

# 二酸化炭素殺虫処理における種々の文化財材質の二酸化炭素吸着量

木川 りか・後出 秀聡\*・木村 広\*・宮澤 淑子・三浦 定俊・トム ストラング\*\*

## 1. 緒 言

二酸化炭素による殺虫処理は、燻蒸処理の代替法のひとつとして世界各国で取り入れられてきており<sup>1-3)</sup>、またわが国においても、その具体的な殺虫条件<sup>4)</sup>および処理例<sup>5)</sup>が報告されてきている。二酸化炭素による殺虫処理は、シートによる包み込み処理、すなわち従来の燻蒸ガスによる包み込み燻蒸の規模の処理に向いており、処理法をうまくデザインすれば、あまり手間をかけずにルーチンの作業を行うことも可能である<sup>3,5)</sup>。具体的な処理法のデザインについては、国内での試みが日高らの論文<sup>5)</sup>に述べられているが、処理計画を考える上での重要な要素に二酸化炭素の材質への吸着性がある。

二酸化炭素は、窒素などほかの貯蔵目的で使用されるガスとは性質を異にし、穀物やコンクリートといった多孔質の材質に、多量に吸着される性質をもつ<sup>6-8)</sup>。穀物やタンパク質に対する吸着量を調べた報告<sup>8)</sup>によると、これは、窒素、ヘリウム、水素、空気の内いずれにも見られない性質であり、二酸化炭素に特異的な性質とみられる<sup>8)</sup>。これは不可逆な反応ではなく、穀物での研究によれば、通常の空気環境に戻すと吸着された二酸化炭素のほぼ全容積がすみやかに脱着されるという可逆的な反応であることがわかっている<sup>8)</sup>。この可逆的な吸着は、ガスが活性炭やシリカゲルに吸着されるときと同じく物理的吸着によると考えられている<sup>8)</sup>。

そのほかに二酸化炭素が吸着・吸収される要因としては、物質に含まれる水分や脂質などに二酸化炭素が溶解することによって起きる吸収が考えられる。しかし、穀物についての実験データからは、水分や脂質などへの二酸化炭素の溶解は、穀物への二酸化炭素の吸着・吸収現象をトータルにみたとき、顕著な影響を及ぼしていないことが示唆されている<sup>8)</sup>。

そのほかに、二酸化炭素のタンパク質への吸着現象が調べられている<sup>8)</sup>が、この場合も空气中に試料を戻すと、吸着した二酸化炭素の90%以上がすみやかに脱着することがわかっており、ごくわずかに起きていると示唆される特定のアミノ酸の化学修飾部位以外は、ほとんどが可逆的な反応であることを示すデータが報告されている<sup>8)</sup>。

穀物への二酸化炭素の吸脱着に関する多くのデータをみる限り、二酸化炭素の吸着のほとんど大部分は物理的な可逆的な吸着現象であり、材質にはあまり大きな影響はないと思われる。また、少なくとも、これまで通常の湿度条件で行われた文化財の二酸化炭素処理による実処理において、二酸化炭素処理が特定の材質に重篤な悪影響を及ぼした例は、ほとんど知られていない<sup>2,5)</sup>。

しかし、実際に中規模、大規模の二酸化炭素処理を行う場合には、処理用の天幕のデザインなどを考える際、二酸化炭素による処理空間の容積率や、材質による二酸化炭素の吸着量を考慮する必要がある。そこで、今回、民具や古文書、書籍などの処理を念頭において、それらの代表的な材質の二酸化炭素の吸着量を調べたので、報告する。

\* 液化炭酸株式会社

\*\* Canadian Conservation Institute, Department of Canadian Heritage

## 2. 実験材料と方法

### 2-1. 二酸化炭素の導入初期における二酸化炭素吸着量の測定

木材、衣類、書籍など、二酸化炭素殺虫処理の対象となる可能性の高い材質について所定量（各々約3kg）を気密性のチャンバー（19.6リットル）に入れ、チャンバー内の二酸化炭素濃度が約80%容量になるまで二酸化炭素ガスを導入した。経時的に内部のガスの圧力変化を計測し、このチャンバーのなかの減圧度から材質に吸収された二酸化炭素の吸着量を算出した。ただし、吸着量に換算するときには、ここでは総容積から材質の体積を差し引いておらず、あくまでも近似的におおまかな目安を得ることを目的とした。計測は、30分後から最大6時間後まで行った。木材、コンクリートブロックなど、多量の二酸化炭素の吸着がすみやかに起きるものについては、15分後においても測定を行った。またガス導入終了時と実験終了時に二酸化炭素濃度を計測した。チャンバー内の温度は約25℃であった。今回用いた材質は、以下の通りである。衣類（ポリエステル80%、綿20%）、木材（ヒノキ材）、書籍、コンクリートブロック、玄米、合成ゴム（ネオプレン）。コンクリートブロックは、多量の二酸化炭素を吸着することが報告されているため、ここでも基礎データをとるために加えた。また、玄米については、過去に多くの報告例があるため、実験データを比較するために行った。なお、ここで用いた材質は、生ゴムとコンクリートブロックを除いて、25℃、60%RHにおいて4日間から1週間保持したものを使用した。

### 2-2. 殺虫期間(2週間)を通じての二酸化炭素吸着量の測定

和本、PPC用紙、綿布、生ゴム、木材（スギ材）などの材質をプラスチックバッグ、EVOH（エチレン・ポリビニルアルコール）共重合体積層フィルム袋（厚さ100 $\mu$ m、長さ40cm、幅22cm）に入れ、熱シールした。なかの空気を脱気して可能な限り除き、4 $\ell$ の100%容量の二酸化炭素を導入したのち、25℃、60%RHの恒温恒湿室に静置し、実験を行った（写真1）。

内部の二酸化炭素濃度を経時的に測定するとともに、2週間の処理が終了した時点で、プラスチックバッグ内部のガスの容積を計測した。なお、いずれの材質も、実験を行う前に、25℃、60%RHにおいて2週間保持したものを使用した。

なお、処理前後での重量を測るとともに、2週間の処理終了後に、材質への影響を目視で観察した。木材片については、処理前後での水分量についても木材水分計（Kett HM-520）により測定を行った。



写真1 100%容量の二酸化炭素とともに封入された材質

Photo.1 Various materials packed with 100% volume CO<sub>2</sub>

## 3. 結果

### 3-1. 二酸化炭素の導入初期における二酸化炭素の吸着量

図1にチャンバー内の経時的な減圧度の値から近似的に換算した内部の気体容積の減少値、すなわち二酸化炭素の吸着量を示した。また測定開始時と終了時のチャンバー内の二酸化炭素濃度を矢印とともに示した。

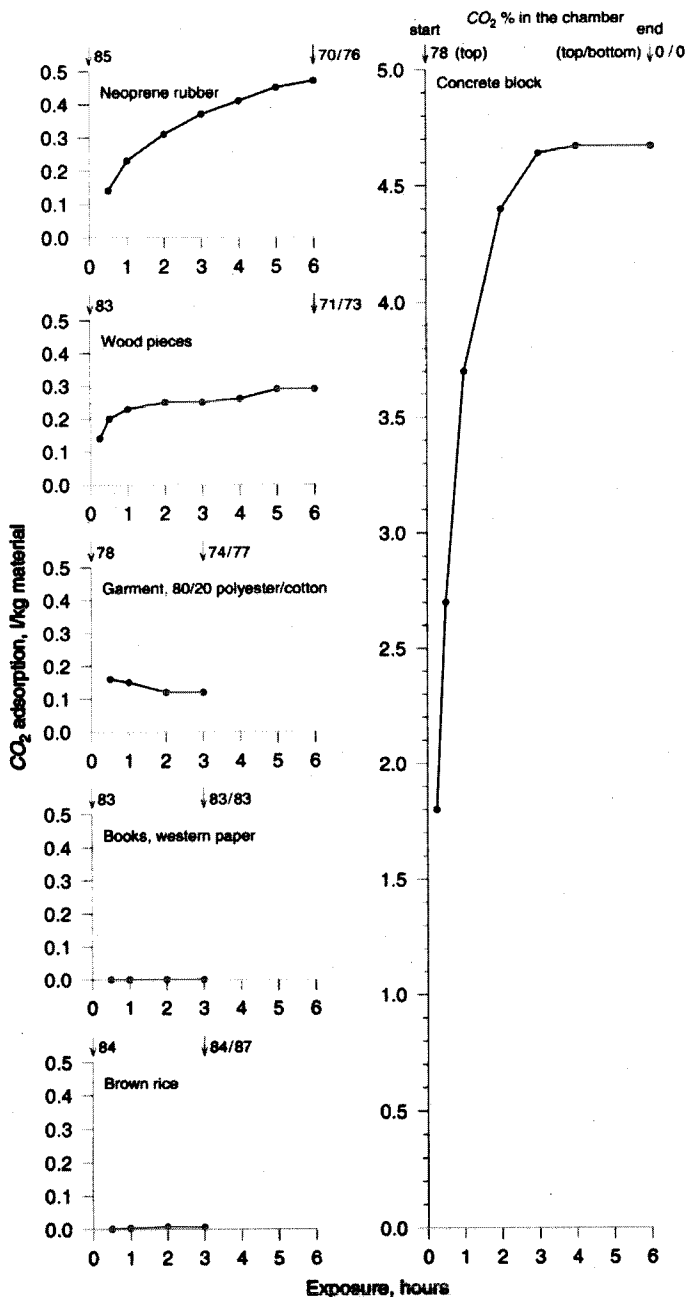


図1 二酸化炭素導入初期における二酸化炭素の吸着量(減圧度から換算した方法による)

Figure.1 CO<sub>2</sub> adsorption at early stage (calculated from the values of negative pressure inside airtight chamber)  
 Each material: 3.05kg of neoprene rubber, 3.05kg of wood pieces (Japanese cypress), 3.1kg of garments (80% polyester and 20% cotton), 3.1kg of books (western paper), 3.1kg of brown rice and 3.3kg of concrete blocks were put inside an airtight chamber (19.6l), and 100% volume of CO<sub>2</sub> was flushed through until the CO<sub>2</sub> concentration became approximately 80% by volume. Approximate volume of adsorbed CO<sub>2</sub> per weight of material (l/kg) was calculated from the decrease in the gas pressure inside the chamber. The volume of materials was neglected in the calculation here. Temperature inside the chamber was approximately 25 °C. Materials were preconditioned at 25 °C, 60%RH for 4-7 days prior to treatment except for neoprene rubber and concrete blocks. CO<sub>2</sub> concentration (volume %) at the start of exposure (at the top in the chamber) and end (top and bottom in the chamber) is indicated with an arrow in each graph.

空気や窒素ガスを導入した場合は、いずれの材質の場合も、チャンバー内の圧力変化(すなわち気体の容積の減少)は、ほとんど起こらないことから、ここで観察された気体の減少は、近似的に、導入した高濃度(初期値で約80%容量)の二酸化炭素の容積減少に起因すると考えてよい。

図1の結果から、衣類、木材、合成ゴム、コンクリートブロックといった多孔質の素材では、

二酸化炭素導入後、すみやかに二酸化炭素の吸着によるチャンパー内の圧力減少が観察された。衣類の場合は、3時間後で約0.1 l (吸着された二酸化炭素の体積) /kg (材質あたり)、木材 (ヒノキ材) では6時間後で約0.3 l /kg, 合成ゴムでは6時間後で約0.5 l /kg, そして、もっとも顕著であったのが、コンクリートブロックの場合で、6時間後で約5 l /kgであり、チャンパー内に存在した二酸化炭素のほぼすべてを短時間に吸着してしまうことが示された (図1)。

なお、この方法で測定した結果、書籍では二酸化炭素の顕著な吸着は観察されなかった。玄米の場合も、ここで観察された吸着量はこれまでの文献<sup>6,8)</sup>で報告されている値よりも少なかった。この違いは、今回の測定では、減圧度から近似的に吸着容量を算出したためと思われる。この方法での測定は、あくまでエアタイトチャンパー内で80%容量の二酸化炭素処理を行う場合に、初期の段階でどのような現象がおきるかをおおまかにつかむことを目的としており、厳密な吸着量の測定が必要な場合には、ほかの方法をとったほうがよいと考えられる (考察の項参照)。

### 3-2. 殺虫期間 (2週間) を通じての二酸化炭素吸着量

表1に2週間を通じてのプラスチックバッグ内の二酸化炭素濃度、および2週間後に測定したプラスチックバッグ内のガス容積、およびそれから換算した材質単位重量あたりの二酸化炭素の吸着量 (l 二酸化炭素 /kg 材質あたり) を示した。

3-1.の場合と同様、プラスチックバッグ内に材質を入れ、この実験と同様なかたちで窒素や空気を導入してもバッグ内の体積減少はほとんどみられないため、ここでみられた体積減少は、ほぼ材質に吸着された二酸化炭素量に起因するものと考えられる。

約500gの生ゴムを使って調べた場合、2週間で約2 l /kg (材質あたり) の二酸化炭素を吸着することがわかった。また、約1kgの木材 (スギ材, 10cm×10cm×20cm) の場合、2週間で約0.88 l /kg (材質あたり) であり、約100gの綿布の場合、2週間で約0.36 l /kg (材質あたり) であった。

和紙 (和本) とPPC用紙では、二酸化炭素の吸着量に顕著な差がみられた。約500gのPPC用紙の場合は、2週間の吸着量は約0.05 l /kg (材質あたり) であったが、約500gの和紙の場合、2週間の吸着量は約1.0 l /kg (材質あたり) であった。和紙の吸着量は、むしろ木材の吸着量とほぼ等しく、興味深い結果である。

なお、処理前後での各材質片の重量を測定した (表1)。25℃においては、1 l の二酸化炭素ガスは約1.8gの重量を示すが、興味深いことに多くの二酸化炭素を吸着した材質は、処理の直後 (プラスチックバッグ開放後約5分以内) にその重量が処理の直前よりも増加している傾向がみられた (表1)。この重量の変化は、実験の失敗によりプラスチックバッグに漏れが生じて空気が入った場合にはみられないことから (表1, \*で示した和紙の試料での失敗例)、二酸化炭素吸着による重量の増加を有意差として検出しているものと考えられる。測定誤差を約0.1gとして概算すると、生ゴム、和紙、綿布や木材片の場合、二酸化炭素の総吸着量のうちおよそ30~50%が処理の直後にはまだ材質に吸着している状態と考えられる。

3つの木材片については処理前後に各々の水分量を測定した結果、13~14.5%の値を示し、各々の値は処理の前後でほとんど変化がみられなかった。また、実験終了後に、材質への影響を目視で観察したが、これまでほかの処理における例と同様に、目視で判別できる変化はみられなかった。

表1 2週間の二酸化炭素吸着量

Material 材質	Weight of material (g)		CO <sub>2</sub> concentration (% volume)		Volume of adsorbed CO <sub>2</sub> (ml)	Average volume of adsorbed CO <sub>2</sub> per weight material (l/kg)
	before exposure	after (exposure) increase	1day after 1日後	2weeks after 2週間後		
	測定前	測定後(増加分)	二酸化炭素濃度	二酸化炭素濃度	吸着された 二酸化炭素の容量	材質単位重量あたりの 平均二酸化炭素吸着量
Japanese paper 和紙(和本)	527.3	527.8(+0.5)	82.0	80.4	600	
	486.4	486.5(+0.1)*	36.5*	22.0*	—*	1.0
	516.0	516.4(+0.4)	80.0	80.2	510	
Paper for PPC PPC用紙	499.0	499.1(+0.1)	95.0	95.0	40	
	500.4	500.5(+0.1)	93.7	93.1	20	0.05
	498.8	498.8(+0)	91.7	91.4	20	
Cotton cloth 綿布	99.8	99.8(+0)	95.0	94.1	40	
	101.1	101.2(+0.1)	96.1	95.3	20	0.36
	100.6	100.8(+0.2)	96.6	93.5	50	
Rubber 生ゴム	506.0	506.9(+0.9)	97.1	96.7	1,030	
	515.7	516.5(+0.8)	97.0	96.2	960	2.0
	529.9	530.5(+0.6)	96.8	96.3	1,060	
Wooden piece (Japanese cedar) 木材片(スギ)	922.7	923.4(+0.7)	88.1	87.1	800	
	947.8	948.4(+0.6)	86.5	85.5	860	0.88
	946.6	948.0(+1.4)	89.5	88.7	820	

処理の直前と直後(プラスチックバッグを開放して5分以内)に、材質の重量を測定した値も示した。

\*は、プラスチックバッグにもれが生じ、吸着量が測定できなかった例であることを示す。

Table.1 CO<sub>2</sub> adsorption over two weeks exposure

Materials conditioned at 25°C, 60%RH for two weeks prior to treatment, were placed in plastic bags made of EVOH film 100µm thick, a vacuum pulled, then filled with 4l of 100% volume CO<sub>2</sub> and held at 25°C. CO<sub>2</sub> concentration and volume decrease inside the bags was measured after a two-week period. Weight of materials was also measured before exposure and immediately after exposure to CO<sub>2</sub>(within five minutes).

Moisture content of wooden pieces was between 13% to 14.5% and the value of each piece did not change during the course of the experiment. \* shows an example of experimental failure, a leak of air into the plastic bag.

## 4. 考 察

### 4-1. 二酸化炭素の吸着, 脱着の機構について

米やその他の穀物における二酸化炭素の吸脱着の研究結果から、穀物試料を二酸化炭素にさらした後、空気中に戻すと、吸着量とほぼ等量の二酸化炭素がすみやかに脱着することが知られている<sup>6,8)</sup>。また、脱着過程のほうが吸着過程よりも速やかに起きるともいわれている<sup>8)</sup>。すなわち、米などの穀物への二酸化炭素の吸脱着データを見る限り、その過程はほぼ完全に可逆的な過程であることがわかっており、またこのような穀物類へのガスの吸脱着は窒素ガスの場合にはほとんど見られないこと報告されている<sup>6,8)</sup>。

この過程は、ほとんどが活性炭やシリカゲルにガスが吸着される場合のような、物理的吸着で説明できることが考察されており<sup>8)</sup>、また、一般に低温になるほど吸着量は増す<sup>6,8)</sup>。このような吸着の機構は、おそらく木材などの多孔質の文化財材質に対してもそのままあてはまる機構であると考えられる。

一般に炭酸ガスの臨界温度(31.1°C)は酸素(-118.8°C)や窒素(-147.1°C)にくらべて高く、二酸化炭素は分子間凝集力が強い気体と考えられる。満田らは、二酸化炭素のこのような性質が、特異的な吸着現象と関係があるものとして考察している<sup>6)</sup>。

### 4-2. 文化財材質による二酸化炭素の吸着と処理の計画上の注意点

今回の結果から、いくつかの材質の二酸化炭素吸着量を調べた結果、ゴム、木材や和紙などが、かなり多量の二酸化炭素を吸着することがわかった。しかし、上で述べたように、この吸着はほぼ100%近くが可逆的な物理的吸着によると考えられ、これまでの目視や木材表面のpH

の測定結果を見る限り、吸着による材質への顕著な悪影響はみられていない。

しかしながら、処理する対象物に木材等、二酸化炭素吸着量の多い材質が多く含まれる場合には、材質への二酸化炭素の吸着によって処理天幕内部のガス容積がかなり減少する例が実際に観察されている<sup>5)</sup>。このとき、天幕の形状が内容積にあわせて自在に変化する場合にはとくに大きな問題はないが、天幕にパイプ枠などを使用して体積がある限界値以下に減少できないような場合は、内部のガス圧が陰圧になった結果、空気が流入して天幕内部の二酸化炭素濃度が下がるという例もみられた<sup>5)</sup>。このような場合には、二酸化炭素の追加投入を行えばよいのであるが、簡便な処理工程を旨とする場合は、追加投入の回数をできるだけ減らすために、最初から材質による二酸化炭素の吸着量を見込んで、天幕の大きさ（すなわち処理対象物に対する容積率）や形状をデザインする必要がある。

二酸化炭素がコンクリートにとくに多量に吸着されることは、従来からサイロなどにおける穀物の二酸化炭素処理で報告があり<sup>7)</sup>、また、たびたび経験されている。今回のわれわれの実験でも、二酸化炭素を導入したのち、すみやかにコンクリートが大量の二酸化炭素を吸着することが示されており興味深い。また、この事実は、従来の毒性ガスによる燻蒸作業のように、コンクリートの建物を目張りして、直接、ガスを導入する作業では、二酸化炭素の場合、追加投入をくり返し行わない限り、当初のガス濃度を維持するのが困難であることを意味する。

#### 4-3. 測定法による吸着量の差について

図1にチャンバーのなかの減圧度から換算した二酸化炭素の吸着量を示したが、ここでの玄米の吸着量はこれまでの文献<sup>6,8)</sup>と比較してかなり少ない値（おおよそ1/10程度）しか示さなかった。この理由として考えられるのは、主に測定法の違いである。

プラスチックバッグのなかに同一の玄米を入れて大気圧下で二酸化炭素の吸着量を測定した場合、吸着量は玄米1kgあたり約0.2ℓであり、これまでの文献<sup>6,8)</sup>で報告されている値とほぼ同等であった。

したがって、図1で示したような二酸化炭素の吸着による減圧度をみる方法は、あくまでも材質が二酸化炭素を吸着することによって、どの程度処理空間が減圧になり、二酸化炭素の容量がどの程度減少するかをおおまかに見積もるために使われるべきものである。吸着される二酸化炭素の容量を正確に測定したい場合には、表1で行ったような、プラスチックバッグのなかに材質を入れて常圧の状態での測定する方法のほうが吸着量は正確に測れるものと思われる。

### 5. ま と め

本実験は、文化財の二酸化炭素による殺虫処理を行う際の、材質への二酸化炭素の吸着量のめやすを調べるために行った。特に初期の吸着量を測る場合、吸着の速さは材質の表面積の大きさとも関係するため、今回の測定により一概に標準的な値を示せるものではないが、ほぼおおまかな傾向をつかむための実用的な値は得られたと思われる。

材質の二酸化炭素の吸着反応自体は、ほぼその100%が可逆的吸着と考えられ、材質自体への影響はさほど懸念されないと考えられる。この現象は、むしろ実際に中規模～大規模な二酸化炭素処理を計画するさいに、念頭におかなくてはならない現象と考えており、二酸化炭素の処理を効率的に行うための基礎資料として、本データが利用されることを願っている。

## 謝 辞

本実験のために古文書資料を快く貸与下さいました昭和女子大学の増田勝彦教授に感謝いたします。

## 引用文献

- 1) Selwitz, C. and Maekawa, S. "Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests", the Getty Conservation Institute, (1998)
- 2) Binker, G.: Application of Carbon Dioxide for Pest Control of Buildings and Large Objects, Proceedings of 2001:A Pest Odyssey, pp.102-105, James and James (2001)
- 3) Warren, S.: Carbon Dioxide Fumigation: Practical Case Study of a Long-running Successful Pest Management, Proceeding of 2001:A Pest Odyssey, pp.95-101, James and James (2001)
- 4) 木川りか, 宮澤淑子, 三浦定俊, 後出秀聡, 木村広, 富田文四郎: 低酸素濃度および二酸化炭素による殺虫法—日本の文化財害虫についての実用的処理条件の策定—, 文化財保存修復学会誌, 45, 73- 86 (2001), in Japanese with English title and summary
- 5) 日高真吾, 伊達仁美, 後出秀聡, 木村広, 木川りか, 三浦定俊: 民俗資料等の二酸化炭素による殺虫処理の実例, 文化財保存修復学会誌, 46, 76-95 (2002), in Japanese with English title and summary
- 6) 満田久輝, 河合文雄, 久我睦男, 山本愛二郎: 穀類による炭酸ガス吸着現象とその包装への利用 (第1報) 栄養と食糧, 25(8), 627-631(1972), in Japanese with English title and summary
- 7) Banks, H. J., Annis, P. C., Henning, R.C., and Wilson, A. D.: Experimental and Commercial Modified Atmosphere Treatments of Stored Grain in Australia, "Controlled Atmosphere Storage of Grains," J. Shejbal ed., pp.207-224, Elsevier (1980)
- 8) Yamamoto, A. and Mitsuda, H.: Characteristics of Carbon Dioxide Gas Adsorption by Grain and Its Component, " Controlled Atmosphere Storage of Grains," J. Shejbal ed., pp.247-258, Elsevier (1980)

キーワード: 二酸化炭素 (carbon dioxide) ; 吸着 (adsorption) ; 害虫駆除 (pest eradication)

# Carbon Dioxide Adsorption by Various Kinds of Materials in the Eradication of Museum Pest Insects

Rika KIGAWA, Hideaki NOCHIDE\*, Hiroshi KIMURA\*, Yoshiko MIYAZAWA,  
Sadatoshi MIURA and Tom STRANG\*\*

Application of 60 to 80 volume percent carbon dioxide gas to infested materials for the eradication of museum pest insects has increasingly become common worldwide in recent years<sup>1-3)</sup>. Also in Japan, an example of practical protocols for killing our common museum insects were proposed<sup>4)</sup> and several examples of the application of the method have been reported<sup>5)</sup>.

In the practical application of carbon dioxide, it is important to design the treatment so as to achieve sound insecticidal effects with reasonable labor. Treatment temperature is very critical for the effectiveness of CO<sub>2</sub> treatments. Another very crucial factor is the maintenance of effective CO<sub>2</sub> concentration throughout treatments.

Some materials, such as concrete have been reported to adsorb considerable volume of carbon dioxide<sup>7)</sup>, which can result in negative pressure within the treated space and lowers the CO<sub>2</sub> concentration. The adsorbed CO<sub>2</sub> usually quickly desorbs when the materials are returned to air<sup>8)</sup>, and serious damage to materials by the adsorption has not been reported or observed so far<sup>2,5)</sup>. However, for designing a large scale CO<sub>2</sub> application it is beneficial to know the volume of CO<sub>2</sub> adsorbed into major museum materials. In this report, we measured volumes of CO<sub>2</sub> adsorbed into materials both at the early stage of CO<sub>2</sub> application and through the whole period (two weeks) of CO<sub>2</sub> treatments. Materials used were maintained at 25°C, 60% RH prior to the experiments.

We estimated the volume of CO<sub>2</sub> adsorption at early stage using a gas tight chamber (19.6  $\ell$  by volume) flushed with 100% volume CO<sub>2</sub> until the CO<sub>2</sub> concentration became approximately 80% by volume. Decrease in the gas pressure was measured for the following materials (approximately 3kg each): garments, wooden pieces (Japanese cypress), books (western paper), concrete blocks, neoprene rubber and brown rice. Concrete blocks adsorbed large volume of CO<sub>2</sub> very quickly. Rubber and wooden pieces adsorbed a significant volume of CO<sub>2</sub> at the early stage. While this method is convenient for successive measurement for a rough estimation of CO<sub>2</sub> adsorption, the estimated value calculated from negative pressure is usually smaller than the adsorbed volume that is directly measured by volume loss at constant atmospheric pressure.

We also measured the volume of adsorbed CO<sub>2</sub> during a two-week period at 25°C by materials: 500g of western paper (paper for plain paper copy), 500g of Japanese paper, 100g of cotton cloths, 500g of latex rubber and 1 kg of wooden pieces (Japanese cedar). These were placed in plastic bags, vacuum pulled, then filled with 4  $\ell$  of 100% volume CO<sub>2</sub>. Latex rubber and wooden pieces adsorbed a significant volume of CO<sub>2</sub> (approximately 2.0  $\ell$  / kg latex rubber and 0.88  $\ell$  /kg of wood). While western paper (paper for plain paper copy) adsorbed little CO<sub>2</sub> (approximately 0.05  $\ell$  /kg of paper), Japanese paper absorbed a much larger volume of CO<sub>2</sub>(approximately 1.0  $\ell$  /kg of paper).

\*EKIKA Carbon dioxide Co. Ltd.

\*\* Canadian Conservation Institute, Department of Canadian Heritage