

## 12. 放射線滅菌(ガンマ線, 電子線)

主な放射線滅菌は, コバルト60又はセシウム137から放出されるガンマ線, 又は電子加速器から放出される電子線による滅菌である. 現状では, 医薬品についての放射線滅菌の国際規格はないが, ヘルスケア製品の分野では, 1994年に放射線滅菌の国際規格(ISO11137)が制定され, 2006年に改訂された. この改訂版が翻訳JIS(JIS T 0806s)として2010年に出版された. したがって, JIS T 0806sを参考に, 放射線滅菌に必要とされる基本的な管理要件やバリデーション及び維持管理について示す.

### 12.1 線源の種類

医薬品の最終滅菌工程で使用する線源(放射線)の種類を定めること. コバルト 60 やセシウム 137 からのガンマ線は, 物質(医薬品)を放射化するだけのエネルギーはない. しかしながら 10MeV 以上の電子線を用いた場合, 医薬品及びその包装材を含め放射化を検証すること.

### 12.2 設備

滅菌に使用する照射設備及びその運転手順を文書化すること. これには以下の項目を含め, 設備の使用期間中, 適切に保管すること.

- ① 照射設備の位置を含む建屋図面
- ② 未照射品と照射済品の分離, 区分方法
- ③ 照射設備及び搬送コンベアの構造, 運転方法及びメンテナンス方法
- ④ コンベアの経路及びコンベア速度の範囲
- ⑤ 照射容器の寸法, 材質及び構造
- ⑥ 使用する放射性同位元素の種類及び数量並びに位置(ガンマ線滅菌の場合)
- ⑦ ビーム特性(電子エネルギー, ビーム電流, 走査幅)(電子線滅菌の場合)
- ⑧ 線源の位置又はビーム発生を表示する方法
- ⑨ システムが故障した場合, 線源の貯蔵/ビームの停止及びコンベアの停止に関すること

また, プロセス管理及び監視に使用するコンピュータソフトウェアは, 使用に先立ち設計意図に適合して機能することを確認し, 文書化すること.

### 12.3 製品の定義

#### 12.3.1 最大許容線量

医薬品及びその包装材を含め許容される最大線量を定めること. 医薬品自体にラジカル発生による不純物の増加や新規物質の誘発, また, 包装材では構造面の変化により材質の劣化, 着色等が起こることが多いことから, 最大許容線量で処理した場合でも, 医薬品の有効期間中, 所要の効能・効果等が維持されること.

### 12. 3. 2 滅菌線量

10<sup>-6</sup>の無菌性保証水準(SAL)を達成する滅菌線量を定めること。

### 12. 4 滅菌線量の決定方法

医薬品に高い線量を照射すると品質劣化等を来たすことがあるため、出来るだけ低い線量でのSAL 10<sup>-6</sup> 達成を検討する必要がある。そのため絶対バイオバーデン法が適用される。JIS T0806-2(ISO11137-2)では、システマチックに滅菌線量を決定する方法が規定されており、その概略は以下のとおりである。

なお、医療機器の多くは乾燥状態で滅菌するものが多いが、水封のダイアライザーや真空採血針等についても適用することができる。

#### 1) バイオバーデン情報を用いる方法(方法1)。

この方法は、製品に付着するバイオバーデンの放射線抵抗性が規定された標準抵抗性分布を持つ微生物群の抵抗性に比べ同等以下であることを検証する。

#### 2) 累加線量照射した製品の無菌性の試験をして、その陽性率を用いる方法(方法2)

この方法は、第1段階で累加線量照射試験からD値を推定する。第2段階で100個の製品中1個が非滅菌(すなわち、SAL 10<sup>-2</sup>)になる線量を推定し、この両者から所要の無菌性保証水準まで外挿することで滅菌線量を求める。

#### 3) 標準抵抗性分布から演繹された方法(VDmax法)

この方法は、製品に付着するバイオバーデンが選択した滅菌線量でSAL 10<sup>-6</sup>を与える最大抵抗性を持つ微生物群よりも放射線抵抗性が小さいことを検証する。

### 12. 5 バリデーション

#### 12. 5. 1 設備据付時適格性評価(IQ)

据え付けが完了した照射設備は、設計仕様書どおりに据え付けられているかを確認し、記録すること。確認の方法は、あらかじめ文書化すること。放射線滅菌を委託する場合、IQは照射業者が実施する。

#### 12. 5. 2 運転時適格性評価(OQ)

IQが終了した照射設備について、測定、監視、制御、表示、及び記録に使用する機器を校正すること。線量測定機器は、国際又は国家計量標準にトレースが可能であること。

OQの第1段階では、線源の装填又はビームを発生しない状態(コールドラン)で設計仕様どおりに稼働することを確認し、記録する。第2段階では、線源の装填又はビームを発生した状態(ホットラン)で設計仕様どおりに照射できるかを確認し、記録する。ホットランでは、設計仕様であらかじめ定めた処理能力、透過力等を確認するため、設計仕様の最大重量のダミーを用いて線量分布評価を実施すること。コールドラン及びホットランとも確認の方法は、あらかじめ文書化すること。放射線滅菌を委託する場合、OQは照射業者が実施する。

### 12. 5. 3 稼働性能適格性評価(PQ)

OQ が終了した照射設備について、最終滅菌が行えるか否か実際の医薬品もしくはダミー品を用いて稼働性能適格性評価を実施すること。稼働性能適格性評価の目的とするところは、当該医薬品が該当照射設備で滅菌線量以上、最大許容線量未満の線量で照射できるか否かを確認するために線量分布評価を実施することである。放射線滅菌を委託する場合、PQ は委託者及び照射業者が共同で実施する。結果は、製品に関する情報を含めて以下の項目を記録し、責任者がレビューすること。

- ① 滅菌用梱包箱の寸法、密度、梱包内での製品の並べ方
- ② 滅菌用梱包箱の照射容器への載荷形態
- ③ 使用する施設又はコンベア経路(複数ある場合)
- ④ 線量分布評価での最大線量及び最小線量とそれらの位置並びにその変動幅
- ⑤ 製品の最大許容線量及び滅菌線量
- ⑥ 製品の温度管理と照射完了までの時間(必要な場合)
- ⑦ 線量監視点の位置及び線量監視点の線量と最小/最大線量との関係並びにこれらから求める線量監視点での合格線量範囲
- ⑧ 滅菌前後の輸送状態の確認(放射線滅菌を委託する場合)

製品が異なっても線量分布の観点から分布が同様と見なせるもの(例えば、滅菌用梱包箱の寸法、重量が同一で、製品の薬剤成分が異なる製品等)については、その根拠を記録したうえで、同類の線量分布データを使用することが出来る(処理カテゴリという)。

### 12. 6 日常管理

照射前後の保管を含め、照射方法等を文書化すること。これには以下の項目を含めること。放射線滅菌では、バイオロジカルインジケータ(BI)の使用は要求されておらず、ケミカルインジケータ(CI)の使用も任意である。

- ① 滅菌した対象物について、その滅菌状況がトレースできるような適切な識別方法(例えば、滅菌ロット番号)
- ② 照射前後の製品数量の確認方法
- ③ 未照射品と照射済品の分離、区分方法
- ④ 製品の照射容器への載荷形態
- ⑤ 線量監視点の位置と線量計の貼付頻度
- ⑥ 線源の減衰に応じたコンベア速度の調整方法(ガンマ線滅菌の場合)
- ⑦ 線源の位置、コンベア速度、照射容器の移動状況の監視及び記録(ガンマ線滅菌の場合)
- ⑧ 電子ビーム特性、コンベア速度の監視及び記録(電子線滅菌の場合)
- ⑨ プロセス中断や不具合が発生したときの措置と記録
- ⑩ 製品の温度管理と照射完了までの時間(必要な場合)

## 12.7 ドジメトリックリリース

滅菌プロセスが適正に行われたことを認定するための項目を特定し、出荷判定方法を文書化すること。特定する項目には、PQ で記録した項目を含めること。これらを満足し、線量監視点での線量が規定範囲内であれば、製品の無菌性を保証し、出荷判定を合格とすることができる。この前提として、品質システムが有効に機能していること、及びバイオバーデンが定めた限度範囲内で、かつ滅菌線量の有効性を確認していることが必須条件である。

## 12.8 有効性の評価

### 12.8.1 滅菌線量の有効性

最初に決定した滅菌線量が継続して有効であることの確認方法、確認時期を文書化すること。最初に決定したときのバイオバーデンの数とその抵抗性が、所要の時間経過後も同等以下であればその滅菌線量は有効である。滅菌線量の有効性の評価方法は、JIS T0806-2(ISO11137-2)に規定されている。その概略は以下のとおりである。

- 1) 低バイオバーデン品(平均 1.5 個未満/製品)の測定間隔は、最大1か月とし、それ以外のバイオバーデン品の測定間隔は、最大 3 か月とする。
- 2) バイオバーデンの数があらかじめ定めた限度を超えた場合、直ちに滅菌線量監査(バイオバーデンの放射線抵抗性試験)を実施する。
- 3) 通常の滅菌線量監査は 3 か月とする。
- 4) 少なくとも3か月毎に実施するバイオバーデン数の結果が安定して限度内であり、バイオバーデンの特徴づけ(コロニー又は細胞の形態、染色特性等、同定は不要)をしており、かつ 4 回連続して滅菌線量監査に成功した場合には、最大 12 か月まで滅菌線量監査が延長できる。

### 12.8.2 設備の有効性

- 1) 滅菌プロセスの監視、制御、表示、記録に使用する機器の再校正を計画し、実施し、記録すること。
- 2) 設備の予防的メンテナンスを計画し、実施し、記録すること。
- 3) 線量及び線量分布に影響を及ぼす可能性のある設備の変更は、あらかじめ影響の程度と範囲を評価し、責任者が承認すること。必要に応じてIQ、OQ、又はPQの一部又は全部を再度実施すること。

## 13. バイオバーデン試験

いかなる最終滅菌法においても、 $10^{-6}$  以下の無菌性保証水準を立証することが必要である。滅菌前製品の微生物数、種類及び性質を把握することは、採用した滅菌条件の科学的妥当性を立証するために重要である。本項では、滅菌前製品に存在する微生物の把握、すなわちバイオバーデンの調査に関する試験について示す。

### 13.1 バイオバーデン・モニタリング

#### 13.1.1 モニタリング頻度

バイオバーデン測定は、滅菌前の製品について、適切に計画された間隔で実施すること。

#### 13.1.2 サンプルング

最終充てん容器を試料としてサンプルングする。サンプルングは、ワーストケースを考慮したバッチの代表(例えば、充てん開始時、充てん中間時、及び充てん終了時)であることを基本とする。サンプルング量については、バイオバーデン実績データ、製造工程、バッチサイズ、製造頻度、使用原材料、バイオバーデン値のばらつきなどの要因をもとに汚染のリスクを評価し、適切に定めること。また、バイオバーデン測定用検体の保管については、試験開始まで実製造工程と近似させること。

### 13.2 バイオバーデン試験

バイオバーデン調査においては、微生物数、種類及び性質を把握することが重要で、さらに無菌性の保証においては、特に耐熱性菌の有無確認と検出した場合の熱抵抗性の評価が必須である。これらの評価として微生物の汚染リスクに応じて13.2.1生菌数試験もしくは13.2.2耐熱性菌試験を選択して実施し、検出菌については、13.2.3菌種同定、13.2.4滅菌抵抗性試験を実施すること。

#### 13.2.1 生菌数試験

当該試験は、試料の採取時点から当該医薬品の滅菌工程開始までの時間を考慮して行うこと。当該医薬品の最終充てん容器について13.1.2で決定した量を試験する。試験は、無菌的管理のもとで、規定された採取単位量の全量を用いてメンブランフィルター法で試験を実施すること。試料全量を用いることやメンブランフィルター法にて試験を行うことが困難な場合は、その理由を明確にした上で別な方法を採用する。尚、培養条件は、日本薬局方「微生物限度試験法」の生菌数試験に準じること。

#### 13.2.2 耐熱性菌試験

当該試験は、滅菌前製品中の耐熱性菌(芽胞)の有無を確認するためのスクリーニング試験であり、必要に応じて実施する。当該医薬品の最終充てん容器について13.1.2で決定した量を試験する。試験は、無菌的管理のもとで、規定された採取単位量の全量を用いて実施すること。試料は、湯浴を用いて80~100℃で10~15分間加熱処理する。この試料の全量をメンブランフィルター法で試験する。試料全量を用いることやメンブランフィルター法にて試験を行うことが困難な場合は、その理由を明確にした上で別な方法を採用する。尚、培養条件は、日本薬局方「微生物限度試験法」の生菌数試験に準じること。

#### 13.2.3 菌種同定

生菌数試験あるいは耐熱性菌試験で得られた菌について同定を行う。滅菌に対して強い抵抗

性を持つ菌のほとんどが芽胞形成菌であり、芽胞形成菌を正確に同定できることが必要である。同定方法には、表現形質による同定方法、簡易同定キットによる同定方法及び分子構造や遺伝子情報を利用した同定方法(化学分類、遺伝子解析)などがある。同定は、少なくとも属を明らかにし、その特徴を情報として捉える。また、得られた同定結果は、滅菌抵抗性試験、混入経路の推定及びバイオバーデン低減のための制御に活用する。

#### 13. 2. 4 滅菌抵抗性試験

バイオバーデン菌を同定した結果が芽胞形成菌であった場合あるいは耐熱性菌試験で耐熱性菌が得られた場合、あるいは生菌数試験で芽胞形成菌が検出され、耐熱性菌試験で死滅しない場合には、適切な芽胞形成培地を選択し、芽胞を形成させる。形成芽胞を用いて芽胞液を調製し、製品中における滅菌抵抗性の指標値であるD値(必要によりz値)の測定を行う。D値の測定は、ISO11138に従って、製品の滅菌温度について実施する。なお、製品よりも高いD値が得られる溶液があらかじめ分かっている場合は、その溶液をD値測定に使用してもよい。

D値の測定が困難な場合は、その理由を明確にした上で、 $10^6$ 個以上/製品の芽胞液を調製し、当該製品の半分以下の滅菌時間で加熱した後、日本薬局方「無菌試験法(メンブランフィルター法)」(ただし、培地はソイビーン・カゼイン・ダイジェスト培地を用いること)にて陰性(所定の滅菌時間で12 log減少)であることを確認することで、 $10^{-6}$ の無菌性保証水準(SAL)が満たされることを保証すること。

#### 13. 3 バイオバーデン許容基準値

バイオバーデン許容基準値を、バイオバーデン数と滅菌抵抗性(D値)について、各製品に対して決定しておくこと。バイオバーデンの許容基準は、滅菌条件を基礎とすべきであり、 $10^{-6}$ の無菌性保証水準を満たさなければならない。許容基準値は、滅菌条件設定時に使用した指標菌のD値をもとに、予測されるバイオバーデン数に安全率を考慮した値とする。この安全率には、試験法バリデーション時に得られた微生物回収率なども含める。また、バイオバーデン許容基準値の警報基準値と処置基準値を確立しておくこと。

#### 13. 4 許容基準値外時の対応

湿熱滅菌において、バイオバーデン許容基準外の場合は、バイオバーデン菌の滅菌抵抗性結果と合わせて、 $10^{-6}$ の無菌保証レベルを満たすかどうか(例えば、 $\log(\text{バイオバーデン数})+6 < \text{滅菌時間}/D$ 値であること)を評価する。また、バイオバーデン菌の混入経路を調査し、バッチ全体において、測定したサンプルよりも多くのバイオバーデン数が存在するリスクについても調査すること。

バイオバーデン菌のD値が、指標菌よりも高い場合は、新たにバイオバーデン菌を指標菌として、11. 2. 5に従い湿熱滅菌機のクールスポットにおける滅菌の達成を検証すること。その結果を踏まえて指標菌を更新する。その場合、新たに指標菌とするバイオバーデン菌の同定を種レベルまで行い、菌株保存機関に寄託することが望ましい。あるいは、すでに菌株保存機関から入手可

能な菌から、D 値がバイオバーデン菌と同等以上の菌を指標菌としてもよい。また、バイオバーデンの低減を行い、指標菌よりも高いD 値を示したバイオバーデン菌が恒常的に出現しないことが保証できれば、従来通りの指標菌を使用しても差し支えない。

### 13.5 バイオバーデン試験結果の出荷への反映

オーバーキル滅菌以外では、出荷前のバイオバーデン試験の結果から芽胞形成菌が検出された場合は、滅菌抵抗性がバリデーションで用いた指標菌よりも低いことを、耐熱性菌試験等で証明しておくこと。バイオバーデン基準値を逸脱した場合は、13.4に示した対応の結果を踏まえて、製品の出荷の可否を決定する。

## 【参考情報】

本参考情報に示している内容は、指針を補完する情報であり、A1. パラメトリックリリースを適用する場合には、予め規制当局の承認が必要であり、A2. 輸液剤等の大容量製剤の無菌性保証は、熱処理により容器及び製剤に悪影響を及ぼす最終滅菌製剤に適用される滅菌例であり、製品の耐熱性に問題がない一般の医薬品の滅菌には適用しない。

### A1. パラメトリックリリース

本章には、最終滅菌法による無菌医薬品のパラメトリックリリースにおける一般的な製造管理のあり方を示すと共に、湿熱滅菌によるパラメトリックリリースの具体的な要件を示した。湿熱滅菌によるパラメトリックリリースを行う場合は、原則としてこれらの考え方を適用する。ただし、パラメトリックリリースを適用する場合には、予め規制当局の承認を得ること。

#### A1.1 パラメトリックリリースの一般的要件

最終滅菌法を用いて製造される無菌医薬品には、通常  $10^{-6}$  以下の無菌性保証水準(SAL)が求められる。SAL  $10^{-6}$  は最低保証条件であり、液剤の滅菌バリデーションは、SAL  $10^{-8}$  レベルで実施するのが望ましい。培地充てん試験による汚染検出率は  $10^{-8}$ 、無菌試験による汚染検出率は  $10^{-1}$  程度である。最終滅菌工程を十分にバリデートし、包括的かつ一貫した工程管理を行うことにより、無菌試験に比べてはるかに高い製品の無菌性を保証できる。このように、高い無菌性保証水準を示す最終滅菌製剤にパラメトリックリリースを適用することは、科学的にも合理的である。

最終滅菌医薬品にパラメトリックリリースを適用する場合、本指針に定める要件を整備し遵守することにより、製品の恒常的な無菌性を保証すること。

#### A1.2 パラメトリックリリースが適用可能な滅菌方法

以下の項目を満たしている場合、パラメトリックリリースの適用が可能な滅菌方法と考えることができる。

- 1) 滅菌の作用機序が十分解明されていること。
- 2) 滅菌工程の重要な物理的・化学的パラメータが明らかで、それらの値が測定可能であること。
- 3) 滅菌工程を適切なBIを用いて微生物学的にバリデートできること。
- 4) 滅菌操作を効果的かつ再現性よく実施できること。

#### A1.3 滅菌バリデーション

- 1) 適切なバリデーションを実施し  $10^{-6}$  以下の SAL を科学的に証明できる滅菌パラメータを決定すること。
- 2) 滅菌サイクルの途中で停電などの理由により一時的に滅菌条件の逸脱が発生した場合を想定し、許容される逸脱の範囲と、補完の条件についてもバリデートしておくことが望ましい。
- 3) 想定される製品・容器形態を考慮し、滅菌装置毎に定期的な再バリデーションの有効期限を定



め、定期的な再バリデーションを実施し、決定した滅菌パラメータの有効性を確認すること。

- 4) 製品の無菌性保証に影響があるような変更管理を行う場合、事前に滅菌バリデーションを実施し、変更後も  $10^{-6}$  以下の SAL が可能であることを示すこと。無菌性に影響する変更には、滅菌対象物の組成、容量、医薬品容器形態、医薬品容器の包装形態、製造工程、載荷形態、滅菌媒体の供給条件、及び滅菌装置の構造等の変更が含まれる。

#### A1.4 日常管理

##### A1.4.1 日常管理の一般要件

- 1) 滅菌対象製品については、未滅菌のものと滅菌済のものが混同されないように適切な措置を講じること。
- 2) 滅菌済みの製品については、再汚染を防止するための措置を講じること。
- 3) 滅菌に関連する工程管理、保守管理、ガス、空気、水などの供給、滅菌確認等に関する手順や管理項目等は、全て文書化すること。
- 4) 最終滅菌条件を定めるために行われたバリデーションの結果に基づき、滅菌工程の実施に関する詳細な手順を定めて文書化し、これを遵守すること。これらの手順書には、以下の項目を含むこと。
  - ① 日常の滅菌管理に必要な工程パラメータ、管理項目とその許容値
  - ② 滅菌工程がその要求事項に合致していることの判定方法と判断条件
  - ③ 各種記録とその保管に関する手順を規定すること
  - ④ 逸脱が発生した場合の処置方法
  - ⑤ バッチ式滅菌装置の場合は、製品ごとの載荷形態
- 5) 定期的再バリデーション、保守管理、校正、装置のテスト項目等をその具体的な手順及び頻度と共に文書化すること。
- 6) バイオバーデン試験方法及び当該滅菌方法に対して抵抗性が強い微生物の検出方法を定め文書化すること。
- 7) 当該滅菌方法に対して抵抗性が強い微生物を検出した場合の処置方法を定め文書化すること。
- 8) 工程の確認に参照負荷を使用する場合は、仕様、有効性、使用方法の妥当性等を検証し、文書化すること。

##### A1.4.2 日常管理の方法

- 1) 日常管理は、定められた手順に従い滅菌バッチごとに実施すること。
- 2) 滅菌工程が規定の許容範囲内で達成されたことを立証するための全てのデータを記録すること。また各記録は、責任者により確認、承認を受けること。
  - ① 滅菌工程を実施した日付、工程の開始及び終了時刻
  - ② 使用した滅菌装置

- ③ 適用した滅菌条件
  - ④ 滅菌工程の物理的記録
  - ⑤ 滅菌の判定基準と判定結果
  - ⑥ 滅菌物の特定
  - ⑦ 滅菌工程を施した職員の氏名
- 3) 設定された手順、警報基準値、処置基準値、パラメータの許容範囲等を逸脱した場合は、定められた手順に従い、適切に処置を行うこと。
  - 4) 滅菌工程及び滅菌工程を支援するシステムの維持管理に関する記録を採り、管理すること。
  - 5) 滅菌サイクルの重要パラメータの制御、計測、記録に使用される装置は、校正対象機器とし、その校正頻度及び許容誤差を定め、公的標準に結びつく標準器による校正を行うこと。また滅菌工程を支援する制御、計測機器についても同様に扱うこと。
  - 6) 滅菌後の製品の保管は、その品質を損なうものでないこと。保管場所、保管方法、保管環境、保管期間等を予め定め、それに従い適正に管理すること。

#### A1. 4. 3 滅菌物の出荷判定

最終滅菌法で製造された医薬品の無菌性保証には、滅菌パラメータの記録の照査が含まれる。予め重要パラメータを定め、その許容範囲内で滅菌が行われたことを確認した上で、出荷判定を行う手順を定めて文書化しておかなければならない。

パラメトリックリリースによる出荷判定で行われる製品の無菌性確認には、以下の項目を含むこと。

- 1) 製造バッチ記録
- 2) 滅菌記録を照査し、時間、温度、圧力等の重要パラメータの記録が許容範囲にあること。
- 3) 滅菌記録あるいは製造バッチ記録を照査し、定められた製品載荷形態で滅菌がおこなわれていること。
- 4) 滅菌サイクルの重要パラメータの制御、計測、記録に使用される装置の校正が行われており、校正の有効期限内であること。
- 5) 定められた定期的再バリデーションの有効期限内であること。
- 6) 設定された手順、警報基準値、処置基準値、パラメータの許容範囲等を逸脱した場合に採られた処置とその結果が適切であること。
- 7) 必要に応じて原料や薬液等のバイオバーデンデータの確認を行うこと。
- 8) 滅菌前製品のバイオバーデン試験は、バッチ毎とする。
- 9) 必要に応じて製造環境の微生物評価データの確認を行うこと。
- 10) 必要に応じて当該滅菌法に対して抵抗性の強い微生物の検出試験が行われていること。
- 11) 滅菌前製品のバイオバーデンから、滅菌バリデーションで用いられた滅菌指標体以上の抵抗性を有する微生物が検出された場合は、定められた手順に従い、予め定めた許容 D 値内にあるかどうかを判断する。

- 12) 参照負荷の試験結果をもって出荷判定する場合は、そのデータが規定の範囲内であること。また、参照負荷の形態、配置が規定どおりであったことを示す記録の確認を行うこと。
- 13) 重要パラメータの許容範囲を逸脱したときには、予め定めた手順に従い、原因の調査を含めた適切な処置(再滅菌、バッチ破棄等)を行うこと。許容範囲からの逸脱があった場合、他の判定方法(例えば無菌試験)によって出荷することは認められない。

#### A1.5 湿熱滅菌のパラメトリックリリース

##### A1.5.1 パラメトリックリリースの適用条件

湿熱滅菌による最終滅菌医薬品にパラメトリックリリースを適用するに当たっては、バイオバーデン試験は滅菌前の充てん・閉そく済み製品に対して実施する。

##### A1.5.2 最終滅菌医薬品へのパラメトリックリリースの適用時の留意点

パラメトリックリリース適用時、湿熱滅菌工程に特有の事項として、以下に留意すること。

###### 1) プロセス要求としての滅菌条件設定時の留意点

滅菌及び無菌性保証に影響を及ぼすプロセスの管理項目としては、温度、圧力、時間、熱履歴、滅菌前製品中のバイオバーデン等がある。これらの管理項目が恒常的に管理並びに保証されている場合には、パラメトリックリリースの採用を考慮することが可能である。滅菌工程の設計(確立)方法として、オーバーキル法と  $F_0$  管理法がある。 $F_0$  管理法を採用する場合には、規定した適切なパラメータにより設定  $F_0$  の妥当性を証明する。

###### 2) 滅菌バリデーションにおける留意点

- ① 滅菌バリデーションを行うに当たっては、日本薬局方参考情報「最終滅菌医薬品の無菌性保証」及び本指針で定める滅菌バリデーションの項を参照して、適切なバリデーションを実施し  $10^{-6}$  以下の SAL を科学的に証明できるパラメータを決定すること。
- ② 滅菌サイクルの途中で停電などの理由により一時的に滅菌温度が低下した場合を想定し、許容される滅菌条件(温度、時間など)と、再加熱の条件についてもバリデートしておくことが望ましい。

###### 3) 日常管理における留意点

- ① 温度、圧力、時間等、滅菌サイクルに影響を及ぼす重要パラメータを定め、その許容変動幅を定め文書化すること。
- ② 定期的にリークテストを行い、チャンバーの漏れ量を確認すること。
- ③ 滅菌工程及び滅菌工程を支援するシステム(圧縮空気、蒸気、水等)の維持管理に関する記録を採り、管理すること。
- ④ 停電などの理由により滅菌サイクルの途中で一時的に滅菌温度が低下した場合、予めバリデートされた範囲であれば再加熱して滅菌サイクルを継続することが許容される。

###### 4) 滅菌物の出荷判定における留意点

パラメトリックリリースにより滅菌物を出荷判定する場合は、特に下記の点を確認すること。

- ① 必要に応じて湿熱抵抗性の強い微生物の検出試験が行われていること。詳細については、13. バイオバーデン試験法を参照のこと。
- ② 滅菌前製品のバイオバーデンから、滅菌バリデーションで用いられた滅菌指標体以上の湿熱抵抗性がある微生物が検出された場合には、当該微生物の D 値と数から、製品の無菌性を評価し、製品出荷の可否又は製品の回収について判断する手順を定めること。

## A2. 輸液剤等の大容量製剤の無菌性保証

### A2.1 序論

水・電解質の異常、生体維持のための栄養素摂取不良や不能、手術や医療機器等による医療行為に対する生体保護は、多くの患者が遭遇する病態や事態で、これらの病態等の改善等には、細胞内外に存在する体液などの生体成分を基本とした輸液などの大容量製剤が用いられている。各種体液には、多くの生体成分が含まれているために、医療上必要とする場面に応じた成分を使用時にその都度処方し溶解調製することが困難なことから、わが国では用時調製困難の考えに基づいて、電解質液、糖液、アミノ酸液など多くの処方に基づいた大容量製剤が医薬品として存在する。また、最近では使用時の混注操作を減らすことを目指したバッグキット製剤も開発されている。

日本の医療現場において大容量製剤は、薬液投与時に専用の機械を使用しなくても投与できることが求められ、柔軟性の高い容器で供給されている。更に液の澄明性が重要視されているために、使用時の外観検査が適切に行える透明性の高い容器が求められている。

上記のような医療現場からの要求事項に合わせた製品を供給するために、わが国における輸液等の大容量製剤は、製造に用いる原材料や製造環境からのバイオバーデンに基づいて設定された湿熱滅菌条件にて滅菌されている。一方で、製造設備として、大容量の製品のため充填設備が大型化されており、作業者の重要区域への介入は避けられず、微生物汚染のリスクを最小化する製造管理が非常に重要な要件となる。大容量製剤の製造においては、滅菌条件の基本となった指標菌以上の耐熱性を示す芽胞菌を検出しない製造環境を確保し、日常のバイオバーデン管理のもと無菌性を保証することが基本的な考えとなる。

### A2.2 製造環境

#### 1) 充てん・閉塞区域の空中浮遊微粒子の管理

空気の清浄度レベルは、非作業時には ISO 5 を満たすものとする。充てん・閉塞区域はグレード A の空気を供給することで保護されなければならない。

#### 2) 充てん・閉塞区域の微生物管理

この区域の微生物（空中微生物、表面付着微生物）のモニタリングは、8.3 表 2. 微生物管理に係る環境モニタリングの頻度及び表 3. 環境微生物の許容基準(作業時)のグレード A に準拠して実施することを基本とする。

なお、環境微生物のモニタリング箇所、許容基準は、製品の汚染リスクと滅菌前製品のバイオバ

ーデン規定値に基づき適切に設定することもできる。

各モニタリングで微生物が検出された場合は、耐熱性菌(芽胞)の有無を確認する。耐熱性菌が検出された場合、製品の無菌性に対する影響を評価し、適切な対応を行うこと。

### 3) 直接支援区域の空中浮遊微粒子の管理

非作業時の空気の清浄度レベルは、ISO 7を満たすものとし、作業時は製品汚染リスクに基づき、適切に設定すること。

### 4) 直接支援区域の微生物管理

この区域の微生物(空中微生物、表面付着微生物)のモニタリングは、8.3表2. 微生物管理に係る環境モニタリングの頻度及び表3. 環境微生物の許容基準(作業時)のグレードBに準拠して実施すること。

なお、環境微生物のモニタリング箇所、許容基準は、製品の汚染リスクと滅菌前製品のバイオバーデン規定値に基づき適切に設定することもできる。

各モニタリングで微生物が検出された場合は、耐熱性菌(芽胞)の有無を確認する。耐熱性菌が検出された場合、製品の無菌性に対する影響を評価し、適切な対応を行うこと。

### 5) 充てん・閉塞区域の更衣要件

充てん・閉そく区域内で作業する場合は、清浄度に見合ったバイオバーデン管理のために、適切に滅菌あるいは消毒された作業衣、靴、オーバーシューズ、手袋、ゴーグル、マスクを着用すること。

6) 充てん・閉そく区域及び直接支援区域において使用するHEPA フィルターの性能試験は、適切な方法・頻度で実施すること。

## A2.3 バイオバーデンの管理

1) 滅菌前製品のバイオバーデンは $<1$  CFU/製品を目標値とする。

2) 目標値を超えた場合、耐熱性菌(芽胞)の有無を確認する。耐熱性菌が検出された場合、その芽胞について滅菌抵抗性試験を行い、無菌性保証水準が $10^{-6}$ 以下であることを確認する。

3) 滅菌前製品のバイオバーデンは、生菌数試験(13.2.1)に従う他、日本薬局方「微生物限度試験法」の総好気性微生物数に準拠すること。

4) 滅菌前製品のバイオバーデンについて、ロット毎にモニタリングを行い、サンプリングは13.1 バイオバーデン・モニタリングに従う。

5) 検出した耐熱性菌(芽胞)の滅菌抵抗性試験は、13.2.4に従う。又は、以下の方法による。

① 耐熱性スクリーニング試験: 滅菌指標菌と検出された芽胞との耐熱性を比較するためのスクリーニングを行う。適切な芽胞形成培地を用いて、芽胞を形成させ、芽胞懸濁液を調製する。

芽胞懸濁液について、例えば滅菌温度又は基準温度(滅菌指標菌のD値が1分に相当する温度)における菌数減少を求め、耐熱性を確認する。

② D値測定: ①の試験の結果、耐熱性菌が滅菌指標菌以上の耐熱性を示した場合は、ISO

11138 に従い、滅菌温度又は任意の3温度について、D値を測定する。ただし、熱暴露はオイルバスを用いてもよい。

#### A2.4 滅菌条件の確立

A3に示すハーフサイクル法、オーバーキル法を適用することが出来ない場合は、以下の2種類の中から適切な滅菌条件を採用すること。

##### 1) BI(バイオロジカルインジケータ)とバイオバーデン併用法

BIとしては、通例、*Bacillus subtilis* "5230", ATCC 35021 など滅菌抵抗性が公知の菌株を選択する。

##### 2) 絶対バイオバーデン法

被滅菌物や製造環境から検出された最耐熱性菌を用いる方法である。*Bacillus subtilis* "5230", ATCC 35021 ほどの耐熱性菌が見つからない場合には、検出菌が *Bacillus oleronius* ATCC 700005 よりも耐熱性が低いことを確認しながら、*Bacillus oleronius* を用いて滅菌工程の微生物学的バリデーションを実施してもよい。

#### A2.5 バイオロジカルインジケータ(BI)

BIは、*Bacillus subtilis* "5230", ATCC 35021 や *Bacillus oleronius* ATCC 700005 など滅菌抵抗性が公知の菌株を選択すること。

#### A3. 滅菌条件設計法

以下 a)~d)のいずれかの方法により、製品の無菌性保証水準を保証すること。

- a) ハーフサイクル法
- b) オーバーキル法
- c) BIとバイオバーデン併用法
- d) 絶対バイオバーデン法

##### a) ハーフサイクル法

オーバーキルアプローチの一種である。初期菌数  $10^6$  CFU を有するバイオロジカルインジケータを製品やPCD内又は滅菌装置内で最も滅菌困難な場所に設置し、バイオロジカルインジケータが全て死滅する時間の2倍の時間を滅菌時間とする方法である。オーバーキル法が12Dの時間を滅菌時間とするのに対して、ハーフサイクル法では、14D~16Dの時間を滅菌時間とする。初期菌数  $10^6$  CFU を有するバイオロジカルインジケータの生残確率は、7Dで10%、8Dで1%となるので、 $(7D \sim 8D) \times 2 = 14D \sim 16D$ となる。ハーフサイクル法は、オーバーキル法と比較して一般的に滅菌時間が延長する。

##### b) オーバーキル法

オーバーキル法の基本的な考え方は、ヘルスケア製品(医療機器、医薬品、体外診断薬等)の

滅菌に関する国際規格用語集 (ISO/TS 11139)にあるように, "製品のバイオバーデンと同等以上の抵抗性のあるバイオリジカルインジケータに対して, 少なくとも 12 芽胞対数減少 (SLR) を与えることが証明されている滅菌工程" (Sterilization process that is demonstrated as delivering at least a 12 Spore Log Reduction (SLR) to a biological indicator having a resistance equal to or greater than the product bioburden)である. すなわち, オーバーキル法とは,  $10^{-6}$  の無菌性保証水準 (SAL) を確保する滅菌条件として 12D の滅菌を設定する方法である. 各滅菌工程に使用する BI についても国際規格で表 A-1 のように定められている.

表 A-1. 各種滅菌工程に使用する BI の規格

滅菌法	EO ガス滅菌	湿熱滅菌	乾熱滅菌	低温蒸気及びホルムアルデヒド滅菌
指標菌	<i>Bacillus atrophaeus</i> ATCC9372 等	<i>Geobacillus stearothermophilus</i> ATCC7953 等	<i>Bacillus atrophaeus</i> ATCC9372 等	<i>Geobacillus stearothermophilus</i> ATCC7953 等
菌数	$1.0 \times 10^6$ CFU 以上	$1.0 \times 10^5$ CFU 以上	$1.0 \times 10^6$ CFU 以上	$1.0 \times 10^5$ CFU 以上
D 値	2.5 分間以上 (54°C) 12.5 分間以上 (30°C)	1.5 分間以上 (121°C)	2.5 分間以上 (160°C)	6 分間以上 (60°C)
z 値	—	6°C 以上	20°C 以上	—
ISO 規格	ISO 11138-1, 2	ISO 11138-1, 3	ISO 11138-1, 4	ISO 11138-1, 5

湿熱滅菌に関する国際規格 (ISO 17665-1) では, BI として *Geobacillus stearothermophilus* を示しているが, その付属書には, *Clostridium sporogenes* や *Bacillus coagulans* も提示している. USP<1035> BIOLOGICAL INDICATORS FOR STERILIZATION には, 上記 BI の他に *Bacillus subtilis* も示されている. オーバーキル法の場合, 基本的には *G. stearothermophilus* を使用することになるが, 他の滅菌条件を設定する場合には, *G. stearothermophilus* 以外の BI や各社が製品や製造環境から分離した最強の熱抵抗性菌を BI として使用することになる.

USP<1035>では, *G. stearothermophilus* の  $D_{121}$  の最低値を 1.5 分間, 最大値を 3.0 分間としている. 例えば,  $D_{121} = 2.0$  分の *G. stearothermophilus* を BI として 12 SLR の滅菌を行うと,  $2.0 \times 12 = 24$  分の滅菌時間が必要である. 実製品を用いた場合, D 値が BI の表示 D 値より高くなることも多く, 単純に 12 D の滅菌条件を設定すると製品や容器への影響が懸念される.

一方, 被滅菌物内部の温度測定技術の向上により,  $F_0$  による滅菌工程の管理方法が発展し, 理論的に  $D_{121}$  値 = 1 分間の菌数を 12 log 減少させる  $F_0 \geq 12$  もオーバーキル条件としている (ISO/TS 17665-2).

### c) BIとバイオバーデン併用法

バイオバーデン/BI併用法は、一般にオーバーキル条件より熱負荷が少なく、絶対バイオバーデン法よりも被滅菌物に熱負荷をかけることができる場合に採用される。この方法は、BIとバイオバーデン法を組み合わせることで無菌性の保証を行うものであり、あらかじめBIの情報(菌数、 $D$ 値、 $z$ 値)及びバイオバーデンから得られた最も高い熱抵抗性を示す菌の $D$ 値を確認しておく。

この手法は、バイオバーデンから得られた熱抵抗性菌の $D$ 値よりもBIの $D$ 値が高いことが前提となり、通例、以下の式に基づき、滅菌時間を設定する。

$$\text{滅菌時間} = D \times \log N_0 / N$$

$D$ : BIの $D_{121}$ 値

$N$ : 生存許容菌数( $10^6$ )

$N_0$ : 初期菌数

初期菌数は、最大バイオバーデンに相当する菌数であり、平均バイオバーデン数にその標準偏差の3倍を加えたものあるいは1 logないし2 logの余裕を持たせたものになる。オーバーキル法が12  $D$ の熱負荷量になるのに対し、バイオバーデンとBIの併用法は、通例、6~7  $D$ の熱負荷量となる。

バイオバーデンとBIの併用法では、バイオバーデンから得られた最も強い耐熱性菌の $D$ 値よりも高い $D$ 値を有するBIを選定(一般に *C. sporogenes*, *B. coagulans*, *B. subtilis*, *G. stearothermophilus*を使用)し、算出されたバイオバーデンの生存確率が $10^{-6}$ 以下になることを確認する必要がある。ただし、バイオバーデン菌を生物指標として用いる場合もある。バイオバーデンの抵抗性は、後述の絶対バイオバーデン法と同様、ISO 11138-1に従い、生残曲線法あるいはフラクシオンネガティブ法でBIER(BI評価装置)を用いて測定される。チャレンジするBIは、死滅する必要はなく、チャレンジしたBIの菌数減少から得られたバイオバーデンの生存確率が、目的とするSAL(無菌性保証水準)に達していることを証明する。

例として、バイオバーデンを調査し、初期菌数(推定値)が $10^2$ 個、スクリーニングより得られた最も強い耐熱性菌の $D$ 値が0.2分であったと仮定とする。そこで、実際の滅菌サイクルに $D$ 値の明らかなBI( $D_{121} = 0.5$ )をチャレンジし、4 log減少の結果が得られたとすると、微生物学的 $F_0$ 値は、 $F_{0\text{BIO}} = 4 \times D_{121} = 4 \times 0.5 = 2.0$ となる。

$F_{0\text{BIO}} = D_{121} \times (\log_{10} A - \log_{10} B)$ の式を変形すると $\log_{10} B = \log_{10} A - F_{0\text{BIO}} / D_{121}$ となり、初期菌数である $A = 10^2$ 、バイオバーデンから得られた $D_{121} = 0.2$ (分)を代入すると $\log_{10} B = \log_{10} 10^2 - 2/0.2 = -8$ となり、 $B$ は $10^{-8}$ 、つまり、バイオバーデンの生存確率は $10^{-8}$ という結果が得られる。この結果から、無菌性の確保に必要な $10^{-6}$ 以下のレベルを満足していることになる。

また、バイオバーデン/BI併用法は、日常的なバイオバーデン調査を行い、バイオバーデンの菌数及び耐熱性菌の熱抵抗性の確認を継続的に実施する必要がある。

### d) 絶対バイオバーデン法

絶対バイオバーデン法は、熱負荷をかけると製品、包装品が不安定になるものや容器が熱によ



り変形するものなどで前述のオーバーキル法、バイオバーデン/BI 併用法が適用できない場合に採用される。被滅菌物(原材料を含む)のバイオバーデンから得られた菌に対して、スクリーニングテスト(通例、80~100°Cで10~15分のヒートショックを与える)を実施することにより、最も強い耐熱性菌を調査する。製品からのバイオバーデンの回収方法は、ISO11737-1に従い実施する。絶対バイオバーデン法は、バイオバーデンから得られた最も強い耐熱性菌の生存確率が $10^{-6}$ 以下であることを証明する手法である。この手法では、BIの使用は不必要である。

例として、バイオバーデンで得られた最も強い耐熱性菌のD値と温度の関係が図A-1に示す結果になったと仮定する。

その耐熱性菌の $D_{121}$ 値は、図A-1から $D_{121} = 10^{-0.1 \times 121 + 11.5} = 0.25$ (分)となり、その耐熱性菌が $10^6$ から $10^{-6}$ まで減少するのに必要な $F_0$ 値は、以下の式で求めることができる。

$$F_0 = D_{121} \times (\log_{10} A - \log_{10} B)$$

この式に $A = 10^6$ 、 $B = 10^{-6}$ 、 $D_{121} = 0.25$ を代入すると、 $F_0 = 0.25 \times (6 + 6) = 3.0$ となる。ここで得られた $F_0 = 3.0$ が滅菌条件設定の目標値となるものであり、滅菌条件を設定し、熱浸透試験を実施した後、最も滅菌が困難な場所(コールドポイント)で $F_0 \geq 3.0$ を十分に満たしていることを確認しなければならない。管理されている製造施設で観測されるバイオバーデンは、実際には $10^6$ よりもはるかに少なく、例えば最大のバイオバーデン数が $10^2$ であることが証明された場合、 $10^2$ から $10^{-6}$ まで死滅させる所要最低 $F_0$ 値は、 $0.25 \times (2 + 6) = 2.0$ となり、無菌性保証として $F_0 \geq 2.0$ を必要とすることになる。

実際には、 $10^6$ 個のバイオバーデンをコールドポイントにチャレンジし、確実に死滅することを無菌性の試験で確認し、無菌性保証水準である $10^{-6}$ 以下とする滅菌時間を設定し、無菌性保証を行う。この際、予測される最大バイオバーデン数に対し、回収率等を考慮した安全係数を設定する必要がある。

また、バイオバーデン法では、バリデーション後も継続的かつ頻繁にバイオバーデン調査を行い、より熱抵抗性の強い菌が認められた場合には、再バリデーションを行うことが必要であるとともに、すでに出荷した製品への影響を評価する必要がある。

なお、これらの微生物学的評価、すなわちバイオバーデンの見積もりならびに無菌性の試験等の実施に当たっては、該当するISO 11737シリーズを適用する必要がある。

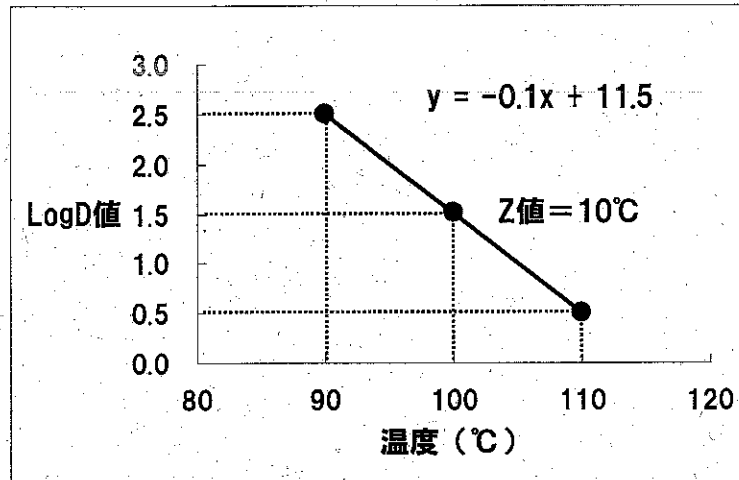


図 A-1. D 値と温度の関係

参考資料

- 1) ISO 11138-1:2006 Sterilization of health care products — Biological indicators — Part 1: General requirements
- 2) ISO 11138-2:2006 Sterilization of health care products — Biological indicators — Part 2: Biological indicators for ethylene oxide sterilization processes
- 3) ISO 11138-3:2006 Sterilization of health care products — Biological indicators — Part 3: Biological indicators for moist heat sterilization processes
- 4) ISO 11138-4:2006 Sterilization of health care products — Biological indicators — Part 4: Biological indicators for dry heat sterilization processes
- 5) ISO 11138-5:2006 Sterilization of health care products — Biological indicators — Part 5: Biological indicators for low temperature steam and formaldehyde sterilization processes
- 6) ISO/TS 11139:2006 Sterilization of health care products— Vocabulary
- 7) ISO 11737-1:2007 Sterilization of medical devices—Microbiological methods— Determination of a population of microorganisms on products
- 8) ISO 11737-2:2009 Sterilization of medical devices— Microbiological methods— Tests of sterility performed in the validation of a sterilization process
- 9) 無菌操作法による無菌医薬品の製造に関する指針(平成 23 年 4 月 20 日付け厚生労働省医薬食品局監視指導麻薬対策課事務連絡)
- 10) 滅菌バリデーション基準(平成 23 年 3 月 30 日付け薬食監麻発 0330 第 5 号厚生労働省医薬食品局監視指導・麻薬対策課長通知)
- 11) ISO/JIS 規格準拠 ヘルスケア製品の滅菌及び滅菌保証 日本規格協会(2011).