

木材比 RC、PVC 塑膠、玻璃、金屬等材料之吸濕性高，濕氣透過容易。由木材所包圍之空間（環境）比由吸濕性低之材料所包圍空間，因溫度變化所引起相對濕度（RH）之變動會變小，會進行濕度調節。溫度上昇，相對濕度降低時，木材會發生脫濕，反之溫度降低，RH 上昇時，木材會發生吸濕，其結果使該空間（環境）會維持在一定適度 RH，所以木材比其他材料，濕度調節性能較為優良。

王松永教授研究室所進行房屋 A 及 B 室內 RH 之經時變化實驗，結果指出，室內平均 RH 一年四季均以房屋 A 較房屋 B 低，各為 8%-10%。

RH 在室內高度方向垂直分布，則一年四季均會顯示出，其最高 RH 在地板附近部位，而最低 RH 則會出現在天花板附近部位，在高低 RH 值相差，房屋 A 為 1.1%-5.7%，房屋 B 為 4.2%-14.8%。

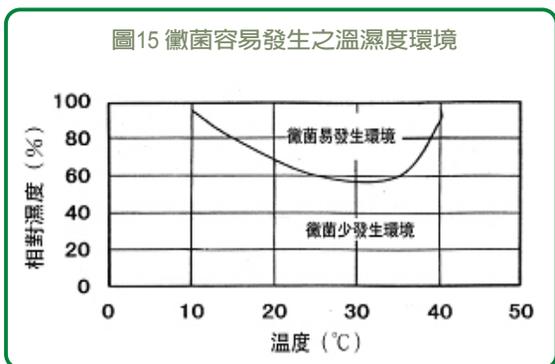
由圖 15 可看出，黴菌容易發生之濕度環境是在常溫（20）附近，大概 60 - 70% 以上。因此，室內之濕度不能太高，注意換氣，通風是很重要的。其他方法，可如圖 16 所示，在室內使用木材作為內裝材料，以製作抑制黴菌發生之濕度環境是可能的。即在室內以木材施工時（圖 16，右）會比不施工時（圖 16，左）很明顯的可抑制室內相對

表5 房屋 A 及 B 之室內溫度與相對濕度之經時變化

	溫度 (°C)	日較差 (°C)	相對濕度 (%)	日較差 (%)
房屋 A	24.9~26.4	1.5	57.9~78.5	20.6
房屋 B	25.5~28.4	2.9	45.9~77.6	31.7
室外	26.5~34.9	8.3	47.0~79.4	32.0

表6 房屋 A 及 B 之熱貫流係數 (Kcal/m<sup>2</sup>h°C)

	東西壁體	西面壁體	南面壁體	北面壁體	屋頂
房屋 A	2.14	2.14	1.66	1.66	2.38
房屋 B	4.00	4.00	2.58	2.58	4.98



濕度之變動。同時，在橫軸之外氣濕度即使較高，室內相對濕度亦能抑制在較低（不會超過70%以上）。

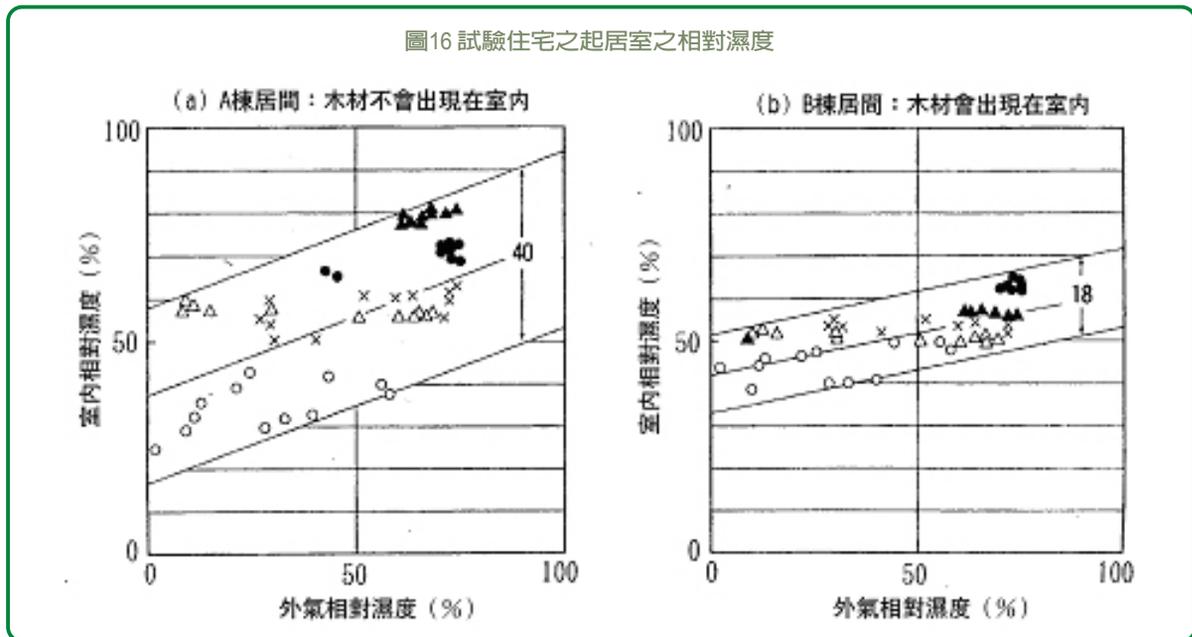
### (8) 生活環境之氡濃度與危險性

自然放射性核種發生衰變或衰變時，會放射出放射線。此放射出放射線之性質稱之為放射能，其單位是以每1秒發生衰變次數之衰變率，使用Bq或dps表示。

自然放射線是人類曝露在放射線中的最大比率，它佔全體之83%，其中之57%為氡

（Radon）釷（Thoron）與其他放射物質。

鈾（Uranium U）系列之鐳（Radium, Ra）同位體 $^{226}\text{Ra}$ 與釷（Thorium, Th）系列之 $^{224}\text{Ra}$ 的衰變所生成的不活性稀有氣體之自然放射性核種 $^{222}\text{Rn}$ ， $^{220}\text{Rn}$ 是各為氡（Rn），釷（Th）。 $^{225}\text{Ra}$ 是在岩石土壤，多種建材等均有衰變後會成為 $^{222}\text{Rn}$ （氡），其中一部分會擴散至大氣中，氡與釷是混合氣體，其放射能量相近，很難嚴密的分離測定之。一般當作氡與釷加以測定。但釷之半衰期為55.6秒，它較氡3.8天短很多，但通常不成問題。氡、釷與其放射物在衰變時放射出來的線比起線或線透過物質能力是較低，即使薄的一張紙亦可遮蔽之。此並非意味著線之為害會較少。而其比其他放射線具有高的能量，即為4.6~7.69Mev高能量；1ev為 $1.6 \times 10^{-12}\text{erg}$ 。此能量即刻會轉嫁到物質，其本身會使能量急速衰減，因此透過能力會較低。所以



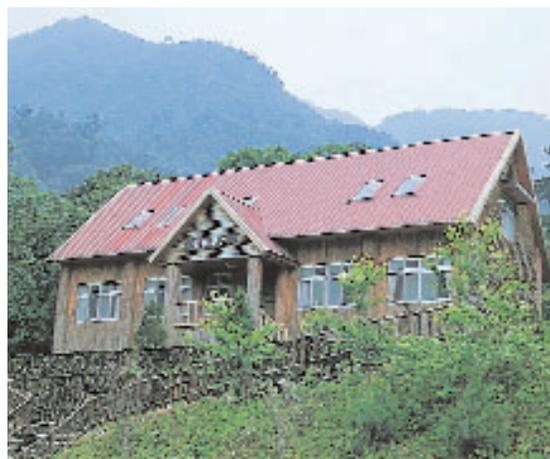


線比其他放射線對生物體會引起較大之電離作用，造成較大傷害。尤其人類之支氣管上皮組織，如直接被 $\gamma$ 線照射時會引起其染色體異常之高危險性。氡與其他放射物如達 $0.001\ \mu\text{m}$ 之微粒子狀，會在空中飄浮附著在煙霧質（Aerosol）而吸入肺部，其中部分會附著在肺之支氣管粘膜上，包含其他放射物的平均半衰期約40分鐘以上的附著時，因衰變而近距離照射支氣管上皮，一般認為這是引起肺癌的原因之一。

鈾石戶山之氡濃度與肺癌死亡率之關係之免疫學研究發現，兩者之間有正相關之關係。所以美國及FAO委員會均將氡列為一種人類有害的放射物質。在美國曝露在氡濃度約為 $100\text{Bq}/\text{m}^3$ 室內之危險性是相當於每年胸部照射200次X光，其相當於每1000人有3-30人會因肺癌而死亡。在瑞典則其危險性相當於每年車禍死亡危險率，在每100萬人會有150人死亡。

木質建材之柳安合板是不會放射氡氣，無機質建材之中，石綿板會表示最高放射量，即每1kg會表示11.3-13.0Bq，水泥板、石膏板亦均很高值，主要是因其所使用的石膏有問題，尤其磷酸石膏會高達48-93Bq/kg，在住宅所使用之石膏板有達 $29.8\text{Bq}/\text{m}^3$ 。水泥系建材（包含木絲水泥板）之氡濃度會較木質建材高出甚多。

木造住宅之一樓與二樓的氡濃度，在一年內約為 $3-22\text{Bq}/\text{m}^3$ ，而RC造連棟住宅為 $25-46\text{Bq}/\text{m}^3$ ，RC造住宅內之氡濃度約為木造住宅內氡濃度的1.6倍。一般RC造住宅之氡濃度較



木造建築

（攝影/陳吉鵬）

木造住宅為高，主要係其發生源為混凝土（RC）所致。

在同建地內所建造之木造校舍與RC造校舍之氡濃度亦有差異，前者為 $7-18\text{Bq}/\text{m}^3$ ，後者為 $53-82\ \text{Bq}/\text{m}^3$ ，RC造校舍會較木造校舍高達5倍。住宅以外，RC造辦公室或校舍，實驗室之氡濃度會較高者為多，其範圍在 $21-325\text{Bq}/\text{m}^3$ ，尤其空調設備完善，一年期間與外氣換氣較少之RC造圖書館之一室，其氡濃度會高達 $253-1116\text{Bq}/\text{m}^3$ 。而縮影片（microfilm）資料室亦是由無機建材內裝，其亦與倉庫同樣的為關閉狀態的房間，所以其氡濃度亦會高達 $88-325\text{Bq}/\text{m}^3$ 。此係從RC及無機質建材所放射出的氡氣滯留以致增高其濃度。對於由RC及無機質建材所放射出的氡氣可透過木質材料之貼面加以遮蔽，如在RC內牆內裝以木材（約4mm），或在石膏板、各種無機質建材貼面木質單板（約1mm），則由RC及無機質建材所放射出的氡氣衰變至木質材料會成為鉛，而附著在木質材料表面，而不會漂浮在室內空氣中，對人體即不會危害。

表7 Mouse在不同飼養箱內之生存率

飼養箱種類	生存率		
	3天後	4天後	23天後
木材製 (扁柏板, 厚18mm)	100%	90%	85.1%
金屬製 (鋅製鐵板, 厚0.4mm)	70%	41%	41.5%
混凝土 (加入鋼筋壁, 厚31mm)	60%	6.9%	6.9%

### (9) 木質室內為動物 (Mouse) 繁殖生存之良好環境

日本靜岡大學農學部接受靜岡縣木材協同組合連合會之委託，就4-7月之溫暖期，7-9月之暑熱期，10-12月之寒冷期等三期，利用不同材料飼養箱進行Mouse之繁殖、成長、生存率實驗，飼養箱內部尺寸為11cm × 17 cm × 30cm，柳杉鉋屑之地板，生產直後 斷乳時 (23天)，實驗結果如表7。

由此可看出，除生存率以木製飼養箱為最高外，成長速度亦以木製飼養箱為最優良，Mouse之開眼時間亦以木製箱會較其他箱子早2-3天，生殖器官之重量亦較重，在混凝土或金屬製箱培養之Mouse，其腎臟會出現水腫者較多。

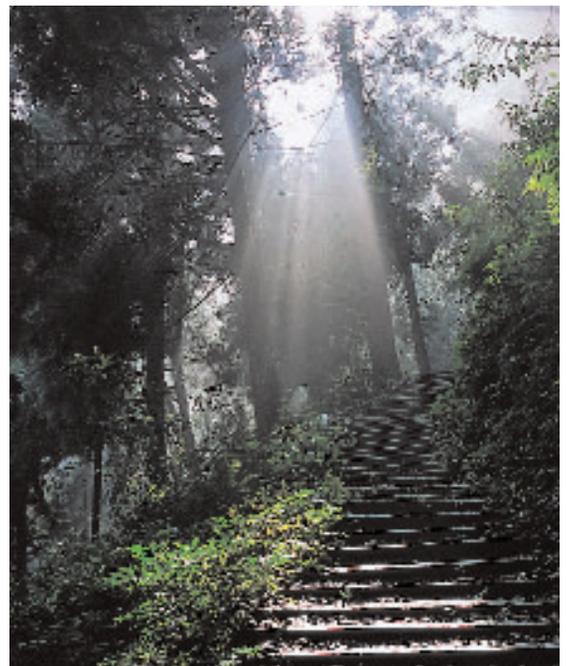
名古屋大學研究群使用木材、混凝土、鋁作為飼養箱，地板墊料則各鋪上木材鉋屑與塑膠碎片，從11月6日-100天，3月25日-100天，進行三代之Mouse的飼養，生產、保育實驗。

第一產大概在相關時間，但第二產會依飼養條件不同而異，尤其在懷孕，生產會重復進行，在混凝土或鋁製飼養箱是無法進行保育，在總生產之89例中，因父Mouse情緒不安定而吃掉子Mouse之異常狀況，在混凝土製

飼養箱有10例，在鋁製飼養箱有8例，在木製飼養箱地板材料鋪塑膠碎片者有2例，但地板材料為木材鉋屑的飼養箱則均未發生。

混凝土箱之死亡率會較高，情緒不安定，此係其中所含有混合劑所造成的。

人們在建築物內渡過的時間平均每天約20小時。在Mouse實驗，很明顯的生長在木質環境內者會較為長壽。由此可知，木材對生物可緩和其各種的精神壓力，作為養育小孩的環境，人們所居住之環境，很清楚的應以木造住宅最為良好。🌲



森林浴步道

(攝影/游忠霖)