

減圧滅菌機の湿度調節

新井 英夫・登石 健三

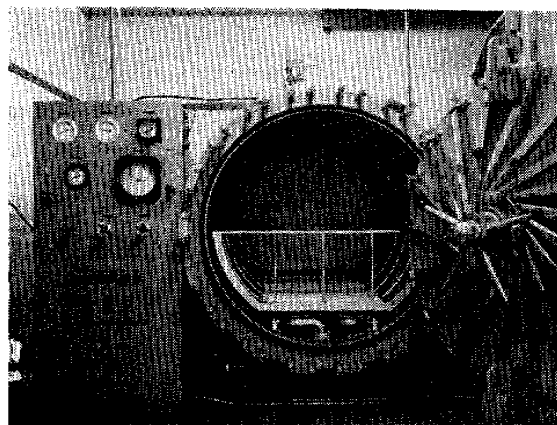
1. 緒 言

各種の文化財を保存していくためには、化学的・物理的要因のほかに生物による劣化を考慮し、これを防除していかなければならない。生物劣化には、昆虫による食害と微生物による変質・着色・崩壊の2種類がある。そのうえ、わが国は諸外国に比し、年間の平均降雨量が約2倍という高い湿度を有し、気温は温暖であるから、文化財に被害をおよぼす生物にとっては好適な気候条件を備えている。このような条件下で、われわれは文化財を生物劣化から守っていかなければならない。生物劣化を防除するには、まず第一に現在文化財に付着している害虫の成虫・幼虫・蛹・卵、微生物細胞・胞子を殺滅し、次に予防処置が必要である。予防には、薬剤による方法と環境調節による方法とがある。これらを総合的に実施してはじめて防除効果を発揮することができる。

減圧滅菌機は、現存する昆虫・微生物を殺滅する有効な手段として古くから用いられてきた装置であり、近年各地に博物館・美術館が設置される際には必須の装置として設備されている。ここまで生物劣化に対する認識が高まったことは大変嬉しいことである。しかしながら、この減圧滅菌機は、各種工業製品・医療用器具などの滅菌機として製造されてきているから、これを文化財保存の目的に使用する際には、なお注意して使用しなければならないと考える。なぜならば、滅菌機内の急激な湿度低下が予想されるが、これの文化財におよぼす影響は計り知れないものがある。例えば、長年月保存されてきた障壁画などは、この急激な湿度低下によって画面が裂けるであろうし、また木彫品などは亀裂の入るおそれがある。顔料などは亀裂・剥落を生じるかもしれない。したがって、滅菌機内の湿度変化は最少限にとどめるべきである。

当研究所では、昭和45年に別館を増築した際に、この分野の研究の必要性を考慮して、減圧滅菌機を設置した。われわれは、この装置の使用開始に先だって、減圧時の湿度変化を把握し、湿度を調節する方法を考案したので、その結果を報告する。

2. 減圧滅菌機の湿度調節方法の検討



図一1 減圧滅菌機 (SK型2号)

当研究所に設置した減圧滅菌機は、SK式2号型(特許理化興業K.K.製)で 2.5 m^3 の容積を有する(図一1)。減圧時に使用する真空ポンプの排気量は、 1200 l/min である。

いま、気温 25°C 、相対湿度80%のときこの減圧滅菌機は、毎分どの位の水分を失うか求めてみた。

$$P/P_{25} \times 100 = \text{相対湿度 (\%)}$$

p: 25°C 、相対湿度80%のときの
空気中の水の蒸気圧。

P_{25} : 25°C のときの水の蒸気圧, 約 25 mmHg。

$$\begin{aligned} \therefore p &= 0.8 \times 25 \\ &= 20 \text{ (mmHg)} \end{aligned}$$

真空ポンプは, 毎分1200 l の空気を排出するから, 1200 l 中の水分量を求めると,

$$1200 \times 20 / 760 = 31.5 \text{ (l)} \quad (\text{1気圧にて})$$

$$31.5 \times 18 / 22.4 = 25.3 \text{ (g)}$$

となり, 毎分 25.3 g の水分を失なっていることになる。減圧滅菌機内の湿度減少を防ぐためには, 毎分 25.3 g の水分 (蒸気) を供給しなければならない。そこで 25.3 g の水を蒸気にするために必要な熱量 (カロリー) を求めると,

$$540 \times 25.3 = 13662 \text{ (cal/min)}$$

これを毎秒の単位になおすと, 227.7 cal/sec となる。

次に熱源として, 100 ボルトの電熱を用いるとすれば, 毎秒 227.7 cal の熱量を供給するのに必要な抵抗 (R) を求めることができる。すなわち

$$0.24 \times 100^2 / R = 227.7$$

$$R = 10.5 \text{ (}\Omega\text{)}$$

10.5 (Ω) の抵抗を用いた時の消費電力量は,

$$100^2 / 10.5 = 952 \text{ (watt)}$$

である。

上記の計算から 1 kw の熱源を用いれば, 相対湿度 80% の空気を排気したときに失われる毎分25.3 g の水分を供給することが可能である。しかし, 蒸気は瞬間的に供給できることが望ましいから, われわれは 1.5 kw の熱源 (パイプヒーター) を使用することにした。

SK式2号型滅菌機には加湿装置が備えられているが, これは一定量の蒸溜水をバルブで滅菌機内に注入する方法である。この加湿方法が文化財に適当でないと考えたのは次のような理由による。すなわち, 減圧を開始すれば直ちに滅菌機内の湿度が低下しはじめることと, この時点でバルブから蒸溜水を加えれば, 水は蒸気とならず, 液体で注入されるであろう。加湿が湿気として加えられず液体として注入された場合には, 減圧により液体が沸とうする可能性がある。このとき飛沫が飛散して文化財にしみをつけるおそれがある。従来の加湿方式にはこのような懸念があるので, われわれは次の方法を採用することにした。滅菌機内に 1.5 kw のパイプヒーターを取り付けた 215×140×65 mm (1.5 l 容) のステンレス製水槽を置き, これをスライダックに連結して電圧を調節し, 滅菌機内湿度と最適電圧との関係を求め, 最適加湿条

件を設定することにした。以下パイプヒーターは水面下1cmで用いる。

現在減圧滅菌機に使用されている燻蒸剤は、主としてメチルブロマイドと酸化エチレンである。これら燻蒸剤が含有する水分は、メチルブロマイドで100~500 ppm, 酸化エチレンで2.6 ppmである。この水分が滅菌機の湿度の増減に影響を与えるとは考えられないので、本研究は薬剤を考慮せずに、減圧と湿度の関係をあきらかにすることにした。また医療器具などの滅菌の際には滅菌効率を上げるために加温するが、文化財の場合には滅菌効率が多少下がっても加温すべきではないので、実験はすべて室温で実施した。温湿度の測定は、ハニウエル湿度計と毛髪湿度計を併用した。(特にハニウエル湿度計は電気抵抗式で、原理上気圧には左右されないと考えられる。)

3. 結 果

3.1. 減圧時の滅菌機内湿度の変化：最初に滅菌機内空気を排気するが、その時の排気速度は、20~25分で減圧計が-75 cmHgに達するようにした。図-2は、滅菌機内圧力と湿度変化を測定した結果であるが、これより減圧をはじめてわずか4分間に湿度が35%以下に減少することが判明した。したがって、約40%の急激な湿度変化が生ずることになる。

3.2. 滅菌機内の湿度調節：滅菌機内の湿度を調節するためには、電圧と通電時間を調節しなければならない。種々検討した結果、SK式2号型(2.5 m³)の場合には、100ボルト2分、排気開始、30ボルト13分通電した後、電圧を0にして減圧計が-75 cmHgに達するまで約8分保てばよいことがわかった。この時の滅菌機内の湿度、水温の変化、減圧曲線を図-3に示した。この場合、滅菌機内の湿度変化は10%以内に行うことが可能であった。

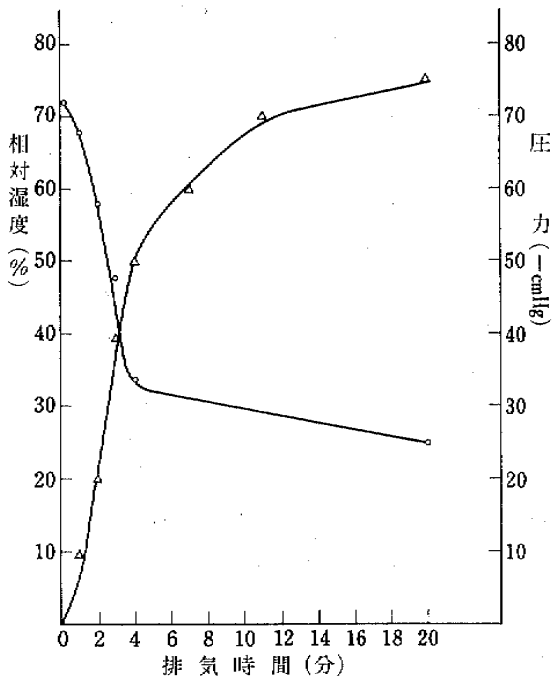


図-2 滅菌機内の圧力と湿度(無調節)

—○— 相対湿度
—△— 圧力

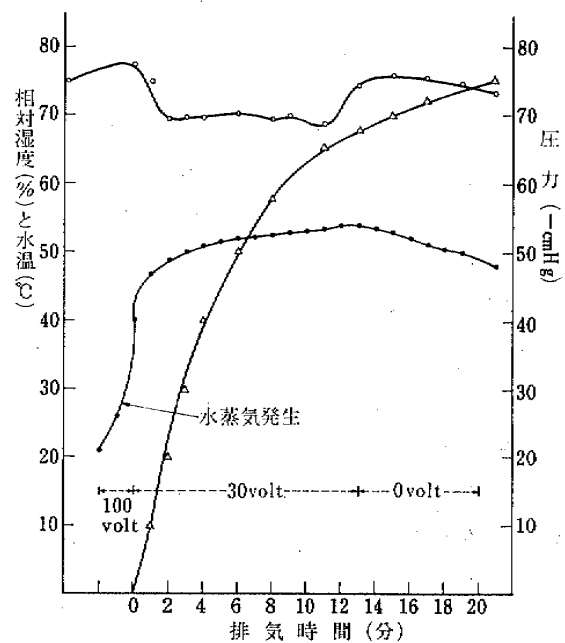


図-3 滅菌機内の圧力、水温と湿度(調節)

—○— 相対湿度
—△— 圧力
—●— 水温

なお、ステンレス製水槽に 1.5 kw のパイプヒーターをとりつけ、これに 1.5 l の蒸溜水を加えて、100 ボルトの電圧をかけ水温の変化を測定すると、はじめの 1 分間は著しい温度上昇を示さず、1 分を経過すると、ほぼ通電時間に比例して水温が上昇し、3 分後に 75°C に達する。水蒸気は通電 1 分で発生しはじめる。

4. 考 察

減圧滅菌機内の湿度変化は、そのままでは、減圧開始後 4 分間に相対湿度が約 40% 減少するという著しいものである。しかも、滅菌終了時に燻蒸剤を排気するため、3~5 回減圧・給気を繰返さなければならない。したがって、減圧滅菌機で殺菌・殺虫をする文化財は、約 5 回の急激な湿度変化を受けることになる。これが文化財に対して生物劣化以上の悪影響をおよぼすことはあきらかである。自然環境に置かれている文化財でさえ、乾湿差の大きい場所では亀裂の起こることが知られている。まして人為的な減圧にともなう急激な湿度変化は、自然界での変化より遥かに激しい物理変化を誘起する。したがって、何らかの湿度調節なしに、減圧滅菌機を使用すれば、必ず物理的劣化を引き起こすことになる。

前述の方式で、電圧 100 ボルトで 1 分間加熱した時、水温は 5°C 程度しか上昇しないが、パイプヒーター近辺の水温は急激に上昇するため、水蒸気が発生するものと思われる。また、100 ボルト・2 分間電圧をかけ水温を 45~50°C まで加温して水蒸気の発生をうながした後、30 ボルトにして同時に減圧をはじめると、はじめの 2 分間に約 7% 程度の湿度が減少するが、その後約 10 分間は湿度が一定に保たれる。しかし、12 分以後に水温は 54°C から 48°C まで低下するにもかかわらず、約 7% 程度の湿度の増加が認められる。この時の圧力は -65~-75 cmHg の区間にある。したがって、この湿度増加は、減圧にともなう蒸気発生量の増大に起因するものと考えられる。いずれにしても、この方法を用いれば、減圧時の湿度変化を 10% 以内にとどめられるから、減圧の滅菌効果をそこなうことなく、この種の滅菌機を使用することが可能となる。

現在広く用いられている燻蒸剤は、メチルブロマイドと酸化エチレンであるが、前者は消火性があるくらいであるから、パイプヒーター付の水槽を滅菌機内に使用しても引火のおそれはない。しかし、後者はそれ自体可燃性・爆発性を有するため、市販のものは二酸化炭素を 70~90% あるいはフレオン系炭化水素を混合して、爆発限界以下に不活化したものである。とはいえ、酸化エチレンは可燃性の物質であるから、パイプヒーターにつないだ電線がスパークしても安全であるという保証はない。この点の確認をしてからでないと酸化エチレンのときもこの加湿方法を採用してよいとはいえない。したがって、現時点ではこの加湿方法を採用する際の燻蒸剤は、メチルブロマイドに限定しなければならない。

古文化財は、長年月にわたって保存されてきたものであるから、材質的に現代の美術工芸品とは比較にならぬ程強度が低下している。しかし、現代の美術工芸品といえども、急激な湿度変化の影響を全く受けないとは云えない。ただ材質的に古文化財に比べて強靱であるために、影響が顕在化しないだけにすぎないと考えられる。それ故、減圧滅菌機の湿度調節は、材質の新旧を問わず必要なことであろう。

5. 要 約

S K 式 2 号型減圧滅菌機 (2.5 m³) の減圧にともなう湿度変化を測定し、減圧開始後 4 分間に約 40% の急激な湿度変化のあることを認めた。この湿度変化を最少限にとどめるために、ス

ステンレス製水槽 (215×140×65 mm, 1.5 l 容) に 1.5 kw のパイプヒーターをとりつけ、電圧を調節して滅菌機内湿度を調節する方法を試みた。その結果、湿度変化を10%以内にとどめることが可能となった。電圧調節は次のように実施する。すなわち、①減圧開始前に 100 ボルトで 2 分間電圧をかける。②次に電圧を 30 ボルトにして、同時に減圧を開始する。約 13 分間、③次に電圧を 0 ボルトにして、そのまま減圧計 -75 cmHg にまで到達させる。約 8 分間。

Résumé

Hideo ARAI and Kenzo TOISHI: Humidity Control in the Reduced-Pressure Fumigation Apparatus for Artistic and Archeological Objects

Introduction: Up to now the reduced-pressure fumigation apparatus has been used to kill harmful insects and to sterilize microorganisms as one of the effective methods. Recently when museums and galleries are built in prefectures of Japan, the apparatus is considered indispensable. Authors are very glad to note that the knowledge of biodeterioration on artistic and archeological objects has been deepened. However, the apparatus was originally produced as a sterilizer for medical supplies and industrial materials. Therefore great care must be taken when it is used for the sterilization of artistic and archeological objects. This is because there takes place a sudden reduction of humidity in the apparatus which has a harmful effect on the objects. For example a painted paper on the Fusuma (sliding door) that has been preserved for a long period of time in the rather humid temple would probably be split, the wooden statue would crack and the pigment layer of painting would crack and flake off by the reduction of humidity. Therefore the sudden reduction of humidity must be kept to the minimum.

In this paper the results of investigation on humidity variation in the reduced-pressure fumigation apparatus and the method to control it were reported.

Materials and Methods: The capacity of the apparatus here used was 2.5 m³ and the speed of the vacuum pump was 1200 l/min.

Under the condition of 80% relative humidity and 25°C atmospheric temperature, the amount of moisture to be exhausted per minute, the heat energy which is required to supply for the lost moisture by evaporation and the electric power to supply the calorie needed were calculated. The results were as follows: the moisture exhausted was 25.3 g/min., the calories 227.7 cal/sec. and the electric power 952 watts.

From this calculation, it was clear that 1 kw heater was enough to cover the lost moisture. However it is preferable to be able to supply the moisture instantaneously and thus 1.5 kw pipe heater was set up in a stainless steel water bath (215×140×65 mm, 1.5 l in capacity). The pipe heater was connected to a slide voltage regulator and the voltage was regulated outside the apparatus. Then the relation between the humidity in the apparatus and optimum voltages were studied. Through this experiment the best humidifying condition was established.

The experiments were carried out without any fumigants and it was proceeded under room temperature. The humidity in the apparatus was determined by a Honeywell's electric hygrometer and a hair hygrometer.

Results and Discussion: (1) After starting the pump, inner pressure goes down to about 10 mmHg in 20 to 25 minutes. The relation between reducing pressure and relative humidity in the apparatus without the heater operated is shown in Figure 2. From the results, we can see that the starting relative humidity 72% was reduced below 35% in only 4 minutes after the vacuum pump was switched on. Therefore there was a remarkable decrease of 40% in humidity. It is without doubt that the sudden decrease in humidity has more harmful effects than the biodeterioration on artistic and archeological objects. As splitting of paper on sliding screens, for instance, takes place even under natural circumstances in places of Japan where humidity varies violently, it is quite evident that such a sudden change of humidity that is caused by this evacuation will be very dangerous for accommodated objects.

(2) In order to control humidity in the apparatus, voltage and the heating time must be regulated. Figure 3 shows the result of a recommendable way of humidity control. It was as follows: Electric current was turned on at 100 volts for 2 minutes before the vacuum pump was started and the water bath was heated up to 45~50°C, water being evaporated from it. Then voltage was dropped down to 30 volts and the vacuum pump was switched on at the same time. After 13 minutes, the heating current was switched off and the pressure was made to come to final pressure 10mm Hg by further evacuation under this condition.

According to Figure 3, the humidity showed a decrease of 7% in the first 2 minutes, just after the vacuum pump was switched on. For the next 10 minutes, it was constant. After 12 to 20 minutes from the start of the pump, there was 7% increase in humidity. It was considered that this change was caused by increase in vapour, while evacuation was between 10 and 110 mmHg. By this method, the change of humidity could be kept in control within 10%.

(3) Since ethylene oxide is a combustible compound, this humidifying method had better be restricted to only methyl bromide at present.

(4) As the ancient cultural property has been preserved for a long period, there is greater natural deterioration when compared with modern art and craft objects. However it is considered that there must be some harmful influence with the sudden change of humidity for the modern objects too. Therefore it is strongly felt that there must be humidity control in the reduced-pressure apparatus, whether the objects are old or not.