

# 木材の大気浄化能力の評価

辻野喜夫・吉良靖男\*・荘保伸一\*\*

## Air Purification Ability of Wood

Yoshio TSUJINO, Yasuo KIRA\*, Shinichi SHOUHO\*\*

### Summary

Nitrogen dioxide, a serious air pollutant, was purified on the surface of wood. The nitrogen dioxide purification ability of wood was evaluated by an air purification test procedure for photocatalytic materials (JIS R 1701-1:2004). The ability of black heartwood in Sugi wood (*Cryptomeria Japonica*) was achieved at a level, 2 times higher than that of photocatalytic reduction of nitrogen oxides.

### はじめに

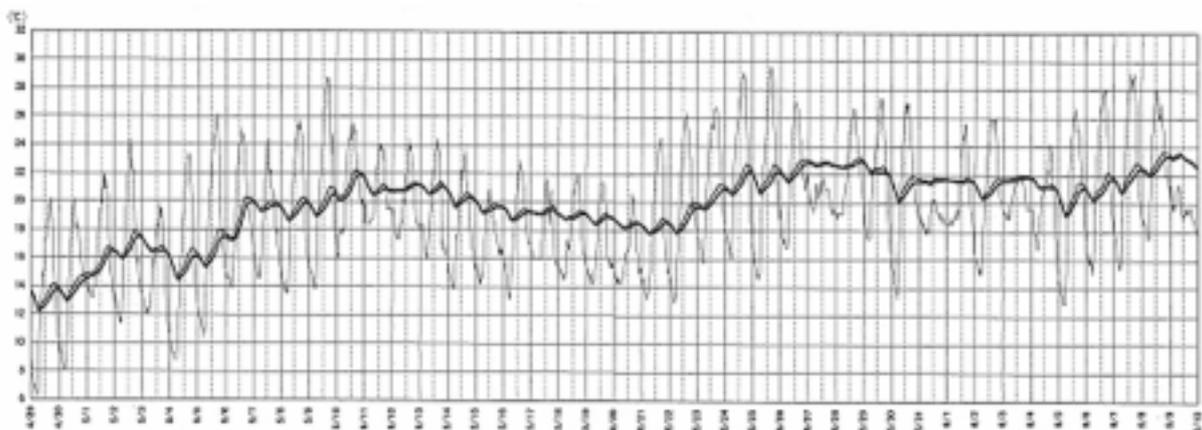
緑豊かな森林は、地球温暖化ガスの二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) を蓄積し、大気汚染や水質汚濁を浄化する機能を発揮する。しかし近年、大阪府域を例に取れば、森林面積約57,000haのうち間伐を要するスギ、ヒノキの人工林は年間約1,340haであり、このうち62%が間伐を実施されているに過ぎない。森林整備の遅れによって本来森林のもつ環境浄化機能が十分に発揮されていない状況にある。さらに、間伐材の8割は未利用のまま林内に放置されている。間伐を促進し、森林を活性化し、森林を保全するためには、間伐材を有効活用する技術の開発が不可欠である。

### 1. 木材の大気浄化機能

森林には、大気汚染を浄化する機能があることは知られていたが、伐採され「木材」になってからも優れた浄化機能を発揮する。

東大寺正倉院では、ヒノキの校倉の中のスギの唐櫃の中に数多くの御物が納められ、1,250年間保存されてきた。従来、この現象は、校倉の内部の温度、湿度が一定に保たれてきたことによると考えられてきた(第1.1~1.2図)。

しかし、木造建造物の内部では、二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>)、二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) およびオゾン (O<sub>3</sub>) 等が外気よりも70~90%減少し、その現象が千二百五十年前の正倉院

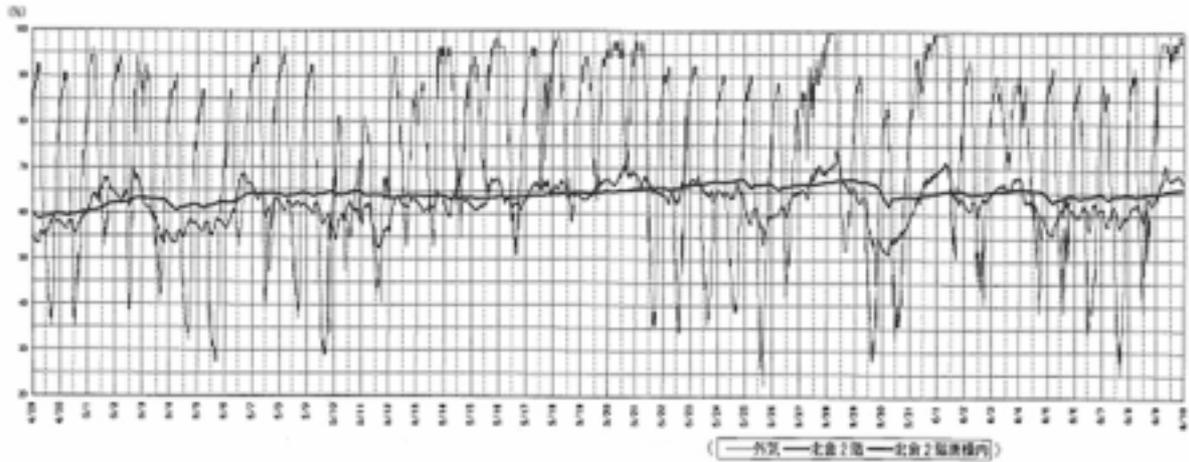


第1.1図 正倉内外の気温変動 (平成12年4月29日 - 6月9日)<sup>1)</sup>

外気の日変動:10 , 校倉内部の日変動:1.4 , 唐櫃内部の日変動:1.2

\*大阪府環境農林水産部 地球環境課 (研究担当時 森林課) (Global Environment Division, Osaka Prefectural Government)

\*\*越井木材工業 (株)(KOSHII & CO., LTD)



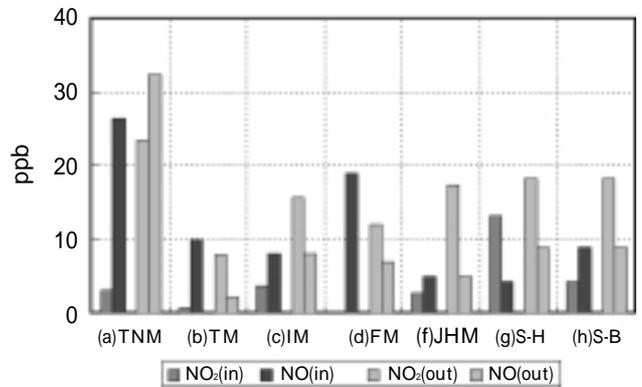
第1.2図 正倉内外の湿度変動(平成12年4月29日-6月9日)<sup>1)</sup>  
 外気の日変動:47.5%, 校倉内部の日変動:7.2%, 唐櫃内部の日変動:1.1%

のヒノキの校倉やスギの唐櫃の内部でも観察された。

正倉院の校倉内や木製の収蔵庫内部では、電力を使用した長期間サンプリングは不可能で、拡散型サンプラー(東泉テクノ社製)によりNO<sub>2</sub>およびNO<sub>x</sub>を採取し、イオンクロマト分析に供した。NO<sub>x</sub>-NO<sub>2</sub>により一酸化窒素(NO)濃度を算出した。正倉院のヒノキの校倉および5博物館の収蔵庫内で、大気汚染調査を実施した<sup>2)</sup>。拡散型サンプラーを収蔵庫中と、屋外の百葉箱中に1か月間、2回設置した。第1回大気汚染調査(1999年10月22日~11月19日)の結果を第2図に、また、第2回の調査(2000年2月2日~3月4日)の結果を第3図に示す。木造建造物(木製の収蔵庫を含む)は、外気に比較して、NO<sub>2</sub>濃度が低下し、NO濃度が上昇する傾向にあった。

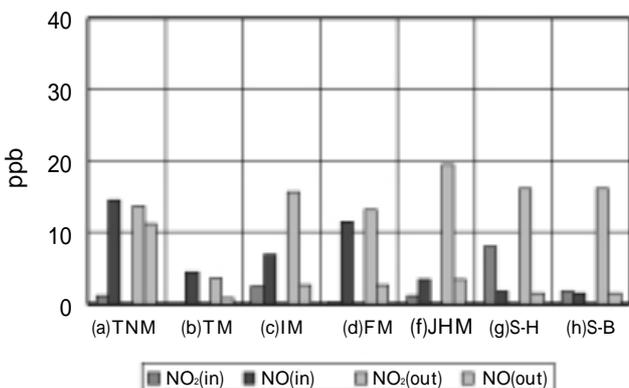
NO<sub>2</sub>浄化能力に及ぼす木造建造物の建築経過年数の影響を第4図に示す。NO<sub>2</sub>浄化能力( )は1,250年間も高い水準で維持され、NO<sub>2</sub>のNOへの還元能力( )は65年間以上も保持されていた。

また、スギ、ヒノキ、米スギのおが屑(2g)にNO<sub>2</sub>標準ガス(5,000ppb)を通気する実験<sup>3)</sup>では、第5図に示すように、日本の人工林の主要樹種であるスギに最も高

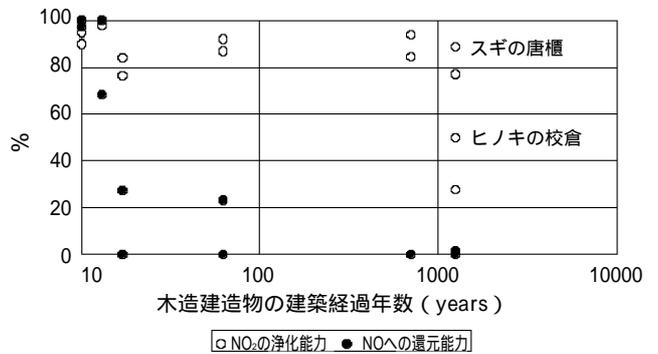


第3図 第2回大気汚染調査(2000年2月2日~3月4日)<sup>2)</sup>

いNO<sub>2</sub>の浄化能力(91.2%)があった。以上の調査、実験から、校倉造り建物内では、温度、湿度が一定に保たれ、且つ、大気が浄化されてきたために、文化財の良好な保存環境が保たれたと考えられる。また、木造建造物内での環境は、文化財だけではなく、人間の生活空間としても適切なものであり、都市におけるNO<sub>2</sub>高濃度地域の屋内空気環境改善にも役立つものである。



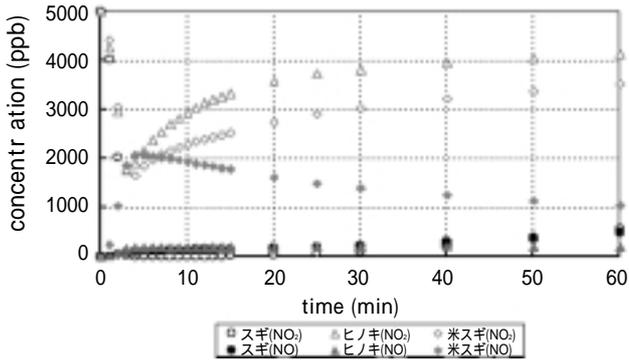
第2図 第1回大気汚染調査(1999年10月22日~11月19日)<sup>2)</sup>



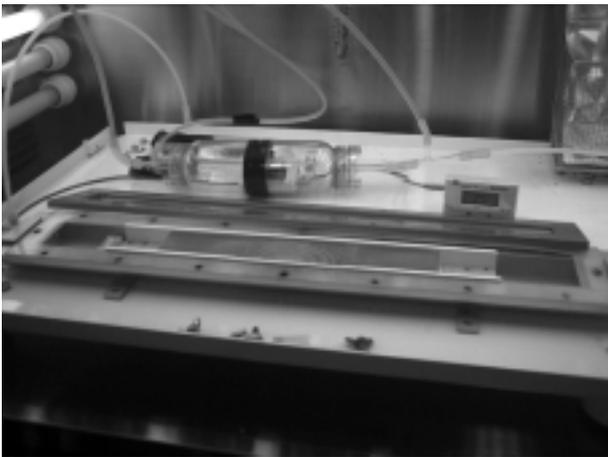
第4図 NO<sub>2</sub>浄化還元能力に及ぼす建築経過年数の影響<sup>3)</sup>

$$\text{NO}_2 \text{ 浄化 \%} = 100 \times (1 - \text{indoor NO}_2 / \text{outdoor NO}_2)$$

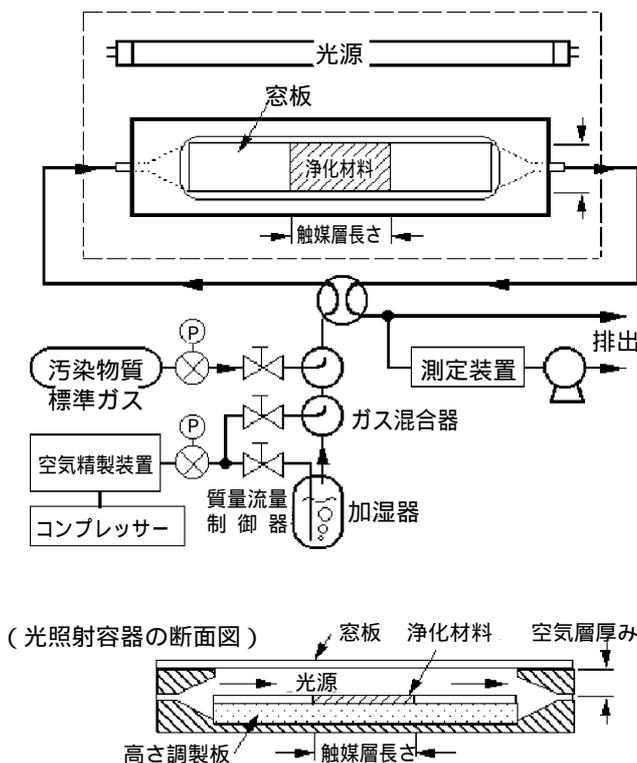
$$\text{NO 還元 \%} = 100 \times (\text{indoor NO} - \text{outdoor NO}) / \text{outdoor NO}_2$$



第5図 木材種の出口NO<sub>2</sub> & NO濃度に及ぼす影響<sup>3)</sup>



第6.1図 光触媒試験器によるスギおが屑およびスギ板のNO<sub>2</sub>浄化能力の評価試験装置



第6.2図 光触媒試験器の模式図 (JIS R1701-1:2004)

．木材および方法

1．木材のNO<sub>2</sub>浄化能力の評価方法

木材による大気汚染物質 (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, ホルムアルデヒド) の浄化試験法には、日本工業規格 (JIS) で定められたものはない。しかし、スギの大気浄化機能を活用した環境浄化商品の開発やスギ材の木造建造物への利用が進むと、浄化能力を評価する方法が必要になってくる。

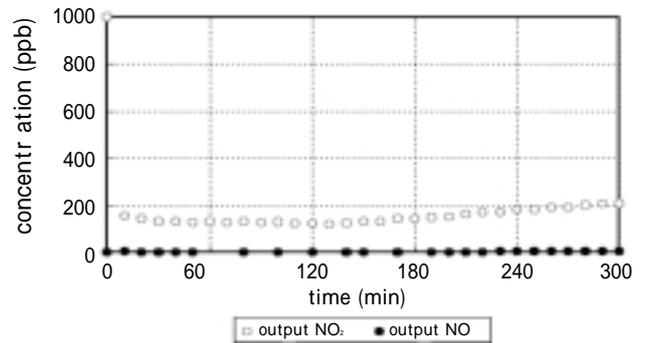
現在、光触媒材料の大気浄化試験法は、JIS R1701-1:2004で定められているので、木材の大気浄化試験法には、光を照射しないJIS R1701-1:2004の方法を用いた。

光触媒試験法によるスギおが屑およびスギ板のNO<sub>2</sub>浄化能力の評価試験装置を第6.1図及びJIS R1701-1:2004の装置模式図を第6.2図に示す。

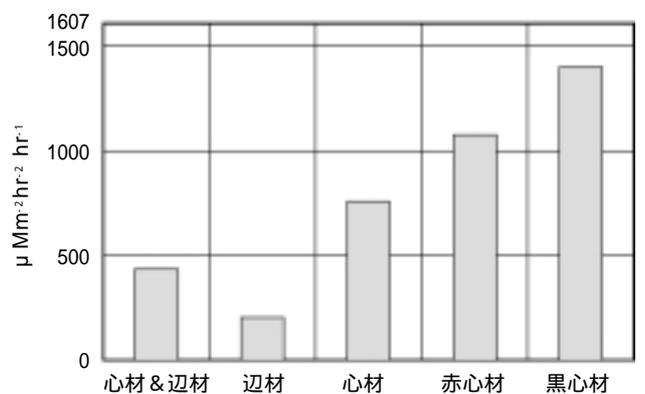
．結果および考察

1．光触媒試験器による浄化能力の評価

光触媒試験器による黒心材おが屑の浄化能力の評価値を



第7図 光触媒試験器によるスギ黒心材おが屑のNO<sub>2</sub>浄化能力  
導入NO<sub>2</sub>濃度: 1,000 ppb. NO<sub>2</sub>ガス流量: 3 L/分 (線速度20cm/秒).  
おが屑量: 9.6 g (50cm<sup>2</sup> × 1.5 cm). 滞留時間 (t): 0.5 秒. RT: 25 .  
RH: 80 ± 5 %.



第8図 光触媒試験器によるスギおが屑のNO<sub>2</sub>浄化能力評価  
導入NO<sub>2</sub>濃度: 1,000 ppb. NO<sub>2</sub>ガス流量: 3 L/分 (線速度20cm/秒).  
通気NO<sub>2</sub>総量: 1607 μMm<sup>2</sup>/時. おが屑量: 8-10 g (50cm<sup>2</sup> × 1.5cm).  
滞留時間 (t): 0.5 秒. RT: 25 . RH: 80 ± 5 %.

第1表 スギ(黒心材おが屑, 黒心材挽きたて板, 赤心材プレーナー仕上げ板)のNO<sub>2</sub>浄化能力と光触媒のNO<sub>x</sub>浄化能力の比較

	$\mu\text{M } 50\text{cm}^{-2} \text{ } 5\text{hr}^{-1}$	$\mu\text{M m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$
スギ黒心材おが屑	34.4	1,400
スギ黒心材挽きたて板	1.97	395
スギ心材プレーナー仕上げ板	0.38	76
光触媒	2.2 ~ 16.4 (実質1/3倍)	

初期濃度:1,000ppb, 風速:0.2m/sec, 反応温度:25 ,  
RH:80±5% (おが屑, 木材) 50% (光触媒)

第7図に示す。また、種々のおが屑の浄化能力の比較を第8図に示す。スギおが屑の浄化能力は、心材(河内長野産)の場合、辺材よりも4倍大きく、通常の混合物よりも2倍大きい。また、心材の内でも、鳥取産の赤心材がさらに大きく、宮崎産の飢肥杉の黒心材が最も大きかった。

スギ黒心材おが屑、挽きたて板およびプレーナー仕上げ板と、光触媒の窒素酸化物の浄化能力とを第1表に示す。黒心材おが屑の浄化能力は、光触媒の窒素酸化物の浄化能力よりも2倍大きい(光触媒の実稼働率は1/3倍なので、実質6倍の能力)。しかし、スギ黒心材であっても、挽きたて板やプレーナー仕上げ板のように、板の状態では低い浄化能力であった。

## 2. 黒心材おが屑の木製低層遮音壁への活用<sup>4)</sup>

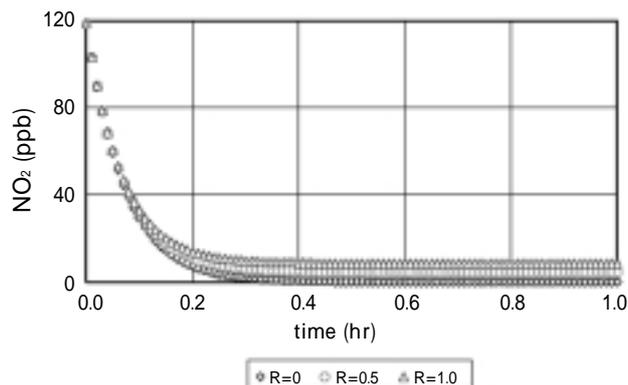
交通量の多い沿道から5m地点に高さ1mの木製(黒心材おが屑)遮音壁を道路両端1Kmに設置した場合を想定した。40Km/時で走行する乗用車のNO<sub>x</sub>排出原単位は、2,174  $\mu\text{M}(0.1\text{g})/\text{Km}$ (平成17年度大阪府)。沿道から5mのNO<sub>2</sub>濃度を60ppbと想定した場合、黒心材おが屑の木製低層遮音壁(表面積:1m×1,000m×両面×両端=4,000m<sup>2</sup>)のNO<sub>2</sub>浄化量は0.32Mol/時[第1表{1,400  $\mu\text{M m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ (暴露NO<sub>2</sub>濃度:1,000ppb)}から、NO<sub>2</sub>浄化量は暴露NO<sub>2</sub>濃度(60ppb)に線形比例するとして算出(60ppb/1,000ppb)]であった。この木製低層遮音壁の設置は、乗用車3,600台/日の通行台数を削減したのと同じ効果を生むことになる。

## 3. NO<sub>2</sub>浄化評価関数による屋内浄化シミュレーション

NO<sub>2</sub>浄化評価関数は、室内が完全に攪拌された状態を仮定した理想系での物質収支式であり、木材による浄化の寄与、外気の換気による寄与、室内でのNO<sub>2</sub>発生源による寄与から成る差分方程式である。

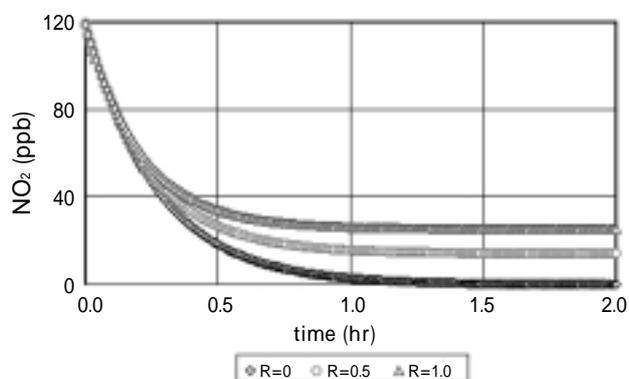
木材のNO<sub>2</sub>浄化評価関数による屋内浄化シミュレーションの結果を第9~11図に示す。

黒心材おが屑、挽きたて板及びプレーナー仕上げ板のNO<sub>2</sub>浄化能力(第1表参照)は、暴露NO<sub>2</sub>濃度(0~



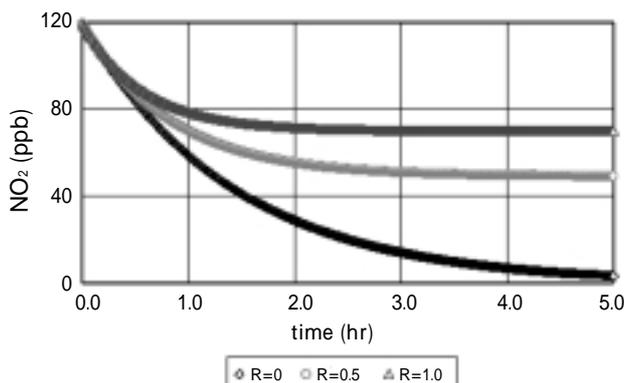
第9図 スギ黒心材おが屑による屋内のNO<sub>2</sub>浄化能力

初期濃度 $C_0=119\text{ppb}$ , 外気のNO<sub>2</sub>濃度 $C_{\text{outdoor}}=119\text{ppb}$ ,  
室内容積 $V=2.7 \times 2.7 \times 2.4\text{m}$ , スギおが屑面積 $S=7.3\text{m}^2$ (天井面),  
換気速度 $R=0.0-1.0$ (times/hr), 室内でのNO<sub>2</sub>発生源 $Q=0$ ( $\mu\text{M/hr}$ ),  
 $t=0.01\text{hr}$ , 室温=25 , RH=80±5%.



第10図 スギ黒心材挽きたて板による屋内のNO<sub>2</sub>浄化能力

初期濃度 $C_0=119\text{ppb}$ , 外気のNO<sub>2</sub>濃度 $C_{\text{outdoor}}=119\text{ppb}$ ,  
室内容積 $V=2.7 \times 2.7 \times 2.4\text{m}$ , スギ板面積 $S_3 7.3\text{m}^2$ (天井面),  
換気速度 $R=0.0-1.0$ (times/hr), 室内でのNO<sub>2</sub>発生源 $Q=0$ ( $\mu\text{M/hr}$ ),  
 $t=0.01\text{hr}$ , 室温=25 , RH=80±5%.



第11図 スギ赤心材プレーナー仕上げ板による屋内のNO<sub>2</sub>浄化能力

初期濃度 $C_0=119\text{ppb}$ , 外気のNO<sub>2</sub>濃度 $C_{\text{outdoor}}=119\text{ppb}$ ,  
室内容積 $V=2.7 \times 2.7 \times 2.4\text{m}$ , スギ板面積 $S_3 7.3\text{m}^2$ (天井面),  
換気速度 $R=0.0-1.0$ (times/hr), 室内でのNO<sub>2</sub>発生源 $Q=0$ ( $\mu\text{M/hr}$ ),  
 $t=0.01\text{hr}$ , 室温=25 , RH=80±5%.

1,000ppb)に線形比例するとした。

NO<sub>2</sub>の初期濃度及び外気濃度は、大阪府下の道路沿道測定局の過去2年間で最も高濃度を示した119ppb(1時間値)を用いた。

今回の計算にもちいた室内は4.5畳、天井高さ2.4mであったが、天井高さが2.4mであれば、室内の大きさは例え何十畳の大きさであっても、計算結果に影響しなかった。

**1) スギ黒心材おが屑によるNO<sub>2</sub>浄化評価関数**

$$C_{(n+1)t} = C_{nt} - 31.36(S/V)C_{nt}t + (C_{outdoor} - C_{nt})R \cdot t + 22.4(Q/V) \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$R \cdot t + 22.4(Q/V) \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

C<sub>nt</sub>: n × t時間後の室内のNO<sub>2</sub>濃度(ppb),

S: 室内のスギおが屑面積(m<sup>2</sup>),

V: 室内容積(m<sup>3</sup>),

C<sub>outdoor</sub>: 外気のNO<sub>2</sub>濃度(ppb),

R: 換気速度(times/hr),

Q: 室内でのNO<sub>2</sub>発生量(μM/hr),

t: 差分時間(hr).

$$31.36(m^3/m^2/hr) = 1,400(\mu M/m^2/hr) / 1,000 \times 22.4(m^3/\mu M)$$

おが屑で天井面を張ることなど、実際には有り得ないが、第9図に示すように、何れの換気速度(0, 0.5, 1.0 times/hr)でも、僅か5分で40ppb以下になった。

**2) スギ黒心材挽きたて板によるNO<sub>2</sub>浄化評価関数**

$$C_{(n+1)t} = C_{nt} - 8.85(S/V)C_{nt}t + (C_{outdoor} - C_{nt})R \cdot t + 22.4(Q/V) \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$8.85(m^3/m^2/hr) = 395(\mu M/m^2/hr) / 1,000 \times 22.4(m^3/\mu M)$$

天井面をスギ黒心材挽きたて板で張った場合、何れの換気速度(0, 0.5, 1.0 times/hr)でも、第10図に示すように、1時間以内に40ppb以下になった。

**3) スギ心材プレーナ仕上げ板によるNO<sub>2</sub>浄化評価関数**

$$C_{(n+1)t} = C_{nt} - 1.70(S/V)C_{nt}t + (C_{outdoor} - C_{nt})R \cdot t + 22.4(Q/V) \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$1.70(m^3/m^2/hr) = 76(\mu M/m^2/hr) / 1,000 \times 22.4(m^3/\mu M)$$

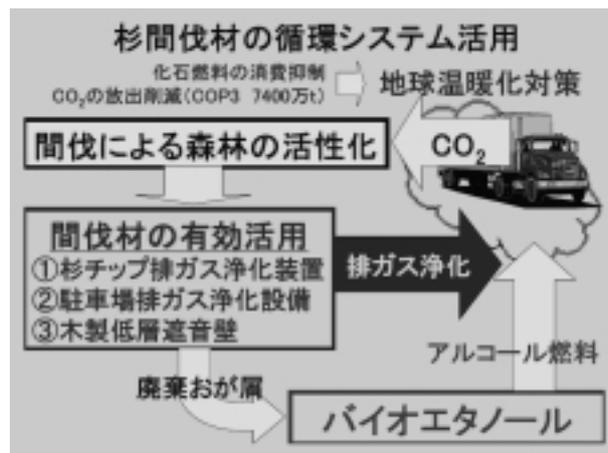
スギ板の表面を飽でツルツルにしたスギ心材プレーナ仕上げ板では、換気のある状態では、第11図に示すように40ppb以下にならなかった。

**4. 間伐材の循環システム活用によるCO<sub>2</sub>削減**

使用済の廃棄バイオマスは、最終的には、バイオエタノール燃料として利用し、炭素循環によるCO<sub>2</sub>削減(第12図)に貢献するので、植物材料を利用した大気汚染浄化方法は、環境に優しい環境浄化技術である。間伐材を循環システム活用する技術の研究開発は、森林保全と、大気汚染対策と、炭素循環によるCO<sub>2</sub>削減との一石三鳥の貢献をすることになる。

**. 摘要**

間伐材を有効活用する技術の開発を目的として、木材の大気浄化機能を評価する方法を検討した。木材の大気



第12図 バイオマスの循環システム活用の模式図

浄化試験法には、光を照射しないJIS R1701-1:2004の方法を用いた。宮崎産の飢肥杉の黒心材おが屑の浄化能力は、光触媒の窒素酸化物の浄化能力よりも2倍大きかった(光触媒の実稼働率は1/3倍なので、実質6倍の能力)。交通量の多い沿道から5m地点に高さ1mの木製(黒心材おが屑)遮音壁を道路両端1Kmに設置した場合、乗用車3,600台/日の通行台数を削減したのと同じ効果を生むことになる。NO<sub>2</sub>浄化評価関数による浄化シミュレーションでは、天井面をスギ黒心材挽きたて板で張った場合、何れの換気速度(0, 0.5, 1.0 times/hr)でも、1時間以内に40ppb以下になった。しかし、スギ心材プレーナ仕上げ板では、換気のある状態では、40ppb以下にならなかった。

**. 引用文献**

- 1) 成瀬正和(2001). 短報 - 正倉院の温湿度環境調査. 正倉院紀要. 23:61-66.
- 2) 辻野喜夫他(2002). 有機酸パッシブサンプリング法および博物館収蔵庫内における有機酸の挙動. [共同研究] 博物館資料の保存環境. 国立歴史民俗博物館研究報告. 97:29-43.
- 3) 辻野喜夫他(2003). 木材表面における二酸化窒素の浄化作用と還元性雰囲気との醸成. 大阪府環境情報センター所報. 23:49-55.
- 4) 大阪府低層遮音壁技術検討会(2007). エコバリア環境に配慮した低層遮音壁の技術評価.