

スタック排出物を經由して焼却炉から放出される人に対する病原微生物は、種々のグループにより関心を持たれているが、病気の伝播に必要な要素や微生物死滅の原理を認識すると、健康および環境に対する病原性の危険性は著しく低い。

感染症には、病原性微生物源、宿主への伝播経路および感染しやすい宿主への感染、更に、病気を引き起こすのに十分な量の微生物数の侵入が必要である。公衆が最も関心を寄せている病原体は、HIV と HBV であるがそのどちらも空気伝達の経路では伝播されない。医療廃棄物と地方自治体の廃棄物の両方で一般的に見られる他の病原体の殆どは、日和見的な病原体であり、一般的な条件下で病気の伝播が起こる可能性は極めて低い。

スタック排出に関する研究は限られているが、感染しやすい宿主に病気を惹起することが十分可能な病原体が生存して大気中に放出させる可能性は極めて低いと思われる。1989 年、Allen らは病院の焼却炉について、スタック排出物を介して人の病原微生物が大気中へ放出される可能性に関する研究結果を発表した (77)。試験を行った焼却炉は、大規模な一次治療施設にあり、廃棄物を手動でロードし、2つのチャンバーを持つ装置で、 $\sim 45 \text{ kg/h}$ (100 lbs/h) の燃焼能力を持ち、両方の燃焼チャンバー中の温度は 760°C ($1,400^\circ\text{F}$) を維持するよう設計されていた。細菌はスタック排出物から回収されたがその数は大気中で観測された一般細菌数と大差がなかった。研究で使用した指標細菌である *Bacillus subtilis* は、スタック排出物から回収されなかったことから、回収された細菌の発生源は、未燃焼の廃棄物由来ではないことが示唆された。スタック排出物中の細菌の起源は、焼却炉に加給される燃焼空気である可能性が最も強いと結論された。

細菌の放出物は、新しく建設された、便利な oil-fired な 2つのチャンバーを持つ空気供給を制御された病院の廃棄物焼却炉でも調査された。この焼却炉の一次チャンバーは 798°C ($1,470^\circ\text{F}$) で、二次チャンバーは 982°C ($1,800^\circ\text{F}$) で運転されるよう設計されていた (78)。このシステムの処理能力は最低 350 kg/hr である。1 m^3 当たり 400 個程度のグラム陽性菌およびグラム陰性菌が、通常の運転時に排気された通風装置のガスから回収された。生存の理由は直接的には説明できないが、焼却炉中の空気に浮遊した微粒子の速い移動時間、若しくは多量の液体の存在による不完全燃焼のため微生物が生存すると仮定し得る。また、細菌の生存は比較的早く適切に制御若しくは維持されていない装置で日常的に起こり得ると思われる。全ての公衆衛生の危険性が、病院の焼却炉のスタックから放出される低レベルの生存細菌に起因する可能性は殆ど皆無である。また、別の研究において通常微生物は利用できる粒子に吸着するため、放出物中の微生物の殆どは飛んでいる灰の粒子に吸着すると予想され、大気中に放出される可能性がさらに減少すると指摘されている (79)。

病原微生物の灰への排出。

1986 年、EPA は、医療廃棄物を完全に効果的に燃焼すれば、廃棄物中の微生物を殺滅する効果があると結論した (27)。これは、以下の National Research Council's Committee on Hazardous Biological Agents in the Laboratory により発表された Mayo Foundation の焼却炉に関する報告の結論と同様であった：「... 一次燃焼温度は少なくとも 871°C ($1,600^\circ\text{F}$)、よく混合した二次燃焼温度は 982°C ($1,800^\circ\text{F}$) および気体の保持時間はおよそ 2 秒... 全ての病原体とタンパク様物質は変性する。」(80)。

しかし、不完全燃焼の結果、焼却灰中に生きている微生物が存在することが示されている。1969 年、運転温度が 648 から $1,093^\circ\text{C}$ ($1,200$ から $2,000^\circ\text{F}$) の範囲の 4 基の 1960 年代に作成された焼却炉に固形廃棄物中に存在する細菌を殺す能力があるかどうかを評価するため、地方自治体のこれらの焼却炉の残留物が調べられた (81)。いずれの焼却炉の残留物も無菌状態ではなかった。これらの灰は、野菜、動物廃棄物および廃棄物が完全に焼却されていないことおよび印刷文字を読むことができる新聞のような未燃焼の物質の残留に起因するものと思われる。連続調査では、焼却の前後の病原性微生物の分布および生存パターンに焦点が置かれた (82)。運転温度が $1,093^\circ\text{C}$ ($2,000^\circ\text{F}$) から $1,200^\circ\text{C}$ の範囲である 8 基の 1960 年代の地方自治体の焼却灰と冷却水の残留物中の総細菌数、大腸菌群、熱

抵抗性芽胞および選別された腸内病原性細菌に関する調査が行われた。その結果、やはりいずれの焼却炉残留物も無菌ではなかった。1 基の焼却炉の冷却水から腸内病原体である *Salmonella derby* および *Salmonella st. paul* が分離された。尿尿汚染の指標細菌である大腸菌も 8 基の焼却炉のうち 7 基から分離された。

潜在的な病原性細菌は生存することが予想されるだけであるけれども、もし医療廃棄物の焼却炉が適切に制御されていなければ、前の項で確認された、病気の伝播が起こるために必要な段階は、焼却炉の灰中で生存する病原体に関連した健康の危険性を最小限にする。

灰中の毒性の化学汚染物。

1992 年、医療廃棄物焼却炉由来の焼却灰に関する報告が発表された (83)。地方自治体の固形廃棄物焼却炉の灰および限定された医療廃棄物由来の焼却灰の研究結果に基づいた結論は以下の 3 点を含んでいた：(1) 灰残留物は、もともと廃棄物の物質中にあった重金属を含む；(2) 乾燥した飛灰は毒性物質であり、人および環境への害を防ぐため、できるだけ早く水若しくは湿った灰で処理されなければならない；(3) 医療廃棄物の焼却炉由来の灰残留物および冷却水に関する TCLP 試験のデータにバラツキがあったが、平均すると EPA の基準を満たすことが分かった。以上の結果が人の健康に与える影響は示されていなかった。

結論として、医療廃棄物の焼却は、一般的に公衆の反対を受けているが、医療廃棄物の処理、破壊および廃棄に対する重要なオプションとなっている。焼却産業は、過去 10 年間に、州および地域の機関が新しい規制を公表するにつれて、また、環境への汚染物の放出に対する制御が必要となるに従って非常に変化してきた。現在の情報では、医療廃棄物の焼却炉は、もし適切に設計、運転および維持されれば、許容範囲内の危険性で運転させることが可能である。廃棄物を焼却する前に、廃棄物中の汚染物を除去する汚染防止行為が、汚染された放出物の生成を減らす重要な要素であると認識されている。現在の最新設備の汚染制御装置は、これらシステムが適切に設計され、運転され、維持された場合、環境への汚染物の放出を著しく抑制することができる。提案された焼却炉に関する汚染制御の必要性を個々に明確にする場合、新しい施設に対するリスクアセスメントは、重要なステップになってきた。議会が連邦の 1990 年の Clean Air Act Amendments の一部として委任した、EPA が提唱した規制は、適切に設計されていない施設の閉鎖を招くと思われる。EPA は、同基準を実行すると申請中の焼却炉の 80% が建設されず、さらに、現在ある焼却炉の 80% が運転を停止することになるだろうと評価した。規制が増加し、また、環境に対して健全な医療廃棄物燃焼行為に注目が集まる結果、公衆は、新しい医療廃棄物の焼却炉および現在ある装置の両方が、公衆衛生および環境に与える衝撃を最小限にするよう運転されるという保証をさらに得ることと予想される。

蒸気滅菌

蒸気滅菌は、幅広く用いられているバイオハザード廃棄物処理のための技術である。蒸気滅菌は、歯科医若しくは診療所のような規模の小さい発生者から、全地域のバイオハザード廃棄物を処理する地域の処理業者にまで使用されている。廃棄物管理会社が運転している、大規模な地域の医療廃棄物処理用のオートクレーブの例を Figure 6 に示した。

蒸気滅菌には、汚染された廃棄物を蒸気滅菌器 (オートクレーブ) のチャンパーに入れる工程および廃棄物を非感染性にするのに必要な温度と継続時間で圧力をかけた蒸気にさらす工程が含まれる。蒸気滅菌器は、滅菌器のチャンパー内の空気を蒸気に置換することにより作動するが、空気の置換装置として、通常、蒸気がチャンパーに導入されるにつれ、装置の底に位置するバルブを通して空気を強制的に排出する装置 (重力移動装置 gravity displacement unit)、若しくは蒸気がチャンパーに導入される前に空気をバキュームで排出する装置 (前排気装置 pre-exhaust unit) のいずれかが用いられる (27)。蒸気がチャンパーに入った後、温度が設定温度に上昇し始める。これを heat-up 時間 (蒸気浸透時間) と呼ぶ。保持時間は、ロードしたものの全体が、所定温度に到達した後始まる。保持時間は、チ

チャンパーに導入した廃棄物の滅菌を達成するのに必要な最小時間/温度により設定される。暴露時間は、滅菌を達成するのに必要な全体の時間を意味し、heat-up 時間、保持時間および誤差の余裕を加えた時間の合計である。

効果的な処理のためには、処理工程に関連した多くの要因に関する知識が必要である。この中には、装置の型、処理される廃棄物のタイプと量、廃棄物の梱包およびチャンパーへの導入が含まれる。技術のある、訓練された蒸気滅菌器のオペレーターの存在は重要である。訓練は雇用者によって行われなければならない、また訓練には適切なオートクレーブの運転法に加え、危険性に関連する可能性（例えば、化学的に毒性のある、若しくは放射性的な廃棄物は、決してオートクレーブにかけてはならない）も含まなければならない。確実に処理されていることを保証するため、工程の効率は、時間/温度グラフ、滅菌を達成するのに必要な時間/温度の関係に応じて色に変化する化学的指標および最も抵抗性の微生物を確実に不活性化するため、生物的指標（例えば、*Bacillus subtilis* 若しくは *Bacillus stearothermophilus* の芽胞を塗布した細片）を用い監視されなければならない。オペレーターは、この監視データからロードされた廃棄物を効率的に処理するための必要な運転パラメーターに関する知識を得ることができる。全ての装置は、最適な運転を保証するため、日常的に点検および修理をしなければならない。記録保管の適切なシステムは、内部の目的のためだけでなく、機関の検査官が施設に訪れた場合、適切な工程により処理している事を示す証拠書類としても重要である。

蒸気滅菌工程の効果的な標準化は、処理の効率を確保するため重要であり、以下の 5 つの要因を考慮しなければならない：(1) 信用できる技術のあるオペレーター；(2) 内容物への蒸気の浸透を確保するための正しい梱包方法；(3) 適切なロード方法；(4) 信頼性が実証済みの認可された滅菌器；(5) 内容物全体に完全に蒸気を浸透させ、微生物の破壊を確保する適切な暴露時間 (85)。

蒸気滅菌器は適切に運転された場合、バイオハザード廃棄物の滅菌が可能である。蒸気滅菌器は、病原体のストックおよび培地、汚染されたガラス器具や生物製剤のような研究室の廃棄物の浄化に最も適しているが、他のバイオハザード廃棄物の浄化も可能である。感覚的および規制に関する理由から、オートクレーブは、識別できる身体部分の処理には適さない。

オートクレーブに関する健康影響は、直接的な証拠は出されていない (52)。しかし、オペレーターは、オートクレーブのドアがサイクル終了後に開放される際、排気蒸気に接触すると蒸気中に存在する危険性成分に暴露される可能性がある。この理由から、危険性のある化学物質（例えば、抗腫瘍薬の廃棄物、EPA が示した危険性のある廃棄物）若しくは放射性廃棄物のような毒性を持つ可能性のある成分を含む全ての廃棄物を処理前に排除することが重要である。

他のバイオハザード廃棄物処理技術

過去数年間、焼却および蒸気滅菌に代わる多くの処理技術が未処理のバイオハザード廃棄物処理のために利用できるようになってきた。これらのシステムは、公衆および規制の圧力により、バイオハザード廃棄物処理の優先的な方法として歴史的に信頼されていた焼却から、医療産業が遠ざかる傾向が強いため、今後、益々利用されるようになると思われる。しかし、これらの新処理技術が、人の健康若しくは環境に対して有害でない方法によりバイオハザード廃棄物を効率的に処理する能力を評価することが必要である。

他の処理技術に対する州および地域の団体、

1994 年 4 月、米国の州および地域政府における医療廃棄物の専門家が集まり、State and Territorial Association on Alternate Treatment Technologies (STAATT) を組織し、Technical Assistance Manual: State Regulatory Oversight of Medical Waste Treatment Technologies という報告を公表した。この文書の目的は、州の機関が義務づける基準の範囲内で、代替の医療廃棄物処理技術若しくは破壊技術を審査する際の方法を標準化する手助けをすることである。

第 2 の目的は、最終的には政府の認可が必要である新しい技術を開発している製造主を補助するため、これらのシステムの開発に関するアプローチ法を標準化することである。

STAATT 報告のコピーは、Rhode Island Department of Environmental Management, 9 Hayes Street, Providence, Rhode Island 02908-5003, Tel:(401)277-2771/Fax:(401)277-6802 から得られる。この報告のキーポイントを以下に要約する。

STAATT の報告は、医療廃棄物の新処理技術を、以下に示した微生物を不活性化するための 4 つの処理原理に基づいて分類している：熱的処理（湿熱および乾熱、マイクロ波、赤外、レーザー、プラズマ分解）；化学的処理（塩素、塩素誘導体、オゾン、酵素）；照射（UV、コバルト 60）；および少量しか発生しない特殊な医療廃棄物の分類に対して考えられた他の処理機構（熱／電氣的処理）。いくつかの技術では、処理様式の組み合わせが適用される（例えば、化学的処理／熱的処理、若しくは化学的処理／照射）こともある。これらの処理様式に加え、いくつかの技術では、破碎、シュレッター、若しくは、廃棄物を破壊したり、目に見えないようにさせたり、他の処理方法を容易にするための圧縮のような処理工程を併用しているものもある。

連邦若しくは州政府により統一されたアプローチ法がないため、STAATT の指針は、新しい処理技術を評価するためのアプローチ法となった。STAATT が提唱するアプローチ法では、全ての医療廃棄物処理工程が到達しなければならない微生物の不活性化の水準は、以下のように定義されている：

栄養型細菌、真菌、エンベロープ形成／非形成ウイルス、寄生虫および抗酸菌類の不活性化は、 \log_{10} 6 若しくはそれ以上の減少；*Bacillus stearothermophilus* の芽胞若しくは *B. subtilis* の芽胞は \log_{10} 4 若しくはそれ以上の減少。

新しい技術の効力試験に用いられる栄養型細菌の代用病原体の選別を定義するためのクライテリアが作成された。そのような代用物は、健康な個人に影響を与えてはならず、容易に入手できる ATCC に登録された株でなければならず、容易に培養および維持が可能で品質管理の要求事項を満たさなければならない。

Table 9 は STAATT が推奨した生物指標を示した。これらの生物指標は医療廃棄物中に見出される微生物と同等かそれ以上の滅菌抵抗性を有している。

微生物不活性化の度を定量する方法は、以下の式に基づいている：

$$\log_{10} \text{kill} = \log_{10} (\text{cfu/g introduced}) - \log_{10} (\text{cfu/g recovered})$$

ここで、 \log_{10} kill は \log_{10} reduction と等しく、「introduced」は処理装置に導入された生存微生物数であり、「recovered」は処理後回収された生存微生物数である；cfu/g は固形廃棄物 1 g あたりのコロニー形成ユニットである。新しい装置の効力試験の手順は、報告中に記載されている。さらに STAATT の報告では、州の機関による処理技術の認可に必要な申請書に添付しなければならない情報のためのチェックリストを提案している。

他の処理技術.

以下に他の処理技術を要約する：(1) 化学殺菌；(2) マイクロ波技術；(3) 乾熱技術；(4) 電熱による非活性化；(5) プラズマアーク技術；(6) 電子線滅菌；および(7) コバルト 60 照射。今日利用できる処理技術としては、この他にも幾つかある。また、これらの製品例の概括は主に、製造主によって提供される情報に基づいているがそのような情報自体は、第三者による査察の対象外である。

化学殺菌.

化学試薬は、何年もの間、バイオハザード廃棄物を殺菌するために使用されている。このような処理では、通常、

廃棄物を小さい粒子サイズに粉碎し、化学試薬との接触面積を増やし、最終的に廃棄物を目に見えないようにするため機械的な破壊過程を組み入れている。いくつかの化学試薬が、種々のバイオハザード廃棄物処理システムで用いられる。例えば、6種の化学的殺菌剤に基づくバイオハザード廃棄物処理システムでは、全てが廃棄物を種々のシュレッターの工程により目に見えないように破碎し、全てが異なる化学試薬で廃棄物を殺菌している。これらの処理システムのうち、1つの方法では、乾燥酸化カルシウムを廃棄物がシュレッドされるにつれて、少量の水の存在下で廃棄物と混合している；別の方法では、シュレッドされたり、ハンマーミルにかけられる前の廃棄物を次亜塩素酸ナトリウム溶液中で殺菌している；また別の方法では、シュレッドされた mulch を酸化剤の汚染除去薬（過酸化塩素）で洗浄する；廃棄物がシュレッドされている間に過酸化塩素処理溶液と腐食防止剤とを併用して殺菌する方法もある；さらに、殺菌剤として過酢酸を用いる方法もある。

化学的殺菌剤が目標の生物を効果的に殺す能力は、多くの因子に依存している。これらの因子としては、微生物の種類；汚染の程度；殺菌剤の種類；殺菌剤の濃度および質；抗菌剤と目標生物間の接触時間；および他の関連する因子（例えば、pH、電解質の存在、小さな分子やイオン、巨大分子、若しくは錯体形成および吸着）などが挙げられる（27）。

化学殺菌剤の消耗は、微生物との相互作用による化学試薬の消費、気化による消失、化学分解、若しくは微生物自身による代謝を介しても起こりうる（86）。バイオハザード廃棄物を殺菌するために殺菌剤を選ぶときは、このような因子を考慮しなければならない。

Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act (FIFRA)のもと、処理工程で用いられるすべての化学試薬は、EPAのPesticide Registration Officeへの登録を要求される（87）。製造主が、ある化学試薬を特定の使用方法（例えば、表面の消毒に用いる）で用い、得られる微生物不活性化の水準（例えば、消毒剤、滅菌剤、若しくは殺菌剤）を示した製品表示を広告する場合、その試薬をEPAのOffice of Pesticides Programsに登録しなければならない。このような登録のドラフトは、「化学的医療廃棄物処理製品登録のための効力データ開発指針 Efficacy Data Development Guidance for Registration of Chemical Medical Waste Treatment Products.」を標題としたテーマのもと、EPAのOffice of Pesticides and Toxic Substances, Office of Pesticides Programs, Registration Division, Antimicrobial Program Branchより作成された。方針は、現時点では公式に発表されていないが、EPAによる化学的医療廃棄物処理製品の登録に対する内部の方針として利用されている。

化学殺菌および機械的な破壊を必要とする、いくつかの医療廃棄物処理技術は、比較的多量の廃液を下水へ放出する。極端に量が多いと、下水処理システム側が、廃棄物の排出許可（例えば、National Pollutant Discharge Elimination Systemの廃棄物排出許可）に基づき要求される化学的廃棄物（負荷）量を効率的に処理する能力に影響を受ける。このため、医療廃棄物処理工程から出た廃液を下水処理システムに排出してよいかを決定するため、下水事業主への連絡を行わなければならない。下水事業主は、廃液を直接システムに廃棄するか、若しくは前処理が必要かどうかを決定するため、その廃液を化学的に確認することを要求できる。

作業員は、化学殺菌／機械的破碎システムに携わっているとき、化学試薬および空気伝達される微生物の両方に暴露される可能性がある事を考慮しなければならない。化学試薬との接触は、試薬が装置若しくは廃棄物に添加される場合のいずれか、或いは機械的な破壊工程の間に気化した結果起こり得る。また、空気伝達される微生物も破碎工程の間に放出される可能性がある。例えば、1992年に発表されたある研究では、運転中はシステム内にエアロゾルは発生しないと示されている過塩素酸ナトリウムに基づく化学的／機械的医療廃棄物処理システムの外部に、システムが陰圧下で稼働されていたにも拘わらず、滅菌指標細菌が存在していることが認められた（88）。

化学的／機械的破壊の医療廃棄物処理システムは、陰圧下で運転されなければならない、また、有害可能性のある化学物質および微生物の放出が発生していないことを保証するために試験が行われなければならない。医療廃棄物処理装置を購入する可能性のある人全てが、この試験結果を利用できなければならない。

化学殺菌に基づく他のバイオハザード廃棄物処理システムが、Medical Safe-TEC, Inc.によって開発された（Fig.

7)。このシステムは、廃棄物を過塩素酸ナトリウム溶液を用いて消毒し、ハンマーミルで機械的に破碎する事で廃棄物の原形を完全に破壊する。廃棄物はコンベア上に乗せられて feed hopper に運ばれ、1500 から 2000ppm の濃度の塩素系殺菌剤を噴霧され、preshredded、そして殺菌剤の存在下ハンマーミルにかけられる。工程の間、水と殺菌剤は、システムを通過して連続的に再循環され、必要なときは追加の殺菌剤が加えられる。破碎された廃棄物と殺菌剤から成るスラリーは、液体分離装置に導かれる。固形物は分離され、廃棄物収集カートに運ばれるが、廃棄物はそこでも残存殺菌剤と引き続き接触し続ける。一日の処理工程が終了した後、過塩素酸ナトリウムを中和するため、分離タンク内に硫酸水素ナトリウムが加えられる。およそ 560 - 750 L (150-200 gal) の排水は、カートリッジフィルターおよび活性炭ろ過システムを通過して下水システムに排出される。廃棄物は、処理された廃棄物の性質によって、体積として 2:1 から 8:1 に減少する。全ての工程は陰圧下で維持され、空気は HEPA フィルターを介して大気中に排出される (89, 90)。

マイクロ波技術

マイクロ波は、電波と赤外線間の周波数を持つ電磁波である。医療廃棄物の処理に応用される場合、微生物不活性化の機構は主に熱の効果によるものである。この工程では通例、2,450 MHz の電磁波を照射する。水分子の摩擦により生じた熱は、微生物の細胞内部の蛋白質を変性させ、その結果、不活性化の効果を得られる。マイクロ波技術は、大規模および小規模のいずれの医療廃棄物の処理にも用いられてきた。当初 1980 年代にヨーロッパで使用されていたがマイクロ波に基づく医療廃棄物の殺菌システムは、1990 年代に北アメリカで広く普及した。

先に述べたように、マイクロ波による医療廃棄物の殺菌は、熱に基づくタイプの工程である。熱および電磁波エネルギーの殺菌効果を比較した初期の研究では、不活性化は熱の効果にのみよるものであり、マイクロ波からは明白な効果はなかったと認められた (91)。この研究では、*Escherichia coli* および *Bacillus subtilis* を 2450 MHz のマイクロ波エネルギーに曝した。マイクロ波に暴露される時間をより長くするため、*E. coli* 懸濁液に種々の量の氷を加え、その間、温度を熱による不活性化が起こらない 20 - 51°C (68 - 125° F) に維持した。マイクロ波の照射時間が、50 秒、70 秒および 100 秒では微生物の不活性化に効果はなかったことから、細菌の不活性化は熱のみによる効果であると示された。

1979 年に発表された続きの研究では、1400 W、2,450 MHz のマイクロ波に照射された細菌の不活性化の機構は、水存在下の熱による効果であることが見出された (92)。細菌が、湿ったおよび乾燥した土の両方の条件で、直接、マイクロ波を照射すると両方の温度が上昇するが、細菌の不活性化は水の存在に依存することが確認された。土中の水の含量がゼロに近づくにつれマイクロ波の殺菌効果は著しく減少した。凍結乾燥 (フリーズドライ) された条件下、マイクロ波を照射した種々の細菌と 2 種のバクテリオファージは、乾燥状態では細胞の不活性化をもたらすのに十分な量のエネルギーを吸収しないことが観察された。

研究者たちは、熱による工程で滅菌するのに必要な温度より低い温度で短時間の滅菌サイクルを開発するため、マイクロ波の熱によらない致死的な効果を調べた (93)。乾燥させた *Bacillus subtilis* の芽胞は熱に非常に強いので、これを用いて試験を行った。芽胞を封入した 2 つのバイアルのうちの 1 つを、2450 MHz での最大出力が 4 kW の電子レンジ (マイクロ波オープン) に入れ、もう 1 つをオープン (対流式オープン) に入れた。

実験の間、電子レンジの温度はオープンのあとを追った。2 種のオープンの温度差はコンピューターの温度監視および測定システムにより 2°C 以下に制御した。暴露時間は、温度に関係なく、バイアルを対流式の乾熱オープンに置いてからの総時間と定義した。2 種のオープンの実温度は、107、117、130 および 137°C であった。10⁵ の芽胞を不活性化するための総暴露時間は、130°C で 75 分、137°C で 48 分であり、実験した温度範囲では、対流式オープンとマイクロ波オープン間に芽胞不活化能力に関する大きな相違は見られなかった。

1979 年の研究結果 (92) は、1991 年に発表された研究 (94) により再確認された。1400 W、2,450 MHz のマイク

ロ波エネルギーに 10 および 20 分間暴露したとき、 10^6 個/ml の濃度で水に懸濁させた *Bacillus subtilis* および *Bacillus stearothermophilus* の芽胞は完全に不活性化された (6-log 減少)。同芽胞を乾燥条件下で暴露すると完全な不活性化は観察されなかった。これらの結果より、この実験に使用された装置より高エネルギーの出力のマイクロ波システムを使用し、適量の水を工程の間に添加すれば、マイクロ波処理は感染性廃棄物の殺菌に用いることができるだろうと指摘された。

Sanitec Microwave Disinfection Unit は、マイクロ波技術を導入した商業的に利用できる処理システムの例である (Fig. 8)。廃棄物の容器は、油圧リフト装置により持ち上げられ、中身 (廃棄物) を装置上部に位置するホッパーの中に導入する。ロードしている間、内部の空気はチャンバーから HEPA フィルターを含む 3 段階のろ過システムを通過して排気される。ホッパー部分では、まず空気伝達される病原体を全て不活化するため、高温蒸気 (302°F) 処理が行われる。

次いで、回転するフィーダーアームが廃棄物をシュレッターの中に移動させる。シュレッドされた廃棄物は再度高温蒸気 (150°C) により処理され、チャンバー内を設定した運転温度に上昇させると共に、マイクロ波処理を強めるための十分な量の水分が与えられる。シュレッドされた廃棄物は、スクリーンを通過して、スクリーコンベアによりマイクロ波チャンバー内を移動する。一連のマイクロ波発生装置が、処理パラメーターを容易にし、処理時間は最低 95°C で 30 分間である。スクリーコンベアの動きにより攪拌が起これば廃棄物は均一に熱せられる。マイクロ波処理された廃棄物は二次シュレッターを通過して破砕され粒子径がさらに小さくなる。最終的に廃棄物は、出口のスクリーコンベアにより、dumpster 若しくは、廃棄のための他の廃棄物運搬容器に導入される。廃棄物の体積はおおよそ 80% 減少する (95)。

乾熱技術.

細菌の破壊機構が乾熱滅菌に基づくバイオハザード処理技術も普及している。乾熱の拡散および浸透は遅いので、乾熱滅菌は、より高い温度で蒸気滅菌に必要な時間より長時間処理しなければならない (96)。

Demolizer System は、乾熱技術を導入した卓上型の処理装置の例であり、小規模医療施設において標準の 110 V 電源で使用できるよう設計されている。処理される廃棄物は、同装置用に特別に設計された廃棄物容器に収集される。同容器を装置内に置いた後、廃棄物は、 $\sim 175^{\circ}\text{C}$ で 90 分間処理される。処理された廃棄物の入った使い捨ての容器を装置から取り出し、そのまま地域の規制により認められた一般用廃棄物と一緒に廃棄する。

電熱による非活性化.

電熱による非活性化 (ETD) は、Stericycle, Inc. がバイオハザード廃棄物を処理するため開発した技術である (98)。ETD は、医療廃棄物を熱し、殺菌するため 10 から 11 MHz の電波周波数での高電圧電場および 50,000 V/meter frequencies の電場力を必要とする a form of dielectric heat である。この工程では、物質は、熱を生み出す高周波数電磁放射線を吸収する。このような加熱は、マイクロ波 (300 から 30,000 MHz の周波数範囲) およびラジオ波電波 (5 から 100 MHz の範囲) のいずれによっても得られ、水のような極性分子を含む電気的に非伝導性の物質の処理に適している。本工程の間、電場の方向は、1 秒当たり何百万回と素早く変化する。電場におかれた極性分子 (例えば、非対称な電子構造を持つような分子) は、素早く回転しその変化と共に整列し、摩擦と同様熱が生じる。この加熱技術は、熱が物質の表面に働く対流式の加熱と対照的であり、物質内部からの熱伝導を利用している (99)。

Stericycle, Inc. は ETD 技術を自社が所有し運転する大規模な地域の処理センターで使用している。この工程では、廃棄物は、第一に最大寸法で平均約 4 から 8 インチの細片にシュレッドされ、水分含量 10 から 15% に達するまで水を噴霧され、平均密度約 400 kg/m^3 (25 lbs/ft^3) まで均一な大きさのポリエチレンプラスチック製専用容器中に圧縮導入される。大きさの均一性、水分含量および圧縮により、ETD の工程が効率的に行われる。シュレッド/

圧縮工程は、全ての排気空気をろ過するため HEPA フィルターシステムが設置された密閉空間中、陰圧下で行われる。次いで、専用容器は、ETD オープンへ運ばれる前に蓋を閉められ、オープン部分で、a high strength、高電圧電場および 50,000 V/m の電場力に曝される。本工程の中で、電気エネルギーは直接廃棄物に移行されることで極性分子は素早く回転して電場と同調し、その結果、廃棄物は、約 90°C (194° F) の温度まで素早く均一に加熱される。処理後、加熱された廃棄物の容器は、保温区域に積み重ねられ廃棄物を殺菌し続けるため最低 1 時間は保持される。加熱および保温時間の後、容器の蓋がはずされ廃棄物は棚に出される。処理残渣の一部はリサイクルに回され、また、製造主が Sterifuel と名付けたゴミ固形燃料の開発に利用される。石炭とほぼ等価の Btu 値を持つ Sterifuel は棚にまとめられセメントキルンで燃やされる。最終的な廃棄物残渣は埋め立てられる (99)。

プラズマアーク技術

プラズマという言葉は、大気圧で電氣的に生成された放電と定義され、3,871 から 11,648°C (7000 から 21,000° F) の幅の温度を生み出す。プラズマを利用した廃棄物処理工程において、ガス中に電流を流すことによりガスをイオン化してプラズマ様状態にするために電気が用いられる。イオン化されたガスは電流を生じ、陽極と陰極の間に電弧を生じる。加熱されたガスは、それから廃棄物処理チャンバーに導入され廃棄物を分解する。医療廃棄物の処理に適用されるようになったのは最近であるが、プラズマ加熱システムは、過去 30 年の間、金属鉱石の溶解、金属の精製、curing や溶接および金属やセラミック生産を含むいくつかの他の産業に適用されている (100)。

医療廃棄物処理に用いられるプラズマアーク技術の例として、Plasma Energy Applied Technology (PEAT) (Fig.9) がある。PEAT の Thermal Destruction and Recovery (TDR) System は 6 つの主要な構成要素から成る：(1) 廃棄物を取扱う feed システム；(2) プラズマ加熱システム；(3) 処理チャンバー (炉)；(4) スラグ収集システム；(5) ガス放出物処理システム；(6) データ取得および工程制御システム。工程の中で、ガス中に電流を流すことにより、ガスをイオン化しプラズマ様状態にするために電気が用いられる。イオン化されたガスは電流を生じ、陽極と陰極の間に電弧を生じる。過熱されたガスは、廃棄物処理チャンバーに導入され、廃棄物を分解/ガラス状にする。廃棄物は、オーガー押し出しシステムによりチャンバーに供給される。処理チャンバーに供給されたガスは、初期温度が 6,648°C (12,000° F) である。医療廃棄物を処理している間のチャンバーの温度は、およそ 1,371 から 1,760°C (2,500 から 3,200° F) である。廃棄物は本工程によって滅菌され、ガラス状の固まり若しくはスラグ、鉄を含む金属およびガスに減量される。有機成分は、主として 2 原子の水素と一酸化炭素より構成されるガスに分解される。排ガスは、およそ 982°C (1800° F) の温度でチャンバーから出ていき、素早く捕捉され、次いでスクラパーを通過して主として水素 (40 から 50%) および一酸化炭素 (30 から 35%) より構成される清潔なガスを生成する。排ガスは flare 若しくは蒸気ボイラー中で燃焼され、放出スタックを介して大気中に排出される。無機成分は、リサイクルできる鉄を含む合金および廃棄物中に存在する重金属を結合したケイ素ベースのガラス状のスラグに溶解される。スラグに結合した重金属は、リサイクル若しくは埋め立て地に廃棄された時、環境中への漏出が防がれる。

PEAT のプラズマ加熱システムは、サイズが 90 kW から 5 MW の幅があり、TDR System のサイズと廃棄物の処理能力を変えることができ商業的に利用可能である。例えば、500 kW のプラズマアークトーチシステムは、およそ 1 時間当たり 0.5 トンの廃棄物を処理するのに利用できると思われる。2 MW のプラズマアークトーチは、1 日当たり 45 トンの廃棄物まで処理でき、この量は地域の処理センターとして使用するのに十分であろう (101)。

電子ビーム滅菌

電子ビーム滅菌には、電子加速器により発生された高エネルギー電子に医療廃棄物を暴露する工程を含む。電子が処理される物質の中に入ると反応性の高い分子を生成し、それが生存細胞内の核酸を攻撃し、細胞壁を破壊する。工程の中で、少量のオゾンおよび過酸化水素も生成されそれらがさらに不活性化の効果に加わる (102)。この技術は過

去 20 年間、インプラント器具、薬剤、医療器具および他の医療必需品のようなものに対する医療滅菌器として用いられてきた。ごく最近、この技術は医療廃棄物の処理にも利用されるようになってきた。

バイオハザード廃棄物の処理に電子ビーム技術を用いるシステムを、Nutek Corporation が提供する (Fig. 10)。このシステムでは、まず、箱若しくはドラム缶に収集された廃棄物の重さを量り、それから、廃棄物を電子ビームスキャン処理するための遮へいされた処理区域に運ぶコンベア上に乗せる。処理には通常 1 から 3 分が必要である。工程の間、効率的な廃棄物の処理を保証するためビームの強さも制御されている。効率的な処理にはおよそ 1 メガガロンの線量が必要である。処理工程は、ビーム線量率、電子の物質内分布および吸収された電子量を監視するオンライン電子線量計により連続的に監視されている (103)。

コバルト 60 照射

γ線照射システムは、1960 年代初めに種々の医療製品、薬品、製剤および移植組織の滅菌のために用いられていた (104)。微生物は、γ線照射により不活性化される。照射により生物内部の水分子は加水分解され、中間の加水分解産物が生成され、その結果完全な不活性化が起こる。放射線量は、高い信頼性をもって計算されることが可能であり、それによって処理工程を確実に予測できる。

この技術は、1990 年初期、米国の企業によりバイオハザード廃棄物処理に適用されていたが、その企業は後に種々の処理技術に対するγ線照射を断念した。現在では運転されているシステムはないが、Nordion International of Kanata, Ontario, Canada が、将来バイオハザード廃棄物処理に利用しうるシステムデザインを提案している。Nordion のシステムは、いくつかの病院による大規模な使用 (例えば、1 日当たり 5 トン以上) に対して最も経済的であり独立した施設のためにおよそ 1.5 から 2 エーカーの土地が必要となる。

Nordion Corporation が提案した工程は、4 つの主要な構成要素から成る：(1) 照射源の貯蔵プールを含む照射チャンバー；(2) 制御および安全サブシステムを含む廃棄物の取扱い装置；(3) 照射源移動装置を含むコバルト 60 γ線照射源；(4) 処理された廃棄物の取扱い区域、特に廃棄物のシュレッダー／圧縮機／梱包装置よりなる。照射チャンバーの目的は、照射源およびバイオハザード廃棄物への照射を行う際安全な遮へいを提供することである。照射チャンバーは、通例、およそ縦 7.3 m x 横 7.3 m x 高さ 3・6 m (24 ft x 24 ft x 10・20 ft)、壁の厚さがおよそ 6 フィートのコンクリート製の空間である。照射チャンバーの内部には、使用していないときにコバルト 60 を貯蔵するための、通例、深さ 6・9 m (20・30 ft) の水で満たしたプールがある。貯蔵中のコバルト 60 により発せられるエネルギーは熱に変換され、プールは熱交換機／冷却装置により冷却される。コバルト 60 のγ線照射源は、通例、幅 2・3 m x 高さ 2・4 m x 厚さ 2.5 cm (7・10 ft x 7・16 ft x ft 1 in.) の垂直のステンレス製の枠から構成されている。そこには、ステンレス製で長さ 45 cm x 直径 1 cm (18 x 0.4 in.) の大きさの封をされた照射源が入っており、それぞれに量を測定されている放射活性のコバルト 60 が封入されている。廃棄物処理の間、コバルト 60 はプールからチャンバーに引き上げられ、廃棄物は取扱い装置によりあらかじめ決められたように照射源の周りに運ばれる。滅菌に続いて、廃棄物はシュレドされ、圧縮され、埋め立て地に廃棄するため梱包される。製造主は、コバルト 60 は、天然に存在するコバルト 59 から産生された放射性同位体であり産業および医療の要求事項を満たす必要が生じる。コバルト 60 の半減期は 5 年で、崩壊して安定なニッケル 60 になり原子力若しくは核兵器プログラムの副産物や廃棄物を与えない。

BIBLIOGRAPHY

1. U.S. Environmental Protection Agency, 40 *CFR* Parts 22 and 259, *Fed. Reg.* **54**(56), 12326–12395 (Mar. 24, 1989).
2. A. Shockley, Ohio Environmental Protection Agency, Columbus, OH, personal communication, Sept. 1996.
3. H. G. Griebble, T. J. Bird, H. M. Nidea, and C. A. Miller, *J. Infect. Dis.*, **130**(6), 602–607 (Dec. 1974).
4. J. T. Jacobson, J. P. Burke, and M. T. Conti, *Inf. Control*, **4**(2), 100–102 (1983).
5. A. S. Benenson, ed., *Control of Communicable Diseases Manual*, 16th ed., American Public Health Association, 1995.
6. U.S. Dept. of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Public Health Service, *The Public Health Implications of Medical Waste: A Report to Congress*, Atlanta, Ga., 1990.
7. M. Peterson, *The Occurrence and Survival of Viruses in Municipal Solid Waste*, Ph.D. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, Mich., 1972.
8. J. Donnelly, P. Scarpino, and D. Brunner, "Recovery of Fecal Indicator and Pathogenic Microbes from Landfill Leachate," in: *Land Disposal: Municipal Solid Waste*, EPA-600/9-81-002a, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 1981, pp. 37–54.
9. G. A. Gellin and Z. R. Mitchell, *Arch. Environ. Health*, **20**, 510–515 (1970).
10. J. A. Cimino, *Am. J. Public Health* **65**(1), 38–46 (Jan. 1975).
11. J. A. Cimino, and R. Mamtani, *J. Environ. Health* **50**(1), 8–12 (Jul/Aug. 1987).
12. C. Clark, G. Van Meer, A. Bjornsen, C. Linneman, G. Schiff, and P. Gartside, *Incidence of Viral Infections Among Waste Collection Workers*, University of Cincinnati Medical Center, Institute of Environmental Health Kettering Laboratory, Cincinnati, Ohio, Jan. 19, 1979.
13. W. L. Turnberg, and F. Frost, *Am. J. Public Health* **80**(10), 1262–1264 (1990).
14. National Institute for Occupational Safety and Health, *Residential Waste Collection: Hazard Recognition and Prevention*, U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control, Atlanta, Ga., Mar. 1982.
15. Oregon Health Division, *Recommendations for Preventing Disease Transmission while Handling Solid Waste in Oregon*, Oregon Dept. of Human Resources, Sept. 1988.
16. R. Englebrecht, M. Weber, P. Amirhor, D. Foster, and D. La Rossa, in *Virus Survival in Water and Waste Water Systems*, J. F. Malina and B. P. Sagick, eds., Water Resources Symposium No. 7, Center for Research in Water Resources, University of Texas, Austin, Tex., 1974, pp. 201–217.
17. F. Donnelly, and P. Scarpino, *Isolation, Characterization and Identification of Microorganisms from Laboratory and Full-Scale Landfills*, EPA-600/2-84-119, PB84-212 737, Environmental Protection Agency, Washington, D.C., July 1984.
18. R. Cooper, S. Klein, C. Leong, J. Potter, and C. Golneke, SERL Report No. 74-3, Sanitary Engineering Research Laboratory, College of Engineering and School of Public Health, University of California, Berkeley, Calif., 1974, p. 93.
19. R. Cooper, J. Potter, and C. Leong, in J. F. Malina and B. P. Sagick, eds., *Virus Survival in Water and Waste Water Systems*, Water Resources Symposium No. 7, Center for Research in Water Resources, University of Texas, Austin, Tex., 1974, pp. 213–232.
20. M. Sobsey, *Am. J. Public Health* **68**(9), 858–863 (1978).
21. S. Ware, *A Survey of Pathogen Survival During Municipal Solid Waste and Manure Treatment Processes*, EPA-600/8-80-034, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, Aug. 1980.
22. U.S. Environmental Protection Agency, 40 *CFR* Part 258, "Municipal Solid Waste Landfill Standards," *Fed. Reg.* (Oct. 9, 1991).
23. R. M. Pike, *Ann. Rev. Microbiol.* **33**, 41–66 (1979).
24. G. Ducel, J. Pitteloud, M. Rufener-Press, M. Bly, and P. Rey, *Sozial und Preventivmedizin* **21**, 136–138 (1976).
25. D. Fiscus, P. Gorman, M. Schrag, and L. Shannon, *Assessment of Bacteria and Virus Emissions at a Refuse Derived Fuel Plant and Other Waste Handling Facilities*, EPA-600/2-78-152, Environmental Protection Agency, Washington, D.C., Aug. 1978.
26. U.S. Environmental Protection Agency, *First Interim Report to Congress—Medical Waste Management in the United States*, EPA/530-SW-90-051A, Washington, D.C., May 1989.
27. U.S. Environmental Protection Agency, *EPA Guide for Infectious Waste Management*, EPA/530-SW-86-014, Washington, D.C., May 1986.
28. J. S. Garner, and M. S. Favero, *Guideline for Handwashing and Hospital Environmental Control, 1985*, HHS publication No. 99-1117, Public Health Service, Centers for Disease Control, Atlanta, Ga., 1985.
29. W. L. Turnberg, "A Characterization of Infectious Waste Issues as Experienced by Local Environmental Health Jurisdictions in Washington State," in *Washington State Infectious Project: Report to the Legislature, Attachment 5*, Washington Dept. of Ecology, #89-62, Dec. 1989.
30. R. J. McCunney, *Am. J. Indust. Med.* **9**, 272–279 (1986).
31. R. Iftimovici, V. Iacobescu, Y. Copelovici, A. Dinga, L. Iordan, R. Niculescu, L. Teleguta, and M. Chelaru, *Revue Roumaine De Medicine—Virologie* **31**(3), 187–189 (1980).
32. P. Skinhoj, F. B. Hollinger, K. Hovind-Hougen, and P. Lous, *Arch. Env. Health* **36**(3), 139–143 (1981).
33. M. L. Tiku, K. R. Beutner, R. I. Ramirez, J. L. Dienstag, M. A. Sultz, and P. L. Ogra, *J. Infect. Dis.* **134**, 342–347 (1976).
34. M. V. Villarejos, K. A. Visona, A. Gutierrez, and A. Rodriguez, *N. Engl. J. Med.* **291**, 1375–1378 (1974).
35. Memorandum from S. P. Allbee, Acting Director of the Municipal Construction Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1988.
36. Centers for Disease Control, *MMWR* **36**(2S), 1S–18S (Aug. 21, 1987).
37. J. S. Slade, E. B. Pike, R. P. Eglin, J. S. Colbourne, and J. B. Kurtz, *Water Sci. Technol.* **21**(3), 55–59 (1989).
38. D. R. Preston, S. R. Farrah, G. Bitton, and G. R. Chaudhry, *J. Virol. Methods* **33**, 383–390 (1991).
39. L. W. Casson, C. A. Sorber, R. H. Palmer, A. Enrico, and P. Gupta, *Water Environ. Res.* **64**(3), 213–215 (1992).
40. B. E. Moore, *Appl. Environ. Microbiol.* **59**(5), 1437–1443 (1993).
41. R. C. Knudsen, Chief, Biological Safety, Office of Health and Safety, Centers for Disease Control and Prevention, personal communication, Jan. 25, 1995.
42. *Fed. Reg.* **55**(42), 7678–7682 (Mar. 2, 1990).
43. M. G. Malloy, *Waste Age*, **26**(6), 49–62 (1995).
44. J. S. Garner and B. P. Simmons, *CDC Guidelines for Isolation Precautions in Hospitals*, U.S. Dept. of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, Atlanta, Ga., HHS Publication No. (CDC) 83-8314, July 1983.
45. Centers for Disease Control, *MMWR* **38**(S-6), 111–155 (June 23, 1989).
46. U.S. Dept. of Health and Human Services, *Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories*, 3rd ed., Public Health Service, Centers for Disease Control and National Institutes of Health, HHS Publication No. (CDC) 93-8395, May 1993.
47. Joint Commission on Accreditation of Health Care Organizations, *Joint Commission Customer Service Directory—Blue Book*, JCAHO, Chicago, Ill., 1994.
48. Joint Commission on Accreditation of Health Care Organizations, *Accreditation Manual for Hospitals*, Chicago, Ill., 1995.

49. J. Brown, *Reg. Anal.* **1**(10), 1-8 (July 1993).
50. M. J. Connelly, *Med. Waste Anal.* **2**(10), 1-7 (July 1994).
51. J. Paprock, *The MHA Recycling & Conservation Guide*, Minnesota Hospital Association, Minneapolis, Mn., fourth printing (1991).
52. U.S. Congress, Office of Technology Assessment, *Finding the Rx for Managing Medical Wastes*, OTA-O-459, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., Sept. 1990.
53. A. N. Lorenzen, and D. J. Itkin, *Am. J. Infect. Control* **20**(6), 326-329 (Dec. 1992).
54. P. N. Catania and M. M. Rosner, eds., *Home Health Care Practice*, 2nd ed., Health Markets Research, Palo Alto, Calif., 1994.
55. M. C. White, and W. A. Smith, *Am. J. Infect. Control* **21**(3), 146-150 (June 1993).
56. D. W. Satterfield, J. Kling, and D. L. Gallina, *Diabetes* **39** (Suppl. 1), 51A (1990).
57. A. Swislocki, D. Cram, R. Noth, L. Dowdell, J. Lamothe, and G. Ogi, *Diabetes Care* **14**, 930-932 (Oct. 1991).
58. W. L. Turnberg and L. D. Lowen, *Diabetes Educat.* **20**(6), 489-492 (Nov./Dec. 1994).
59. D. W. Toews, *Am. J. Public Health* **85**(10), 1447-1448 (Oct. 1995).
60. W. A. Rutala, R. L. Odette, and G. P. Samsa, *JAMA* **262**(12), 1635-1640 (Sept. 1989).
61. U.S. Environmental Protection Agency, *Guides to Pollution Prevention: Selected Hospital Waste Streams*, EPA/625/7-90/009, Washington, D.C., June 1990.
62. R. Emery, J. Marcus, and D. Sprau, *Health Phys.* **62**(2), 183-185 (Feb. 1992).
63. F. Hasselriis, and L. Constantine, "Characterization of Today's Medical Waste," in A. E. S. Green, ed., *Medical Waste Incineration and Pollution Prevention*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
64. J. D. Lauber, "New Perspectives on Toxic Emissions from Hospital Incinerators," Presented at the *New York State Legislative Commission on Solid Waste Management Conference on Solid Waste Management and Materials Policy*, New York, Feb. 12, 1987.
65. New York City Health and Hospitals Corporation, *The New York City Medical Waste Management Study Final Report, Identification and Evaluation of Waste Management Techniques and Treatment and Disposal Options*, Vol. 5: Task 3 Report, Prepared by Waste-Tech Waste Energy Technologies, Inc. and Konheim and Ketcham, Inc., June 1991.
66. U.S. Environmental Protection Agency, *Fed. Reg.* **60**, 10654 (Feb. 27, 1995).
67. U.S. Environmental Protection Agency, *Fed. Reg.* **61**(120), 31736-31779 (June 20, 1996).
68. California Air Resources Board, *Survey of Medical Waste Incinerators and Emissions Control*, Prepared by Energy and Environmental Research Corporation, Contract No. A832-155, Sacramento, Calif., Jan. 1992.
69. California Air Resources Board, *Technical Support Document to Proposed Dioxins Control Measure for Medical Waste Incinerators*, Sacramento, Calif., 1990.
70. G. A. Brinckman, "The Control of Particulate Matter, Acid Gas, and Heavy Metals Emissions from Medical Waste Incinerators," *Proceedings of the Thermal Treatment of Radioactive, Hazardous, Chemical, Mixed, Energetic, Chemical Weapon, and Medical Wastes*, Incineration Conference, Knoxville, Tenn., May 3-7, 1993.
71. A. E. S. Green, ed., "The Future of Medical Waste Incineration," in *Medical Waste Incineration and Pollution Prevention*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
72. F. Hasselriis, "Relationship Between Input and Output," in A. E. S. Green ed., *Medical Waste Incineration and Pollution Prevention*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
73. D. D. Wallace "Assessment of the Effects of Incinerator Operating Parameters on Emissions from Medical Waste Incinerators," *Proceedings of the Thermal Treatment of Radioactive, Hazardous, Chemical, Mixed and Medical Wastes*, Incineration Conference, Albuquerque, N.M., May 11-15, 1992.
74. M. G. Dennis and A. R. Borowsky, "Controlling Emissions from Medical Waste Incinerators," *Proceedings of the Thermal Treatment of Radioactive, Hazardous, Chemical, Mixed and Medical Wastes*, Incineration Conference, Albuquerque, N.M., May 11-15, 1992.
75. Minnesota Pollution Control Agency, *Ash Characterization, Handling, and Disposal, Mayo Foundation Incinerator—Technical Work Paper 6*, prepared by Camp Dresser & McKee, Inc., Rochester, Minn., 1991.
76. J. D. Brady, "Fate of Tritium, Carbon¹⁴, and Iodine¹³¹ in Wet Scrubber Air Pollution Control Systems on Chemical and Medical Waste Incinerators," *Proceedings of the Thermal Treatment of Radioactive, Hazardous, Chemical, Mixed and Medical Wastes*, Incineration Conference, Albuquerque, N.M., May 11-15, 1992.
77. R. J. Allen, G. R. Brenniman, R. R. Logue, and V. A. Strand, *J. Air Waste Man. Assoc.* **39**, 164-168 (1989).
78. J. I. Blenkharn, and D. Oakland, *J. Hosp. Infect.* **14**, 73-78 (1989).
79. R. R. Segall, *J. Air Waste Man. Assoc.* **41**(11), 1454-1460 (1991).
80. Minnesota Pollution Control Agency, *Air Quality Emissions and Deposition, Mayo Foundation Incinerator—Technical Work Paper 4*, prepared by Camp Dresser & McKee, Inc., Rochester, Minn., 1991.
81. M. L. Peterson, and F. J. Stutzenberger, *Appl. Microbiol.* **18**(1), 8-13 (July 1969).
82. M. L. Peterson, *Pathogens Associated with Solid Waste Processing, SW-49r*, Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1971.
83. F. Hasselriis, "Ash Disposal," in A. E. S. Green, ed., *Medical Waste Incineration and Pollution Prevention*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
84. J. J. Perkins, *Principles and Methods of Sterilization in Health Services*, Charles C Thomas, Publisher, Springfield, IL, 2nd ed., 1976.
85. P. H. Everall, and C. A. Morris, *J. Clin. Pathol.* **29**, 1132 (July 1976).
86. H. B. Kostenbauder, in S. S. Block, ed., *Disinfection, Sterilization and Preservation*, 3rd ed., Lea and Febiger, Philadelphia, Pa., 1983, pp. 811-828.
87. M. Wingfield, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Pesticides and Toxic Substances, Office of Pesticide Programs, Registration Division, Antimicrobial Program Branch, personal communication, Sept. 1996.
88. L. P. Jette and S. Lapierre, *Infect. Control. Hosp. Epidemiol.* **13**(7), 387-393 (1992).
89. A. DiDomenico, "Inactivation of Pathogenic Microorganisms in Infectious Medical Waste: A Literature Review of Current On-Site Treatment Technologies," A nonthesis paper—Master of Science in Civil Engineering, University of Washington, Seattle, Wash., 1992.
90. G. A. Denys, "Microbiological Evaluation of the Medical Safe TEC Mechanical/Chemical Infectious Waste Disposal System," Presented at the *89th Annual Meeting of the American Society for Microbiology*, New Orleans, La., 1989.
91. S. A. Goldblith and D. I. Wang, *Appl. Microbiol.* **16**(6), 1371-1375 (1967).

92. G. R. Vela and J. F. Wu, *Appl. Environ. Microbiol.* **37**(3), 550–553 (1979).
93. D. K. H. Jeng, K. A. Caczmarek, A. G. Woodworth, and G. Balasky, *Appl. Environ. Microbiol.* **53**(9), 2133–2137 (1987).
94. L. Najdovski, A. Z. Dragas, and V. Kotnik, *J. Hosp. Infect.* **19**, 239–247 (1991).
95. M. Taitz, Sanitec, Inc., West Caldwell, N.J., personal communication, Sept. 1995.
96. L. J. Joslyn, in S. S. Block, ed., *Disinfection, Sterilization, and Preservation*, 4th ed., Lea & Febiger, Philadelphia, Pa., 1991, pp. 513–515.
97. J. Bricken, DOCC, Inc., New York, personal communication, Sept. 1995.
98. Stericycle, Inc. Product Information, Deerfield, Ill., 1993.
99. L. Lee, Vice President, Regulatory Affairs, Stericycle, Inc., Deerfield, Ill., personal communication, Sept. 1995.
100. M. D. Springer, "Destruction of Medical Waste using Plasma Energy," *Proceedings of the Thermal Treatment of Radioactive, Hazardous Chemical, Mixed and Medical Wastes*, Incineration Conference, Albuquerque, N.M., May 11–15, 1992.
101. R. D. Dupree, Jr., Director of Marketing and Sales, Plasma Energy Applied Technology, Huntsville, Ala., personal communication, Sept. 1995.
102. A. A. Ormsby, *Med. Waste Anal.* 13–14 (Jan. 1994).
103. E. Joehnk, President, Nutek Corp., Palo Alto, Calif., personal communication, Aug. 1995.
104. J. F. Swinwood, *Waste Treatment Applications*, Nordion International Inc., Kanata, Ontario, Canada, personal communication, Dec. 1994.

Table 1. Estimated U.S. Medical Facilities and Annual Waste Generated^a

Generator Category	Number of Facilities	Annual Infectious Waste Generated, t	Annual Total Waste Generated, t
Hospitals	7,000	360,000	2,400,000
Laboratories			
Medical	4,900	17,600	117,500
Research	2,300	8,300	55,500
<i>Total</i>	<i>7,200</i>	<i>25,900</i>	<i>173,000</i>
Clinics (Outpatient)	41,300	26,300	175,000
Physicians' offices	180,000	35,200	235,000
Dentists' offices	98,000	8,700	58,000
Veterinarians	38,000	4,600	31,000
Long-term care facilities			
Nursing homes	18,800	29,700	198,000
Residential care	23,900	1,400	9,000
<i>Total</i>	<i>42,700</i>	<i>31,100</i>	<i>207,000</i>
Free-standing blood banks	900	4,900	33,000
Funeral homes	21,000	900	6,000
Health units in industry	22,1700	1,400	9,000
Fire and rescue	7,200	1,600	11,000
Corrections	4,300	3,300	22,000
Police	13,100	>100	>1,000
<i>Total</i>	<i>682,400</i>	<i>504,000</i>	<i>3,361,000</i>

^a Courtesy of the U.S. Environmental Protection Agency, EPA-453/R-94-042a.

Table 2. Longitudinal Studies of the Potential for HIV Transmission in the Health Care Workplace^a

Author Reference ^a	Number of Percutaneous Exposures	Personnel Experiencing Percutaneous Exposures	Number, Sero-Converting (% per Exposure)	Number of Mucous Membrane Exposures	Personnel Experiencing Membrane Exposures	Number, Sero-Converting (% per Exposure)
Marcus	582	582	3 (0.52)	38	38	0 (0)
Gerberding	224	180	1 (0.45)	401	168	0 (0)
Henderson	126	108	0 (0)	337	234	0 (0)
Elmslie	115	115	0 (0)	24	24	0 (0)
Kuhls	52	45	0 (0)	81	34	0 (0)
McEvoy	76	76	0 (0)	24	24	0 (0)
Ramsay	31	31	1 (3.23)	13	13	0 (0)
Wormser	48	48	0 (0)	3	3	0 (0)
Hernandez	58	58	0 (0)			
Pizzocolo	77	77	0 (0)			
<i>Totals</i>	<i>1,389</i>	<i>1,320</i>	<i>5 (0.36)</i>	<i>921</i>	<i>538</i>	<i>0 (0)</i>

^a Reprinted with permission (Churchill Livingstone, Inc.).

Table 3. Estimated Annual Range of Medical Waste-Related Injuries from Sharps to Nonhospital and Hospital Employees^a

Subgroup	Nonhospital Employees		Hospital Employees	
	Employee Number	Injury Range	Employee Number	Injury Range
Physicians	642,100	500-1,700		
Physicians/dentists/interns			131,000	100-400
Registered nurses	1,542,300	17,800-32,500	841,400	9,800-17,900
Licensed practical nurses	723,000	10,200-15,400	201,200	2,800-4,300
Emergency medical personnel ^a	400,000	12,000		
Laboratory workers			250,200	800-7,500
Janitorial/laundry workers			281,500	11,700-45,300
Hospital engineers ^b			198,100	12,200
Veterinarians	63,300	50-200		
Animal technicians	10,000	400-1,600		
Dentists	126,000	100-300		
Dental assistants	181,000	2,600-3,900		
Refuse workers	200,000	500-7,300		

^a Ref. 6.

^b Only one injury rate was reported in the scientific literature.

Table 4. Probability Parameters To Calculate a Theoretical Infectious Disease Transmission Rate as a Result of Injuries from Sharps^a

	Prevalence of Sharp Contamination	Sero-Conversion Rate	Clinical Disease Rate
Hepatitis B Virus ^b	0.01	0.2 ^b	0.50
HIV (inside hospitals)	0.003-0.02 ^c	0.0036 ^d	1.0 ^c
HIV (outside hospitals)	0.008 ^c	0.0036 ^d	1.0 ^c

^a Ref. 6.

^b Courtesy of The Franklin Press.

^c Courtesy of the Center for Infectious Diseases.

^d Courtesy of Churchill Livingstone.

Table 5. Theoretical Estimate of the Annual Number of HBV Infections and Hepatitis B Disease in Nonhospital and Hospital Employees as a Result of Medical Waste-Related Injuries from Sharps^a

	Nonhospital Employees		Hospital Employees	
	HBV Infections	Hepatitis B Cases	HBV Infections	Hepatitis B Cases
Physicians	1-3	<1-2	<1	<1
Physicians/dentists/interns			<1	<1
Registered nurses	36-65	18-33	20-36	10-18
Licensed practical nurses	20-31	10-15	6-9	3-4
Emergency medical personnel ^b	24	12		
Laboratory workers			2-15	1-8
Janitorial/laundry workers			23-91	12-45
Hospital engineers ^b			24	12
Dentists	<1	<1		
Dental assistants	5-8	3-4		
Refuse workers	1-15	<1-7		

^a Ref. 6. Example calculation: janitorial/laundry workers: $11,700 \times 0.01 \times 0.2 = 23.4$ HBV infections annually $23.4 \times 0.50 = 11.7$ hepatitis B cases annually. Round to the nearest whole number = 12.

^b Only one rate was available.

Table 6. Estimate of the Annual Number of HIV Infections in Hospital Employees as a Result of Medical Waste-Related Injuries from Sharps^a

Subgroup	Number of HIV Infections Based on Health Care Worker Sero-Conversion Rate of 0.36% and Patient Sero-Prevalence Rate of:		
	0.3% ^b	0.8% ^c	2.0% ^d
Physicians/dentists/interns	<1	<1	<1
Registered nurses	<1	<1	<1-1
Licensed practical nurses	<1	<1	<1
Laboratory workers	<1	<1-1	<1-3
Hospital engineers	<1	<1	<1

^a Ref. 6. Assuming an HIV clinical disease rate of 100%, the estimated annual number of AIDS cases as a result of medical waste-related injuries from sharps would be equivalent to the estimated number of HIV infections. Example calculation: janitorial/laundry workers: $11,700 \times 0.02 \times 0.0036 = 0.84$ HIV infections annually.

^b The lower (25th percentile) sero-prevalence rate determined by the 32 sentinel hospitals surveyed by the Centers for Disease Control.

^c The crude median sero-prevalence rate determined by the 32 sentinel hospitals surveyed by the Centers for Disease Control.

^d The upper (75th percentile) sero-prevalence rate determined by the 32 sentinel hospitals surveyed by the Centers for Disease Control.

Table 7. Number and Percentage of Agencies Performing Certain Procedures Among 58 Home Health Care Agencies in Northern California, 1991^a

Procedure	Perform Procedure	
	Number	Percent
Urinary drainage		
Condom catheter	55	94.8
Intermittent catheter	55	94.8
Indwelling Foley catheter	55	94.8
Indwelling surrapubic catheter	47	81.0
Home enteral therapy		
Nasogastric or other enteral tube	57	98.3
Airway and pulmonary		
Tracheostomy care	52	89.7
Suctioning	54	93.1
Respiratory therapy	36	62.1
Wound and stomal care		
Dressing changes	56	96.6
Decubitus care	55	94.8
Enterostomal care	54	93.1
Parenteral therapy		
Insertion, peripheral	46	79.3
Insertion, central	18	31.0
Site care, peripheral	55	94.8
Site care, central	54	93.1
Infusion pump management	54	93.1
Hyperalimentation	48	82.8
Medications	54	93.1
Home peritoneal dialysis	8	13.8

^a Reprinted with permission (Mosby Year Book Inc.).

Table 8. Chances in a Million of Developing Cancer Following Lifetime Exposure to Medical Waste Incinerator Emissions^a

Type of Facility	Tons/Day	Total Risk
Regional	48	1.5
Regional	165	0.14
Regional	330	0.22
Co-incineration	2250	0.14
On-site	4	4.8
On-site	13.6	15.4

^a Ref. 65.

Table 9. Recommended Biological Indicators^a

Vegetative bacteria	<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 6538)
Fungi	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 15442)
	<i>Candida albicans</i> (ATCC 18804)
	<i>Penicillium chrysogenum</i> (ATCC 24791)
Viruses	<i>Aspergillus niger</i>
	Polio 2, Polio 3
Parasites	MS-2 Bacteriophage (ATCC 15597-B1)
	<i>Cryptosporidium</i> spp. oocysts
Mycobacteria	<i>Giardia</i> spp. cysts
	<i>Mycobacterium terrae</i>
	<i>Mycobacterium phlei</i>
Bacterial spores	<i>Mycobacterium bovis</i> (BCG) (ATCC 35743)
	<i>Bacillus stearothermophilus</i> (ATCC 7953)
	<i>Bacillus subtilis</i> (ATCC 19659)

^a Courtesy of State Regulatory Oversight of Medical Waste Treatment Technologies.

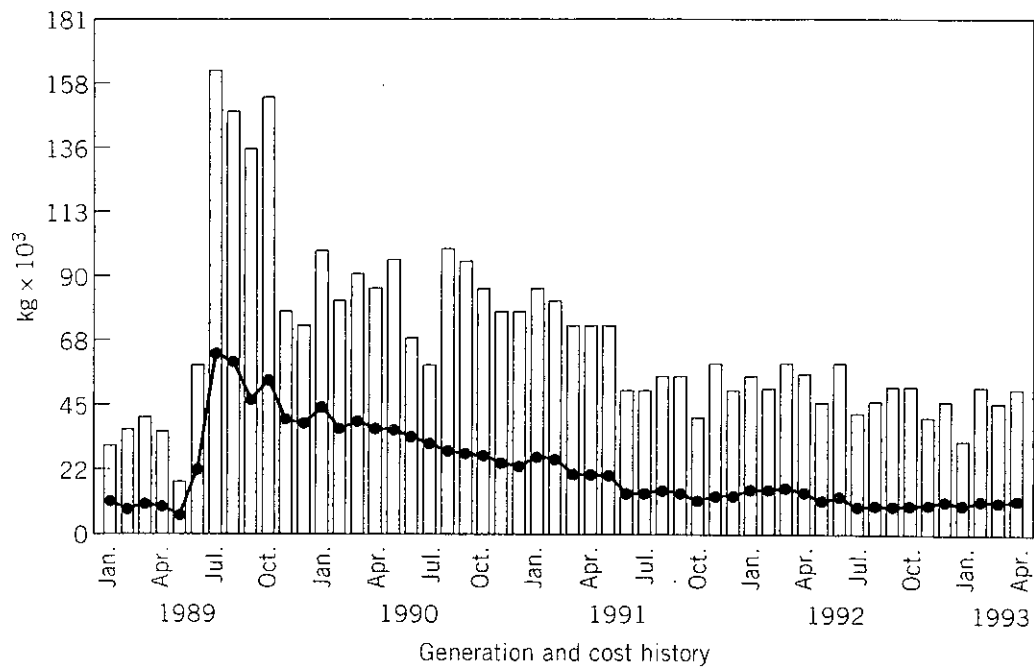


Figure 1. Beth Israel Medical Center regulated medical waste. Reprinted with permission (Technomic Publishing Co).

AVOID INJURY FROM NEEDLES! BE SURE SAFE WITH SYRINGES!

WARNING: SYRINGES

DO NOT RECYCLE

Keep out of the reach of children!

STICKER: Remove paper backing from sticker. Apply to an empty two liter plastic pop bottle.

STORE: Carefully put each of your used syringes into the bottle.

SEAL: Put tape over the closed bottle cap when bottle is full.

DISPOSE: Dispose of the bottle in your household trash.

Contact your local environmental health office for regional restrictions on this disposal option.

Figure 2. Warning label for syringe containment.

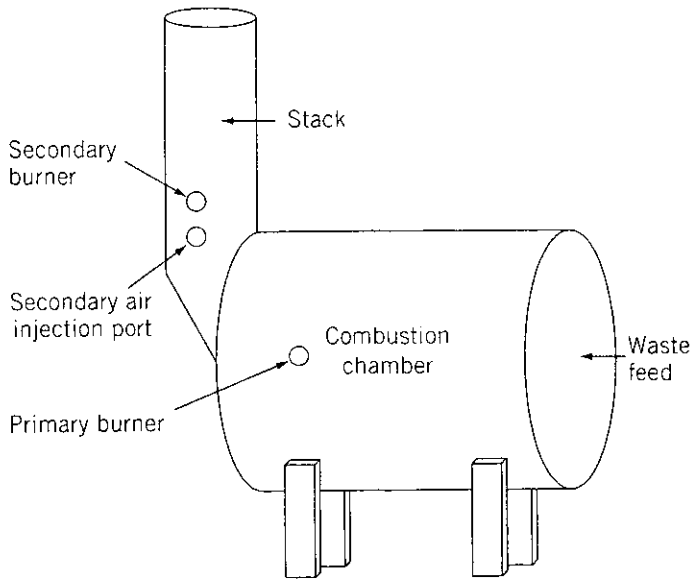


Figure 3. Modular excess air (batch) incinerator (68).

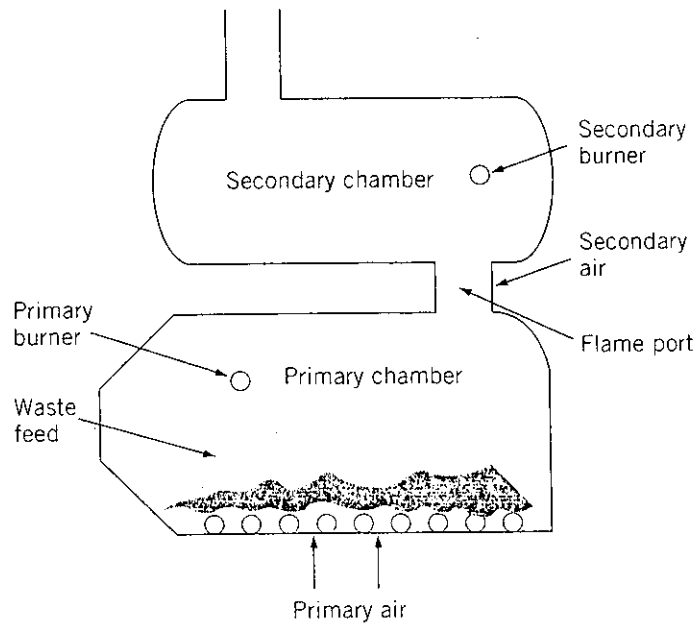


Figure 4. Dual-chamber, starved-air incinerator (68).

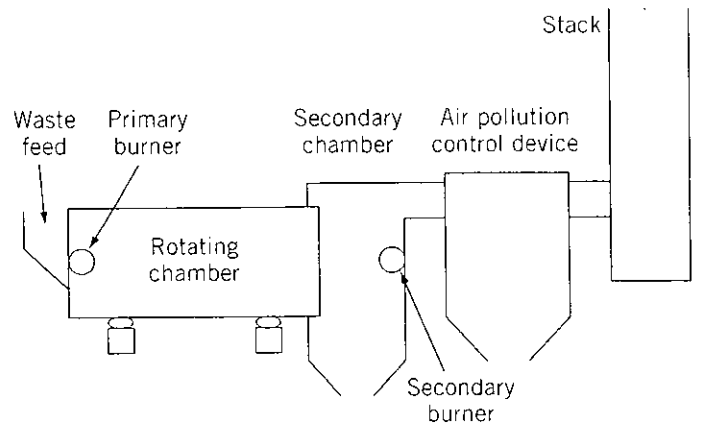


Figure 5. Typical rotary kiln incinerator (68).

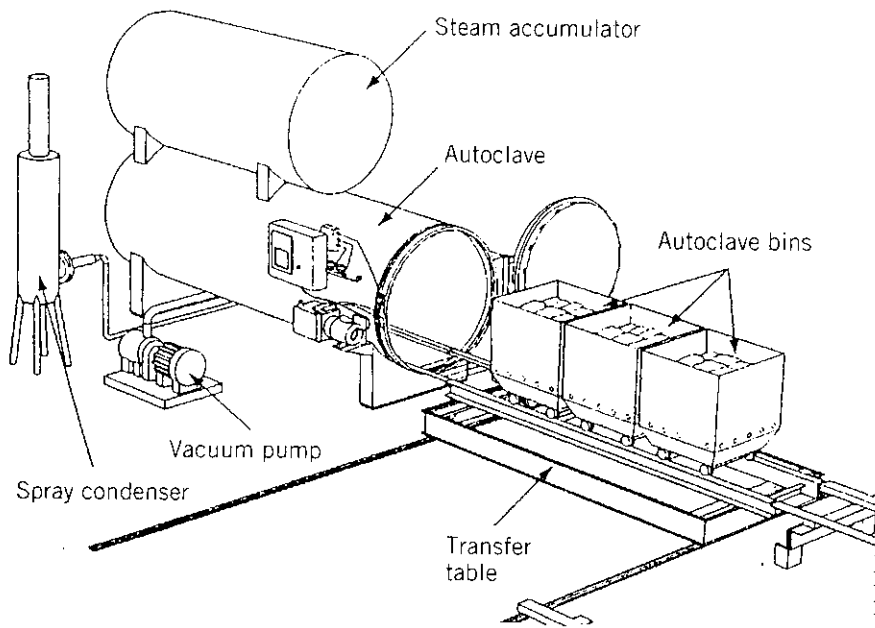


Figure 6. BFI medical waste autoclave. Reprinted with permission (Browning-Ferris Industries).

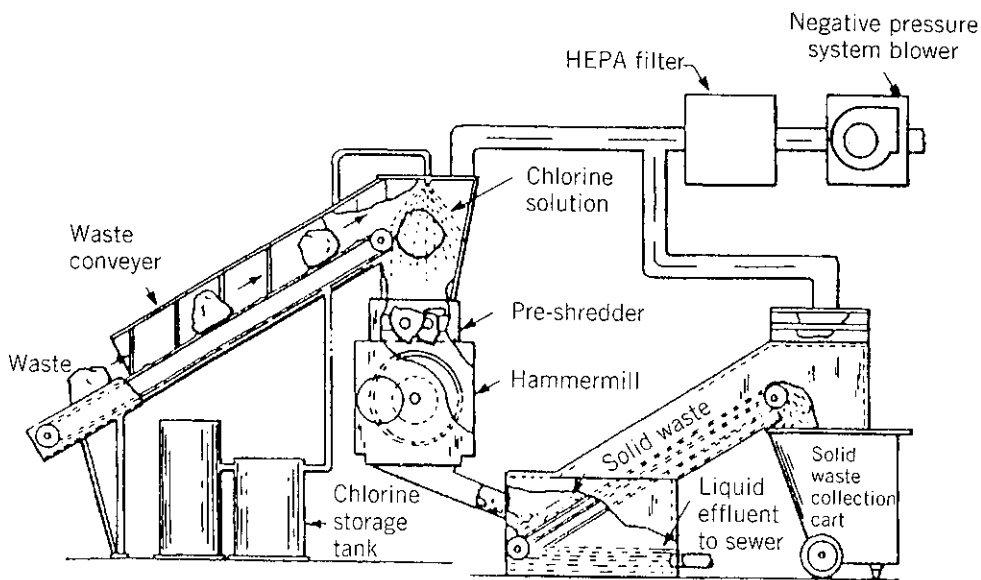


Figure 7. Medical Safe-TEC waste treatment system. Reprinted with permission (Medical Safe-TEC, Inc.)

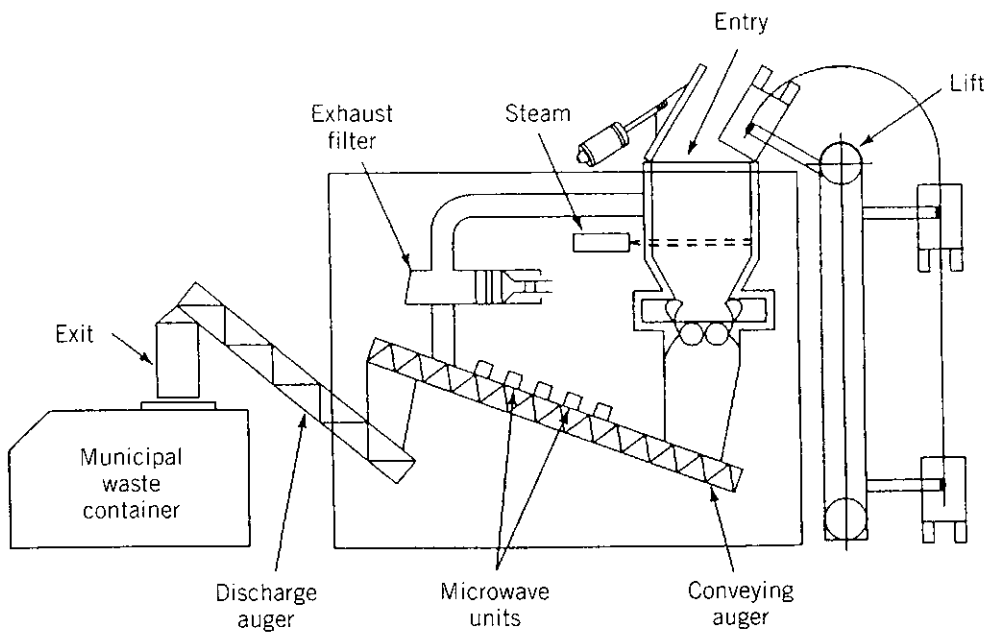


Figure 8. Sanitec microwave disinfection system. Reprinted with permission (Sanitec, Inc.).

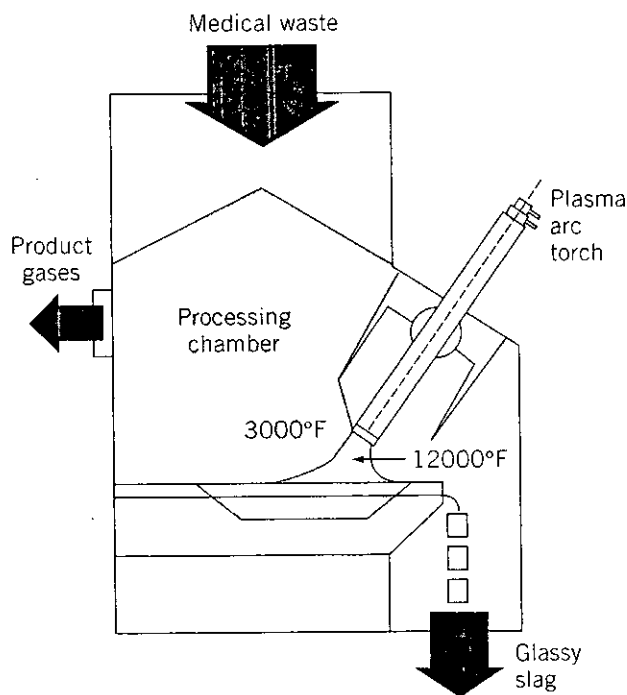


Figure 9. Plasma energy waste processing vessel. Reprinted with permission (Plasma Energy Applied Technology).