原 著

蒸気滅菌装置の蒸気使用量測定と スチームフィルタの使用経験

古 橋 正 吉*

Measurement of Steam Consumption in Steam Sterilizers and Effectiveness of Steam Filters

Masayoshi Furuhashi

Dept. of Operating Center,

*Hospital Attached to the Faculty of Medicine,
Tokyo Medical and Dental University,*

1-5-45 Yushima Bunkyo-Ku, Tokyo 113, Japan

Abstract

Quantity of steam consumed mainly by steam sterilizers were measured. Impurities in steam were also observed by installing steam sterilizers.

1) Steam consumption in the central sterile supply department per day was 6 % of steam for processes in the whole hospital. 25 % of steam consumption in the central supply department was heat loss. Steam consumption marked the highest during the operating time of water sterilized-distillers amongst other equipment. Steam consumption by steam sterilizers marked the highest during a pre-heating time for a jacket. This value should be taken into consideration in designing a steam pipe line or boiler capacity. The hourly steam consumption was only one third of the highest other than that of the pre-heating time.

2) Alkalinity (CaCO_3), hardness, SO_4^{3-} , PO_4^{3-} , and pH showed standard value. The degree of contamination of the steam filter element was also observed 6th months after installation. The filter element was obviously contaminated by impurities in steam. Steam filters were quite effective in removing impurities in steam.

3) Electron microscope and X-ray analysis proved to be more reliable than normal chemical analysis in analysing elements of stains placed on the stainless steel bar by impurities in steam.

* 東京医科歯科大学医学部付属病院・手術部
(原稿受付：昭和60年10月30日)

はじめに

病院のプロセス用エネルギーは、給湯、給食、洗濯、浴室および滅菌用として利用されている。このうち、蒸気の利用が大部分を占めている。

本研究の目的は、病院におけるエネルギー使用量の調査の一環として東京医科歯科大学医学部附属病院（東京都文京区）中央滅菌材料部と手術部の蒸気消費量を実測した。蒸気滅菌装置の蒸気消費量の時間変化の測定についての研究報告はほとんどない。さらに、蒸気滅菌装置に米国製 Steam filter を取りつけて、蒸気ドレーンに含まれる不純物の除去効果を検討した。不純物については化学分析およびX線分析法などで研究した。

研究 方 法

1. 蒸気消費量の測定

エネルギーセンターより中央材料部にくる高压蒸気管（圧力 5 kg/cm²）の配管（80A）に積算式蒸気流量計（シャント形翼車メーター：VF, OVM-101, SUNFLAME SEIKI Co. Ltd. Tokyo）を取りつけた（1980年8月）。

中央材料部の高压蒸気配管には蒸気滅菌装置 8 台と蒸留水製造装置（蒸気を凝縮して蒸留水を作る洗浄後の仕上げ用）2 台およびエチレンオキサイドガス滅菌装置 1 台が接続されている（表 1）。

表 1 中央材料部の蒸気利用機器

機 器 の 種 類	台数	内筒容積	外筒容積
ハイスピード蒸気滅菌装置	2	0.12 m ³	0.04m ³
中 型 蒸 気 滅 菌 装 置	4	0.59	0.17
エチレンオキサイドガス滅菌装置	1	0.32	0.07
蒸 留 水 製 造 装 置	1	製造能力 300 l/h	
同	上	製造能力 200 l/h	

中央材料部全体の蒸気消費量は15分ごとに測定した。蒸気滅菌装置の蒸気消費量測定は1分ごとに測定した。ただし、流量計の測定範囲（26.3～90.8 kg/15 min）に合わせるために、蒸気滅菌装置（内筒容積 0.59 m³）4 台を並列運転して毎分ごとの蒸気消費量を求めた。

なお、蒸気消費量はすべて配管熱損失（0.7

kg/min）を差引き 1 台当りに換算して測定値とした。なお中材の滅菌装置の一部は手術部が共用している。

2. 蒸気中の不純物の測定

中央手術部専用の蒸気滅菌装置 3 台に Steam filter（23, Slush 75, BALSTON FILTER PRODUCTS, Massachusetts, U. S. A. : 図 1）を滅気滅菌装置の蒸気配管の 1 次側と 2 次側の中間の位置に取りつけた（図 2）。Steam filter 取り付け後、1 次側、2 次側およびボイラー高压蒸気管の 3 ヲ所から蒸気ドレーンを 1 日 3 回採取した（図 3 の註参照）。

蒸気ドレーンについて、アルカリ度、硫化物、リン酸化合物の含有量、硬度、pH などを水質試験法（日本薬学会、1980 年）⁵⁾ に準拠して測定した。総アルカリ度（CaCO₃ として）は中和滴定法、硫酸イオン（SO₄²⁻）はクロム酸バリウム吸光度法、リン酸イオン（PO₄³⁻）はモリブデン青吸光度法、総硬度は EDTA 法、pH はガラス電極（15°C）でそれぞれ測定した。同時に対照としてスチームテストキット（CHEMETRICS Inc., Calverton, Virginia, U. S. A.）を併用して測定した。

なお、Steam filter 性能の確認を目的としてオートクレーブ・テストバー（ステンレス鋼製、

図 1 スチームフィルタの構造

図2 スチームフィルタの設置部位

図3 病院における蒸気供給システムと試料採取部位

15.2×5 cm, 厚さ 2 mm: CODMAN & SHURTLEFF Inc. Massachusetts, U. S. A.) を蒸気滅菌し, テストバー表面に付着した蒸気中の不純物を調べた. この分析には, 電子顕微鏡 (HFS-2型, 日立製作所) およびエネルギー分散型X線分析装置 (Kevex-5100型, 日立製作所) を併用してマイクロアナリシスを実施した.

研究成績

1. 蒸気滅菌装置の蒸気消費量

蒸気滅菌装置は, 真空, 滅菌, 乾燥の各工程

図4 滅菌器の内筒温度・内外筒圧力・蒸気量の時間変化

が自動運転される.

蒸気滅菌を行って, 毎分蒸気消費量の1台当りの推移を図4に示した.

図5の上段は内筒温度, 中段は内筒と外筒の圧力 (kg/cm^2 , 真空は mmHg で示す), 下段は蒸気消費量 (毎分) を示した. 温度, 圧力は蒸気滅菌装置付属の自記記録計で測定した.

蒸気滅菌装置1台の蒸気消費量の最大のピーク ($1.5 \text{ kg}/\text{min}$) は, 朝の最初の外筒予熱時に生じた. このピークは約8分間で低下し, 以後は外筒の放熱により一定 ($0.32 \text{ kg}/\text{min}$) とな

(18) 医 器 学 Vol. 56, No. 1 (1986)

った。この間に、外筒圧力は次第に上昇し 2.2 kg/cm^2 に達した。以後、内筒の真空工程を除きこの圧力が持続した。次に、真空工程において、蒸気供給と真空ポンプの作動が交互に行われ、蒸気供給のたびに蒸気消費量は上昇し、この間に内筒温度は 86°C に上昇した。

滅菌工程に入ると、その最初に第2のピーク (1.0 kg/min) を生じた。これは、滅菌物をのせた台車、金属容器 (カスト等) および内筒の扉、後方のバッフル板が加熱されるための負荷と考えられる。滅菌工程は21分間だがこの間は内筒圧力と温度は 2.1 kg/cm^2 , 132°C で一定に保たれた。蒸気消費量は 0.32 kg/min であった。

次に、乾燥工程に入ると、再び内筒圧力がパルゼーション (脈動) して、 $-100 \sim -700 \text{ mm Hg}$ の範囲を変動した。この間の蒸気消費量はほぼ一定で 0.24 kg/min あった (図5)。

図5 蒸気滅菌装置の蒸気消費量推移
A: 外筒の立上り (朝の1回目)
B: 外筒蒸気消費量
C: 滅菌中の蒸気消費量

以上で第1回目の滅菌が終了した。次いで第2回の同じ滅菌操作を行うときには、内筒、外筒の予熱はすでに終了しているので、外筒予熱のための蒸気消費量のピークは生じない。また、内筒予熱のピークも第1回目にくらべるとやや低くなる。

以上第1回目の、滅菌実施中の蒸気消費量の総和は、1台当りで、外筒予熱時 (11分間) 8.3 kg , 外筒予熱の保持 (8分間) 2.5 kg , 真空工程 (8分間) 3.3 kg , 滅菌工程 (21分間) 8.3 kg , 乾燥工程 (28分間) 6.7 kg , 合計76分間, 29.1 kg となった。

第2回目以降の滅菌実施では第1回目と異なり外筒予熱がないため、滅菌全工程の蒸気消費量は少ない。真空工程 3.6 kg , 滅菌工程 7.1 kg ,

乾燥工程 6.7 kg , 合計60分間, 17.4 kg であった。

外筒よりの放熱は滅菌の全操作中にわたって持続し、その合計は 23 kg に達した。これは全消費量の90%近くに達する。この 23 kg には、外筒からの放熱のほかに、蒸気トラップに設けたスリットからの蒸気損失も含まれており、むしろ後者が支配的と考える。

2. 蒸気利用機器の蒸気消費量

蒸気滅菌装置以外に蒸気を利用する蒸留水製造装置を加えて蒸気消費量を検討した。

測定は、中央材料部の蒸気消費量を1980年9月3日から3日間にわたり15分ごとに測定した。蒸気滅菌装置と蒸留水製造装置および配管の熱損失など蒸気消費量の内訳を表2に示した。1日当りの消費量は蒸気滅菌装置が平均 842.6 kg , 蒸留水製造装置 515.8 kg , 配管の熱損失 420 kg , 合計 $1,778 \text{ kg}$ となった。

表2 蒸気利用機器の蒸気消費量内訳 (kg/day)

	9月3日 (水)	9月4日 (木)	9月5日 (金)
蒸気滅菌器 (合計6台)	841.2	847.7	838.9
蒸留水製造装置 (2台)	599.2	363.3	585.1
配管熱損失	420.0	420.0	420.0
合 計	1,860.5	1,631.0	1,844.0

3日間のうち、代表的な日と考えられる9月3日 (水曜日) の蒸気消費量の時間変化を図6に示した。図中の点線は蒸気消費量の実測値、実線は計算値である。実測値と計算値の差が大きくなった部分は、流量計の測定範囲を外れた場合に生じた。

9月3日の運転回数は、蒸気滅菌装置 (4台) 12回、ハイスピード蒸気滅菌装置 (2台) 10回、エチレンオキシドガス滅菌装置 (1台) 2回、蒸留水製造装置 (2台) は蒸気利用時間105分、と90分間であった。9月3日のピークは、AM 9:15~9:30の15分間当り 90 kg (6 kg/min) であった。

上記の3日間について、1日当りの手術件数、滅菌物の容量 (m^3) を調査して毎日の蒸気消費量との相関をしらべたがいずれも相関はなかった。しかし、蒸気消費量は蒸留水製造装置の通蒸気時間、外筒の予熱延べ時間とに相関するこ

図6 蒸気利用機器の運転時間と蒸気流量の時間変化

表3 蒸気ドレーンの化学分析成績

採取部位 項目	ボイラー ドレーン	1 次 側	2 次 側	気水分離器 蒸 留 水	水 道 水
総アルカリ度 (CaCO_3)	10> (2.0)	10> (1.3)	0~10> (1.9)	10>	24
総 硬 度	2.2 (1.2)	2.3 (2.3)	2.0 (1.1)	2.0	75
SO_4^{2-}	2.7 (検出せず)	2.1 (検出せず)	1.8 (検出せず)	2.0	2.0
PO_4^{3-}	0 (0.02>)	0 (0.02>)	0 (0.02>)	0	0
pH (15°C)	6.5 (6.50)	6.05 (5.30)	6.07 (5.40)	6.5	7.0

単位: ppm

とが判った。

なお、10月16日から翌年1月13日までの期間に、1日ごとの蒸気消費量を実測したが、この間のピークは11月4日(火曜日)の3,096kg/dayであった。

当病院のプロセス用(給湯、給食、洗濯、滅菌を目的とする)蒸気は、10月の実測によると1日当たり28t/a前後であるので、中央材料部の蒸気消費量の割合はその6%前後にすぎない。

3. 蒸気に含まれる不純物の化学分析

試料採取は、ボイラー、蒸気滅菌装置のSteam filterの1次側と2次側の給蒸管からそれぞれドレーンを採取した(図3の註)。同時に蒸留水製造装置の蒸留水および水道水を対照として化

学分析を実施した。

総アルカリ度(CaCO_3)、総硬度、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 、pH(15°C)の測定結果を表3に示した。表3の数値はスチームテストキットによる測定値(平均値)であり、カッコ内は、水質試験法にもとづく測定値(平均値)である。

ボイラードレーン、Steam filterの1次側と2次側のドレーンを比較したが分析値に著しい差はなかった。また、時間差や日差も認めなかった。

蒸気ドレーンの不純物はこの化学分析値をみる限り、不純物は僅かであり標準的であるといえる。しかしながら、Steam filter設置後6ヵ月経過した時点でフィルタ汙材を取り出して観察したところ、茶褐色に変色していた(図7)。

(20) 医器学 Vol. 56, No. 1 (1986)

図7 Steam filter の濾材
(上段は6ヵ月使用後のもの、下段は使用前のもの)

これは蒸気中の不純物がたとえ微量であっても長期間の間に徐々にフィルタに捕集されたことを示す。蒸気ドレーンの断片的な化学分析法では実態を明らかにすることはできないため次に述べるマイクロアナリシスを実施した。なお、当院のボイラーでは清缶剤 (Mascot[®], MX-8, FUSAMORI INDUST. Co., Tokyo) を使用している。この清缶剤の主成分は不明だがリン酸系化合物は含まれていない。

4. 蒸気不純物のX線分析

蒸気滅菌装置の内筒表面をくまなく研磨して表面の汚染物を予め除去してから実験を行った。

ステンレス鋼板 (鏡面と梨地面) を蒸気滅菌装置内筒に直接入れて滅菌、乾燥工程を経てから取り出した。ステンレス鋼板の鏡面部と梨地部分の表面に付着した「しみ」を観察してこの「しみ」を試料とした (図8)。

図8 オートクレーブ・テストバーの「しみ」
上段は Steam filter をパスしないとき、下段はパスした場合。テストバーは右側が鏡面部分、左側は梨地部分となっている。

「しみ」は肉眼的に明るい色の「しみ」とサ

ビのような茶褐色の「しみ」が認められた。茶褐色の「しみ」は Steam filter を通した蒸気では発生しなかったが明るい色の「しみ」が観察された。金属表面の「しみ」の分析は通常容易ではないが、筆者はステンレス鋼板上の「しみ」を特殊テープに転写した。これを電子顕微鏡ならびにX線分析装置を併用して分析する方法を採用した。

分析装置は走査型電子顕微鏡 (HFS-2 型, 日立製作所) およびエネルギー分散型X線分析装置 (Kevex 社, 5100 型, 日製産業株式会社) を用い半定量分析を行った。

図9 「しみ」のX線スペクトルによる分析

図9にX線スペクトルの1例を示した。この結果、Cl, Fe, Cr, Ca, Si, S が検出されたが、これは「しみ」の成分と推定された。この元素は、テストバーの鏡面部と梨地部分に付着した「しみ」のすべてに共通して検出した。次に、「しみ」の結晶構造解析のために「しみ」を掻きとり、純水に溶解した。この試料を赤外線スペクトル、紫外線スペクトルおよび NMR スペクトルで元素分析を行った。

この結果、紫外線スペクトルで 275~280 nm に僅かに吸収が認められ $>C=O$ と考えられた。このほか、C, H, O で構成される物質が検出された。しかし、ボイラーの清缶剤に由来する Na やアミンは検出されなかった。

C, H, O 構成の化合物は Steam filter の素

材である glass fiber の binder である polyvinylidene fluoride resin (U. S. A. Federal Regulations # 177. 2510, attached) が何かの原因で微量検出されたものと考ええる。

考 察

病院のエネルギー消費量の調査の一環として、中央滅菌材料部と手術部における蒸気消費量を実測した。蒸気滅菌装置を主とした蒸気利用機器の蒸気消費量を時間ごとに追求した報告はほとんどない。また、蒸気中の不純物を除去する目的として Steam filter を設置して、その効果について研究した^{1),6)}。

1. 蒸気消費量とその時間変化

中央材料部全体の1日当りの蒸気消費量は病院のプロセス用蒸気量の6%であった。病院では給湯が全体の1/4を占め、洗濯、厨房がこれに続いて多かった。

中央材料部で蒸気利用機器を全部運転して蒸気消費量を測定した。そのピークは蒸留水製造装置を運転したときに生じ、蒸気消費量は90 kg/15 min であった。蒸気滅菌装置だけを運転したときは30 kg/15 min であった。

蒸気滅菌装置の蒸気消費量のピークは、1日の最初の運転で外筒の予熱の時に発生し、1台当り1.45 kg/min となった。時間当りでは87 kg/h となる。この数値をもって蒸気供給管やボイラー容量の設計上の基準にすべきである。しかし、蒸気滅菌装置のメーカーは蒸気消費量を75 kg/h としていた。これでは明らかに不足しており今後の設計に当って修正を必要とする。

朝の第1回目の蒸気滅菌(2.1 kg/cm², 132°C)について全工程(72分間)の蒸気量を測定すると1台当り0.404 kg/min (平均)、時間当たりの換算で24.25 kg/h となった。続いて、第2回目の蒸気滅菌では、外筒の予熱が終了しているために蒸気消費量は少なくなり、全工程(60分間)で1台当り0.29 kg/min、時間換算では17.4 kg/h となった。

以上のように、蒸気滅菌の際の蒸気消費量の50~70%は外筒表面からの熱損失である。したがって、蒸気滅菌装置の運転を休止している時

には、同装置の蒸気弁を閉鎖するようにすることが望ましい。

また、蒸気供給管からの熱損失は、中央材料部全体の蒸気消費量の25%でいかに達するので、滅菌業務が終了した時には、ボイラー室の蒸気止め弁を閉鎖することが望ましい。

当病院では、蒸気滅菌装置の余剰蒸気をスチーム・アキュムレータ装置(貯蔵容量:1.4トン)にレターンさせるシステムを採用している。これによって夜間、ボイラーから給蒸が停止しても蒸気が利用できる。

2. 蒸気中不純物の分析

蒸気中の不純物に対して Steam filter がどの程度除去効果があるのかを検討した。

Steam filter は0.1 μm 径以上の微粒子を高い効率で除去するといわれる^{3),4)}。

蒸気ドレーンを水質試験法によって測定したが、ボイラードレン、Steam filter の1次側、2次側ともに正常範囲の値を示した。ところが、Steam filter を6ヵ月使用してから取り出して観察したところ、汚材は茶褐色に変化していた。汚材を指で圧迫したが硬度は使用前と同じに保たれていた。茶褐色の変色は蒸気中に含まれている微量の不純物が徐々に捕集されたことを示す。そこで蒸気中の微量な不純物の性状を追求することになった。

試料はステンレス製テストバーを蒸気滅菌して表面に付着した「しみ」である。X線分析の結果、Cl, Fe, Cr, Si, S などが検出された。また、「しみ」の紫外線スペクトル、赤外線スペクトル分析の結果、C, H, O の元素で構成される化合物が検出された。しかし、ボイラーの清缶剤に由来する Na やアミンは検出されなかった。

検出した元素で構成される化合物はまだ同定されていない。これらの化合物は Steam filter を微量ではあるがくぐり抜けてきたものである。ここで「しみ」の発生原因を推定すると次の各項目が考えられた。

- ①蒸気滅菌装置の蒸気配管(Steam filter の1次側と2次側の配管を含む)および蒸気滅菌装置の内筒などの錆び
- ②ボイラーで使用する清缶剤

(22) 医器学 Vol. 56, No. 1 (1986)

③Steam filter の汙材の化学成分

このほか、蒸気滅菌を実施中に乾燥工程に問題があって蒸気不純物が器具の表面に沈着したり、手術器械の超音波洗浄に使われる洗浄剤が微量残留することもある。これが手術器具の錆びの原因となることも経験している。「しみ」や錆びの発生を防止するためには、上に挙げた発生原因を追求し、総合的に対策を講じる必要がある。Steam filter の使用はその対策の一つの手段として極めて有益であると考ええる。

結 論

蒸気滅菌装置を中心に蒸気消費量を測定した。Steam filter を設置して蒸気中の不純物についても検討して次の結論を得た。

1) 中央材料部全体の1日当たりの蒸気消費量は、病院のプロセス用蒸気量の6%であった。中央材料部全体の蒸気消費量の25%は配管からの熱損失であった。中央材料部の蒸気利用機器のうち、蒸留水製造装置の運転時には蒸気消費量(時間当り)のピークを生じた。

蒸気滅菌装置の蒸気消費量のピークは外筒の予熱時に発生した。このピーク値をもって蒸気供給管やボイラー容量設計の基準値にすべきである。

外筒予熱以外の滅菌中の蒸気消費量(時間当り)はこのピーク値の $\frac{1}{3}$ であった。

2) 蒸気ドレーンの不純物の化学分析の結果、総アルカリ度(CaCO_3)、総硬度、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 、pHなどは標準値を示した。Steam filter 設置

後6ヵ月して汚染状態を観察した。明らかに蒸気中の不純物によって filter media が汚染されていくのが観察された。Steam filter は蒸気中の不純物除去に極めて効果的であった。

3) 蒸気中の不純物がステンレス鋼板上に「しみ」を形成した場合、「しみ」の成分分析に電子顕微鏡とX線分析法を併用したが、単なる化学分析法よりも詳細な情報が得られ有用である。

(終りに本研究に当りご指導、ご援助をいただいた井上宇市教授、高島征助氏に厚く御礼申し上げます)

(本研究の要旨は第60回日本医科器械学会大会で報告した。)

文 献

- 1) 井上宇市, 古橋正吉, 上田伊佐雄: 中央材料部における蒸気使用量の実測, 医器学, 51, Suppl., 16-18, 1981.
- 2) 井上宇市, 高井啓明, 長井千興, 水野弥一: 病院のプロセス用エネルギー消費量の実測, 空気調和・衛生工学, 56, 1, 39-54, 1982.
- 3) Balston Filter Products: Bulletin No. P-51, 1984.
- 4) Strauss, R. and Perrotta, K.: Impurities in Steam, SCORE, 7, 1, 24-29, 1982.
- 5) 日本薬学会編: 衛生試験法・注解, 水質試験法, 719~778, 金原出版(東京)刊, 1980.
- 6) 古橋正吉: スチームフィルタによる蒸気不純物の除去効果, 医器学, 55, 4, 228, 1985.